

東アジアモンスーンの進化と変動そしてヒマラヤ-チベットの隆起との関連性 Evolution and variability of East Asian monsoon and the potential relationship with Himalaya-Tibet uplift

多田 隆治^{1*}
TADA, Ryuji^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ Graduate School of Science, the University of Tokyo

Monsoon is climatic phenomenon driven by heat capacity contrast between the continent and ocean, so every continent has its own monsoon system. Asian Monsoon is by far the largest monsoon system on the globe. Although it is regional phenomenon, it exerts significant influence on the global climate. The extremely large size of Asian Monsoon system is considered as having been caused by the presence of Himalaya and Tibetan Plateau (HTP). The large size and high altitude of HTP resulted in higher temperature at ca. 5000 m altitude compared to the surrounding area during summer that resulted in ascending air and development of low pressure cell over the plateau. Topographic effect could be also important to enhance summer monsoon. Large size of Asian continent enhanced cooling over continent during winter, resulted in development of high pressure cell known as Siberian High. HTP plays a role of topographic barrier that keeps Siberian High stronger and stable. Consequently, presence of HTP could have been playing a crucial role to strengthen Asian Monsoon. If correct, uplift of HTP could have resulted in intensification of Asian Monsoon.

Climatic simulations can be used to test the hypothesis that uplift of HTP has intensified Asian Monsoon if uplift history of HTP is known well. However, timings, modes, and magnitudes of HTP uplift have been poorly understood until recently. Situation is rapidly improved recently due to accumulation of thermo-chronological data from the various parts of HTP. Namely, collision of Indian Subcontinent against Eurasian Continent approximately at 40 Ma caused the 1st phase of Tibetan uplift that raised southern Tibet close to the present height by 35 Ma. From 25 Ma to 15 Ma, Main Central Thrust (MCT) and South Detachment System (STDS) in frontal Himalaya were activated and lower crust was extruded and eroded extensively. Approximately at 15 Ma, these fault system ceased their movements and east-west extension started in Tibet. From 15 Ma to 10Ma is the 2nd phase when Tibetan Plateau grew southeastward and possibly also northward. The 3rd phase of uplift started from approximately 5 Ma when northwestern Tibet, TienShan and Altai Mountains uplifted. Using this uplifting history of HTP as a boundary condition, it is possible to estimate what kind of paleoclimatic changes are expected in response to these 3 uplift phases based on climate simulation results.

In this presentation, I will review a recent progress in researches on tectonics-climate linkage as HTP uplift and Asian Monsoon evolution as an example.

キーワード: モンスーン, ヒマラヤ-チベット, テクトニクス-気候リンクージ, 東アジア, 日本海, 偏西風ジェット
Keywords: Monsoon, Himalaya-Tibet, Tectonics-Climate Linkage, East Asia, Japan Sea, Westerly Jet

Pre-Miocene Birth of the Yangtze River Pre-Miocene Birth of the Yangtze River

ZHENG, Hongbo^{1*} ; CLIFT, Peter¹ ; WANG, Ping¹ ; TADA, Ryuji¹ ; JIA, Juntao¹ ; HE, Mengying¹ ; JOURDAN, Fred¹
ZHENG, Hongbo^{1*} ; CLIFT, Peter¹ ; WANG, Ping¹ ; TADA, Ryuji¹ ; JIA, Juntao¹ ; HE, Mengying¹ ; JOURDAN, Fred¹

¹Nanjing Normal University

¹Nanjing Normal University

The development of fluvial systems in East Asia is closely linked to the evolving topography following India-Eurasia collision. Despite this, the age of the Yangtze River system has been strongly debated, with estimates ranging from 40?45 Ma, to a more recent initiation around 2 Ma. Here, we present new ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages from basalts interbedded with fluvial sediments from the lower reaches of the Yangtze together with detrital zircon U/Pb ages from sand grains within these sediments. We show that a river containing sediments indistinguishable from the modern river was established before ~23 Ma. We argue that the connection through the Three Gorges must post-date 36.5 Ma because of evaporite and lacustrine sedimentation in the Jiangnan Basin before that time. We propose that the present Yangtze River system formed in response to regional extension throughout eastern China, synchronous with the start of strike-slip tectonism and surface uplift in eastern Tibet and fed by strengthened rains caused by the newly intensified summer monsoon. Birth of the eastward flowing Yangtze River around the Oligocene/Miocene boundary changed largely the 'source to sink' regime in the East Asia-West Pacific region

キーワード: Yangtze River, birth, Tibetan Plateau, drainage capture, Asian monsoon

Keywords: Yangtze River, birth, Tibetan Plateau, drainage capture, Asian monsoon

The missing volcanic record captured by dispersed ash in sediment of the Japan Sea/East Sea and NW Pacific Ocean

The missing volcanic record captured by dispersed ash in sediment of the Japan Sea/East Sea and NW Pacific Ocean

MURRAY, Richard^{1*}; SCUDDER, Rachel P.¹; DUNLEA, Ann G.¹; IKEHARA, Ken²; IRINO, Tomohisa³; TADA, Ryuji⁴; ALVAREZ-ZARIKIAN, Carlos A.⁵; KUTTEROLF, Steffen⁶; SCHINDLBECK, Julie⁶; SCIENTIFIC PARTY, Expedition 346⁵

MURRAY, Richard^{1*}; SCUDDER, Rachel P.¹; DUNLEA, Ann G.¹; IKEHARA, Ken²; IRINO, Tomohisa³; TADA, Ryuji⁴; ALVAREZ-ZARIKIAN, Carlos A.⁵; KUTTEROLF, Steffen⁶; SCHINDLBECK, Julie⁶; SCIENTIFIC PARTY, Expedition 346⁵

¹Boston University, ²Geological Survey of Japan, ³Hokkaido University, ⁴University of Tokyo, ⁵IODP-TAMU, ⁶GEOMAR, Kiel

¹Boston University, ²Geological Survey of Japan, ³Hokkaido University, ⁴University of Tokyo, ⁵IODP-TAMU, ⁶GEOMAR, Kiel

Volcanic ash in marine sediment provides a wealth of information not only about volcanism and arc evolution, but also potentially regarding climate change, geochemical mass balances, hydration of marine sediment during alteration, the geodynamics of subduction zones, and other key components of the earth-ocean-atmosphere system. Ash occurs both as discrete *layers* as well as isolated grains and shards *dispersed* throughout the bulk sediment, and with highly variable grain sizes.

The study of this dispersed component has lagged behind the sedimentologic and chemical assessment of the ash layer record. For example, while decades of smear-slide studies of bulk sediment in volcanic-rich regimes have presented visual estimations of the abundance of volcanic glass, shards, and other components, the quantitative importance of the dispersed ash or cryptotephra remains largely unconstrained on local, regional, and global scales. Also, compared to the often visually stunning ash layer records, which in certain settings can leave single layers with thicknesses of 10s of cm, the dispersed ash component and cryptotephra are unable to be visually differentiated from detrital clay.

We summarize here preliminary results regarding the distribution, composition, and accumulation of dispersed ash in sediment from the Japan Sea/East Sea (gathered during IODP Expedition 346, Asian Monsoon, and ODP Legs 127/128), and compare it to the record provided by discrete ash layers. We will interpret our work in the context of our ongoing studies of dispersed ash throughout the northwest Pacific, Nankai, and Izu-Bonin regions, which is based on sediment from DSDP/ODP/IODP Sites 52, 444, 579/581, and 1149, as well as from Sites C0011 and C0012.

Multivariate statistical treatments are an integral part of our approach, as the bulk determination of the major, trace, and REEs provides the chemical context for our determination of provenance, and the statistical models allow distinctive resolution of the different aluminosilicate components based on their individual geochemical signature(s). A corollary benefit of our approach is an improved determination of the eolian component, as we are able to discern how contributions of dispersed ash have been inadvertently attributed to the eolian aluminosilicate inventory. Q-mode Factor Analysis can help determine the number, and composition of, potential end member contributions. Applying these results in conjunction with Total Inversion, a linear regression technique, allows determination of the compositional variation of these end members.

Consistent with the qualitative smear-slide estimates, in these ash rich regions we find that the dispersed component can account for up to 40% of the total sediment. We are able to document abundances to a relatively high degree of precision (+/- 3-5%) on a sample-by-sample basis, and are further able to distinguish between different chemistries of the dispersed component, and document sources that change through time and space. In addition to providing an overview of “ the missing volcanic record ”, we will discuss some ongoing challenges, including how to best examine the relationship between the composition of the discrete ash layers compared to the discrete component, and what information can be gained from examining similarities and differences between their respective sources.

キーワード: volcanic ash, sediment chemistry, Japan Sea, East Sea, volcanism
Keywords: volcanic ash, sediment chemistry, Japan Sea, East Sea, volcanism

MIS01-04

会場:314

時間:4月29日 15:10-15:25

日本海堆積物中のテフラ：対比・層序と火山活動史
Tephrochronology and evolution of volcanic activities in Japanese islands during late
Cenozoic

池原 研^{1*}

IKEHARA, Ken^{1*}

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹ Geological Survey of Japan, AIST

日本海のテフラ研究についてレビューし、その古海洋・古気候研究における重要性について紹介する。

キーワード: テフラ, 日本海, 層序

Keywords: tephra, Japan Sea, stratigraphy

東アジア縁海の半遠洋性堆積物中に含まれる風成塵の同定 Identification of Asian dust in hemipelagic sediments of East Asian marginal seas

入野 智久^{1*}
IRINO, Tomohisa^{1*}

¹ 北海道大学
¹Hokkaido University

Detrital fraction contained in marine sediments can be generally used as climate proxies because variations in provenance and mineralogy could be affected by the precipitation distribution and weathering intensity. Element composition of marine sediment is essentially controlled by the mineral composition that is also affected by sorting effect during their transport process. The inland deserts such as Taklimakan and Gobi are large detrital sources for the East Asian marginal seas, and the detrital fraction in the sediments collected from the abyssal part of the Japan Sea / East Sea has been regarded as the mixture of eolian dust and the detritus derived from the Japan Arc. This feature can be used to reconstruct the variability of provenance and transport pathway of detrital fraction in the sediments. Relative contribution of dust from Taklimakan / Gobi could be strongly affected by dust availability in source area and wind system transporting the dust. Major changes in such detrital provenance are more easily reconstructed from the proximal soil record at loess plateau, where many provenance studies have been conducted. Loess can be classified into two types based on their element composition. One is typical loess distributed close to desert area. The other is peripheral soil (weathered loess) distributed surrounding typical loess and desert area. Weathered loess is distributed in the northeastern and southern China in modern times. Spatial distribution of these two types of soils have been also changed from time to time. In order to detect the change in provenances and interpret the terrestrial environment using detrital proxies in the marginal sea sediments, it is necessary to know the variability or range of the element and mineral composition of a particular provenance during the targeted time periods as well as the sorting biases during the transportation.

キーワード: 半遠洋性堆積物, 風成塵, 供給源, 鉱物組成, 元素組成, 同位体組成
Keywords: hemipelagic sediment, aeolian dust, provenance, mineral composition, element composition, isotope composition

Carbon and Sulfur Cycling in Shallowly Buried Sediment of the Japan Sea/East Sea Carbon and Sulfur Cycling in Shallowly Buried Sediment of the Japan Sea/East Sea

DICKENS, Gerald^{1*}; KINSLEY, Christopher W.²; DUNLEA, Ann G.³; ANDERSON, William A.⁴; DA COSTA GURGEL, Marcio H.⁵; LEE, Kyung eun⁶; MURRAY, Richard W.³; TADA, Ryuji⁷; ALVAREZ ZAREKIAN, Carlos⁸; EXPEDITION 346, Scientific party⁸
DICKENS, Gerald^{1*}; KINSLEY, Christopher W.²; DUNLEA, Ann G.³; ANDERSON, William A.⁴; DA COSTA GURGEL, Marcio H.⁵; LEE, Kyung eun⁶; MURRAY, Richard W.³; TADA, Ryuji⁷; ALVAREZ ZAREKIAN, Carlos⁸; EXPEDITION 346, Scientific party⁸

¹Rice University, ²Massachusetts Institute of Technology, ³Boston University, ⁴Florida International University, ⁵Universidade de Sao Paulo, ⁶Korea Maritime University, ⁷University of Tokyo, ⁸Texas A&M University

¹Rice University, ²Massachusetts Institute of Technology, ³Boston University, ⁴Florida International University, ⁵Universidade de Sao Paulo, ⁶Korea Maritime University, ⁷University of Tokyo, ⁸Texas A&M University

Continental slopes cover about 10% of Earth's surface and represent the primary repository for sediment and organic carbon accumulation on long-time scales. For decades, the geochemical community has introduced and discussed various models for how ocean carbon and sulfur chemistry changes over time. Remarkably, in most of these models, the seafloor on continental slopes is either absent or passive. In the latter case, the prevailing view is as follows. During burial, organic carbon passes through a gauntlet of microbially mediated reaction in shallow sediment, especially including organoclastic sulfate reduction and methanogenesis. Although these reactions generate dissolved species (HCO₃⁻, HS⁻, CH₄), burial fluxes exceed those of upward advection or diffusion. The end process, therefore, is accumulation of remnant solid organic carbon, authigenic carbonate, and authigenic Fe-sulfides. As suggested in several recent papers, this view may be incorrect. Instead, on the slope, a good fraction of solid organic carbon bypasses organoclastic sulfate reduction to produce dissolved inorganic carbon, dissolved organic carbon, and methane at depth. Large portions of these species return toward the seafloor because upward dissolved fluxes exceed burial. However, upward migrating methane reacts with dissolved SO₄²⁻ to produce HCO₃⁻ and HS⁻ via AOM in shallow sediment. The end process is still accumulation of remnant solid organic carbon, authigenic carbonate, and authigenic Fe-sulfides, but the fluxes are linked through the formation, storage and consumption of methane.

It is entirely possible that variations in methane cycling within slope sediments drive significant long-term and short-term changes in ocean carbon and sulfur concentrations. To entertain this idea, however, the broad Earth Science community needs quantified fluxes of solid and dissolved components from appropriate settings. One current problem is that very few locations on continental slopes that have detailed pore water profiles extending 200 m below the seafloor with companion sedimentary records.

IODP Expedition 346 drilled multiple holes at seven sites across the Japan Sea/East Sea. The primary objective behind this cruise was late Neogene and Quaternary paleoceanography: more specifically, to reconstruct changes in surface and deep ocean water properties, riverine outflow, and dust input over the last 5-10 million years, which might be linked to the evolution and temporal differences in the Asian monsoon system. One interesting outcome of this goal was that the sites span a wide range of slope environments with considerable variation in organic carbon accumulation. Another was exquisite sediment recovery, with spliced cores between holes giving complete records from the seafloor to several hundred meters.

Expedition 346 provided a golden opportunity to chase the dynamic geochemical cycling of carbon and sulfur on continental margins. Using a combination of rhizon sampling and whole round squeezing, about 680 pore water samples were collected at the seven sites and analyzed for a broad array of dissolved species. The shipboard pore water geochemistry profiles generated on Expedition 346 are truly remarkable in terms of species examined, their detail across zones of chemical reaction, and the ability to directly couple them to the sedimentary record. Here, on behalf of the Expedition 346 scientists, we discuss the generation of the pore water profiles and their significance to carbon and sulfur cycling on continental slopes. For example, at Site U1427, there is no question as to the dominant process and where species are being produced and consumed in shallow sediment. Upward migrating CH₄ is reacting with SO₄²⁻ via AOM to produce HCO₃⁻ and HS⁻, the first product leaking to the seafloor, the latter product being consumed into sulfide minerals.

MIS01-06

会場:314

時間:4月29日 15:40-16:00

キーワード: Methane, AOM, carbon cycle, sulfur cycle
Keywords: Methane, AOM, carbon cycle, sulfur cycle

日本海における *N.incompta* の Mg/Ca 古水温計と完新世気候復元への適用 N.incompta Mg/Ca-paleothermometry in the Japan Sea and its application to Holocene climate reconstruction

堀川 恵司^{1*}; 小平 智弘¹; 池原 研²; 村山 雅史³; 張 勁¹

HORIKAWA, Keiji^{1*}; KODAIRA, Tomohiro¹; IKEHARA, Ken²; MURAYAMA, Masafumi³; ZHANG, Jing¹

¹ 富山大学, ² 産業技術総合研究所, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター

¹University of Toyama, ²AIST, ³The Center for Advance Marine Core Research, Kochi University

We present new core-top calibration for *Neogloboquadorina incompta* Mg/Ca-paleothermometry in the Japan Sea using 15 core-top surface sediments taken from the southern Japan Sea. Using this new Mg/Ca-paleothermometry, we generate the first high-resolution Mg/Ca-derived SST record for the past 7000 years from the sediment core (YK10-7-PC09) taken from 738 m water depth off Niigata. The age model for core YK10-7-PC09 was based on 8 AMS ¹⁴C data of mixed planktic foraminifera, and the conventional ¹⁴C ages were converted to the calendar ages using Marin13 and delta R of 0±100 yr. Trace metal/Ca ratio of *N.incompta* was measured by a SF-ICP-MS (Thermo Fisher Element II) and the precision (1sigma) of Mg/Ca ratios of the international CaCO₃ standard (BAM-RS3) was 0.786±0.008 (n=100).

We have performed paired analyses of δ¹⁸O_c and Mg/Ca ratios of *N. incompta* at 15 sites. First, to calculate the mean temperatures of waters in which the foraminiferal shells were formed (i.e., calcification temperature), we have used modern local salinity and temperature data (<http://www.jodc.go.jp/>) in the following paleotemperature equation; T (°C) = 21.4-4.19×(δ¹⁸O_c-δ¹⁸O_{sw}) + 0.05×(δ¹⁸O_c-δ¹⁸O_{sw})² (Oba, 1980). The δ¹⁸O_{sw} was calculated from the following salinity-δ¹⁸O_{sw} equation in the Japan Sea (δ¹⁸O_{sw} (‰ VSMOW) = 0.27×Salinity-8.98; this study). The comparison of the predicted δ¹⁸O_c values with the measured δ¹⁸O_c shows that *N. incompta* shells were formed at 0-125 m water depths from June to December in the Japan Sea. Given that previous studies show that *N.incompta* dwells in the shallow waters (<100 m) in November to December (Kuroyanagi and Kawahata., 2004; Sagawa et al., 2013), we calculated the calcification temperatures at each site assuming shells were formed in November to December. The cross plot of the calcification temperatures and the Mg/Ca ratios for our core-top samples gives the following equation; Mg/Ca (mmol/mol) = 0.361×exp (0.043×Temp).

Using this new Mg/Ca-paleothermometry, the 7000-years *N.incompta* Mg/Ca records (0.6 to 0.9 mmol/mol, n=127) from core YK10-7-PC09 were converted to the temperature record. Compared to the present winter SST of ca.15 °C, the 7000-year SSTs varied from 13.5 °C to 20.8 °C. We identified four periods (ca.6000 yr BP, 4000-3500 yr BP, 3000-2300 yr BP, and 800 yr BP) that were warmer than the present and distinct colder periods at ca.4500 yr BP and ca.1500 yr BP than the present. This SST variability for the past 7000 years was almost consistent with the record of relative abundance of *F.doliolus*, which is the dominant species in the Tsushima Current (Koizumi et al., 2006). This finding indicates that the Tsushima Current influx might have changed with time and altered the heat transport into the Japan Sea, and probably induced significant changes in terrestrial precipitation and vegetation over the northern part of Japan facing the Japan Sea.

Keywords: Japan Sea, Holocene climate change, Mg/Ca-paleothermometry, Tsushima Current, *Neogloboquadorina incompta*

Shallow water environmental change in the Sea of Japan during the last 30 kyr deduced from foraminiferal isotopes
Shallow water environmental change in the Sea of Japan during the last 30 kyr deduced from foraminiferal isotopes

佐川 拓也^{1*}; 内田 昌男²; 村山 雅史³; 多田 隆治⁴
SAGAWA, Takuya^{1*}; UCHIDA, Masao²; MURAYAMA, Masafumi³; TADA, Ryuji⁴

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²国立環境研究所, ³高知大学海洋コア総合研究センター, ⁴東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ²National Institute for Environmental Studies, ³Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ⁴Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

The Sea of Japan is a marginal sea that connects with North Pacific and adjacent marginal seas by four shallow straits. Because water depth of the deepest straits today is ~130 m (Tsushima Strait and Tsugaru Strait), environments of Sea of Japan have been strongly affected by sea level fluctuations related to the glacial-interglacial cycles. Previous studies report that foraminiferal oxygen isotope variation from Sea of Japan is distinct from that commonly seen in seas of the world. Since Sea of Japan is nearly isolated from adjacent seas during the glacial maxima, salinity of surface water significantly decreases, and therefore foraminiferal isotopes show the lowest values due to the unique fresh water balance. The peak value of oxygen isotope is ~0.5 per mil at the last glacial maximum, which is ~2.5 per mil lighter than at 30 ka. We review literature data and present new results of two sediment cores from northeastern and southern part of Sea of Japan. The new data from southern core has ~70-yr resolution and shows abrupt shift that may correspond to abrupt climate change reported from the Greenland ice core and Asian monsoon proxy data of Chinese Cave and Loess. The new results suggest that the surface environment of Sea of Japan is sensitive to eustatic sea level change as well as abrupt climate changes.

Keywords: Sea of Japan, oxygen isotope, planktonic foraminifer

鮮新世—更新世移行期における日本海の海洋循環変化：微化石に残された痕跡
Micropaleontological evidence of oceanic circulation changes in the Japan Sea during
Pliocene to Pleistocene transition

板木 拓也^{1*}
ITAKI, Takuya^{1*}

¹ 産業技術総合研究所
¹ Geological Survey of Japan, AIST

Oceanic circulation in the Japan Sea is characterized by flowing of the Tsushima Warm Current and deep-water formation during the interglacial periods, while deep circulation was stagnant due to weakened deep convection with development of the low salinity surface water during the glacial periods. Such cycles of oxic and anoxic deep-water conditions recorded in sediments as alternations of light and dark hemi-pelagic mud layers occurred since ca. 2.5 Ma near Pliocene to Pleistocene transition. The results of micropaleontological studies from previous ocean drilling sites and many onshore sequences have provided various insights into oceanic changes related to global climatic and regional tectonic events during Pliocene to Pleistocene.

Fossil records of shallow dwelling plankton and shelf related benthos are composed of the assemblage associated with upper water environments. Warm-water ostracods and molluscs are rarely recognized from onshore sequences in Japan along the Japan Sea side during the Pliocene climatic optimum (3.2 to 2.7 Ma), and they were most likely associated with subtropical water mass entered from the southern strait. However, planktonic foraminiferal and radiolarian assemblages in hemipelagic sediments suggest that the warm-temperate water was originated from the northern strait during this period. Such conflict interpretation could be explained by a characteristic surface circulation, which was composed of two different water sources from the northern and southern straits. The warm water mass from the southern strait was restricted flowing along the Japanese coastal area, while another water mass from the northern strait was present offshore areas of the sea. Abundance of cold-water calcareous nannofossil species increased significantly at 2.75 Ma corresponding to the global cooling. In this period, ostracode assemblage also indicates cooling in the intermediate water. According to planktonic foraminifers and radiolarians, significant inflow of the subtropical water from the southern strait started at 1.7 Ma, which might be related to the deepened Tsushima Strait and the Okinawa Trough (ca. 2 Ma).

Deep-water environments in the Japan Sea are little known compared with that of shallow environments. Benthic foraminifers in deep-sea sediments changed their faunal composition from agglutinated fauna to calcareous fauna through 3 to 2 Ma. Similarly, deep-water radiolarians show faunal replacement from the Pacific-type deep dwellers to the Japan Sea-type deep dwellers at ca. 2.6 Ma. Such faunal changes recognized from benthic foraminifers and radiolarians imply that the unique deep-water circulation in the Japan Sea was formed with geographical isolation from the Pacific deep water. In actual, this timing is almost coincident with beginning of oxic and anoxic cycles in the Japan Sea. It is likely resulted from either the global cooling or local tectonic motion during the Pliocene to Pleistocene transition.

キーワード: 微古生物学, 古海洋学, 地球規模寒冷化, 構造運動, 対馬海流, 深層水

Keywords: Microfossils, Paleoceanography, Global cooling event, Tectonic event, Tsushima Warm Current, Deep water

Evolution of the Kuroshio Current and its impact on East Asian marginal seas Evolution of the Kuroshio Current and its impact on East Asian marginal seas

LEE, Kyung eun^{1*}

LEE, Kyung eun^{1*}

¹Korea Maritime and Ocean University

¹Korea Maritime and Ocean University

Quaternary is characterized by the onset of the Quaternary ice ages as well as the progressive cooling of the high latitude. Many proxy records from high latitude evidence this. On the other hand, records from low latitudes indicate that the sea surface temperature of the tropical warm pool regions remained relatively stable during the last 4 Ma. Hence these suggest a dramatic increase in the zonal (west?east) and meridional (north?south) gradients in sea surface temperature, which was accompanied by a progressive cooling of the water upwelled along the eastern margins of the Pacific. It is most likely believed that the evolution of the west-east and north-south temperature gradients in the North Pacific is closely related to the evolution of the western boundary current and North Pacific subtropical gyre during the Plio-Pleistocene. It, in turn, caused changes in weather and climate patterns of East Asian margins. In this presentation, previously published data and hypothesis will be reviewed to clarify future researches related to these.

キーワード: Kuroshio, North Pacific Subtropical Gyre, sea surface temperature

Keywords: Kuroshio, North Pacific Subtropical Gyre, sea surface temperature

過去2万6千年間の北西亜熱帯太平洋における中深層水循環
Variations in intermediate water and ocean circulation during the last 26 ka based on a
new benthic Mg/Ca calibration

久保田 好美^{1*}; 木元 克典²; 板木 拓也³; 横山 祐典⁴; 松崎 浩之⁵

KUBOTA, Yoshimi^{1*}; KIMOTO, Katsunori²; ITAKI, Takuya³; YOKOYAMA, Yusuke⁴; MATSUZAKI, Hiroyuki⁵

¹ 国立科学博物館, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 東京大学 大気海洋研究所 海洋底科学部門
/地球表層圏変動研究センター, ⁵ 大学院工学系研究科 原子力国際専攻

¹National Museum of Nature and Science, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Geological Survey of
Japan, AIST, ⁴Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ⁵School of engineering, University of Tokyo

In order to understand variations in ocean circulation at intermediate depth in the North Pacific in subtropical area, bottom water temperatures (BWT), carbon isotope of benthic foraminifera, and oxygen isotope of seawater were reconstructed since 26 ka off east main Okinawa Island, northwestern Pacific. A new regional Mg/Ca calibration for benthic foraminifera *Cibicides wuellerstorfi* was established in order to convert benthic Mg/Ca value to temperature, based on twenty-nine surface sediment samples, including core top samples, retrieved around main Okinawa Island. On the other hand, in order to reconstruct changes in water properties since 26 ka, core GH08-2004 that was retrieved from water depth of 1166 m off east main Okinawa Island was used in this study. As a result, during the LGM from 24 ka to 18 ka, BWT showed relatively constant as approximately 2 °C, which was ~1.5-2 °C lower than today. One of the prominent features of our BWT records was a millennial scale variation in BWT during the last deglaciation. During the last deglaciation, BWT was higher in Heinrich Stadial 1 (H1) (~17 ka) and Younger Dryas (YD) (~12 ka), while lower in Bølling/Allerød (BA) interval (~14 ka). During the interval from 17 to 15 ka, BWT tended to decrease in association with a decrease in carbon isotope of *C. wuellerstorfi*, likely interpreted as increased upwelling of the older water mass that was stored in the abyssal Pacific during the glacial time. The timing of the signal of the upwelling coincided with deglacial atmospheric CO₂ rise initiated at ~17 ka, suggesting the increased upwelling in the subtropical northwestern Pacific from 17 to 15 ka contributes the carbon release to the atmosphere from the Pacific.

北太平洋亜熱帯ジャイアの長期発達史：第四紀後期の記録からの予測 Long-term evolution of the North Pacific subtropical gyre: Implication from the late Quaternary record

氏家 由利香^{1*}

UJIIE, Yurika^{1*}

¹ 信州大学理学部生物科学科

¹ Faculty of Science, Shinshu University

The North Pacific subtropical gyre drives a transportation of huge amount of heat from low to high latitude area to maintain warm climate in the northwestern Pacific area. This gyre system largely controls the zonal temperature gradient and west-east asymmetric climate, currently observed in the Pacific Ocean. The stepwise enhancement of these temperature gradients has partly been observed in the equatorial and east Pacific area since the late Pliocene. However, a lack of long-term observation in the west Pacific Ocean impedes a better understanding of the development of the Pacific climate.

The Kuroshio Current, flowing from the Okinawa Trough to eastward off the Japan, act as a heat-transfer along the North Pacific subtropical gyre margin. The variation in this surface current would reflect to the changes of the West Pacific climate. Especially, the Okinawa region is an ideal place for paleoenvironmental reconstruction, as (1) the Kuroshio Current shows an oscillation with surrounding water masses and (2) the sediments are buried in high rate. Through the short-term paleoceanographic records in the Okinawa region, the planktonic foraminiferal assemblage showed the decrease of the Kuroshio indicator and increase of the coastal- and cold-water masses indicators under the modern Kuroshio path (the East China Sea) during MIS 2. Interestingly, the long-term record, which was the first to cover the past 200 kyrs in this region, represented different oceanic condition during MIS 6. The indicator of the upper intermediate water in the subtropical gyre increased over whole of the Okinawa region at this time. Moreover, the Mg/Ca paleo-temperatures in the surface and upper intermediate layers showed that warming in the upper intermediate layer was continuing from MIS 6 to MIS 5e, while warming in this layer was rapidly stopped at MIS 2. Both records of the paleo-temperature and planktonic foraminiferal assemblage congruently suggest the development of the intermediate water in the North Pacific subtropical gyre during MIS 6, instead of the dominance of cold water mass observed during MIS 2. The intermediate water has likely been undergone an independent process from the changes of the surface water masses at least by MIS 5. Even the 200 kyrs record successfully inferred two different glacial mechanisms of MIS 2 and 6, associating with the changes of surface water masses and deeper waters. Future study with longer record will lead a comprehensive understanding how the modern water column structure has been developed in the Pacific Ocean.

キーワード: 北太平洋亜熱帯ジャイア, 黒潮, 水柱構造, 更新世

Keywords: North Pacific subtropical gyre, Kuroshio, water column structure, Pleistocene

日本海における後期鮮新世の海洋構造の変化 Changes of water structures in the Sea of Japan during the Late Pliocene

山田 桂^{1*}; 入月 俊明²
YAMADA, Katsura^{1*}; IRIZUKI, Toshiaki²

¹ 信州大学, ² 島根大学
¹Shinshu University, ²Shimane University

現在の日本海は、北上した対馬暖流が北部で冷やされて沈み込み、酸素に富んだ日本海固有水を生み出している。この沈み込みは約 2.5 Ma 頃の表層水の冷却と沈降に伴い、はじめて形成されたと考えられている (上栗・本山, 2007)。しかし、その詳細な時期の特定や水温変化は不明である。また、後期鮮新世の間氷期には、現在より暖かい中層水が存在したことが貝形虫化石群集から指摘されている (Irizuki et al., 2007) が、その具体的な水温には幅がある。そこで本研究では、貝形虫殻の Mg/Ca を用いて、浅海と中層の水温を定量的に復元し、その差から温度勾配や海洋構造を明らかにすることを目的とした。

試料は新潟県胎内市の胎内川沿いに段丘崖を形成する鍬江層から連続的に採取した。海洋酸素同位体比ステージ (MIS) G19-G13 の層準について、中層水種である *Krithe* 属および浅海種の *Cytheropteron miurense* と *Cytheropteron sawanense* を用いて、殻の Mg/Ca から水温を定量的に復元した。中層および浅海の水温とその変動は MIS G16 を境に大きく変化した。中層水温は MIS G19-G16 は 0-10 °C と短い周期で大きく変動したのに対し、MIS G15-G13 は 3-7 °C と比較的安定していた。また、浅海水温は G16 以前は中層水温より高い値を示したのに対し、G15 以降は中層水温と近い水温を示す傾向が認められた。これらのことから、G19-G16 は日本海に存在した浅海から中層水域の成層構造が明瞭であったが、G15-G13 は鉛直混合が強化され、温度勾配が緩くなり水温変動がより小さくなったことが推察される。MIS 15-G13 はそれ以前と比べて間氷期の酸素同位体比が小さいことから、世界的寒冷化に伴い、間氷期に表層水温が低下したことに起因するかもしれない。

キーワード: 日本海, 後期鮮新世, 貝形虫, Mg/Ca, 海洋構造
Keywords: Sea of Japan, Late Pliocene, ostracode, Mg/Ca, water structure

中期中新世女川層に見られる堆積リズム Sedimentary Rhythms in the Middle Miocene Onnagawa Formation in Northern Japan

黒川 駿介^{1*}; 多田 隆治¹; 高橋 聡¹; 水谷 茜¹; 久保木 結¹
KUROKAWA, Shunsuke^{1*}; TADA, Ryuji¹; TAKAHASHI, Satoshi¹; MIZUTANI, Akane¹; KUBOKI, Yui¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

中新世中期から後期にかけて、層状珪質岩を主体とする地層が環太平洋域に広く出現する。アメリカ、カリフォルニア州の海岸沿いに分布するモンテレー層や東北日本の女川層などがその代表例である。女川層は、“硬軟互層”と呼ばれる、比較的硬いポーセラナイトと比較的軟らかい珪質泥岩の互層を主体とし、平行葉理が比較的よく保存された白黒のポーセラナイトの細互層がその下部に見られる。女川層に見られるこうした硬軟互層や明暗互層の堆積リズムは、センチメートルからメートルスケールの堆積リズムを示す事が知られており、メートルスケールのリズムは、ミランコビッチサイクルに駆動された海水準変動に伴って変化する日本海内の水塊構造の変化を反映していると解釈されているが (Tada, 1991)、一方、センチメートルスケールの互層については、千年スケールの変動を反映する事は明らかにされているものの、その変動の成因や周期構造については未だ解明されていない。

そこで本研究では、女川層に刻まれる明暗互層の成因や周期構造を解明し、日本海の水塊構造の変化、そしてグローバルな環境変動との関連性を解明することを目指す。そのために、まず女川層の連続柱状図を作成し、微化石やサイクル層序から詳細な年代モデルの構築を行っている。その上で、女川層の珪質岩の化学分析を行い、シリカフラックスと碎屑物フラックスを割り出す。各フラックスの時間変動から日本海の水塊構造について議論し、グローバルな環境変動と比較することを計画している。

発表では、秋田県矢島町で行ったフィールド調査の結果について紹介する。

キーワード: 中新世, 女川層, 堆積リズム

Keywords: Miocene, Onnagawa formation, Sedimentary rhythm

水月湖における、色・化学組成データに基づく過去二万年間のハス川起源碎屑物フラックス変動復元 Reconstruction of detrital flux to Lake Suigetsu during the past 20kyrs based on Color and XRF data

鈴木 克明^{1*}; 多田 隆治¹; 中川 毅²; 長島 佳菜³; 原口 強⁴; 五反田 克也⁵; 入野 智久⁶; 杉崎 彩子¹; SG12/06 プロジェクトメンバー⁷

SUZUKI, Yoshiaki^{1*}; TADA, Ryuji¹; NAKAGAWA, Takeshi²; NAGASHIMA, Kana³; HARAGUCHI, Tsuyoshi⁴; GOTANDA, Katsuya⁵; IRINO, Tomohisa⁶; SUGISAKI, Saiko¹; SG12/06, Project members⁷

¹ 東京大学, ² ニューカッスル大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 大阪市立大学, ⁵ 千葉商科大学, ⁶ 北海道大学, ⁷ SG12/06 プロジェクト

¹ Univ. Tokyo, ² Univ. Newcastle, ³ JAMSTEC, ⁴ Osaka City University, ⁵ Chiba University of Commerce, ⁶ Hokkaido University, ⁷ SG12/06 Project

水月湖は、湖底堆積物に存在する年縞の計数、多数の¹⁴C測定と、これらの結果を中国鍾乳石の記録とウイグルマッチングすることで得られた、非常に高精度な年代モデルで知られている。この特徴を活かせば、超高精度で時間解像度の高い過去の気候変動史を復元することができる。水月湖堆積物をもちいて、これまで花粉や珪藻分析による古気候研究が行われてきた。しかし、堆積物中の碎屑物に着目した研究は少なかった。これは、水月湖に流入する堆積物が風成塵、湖周辺斜面からの流入物、隣接する三方湖を介してハス川から流入する河川起源懸濁物の3種類から構成されると考えられ、これらの識別が困難であるという理由からである。しかし、我々の最近の研究から、ハス川起源碎屑物の寄与率を推定する方法が明らかになった（古気候・古海洋変動セッションでの発表#01575を参照）。

本研究では、ハス川から流入する碎屑物のフラックスについて、色データを使って主要元素の因子分析から得られた因子の含有量を推定することにより過去二万年間の変動の高解像度復元を試みた。

まず、Qモード因子分析と因子軸の斜交回転により、主要元素組成の分散を説明できる因子を推定した。この結果、4つの因子が抽出され、因子2の特徴はハス川起源懸濁物と類似していることがわかった。次に、主要元素組成のデータ数には限りがあるため、因子2の寄与率をより高精度で測定がなされている色データを使って、因子2負荷量（含有量）との間で重回帰分析を行い、両者の関係式を導出した。

因子2のフラックスは、因子2含有量の推定値、乾燥かさ密度、堆積速度の積によって求めた。フラックス変動には長期・短期的なトレンドが存在し、短期変動はフラックスの急激な増加とその後の緩やかな減少という特徴を持ち、地震を示すと考えられている「イベント層」と同時に発生していた。長期変動（ハス川からの河川水流出量、すなわち降水量を反映すると思われる）は、中国鍾乳石から得られた東アジアモンスーン強度の変動と逆のトレンドを示した。この結果は、南中国において降水量が多い時期に、水月湖周辺では降水量が減少していた可能性があることを示唆する。

キーワード: 水月湖, 退氷期, 完新世, 因子分析, 重回帰分析

Keywords: Lake Suigetsu, Deglaciation, Holocene, Factor analysis, Multi-regression analysis

過去15万年間の東アジア冬季モンスーン変動 The East Asian winter monsoon variability during the past 150,000 years

山本 正伸^{1*}; 齋 博貴¹; 陳 明德²; 趙 美訓³

YAMAMOTO, Masanobu^{1*}; SAI, Hirofumi¹; CHEN, Min-te²; ZHAO, Meixun³

¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究院, ² 国立台湾海洋大学, ³ 中国海洋大学

¹Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, ²National Taiwan Ocean University, ³Ocean University of China

東アジア冬季モンスーンの軌道強制に対する応答はいまだ明らかではない。本研究では、南シナ海と西部太平洋暖水塊地域の水温差を東アジア冬季モンスーンのプロキシとしてみなし、過去15万年間の東アジア冬季モンスーン変動を復元した。水温差変動は歳差運動周期を示し、モンスーンが低緯度域日射変動に応答するとする Kutzbach (1981) の仮説と調和的であったが、モンスーンが離心率変動に応じるとする従来の海洋堆積物およびレスにもとづく研究の結論とは矛盾した。冬季モンスーンの大極は5月の近日点に対応し、6月近日点で極大になるとする Kutzbach (1981) モデルとは完全には一致しなかった。東アジア冬季モンスーン強度変動はインド夏季モンスーン強度変動とちょうど逆位相である、このふたつのモンスーンのダイナミクスが連携していたことが示唆された。

キーワード: 東アジア冬季モンスーン, 南シナ海, 西太平洋暖水塊, 歳差運動, 水温

Keywords: The East Asian winter monsoon, The South China Sea, The Western Pacific Warm Pool, Precession, Sea surface temperature

(超) 深海堆積物における窒素動態と微生物生態
Geochemical and molecular biological characterization of nitrogen dynamics in (hado)pelagic sediments

西澤 学^{1*}; 平井 美穂¹; 野牧 秀隆¹; 柳川 勝紀¹; 眞壁 明子²; 木庭 啓介²; 布浦 拓郎¹
NISHIZAWA, Manabu^{1*}; HIRAI, Miho¹; NOMAKI, Hidetaka¹; YANAGAWA, Katsunori¹; MAKABE, Akiko²; KOBAYASHI, Keisuke²; NUNOURA, Takuro¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京農工大学

¹JAMSTEC, ²TUAT

Great progress has been made in understanding the nitrogen cycle in oceanic waters by the recent identification of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonia oxidizer (anammox), and by the following comprehensive approaches to clarify the abundance and activity of each component in the nitrogen cycle. However, nitrogen dynamics in marine sedimentary habitats is still uncertain. To further characterize nitrogen dynamics in the deep-sea sediments, we have quantified i) gene abundance of putative nitrifiers, denitrifiers and anammox, and ii) potential rate of denitrification in the hadopelagic sediment cores taken from the Ogasawara Trench (water depth of 9760m). We have also determined nitrogen and oxygen stable isotopic compositions of nitrate in the interstitial water in the hadopelagic sediments. Abundance of potential proteobacterial denitrifiers correlated with that of nitrifiers through the depth, and anammox also likely co-occurred with nitrifiers. Further, nitrate isotope compositions suggest the enrichment of ^{18}O by nitrification process and co-occurrence of nitrification and denitrification in nitrate reduction zone. The data suggest that aerobic and anaerobic processes of the nitrogen cycle coupled in the nitrate reduction zone in the hadopelagic sediments.

深海堆積物表層における硝化菌・嫌氣的アンモニア酸化菌の分布 Niche separation of nitrifiers and anammox in deep-sea sediments.

布浦 拓郎^{1*}; 平井 美穂¹; 西澤 学¹; - ジュリアーニ¹; 野牧 秀隆¹; 菅 寿美¹; 田角 栄二¹; 宮崎 淳一¹; 眞壁 明子²; 木庭 啓介²; 高井 研¹

NUNOURA, Takuro^{1*}; HIRAI, Miho¹; NISHIZAWA, Manabu¹; -, Juliarni¹; NOMAKI, Hidetaka¹; SUGA, Hisami¹; TASUMI, Eiji¹; MIYAZAKI, Junichi¹; MAKABE, Akiko²; KOBA, Keisuke²; TAKAI, Ken¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京農工大

¹JAMSTEC, ²TUAT

これまでに我々は小笠原海溝底の表層堆積物を対象に分子生態解析、地球化学解析を行い、無機窒素循環に関わる主要な微生物機能、即ち硝化、嫌氣的アンモニア酸化 (anammox)、脱窒) の分布について以下の点を明らかにした (Nunoura et al. 2013)。1) アンモニア酸化菌群ではアーキアが、また、亜硝酸酸化菌群では Nitrospina が優占する。2) 堆積物中の硝酸には、堆積物中での硝化の同位体化学的徴候が明瞭に記されている。3) anammox の分布はアンモニア酸化菌による亜硝酸供給に決定される。4) 硝酸還元菌分布の最大は、硝酸の十分に存在する海洋底表層にある。

その一方、上記の現象が全ての海底堆積物で共通する現象であるのかどうか全く明らかではなく、上記の研究は深海表層堆積物中の窒素循環の一端に触れたのみである。本研究では、深海底表層堆積物中における無機窒素循環に関連する微生物機能を決めるルールを明らかにするため、それぞれ堆積物中の化学環境の異なる海域 (マリアナ海溝底、小笠原海溝底、小笠原海溝東方深海平原、日本海溝底、日本海、インド洋) から採取した堆積物試料を用い、同様に硝化菌群及び anammox について定量 PCR を行ない、得られた硝化菌群・anammox の分布と間隙水組成の比較から、海底下における硝化菌及び anammox の分布を決定する要因について検討した。

キーワード: 硝化, 嫌氣的アンモニア酸化

Keywords: nitrification, anammox

深海底熱水噴出域におけるウイルスの生態 Ecology of viruses in deep-sea hydrothermal vents

吉田 ゆかり^{1*}
YOSHIDA, Yukari^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Since the discovery of ubiquitous and highly abundant viruses in aquatic ecosystems, many studies have been conducted to discern the role of viruses within aquatic microbial communities. As a result, viruses are now recognized to be significant components of all aquatic ecosystems. It has been suggested that they affect global nutrient and biogeochemical cycles in the world's oceans, and play a role in regulating abundance and composition of microbial communities. Viruses can also mediate lateral gene transfers and drive the diversification of microbial communities and the co-evolution between viruses and hosts.

Deep-sea hydrothermal vents are sites having great microbial biomass, high productivity, and physiologically and genetically high diversity, contrasting sharply with the surrounding sparsely populated deep-sea environments. The primary production in the deep-sea vent ecosystem is sustained by chemolithoautotrophic microorganisms that utilize reduced chemical compounds from the earth interior as energy sources. To date, the biogeochemical processes, ecophysiological functions, and evolutionary significance of deep-sea vent microbial communities have been extensively studied, but the ecological and evolutionary impacts of viruses on the deep-sea vent microbial communities remain to be fully elucidated.

Here, I provide an overview of current hot research topics related to viruses in aquatic ecosystems, and then introduce our studies on the viral functions and ecology in deep-sea hydrothermal vents in addition to several previous studies on virus-host interactions.

Keywords: virus, hydrothermal vent, chemolithoautotrophs

東部熱帯南太平洋酸素極小域における鉄の輸送と酸化還元サイクル Iron redox cycling and subsurface offshore transport in the eastern tropical South Pacific oxygen minimum zone

近藤 能子^{1*}; Moffett James W.²
KONDO, Yoshiko^{1*}; MOFFETT, James W.²

¹ 国立極地研究所, ² 南カリフォルニア大学
¹National Institute of Polar Research, ²University of Southern California

Iron (Fe) is well known as an essential element involved in a number of biochemical processes in the ocean such as nitrogen metabolism. The distribution of dissolved Fe in seawater depends on the nature and magnitude of the sources and sinks, and the transport mechanisms. The thermodynamically favored oxidation state of Fe, Fe(III), is strongly hydrolyzed and its removal is mainly constrained by the formation of strong complexes with natural organic ligands such as humic substances and siderophores. These organic ligands control not only the solubility of dissolved Fe in seawater, but also the bioavailability of Fe(III) for phytoplankton. Fe(III) in seawater can be reduced to Fe(II), which is more soluble and kinetically labile, although is rapidly oxidized in the oxygenated seawater. Recent studies have suggested that dissolved Fe(II) substantially exists in surface seawater (e.g., Hansard et al., 2009), suboxic layers in oxygen minimum zones (OMZs) (e.g., Kondo and Moffett, 2013), hypoxic shelf waters and sediments (Lohan and Bruland, 2007), hydrothermal vents and shallow submarine eruption (Santana-Casiano et al., 2013). Since Fe(II) is more bioavailable than Fe(III), the existence of Fe(II) could provide a big advantage for the organisms in these environments even though it is ephemeral. These results suggest the importance to investigate chemical and redox speciations of Fe to elucidate carbon and nitrogen cycles in the ocean.

The distribution of dissolved Fe, Fe(II) and Fe(III)-binding organic ligands were investigated in the upper 1000 meters of the eastern tropical South Pacific from January to March 2010, during El Nino event. Dissolved Fe concentrations were exceedingly low in surface waters, showed minima near chlorophyll maximum, and increased below that depth. While high rates of nitrogen fixation have been inferred for this region from models, our data suggest that surface Fe is much too low to support diazotrophs. Dissolved Fe and organic Fe(III) ligands concentrations at mid-depth were elevated in the nearshore stations, where virtually all dissolved Fe(III) was bound to these ligands. Maxima in the concentration of Fe(II) were seen in the oxygen-deficient and high-nitrite layers of the OMZ. Fully 8 to 68% of dissolved Fe existed as Fe(II) in the samples collected at these depths. Dissolved Fe concentration was higher in the OMZ where Fe(II) and nitrite were present. We propose that this region, the most reducing part of the OMZ, plays an important role in subsurface, offshore Fe transport.

キーワード: 鉄, 二価鉄, 酸素極小域, 東部熱帯南太平洋, 有機リガンド

Keywords: iron, Fe(II), oxygen minimum zone, eastern tropical South Pacific, organic ligand

深海生態系における物質循環の同位体トレーサー実験による定量化 Biogeochemical cycles on the deep-sea floor revealed by isotope labeling experiments

野牧 秀隆^{1*}
NOMAKI, Hidetaka^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Deep-sea benthic food webs are mainly sustained by sinking aggregates of phytodetritus derived from the water column. Although the majority of organic matter is consumed before reaching the deep-sea floor, phytodetritus still transports a significant amount of fresh material from the surface ocean to the seafloor. A portion of the phytodetritus is converted to benthic biomass, and the remaining refractory organic matter not utilized by the benthic community is preserved in the sedimentary record. The activity of the benthic community is thus expected to be an important factor in controlling the quality of organic matter, and biogeochemical cycles on the deep-sea floor. We carried out some different types of *in situ* isotope labeling experiments to reveal these benthic processes. Results quantitatively demonstrated the fate of phytoplankton, bacteria, dissolved organic carbon, and dissolved inorganic carbon on the deep-sea floor.

キーワード: 堆積物—水境界, 底生生物, 同位体トレーサー, 生物地球化学サイクル
Keywords: Sediment-water interface, Benthos, isotope tracer, Biogeochemical cycle

海洋有光層の窒素循環解析ツールとしてのクロロフィル窒素同位体比 Nitrogen isotopic record of chlorophylls as a tool for understanding of nitrogen dynamics in the oceanic photic zone

小川 奈々子^{1*}; 吉川 知里¹; 菅 寿美¹; 大河内 直彦¹

OGAWA, Nanako O.^{1*}; YOSHIKAWA, Chisato¹; SUGA, Hisami¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

Nitrogen isotope record of chlorophylls has a large potential as a tool for reconstructing the nitrogen cycle and its dynamics in the photic zone. In this study, we determined the nitrogen isotopic compositions of chlorophyll *a* ($\delta^{15}\text{N}_{chl}$) and pheophytin *a* ($\delta^{15}\text{N}_{Phe}$) as well as nitrate ($\delta^{15}\text{N}_{NO_3}$) collected from two sites (S1 and K2) in the northwest Pacific as a case study. Both chlorophyll *a* and pheophytin *a* were extracted from the particulate organic matter (POM) and purified by the fraction collector of high-performance liquid chromatography. The nitrogen isotopic composition of the isolated chlorophylls was determined by our ultra-sensitive elemental analyzer / isotope ratio mass spectrometry. The estimated isotopic fractionation associated with the chlorophyll synthesis is -7.9 ‰ to -13.1 ‰, confirming the previous studies. However, the $\delta^{15}\text{N}$ of POM is not consistent with those of chlorophylls, suggesting that the POM from both sites is a mixture of phytoplankton and other materials like detritus of zooplankton. The $\delta^{15}\text{N}_{chl}$ value provides pure $\delta^{15}\text{N}$ signature of phytoplankton, which is crucial for better understanding of nitrogen dynamics in the surface ocean. Chlorophylls are also buried and preserved in the sediments for long, and thus useful for the reconstruction of nitrogen cycle in the surface ocean in the geological past. In this presentation, we will summarize the evidence and discuss advantages and pitfalls of this tool for the future use in the oceanography and paleoceanography.

キーワード: 海洋窒素循環, 光合成色素, 窒素安定同位体比, 硝酸態窒素

Keywords: nitrogen isotope, oceanic photic zone, nitrogen dynamics, photosynthetic pigments, nitrate

西部北太平洋における沈降粒子上の細胞外酵素活性と細菌生産速度について Heterotrophic bacterial production and extracellular enzymatic activity in sinking particulate matter

山田 奈海葉^{1*}; 福田 秀樹²; 小川 浩史²; 齊藤 宏明³; 鈴木 昌弘¹
YAMADA, Namihana^{1*}; FUKUDA, Hideki²; OGAWA, Hiroshi²; SAITO, Hiroaki³; SUZUMURA, Masahiro¹

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 水産総合研究センター東北区水産研究所
¹AIST, ²AORI, The University of Tokyo, ³Fisheries Research Agency

Heterotrophic activities on sinking particulate matter (SPM) have important role for flux of SPM. To demonstrate regional differences in heterotrophic activities on SPM, we measured heterotrophic bacterial production (HBP) in seawater and SPM as well as potential extracellular enzyme activity (EEA) in SPM on a transect along 155E in the western North Pacific Ocean in the subarctic (44N), the Kuroshio Extension area (35N), and the subtropical gyre (20N).

Samples were collected from the western North Pacific Ocean during cruise KH08-2 (Leg 2) on R/V Hakuho-maru from 23 August to 16 September 2008.

Hydrographic data were provided by a shipboard CTD profiler equipped with a carousel multi-sampling system. We obtained water-column depth profiles of dissolved nutrients including nitrate, phosphate, and silicate, Chl a, bacterial cell abundance (BA), and HBP.

We deployed standard cylindrical multi-traps, with eight acrylic trap tubes mounted at each depth. The traps were set vertically on the array line at three targeted depths of 50 m, 200 m, and 500 m at 44N, and 100 m, 200 m, and 500 m at 35 and 20N. The upper deployment depths were chosen to be just under or near the bottom of the euphotic zone. The euphotic zone was defined as the depth at which photosynthetically active radiation was 1% of the value just below the surface.

Before deployment, all trap tubes except tube for HBP and EEA in SPM on each array were filled with seawater that had been collected from 4 m below the surface at each station using the ship's pump, pre-filtered through a 0.2- μ m capsule cartridge filter to minimize biological contamination, and mixed with sodium chloride to a final concentration of 4% (w/v) to create a density gradient. Trap tube at each depth was used for collecting samples for measuring HBP and EEM in SPM, and was filled with seawater filtered as described above that was collected just before deployment from the depth corresponding to the target layer of trap deployment with a 12-L Niskin bottle. The arrays were attached to a buoy and allowed to drift freely for 24 h at 44N, and 48 h at 35 and 20N.

Upon recovery, the traps were stored upright in the dark and left to settle for 1 h. After the contents had settled, the upper portion of the trap volume above the collection cup was gently drained by siphoning. During the siphoning, only about trap tube for HBP and EEA, an aliquot of the supernatant was subsampled approximately 30 cm from the top of the tube. After siphoning was complete, the upper cylinder of the trap tube was separated from the collection cup. The particle-rich water in each collection cup was pre-screened through a 500- μ m-mesh sieve to remove swimmers and then mixed to disrupt large amorphous particles. The pre-screened filtrates were used for measurements of total mass flux of SPM, particulate organic carbon (POC) and nitrogen (PON) content, and HBP and EEA (leucine aminopeptidase (LAPase), α -glucosidase (BGase), lipase, and alkaline phosphatase (APase)).

Depth-integrated HBP in seawater from the surface to 500 m was comparable between the locations, whereas HBP in SPM at 44N was substantially lower than at the other sites. We found the highest POC export flux and export efficiency to bathypelagic depths, and the lowest water temperatures, at 44N. We found significant correlations between LAPase activity, BGase activity, POC flux and particulate organic nitrogen flux. LAPase activity was two orders of magnitude higher than BGase activity, with a BGase:LAPase activity ratio of 0.027. There were no significant correlations between HBP and EEA in SPM except for lipase, and lipase activity was significantly correlated with temperature. We propose that hydrographic conditions are an important factor controlling heterotrophic bacterial activity and export efficiency of organic carbon to the deep ocean, as are the sources and abundance of SPM produced in the euphotic zone via primary production.

MIS21-07

会場:511

時間:4月28日 10:30-10:45

キーワード: 沈降粒子, セジメントトラップ, 細菌生産, 細胞外酵素, 西部北太平洋

Keywords: Sinking particulate matter, Sediment trap, Heterotrophic bacterial activity, Extracellular enzyme activity, western North Pacific

真核生物の細胞膜に存在するステロールおよびその代替物質に関する謎 Enigmas concerning sterols and their surrogates in eukaryotic cell membranes

瀧下 清貴^{1*}; 矢吹 彬憲¹; 力石 嘉人¹; 高木 善弘¹; 吉田 尊雄¹; 大河内 直彦¹

TAKISHITA, Kiyotaka^{1*}; YABUKI, Akinori¹; CHIKARAISHI, Yoshito¹; TAKAKI, Yoshihiro¹; YOSHIDA, Takao¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

A large fraction of eukaryotes and bacteria respectively possess sterols and hopanoids, which function as potent stabilizers of cell membranes. Sterols are also associated with fluidity and permeability of eukaryotic cell membranes, and are key to fundamental eukaryotic-specific cellular processes such as phagocytosis. Several steps of *de novo* sterol biosynthesis require molecular oxygen. For example, the epoxidation of squalene is the first oxygen-dependent step in the sterol pathway; the epoxidized squalene is then cyclized to either lanosterol or cycloartenol by the enzyme oxidosqualene cyclase. In contrast, prokaryotic hopanoid biosynthesis does not require molecular oxygen as a substrate, and the squalene is directly cyclized by the enzyme squalene-hopene cyclase.

Until now, it was unclear how bacterivorous unicellular eukaryotes that are abundant in anoxic or low oxygen environments could carry out phagocytosis. These eukaryotes cannot obtain sterols from food bacteria as the latter generally lack them and sterols cannot be synthesized *de novo* in the absence of molecular oxygen. We have previously provided evidence that the molecule tetrahymanol is synthesized by some anaerobic/microaerophilic eukaryotes and possibly functions as an analogue of sterols in these organisms. Nevertheless, neither sterol, nor tetrahymanol, nor their related molecule has been found in the other anaerobic/microaerophilic eukaryotes, and so it is still enigmatic how these organisms maintain their fluid and permeable membrane system specific to eukaryotes.

One more area of confusion is regarding sterols in bivalves with chemosynthetic bacteria inhabiting areas of deep-sea hydrothermal vents and methane seeps, such as *Calyptogena* spp. and *Bathymodiolus* spp. In general, bivalves cannot synthesize sterols *de novo* and it is necessary for them to obtain these molecules from small eukaryotic prey. On the other hand, *Calyptogena* spp. and *Bathymodiolus* spp. mainly or exclusively acquire nutrients produced by their bacterial symbionts, rather than from eukaryotes rich in sterols. Nevertheless, these "chemosynthetic bivalves" contain sterols. More curiously, *Calyptogena* spp. have intermediate metabolites of phytosterols (24-methylenecycloartanol, cycloeucaleanol, and obutusifoliol), while *Bathymodiolus* spp. have high amounts of cholesterol typical of animals. Little attention has been given to how chemosynthetic bivalves produce or acquire these kinds of sterols.

In my talk, I will discuss potentially controversial topics regarding sterols and their surrogates in eukaryotic cell membranes, which do not appear in biochemical and geochemical textbooks.

キーワード: 真核生物, ステロール, テトラヒマノール, 細胞膜

Keywords: eukaryotes, sterols, tetrahymanol, cell membrane

有明海沿岸干潟域の表層堆積物中のフミン酸の分析と環境評価 Structural differences of humic acid isolated from estuarine sediments at several fields around Ariake Sea

岩本 佑耶¹; 山内 敬明^{2*}; 奈良岡 浩²
IWAMOTO, Yuya¹; YAMAUCHI, Noriaki^{2*}; NARAOKA, Hiroshi²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Dept. of Earth and Planetary Sci., Grad. School of Sci., Kyushu Univ., ²Dept. of Earth and Planetary Sci., Fac. of Sci., Kyushu Univ.

河川流域から沿岸域にかけての物質移動と、河口干潟域での有機物の状態は、河川河口域の生物学的重要性から様々な角度で注目され、分析や評価が行われている。これまで筆者らは筑後川流域近傍でのフミン酸の化学構造が地域によりどのように異なるか分析を続けてきた。また、本研究の対象地域である有明海は、赤潮や貧酸素水塊などの環境問題が発生していることから、様々な観点から環境分析がなされている。しかしながら有明海の広範な地域での堆積有機物の分析による研究は数少ない。そこで今回、有明海の北半分の広範な地域の、主に河川河口域干潟と、その他河川の影響の少ない干潟なども含めた干潟域を対象にフミン酸の元素組成や同位体比の分析を行い、地域差を比較した。そして従来のものとは異なる環境指標としてのフミン酸画分の利用を検討した。

堆積物試料採取は筑後川（筑後大堰より下流）の2か所、有明海沿岸の早津江川・六角川・浜川・菊池川・白川の河口域および荒尾干潟と多良漁港付近の干潟7か所の計9か所にて、2011年5月から2013年8月の間に行った。潮間帯干潟の表層堆積物の上位5cmほどを採取し、自然乾燥させ砕いたものを用いた。フミン酸画分は国際腐植物質学会のIHSSの土壌フミン酸抽出法に従い調製した。沿岸域のフミン酸分析法については、原子数比、安定同位体比、可視紫外吸収分析（Fooken と Liebezeit (2000) により提唱されている 270nm/407nm の比 (A2/A4) の適用) など複数の分析法を行うことで分析法の違いによる結果の違いを考察した。

得られたフミン酸の原子数比や安定同位体比、可視紫外吸収比を地域で比較すると起源物質に由来する相関がよく見られた。筑後川では上流側から河口側へ下るにつれて、分析値は陸生植物由来の陸源有機物寄与の強い値から、藻類由来の海洋有機物寄与の強い値へと変化しており、陸と海の両方面から有機物供給がなされていることが観察できた。六角川河口域と菊池川河口域も各分析値から、陸源有機物と海洋有機物がどちらも供給される環境にあると思われた。荒尾干潟および浜川河口、多良漁港付近では陸源有機物の寄与は乏しく、海洋の影響が大きかった。このうち浜川河口、多良漁港付近の2地点は有明海西側にあたり、窒素同位体比の傾向が他地域と異なっているため、有明海北西側では窒素源の供給や脱窒などの状況が特殊であることも推定された。

キーワード: 有明海, 河口干潟域, 安定同位体比, 紫外吸収, 腐植物質

Keywords: Ariake Sea, estuarine, stable isotope ratio, UV, humic substance

基底流出時の森林源頭流域の渓流水に含まれる蛍光団含有溶存有機物の起源 Origin of fluorescent dissolved organic matter in forested headwater stream during base-flow period

小原 章裕^{1*}; 大手 信人¹; 江草 智弘¹; 徳地 直子²; 木庭 啓介³; 山下 洋平⁴; 鈴木 雅一¹
OBARA, Akihiro^{1*}; OHTE, Nobuhito¹; EGUSA, Tomohiro¹; TOKUCHI, Naoko²; KOBA, Keisuke³; YAMASHITA, Youhei⁴
; SUZUKI, Masakazu¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科, ² 京都大学フィールド科学教育研究センター, ³ 東京農工大学大学院農学研究院, ⁴ 北海道大学大学院地球環境科学研究科

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ²Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ³Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, ⁴Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

本研究は渓流水の DOM の大部分を占める腐植物質などの蛍光団含有溶存有機物 (Fluorescent DOM ;FDOM) に着目し、基底流出時の渓流水 FDOM の起源を同定することを目的として、土壌浸透水・地下水などの FDOM との組成の比較を行った。

研究対象地は東京大学千葉演習林内の猪ノ川集水域 (集水面積 503ha) である。2009~2010 年と 2012 年に集水域内の 142 地点で渓流水と基岩湧水の水試料を採取し、また集水域の最源頭斜面の一つである袋山沢水文試験地 (2ha) で土壌水と地下水の水試料を採取した。また、集水域内の気象観測所で降水の水試料を採取した。水試料は 0.45mm のメンブレンフィルターでろ過し、DOC 濃度の測定と、三次元蛍光スペクトル分析による励起-蛍光マトリクス (Excitation-Emission Matrix ;EEM) の測定を行った。測定した全ての EEM に対して Murphy et al., (2013) に準拠した Parallel Factor Analysis を行い、異なる蛍光スペクトルを持つ 5 つの component に分解した。component の化学的特徴は既往研究との比較により次のように同定された。C1: フミン酸型腐植物質様、C2: フルボ酸型腐植物質様、C3: 微生物由来腐植物質様、C4: トリプトファン型アミノ酸様、C5: チロシン型アミノ酸様。

地下水・基岩湧水は腐植物質様 component である C1~C3 の比率によって「C1 優占グループ」「C2 優占グループ」「C3 優占グループ」に分類された。C1 優占グループに属する袋山沢の地下水は DOC 濃度が季節的に変動したが、いずれのグループも C1~C3 の比率は時間的に比較的安定しており、渓流水 FDOM の起源を同定する上での End-Member として利用できることが分かった。

渓流水の腐植物質様 component の比率は、各グループの地下水や土壌水と似通っている場合もあったが、それらの混合だけでは説明できない場合も多かった。そのような渓流水は、C3 に対して C1 と C2 の比率が高く、DOC 濃度も比較的高いという特徴があることから、渓流内における高等植物由来の DOM の溶脱が強く影響していると考えられた。その起源としては、渓流内に存在するリター・倒流木や堆積物中の有機物が考えられた。また、渓流水の大部分は地下水や土壌浸透水に比べて C5/C4 比が低く、C5 が検出されない場合も多かったことから、アミノ酸様 component のうち C5 は渓流内での生物利用などにより除去されやすいものと考えられた。

本研究により、渓流水の FDOM 中の腐植物質の生産は、集水域の斜面部で起こるのみならず、渓流内でも起きているということ、また渓流内で生産された腐植物質は斜面部由来のものとは異なる蛍光スペクトル上の特徴を持つということが示された。

キーワード: 蛍光団含有溶存有機物 (FDOM), 森林集水域, 渓流水質, 励起-蛍光マトリクス (EEM), parallel factor analysis(PARAFAC)

Keywords: fluorescent dissolved organic matter (FDOM), forested watershed, streamwater chemistry, excitation-emission matrix (EEM), parallel factor analysis (PARAFAC)

Pseudopolarographyによる琵琶湖水中銅配位子の評価 Pseudopolarographic estimation of copper complexing ligands in freshwater of Lake Biwa, Japan

丸尾 雅啓^{1*}; 小畑 元²
MARUO, Masahiro^{1*}; OBATA, Hajime²

¹ 滋賀県立大学環境科学部, ² 東京大学大気海洋研究所

¹School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Pseudopolarography (Croot P. L. et al., Mar. Chem., 67, 219-232 (1999), Wiramanaden C. I. E., et al., Mar Chem., 110, 28-41 (2008)) is useful method to detect metal (copper) complexation that is very stable compared with that detected by other methods: AdCSV: adsorptive cathodic stripping voltammetry, ion selective electrode etc. in water. It was applied in seawater analysis especially for coastal area where large amount of organic material with high complexing capacity was detected. Also in freshwater lake, there is high potential of existence of very stable copper complexes in water, as it sometimes includes high concentration of sulfur containing compounds and concentration of competing metals such as calcium and magnesium are very low compared with those in seawater. Existence of very stable ligands was investigated using freshwater sampled in Lake Biwa, Japan.

As reference ligands, EDTA, DPTA and CDTA were used at pH 8.8 using borate buffer solution. Copper was deposited on HDME (hanging mercury drop electrode) by varying potential from -0.2 to -1.5 V, and deposition time was 420 s. After deposition, deposited copper was stripped by scanning from the deposition potential to 0 V. Peak height was plotted against deposition potential, and half wave potential was determined. By comparing the half wave potential with that of reference ligands, stability of copper complexing ligands in the sample was estimated.

Half wave potentials measured by references were -0.4 V for EDTA, -0.58V for CDTA, and -0.65 V for DTPA, respectively. By measuring water sampled at north basin of Lake Biwa, half wave potentials at -0.5 V and -1.1 V was obtained for surface water. Only single half wave potential at -0.5 V was obtained for waters at 2m and 10m depth. Existence of strong ligands that has stability close to EDTA was detected all samples tested. These ligands were also detected by AdCSV using salicylaldehyde as competing ligands. But ligand detected at half wave potential at -1.1 V is not detected or undetectable. It might suggest significance of very stable complexes in water of Lake Biwa.

キーワード: 陸水, 琵琶湖, 銅, 配位子, 電気化学分析

Keywords: freshwater, Lake Biwa, copper, ligand, electroanalysis

河川生態系の生産基盤を明らかにするクロロフィル同位体指標の開発 Isotopic composition of chlorophylls as a new indicator of energy flow in stream ecosystems

石川 尚人^{1*}; 菅 寿美¹; 小川 奈々子¹; 大河内 直彦¹
ISHIKAWA, Naoto F.^{1*}; SUGA, Hisami¹; OGAWA, Nanako O.¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

陸域・水域エコトーンとしての河川生態系において、河床礫表面に付着する藻類（以下、付着藻類）は、多様な生物群集を支える重要な一次生産者である。しかし、付着藻類から食物連鎖（生食連鎖）を通じて転送されるエネルギー流を正確に見積もった研究例はこれまでにない。なぜなら、河川生態学者が長年「付着藻類」と見なしてきたものは、実はさまざまな有機物の混合した「バイオフィルム」だからである。本研究は、バイオフィルムから藻類のバイオマーカーであるクロロフィル類を抽出し、各種同位体比を測定することで、河川一次生産者（藻類）に由来するエネルギー流を追跡することを目的とする。そのために我々は、高速液体クロマトグラフ（HPLC）を用いてバイオフィルムからクロロ色素・フェオ色素を単離・精製し、安定同位体比質量分析計（EA/IRMS）を用いて炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）を測定した。本発表では、バイオフィルム全体（バルク）や藻類専食者（例：*Epeorus latifolium*: カゲロウ幼虫）の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 測定と合わせ、いくつかの河川で行った予備的な結果を報告する。さらに、これまで河川や他の水域生態系の食物網研究で用いられてきた、安定同位体マップとの違いについても議論したい。

キーワード: 付着藻類, 光合成色素, バイオマーカー, HPLC, 安定同位体比
Keywords: periphyton, photosynthetic pigments, biomarker, HPLC, stable isotopes

安定同位体比によって測定された栄養構造が示す生物多様性指標について Biodiversity indicators of trophic structure measured by stable isotope ratios

陀安 一郎^{1*}; 加藤 義和¹; 石川 尚人²; 由水 千景¹; 原口 岳¹; 奥田 昇¹; 徳地 直子³; 神松 幸弘³; 富樫 博幸⁴; 吉村 真由美⁵; 大手 信人⁶; 近藤 倫生⁷
TAYASU, Ichiro^{1*}; KATO, Yoshikazu¹; ISHIKAWA, Naoto F.²; YOSHIMIZU, Chikage¹; HARAGUCHI, Takashi, F.¹; OKUDA, Noboru¹; TOKUCHI, Naoko³; KOHMATSU, Yukihiko³; TOGASHI, Hiroyuki⁴; YOSHIMURA, Mayumi⁵; OHTE, Nobuhito⁶; KONDOH, Michio⁷

¹ 京都大学生態学研究センター, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁴ 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所, ⁵ 森林総合研究所関西支所, ⁶ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻, ⁷ 龍谷大学理工学部

¹Center for Ecological Research, Kyoto University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ⁴Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, ⁵Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, ⁶Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ⁷Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

「生物多様性」は、遺伝子レベル、種レベル、生態系レベルの多層的な多様性と考えられている。しかし、任意のレベルの多様性を記述するのは困難であり、通常は種レベルの多様性評価が行われる。種レベルの多様性は、生態系機能とのつながりがそのままでは評価できないため、たとえば河川生態学では「摂食機能群 (FFG)」などの取りまとめ方で機能の評価が行われてきた。

われわれは、環境研究総合推進費プロジェクト研究 (4D-1102) において、安定同位体比を基にして、特に集水域河川の生物多様性の機能的側面を評価する手法の検討を行った。安定同位体手法は、森林、河川、湖、沿岸帯生態系を含む集水域の生態学における栄養塩循環や食物網構造の研究に用いられてきた。近年、アミノ酸窒素同位体比が動物の栄養段階推定に用いられてきている。しかし、本手法は水域生産と陸域生産の混合があるような複雑な淡水生態系においては用いられてこなかった。本研究において、バルク同位体比が適用できないような系でも本手法を用いることができることを確かめた。これらの手法は、生物標本を用いた生態系の長期変化にも用いることができる。また、放射性炭素を用いることにより、淡水生態系における炭素起源を推定することもできる。

これらの安定同位体比によって測定された栄養構造を、個々の分類群の定量バイオマス調査とともに用いることにより、集水域河川の新たな生物多様性指標について提案する。

キーワード: 安定同位体比, 食物網, 栄養段階

Keywords: Stable isotope ratios, Food web, Trophic position

溶存酸素の三酸素同位体組成を利用した貧栄養・中栄養水圏環境下の総一次生産量 定量

Vertical distribution of the triple oxygen isotopic compositions of DO in oligotrophic/mesotrophic environments

角皆 潤^{1*}; 南 翔¹; 佐久間 博基¹; 小松 大祐¹; 中川 書子²

TSUNOGAI, Urumu^{1*}; MINAMI, Sho¹; SAKUMA, Hiroki¹; KOMATSU, Daisuke¹; NAKAGAWA, Fumiko²

¹名古屋大学環境学研究科, ²北海道大学大学院理学研究院

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Faculty of Science, Hokkaido University

天然の酸素原子には、質量数が 16、17、18 の 3 種の安定同位体が存在し、その相対存在比は、自然界の諸過程（化学反応など）において、微小に変動（＝同位体分別）する。光合成や呼吸の際に進行する一般の同位体分別では、¹⁶O に対する ¹⁷O の濃縮度が、¹⁶O に対する ¹⁸O の濃縮度の約半分になるように同位体分別するのに対して、成層圏で進行するある種の光化学反応では、¹⁶O に対する ¹⁷O の濃縮度が、¹⁶O に対する ¹⁸O の濃縮度とほぼ等しくなるような同位体分別が起こる。このため、大気中の酸素分子（O₂）と、光合成で生成する O₂ の同位体組成を比較すると、¹⁷O の濃縮度と ¹⁸O の濃縮度の相対値（＝三酸素同位体組成）に差が見られる。三酸素同位体組成は、呼吸などの一般の同位体分別では変化しないので、海洋や湖沼等の表面水（＝混合層）中の溶存酸素分子（DO）の三酸素同位体組成を定量化することで、その DO 中の大気由来の酸素 O₂ と光合成由来の O₂ の混合比が高精度で定量化出来る。さらに表面水と大気との間の O₂ 交換速度を別法から見積もることで、求めた大気由来の酸素 O₂ と光合成由来の O₂ の混合比から、表面水中の総一次生産量を定量化することが出来る（Luz et al., 1999）。総一次生産量の定量には、明暗瓶法や ¹⁴C トレーサー法等の培養による定量が従来は用いられてきたが、この DO 中の三酸素同位体組成を利用する本手法は現存量だけで定量可能であり、培養する必要は無い。このため、簡易かつ高確度の総一次生産量定量法として、広く普及しつつある。

しかし、この DO の三酸素同位体組成を利用して求めた総一次生産量は、あくまで表面水（＝混合層）中の総一次生産量であり、大気との間でガス交換しない季節躍層以深で進行する光合成による総一次生産量は、ほとんど算入されていない。このため、特に混合層が薄い時期（春季や夏季）の観測で求めた総一次生産量は、水柱積算した真の総一次生産量よりも過小評価されている可能性がある。また混合層が薄い時期に過小評価された場合には、逆に混合層が深くなる時期（冬季）には、過大評価されることになる。これは特に、(1) 表面水中のガス交換が不活発な陸水系や、(2) 躍層以深でも一次生産が進行する貧栄養環境、で特に影響が大きくなる。そこで本研究では、貧栄養環境である支笏湖や倶多楽湖、さらに中栄養環境である琵琶湖北湖で DO の三酸素同位体組成の鉛直分布を、その時間変化とともに定量化してその影響を評価したので、結果を報告する。

キーワード: 貧栄養, 中栄養, 溶存酸素, 三酸素同位体, 鉛直分布, 季節変動

Keywords: oligotrophic lake, mesotrophic lake, dissolved oxygen, triple oxygen isotopes, vertical profile, seasonal variation

氷河・氷床の生物地球化学—雪氷微生物による氷河の暗色化と物質循環 Biogeochemistry on glaciers and icesheets ? Microbial process of glacier darkening and material cycles

竹内 望^{1*}
TAKEUCHI, Nozomu^{1*}

¹ 千葉大学
¹Chiba University

地球表層の淡水の約8割を保持する氷河や氷床は、近年の全球規模の気温上昇、いわゆる地球温暖化によるその質量の急激な縮小が注目されている。氷河や氷床の表面には、寒冷環境に適応した特殊な生物群集が存在する。雪氷藻類と呼ばれる光合成微生物が夏の融解期に繁殖して有機物を生産、さらにその有機物に依存した従属性のバクテリアや小型動物が氷河表面で活動している。このような雪氷生物由来の有機物が氷河氷床上に堆積すると、もともと白い表面が暗色化する。氷河の暗色化はアルベドの低下によって日射の吸収を増やし、雪氷の融解を促進する効果がある。したがって、氷河や氷床の変動の評価には、単に気候変動に対する物理的な応答だけでなく、氷河を生物群集を含む生態系として認識し、生物地球化学的な炭素や窒素の循環過程を定量的に把握することが重要となる。ここでは、世界各地の氷河、特に微生物活動が比較的活発なアジアの氷河や、近年になって暗色化が進んでいる北極圏グリーンランド氷床などの生態系の特性を比較しながら、氷河の生物地球化学研究の現状と今後の課題を紹介する。

キーワード: 氷河, グリーンランド, アルベド, 藻類, 微生物, 炭素循環
Keywords: glacier, Greenland, albedo, algae, microbe, carbon cycle

河川への人為起源窒素の負荷が水棲生物の食物網構造に与える影響 How does anthropogenic nitrogen input affect the nutrient dynamics and food web structures?

大手 信人^{1*}; 富樫 博幸³; 徳地 直子²; 吉村 真由美⁶; 加藤 義和⁷; 石川 尚人⁵; 近藤 倫生⁴; 陀安 一郎⁷
OHTE, Nobuhito^{1*}; TOGASHI, Hiroyuki³; TOKUCHI, Naoko²; YOSHIMURA, Mayumi⁶; KATO, Yoshikazu⁷; ISHIKAWA, Naoto F.⁵; KONDO, Michio⁴; TAYASU, Ichiro⁷

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻, ² 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所, ³ 京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁴ 森林総合研究所関西支所, ⁵ 京大大学生態学研究センター, ⁶ 独立行政法人海洋研究開発機構, ⁷ 龍谷大学理工学部

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, ²Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research, ³Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ⁴Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research, ⁵Center for Ecological Research, Kyoto University, ⁶Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁷Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

In last five decades, impacts of anthropogenic nutrient inputs on river ecosystems have continuously been a major concern for the governments and residents of the catchments in Japan. Major sources of anthropogenic nitrogen (N) include leachate from forest ecosystem, surplus fertilizers and sewage. Impacts of anthropogenic N inputs on nutrient dynamics and food web structures were investigated using stable N isotope techniques in the Arida river catchment, Japan. Riverine survey utilizing 5 regular sampling points showed that $\delta^{15}\text{N}$ of nitrate (NO_3^-) increased from forested upstream ($\sim 2\text{‰}$) to the downstream ($\sim 7\text{‰}$) due to the sewage loads and fertilizer effluents from agricultural area. Correspondingly the $\delta^{15}\text{N}$ of benthic algae and aquatic insects increased toward the downstream. This indicates that primary producers of each reach strongly relied on the local N sources and it was utilized effectively in their food web. Simulation using a GIS based mixing model considering the spatial distributions of human population density and fertilizer effluents revealed that strongest impacts of N inputs was originated from organic fertilizers applied to orchards in the middle to lower parts of catchment. Differences in $\delta^{15}\text{N}$ between primary producers and predators were $\sim 6\text{-}7\text{‰}$ similarly at all sampling points. Food web structural analysis using food network unfolding technique based on observed $\delta^{15}\text{N}$ suggested that the structure of nutrient pyramid did not differ significantly along the riverine positions, while the members of species in each trophic level changed and the impact of anthropogenic N input was visible along the river.

キーワード: 河川生態系, 窒素負荷, 安定同位体比, 食物網構造
Keywords: river ecosystem, nitrogen input, stable isotope, food web

湖沼の好気環境に出現するメタン極大の形成プロセス Aerobic methane production in oxygenated water column of a lake ecosystem

岩田 智也^{1*}; 小林 あい¹; 内藤 あずさ¹; 小島 久弥²
IWATA, Tomoya^{1*}; KOBAYASHI, Ai¹; NAITO, Azusa¹; KOJIMA, Hisaya²

¹ 山梨大学, ² 北海道大学
¹University of Yamanashi, ²Hokkaido University

湖沼から大気へのメタン放出量は、全球規模のメタン収支に大きく影響している。従来、湖沼から放出されるメタンは湖底付近の嫌気環境で生成したものと考えられてきた。しかし、我々は多くの湖沼において好気環境にメタン極大が出現することを明らかにしている。このメタン極大の形成プロセスには、強いリン律速下における微生物の有機リン代謝が関与している可能性が考えられる (Karl et al. 2008)。しかし、好氣的メタン生成の機構とそれに関与する微生物は未だ明らかとはなっていない。そこで本研究では、制限栄養元素、代謝および基質が好氣的メタン生成に及ぼす影響をバッチ培養により明らかにするとともに、浮遊性細菌群集の鉛直分布を CARD-FISH 法により定量化して溶存メタン濃度の季節変化との対応関係を評価する。これにより、湖における好氣的メタン生成に関与する微生物と代謝プロセスを特定することを目的とする。

調査は、山梨県西湖にて行った。2013年3月-12月に湖内の4地点において定期的に採水を行い、湖内における溶存メタン濃度の鉛直・水平分布とその季節変化を調査した。また、好氣的メタン極大が出現した7月には水深7.5mから湖水を採取し、メタン生成過程を明らかにするための室内培養実験を行った。実験1ではDINおよびDIPが好氣的メタン生成に及ぼす影響を、実験2では各種阻害剤 (BES, DFM, 遮光) がメタン生成速度に及ぼす影響、実験3では有機リン化合物であるメチルホスホン酸 (MPn) がメタン生成速度に及ぼす影響を評価した。各実験とも4-5日間のバッチ培養を行い、処理区間でメタン生成速度を比較することで、制限栄養元素濃度や微生物代謝およびホスホン酸の有無が好氣的メタン生成に及ぼす影響を評価した。また、CARD-FISHでは、3月、5月、7月および10月に採水した湖水試料に4つのプローブ (EUB338, CYA361, Mg84+Mg705, 405_Syn) をハイブリダイズさせ、浮遊性細菌群集の分布を定量化した。

野外調査の結果から、西湖では夏期において水温躍層近傍に巨大なメタン極大が出現することが明らかとなった。また、このメタン極大周辺では溶存酸素濃度も上昇していた。湖底や沿岸帯、大気からメタンが供給された痕跡はなく、現場にて好気性生物によりメタンが生成しているものと考えられた。培養実験では、栄養塩を添加した実験1および阻害剤を添加した実験2とともに、全ての処理区でメタン生成は確認されなかった。一方、ホスホン酸を添加した実験3ではMPnの添加によりメタン濃度が大きく上昇した。この結果は、C-P リアーゼによりホスホン酸のC-P結合が開裂し、メタンが生成していることを示唆している。C-P リアーゼ遺伝子はシアノバクテリアなどの様々な微生物が有しており (Karl et al. 2008)、基質であるMPnは一部の浮遊性古細菌によって合成されることも発見されている (Metcalf et al. 2012)。このことから、湖沼の好気環境に出現するメタン極大も、C-P リアーゼを有する微生物のMPn代謝によって形成されていると考えられた。次に浮遊性細菌群集の鉛直分布を見ると、シアノバクテリア (CYA361) や *Synechococcus* (405_Syn) の細胞密度の鉛直分布が、メタン濃度の鉛直プロファイルに一致していた。また、CYA361と405_Synの季節変化はメタン濃度の季節消長によく一致しており、シアノバクテリアのなかでもC-P リアーゼを有する *Synechococcus* が好氣的メタン生成に関与している可能性がきわめて高いと考えられた。

本研究結果から、湖沼の好気環境におけるメタン生成には微生物によるMPn分解が関与していると考えられた。とくに、海洋ではシアノバクテリアのMPn代謝によってメタンが生成することが報告されており (Karl et al. 2008)、CARD-FISHによるCYA361や405_Synの鉛直分布の結果もその可能性を支持している。湖沼においてもシアノバクテリアの有機リン代謝がメタン極大の形成に大きく関わっているものと考えられる。

キーワード: 好氣的メタン生成, シアノバクテリア, シネココッカス, メチルホスホン酸, リン欠湖沼
Keywords: Aerobic methane production, cyanobacteria, *Synechococcus*, methylphosphonic acid, P-deficient lake

窒素肥料および窒素降下物による全球陸域窒素循環の改変 Effect of fertilizer use and N deposition on global terrestrial nitrogen cycling in 1960-2010

仁科 一哉^{1*}; 伊藤 昭彦¹; 花崎 直太¹; 眞崎 良光¹
NISHINA, Kazuya^{1*}; ITO, Akihiko¹; HANASAKI, Naota¹; MASAKI, Yoshimitsu¹

¹ 国立環境研究所

¹National Institute for Environmental Studies

Human activities have considerably disturbed terrestrial nitrogen cycling especially after the industrial revolution. Because Harbor-Bosch techniques and fossil fuel combustions have been large sources of reactive nitrogen to the terrestrial ecosystems. The recent N loading derived from these sources on terrestrial ecosystems was estimated 2 times higher than biogenic N fixation in terrestrial ecosystems (Gruber et al., 2009). In this study, we evaluated N fertilizer and N deposition on global terrestrial N cycling using ecosystem model 'VISIT' and global datasets. For the cropland, we made spatial temporal explicit N fertilizer input data (as NH₄⁺ and NO₃⁻ respectively) made by FAO statistics, historical land-use dataset and global crop calendar in SAGE dataset. For N deposition, we used global grid data from Galloway et al. (2004) with simple interpolation in time-series. From the simulation results, we evaluated historical N cycling changes by land-use changes and N depositions in N cycling (e.g., N leaching, N₂O, NO) at global scale.

キーワード: 窒素肥料, 窒素降下物, 亜酸化窒素, 土地利用変化, N 溶脱
Keywords: N fertilizer, N deposition, N₂O, Land use change, N leaching

操作実験により検証する土壌微生物群集における多様性と群集機能の安定性の関係 The diversity-stability relationship in soil microbial community investigated by a diversity-manipulation experiment

潮 雅之^{1*}
USHIO, Masayuki^{1*}

¹ 京都大学生態学研究センター
¹ Center for Ecological Research, Kyoto University

生物群集の多様性が群集機能の安定性とどのように関係しているかということは、従来、生態学・環境科学において重要な疑問であった。しかしながら、微生物群集が生態系の物質循環に果たす役割の大きさにも関わらず、目に見えるマクロな生物の多様性-安定性の関係に比べると、眼に見えない微生物の多様性-安定性の関係はあまり研究されてこなかった。その理由の一つとして、微生物はその小ささと多様性の高さ故に、マクロな生物（例えば、草本）では可能な多様性/群集組成の操作実験が非常に難しいことが挙げられる。しかし、系統的に粗いスケールであれば、分類群特異的な殺菌剤を利用することで群集組成の操作が可能である。

そこで本発表では、細菌特異的な殺菌剤（オキシテトラサイクリン）、真菌特異的な殺菌剤（シクロヘキシミド）を使用し、群集組成を大雑把に操作した土壌を作成し外的環境の変化に対して群集機能の安定性を定量した。ここでは、細菌を排除した区を「真菌区」、真菌を排除した区を「細菌区」、何も排除しない区を真菌と細菌が共存し他の2つの区よりも多様性が高い「共存区」とみなした。群集機能として有機物分解過程を駆動する土壌微生物群集の細胞外酵素の活性（炭素、リン、窒素の分解に関わる酵素活性）と土壌呼吸速度を測定した。外的要因として古典的には分解速度をコントロールすると考えられてきた植物リターの質を選び、その質を人工的に変化させて土壌に添加する実験を行った。

その結果、土壌呼吸速度は真菌区と細菌区では植物リターの質の変化に応答して変化した。一方で、共存区では他の区ほど明瞭に植物リターの質の変化に応答していなかった。また、土壌酵素活性に関しても同様の傾向が見られ、共存区では、他の区よりも活性の植物リターの質への依存性が低かった。さらに脂質バイオマーカーで土壌微生物群集の組成の変化を調べたところ、共存区で最も植物リターの質の変化に対して応答していた。これらの結果は、多様な微生物が共存する土壌では、群集組成が外的要因（植物リターの質）の変化を打ち消すように変化する、結果として外的要因に対してより安定な群集機能（分解活性）が実現されたと解釈できる。

本研究は、分類群特異的な殺菌剤を用いるという非常に粗いスケールでの操作実験であるため、結果の解釈には注意が必要である。例えば、細菌特異的な殺菌剤で排除しきれない細菌も数多く存在するだろう。従って、より高い精度で群集組成を操作する技術の開発が、微生物の多様性-安定性、もしくは多様性-機能の関係を明らかにするために必要である。本発表では、今回得られた成果の解釈に加え、どのような技術が将来的に微生物群集を高い精度で操作する技術に発展しうるか、その可能性についても議論したい。

キーワード: 安定性, 酵素活性, 呼吸速度, 殺菌剤, 多様性, 土壌微生物群集

Keywords: biocides, enzyme activity, diversity, soil microbial community, soil respiration rate, stability

アロフェン質と非アロフェン質黒ぼく土に含まれるリンの化学状態に基づく生物学的利用率の評価
Determination of phosphorus species and bioavailability in allophanic and non-allophanic Andisols

高本 慧^{1*}; 橋本 洋平¹; 和穎 朗太²
TAKAMOTO, Akira^{1*}; HASHIMOTO, Yohey¹; WAGAI, Rota²

¹ 東京農工大学, ² 独・農業環境技術研究所

¹Tokyo University of Agriculture and Technology, ²National Institute for Agro-Environmental Sciences

Andisols have high phosphorus (P) retention capacity due to abundant active aluminums (Al) and irons (Fe). Such characteristics result in a significant inhibition of plant growth in Andisols, if not properly managed. Andisols are categorized into two groups on the basis of the difference in the clay mineral compositions. One group is called as allophanic Andisols, including allophane and imogolite in the clay fraction. The other is called as non-allophanic Andisols, including Al- and Fe- humus complexes and 2:1 phyllosilicates. These soil colloids are considered a major cause of high P retention capacity of allophanic and non-allophanic Andisols. Soil P forms have been investigated using chemical extraction methods. Chemically extracted P fractions of H₂O-P and NaHCO₃-P are considered readily soluble P, while NaOH-P is modelately labile P associated with Al and Fe, and HCl-P is apatite-like P. However, there are no studies determining chemical species and hosting phases of P in allophanic and non-allophanic Andisols at the molecular levels. This study was conducted to characterize the species and sorption hosts of P in allophanic and non-allophanic Andisols using Hedley's sequential P extraction method, solution ³¹P-NMR and X-ray absorption near-edge structure (XANES) spectroscopy. For revealing the behavior of P in soils precisely, it is required to separate the different soil colloids along with their density and then identify P speciation and hosting mineral phases. This study used a density separation method that can classify soil colloids including humus and Al/Fe (oxy)hydroxides by their density.

The total concentration of P in the allophanic and non-allophanic Andisols was 6.2 g P kg⁻¹. The sequential fractionation of bulk soil showed that the largest P pool of both allophanic and non-allophanic Andisols was NaOH-P. The density fractions of 2.0-2.25, 2.25-2.5, and >2.5 g cm⁻³ accounted for 88% of allophanic Andisols, and among five fractions, the 2.0-2.25 g cm⁻³ fraction was largest (44%). On the other hand, the density fractions of 1.8-2.0, 2.0-2.25, 2.25-2.5, and >2.5 g cm⁻³ accounted for 88% of non-allophanic Andisols. The sequential fractionation of allophanic Andisols showed that the NaOH fraction had a large proportion of inorganic P (Pi, 76-92%) and organic P (Po, 72-99%). The sequential fractionation of non-allophanic Andisols also showed NaOH-Pi (46-83%) and Po (54-97%) were consisted largely of phosphorus pool, with exceptions in >2.25 g cm⁻³ fractions. The results combined with the density separations and sequential extraction indicated that i) P in allophanic and non-allophanic soils is primarily associated with Fe and Al minerals, ii) Pi and Po in the 2.0-2.25 g cm⁻³ fraction accounted largely for the total P of allophanic Andisols (Pi: 61%, Po: 68%), iii) Pi and Po in 1.8-2.0 g cm⁻³ fraction accounted largely for allophanic Andisols (Pi: 48%, Po: 64%). According to the solution ³¹P-NMR results, orthophosphate monoester accounted largely for Po in allophanic and non-allophanic Andisols. Further investigations on XANES and NMR spectroscopy will be presented for more detailed P speciation in the soils.

キーワード: リン, 生態系, 黒ボク土

Keywords: phosphorus, ecosystem, Andisols

炭化板を用いた大気中水銀用パッシブサンプラーの開発 Development of a carbonized wood passive sampler for atmospheric mercury

大熊 明大^{1*}; 佐竹 研一¹
OKUMA, Akihiro^{1*}; SATAKE, Kenichi¹

¹ 立正大学 地球環境科学部

¹ Geo-environmental Sci, Rissho Univ

[はじめに]

水銀は有害物質である事から UNEP や WHO などの機関で水銀の使用量や放出量の削減を求めている。その結果、世界的には減少傾向にあるが、東南アジアや中国などの経済発展の著しい国ではライフラインの確保のために火力発電所の増設、金の採掘や精錬に水銀の需要が高まり水銀の放出量が増加していることが報告されている。大気中に放出された水銀の 95 % 以上がガス状水銀 (Hg^0) であり、溶解度が低いため大気中での滞留時間が 1~2 年と長い。そのため、発生源から遠く離れた地域においても影響を及ぼす事が指摘されている。また、大気から地表面へ降下した水銀は毒性のより強い有機水銀となり、食物連鎖によって生物濃縮され、生態系や人体に影響を与えることが懸念されており、そのため大気中水銀のモニタリングは重要である。現在の大気中水銀のサンプリング方法は 500mL min^{-1} で吸引し金アマルガム粒子充填管に吸着させるアクティブサンプラーである。しかし、高価で維持管理が難しく、設置スペースや電源の制約もあり、広範囲にわたる調査が難しい事が多い。本研究では、炭の吸着能に着目し、大気中水銀用の簡易パッシブサンプラーを作成し、試験した。

[研究方法]

$2.5\text{cm} \times 4.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ に杉心材を加工し、電気炉を用いて 300°C で 2 時間加熱し炭化板を作成し、両面テープを直径 5.5cm のアクリル製シャーレに貼り付け北海道大学雨龍研究林、北海道大学札幌キャンパス、立正大学熊谷キャンパス、群馬県六合入山、金沢大学、鳥取大学、広島大学東広島キャンパス、タイの Chiang Mai 大学に設置し、1 ヶ月間毎に回収し合計 3 ヶ月間分の測定を行った。また、埼玉県環境科学国際センターでは 1 ヶ月間毎に回収し合計 5 ヶ月間分の測定し並行して、また並行して金アマルガム捕集管に吸引捕集し、設置期間中の大気中水銀濃度を測定した。

[結果]

全ての設置地点において月日の経過と共に水銀沈着量が増加した。埼玉県環境科学国際センターで行った結果、炭化板中の水銀沈着量は 0.39 (33 日間)、0.44 (64 日間)、0.63 (95 日間)、0.86 (127 日間)、0.91 (158 日間) ng Hg cm^{-2} であり、相関係数が 0.95 であった。設置期間中の大気中水銀濃度は $2.0\sim 2.6\text{ng Hg m}^{-3}$ と略安定していた事から、大気中水銀濃度が安定している大気では、安定した沈着速度で炭化板に沈着する事がわかった。

実際の大気中水銀濃度に対する応答性を調べた結果 $y=14.7x$ 、相関係数 0.95 と良好な相関が認められた。これらの結果から、炭化板は大気中水銀用パッシブサンプラーとなる可能性があり、アクティブサンプラーでは困難な場所での調査にも使用可能である事がわかった。

キーワード: 水銀, 炭化板, 簡易パッシブサンプラー, 大気汚染モニタリング
Keywords: mercury, carbonized wood, passivesamplerq, monitoring of air pollution

京都北部ブナ林における溶存有機物生成のメカニズムと規定要因 Mechanisms and regulating factors of dissolved organic matter production in beech forest soils in northern Kyoto

藤井 一至^{1*}; 中田 裕治²; 吉田 誠²; 早川 智恵³; 杉原 創³; 舟川 晋也³

FUJII, Kazumichi^{1*}; NAKADA, Yuji²; YOSHIDA, Makoto²; HAYAKAWA, Chie³; SUGIHARA, Soh³; FUNAKAWA, Shinya³

¹ 森林総合研究所, ² 東京農工大学, ³ 京都大学

¹Forestry and Forest products Research Institute, ²Tokyo University of Agriculture and Technology, ³Kyoto University

In forest ecosystems, most of the organic matter supplied to the organic layer mineralizes to CO₂, but a proportion (~30%) is leached as dissolved organic matter (DOM), as soil water percolates. DOM plays important roles in carbon and nutrient cycling in forest soils, however, the controlling factors and mechanisms of DOM production remain to be clarified. Since DOM contains high concentrations of aromatic compounds derived mainly from lignin, the roles of microorganisms in lignin solubilization and DOM production were investigated under field condition.

The concentrations and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in soil solution were quantified under beech forest in northern Kyoto. The activities of lignin-degrading enzymes, lignin peroxidase (LiP) and manganese peroxidase (MnP), and fungal community composition were analyzed.

The DOC fluxes increased in the organic layer (344 kg C ha⁻¹ yr⁻¹), followed by a decrease with depth in the mineral soil layers (20 kg C ha⁻¹ yr⁻¹). The seasonal fluctuation of DOC concentrations showed that DOC production increased in summer with increasing temperature, highlighting the importance of microbial activity to DOM production. The activities of both lignin-degrading enzymes, MnP and LiP, were detected in the organic layers, and several potential producers of enzymes, namely basidiomycete fungi, were also identified. These findings could support the central roles of fungi in lignin solubilization and DOC production in organic layers under beech forest in northern Kyoto, where the large fluxes of DOM leaching was observed.

斜面森林土壌における亜硝酸の動態と制御要因について Soil nitrite transformation along a forest slope and controlling factors

黒岩 恵^{1*}; 磯部 一夫¹; 加藤 宏有¹; 村林 翔¹; 金子 由佳¹; 小田 智基¹; 大手 信人¹; 大塚 重人¹; 妹尾 啓史¹
KUROIWA, Megumi^{1*}; ISOBE, Kazuo¹; KATO, Hiroyu¹; MURABAYASHI, Sho¹; KANEKO, Yuka¹; ODA, Tomoki¹;
OHTE, Nobuhito¹; OTSUKA, Shigeto¹; SENOO, Keishi¹

¹ 東京大学農学生命科学研究科

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

We conducted a tracer study to clarify the spatial heterogeneity of nitrite (NO_2^-) dynamics in forest soils. Because of its reactive nature, NO_2^- does not usually accumulate in forest soils. This low concentration and experimental difficulties of accurate quantification have hampered quantitative detailed analyses of gross NO_2^- production and consumption in terrestrial environments. However, NO_2^- is an intermediate in many N transformation processes including nitrification and denitrification. Furthermore NO_2^- can also be reduced to gaseous N and react with organic matter not only biologically but also chemically. Thus NO_2^- dynamics may control whole N retention/emission characteristics in forest soils.

We added $^{15}\text{NO}_2^-$ to mineral top soils derived from a slope of a Japanese cedar forest. Primary properties of soils such as concentration of inorganic N, pH and water content differed geographically; N concentration, pH and water content are lower in the upper soils. NO_2^- production and consumption rates gradually increased from upper slope to lower slope. Quite short mean residence time of NO_2^- implies that NO_2^- consumed very rapidly anywhere in slope. The dominant pathway of NO_2^- consumption change geographically. It is suggested that the conversion to DON and gaseous N is more important in upper soils. On the other hand, conversion to NO_3^- (nitrification) is dominant in lower soils.

At this presentation, we focus on geographical difference of NO_2^- dynamics and their regulation by environmental factors.

キーワード: 森林土壌, 亜硝酸, ^{15}N トレーサー, 溶存有機態窒素, 硝化

Keywords: Forest soil, Nitrite, ^{15}N tracer, Dissolved organic nitrogen, Nitrification

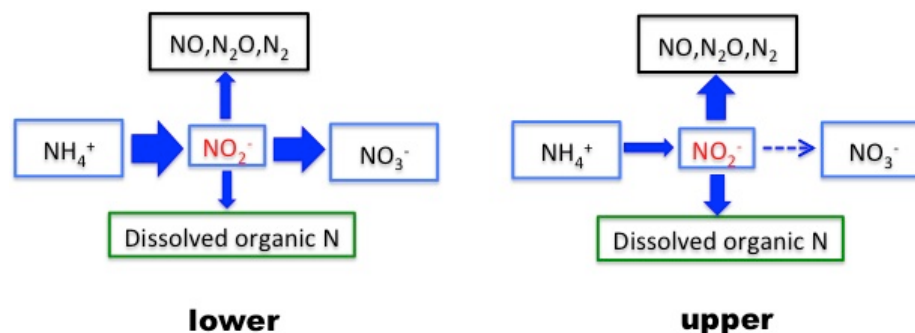


Fig.1 Schematic picture of nitrite dynamics along a forest slope.
Difference between upper and lower soils.

森林生態系における大気降下物由来硝酸イオンの利用率に関する研究 The availability of atmospheric nitrate in a forested ecosystem

尾坂 兼一^{1*}; 小牧 直人¹; 川村 湧也¹; 村田 哲也¹; 久郷 達朗¹; 中村 高志²; 西田 継²; 永淵 修¹
OSAKA, Ken'ichi^{1*}; KOMAKI, Naoto¹; KAWAMURA, Yuya¹; MURATA, Tetsuya¹; KUGO, Tatsuro¹; NAKAMURA,
Takashi²; NISHIDA, Kei²; NAGAFUCHI, Osamu¹

¹ 滋賀県立大学環境科学部, ² 山梨大学国際流域環境研究センター

¹University of Siga prefecture, school of environmental science, ²University of Yamanashi, ICRE

Nitrogen is an important element for forest ecosystems; shortage of nitrogen limits plant growth [Vitousek and Howarth, 1991], however, nitrogen discharged from forested ecosystems link to various environmental problems, such as eutrophication of aquatic ecosystems and deterioration of drinking water quality. Recently, atmospheric nitrogen deposition into terrestrial ecosystems is increasing [Galloway et al., 2008]. However, influence of the increase of atmospheric nitrogen deposition on forested ecosystem is not clear because the interaction between nitrogen input/output and inner nitrogen cycle is not sufficiently understood. In this study, to clarify the interaction between nitrogen input/output and inner nitrogen cycle, we investigate the atmospheric nitrate discharge rate from forested watershed and discuss the availability of atmospheric nitrate deposited into forested watersheds.

キーワード: 森林流域, 安定同位体比, 硝酸イオン, 大気降下物

Keywords: forested watershed, stable isotope, nitrate, atmospheric deposition

ヒノキ林における樹冠葉量と窒素吸収量の推定 Estimation of leaf biomass and nitrogen uptake in a hinoki cypress forest

稲垣 善之^{1*}; 酒井 敦¹; 宮本 和樹¹
INAGAKI, Yoshiyuki^{1*}; SAKAI, Atsushi¹; MIYAMOTO, Kazuki¹

¹ 森林総合研究所

¹ Forestry and Forest Products Research Institute

森林生態系において窒素吸収量は、リターフォールの窒素量と地上部現存量増加分に存在する窒素量を加えて算出する。リターフォールは、リタートラップによって、幹現存量の増加は直径と樹高の測定によって比較的精度よく推定することができる。しかし、これまで樹冠葉量を精度よく推定することが困難であった。直径と樹高から樹冠葉量を推定する方法が多く用いられるが、閉鎖林分における枝の枯れ上りを考慮することができない点が問題であった。一方、既往の研究で樹冠の生枝下高における幹断面積と樹冠葉量は、森林の管理状態に関わらず高い相関関係を示すことが知られているが、生枝下高における幹直径の計測は困難であった。近年、これらの問題点を解決するために、生枝下断面積を樹高、生枝下高、胸高直径から簡易に推定する手法が提案された。この方法で様々な生態系における葉量を精度よく推定することが期待されるが、その有効性は日本の代表的な造林樹種であるヒノキについては明らかでない。本研究では、この簡易手法を高知県の2地域のヒノキ林における伐倒調査の結果に当てはめ、有効性を明らかにするとともに、得られた関係式を長期にわたって幹成長を観測している高知県のヒノキ林分に当てはめて、林齢の変化に伴う葉量と窒素吸収量の変化を明らかにすることを目的とする。

樹冠葉量と樹高、生枝下高、胸高直径の関係性を明らかにするために、高知県の標高の異なる2つの地域において調査を行った。サイズの異なるヒノキを合計で14個体伐採し葉量を計測した。葉量 (Wleaf) は、樹高 (H)、生枝下高 (Hb)、胸高断面積 (A1.3) と次の式によって近似することができた。

$$W_{\text{leaf}} = 1.02[0.0364 \times AB^{1.10}] \quad (r^2 = 0.926, p < 0.0001)$$

ここで $AB = A1.3[(H - Hb) / (H - 1.3)]$ を示す。2つの地域で回帰式に有意な差は認められず、標高の異なる林分でも同一の式で葉量を推定することが可能であった。

高知県のヒノキ林分において、同一林分を20年間観測し、林齢の変化に伴う窒素吸収量と葉、幹生産の関係を明らかにした。21年生から41年生における7つの時期(21-22、23-24、25-27、28-30、31-32、39-41年生)において、樹冠葉量を求めた。樹冠葉量は、前述の関係式によって算出した。胸高直径と樹高から幹現存量を求めた。リタートラップで計測した落葉量に樹冠葉量の増分を加えて葉生産量とした。落葉窒素量、樹冠窒素の増分、幹成長の窒素増分を合計したものを窒素吸収量とした。葉と幹生産量の合計を窒素吸収量で割って窒素利用効率を算出した。葉量、葉生産量、幹生産量、窒素吸収量、窒素利用効率と林齢には有意な相関関係は認められなかった。窒素吸収量が大きいくほど、葉生産量は大きく、樹冠葉量が大きい傾向が認められたが、幹生産量には有意な相関は認められなかった。窒素吸収量が大きいくほど窒素利用効率が低い傾向が認められた。以上の結果より、本研究でヒノキ林分における樹冠葉量の変動を精度よく推定することができた。ヒノキの窒素利用様式は林齢に伴う明瞭な変動を示さないが、ヒノキは窒素吸収量の少ない時期には窒素を効率的に利用して幹生産を維持することが示唆された。

キーワード: ヒノキ, 葉量, 幹, 窒素, 林齢

Keywords: hinoki cypress, leaf biomass, Stem, nitrogen, forest age

代謝モデルを用いた安定同位体動態の考察 A metabolic model of stable isotope dynamics

石井 励一郎^{1*}; 野口 真希¹; 和田 英太郎¹
ISHII, Reiichiro^{1*}; NOGUCHI, Maki¹; WADA, Eitaro¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

Carbon and nitrogen stable isotope analysis have been a powerful tool used for identifying food-web structures. Our recent study suggested that the ratios of trophic fractionation of carbon and nitrogen isotopes ($\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$) throughout food chain are similar in various ecosystems (Wada et al. 2013), although the general mechanisms determining isotopic incorporation rates and discrimination factors are poorly understood.

Here, we developed a mechanistic model of the isotopic fractionation in metabolic processes that are common to animals composing most grazing food chains. Particularly, we calculate fluxes of carbon and nitrogen stable isotopes within an organism by following fluxes of molecules involved in some of physiological reactions: the synthesis of amino acids and their carbon skeletons, the rates of which are governed by energy-producing systems such as glycolysis, the TCA cycle, and oxidative phosphorylation, that is, the ratio of the rate of amino-acid syntheses to that of energy-yielding processes. The active metabolic pathways above are assumed to be changed by the conditions of supply (diet quantity and quality) and demand (growth rate).

The model result suggests that the instant isotopic composition of animals are sensitive to the change of their diet composition and growth rate, but on the other hand, the isotopic composition converges as the integrating period becomes long. With further temporal scaling-up, in turn, the isotopic compositions of animal body reflect the spatio-temporal variability due to their life history, migration and foraging patterns. This gives mechanistic insight to what information we can acquire from the observation.

放射性炭素同位体比と炭素・窒素安定同位体比を利用した海藻の生育環境履歴の推定 Tracing environmental history of macroalgae by the use of radiocarbon and stable isotope ratio analyses

佐藤 菜央美^{1*}; 福田 秀樹¹; 宮入 陽介¹; 横山 祐典¹; 永田 俊¹
SATO, Naomi^{1*}; FUKUDA, Hideki¹; MIYAIRI, Yosuke¹; YOKOYAMA, Yusuke¹; NAGATA, Toshi¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

親潮系と黒潮系の海流が複雑に交わる三陸沿岸域では、どの海流が流入するのにより内湾の環境（水温、光、栄養塩類など）が大きく変化し、このことが、湾内の生物の成長や相互作用に強い影響を及ぼしていると考えられる。しかし、複雑に変化する異なる海流の流入状況と、それに対する湾内の生物の生理的な応答の関係にはまだ不明な点が多く残されている。本研究では、三陸沿岸域に広く分布する底生一次生産者であり、また重要な養殖生物でもあるワカメ (*Undaria pinnatifida*) を研究対象とし、藻体の放射性炭素同位体比の情報から、外洋水の流入状況（生育環境履歴）を推定する新しい手法の検討を試みた。本研究の基本的なアイデアは、溶存無機炭素の放射性同位体比が、深層の古い水が湧き上がる親潮系の海水で低く、黒潮系の海水で高いことを利用し、藻体の放射性炭素同位体比（光合成による炭素固定を介して、溶存無機炭素の同位体比を反映すると考えられる）の変動から、湾内への起源の異なる海水の流入状況を推定するという点にある。同時に、炭素・窒素安定同位体比を併せて測定することで、環境の変化と生物の応答の関係についての情報を得ることを試みた。

岩手県大槌湾において、2012年10月から2013年3月の期間に栽培したワカメの藻体を試料として用いた。基部から頂部にかけての各側葉の先端部を酸処理後、グラファイトに変換し、加速器質量分析計を用いた放射性炭素の測定に供した。また、安定同位体比質量分析計を用い、炭素・窒素安定同位体比を測定した。ワカメの側葉は、藻体基部の葉茎移行部に存在する生長点を基に新生される。古い側葉を上部に押し上げながら新しい側葉を形成する成長様式から、各々の側葉は成長に応じた時間経過を示すと考えられる。本発表では、湾央および河口域の定点で収穫された各1個体を解析した結果を報告する。

湾央で栽培した藻体の各側葉の $\Delta^{14}\text{C}$ は、0~40‰の範囲で変動し、上部と下部の側葉で高く（20‰~40‰）、中央部で低い値（0‰）を示した。このことから、本個体においては、中央部の側葉が形成された時期に、親潮系の海水の流入の影響を受けたことが示唆された。安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ ）も、上部と下部の側葉で高く（ $\delta^{13}\text{C} = -14\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} = 3.5\text{‰}$ ）、中央部で低い（ $\delta^{13}\text{C} = -20\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} = -1\text{‰}$ ）凹型のパターンを示したが、最小値を示す位置は、放射性炭素同位体比に比べて、やや下部にみられた。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の間には有意な正の相関がみられたことから、安定同位体比の変動は、藻類の生育状態の変化に伴う同位体分別の変化を反映している可能性があるかと推察した。以上の結果は、親潮水の流入から遅れて、海藻の生育状態に変化が生じたことを示唆している。一方、河口付近で栽培した個体の同位体比の変動は湾央のものとは大きく異なった。 $\Delta^{14}\text{C}$ は $-20\text{‰} \sim +60\text{‰}$ の範囲で大きく変動し、藻体の上部から下部にかけての一定の変動パターンは見いだせなかった。また、炭素・窒素安定同位体比についても顕著な変動パターンはみられなかった。河口付近では、河川水流入の影響を受けて、藻体の同位体比が複雑な変動を示した可能性がある。

キーワード: 海藻, 三陸, 海流, 放射性炭素同位体比, 安定同位体比

Keywords: macroalgae, Sanriku coast, water current, radiocarbon, stable isotope

日本海内部における腐植様蛍光物質の蓄積 Accumulation of humic-like fluorescent dissolved organic matter in the Japan Sea interior

田中 和樹¹; 久万 健志²; 浜崎 恒二³; 山下 洋平^{4*}
TANAKA, Kazuki¹; KUMA, Kenshi²; HAMASAKI, Koji³; YAMASHITA, Youhei^{4*}

¹北海道大学大学院環境科学院, ²北海道大学大学院水産科学研究所, ³東京大学大気海洋研究所, ⁴北海道大学大学院地球環境科学研究院

¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ²Faculty of Fisheries Science, Hokkaido University, ³Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ⁴Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

Marine dissolved organic matter (DOM) is the largest reduced carbon reservoir in ocean. Most marine DOM is produced by marine biota and is resistant to rapid microbial degradation. Thus, it is crucial to know the dynamics of recalcitrant DOM for determining whether the marine DOM reservoir is stable or not. Even though there have been several hypotheses regarding with the recalcitrant mechanism of marine DOM, the microbial production of recalcitrant DOM (defined as microbial carbon pump) has been considered as the main process. Humic-like fluorescent DOM (FDOM_H) has found to produce during microbial incubation. Even though FDOM_H has known to easily degrade by sunlight, linear relationships between fluorescence intensity of FDOM_H and indicators of microbial remineralization, e.g., apparent oxygen utilization (AOU), have been observed throughout the ocean. These experimental and observational results imply that FDOM_H is a product of microbial carbon pump. Another important source of FDOM_H, especially in coastal environments and marginal seas, is riverine supply. Even though the major fractions of FDOM_H have been considered to be photo-degraded in coastal environments, substantial contribution of terrestrial FDOM_H into ocean interior has been suggested. Thus, in addition to accumulation of in situ produced FDOM_H, recalcitrant terrestrial FDOM_H might occur in deep ocean, especially in marginal seas. However, it is not clear whether recalcitrant autochthonous and/or terrestrial FDOM_H is accumulated in deep ocean of marginal seas or not.

We determined vertical profiles of FDOM_H at 5 stations in the Japan Sea and 5 stations in the western North Pacific using excitation emission matrix fluorescence with parallel factor analysis (EEM-PARAFAC). Seawater samples from surface to bottom waters of the Japan Sea and the western North Pacific were collected during T/S Oshoro-maru (C184) and R/V Tansei-Maru (KT-11-17) cruises, respectively. Two FDOM_H were obtained after EEM-PARAFAC and assigned as traditional terrestrial and marine (microbial) FDOM_H, respectively. In the Japan Sea, levels of both FDOM_H were lowest in surface waters, gradually increased with depth below surface waters, and were highest in waters distributed depths greater than 2000 m that were corresponding to the lower part of Japan Sea Proper Water (JSPW), i.e., lower part of the Japan Sea Deep Water (JSDW) and the Japan Sea Bottom Water (JSBW). Levels of both FDOM_H were linearly correlated with AOU in the JSPW, suggesting that both FDOM_H were produced in situ in the JSPW. Interestingly, levels of both FDOM_H in the JSPW were similar or slightly higher compared with those in deep waters of the western North Pacific, even though AOU in the JSPW were significantly lower than those in deep waters of the western North Pacific. Such distributional characteristics of FDOM_H in the JSPW imply that FDOM_H is accumulated in the interior of the Japan Sea. We will discuss possible origin and accumulation mechanism of FDOM_H in the Japan Sea interior.

キーワード: 日本海, 溶存有機物, 腐植様蛍光物質

Keywords: Japan Sea, Dissolved Organic Matter, Humic-like fluorescence

窒素飽和した森林における渓流水中から光化学的に生成するヒドロキシルラジカルの起源 Sources of hydroxyl radical photochemically produced in headwater streams from nitrogen-saturated forest

智和 正明^{1*}; 東 直子¹; 大槻 恭一¹; 兒玉 宏樹²; 宮島 徹²; 竹田 一彦³; 佐久川 弘³
CHIWA, Masaaki^{1*}; HIGASHI, Naoko¹; OTSUKI, Kyoichi¹; KODAMA, Hiroki²; MIYAJIMA, Tohru²; TAKEDA, Kazuhiko³; SAKUGAWA, Hiroshi³

¹九州大学演習林, ²佐賀大学大学院工学系研究科, ³広島大学大学院生物圏科学研究科
¹Kyushu University Forest, ²Graduate School of Science and Engineering, Saga University, ³Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University

ヒドロキシルラジカル (OH ラジカル) は活性酸素種の中で最も酸化力が高く, OH ラジカルとの酸化反応は, 生物地球化学的プロセスにおいて重要である。本研究は, 1) 渓流水中で光化学的に生成する OH ラジカルのソースを評価すること, 2) 窒素飽和した森林から流出する渓流水での OH ラジカルの生成速度の増加を評価するために, 窒素飽和した森林において, 光化学的生成速度 (R_{OH}) を計測した。さらに, 渓流水中のフルボ酸を抽出して, 溶存有機物 (DOM) からの R_{OH} の定量評価を行った。その結果, ほとんどすべて (97%; 81-109%) の R_{OH} のソースを定量的に明らかにでき, NO_3^- : 55%, 34-75%, N(III): 2%, 0.5-5.2% であり, DOM 由来の生成は光フェントン (18%; 12-26%) と FDOM の直接的な光分解 (22%, 10-40%) を分離することに成功した。FDOM は DOM の炭素ベースで 53%(24-96%) を占めており, OH ラジカル生成に重要な成分であった。窒素飽和した森林で生じた高濃度の NO_3^- の流出は R_{OH} を上昇させていた。このことは, 窒素飽和した森林は下流域の河川中において OH ラジカルの生成や消失を通じて, 光化学や生物地球化学的な物質循環を変化させる可能性を示している。

キーワード: ヒドロキシルラジカル, 溶存有機物, 硝酸イオン, 光フェントン反応, 河川, 光化学反応
Keywords: hydroxyl radical, dissolved organic matter, nitrate, photo-Fenton reaction, stream, photoinduced processes

北海道北部冷温帯林における皆伐が集水域からのイオン成分と DOC の流出に及ぼす影響 Effects of clear-cutting on the loss of ion and DOC from cool-temperate forested watershed in northern Japan

福澤 加里部^{1*}; 柴田 英昭¹; 高木 健太郎¹; 野村 睦¹
FUKUZAWA, Karibu^{1*}; SHIBATA, Hideaki¹; TAKAGI, Kentaro¹; NOMURA, Mutsumi¹

¹ 北海道大学・北方生物圏 FSC

¹FSC, Hokkaido University

森林伐採とその後のササ筋刈りが森林集水域での生物地球化学的プロセスに及ぼす影響を明らかにするため、北海道北部の天塩研究林において攪乱前後の河川水中のイオン各種と溶存有機炭素 (DOC) 濃度を調べた。2003 年 1 - 3 月に 8ha 集水域を沢筋を残して皆伐した。2003 年 10 月にササ筋刈りを行い、その直後にササを刈り取った列にカラマツ苗を植栽した。2002 年 - 2013 年に 2 週間または 3 週間ごとに河川水を採取した。皆伐後の生育期間には河川水の NO_3^- 濃度の上昇はなかった。その後のササ筋刈りにより、有意な濃度上昇がみられ、最大で約 $15 \mu\text{mol L}^{-1}$ となった。伐採区域では伐採後にササの細根が樹木の細根減少を補償して全体の細根量は維持されていることも明らかになっている。よってササによる窒素吸収は伐採後の窒素溶脱を緩和するために非常に重要であり、ササ刈り取り後のササの窒素吸収の減少が河川への窒素溶脱を引き起こしたことが示唆された。しかしその後河川水の NO_3^- 濃度は季節や年により 0.1 以下から $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ 以上の範囲で変動し、特に 2007 年には年間を通して高い値を維持した。河川水の NO_3^- 濃度は処理前の濃度レベルには戻らなかった。陽イオン (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) 濃度や pH は河川流量の変化に起因する変動が大きく、伐採による変化はなかった。一方 NH_4^+ はほとんど検出限界以下であったが、2007 年に検出され、 NO_3^- の濃度上昇と同調した。河川水中の DOC 濃度は皆伐およびササ筋刈り後に変化せず、処理の前後とも夏後半にピークをもつ明瞭な季節変化があった。DOC 濃度は、5 月後半から 8 月にかけての流量が少ない生育期に上昇し、その後流量が増加する秋に低下したことから、夏後半以降の流出量の増加に伴う希釈効果により河川水の DOC 濃度は低下したことが示唆された。しかし、DOC 濃度は基底流量で安定している冬季に低かったことから、初夏の高温が土壌での DOC 生産を促進し、この時期の DOC 濃度を高めていると考えられた。皆伐およびササ筋刈りが DOC の流出に影響しなかったのは、伐採区域での DOC の土壌への吸着による可能性がある。これらの結果から、冷温帯域の傾斜が緩やかな集水域において、 NO_3^- と DOC の伐採に対する応答が異なっていたのは、それぞれの排出源が異なることによると考えられた。

キーワード: 硝酸, DOC, 陽イオン, ササ, 河川流量

Keywords: nitrate, DOC, cation, Sasa, stream discharge

微生物起源物質は分解産物の生化学的共通性をもたらす Microbial contributions to biochemical commonalities of decaying organic matter

保原 達^{1*}; 阿江 教治¹; 長谷川 裕己¹; 小川 浩史²; 佐藤 貴之³; 今井 章雄³; Benner Ronald⁴
HOBARA, Satoru^{1*}; AE, Noriharu¹; HASEGAWA, Yuki¹; OGAWA, Hiroshi²; SATOU, Takayuki³; IMAI, Akio³; BENNER,
Ronald⁴

¹ 酪農学園大学, ² 東京大学, ³ 国立環境研究所, ⁴ サウスカロライナ大学

¹Rakuno Gakuen University, ²The University of Tokyo, ³National Institute for Environmental Studies, ⁴The University of South Carolina

様々な自然環境において、生物体などの天然有機物は分解を受け、その結果幾分か有機物は残り続ける。こうした有機物残渣は、海洋や土壌などでは主要な有機物の存在形態となっており、生態系の様々な機能や役割を担っている。有機物残渣は、由来が様々な生物種、組織、細胞器官など、非常に多岐に渡ることに加え、それらが様々な分解段階にあるものが混在する。それゆえ、その化学的組成の全容を解明することは非常に難しい。そのため、これまでこうした有機物の組成は、起源となる有機物が破碎されてゆく段階でどのような修飾的变化が生じるかに主に関心が注がれてきた。近年、陸上でも海洋でも、起源となる有機物は分解後の非常に短い期間に少なくなくなり、その実質的な部分が微生物に取って代わることが明らかとなってきた。しかしながら、そうした微生物の生成物やその生成過程に焦点を当てた研究は未だ非常に限られている。本研究では、陸域や水域において、分解残渣有機物や有機物の分解に伴う生化学的変化を元に、分解とともに生成する有機物の特徴を明らかにしてゆく。生物体有機物中の主要構成生体分子を調べたところ、アミノ酸のグリシン/リシン比 (Gly/Lys) や、アミノ糖のグルコサミン/ガラクトサミン比 (GlcN/GalN) などは、生物の種類などにより幅広い値を取り得るのに対し、その分解有機物ではその値が比較的狭い範囲にとどまっていた。陸上土壌においてリターバッグ実験により分解に伴うリターの質の変化をみると、Gly/Lys 比は分解につれ増加、GlcN/GalN 比は分解につれ減少する傾向が明らかであった。リター分解におけるこうした傾向は、陸上のみならず水域でもみとめられ、このことは、環境によらず分解過程では狭い値への生化学的方向性があることを示唆している。また、こうしたアミノ酸やアミノ糖は、リター分解に伴い純増した成分であり、微生物起源と考えられる。それゆえ、こうした方向性は、リター分解過程において微生物により生成されたものに共通する特徴なのではないかと考えられた。また、土壌や河川中にある溶存態有機物の分子量は、タンパク質ベースで 8,000Da 前後への一山型分布がみとめられるが、これは起源となる植物体などの抽出物にみとめられる分散型の分布とは明らかに異なる。植物体の分解とともに分子量分布の変化を調べたところ、分散型から一山型への明瞭な分子量分布変化がみとめられ、また 8,000Da 前後のピークは純増を示していた。このことは、分解とともにこの分子量域に微生物由来の有機物が生成されていることを示唆している。こうした分析結果は、様々な環境条件下において微生物によって生成される有機物には生化学的な共通性が存在することを示唆している。

キーワード: 有機物分解, 土壌, 海洋, アミノ酸, アミノ糖, 分子量分布

Keywords: Organic matter decay, Soil, Ocean, Amino acids, Amino sugars, Molecular weight distribution

Spatial modelling of water, nitrogen and sediment for systematic conservation of multiple ecosystem services

Spatial modelling of water, nitrogen and sediment for systematic conservation of multiple ecosystem services

FAN, Min^{1*}; SHIBATA, Hideaki²
FAN, Min^{1*}; SHIBATA, Hideaki²

¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ²Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ²Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

Spatial modelling and analysis of multiple ecosystem service (ES) under land use and climate changes provides useful support for decision making in sustainable planning, management and policies of large landscapes. This study aimed to integrate the GIS modelling approach of spatial explicit ESs (water yield, and retention of nitrogen (N) and sediment) into system conservation model under various land use and climate changes in Teshio river watershed located in northern Hokkaido, Japan. In this study, we applied hydrology and material flow model (Soil and Water Assessment Tools, SWAT model), land use change model (CLUE) and system conservation model (Marxan). The multiple scenario includes three different land use maps in past (1976), current (2006) and future (2036), and three climate change scenarios (short-term (2010-2039), mid-term (2040-2069), and long-term (2070-2099)).

Our results indicated that various land use and climate change scenarios showed different impact on ES and system conservation in the watershed. The forest land use change significantly affected on magnitudes and spatial patterns in water yield, sediment and N retention. It was suggested that south western and northern part of the studied watershed should be conserved to match the given conservation targets of multiple ESs (0.3 and 0.5 of maximum ES values). The protection area to satisfy each ES conservation target increased with increase of differences between each ES and maximum ES values under land use and climate changes. Our results indicated that the land distribution and area of optimal ES protection for multiple ESs were totally different from those for single ES. The conservation area for multiple ESs was more compact than those for single ES. The proposed approach in this study provided useful information to assess the responses of ESs and system conservation under the land use and climate changes. The system conservation area of ES protection for multiple ESs provided an effective trade-off tool between environmental protection and agriculture expansion.

キーワード: Ecosystem services, SWAT, Marxan, Land use and climate change
Keywords: Ecosystem services, SWAT, Marxan, Land use and climate change

スギ林内での斜面に沿った土壌中の無機化・硝化の空間的変動 Spatial variability of mineralization and nitrification in soil nitrogen along the hillslope in Japanese cedar forest

加藤 宏有^{1*}; 大手 信人¹; 磯部 一夫¹; 小田 智基¹; 村林 翔²; 浦川 梨恵子¹; 妹尾 啓史¹
KATO, Hiroyu^{1*}; OHTE, Nobuhito¹; ISOBE, Kazuo¹; ODA, Tomoki¹; MURABAYASHI, Sho²; URAKAWA, Rieko¹; SENOO, Keishi¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科, ² 東京大学農学部

¹University of tokyo, graduate school of agricultural and life sciences, ²University of tokyo, faculty of agriculture

【はじめに】森林や河川生態系を保全していく上で、窒素循環メカニズムの理解は最も重要な課題のうちの一つである。特に窒素の形態変化の過程で、中心的な役割を担っている無機化や硝化の生起条件や環境変化に対する応答の仕組みを理解することは今日でも、大きな課題といえる。森林では土壌中の窒素の無機化や硝化の反応は空間的に変動することが知られており、地形にディペンドした環境条件によって、その空間的配置が制御されているという報告がなされている。本研究は、山地斜面において土壌中の無機化速度および硝化速度の空間的な配置と変動を把握し、それが生じているメカニズムを明らかにすることを目的としている。

【方法】千葉県南部に位置する東京大学千葉演習林、袋山沢試験流域（流域面積 0.8ha）のスギ人工林内斜面（斜面長：100m）において、林床の有機物層と鉍質土層（0-10cm）の試料を採取した。土壌試料の含水率、pH を測定した後、NO₃⁻ 態、NH₄⁺ 態窒素の現存量を測定した。実験室における培養条件で、純無機化、硝化速度を測定し、¹⁵N トレーサーを用いた同位体希釈法を用いて総無機化、硝化速度を測定した。

【結果】 重量含水率は斜面上部で低く、斜面下部で高かった。pH は斜面上部では低く、斜面下部では高かった。NO₃⁻ の現存量は斜面上部では極めて小さく、斜面下部に向かって増加した。他方、NH₄⁺ の現存量は斜面位置による相違はみられなかった。さらに斜面上下で、純無機化・総無機化速度に明瞭な違いは見られないのに対して、純硝化速度・総硝化速度は斜面下部で顕著に増加した。

【考察】 観測結果は、有機態窒素の無機化と、NH₄⁺ 態窒素現存量に斜面上下の顕著な差が見られないのに対して、硝化と NO₃⁻ の現存量に明らかな偏在が見られ、硝化が斜面下部のみで生じていることを示していた。この無機化と硝化の斜面での空間配置の違いは、硝化が無機化よりも、斜面位置で異なる物理的な環境条件に対してよりセンシティブである事を示唆している。

今後、両反応の環境に対する偏在性を、微生物群集の環境応答の側面から明らかにする調査を進める予定である。

日本の森林土壌の窒素無機化速度—現地培養による年間窒素無機化量— Nitrogen mineralization rates in forest soils in the Japanese archipelago measured by field incubation

浦川 梨恵子^{1*}; 大手 信人¹; 柴田 英昭²; 小田 智基¹; 渡辺 恒太²; 福澤 加里部²; 稲垣 善之³; 館野 隆之輔⁴; 小柳 信宏⁵; 服部 大地⁶; 中田 誠⁶; 菱 拓雄⁷; 福島 慶太郎⁴; 中西 麻美⁴; 戸田 浩人⁸
URAKAWA, Rieko^{1*}; OHTA, Nobuhito¹; SHIBATA, Hideaki²; ODA, Tomoki¹; WATANABE, Tsunehiro²; FUKUZAWA, Karibu²; INAGAKI, Yoshiyuki³; TATENO, Ryunosuke⁴; OYANAGI, Nobuhiro⁵; HATTORI, Daichi⁶; NAKATA, Makoto⁶; HISHI, Takuo⁷; FUKUSHIMA, Keitaro⁴; NAKANISHI, Asami⁴; TODA, Hiroto⁸

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科, ² 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, ³ 森林総合研究所, ⁴ 京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁵ 新潟県環境衛生研究所, ⁶ 新潟大学大学院自然科学研究科, ⁷ 九州大学大学院農学研究院, ⁸ 東京農工大学大学院農学研究院

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, ²Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, ³Forestry and Forest Products Research Institute, ⁴Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ⁵Environmental Science Research Niigata, ⁶Graduate School of Science and Technology, Niigata University, ⁷Graduate School of Agriculture, Kyushu University, ⁸Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

1. はじめに

森林生態系における窒素循環に及ぼす気候変動の影響を予測するために、土壌窒素動態のモデル化を見越した、多地点における窒素無機化速度の測定が必要である。本研究では、日本列島の各地の20サイト選定し、野外で純窒素無機化速度、硝化速度および無機態窒素溶脱量の測定を行った。また、室内培養による純窒素無機化速度 (Urakawa et al., 2013) との比較により、室内恒温培養により得られるパラメータが現地に適用可能であるかについても検討した。

2. 方法

野外の純窒素無機化、硝化量はバリードバッグ法で測定した。2012年秋に、各サイトに約20×20mの範囲で5つのプロットを設置し、各プロットの鉬質土層0-10、10-30、30-50cm深より土壌試料を採取した。土壌は4mmのふるいにかかけ、根を取り除いた後、5プロットの土壌試料を深度ごとに混合し、一部をイニシャル測定用にとりわけ、残りの土壌でバリードバッグを作成した。これを再び5プロットに埋め戻し、2012年秋～2013年春、春～夏、夏～秋の3シーズンの純無機化量を測定した。培養前後の土壌は、塩化カリウム溶液(生土:2N-KCl = 1:10)で抽出し、抽出液は比色法でアンモニウム態、硝酸態窒素の濃度を分析した。3シーズンの無機化、硝化量を合計して年間量を算出した。

野外培養と平行して、無機態窒素の溶脱量をレジンカラム法で測定した。鉬質土層の0、50cm深にイオン交換樹脂を詰めた直径6.8cm厚さ1.5cmの塩び管を埋設した。イオン交換樹脂に吸着された無機態窒素は1N-KClで抽出し、アンモニウム態、硝酸態窒素は土壌抽出液と同様に比色法で分析した。

3. 結果と考察

年間の純硝化量は、0～50cm層全体で40～140kgN ha⁻¹ y⁻¹と幅広い分布がみられた。0～10cm層の硝化量は、全層の約半分を占めていたが、10～50cm層も容積重が表層に比べて大きいこと、厚みがあることによって、全体では表層土に匹敵する硝化がみられた。

野外バリードバッグ法による硝化速度は、室内での恒温器培養(20℃、28日間、Urakawa et al., 2013)による値と有意な正の相関関係がみられた。このことから、室内培養により求められたパラメータ(恒温での窒素無機化、硝化速度およびQ₁₀)を用いて、野外での窒素無機化、硝化速度を推定することは可能である。

4. 引用文献

Urakawa et al. (2013) Characteristics of nitrogen mineralization rates and controlling factors in forest soils in Japanese archipelago, 2013 AGU Fall Meeting, San Francisco, 9-13 December 2013

キーワード: 森林土壌, 窒素無機化, 硝化, 現地培養, 窒素流亡, イオン交換樹脂

Keywords: forest soil, nitrogen mineralization, nitrification, field incubation, nitrogen leaching, ion exchange resin

硝酸イオンの酸素安定同位体比を用いた森林流域における窒素移動過程の解明 Analysis of transportation and consumption processes of atmospheric nitrate in forested watershed by using oxygen isotope

久郷 達朗^{1*}; 尾坂 兼一¹; 中村 高志²; 伊井 裕美¹; 岩井 美咲子¹; 西田 継²; 永淵 修¹
KUGO, Tatsuro^{1*}; OSAKA, Ken'ichi¹; NAKAMURA, Takashi²; II, Yumi¹; IWAI, Misako¹; NISHIDA, Kei²; NAGAFUCHI, Osamu¹

¹ 滋賀県立大学大学院環境科学研究科, ² 山梨大学国際流域環境研究センター

¹University of Shiga Prefecture, ²ICRE University of Yamanashi

窒素化合物は生物の生育に必要不可欠な物質であり、森林植生の成長制限因子の一つとなり得ることが知られている。その一方で、森林から窒素化合物が過剰に流出すると、下流域の水環境を悪化させる可能性がある。近年の人間活動により大気中の窒素化合物濃度の上昇が報告されており、さらに森林など陸域への窒素化合物の流入量の増大も報告されている。しかし、森林へ流入した大気降下物由来の窒素化合物が森林生態系へ取り込まれる過程、森林内を移動・流出する過程は明らかになっておらず、それによる森林生態系・下流域への影響も十分に明らかになっていない。本研究では森林内を移動・流出する水に含まれる窒素化合物濃度と硝酸イオンの酸素安定同位体比を測定することで、森林内を移動・流出する窒素化合物に対する大気降下物由来の硝酸イオン影響を明らかにすることを目的とした。

本研究は、滋賀県甲賀市甲賀町油日の油日 S 流域にて実施した。結果は 2012 年 4 月 13 日から 2013 年 6 月 28 日までのものを対象とする。林外雨 1 地点、林内雨 4 地点、表面流 8 地点 (斜面下部 6 地点、上部 2 地点)、深度 10 cm、30 cm の土壌水 8 地点ずつ (斜面下部 6 地点、上部 2 地点)、地下水 6 地点 (斜面下部 4 地点、上部 2 地点) に採水装置を設置し、隔週で採水を行った。また湧水 3 地点、渓流水 2 地点での採水を行った。分析項目は、全窒素、溶存態窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比である。各種窒素化合物濃度の測定は滋賀県立大学で行い、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比は山梨大学国際流域環境研究センターにおいて脱窒菌法で分析した。さらに、数か月に 1 度の土壌サンプリングを行い、土壌中に含まれる硝酸態窒素量、アンモニア態窒素量、純無機化速度、純硝化速度の測定も合わせて行った。

これらの観測を基に、発表では林外雨、林内雨、表面流、土壌水、渓流水として森林内を移動・流出する各種窒素化合物量と大気降下物由来の硝酸態窒素量、さらにそれらと土壌中の窒素化合物量や硝化速度・純無機化速度との関係性について考察する。

キーワード: 硝酸イオンの酸素安定同位体比, 窒素移動過程, 森林流域

Keywords: oxygen isotope of nitrate, transportation and consumption processes of nitrogen, forested watershed

土壌の凍結融解が根リターの変化を通して土壌の窒素動態におよぼす影響 The effect of soil freeze-thaw on nitrogen transformation through the root litter changes

細川 奈々枝^{1*}; 渡辺 恒大²; 福澤 加里部²; 舘野 隆之輔³; 柴田 英昭²
HOSOKAWA, Nanae^{1*}; WATANABE, Tsunehiro²; FUKUZAWA, Karibu²; TATENNO, Ryunosuke³; SHIBATA, Hideaki²

¹ 北海道大学環境科学院, ² 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, ³ 京都大学フィールド科学教育研究センター
¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ² Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, ³ Field Science Education and Research Center, Kyoto University

土壌の凍結融解は、土壌の物理的な攪乱、樹木リターの質的变化、微生物による窒素不動態の抑制などによって土壌中の窒素循環を変化させると考えられているが、そのメカニズムは十分には明らかになっていない。植物リターは土壌微生物による窒素無機化の基質として重要であり、森林生態系における根リターは、葉リターに匹敵する量であることが報告されている。冬季における土壌の凍結-融解条件下では、細根リターが物理的に破碎され、基質としての利用可能性変化を通じて土壌窒素動態にインパクトを与えることが示唆されている。そこで本研究では、細根リターが異なる土壌-凍結サイクルの条件下で、土壌窒素無機化・硝化速度にどのように影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした。

北海道東部に位置する京都大学北海道研究林標茶区のミズナラ (*Quercus crispula*) の優占する広葉樹天然林を調査地とした。土壌は黒色火山性土であり、下層植生としてミヤコザサ (*Sasa niponica*) が多く自生している。2013年7月に、調査地内に50cm × 50cmの方形枠を設置し、0~10cmの鈹質土壌と直径2mm以下のミズナラ細根を採取した。採取した土壌は、2mmメッシュ篩を用いて、粗大有機物と礫を取り除いた。実験に用いたミズナラ細根は、篩で分けた土壌有機物から目視により分別した。土壌25gに対して、ミズナラ細根を湿重で0、5、15 mg g soil⁻¹に相当する量を加えた。低温培養器を用い、+5℃~-5℃、0℃~-5℃、+5℃一定、-5℃一定の4種類の温度設定で7日間凍結-融解処理を加えた後、培養器内で+5℃で2日間の恒温培養を行った。また、+5℃~-5℃と-5℃一定の凍結処理を行ったサンプルは+5℃で7日間、+10℃で2日間と7日間の恒温培養を行った。それぞれ、反復は4回とした。培養前後の土壌を塩化カリウム溶液で抽出し、土壌に含まれるアンモニウム態窒素(NH₄)と硝酸態窒素(NO₃)を測定した。培養前後でのNH₄とNO₃の変化量から、それぞれの正味生成速度を算出した。また、各凍結-融解処理終了後に細根を水で抽出し、溶存有機態窒素(DON)の供給量を測定した。

正味NH₄生成速度は、すべての凍結融解処理後において、5℃で2日間恒温培養すると、細根添加によって有意に上昇し(15 mg 添加 > 0 mg 添加)、その速度は-5℃~0℃の凍結処理で最も大きく、次に-5℃一定処理で大きかった。しかし、それらの影響は培養温度を高めたり(10℃)、培養期間を長くしたりする(7日間培養)と認められなくなり、むしろ土壌微生物による、正味NH₄不動態が卓越する傾向があった。正味NO₃生成速度(硝化速度)も同様に、すべての凍結-融解処理において5℃で2日間培養後に、細根添加によって速度が高まる傾向が認められた(15 mg 添加 > 0 mg 添加)。硝化速度に対する凍結融解処理の影響については、+5℃~-5℃が最も大きかった。正味NH₄生成速度と同様に、10℃培養や5℃で7日間培養を行うと、根量や凍結融解処理の硝化速度への影響が見られなくなった。また、水抽出による根からのDON供給量は、-5℃~0℃培養で最も大きい傾向が認められた。

以上のことから、土壌凍結-融解サイクルの増幅と細根添加によって、土壌微生物によるNH₄とNO₃の正味生成速度が高まること示され、それには凍結-融解による樹木細根からの溶存有機態窒素の供給が関与していることが示唆された。また、その影響は短期間(2日間)、低温条件下(5℃培養)でより顕著であると考えられた。土壌凍結-融解サイクルの変化規模やパターンの影響については、最も温度変化が大きい処理(+5℃~-5℃)よりも、0℃~-5℃処理において正味NH₄およびNH₄+NO₃生成速度、細根からのDON供給量が最も大きかった。この結果は、土壌微生物のNH₄生成・硝化活性に対する凍結-融解サイクルの影響程度は、単に温度振幅の大きさのみでは説明できない可能性を示唆するものであった。

多層モデルを用いた富士山麓森林内部における微量気体フラックスの推定 Estimation of trace gas fluxes in the forest of Mount Fuji using the multi layer model

新島 宏平^{1*}; 飛弾 勇輝¹; 和田 龍一¹; 望月 智貴²; 谷 晃²; 中井 裕一郎³; 高梨 聡³; 中野 隆志⁴; 高橋 善幸⁵; 宮崎 雄三⁶; 植山 雅仁⁷

NIIJIMA, Kohei^{1*}; HIDA, Yuki¹; WADA, Ryuichi¹; MOCHIZUKI, Tomoki²; TANI, Akira²; NAKAI, Yuichiro³; TAKANASHI, Satoru³; NAKANO, Takashi⁴; TAKAHASHI, Yoshiyuki⁵; MIYAZAKI, Yuzo⁶; UEYAMA, Masahito⁷

¹ 帝京科学大学, ² 静岡県立大学, ³ 森林総合研究所, ⁴ 山梨県環境科学研究所, ⁵ 国立環境研究所, ⁶ 北海道大学, ⁷ 大阪府立大学

¹Teikyo University of Science, ²University of Shizuoka, ³FFPRI, ⁴Yamanashi Institute of Environmental Science, ⁵National Institute for Environmental Studies, ⁶Hokkaido University, ⁷Osaka Prefecture University

大気中に微量存在する微量気体の発生および吸収・沈着は、対流圏における化学反応と放射強制力の変動を通して地球環境に影響を及ぼす。しかしながら微量気体の発生および吸収・沈着過程について十分なデータが蓄積されておらず、なかでも不確定な要素が大きい森林生態系における微量気体の発生・吸収量の時間変動とその要因解明が求められている。2012 年夏季に富士山麓二箇所の植生の異なる富士吉田森林気象試験地（森林総合研究所・山梨県環境科学研究所、アカマツ林、樹高 22 m）および富士北麓フラックスサイト（国立環境研究所、カラマツ林、樹高 22 m）の微気象観測タワーを用いて、約 1 週間、オゾン (O₃)、窒素酸化物 (NO_x)、揮発性有機化合物 (VOC) の森林内部における高度毎 (2 m, 10 m, 16 m, 26 m) の観測を実施した。微量気体の鉛直分布は、物質によって特徴的であり、各物質の森林内部での放出・吸収沈着・反応の特性を反映していると考えられた。

本研究ではこれら物質の鉛直分布の解釈を試みるべく、群落内の微気象を考慮した多層モデル (Inverse MLM: 大阪府立大学 植山雅仁) を用いて、微量気体の鉛直分布から、各部位 (樹冠部、枝下、表層部) における放出吸収量を推定した。当モデルでは観測点数に応じた複数の層に分ける必要があり、各部位における放出吸収の特性が分かっている CO₂ の鉛直分布を用いて、それぞれの層の高さに対応する境界条件を決定した。多層モデルをオゾンに適用した結果、O₃ の観測期間 11 日間の夏季 9:00-18:00 におけるフラックスの平均値を、「+」を放出として、 $-11.1 \pm 4.2 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と推定した。この値は、文献値 (観測値: $-10.4 \pm 0.3 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Fares et al., 2012) とばらつきの範囲で一致した。森林内部 6:00-18:00 における樹冠部、枝下、表層部における O₃ の放出・吸収量をそれぞれ、 $-2.6 \pm 3.2 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $0.2 \pm 2.9 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $-8.7 \pm 5.2 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と推定した。観測期間が短いためばらつきが大きい、富士北麓カラマツ林では、樹冠部に比べ、表層部における O₃ の吸収・沈着の大きい傾向があることが明らかとなった。これは林床付近に背丈の低い植物が生い茂っていることが原因である可能性が考えられる。

参考文献

S. Fares, R. Weber, J. Park, D. Gentner, J. Karlik, A. Goldstein, 2012. Ozone deposition to an orange orchard: Partitioning between stomatal and non-stomatal sinks. *Environmental Pollution* 169, 258-266.

キーワード: 森林, 大気, 窒素酸化物, オゾン, VOC, 鉛直分布

Keywords: forest, atmosphere, nitrogen oxides, ozone, VOC, vertical profile

年輪中の delta-34S 値の局在分布ととイオウ沈着履歴の評価 Localiaization of delta-34S value distribution in tree ring of Japanese cedar and evaluation on the S deposition history

石田 卓也^{1*}; 竹中 千里¹; 陀安 一郎²
ISHIDA, Takuya^{1*}; TAKENAKA, Chisato¹; TAYASU, Ichiro²

¹ 名大院生命農, ² 京大生態セ
¹Nagoya univ., ²Kyoto univ.

Anthropogenic sulfur emissions have been changed with human activities and affected sulfur dynamics in terrestrial ecosystems. Therefore, the information on sulfur deposition change should be important for understanding of the effects of anthropogenic sulfur on its dynamics. The stable sulfur isotope ratios ($\delta^{34}\text{S}$) in tree rings are a useful archive for the history of sulfur deposition (Kawamura et al. 2006), since the $\delta^{34}\text{S}$ of various origins have specific values and there is few isotopic fractionation through absorption of sulfur by plant. However, only few studies have been conducted about the $\delta^{34}\text{S}$ in tree ring, and factors affecting the $\delta^{34}\text{S}$ in tree ring have not been understood.

The aim of this study is to clarify the localization of $\delta^{34}\text{S}$ distribution in tree ring. We also perform the evaluation of sulfur deposition history at locations received heavy anthropogenic sulfur deposition using tree ring.

The investigation was carried out at two study sites, Yokkaichi (YOK) and Inabu (INA) in central Japan. Both study sites have different histories of sulfur deposition. YOK had been affected by quite high anthropogenic sulfur deposition during 1960s. INA is located about 60 km NE of main urban area (Nagoya City). Three disk samples were obtained from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) stump in 2013 at YOK and in 2012 at INA. The stumps at YOK were 63-year-old cut down in 2012 and those at INA were 170-year-old cut down in 2007. In addition, at INA, three 40-year-old living stems were cut down in 2013 at INA and the disk samples were obtained. After washing and dried, the tree ring samples were divided into 5 year increments from bark toward the pith, and ground using power mill. The ground samples were digested with HNO_3 and H_2O_2 on a hot plate and after filtration BaCl_2 was added to obtain the BaSO_4 . The $\delta^{34}\text{S}$ values (VCDT) were measured using EA-IRMS.

To evaluation the localization of $\delta^{34}\text{S}$ in sapwood, heartwood and pith, the data from the stump and the living wood samples at INA were compared. These samples showed the different localization of $\delta^{34}\text{S}$ against the age. There were no difference of $\delta^{34}\text{S}$ between the sapwood (living wood) and the heartwood (stump) at the same age. However, the $\delta^{34}\text{S}$ values of the pith (living wood) were higher than those of heartwood (stump). This result indicated that the specific composition of sulfur compound might be consisted in pith and the $\delta^{34}\text{S}$ of the pith should be unsuitable for evaluation of sulfur deposition history.

The $\delta^{34}\text{S}$ values in ring at YOK declined from the late 1950s to early 1970s and then increased again. This trend was almost homologized in ring at INA and air SO_2 concentration at near the YOK. In contrast, the minimum value of at YOK (-7.3 ‰) was lower than that at INA (-1.6 ‰). These results should be reflected by the deposition history of anthropogenic sulfur with low $\delta^{34}\text{S}$ value at each site.

Keywords: Tree ring, Sulfur isotope, Morphology, Sulfur deposition

福島県浪江町の小規模森林域における放射性セシウムの分布 Distribution of radiocesium in a small forest at Namie town in Fukushima Prefecture

緒方 裕子^{1*}; 黒島 碩人¹; 大河内 博¹; 床次 眞司²; 反町 篤行³; 細田 正洋⁴; 五十嵐 康人⁵; 片岡 淳¹; 大須賀 慎二⁶
OGATA, Hiroko^{1*}; KUROSHIMA, Hiroto¹; OKOCHI, Hiroshi¹; TOKONAMI, Shinji²; SORIMACHI, Atsuyuki³; HOSODA,
Masahiro⁴; IGARASHI, Yasuhito⁵; KATAOKA, Jun¹; OHSUKA, Shinji⁶

¹ 早稲田大学, ² 弘前大学, ³ 福島県立医科大学, ⁴ 弘前大学大学院, ⁵ 気象研究所, ⁶ 浜松ホトニクス株式会社

¹ Waseda University, ² Hirosaki University, ³ Fukushima Medical University, ⁴ Hirosaki University Graduate School, ⁵ Meteorological Research Institute, ⁶ Hamamatsu Photonics K.K.

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、環境中に大量の放射性物質が放出された。福島県は面積の約 70 % が森林で覆われており、輸送されてきた放射能プルームが通過した際に、森林樹冠などに放射性物質が捕捉された可能性が高い。新たな人工放射性物質の放出がない現在では、森林が放射性物質の二次放出源となり、森林から系外への流出が懸念されている。従って、比較的半減期の長い放射性セシウム (Cs) の森林域における動態や流出挙動を把握することは極めて重要である。

我々は 2012 年 6 月から帰宅困難区域にある福島県浪江町の小規模森林域において、落葉広葉樹林と常緑針葉樹林 (スギとマツが主体) の 2 箇所ですべてサンプリングを行っている。広葉樹林は主要道路から林道を約 200 m、針葉樹林はさらに 500 m 奥に入った地点にあり、標高 440-540 m である。採取地点の横を林道沿いに小川が流れている。サンプリングは降雪時期 (1-3 月) を除いて毎月行った。試料は林外雨、林内雨、生葉、落葉、土壌、小川の水、川砂であり、各試料の放射性 Cs 濃度を測定し、森林内分布を調べた。

2012 年 11 月に各採取地点で空間線量率を測定した結果、広葉樹林 (5.64 $\mu\text{Sv/h}$) の方が針葉樹林 (4.11 $\mu\text{Sv/h}$) よりも高かった。また、生葉、落葉、表層土壌の放射性 Cs 濃度は、いずれも針葉樹林よりも広葉樹林で高かったが、土壌に対する濃度比は針葉樹の落葉層が広葉樹よりも高かった。これは、広葉樹林が林縁部に近く、エッジ効果により林縁部で効果的に放射性物質が捕捉されたためだと考えられる。しかし、広葉樹林の生葉は事故当時には落葉し展開していなかったことから、比較的高濃度の放射性 Cs が広葉樹の生葉から検出された要因として、放射性物質の再飛散による付着、枝からの転流、経根吸収などが考えられる。

そこで、2013 年 4 月と 12 月にスクレーパープレートを用いて深度ごとに土壌の放射線 Cs 濃度を測定した。深さ 5 cm までは 0.5 cm ごとに、5-10 cm は 1 cm ごとに広葉樹林と針葉樹林で土壌を採取した。4 月の結果では、広葉樹林、針葉樹林ともに表層で最も濃度が高く、下部にいくほど濃度が低下した。一方 12 月の結果では、広葉樹林は 4 月と同様の傾向を示したが、針葉樹林では 1-1.5 cm で最も濃度が高く、4 月と比較して下部に濃度のピークが移動していた。従って、広葉樹林では放射性 Cs が表層土壌に存在したままで、土壌下部への移行は見られなかったが、針葉樹林では放射性 Cs が土壌深部へ浸透したことが示唆された。このような違いは、樹種や土壌の種類による影響も考えられる。広葉樹林では表層 5 cm に根の存在が確認されたことから、経根吸収の可能性が考えられる。一方、針葉樹林の主要樹種であるスギやマツは深根性であることから、表層土壌に存在する放射性 Cs の経根吸収の影響は少ないと考えられる。

樹種による経根吸収の影響を明らかにするため、広葉樹林の生葉と根、針葉樹林の生葉 (スギ) をイメージングプレートを用いて調べた。その結果、広葉樹林の葉および根はその輪郭がはっきり分かる程度に、全体的に放射性物質が分布していた。しかし、針葉樹林では葉の形はまったく見えず、黒い斑点が少し見える程度であった。従って、広葉樹では経根吸収や転流により葉まで放射性 Cs が分布し、針葉樹は葉表面へ放射性物質が付着して存在している可能性が示唆された。

以上の結果から、我々が調査した小規模森林域における放射性 Cs は以下のような動態を示すと考えられる。広葉樹林では土壌の表層近くに根が張っており、表層土壌から放射性 Cs を吸収し、葉などへ葉脈を通して移動し、落葉により再び林床に戻るといったサイクルで森林内を循環している可能性がある。一方、針葉樹林では葉に付着した放射性 Cs が落葉により徐々に林床に落下するが、針葉樹は深根性のため経根吸収や転流の影響は少なく、降雨などにより徐々に表層土壌の放射性 Cs が土壌深部へ移行していると考えられる。これらの動態を明らかにするには、より詳細な調査が必要である。

発表時には、森林内を流れる小川で粒径別に採取した川砂の放射性 Cs 濃度を測定した結果などから、小川を介した放射性 Cs の流出機構についても議論する予定である。

クスの葉を用いた大気の水銀汚染モニタリングと汚染度の地域比較 Monitoring of atmospheric mercury pollution using a leaf camphor tree (*Cinnamomum camphora* (L.) Sieb.)

近政 孝哉^{1*}; 神山 直子¹; 佐竹 研一¹
CHIKAMASA, Takaya^{1*}; KAMIYAMA, Naoko¹; SATAKE, Kenichi¹

¹ 立正大学地球環境科学部

¹ Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

水銀の発生源は火山活動などによる自然発生源と化石燃料や汚泥などの焼却などの人為発生源の2つに分けられる。これらの発生源から排出された水銀は、大気中で主にガス状態で存在している。一方、樹木は大気中の汚染物質を葉や樹皮に吸収又は吸着により蓄積している。葉による蓄積の場合は気孔から大気中の汚染物質を吸収していると考えられる。本研究では葉に含まれる水銀量を測定することにより大気の水銀汚染モニタリングを行うことを目的とした。大気中の水銀汚染の指標には常緑広葉樹かつ新芽の展開から落葉までの2年間、吸収・蓄積が予想されるクスノキ (*Cinnamomum camphora* (L.) Sieb.) を用いることで、化石燃料の利用の増大が予想される冬季を含む、通年のモニタリングを行った。対象としたサンプリング地点は比較的都市部に近いため人為起源による汚染の影響を受けていると考えられる、埼玉県熊谷市に位置する立正大学構内である。加えて、水銀汚染の地域比較を行うために、群馬県桐生市野の大クスノキ、埼玉県越生市上谷の大クス、東京都台東区上野恩賜公園、東京都江東区猿江恩賜公園、千葉県千葉市千葉公園、千葉県勝浦市玉前神社においてサンプルを採取した。

1. 葉の乾燥温度による重量変化及び乾燥に伴う水銀濃度の変化

クスの葉を70℃、130℃でそれぞれ5時間乾燥を行ったとき、恒量に達するまでに70℃では60分、130℃では10分であることが明らかとなった。また、各乾燥温度における水銀濃度は70℃で33.4ngg⁻¹、130℃で33.0ngg⁻¹であった。室温の葉の水銀濃度を100%としたときのクスの葉中に含まれる水銀の残留率は70℃で89%、130℃で87%であることが明らかとなった。

2. 葉の部位別水銀濃度と葉内に含まれる水銀濃度

クスの葉を先端から葉柄にかけて上部、中部、下部に分割し、各部位の水銀濃度を測定したところ、上部で62.0ngg⁻¹、中部で67.0ngg⁻¹、下部で66.5ngg⁻¹とであることが明らかとなった。加えて、葉に含まれる全水銀濃度と葉に沈着した水銀を取り除いた葉内のみに含まれる水銀濃度を比較した。その結果、葉に含まれる水銀の多くは葉内に含まれていることが明らかとなった。

3. 時系列変化による葉に含まれる水銀濃度の変化

葉齢の異なる葉を用いることで葉に蓄積した水銀濃度の時系列変化を調査した。葉齢は葉が展開してから1年未満の葉を新芽、1年から紅葉未満の葉を1年葉、紅葉の3段階とした。

キーワード: 水銀, クスノキ, 環境

Keywords: mercury, camphor tree, environment

不耕紀栽培が熱帯サトウキビ畑の物理性の回復に及ぼす影響 Restoration of Soil Physical Properties by No-tilled Management in Tropical Sugarcane.

森 也寸志^{1*}; 荒井 見和²; 金子 信博²; Swibawa Gede³; Niswati Ainin³
MORI, Yasushi^{1*}; ARAI, Miwa²; KANEKO, Nobuhiro²; SWIBAWA, Gede³; NISWATI, Ainin³

¹ 岡山大学, ² 横浜国立大学, ³ ランブン大学

¹Okayama University, ²Yokohama National University, ³University of Lampung

インドネシア・スマトラ島のサトウキビ畑では伝統的な耕起栽培が行われており、近年では明確な理由はわからないものの、土地がやせ収穫量の減少が見られる。ここでは不耕起栽培を行い、土壤物理性の回復を目指したフィールド実験の結果を報告する。30m × 100m の畑を 20 枚用意し、A: 耕起・バガスマルチ, B: 耕起, C: 不耕起, D: 不耕起・バガスマルチの 4 処理管理を 5 反復行い、土壤環境に与える影響を調査した。不耕起栽培と耕起栽培では表層の透水性はあまり変わらないか、不耕起栽培の方が僅かに透水性が悪いという結果が得られた。しかし、オーガー透水試験を行うと 30cm 以下の深いところの透水性は明らかに不耕起栽培の方が良い結果が得られ、不耕起栽培の影響は根群域下で顕著に現れることがわかった。また、土壤有機物は深さ 30cm の所では不耕起栽培の方が多い結果となった。慣行栽培では重機の侵入があり、これが土壤構造を深部まで破壊すること、逆に不耕起栽培では土壤構造が保存されると考えると上の透水性の結果を合理的に解釈できる。サトウキビは根が浅く、深さ 2-30cm 以下では新鮮な根が観察されないことから、土壤深部では植物による有機物の利用がないと仮定すると、下方浸透によって下方に運ばれた有機物が蓄積しやすい傾向にあるという解釈が可能であった。

キーワード: 不耕起栽培, サトウキビ, 浸透, 炭素

Keywords: Non-till, Sugarcane, Infiltration

物理分画、同位体分析、固体・放射光分析による土壌有機物安定化の総合的理解 A study of soil organic matter stabilization using physical fractionation, isotopic, and spectroscopic approaches

和穎 朗太^{1*}; 浅野 眞希¹; 早川 知恵¹; 井上 弦²; 梶浦 雅子¹; 平舘 俊太郎¹; 山口 紀子¹; 稲垣 善之⁷; 内田 昌男³; 武市 泰男⁴; 菅 大暉⁵; 神農 宗徹⁴; 小野 寛太⁴; 高橋 嘉夫⁵
WAGAI, Rota^{1*}; ASANO, Maki¹; HAYAKAWA, Chie¹; INOUE, Yudzuru²; KAJIURA, Masako¹; HIRADATE, Shyuntaro¹; YAMAGUCHI, Noriko¹; INAGAKI, Yoshiyuki⁷; UCHIDA, Masao³; TAKEICHI, Yasuo⁴; SUGA, Hiroki⁵; JINNOU, Muneaki⁴; ONO, Kanta⁴; TAKAHASHI, Yoshio⁵

¹ (独) 農業環境技術研究所, ² 九州大学大学院工学研究院 地球資源システム工学部門, ³ (独) 国立環境研救助, ⁴ 高エネルギー研究所, ⁵ 広島大学大学院理学研究科, ⁶ 株式会社 トヤマ, ⁷ 森林総合研究所

¹National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), ²Kyushu University, ³National Institute of Environmental Studies (NIES), ⁴High Energy Accelerator Research Organization (KEK), ⁵Hiroshima University, ⁶TOYAMA Co. Ltd., ⁷Forestry and Forest Products Research Institute

Volcanic-ash soil (Andisol) is unique among the world soil types due to the strong physical stability of organo-mineral aggregate structure at micro and submicron scales (Asano and Wagai, 2013, Geoderma) and its high capacity to store organic matter (OM) even in upland surface horizons under warm, moist climate regime where microbial heterotrophic activity is high. Several hypotheses have been proposed to account for these features of Andisol including (i) strong interaction of OM with dissolved metals (Al, Fe) and/or short-range-order (SRO) minerals that are quite abundant in this soil type, and (ii) preservation of recalcitrant compounds such as char.

Here we present some highlights from the 3-year project (GR091, NEXT Program, JSPS) examining the mechanisms of soil OM stabilization with a focus on organo-mineral interactions at various spatial and temporal scales using multiple analytical methods and experimental approaches. After careful consideration of the degree of soil aggregate disruption levels, we physically fractionated Andisol surface horizon sample based on particle size and density. Chemical composition of each physical fraction was assessed by elemental analysis, selective dissolution of inorganic phases, and solid-state ¹³C-NMR. The origin and degree of microbial alteration of OM was estimated from C and N stable isotope ratios while the turnover time of C was assessed by radiocarbon measurements. Physical features of soil mineral and organo-mineral aggregate surfaces were characterized by specific surface area (N₂-BET), XPS, and microscopic methods. We also conducted tracer experiments to further assess the residence time of the OM in each density fractions. Based on these results, we will discuss the progression of organo-mineral associations from fresh plant detritus to the aggregates of varying structure and stability for the studied Andisol.

キーワード: 土壌炭素, 炭素循環, 有機物・鉱物相互作用, 微細形態分析, 固体分析, 同位体分析

第1回海洋産出試験実施地点におけるメタンハイドレートの地層評価と生産区間の選定

Formation evaluation and production interval determination at the 1st offshore methane hydrate production test site

藤井 哲哉^{1*}; 高山 徳次郎¹; 鈴木 清史¹; 山本 晃司¹
FUJII, Tetsuya^{1*}; TAKAYAMA, Tokujiro¹; SUZUKI, Kiyofumi¹; YAMAMOTO, Koji¹

¹ 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

¹Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

In order to evaluate productivity of gas from marine methane hydrate (MH) by the depressurization method, on March 2013, the first offshore production test from MH concentrated zone (MHCZ) was conducted by the Research Consortium for Methane Hydrate Resource Development in Japan (MH21) at the AT1 site located in the north-western slope of Daini-Atsumi Knoll in the eastern Nankai Trough, Japan.

Before the production test, during the pre-drilling campaign conducted in 2012, extensive geophysical logging and pressure coring using Hybrid Pressure Coring System were conducted at monitoring well (AT1-MC) and coring well (AT1-C), in order to obtain fundamental information about reservoir properties of MH bearing formation for reservoir characterization, and also to decide on the production interval.

The MHCZ confirmed by the geophysical logging at AT1-MC has a thin-turbidite assemblage (from several tens of centimeters to a few meters) with 60 m of gross thickness; it is composed of lobe/sheet type sequences in the upper part, and relatively thick channel sand sequences in the lower part. The MHCZ at AT1-MC is thicker than those found in wells drilled in 2004 (β 1, 45 m), which were located about 150 m northeast of MT1-MC. This fact indicates that the predictions provided by a seismic interpretation and an inversion analysis were reasonable. Moreover, we confirmed that the silt-dominant formation just above the MHCZ was more than 20 m thick; this was expected to be a seal formation. The well-to-well correlation between two monitoring wells (AT1-MC and MT1) in a 40 m distance shows fairly good lateral continuity of these sand layers (upper part of MHCZ), indicating an ideal reservoir for the production test.

In the upper part of the MHCZ, hydrate pore saturation (Sh) estimated from resistivity log showed distinct difference in value between sand and mud layers, compared to Sh from Nuclear Magnetic Resonance (NMR) log. Resistivity log has higher vertical resolution than NMR log, so it is favorable for these kinds of thin bed evaluation. In this part, 50 to 80% of Sh was observed in sandy layer. On the other hand, lower part of the MHCZ, Sh estimated from both resistivity and NMR log showed higher background value and relatively smoother curve than upper part. In this part, 50 to 80% of Sh was observed in sandy layer as well.

On the basis of the above observations, a production interval was planned. When we consider an effective depressurization, the existence of sealing layers is critical both above and below the interval. We expect that thin silty layers within the lower part of MHCZ will serve as a sealing layer that will prevent water coning from water-bearing layers. Therefore, we stopped drilling the production well at about 20 m above BSR, and decided to produce from approximately 40 m from the top of the MHCZ.

Our future (ongoing) work is to integrate reservoir characterizations based on well logs and pressure core data for the history matching of production test results.

This study is a part of the program of the Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (MH21 Research Consortium).

キーワード: メタンハイドレート, 海洋産出試験, 地層評価, 生産区間, 東部南海トラフ, 第二渥美海丘

Keywords: methane hydrate, offshore production test, formation evaluation, production interval, eastern Nankai Trough, Daini-Atsumi Knoll

圧力コアラーで回収された孔隙充填型メタンハイドレート含有堆積物のP波速度特性 P-wave velocity features of Methane Hydrate-Bearing turbidity sediments sampled by Pressure Core Tool

鈴木 清史^{1*}; Carlos J. Santamarina²; William Waite³; William J. Winters³; 伊藤 拓馬⁴; 中塚 善博¹; 今野 義浩⁴; 米田 純⁴; 木田 真人⁴; 神 裕介⁴; 江川 浩輔⁴; 藤井 哲哉¹; 長尾 二郎⁴; 山本 晃司¹
SUZUKI, Kiyofumi^{1*}; SANTAMARINA, Carlos J.²; WAITE, William³; WINTERS, William J.³; ITO, Takuma⁴; NAKATSUKA, Yoshihiro¹; KONNO, Yoshihiro⁴; YONEDA, Jun⁴; KIDA, Masato⁴; JIN, Yusuke⁴; EGAWA, Kosuke⁴; FUJII, Tetsuya¹; NAGAO, Jiro⁴; YAMAMOTO, Koji¹

¹ 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, ² 米国ジョージア工科大学, ³ 米国地質調査所, ⁴ 独立行政法人産業技術総合研究所メタンハイドレート研究センター

¹JOGMEC/TRC, ²Georgia Institute of Technology, United State, ³USGS, ⁴AIST/MHRC

メタンハイドレートを分解しガスを生産する海洋産出試験を実施した第二渥美海丘のメタンハイドレート貯留層は、チャンネル、あるいはローブ環境の堆積環境で形成されたと考えられる砂泥互層で構成されている。メタンハイドレートの貯留層では、もともとの未固結の砂層と泥層という堆積物種による物性の差異に加え、孔隙にメタンハイドレートが充填した結果生じる物性変化がある。メタンハイドレートの含有量などを正確に把握するためには、メタンハイドレートを分解させない状態で試料を採取し各種物性を測定することから始める必要がある。

第一回海洋産出試験に先立ち、メタンハイドレートを分解させない圧力コアリングによるコア採集を2012年6-7月に実施した。圧力コアリングは、圧力コアラー (Hybrid PCS) と圧力コアの分析・ハンドリング装置である英 Geotek 社の Pressure Core Analysis and Transfer System (PCATS) を搭載した独) 海洋研究開発機構のちきゅうで行った。HybridPCSによるコアリングは、メタンハイドレート濃集区間の50m余で実施し、回収率は大凡70%でかなり品質の良いコアを回収することができた。これらのコア堆積物のP波速度をPCATSを用い船上で非破壊で測定したところ、泥質堆積物とメタンハイドレート含有砂質堆積物では最大1,200m/sもの速度差が計測され、一枚の砂層の中においても速度変化が計測された。後日、JOGMEC、AIST、USGS、ジョージア工科大学の共同研究として、Pressure Core Characterization Tools (PCCTs) を用いたP波速度の測定を実施したところ、P波速度について船上測定と良い一致を見た。報告においては、堆積物の粒度分析等と併せ、砂層の孔隙充填型メタンハイドレートの性状について報告する。

謝辞

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) によって実施された研究の一部である。発表を許可していただいたMH21・経済産業省に感謝の意を表します。

キーワード: メタンハイドレート, P波速度, タービダイト, 孔隙充填, 粒度分布

Keywords: Gas hydrate, P-wave velocity, Turbidite, Pore-filling type, Grain size distribution

海洋産出試験海域の貯留層評価と地質モデリング Reservoir Characterization and geological modeling for methane hydrate-bearing sediments around the 1st Offshore Product

玉置 真知子^{1*}; 鈴木 清史²; 藤井 哲哉²; 佐藤 明彦¹
TAMAKI, Machiko^{1*}; SUZUKI, Kiyofumi²; FUJII, Tetsuya²; SATO, Akihiko¹

¹ 日本オイルエンジニアリング株式会社, ² 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
¹ Japan Oil Engineering Co., Ltd., ² Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

海洋産出試験地域のメタンハイドレート貯留層は、海底扇状地のローブ～チャンネル堆積体中のタービダイト堆積物中に形成されている(高野ほか, 2009)。海洋産出試験における生産挙動を詳細に評価するためには、MH濃集帯内でみられるタービダイトの岩相変化やそれに応じた各種貯留層物性を再現した地質モデルが必要である。本発表では、東部南海トラフにおける海洋産出試験地域のメタンハイドレート貯留層を対象に、三次元地震探査データおよび坑井データを用いて貯留層キャラクターゼーションを実施し、地球統計学的手法を適用した三次元地質モデルの構築手法について紹介する。

地質モデリング作業では、まず、震探解釈に基づくホライゾンや坑井間対比の情報をもとに岩相変化に沿ったレイヤリングやグリiddingをおこなないモデルの骨格となるフレームを構築する。次に、各グリッドの物性として、岩相分布や貯留層特性分布を作成する。貯留層特性としては、生産挙動予測のためのシミュレーションに必要な入力データとして、ハイドレート飽和率、孔隙率、浸透率等を作成した。これらの分布は、坑井で得られたデータを直接データとし、地球統計学的手法によって確率論的な分布を再現している。その際、三次元震探データを間接データとして取り込むことで、より信頼性の高い分布の再現が可能になる。中でも、ハイドレート飽和率については、弾性波速度と貯留層物性の関係を理論式で繋ぐ岩石物理モデルが構築されており、ハイドレート飽和率の分布では、サイスミックインバージョン解析によって得られたP波速度を間接データとして分布を予測した。

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)の研究の一環として実施した。本研究の公表許可をいただいた経済産業省ならびにMH21に謝意を表す。

南海トラフ熊野海盆に発達するメタンハイドレート層中のヨウ素とメタンの起源 Source of iodine and methane in gas hydrate layers in the Kumano Basin, Nankai Trough

山本 逸樹¹; 戸丸 仁^{1*}; 松崎 浩之²
YAMAMOTO, Itsuki¹; TOMARU, Hitoshi^{1*}; MATSUZAKI, Hiroyuki²

¹ 千葉大学理学部地球科学科, ² 東京大学タンデム加速器研究施設
¹Department of Earth Sciences, Chiba University, ²MALT, University of Tokyo

海洋堆積物中の間隙水に溶存するメタンとヨウ素はともに海洋有機物を起源とし間隙水中での挙動も近いため、メタンハイドレート層にはヨウ素も濃集する。これらのヨウ素の放射性同位体比を測定することによって、メタンとヨウ素の起源層を決定することが可能である。本研究では南海トラフの熊野海盆の海底面下 200 – 400 m の砂層を中心に発達するメタンハイドレート層中の間隙水の放射性ヨウ素同位体比を高頻度で測定し、メタンがどのように集積したのかを検討した。

間隙水中のヨウ素濃度はメタンハイドレート濃集帯最上部の砂層中 (~200 m) で最大となり、放射性ヨウ素同位体比も最も古い値を示した。これはより陸側の古い堆積物中で生成したメタン (ヨウ素) が砂層中を選択的に移動し、メタンハイドレート層に供給されたことを反映する。メタンハイドレート層中のヨウ素同位体比はそれ以外の相に比べて有意に古く、古いメタンの集積がハイドレート層の発達には不可欠であるといえる。

キーワード: メタンハイドレート, ヨウ素同位体, 間隙水
Keywords: Methane hydrate, Iodine isotope, Pore water

地方自治体におけるメタンハイドレート調査の試み Trials of the methane hydrate observations in the local governments

青山 千春^{1*}
AOYAMA, Chiharu^{1*}

¹ 株式会社独立総合研究所
¹ Japans Independent Institute

日本海側の自治体1府9県は、「海洋エネルギー資源開発促進日本海連合（以下、日本海連合）」を2012年9月に設立し、政府のメタンハイドレート資源開発を後押しする事で、地域の活性化と雇用創出をめざしている。日本海連合の中の新潟県と兵庫県は県独自のメタンハイドレート調査を実施し、政府へその成果を示すことで、政府の開発促進をアピールしている。一方で太平洋側の和歌山県は、政府が開発している海域より、陸側に近い海域に表層型メタンハイドレートが存在する事を示すことにより、開発海域の再検討を政府へアピールしたい考えである。独立総合研究所は、2013年度に新潟県、兵庫県と和歌山県とそれぞれ共同研究を実施したので、その報告を行う。

新潟県との共同調査は、2013年6月に、メタンブルームの観測を実施した。新潟県が保有する「越路丸」（187トン）で、佐渡東方の最上舟状海盆東斜面（水深200mから600m）において、カラー魚群探知機（FURUNO FCV-10）を利用して実施した。その結果、複数のブルームが観測された。

兵庫県との共同調査は、2013年9月に、計量魚群探知機によるメタンブルームの観測、サブボトムプロファイラーによる海底下の観測、マルチビームによる海底地形の観測を実施した。「第七開洋丸」（499トン）で、隠岐堆東方海域で実施した。さらにピストンコアリングを行い、5本のサンプルを採取し、メタンハイドレートの痕跡を複数確認した。

和歌山県との共同調査は、2013年11月と2014年1月に観測を実施した。和歌山県が保有する漁業調査船「きのくに」（99トン）で、潮岬南方12海里的の潮岬海底谷（水深1,700mから2,200m）において、計量魚群探知機（SIMRAD ES60）を利用して実施した。その結果、複数のブルームが観測された。太平洋側でのブルームの報告は、いままでほとんど無いので、今後も観測を続けたい。

キーワード: メタンハイドレート, メタンブルーム, 計量魚群探知機, ピストンコア
Keywords: methane hydrate, methane plume, quantitative echo shounder, piston core

足摺海丘からの海水中のメタンブルーム分布を利用したメタン放出量の推定 Quantify methane seeping flux from Ashizuri knoll, Nankai Trough

原 修一^{1*}; 角 皆 潤¹; 小 松 大 祐¹; 芦 寿 一 郎²; 中 村 光 一³; 砂 村 倫 成⁴; 中 川 書 子⁵; 土 岐 知 弘⁶
HARA, Shuichi^{1*}; TSUNOGAI, Urumu¹; KOMATSU, Daisuke¹; ASHI, Juichiro²; NAKAMURA, Ko-ichi³; SUNAMURA,
Michinari⁴; NAKAGAWA, Fumiko⁵; TOKI, Tomohiro⁶

¹ 名大院・環境・地環, ² 東大海洋研, ³ 産総研, ⁴ 東大院・理・地惑, ⁵ 北大院・理・地惑, ⁶ 琉球大・理・海洋自然
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., ²ORI, Tokyo Univ., ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Division of Earth and Planetary Sciences, Grad. School Sci., Tokyo Univ., ⁵Division of Earth and Planetary Sciences, Grad. School Sci. Hokkaido Univ., ⁶Department of chemistry, Biology and Marine Science, Ryukyu Univ.,

メタンは還元環境下の深海底堆積物中に広く分布しており、地球上の主要な炭素リザーバーの1つとなっている。その量はハイドレート化したものだけで大気中のメタンの約3000倍かそれ以上と言われており (Kvenvolden, 1988)、例えその一部でも大気中へ漏出すると、気候への影響が無視できない。したがって海底下にハイドレート等として胚胎されたメタンが海水中でどのように挙動するのか、特に海水を通過し大気まで到達している可能性がないかどうかを検証することは、過去及び未来の急激な気候変動を考察するうえで極めて重要である。

高知県沖の足摺海丘 (32° 29' N, 133° 37' E) は、東北東-西南西方向に伸びた形状を示し、山頂の水深は543mしかない。足摺海丘およびその周辺海底では、物理探査によってBSRの分布が広く確認されている他、この海丘直上の海水中ではメタンの高濃度異常も観測されていて、この海丘から海水中にメタンが放出されているものと考えられている。

本研究では、海底下の移動から湧出、ブルーム形成に至るメタンの挙動や、足摺海丘からのメタンの湧出フラックス、さらに大気へのメタン漏出の可能性の有無を検討することを目的として、2013年9月に足摺海丘およびその周辺において海水試料を採取し、海丘直上及び周辺海水中のメタン濃度分布を定量化した。更にメタンの炭素・水素安定同位体比も同時に分析し、その成因が微生物起源か、それとも熱分解起源であるのか、また海水中における微生物酸化分解の有無に関する考察を行った。

分析の結果、足摺海丘直上の試料から高濃度のメタンが検出された (最高 145 nmol/L)。また海水中のメタン濃度分布から、海丘から見て北東の方向の水深 450 m~660 m の範囲に、メタンブルームが広がっていることが分かった。これは、足摺海丘頂上の深度と一致するため、足摺海丘頂上付近が放出源となり、そこから水平方向にブルームが広がっているものと考えられる。しかしながら、足摺海丘直上のメタンの安定同位体比と北東方向に広がっているメタンブルームの安定同位体比は、周辺海水の寄与を補正しても一致しなかった。足摺海丘から放出されるメタンの一部は、海水中に拡散していく過程で微生物によるメタンの酸化分解を受けている可能性がある。

一方メタンの鉛直プロファイルから、湧出するメタンが定常的に大気へ放出されている可能性は低いことも明らかとなった。また、濃度分布から算出された海底からのメタン放出量は、新潟上越沖メタンハイドレート露出域からの放出量と同程度であることや、湧出するメタンは、熱分解起源である可能性が高いことが明らかとなった。

サハリン島南東・南西沖の天然ガスハイドレートの特徴 Characteristics of natural gas hydrates retrieved off the southeastern and southwestern Sakhalin Island

八久保 晶弘^{1*}; 坂上 寛敏¹; 南 尚嗣¹; 山下 聡¹; 高橋 信夫¹; 庄子 仁¹; Vereshchagina Olga²; Jin Young K.³; Obzhirov Anatoly²

HACHIKUBO, Akihiro^{1*}; SAKAGAMI, Hirotoshi¹; MINAMI, Hirotsugu¹; YAMASHITA, Satoshi¹; TAKAHASHI, Nobuo¹; SHOJI, Hitoshi¹; VERESHCHAGINA, Olga²; JIN, Young K.³; OBZHIROV, Anatoly²

¹ 北見工業大学, ² ロシア科学アカデミー太平洋海洋学研究所, ³ 韓国極地研究所

¹Kitami Institute of Technology, ²Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, ³Korea Polar Research Institute

Gas hydrate samples were retrieved at the southeastern and southwestern Sakhalin Island in the cruises of LV59 and LV62 (R/V Akademik M. A. Lavrentyev). Sakhalin Slope Gas Hydrate (SSGH) project started in 2007, and we retrieved sediment cores including gas hydrates off northeastern Sakhalin Island in 2009-2011. In the recent cruises (2012-2013), we sampled sediment cores at the Terpeniya Ridge and the Tatarsky Trough (SE and SW Sakhalin Island, respectively). We found a lot of gas plumes ascend from the sea bottom and the dissolved methane in sediment pore water was rich. Gas hydrate crystals were recovered from both areas and stored into liquid nitrogen tank. Their dissociation heat and hydration number were measured by a calorimeter and Raman spectrometer, respectively. Dissociation heat of gas hydrates was almost the same as that of pure methane hydrate. Raman spectra showed that the hydrate crystals of both Terpeniya Ridge and Tatar Trough belonged to the structure I, and the hydration number was estimated about 6.0. Molecules of hydrogen sulfide were detected in both large and small cages of the structure I. Therefore, the hydrate crystal is similar to that obtained from NE Sakhalin Island in our previous cruises.

We obtained hydrate-bound gas and dissolved gas in pore water on board and measured their molecular and stable isotope compositions. Empirical classification of the methane stable isotopes; $\delta^{13}\text{C}$ and δD indicated that the gases obtained at the Terpeniya Ridge are microbial origin via carbonate reduction, whereas some cores at the Tatarsky Trough showed typical thermogenic origin. We retrieved three sediment cores with gas hydrate at the Tatarsky Trough, and their $\delta^{13}\text{C}$ of hydrate-bound methane were -47.5 ‰, -44.2 ‰, and -68.8 ‰, respectively. Therefore, gas hydrates encaged both microbial and thermogenic gases yield at the Tatarsky Trough. Ethane-rich (up to 1% of the total guest gas) hydrates were found at the Terpeniya Ridge and the Tatarsky Trough, and encaged ethane was also detected in their Raman spectra. Ethane $\delta^{13}\text{C}$ of the all gas samples suggested their thermogenic origin.

キーワード: ガスハイドレート, 安定同位体, オホーツク海, ラマン分光分析, 熱分析

Keywords: gas hydrate, stable isotope, Sea of Okhotsk, Raman spectroscopic analysis, Calorimetry

海底設置型浅層採泥装置 RD2 を用いてハイドレートマウンドとガスチムニー掘削の最初の試み

First attempt to drill down hydrate mound and gas chimney by BGS Rockdrill 2

松本良^{1*}; ウィルソン マイケル²
MATSUMOTO, Ryo^{1*}; WILSON, Michael²

¹ 明治大学ガスハイドレート研究所, ² イギリス地質調査所
¹Meiji University-Gas Hydrate Laboratory, ²British Geological Survey

2004 年以來の一連のピストンコアリング調査は日本海のハイドレートマウンドとガスチムニーの上部に塊状のガスハイドレートが集積していることを明らかにしたが、ピストンコアラの貫入深度の限界により、海底から 10 メートル以深のハイドレート分布と資源ポテンシャルについて明確な回答は出ていない。他方、三次元地震探査は、ガスチムニー内に顕著なプルアップ構造を明らかにした。この構造は速度異常による偽構造であるが、この存在は、ガスチムニー内には体積で 20 から 30 パーセントのガスハイドレートが存在することを示唆する。2013 年の夏、明治大学はイギリス地質調査所との共同学術調査を実施し BGS の開発した海底設置型掘削装置ロックドリル 2 を上越海盆のハイドレートマウンド上に投入し、ハイドレートと炭酸塩を含む堅い堆積物とガスを含む軟らかい堆積物が混在する地層を海底からの深度 32 メートルまで掘削することに成功した。掘削の前後におけるハイドレートの分解と生成したガスの膨張が原因でコア回収率は良くなかった。しかし、海底下 32 メートルまでの間の数カ所からガスハイドレートの試料を回収する事に成功した。掘削記録、ビデオモニターおよび実際に回収された掘削コアの観察から、厚さ 2.7 メートルのハイドレート集積帯が何枚も存在すると推定される。ロックドリル 2 の掘削はハイドレートマウンドとガスチムニーの深い所にもハイドレートが密集して存在することを証明しているようである。

キーワード: ガスハイドレート, 日本海, ハイドレートマウンド, ガスチムニー, ロックドリル 2
Keywords: gas hydrate, Japan Sea, hydrate mound, gas chimney, Rockdrill 2

UT13 航海における日本海東縁の表層型ガスハイドレートの生成とガス・間隙水の地球化学 Formation of shallow gas hydrates and geochemistry of gas and pore water from UT13 cruise in the Japan Sea

尾張 聡子^{1*}; 鈴木 善晴¹; 戸丸 仁¹; 内田 隆²; 小林 武志³; 谷 篤史⁵; 沼波 秀樹⁴; 松本 良⁶
OWARI, Satoko^{1*}; SUZUKI, Yoshiharu¹; TOMARU, Hitoshi¹; UCHIDA, Takashi²; KOBAYASHI, Takeshi³; TANI, Atsushi⁵
; NUMANAMI, Hideki⁴; MATSUMOTO, Ryo⁶

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 秋田大学大学院工学資源学研究所, ³ 東京海洋大学, ⁴ 東京家政学院大学家政学部家政学科, ⁵ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ⁶ ガスハイドレート研究所
¹Graduate school of Science, Chiba university, ²Akita University Faculty of Engineering and Resource Science, ³Tokyo University of Marine Science and Technology, ⁴Department of Home Economics, Faculty of Home Economics, Tokyo Kasei-Gakuin University, ⁵Dept. Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University, ⁶Gas Hydrate Laboratory

Active gas venting and distribution of massive gas hydrates are largely observed on the summits of the Umitaka Spur and Joetsu Knoll in the eastern margin of the Japan Sea, where the fault system associated with strong anticline structure constrains the accumulation of gas and following gas hydrate formation. The UT13 cruise has conducted to collect shallow sediments from the Oki Trough, north eastern of Noto Peninsula, and offshore Akita-Yamagata areas, where gas chimney structure and strong backscatter indicate migration of gas-charged fluid and potential formation of gas hydrates near the seafloor. Geochemistry of pore water, dissolved gas, and hydrate-dissociated gas reflect the geochemical environments associated with the delivery of gas and fluid and formation/dissociation of gas hydrates in the shallow sediments.

Flake-like and nodular gas hydrates were observed at 1-6 mbsf in the Oki Trough and offshore Akita-Yamagata, respectively. Concentrations of methane dissolved in pore water are high, comparable to those in the Umitaka Spur and Joetsu Knoll area, and the SMI depths are accordingly shallow at ~2.7 mbsf in the entire research area, indicating high potential of gas hydrate accumulation in the shallow sediments. Concentrations of chloride are sporadically low in all areas due to gas hydrate dissociation during core recovery, accumulations of small gas hydrates with saturations up to 20% were observed, reflecting ubiquitous formation of gas hydrates in the research area. Concentrations of calcium and magnesium show fine increase and decrease in response to sulfate changes at deeper than SMI, reflecting the change of the methane flux mainly, the formation/dissociation of gas hydrates may have changed seafloor topography and geochemical properties of pore water and gas in the shallow sediments.

Contrary to the Umitaka Spur and Joetsu Knoll area where thermogenic gas dominates in the shallow gas hydrates, chemical and isotopic compositions of gas indicate that the majority of gas is of biogenic origin with minor contribution from thermogenic ethane and hydrogen sulfide, the latter may result in expanding gas hydrate stability and forming gas hydrates near the seafloor.

This research is supported by the MEXT Grand-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI) to R. Matsumoto (Meiji University).

キーワード: 表層型ガスハイドレート, 間隙水, 溶存ガス, SMI
Keywords: Shallow gas hydrates, pore water, dissolved gas, SMI

UT12 (2012年海鷹丸表層ハイドレート調査)におけるメタン関連微生物の分布に関する研究
Distribution of methanogenic and methanotrophic archaea in subseafloor sediment collected during UT12

今城 匠^{1*}; 小林 武志¹; 今田 千秋¹; 寺原 猛¹; 松本 良²
IMAJO, Takumi^{1*}; KOBAYASHI, Takeshi¹; IMADA, Chiaki¹; TERAHARA, Takeshi¹; MATSUMOTO, Ryo²

¹ 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科, ² 明治大学

¹The graduate school of marine science and technology, TUMSAT, ²Meiji University

Methane hydrate is now one of the most popular energy sources in the world, and various amounts are presumed to be buried around Japan's continental margins. Methane contained in methane hydrate in the deep sea sediment is produced by microbial or thermogenic system. In the microbial system, methanogenic and methanotrophic archaea play an important role in this environment. However, the studies on characteristics and abilities of these microorganisms are still underway in the Sea of Okhotsk. Therefore, this study focuses on isolation of the methanogenic archaea and analysis of community construction and diversity of these microorganisms.

Sediment samples were collected from the subseafloor by the piston coring, during UT12 (Umitaka-maru Gas Hydrate Research Cruise 2012). Samples were collected from each core sample at appropriate intervals. The samples were stored at 4 °C for the microbiological cultivation experiment use, and at -80 °C for the microbiological diversity analysis use, respectively.

For the isolation, cultivation was carried out by enrichment culture using H₂/CO₂ medium. The cultivation temperatures were 15 °C and 30 °C, respectively. We successfully isolated several methanogenic archaea from the samples of the surface of the subseafloor. The result of the 16S rRNA gene sequence analysis showed that some of the strains were identified as closely related strains of *Methanogenium marinum*. In a previous literature, *M. marinum* was isolated from the cold marine sediment from the Scan Bay, Alaska. We also conducted the experiment to measure the methane productivity of our isolates by the range of the cultivation temperature.

For the analysis of community structure and diversity of methanogens, DNA was extracted from each sediment sample, using the ISOIL kit following the manufacturer's protocol. The 16S rRNA gene of methanogenic archaea and the mcrA gene of methanogenic and methanotrophic archaea were amplified by PCR. The PCR product was purified by FastGene Gel/PCR Extraction Kit following the manufacturer's protocol. The purified products were analyzed by T-RFLP method and clone library method. The results of the T-RFLP analysis showed that the various fragments were observed. Clone library sequencing analysis of mcrA genes indicated that some of them were identified as related sequences to *Methanogenium*. Also, results from T-RFLP method were used for MDS (Multi-Dimensional Scaling) analysis.

This experiment was supported by grants-in-aid for scientific research <KAKENHI>(Ryo Matsumoto, Meiji University).

キーワード: 表層ガスハイドレート, メタン生成古細菌, メタン酸化菌

Keywords: shallow gas hydrate, methanogenic archaea, methanotrophic archaea

バイオマーカーによって明らかにする日本海の環境変動 Environmental variability of the Japan Sea clarified by

萩原 成騎^{1*}
OGIHARA, Shigenori^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
¹ Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

MD179 航海 3312 コア表層 6.0 m の堆積物試料を用いて、暗灰色層 (TL-1 から 3) を中心に、有機地球化学 (biomarker) 分析、有機炭素、硫黄分析、硫黄同位体組成、微量組成分析により、日本海の高環境変動を推定した。その結果、TL-2 上部における強い還元環境と、突発的なメタン湧出の可能性を見出した。

無機指標：TOC 分析については、TL-2,3 で 0.8% 程度であるのに対して、TL-1 層では 2% 近い高い値を示した。C/S 比について、TL-2 の中部から上部では全ての試料が 1 以下であり、ここでの強い還元環境を示唆している。TL-1 層は、層厚わずか 28cm と薄層であるにもかかわらず、C/S 比は層内で急激に変化し、最上部では一般的海洋底の値である 3.0 まで上昇している。C/S- $\delta^{34}\text{S}$ の関係について、TL-2,3 層の強い還元が推定される層準では、 $\delta^{34}\text{S}$ 値が -27 から -34 permil、C/S 比は 0.8 から 1.0 で一定であった。これに対して TL-1 層では、C/S と $\delta^{34}\text{S}$ がそれぞれ変化し、両者に弱い比例関係が認められた。

バイオマーカー：酸化還元指標として伝統的に用いられてきた Pristane/Phytane 比 (Pr/Ph 比) は、ほとんどの試料において < 3.0 であり、還元的環境であったことが推定された。メタン酸化古細菌 (ANME) の膜脂質起源である Pentamethylcosane (PMI)、冷水炭酸塩岩に特徴的に検出される C18-isoprenoid ketone、さらに起源は明らかでないがメタン湧出地点に特徴的に見出される hop-22(29)ene (diploptene) の深度分布を調べた。PMI は、TL-2 層の一部と TL-1 の中央部に高い値が見られた。C18-isoprenoid ketone は、TL-1 中部から上部で高い値を示した。Diploptene は、TL-1 で相対的に高く、TL-2,3 の一部で相対的に低い値を示した。今回分析した暗色層中での AMNE マーカーの分布は不均質であり、TL-1,2 の堆積時の一時期に突発的なメタン湧出の可能性が認められた。この他、n-C29,31 alkane 及び C26, 28 fatty acid を用いて、陸源物質の変化を明らかにした。

本研究は MH21 メタンハイドレート・プロジェクトの一部として実施されたものである。

キーワード: 日本海, バイオマーカー, 暗灰色層, 硫黄同位体組成, 還元環境, 炭素/硫黄比
Keywords: Japan Sea, biomarker, TL layer, sulfur isotope composition, anoxic environment, C/S ratio

第 1 回メタンハイドレート海洋産出試験における物理検層作業の概要 Overview of well logging operations at the 1st offshore methane hydrate production test in the eastern Nankai Trough

高山 徳次郎^{1*}
TAKAYAMA, Tokujiro^{1*}

¹ 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
¹ Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

第 1 回メタンハイドレート海洋産出試験における物理検層作業の概要

高山徳次郎・藤井哲哉・鈴木清史・山本晃司（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）

目的

第 1 回メタンハイドレート海洋産出試験において、当該試験海域におけるメタンハイドレート（MH）賦存層の貯留層特性及び産出試験における生産挙動を評価するため、産出試験井周辺において物理検層を実施して、試験対象層の岩相及び物性データを取得する。

物理検層結果

掘削坑井周辺海域の岩相は、比較的ルーズな未固結のタービダイト砂泥互層から成るため、掘削後の washout 等により坑壁崩壊が顕著であり、検層データの品質についても問題を残すことが、これまでの結果から示唆されていた。今回の検層結果では、貯留層区間より上部の薄層タービダイト砂泥互層区間及び BSR 以深の区間において、顕著な坑壁崩壊が認められたが、その他の区間では比較的坑径が安定しており、LWD 及び WL とともに品質の良いデータが取得できた。

成果と検討課題

- (1) LWD 及び Wireline 検層作業においては、大きなトラブルはなく、順調な作業が実施できた。
- (2) MH 濃集層の上位および下位の未固結砂泥互層区間では、坑壁崩壊が著しく、検層データの品質を低下させたが、MH 濃集層においては良好な検層データが取得できた。
- (3) LWD 放射線検層では、化学放射線源を用いないパルス中性子発生装置を装備した EcoScope を使用した。本検層は国内初の試みであったが、取得された検層データの品質は良好であった。
- (4) 浅部未固結層の MH 坑井の掘削においては、著しい坑壁崩壊が発生するため、検層データの品質低下やセメント不良等のトラブルが発生する。これらの根本的な解決は難しいが、LWD データが比較的良好であったことを考慮すると、LWD ツールの種目の選定やツールの編成順序などに改善の余地を残す。

謝辞

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21）による作業の一部である。発表を許可頂いた経済産業省及び MH21 に謝意を表す。

キーワード: メタンハイドレート, 海洋産出試験, 南海トラフ, 検層

Keywords: methane hydrate, offshore methane hydrate production test, Nankai Trough, Well logging

Depicting Thermal History of the Forearc Basin Pleistocene Turbiditic Sedimentary Sequences around Daini Atsumi Knoll Depicting Thermal History of the Forearc Basin Pleistocene Turbiditic Sedimentary Sequences around Daini Atsumi Knoll

AUNG, Than tin^{1*}; FUJII, Tetsuya¹; UKITA, Toshiyasu¹; KOMATSU, Yuhei¹; SUZUKI, Kiyofumi¹
AUNG, Than tin^{1*}; FUJII, Tetsuya¹; UKITA, Toshiyasu¹; KOMATSU, Yuhei¹; SUZUKI, Kiyofumi¹

¹Methane Hydrate R&D Division, Technology & Research Center, JOGMEC

¹Methane Hydrate R&D Division, Technology & Research Center, JOGMEC

Thermal history of sedimentary basin is a key to understand hydrocarbon maturation and generation of the source rock within the basin. In terms of gas hydrate accumulation, high pressure and low temperature boundaries, the gas hydrate stability zone, is mandatory to simulate in order to understand accumulation mechanisms of gas hydrate in the studied basin. We have determined heat flow history of Pleistocene sedimentary sequences in the forearc basin round the Daini Atsumi knoll, along the eastern Nankai Trough, Japan, by simulating gas hydrate stability zone. World first offshore production test of gas hydrate was successfully done in the vicinity area of Daini Atsumi knoll during March 2013.

Simulation in 3D gas hydrate petroleum systems of the forearc basin filling with Pleistocene turbiditic sedimentary sequences around the Daini Atsumi knoll was firstly performed by applying assumed heat flow of 45 mW/m². Temperature at seabed is applied as 3.5 C throughout the model area and depositional period. Simulated sedimentary sequences consist of Pleistocene Ogasa Group of sand and shale alternative turbiditic sedimentary layers. Older upper Kakegawa Group is also included between the model basement and Ogasa group. Lithologies are interpreted from grain size analysis of cores data. Lateral facies distribution are based on seismic facies analysis. Global sea level changes are considered in applying paleo-water depths of the geologic horizons.

Simulated hydrostatic pressure matches hydrostatic pressure calculated from XPT data at well A1-L. Simulated temperature was calibrated by DTS (distributed temperature sensor) Temperature of gas hydrate reservoir zone at well AT1-MC. Calibration result reveals that heat flow has to low down to 32 mW/m² in order to fit pressure and temperature at well. Result of simulated temperature using calibrated heat flow matches with a resolution of ~1C of the well data. This heat flow value is lower than the reported value (~50 mW/m², Harris et al., 2014) around the vicinity of the studied area. Validation of this heat flow value requires 1) to reanalyze model layer thickness and total thickness of model, and 2) to reanalyze thermal conductivity of applied lithology.

In addition to above works, model is planned to update with paleo-water depth based on paleo-bathymetry from structural restoration, and reported depth from foraminiferal measurement of core samples at A1-L well. Because mass and lateral distribution of gas hydrate accumulation are considerably affected by tectonic uplift at Daini Atsumi Knoll.

This study is a part of the program of the Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (MH21 Research Consortium).

キーワード: Gas Hydrate Petroleum Systems, Daini Atsumi Knoll, Heat Flow, Pleistocene Ogasa Group, 3D, Simulation
Keywords: Gas Hydrate Petroleum Systems, Daini Atsumi Knoll, Heat Flow, Pleistocene Ogasa Group, 3D, Simulation

東部南海トラフ第二渥美海丘のタービダイトチャンネル複合体におけるメタンハイドレート貯留システム
Methane Hydrate trapping system of the turbidite channel complex in Daini-Atsumi Knoll, eastern Nankai Trough, Japan

小松 侑平^{1*}; 藤井 哲哉¹; 鈴木 清史¹
KOMATSU, Yuhei^{1*}; FUJII, Tetsuya¹; SUZUKI, Kiyofumi¹

¹ 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
¹ Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

東部南海トラフ第二渥美海丘では、地震探査および坑井データの解析によって、メタンハイドレート(以下MH)の濃集帯が確認されており(藤井ほか, 2009), 2013年に第1回海洋産出試験が行われた。このMH濃集帯の集積タイプは堆積層の分布に規制される層序規制型とされており、石油地質学でいうところの層位トラップに相当すると考えられる。しかし、MHの集積に大きく寄与すると考えられる岩相分布や泥岩のシール能力といった、具体的な地質・堆積学的なプロセスやその規制要因については、まだ十分に議論されていない。

本研究では、第二渥美海丘に発達する中部更新統小笠層群相当層のタービダイト堆積物を対象に、物理検層、コア分析などの情報を用いて詳細な堆積相解析およびシーケンス層序区分を行うことによって、正確な層位トラップの分布予測をし、MHの貯留システムについて検討した。

検討対象としたタービダイト堆積物は、主に粘土質～砂質シルトと極細粒～細粒砂の互層からなり、下位より層厚30-300mの7つの堆積サイクルが認められる。各サイクル内部は大局的には下部から上部にかけて砂層が上方薄層化していく壘重様式を示し、その岩相変化の周期はコアから得られた酸素同位体比カーブ(山崎ほか, 2011)の周期と一致する。加えて、第二渥美海丘の碎屑物供給上流側にあたる濃尾平野に分布する中部更新統の層準は氷河性海水準変動に伴って形成されたことが明らかにされており、本研究で認められた堆積シーケンスと対比可能である。以上のことから、これらの7つの堆積サイクルは、主に氷河性海水準変動に起因する第4～5オーダーシーケンスに相当し、それらの累重がより低次オーダーの堆積シーケンスを構成すると考えられる。海水準低下期～低海水準期堆積体と解釈されるMH貯留層は、下位より癒着チャンネル堆積物、マッドドレープ堆積物、非癒着チャンネル堆積物、半遠洋性泥質堆積物より構成される。これらのサクセションはサイズミックファシス解析によって、南西方向の古流向を示すタービダイトチャンネル複合体と解釈され、全体として第二渥美海丘側である南方向へ泥質化する。貯留層の上位には、数十m厚の泥質堆積物が発達し、これが有孔虫微化石の産出頻度のピークと一致することからコンデンスセクションと解釈される。第二渥美海丘では、このようなコンデンスセクション泥質堆積物を境に飽和率の異なるMH層が分布していることから、同泥質堆積物は、帽岩として優秀なシール能力を有していると考えられる。

これらの特徴から、第二渥美海丘のMHのトラップ形成において、コンデンスセクション泥質堆積物がシールとなり、それらの直下のタービダイトチャンネル複合体が貯留層となることが明らかとなった。また、貯留層を形成するチャンネル複合体の位置が構造翼部付近にあり、構造上位への砂岩せん滅方向が堆積物供給方向と斜交～直交することから、側方へのメタンの移動をシールする能力も有していると考えられる。得られた解析結果は、堆積シミュレーションの入力データとして利用する予定である。

キーワード: ガスハイドレートシステム, シーケンス層序学, 海水準変動, 海底チャンネル, 堆積相
Keywords: gas hydrate system, sequence stratigraphy, sea level change, submarine channel, sedimentary facies

断層における浸透率と粒子破碎の関係ーメタンハイドレート貯留層特性評価を目的としてー
Relationship of permeability and particle breakage of experimental fault -Evaluation for the methane-hydrate reservoir-

木村 匠^{1*}; 金子 広明¹; 伊藤 拓馬¹; 皆川 秀紀¹
KIMURA, Sho^{1*}; KANEKO, Hiroaki¹; ITO, Takuma¹; MINAGAWA, Hideki¹

¹ 産業技術総合研究所メタンハイドレート研究センター貯留層特性解析チーム
¹Reservoir Modeling Team, Methane Hydrate Research Center, AIST

Methane hydrate is expected to be an energy resource in the future. As results of coring and logging, the existence of a large amount of methane-hydrate is estimated in the east Nankai Trough, offshore central Japan, where many folds and faults have been observed. Permeability in methane hydrate-bearing sediment is important factors for estimating the efficiency of methane gas production. In this study, we use a ring-shear apparatus to examine the relationship between the permeability and grain size reduction of silica sand sample after large displacement shearing under tested effective normal stresses ranging from 0.5 MPa to 8.0 MPa. The grain size distribution in the shear zone of sand specimen after ring-shearing at each normal stress level is analyzed by laser particle analyzer. The permeability and grain size reduce with the increasing the effective normal stress due to particle breakage. The relationship between permeability and grain size distribution after ring-shearing is expressed well by a curve in each sand, silt and clay size content. In the first group, the sand size content is up to about 80 %, permeability drastically decreases by two orders of magnitude. In the second group, the sand size content is less than about 80 %, the permeability is almost constant. In the silt and clay size, the both contents are up to about 10 %, the permeability abruptly decreases, while, the permeability gradually decreases over about 10 %. The results are indicated that the grain size reduction and the effective normal stress during shearing are one of the controlling factors of the permeability in fault of sand. This study is financially supported by METI and Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (the MH21 Research Consortium).

キーワード: 断層, 粒子破碎, 浸透率, 粒度組成, リングせん断試験
Keywords: Fault, Particle breakage, Permeability, Grain size distribution, Ring-shear test

琉球弧南西部黒島海丘周辺海域でのメタン噴出とハイドレート存在の可能性 Methane seepage and possibility of hydrate-bearing layers around Kuroshima Knoll, SW Ryukyu

松本 剛^{1*}; 青木 多恵²

MATSUMOTO, Takeshi^{1*}; AOKI, Tae²

¹ 琉球大学理学部, ² 株式会社ウェザーニューズ

¹University of the Ryukyus, ²Weathernews Inc.

1996 年、黒島海丘頂部でシロウリガイ死貝が発見され、さらに 2001 年までの一連の調査航海によって、海底下においてメタンハイドレートの存在が示唆されるようになった。本研究では海洋研究開発機構が 2002 年以降に行った黒島海丘の海底観察ビデオから得られた情報から黒島海丘頂部平坦面の底質マッピングを行い、当海域におけるメタン噴出域を推定し、黒島海丘頂部平坦面の直下でメタンハイドレートが年間を通じて安定して存在するか否かを検証した。さらに琉球弧の他の海域で、メタンハイドレートが安定的に存在するか否かの検証を行った。

方法としては、2002 年以降に同機構によって行われた調査航海によって得られた海底映像からルートマップを作成することで、当海域におけるメタン湧出域を推定した。次に水温鉛直分布と海底地形、海洋におけるメタンハイドレート安定領域を参照し、黒島海丘と琉球弧におけるメタンハイドレートが存在する可能性がある海域を検証した。2002 年以降の黒島海丘におけるメタンハイドレートの分布域をマッピングから、石灰質砂岩やシロウリガイ死貝が頂部平坦面全体に広がっていた。24° 07' 48" E 124° 11' 33" N 付近では、シロウリガイ死貝や生きているシンカイヒバリガイが海底一面に広がり、バブルも約 35 ヶ所湧出していたことが確認された。また、メタンが湧出している可能性がある面積は約 4 万 m² と推定できた。

マッピングの結果を踏まえ、黒島海丘の海底下でメタンハイドレートが安定的に存在するか否か、メタンハイドレートが生成できるための温度・圧力条件から検証を行ったところ、黒島海丘頂部平坦面ではメタンハイドレートが安定的に存在する可能性は極めて低いと推定できた。さらに、琉球弧の前弧域の他の海域において、メタンハイドレートが安定して存在するか否かの検証を行ったところ、水深 700 m 以深でメタンハイドレートの安定領域に入る結果となった。

キーワード: メタンハイドレート, 黒島海丘

Keywords: methane hydrate, Kuroshima Knoll

バイカル湖ガスハイドレートに含まれる炭化水素ガスの水素同位体比 Hydrogen isotope of hydrate-bound hydrocarbons at Lake Baikal

八久保 晶弘^{1*}; 坂上 寛敏¹; 南 尚嗣¹; 山下 聡¹; 高橋 信夫¹; 庄子 仁¹; Khlystov Oleg²; Kalmychkov Gennadiy³; De Batist Marc⁴

HACHIKUBO, Akihiro^{1*}; SAKAGAMI, Hirotohi¹; MINAMI, Hirotsugu¹; YAMASHITA, Satoshi¹; TAKAHASHI, Nobuo¹; SHOJI, Hitoshi¹; KHLYSTOV, Oleg²; KALMYCHKOV, Gennadiy³; DE BATIST, Marc⁴

¹ 北見工業大学, ² ロシア科学アカデミー陸水学研究所, ³ ロシア科学アカデミー地球化学研究所, ⁴ ゲント大学

¹Kitami Institute of Technology, ²Limnological Institute, SB RAS, ³Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, ⁴Ghent University

Natural gas hydrates exist in sublacustrine sediments of Lake Baikal. Gas hydrates were first obtained from sub-bottom depths of 121 and 161 m in the Baikal Drilling Project well located at the southern Baikal basin. Recently, MHP (Multi-phase Gas Hydrate Project, 2009-2013) revealed distribution of gas hydrate in sub-bottom sediment at the southern and central Baikal basins. We obtained gas hydrate crystals from more than 25 places, and retrieved hydrate-bound gas onboard. We measured molecular and isotopic compositions of hydrate-bound gas.

According to the $\delta^{13}\text{C}$ - δD diagram for methane (Whiticar, 1999), high and low methane $\delta^{13}\text{C}$ values indicate thermogenic and microbial origins, respectively, and methane δD provides information on methyl-type fermentation or CO_2 reduction in the microbial field. Kida *et al.* (2006) and Hachikubo *et al.* (2010) reported that hydrate-bound methane of Lake Baikal was microbial origin via methyl-type fermentation, because methane δD was about -300 ‰. We found heavier methane ($\delta^{13}\text{C}$ ranged from -50 ‰ to -40 ‰) in the Kukuy Canyon area (central Baikal basin), indicating thermogenic origin. Methane δD was distributed from -330 ‰ to -270 ‰. Generally, δD of thermogenic methane of marine gas hydrates is much more heavier (more than -200 ‰). Methane δD of Lake Baikal gas hydrate seems to be about 100 ‰ smaller than that of marine gas hydrate. Matveeva *et al.* (2003) reported that δD of the lake bottom water was about -133 ‰. Possibly, methane δD of hydrate-bound methane derives from δD of water.

Hachikubo A, Khlystov O, Krylov A, Sakagami H, Minami H, Nunokawa Y, Yamashita S, Takahashi N, Shoji H, Nishio S, Kida M, Ebinuma T, Kalmychkov G, Poort J (2010) Molecular and isotopic characteristics of gas hydrate-bound hydrocarbons in southern and central Lake Baikal. *Geo-Mar Lett* **30**: 321-329. doi:10.1007/s00367-010-0203-1

Kida M, Khlystov O, Zenskaya T, Takahashi N, Minami H, Sakagami H, Krylov A, Hachikubo A, Yamashita S, Shoji H, Poort J, Naudts L (2006) Coexistence of structure I and II gas hydrates in Lake Baikal suggesting gas sources from microbial and thermogenic origin. *Geophys Res Lett* **33**: L24603. doi:10.1029/2006GL028296

Matveeva TV, Mazurenko LL, Soloviev VA, Klerkx J, Kaulio VV, Prasolov EM (2003) Gas hydrate accumulation in the subsurface sediments of Lake Baikal (Eastern Siberia). In: Woodside JM, Garrison RE, Moore JC, Kvenvolden KA (eds) Proc 7th Int Conf Gas in Marine Sediments, 7-11 October 2002, Baku, Azerbaijan. *Geo-Mar Lett* **23(3/4)**: 289-299. doi:10.1007/s00367-003-0144-7.

Whiticar MJ (1999) Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. *Chem Geol* **161**: 291-314. doi:10.1016/S0009-2541(99)00092-3

キーワード: ガスハイドレート, 結晶構造, バイカル湖, メタン, 安定同位体

Keywords: gas hydrate, crystallographic structure, Lake Baikal, methane, stable isotope

日本海東縁海底下堆積物の堆積環境と孔隙特性 Sedimentary environments and pore properties of seafloor sediments in the eastern margin of Japan Sea

内田 隆^{1*}; 堀内 瀬奈¹; 加藤 有希²; 松本 良³
UCHIDA, Takashi^{1*}; HORIUCHI, Sena¹; KATO, Yuki²; MATSUMOTO, Ryo³

¹ 秋田大学大学院工学資源学研究所, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ³ 明治大学研究知財戦略機構

¹ Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, ² Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo,

³ Organization for the Strategic Laboratory of Research and Intellectual Properties, Meiji University

日本列島の太平洋側に北東から南西方向に走る南海トラフ地域では、震探反射記録からBSRも広く分布することが報告されてきている。それらの調査結果から、この地域には世界屈指のガスハイドレート胚胎堆積層が広域に分布することが確認されている。この地域の東域に実施されてきた高分解能地震探査によりガスハイドレートの分布が明瞭に示唆されているほか、2000および2004年に掘削された基礎試錐「南海トラフ」および「東海沖～熊野灘」によっても海底下に高い濃集度のガスハイドレート分布が確認され、2012および2013年には第2渥美海丘周辺において世界初の海洋生産試験の実施が予定されている。また、1998年と2002年にカナダ北極地域マッケンジーデルタにおいて掘削されたマリック坑井によって、永久凍土層下の深度890-1110m付近にガスハイドレートの卓越する砂層が確認され、ガスハイドレート含有砂層の地下状態での特性が明らかにされた。現場における掘削作業では連続的なLWDや物理検層データをはじめ、多くのガスハイドレート含有砂試料が回収され分析に供されたほか、2007年と2008年には深度1000m付近のガスハイドレート胚胎砂層からメタンガスの生産テストが実施され、大きな成功を収めた。

新潟県上越沖に位置する上越海盆は、その南縁には陸棚に連なる急斜面があり海鷹海脚が伸びる。さらに、海鷹海脚の北西部には上越海丘が南西-北東方向に分布する。日本海東縁深海底下の堆積物は泥質岩を主体とするものの、少量の砂層を伴うことが多い。これらの粗粒堆積物(砂層および凝灰質砂層)および泥質堆積物の堆積年代、堆積環境および初期埋没続成過程を調べるため、粒度分析、孔径分布/孔隙率/浸透率測定、X線回折分析(XRD)、岩石薄片観察、走査型電子顕微鏡(SEM観察などを実施した。これらの測定や観察から、粗粒堆積物粒子間孔隙の炭化水素ガスの移動への貢献度を検討することによって、チムニーやフラクチャーだけではなく砂堆積層中も移動経路となっていたことを示唆する。また、初期続成作用における泥質堆積物の孔隙特性の変化を把握することによって、メタンの移動経路や流動挙動に関する知見が得られると考えられる。メタンハイドレートがチムニーやフラクチャーを充填する産状およびマウンドやノジュールなどの塊状の産状のみならず、南海トラフやマッケンジーデルタ地域と同様な粗粒堆積物の粒子間孔隙を充填する産状の可能性を検討することは重要である。

昨年度、日本海東縁の上越地域(海鷹海脚(#3296)、上越チャンネル(#3308)、上越海丘北(#3320)、富山トラフ(#3325)、西津軽沖(#3326)、日本海盆(#3327)、奥尻海嶺(#3329)のサイトから得られた最長40m程度のコア試料を対象として観察と諸分析を実施した。今年度は、上越沖の海鷹海脚、上越チャンネル、上越海盆、上越チャンネルおよび富山トラフ海域から得られた、#3296、3299、3304、3313、3312および3317コアについて同様の分析と観察を実施した。堆積物はいずれのサイトでもシルト～粘土サイズの泥質細粒碎屑物を主体とし、少量の極細粒～中粒サイズの砂層を伴うことが多い。厚い軟質の泥質層中には1mm単位の細かなラミナの発達認められ、わずかに厚さ数mm～数cm程度の薄い未固結の砂質ラミナやテフラが夾在する部分がある。また、しばしば砂質バローや泥質ペレットなどの生痕のほか生物擾乱が顕著な部分が認められ、ラミナが消失している。ところにより、Ice-rafted debris(IRD)や硫化物が認められる。

堆積物の孔隙率と孔径分布は、孔隙の毛管圧分布を測定し、それらのデータから変換して求めた。孔隙率は深度が増すに従い概ね減少傾向にあり、値は50%前後が多く、35%~67%の範囲で変化する。孔径分布曲線も同様に深度が増すに従って概ね孔径減少の傾向がみられる。平均孔径はほとんどのサイトで数100nm程度であり、一部西津軽沖では淘汰が悪く1000nmを超える。これは初期続成作用における圧密作用によって泥質粒子の再配列が進んでいることを示唆する。孔隙率や孔径分布にばらつきが認められことから、粒度組成に差異があるか圧密作用が一樣に起こっていないことが考えられる。全般に凝灰質であり続成作用初期段階であるため、X線回折結果から、すべての試料はopal-Aを多く含み、石英および長石粒子のほかイライトおよびスメクタイトが随所に検出され、深度毎に大きな変化はみられなかった。偏光顕微鏡および電子顕微鏡による観察では、いずれのサイトでも珪藻が多数観察され、有孔虫やフランボイダル黄鉄鉱などの特徴的な粒子も観察される。珪藻は破片であることが普通であり、形が良く保存されているものもあり形状は様々であった。

本発表は、MH21の研究成果の一部である。

キーワード: ハイドレート, 日本海, 孔隙

Keywords: hydrate, Japan Sea, pore

日本海底表層堆積物中の炭酸塩ノジュールの同位体・微生物組成 Isotopic and microbial compositions of carbonate nodules from sea bottom sediments in the Japan Sea

森 大器^{1*}; 狩野 彰宏¹; 奥村 知世²; 松本 良³
MORI, Taiki^{1*}; KANO, Akihiro¹; OKUMURA, Tomoyo²; MATSUMOTO, Ryo³

¹九州大学比文, ²海洋研究開発機構, ³明治大学
¹SCS Kyushu University, ²JAMSTEC, ³Meiji University

メタン湧水域の海底面・堆積物コアには多くの炭酸塩沈殿物が確認され、メタン細菌との関連性が指摘されている。特に、嫌氣的メタン酸化はアルカリ度の増加による炭酸塩鉱物の過飽和を引き起こすため重要であるとされる。私たちは2013年8月10日に行われた日本海表層ガスハイドレートの掘削調査に参加し、海鷹海脚・上越海丘・秋田沖の表層堆積物中に含まれる炭酸塩ノジュールを採集した。その後、薄片作成・同位体分析・遺伝子解析等の作業を行い、炭酸塩沈殿に関わる微生物代謝について考察した。

採集した試料の多くは小さなノジュールが凝集して出来たグレープストーン状のものであり、炭酸塩沈殿作用が単一ではなく複数回起こっていたことを示す。ノジュールの周囲もしくはグレープストーン内の空隙にはアラゴナイトの針状結晶によるセメントが見られる。また、有機物が凝集した黒色部も確認された。

ノジュールの同位体測定はマイクロドリルを用いて採集したサブサンプルを試料として行った。海鷹海脚で採集された試料の中には、炭素同位体比の著しい不均質性が確認される。一般に、ノジュールの周囲で炭素同位体比は低く、黒色を呈する中心部分で高くなる傾向が認められた。中心部分の値は+12パーミルに達する。この値を説明する唯一の微生物的プロセスはメタン生成であり、これで生じた同位体比の高い二酸化炭素がノジュール中心の炭酸塩に取り込まれたのであろう。一方、上越海丘・秋田沖のノジュールは同位体組成が均質なものが多く、値は-45~-60パーミルと低い。これは、低い同位体比を持つメタン起源の炭素がノジュールに取り込まれたことを意味する。

海鷹海脚の1試料で行った遺伝子解析では、硫酸還元菌が検出されたが、メタン生成菌とメタン栄養菌は検出できなかった。このノジュールは有機物の硫酸還元に関連した炭酸塩沈殿で生じたものと考えられる。

キーワード: ガスハイドレート, 炭酸塩ノジュール, 安定同位体, 微生物
Keywords: gas hydrate, carbonate nodule, stable isotope, microbes

日本海東縁メタン湧出海域における微化石層序研究及び UT13 研究報告 Microstratigraphic studies using UT13 piston cores around methane seep areas, eastern margin of the Japan Sea

大井 剛志^{1*}; 石浜 佐栄子²; 秋葉 文雄³; 沼波 秀樹⁴; 松本 良¹; 長谷川 四郎⁵
OI, Takeshi^{1*}; ISHIHAMA, Saeko²; AKIBA, Fumio³; NUMANAMI, Hideki⁴; MATSUMOTO, Ryo¹; HASEGAWA, Shiro⁵

¹ 明治大学・研究知財戦略機構, ² 神奈川県立生命の星地球博物館, ³ 珪藻ミニラボ, ⁴ 東京家政大学, ⁵ 熊本大学
¹Meiji University, OSRI, ²Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, ³Diatom Minilab Akiba, Co. Ltd., ⁴Tokyo Kasei University, ⁵Kumamoto University

1. はじめに

微化石層序に基づいた年代論や古環境解析は、海底資源エネルギーの分布を地質学的に解釈するうえで重要である。日本海上越沖の表層ガスハイドレート分布域においても、メタンハイドレートの大規模な分解が海底環境に与えたインパクトを明らかにすることに役立っている (Matsumoto et al., 2009)。2010 年の MD179 航海により採取された大口径ピストンコアにより、過去 13 万年間の微化石層序が明らかになったことで、より明確に年代と環境を解釈することが可能となった。

本発表では、第四紀日本海における珪藻と有孔虫の微化石層序と安定同位体層序について紹介したのち、これらの結果を日本海におけるその他のハイドレート胚胎海域の結果に適用させて議論する。

2. 上越沖における珪藻および有孔虫の微化石層序

日本海東縁、上越沖では、過去 3 万 2 千年間における 12 の有孔虫帯と過去 13 万年間における 8 つの珪藻化石帯が上越沖のピストンコアより確認され、それぞれ表層水や底層水の環境変化を示している (Nakagawa et al., 2009; Akiba et al., 2014)。

3. UT13 航海研究

2013 年 7 月に、東京海洋大学が管理する海洋調査船「海鷹丸」航海が、隠岐トラフと最上トラフにおいて精密調査されているガスハイドレートマウンド海域において実施された。ピストンコアラーによりハイドレートマウンド上から 6-8m が掘り進められ、いくつかの塊状メタンハイドレートと 13 のピストンコア堆積物が採取された。それらの堆積物から微化石層序と放射性炭素同位体年代測定を行い、各コアの堆積速度を先行研究と比較することで推定した。さらに、発表では安定同位体比測定結果から環境変動の議論も行う。

3-1. 結果①-隠岐トラフにおける堆積速度

- 一概ねのコアにおいて、約 3~4 万年前から現在にかけての堆積物が約 15 cm/kyr の一定の堆積速度で堆積している。
- PC1302 は融氷期~後氷期の堆積物が削剥されており、全体の堆積速度が比較的速い。
- コア最下部にメタンハイドレートが産出する PC1305 は他のコアに比べ平均堆積速度が遅く、崩壊 (削剥) 層準がある可能性が高い。メタンハイドレート上部の堆積物は約 4 万年前と推定される。

3-2. 結果②-最上トラフコアで認められた微化石層序の特徴

- 古い ¹⁴C データ結果より、最上トラフの 5 コアのうち 3 コアにおいて、最終氷期前後の堆積物が欠如している。
- PC1311 では絶滅種の *Epistominella pulchella* の連続産出や保存状態の悪い個体の産出がコア下部から上部まで特徴的に認められる。その一方で、保存状態の良い暖流性浮遊性種も含まれ、年代の異なる群集が混在していると推定される。
- こうした堆積物の欠落現象は、メタンハイドレートの分解に伴う崩壊活動や深部からの水や堆積物の上昇活動などを示唆しているかもしれない。

謝辞

本研究は松本 (明治大学) 科研費により実施された。松本先生ほか、航海関係者一同の皆様に感謝いたします。

キーワード: 日本海東縁, メタンハイドレート, 微化石層序, 安定同位体比, 堆積速度, 絶滅種

Keywords: the eastern margin of the Japan Sea, methane hydrate, microbiostratigraphy, stable isotope, sedimentation rate, extinct species

有孔虫層序に基づく上越海盆地域の堆積過程の研究 Deposition process based on foraminiferal stratigraphy

梅崎 陽介^{1*}

UMEZAKI, Yosuke^{1*}

¹ 熊本大学自然科学研究科

¹ Graduate School of Science and Technology Kumamoto University

新潟県上越市沖の海盆地域には、メタンハイドレートが賦存する「海鷹海脚」, 「上越海丘」という高まりがあり、頂部にはマウンドやブロックマークが認められる。これまで「海鷹海脚」「上越海丘」など高まりの上での研究は多くなされており、「海鷹海脚」上では、中川ほか(2009)は過去 3.2 万年間における 12 の有孔虫化石帯を認定し、コア対比における良好な層位学的指標を示した。2010 年に行われた「Marion Dufresne」による航海では、「上越海丘」の東方に位置する北側に開いた谷部で試料が採取された。谷では浅部からの堆積物の供給のほかに、ハイドレートの噴出に伴って谷の側方から堆積物が流れ込んでくる可能性があり、有孔虫化石層序を基に、谷部でのハイドレートの噴出に伴う堆積過程を明らかにすることを目的に研究を行った。

水深 1224m の谷地形から採取された本研究コア (MD179-3308; コア長 30.9m) では、珪藻化石分析より 4 つの珪藻帯が認定され、珪藻帯とテフラの分布から 1620cm と 2700cm には大きな年代ギャップがある可能性が考えられている。有孔虫分析は、試料中の底生有孔虫数が 200 個体前後になるまで分割を行い、分割分から底生有孔虫を拾い出して有孔虫種の同定と計数を行い、底生有孔虫群集組成と各種有孔虫指数を求める方法で行った。

分析の結果、大きな年代ギャップが推定されているコア深度 1620cm と 2700cm の層準で有孔虫にも大きな変化が確認された。0cm~1620cm, 2700cm 以深の層準は約 3 万年間の堆積記録をしていると考えられ、中川(2009)の認定した有孔虫帯と類似した層準が認識できた。0cm~980cm は整然と堆積している一方、980cm~1620cm では同じ年代の堆積物の繰り返しや、年代層序が逆転している堆積物ブロックが認識できるなど再堆積が起きていることが分かった。1620cm~2700cm は約 10 万年前前後の堆積記録を有しており、最下部の層準より年代が古いことからこの堆積物ブロックも大規模に移動してきたことが考えられる。

このように本研究コアの堆積物の 980cm より下位では大規模な堆積物の移動や再堆積が認識された。このことは最終氷期最寒期 (LGM) に起きたハイドレートの分解やガスの噴出に伴う海底変動と関連している可能性が示唆される。

キーワード: 底生有孔虫, 浮遊性有孔虫, 有孔虫数, メタンハイドレート, 堆積過程

Keywords: benthic foraminifera, planktonic foraminifera, foraminiferal number, methane hydrate, Deposition process

2011年東北沖津波により陸上に堆積した海洋生物起源バイオマーカー Marine biomarkers deposited on land by the 2011 Tohoku-oki tsunami

篠崎 鉄哉^{1*}; 藤野 滋弘²; 池原 実³; 澤井 祐紀⁴; 田村 享⁴; 後藤 和久⁵; 菅原 大助⁵; 阿部 朋弥⁶
SHINOZAKI, Tetsuya^{1*}; FUJINO, Shigehiro²; IKEHARA, Minoru³; SAWAI, Yuki⁴; TAMURA, Toru⁴; GOTO, Kazuhisa⁵
; SUGAWARA, Daisuke⁵; ABE, Tomoya⁶

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ² 筑波大学生命環境系, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター, ⁴ 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ⁵ 東北大学災害科学国際研究所, ⁶ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹University of Tsukuba, ²University of Tsukuba, ³Kochi University, ⁴GSJ, AIST, ⁵Tohoku University, ⁶Nagoya University

過去に発生した津波の解析には、津波により形成された堆積物（津波堆積物）、主に砂質堆積物が用いられている。地層中から砂質の津波堆積物を識別する際、層厚や粒度の変化、砂層の分布や海棲生物の存在の有無などが根拠となる。しかしながら、こうした特徴が必ずしも地層中に残るわけではなく、津波堆積物かどうかの識別が困難な場合がある。そのような堆積物であっても、海水の痕跡が検出できれば堆積物が海水の流れにより形成されたことを示す証拠となる。本研究では、海水浸入の痕跡を示す指標としてバイオマーカーに着目した。バイオマーカーは生物によってのみ生成される炭素骨格をもつ有機分子であり、陸域の生物と海水中の生物とで生成される炭素骨格が異なる。津波による陸域への浸水があった場合、陸上に通常存在しないはずの海洋生物起源のバイオマーカーが堆積する可能性が考えられる。また、バイオマーカーは長期間安定で地層中に保存されることが確認されており、先史時代のイベントの指標としても期待できる。本研究では、津波による海洋生物起源バイオマーカーの堆積状況に関する検討を、2011年東北沖津波の浸水域で採取した堆積物を用いて行った。試料採取地域は宮城県仙台市若林区荒浜および福島県南相馬市小高区の2地点で、2011年の津波堆積物砂層及びその下位の土壌に対して、炭化水素、アルケノン、ステロール、脂肪酸といったバイオマーカーの分析を行った。

仙台では、2013年3月に海岸線から約1.6kmの地点でハンディジオスライサーにより掘削した試料の表層12cmを用いた。深度0-3cmが津波により堆積した細粒砂層で、下位の耕作土層を覆う。砂層で1点（深度1-3cm）、深度3-9cmの耕作土層で1cmごとに6点の、計7点でバイオマーカーの測定を行った結果、深度5-6cmの耕作土層でのみ海洋生物起源の短鎖n-アルカンが検出された。これは、砂層が透水層であるため海水が土壌中に浸透し、深度5-6cmに海洋生物起源の有機分子が集積した可能性が考えられる。小高では、2013年10月に海岸線から約1.8kmの地点でハンディジオスライサーにより掘削した試料の表層35cmを用いた。深度8-15cmおよび18-20cmが津波による細粒から中粒砂層で、間の深度15-18cmにはおそらく第1波で形成されたマッドドレープが観察された。深度5-23cmの間で計12点のバイオマーカー分析を行ったところ、深度18-20cmの砂層の直下である深度20-21cmの耕作土層でのみ海洋生物起源の短鎖n-アルカン、フィタン、プリスタンが検出された。

仙台、小高の両地点とも、海洋生物起源のバイオマーカー、特に炭化水素が津波堆積物直下の土壌層に集積することがわかった。これらのバイオマーカーが津波により堆積したと仮定すると、地理的に離れた2地点からの検出は、バイオマーカーの堆積が地形や海洋環境などの違いに依存する特異的なものではなく、津波の浸水域に普遍的に起こる現象であることを示している。また、分析に用いた試料は津波発生後2年以上経過してから採取したものであり、海洋生物起源のバイオマーカーが少なくとも2年間は地層中に保存されることが分かる。以上より、バイオマーカーは過去の津波浸水履歴の評価に有効な指標であることが支持される。今後は、さらに他地域にも同様の分析を駆使しケーススタディを増やすとともに、古津波堆積物においても同様の手法が有効であるか検討を行う。

キーワード: バイオマーカー, 炭化水素, 津波堆積物, 2011年東北沖津波

Keywords: biomarker, hydrocarbon, tsunami deposit, 2011 Tohoku-oki tsunami

機械学習を用いた津波堆積物の地球化学的判別 Geochemical identification of the tsunami deposit using machine learning machine learning techniques

桑谷 立^{1*}; 永田 賢二²; 岡田 真人²; 渡邊 隆弘¹; 小川 泰正¹; 駒井 武¹; 土屋 範芳¹

KUWATANI, Tatsu^{1*}; NAGATA, Kenji²; OKADA, Masato²; WATANABE, Takahiro¹; OGAWA, Yasumasa¹; KOMAI, Takeshi¹; TSUCHIYA, Noriyoshi¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科, ² 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹Graduate school of environmental studies, ²Graduate school of frontier science

Tsunami deposit is a direct evidence of inundation area of past tsunamis. A large number of publications have been written about the diagnostic signatures and identification criteria for past tsunamis, including sedimentological, micropalaeontological evidences. However their identification is still difficult because all criteria is neither necessary condition nor sufficient condition due to various origin, mechanism and temporal variation of tsunami deposits. Geochemical discrimination is now recognized as other useful proxy which dose not depend on the researcher's subjectivity, especially in the case that other proxies can not be used. Especially, geochemical indicator is suggested to be useful in identification beyond the limit of recognizable sand deposition. In this study, we established the criteria for geochemical discrimination of 2011 Tohoku-oki tsunami deposits and their background marine sediments using machine learning techniques. For 18 analyzed elements, several tens of elemental combinations show the discrimination rates higher than 99%. By applying the criteria to past tsunami deposits in the Sendai Plain, we discuss the validity and effectiveness of the method.

キーワード: 津波堆積物, 機械学習, 地球化学

Keywords: tsunami deposit, machine learning, Geochemistry

仙台平野における歴史津波堆積物の化学組成と地球化学的判別方法の提案 Chemical composition of historical tsunami deposits in the Sendai plain and proposal of geochemical discrimination

細田 憲弘^{1*}; 渡邊 隆広¹; 土屋 範芳¹; 山崎 慎一¹; 中村 俊夫²; 奈良 郁子¹; 岡本 敦¹; 平野 伸夫¹
HOSODA, Norihiro^{1*}; WATANABE, Takahiro¹; TSUCHIYA, Noriyoshi¹; YAMASAKI, Shin-ichi¹; NAKAMURA, Toshio²
; NARA, Fumiko¹; OKAMOTO, Atsushi¹; HIRANO, Nobuo¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科, ² 名古屋大学年代測定総合研究センター

¹Graduate School of Environmental Science, Tohoku University, ² Center for Chronological Research, Nagoya University

A magnitude 9.0 earthquake and huge tsunami occurred off the Pacific coast of Tohoku area in Northeast Japan. After the 2011 Tohoku earthquake and tsunami, disaster science is much focused to reduce the damage around coastal area, and it plays an important role as making the set of guidelines in an emergency. Because Japanese islands are located on the plate boundaries among the Pacific, Eurasian, Philippine Sea and North American plates, large earthquakes and tsunamis have repeatedly occurred during historic and prehistoric times. A huge tsunami more than 10m-height is often accompanied with submarine earthquakes around the Pacific Rim. The 2011 Tohoku tsunami was the one of the most destructive natural disasters. By the effect of that, study on earthquakes and tsunami become more and more significant, and it a major issue of social concern in Tohoku and other areas. After the 2011 Tohoku tsunami, these invasion areas were covered by a huge amount of tsunami deposits more than 10 million tons. In addition, we are able to obtain past tsunami deposits with the age of ~1000-2000 years before present (BP) in the same area using boring corer. In order to make an expecting tsunami invasion map in other areas as soon as possible, we must provide the information about the distribution of past tsunami deposits. However, it is difficult to discriminate the one of tsunami and other events, such as storm and flood. Additionally, we must establish a new technique to detect invisible muddy and thin tsunami deposits. We need historical archives and geological proxy of past tsunami invasion, but it is rare to have both evidences in many cases. Geochemistry is useful techniques to know the source of terrestrial deposits and these weathering processes. Therefore, we tried to apply geochemical techniques in this study.

キーワード: 貞観津波堆積物, 東北地方太平洋沖地震, 地球化学

Keywords: Jogan tsunami sediments, The 2011 Tohoku tsunami, geochemistry

高田松原における 2011 年（平成 23 年）東北地方太平洋沖地震による洗掘と堆積 Scour and deposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami at Takata-matsubara in Rikuzen-takata City, Japan

清水 康博^{1*}; 澁谷 剛丈²

TAKASHIMIZU, Yasuhiro^{1*}; SHIBUYA, Takahiro²

¹ 新潟大学教育学部, ² 新潟大学大学院教育学研究科

¹ Faculty of Education, Niigata University, ² Graduate school of Education, Niigata University

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による津波は、岩手県陸前高田市の高田松原公園の海側に設置されていた防潮堤の背後（陸側部分）を大規模に侵食し、津波前に陸だった地域が海域となった。この侵食は、津波が防潮堤を乗り越える際に射流となり地表面を局所的に洗掘したことによるものである。この洗掘により形成された海域では、その後、仮防潮堤の設置によりすぐに広田湾からの波浪作用から隔離され津波堆積物および津波後の波浪による堆積物がよく保存されていると考えられる。そこで、本研究では、これらの堆積物の性状を把握するために試料を採取し、詳細な堆積学的解析を行った。すなわち、このような洗掘地形の内部における津波堆積物の特徴を解明することを目的とした。

堆積相解析、粒径垂直変動解析と磁気ファブリック解析を用いて、これらの地層を検討した結果、以下のことがわかった。

1. 津波堆積物から読み取った粒径垂直変動は、複数回の逆級化・級化ユニットを認定することができた。
2. 磁気ファブリックは、津波堆積物が主に戻り流れによる堆積物であることを示した。
3. 岩手県陸前高田市の本調査地域における津波は、防潮堤を乗り越える際に射流となって松原を侵食した。堤防は第 1 波目の津波で崩壊したため、引き続き 10 数回の津波の影響を受け、洗掘された海域にはほとんどが戻り流れによる津波堆積物が形成された。

キーワード: 津波堆積物, 陸前高田市, 射流, 跳水, 高田松原, 防潮堤

Keywords: tsunami deposits, Rikuzentakata City, shooting flow, hydraulic jump, Takata-matsubara, Seawall

岩手県沿岸域における地形・地質から見た東北地方太平洋沖地震の痕跡 Traces of the 2011 Tohoku-oki tsunami as seen from the topography and geology in rias coast, Iwate Pref.

坂本 泉^{1*}; 横山 由香¹; 八木 雅俊¹; 飯島 さつき¹; 井村 理一郎¹; 根元 謙次¹; 鬼頭 毅²; 藤巻 三樹雄³; 藤原 義弘⁴; 笠谷 貴史⁴

SAKAMOTO, Izumi^{1*}; YOKOYAMA, Yuka¹; YAGI, Masatoshi¹; IIJIMA, Satsuki¹; IMURA, Riichiro¹; NEMOTO, Kenji¹; KITO, Takeshi²; FUJIMAKI, Mikio³; FUJIWARA, Yoshihiro⁴; KASAYA, Takafumi⁴

¹ 東海大学海洋学部, ² 芙蓉海洋開発(株), ³ 沿岸海洋調査(株), ⁴ 海洋研究開発機構

¹TOKAI Univ., ²FODECO, ³COR, ⁴JAMSTEC

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では東北地方太平洋沿岸域に甚大な被害をもたらせた。特にリアス式湾の発達する地域は、津波により壊滅的な被害を受け、湾内においてもその影響が際立っている。東海大学では東北マリンサイエンス拠点形成事業プロジェクト (TEAMS) の一環として、JAMSTEC とともに湾内底質環境の変化を目的とした現地海洋調査 (地形・地層探査・柱状試料採取等) を実施し、海底において様々な津波の痕跡をとらえることに成功した。

海底地形における痕跡: 2013年度では唐丹湾・越喜来湾において従来のビーム幅よりも狭い幅 (90°) で海底地形調査を実施し、海底の凹凸状況を解析した。その結果凹凸の多くは削剥痕 (Current crescent cast, Flute cast, Groove cast) であり、唐丹湾の場合これらの削剥痕は Groove cast を除き南東方向 (下流) に軸を呈している事が明らかになった。また、唐丹湾と約 20km 離れた越喜来湾でも、水深 15-25m 付近で削剥痕が発達する類似した現象が確認された。これらの削剥痕は、3.11 津波引き波時に陸化した海底面上を沖へ向かって流れる泥流 (密度流) により形成されたものと推定される。

地層探査結果からみた痕跡: 海底面下数十 cm に比較的広域に追うことの出来る反射面 (反射面 I) と海底面との間の層を A 層とした。この A 層の特徴は、水深 20m 付近で最大 50cm (広田湾) から 110cm (唐丹湾) の厚さを有し、さらに沖に向かい減少する傾向が明らかになった。この A 層は、後述する柱状試料のユニット 1 に相当している。また A 層下にも、いくつかの凹凸の激しい反射面を押さえることが出来、これらは過去の津波の痕跡である事が推定される。

柱状地質試料からみた痕跡: 広田湾・越喜来湾・唐丹湾で行われた柱状試料の結果、高分解能地層探査による A 層に対応する層としてユニット 1 (U-1) 層が記述された。これは、上方細粒化や平行葉理を示し、下位層の U-2 (泥層) を削り込むように堆積している。最上位にシルト層がみられ、その下位に細粒砂層、ラミナの発達した中粒砂層、一様な中粒砂層が続き、最下位に礫層が発達する層であり、3.11 津波起源堆積物と推定した。下位に存在する U-2 層は、生物擾乱の発達する泥質層であり、いずれの湾でも 50-100cm の厚さである。これら U-2 層より下位には砂層または礫層が存在し、過去の津波を示すものと推定される。

この他、人工物や樹木からなる瓦礫の存在なども海底における津波の痕跡と考えられる。しかしこれら海底の痕跡は、湾に流入する河川からの堆積物、季節的な波浪運動、海底の定常流、人間活動により、少しずつ形を変え、消滅または埋積していくと考えられ、今後継続的な調査を行う事によりその推移を検討する必要があると考えられる。

キーワード: 津波堆積物, 三陸沿岸

Keywords: Tsunami deposit, Sanriku coast

仙台湾海底コアから推定される2011年東北地震津波の浅海域堆積過程 Shallow-marine sedimentary processes of the 2011 Tohoku earthquake tsunami, inferred from sediment c

田村 亨^{1*}; 澤井 祐紀¹; 澤井 祐紀¹; 中島 礼¹; 原 淳子¹

TAMURA, Toru^{1*}; SAWAI, Yuki¹; SAWAI, Yuki¹; NAKASHIMA, Rei¹; HARA, Junko¹

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター

¹ Geological Survey of Japan, AIST

近年、陸上への遡上津波の堆積物についての研究が盛んになされる一方、浅海域における津波の堆積物についての理解はほとんど進んでいない。2011年東北地震津波による浅海域の津波堆積物とその多様性の特徴を探るため、我々は2012年8-9月に仙台湾の44箇所においてパイプロコアリングを行った。津波堆積物の識別は、放射性核種濃度と生物擾乱の程度に基づき行った。識別可能な場所では、津波堆積物の層厚は10-50 cm程度である。仙台湾の底質は、下部外浜で中細砂、内側陸棚で極細砂-粘土、沖合では淘汰が悪く礫-泥と変化に富んでいる。津波堆積物の粒度は各掘削点の元の粒度と似ており、各領域間で堆積物が大きく移動したわけではないことが示唆される。下部外浜のコアには、塊状の黄色い粗粒砂層が見られるものがあり、これは津波の引き波で運搬された海浜砂から成ると考えられる。内側陸棚の津波堆積物は、陸上の津波堆積物でも一般に知られる多重級化層を示す傾向がある。これらの特徴は、浅海域において津波堆積物を識別するために重要であるが、より包括的な尺度を確立するには、様々な地域における同様の調査が必要であろう。

2011年東北地方太平洋沖地震津波による仙台湾南部浅海域での土砂輸送 Sediment transport induced by the 2011 Tohoku-oki tsunami: A shallow seafloor survey at southern part of the Sendai Bay

吉河 秀郎^{1*}; 金松 敏也¹; 坂本 泉²; 藤巻 三樹雄³; 井村 理一郎²; 八木 雅俊²; 根元 謙次²; 後藤 和久⁴; 阪口 秀¹
YOSHIKAWA, Shuro^{1*}; KANAMATSU, Toshiya¹; SAKAMOTO, Izumi²; FUJIMAKI, Mikio³; IMURA, Riichirou²; YAGI,
Masatoshi²; NEMOTO, Kenji²; GOTO, Kazuhisa⁴; SAKAGUCHI, Hide¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東海大学, ³ 沿岸海洋調査(株), ⁴ 東北大学
¹JAMSTEC, ²Tokai University, ³Coastal Ocean Research CO., LTD., ⁴Tohoku University

After the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), to examine the tsunami-generated sediment transport and topographic change, and inundation area, a large number of investigations have been conducted on land, particularly at the coastal area of Sendai plain (e.g., Goto et al., 2012, 2014). Understanding the linkage of the transport between land and seafloor is also important. In the present study, to examine the influence of the tsunami and offshore sediment transport, high-resolution shallow seismic survey, sampling of surface sediments, vibracoring, and seafloor observation by underwater video camera were conducted on the shallow seafloor at the southern part of the Sendai Bay, northeastern Japan. The present study will help to understand not only modern sedimentary process induced by tsunami but also identification of paleo-tsunami records, because our knowledge of shallow marine tsunami deposits is limited in contrast to the subaerial tsunami deposits.

One of the principal results is as follows. One or two sharp and continuous reflectors are recognized on the sub-bottom profiles in water depths approx. 6-15 m, excluding the area of outcrops in the southern part of the survey area. With decreasing water depth, depth of the reflectors from the seafloor generally increases (up to approx. 1.5 m). A comparison between the seismic profiles and vibracores infers that the sharp reflectors are erosional surface formed during the 2011 tsunami.

Keywords: shallow marine tsunami deposit, 2011 Tohoku-oki tsunami

放射性核種を用いた津波堆積物の研究
Paleo tsunami events determination using radiogenic nuclides

横山 祐典^{1*}
YOKOYAMA, Yusuke^{1*}

¹ 東京大学 大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

Recent advancement of mass spectrometry enables us to determine timing of past events using trace amounts of geological samples. Accelerator Mass Spectrometry (AMS) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) are amongst them and long-lived nuclides can be measured precisely. We have been conducted paleo Tsunami studies applying ¹⁴C and U-series dating employing these techniques. Together with geophysical modeling as well as paleo climate proxy data, paleo Tsunami events are clearly reconstructed from these measurements. Also newly developed AMS, single stage AMS, that is dedicated for ¹⁴C measurements can produce large number of data to constrain the timing in different manner. In this presentation, several examples of these studies will be introduced along with perspectives of age determinations of paleo Tsunami events.

キーワード: 放射性炭素, 加速器質量分析, ウラン系列核種, 第四紀, 年代測定

Keywords: Radiocarbon, Accelerator Mass Spectrometry, Uranium series, Quaternary, Dating

東日本太平洋沿岸域における津波堆積物研究に関するテフラについて Marker-tephras for the chronological study of tsunami deposits along the Pacific coast of Eastern Japan

早田 勉^{1*}
SODA, Tsutomu^{1*}

¹ 株式会社火山灰考古学研究所
¹ Institute of Tephrochronology for Nature and History Co., Ltd.

1. はじめに

日本列島における津波堆積物の調査研究は、2011年東北地方太平洋沖地震による東日本大震災を契機に各地で盛んに実施されている。とくに、東北日本には数多くのテフラが分布していることから、火山灰編年学は津波堆積物の年代学的研究に重要な時空軸を与えることができる。ここでは、北海道をのぞく東日本の太平洋沿岸域における津波堆積物の研究に関するテフラの層相、年代、岩石記載学的特徴のほか、同定の際の注意点などを紹介する。

2. 東日本太平洋沿岸域のテフラ

(1) 東北地方北部

日本列島の代表的な広域テフラで、完新世の高海面期に鬼界カルデラから噴出した鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah, 約7,300年前)は、可能性が高いものも含めると南西諸島宮古島から八幡平の間で検出されている(町田・新井, 2003, 和知ほか, 2002, 早田ほか, 2006)。そこで、K-Ahは北海道をのぞく列島のほぼ全域で時空指標として利用できる。

K-Ahより上位のテフラとして、東北地方北部では十和田中楸テフラ(To-Cu, 約6,000年前)がほぼ全域に降灰している。このテフラは層相に特徴のあることが多い。十和田aテフラ(To-a, 915年)は十和田火山周辺から福島盆地にかけて降灰しているにもかかわらず、宮古周辺から牡鹿半島にかけての三陸海岸域ではほとんど認められていない(町田ほか, 2003, 丸山ほか, 2005, 2006)。ほかに、白頭山苫小牧火山灰(B-Tm, 10世紀, 福澤ほか, 1998など)が年代指標として利用できる。

(2) 東北地方南部

仙台平野から石巻平野周辺にかけても、To-CuやTo-aが分布している。とくに米沢盆地、吾妻火山、飯豊山地でも発見されているTo-Cuは、太平洋沿岸域にも降灰している可能性が高い。また、To-Cuの上位には、沼沢湖テフラ(Nm-N, 約5,000年前*, 只見川第四紀研究グループ, 1966など)も認められる。ほかに、榛名二ツ岳渋川テフラ(Hr-FA, 6世紀初頭), 榛名二ツ岳伊香保テフラ(Hr-FP, 6世紀中葉), 浅間粕川テフラ(As-Kk, 1128年, 早田, 1991など)のような北関東系テフラも検出されている(古環境研究所, 2002など)。

(3) 北関東地方

北関東地方には、浅間火山や榛名火山を給源とするテフラが広く分布している。そのうち、浅間C軽石(As-C, 3世紀後半), Hr-FA, 浅間Bテフラ(As-B, 1108年)は、茨城県筑西市栗島遺跡で認められており(古環境研究所, 2007), 太平洋沿岸域でも検出される可能性が高い。ほかに、浅間A軽石(As-A, 1783年)も各地に降灰の記録が残されている。

(4) 南関東地方

南関東地方には、富士山, 天城山, 伊豆大島, 新島向山, 神津島天上山などの火山から噴出したテフラのほか, Hr-FA, As-B, As-Aなど北関東系テフラが降灰している(早田ほか, 1990など)。一般にスコリア質テフラの識別同定は難しいことから、詳細な岩相把握のほかに、珪長質指標テフラ, 年代が明らかかな考古学的な遺物や遺構, さらに放射性炭素年代値などとの関係把握により, 識別同定精度を向上させる必要がある。

* 放射性炭素年代。

キーワード: 東日本太平洋沿岸, 津波堆積物, テフラ, 十和田a火山灰, 十和田中楸テフラ, 北関東系テフラ
Keywords: tephra, chronology, tsunami deposit, Eastern Japan, Towada-a tephra, Towada-Chuseri tephra

宮城県石巻市鮫浦における2011年東北沖津波および古津波による堆積物とその形成過程

Modern and possible paleotsunami deposits in Samenoura, Sanriku Coast, and their relation to tsunami source mechanisms

菅原 大助^{1*}; 西村 裕一²; 後藤 和久¹; Goff James³; Jaffe Bruce⁵; Richmond Bruce⁵; Chague-Goff Catherine⁴; Szczucinski Witold⁶; 横山 祐典⁷; 宮入 陽介⁷; 沢田 近子⁷

SUGAWARA, Daisuke^{1*}; NISHIMURA, Yuichi²; GOTO, Kazuhisa¹; GOFF, James³; JAFFE, Bruce⁵; RICHMOND, Bruce⁵; CHAGUE-GOFF, Catherine⁴; SZCZUCINSKI, Witold⁶; YOKOYAMA, Yusuke⁷; MIYAIRI, Yosuke⁷; SAWADA, Chikako⁷

¹ 東北大学, ² 北海道大学, ³ University of New South Wales, ⁴ Australian Nuclear Science and Technology Organisation, ⁵ U.S. Geological Survey, Pacific Coastal and Marine Science Center, ⁶ Adam Mickiewicz University in Poznan, ⁷ 東京大学

¹ Tohoku University, ² Hokkaido University, ³ University of New South Wales, ⁴ Australian Nuclear Science and Technology Organisation, ⁵ U.S. Geological Survey, Pacific Coastal and Marine Science Center, ⁶ Adam Mickiewicz University in Poznan, ⁷ Tokyo University

宮城県石巻市鮫浦地区は牡鹿半島の太平洋側、湾口幅1kmほどの入江の奥に位置している。当地区は2011年東北地方太平洋沖地震の震源地に最も近い場所の1つであり、地盤沈下と津波により大きな被害を受けている。鮫浦湾奥での2011年の津波痕跡高は、海岸付近で20m以上に達していたことが合同調査グループにより報告されている。我々は、2013年3月から10月にかけて、当地区において2011年の津波および古津波による堆積物の発掘調査を実施した。2011年の津波による堆積物は粗粒砂～細粒砂からなり、標高10m程度の地点で層厚20cm程度、更に標高の高い山林内でも層厚数cmで分布していることが確認された。また、津波堆積物には海底から搬入されたと考えられる生物殻が構成粒子として多量に含まれていた。鮫浦地区は海岸に砂浜を有さず、リアス式海岸の急勾配地形であることを考慮すると、標高の高い位置まで砂が厚く堆積したことは特異的である。このことが2011年の津波に対して鮫浦湾の地形が鋭敏に応答した結果であるとすれば、鮫浦地区の古津波堆積物は、既往の三陸沖地震津波の発生様式を見極める際の鍵となりうる。

当地区においてハンドオーガーおよびジオスライサーで掘削したところ、少なくとも2層の古津波堆積物と推定される砂層が検出された。また、2つの砂層の間には、西暦915年に降下したと考えられる十和田A火山灰層も確認された。当地域周辺における過去の地震津波の1つとして、869年貞観地震が知られている。これについては、既往研究によりプレート境界型の逆断層モデルが提案されており、2011年東北沖地震との類似性が指摘されている。そこで、本研究では、鮫浦地区に海底土砂が搬入される際の津波の挙動および浸食・堆積プロセスについて、歴史地震の断層モデルを用いた津波土砂移動の数値解析による検討を行った。

本発表では、詳細な年代測定結果に基づき、古津波堆積物と考えられる砂層の堆積年代を議論する。また、プレート境界型逆断層地震とアウターライズ正断層地震に伴う津波と土砂移動の数値シミュレーションに基づいて、鮫浦地区における津波堆積物形成の主要メカニズムを分析し、津波堆積物と波源特性の関係について議論する。

キーワード: 津波堆積物, 東北地方太平洋沖地震津波, 貞観地震

Keywords: tsunami deposit, 2011 Tohoku-oki and 869 Jogan earthquake tsunamis

三陸海岸における古津波堆積物の認定とその年代：岩手県山田町小谷鳥トレンチ調査 Identification and ages of paleotsunami deposits in Sanriku Coast: Trench survey in Koyadori, Iwate Prefecture

石村 大輔^{1*}; 宮内 崇裕¹; 阿部 恒平²; 早瀬 亮介³; 小原 圭一³
ISHIMURA, Daisuke^{1*}; MIYAUCHI, Takahiro¹; ABE, Kohei²; HAYASE, Ryosuke³; OHARA, Keiichi³

¹ 千葉大・理, ² 応用地質株式会社, ³ 株式会社加速器分析研究所
¹Chiba Univ. Sci., ²OYO Co., ³Institute of Accelerator Analysis Ltd.

三陸海岸における歴史津波は、1611年慶長三陸津波、1896年明治三陸津波、1933年昭和三陸津波、1960年チリ地震津波などが広く知られている。しかし、三陸海岸特有の地形・堆積環境と人工改変の影響のため歴史記録にある大津波の痕跡は、津波石などを除き、津波堆積物として記録されていないことが多い。そのため、2011年以前は三陸海岸における古津波堆積物調査は仙台平野や石巻平野ほど進んでおらず、古津波堆積物に基づく三陸海岸の津波リスクの評価は十分ではなかった。2011年東北地方太平洋沖地震後、この地震の1つ前のイベントとして869年貞観津波が注目され、従来調査適地とは判断されていなかった三陸海岸における確度・精度の高い古津波履歴情報と歴史津波の実体解明の必要性が高まった。本発表では、平成24・25年度文部科学省委託研究「東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測」（受託者代表：東京大学地震研究所）によって実施された臨海部のトレンチで見出されたイベント堆積物を津波堆積物と認定し、その年代について発表する。

調査地は、岩手県山田町小谷鳥の完新世低地である。本地点では、1611年慶長三陸津波（今村、1934）、1896年明治三陸津波（卯花・太田、1988）、1933年昭和三陸津波（東大地震研究所、1934）がトレンチ地点まで到達していると考えられる。1960年チリ地震津波の記録は、小谷鳥の西側の船越では記録されている（岩手県、1969）ものの、小谷鳥に侵入したという記載はなく、現地での聞き取りでも同様の結果であった。2011年の津波の遡上高は約30m（原口・岩松、2011）である。本研究では、標高約3mの地点で長さ12m、深さ2m、幅3mのトレンチを掘削した。トレンチ壁面では、泥炭層もしくは有機質シルト層中に水平に堆積した細礫・粗粒砂層が11層（2011年津波堆積物含む）と削り込みを伴うチャンネル状の砂礫層が2層認められた。本研究では水平に堆積する細礫・粗粒砂層をイベント堆積物として、上位からE1-E11と名付けた（E1は2011年津波堆積物）。放射性炭素年代測定は、(株)加速器分析研究所、(株)地球科学研究所に委託し、一部は(株)加速器分析研究所との共同研究にて行った。火山灰分析は、粒子組成と火山ガラスの屈折率測定を行い、火山ガラスの主成分分析を(株)古澤地質に委託した。

津波堆積物の認定に関しては、2011年津波堆積物をリファレンスとした。2011年津波堆積物は、小谷鳥海岸の礫浜の堆積物を起源とし、円磨度の高い礫を多く含む。一方で小谷鳥に流れ込む河川の堆積物は、淘汰が悪く角礫主体であるため、山側から供給されたものと海側から供給されたものは識別可能である。また、トレンチサイトは海岸から300mほど離れており、現地での聞き取りでも高潮による海側からの堆積物供給はないという結果（少なくとも最近数十年間）であった。そこで、現成の海浜堆積物、河川堆積物と各イベント堆積物に含まれる礫の円磨度（6段階に区分）を比較した結果、E1-E11のすべてが海浜起源の礫を含むことが推定された。したがって、トレンチ内での観察結果と円磨度の結果から、本研究ではこれら11層のイベント堆積物をすべて津波堆積物と判断した。

放射性炭素年代測定の結果、トレンチ壁面では、約4000年前から現在まで連続的に地層が堆積していることが明らかとなった。得られた年代値からE2、E3、E4は、それぞれ1896年明治三陸津波、1611年慶長三陸津波、869年貞観津波に対比可能な津波堆積物である。また十和田a (To-a) テフラ (AD915: 町田・新井、2003) が降灰したと予想されるE4前後の火山灰分析を行ったところ、E4後に火山ガラス含有率が増加した。E4前後の火山ガラスの屈折率を測定した結果、E4後の堆積物中にはTo-aと同じ屈折率1.505-1.510の火山ガラスが含まれるのに対して、E4前の堆積物中にはそれ以外の屈折率を示す火山ガラスが多く見られた。E4後の火山ガラスの主成分分析も行った結果、To-aの火山ガラスの値と一致した。したがって、E3/E4間にTo-aが降灰したと考えられ、前述の歴史津波の対比と矛盾せず、三陸海岸の陸上において初めて869年貞観津波に対応する津波堆積物が見出されたことになる。

謝辞：千葉大学の金田平太郎氏、河野太陽氏、東北大学の岡田真介氏、大畑雅彦氏、寺地将史氏には、現地掘削調査を手伝っていただいた。掘削調査地の土地所有者の方には、快く掘削を許可していただいた。平川一臣氏、今泉俊文氏、池田安隆氏、吉田修二氏、越後智雄氏、岡田真介氏には現地で議論していただいた。上記の方々には、この場を借りて御礼申し上げます。

キーワード: 津波堆積物, 三陸海岸, 2011年東北地方太平洋沖地震, 歴史津波, 869年貞観津波

Keywords: tsunami deposits, Sanriku Coast, 2011 Tohoku-oki earthquake, historical tsunami, AD869 Jogan tsunami

岩手県野田村における津波堆積物調査に基づく三陸地方北部の津波履歴の検討 Geological survey of paleotsunamis at Noda Village, Iwate Prefecture, Japan

後藤 和久^{1*}; 飯嶋 耕崇¹; 西村 裕一²; 菅原 大助¹; 横山 祐典³; 宮入 陽介³; 沢田 近子³; 中村 有吾²
GOTO, Kazuhisa^{1*}; IJIMA, Yasutaka¹; NISHIMURA, Yuichi²; SUGAWARA, Daisuke¹; YOKOYAMA, Yusuke³; MIYAIRI,
Yosuke³; SAWADA, Chicako³; NAKAMURA, Yugo²

¹ 東北大学, ² 北海道大学, ³ 東京大学

¹Tohoku University, ²Hokkaido University, ³The University of Tokyo

Along the Sanriku coast, pre-historic tsunami record is still poorly understood in contrast to the well-documented historical tsunamis of past 400 years. AD869 Jogan tsunami is one of these cases. The tsunami affected the Sendai Bay area, as tsunami deposits were reported on Sendai and Ishinomaki Plains, but evidence is unsure if the tsunami was also reached along the Sanriku coast. To explore the paleotsunami histories along the Sanriku coast with emphasis on the possible inundation of AD869 event, we conducted field survey along the coast of Noda Village, Iwate Prefecture. Our survey site is now occupied by paddy and the 2011 Tohoku-oki, 1869 Meiji Sanriku and the 1933 Showa Sanriku tsunamis inundated to this site. We took ~3 m long cores and found several gravel and sand deposits in peat buried by surface paddy soil. Considering the continuous distribution of deposits over 0.7 km from the present shoreline and analytical results of grain size and mineral composition, the deposits are likely formed by the tsunami although further investigation is required. Among these tsunami-like layers, a ~10 cm thick gravel layer is deposited below tephra layers. One of the tephra layers is identified as Baitoushan-Tomakomai tephra (B-Tm) that was deposited in early to middle 10th Century. Volcanic glasses that can be identified as Towada-a tephra (To-a) of AD915 also is observed in patches at the similar horizon as B-Tm tephra. Radiocarbon dating results above the gravel layer is consistent with the tephra chronology. These analytical results as well as tsunami numerical modeling result suggest the inundation of potentially large tsunami before early to middle 10th Century along the northern Sanriku coast.

キーワード: 津波, 津波堆積物, 野田村, 貞観津波

Keywords: tsunami, tsunami deposit, Noda village, Jogan tsunami

岩手県田野畑村羅賀に見られる明治29年の三陸大津波で打ち上げられた津波石の起源
Origin of a tsunami-drifted rock in Raga, Tanohata, Iwate Prefecture, transported by the Meiji Sanriku Tsunami in 1896.

大路 樹生^{1*}; 大石 雅之²
OJI, Tatsuo^{1*}; OISHI, Masayuki²

¹名古屋大学博物館, ²岩手県立博物館
¹Nagoya University Museum, ²Iwate Prefectural Museum

岩手県下閉伊郡田野畑村羅賀の丘陵(標高24 m, 海岸線から約350 m)には二つの巨岩が近接して位置し、明治29年の三陸大津波で運ばれた津波石であると地元では伝承がされている。東側に位置する巨岩はほぼ直方体であり、そのサイズは長さ約2~3 m, 幅約2 m, 高さは少なくとも1.5 mで、重量は約20 tと推定される。この岩はカルカレナイトからなり、その表面に主に下部白亜系から産出する大型底生有孔虫の *Orbitolina* sp. が多数観察される。*Orbitolina* は宮古層群中のオルビトリナ相から産出するが、特に平井層の上部~最上部に *Orbitolina* が密集して産出する層準が含まれる。この層準は羅賀の湾口付近、ヒラナメ海岸に隣接した南西側の海岸に露出する。従ってこの巨岩は本来羅賀の湾口付近にあったと推定され、現在地まで、直線距離で約500 mを津波で運ばれたと考えられる。この距離を明治の三陸大津波の際の1回の津波で運ばれたのか、もしくは過去の複数の津波によって段階的に運ばれたのかは不明である。他方、今回の津波石の西側にある別の巨岩は、珪質頁岩やチャートの円礫、亜円礫を多量に含み、田野畑層下部の礫岩由来と考えられる。この巨岩は、隣接する南東側斜面に分布する同層から由来したと推測され、津波石ではない可能性が高い。田野畑村羅賀より南方約1.2 kmに位置するハイベ湾では、今回新たに多くの津波石が海岸に打ち上げられている。これらは主に湾の北西側に位置しており、今回の津波が宮城沖の震源(田野畑から見て南東方向)から由来したと調和的である。一方羅賀の津波石は羅賀湾から西南西に位置し、明治三陸地震の震源が釜石沖であったことも合わせて考慮すると、津波が東方から由来したことを示唆している。

キーワード: 宮古層群, オルビトリナ, 津波石
Keywords: Miyako Group, Orbitolina, tsunami-drifted rock

日本海溝沿いで発生した津波地震の規模推定 —1677年延宝房総沖地震津波の再評価—
Estimation of the magnitude of tsunami earthquakes along Japan Trench -Re-evaluation of the 1677 Enpo Boso-oki tsunami-

柳澤 英明^{1*}; 後藤 和久²; 鈴木 慶太¹; 金丸 絹代³; 菅原 大助²; 柳澤 緋奈子²; 橋本 康平²; 岩本 直哉⁴; 高森 良文⁵
YANAGISAWA, Hideaki^{1*}; GOTO, Kazuhisa²; SUZUKI, Keita¹; KANEMARU, Kinuyo³; SUGAWARA, Daisuke²; YANAGISAWA, Hinako²; HASHIMOTO, Kohei²; IWAMOTO, Naoya⁴; TAKAMORI, Yoshibumi⁵

¹ 東北学院大学, ² 東北大学, ³ 関西大学, ⁴ 銚子ジオパーク, ⁵ 銚子市教育委員会

¹Tohoku Gakuin University, ²Tohoku University, ³Kansai University, ⁴Choshi Geopark, ⁵Choshi City Board Education

日本海溝沿いの巨大地震発生領域では、顕著な地震の揺れを伴わないものの、巨大な津波を発生させる“津波地震”の存在が知られている。1677年（延宝）に千葉県房総沖で発生した地震は、地震の揺れ自体は大きいものではなかったが、巨大な津波を発生させ、500名以上もの人命を奪った。この津波は、“津波地震”によって発生したものと推定され、古文書調査に基づく古津波規模の推定が進められてきた。しかしながら、古文書の記述には不正確な情報も多く、古文書調査のみからでは十分な精度で津波規模を推定することは難しい。そこで本研究では、古文書の整理に加え、津波堆積物調査、数値シミュレーションを合わせ、総合的に解析を進めることで、古津波規模の推定を実施した。

古文書に津波の到達が記載されている千葉県銚子市小畑池において津波堆積物調査を実施した結果、津波で堆積したと思われる砂層を湖底より発見した。C14年代測定および火山灰分析より、この砂層は西暦1100年～1700年頃に形成したものと推定され、1677年延宝房総沖地震津波によって堆積した可能性が高いと考えられる。本研究ではさらに、津波堆積物に基づいて数値シミュレーションを実施した結果、1677年延宝房総沖地震津波を再現するには、M8.34以上の地震が発生する必要があることがわかった。この規模は、1896年明治三陸地震津波の規模とほぼ一致する。明治時代以降に日本海溝沿いで発生した“津波地震”は、1896年明治三陸地震津波のみであり、1677年延宝房総沖地震津波の評価は、日本海溝沿いで発生する“津波地震”の規模を推定する上で有効な情報となる。

The assemblages of foraminifera in paleo-tsunami sediments on Ishigaki island The assemblages of foraminifera in paleo-tsunami sediments on Ishigaki island

Tu Yoko^{1*}; 安藤 雅孝²; Chien Chih-Wei⁴; 北村 晃寿⁵; 宍倉 正展⁶; 中村 衛⁷; 新城 安尚⁷
TU, Yoko^{1*}; ANDO, Masataka²; CHIEN, Chih-wei⁴; KITAMURA, Akihisa⁵; SHISHIKURA, Masanobu⁶; NAKAMURA, Mamoru⁷; ARASHIRO, Yasuhisa⁷

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Japan., ²Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, Japan, ³Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan., ⁴Department of Earth Sciences, National Chen Kung University, Taiwan, ⁵Department of Geosciences, Shizuoka University, Japan, ⁶Activity Fault and Earthquake Research Center, The National Institute of Advanced Industrial Science, ⁷Department of Physics and Earth Sciences, Ryukyu University, Japan

¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Japan., ²Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, Japan, ³Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan., ⁴Department of Earth Sciences, National Chen Kung University, Taiwan, ⁵Department of Geosciences, Shizuoka University, Japan, ⁶Activity Fault and Earthquake Research Center, The National Institute of Advanced Industrial Science, ⁷Department of Physics and Earth Sciences, Ryukyu University, Japan

The Ryukyu subduction zone is generally believed to be aseismic because no large thrust earthquake ($M > 8$) has recently occurred; GPS velocity vectors on the islands are parallel but opposite to the relative motion of the oceanic plate. These observations support the idea that the Ryukyu trench is aseismic or unlocked. However, in 1771 a tsunami struck Ishigaki and Miyako islands with the maximum run-up height of 30 m and caused destructive disaster, which implies that a significant earthquake occurred along the Ryukyu subduction zone. According to Nakamura (2009), the source of this event is a tsunami (slow) earthquake near the Ryukyu trench. Moreover, slow-slip events at depths of 30km (Heki and Kataoka, 2009) and very-low frequency earthquakes at shallow depths near the trench axis (Ando et al., 2012) have been identified in the western Ryukyu trench. These findings suggest that the western Ryukyu subduction zone has a potential to generate large thrust earthquakes.

To estimate recurrence intervals and sizes of paleo-tsunamis near the Ryukyu trench, we excavated Holocene deposits at 5 sites on Ishigaki Island during the years of 2011 to 2013. We analyzed the assemblages of foraminifera in the sediments that were transported by tsunamis from the deep seafloor. Most of foraminifera detected from the deposits are benthonic and planktonic foraminifera are rare in all samples at the excavation sites. Species of benthonic foraminifer such as *Calcarina defranciai* (living at 15 to 50 m depths) are dominant in the tsunami deposits compared to the current beach sand. In addition, some mesopelagic species that commonly live at continental shelf depths are also identified from the tsunami sediments. We found that the percentage of mid epipelagic and mesopelagic species in the deposits can provide a significant key to identify paleo-tsunamis. On the western Ishigaki Island, if the population density of these species in a deposit exceeds 10 %, it can be concluded as a tsunami origin, while on the eastern coast if the population density exceeds 20 %, it can be a tsunami deposit because of the bathymetric reasons.

Together with the results of stratigraphic facies and C14 dating data of the above tsunami sediments, we identified three large tsunamis (similar to the 1771 tsunami) in the past 2000-3000 years: in 1771, between 10-11th C and between 2000 and 2900 cal. B.P. The average recurrence interval of large earthquake was found to be very long, 500 to 1000-2000 years along the western Ryukyu trench.

キーワード: tsunami sediments, foraminifera, Ryukyu subduction zone, paleo-tsunami, 1771 tsunami
Keywords: tsunami sediments, foraminifera, Ryukyu subduction zone, paleo-tsunami, 1771 tsunami

沖縄本島における津波堆積物調査 Tsunami sediment in the Okinawa Island

志賀 翔太^{1*}; 中村 衛¹; 藤田 和彦¹; 新城 安尚¹; 山城 咲貴¹; 砂川 尚也¹; 佐名 智子¹; 玉城 尚幸¹
SHIGA, Shota^{1*}; NAKAMURA, Mamoru¹; FUJITA, Kazuhiko¹; ARASHIRO, Yasuhisa¹; YAMASHIRO, Sakaki¹; SUNA-
GAWA, Naoya¹; SANA, Tomoko¹; TAMAKI, Naoyuki¹

¹ 琉球大学 理学部

¹ Faculty of Science, University of Ryukyus

南部琉球弧では、津波石が打ち上げられた年代から、約200~500年に一度の頻度で巨大津波が襲来してきたことが明らかにされている(河名・中田, 1994, Araoka et al., 2013)。最近の巨大津波である1771年八重山大津波(明和の大津波)については津波の数値計算から琉球海溝で発生したM8クラスの海溝型巨大地震であった可能性が指摘されている(Nakamura, 2009)。しかし、中部琉球弧では津波石が確認されておらず、さらに古文書にも巨大津波の記録が残されていないため、この地域を過去に襲った大津波の履歴がほとんど判明していない。そこで中部琉球海溝での大津波履歴を解明するため、沖縄本島にて津波堆積物調査を実施した。沖縄県土木建築部海岸防災課と共同で沖縄本島内にて2013年3月4日~15日にボーリング調査を実施した。調査地点は喜如嘉(大宜味村)、汀間(名護市)、屋嘉(金武町)、屋宜(中城村)、大山(宜野湾市)である。ボーリングコアの目視観察から、汀間と屋宜のコアには津波堆積物の可能性がある砂層が含まれていた。そこで、これらの地点でのボーリングコアについて、津波堆積物の可能性がある砂層部分および比較対象としてその上下層を分析した。汀間-1(標高4.5m、海岸から0.4km)は大浦湾の湾奥の後背湿地に位置する。汀間-1では地表からの深さ1.25mから1.85mの間で5サンプルを採取し分析した。屋宜1~3(標高2.8~3.1m、海岸から0.1~0.2km)は中城湾沿いの海岸低地に位置する。サンプルは、屋宜-1では深さ0.80~4.15mまで7サンプル、屋宜-2では深さ1.35~2.05mまで4サンプル、屋宜-3では深さ1.95mで1サンプルを採取しそれぞれ分析した。さらにそれぞれの調査地点付近の海岸で、現世サンプルを採取した。サンプルの処理方法は、採取試料を約60℃で完全乾燥後、過酸化水素水を10倍希釈して投入した。さらに試料を63μmの篩にかけ、流水の力のみで洗浄した。その後、再び約60℃で完全乾燥させ、篩を用いて>2.00mm、2.00~1.00mm、1.00~0.5mm、0.5~0.25mm、0.25mm~0.125mm、0.125~63μmの粒度に分けた。有孔虫分析方法は、採取サンプルから1.00mm~0.5mmの粒度を抽出し、有孔虫を150個体以上になるように拾い出した。その後、有孔虫を優占種とその他の種に分類した。さらに、現世サンプルの有孔虫組成と比較し、堆積物の起源を推定した。

分析の結果、まず、汀間の深度1.55m, 1.65mで*Anomalina*がそれぞれ3個体、深度1.65mで*Calcarina Mayori*が2個体検出された。これらの種はreefの外側に生息することから、汀間の深度1.55m, 1.65mの堆積物はreefよりも外側から運搬されたと考えた。屋宜-1の深度3.75m, 3.85mで*Anomalina*がそれぞれ2個体検出された。屋宜-1の深度3.85mで*Dendritina*が4個体、*Operculina*が3個体検出された。これらの種はreefの外側に生息する。つまり屋宜1の深度3.75m, 3.85mの堆積物はreefよりも外側から運搬されたと考えた。屋宜2の深度1.85mにおいて*Dendritina*が4個体、*Operculina*が4個体検出された。また、屋宜2の深度2.05mにおいて*Dendritina*が2個体検出された。これらの種はreefの外側に生息する。つまり屋宜2の深度1.85m, 2.05mの堆積物はreefよりも外側から運搬されたと考えられる。このように、汀間・屋宜のボーリングコアからはreef外に起源をもつ種が含まれていることが判明した。ボーリングサイトまで堆積物が運搬される原因として波浪・高潮・津波が考えられる。しかしreef外の種が波浪や高潮でreefを経由して採取地点に到達することは考えにくい。これらの種は津波でボーリングサイトまで運ばれた可能性が高いと考えられる。

津波堆積物であると推定した層に含まれるサンゴ片のC14年代は、汀間-1の深さ1.65mで1180±110年、屋宜-1の深さ3.95mでBC3370±60年、屋宜-2の深さ1.35mでBC3090±180年であった。これらの結果は、イベント発生時期が汀間では約800年前以降、屋宜では約5000年前以降であることを示している。汀間のイベントが約800年前以降という結果は、汀間の反対側である沖縄本島北西側で行われた調査結果、つまり津波に起因するとみられる堆積層が約600~800年間隔で含まれ、さらに最近の時期が約700年前であったこと(原口・他, 2012)、と調和的である。

キーワード: 津波, 津波堆積物, 有孔虫

Keywords: tsunami, tsunami sediment, foraminifera

静岡県静岡平野における砂粒子形態の定量解析に基づくウォッシュオーバー堆積物の認定
Recognition of washover deposits in the Shizuoka Plain, based on analysis of shape of sand grains

北村 晃寿^{1*}; 小倉 一輝¹; 生形 貴男¹
KITAMURA, Akihisa^{1*}; OGURA, Kazuki¹; UBUKATA, Takao¹

¹ 静岡大学
¹Shizuoka Univ

東北地方太平洋沖地震を契機に、南海トラフ沿岸各地の低地で、津波堆積物の調査が活発化している。静岡平野南東部の大谷低地でも、Kitamura et al. (2013) が、鬼界アカホヤ火山灰層より上位の後背湿地の粘土層から、3層の推定津波堆積物(砂層)を認定している。Kitamura et al. (2013) は、認定の根拠の一つに、推定津波堆積物の主体をなす「泥岩片の砂粒子」と海浜砂(海浜では、粒子は波浪に曝されるので、「泥岩片の砂粒子」の円磨度は高くなる)の形態の類似性を挙げている。しかし、Kitamura et al. (2013) の形態解析は、粒子の任意断面の輪郭を円磨度印象図で評価するという半定量的なものだった。そこで、本研究では、堆積物粒子の非破壊3次元定量的形態解析の手法を開発・実装した。堆積物表面の形状を共焦点レーザー顕微鏡で測定し、スキャンした表面形状のサーフェスモデルから粒子のソリッドモデルを構築し、そのモデルを構成する各点の座標の主成分分析によって、粒子の長軸、中軸、短軸の方向とそれらの軸比を求めた。各ソリッドモデルの重心の位置と長軸の方向と堆積が全ての粒子で同じになるように座標データを基準化し、z座標をx, y座標の関数として、これを2次元フーリエ変換によって周波数領域に分解した。周波数毎にフーリエ係数の振幅を求め、1次以降のフーリエ振幅の総和を0次の係数の値で割ったものを粒子の角張度として求めた。その結果、海浜砂と推定洪水堆積物の間で、粒子の短軸/長軸比に明瞭な違いが見られた。ほとんどの推定洪水堆積物は、ほとんどの海浜砂よりも細長い形状をしていた。また、推定洪水堆積物は、様々な値の角張度の粒子を含んでいたのに対して、海浜砂は総じて角張度の値が小さかった。推定津波堆積物には、海浜砂の特徴を持つ丸い粒子と推定洪水堆積物と同様の細長く角張った粒子の両方が含まれていた。

キーワード: ウォッシュオーバー堆積物, 堆積物粒子, 形態解析
Keywords: washover deposits, sedimentary grains, analysis of shape

北海道釧路湿原における2層の古津波堆積物とその広域対比 Two paleotsunami layers in Kushiro Wetlands and their wide correlation in eastern Hokkaido

中村 有吾^{1*}; 西村 裕一¹
NAKAMURA, Yugo^{1*}; NISHIMURA, Yuichi¹

¹ 北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター
¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

北海道太平洋沿岸、釧路市鶴野の湿地で2層の津波堆積物(Ks-TS1およびKs-TS2)を記載した。Ks-TS1は、駒ヶ岳c2火山灰(Ko-c2, 西暦1694年)および樽前b火山灰(Ta-b, 西暦1667年)の下位数cmに、Ks-TS2は白頭山苦小牧火山灰(B-Tm, 約1000年前)の上位数cm~10cmにある。この2層はいずれも層厚1~3mmの薄層である。1/16φスケールでの高精度粒度分析(Morphologi G3による)を行ったところ、Ks-TS1は2φ前後、Ks-TS2は4φ前後の砂層からなり、地点ごとの対比が可能である。Ks-TS1は、現在の海岸線から2120mの地点まで到達しており、その標高は5.9mである。Ks-TS2は、海岸から1810m、標高5.7mの地点まで到達している。なお、ここに示した到達距離・標高はあくまで津波堆積物の到達範囲であり、実際の津波浸水範囲はこれを超えたと考えべきである。

次に、釧路で記載したKs-TS1およびKs-TS2が、浦幌、キナシベツ、音別、厚岸、根室で既に記載されている津波堆積物に対比される可能性を検討する。現時点では、離れた地域の津波砂層を対比する手法は確立されていない。しかし、示標テフラとの層位関係、津波砂層の層厚・分布規模の違いから、広域対比の推定は可能である。上記6地域に共通して、Ko-c2/Ta-bとB-Tmの間には2層の津波堆積物がある。それぞれの砂層はテフラとの層位および泥炭の層厚から対比される可能性が高い。すなわち、釧路湿原における砂層の層位は、Ta-bとB-Tm間の泥炭の層厚に対して、Ks-TS1はTa-bから16%の位置、Ks-TS2は81%の位置にある。泥炭の形成速度は時期や地域によって異なるので、砂層の位置も測線によって10~20%の差があるが、おおむね他の測線でも同様の層位に出現する。これまでの調査において、十勝~根室地域では約3000年間に最大8層の津波堆積物が見つかった。釧路湿原で記載した2回のイベントは、この中でも最大規模の津波だったと考えられる。

キーワード: 古津波堆積物, 対比, 高精度粒度組成, モフォロギ G3, 北海道
Keywords: Paleotsunami deposit, correlation, Precise grain size analysis, Morphologi G3, Hokkaido

ロシア沿海州の津波堆積物調査にもとづく日本海の津波発生履歴の解明 Insight of large tsunami recurrence around the Sea of Japan revealed by surveys of historical and pre-historical tsunami

西村 裕一^{1*}; ラジガエバ ナディア²; ガンゼイ ラリーサ²; グレベニコワ タティアナ²; カイストレンコ ビクター²; ゴルブノフ アレクセイ²; 中村 有吾¹
NISHIMURA, Yuichi^{1*}; RAZJIGAEVA, Nadya²; GANZEY, Larisa²; GREBENNIKVA, Tatiana²; KAISTRENKO, Viktor²; GORBUNOV, Alexsey²; NAKAMURA, Yugo¹

¹ 北海道大学, ² ロシア科学アカデミー極東支部, ロシア

¹ Hokkaido University, ² Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Russia

1940年積丹沖地震, 1983年日本海中部地震, 1993年北海道南西沖地震等, 日本海東縁部では近年, 津波被害を伴う地震が発生している。一方, 北海道や東北地方北部では日本海の地震や津波を記した古文書は少なく, 津波や地震の発生履歴はよくわかっていない。このような状況下, 日本海沿岸には原子力施設があり, 津波リスクを科学的根拠に基づいて評価する必要性が指摘されている。

そこで重要なのは津波堆積物である。しかし, 北海道日本海側では上記の歴史地震に伴う津波の痕跡がほとんど残されていないことからわかるように, 古津波の痕跡調査には適さない場所が多い。そこで我々は, 日本海を挟んで対岸にあるロシア沿海州で, 2010年から2013年, 北海道大学とロシア科学アカデミー極東支部との共同研究として津波堆積物調査を実施した。調査範囲は, 北はPlastun Bay(北緯44度50分:北海道遠別町とほぼ同緯度)から南はKit Bay(北緯43度02分:北海道泊村とほぼ同緯度)である。ここでは調査結果の一部を紹介する。

ロシア沿海州は日本海東縁で発生する津波の痕跡調査に適している。沿岸には湿地が多く存在し, しかも人工改変はほとんど受けていない。大きな高潮の発生頻度は低く, 津波を引き起こす周辺海域の地震活動はない。よって, 内陸数100mまでシート状に分布し構成物に海水生の珪藻が含まれている砂層は, 基本的に日本海東縁部で起きた地震による津波の堆積物候補と考えるのが妥当である。

実際, 沿海州では, 1900年代の津波で繰り返し被害を受けており, 検潮記録や波高の調査報告も残されている。1900年代の津波は, 沿海州の広い範囲で3mから5mの高さであった(例えば, 羽鳥, 1991; Poliakova, 1988; Soloviev and Go, 1974)。これらの近年の津波の痕跡は, Valentin BayやKit Bay, Langou I Bayにある泥炭中に, 地表から10cmほどの深さにシート状に分布する砂層として残されていた。

より古い津波の痕跡と考えられる砂層も複数地点で確認できた。砂層を挟む泥炭の炭素同位体年代に基づけば, 350年ほど前の砂層がKitovoe Rebro Bayで, 600年ほど前の砂層がLangou I BayとDukhovskie Lake周辺で, 800年ほど前と2000年ほど前の砂層がKit BayとLangou I Bayで, それぞれ確認できた。Kit Bayの露頭やピットでは, 800年ほど前の砂層の下, 数cmの土壌を挟んでB-Tm火山灰(10世紀)が堆積している。この火山灰がB-Tmであることは火山ガラスの化学組成から確認した。

今回の一連の調査で発見された砂層の多くが津波堆積物であれば, 元となる津波は日本海東縁部の海域を震源とする大地震で起きたものである可能性が高い。分布限界まで追跡されている砂層はまだ少ないが, いずれの砂層も標高3-4m以上で浸水距離が数100m以上であることから, 日本海沿岸では1900年代に大きな被害をもたらした津波を超える規模のイベントが繰り返し起きていたと考えても不自然ではない。今後はさらに調査を進め, こうした津波堆積物候補の分布や年代をより正確に決定し, 日本海北部の津波発生履歴を明らかにしていきたい。

キーワード: 津波堆積物, 沿海州, 日本海, 古津波, 歴史津波

Keywords: tsunami deposit, Primorye, Sea of Japan, paleo-tsunami, historical tsunami

若狭湾沿い海岸低地における津波堆積物調査 (予報) Preliminary study for evidence of tsunami deposits from Holocene sediments along the coastal area of the Wakasa Bay.

山本 博文^{1*}; 卜部 厚志²; 佐々木 直広¹; 高清水 康博³; 片岡 香子²

YAMAMOTO, Hirofumi^{1*}; URABE, Atsushi²; SASAKI, Naohiro¹; TAKASHIMIZU, Yasuhiro³; KATAOKA, Kyoko S.²

¹ 福井大学, ² 新潟大学災害・復興科学研究所, ³ 新潟大学

¹Fukui University, ²NHDR, Niigata University, ³Niigata University

2013年度から始まった文科省委託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環として、福井県の高浜町から美浜町にかけての若狭湾沿岸地域において、津波堆積物調査を行った。

若狭湾周辺地域では、ルイス・フロイスの書簡、兼見卿記など史料により、1586年の天正地震時に津波が襲来した可能性が示されている。一方、関西電力等は三方五湖や久々子湖東方陸域、また敦賀半島先端の猪ヶ池等において津波堆積物調査を実施し、古文書に記載されているような大規模な津波を示唆する津波堆積物は天正地震頃の堆積層中には見いだされなかったこと、また猪ヶ池ではBC5300~5600頃の津波の可能性のある砂質なイベント堆積層が認められたものの、三方五湖周辺および久々子湖東方陸域ではこの時期の津波を示唆する痕跡は認められず、大規模な津波ではなかったと報告している(関西電力, 2012など)。

そこで今回、福井県高浜町から美浜町にかけての若狭湾岸の海岸低地において、津波堆積物調査を行った。高浜町園部付近では海岸沿いに浜堤が形成されており、その背後は水田となっているが、かつては湿地帯で鴨場として利用されていたという。この地区における予察的な調査では、下位の細かな貝殻片を含む分級の良い粗粒砂からなる海浜堆積物から、内湾的な環境で堆積したと推定される泥層となり、約3000年前以降は泥層や泥炭層が堆積する湖沼の環境へと移り変わっていることが明らかとなっている。また美浜町坂尻は潟湖を埋め立てた地点である。これらの若狭湾岸沿いの海岸低地において、長さ5mのジオスライサー等を用いて柱状試料を採取し、イベント堆積物の抽出を行った。

キーワード: 若狭湾, 海岸平野, 津波堆積物, 完新統

Keywords: Wakasa Bay area, coastal plain, tsunami deposits, Holocene

東北地方太平洋沖地震津波堆積物の露光状態：OSL 年代測定法による正確な津波堆積物の堆積年代推定を目指して
Bleaching of K-feldspar grains contained in the tsunami deposits of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Tsunami

林崎 涼^{1*}; 白井 正明¹
HAYASHIZAKI, Ryo^{1*}; SHIRAI, Masaaki¹

¹ 首都大学東京

¹Tokyo Metropolitan University

光ルミネッセンス (OSL) 年代測定法は、津波堆積物自体から堆積年代を得ることができる測定法であり、津波堆積物にも有用と期待される。しかし、OSL 年代測定において、鉱物粒子が堆積するまでにどの程度露光しているのかが重要であるが、津波による運搬・堆積過程における露光状態は明らかでない。実際に OSL 年代測定法を津波堆積物に適用するには、まず運搬・堆積過程における露光状態を明らかにする必要がある。本研究では、2011 年の東北地方太平洋沖地震津波の津波堆積物中に含まれるカリ長石粒子を対象として、津波による運搬・堆積時における露光状態を明らかにし、その結果を踏まえて、単粒子年代測定による有効性と、試料採取地点や層相により得られる堆積年代について検討する。

まず、post-IR IRSL (pIRIR) 年代測定法 (Reimann and Tsukamoto 2012) を適用することにより、太陽光への露光時間に対する発光強度の減衰率が異なる IRSL と pIRIR それぞれの等価線量を比較した結果、津波堆積物に含まれる砂質の鉱物粒子は津波による運搬・堆積過程でほとんど露光していないことが明らかになった。このような露光状態は OSL 年代測定に不適であるが、単粒子年代測定ではごく最近露光した鉱物粒子を確認することができた。これは津波前の堆積環境でよく露光していた鉱物粒子を測定したものと考えられる。つまり、このような粒子について単粒子年代測定をすることにより、正確な堆積年代を得ることができると考えられる。また、津波堆積物の試料採取地点により、正確な堆積年代を示す鉱物粒子が増減するという変化傾向は認められなかった。一方、津波堆積物の層相や層位では、1 つの押し波堆積物のユニットの上位ほど正確な堆積年代を示す鉱物粒子が多くなるという傾向が見出された。

従って、現時点では押し波堆積物のユニットの上位のサンプルを用いて、単粒子で OSL 年代測定をすることで、より正確な堆積年代を得ることができると考えられる。

キーワード: 津波堆積物, OSL 年代測定, pIRIR 年代測定, カリ長石, 堆積構造, 福島

Keywords: tsunami deposits, Optically Stimulated Luminescence, post-IR IRSL, K-feldspar, sedimentary structure, Fukushima

東北地方太平洋沖地震津波により形成された津波堆積物の堆積学的特徴 Sedimentological features of tsunami deposit caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake tsunami

吉井 匠^{1*}; 濱田 崇臣¹; 佐々木 俊法¹; 松山 昌史¹; 田中 姿郎¹; 伊藤 由紀¹; 渡辺 雅一²; 奥澤 康一³
YOSHII, Takumi^{1*}; HAMADA, Takaomi¹; SASAKI, Toshinori¹; MATSUYAMA, Masafumi¹; TANAKA, Shiro¹; ITO, Yuki¹; WATANABE, Masakazu²; OKUZAWA, Koichi³

¹ (一財) 電力中央研究所, ² (株) セレス, ³ (株) 大林組

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²Ceres, Inc., ³Obayashi Corporation

東北地方太平洋沖地震において、一部の地域では来襲した津波の浸水範囲が古津波堆積物から推測される浸水範囲と対応していた。この事実により、津波堆積物研究はその重要性を社会的に認知させることとなったが、一方で、古津波堆積物を利用した（特に未知の）巨大津波の評価という性急な社会的要求を受けることとなった。

古津波堆積物を評価する際、津波堆積物の堆積学的特徴と、堆積される過程を理解しておくことは必要不可欠である。これらの理解のために現代の津波堆積物を調査する意義は以下の2点に集約される。第一に、観察物が津波堆積物であるという信頼度が極めて高いという点であり、第二に、堆積物形成に重要な影響を与える周辺環境や津波に関する情報が得られる点である。

本研究では、2012年の8月～11月にかけて青森県三沢市から千葉県山武市に至までの、東北地方太平洋沖地震による津波規模および地形特徴の異なる19地点の海岸から津波堆積物試料（コア）を取得し、肉眼観察およびX線CT画像による観察を実施し、堆積学的特徴について整理した。発表では、これらを基に津波堆積物の堆積構造を支配する外的要因について議論を行う。さらに、試料の分析（粒度組成分析、化学分析、珪藻分析）についても紹介する予定である。

キーワード: 津波堆積物, 東北地方太平洋沖地震, 津波

Keywords: Tsunami deposit, The 2011 Tohoku-oki earthquake, Tsunami

岩手県唐丹湾奥部に発達する津波堆積物の特徴 Characteristic of tsunami deposit left by 2011 Tohoku earthquake, case study of Toni bay

飯島 さつき^{1*}; 坂本 泉¹; 横山 由香¹; 八木 雅俊¹; 井村 理一郎¹; 根元 謙次¹; 藤巻 三樹雄²; 藤原 義弘³; 笠谷 貴史³
IIJIMA, Satsuki^{1*}; SAKAMOTO, Izumi¹; YOKOYAMA, Yuka¹; YAGI, Masatoshi¹; IMURA, Riichiro¹; NEMOTO, Kenji¹
; FUJIMAKI, Mikio²; FUJIWARA, Yoshihiro³; KASAYA, Takafumi³

¹ 東海大学海洋学部, ² 沿岸海洋調査(株), ³ 海洋研究開発機構

¹Tokai University, ²COR, ³JAMSTEC

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、牡鹿半島の沖合を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生し、同時に発生した巨大津波により東北地方太平洋沿岸地域は壊滅的な被害を受けた。東北地方太平洋沿岸地域は、過去に幾度もの津波被害を経験している。

堆積物中に含まれる古津波の記録（津波堆積物）を把握し、過去の災害規模を推定することで、今後の防災に役立てる研究が行われている。しかしながら、海域部での津波堆積物に関する研究はほとんど行われておらず、その分布や特徴は明らかにされていない。本調査では唐丹湾内における高分解能地層探査、採泥等の調査結果から、海域とくに沿岸域における津波起源堆積物の特徴を明らかにする事を目的とした。

地形的な特徴として NW-SE 方向に谷軸を有する唐丹湾奥部は、谷軸方向への縦断面において、以下の 4 つに区分できる。(1) 0-22 m 付近：凹凸の少ないスムーズな海底面を呈する緩斜面、(2) 22-25 m 付近：凹凸の激しい海底面を呈する平坦面、(3) 25-43 m 付近：急斜面で特徴づけられ、斜面上部では長周期の凹凸が連なり、斜面下部では長周期の凹凸地形を呈している、(4) 43-46 m 付近：表面に小周期の凹凸地形が発達する平坦面。

地質構造として、高分解能地層探査記録で見られた反射面のうち、海底面付近で広域に追跡できたものを反射面 A とし、反射面 A と海底面との間を第一層とした。この第一層は地形区分 (1) において 25-110cm の厚さを持ち、谷軸で最も厚く側方に行くに連れて薄く分布、(2) において 40-75 cm の厚さを持ち、表層は瓦礫と思われる反射面が認められ、(3) においては斜面上部では 50-60 cm の一定の厚さを持ち、斜面下部では内部反射により第一層が断続的で不明瞭であり、(4) においては、第一層が不明瞭であるが 50-110 cm の厚さを有している。

柱状堆積物試料について、水深 14 m の 13T-V.2 では U1 (0-32 : 砂層)、U2 (32-111 : 泥層)、U3 (111-114 : 砂礫層) に区分された。とくに U1 ではさらに 0-19cm 砂礫層、19-24cm 砂泥層、24-32cm 上方細粒化が見られる砂層が推察され、生物擾乱の発達する下位の泥層 (U2) とは明らかに異なった堆積過程を示し、3.11 津波堆積物であると推定した。U1 を高分解能地層探査記録と比較した所、第一層と相関が認められ、唐丹湾の 0-40m 付近に広く分布している事が明らかになった。

キーワード: 津波堆積物, 三陸沿岸

Keywords: Tsunami deposit, Sanriku Coast

広田湾に分布する津波堆積物の特徴

Characteristic of tsunami deposit left by 2011 Tohoku earthquake, case study of Hirota bay

横山 由香^{1*}; 坂本 泉¹; 八木 雅俊¹; 井村 理一郎¹; 飯島 さつき¹; 金井 辰樹¹; 根元 謙次¹; 鬼頭 毅²; 藤巻 三樹雄³; 藤原 義弘⁴; 笠谷 貴史⁴

YOKOYAMA, Yuka^{1*}; SAKAMOTO, Izumi¹; YAGI, Masatoshi¹; IMURA, Riichiro¹; IJIMA, Satsuki¹; KANEI, Tatsuki¹; NEMOTO, Kenji¹; KITO, Takeshi²; FUJIMAKI, Mikio³; FUJIWARA, Yoshihiro⁴; KASAYA, Takafumi⁴

¹ 東海大学海洋学部, ² 芙蓉海洋開発(株), ³ 沿岸海洋調査(株), ⁴ 海洋研究開発機構

¹Tokai University, ²FODECO, ³COR, ⁴JAMSTEC

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震は、過去に類をみない巨大津波を発生させ、東北地方太平洋沿岸域に甚大なる被害をもたらした。震災直後、陸域を中心に多くの被害状況調査が行われ、津波による遡上堆積物(津波堆積物)分布調査もその一つとして行われた。津波堆積物に関する研究は、陸域を中心に行われ、遡上した堆積物の特定や影響、津波再来周期や浸水域の推定など多くの研究が行われている(Minoura and Nakayama, 1991 ほか)。しかし、海域で津波堆積物に関する研究はほとんど行われておらず、その実態はあまり解明されていない。本研究では、湾内での津波起源堆積物の特徴および鉛直・水平方向への変化を捉えることを目的とし、広田湾で柱状堆積物試料の採取(パイプレーションコアラー)および高分解能地層探査(Innomar社製 SES2000 Compact)を行った。

柱状堆積物試料は、湾奥部の水深8m~25mで、2012年に5観測点・2013年に12観測点で採取した。柱状試料は、岩相の特徴から砂質堆積物で構成されるユニット1(以下、U-1)と泥質堆積物で構成されるユニット2(以下、U-2)に区分した。

U-1は、上方細粒化や平行葉理を示し、下位層のU-2を削り込むように堆積している。これらの特徴は、平(1985)によって定義される水中重力流が発生した際に形成される堆積物の特徴と類似することから、U-1は2011年の津波堆積物と推定される。また、U-1では粒度分析および軟X線観察から、現在のところ複数の小ユニット(U-1a~1e)への区分が考えられる。調査範囲中央部で採取した13HV8(水深12m)では最上位にシルト層(U-1a)がみられ、その下位に細粒砂層(U-1b)、ラミナの発達した中粒砂層(U-1c)、一様な中粒砂層(U-1d)が続き、最下位に礫層(U-1e)が見られる。これらの特徴は、さらに沖合の13HV10(水深17.5m)でも確認される。しかし、この2本のコアを境に沖合側および沿岸側では、上記の小ユニットのうち、数個が確認されるにとどまる。これらの小ユニットは、津波時の水中重力流の流動機構を反映していると推察され、今後詳細に解析を行っていく予定である。

U-1の下位にみられるU-2は、塊状のシルト~極細粒砂で構成され、軟X線観察から生物擾乱構造の発達で特徴付けられ、湾内通常堆積物と推察される。また、数本の試料において、U-2の下位にU-1と同様の特徴をもつU-3が発達していることが確認された。

2011年津波起源堆積物と推定されるU-1について、柱状試料および高分解能地層探査から、その層厚分布を求めた。その結果、本調査範囲では津波起源堆積物は湾全域に20-50cmの厚さでの分布が確認された。水深方向への変化をみると、沿岸側(水深8m、層厚約20cm)から沖合(水深約20m、層厚約50cm)に向けて厚くなり、さらに沖合にかけて薄く(水深約25m、層厚約30cm)分布する様子が確認された。また、層厚分布図から谷軸および河口域で厚く堆積する様子が確認され、それらは北北西-南南東方向および北西-南東方向の2つの軸方向を呈し、沖合で合流することから、水深20m付近がもっとも厚く堆積する要因として、複数の重力流堆積物が重なって堆積しているためと考えられる。

キーワード: 津波堆積物, 三陸沿岸

Keywords: Tsunami deposit, Sanriku coast

津波起源浸食地形の特徴 -唐丹湾および越喜来湾の例- Characteristic of tsunami origin submarine topography -Case study of Toni Bay and Okirai Bay

八木 雅俊^{1*}; 坂本 泉¹; 横山 由香¹; 水野 怜¹; 飯島 さつき¹; 根元 謙次¹; 藤巻 三樹雄²; 藤原 義弘³; 笠谷 貴史³
YAGI, Masatoshi^{1*}; SAKAMOTO, Izumi¹; YOKOYAMA, Yuka¹; MIZUNO, Ren¹; IJIMA, Satsuki¹; NEMOTO, Kenji¹;
FUJIMAKI, Mikio²; FUJIWARA, Yoshihiro³; KASAYA, Takafumi³

¹ 東海大学海洋学部, ² 沿岸海洋調査株式会社, ³ 海洋研究開発機構

¹School of Marine Science and Technology, Tokai University, ²COR, ³JAMSTEC

唐丹湾は釜石市の南端に位置し東側に開けた湾である。唐丹湾は2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震時の津波(以下、3.11津波と記す)により、高さ約12mの防潮堤が転倒し背後の集落が押し流される被害を受けた。また、唐丹湾においては引き波により海底面が露出した映像が記録されている。越喜来湾は大船渡市三陸町に位置し東側に開けた湾である。越喜来湾では最大で15m以上の高さの津波が押し寄せ、周辺地域は甚大な被害を受けた。以上のことから両湾の海底には、津波による痕跡が残されている可能性が考えられ、東海大学では2012年より両湾の海底地形地質調査を開始した。

初年度の調査により、両湾において3.11津波後における湾全体の海底地形図を作成した。その結果、唐丹湾では水深20~25m付近、越喜来湾では水深15~20m付近で起伏に富んだ地形が確認された。この起伏に富んだ地形を横断する高分解能地層探査記録では、最上部層に白く抜ける反射を呈する厚さ数十cmの無層理層が認められ、その基底部は明瞭な反射面として下位層と隔たられる。唐丹湾において、パイプロコアラによる柱状試料採取及び観察により、この最上部層は級化構造が卓越した砂質堆積物で構成され、基底部には下位層を剝した痕跡が確認された。以上のことから、起伏に富んだ地形は3.11津波により形成された津波起源の凹凸地形であると推定される。2013年度の調査では、初年度で確認された上記の地形を中心により細かな調査測線を設け詳細な地形図を作成したため、湾ごとにその特徴をまとめる。

【唐丹湾】

本調査範囲の地形は、①水深15~22mまでの傾斜約0.9°(16/1000)の緩斜面、②水深22~24m付近の平坦面、③水深25m以深の緩斜面の3つに区分される。①~③の海底面上には多数の物体が散在している。物体の周囲には沖側へ伸長し、扇状もしくは三角形を呈する流痕が確認された。これらはいずれも物体の大きさに比例し大きくなり、南東方向へ開口し、とくに②に集中して発達する。①~②では、長さ35~72m、幅1.5~2.4m、深さ5~12cm程度の細長い溝状の地形が確認された。これは物体が水流により運搬される時に形成したグループマークと推定される。

また、唐丹湾では3.11時に引き波により水深20m付近までの海底面が露出し、この水深20m付近で第一波の引き波と第二波の押し波が衝突したことが映像により明らかになっている。そのことから、海底面上に散在する多数の物体は津波により運搬されたガレキだと推定される。

【越喜来湾】

本調査範囲の地形においても、①水深8.5~17.5mまでの傾斜約1°(18/1000)の緩斜面、②水深17.5~19m付近の平坦面、③水深19.5m以深の緩斜面の3つに区分される。

①の海底面には多数の物体が集中して存在している。これら物体の分布は、唐丹湾が平坦面上に多数分布していたのに対し、緩斜面上への分布となっている。①~②にかけて、南東方向へ開口する扇状もしくは三角形の流痕が確認された。これらは、唐丹湾と同様に物体があることによる物痕が一部認められるが、水流自体による浸食で形成された削痕が大半を占めている。

以上、凹凸地形周辺における精査の結果、唐丹湾および越喜来湾の海底面上には、ガレキ及びその周囲に発達し、沖側へ開口する流痕により形成された津波起源凹凸地形が認められた。両湾において凹凸地形の発達する深度及び地形は類似している。しかし、唐丹湾はガレキの形状などにより流痕の幅や深さが異なり、ガレキに形状を規制されたと考えられる。しかし、越喜来湾の場合はガレキに規制されず水流自体により浸食を受けたと推察され、両湾には流痕の形成過程に明らかな違いがあったと示唆される。

キーワード: 津波起源浸食地形, 唐丹湾, 越喜来湾, 流痕

Keywords: Tsunami origin submarine topography, Toni Bay, Okirai Bay, Current mark

仙台湾沿岸における津波の浸水限界と津波砂層の分布限界との関係性の解明 Relationship between the inundation limit and the maximum extent of the sandy tsunami deposit in Sendai Bay coasts

阿部 朋弥^{1*}; 後藤 和久²; 菅原 大助²
ABE, Tomoya^{1*}; GOTO, Kazuhisa²; SUGAWARA, Daisuke²

¹ 名古屋大学 地理学教室, ² 東北大学 災害科学国際研究所
¹ Department of Geography, Nagoya University, ² IRIDeS, Tohoku University

津波の浸水限界と津波砂層の分布限界との関係性を明らかにすることは、古津波の浸水範囲を津波砂層の分布範囲から推定する上で重要である。2011年東北地方太平洋沖地震の発生以前は、津波砂層は浸水限界の90%以上まで分布するため (MacInnes et al., 2009)、津波砂層の分布範囲から古津波の浸水範囲を推定することには、大きな問題は無いとされてきた (Tsunami Pilot Study Working Group, 2006)。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後に仙台湾沿岸で行われた堆積物調査から、浸水距離が2.5~3 kmを超えると、津波砂層の分布限界は浸水限界より0.6~2.0 km海側となり、津波砂層は浸水距離の57~83%までしか分布しないことが指摘された (Goto et al., 2011; Abe et al., 2012; 宍倉ほか, 2012)。しかし、浸水限界と津波砂層の分布限界との差が生まれる要因について、物理的な説明はほとんど行われていない。よって、本研究では、両者の差が生まれる要因を明らかにすることを目的とする。

仙台湾沿岸において、海岸線から浸水限界まで長さ0.60~5.07 kmの15本の調査測線を設定した。浸水限界は、津波痕跡の現地調査から決定し、津波痕跡が失われていたものは、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (TETJSG) (Mori et al., 2012) のデータを用いた。津波砂層の分布限界は、測線上において数10~100 m程度の間隔を置いて計366地点で行った堆積物のピット観察結果から決定した。また、各測線における浸水限界と各掘削地点の標高は、GPS測量機器を用いた地形測量、もしくは、国土院が提供している津波発生直後の航空レーザー測量結果 (5mDEM) の抽出により求めた。各掘削地点の津波砂層の粒度分布を、沈降管法により求めた。TETJSGの浸水高から5mDEMの標高値を引くことで、浸水深を推定し、その分布をNatural neighborによって空間補間することで、浸水深分布図を作成し、各掘削地点の浸水深を抽出した。

浸水限界と津波砂層の分布限界との関係は、次のA~Dの4つの地形のタイプによって異なった特徴が見られた。仙台平野北部~中部のA) 奥行きが広い平野の6測線 (浸水距離: 3.66~5.07 km) では、津波砂層の分布限界の海岸線からの距離と標高は、浸水限界の55~74%と5~36% (1.03~2.30 km, 1.3~2.0 mの差) であった。仙台平野南部のB) 奥行きが狭い平野の3測線 (浸水距離: 0.60~1.96 km) では、津波砂層の分布限界の海岸線からの距離と標高は、浸水限界の97~98%と30~54% (0.01~0.16 kmと, 3.7~4.9 mの差) であった。七ヶ浜半島および仙台平野南部のC) 谷底平野の4測線 (浸水距離: 1.41~2.23 km) では、津波砂層の分布限界の海岸線からの距離と標高は、浸水限界の92~99%と55~89% (0.02~0.18 km, 0.9~3.5 mの差) であった。相馬海岸~常磐海岸のD) ラグーン低地・干拓地の2測線 (浸水距離: 3.85~4.43 km) では、津波砂層の分布限界の海岸線からの距離と標高は、浸水限界の94%と30~45% (0.16~0.22 km, 0.7~1.8 mの差) であった。

ここでは、津波砂層の分布限界 (2.31~2.99 km内陸) と浸水限界 (3.66~5.07 km内陸) との間に1.03~2.30 kmの差が見られた仙台平野北部~中部の奥行きが広い平野の6測線 (Aタイプ) について、考察を行う。まず、津波砂層の分布限界での標高は、0.1~1.1 mであり、一定の標高で砂層が途切れるわけではない。加えて、津波砂層の分布限界での粒度は、細粒砂~中粒砂 (中央粒径値: 1.6~3.1 phi) であり、一定の粒度で砂層が途切れるわけではない。また、津波砂層の分布限界での推定浸水深と計算最大流速は0.5~1.4 mと1.3~2.8 m/s (堀川ほか, 2012) であり、津波砂層の分布限界における津波の流体力は細粒砂~中粒砂をより内陸まで運搬可能であったと推測される。以上のことから、津波砂層の分布限界において、標高や砂の粒度に限界値があるのではないこと、および津波の流体力としてはより内陸まで津波砂を運搬可能であったと考えられる。そのため、浸水限界と津波砂層の分布限界との間に1.03~2.30 kmの差が生まれたのは、仙台平野における2011年東北地方太平洋沖地震による津波砂の主な供給源と考えられている海浜砂~砂丘砂 (Szcucinski et al., 2012) の供給が、海岸線から2.31~2.99 kmを超えると途切れてしまうことが要因であるとと考えられる。各測線の海岸部には、海浜砂~砂丘砂が十分にあり、津波発生直後の現地調査においても、それらの全てが消失していたわけではなかったため、供給源での砂の供給可能量に上限値があったのではないと思われる。そのため、2011年東北地方太平洋沖地震における仙台湾沿岸での津波特性が供給源での海浜砂~砂丘砂の供給プロセスを支配したことによって、内陸での砂の供給が途切れたと考えられる。津波の数値解析、観測データ・ビデオ映像の解析から、この仮説を確かめたいと思っている。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震津波, 仙台湾沿岸, 浸水限界, 津波砂層の分布限界

Keywords: 2011 Tohoku-oki tsunami, Sendai Bay coast, Inundation limit, Maximum extent of sandy tsunami deposit

三陸海岸宮古市沼の浜で発見された歴史津波堆積物 Historical tsunami deposits in Numanohama on the Sanriku coast, Japan

五島 朋子^{1*}; 佐竹 健治²; 須貝 俊彦¹; 石辺 岳男²; 原田 智也³; 室谷 智子²
GOTO, Tomoko^{1*}; SATAKE, Kenji²; SUGAI, Toshihiko¹; ISHIBE, Takeo²; HARADA, Tomoya³; MUROTANI, Satoko²

¹ 東大大学院新領域創成科学研究科, ² 東大地震研究所, ³ 東大総合防災情報研究セ / 地震研究所
¹GSFS, the University of Tokyo, ²ERI, the University of Tokyo, ³CIDIR/ERI, the University of Tokyo

岩手県宮古市田老地区沼の浜で、津波履歴解明を目的に津波堆積物調査を行った。本調査地は浜堤を介した低湿地帯で、2011年東北地方太平洋沖地震の津波遡上高は、17~30mであった(都司ほか, 2011, 地震研彙報)。低地掘削で得られた深度長約3mのハンディジオスライサー試料を解析した結果、15世紀以降の津波堆積物が6層検出された。²¹⁰Pb及び¹³⁷Csによる堆積年代推定結果から、地表から4層目までのイベント層は、上部より2011年東北地方太平洋沖地震津波、1960年チリ地震津波、1933年昭和三陸地震津波、1896年明治三陸地震津波に相当すると推察される。15世紀以降にこの地域に襲ったこの他の歴史的な近地津波としては、1793年宮城県沖地震、1763年及び1677年青森県沖地震、1677年延宝房総沖地震、1611年慶長三陸地震があり、主な遠地津波は1700年カスケード地震津波がある。

2011年東北地方太平洋沖地震後には、仙台平野を中心に津波堆積物に関する多くの調査が行われている(Goto *et al.*, 2011, *Marine Geology*; 宍倉ほか, 2012, 活断層・古地震研究報告)。しかし、岩手県北部から青森県に至る沿岸部については、過去の津波履歴復元を目的とした津波堆積物調査の報告例が少ない上に、検出された津波痕跡の堆積年代は数千年前と古いものが多い。有史時代の津波痕跡が地質試料に保存されていない原因として考えられるのは、三陸沿岸ではリアス式海岸が発達して沖積層が保存されにくい場所であることや、人工的な影響によって沖積層が削られていることにある。しかしながら、本調査地は標高約4mの浜堤で海と隔てられており、平常時は泥炭層が堆積する場所である。本研究のように、三陸沿岸において近年の歴史津波が地質学的証拠として時間的連続性をもって検出された例は珍しい。

本研究では、層相記載・粒度分析・微化石分析による津波堆積物の認定を行ない、津波堆積物の堆積年代推定のために、試料中の植物片や種子の¹⁴C年代(AMS)測定を行なった。さらに、表層部の津波堆積物の堆積年代推定のために、土壌試料中の²¹⁰Pbと¹³⁷Csの残存濃度の値を用いた。堆積物中に残存する²¹⁰Pb(半減期22.3年)濃度測定値により、過去100年程度の堆積速度を見積もることができ、また¹³⁷Cs残存濃度により、大気圏核実験の始まった1954年以前とそれ以後に堆積したものを区別することが可能である。

イベント層は、数cmから数十cmの層厚を持つ砂礫層として泥炭層中に挟在し、海浜由来の砂礫や付近の地質岩体由来の岩屑性粒子で構成されている。また、下部泥層との明瞭な侵食面、級化・逆級化構造の繰り返し構造、ラミナ構造、ラミナ層に挟在する偽礫などの津波堆積物に特徴的な構造が認められた。イベント層は、海側から内陸側に向かう調査側線上で追跡でき、調査地内で広がりをもって分布していることもわかった。さらに、イベント層と浮遊性海生ナノプランクトンの高産出層がよい相関を成すことは、イベント層を構成する粒子が海水によって陸側へ運搬されたことを示す。

年代測定の結果、¹⁴C年代測定結果は、試料深度3m付近が15世紀頃に堆積したことを示し、さらに²¹⁰Pb残存濃度から得られた減衰曲線は、表層から4つ目の砂層までが、ここ約100年間で堆積したことを示した。さらに、表層から2つ目の砂層以浅で¹³⁷Csが検出されたことより、2つ目の砂層は1960年チリ地震津波堆積物の可能性があることが示唆された。

謝辞

調査の実施にあたり、平川一臣氏、Javed N. Malik氏による多大な御助言と、村岸純・鳴橋竜太郎・楠本聡・瀧川朗・山市剛・Ravi K. Prabhat, 各氏による御協力を頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 津波堆積物, 三陸海岸
Keywords: Tsunami deposit, Sanriku coast

秋田県沿岸部における古津波痕跡調査 A Study of Paleo-Tsunami along the Coastal Area of Akita Prefecture, the eastern margin of Japan Sea

鎌滝 孝信^{1*}; 細矢 卓志²; 黒澤 英樹³

KAMATAKI, Takanobu^{1*}; HOSOYA, Takashi²; KUROSAWA, Hideki³

¹ 秋田大学地域創生センター, ² 中央開発株式会社技術センター, ³ 応用地質株式会社エネルギー事業部

¹Akita University, ²Chuo Kaihatsu Corporation, ³OYO Corporation

国や全国の地方自治体では、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえて地震被害想定の見直しを進めており、秋田県でも平成24年度から「秋田県地震被害想定調査」が実施されている。その中では、日本海東縁部の海域で発生する地震について、複数の震源領域が破壊する「連動地震」の検討がなされた。秋田県沖に関しては、1983年日本海中部地震が発生し、県内だけでも79人が津波で犠牲になった。しかしながらそれ以前の津波に関する情報はあまり知られておらず、また日本海東縁部において過去に連動地震が発生していたという証拠も得られていない。そこで、日本海沿岸の古津波に関する物的証拠を収集し、将来の地震被害予測に資する情報を整備することを目的として、秋田県沿岸部における古地震学的研究を開始した。本講演では、秋田県沿岸部における津波堆積物調査について現時点で得られている知見について議論したい。

古津波の痕跡、すなわち津波堆積物を使って海溝型巨大地震の再来間隔を推定し、その発生時期や影響範囲および被害に関する将来予測を試みる研究は国内外で数多くなされている。国内において津波堆積物は、千島海溝沿岸部、日本海溝沿岸部、相模トラフ沿岸部、駿河～南海トラフ沿岸部などから報告されているが、我が国における研究例のほとんどが太平洋側のもので、日本海側からの報告は箕浦ほか(1987など)や平川ほか(2012)などわずかである。また、秋田県沿岸からの情報は皆無といえる。

調査地域は、秋田県沿岸部を北部(八峰町)、中部(男鹿市および潟上市)および南部(にかほ市)と3地域に分けて選定した。秋田県における人口集中地域である秋田市、能代市および由利本荘市は、大規模な河川による堆積作用の影響および高い砂丘の存在から、今回の調査で津波堆積物を識別できる可能性が低いと判断し、調査地点を設定していない。調査地点の選定にあたっては以下の①～④の項目を基準とし、空中写真、地形図等で調査地点を抽出した後、現地確認を行い、各調査地点で最も条件が良いと判断された場所で掘削調査を実施した。①文献調査で過去の津波による浸水が推定される場所およびその周辺、②陸成層(泥炭や古土壌)が堆積し保存されている可能性の高い場所(閉塞された低平地)、③河川等の水流による定常的な堆積作用の影響を取り除ける場所、④人工改変の影響が少ない場所である。前述の視点から選定された調査地点において、コア採取部の径が3cm程度のハンドコアラーや同じく5cm程度の打ち込み式のサンプラー等を使用し、地表から2～3mの土壌試料を採取した。採取した堆積物を観察し、津波堆積物の可能性がある砂層等を識別した。その結果、津波堆積物が保存されている可能性があるとして判断した沖積低地においてボーリング調査を実施した。

北部地域と南部地域で採取されたボーリングコア試料からは、沖積低地に堆積したシルトや泥炭を主体とした細粒堆積物中に、砂を主体とした粗粒堆積物が数枚挟まれることがわかった。細粒堆積物中に挟まれる粗粒堆積物は、基底面が侵食面を呈すること、内部に斜交層理等の堆積構造が見られることなどから、ある程度強い水流を伴ったイベント堆積物と解釈される。それらイベント堆積物は、調査地点の周辺に大規模な河川が存在しないことから、洪水の可能性は低いと考えられる。また、海岸線からもある程度距離が離れていることから、現時点では津波堆積物の可能性が高いと考える。

今後、イベント堆積物の広範囲への分布を明らかにし、広域での対比を可能にすること、そしてイベント堆積物の由来を明らかにすることを目的に、追加調査や試料の分析等を進め、歴史地震津波との対応や当地域における津波履歴等についての詳細を明らかにしていきたい。

本研究は、秋田県による「秋田県地震被害想定調査」の成果、および秋田県潟上市から秋田大学が受託した「潟上市における地域防災・減災に関する研究」の予算を使用させていただいた。関係各位に対し記して感謝の意を表します。

キーワード: 津波堆積物, 古津波, 日本海東縁, 秋田県

Keywords: tsunami deposit, paleo-tsunami, eastern margin of Japan Sea, Akita Prefecture

珪藻化石群集から推定された徳島県田井ノ浜における過去4000年間の古沿岸環境変化と地殻変動 Paleoenvironmental changes and tectonic movements reconstructed from diatoms in Tokushima, during the last 4000 years

千葉 崇^{1*}; 藤野 滋弘¹; 小堀 詠美²
CHIBA, Takashi^{1*}; FUJINO, Shigehiro¹; KOBORI, Emmy²

¹ 筑波大学生命環境系, ² 筑波大学生命環境学群地球学類

¹Faculty of Life and Environmental Sciences University of Tsukuba, ²College of Geoscience, School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

南海トラフ沿いの地域で発生する南海地震と東海地震については、豊富に残されている歴史記録が調べられ、その再来間隔が求められている(寒川 2008)。また、近年はそれら地震に伴う津波に関する史料記録及び津波堆積物の研究が増加している(例えば藤野ほか 2008)。一方、各地震に伴う地殻変動は地形や隆起生物遺骸群集から推定されているものの、その報告は限られている(前杵 1988, 穴倉ほか 2008)。

徳島県由岐町には、過去の南海トラフ起源の地震による津波の被害について書かれた資料や石碑が残されている。歴史時代に発生した古地震や古津波の履歴及び規模を詳細に明らかにするためには、こうした歴史記録と地質記録を合わせて検討する必要がある。さらに、先史時代の記録は地質記録を検討する以外に情報を得る手段はなく、より長期的な地震履歴を明らかにするためにも地質記録を検討することは重要である。本研究では、由岐町に隣接する美波町田井ノ浜で掘削された深度 700 cm のボーリングコアの特に深度 500 cm までを対象として分析を行い、産出した珪藻化石群集の変化を明らかにすることから古沿岸環境の変遷及び地震性地殻変動を復元することを目的とした。

コア掘削地点は海岸から 200m ほど内陸に位置する。現在は休耕地であるが、かつては海岸側が砂州により閉ざされることで形成された低湿地であったと推定される。掘削されたコアは、表層～深度 50 cm までが耕作土層であるが、それより下位の層準は主に塩性植物の葉や根及び種子などを多く含む泥炭層～有機質泥層から成り、深度 500m までに少なくとも 12 枚の砂層が狭在する。砂層は層厚が 1 cm 未満のものから 70 cm 程度のもので様々である。また、放射性炭素年代測定から、表層～500 cm までの層準は少なくとも過去 4000 年間で堆積したものであると推定された。珪藻分析の結果、泥炭層～有機質泥層では、*Pseudostaurosira brevistriata*, *Pseudostaurosira subsalina*, *Staurosirella pinnata*, *Tabellaria fenestrata* などが優占し、中性～弱酸性環境を好む *Pinnularia* 属や *Eunotia* 属が随伴した。一方、狭在する砂層からは、*Diploneis smithii*, *Mastogloia recta* などのより高塩分環境に生育する珪藻が相対的に多く産出した。

以上のことから過去 4000 年間に於いて、この地域では、泥炭層及び有機質泥層堆積時に波浪の影響が直接及ばない淡水～塩性湿地が形成されていたと推定される。一方、コア掘削地周辺の集水域は小さいことから、狭在する砂層が崖錐由来である可能性は低いと考えられる。また、砂層はそれぞれより高塩分環境の珪藻を含むことから、いずれもコア掘削地点より海側から、津波などの強い流れにより運搬されたと推定される。さらに、泥炭層及び有機質泥層中の珪藻群集変化を見ると、砂層の層準の前後で群集が変化していた。特に砂層の堆積前には淡水生種が徐々に増加し、砂層の堆積後に淡水生種が減少した。この地域は南海トラフ沿いで発生する地震に関連した地殻変動により、地震間に隆起し、地震時に沈降することが潮位記録や歴史記録などからわかっている。本研究において認められた淡水生種の増減は、この地殻変動に伴う沿岸環境の変化を反映したものであると考えられる。

キーワード: 南海トラフ, 津波堆積物, 地殻変動, 古沿岸環境, 珪藻

Keywords: Nankai trough, Tsunami deposit, Tectonic movement, Pleo coastal environment, Diatom

鹿児島県西岸域における津波堆積物調査 Study of tsunami deposits along west coastal area of Kagoshima Prefecture, Japan

大嶋 章浩^{1*}; 原口 強²; 田尻 雄大³
OSHIMA, Akihiro^{1*}; HARAGUCHI, Tsuyoshi²; TAJIRI, Yuuta³

¹ 西日本技術開発株式会社, ² 大阪市立大学, ³ 九州電力株式会社

¹West Japan Engineering Consultants, Inc., ²Osaka City University, ³Kyushu Electric Power Co., Inc.

九州西岸域においては、前面にプレート境界が無く、被害を及ぼした地震・津波の記録が少ないことから、太平洋に面した東岸域と比較して、津波堆積物に関する調査・研究の実績が少ない。しかしながら、東北地方太平洋沖地震の発生を機に、沿岸地域における防災計画の見直しが進められており、過去の津波履歴等に関するデータの拡充が必要とされている。

筆者らは、九州西岸域における歴史津波やその他災害の記録に関する文献調査及びボーリング調査による堆積物コアの採取と観察、各種分析を実施している。本講演では、特に鹿児島県西岸域における津波堆積物調査について、現時点で得られている知見について報告する。

調査地点の選定にあたっては、まず、空中写真・地形図の判読を行い、浜堤、砂丘、後背湿地等の地形分類図を作成した。次に、この地形分類図に基づいて、地形や人工改変の状況等について現地確認を行い、ボーリング調査地点を選定した。ボーリング調査は、鹿児島県阿久根市～南さつま市の沿岸域、及び薩摩川内市の西方沖約 30km に位置する甕島の東岸域の計 10 地点で実施した。また、各地点においては、堆積物の側方への連続性を把握するため、海側から陸側にかけて数本のコアを採取した。掘削深度は沖積層の基底を目途とし、既存資料等を参考に堆積速度を勘案して、現在とほぼ同程度の海水準であったと考えられる約 7000 年前～約 6000 年前までの深度の堆積物を採取することとした。

ボーリング調査により採取したコアの内部構造について、非破壊かつ 3 次元的に観察を行うため、コアパックに入った状態で X 線 CT 撮影を行った。X 線 CT 撮影後、コアは縦に半割し、その半割面を観察・記載した。採取したコアの年代については放射性炭素年代測定・火山灰分析を実施中である。

現時点までに、鹿児島県薩摩川内市久見崎町地点、甕島中山地点、いちき串木野市羽島地点から採取したコアにおいて、イベント堆積物を確認した。イベント堆積物の年代は、久見崎地点では約 7000 年前と約 9500 年前、中山地点では約 2500 年前～約 3500 年前を示す。羽島地点については、現在年代測定中である。

上述のイベント堆積物は、現状では他地点の同時期の堆積物に認められないことから、これらを形成したイベントは局所的なものであった可能性が高い。発表時には、コア観察と微化石分析等の結果を踏まえて成因についてより詳細に考察する。

久見崎地点から採取したコアに、鬼界アカホヤテフラ由来の火山ガラスを含む層準が認められた。この層準は、鬼界アカホヤ噴火に伴うイベントにより、当該地点に供給された可能性がある。この堆積環境の変化については、微化石分析やコアの詳細観察を行い検討する予定である。

キーワード: 津波堆積物, イベント堆積物, 鹿児島県

Keywords: tsunami deposits, event deposits, Kagoshima Prefecture

石垣島東海岸に見られる津波堆積物 Tsunami deposits in eastern coast area of Ishigaki Island, Japan.

北村 晃寿^{1*}; 安藤 雅孝¹; Tu Yoko⁴; 大橋 陽子¹; 中村 衛²; 宮入 陽介³; 横山 祐典³; 志賀 翔太²; 生田 領野¹
KITAMURA, Akihisa^{1*}; ANDO, Masataka¹; TU, Yoko⁴; OHASHI, Yoko¹; NAKAMURA, Mamoru²; MIYAIRI, Yosuke³;
YOKOYAMA, Yusuke³; SHIGA, Shota²; IKUTA, Ryoya¹

¹ 静岡大学, ² 琉球大学, ³ 東京大学, ⁴ 中央研究院地球科学研究所

¹Shizuoka University, ²Ryukyu University, ³The University of Tokyo, ⁴Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

We found two tsunami deposits in eastern coast area of Ishigaki Island, Japan. The tsunami deposits contain many pebble-sized bioclasts such as coral fragments and mollusks, and clay rip-up clasts comprising material from the underlying soil. These deposits have erosive basement and fine upward. These layers thin abruptly at the landward margins, and fine inland. The altitude of the landward end of the lower and upper tsunami deposits attain up to 6 and 8 m, respectively. We referred to as deposits T-II and T-I in order of ascending stratigraphic position. Radiocarbon ages of excellent preserved and articulated marine bivalves mean that T-I and T-II were caused by the AD 1771 Meiwa tsunami and by tsunami at 740-500 cal. yrs BP (AD 1210-1450), respectively. It is noteworthy that abundant fragments of coral and molluscs remains are found from the debris flow deposit below T-II. Radiocarbon ages suggest these fragments were transported up to 8 m elevation by tsunami between 2490-2240 and 930-620 cal. yrs BP.

キーワード: 津波堆積物, 石垣島

Keywords: tsunami deposits, Ishigaki Island

The use of benthic foraminifera within tsunami sediments The use of benthic foraminifera within tsunami sediments

MAMO, Briony^{1*}; TOYOFUKU, Takashi¹
MAMO, Briony^{1*}; TOYOFUKU, Takashi¹

¹Japan Agency for Marine and Earth Science and Technology

¹Japan Agency for Marine and Earth Science and Technology

Tsunami hazard assessment begins with a compilation of past events that have affected a specific location. Given the inherent limitations of historical archives, the geological record has the potential to provide an independent dataset useful for establishing a richer, chronologically deeper time series of past events. Recent geological studies of tsunami are helping to improve our understanding of the nature and character of tsunami sediments. Wherever possible, researchers should be increasingly working to improve the research 'tool kit' available to identify past and analyse modern tsunami events. Marine, benthic foraminifera (single celled heterotrophic protists) have often been reported as present within tsunami-deposited sediments but in reality, little information about environmental conditions, and by analogy, the tsunami that deposited them, has been reported even though foraminifera have an enormous capacity to provide meaningful palaeo-environmental data. In light of more recent tsunami events, the use of foraminifera has increased yet their full potential in this capacity is still often not frequently utilised. We discuss the potential use of foraminifera within tsunami research using results from specific case studies from Japan, south Asia, North America, Europe, the UK and New Zealand. We present an updated review in the gaps in our understanding on this topic area and reassert models for 'better' practice where possible, to assist researchers who examine foraminiferal assemblages within tsunami geology.

キーワード: Tsunami, Foraminifera, Benthic, Tsunami deposit
Keywords: Tsunami, Foraminifera, Benthic, Tsunami deposit

相対湿度0.1%の差を測る！ ArduinoとSHT75による高精度観測 Measuring the relative humidity within an error of 0.1% by Arduino

松尾 諒^{1*}; 酒井 敏¹

MATSUO, Ryo^{1*}; SAKAI, Satoshi¹

¹ 京都大学 人間・環境学研究科

¹ Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

一般に森の中は街と比べて涼しいと言われている。その気温差を生じている要因は何であるかということ調べるために、京都大学とその隣の吉田山にて気温と相対湿度の観測を行ない、気温差と大気中の水蒸気量の差を比較した。

今回この観測の中で Sensirion 社の SHT75 という温湿度センサーを用いた。このセンサーはカタログ値で相対湿度について分解能 0.03%、精度 ± 1.8%、再現性 0.1% という非常に高い精度をもっている。実際に使用しキャリブレーションを行った所、測定機器同士の差が気温について ± 0.05 °C、相対湿度について ± 0.1% の間に収めることができる可能性があるということが分かった。今回の観測における大気中の水蒸気量の差を考える際には、大気中の水蒸気 0.1g 程度の差を見る必要があることから、相対湿度の誤差は最低 ± 1% 程度に収められることが望ましい。この街と森の気温差と水蒸気量差の関係の議論についても、この精度で観測を行うことが出来なかったため今まで有効な観測結果を出せていなかった。このセンサーを Arduino を用いて作ったデータロガーに接続し、1分毎に記録するという形で観測を行った。

結果として吉田山と京都大学では常に吉田山の気温が低く、大気中の水蒸気量も多いということが分かった。この差は一日を平均してみると、夏の観測においては水の蒸発潜熱により大気が冷やされているというように見ることができた。しかし、冬においても夏の半分ほどの差ではあるが、常に吉田山の気温が低く水蒸気量が多いということが観測された。また、時間変化を加えてみると夏・冬ともに日の出とともに気温差がつき、次に昼までに水蒸気量の差が開き、その後日が傾くに連れて気温差が縮まり、夜の間水蒸気量の差も縮まるというサイクルを見ることが出来た。すなわち、これは水の蒸発潜熱によって気温差がつく以外の要素が働いていることを示している。

キーワード: 相対湿度, 気温差, 計測, Arduino, 森と街, 潜熱

Keywords: relative humidity, tempature, measure, Arduino, Forest and City

暖かい金属円柱上での氷の自発的回転 Spontaneous rotation of a block of ice on a flat surface of a warm metal column

田中 雅士^{1*}; 波々伯部 広隆¹; 吉田 茂生²; 中島 健介²
TANAKA, Masashi^{1*}; HOHOKABE, Hirotaka¹; YOSHIDA, Shigeo²; NAKAJIMA, Kensuke²

¹九州大学 大学院理学府, ²九州大学 大学院理学研究院
¹Graduate School of Science, Kyushu University, ²Faculty of Science, Kyushu University

概要

氷の塊を真鍮の円柱の上に載せると、融解とともに自発的にゆっくりとした回転をはじめ、それが持続することを発見した。

発見された現象

室温または暖めた直径 8cm, 高さ 16cm の真鍮製の円柱を上面が水平になるように置き、その上に直径 10cm, 厚さ 4cm 程度の底面が平らな氷の塊 (家庭用冷蔵庫で作成) を置くと、氷の融解とともに自発的に回転を始める。回転方向は、途中に外力を加えない限り変わらないが、回転と逆方向に力を瞬間的に加えただけで即座に反転する。典型的な回転周期は 20 秒程度である。真鍮が冷めるか、あるいは、氷が融けて円柱の上面が露出すると、回転は停止する。

氷と真鍮表面の間の気泡の重要性

製氷業者が作成した気泡を含まない氷を用いたところ、回転は生じなかった。しかし、この氷の下面に貫通しない穴をあけ、融解とともに氷と真鍮表面の間に気泡が供給されるようにすると、回転が生じた。また、氷と真鍮表面の間の気泡の振る舞いを観察すると、氷が自発的回転を行なっている時と回転を強制的に停止させた場合とで異なることがわかった。すなわち、氷が回転しているときは、気泡は円柱の半径方向に伸びた細長い形状になる傾向があり、真鍮表面に対して殆ど静止している。氷の回転を停止させたときは、気泡は不規則に変形・運動しつつ外側に流出する。これらのことから、この現象の物理には、気泡が本質的に重要な役割を果たしていることが示唆される。

熱供給の重要性

円柱内部の温度の測定より、円柱内の上下の温度差と氷の回転角速度の間に強い正の相関があることがわかった。また、真鍮の代わりに熱伝導率の小さいステンレスの円柱を用いると、氷の回転周期は長くなる。これらのことから、熱伝導により供給される熱フラックスが、この現象の発現に本質的に重要であることが示唆される。

今後の方向

この現象の力学についてはまだ理解できていない。熱の供給と回転速度の強い関係から、この現象が一種の熱機関として解釈できる可能性もある。今後、より制御された実験を行い、その結果も踏まえて、多面的に考察を進める予定である。

キーワード: 気泡, 氷, 回転, 熱機関, 相変化, 自発運動
Keywords: bubble, ice, rotation, heat engine, phase change, spontaneous motion

底面が回転する円筒容器内の軸対称解のレジーム Regimes of solutions of an axisymmetric flow in a cylindrical tank with a rotating bottom

伊賀 啓太^{1*}
IGA, Keita^{1*}

¹ 東京大学 大気海洋研究所
¹ AORI, The University of Tokyo

地球や惑星の気には軸対称な状況にも関わらず、軸対称を保っていない流れが実現していることがある。このような対称性の破れは、円筒容器内に水を入れ、底の円盤を回転させるという極めて単純な室内実験でも実現することができる。我々はこれらの現象について報告を行ってきた。この、メカニズムを調べる際に基本場となる軸対称な流れが必要となるが、境界層理論を用いて軸対称解を解析的に表現する試みについても昨年度報告を行った。

この解析解の性質を詳しく調べ、その安定性に関連する性質を整理した。自由表面がある場合にこの解を適用すると、軸対称流の様子は3つのレジームに分けられる。つまり、(i) 中心まで水で覆われ、中心の剛体回転領域と外側の角運動量一定領域に分けられる場合 (ii) 底の回転板の中心部が空気に露出し、その外に剛体回転領域、さらに外側の角運動量一定領域がある場合 (iii) 底の回転板の中心部が空気に露出し、その外にすぐ角運動量一定領域がある場合。解析解を適用することによって、これらのレジーム間の遷移のパラメータ依存性を明らかにした。それぞれのレジームに対応して、そこに特徴的に存在する波の種類に差が出てくる。これは、不安定性に対して大きな影響を与える。

また、形成される境界層のうち、横壁付近にできる境界層は、その周回方向の速度にジェット状の分布を持ち、渦度勾配が負になる領域を作る。これも臨界層不安定の可能性を生じる要因となる。

キーワード: 回転流体, 対称性の破れ, 境界層, 軸対称流, 安定性

Keywords: rotating flow, symmetry breaking, boundary layer, axisymmetric flow, stability

金星大気 GCM のベンチマーク実験：モデルおよび天文パラメーターに対する感度について
Benchmark experiments for Venus AGCM: sensitivities to model and astronomical parameters

山本 勝^{1*}; 高橋 正明²
YAMAMOTO, Masaru^{1*}; TAKAHASHI, Masaaki²

¹九州大学, ²東京大学
¹Kyushu University, ²University of Tokyo

Benchmark experiments and inter-comparisons of atmospheric general circulation models (AGCMs) have been conducted in the climate and Geophysical Fluid Dynamics (GFD) communities. Recently, the AGCM inter-comparisons are extended to Venus and hot extrasolar planets. The ISSI inter-comparison project of Venus AGCM (Lebonnois et al. 2013) shows that there are large differences among the models under the same Venus-like condition, and some model parameters influence the general circulation structures. At the present stage, in the inter-comparisons project, the wave analyses have yet to be fully conducted. For Venus' atmospheric modeling, we need to investigate sensitivity to model parameter (such as resolution), in order to understand the numerical properties of the AGCM and to confirm the model results. In terms of GFD, sensitivity to astronomical parameter (such as planetary rotation) is interesting in profoundly understanding the dynamics of superrotation in a mimic slowly rotating planet, which is represented by the base simulation in the inter-comparison. By using the widely-used benchmark, we can easily compare with previous models. In the present study, the base simulation of the ISSI project is applied to a MIROC AGCM for checking the validity of the Venus model, and is extended to the sensitivity experiments for model resolution (T21, T42, T63, and T106) and planetary rotation (Venus, Titan, and Earth), in which the general circulations and waves are analyzed. In the Venus case, as the model resolution is increased, the total angular momentum of the whole atmosphere becomes larger, although the cloud-top superrotation weakens. This indicates that the high-resolution contributes to the accumulation of the angular momentum in the lower atmosphere. The eddy momentum and heat fluxes in the lower atmosphere are also sensitive to the horizontal resolution. Associated with the eddy heat flux, the indirect circulation is also influenced by the resolution. In T42 and higher resolution experiments, the high-latitude jet and polar indirect circulation are extended to the lower atmosphere. The lower-atmospheric high-latitude jet induces large equatorward eddy angular momentum fluxes. In this presentation, we discuss the sensitivities to model resolution and planetary rotation, based on the transformed Euler mean and Eliassen-Palm flux analyses, which are useful even for slowly rotating planet with very small Coriolis force (although they are not widely used in atmospheric researches of Venus).

理想化した熱帯低気圧における多重壁雲の構造と壁雲の置き換わりの関係 Relationship between structure and replacement of concentric eyewalls in idealized tropical cyclones

辻野 智紀^{1*}; 坪木 和久¹
TSUJINO, Satoki^{1*}; TSUBOKI, Kazuhisa¹

¹ 名古屋大学地球水循環研究センター

¹ HyARC, Nagoya University

台風をはじめとする熱帯低気圧には、中心からおよそ数百 km 以内に壁雲とよばれる対流活動の盛んな円形の雲域が存在する。熱帯低気圧はまれに、この壁雲を同心円状に複数有することがあり、多重壁雲 (Concentric Eyewall) と呼ばれる。多重壁雲は一度形成されると、内側の壁雲がゆっくりと減衰し、外側の壁雲が徐々に内側に収縮するという壁雲の置き換わり (Replacement) が起こる (Houze et al., 2006)。2012 年の台風 15 号 (Bolaven) は多重壁雲が形成されてから少なくとも 1 日以上維持しており、明瞭な壁雲の置き換わりは見られなかった (辻野・坪木, 2013 年大会)。辻野・坪木 (2013; 気象学会秋季大会) では、Bolaven の外側壁雲が長時間維持と、多重壁雲の鉛直構造が関係していると考察した。彼らは、外側壁雲が内側壁雲に比べて外向きに傾いていたため、鉛直風について内側壁雲より外側壁雲の強さが相対的に弱く、境界層を通過する内向きの流れが外側壁雲で捕捉されず、絶えず内側壁雲に水蒸気を供給していたことに起因することを示唆した。このように、多重壁雲が形成されたとしても、必ず壁雲の置き換わりが起こるとは限らず、多重壁雲と壁雲の置き換わりの間にどのような関係があるかという点については完全には解明されていない。本研究では、辻野・坪木 (2013, 日本気象学会秋季大会) における台風 Bolaven (2012) の再現実験といくつかの解析で示された、多重壁雲の構造と壁雲の置き換わりに注目する。まず、3 次元非静力学モデルを用いて理想化した熱帯低気圧における多重壁雲の構造に関するパラメータスイープ実験を行う。そして、各実験における多重壁雲の構造の違いと壁雲の置き換わりの関係について調べる。

本研究では、名古屋大学地球水循環研究センターで開発された 3 次元非静力学モデル (CReSS; Cloud Resolving Storm Simulator, Tsuboki and Sakakibara, 2007) を用いた。Terwey and Montgomery (2008; 以降 TM08) における多重壁雲の理想化実験を参考に初期値を作成した。具体的には、傾度風バランス、静力学バランスした低気圧性回転の軸対称な風場を初期渦とした (TM08 の (2,3) 式)。熱力学場については Jordan (1958; 以降 J58) で得られた熱力学場の鉛直 1 次元データを用いた。水平解像度は 2 km、鉛直方向には 45 層をとり、最下層の鉛直解像度は 100 m をとった。計算領域は 2000 km x 2000 km x 22.5 km をとった。積分時間は 500 時間まで行った。海面水温は各実験全て固定値を用いた。本研究では、多重壁雲の構造についてパラメータスイープ実験を行う際、TM08 で提唱されている考え方を元に、多重壁雲の構造が接線風の動径方向の分布で変化すると仮定した。この接線風の動径分布は熱帯低気圧の最大接線風速 (最大強度) で変化すると考えられる。そこで、最大強度を変化させるパラメータ (海面水温と大気的不安定性) に関して 4 つの数値実験を行った。それぞれ、SST を 301 K、初期の鉛直温度分布に J58 を用いた実験をコントロール実験 (CTL)、SST のみを 302 K にした実験 (S302)、SST を 302 K、J58 で観測された温度を鉛直方向に一律に 3 K 増加させた実験 (ST302)、SST を 300 K、J58 で観測された温度を一律に 1 K 増加させた実験 (ST300) として計算を行った。

本研究では壁雲の定義としてモデルの高度約 5 km における接線平均された鉛直風の水平分布を用いた。CTL, S302 実験は積分開始 400 時間程度で複数回の多重壁雲形成と壁雲の置き換わりを経験している。一方、ST302 では積分開始 250 時間付近で多重壁雲が形成されたが明瞭な置き換わりが見られなかった。ST300 では多重壁雲を形成しなかった。それぞれの実験について、壁雲の鉛直方向の構造を調べた。壁雲の置き換わりが見られた CTL, S302 では外側壁雲の鉛直方向の傾きが内側壁雲と同程度であった。一方、壁雲の置き換わりが見られなかった ST302 では外側壁雲の傾きが内側壁雲よりも外側に傾いているということがわかった。鉛直風の強さに着目すると、CTL, S302 では置き換わりの際に鉛直風が非常に強くなり、内側壁雲と外側壁雲で同程度の強さとなった。ST302 では、外側壁雲の鉛直風は内側壁雲に比べて非常に弱い結果となった。ST302 における多重壁雲の構造は辻野・坪木 (2013; 気象学会秋季) で示された Bolaven の構造と類似しており、Bolaven と同様に明瞭な壁雲の置き換わりが発生しなかった。これらの理想化実験の結果と多重壁雲の構造から、壁雲の置き換わりには壁雲の鉛直方向の傾きが関係していると考えられる。

キーワード: 熱帯低気圧, 多重壁雲, 壁雲の置き換わり, 渦力学

Keywords: tropical cyclone, concentric eyewall, eyewall replacement, vortex dynamics

背景渦度勾配中の渦の移動の機構とその見積もり Mechanism of vortex movement in environmental vorticity gradient and its estimation

山田 佳緒^{1*}; 伊賀 啓太¹
YAMADA, Kao^{1*}; IGA, Keita¹

¹ 東京大学大気海洋研究所
¹ AORI, The University of Tokyo

大気の準定常的なパターンとして知られているブロッキングの維持機構として、Yamazaki and Itoh(2013)はSAM(selective absorption mechanism)を提唱した。SAMとはブロッキングが同極性の渦を選択的に吸収することで長期間存在できるというメカニズムであり、その本質は渦間相互作用である。同様のメカニズムによって、熱帯低気圧や温帯低気圧の移動についての理解が試みられている(例えば Fiorino and Elsberry, 1989; Oruba et al., 2012等)。また、渦間相互作用による渦移動には、背景場の絶対渦度勾配、渦の半径、強さなどのパラメータが重要であると指摘されている(DeMaria, 1985; Chan and Williams, 1987)が、いずれも数値実験結果を用いた診断にとどまっている。本研究では2次元非発散順圧モデルを用いて上記のパラメータを様々に変えた数値実験を行った。さらに渦間相互作用による渦の移動メカニズムを調べ、移動量を定量的に評価した。

渦の移動の時間発展を調べた結果、2つの異なる特徴を持つ期間、初期に見られる加速期間とその後の準定常状態、渦対並進期間に分けられることがわかった。それぞれの期間で渦はその周りに特徴的な渦度場を作り、その運動は異なるパラメータ依存性を持っていた。加速期間では渦は背景場を少し回転させて変形するだけであるが、渦対並進期間ではもとの渦の東側に長く伸びた反対符号の渦が現れる。

加速期間ではSAMの考え方をそのまま定量的評価に適用することによってその速度を評価した。その結果、速度は絶対渦度勾配と渦の循環、経過時間の積に比例することが示された。渦対並進期間では渦対の伝播というメカニズムを考えることで反対符号の渦を特徴づける少数パラメータによって速度を評価した。その結果、渦の速度は渦の循環の2/3乗と惑星渦度勾配の1/3乗の積に比例することがわかった。これらの見積もりは数値実験結果の各期間の速度のパラメータ依存性をよく表す見積もりであり、各パラメータが持つ渦移動に対する物理的効果の明確化、渦移動量の推定に成功した。

また、先行研究ではそのメカニズムが明確ではなかった惑星渦度勾配と相対渦度勾配の渦の移動量への影響の違いについて、渦対並進期間のパラメータを評価することで考察を行い、その違いはシアの有無に帰着することを示した。

キーワード: 渦
Keywords: vortex

慣性重力波によるエネルギーフラックスの位相独立表現 A phase-independent expression for the energy flux associated with inertia-gravity waves

相木 秀則^{1*}
AIKI, Hidenori^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

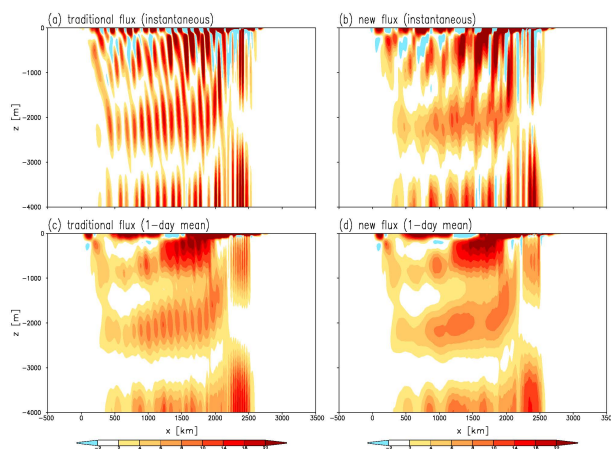
海洋中の波動の診断には時間平均がよく使われる。時間平均をとるには、波の位相変化にくらべて波の統計量がゆっくりと変化することを前提としている。実際の海洋の波動の診断では、この前提からはずれることがしばしばある。時間平均を積極的にとりにくい場合として、(i) 波の位相変化が非常に遅い(定在波)、(ii) 波の統計量の変化が突発的である(台風などによって励起された慣性重力波)、(iii) 観測や数値実験の制約上、細かい時間間隔でサンプリングできない等があげられる。このような状況に対処するために Takaya and Nakamura (1997, 2001) は「ロスビー波による 擬運動量フラックスの位相独立表現」を導いた。この表現は大気波動の診断の研究でよく使われ実用性に定評がある。ところが (a) ロスビー波によるエネルギーフラックスの位相独立表現、(b) 慣性重力波によるエネルギーフラックスの位相独立表現(本研究)、(c) 慣性重力波による擬運動量フラックスの位相独立表現(本研究)は過去の研究では導かれていない。

本研究では慣性重力波の支配方程式から出発して位相依存性のない新しいエネルギー方程式を導出した。この新しいエネルギー方程式の副産物として擬運動量の式の位相独立表現も得られた。

台風の通過にもなって海洋内部に慣性重力波が励起される様子を理想化した数値実験を行った。一様成層して初期に静止した海に、局所的な時計回りの風応力を与えて x 軸の方向に一定の速度で移動させる。10 日間の数値積分を行い、8.5 日目の(一回の)スナップショットを用いて、新旧のエネルギー方程式の比較を行った。図 a,c は従来の位相依存性のある表現 $u' p'$ 、図 b,d は新しい位相独立表現(詳細は省略)に基づく x 軸方向のエネルギーフラックスの鉛直断面である。両方とも x 軸の方向に波のエネルギーが伝達している。従来の表現だと位相変化が残るので、十分に細かい時間間隔(例えば 30 分毎)でモデルのスナップショットを出力した後にエネルギーフラックスを計算してその時間平均をとらなければならない。本研究の位相独立表現を使うとモデルの出力間隔が粗くても(例えば 3 時間毎でも)構わないので予報システムなどのオペレーションに向いている。

キーワード: 慣性重力波, エネルギーフラックス, 位相依存性

Keywords: inertia-gravity waves, energy flux, phase dependency



二重拡散対流による貫入の単純化モデル A mechanistic model of double-diffusive intrusions

野口 尚史^{1*}
NOGUCHI, Takashi^{1*}

¹ 京都大学大学院工学研究科
¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

1. はじめに

温度・塩分が異なる水塊が接する熱塩前線は、力学的に安定であっても二重拡散対流に対して不安定で運動が生じ、薄い層に分かれて相互に貫入が生じる。この貫入運動は前線面を通じた熱・塩分・運動量の輸送を担っているため、水塊の混合を考える上で重要な過程である。この貫入運動は、微細な規模の二重拡散対流(フィンガー対流・拡散型対流)の集合的な密度輸送により駆動されており、逆に二重拡散対流は貫入による水平流によって維持される塩分・温度の鉛直勾配によって駆動されている。

2. 設定

鉛直の仕切り板により2つの溶質 T, S を含む溶液が中央で2つに分けられている。

溶質 T, S は拡散係数が100倍異なっている。(海洋では T, S は温度(熱)と塩分に相当する。)仕切りの左右で、それぞれの溶質による密度の鉛直勾配は等しいが、左右でそれぞれ一定値 $\pm\Delta$ ずつ異なっているとすると、したがって全密度は左右で等しく、拡散が無ければ運動は生じない。また、初期の仕切り板の左右の流体の成層は、いずれも二重拡散対流について絶対安定であるため、拡散があっても(仕切りを取り除くまでは)運動は生じない。

3. 数値シミュレーション

無限に深い鉛直スロット内の2成分の Boussinesq 流体の2次元運動を分子拡散・分子粘性を陽に計算して解く数値モデルを用いて、貫入層を再現した。

初期に前線面で生じた擾乱は発達して層状の構造を形成した。生じた層状構造は傾いていた。 Δ を大きくすると層の傾きが反転し、内部の構造も変化した。

Δ が大きいときについて、層の内部構造を拡大したものを図 a に示す。

4. 単純化モデル

数値シミュレーションで見られた貫入層の力学的な仕組み、とくに輸送のバランスを理解するため、層内の微細スケールの対流運動のパラメータ化表現と、貫入層スケールの T, S 分布・運動とを結び付けた単純モデルを作成する。

同一の構造をもつ層が鉛直方向に周期的に重なっていると考える(図 b)。層の構造は準定常状態に保たれているとする。層の境界(拡散境界面)は層厚に比べ非常に薄いと、この境界面での T, S の跳び、層の勾配 α 、層内の水平シア u 、層の上端と下端(フィンガー層の上下)での T, S の差を用いて層構造の状態を表わす。

フィンガー対流による輸送は Stern による 4/3 乗則で表わす。

拡散型対流による輸送は大きくないが、T については同様に 4/3 乗則に基づいて表現し、S による輸送は小さいので無視する。

せん断が対流輸送の効率に与える影響は、せん断流の中でのフィンガー対流の安定性の理論(Kunze)より、せん断安定性の臨界状態に保たれていると仮定して求める。このときのフィンガーの幅・鉛直流速は、いずれも別の理論より層内の状態を用いて表現することができる。

これらの対流による輸送と層内での水平輸送との釣り合い式を解くことで準定常状態での層内の輸送が分かる。

その結果、輸送の表現、とくにソルトフィンガーのそれに大きく影響を受けるため定量的な比較は困難であるが、定性的には直接数値シミュレーションと整合的な結果を得た。

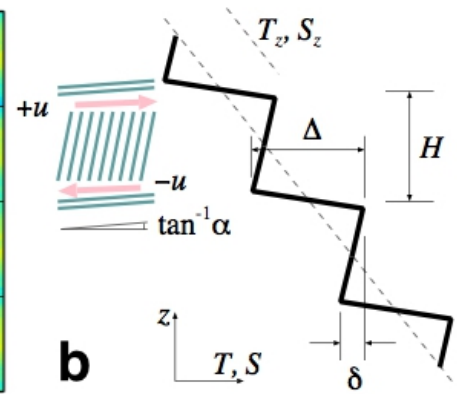
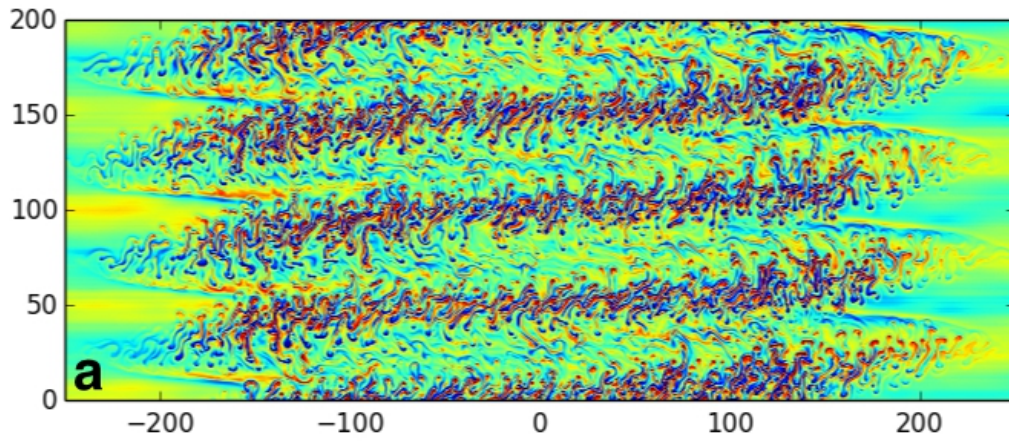
謝辞: この研究は科学研究費助成事業 若手研究 (B) 23740354 の助成を受けた。

キーワード: 海洋, 二重拡散対流, 水平混合
Keywords: double-diffusive convection, lateral mixing

MIS24-08

会場:313

時間:4月28日 15:15-15:30



Low-frequency internal waves in Shiozu Bay, Lake Biwa: A numerical approach Low-frequency internal waves in Shiozu Bay, Lake Biwa: A numerical approach

AUGER, Guillaume^{1*}; NAGAI, Takeyoshi²; YAMAZAKI, Hidekatsu²
AUGER, Guillaume^{1*}; NAGAI, Takeyoshi²; YAMAZAKI, Hidekatsu²

¹Department of Civil Engineering, Ritsumeikan, ²Department of Ocean Science, TUMSAT

¹Department of Civil Engineering, Ritsumeikan, ²Department of Ocean Science, TUMSAT

In this study, we present results from the three-dimensional unstructured numerical simulator SUNTANS, used to understand the dynamics of the low-frequency internal wave field inside Shiozu Bay, a bay in the Northern part of Lake Biwa. Initial conditions for a fine-scale grid were generated in using a coarse grid with measured heat fluxes and wind stress. After being compared against observational data, the simulation reproduced consistently the low-frequency internal wave field, (similar frequencies and waves features). Based on the analysis of integrated potential energy and integrated dissipated energy time series, this study shows that the low-frequency internal wave field that enters Shiozu Bay does not either completely dissipate or break. Moreover isotherm elevation associated to the internal the first horizontal mode and first vertical mode Kelvin wave highlights the cyclonic rotation pattern, which is characteristic of the Kelvin wave, within the bay. This result shows that the part of the Kelvin wave entering the bay goes in and out. Moreover the dynamic of the internal wave field within the bay displays an peculiar process at the narrowing of the bay. At the contraction of the bay, the flow speeds up and deep isotherms deepen further. These two processes generated turbulence by shear and strain; according to the turbulence model (Mellor and Yamada, 1982) turbulent kinetic dissipation rate reached $10^{-6} \text{ W kg}^{-1}$, occurring during the trough phase of the internal wave field. Additionally the occurrence of these enhanced turbulent events appears to depend on the amount of energy detained by the low frequency internal wave. When the internal wave field was energized by the wind the turbulent events were enhanced. Such events could modify the long-term distribution of material in the lake.

キーワード: wind forcing, internal waves, contraction, strain
Keywords: wind forcing, internal waves, contraction, strain

固体地球と海洋の重力・弾性結合系としての遠地津波の波形分散異常 Anomalous wave dispersion of distant tsunamis in a coupled system between the self-gravitating elastic Earth and ocean

綿田 辰吾^{1*}
WATADA, Shingo^{1*}

¹ 東京大学地震研究所
¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2010年チリ地震(M8.8)や2011年東北沖地震(M9.0)で発生した巨大津波は、約1日をかけて太平洋を渡り、対岸の来襲直前の深海域でその波形が観測された。その走時と波形はこれまで培われた遠地津波伝播予測から大きくずれていたため、多くの津波学者を悩ませた。

津波発生域近傍での津波観測により津波発生域を囲む観測点での津波波形は良く説明される。一方、太平洋を横断した津波は、これまでの津波伝播で使われた長波近似や、有限水平波長を考慮した線形重力表面波の分散関係から予測される伝播時間や波形とは大きく異なるものであり、伝播速度は1.2%低下(到達時間換算で最大15分程度の遅れ)していた。海底摩擦や有限振幅効果などの非線形効果は、深海域での数値計算によると遠地の伝播時間に観測可能な影響を与えない。

伝播遅延の要因として海底地形データの誤差(水深が系統的に浅い)や、海洋諸島・海嶺などの浅い水深での津波散乱の影響などが挙げられていた。また、遠地津波の波形には共通して、近地津波波形には見られない、主要到達波形とは逆転した振幅極性を持つ微弱な初期位相がみられた。初期反転位相の要因としては、主要津波発生前の初期破壊や、震源域周辺部での震源域とは逆転する地殻変動が挙げられていた。

今回、津波の水深変化による加重により弾性変形する固体地球の効果や、海水圧縮性の効果、津波や弾性変形する固体地球そのものが引き起す地球重力場の擾動が津波伝播に与える影響を考慮した津波波形を計算する手法を開発した。その結果、観測との走時差が5分以内に解消し、遠地津波のみにみられた初期反転位相を含む主要津波波形は、長周期帯域で固体地球と重力・弾性結合した津波の逆分散(波長が長いほど位相速度が低下)で良く説明できた。

太平洋を横断する津波の予想外の伝播遅延と逆分散は、固体地球と海洋が重力・弾性結合した力学系における波動の振舞いとしてよく理解される。

キーワード: 津波伝播遅延, 津波位相速度測定, 津波波形分散, 位相反転した初期津波位相, 津波先行波, 2010年チリ地震 2011年東北沖地震 DART 津波記録

Keywords: Tsunami propagation delay, Tsunami phase velocity measurements, Tsunami waveform dispersion, Tsunami initial phase with reversed polarity, Tsunami precursor, DART tsunami records from the 2010 Tohoku/Oki earthquake and

スーパーアースにおけるマントル対流とスタグナントリッドの形成について On the vigor of mantle convection and stagnant lid formation in super-Earths

宮腰 剛広^{1*}; 亀山 真典²; 小河 正基³
MIYAGOSHI, Takehiro^{1*}; KAMEYAMA, Masanori²; OGAWA, Masaki³

¹ 海洋研究開発機構, ² 愛媛大学, ³ 東京大学
¹JAMSTEC, ²Ehime University, ³University of Tokyo

Super-Earths are extra-solar terrestrial planets which have large sizes and masses (up to about ten times the Earth's mass). Understanding mantle convection in super-Earths is a key to clarifying their evolution, surface environment, and habitability. In large super-Earths, the mantle depth far exceeds the thermal scale height, and adiabatic compression strongly influences super-Earths' mantle convection in contrast to the Earth's one. In this paper, we present numerical models of mantle convection in super-Earths with high compressibility, high Rayleigh number, temperature-dependent viscosity and depth-dependent thermal expansivity.

Thermal convection of compressible infinite Prandtl number fluid is solved in a rectangular box under anelastic approximation by the ACuTEMAN (Kameyama et al. 2005). The model of the super-Earths includes depth-dependent thermal expansivity and density, as well as a strong temperature-dependence of viscosity. We assume the mass of the planet is ten times the Earth's. The Rayleigh number defined with the viscosity at the core-mantle boundary (CMB) Ra is $1E10$. A viscosity contrast r up to $1E7$ arises between the CMB and the surface owing to the temperature-dependence of viscosity. The employed grid number is 1024 (horizontal) and 256 (vertical).

We identified the stagnant lid regime in the model of super-Earths. When the viscosity contrast r is larger than about $1E6$, a stagnant lid of highly viscous fluid is formed along the surface. The lid hardly moves and is not involved in the convection, as has been observed earlier for the Boussinesq model of the Earth's mantle convection (Kameyama and Ogawa, 2000). The lithosphere is as thick as about thirty percent of the depth of the whole mantle, and the Nusselt number is about three at $r=1E7$ and $Ra = 1E10$. This value is comparable to that of the Earth's model at the same r but at much lower Ra of $6E6$ (Kameyama and Ogawa, 2000). The lithosphere is much thicker than has been expected earlier for super-Earths (e.g., Valencia et al. 2007), and the thick lithosphere is likely to affect the possibility of plate tectonics at the surface of super-Earths. The strong effect of adiabatic compression also affects the dynamics of hot plumes that ascend from the CMB when the temperature-dependence of the viscosity is strong: At $r > \sim 1E3$, hot plumes from the CMB are strongly suppressed. They do not ascend to the surface of the planet. The overall pattern of convective circulation in the mantle is, therefore, dominated by the cold plumes that descend from the lithosphere to the CMB. The low efficiency of heat transport by the mild convection would strongly affect the evolution history of super-Earths, and is likely to weaken the core convection, and thus, the magnetic field of super-Earths.

Keywords: super-Earths, mantle convection

熱プルーム形成時における熱源サイズの影響 Heater size effect on generation of thermal plumes

熊谷 一郎^{1*}; 山岸 保子²
KUMAGAI, Ichiro^{1*}; YAMAGISHI, Yasuko²

¹ 明星大学, ²IFREE, JAMSTEC

¹Meisei University, ²IFREE, JAMSTEC

Mantle plumes from the CMB experience a filtering effect by the endothermic phase change at the 660-km phase transition. Fluid dynamics predicts that the hot mantle plumes stagnate at and locally heat the upper-lower mantle boundary, which causes generation of the secondary plumes in the upper mantle, and hence hotspots volcanic activities on the surface. To understand the effects of heater size on the plumes generation, we have experimentally investigated the behaviors of thermally buoyant plumes generated from a localized heat source (circular plate heater) using quantitative visualization techniques of temperature (TLC) and velocity (PIV) fields. Scaling laws for their ascent velocity and spacing of the plumes are experimentally determined. We also estimate the onset time of the secondary plumes in the upper mantle which depends on local characteristics of the thermal boundary layer developing at the upper-lower mantle boundary.

キーワード: プルーム, マントル, 流体力学, 実験

Keywords: plume, mantle, fluid dynamics, experiment

回転円筒内の磁気対流の線形安定性と波動 Waves and linear stability of magnetoconvection in a rotating cylindrical annulus

堀 久美子^{1*}; 竹広 真一²; 清水 久芳¹
HORI, Kumiko^{1*}; TAKEHIRO, Shin-ichi²; SHIMIZU, Hisayoshi¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 京都大学数理解析研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University

天体内部の対流運動(例えば、地球コアの対流運動)やそれに伴う磁場の時間変動を考える上での基礎を得るために、境界面の傾いた回転円筒中で外部磁場を与えた場合に生じる熱対流の線形安定解析を行った。この円筒モデルは、非磁場下では、回転球または回転球殻内でおこる対流の特徴を定性的に表現できることがよく知られている。しかし、磁場が存在する場合についてはそれほど明確に知られていない。本研究では、重力、回転軸、および外部磁場の方向がそれぞれ直行する状況下で起こる二次元的な対流運動を考え、その臨界状態における振動解の分散関係と中立曲線を系統的に調べた。また、対流駆動型 MHD ダイナモ数値実験よりその影響が指摘された、熱的境界条件の影響も合わせて検討した。

その結果、熱拡散と磁気拡散の強さの比によって、対流運動が異なることがわかった。熱拡散に比べて磁気拡散が強い場合には、自転の順行方向に伝播する遅い波動モード(磁気ロスビー波)が現れるのに対し、熱拡散がより強い場合では様々な波動モードが現れ、逆行方向に伝播する遅い波動モードも複数起こりうる。これに伴い、中立曲線や対流を生ずる臨界モードも変化する。磁気拡散が強い場合には順行方向に伝播する磁気ロスビー波が、熱拡散が強い場合には逆行方向に伝播する遅い波動モードの一つ(遅い MC 波)が、最小の臨界レイリー数を与える。

また、温度固定型境界条件に代わり熱流固定型境界条件を課した場合、その影響は磁気拡散が強い場合でより顕著であることがわかった。ここでは、中立曲線が水平波数に対して単調増加するような関数となり、水平スケールの大きい対流セルほど発生しやすいことが示唆される。一方、熱拡散が強い場合では、複数の波動モードが存在することによって中立曲線が複雑に構成され、熱流固定型熱的境界条件の影響は明瞭に確認できなくなることがわかった。

超音波流速分布計測による回転熱対流のセルパターン調査 Investigation of cell patterns on a rotating convection by ultrasonic velocity profile measurements

藤田 広大^{1*}; 田坂 裕司¹; 村井 祐一¹; 大石 義彦¹; 柳澤 孝寿²

FUJITA, Kodai^{1*}; TASAKA, Yuji¹; MURAI, Yuichi¹; OISHI, Yoshihiko¹; YANAGISAWA, Takatoshi²

¹北海道大学, ²海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

¹Hokkaido University, ²IFREE JAMSTEC

Rayleigh-Benard convection is the well-known topic as fundamental system in fluid dynamics. In particular, the effect of rotating field on the convection is one of essential piece for geophysics. The influence of centrifugal force and Coriolis force on convection pattern formation was experimentally showed by Rossby (1969). The flow structure of Rayleigh-Benard convection in a rotating field is described by Rayleigh number (Ra), Taylor number (Ta) and Prandtl number (Pr). Especially, it is important to study the behavior of low Pr fluid like liquid metals, because this knowledge helps to understand the dynamics of metallic cores in planets. In low Pr fluids, the flow regimes dramatically changes in comparison with ordinal fluid with $Pr > 1$. For example, Rayleigh-Benard convections in a liquid metal layer easily take transition to turbulent state. Generally, adding rotating field stabilizes the flow. On the other hand, flows of low Pr fluids with background rotation are expected to become oscillatory and irregular motion near the marginal stability conditions. These characteristics of low Pr fluids, however, have not been studied experimentally so much, because it is impossible to capture the convection patterns of liquid metal flows optically. To solve this problem, the authors adopt Ultrasonic Velocity Profile (UVP) method to visualize convective flow of liquid metal in a rotating field. As the data set of UVP measurement is one-dimensional velocity distribution, it is difficult to guess flow fields of convection from only a result of UVP without any criterion of translation. In this study, as preparations for liquid metal experiments, we performed two different visualizations using optics and ultrasound on ordinal transparent fluid, water ($Pr = 7$), to understand flow field from spatio-temporal velocity distribution obtained by UVP. Optical visualization provides path line images for the comparison. In addition, we purpose to take the knowledge about spatio-temporal velocity distribution of high Pr contrasted with low Pr.

Experiments were performed on a rotating table. The vessel of fluid layer has a square geometry, which aspect ratio is seven. The bottom of fluid layer was heated by electrical heating and the upper surface was cooled by circulating water through flow channel made of glass plate. Optical visualization images were obtained from a horizontal section of the fluid layer. An ultrasonic transducer for UVP measurement was mounted horizontally on the side wall of fluid layer.

The path line showed many small round convective cells in the fluid layer, and it represented that the size of cells become smaller as Ta takes larger. In addition, the size of cell and cell motions were also detected by spatio-temporal velocity distributions acquired by UVP. For example, cells moved in certain direction and passed over measurement line of transducer. Staying time of cell on the line was observed and means speed of cells moving. As Ta gets larger, it was found that the speed of each cell motion became slower. The cell diameter was calculated from velocity data. When cells stay next to each other, there is 0 mm/s on cells boundaries in spatial velocity distribution at the time. We defined distances between neighboring cells on the spatial line respectively as scales of cell size. Then we extracted all distances from spatio-temporal distribution and calculated the expected value of these. The expected value represents dominant cell diameter. We confirmed that the cell size on the distribution roughly corresponds to that on the path line. Thereby we obtained information of convective cell from only UVP data.

キーワード: レイリー・ベナール対流, 回転場, 流れパターン

Keywords: Rayleigh Benard convection, Rotating field, Flow pattern

水平磁場下の液体金属対流におけるロール状対流について Roll convection in a liquid metal layer subject to a horizontal magnetic field

田坂 裕司^{1*}; 井垣 一人¹; 柳澤 孝寿²; エックカート スヴェン³; 村井 祐一¹
TASAKA, Yuji^{1*}; IGAKI, Kazuto¹; YANAGISAWA, Takatoshi²; ECKERT, Sven³; MURAI, Yuichi¹

¹ 北海道大学大学院工学研究院, ² 海洋研究開発機構, ³ ヘルムホルツセンター

¹ Faculty of Engineering, Hokkaido University, ² JAMSTEC, ³ Helmholtz center at Dresden-Rossendorf

Recent investigations using ultrasonic velocity profiling (UVP) on Rayleigh-Benard convection in a liquid metal layer under horizontal magnetic field gave good understanding for typical temperature fluctuations shown in previous studies (Yanagisawa, et al., 2013). For example, regime transition against variations of Rayleigh number (Ra) and Chandrasekhar number (Q), variation of the roll number and spontaneous, random flow reversal that consists of spontaneous transition between two modes having different number of rolls, mainly $N = 4$ and 5. This flow reversal may be due to non-integer number of stable wave number in corresponding conditions of Ra and Q. The rolls can take only integer number even though the stable wave number determined by flow instability is, for example, $N = 4.3$. In this case the dominant condition is $N = 4$, and it is sometime modified into $N = 5$ due to external noise. However, $N = 5$ is not stable, and thus Skewed varicose instability occurs to restore N into 4. Time average of instantaneous N may correspond to stable wave number for the corresponding conditions.

This study aims to widen the flow regimes into larger Ra and larger Q by one order to clarify the influence of strong magnetic field: Past studies predict that the strong magnetic field greatly modifies the critical Rayleigh number at the onset of the convection. Experiments were done in Helmholtz center at Dresden-Rossendorf (HZDR) to utilize strong magnetic field generator that can provide quasi uniform magnetic field with 30 mT in the intensity. The test fluid layer is almost same with our previous study (Yanagisawa, et al., 2013) and its main aspects are, 5 in aspect ratio, 40 mm in height and sandwiched between copper plates for cooling at top and heating at bottom. The obtained regime diagram shows that the fraction rule on Ra/Q determining the regimes is still almost valid in the widen region of Ra and Q. But the number of rolls is slightly modified from expectations by the rule. Also we observed "regular" flow reversals instead of random one. This may be due to stable number of rolls larger than $N = 4.5$ and aspect ratio of the vessel, 5. The dominant roll number also depends on the side boundary of the vessel. Velocity profiles parallel to the roll axes clarified three dimensional motion during the regular flow reversals.

キーワード: レイリーベナール対流, 液体金属, 磁場, 対流パターン

Keywords: Rayleigh-Benard convection, Liquid metal, Magnetic field, Convection pattern

液体金属の熱対流での skewed-varicose instability による流れ場の反転 Flow reversals in liquid metal convection by the skewed-varicose instability

柳澤 孝寿^{1*}; 櫻庭 中²; 浜野 洋三¹

YANAGISAWA, Takatoshi^{1*}; SAKURABA, Ataru²; HAMANO, Yozo¹

¹IFREE, JAMSTEC, ² 東京大学大学院理学系研究科

¹IFREE, JAMSTEC, ²School of Science, Univ. Tokyo

The natures of turbulence and large-scale flow pattern in the outer core are controlled by the magnetic field. It is important to know the basic behavior of flow in relation to the magnetic field, for understanding the flow patterns observed in real Earth and core dynamo simulations. By recent laboratory experiments of Rayleigh-Benard convection with liquid gallium, a regime diagram of convection patterns was established under various intensities of a uniform horizontal magnetic field for a wide square geometry (Yanagisawa et al. 2013, PRE). Five flow regimes are recognized; (I) fluctuating large-scale pattern without roll, (II) weakly constrained roll with fluctuations, (III) continuous oscillation of roll, (IV) repetition of roll number transitions with random reversals of the flow direction, and (V) steady 2-D rolls. In these, regime (IV) with flow reversals is the most interesting behavior. Flow reversals have been observed so far in narrow vessels with small aspect ratio, and the proposed processes for reversals are reorientation and cessation. Experiments with liquid metal under horizontal magnetic field suggest the existence of new type of reversal, via the skewed-varicose instability.

We performed numerical simulations of magnetoconvection in a same setting as the experiment with no-slip velocity boundary conditions. Both the Prandtl number and magnetic Prandtl number of the working fluid are set small to simulate liquid metals. Our numerical result successfully reproduced all regimes that observed in the experiments. The process of flow reversal is illuminated by the simulation. Axis of roll is skewed with a roll shrinking, and the number of rolls is reduced. In case the reduced roll number structure is not fit the vessel, new small circulation grows to a roll again, and then reversed flow state is established. The process repeats with irregular time interval. It works in 3-dimensional geometry, and should play important role in various flow systems.

キーワード: 熱対流, 液体金属, 流れ場反転

Keywords: thermal convection, liquid metal, flow reversal

Spectrum of internal waves in bounded domains of the Atmosphere and the Ocean Spectrum of internal waves in bounded domains of the Atmosphere and the Ocean

GINIATOULLINE, Andrei^{1*}
GINIATOULLINE, Andrei^{1*}

¹Department of Mathematics, Los Andes University, Bogota, Colombia, South America

¹Department of Mathematics, Los Andes University, Bogota, Colombia, South America

We consider the spectral properties of internal waves for three-dimensional compressible rotating exponentially stratified fluid. This model describes the flows in the Atmosphere and the Ocean which include simultaneously the rotation of the Earth over the vertical axis, and the non-homogeneous initial stratification of density caused by the gravitational force. We obtain theoretical results for the spectrum of the resulting internal waves in terms of its structure, localization, and its possible usage in computational algorithms. The applications of the spectral properties of such internal waves can be found, in particular, in the models of the resonance effect. We consider both the general case of bounded domains, and the explicit results of some particular domains, such as cubes and cylinders.

キーワード: computational fluid dynamics, compressible fluid, rotating stratified fluid, essential spectrum, internal waves, fluid dynamics of the Atmosphere and the Ocean

Keywords: computational fluid dynamics, compressible fluid, rotating stratified fluid, essential spectrum, internal waves, fluid dynamics of the Atmosphere and the Ocean

岐阜県美濃-関地域における美濃帯-上麻生ユニットと那比ユニットの関係性 Relationship between the Kamiaso unit and the Nabi unit in the Mino terrane of the Mino-Seki area, Gifu Prefecture

北川 祐介^{1*}; 松岡 篤²
KITAGAWA, Yusuke^{1*}; MATSUOKA, Atsushi²

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻地球科学コース, ² 新潟大学理学部地質科学科

¹Graduate School of Science and Technology, Environmental Science and Technology, Earth Science, Niiga, ²Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University

西南日本の付加体の1つである美濃テレーンは、付加体の中でも数多くの調査がなされ、岩相及び構造の違いから、複数の構造層序単元に区分されている。しかし多くの研究がなされている美濃帯の中でもデータの乏しい地域はいくつも存在する。岐阜県中央部の美濃・関地域はそのような地域の1つであり、Wakita(1988b)による広域的な調査によって、チャート-砕屑岩シーケンスが繰り返す整然相で特徴づけられる上麻生ユニットと、破断した砂岩泥岩互層とメランジュを主体とする那比ユニットが分布することが明らかとなった。また、本地域においては、鹿沼(1956)によって定義された、和田野礫岩という礫岩が分布する。これは、チャート、珪質粘土岩、石灰岩、玄武岩質岩の角礫だけでなく、それらのブロックを含むという特徴を持つ。本公演では、上麻生ユニットと那比ユニットの関係について議論を行う。

美濃・関地域において詳細な野外調査を行い、従来上麻生ユニットとされていた地質体を、地質構造や岩相の違いがみられることから、従来から言われていた整然相からなる上麻生ユニットと、メランジュ相を主体とする那比ユニット、和田野礫岩に区分した。上麻生ユニットは海洋プレート層序の連続性をある程度残して地層が積み重なる構造を持つ。チャートからは Middle Triassic から Early Jurassic, 泥岩からは Early Bathonian を示す放散虫が産出した。那比ユニットには、チャート-石灰岩互層、メランジュ、玄武岩質岩が分布している。チャートの岩相にも違いがみられ、風化して赤色を呈する黒色チャートが長良川沿いに広く分布している。これらの岩相は、他の地域の上麻生ユニットではあまり見られない。チャートからは Middle Triassic から Early Jurassic, 珪質泥岩からは Middle Jurassic, チャート-石灰岩互層のチャート層からは Late Triassic を示す放散虫が産出した。また、チャート-石灰岩互層の石灰岩層からは、Late Norian を示すコノドントが報告されている(猪郷・小池, 1975)。和田野礫岩は、礫岩と塊状砂岩を主体とし、チャート、珪質粘土岩、石灰岩や玄武岩質岩のブロックを含む。放散虫が示す年代範囲がほとんど一致しているため、上麻生ユニットの上部三畳系チャートと那比ユニットのチャート-石灰岩互層は、同時異相関係にあると言える。この対応関係は佐野ほか(2010)でも報告されている。

キーワード: 美濃帯, 上麻生ユニット, 付加体, チャート-砕屑岩シーケンス, 放散虫

Keywords: Mino terrane, Kamiaso unit, accretionary complex, chert-clastic sequence, radiolaria

足尾帯大釜セクションにおける下部・中部三畳系境界の認定：美濃・丹波・足尾帯における深海層序の地域差による示唆 Recognition of the Olenekian-Anisian Boundary Sequence from Ogama, Ashio Belt

武藤 俊^{1*}; 高橋 聡¹; 山北 聡²; 鈴木 紀毅³; 相田 吉昭⁴

MUTO, Shun^{1*}; TAKAHASHI, Satoshi¹; YAMAKITA, Satoshi²; SUZUKI, Noritoshi³; AITA, Yoshiaki⁴

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 宮崎大学教育文化学部地学教室, ³ 東北大学大学院理学研究科地圏環境科学教室, ⁴ 宇都宮大学農学部生物資源科学科地質学研究室

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Department of Earth Sciences, Faculty of Education and Culture, University of Miyazaki, ³Institute of Geology and Paleontology, Graduate school of Science, Tohoku University, ⁴Geology Lab, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University

Pre-Jurassic pelagic sedimentary sequences are known to have accumulated in the pelagic Panthalassa over millions of years (Matsuda and Isozaki, 1991; Ando et al., 2001). These pelagic sequences are considered to preserve environmental record of the pelagic Panthalassa. However, spatial variations of pelagic sequences are not fully understood, due to the scarcity of well-preserved sequences. In order to face this problem, this study reconstructed the stratigraphic sequence ranging from Lower to Middle Triassic with high resolution at the Ogama section of the Ashio Belt, which is located in Tochigi, Japan (Kamata, 1996; Kamata 1997).

The section consists of three parts, which occur in separate outcrops; Og-A section, Og-B section and Og-C section. The boundaries of these outcrops were not directly observed, but the major difference in lithology suggests that these outcrops are in contact with faults. The Og-A section consists of approximately 2.5 m thick black claystone overlain by bedded chert. The Og-B section consists of alternating claystone and chert. Claystone in the Og-B section has two types: black claystone and grey siliceous claystone. The Og-C section consists entirely of bedded chert. Components of bedded chert are 1 to 10 cm thick chert beds and 2 to 25 mm thick intercalated claystone beds.

Age diagnostic conodonts were recovered from the Og-B section. Spathian conodonts indicating the *Triassospathodus homeri* zone (*Neospathodus homeri* zone; Koike, 1981), early Anisian conodonts indicating the *Chiosella timorensis* zone (*Neogondolella timorensis* zone; Koike, 1981), Middle Anisian conodonts indicating the *Neogondolella bulgarica* zone (Koike, 1981) were recovered. Radiolarian fossils were recovered from the Og-C section. Early-middle Anisian radiolarian *Triassocampe eruca* (Sugiyama, 1997) and late Anisian radiolarian *Triassocampe coronata* (Bragin) group were recovered.

The reconstructed stratigraphic sequence spans from upper Spathian of Lower Triassic to upper Anisian of Middle Triassic. The Spathian-Anisian boundary determined by the first occurrence of conodont *Ch. timorensis* is placed at the lower part of the Og-B section. The Lower to Middle Triassic pelagic sequence of the Ogama section has two important characteristics. One is the lithofacies change from claystone dominant facies of upper Spathian to bedded chert facies of middle Anisian. The other is the 4 m thick interval of black claystone and black chert, which spans from uppermost Spathian to lower Anisian.

Lower to Middle Triassic pelagic sequences are also exposed in other Jurassic accretionary complexes. A particularly well-studied sequence belongs to the Mino Belt, and is situated in the Inuyama area, Gifu, Japan. This area has been the target of intensive biostratigraphical examinations (Sugiyama, 1997; Yao and Kuwahara, 1997) and cyclostratigraphical researches (Ikeda et al., 2010). The comparison of the two pelagic sequences from the Ashio Belt and the Mino Belt revealed the common general trend of increasing chert content within the lower to middle Anisian interval. However, it is also noteworthy that the interval consisting of black claystone and black chert is remarkably thicker in the Ogama section than in the Inuyama area. Takahashi et al. (2009) indicated the uppermost Spathian interval consisting of black claystone and black chert in the Inuyama area is the result of an oceanic anoxia. The thicker interval at Ogama section may represent longer duration of this event, or a greater sedimentation rate during the event, at the depositional setting than that of Inuyama area. Further correlations by biostratigraphy and carbon isotope stratigraphy are required to compare the onset and offset timing of this event in both depositional settings. The comparison of timing between the two sections may reveal the cause of this regional difference in pelagic sequences.

キーワード: 足尾帯大釜セクション, 下部・中部三畳系境界, コノドント, 放散虫, パンサラッサ赤道域

Keywords: Ogama section, Ashio Belt, Olenekian-Anisian Boundary, Conodont, Radiolarian, Equatorial Panthalassa

三疊紀後期カーニアン～ノーリアン前期におけるアンモナイト・コノドント・放散虫化石層序
Upper Triassic conodont, ammonoid, and radiolarian biostratigraphy in a pelagic sequence of Japan

山下 大輔^{1*}; 安田 知佳²; 佐藤 峰南³; 尾上 哲治⁴
YAMASHITA, Daisuke^{1*}; YASUDA, Chika²; SATO, Honami³; ONOUE, Tetsuji⁴

¹ 鹿児島大学大学院理工学研究科, ² 国際石油開発, ³ 九州大学大学院理学府, ⁴ 熊本大学大学院自然科学研究科
¹Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, ²INPEX Corporation,
³Graduate School of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁴Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

The chronology for the Triassic pelagic deposits in the Panthalassa Ocean is based on the radiolarian zonation, which is well studied in the Middle and Upper Triassic bedded chert successions in the Japanese accretionary complex. Although accurate calibration for the chronostratigraphic stages and substages are established basically by means of ammonites and conodonts, most of the Japanese radiolarian zones were calibrated through correlation with zonal schemes in other regions, and have not been calibrated with ammonoid and conodont biostratigraphy. Here we present the results of Late Triassic (Carnian-early Norian) conodont biostratigraphy from the two pelagic sections in the Jurassic accretionary complex of southwest Japan. Samples for this study were collected from the Sakahogi section of a bedded chert sequence in central Japan and the Nakijin Formation of a pelagic limestone sequence in the northern tip of the Okinawa Island. We found 56 platform conodonts from 36 samples in the Sakahogi section, where the radiolarian biostratigraphy have previously been investigated. The biostratigraphy of the Carnian-Norian sequence of the Nakijin Formation is based primarily on ammonites, since the rare occurrence of conodonts minimizes the stratigraphic potential of these groups. However, our study revealed that the clastic limestones intercalated within the Nakijin Formation contain rich conodonts assemblages. Based on detailed study of the conodont biostratigraphy from the interval of the Carnian and the early Norian in the Sakahogi section and the Nakijin Formation, three conodont zones are recognized in ascending order as follows: lower Carnian *Paragondolella praelindae* - *Metapolygnathus polygnathiformis* zone, upper Carnian *Metapolygnathus lindae* - *Metapolygnathus primitius* zone, and lower Norian *Epigondolella quadrata* zone. This result is consistent with the presence of the lower to upper Carnian ammonites assemblages in the Nakijin Formation.

キーワード: 三疊紀後期, カーニアン?ノーリアン前期, アンモナイト・コノドント・放散虫化石層序, 三宝山帯, 美濃帯, パンサラサ海

Keywords: Late Triassic, Carnian to early Norian, conodont, ammonoid, and radiolarian biostratigraphy, Sambosan Terrane, Mino Terrane, Panthalassa Ocean

北西太平洋の中生代海洋プレート古地理の復元に向けて：古東北日本弧の付加体からみた問題点
Toward reconstruction of oceanic plate paleogeography in the NW Pacific: a subject from the NE Japan arc.

植田 勇人^{1*}; 木村 翔¹; 折橋 裕二²
UEDA, Hayato^{1*}; KIMURA, Sho¹; ORIHASHI, Yuji²

¹ 弘前大, ² 東大地震研
¹Hirosaki Univ., ²ERI, Univ. Tokyo

これまで中生代における北西太平洋の海洋プレート配置（イザナギプレートやクラプレート）は、当時太平洋中央部にあった太平洋プレート上の地磁気縞模様から外挿することにより間接的に復元されてきた。しかし、各地のオフィオライトや島弧テレーンの存在、ジュラ紀に遡るフィリピン海プレートの起源の問題、および中生代に沈み込んだスラブを示唆する中央太平洋下の下部マントルトモグラフィなどから、中生代の北西太平洋を構成した海洋プレートは、単純に中央～東太平洋からの延長ではない可能性がある。これを検証するためには、地磁気縞模様による復元とは独立に、各地の付加体やオフィオライトの地質や年代を統合して復元していくことが重要と考えられる。当発表では、北部北上帯北東端の下北半島尻屋崎地域と、北海道神居古潭帯南部の三石蓬莱山地域から得られたジルコン U-Pb 年代に基づき、海洋プレート古地理復元にあたって東北日本からみた問題点を議論する。

今回、尻屋崎の付加体を構成する陸源碎屑性の整然相に挟在する凝灰岩のジルコンを測定したところ、約 130Ma（前期白亜紀オーテリビアン/バレミアン境界付近）の U-Pb 年代が得られた。砂岩に含まれる最も若いジルコン粒子もほぼ同じ年代であった。この年代は、中央北海道における①神居古潭帯やイドンナップ帯付加体の陸源碎屑岩、②神居古潭帯高圧変成岩の最も古い一群の冷却年代、および③島弧火山岩を挟在する空知層群上部、と同時期にあたる。従来は白亜紀初頭におこった空知層群下部の膨大な緑色岩の付加に伴って、北部北上帯～渡島帯からイドンナップ帯～神居古潭帯に沈み込み帯がシフトし、これに伴って空知層群上部の島弧火成活動が開始したとする考えが主流であった。しかし今回の結果から、130Ma 頃には 2 列の沈み込み帯が並存したことが示唆される。もしそうであれば、この時期の神居古潭帯やイドンナップ帯の付加体はユーラシア縁辺ではなく、海溝の外側の別プレートの縁辺で形成されたのかもしれない。

ところで、神居古潭帯やイドンナップ帯の蛇紋岩には、しばしば「微閃緑岩類」と総称される深成岩や半深成岩が伴われる。これらは島弧火成岩の組成的特徴を示し、約 100Ma の K-Ar 年代から、従来は白亜紀のユーラシア縁辺における火成活動の産物と考えられてきた。今回、神居古潭帯三石蓬莱山地域の蛇紋岩メランジに隣接した「微閃緑岩類」中の優白質な閃緑岩脈から、後期ジュラ紀 160 Ma のジルコン U-Pb 年代が得られた。この年代もまた、北部北上帯の付加体形成期間内であるため、ユーラシア縁辺より海側に島弧があったことを示唆する。

これまでも東北日本では、北上山地のアダカイト（スラブ溶融）と神居古潭帯のローソン石青色片岩（極めて低温のスラブ）が同時期に形成されるなど、単一の沈み込み帯では説明困難な点があった。今回 2 地域の新たな年代値から、少なくとも後期ジュラ紀～前期白亜紀中葉まで間、ユーラシア縁辺とは別の沈み込み帯が北西太平洋に存在した可能性を検討する必要が増したといえる。今後、年代、層序、岩石組成などの検討を進め、これを検証していきたい。

キーワード: 太平洋, 海洋プレート古地理, ジルコン, U-Pb 年代, 付加体, オフィオライト
Keywords: Pacific, oceanic plate paleogeography, zircon, U-Pb age, accretionary complex, ophiolite

更新統足柄層群の変形礫岩からみたフィリピン海プレートの運動 Philippine sea plate motion since the Pleistocene viewed from deformed conglomerates of the Ashigara group

小林 健太^{1*}
KOBAYASHI, Kenta^{1*}

¹ 新潟大学理学部地質科学科

¹Dep. Geol., Fac. Sci., Niigata Univ.

海洋域のプレート配置や運動を復元する手法として、沈み込み帯で形成された付加体の構造解析がしばしば用いられる。しかし付加体の形成が行われなかったり、形成されても未だ地表に現れていない場合には、別途過去の変形を記録している地質体の解析が必要となる。

フィリピン海プレート北縁の収束境界では、更新統足柄層群 (1.6-0.5Ma) が当時のトラフを充填して堆積した。その北側には中新統丹沢層群が分布し、両者は神縄断層系で境される。神縄断層系は、断層の走向・傾斜、断層岩の構造解析から求めた運動センス、切断関係に基づき、狭義の神縄断層 (東西走向, 右横ずれ), 尺里断層系 (北東-南西走向, 左横ずれ正断層), 中津川断層系 (北西-南東走向, 右横ずれ逆断層), 塩沢断層系 (北東-南西走向, 逆断層成分を伴う左横ずれ), 河内川東方の断層 (南北走向) に区分される (大川・小林, 2007)。

塩沢断層の南東側には、足柄層群の最上位層である塩沢累層が分布する。礫岩層を主体とし、厚さ数 10cm~2m の砂岩層を挟む。礫種は主に花崗岩類, 緑色岩, 緑色片岩からなり, 平均礫径は 5cm~20cm, 最大径は 50cm である。北東-南西走向・65-75° 北西傾斜を示す。礫岩は一部で著しく変形し, 断層岩を伴う変形帯が形成されている。これらの変形帯を, 断層岩の種類と性状, 剪断センス, 切断関係に基づき, 古いものから順に, A, B, C, Dr, Dg, Db 型の六つに区分した。A, B, C 型は P-R1 ファブリックが発達したカタクレーサイト帯であり, 新期のものほど狭長になる。Dr は赤色, Dg は青緑色, Db は黒色を呈する断層ガウジ帯である。カタクレーサイト帯は塩沢断層から 0.6km, 断層ガウジ帯は 1.5km 以上の範囲に渡り分布する。ほとんどは鉛直-高角北西傾斜であるが, B, C, Dr 型の一部は南東傾斜となる。また塩沢断層から離れるほど, 中-低角傾斜が増加する。剪断センスは主に逆断層だが, B および Db 型の一部では左横ずれを示す。

特に B 型カタクレーサイトの鏡下観察から, 石英の割合や, 有色鉱物中の黒雲母の割合が高い花崗岩礫ほどマトリックスの割合が増加する傾向が認められ, 変形度は礫の鉱物組成に左右されることが明らかとなった。石英が破碎により細粒化しており, 黒雲母が底面すべりをしていることから, このカタクレーサイトは常識的には 150-300 °C の環境下で形成されたと考えられる。

島弧地殻における通常の地温勾配を仮定すると, カタクレーサイトの形成深度は 5-10km であり, 足柄層群塩沢累層は少なくともこの深度まで埋没したことになってしまう。更新統として分不相応な深さであり, 沈み込むフィリピン海プレートの影響が加わったのかもしれない。またその運動方向は一定ではなく, 更新世においても北西と北が混在していた可能性がある。

キーワード: 神奈川県, 足柄層群, 塩沢累層, カタクレーサイト, 断層ガウジ, フィリピン海プレート

Keywords: Kanagawa Prefecture, Ashigara group, Shiozawa formation, cataclasite, fault gouge, Philippine sea plate

遠洋域環境復元の代替指標としての放散虫形態：問題点と展望
Radiolarian morphology as a proxy for reconstructing pelagic environments: problem and perspective

松岡 篤^{1*}
MATSUOKA, Atsushi^{1*}

¹ 新潟大学
¹ Niigata University

Late Paleozoic and Mesozoic radiolarian cherts are widely distributed within accretionary complexes in the Circum-Pacific and Alps-Himalaya orogenic belts. These cherts are materials for reconstructing the paleoenvironment of the Panthalassa and the Tethys. Many proxies have been developed to elucidate the environment of the past pelagic realm. Species diversity in radiolarian assemblages is expected to be one of proxies for monitoring paleoenvironmental change. However, the species concept of radiolarians is not always consistent throughout the Phanerozoic time. This makes a serious problem to use radiolarian diversity for elucidating environmental fluctuations. This paper documents the present status of taxonomy for Mesozoic and recent radiolarians. Detailed morphological analysis of radiolarian tests and the understanding of the morphogenesis through culture work are clues toward reconstructing pelagic environments in the past oceans.

キーワード: 放散虫, 分類, 種概念, 形態多様性, 遠洋域
Keywords: radiolarians, taxonomy, species concept, morphological diversity, pelagic realm

安定同位体比からみた付着性底生有孔虫の外洋域における生活環 Lifestyle of adherent benthic foraminifers in the open ocean based on stable of isotope records

木元 克典²; 長谷川 四郎^{1*}; 並河 洋³; 喜多村 稔¹; 川上 創¹; 本多 牧生¹
KIMOTO, Katsunori²; HASEGAWA, Shiro^{1*}; NAMIKAWA, Hiroshi³; KITAMURA, Minoru¹; KAWAKAMI, Hajime¹; HONDA, Makio¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 熊本大学, ³ 国立科学博物館

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Kumamoto University, ³National Museum of Nature and Science, Tokyo

Colonization of new habitat of benthic foraminifers is related to their diversion, survival strategies and evolutions. However their dispersal mechanisms are not well documented and still poorly understood. Last year, we reported a new lifestyle of neritic benthic foraminifera: They had lived on the stems of hydrozoan attaching to observational moorings in the Pacific Ocean. This is a new insight of dispersal strategy of benthic foraminifera to the open ocean. However there are no evidences whether benthic foraminifera developed their calcareous shells in the water column or not. Here we report the new evidences of benthic foraminiferal lifestyles based on micropaleontological and geochemical methods.

Physical and biogeochemical observational mooring systems (POPSS & Sediment trap) were deployed on July, 2012 at the Station S1 (30N, 145E, water depth: 5,900m). Moored periods were from July 2012 to July 2013 (1 year). Hydrozoan attaching on the both mooring systems were observed at the surface of the winch, sensor buoy, sediment trap and float at shallower depths (~200 m) and we could not observed hydrozoan at the 500 m water sediment trap. More than 300 individuals of benthic foraminifers attached of the surface of hydrozoan body. At least, fourteen living benthic foraminifers were identified under the microscope and faunal assemblages were basically same (calcareous, agglutinated, and sessile) with that of previous year. We performed the stable isotope analysis for these calcareous specimens including some porcellanic benthic and planktic foraminifera. As the results, oxygen and carbon isotopes of calcareous benthic foraminifera showed remarkably lighter and heavier values than planktic foraminifera, respectively. It suggested that calcareous benthic foraminifera in this study built their calcareous shells at shallower water depth than planktic species.

キーワード: 付着性底生有孔虫, 安定同位体比, 生活様式, ヒドロ虫

Keywords: adherent benthic foraminifera, Stable isotopes, Lifestyle, Hydrozoan

形態的非類似度と形態的豊富度の比較 Comparison between morphological dissimilarity and morphological richness

生形 貴男^{1*}
UBUKATA, Takao^{1*}

¹ 静岡大学
¹Shizuoka University

Morphological disparity, another look at biodiversity, has recently attracted attention of paleontologists in the context of mass extinction and recovery. The measure of disparity has commonly been based on morphological dissimilarity between objects, e.g., sum of variance, mean pairwise distance, range of variation etc. It is widely known that this sort of disparity is robust against sample size and is not seriously affected by a nonselective extinction, whereas selective extinctions should readily reduce the disparity. On the other hand, another aspect of disparity is morphological richness, which is assessed through compilations of the number of character states; e.g., number of pairwise character-state combinations and number of morphospace divisions occupied by observation. Unlike the morphological dissimilarity, the morphological richness appears to be fairly sensitive to nonselective extinctions as well as to selective ones.

The comparison among the diversity measures based on the morphometric data obtained from the ammonoids revealed that the patterns of disparity change were totally different between dissimilarity and richness, while comparison within the same categories tended to indicate a consistent result. This result suggests that comparison between morphological dissimilarity and morphological richness provides a powerful tool to assess the selectivity of an extinction event.

キーワード: 異質性, 多様性, 形態的非類似度, 形態的豊富度
Keywords: disparity, biodiversity, morphological dissimilarity, morphological richness

Mn クラストの成長ハリエタスはローカルかグローバルか？ Is the growth hiatus of ferromanganese crusts a local or global event?

野崎 達生^{1*}; 後藤 孝介²; 得丸 絢加³; 高谷 雄太郎⁴; 鈴木 勝彦¹; 常 青¹; 木村 純一¹; 加藤 泰浩⁴; 下田 玄²; 豊福 高志⁵; 白井 朗⁶; 浦辺 徹郎³

NOZAKI, Tatsuo^{1*}; GOTO, Kosuke T.²; TOKUMARU, Ayaka³; TAKAYA, Yutaro⁴; SUZUKI, Katsuhiko¹; CHANG, Qing¹; KIMURA, Jun-ichi¹; KATO, Yasuhiro⁴; SHIMODA, Gen²; TOYOFUKU, Takashi⁵; USUI, Akira⁶; URABE, Tetsuro³

¹JAMSTEC・IFREE, ²AIST・GSJ, ³東大・理, ⁴東大・工, ⁵JAMSTEC・BIOGEOS, ⁶高知大・理

¹JAMSTEC/IFREE, ²AIST/GSJ, ³Univ. of Tokyo, ⁴Univ. of Tokyo, ⁵JAMSTEC/BIOGEOS, ⁶Kochi Univ.

Recent applications of an Os isotope dating method revealed that some ferromanganese crusts collected from the Pacific Ocean might have experienced the growth hiatus. However, it is still controversial whether this growth hiatus was a local or global event. In the present study, we discuss the geological trigger of this growth hiatus based on our results of the Os isotope dating on various ferromanganese crust samples collected from Northwestern Pacific, South Atlantic Oceans and Philippine Sea.

キーワード: Mn クラスト, Os 同位体, 地球化学, 成長ハリエタス, 古海洋環境

Keywords: ferromanganese crust, Os isotope, geochemistry, growth hiatus, paleoceanography

ペルム紀末-最前期三畳紀の遠洋域深海相黒色粘土岩層の堆積速度 Sedimentation rate of the end-Permian to earliest Triassic black claystone strata in the Panthalassic deep-sea

高橋 聡^{1*}; 山口 飛鳥²; 山北 聡³; 水谷 茜¹; 石田 潤¹; 山本 信治¹; 池田 昌之⁴; 尾崎 和海²; 多田 隆治¹
TAKAHASHI, Satoshi^{1*}; YAMAGUCHI, Asuka²; YAMAKITA, Satoshi³; MIZUTANI, Akane¹; ISHIDA, Jun¹; YAMAMOTO, Shinji¹; IKEDA, Masayuki⁴; OZAKI, Kazumi²; TADA, Ryuji¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 宮崎大学教育文化学部, ⁴ 愛媛大学理工学研究科
¹Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ³Department of Earth Science, Faculty of Culture, Miyazaki University, ⁴Department of Earth Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

The greatest mass extinction occurred at the end-Permian, its aftermath continued during following Early Triassic. This period, especially interval between the end-Permian and Induan is characterized by occurrences of the black claystone in the pelagic deep-sea depositional area where now locate in Japan and western North America etc. This black claystone generally contains high organic matter and few silicic fossils, in contrast that bedded chert before the mass extinction event has few organic matter and abundant radiolarian tests. Detailed background of this black claystone has not been fully understood due to the scarcity of well-preserved lithologic sequences. Herein, we show preliminary achievement on continuous black claystone strata based on the one of most continuous Permian-Triassic Boundary section (Akkamori-2 section; Takahashi et al., 2009).

We polished the outcrops of the study section using hand grinders with diamond-blades and diamond-polishing pad for observation of sedimentary facies and structures. Observing the outcrop, structural geology examination was conducted (See Yamaguchi et al. in this session). Using their results, we divided the outcrop into 20 subsections that preserve continuous lithologic stratigraphy. Then, high-resolution lithologic column was reconstructed from these subsections.

After careful observation on the polished surface of the outcrop, we found many key bed layers. For instances, dolomitic layers, light and dark grey colored siliceous claystone interbedded within black claystone, and alternations of black and grey colored claystones. Using these key beds, we correlated the lithologic columns from each subsection. In the case of that useful key beds were not found, we simply built the columns up, because no duplication of strata was recognized. After these processes, totally ca. 10 m thick lithologic column of black claystone was reconstructed. Its lower most horizon accords to carbon isotopic negative excursion (Takahashi et al., 2010) coinciding with the main mass extinction event, ca. 252.2 Ma (U-Pb dating by Shen et al., 2011). Meanwhile, in the thick grey-color siliceous claystone horizon from uppermost part of the strata, conodont fossils of *Neospathodus waageni* and *Eurygnathodus costatus* were recovered. This combination indicates lowest Smithian. After interpolation by Geologic Time Scale 2012 (Gradstein et al., 2012), beginning of Smithian (end of Induan) is ca. 250.0 Ma. Using these absolute ages, sedimentation rate of black claystone is calculated 4.34mm/kyr (= 10000 mm /2300 kyr). This calculation is still comprehensive. Also, we can calculate the sedimentation rate in another way using the earliest Triassic conodont occurrence of *Hindeodus parvus* in the 7.5 m above the base of black claystone. The first occurrence horizon is estimated to be 252.3Ma in the type section of Permian-Triassic Boundary (Shen et al., 2011). The calculated sedimentation rate of black claystone in this way is 7.5 mm/kyr (750 mm/100 kyr). As the fossil age is uncertain between the basal 7.5 m interval, this is a maximum estimation. These two results of sedimentation rate indicate that the black claystone beds were accumulated in several millimetres per a thousand year. This rate is in similar class of sedimentation rate of radiolarian chert deposited before and after the black claystone deposition. In fact, recent study of Ikeda et al. (2010) concluded several centimetres thick one chert-clay couplet accords about 20 kyr. The sedimentation rate of the black claystone as similar as silicic fossil rich bedded chert before mass extinction event implies that some materials increased into the pelagic deep-sea at and after the extinction event instead of significantly decreased radiolarian tests (Takahashi et al., 2009). Possible materials are terrigenous clastic material (Algeo and Twitchett, 2009; Sakuma et al., 2012) and very fine silicic biotic crust (such as silicic sponges).

キーワード: ペルム紀, 三畳紀, 深海相, 黒色粘土岩, 大量絶滅

Keywords: Permian, Triassic, pelagic deepsea, black claystone, mass extinction

オマーンオフィオライト Wadi Hilti 地域における後期白亜紀遠洋性堆積物の層序と形成過程 Stratigraphy and formation process of Late Cretaceous pelagic sediments in the Wadi Hilti area of the Oman Ophiolite

安喰 由実^{1*}; 原 康祐¹; 栗原 敏之¹
AGUI, Yumi^{1*}; HARA, Kousuke¹; KURIHARA, Toshiyuki¹

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University

オマーンオフィオライトは、下位からマントルかんらん岩、斑れい岩、シート状岩脈群および噴出溶岩層から構成される。このうち噴出溶岩層は、化学組成の検討により、異なるセッティングで形成されたことが推定される3つの溶岩ユニットに分類されている (Ernewein et al., 1988)。すなわち、N-MORB に類似する V1 溶岩、沈み込み帯の火成活動による V2 溶岩およびプレート内火成活動により形成された V3 溶岩である。これらの溶岩ユニットの間には、遠洋性堆積物が存在する。遠洋性堆積物については、Wadi Jizzi 地域においてメタリフェラス堆積物と細粒な遠洋性堆積物がスヘイラ層 (Fleet and Robertson, 1980)、その上位の礫岩層がザビアト層 (Woodcock and Robertson, 1982; Robertson and Woodcock, 1983) と命名されている。スヘイラ層については、Tippit et al. (1981) により後期白亜紀 Cenomanian~Santonian? の放散虫化石が報告されている。

オマーンオフィオライトの北部に位置するソハールの南西約 25 km の地域には、V2 および V3 溶岩が広く分布している (以下、Wadi Hilti 地域と呼ぶ)。V2 溶岩上には最大で層厚 50 m ほどの遠洋性堆積物が見られ、それらは V3 溶岩に覆われる。また、V3 溶岩の内部にも堆積物が挟在する。最近、V3 溶岩の噴出・定置様式が詳細に検討され、その具体像が明らかにされた (Umino, 2012)。このような背景において、堆積物の年代を明らかにすることは、V2 溶岩の活動終了時期、V3 溶岩の噴出時期を知る上で重要となる。本講演では、Wadi Hilti 地域の遠洋性堆積物の岩相層序と年代、形成過程の検討結果について報告する。

Wadi Hilti 地域における遠洋性堆積物について複数のセクションで検討した結果、V2 溶岩の上位には、メタリフェラス堆積物、ミクライト質石灰岩、赤色泥岩、礫岩、V3 溶岩および珪質泥岩の順で累重することが明らかになった。特に Wadi Hilti 地域においては、溶岩やチャートの礫を含む礫岩層を初めて確認した。このような堆積物の放散虫化石を検討した結果、V2 溶岩上および V3 溶岩上の堆積物ともに *Rhopalosyringium scissum* O'Dogherty, *Hemicryptocapsa polyhedra* Dumitrica を含む同様な群集が得られた。O'Dogherty (1994) によれば、*R. scissum* の初出現は Turonian の基底付近であり、Turonian を示すと考えられる。また、254 セクションの珪質泥岩 (礫岩中のブロックと考えられる) からは、*Guttacapsa biacta* (Squinabol) および *Rhopalosyringium petilum* (Foreman) などが産出した。O'Dogherty (1994) によれば、これらの共産する期間は Cenomanian 中期~後期である。これらの年代から Wadi Jizzi 地域と Wadi Hilti 地域の遠洋性堆積物を対比すると、Wadi Hilti 地域の V2 溶岩上の細粒な遠洋性堆積物は Turonian であり、Wadi Jizzi 地域のスヘイラ層に対比できる。254 セクションを含めた礫岩層および V3 溶岩上の珪質泥岩も Turonian であり、ザビアト層に対比できる。

以上の岩相層序と年代から、Wadi Hilti 地域の V2 溶岩の噴出終了時期は Turonian で、V3 溶岩の噴出時期についても Turonian に噴出したといえる。V2 溶岩が噴出した沈み込み帯のセッティングから、V3 溶岩が噴出した衝上初期段階への変化は、Turonian における短期間で起こったことが明らかになった。

キーワード: オマーンオフィオライト, 遠洋性堆積物

Keywords: Oman Ophiolite, pelagic sediments

オマーンオフィオライト Wadi Jizzi 地域 Lasail セクションにおけるザビアト層の層序と放散虫化石年代 Stratigraphy and radiolarian age of the Zabyat Formation at Lasail section in the Wadi Jizzi area, Oman Ophiolite

林 里奈¹; 原 康祐²; 栗原 敏之^{2*}
HAYASHI, Rina¹; HARA, Kousuke²; KURIHARA, Toshiyuki^{2*}

¹新潟大学理学部地質科学科, ²新潟大学大学院自然科学研究科

¹Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, ²Graduate School of Science and Technology, Niigata University

オマーンオフィオライトは、下位からマントルかんらん岩、斑れい岩、シート状岩脈群および噴出溶岩から構成されている。このうち噴出溶岩は、V1 溶岩、V2 溶岩および V3 溶岩に区分され、また、溶岩層上に重なる遠洋性堆積物はスヘイラ層と呼ばれている (Ernewein et al., 1988; Fleet and Robertson, 1980)。スヘイラ層の上位には、海洋地殻の崩壊堆積物の礫岩からなるザビアト層 (Woodcock and Robertson, 1982) が重なる。ザビアト層については、Robertson and Woodcock (1983) が礫岩を中心とする層序について研究を行い、本層をオマーンオフィオライトの衝上初期に形成されたものとした。しかしザビアト層は礫岩のみではなく、礫岩層が薄く、細粒な遠洋性堆積物が厚く発達するところもある。これらの堆積物について微化石の検討を行うことにより、ザビアト層の堆積年代およびオマーンオフィオライト衝上初期の年代について明らかにすることができる。本講演では、Wadi Jizzi 地域の Lasail セクションにおけるザビアト層の礫岩—細粒な遠洋性堆積物の岩相層序と放散虫化石の検討結果について報告する。

Lasail セクションにおけるザビアト層の層序は、下位よりカンラン岩からなる礫岩、堆積岩等を含む礫岩、赤色泥岩・ミクライト質石灰岩を挟む礫岩、赤色泥岩および珪質泥岩からなる。ここでは岩相に基づき、下部 (かんらん岩を含む礫岩、堆積岩等を含む礫岩、赤色泥岩・ミクライト質石灰岩を挟む礫岩) と上部 (赤色泥岩、珪質泥岩) に区分した。ザビアト層下部のミクライト質石灰岩からは、*Alievium superbum*、*Rhopalosyringium scissum* が産出し、その年代は Turonian と考えられる (O'Doghterty, 1994)。ザビアト層上部の赤色泥岩からは、*Pseudoaulophacus lenticulartus*、*Pseudoaulophacus praefloresensis* および *Theocampe salillum* が産出した。Pessagno (1976) によれば、*P. lenticulartus* の出現は Coniacian 前期、*P. praefloresensis* の出現は Coniacian とされる。また、Bandini et al. (2008) によれば、*T. salillum* の出現は Coniacian である。したがって、これらの放散虫化石は Coniacian を示すと考えられる。

以上より、ザビアト層の堆積年代は Turonian~Coniacian と考えられる。V1 溶岩直上の遠洋性堆積物の年代は Cenomanian 最後期であり、今回の報告と合わせると、中央海嶺から沈み込み帯、そして衝上初期までのテクトニックセッティングの変化は、約 400 万年間という短期間で起こったといえる。

キーワード: オマーンオフィオライト, 遠洋性堆積物

Keywords: Oman Ophiolite, pelagic sediments

付加体中に保存されたペルム紀-三畳紀境界層 (北部北上帯安家森セクション2) の
変形様式
Deformational features of Permian-Triassic boundary preserved within an on-land accre-
tionary complex

山口 飛鳥^{1*}; 高橋 聡²; 山北 聡³
YAMAGUCHI, Asuka^{1*}; TAKAHASHI, Satoshi²; YAMAKITA, Satoshi³

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³ 宮崎大学教育文化学部

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ² Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ³ Faculty of Education and Culture, University of Miyazaki

Pelagic siliceous sediment covering on oceanic crust is one of the components in subduction plate boundaries where old oceanic plate subduct. Its mechanical, frictional and fluid transport properties are key to understand faulting and earthquake mechanics in such settings (Kimura et al., 2012; Yamaguchi et al., this meeting). Plate boundary deformations are strongly affected by inhomogeneity of incoming sediments: in the case of Jurassic accretionary complex in Japan (Mino-Tanba belt), siliceous/black claystone at Permian-Triassic boundary horizon within bedded chert functioned as plate boundary decollement, and only Triassic-Jurassic chert is preserved in the complex, whereas Carboniferous-Permian chert is lacking (Nakae, 1993). However, few outcrops in the Jurassic accretionary complex comprise continuous sections across Permian-Triassic boundary. To understand the limitation of lithology-controlled deformations, we investigated structural analysis of the Permian-Triassic boundary section in the North Kitakami Belt (Akkamori-2 section; Takahashi et al., 2009), where the most continuous Permian-Triassic boundary is observed.

Permian gray-color siliceous claystone to Triassic gray-color siliceous claystone through black claystone is successively observed in this outcrop (lithology detail: see Takahashi et al., this session). Orientations of 36 bedding dips, 90 low-angle cleavages, 17 high-angle cleavages, and 22 faults are measured from the outcrop. Strikes of bedding and low-angle cleavage vary NW-SE to NE-SW, gently dip eastward. Faults have two populations: one is subparallel to bedding and low-angle cleavage; the other is dipping gently to the north. Shear sense of the faults is unclear because of the lack of shear sense indicators due to intense development of overprinting high-angle cleavage.

In contrast to the scattered orientations of low-angle cleavage, strike of high-angle cleavage is limited to N40-70E with sub-vertical dip. The high-angle cleavages are recognized as axial plane cleavage of map-scale Hiraniwa-dake Syncline (Sugimoto, 1974) striking NW-SE and plunging southeastward, since the studied section is located nearby the axis of the syncline. Orientations of bedding, low-angle cleavage, and fault would be also rotated by secondary-order outcrop-scale open folds.

Hiraniwa-dake syncline involves several chert-clastics sequences in this region (Ehiro, 2008). Subtracting fold-related deformations, bedding-parallel cleavages and low-angle faults (likely to be thrust) are only initial deformations observed in the studied outcrop. Those deformational features are also typical in off-scraped and underthrust accretionary complex (Kimura and Hori, 1993, Raimbourg et al., 2009). Lack of intense deformation in the black claystone suggests that not only lithology-controlled physical properties but other factors (e.g. topographic and thermal effects) would be also important to constrain the position where decollement develops.

キーワード: ペルム紀-三畳紀境界, 沈み込み帯, 付加体, 変形構造

Keywords: Permian-Triassic Boundary, subduction zone, accretionary complex, Deformation structure

昭和基地における大気電場と磁気圏 - 電離圏現象 Magnetosphere-Ionosphere coupling events and Atmospheric electricity at Syowa station, Antarctica

源 泰拓^{1*}; 門倉 昭²; 鴨川 仁³

MINAMOTO, Yasuhiro^{1*}; KADOKURA, Akira²; KAMOGAWA, Masashi³

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 国立極地研究所, ³ 東京学芸大学教育学部物理学科

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ²National Institute of Polar Research, ³Department of Physics, Tokyo Gakugei University

南極大陸に近い東オングル島に位置する昭和基地 (69.0S, 39.6E) では、日本南極地域観測隊によりフィールドミル回転集電器を用いた大気電場観測が行われている。我々は、2006年から2012年までの大気電場データから、気象条件による擾乱がないと考えられる fair weather な時間帯を抽出した。この fair weather な時間帯について、地磁気活動が活発な時間をさらに検証したところ、磁気圏 - 電離圏現象による電離圏電位変動の影響をうかがわせるイベントが見出された。本発表では、当該イベント期間について、大気電場と地磁気変化量、オーロラ、短波レーダー等との対比を示し、太陽-地球環境が大気電場に及ぼす影響を議論する。

キーワード: 静穏日, 南極, 大気電場, 磁気圏 - 電離圏結合, グローバルサーキット

Keywords: fair-weather, Antarctica, atmospheric electricity, Magnetosphere-Ionosphere coupling, global circuit

約80年間の大気電場の変化 Changes in atmospheric electricity over about eighty years

平原 秀行^{1*}; 源 泰拓¹
HIRAHARA, Hideyuki^{1*}; MINAMOTO, Yasuhiro¹

¹ 気象庁地磁気観測所
¹ Kakioka Magnetic Observatory

気象庁は、茨城県石岡市の地磁気観測所において1929年から水滴集電器による大気電場観測を継続している。この観測は、開始から現在まで同一の測器で連続して行われているものである。地磁気観測所における気象観測は1997年に中止されており、それ以降は大気電場の観測データと降水の有無によって大気電場静穏日が判別されている。本研究では、気象衛星「ひまわり」による雲格子点情報と、地磁気観測所で撮影した全天写真を比較して晴天時を抽出し、大気電場の静穏日曲線を導いた。さらに、1931年から1935年の大気電場の静穏日曲線と比較することによって、約80年間の大気電場の変化について議論する。

キーワード: 大気電場, 静穏日曲線, 晴天時, 水滴集電器, 雲格子点情報
Keywords: atmospheric electricity, diurnal variation, fair weather, water dropper, cloud grid information

女満別における大気電場計測での吹雪の帯電量の推定 Snow electrification observed at Memanbetsu

鴨川 仁^{1*}; 門倉 昭²; 源 泰拓³; 佐藤 光輝⁴; 齋藤 将監¹

KAMOGAWA, Masashi^{1*}; KADOKURA, Akira²; MINAMOTO, Yasuhiro³; SATO, Mitsuteru⁴; SAITO, Shogen¹

¹ 東京学芸大学物理学科, ² 国立極地研究所, ³ 気象庁地磁気観測所, ⁴ 北海道大学 大学院理学研究院

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²National Institute of Polar Research, ³Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ⁴Department of Cosmospice, Hokkaido University

地球は、電離圏と大地との間で全体的な巨大球殻コンデンサーをなしており、宇宙線によってわずかに電離させられた大気を通じてこのコンデンサーはたえず放電し、対地雷によって充電されている。この全球的電気回路はグローバルサーキットと呼ばれ、大気電場及び世界中の全対地雷強度の測定により推進できると考えられている。しかしながら、大気電場は僅かな大気汚染にも影響をうけるため大気汚染がない南極の測定結果を中心に研究を推進したいが、現地では吹雪の帯電も観測のノイズ源となる。そのノイズ源の研究として、吹雪の帯電と大気電場の関係を本研究ではテーマとする。本報告では、女満別での越冬大気電場観測の結果を述べる。

キーワード: 大気電場, 吹雪, 帯電

Keywords: Atmospheric electric field, Snow electrification

金環日食に伴う下部電離層擾乱の時空間特性に関する研究 Spatio-temporal characteristics of subionospheric perturbations associated with annular solar eclipse

乾 大輝^{1*}; 芳原 容英¹
INUI, Daiki^{1*}; HOBARA, Yasuhide¹

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究所

¹ Graduate School of Informatics and Communication Eng., The University of Electro-Communications

電気通信大学では、国内外から送信される VLF/LF 帯電波を、全国各地の受信局で受信し下部電離層擾乱の観測を行う VLF/LF 帯送信電波観測ネットワークを運用している。下部電離層擾乱の発生要因の 1 つに金環日食がある。先行研究では、日食に伴う振幅変化の伝搬経路長への依存性や、LWPC 法を用いたモデリングが行われているが、観測に用いられている送信局-受信局パスの数が少なく、擾乱の俯瞰的調査が行われていない。そこで本研究では、電波観測網が密である電通大 VLF 帯電波観測ネットワークを用いて 2012 年に発生した金環日食に伴う振幅データの解析を行った。次に数値解析 (FDTD 法) を用いて電離層擾乱に伴う VLF の振幅変化の距離・時間依存性を詳細に解析して俯瞰的な調査を行い、実測値との比較を行った。その結果、観測された VLF 振幅の時間変化は、数値解析結果と比較的良好一致が見られた。

キーワード: 金環日食, 電離層擾乱, VLF 帯電波, FDTD 法

Keywords: Annular solar eclipse, Ionospheric perturbations, VLF radio waves, FDTD method

ロングリカバリー VLF イベントを発生させる雷放電の電気的特性 Electrical characteristics of the lightning discharges generating long-recovery VLF events

山下 純平^{1*}; 芳原 容英¹

YAMASHITA, Junpei^{1*}; HOBARA, Yasuhide¹

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究科

¹ Graduate School of Informatics and Communication Eng., The University of Electro-Communications

近年、VLF/LF 帯標準電波を用いた強力な対地雷放電に伴う下部電離層擾乱現象の調査が精力的に行われている。対地雷放電は、Early/Fast イベントとして知られる、直接的な下部電離層の後、VLF/LF 帯標準電波の受信信号に振幅、位相の顕著な時間変化を引き起こす。一般的に、Early イベントは約 100 秒後に変化した振幅や位相の値が元の値に回復するが、近年 200 秒から 20 分にも及ぶ長期の回復時間を有するロングリカバリーイベントが発見されたが、未だその発生機構の詳細は不明である。本研究では、電通大 VLF/LF 帯送信電波受信ネットワークにより、ロングリカバリーイベントを発生させる大地雷特性を落雷ピーク電流値及び国内 ELF 帯波形観測から導出される落雷電荷モーメントに注目し、一般的な Early イベントを引き起こす雷との比較を行い、その発生機構の解明に寄与する。

キーワード: ロングリカバリーイベント, 電離層擾乱, 落雷電荷モーメント, アーリー/ファストイベント, 雷放電
Keywords: long-recovery event, ionospheric perturbations, charge moment, early/fast event, lightning discharge

蔵王で観測された北陸冬季雷と関係する下部電離圏における LF 波の乱調 Signature of subionospheric LF wave perturbations associated by Hokuriku winter lightning observed at the Zao station

森永 洋介^{1*}; 土屋 史紀¹; 小原 隆博¹; 三澤 浩昭¹

MORINAGA, Yosuke^{1*}; TSUCHIYA, Fuminori¹; OBARA, Takahiro¹; MISAWA, Hiroaki¹

¹ 東北大学 惑星プラズマ大気研究センター

¹ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University

Intense electromagnetic pulses (EMP) radiated from lightning discharge could cause heating and ionization and alter the conductivity in the ionospheric D-region. Quasi-electrostatic fields (QE Fields) which are generated due to the removal of electric charge could also affect it. The purpose of this study is to reveal influence of the lightning on the lower ionosphere and its dependence on properties of lightning discharges. The VLF/LF signature of subionospheric perturbations associated with winter lightning in the Sea of Japan (around Hokuriku) has been observed during December 16-31, 2009. LF (60kHz) radio observation was made at Zao (Miyagi) for Haganeyama JJY transmitter (border between Saga and Fukuoka) whose great circle path (GCP) passes over the coast area of Hokuriku. The amplitude and phase of the JJY signal are recorded every 0.1 seconds. In addition to the subionospheric LF observation, lightning locations are determined by a lightning location network (WWLLN). The number of total lightning event identified in the area of 35-37 degrees N and 134-137 degrees E is 1002. Based on the LF observation, subionospheric perturbations which occur immediately after the causative lightning (early event) were detected. The number of the total detection of the early event in the selected area is 72. Early events identified will be compared with peak current and charge moment of the causative lightning which are derived from LF and ELF waveform observations, respectively, to investigate the relation between early event properties and magnitude of EMP and QE fields.

Keywords: lightning, subionospheric perturbations, electromagnetic pulses, quasi-electrostatic fields

夏季雷雲に関連する高エネルギー放射線の発生位置同定 Generating position identification of high-energy radiation associated with the summer thundercloud

庄司 智美^{1*}; 齋藤 将監¹; 鴨川 仁¹; 鳥居 建男²
SHOJI, Tomomi^{1*}; SAITO, Shogen¹; KAMOGAWA, Masashi¹; TORII, Tatsuo²

¹ 東京学芸大学物理学科, ² 日本原子力研究開発機構

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., ²Japan Atomic Energy Agency

以前から雷雲通過時に高エネルギーの放射線が観測される事例がいくつか発表されている。その事例のうち地上で観測されるものは冬季であったが、これは雷雲中の摩擦による電場の分布高度が冬季は低いことが原因であり、山岳や航空機など高度の高い場所では夏季でも観測される。このことから、雷雲と放射線の間には雷雲内の電場が深く関係していることが示唆される。観測されている高エネルギーの放射線とは、地殻起源の自然放射線に存在しない3MeV以上のエネルギーをもつ放射線のことで、10MeV超のエネルギーをもつ放射線も観測されている。この高エネルギーの放射線は、宇宙線や自然放射線が大気中の分子と衝突し二次電子の電場による加速、制動放射線の発生が繰り返され雪崩的にこの現象が進んでいくことで、地上で高エネルギーの放射線が観測されるのではないかと考えられている。そこで、我々は雷雲起源の高エネルギー放射線発生メカニズムを解明するため、2008年度から夏季に富士山頂での観測を行っている。本発表は2013年度の結果報告である。

キーワード: 雷雲, 高エネルギー放射線, 富士山

Keywords: thundercloud, high-energy radiation, Mt. Fuji

広帯域雷放電観測装置の開発とその応用 Development of broadband lightning monitoring system and its application

吉田 智^{1*}; Wu Ting²; 牛尾 知雄²; 楠 研一¹
YOSHIDA, Satoru^{1*}; WU, Ting²; USHIO, Tomoo²; KENICHI, Kusunoki¹

¹ 気象研究所, ² 大阪大学大学院工学研究科

¹Meteorological Research Institute, ²Graduate school of Engineering, Osaka University

We have been designing and developing Broadband Observation network for Lightning and Thunderstorm (BOLT) in Kinki area to study lightning discharges and thunderstorms. The BOLT consists of 11 sensors which detect LF radiation from lightning discharge and locate emission sources in 3D. We have been developing both hard ware and algorithm to locate lightning so that the BOLT produces detail progression of lightning discharges, including stepped leader and negative recoil leader in negative charge region. In this presentation, we show clear 3D BOLT images of lightning discharges and compare the results with VHF source locations.

キーワード: 雷放電, 積乱雲モニタリング, リモートセンシング

Keywords: lightning discharge, thundercloud monitoring, remote sensing

国際宇宙ステーションからの VHF 帯電磁波による雷放電観測と光学観測の同期観測結果 Simultaneous observations of VHF waves and optical emissions for lightning from the International Space Station

菊池 博史^{1*}; 森本 健志²; 牛尾 知雄¹; 佐藤 光輝³; 山崎 敦⁴; 鈴木 睦⁴
KIKUCHI, Hiroshi^{1*}; MORIMOTO, Takeshi²; USHIO, Tomoo¹; SATO, Mitsuteru³; YAMAZAKI, Atsushi⁴; SUZUKI, Makoto⁴

¹ 大阪大学, ² 近畿大学, ³ 北海道大学, ⁴ 宇宙航空研究開発機構

¹Osaka University, ²Kinki University, ³Hokkaido University, ⁴Japan Aerospace eXploration Agency

雷放電を全球的に観測することはグローバルサーキットの理解を深める点において非常に重要であると考えている。これまで可視光を用いた雷放電観測が主に行われてきたが、これは主に対地放電を対象とした観測であった。先行研究において、対地放電は全ての雷放電活動の 10 分の 1 程度と言われ、残りは雲放電であるとされる。これらの雷放電における諸過程を観測するために、我々の研究グループでは、独自に開発した VHF 帯広帯域デジタル干渉計(干渉計)を宇宙で利用することを目的としている。現在、干渉計は雷放電の地上電磁波観測において実績を上げている。

我々は、2012 年から宇宙ステーションからの雷観測を行う JEM (Japanese experiment module) - GLIMS (Global lightning and sprite measurements) ミッションを実施している。本ミッションは、宇宙ステーションに取り付けられた、2 種類の光学観測機器(観測波長の異なる 2 台の CMOS camera と 6 台の Photometer) と 2 種類の電磁波観測機器(VHF 干渉計と VLF センサー)を用いて、高高度発光現象を観測することを目的としている。その中でも VHF 干渉計(VHF broadband digital interferometer; VITF)は 2 台の VHF アンテナと、A 系・B 系と呼ばれる 2 系統分の帯域通過フィルタ・増幅器・A/D 変換機を一体化した 1 台のエレクトロニクス部で構成される。VITF の諸元を表 1 に示す。記録される波形データは、前 128 サンプル(640nsec)後 384 サンプル(1920nsec)の約 2.5 μ sec の時間間隔で記録される。この 2.5 μ sec の電磁波形を最大 130 波形記録することができる。2 系統の受信機を本論文では便宜上、A 系と B 系と呼ぶ。それぞれのアンテナは 1.6m のアンテナ間隔で宇宙ステーション日本実験棟曝露部に搭載されている。宇宙ステーションの高度は約 410km で、約 1 時間半で地球を一周する。

本稿では、JEM-GLIMS ミッションについての概要を示す。さらに VITF のよって得られた観測結果を示し、同期観測によつて得られた光学観測機器との比較を行う。特に CMOS camera によつて得られた、雷放電位置の情報と、VITF の電磁波源到来方向推定結果との比較を行う。更に、光学観測機器の中でも時間分解能の高い(数十 μ s) Photometer と VITF で観測された VHF 帯電磁波の放射頻度の比較を行う。この 2 つの比較から、VHF 帯電磁波の放射源に対する空間的・時間的な考察を行う。

キーワード: 雷放電, 電磁波伝搬, VHF 帯電磁波

Keywords: lightning, radio wave propagation, VHF waves

地磁気—地電流 (MT) 連続観測と可視映像連続観測による桜島火山雷の性質 Magnetotelluric measurements of volcanic lightning at Sakurajima, Japan

相澤 広記^{1*}; 横尾 亮彦²
AIZAWA, Koki^{1*}; YOKOO, Akihiko²

¹九州大学地震火山観測研究センター, ²京都大学火山研究センター

¹Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University, ²Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University

火山活動に伴う地下電気比抵抗時間変化を捉えるため地磁気—地電流 (MT) 連続観測を、火山爆発の多様性を解明するため高感度カメラによる可視映像連続観測 (30fps) をそれぞれ行っている。観測点は活発な噴火活動が続ける昭和火口からおよそ 3km 離れた地点にあり (Fig. 1)、両者のデータとも GPS 時計に同期した正確な時刻情報が付加されている。得られた MT 連続観測の時系列中には噴火からおよそ 3 分以内に集中して火山雷によるパルス状のシグナルが見られることが報告されているが (Aizawa et al., 2010)、当時のサンプリングレートは 15Hz であったため、火山雷の電流値、継続時間等を明らかにすることはできなかった。また、噴火活動は現在に比べて活発ではなく対象イベントも数 10 にとどまり、火山雷の極性分布や、発生頻度等の一般的な情報を得ることはできなかった。

本発表ではまず、2013 年 10/27~11/6 に行った 65kHz 臨時 MT 観測と、その結果を噴火映像と比較した結果を報告する。臨時 MT 観測では 60000Hz まで周波数特性が明らかなインダクションコイル (Metronix MFS07) とロガー (ADU-07) を 2 観測点に設置し、それぞれ電場磁場 5 成分の時系列を取得した。FFT、逆 FFT によりコイルの周波数特性を組み込み、物理量 (mv/km, nT) の時系列を得たが、得られた時系列には軍事用途の人工ノイズが多く含まれていたため、ノッチフィルタを適用し、火山雷によるシグナルを抽出した。その結果、継続時間が短い (数 10 μ s) パルスが数 ms の間に、複数解繰り返すタイプの放電と、複雑な波形が長く (数 ms) 続く放電の 2 種類があることが明らかになった。可視映像との比較からそれぞれ対地放電 (CG) と雲内放電 (IC) に相当する可能性が高い。また IC の継続時間は長いもののピーク電流量は CG に比べて 1/10 以下と少ない。このような桜島火山雷の特徴は気象雷と多くの点で共通と思われるが、その放電量や時間スケールは気象雷の 1/10~1/100 程度である。実験室で再現された火山雷の時間スケールはさらに短く (Cimarelli et al., 2014) 放電時間と放電量間のスケールング測を示唆する。桜島火山のパルスが複数回継続するタイプの放電では、第 1 雷撃より、第 2、第 3 雷撃のほうが電流量が大きい例が見られ、これは火山雷に特有の性質かもしれない。

本発表では、上記の 65kHz 臨時 MT 観測のデータを精査しつつ、さらに 2011 年 12 月から現在までの 2 年間以上に渡って継続している 32Hz サンプリングによる MT 連続観測のデータを解析し、火山雷の極性や頻度等についての一般的な性質、さらに噴火タイプとの関連を報告する予定である。

References

Aizawa, K., A. Yokoo, W. Kanda, Y. Ogawa, and M. Iguchi (2010), Magnetotelluric pulses generated by volcanic lightning at Sakurajima volcano, Japan, *Geophysical Research Letters*, 37, L17301, doi:10.1029/2010GL044208.

Cimarelli, C., M.A. Alatorre-Ibarguengoitia, U. Kueppers, B. Scheu, and D.B. Dingwell (2014), Experimental generation of volcanic lightning, *geology*, doi: 10.1130/G34802.1.

MIS26-10

会場:422

時間:4月29日 11:30-11:45

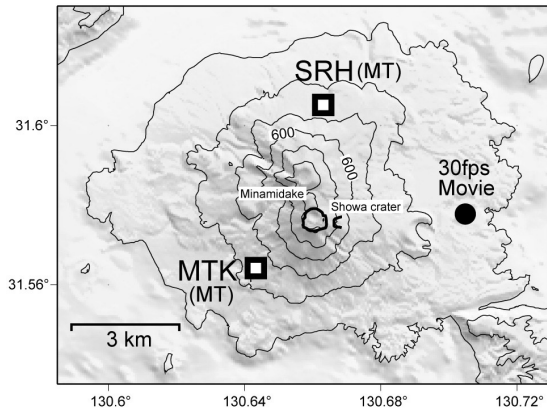


Fig.1

地上稠密観測 POTEKA で観測された竜巻の気圧分布 Pressure field of a tornado observed by POTEKA project

小林 文明^{1*}; 野呂瀬 敬子¹; 呉 宏堯²; 森田 敏明²
KOBAYASHI, Fumiaki^{1*}; NOROSE, Keiko¹; KURE, Hiroataka²; MORITA, Toshiaki²

¹ 防衛大学地球海洋学科, ² 明星電気

¹Dep. Geoscience National Defense Academy, ²Meisei Electric co.,ltd

竜巻やダウンバースト/ガストフロントのようなメソ~マイクロスケールの現象を地上観測網で捉えるのは極めて難しく、例え特別観測でメソネットを構築しても空間分解能は数 km 程度で、数や期間が限定されてしまう。2013年7月から群馬県を中心に展開された POTEKA (前田ほか 2014) は、小学校やコンビニに簡易気象計を高密度で設置し、長期間の観測を始めたものである。本研究では、POTEKA 観測網で捉えた竜巻/ダウンバーストの事例を報告する。

小林ほか (2007) は、ガストフロントの通過時の地上気象要素の詳細な変化を観測し、気圧変化がガストフロント・ヘッドの微細構造に対応した数 hPa の変動を示すことを報告している。簡易気象計はその設置場所に課題が多く、気温や風速などは特に設置場所の環境条件が厳しい。気圧計は、相対的に安価であるだけでなく、設置場所を選ばず、基本的に海面更生を行うだけでよい。また、気象学的にはメソマップを作成できるメリットがある。竜巻やダウンバーストなどの突風現象を、気圧変動や気圧場で議論することにより、竜巻とダウンバーストの識別、ダウンバーストとガストフロントとの区別が期待され、ドップラーレーダー観測と現地被害調査とを組み合わせると、突風現象の原因を的確に把握できる可能性がある。

9月16日02時すぎに群馬県みどり市で発生した竜巻の事例では、竜巻被害域周辺の気圧降下分布が観測され、約1 km 離れた観測地点で4 hPa の気圧降下が、数 km 離れた観測地点でも1 hPa 程度の気圧降下が観測され、竜巻(あるいは上空のメソサイクロン)の気圧分布を把握することができた。本事例のように、深夜発生して被害もそれほど顕著でない突風事例の原因特定には有益であることがわかる。このように、超高密度の気圧稠密観測を行うことで、竜巻やガストフロントなどマイクロスケールの大気擾乱を捉えることが可能となるといえる。

キーワード: 地上気象観測, 竜巻, ダウンバースト, ガストフロント
Keywords: surface weather station, tornado, downburst, gust front

地上稠密観測 POTEKA によるダウンバーストとガストフロントの識別 Discrimination between downburst and gust-front by the surface dense observation network POTEKA

野呂瀬 敬子^{1*}; 小林 文明¹; 呉 宏堯²; 森田 敏明²
NOROSE, Keiko^{1*}; KOBAYASHI, Fumiaki¹; KURE, Hiroataka²; MORITA, Toshiaki²

¹ 防大地球, ² 明星電気

¹National Defense Academy, ²Meisei Electric

2013年8月11日18時から18時半頃にかけて群馬県高崎市・前橋市では激しい雷雨が発生し、突風被害が生じた。小型気象計 POTEKA を用いた地域稠密気象観測網で突風発生時の地上気象変化を捉えた(野呂瀬ほか 2014)。本報告では、地上気圧の時間変化からこの突風の成因を考察する。突風発生地点における地上の気象要素(気温・気圧・混合比・感雨)の時系列をみると、これらの気象要素の中でも特に気圧に顕著な変化がみられた。17:42~17:59JSTに1.3hPa, 17:53~18:07JSTに1.9hPaの気圧上昇(pressure jump)、その直前に気圧低下(pressure dip)が観測された。突風周辺の他の地点でも同様の傾向が確認できた。この気圧の時間変化は、最も顕著な気圧の上昇(pressure jump; Peak2)に先行する形で、相対的に小さな pressure jump (Peak1)が特徴的であり、それらはガストフロントによる pressure jump (Peak1)とダウンバーストによる pressure jump (Peak2)と考えられる。さらに、それぞれの前後には局所的な低圧部による pressure dipが観測された。他の気象要素をみると、Peak1と感雨及び気温の急降下が時間的に対応していた。また、本事例では混合比の変化は相対的に小さかった。Pressure jumpの空間分布をレーダーエコーと対応させてみると、Peak1は強エコー域の前面に位置しながら進行していた。その進行速度は約10m/sと見積もられ、エコーの平均移動速度と一致した。それに対し、Peak2はエコーコアに位置し、その移動速度は約9m/sと見積もられた。Peak2の pressure jumpは約20~30kmの水平スケールを有していた。18:19JST、前橋地方気象台では最大瞬間風速23.4m/sを記録し、18:20JSTにおけるPeak2の位置は被害地域とも一致したことから、前橋市内にもたらされた被害はダウンバーストによるものであったと結論づけられた。

2012年8月30日に房総半島で発生した積乱雲タレットの雲レーダードップラ観測 Doppler Observation of Cumulonimbus Turret Generation by 95GHz Cloud Radar in Boso Peninsula on 30 August 2012

柏柳 太郎^{1*}; 小林 文明²; 大窪 拓未²; 山路 実加²; 鷹野 敏明³; 高村 民雄⁴

KASHIWAYANAGI, Taro^{1*}; KOBAYASHI, Fumiaki²; OKUBO, Takumi²; YAMAJI, Mika²; TAKANO, Toshiaki³; TAKAMURA, Tamio⁴

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター/日本無線, ² 防衛大学校, ³ 千葉大学工学研究科, ⁴ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University/Japan Radio Co., Ltd., ²National Defense Academy, ³Graduate School of Engineering, Chiba University, ⁴Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

積乱雲が発生してから気象レーダーでエコーとして捉えられるまでの対流発生初期 (Convective Initiation, CI) の詳細を明らかにすることは、積乱雲の発達を理解する上で重要な課題である。本研究は、2012年夏季において、比較的積乱雲が発達しやすい房総半島で行った、雲レーダー、X-bandレーダー、MTSAT-1Rラピッドスキャン、可視画像の同時観測により、積乱雲の対流発生初期の詳細を明らかにすることを目的とした。

観測期間中の2012年8月30日において、12時30分過ぎより雲レーダー上空で積乱雲タレットが発生し約2時間の間、発達と衰退を繰り返した。この事例については、X-bandレーダーにおける水平方向のドップラ分布解析から、雲レーダーの上空の下層部で風の収束が観測されたことをこれまでに示した。

本発表では、この事例について、雲レーダーで観測した積乱雲タレット発生初期における鉛直方向ドップラ解析について報告する。解析の結果、最初のタレットの成長開始時に6m/s以上に達する強い上昇流が観測された。

キーワード: 積乱雲, タレット, 雲レーダー, ドップラ

Keywords: cumulonimbus, turret, cloud radar, Doppler

地上稠密観測 POTEKA で観測されたダウンバーストの気温と気圧分布 Surface Temperature and Pressure Distributions of Downburst captured by High Dense Ground Observation Network "POTEKA"

小島 慎也^{1*}; 佐藤 香枝¹; 前田 亮太¹; 呉 宏堯¹; 矢田 拓也¹; 森田 敏明¹; 岩崎 博之²
 KOJIMA, Shinya^{1*}; SATO, Kae¹; MAEDA, Ryota¹; KURE, Hiroataka¹; YADA, Takuya¹; MORITA, Toshiaki¹; IWASAKI, Hiroyuki²

¹ 明星電気株式会社, ² 群馬大学教育学部
¹ Meisei Electric co., ltd, ² Faculty of Education, Gunma University

明星電気株式会社は、小型気象計 POTEKA Sta.(ポテカ：Point Tenki Kansoku、以下 POTEKA)を開発した。POTEKA は気温・湿度・気圧・感雨・日照を 1 分間隔で測定でき、従来気象計と比較して安価で、設置が容易なため稠密な設置及びデータ収集が可能である。その POTEKA を用いて、伊勢崎市内小中学校及び同市周辺のコンビニ (SAVE ON) に約 1.5 ~4km 間隔で計 55 ヶ所に設置した。本稿では、顕著な観測事例として 8 月 11 日に高崎市・前橋市で発生した突風現象の観測結果について紹介する。

8 月 11 日 18 時頃に高崎市から前橋市にかけて突風が発生し、住家の屋根の飛散などの被害がみられた。POTEKA の気温 1 分値を見ると、最大 12 分間で -13.9 °C の気温低下がみられた。

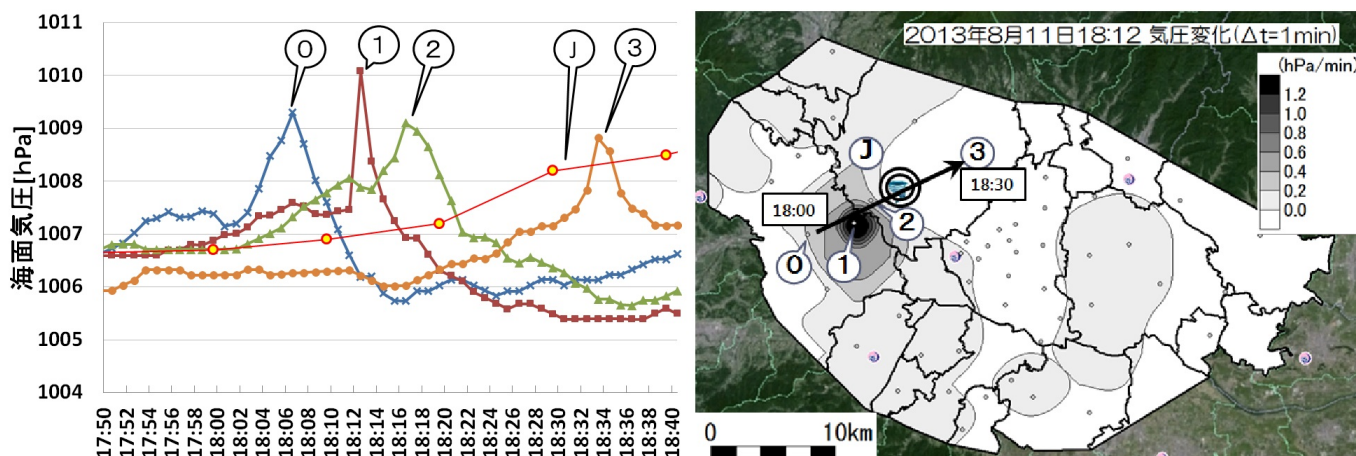
前橋地方気象台発表の突風経路に近い POTEKA の海面補正した気圧の 1 分値時系列を下図に示す。気象台の 10 分値の気圧は徐々に増加していく傾向しか見られないが、POTEKA の 1 分値では、1~2hPa 程度の一時的な上昇がみられた。これはダウンバースト発生時の下降流による一時的な気圧上昇であると示唆される。さらに詳しく見ると、気圧の上昇は 2 回発生している地点もあり、1 回目はガストフロントによるもの、2 回目はダウンバーストによる上昇と考えられる(詳細は「地上稠密観測 POTEKA によるダウンバーストとガストフロントの識別」を参照のこと)。

今回の稠密観測のようなダウンバースト・ガストフロント発生時の地上における気圧変化を、これほど細かい時間的・空間分解能で観測した事例はほとんど見られない。このような稠密観測をすることによって、突風の種類の判別や突風に対する事前の注意喚起が出来る可能性がある。

謝辞：本プロジェクト始動にあたり、サンデン(株)殿、(株)セーブオン殿、伊勢崎市教育員会殿には POTEKA 設置のご協力を頂きました。ここに御礼申し上げます。

キーワード: 稠密観測, ダウンバースト, ガストフロント

Keywords: high dense ground observation network, Downburst, Gust fronts



富士山頂での夏季スプライトキャンペーン観察の報告
Preliminary Reports of Summer Sprite Observation Campaign at Summit of Mt. Fuji,
Japan

鈴木 裕子^{1*}; 鈴木 智幸¹; 鴨川 仁¹
SUZUKI, Yuko^{1*}; SUZUKI, Tomoyuki¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ

Many investigations of transient luminous events (TLEs) such as sprites and elves have been carried out since the 1990s. However, there are still unsolved issues like the morphologies of sprites. One of approach to investigate this issue is statistical study with collecting many events. In this study, we report a preliminary result of a mountain observation which enables us to observe the TLEs for a long term at the fixed point. The mountain observation was conducted at the summit of Mt. Fuji (3776 meter altitude), Japan, which enables us to detect the TLEs above off the coast of Boso peninsula, Chiba, Japan and the coast of Japan Sea which a large number of summer TLEs and the winter TLEs due to energetic positive cloud-to-lighting occurs. In particular, the altitude of the summit is located over the summer cloud covering the wide regions, so that the distant TLEs can be observed and low pressure and clean air yield better color images of TLEs. Moreover, the lower cost operation is possible, comparing with than the aerial and balloon measurement.

In the summer of 2013, we detected several events of TLEs with sensitive black-and-white CCD cameras at the fixed point for one month and with the color single-lens reflex camera. We will show the detailed analysis in the presentation. Such a mountain observation gives us a high chance to detect low-altitude blue-jets and starters and a 360-degree view from the isolated mountain, Mt. Fuji, also gives us a high change to detect a number of TLEs. In this presentation, we show the results of sprite images taken at the summit of Mt. Fuji on Aug. 2, 2014.

Keywords: Sprite, Lightning, TLEs

MMSE 法を適用した偏波機能を持つ二次元フェーズドアレイレーダの開発 Development of polarimetric 2-D phased array weather radar using minimum mean square error method

菊池 博史^{1*}; Wu Ting¹; 牛尾 知雄¹; 商 進¹; 金 寛¹; 後藤 秀人²; 水谷 文彦²

KIKUCHI, Hiroshi^{1*}; WU, Ting¹; USHIO, Tomoo¹; SHANG, Jin¹; KIM, Gwan¹; GOTO, Hideto²; MIZUTANI, Humihiko²

¹ 大阪大学, ² 東芝

¹Osaka University, ²Toshiba

We have been developing a polarimetric 2-D phased array weather radar which detects small scale phenomena such as tornadoes and downbursts. In this paper, we compare Beam Former method (BF), which is a conventional method in Digital Beam Forming signal processing of array antenna, with Minimum Mean Square Error method (MMSE), which is our proposed method, and discuss simulation results estimated by each method. In BF, antenna pattern is uniform and unique in the radar system, and its sidelobe level is high. As a result, if there are obstacles, for example high building, or very heavy rain area, the observation results of array antenna is imprecision in the region near them. In contrast, we can turn the null-point to interference wave direction at the same time we turn the mainlobe to the desired signal direction in MMSE.

キーワード: フェーズドアレイレーダ, MMSE 法

Keywords: phased array radar, MMSE

北西太平洋域と赤道太平洋域マンガンクラストの金属フラックスにおける時間・空間変動 Metal Flux of Ferromanganese from Northwest and Equatorial Pacific

佐藤 久晃^{1*}; 白井 朗¹; 中里 佳央¹; 西 圭介¹; イアン グラハム²
HISAAKI, Sato^{1*}; USUI, Akira¹; NAKASATO, Yoshio¹; NISHI, Keisuke¹; IAN, Graham²

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² ニュージーランド核科学研究所
¹Department of Integrated Arts and Sciences, Kochi university, ²GNS science

マンガンクラスト(以下, クラスト)は鉄・マンガン酸化物を主成分とする化学堆積岩であり, 副成分として, 最大1%程度のコバルト, ニッケル等の重金属元素を含有している. クラストの成長速度は100万年に数mm程度であり, 海底堆積物に比べて非常に小さい. これは海水を通して鉄・マンガン酸化物や重金属元素が安定な基盤岩に沈着するためである. 海水を通じて金属元素であるコバルトやニッケルがクラストとして固定される速度(これを便宜的に金属フラックスと呼ぶ)は資源量評価および, 物質循環の定量的把握における重要なパラメータであるが, 空間的・時間的变化についてはデータが少ない.

本研究ではクラスト中の金属元素濃度, 間隙率や密度のほか, 「時間」パラメータを加え, 海域, 水深の異なる数種類のサンプルの金属フラックスを算定した. 使用したサンプルは水深の異なる北西太平洋域と赤道太平洋域の海山から計13地点を選定した. 北西太平洋域での東西の比較, 鉛直方向の傾向に加え, 砕屑物や一次生産の供給が多い, ミクロネシア海域の海山を用いることによって, 試料内でのフラックスの時間変動や, 試料間での対比, 金属フラックスプロフィールの地域的特徴, 及びその時間変化の規則性・法則性をより詳細に検証した. このパラメータは, 海洋環境復元に関して, 一つの有用な数値となるとともに, より信頼度の高い資源埋蔵量や品位の予測・証明を可能とする指標となる.

フラックスの空間的变化の特徴の結果として, Coは水深が浅くなるにつれて高くなっている傾向にあり, 続いてNi, Mnがやや高くなっているが顕著ではない. また, Al, Feは海域による変化が大きく, 東側に比べて島弧に隣接する西側においてフラックスが高いという顕著な傾向がある. Mn, Co, Niは海水中の溶存酸素量など酸化還元条件と関係している可能性が高く, Fe, Alは大陸からの砕屑物が起源になっていると考えられる. Cu, Niが10Maから現在にかけてフラックスが減少する原因に適切な解釈が無い.

マンガンクラストの金属フラックスの傾向は広範囲での金属元素の挙動や濃集の傾向を示すと考えられる. このことから, 金属フラックスというパラメータを用いることによってサンプリングが行われていない地点も含めた広範囲の資源量評価を行うことができる可能性が高く, また濃集速度からマンガンクラストの金属元素濃集メカニズムの解明にもつながると期待される.

キーワード: マンガンクラスト, 金属フラックス, 北西太平洋, 赤道太平洋
Keywords: ferromanganese crusts, metal flux, northwest pacific, equatorial pacific

拓洋第5海山におけるマンガンクラスト表層と近傍海水の希土類濃度の比較 Comparing rare earth elements in the surface layers of ferromanganese crusts and ambient seawater from the Takuyo Daigo

得丸 絢加^{1*}; 朱彦北²; 野崎 達生³; 高谷 雄太郎⁴; 後藤 孝介⁵; 鈴木 勝彦³; 常 青³; 木村 純一³; 加藤 泰浩⁴; 白井 朗⁶; 浦辺 徹郎⁷; 鈴木 庸平¹

TOKUMARU, Ayaka^{1*}; ZHU, Yanbei²; NOZAKI, Tatsuo³; TAKAYA, Yutaro⁴; GOTO, Kosuke T.⁵; SUZUKI, Katsuhiko³; CHANG, Qing³; KIMURA, Jun-ichi³; KATO, Yasuhiro⁴; USUI, Akira⁶; URABE, Tetsuro⁷; SUZUKI, Yohey¹

¹ 東大・地惑, ²AIST・NIST, ³JAMSTEC・IFREE, ⁴ 東大・工, ⁵AIST・GSJ, ⁶ 高知大・理, ⁷ 国際資源開発研修センター
¹Dept. Earth Planet., Univ., Tokyo, ²NIST/AIST, ³IFREE/JAMSTEC, ⁴Dept. System Innovation, Univ. of Tokyo, ⁵GSJ/AIST, ⁶Natural Sciences Cluster, Kochi Univ., ⁷JMEC

Hydrogenetic ferromanganese (Fe-Mn) crusts are strongly enriched relative to the Earth's lithosphere in many rare and precious metals, including Co, Te, Mo, Bi, Pt, W, Zr, Nb, Y, and rare earth elements (REEs) (e.g. Hein et al., 2013). Accumulation of these trace metals from seawater is generally controlled by sorption (Koschinsky and Halbach, 1995; Koschinsky and Hein, 2003). REEs, except for Ce, behave as a dissolved trivalent cation in seawater and concentrated in the solid phase by adsorption (Nakada et al., 2013). Although a set of REE concentrations in Fe-Mn crusts is frequently used as a proxy to distinguish formation processes (e.g. Usui and Someya, 1997; Hein et al., 2000), it is not certain if REE concentrations in Fe-Mn crusts are correlated to those in surrounding seawater. In order to verify the correlation, REE concentrations in the outermost surface of Fe-Mn crusts and the surrounding seawater were directly compared at various depths (957-2987 m) on the Takuyo Daigo Seamount. We normalized the REE concentrations in the outermost surface of Fe-Mn crusts with its formation age, as the relative age of Fe-Mn crusts can be determined using osmium isotopic ratio (e.g. Klemm et al., 2005; 2008). For measurement of REE concentrations in seawater, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was applied and solid phase extraction (SPE) techniques using chelating resins were conducted as pretreatment (Zhu et al., 2013). In this study, we compare depth profiles of the normalized REE concentrations in the outermost surface of Fe-Mn crusts and the REE concentrations in surrounding seawater.

キーワード: 鉄マンガンクラスト, 海水, オスミウム同位体, 希土類元素, 地球化学
Keywords: ferromanganese crust, seawater, Os isotope, rare earth elements, geochemistry

海底鉄マンガン酸化物に記録された海水の鉄同位体組成 Iron isotopic composition of seawater recorded in ferromanganese deposits

山岡 香子^{1*}; ボロック デイビッド²; 白井 朗³
YAMAOKA, Kyoko^{1*}; BORROK, David²; USUI, Akira³

¹産総研地質情報, ²ルイジアナ大学, ³高知大学理学部
¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Univ. of Louisiana, ³Kochi Univ.

鉄は、地殻中で4番目に多く存在する元素であるが、現在の酸化的海洋では速やかに酸化され沈殿するため、海水中の溶存鉄は一次生産を規定する要因となっている。鉄同位体比は10年ほど前から高精度分析が可能となり、海洋における鉄の生物地球化学サイクルを明らかにするための優れたツールとなりうる。海底鉄マンガン酸化物は、海水の鉄同位体比を反映していることが期待され、これまでにマンガクラスト及びノジュールの表層分析や、時系列分析がなされてきた(Zhu et al., 2000; Levasseur et al., 2004; Chu et al., 2006)。しかし、沈殿プロセスにおける同位体分別や続成作用の影響など、鉄マンガン酸化物の鉄同位体比を決定する因子についての基本的な理解は不十分であり、系統的な試料を用いた検証が必要である。本研究では、北西太平洋及びハワイ沖の水深約1400~6000 mから採取された10の海水起源マンガクラスト及びノジュール、5の続成起源マンガクラスト及びノジュールの鉄同位体分析を行った。さらに、拓洋第五海山の3つの水深(1440, 2239, 2987 m)から採取されたマンガクラストの時系列分析を行い、過去約20 Maの鉄同位体比変動を明らかにすることを試みた。測定はテキサス大学エルパソ校のMC-ICP-MSを用いて行い、分析誤差は $\delta^{56}\text{Fe}$ 値で $\pm 0.09\text{‰}$ (2SD)である。海水起源マンガクラスト及びノジュールの $\delta^{56}\text{Fe}$ 値は $-0.44\sim -0.22\text{‰}$ で、平均 $-0.32\pm 0.12\text{‰}$ (2SD)の狭い範囲に収まり、海域や水深による違いは見られなかった。さらに、続成起源マンガクラスト及びノジュールの $\delta^{56}\text{Fe}$ 値も $-0.34\sim -0.20\text{‰}$ と、海水起源と比べて違いは認められなかった。このことは、太平洋の広い範囲において中深層水の鉄同位体比は一定であり、続成作用によっても鉄マンガン酸化物の鉄同位体比は変化しないことを示唆する。海水中溶存鉄の鉄同位体比に関する研究は少ないが、中央赤道太平洋の表層約900 mでは $+0.01\sim +0.58\pm 0.08\text{‰}$ で、深度に沿って低下する傾向が報告されている(Radic et al., 2011)。海底鉄マンガン酸化物の鉄同位体比はこれらの値よりも明らかに低く、中深層水の鉄同位体比は表層に比べて軽い鉄同位体に富んでいる可能性がある。拓洋第五海山マンガクラストの時系列分析からは、3つの水深で違いは見られず、年代を通じてほぼ一定($\delta^{56}\text{Fe} = -0.31\pm 0.13\text{‰}$, 2SD)という結果が得られた。この値は、マンガクラスト及びノジュールの表層から得られた値と一致する。さらに、中央太平洋の水深約3000 mから採取されたマンガクラストからも、過去10 Maを通じて一定の鉄同位体比($\delta^{56}\text{Fe} = -0.31\pm 0.10\text{‰}$, 2SD)が得られており(Chu et al., 2006)、その値も極めて良く一致する。したがって、過去約20 Maの間、太平洋中深層水の鉄同位体比変動はなかったと考えられる。

キーワード: 鉄同位体, マングクラスト
Keywords: iron isotope, ferromanganese crust

鉄マンガングラストにおける Hf-Zr 分別 Fractionation of Hafnium-Zirconium in ferromanganese crusts

井上 美南¹; 坂口 綾^{1*}; 柏原 輝彦²; 白井 朗³; 高橋 嘉夫¹
INOUE, Minami¹; SAKAGUCHI, Aya^{1*}; KASHIWABARA, Teruhiko²; USUI, Akira³; TAKAHASHI, Yoshio¹

¹ 広島大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 高知大学
¹Hiroshima Univ., ²JAMSTEC, ³Kochi Univ.

The couples of High Field Strength elements (HFS elements), e.g. Zirconium (Zr)-Hafnium (Hf) and Niobium (Nb)-Tantalum (Ta), are called Twin-element due to the consistency of their valences and ionic-radii in the environment. As a consequence, these couples must show uniform ratio, which is theoretically same as that of chondrite meteorite. However, the significant fractionations among HFS elements in natural samples have been found, and it was proposed as enigma of Zr-Hf and Nb-Ta fractionation (Niu et al. 2012). The large fractionation of these elemental couples has also been found in the ferromanganese crust (FMC) (Bau 1996). In this study, we attempted to clarify the accumulation mechanism of HFS elements in FMCs with some methods including X-ray absorption fine structure (XAFS) technique for synthesised and natural samples to serve as an aid to approach to this enigma.

Six FMC samples were collected from the Takuyo-Daigo and Ryusei seamounts, from 950 m (summit) to 3000 m water depth, with hyper-dolphin (remotely operated vehicle) equipped with live video camera and manipulators. Near surface layer (less than 1 mm) of all FMC was analysed with XRD and XAFS to confirm the mineral composition and speciation of Zr together with chemical reagents, Zr minerals and rock samples as standard materials. The concentrations of Zr and Hf in these samples were also measured by ICP-MS after appropriate treatments. Furthermore, to serve as an aid to clarify the fractionation mechanism between Zr and Hf in FMCs, distribution coefficients (Kd) and chemical states were determined through the co-precipitation experiments of Hf and Zr with ferrihydrite and δ -MnO₂. To analyse the chemical states on the solid phase, XAFS was employed.

The major mineral composition of Fe and Mn had no significant variation with the water depth of these seamounts. The concentrations of Zr and Hf were increased with depth, and their ratios were varied without showing any trends. However, these ratios were totally fractionated from that in the seawater (Firdaus et al., 2011). For all samples, Hf was enriched in FMC compared to Zr. The chemical state of Zr in FMCs through the depth showed, 1) coprecipitation with ferrihydrite, 2) coprecipitation with δ -MnO₂, and 3) basalt-like composition, and the rate of basalt-like composition of Zr was increased with water depth. The concentrations of Zr in the fraction between ferrihydrite and δ -MnO₂ were uniform through with the depth. Furthermore, the concentration of Zr in these fraction was also uniform, that is, the increased-concentration of Zr in the samples from deeper seamounts could be explained by the increase in basalt-like fraction. From the results of co-precipitation experiments of Zr and Hf with ferrihydrite and δ -MnO₂, it was found that the Hf-DFO was more precipitated compared with Zr-DFO. In this case, the bond length of Hf-O was significantly shorter than that of Zr-O.

Keywords: Zirconium, Hafnium, Ferromanganese crust

海水起源マンガンクラストにみられる二重構造に記録された海洋環境変動 Paleoceanographic Record on the Dual Structure of Hydrogenetic Ferromanganese Crusts

西 圭介^{1*}; 白井 朗¹; 中里 佳央¹; 佐藤 久晃¹; イアン グラハム²; 山岡 香子³; 後藤 孝介³
NISHI, Keisuke^{1*}; USUI, Akira¹; NAKASATO, Yoshio¹; HISAAKI, Sato¹; IAN, Graham²; YAMAOKA, Kyoko³; GOTO,
Kosuke T.³

¹ 高知大学, ² ニュージーランド地質・核科学研究所, ³ 産業技術総合研究所

¹Kochi University, ²The Institute of Geological and Nuclear Science, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

マンガンクラストは鉄・マンガン酸化物を主成分とし、海底の露岩を平板状に被覆する化学堆積岩である。海水を起源として、100万年に数mm程度の非常に遅い速度で成長するため、数千万年オーダーの海洋環境を記録している可能性が指摘されている(白井, 1995)。太平洋域の複数試料の肉眼観察を行った結果、おおむね10cm以上の厚いクラストの基盤側には、緻密で硬質な構造を持つ部分が普遍的に認められた。これ(便宜上、下位層と呼ぶ)は、リン酸塩化した構造を持ち、上位とは化学組成が大きく異なることが報告されている(e.g., Koschinsky et al., 1997)。本研究では、特異的な鉱物・化学組成を示す下位層の形成環境を考察するために、太平洋域の水深965-3765m間で採取された二重構造がみられる試料の肉眼・顕微鏡観察、鉱物・化学分析、年代測定(GNSに依頼)を行った。

年代測定を行った計30試料から、一部、年代の逆転があるもの、碎屑物の含有量が上位層より多いものを除き、24試料において上位層と下位層の境界年代値は、海域、水深に関係なく、おおむね15-10Maに集中する。下位層の化学組成は上位層と比較して、Fe, Coなどに乏しく、Cu, Ni, Yなどに富む。二重構造がみられるクラストにおいて、もっとも顕著な傾向はMn/Fe比の水深規制である。上位層のMn/Fe比の変動は水深1000m付近で高Mn/Fe比(≈2)を示し、水深が深くなるにつれてFeに富み、Mn/Fe比が1程度になる傾向がある。下位層にも水深1000m付近でMn/Fe比が大きくなる傾向がみられるが、上位層の2程度に対して、下位層では5-6の高い値を示す。

本研究によって、リン酸塩化したクラストは、太平洋プレートだけでなく、フィリピン海プレートまで分布していることが明らかになった。また、クラスト下部のリン酸塩化と高Mn/Fe比を示す酸化物層の形成は同時ではなく、別々の時期に起こった現象であると考えられる。前期から中期中新世にかけての温暖な気候が海洋循環を弱くし、還元的な海洋環境が広がったため、高Mn/Fe比かつ、現在より強い水深規制を示すクラストを形成したと推測できる。中期から後期中新世の南極氷床の形成による寒冷化によって酸素に富む海水が湧昇し、リン酸塩に富む海水と混合することによって、クラストのリン酸塩化が起こった可能性が高い。

キーワード: マンガンクラスト, 海洋環境, 太平洋, 海山

Keywords: ferromanganese crust, marine environment, pacific, seamount

マンガンクラストにおける新たな記載方法の提案とその意義について Proposed valid description of ferromanganese crusts and the significance of this method

中里 佳央^{1*}; 白井 朗¹; 佐藤 久晃¹; 西 圭介¹; 後藤 孝介²
NAKASATO, Yoshio^{1*}; USUI, Akira¹; HISAAKI, Sato¹; NISHI, Keisuke¹; GOTO, Kosuke T.²

¹ 高知大学 総合人間自然科学研究科, ² 産業技術総合研究所

¹Department of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, ²Geological Survey of Japan

海底の鉄・マンガン酸化物形成プロセスには、海水起源、続成起源、熱水起源の3つがある中で、マンガンクラスト(以下クラスト)は海水起源の化学堆積岩である。海山斜面などの露岩域を平板状に被覆した形状をしており、豊富な酸素を含んだ海水の供給が常にあり、堆積物供給量が少ないか又はほとんど無堆積に近い環境下で安定な基盤岩体で形成される。クラストは世界の全海洋で発見されており、特に北西太平洋で広く分布することが知られている(白井ほか, 1995)。クラストには主成分のほかに副成分としてCo, Ni, REEなどの有用金属元素を濃集していることから未来の鉱物資源として期待されている。一方、成長速度は100万年に数mmと深海堆積物の堆積速度に比べ桁違いに遅いことが知られている。このことより、クラストは堆積物コアとしても有用であり、長レンジの古海洋環境が記録されている可能性が指摘されている。

クラストの形成環境、鉱物・化学組成、微細構造との対応関係を扱った例は少ない(Hein, 1992)。また、顕微鏡下で観察できる?オーダーでの微細構造が形成されるメカニズムは未だ解明されていない。本研究では、クラスト中にみられる微細構造と含まれる碎屑物との関係性を明らかにすることを目的とし、碎屑物がどのように微細構造に影響を及ぼすかを検証するための新たな記載方法を提案する。実験に使用した試料は、ミクロネシア連邦海域で採取された酸化物層の厚さが約110mmとクラストの中でも最大級の大きさのものである。クラスト中に包有されている碎屑物を取り出すために溶解実験を行った。このクラストを肉眼観察、顕微鏡観察、鉱物・化学分析から1層目(0~15mm)、2層目(15~75.5mm)、3層目(75.5~94.5mm)、4層目(94.5~110mm)の4層に分けた。このうち3・4層目はリン酸塩化している。リン酸塩化した3・4層については、初生の構造、化学組成を保持しておらず二次的に形成されたものである可能性が指摘されている(Koschinsky et al., 1997)ことから、今回はリン酸塩化をしていない1~2層に絞って溶解実験を行った。

溶解実験後に得られた各ユニットでの溶解残渣を詳細に記載することにより、クラストに含まれている少量、または結晶が小さすぎてXRDでは検出できない鉱物や粘土鉱物を同定することが可能である。

溶解残渣を実体顕微鏡、FE-SEM/EDSを用いた観察から、石英、長石などXRDから同定できるものと、磁鉄鉱、粘土鉱物などXRDからでは検出できなかったものが観察された。このように、今までの分析手法に加えて溶解残渣分析を加えることにより、さらに詳細な記載が可能であると考えられる。今後、溶解残渣中の詳細な鉱物同定や粒度分析を行うことにより、微細構造と碎屑物との関係性や海山地史の解明に大きく貢献するものと考えられる。

キーワード: マンガンクラスト, 微細層序, 古海洋復元

Keywords: Ferromanganese crusts, Microstratigraphy, Paleooceanography

北西太平洋に分布する海洋性マンガクラストの微生物群集の比較 Comparative analysis of microbial community on hydrogenetic ferro-manganese crusts from North-West Pacific Ocean

仁田原 翔太^{1*}; 加藤 真悟²; 山岸 明彦¹
NITAHARA, Shota^{1*}; KATO, Shingo²; YAMAGISHI, Akihiko¹

¹ 東京薬科大学, ² 理化学研究所

¹Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, ²RIKEN

マンガクラストとは、鉄とマンガンを主成分とする酸化物が岩石の周りを覆ったものを指し、水圏と岩石圏との境界面に存在する。マンガクラストは海水から酸化物が堆積することによって成長すると考えられている。成長速度を放射線年代測定や古磁気の測定から見積もると、100万年に数mmであることがわかっている (Usui and Someya, 1997)。マンガクラストは主に堆積物の少ない海山や海台などの露岩域に広く分布している。その成分に着目すると、マンガクラストはさまざまな金属元素を含む (例えば銅、コバルト、ニッケル、白金、希土類元素など、Hein, 2000)。レアメタル、レアアースが含まれることとマンガクラストの海底面での広い分布から、資源としての利用価値が期待されている。

マンガクラスト表面あるいは内部に存在する微生物に着目するとその情報は少ない。我々の研究グループでは、これまでに拓洋第5海山の水深2991mから採取したマンガクラスト表面の微生物群集解析を行い、マンガクラスト表面には多様な微生物が豊富に存在していること、周辺堆積物や海水とは異なる微生物群集が存在することなどを示した (Nitahara et al., 2011)。しかし、海洋性マンガクラストは北西太平洋を初めとして世界中に分布している。したがって先に述べた特徴がマンガクラストの微生物群集の普遍的特徴であるのか、あるいは拓洋第5海山に特有な特徴であるのかは不明である。そこで私たちは拓洋第5海山を含めたいくつかの海山からマンガクラストを採取し、16S rRNA遺伝子による微生物群集構造解析を行い、その群集構造、多様性や空間的な分布について検討した。

拓洋第5海山と流星海山のマンガクラストを比較した結果、水深が異なるマンガクラストで微生物群集構造の大きな変化はみられなかった。その一方で拓洋第5海山と流星海山の微生物群集構造には地域差があった。またマンガクラストと周辺堆積物、海水との比較では、マンガクラストと周辺堆積物堆積物とは似た微生物群集であったが、海水とは大きく異なる微生物群集であった。

本発表では前述の2つの海山に加え、北西太平洋の大東海嶺や小笠原海山の海洋性マンガクラストの微生物群集を解析、比較した結果について発表、議論する予定である。

Hein, J.R.K., A.; Bau, M.; Manheim, F.T.; Kang, J.-K.; Roberts, L. (2000) Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In Handbook of marine mineral deposits. Cronan, D. (ed): Boca Raton: CRC Press, pp. 2-279.

Nitahara, S., Kato, S., Urabe, T., Usui, A., and Yamagishi, A. (2011) Molecular characterization of the microbial community in hydrogenetic ferromanganese crusts of the Takuyo-Daigo Seamount, northwest Pacific. FEMS Microbiol Lett 321: 121-129.

Usui, A., and Someya, M. (1997) Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. Geological Society, London, Special Publications 119: 177-198.

低温熱水活動域におけるマンガン酸化物の沈着および吸着実験 On-site deposition and exposure experiments at a low-temperature hydrothermal area

白井 朗^{1*}; 日野 ひかり¹; 鈴木 庸平²; 山岡 香子³; 岡村 慶⁴
USUI, Akira^{1*}; HINO, Hikari¹; SUZUKI, Yohey²; YAMAOKA, Kyoko³; OKAMURA, Kei⁴

¹ 高知大学, ² 東京大学理学系研究科地球惑星科学, ³ 産業技術総合研究所地球科学情報研究部門, ⁴ 高知大学海洋コア総合研究センター

¹Kochi University, ²Earth & Planetary Sciences, Univ. Tokyo, ³Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba, ⁴Kochi Core Center, Kochi University

伊豆・小笠原弧の火山フロントより西方約 20km に位置するベヨネース海丘において 3 回の潜水調査 (2001 年, 2011 年, 2013 年) が実施された。海山周辺の水深 900m 台での濁度異常, マンガン酸化物の局地的分布などが知られていた。直接の沈殿現象はまだ確認されていない。本研究では, 産状観察・温度計測, 沈着実験 (2001 年に設置, 2013 年に回収) を行った。XRD による鉱物分析, FE-SEM/EDS, TEM による化学分析, 形状観察, ICP-AES/MS, U-Th 年代分析 (予定)。沈着実験はプラスチック・ガラス・セラミックスを海底に設置したもので, 約 12 年間放置したのち, 表面を観察, 分析した。吸着実験は合成 buserite を曝露し, 回収したものである。

その結果, 異常のある水深帯の近傍で海山斜面の海底面にマンガン酸化物が付着し, その一部に設置した沈着容器にはサブミクロンサイズのマンガン酸化物の微小粒子が観察された。合成試料には多くの元素が吸着したことが示されたと同時に, その起源が通常の海水か, 湧水かとの判断は困難であった。

キーワード: 低温熱水活動, ベヨネース海丘, マンガン鉱物, プーゼライト, トドロカイト, 吸着

Keywords: low-temperature hydrothermal activity, bayonaise hill, manganese mineral, buserite, todorokite, adsorption

鉄マンガングラストのウラン同位体比：海洋酸化還元環境指標としての $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ の検証 Uranium isotope composition in ferromanganese crusts: Implications for the paleoredox proxy

後藤 孝介^{1*}; Anbar Ariel D.²; Gordon Gwyneth W.²; Romaniello Stephen J.²; 下田 玄¹; 高谷 雄太郎³; 得丸 絢加³; 野崎 達生⁴; 鈴木 勝彦⁴; 町田 嗣樹⁵; 羽生 毅⁴; 白井 朗⁶
GOTO, Kosuke T.^{1*}; ANBAR, Ariel D.²; GORDON, Gwyneth W.²; ROMANIELLO, Stephen J.²; SHIMODA, Gen¹; TAKAYA, Yutaro³; TOKUMARU, Ayaka³; NOZAKI, Tatsuo⁴; SUZUKI, Katsuhiko⁴; MACHIDA, Shiki⁵; HANYU, Takeshi⁴; USUI, Akira⁶

¹産業技術総合研究所, ²アリゾナ州立大学, ³東京大学, ⁴海洋研究開発機構, ⁵早稲田大学, ⁶高知大学
¹GSI, AIST, ²Arizona state University, ³The University of Tokyo, ⁴JAMSTEC, ⁵Waseda University, ⁶Kochi University

Variations of the $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ ratio ($d^{238}\text{U}$) in sedimentary rocks have been proposed as a possible proxy for decoding the paleo-oceanic redox conditions, although the marine U isotope system is not fully understood (Stirling et al., 2007 GCA; Weyer et al., 2008 EPSL).

Here we investigate the spatial variation of $d^{238}\text{U}$ in modern ferromanganese crusts by analyzing U isotopes in the surface layer (0-3 mm depth) of 19 samples collected from 6 seamounts in the Pacific Ocean. The $d^{238}\text{U}$ values in the surface layers show little variation and range from -0.59 to -0.69 permil. The uniformity of $d^{238}\text{U}$ values is consistent with the long residence time of U in modern seawater (Dunk et al., 2002 Chem. Geol.), although the $d^{238}\text{U}$ values are lighter than that of present-day seawater by ~0.24 permil (Stirling et al., 2007 GCA; Weyer et al., 2008 EPSL). The light $d^{238}\text{U}$ is consistent with the isotope offset found during the adsorption experiment of U to birnessite (Brennecke et al., 2011 ES&T). Our results suggest that removal of lighter U from seawater to ferromanganese crusts is responsible for the second largest uranium isotopic fractionation in the modern marine system and could provide a source of heavy U to seawater.

Depth profiles of U isotopes ($d^{234}\text{U}$ and $d^{238}\text{U}$) in two ferromanganese crusts were investigated to reconstruct the evolution of oceanic redox state during the Cenozoic. The depth profiles of $d^{238}\text{U}$ show very limited ranges, and have similar values with those of the surface layer samples. The absence of any resolvable variations in the $d^{238}\text{U}$ depth profiles suggests that the relative proportions of oxic and reducing uranium sinks have not varied significantly over the past 40 Myr. However, the $d^{234}\text{U}$ depth profiles in the same samples suggest the possible U redistribution after deposition. Therefore, the $d^{238}\text{U}$ values may have been overprinted by secondary mobilization with pore-water or seawater. These results suggest that careful evaluation of secondary disturbance is required before applying chemical and isotope depth profiles of ferromanganese crusts to understand paleocean environmental changes.

To assess the potential effect of U removal by Mn oxides on seawater $d^{238}\text{U}$, we calculated the seawater $d^{238}\text{U}$ under different fractions of U removal by Mn oxides using a simple isotope balance model. This calculation suggests that seawater $d^{238}\text{U}$ could have varied significantly throughout the Earth's history along with the changes of the Mn oxides accumulation rate.

キーワード: ウラン, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, 酸化還元環境指標, 鉄マンガングラスト, 同位体地球化学
Keywords: Uranium, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, paleoredox, ferromanganese crust, isotope geochemistry

複雑な地殻構造による地磁気誘導電流の増幅効果 Amplification of induced current due to complicated resistivity structure in the earth

後藤 忠徳^{1*}

GOTO, Tada-nori^{1*}

¹ 京都大学大学院工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University

巨大地磁気嵐によって地下に引き起こされる誘導電流は、送電線網やパイプラインなどのインフラストラクチャを破壊する可能性があることが指摘されている。このような自然災害を未然に防ぐためには、事前の誘導電流強度の予測が必要である。巨大地磁気嵐の発生頻度や大きさについては従来からも研究がなされているが、誘導電流の発生場所である地殻やマンツルの比抵抗構造不均質が強度予測にどの程度の影響を与えているかについては、これまでに研究はなされていない。本研究では2次元・3次元地下構造に対する誘導電流発生の数値シミュレーションを実施し、この問題を議論した。特に水平方向の比抵抗変化が大きい海陸境界に注目して計算を行ったところ、海岸線から20km程度の陸域では誘導電流の大きさは約6倍増幅されることが明らかとなった。また半島部のように海側にせり出した陸域でも同様に誘導電流の増幅効果があることが分かった。これらから、巨大地磁気誘導電流の事前評価を行う際には、その地域の地下および海底下の比抵抗構造を調査し、予測モデルに組み込むことが必要であることが示唆される。

キーワード: 地磁気変化, 誘導電流, 海陸構造, 比抵抗

Keywords: Geomagnetic field, Induced current, Land-Ocean interaction, resistivity

三次元比抵抗モデルを用いた地磁気誘導電場の数値シミュレーション A Numerical Simulation of the Geomagnetically Induced Electric Field with the Three-Dimensional Resistivity Model

遠藤 新^{1*}; 藤田 茂²; 藤井 郁子³
ENDO, Arata^{1*}; FUJITA, Shigeru²; FUJII, Ikuko³

¹ 気象庁, ² 気象大学校, ³ 地磁気観測所

¹Japan Meteorological Agency, ²Meteorological College, ³Magnetic Observatory

カナダやスウェーデンといった地磁気的に高緯度の地域では、地磁気誘導電流 (GIC: Geomagnetically Induced Current) が送電網にダメージを与え、停電を引き起こすことが知られている。そのような高緯度帯に比べ日本のような地磁気的に中低緯度の地域では、GIC が電力網にそれほど大きなダメージを与えるとは考えられてこなかった。しかし、極端宇宙天気現象が発生した場合の GIC についてはこれまで十分に想定されてこなかった。また、GIC は比抵抗分布の局所性にも大きく左右されるが、日本のような地下構造が複雑な地域において三次元的な比抵抗分布を鑑みて GIC を見積もられたこともなかった。そこで本研究では日本における GIC 推定の一歩目として、三次元電磁誘導問題を解くコードを使用し、日本における地磁気誘導電場を数値計算した。その結果、日本における地磁気誘導電場は場所によって値に 10 倍の開きができることがわかった。また 1000 年に一度の磁場擾乱発生時には、地磁気誘導電場が日本の陸上で最大 65.9V/km となることがわかった。

キーワード: 地磁気誘導電流, 急始, 比抵抗, 電気伝導度, 磁気嵐

Keywords: Geomagnetically Induced Current, SC, resistivity, conductivity, magnetic storm

時間領域 MT 法に基づく地磁気時間変化と地下比抵抗構造の同時インバージョン Simultaneous inversion of temporal magnetotelluric signal change and conductivity structure using the time domain simula

今村 尚人^{1*}; Schultz Adam²; 後藤 忠徳¹; 武川 順一¹; 三ヶ田 均¹
IMAMURA, Naoto^{1*}; SCHULTZ, Adam²; GOTO, Tada-nori¹; TAKEKAWA, Junichi¹; MIKADA, Hitoshi¹

¹ 京都大学大学院工学研究科, ² オレゴン州立大学

¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University, ² Oregon State University

MT 法は地下比抵抗構造を求める探査法であるが、その際に MT 信号源の強度変化については論じないことが多い。しかし高緯度地域や地球規模スケールでは、MT 信号源の時間変化と地下構造を同時に議論することが必要である。これまでに、観測される電磁場から MT 信号源となる地磁気変動と地下比抵抗構造を推定する手法が幾つか提案されている。例えば Koch and Kuvshinov (2013) では、地磁気変動と地下比抵抗構造を周波数領域で推定している。Koch and Kuvshinov (2013) では、地磁気変動と比抵抗構造のうち片方を固定しもう片方をインバージョンするフローを交互に行っている。しかしながら、インバージョンの安定化と、一般的に非定常な時系列変化である MT 信号源の特性を考慮すると、周波数領域ではなく時間領域において、MT 信号源である地磁気の時系列変化と比抵抗構造を同時に逆解析することが、より高精度な推定法であると考えられる。そこで本研究では、数値計算モデルに対して時間領域での逆解析手法を適応した。その結果、観測される電磁場にノイズを含んだ場合であっても地磁気時間変化と地下比抵抗の両方を推定可能であることが明らかとなった。さらに数値的に作成した観測される電磁場の時系列波形に対して、今回開発した時間領域での逆解析と周波数領域での逆解析を比較したところ、時間領域での逆解析を用いることでより高解像度な逆解析結果を得られることが明らかとなった。

キーワード: マグネットテルリック法, 時間領域解析, 同時インバージョン

Keywords: Magnetotelluric method, Time domain modelling, Simultaneous inversion

柿岡・鹿屋・女満別の地電位差の特徴 Goelectric Field at Kakioka, Kanoya, and Memambetsu

藤井 郁子^{1*}
FUJII, Ikuko^{1*}

¹ 気象庁地磁気観測所

¹ Kakioka Magnetic Observatory, JMA

気象庁地磁気観測所では、柿岡、鹿屋、女満別において地電位差観測を連続的に行っており、80年余りのデータの蓄積がある。これらのデータを地磁気誘導電流（GIC）の研究に利用できるか、可能性と注意点を調べた。

柿岡、鹿屋、女満別の地電流観測は、地理的な南北東西にそれぞれ電極を配置し、地電位差の南北成分、東西成分を観測している。時期によって、電極位置、基線長、サンプリング間隔、電極素材、機器フィルターなど観測の詳細が異なり、データの質にも差がある。

3地点の地電位差の性質を調べるにあたり、2000年1月～2011年2月の期間を選んで、解析を行った。この期間を選んだ理由は、高速サンプリングが可能になっていたため多様なデータが利用できることと、比較的最近であるため観測の詳細について調査がしやすかったことである。また、この期間であれば、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の影響や、その後の機器の更新などの影響も避けることができる。

選択した期間は、観測所構内の200～300mの短い基線長を利用した観測のため、電極の不安定性が無視できず、長期的には不安定なデータであった。短期的には、静穏時の周期100秒以下で地磁気3成分データとの相関が低く、定常的な人工ノイズの存在が示唆されるものの、周期100秒～1日では地磁気3成分データとの相関は十分高くなり、誘導電位差を良好に計測していることが示された。柿岡では東西成分が南北成分より約10倍振幅が大きく、女満別では南北成分のほうが東西成分より振幅が大きいなど、場所による特徴がみられた。

地下構造の影響推定とノイズ分離のために、3地点でそれぞれMT応答関数を計算した。周期10000秒以下は、2003年～2004年の大規模磁気嵐時の0.1秒値、1秒値、1分値を用いて、BIRRP(Chave and Thomson, 2004)によりロバスト推定を行った。周期10000秒以上は2000年1月～2011年2月の1時間値を用い、Fujii and Kanda (2008)のカルマンフィルターを改良して異常値に対応できるようにし、電極の不安定性などによるトレンドと段差型変化を除去してから、MT応答関数の推定を行った。0.1秒値、1秒値では、機器フィルターの影響が計測値に残っており、観測所に残されていたフィルター係数を用いて補正を行ったが、0.1秒値では周期数秒以下、1秒値では周期数十秒以下で完全には信号を回復できなかった。4種類のサンプリングデータの利用可能範囲を組み合わせることで、周期数秒から10日までのMT応答関数を得ることができた。このMT応答関数をコンボリューションにより時間領域でのフィルターに変換すれば、地磁気観測値から地電場を推定することができる。

その前に、地電位差に含まれる地下浅部の見かけの影響を見積もるため、地磁気3成分データから求めたC応答関数(Fujii and Schultz, 2004)とMT応答関数を比較した。周期5日以上の周期帯では、地下が1次元構造であればMT応答関数のZxy成分とC応答関数が一致するはずで、差があった場合は、地下浅部の小規模な不均質が見かけの地電位差を作っていると考えられている。柿岡のZxy成分は周期5日以上でも1000?mを越える極めて高い値を示していたが、浅部の不均質により約100倍に増幅されていることが示唆された。

柳原・横内(1965)は、柿岡の地電位差の周期100秒程度の特徴について、筑波山塊を形成する基盤岩が観測所近傍では地表まで露出しており、堆積物との間に顕著な電気伝導度境界を形成して、地電流の南北成分をせき止めていると説明した。このモデルは深度方向には2km程度の不均質であり、この地下構造が周期5日以上の電磁誘導が浸透する約800kmの深度スケールまで顕著な影響を与えているとすると、地下構造やGICの推定にとって考慮すべき事情となる。今後、Forwardモデルによる確認を行う予定である。

柿岡、鹿屋、女満別の3地点での地電位差データについて調べた結果から、GICの推定に利用する場合について考察してみる。3地点とも、GICの主要な周期帯である数百秒以下では、擾乱時に地磁気変化に対応した変化をしており、基本的には誘導電場の推定に利用できる。しかし、基線長が短いため、誘導電位が十分増幅されず、電極周辺に起因する変化が、特に柿岡では頻発する。電極関係の変化を誤解する事例を防ぐためには、基線長を長くするか、電極周りの環境変化対策を行うなどの観測の手直しが必要だろう。また、観測点によっては局所的な影響が非常に強く、地域の平均的な誘導電場を推定するには誤差が大きい。予め局所的な影響を調べておく必要がある。

キーワード: 地電場, 電磁誘導, 地磁気誘導電流, MT 応答関数

Keywords: geoelectric field, induction, geomagnetically induced current, MT response

MT 法探査とソースフィールド Magnetotelluric method and the source field with finite wave number

小川 康雄^{1*}
OGAWA, Yasuo^{1*}

¹ 東京工業大学火山流体研究センター
¹ Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

MT (magneto-telluric) 法は現在では地殻や上部マントルの構造の研究のために広く使われ、近年では3次元構造がルーチ的に解析できるにまで至っている。MT法のソースは通常平面波として仮定されている。しかしながらソースが有限長の波長を持つ場合には、電磁場の比として定義されるインピーダンス(そこから計算される見掛け抵抗と位相)と、地磁気変換関数は影響を受ける。単純に、一様な比抵抗を持つ大地に有限長の波長を持つソースが入射する場合について計算すると、平面波を仮定して計算される見掛け抵抗は下方にバイアスされ、位相は増える方向にバイアスされる。また地磁気変換関数は、その位相が $\pi/4$ になり、実部と虚部が等しくなる。

実際の高緯度地域や磁気赤道地域で行なわれた MT 観測データについても、レビューする。

キーワード: MT 法, ソースフィールド
Keywords: magnetotelluric method, source field

電離層電流の地電流電磁的結合：非一様・非等方性伝導度の効果
Electromagnetically coupled system between non-uniformly and anisotropically conducting inner earth and upper atmosphere

吉川 顕正^{1*}
YOSHIKAWA, Akimasa^{1*}

¹九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
¹International Center for Space Science and Education, Kyushu University

Electromagnetically coupled system between upper atmosphere and inner earth, is discussed. It is well known that upper atmosphere and inner earth system is electromagnetically coupled across very small conducting atmospheric region, which means 'primary' induced electric field produced by the mutual coupling is almost inductive (divergence free). However if the conductivity distribution is inhomogeneous, 'secondary' polarization (curl-free) electric field can be produced at the region of conductivity gradient. In the ionosphere, non-uniform Hall conductivity distribution induces the Hall polarization field, which becomes cause of current concentration and potential deformation by the Cowling effect. Formation of Cowling channel is one of the most important and peculiar nature of weakly ionized system under strongly background magnetic field distribution.

In this presentation, we will introduce basic feature of electrodynamics at the non-uniform and anisotropically conducting ionosphere, and will discuss a possible electromagnetic coupling mechanism when the telluric conductivity distribution is non-uniform and anisotropic.

キーワード: 電離層電流, 地電流, 電磁結合系

Keywords: ionospheric current, telluric current, electromagnetically coupled system

磁気嵐による地球内部電磁誘導の全体分布 The distribution of the internal geomagnetic field during a magnetic storm

岩下 耕大^{1*}; 藤 浩明²
IWASHITA, Kodai^{1*}; TOH, Hiroaki²

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism,

磁気嵐時の地上で観測した磁場データを用いて、磁気ポテンシャルのガウス係数を求め、それから地球内部に流れる電流を推定する。

地表で観測される磁気嵐には、突発性のもの太陽の自転周期と同期したものの二種類がある。では地球は、この様な強い外部磁場擾乱に対し、どのような応答を示すのだろうか。

今回は、導体としての地球が、巨大磁気嵐のような強い磁気変化に対し、どのくらいの誘導電流を作るかを、球面調和関数展開と地球内部電磁誘導の三次元時間領域順計算コードを使って定量的に見積もった。球面調和関数展開では、地磁気センターに保存されている海底を含む地表の地磁気観測網データを使用し、それぞれの擾乱現象毎に地球磁場の内外分離を行う。また、三次元電磁誘導計算では、球面調和関数展開で求めた外部ガウス係数の時間変化を用い、磁気嵐の際に地球内部に誘導される電流を可視化、定量化する。

この研究では、巨大磁気嵐の際に地表付近のどの程度誘導電流が流れるかや、求めた内外比から導体地球の電気伝導度を推定するといった展開が考えられる。

キーワード: 誘導電流, 磁気嵐

Keywords: induced current, magnetic storm

キャリントンストームはなぜ急速に回復したのか？ Why did the Carrington storm recover very rapidly?

桂華 邦裕^{1*}; 海老原 祐輔²; 片岡 龍峰³
KEIKA, Kunihiro^{1*}; EBIHARA, Yusuke²; KATAOKA, Ryuho³

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 国立極地研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ³National Institute of Polar Research

1859年9月2日に発生したキャリントン磁気嵐は、その規模と発達率はそれぞれ1時間平均値換算で約850 nT、約400 nT/hと極めて大きい。巨大地磁場変動は磁気嵐主相だけにとどまらず回復相にも見られ、回復率はインドのボンベイで1000 nT/h以上、1時間平均値でも300 nT/h以上に達した。20世紀および21世紀初頭に観測された巨大磁気嵐も、他の平均的な磁気嵐に比べ回復率が大きい。

磁気嵐の発達は、太陽風速度や密度、惑星間磁場の大きさや向きに大きく依存する一方で、磁気嵐の回復は地球内部磁気圏での物理プロセス、特にプラズマ圧を減少させるプロセスが重要な役割を担う。これまで提唱されているプロセスとしては、(1)電荷交換反応による酸素イオンの中性化、(2)イオンの磁気圏外への流出、(3)EMIC波動との相互作用に伴うピッチ角散乱による大気への降り込み、などが提唱されている。また、(4)もし磁気嵐のピーク時周辺で太陽風動圧が急激に増加すれば、磁気圏界面電流の増強により磁気嵐の回復がより速くなると考えられている。

本講演では、太陽風データが入手可能な巨大磁気嵐 (Dst minimum < -200 nT) の回復相に着目し、太陽風パラメータとDst指数との相関を示すBurton経験則を修正することで、太陽風密度変動に関連するイオン流出過程で速い回復を説明できるかどうか調査する。また、電荷交換反応のみで再現するために必要な酸素イオン量、波動粒子相互作用のみで説明するために必要なEMIC波動活動領域の広さ、磁気圏界面電流の急増のみで説明するために必要な太陽風動圧変化、をそれぞれ見積もる。その上で、キャリントンイベントのような超巨大磁気嵐の回復相では磁気圏内で何が発生し得るか、どの程度大きな磁気嵐回復率、すなわち地上磁場時間変動を作り出すことができるか議論する。

キーワード: キャリントンイベント, 巨大地磁気誘導電流, 環状電流, 磁気圏界面電流, 惑星感空間衝撃波, コロナ質量放出
Keywords: The Carrington event, Geomagnetically induced currents (GICs), Ring current, Magnetopause current, Interplanetary shocks, Coronal mass ejections (CMEs)

誘導電流の考察——地磁気急始変化 (SC) の場合 Consideration of geomagnetically induced currents — a case of geomagnetic sudden commencement(SC)

荒木 徹^{1*}; 新堀 淳樹²

ARAKI, Tohru^{1*}; SHINBORI, Atsuki²

¹ 中国極地研究所, ² 京大生存圏研究所

¹Polar Research Institute of China, ²RISH, Kyoto University

Siscoe et al. (1968) は、地磁気急始変化 (SC) の H 成分振幅 ΔH と太陽風動圧 P_d との関係を、 $\Delta H = f g k \Delta(\sqrt{P_d})$ と仮定し、実験的に比例係数 k を求めた。ここで、 f は、太陽風と磁気圏の相互作用に関わる係数 (1-2 の値を取る) で、 g は地下誘導電流効果を表し、1.5 と取られた。力武先生は、「SC には、誘導電流が効く筈ですよ」と言っておられたが、その後も誘導電流効果の理解は進まなかった。ここでは、今の SC モデルの下での物理的考察を深めたい。

SC(H 成分) 波形の汎世界的分布を眺めると、SC の擾乱場が、低緯度で卓越する階段状増加 (DL と記す) と、高緯度で大きい 2 パルス構造 (DP_{pi} + DP_{mi} と表す) の重畳になっていることが判る。pi は、最初のパルス (preliminary impulse) を、mi は、引き続く主パルス (main impulse) を表す。DL 場の主たる源電流は、磁気圏圧縮時に強化される磁気圏界面電流 (MC) であり、DP 場は、圧縮に伴って生じる沿磁力線電流 (FAC) と、それによる電離層電流 (IC) によって作られる。したがって、SC 時の誘導電流を作る源電流としては、MC、FAC、IC の 3 種を考えねばならない。FAC は、ほぼ南北方向に流れるので、H の変化に着目する時は無視できる。

電離層は海水と同程度の電気伝導度を持つから、MC の誘導電流は電離層と地球内部の両方に流れる。地上場は、地球内部誘導電流によって強められ、電離層誘導電流によって弱められるから、DL 場に対する誘導電流効果は、大きくないとして良いであろう。DP 場を作る IC の誘導電流は、地球内部のみに流れるから、DP 場はそれにより強化される。

日本付近の緯度での H と D の SC 振幅は、8hLT 頃で、H は最小に、D は最大になる。一方、現実的電離層分布を与えて、極地方に出入りする一対の FAC による IC の緯度 LT 分布を計算すると、中低緯度の 8hLT 頃では電流が南北方向に流れる事が判る。つまり、観測と計算の結果は一致して、8hLT 付近で観測される SC(H) は、IC にも FAC にも影響されない DL 場であり、かつ、これには誘導電流も大きな影響を与えないと考えられる。

このように、SC の緯度 LT 分布と源電流の理解が、誘導電流効果の考察に必要なになる。

キーワード: 地磁気急始変化 (SC), 誘導電流, 電離層電流, 磁気圏界面電流, DL/DP 場

Keywords: sudden commencement, induced current, ionospheric current, magnetopause current, DL/DP-field

地磁気誘導電流に現れる準周期 DP2 変動 Quasi-periodic DP2 fluctuations in the geomagnetically induced currents

菊池 崇^{1*}; 亘 慎一²; 橋本 久美子³; 海老原 祐輔⁴

KIKUCHI, Takashi^{1*}; WATARI, Shinichi²; HASHIMOTO, Kumiko³; EBIHARA, Yusuke⁴

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 情報通信研究機構, ³ 吉備国際大学, ⁴ 京都大学生存圏研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Kibi International University, ⁴Research Institute for Sustainable Humanosphere

GIC(Geomagnetically induced current) は地磁気南北成分 B_x の時間変化による誘導電流と理解されているが、北海道で測定された GIC が東西成分 B_y とよい相関関係にあることが Watari et al. [Space Weather 2009] により示された。一方、GIC に日変化や季節変化のあることが報告され、太陽放射の影響を受けて日変化や季節変化する電離圏電流のリターン電流である可能性が指摘された [Braendlein et al., JGR 2012]。Braendlein et al. [JGR 2012] は、Kikuchi and Araki[JATP 1979] が提案した Earth-ionosphere waveguide(EIW) モデルを応用して、GIC が TM0 モード波が誘導する地面電流である可能性を指摘した。KA1979 モデルによると、TM0 モードの波面電流が地面電流と電離圏電流をつないでおり、地面電流は電離圏電流のリターン電流とみなすことができる。しかし、KA1979 モデルは半無限長の導波管を仮定しているために、TM0 モード波が光速で低緯度方向へ伝搬する途中の過渡的な電流系を実現しているが、実際の電離圏電流や GIC は準定常電流であり、準定常電流が TM0 モード波の波面電流で結合するかどうかが課題であった。この問題を解決するために、Kikuchi[JGR 2014] は有限長伝送線理論を適用して、TM0 モード波が高緯度と赤道の間を繰り返し伝搬することにより電流が時間とともに増加し、1 秒から 10 秒程度の時定数を持って電離圏と地面に準定常電流を流すことを示した。本研究では、2006 年 12 月 14 日に発生した太陽風磁場の周期変動に起因する DP2 地磁気変動に伴う GIC を解析し、Kikuchi[JGR 2014] の MIG(magnetosphere-ionosphere-ground) 伝送線モデルが示すように、磁気圏から極域電離圏さらに赤道電離圏へ流入する電流のリターンとして中緯度 GIC を理解できることを示す。解析した DP2 変動は 2006 年 12 月 14 日 21 - 23UT の時間帯で発生し、周期 40 分の赤道ジェット電流 EEJ の振動を伴った。EEJ の振動は IMF の周期振動に対応し、R1FACs(領域 1 型沿磁力線電流) と R2FACs が交互に赤道電離圏へ流入することで発生した [Kikuchi et al., JGR 2010]。EEJ 振動は、午前に位置する中低緯度 (Para Tunka, Memambetsu, Kakioka) の地磁気 D 成分の振動と正相関にあり、電離圏電流が高緯度から午前の中低緯度を経て赤道へ流入したことを示している。一方、北海道で測定された GIC は中低緯度地磁気 D 成分と正相関にあり、したがって、赤道 EEJ とも正相関にあることが明らかになった。この結果は、中緯度 GIC が地面電離圏導波管の TM0 モード波の波面を経由して地面へ流入するリターン電流とみなすことができることを示している。また、磁気圏から地面まで電流が流れる MIG 伝送線回路が現実に機能することを示している。

キーワード: 中緯度地磁気誘導電流, 中緯度磁場 D 成分, 赤道ジェット電流, 地面電離圏導波管 TM0 モード波

Keywords: midlatitude geomagnetically induced current, midlatitude D-component magnetic field, equatorial electrojet, TM0 Earth-ionosphere waveguide mode

太陽型星におけるスーパーフレアの統計的性質 Statistical properties of superflares on solar-type stars

前原 裕之^{1*}; 柴山 拓也²; 野津 湧太²; 野津 翔太²; 本田 敏志³; 野上 大作²; 柴田 一成²
MAEHARA, Hiroyuki^{1*}; SHIBAYAMA, Takuya²; NOTSU, Yuta²; NOTSU, Shota²; HONDA, Satoshi³; NOGAMI, Daisaku²
; SHIBATA, Kazunari²

¹ 東京大学, ² 京都大学, ³ 兵庫県立大学

¹University of Tokyo, ²Kyoto University, ³University of Hyogo

太陽フレアは太陽大気中で起こる爆発現象で、典型的には $10^{29} - 10^{32}$ erg のエネルギーを解放する。近年の宇宙空間からの高精度の測光観測によって、太陽と似た恒星 (自転の遅い G 型主系列星) において、最大級の太陽フレアの 10 から 10000 倍ものエネルギーを解放する「スーパーフレア」が起こることが明らかとなった。

我々はケプラー衛星による高時間分解能 (時間分解能 1 分) の約 1300 個の太陽型星のデータの解析を行ない、20 天体における約 150 個のスーパーフレアを新たに検出した。検出されたフレアのエネルギーは $10^{33} - 10^{35}$ erg (GOES クラスで X100 から X10000 の太陽フレアのエネルギーに相当する) だった。これらのフレアのデータと、時間分解能の低いデータから検出したスーパーフレア (279 星で 1547 フレア) の結果をあわせるとスーパーフレアの発生頻度分布は指数-2 のべき関数分布となることがわかった。さらに、自転周期 10 日以上、表面温度 5600-6000K の太陽と似た星におけるスーパーフレアの発生頻度分布と太陽フレアの発生頻度分布は、ほぼ同じべき関数の上にあることもわかった。これらの結果からスーパーフレアの平均発生頻度を求めると、 10^{33} erg のスーパーフレアで約 100 年に 1 回、 10^{34} erg のスーパーフレアでは約 1000 年に 1 回程度になる。また、スーパーフレアの継続時間はフレアで解放されるエネルギーに依存しており、太陽型星におけるスーパーフレアの継続時間はエネルギーの 1/3 乗に比例して長くなる傾向がみられた。これは太陽フレアの継続時間とエネルギーの関係と同様である。これらの結果は太陽型星のスーパーフレアと太陽フレアの統計的な性質が同様であることを示唆する。

キーワード: スーパーフレア, 太陽フレア

Keywords: superflare, solar flare

オーロラジェット電流指数の極値統計解析 Extreme value statistics analysis of the auroral electrojet indices

中村 雅夫^{1*}; 米田 麻人¹; 坪内 健²
NAKAMURA, Masao^{1*}; YONEDA, Asato¹; TSUBOUCHI, Ken²

¹ 大阪府立大学, ² 東京工業大学
¹Osaka Prefecture University, ²Tokyo Institute of Technology

The worst space environment phenomena have a possibility of damaging electric transmission grids due to large induced currents on the earth and causing satellite anomalies due to increased high energy plasma on satellite orbits. Therefore a statistical study of the worst substorm events is important. For the study, we utilize extreme value statistics, which focus on the statistical behavior in the tail of a distribution. We analyze the one-minute values of the auroral indices (AE, AU, AL) in 1996-2012. These indices are derived from geomagnetic variations in the horizontal component observed at twelve observatories along the auroral zone in the northern hemisphere. The AU and AL indices are the uppermost and lowermost envelopes of the superposed horizontal component perturbations, and are thought to represent the maximum eastward and westward electrojet currents over the auroral zone, respectively. The AE index is defined by the separation between the upper and lower envelopes ($AE=AU-AL$) and commonly used as an index of the aurora activity. As a result of the analysis, we can estimate the upper limit of AU and the lower limit of AL, which suggests the maximum strengths of the eastward and westward electrojet currents. However, it is found that the AE index is not suitable for the extreme value statistics analysis, because it is a combined index. The largest values of AE are not generated by a single process and do not show a simple extreme value distribution.

キーワード: オーロラジェット電流指数, 極値統計
Keywords: Auroral electrojet index, Extreme value statistics

柿岡・女満別・鹿屋の地磁気変動量の統計的推定
Statistical estimations of geomagnetic disturbances at Kakioka, Memambetsu and Kanoya

源 泰拓^{1*}; 藤田 茂²; 仰木 淳平¹; 原 昌弘¹
MINAMOTO, Yasuhiro^{1*}; FUJITA, Shigeru²; OOGI, Junpei¹; HARA, Masahiro¹

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 気象庁気象大学校

¹Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, ²Meteorological College, Japan Meteorological Agency

巨大地磁気誘導電流を引き起こす地磁気擾乱の規模について、気象庁による地磁気観測データの統計解析を行った。

1. 柿岡における 1932 個の磁気嵐観測例から、千年に一度生じうる磁気嵐の規模を推算した。
2. 柿岡・女満別・鹿屋における、各々 2848 個、2408 個、2257 個の storm sudden commencements、sudden impulses 観測例から千年に一度生じうる現象の規模を推算した。
3. 柿岡・女満別・鹿屋における、約 30 年間の地磁気毎分値から、地磁気変動量の統計的特性を見出し、起こりうる顕著な変動量を検討する。

キーワード: 磁気嵐, si, ssc, 統計値, 地磁気観測所

Keywords: magnetic storm, sudden impulse, storm sudden commencement, statistics, magnetic observatory

日本における地磁気誘導電流測定データの解析 Analysis of geomagnetically induced current measured in Japan

巨 慎一^{1*}
WATARI, Shinichi^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Informaton and Communications Technology

地磁気嵐に伴う地磁気誘導電流により送電網に障害が発生する可能性があることが知られている。地理緯度に比べて、地磁気緯度の低い日本では、その影響は、小さいと考えられている。しかし、日本と同じくらいの地理緯度の南アフリカ共和国で、2003 年 10 月の大きな地磁気嵐の際に、地磁気誘導電流の影響によりトランスが焼損した事例が報告されている。2005 年から 2007 年にかけて北海道電力の協力を得て女満別の変電所のトランスで地磁気誘導電流の測定を行った。このデータと気象庁女満別観測所の地電流測定による電場データとの比較を行った。その比較結果を基に電場の観測データを使って過去の大きな地磁気嵐に伴う地磁気誘導電流の評価を行った。その結果について報告を行う。

キーワード: 地磁気誘導電流, 地磁気嵐, 地電流, 電力網, 宇宙天気

Keywords: Geomagnetically Induced Current, geomagnetic storm, earth current, power grids, space weather

グローバルMHDシミュレーションを用いた太陽風動圧の大きな急上昇に対する磁気圏応答
Global MHD simulation of the magnetospheric response to large and sudden enhancement of the solar wind dynamic pressure

久保田 康文^{1*}; 片岡 龍峰²; 田光江¹; 田中 高史³; 長妻 努¹; 藤田 茂⁴
KUBOTA, Yasubumi^{1*}; KATAOKA, Ryuho²; DEN, Mitsue¹; TANAKA, Takashi³; NAGATSUMA, Tsutomu¹; FUJITA, Shigeru⁴

¹ 情報通信研究機構, ² 国立極地研究所, ³ 九州大学, ⁴ 気象大学校
¹NICT, ²NIPR, ³Kyushu University, ⁴Meteorological College

A large and sudden enhancement of the dynamic pressure in the solar wind generates a geomagnetic sudden commencement (SC). The magnetic field variation of SC at auroral latitudes shows a bipolar change which consists of preliminary impulse (PI) and main impulse (MI). Fujita et al. [2003a, 2003b] reproduced the PI/MI magnetic field variation using a magnetosphere-ionosphere coupling simulation and clarified the fundamental mechanisms. Interestingly, Araki et al. [1997] reported an anomalously large-amplitude SC of more than 200 nT with an unusually spiky waveform at low latitude, which occurred when the magnetopause was pushed inside geostationary orbit. Such a super SC is the target of this study. We investigate the large-amplitude SC at auroral latitudes when a large solar wind dynamic pressure impinges on the magnetosphere using a newly developed magnetosphere-ionosphere coupling simulation which has advanced robustness. We simulate two SC events of dynamic pressure enhancement of 16 times larger than the standard value, caused by the density enhancement and velocity enhancement, respectively. As an initial result of the comparison with the SC events, it is found that magnetic field variation of PI/MI is larger and sharper in the case of velocity rise than the case of density rise. It is therefore suggested that high-speed solar wind may be needed to create large and sharp SC. It is also found that a magnetic field variation similar to so-called Psc appears after PI/MI only in the case of velocity rise. When the high-speed solar wind impinges on magnetosphere, vortices are repeatedly formed at the equatorial magnetopause, probably due to the K-H instability. It seems that the high pressure of the vortices play an essential role as a current generator to drive the field-aligned currents and the magnetic field oscillation. In this presentation, we discuss the mechanisms of super SC in more detail, combining the other interesting simulation results.

地震で励起された電磁波の地上への放射確認 Radiations of earthquake-excited electromagnetic waves from the ground

筒井 稔^{1*}
TSUTSUI, Minoru^{1*}

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部
¹ Kyoto Sangyo University

京都産業大学では以前から地中で電磁波が励起されるかどうかを確かめるための観測研究を行ってきたが、周波数が数 kHz については殆ど全てが雷放電によるもので、地中起源の電磁波は全く見つける事が出来なかった。しかし、2011年の12月から検出対象周波数を25 Hz以下にしたところ、電磁波観測点での震度が1以上であれば地震により励起された電磁波を検出できる事を確認した。そして2013年の3月以降、地震励起電磁波と地震波の波形同時観測を行ってきた結果、地震波が伝搬している近傍では常に電磁波も励起されている事を示した[1]。通常、地中媒質の電気伝導度が高いために、残念ながら励起された電磁波は遠距離まで伝搬出来ないが、この様な低い周波数(20Hz程度)の電磁波は地中でもある程度伝搬出来る事が明らかとなって来た。

一方、本観測研究では、地中観測に加えて、電磁波センサーを地上にも設置して、観測を行ったところ、地震に伴って励起された電磁波が地上に容易に放射している事が明らかとなった。震源が電磁波観測点に近い場合は、地中を上昇してくる地震波とそれに伴って励起された電磁波が先ずボアホール内で検出され、その後僅かな時間遅れをもって地上でも検出される。2013年12月25日の03:57に電磁波観測点の北方5.4kmの深さ約10kmで地震が発生した。この時の震源は電磁波観測点から伏角が約60度の方向にあったため、地震波はほぼ上方に向かって伝搬してきた。この時、電磁波観測点ではFig. 1に示すように、(a)地震波の東西方向成分(S_{ew})と、同時に励起された(b)電磁波の磁界東西方向成分(H_{ew})の波形が検出された。更にこの観測点から東南に約600m離れた標高差60m丘の上に設置した電磁波センサーは電磁波の磁界3軸方向成分を検出しており、その内の東西方向成分(H_{ew})の波形を同図(c)に示している。これは地中ボアホール内で検出されてから0.257秒後に検出された。この結果から、地中で励起された電磁波が容易に地上にも放射されている事が確実となった。これがMT法での測定でもco-seismic信号として検出される理由である。ところが同図(b)および(c)から判るように、地上での波形の変動周期が地中のそれに比べて長くなっている事など様々な違いがあるため、この様な状況を引き起こす電磁波の地中から地上への放出機構等については今後の調査が必要である。

一方、震源が電磁波観測点から遠方にある場合は、電磁波を放射しながら進む地震波が電磁波観測点に到達する前に、電磁波が地表から放出される場合もある。その場合電磁波は地上空間を光速で伝搬し、先に電磁波観測点の地上センサーで検出される。一方地中では、地震波(S波)が伝搬してきて電磁波観測点に達した時点で電磁波がボアホール内で検出される。2013年4月13日の03:33:17.7 JSTに兵庫県淡路島の地下14.8kmで発生したM6.3の地震の場合はこの事例に当たる。この震源は電磁波観測点から115km離れており、ボアホール内での電磁波検出よりも13.063秒も早く、地上の電磁波センサーで検出されていた。

上記の例は地震発生以降の地震波(P-およびS波)により岩盤内での圧電効果の結果放射された電磁波と考えているが、これまで地震発生と同時に電磁波パルスが検出されていないのが大きな疑問である。次は地震発生と同時に励起される電磁波の有無を確認する事が必要である。そして最終目標である地震発生予測のための観測研究として、地震発生以前に発生する電磁波を見つける事である。地震発生前に電磁波が励起される可能性については、岩石への衝撃印加実験による電磁波励起の現象が良いヒントを与えてくれている。そのためには、電磁波センサーの感度を更に向上させ、更に地中深くに挿入する必要がある。

[1] M. Tsutsui, submitted to IEEE Geoscience, Letters, 2014.

キーワード: 地震波, 電磁波, 地中・地上観測, 電磁波地上放射

Keywords: seismic wave, electromagnetic wave, observations above and under ground, EM wave radiation from the ground

MIS29-01

会場:313

時間:4月29日 14:15-14:30

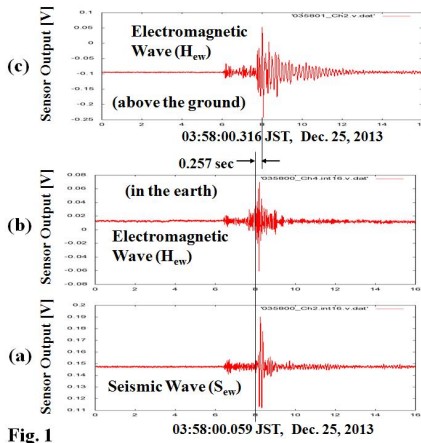


Fig. 1

日高地方における VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係性についての統計的考察 A statistical study for relationship between anomalous transmission of VHF band radio waves and earthquakes at Hidaka

森田 笙^{1*}; 茂木 透¹
MORITA, Shou^{1*}; MOGI, Toru¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター
¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

地震発生前に電磁気現象が観測されることが知られており、その例として、地電流の変化、電離圏の状態変化、電波の伝播異常などの現象が観測されている (Hayakawa, 1996).

観測される異常が地震活動とどのように関連しているのかについて、統計的な考察が行われてきた (Liu et al., 2011; Orihara et al., 2012).

その中で VHF 帯での電波伝播異常現象も注目されており (Kushida and Kushida, 2002), 地震発生前にその震央付近において FM 放送波の散乱波が観測されることが確認されている (Moriya et al., 2010). 観測された散乱波の継続時間の総和と、発生するマグニチュード、最大震度、震源の深さに対しては定量的な関係が示唆されている (Moriya et al., 2010).

しかし、これまでこのような VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係性については、定量的な考察は検討されていない。本研究では、北海道大学で観測を行っている VHF 帯電波伝播異常データについて、地震発生との関係について統計的な考察を行った。

2012年6月1日~2013年12月31日の間にえりも観測点で記録されたデータについて、Liu et al.(2011)の電子数異常検出手法を参考にし、観測期間の変動値の中央値から一定程度大きい変動を異常として扱う、統計的な手法を用いて異常現象の検出を実施した。その結果、電波伝播異常が検出された後、あらかじめ設定した期間内に地震活動が観測された例もあるが、異常現象のみ発生し地震の発生がなかった「空振り」、あるいは異常が発生せずに地震活動が発生した「見逃し」の例も検出された。異常として検出する基準を厳しく設定すると、「空振り」の数は減少した。また、夏季には、頻繁に出現するスプラディック E 層等のノイズによって、地震とは関係のない電波異常が発生することがあり、その影響を除く方法を考える必要がある。

データを解析した期間にえりも観測所から震央距離 50km 以内において発生した M4 以上の地震について、異常に伴って検出された地震活動のうち、海底で発生したものは、内陸での地震活動よりも比較的マグニチュードの小さな地震であった。

今後の課題は、他の期間において同様の手法を用いることにより、その有意性を検討し、さらに今回設定した閾値もいろいろな値をとることによって統計的考察を進め、さらにスプラディック E 層などによる雑音の除去方法を検討する。このような検討を基に、地震発生と電波伝播異常との関連性による予知確率を考察する。

キーワード: 電離圏, 伝播異常, 地震関連電磁波

Keywords: ionosphere, anomalous transmission, relation with earthquakes

2011 東北沖地震の GPS-TEC 前兆異常に同期した地磁気偏角変動 Preseismic geomagnetic deflection synchronized with GPS-TEC enhancement 2011 Tohoku-Oki earthquake

日置 幸介^{1*}
 HEKI, Kosuke^{1*}

¹ 富山県工業技術センター
¹ Toyama Industrial Technology Center

2011 東北沖地震の約 40 分前から TEC 増加が確認された (Heki 2011)。この変動と同期した地磁気偏角の+変動が江刺、水沢、柿岡など東北沖の震源域近くの国土地理院ならびに気象庁の観測地で記録された (Heki & Enomoto 2013)。これら TEC や地磁気偏角の同時変化は AGU が提示した Wyss(1991) の前兆判定規準を満足している。

図 1 に [江刺]-[鹿屋] の地磁気水平成分 H と偏角 D の変動を示した。江刺での水平成分 H の平常値は 29037nT で磁北は真北から西に 6.9° 振れている。それが地震発生の約 40 分前から+ (東側) に変動し、地震直前時には+0.32 分 (9.31×10^{-5} rad) となった。地震前兆の変動分を $|\Delta B|$ とすると、 $\Delta D \ll 1$ なので、

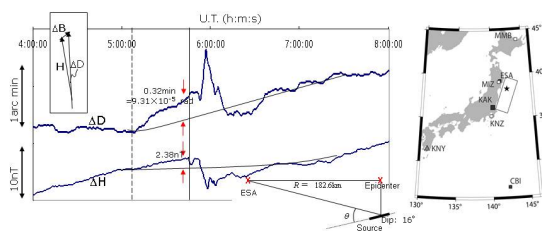
$$|\Delta B| \approx |H| \cdot \Delta D$$

の関係が成り立つ。この関係から $|\Delta B| \approx 29037\text{nT} \times 9.31 \times 10^{-5} \text{ rad} = 2.70\text{nT}$ となり、 $|\Delta H|$ にもその程度の変動 ($\approx 2.38\text{nT}$) が確認できる。

深層ガス圧力で強制されて発生する震源核電流モデル (Enomoto 2012) を 2011 東北地震パラメータ (震源核電流 170kA、クラックギャップ: 0.1035mm、断層傾斜角 16°) を用いて、電流源を直線電流長さを震源核サイズとしてビオサバル則により発生する磁場を計算すると江刺 (震源から 181km) で 1.78nT となり、観測値 2.38nT とほぼ一致した。

キーワード: 東北沖地震, 前兆現象, 地磁気, 偏角, GPS-TEC, モデリング

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, Precursor phenomena, Geomnetic, Declination, GPS-TEC, Modelling



再び地震直前の電離圏電子数上昇について：移動性の識別と受信機周波数間バイアスの推定 Preseismic ionospheric electron enhancements, revisited : Discrimination from TID and interfrequency receiver bias estim

日置 幸介^{1*}
HEKI, Kosuke^{1*}

¹ 北海道大学理学研究院自然史科学
¹Dept. Natural History Sci., Hokkaido University

日置 (GRL 2011) は、GNSS 観測に基づき、東北沖地震を含む M9 クラスの地震の約 40 分前から電離圏全電子数 (TEC) が上昇することを報告した。それに関して Kamogawa & Kakinami (JGR 2013) は、津波によって生じる地震後の TEC 急減と、地磁気活動による TEC の非地震性のゆらぎの双方の効果で生じた見かけの変化であると主張した。その後、Heki & Enomoto (JGR 2013) は、鉛直 TEC (VTEC) と他センサー (イオノゾンデ、地磁気偏角、GPS 掩蔽) のデータを用いてこれに反論し、かつ非地震性の TEC 変動を判別する可能性について論じた。本講演では地震直前の電子数上昇に関して残された諸問題から、(1) 地磁気活動に起因する移動性擾乱との識別、(2) 鉛直 TEC の計算に必要な受信機固有周波数間バイアスの国外局での推定、(3) 中緯度域と赤道域での TEC 上昇量の違い、(4) 地震前の上昇と地震後の TEC 減少との量的関係、等について論じる。図の説明と参考文献は英語版参照のこと。

1. 移動性擾乱との数値的識別

地震と関係ない TEC の変動は珍しくないが、半球スケールで発生する太陽フレアによる TEC 急増と、空間スケールが数十 km 以下と小さいスポラディック E (Maeda & Heki, Radio Sci. 2014) に関しては、それらの識別は難しくない。

磁気嵐に伴ってオーロラ帯で励起された内部重力波は、大規模移動性電離圏擾乱 (LSTID) として日本列島に南下してくる。これらは数百キロから千キロにおよぶ空間スケールを持つため、移動性の有無から地震直前の異常と識別する必要がある。本講演では日本列島に沿って適当な数選んだ GNSS 局の TEC 時系列間で相互相関をとる数値的手法について論じる。それらの発生を日本列島北部で把握することによって、日本列島中央部で発生した TEC 異常が、それらが伝搬したものであることを自動的に判別する方法を探る。

2. 受信機内周波数間バイアスの推定

GPS で観測される斜め TEC には衛星の移動に伴う見かけの変化が含まれ、実際の変化の直観的把握が難しい。Heki & Enomoto (2013) では、電子航法研究所が日々公開している受信機固有および衛星固有の周波数間バイアスと、コードと位相の比較から求めた整数値不確定性を補正の上、F 層への入射角の余弦をかけて求めた VTEC の時系列を議論することで、この問題を回避した。本講演では、受信機固有の周波数間バイアスが公開されていない国外局について、全球電離圏マップ (GIM) 等を用いてそれらを簡便に求める手法について論じる。さらにそのようにして求め周波数間バイアスを用いて計算した、2007 年や 2012 年のスマトラ島周辺の巨大地震や 2010 年マウレ地震直前の VTEC 変化を議論する。

3. 中緯度域と赤道域の比較

これまでに発生直前に TEC 異常が見られた地震における、代表的な TEC 時系列の例を添付の図に示す。Heki (2011) 以降に解析した地震としては、2007 年ブンクル地震 (Mw8.5) と 2012 年北スマトラ沖地震 (Mw8.6) とその最大余震 (Mw8.2) が含まれている (Cahyadi & Heki, JGR 2013)。2004 年スマトラ・アンダマン地震 (Mw9.2) を含めると、これらの赤道域で発生した地震の前の TEC 異常は、日本やチリなどの中緯度域で発生した異常より一回り大きいように思われる。赤道域では本来の TEC が大きく、かつ地磁気伏角が浅いため電離圏内で電子が水平移動しやすい。これら二点が大きな振幅に影響している可能性を議論する。

4. 地震前の TEC 上昇と地震後の TEC 減少との量的関係

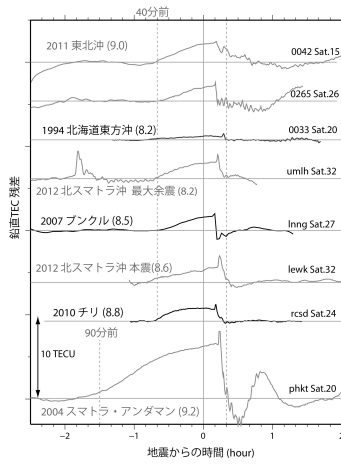
Shinagawa et al. (2013 GRL) は、地震約 10 分後に音波が到来した後に、電子数が短いパルス状の増加を見せた直後に減少する事について、数値計算によってモデル化した。地震前の上昇と地震 10 分後の減少は違う物理現象に基づいており、それらの量が短い時間スケールで厳密に一致する (減少後の TEC が前兆開始前の状態に戻る) 可能性は低い。2004 年スマトラ・アンダマン地震や 2007 年ブンクル地震の例では、地震後の急減が過剰であるためある種の overshoot が見られ、その後減衰振動を繰り返しながら本来の太陽天頂角に見合った量に収束する様が見える。逆に 2012 年スマトラ北東沖地震のように減少不足で 10 分以上かけて徐々に本来の状態に戻るように見える地震もある。

キーワード: GNSS, GPS, 電離圏, 地震, 前兆, 全電子数
Keywords: GNSS, GPS, ionosphere, earthquake, precursor, TEC

MIS29-04

会場:313

時間:4月29日 15:00-15:15



災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の決定過程
A Decision Process of the Observation and Research Program of Earthquakes and Volcanoes

児玉 哲哉^{1*}
KODAMA, Tetsuya^{1*}

¹ 児玉 哲哉
¹Tetsuya KODAMA

平成 21 年から 5 ヶ年計画で実施された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の次期計画が「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」となった審議過程について報告する。

キーワード: 測地学分科会, 地震火山部会, 次期研究計画検討委員会

Keywords: Subdivision on Geodesy and Geophysics, Earthquake and Volcanoes Subcommittee, Next Research Program Review Committee

2014年度から開始される大学の「予知研究」における全国連携課題 New coordination program of next "earthquake prediction research" based on the electro-magnetic methods

長尾 年恭^{1*}; 児玉 哲哉²
NAGAO, Toshiyasu^{1*}; KODAMA, Tetsuya²

¹ 東海大学地震予知研究センター, ² 宇宙航空研究開発機構
¹Earthquake Prediction Research Center, Tokai University, ²JAXA

2009年度より5ヶ年計画で開始された大学等の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」は2011年の東北地方太平洋沖地震の発生により、その計画の大幅な見直しが外部評価委員等から求められた。結果として2014年度からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」として実施される事となった。しかしながら我々は地震予知研究の本命は短期・直前予知以外にはないとの主張を従来から行なっている。このため、次期計画では短期・直前予知の電磁気学的な研究は東海大学から「全国連携課題」として提出することとなった。大学の予知協議会メンバーからは北海道大学、東大地震研および九州大学が参加し、それ以外にも東京学芸大、電気通信大、千葉大、中部大等に協力を要請している。

具体的にはV L F帯パルス電磁波観測、V H F帯散乱観測およびD C - U L F帯の観測に特化して観測的研究を実施する。またそれ以外にも各種衛星データの活用を始め、G P S - T E C解析なども組織的に実施し、先行現象を用いてどの程度予測精度（確率利得）を向上させられるかを明らかにしていく。

キーワード: 地震予知, 電磁気学, V L F, V H F
Keywords: Earthquake Prediction, Electromagnetics, VLF, VHF

地震電磁気現象の総括と地震予知学 Review of seismo-electromagnetics and earthquake predictology

早川 正士^{1*}
HAYAKAWA, Masashi^{1*}

¹ 電気通信大学
¹University of Electro-Communications

This paper consists of a few parts. The 1st part deals with the review of electromagnetic precursors to the 2011 Japan earthquake (EQ). The 2nd part is based on the general review of seismo-electromagnetics, and the 3rd, the proposal of a new science field of EQ predictology. In the 1st paper we present our own results on electromagnetic precursors to the 2011 EQ, including (1) subionospheric VLF/LF propagation anomaly, (2) ULF (ultra-low-frequency) magnetic field depression, and (3) atmospheric VLF/ELF radiation. The 2nd part deals with the present situation of seismo-electromagnetics (DC geoelectric measurement, ULF emissions, atmospheric effect and ionospheric effects), in which the ionospheric precursor has already been found to be statistically correlated with EQs based on long-term data. Finally, by using such EQ precursors we are ready to perform the short-term EQ prediction and to propose a new science field of EQ predictology.

キーワード: 地震前兆現象, 電磁気現象, 地震予知学, 電離層擾乱
Keywords: Earthquake precursors, Earthquake predictology

地震の予知情報を生かそう。 Let's make use of foretelling an earthquake information.

國廣 秀光^{1*}
KUNIHIRO, Hidemitsu^{1*}

¹JYAN 研究会

¹JYAN meeting for the study

1 JYAN 研究会 (地震予知アマチュアネット=ボランティア団体) の観測情報

(1) 私達の研究会は FM 放送電波の NET 観測を行っています。昨年 4 月に淡路島地震で決定的な前兆を記録しました。他にも多くの観測記録が集積され地震の経験則として高信頼化を進めています。

(2) JYAN 研究会は、低、中、短波帯迄の全周波数、FM 放送 100 波、アース電磁気の観測等 3 種類の観測網で高信頼化を進めています。それぞれの観測結果を照合すると相関関係があることが判ってきました。

(3) 全国的には、多種多様な地震観測が行われています。そこで、私達は、情報の集約とフィードバックを求め、観測情報の公開に向けて準備を進めています。

2 地震のメカニズム解明に資する電磁気観測を発表します。

(1) 地震の前に現れた電磁気変化 (2) 地震の数ヶ月前から現れる電波伝搬変化 (3) その他

3 「地震予知情報」が生きない原因は？

(1) 日本地震学会は「地震予知はたいへん困難です」と公表しましたが、地震の予知情報を発表できるまでに進展していません。そのため、未だ、直近の「地震予知情報」を出すことが出来ないのです。

(2) 地震情報には、パニックと情報責任が伴います。大地震の情報が発表されれば、地震に先駆けてパニックが心配され、また、地震情報が間違っていれば責任も問われます。従って、行政やメディアも手を出せません。

4 問題点と良い解決策は？

(1) 地震予報の正確化には、地震予知に必要な地震研究と観測技術の高度化が必要です。そこで、地震予知の可能性のある分野には、十分な研究と観測を行わせ予知技術の高度化を図る必要があります。また、地震研究は広範な学術分野の知識と協力が必要なため、学術研究や観測情報等をすべて統合可視化させ、新技術の開発を図ります。

(2) パニックと情報責任ですが、現在、都市の通勤ラッシュは毎日が異常事態ですから、少しの情報で大パニックを起こします。そこで、地震の警報情報はメディアと協力し台風情報と同じように地震の観測情報をそのまま公表し、いつでも自己判断で地震情報を利用できるように変えれば、パニックは抑えられ、尚且つ責任問題も起こりません。

5 理想的な地震予報を伝えるために (1) 正確な地震情報を公表するためには、正確な情報に必要なアースから宇宙までの研究と観測技術を高度化させ、正確な情報源を確保する事が必要です。このため最も効率的な方法として、地震予知コンテスト等を開催し国民的な研究機運を高め、可能性の高いアイデアや研究には報奨金や研究開発費を補助し研究を加速すれば、より正しい情報へと発展できるでしょう。

(2) 地震情報を正確にするためには、すべての観測情報を統合させ総合判断を下せる環境を作ることが必要なので、地震観測センター (仮称) を設立し、研究や観測情報を一元化させます。また、各観測現場に必要な情報をフィードバックすれば、より正しい地震観測情報となり、国民が頼れる地震予報を出すことができるでしょう。行政とメディアの協力があれば、より安全、安心な国に変わることができるでしょう。

JYAN研究会電磁波観測網(2014-1月)



地震先行電離圏異常の3次元可視化に関する研究 3-D visualization of the preseismic ionospheric anomalies

廣岡 伸治^{1*}; 服部 克巳¹; 市川 卓¹
HIROOKA, Shinji^{1*}; HATTORI, Katsumi¹; ICHIKAWA, Takashi¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Sci., Chiba Univ.

地震に先行して電離圏総電子数 (Total Electron Content; TEC) の異常が生じることが多くの研究者により報告されている。しかしながら、その物理機構は未だ明らかにされていない。TECはGPS衛星-地上受信機間の電離圏電子の積分量であるが、実際の電離圏は3次元的に大きく変動する。地震に先行する電離圏異常の物理機構を明らかにするためには電離圏の3次元構造とその時間変化を把握することが重要であると考えられる。

本研究では2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) をはじめとする複数の地震に対して、ニューラルネットワークを用いた電離圏トモグラフィーを適用し、地震先行電離圏異常の3次元構造を明らかにした。その結果、特に長時間 (1日あたり10時間以上) のTEC異常が検出された地震で共通した構造が現れる傾向が確認された。また、そのような構造が生成される条件として震央周辺で長時間継続して発生する電場による説明を試みた。講演では検出された地震先行電離圏異常の3次元構造およびその生成条件について詳しく解説する。

キーワード: 電離圏トモグラフィー, GPS-TEC, 地震先行電離圏異常

Keywords: Ionospheric tomography, GPS-TEC, Preseismic ionospheric anomaly

Study on lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling inferred from the data of GPS surface displacement and ionospheric pe
Study on lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling inferred from the data of GPS surface displacement and ionospheric pe

芳原 容英^{1*}; 三宅 梨沙¹; Chen Chieh-Hung²
HOBARA, Yasuhide^{1*}; MIYAKE, Risa¹; CHEN, Chieh-hung²

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

¹Graduate School of Information and Engineering Department of Communication Engineering and Informati, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Various scenarios of coupling mechanisms between the major seismic activities on the ground and overlaying ionosphere have been proposed, experimental evidence has not been observed clearly. In this paper we analyze long-term data from ground movement and ionospheric anomalies in relation with major earthquakes occurred around Japan. In association with major earthquakes, anomalous surface displacements are observed by dens GPS network whilst lower ionospheric perturbations are identified by continuous measurement of VLF/LF transmitter signals. As a result, we found that the ionospheric anomalies are observed preferably associated with the thrust type earthquakes. GPS surface displacements tend to occur in association with any types of earthquakes.

Keywords: ionospheric perturbations, GPS surface displacement, lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling, earthquake

Precursor Ionization Anomaly (PIA) caused by earthquake electric field- with and without natural eastward electric field
Precursor Ionization Anomaly (PIA) caused by earthquake electric field- with and without natural eastward electric field

OYAMA, Koichiro^{1*} ; KAKINAMI, Yoshihiro²
OYAMA, Koichiro^{1*} ; KAKINAMI, Yoshihiro²

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, ²School of Systems Engineering, Kochi University of Technology

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, ²School of Systems Engineering, Kochi University of Technology

In the low/midlatitude ionosphere, feature which is similar to Equator Ionization anomaly (EIA) is produced about 5 days before large earthquake (Oyama et al., 2010). The phenomenon was found by using the data obtained by US satellite DE-2, which was in orbit during 1981-1982. We named this phenomenon Precursor Ionization Anomaly (PIA). To find the PIA, satellite altitude should be below 400 Km. PIA seems to show different feature depending on the magnitude of electric field associated with earthquake, distance from the magnetic equator, and the height of the ionosphere to be studied. Depending on the magnitude of the earthquake electric field, and the height to be measured, the electron density shows the minimum or the peak. PIA is also influenced by natural electric field. When EIA exists, two minima of the electron density appear; one is caused by natural eastward E field, another by earthquake electric field. sometimes three minima appear. Here we present two cases: 1. PIA under the existence of natural eastward electric field. 2. PIA without/or weak natural eastward electric field. We stress here that constellation of small satellites will provide a breakthrough for precursor study of large earthquake.

キーワード: Earthquake, electric field, plasma density, fountain effect
Keywords: Earthquake, electric field, plasma density, fountain effect

地震先行的な電離圏異常現象検証のためのミッション解析 Mission Analysis of Micro-Satellite for Earthquake Precursor Study

須藤 雄志^{1*}; 中村 真帆¹; 鴨川 仁¹
SUTO, Yushi^{1*}; NAKAMURA, Maho¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学物理学科

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

2011年マグニチュード9.0東北地方太平洋沖地震をはじめとする巨大地震を起因とした災害は現代社会においても人間の脅威であり、その減災は現代人類の大きな課題である。近年、多種多様な観測から多くの地震先行的な可能性を持つ異常現象が報告されている。しかし、これらは大地震の発生頻度等の問題から地上定点観測において統計的に検証することは非常に難しい。したがって本研究では超小型衛星を利用した観測による異常現象の統計的検証を目的とする。

本研究では数多くの報告の中から精査を行い、地震予測に有望かつ衛星を利用した統計的検証に適した「VLF帯電磁波強度減少現象」の検証を行う。本現象は地震発生前の4時間以内、半径500km以内の範囲において上空の電離圏で観測されるVLF帯電磁波の強度が減少するというものである。これらの異常の範囲と強度減少量は地震のマグニチュードに依存するのではないかと考えられている。

本発表では以上の現象を統計的に検証するための衛星のミッション設計を述べる。

キーワード: 地震, 電離圏先行現象, 超小型衛星

Keywords: Earthquake, Ionospheric Precursors, Micro-Satellite

地震先行電離圏異常現象を検証可能な衛星の軌道設計 Satelite orbit of detecting Ionospheric Earthquake Precursor

東郷 翔帆^{1*}; 須藤 雄志¹; 鴨川 仁¹
TOGO, Shoho^{1*}; SUTO, Yushi¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

In general, it is difficult to show a statistical correlation between the precursor and the large earthquake, because of infrequent occurrences of the large earthquake. In particular, to prove the causation required by the identification criteria 5 needs a number of much larger earthquakes, which are further less number according to Gutenberg- Richter relation. In addition, the events of earthquakes in the ocean and far from the ground observation site might be undetectable. Supposing that a number of precursors are detectable on the ground-based station, it might take the long term of thousand years. Theses plausible atmospheric-ionospheric precursors last for a few hours to a few days before the mainshock. Therefore, some of precursors are detectable by satellites because the orbit sampling of satellite is less than the duration of the precursors. Moreover, the satellite observation can cover the whole of a region of active seismicity, when the inclination of satellite is more than 60 degrees. In this presentation, we propose ideal orbits of dedicated satellite for this study.

キーワード: 地震, 電離圏, 人工衛星

Keywords: Earthquake, Ionosphere, Satellite

含水率制御を行った岩石の部分一軸圧縮実験による電流の発生実験 Investigation of "positive hole excitation" for stressed igneous rocks with a control of water content

長田 章良^{1*}; 山中 千博¹
OSADA, Akira^{1*}; YAMANAKA, Chihiro¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Osaka University

地震に先行する電磁気的現象については、ギリシャの VAN 法に見られる地電位差異常や、電離層における電子密度異常など、数多くの科学的観測の報告がある。これら電磁気的異常のメカニズムとして、1. 圧電補償電荷説、2. 石英などに含まれる過酸化架橋の正孔励起に伴った正孔の移動説、3. 間隙水の移動による流動電位説などが提唱されている。正孔励起説は、Freund et al. (2006) によって示され、火成岩の圧縮によって励起された正孔が圧縮部から非圧縮部を移動する説であり、継続時間の長い電磁気異常や長距離間で観測される地電位差異常を説明できる点で注目されている。

本研究ではそのメカニズムの解明のために、基準サイズ 3cm × 3cm × 10cm 火成岩 (花崗岩, ハンレイ岩) の一部に圧力 1.08MPa~5.45MPa を加え圧力差を生じさせ、圧縮部と非圧縮部間の電流を測定する室内実験を行った。真空中で水に浸し間隙に水が充填されている岩石では、まず水分蒸発に伴った電流変化が見られた。その変化の見られなくなった後、圧力勾配を生じさせると、圧力変化に伴い花崗岩では -20pA~-40pA, ハンレイ岩では約 -1.5nA の緩和時間が約 3~5 分と十分長い電流変化が見られた。また、面積 2 倍試料 (3cm × 6cm × 10cm) の測定では、同種、同含水率、同圧力で約 2 倍の電流変化が観測できた。また、長さ 2 倍試料 (3cm × 3cm × 20cm) でも同程度の結果が得られた。一方で 100 °C 加熱処理によって乾燥させた試料では、種類によらずこの電流変化が全く見られなかった。これらの結果は、間隙水の存在が電流変化に大きく関わっていることを示している。さらに、得られた電流変化の絶対値は、Orihara et al. (2012) によって示された、神津島近海における地震に先行して有意に観測された数 μ V/m の電場異常と、地殻を構成する火成岩の抵抗率 10~1000 $\Omega \cdot$ m を考えると調和的と言える。

文献

- 1) F.T.Freund, A.Takeuchi, B.W.S.Lau, "Electric currents streaming out of stressed igneous rock – A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions", *Physics and Chemistry of the Earth* 31. pp.389-396. (2006)
- 2) Y.Orihara, M.Kamogawa, T.Nagao, S.Uyeda, "Preseismic anomalous telluric current signals observed in Kozu-shima Island, Japan", *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol.109 No.47 pp.19125-19128. (2012)

キーワード: 地震電磁気現象, 流動電位, 正孔励起, 火成岩

Keywords: Seismic electric signals, Streaming potential, Positive hole excitation, Igneous rocks

東北地方太平洋沖地震 (M 9.0) に関連する地磁気日変化の異常の検討 Analysis of geomagnetic diurnal variations at Esashi station from 1997~2012

芦田 遼^{1*}; 服部 克巳¹; Han Peng¹; Febriani Febty¹; Yoshino Chie¹
ASHIDA, Ryo^{1*}; HATTORI, Katsumi¹; HAN, Peng¹; FEBRIANI, Febty¹; YOSHINO, Chie¹

¹Graduate School of Science, Chiba University

¹Graduate School of Science, Chiba University

There have been many reports on ultra-low-frequency (ULF) electromagnetic phenomena associated with earthquakes in a very wide frequency range. In this study, unusual behaviors of geomagnetic diurnal variations prior to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0) have been reported. Ratios of diurnal variation range between the target station Esashi (ESA) which is about 135 km from the epicenter and the remote reference station Kakioka (KAK) have been computed. The results showed that there had been clear anomalies exceeding the statistical threshold in the vertical component about 2 months before the mega event. These anomalies are unique over a 16 years background. The original records of geomagnetic fields of the ESA station also exhibited continuous anomalous behaviors for about 10 days in the vertical component from Jan.3, 2011-Jan.13, 2011, about two months prior to the Mw 9.0 earthquake. During the same period, other independent geophysical parameters such as seismicity and crustal deformation also show clear unusual changes, which suggests these anomalies might be related with the mega event.

キーワード: ULF seismo-magnetic phenomena, earthquake, geomagnetic diurnal variations
Keywords: ULF seismo-magnetic phenomena, earthquake, geomagnetic diurnal variations

VLF 送信電波の振幅及び位相情報を用いた地震に伴う下部電離層擾乱の位置・空間スケール同定に関する研究
Identification of seismo - ionospheric signatures by using amplitude and phase information of VLF/LF transmitter waves

龍田 健心^{1*}; 芳原 容英¹
TATSUTA, Kenshin^{1*}; HOBARA, Yasuhide¹

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科

¹Graduate School of Informatics and Communication Eng. , The University of Electro-Communications

地震に先行した電離層擾乱は VLF/LF 帯電波伝播異常を引き起こすが、詳しい発生機構は未だ明らかになっていない。震源と擾乱位置、地震の規模と空間スケール等の対応関係を明らかにすることは擾乱発生機構の解明や将来の地震予測につながるため、観測された電波の情報を数値計算結果と比較し、擾乱の位置・空間スケールの同定を行うことが必要不可欠である。本研究では地震に伴う下部電離層擾乱を振幅変化に加え位相変化も用いて導出した。その結果、地震に先行する電離層擾乱において振幅に異常が見られた際には位相にも顕著な変化が見られた。また、FDTD 法を利用した VLF/LF 帯伝搬の数値解析結果と実測値を比較したところ、振幅及び位相変化ともに良い一致が見られた。以上から地震に先行した電離層擾乱の位置・空間スケールを同定する上で、振幅・位相の 2 つの情報量を同時に使用することは有効性である。

キーワード: 電離層擾乱, FDTD 法, VLF/LF 送信局, 地震

Keywords: seismo - ionospheric perturbation, FDTD method, VLF/LF transmitter, earthquake

1998 年から 2012 年にわたる地震に関連する電離圏総電子数の統計解析に関する研究 Ionospheric Anomaly as an Earthquake Precursor : Statistical Study during 1998-2012 around Japan

國光 真由香^{2*}; 服部 克巳³; Han Peng³; 劉 正彦¹
KUNIMITSU, Mayuka^{2*}; HATTORI, Katsumi³; HAN, Peng³; LIU, Jann-yenq¹

¹ 千葉大学理学部, ² 千葉大学大学院理学研究科, ³ 国立中央大学太空科学研究所

¹Faculty of science, Chiba University, ²Graduate School of Science, Chiba University, ³Institute of Space Science, National Central University, Taiwan

中磁気緯度地域では地震に先行して正の TEC 異常が統計的に有意に出現することが [Kon et al.,2011] による先行研究によって報告されている。しかし、先行研究の解析で用いられた地磁気擾乱期間は日本地域においてやや根拠に欠けるものとなっていた。そこで、本研究では、地磁気擾乱期間を統計的に決定し、地震に先行する TEC 異常が統計的に有意であるかを調査した。

地磁気擾乱の解析手法は、標本を復元抽出によって増幅させ、分布の偏りと歪みを取り除き推定値を得る Bias-corrected Acceleration Bootstrap Method : BCa 法という統計解析手法を用いた。TEC の解析手法は、[Kon et al.,2011] にならい、Superposed Epoch Analysis という統計解析手法を用いた。BCa 法を用いて 1995 年から 2012 年の期間の地磁気擾乱期間を調査した結果、磁気嵐の大きさが大きいほど地磁気擾乱期間が長くなる傾向があることがわかった。また、Dst 指数に基づいた地磁気擾乱期間を設定することが可能となった。

次に、求めた地磁気擾乱期間を解析除外期間として 1998-2010 年および 1998-2012 年について地磁気擾乱期間を時系列 TEC データから除去し、日本地域の $M \geq 6.0$ 、 $D \leq 40\text{km}$ の地震について SEA 解析を行い、先行研究の結果との比較を行ったところ、地震の 1 ~ 5 日前に有意に TEC が増加することが分かった。

さらに、統計地震学で広く用いられている Molchan Error Diagram 解析を実施し、SEA 解析によって示唆された、TEC 異常の地震予知システムとしての有効性を検証した。その結果、地磁気擾乱期間の設定のしかたに関係なく地震予知システムとして有効であることがわかった。また、地磁気擾乱期間を Dst 指数に基づいて設定したほうが予測精度が向上した。

MODIS データを利用した地震に関連する温度異常の検知 Detection of thermal anomaly associated with Earthquake from MODIS data

堤 梨花^{1*}
TSUTSUMI, Rika^{1*}

¹ 千葉大学大学院理学研究科
¹Chiba University

地震活動に伴う災害の軽減が重要な課題であり、その監視・予測手法の開発が望まれている。そこで、本研究では、衛星リモートセンシングデータを利用した地震活動に伴う LST (Land Surface Temperature) の温度異常を検知することを試みた。

地震活動に伴う温度異常の監視については、人工衛星 Aqua/Terra に搭載されているセンサ MODIS の L3 LST (Land Surface Temperature) データを用いて、地震プロセスと大気・地表の温度異常の関係性を統計的に調査した。これまでの先行研究によって、いくつかの大規模な地震の数週間～数時間前に温度異常が生じていることが報告されている。本研究では、Lushan 地震 (China, 2013 年 4 月 20 日)、L' Aquila 地震 (Italy, 2009 年 4 月 6 日)、Wenchuan 地震 (China, 2008 年 5 月 12 日) 地震に関して LST データを時空間的に統計解析した。L' Aquila 地震に関しては、地震の 8 日前に顕著な温度異常が震央付近 (半径 100km 以内) に表れていることが確認できた (Terra-MODIS)。その 4 時間後に観測された Aqua-Terra のデータによる解析でも温度異常が検知できた。この結果は先行研究 (M.Lisi et al. 2010) による AVHRR TIR の解析結果 (本研究の解析結果の約 3 時間後に異常が出ている) と類似した結果であった。このことから、地震発生の 8 日前から、少なくとも 4 時間以上継続した温度異常が、震央付近に発生している可能性があると考えられ、他の地震のさらなる調査が重要である。

以上のように、MODIS データによる適切な温度異常検知アルゴリズム開発は、地震活動などの地殻活動の監視・予測技術開発につながるポテンシャルがあることがわかった。

キーワード: MODIS, 地震, 温度異常, ラクイラ地震
Keywords: MODIS, Earthquake, L' Aquila, thermal anomaly

猪苗代湖ボーリングコア (INW2012) の岩相層序と過去約 2000 年間の珪藻群集変化 diatom assemblages in INW2012 drilling cores from Lake Inawashiro, Tohoku, Japan

廣瀬 孝太郎^{1*}; 長橋 良隆¹
HIROSE, Kotaro^{1*}; NAGAHASHI, Yoshitaka¹

¹ 福島大学共生システム理工学研究科
¹ Fukushima University

猪苗代湖の湖底堆積物は、湖心部付近において掘削されたコア (INW2012) の岩相層序により、下部・中部・上部に3分される。下部 (深度 37.17 - 26.60m) は、砂礫層と細礫や材片を含み上下方向に岩相変化の激しい中粒砂- 砂質シルトからなる。中部 (深度 26.60 - 24.89m) は、材片を希に含み上方に細粒化する極細粒砂- シルトからなる。上部 (深度 24.89 - 0.00m) は、主に明暗色に細互層する粘土層からなり、テフラ層や陸域起源と考えられる重力流堆積物を挟在する。下部・中部・上部は、それぞれ猪苗代湖成立前の河川成堆積物、猪苗代湖形成初期の湖成堆積物、現在と同程度の大水深環境下で形成された湖成堆積物である。また、堆積物中の材片の 14C 年代値から、猪苗代湖が湖として成立したのは約 4 万 2 千年前であり、猪苗代湖層上部の堆積速度は 0.3 - 1.0 (mm/yr) である。本研究では、上部の 2.00 - 0.00 m (過去約 2000 年間) の珪藻分析を行った。講演では、珪藻群集組成変化とそれを駆動する環境変化の詳細について述べる。

キーワード: 猪苗代湖, 湖底堆積物コア, 層序, 珪藻群集, 後期更新世, 14C 年代

Keywords: Lake Inawashiro-ko, lacustrine sediment core, stratigraphy, diatom assemblage, late Pleistocene, 14C dating

マイワシ魚鱗記録から見つかった様態の異なる二つのレジームシフト Two different types of regime shift appeared in a 2900-yr record of Japanese sardine abundance

加三千宣^{2*}; 山本正伸²; 杉本隆成³; 武岡英隆¹

KUWAE, Michinobu^{2*}; YAMAMOTO, Masanobu²; SUGIMOTO, Takashige³; TAKEOKA, Hidetaka¹

¹ 愛媛大 CMES, ² 北大地球環境, ³ 東海大文明研究所

¹CMES, Ehime Univ., ²Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido Univ., ³Institute of Civilization, Tokai University,

気候・海洋生態系に認められるレジームシフトは、今後数十年間の水産資源や海洋生態系の急激な変化を占う重要な現象である。レジームシフトは、数十年間続く準安定モード（レジーム）間の急激な遷移と定義付けられ (Minobe 1997; King 2005)、太平洋では PDO やアリューシャン低気圧指数、マイワシ・カタクチイワシの魚種交替に顕著に現れる。これまで海洋からの高解像度の長期記録がほとんどなかったため、太平洋のレジームシフトが長期的にその様態がどのように変化するかについて詳しく議論がなされることはなかった。本研究では、日本周辺を回遊するマイワシのレジームの始まりと終わりが太平洋におけるレジームシフトのタイミングとほぼ同じであることに着目し、マイワシの過去 2900 年間のアバンダンス記録から海洋生態系レジームシフトの変遷過程を明らかにした。その結果、様態の異なる二つのレジームシフトが存在することがわかった。一つは、20 世紀に見られる通常のレジームシフトで、20 - 30 年程度でマイワシレジームの出現・消失を繰り返すレジームシフトである。もう一つは、マイワシアバンダンスの数百年スケール変動に伴ったレジームシフトである。後者のレジームシフトがひとたび起こると、その後 100 年スケールの低水準期（あるいは高水準期）が続く。マイワシアバンダンス記録に基づく、低水準期のマイワシレジームの最大値は 1980 年代におけるマイワシレジームの最大値の 4 分の 1 から 10 分の 1 まで低下する。こうした数百年スケール変動に伴うレジームシフトはカリフォルニア沖やチリ沖のマイワシ、北米の復元 PDO 指数や東アジアの積雪異常指数にも認められ、日本マイワシに認められたレジームシフトは太平洋の気候・海洋生態系レジームシフトとの関連が示唆される。現代の高水準期は、すでに 200 年経過しており、低水準期への移行が懸念される。1990 年頃に起こった最後のレジームシフトが後者のレジームシフトであったかどうかについてのより詳細な研究が今後の気候や魚類資源変動予測にとって重要であろう。

キーワード: レジームシフト, 海洋生態系, マイワシ魚鱗記録, 太平洋, 別府湾

Keywords: regime shift, marine ecosystem, sardine fossil scale record, Pacific, Beppu Bay

島根県東部、宍道湖における近年の堆積環境の変化 Modern changes of sedimentary environments in the brackish Lake Shinji, the east part of Shimane prefecture, Japan

瀬戸 浩二^{1*}; 池田 洋子²; 山口 啓子³; 倉田 健悟³
SETO, Koji^{1*}; IKEDA, Hiroko²; YAMAGUCHI, Keiko³; KURATA, Kengo³

¹ 島根大学汽水域研究センター, ² 島根大学総合理工学部地球資源環境学科, ³ 島根大学生物資源科学部
¹ReCCLE, Shimane Univ., ²Geoscience, Shimane Univ., ³Life and Environmental Science, Shimane Univ.

宍道湖は、島根県東部に位置する低鹹汽水湖である。面積は79.1km²で東西に長く、水深が6 m未満の湖盆状の形状を示している。湖水は、低塩分の表層水と中塩分の密度躍層及び底層水に区分されるような成層構造を示している。近年、宍道湖では、アオコの大量発生、水草の異常繁茂、ヤマトシジミの漁獲量の低下など、環境異変が起きている。本研究では、宍道湖において2006年と2013年の同時期に行った表層堆積物の広域調査と比較したうえで、2010年から毎月行われているモニタリング調査の結果も含め、この間の堆積環境の変化を明らかにすることを目的としている。

2006年の宍道湖の表層堆積物は、3.5m以浅では砂質、それ以深では泥質堆積物であった。3.5m以深の平均粒径は、深度が深くなるほど細粒になる傾向があり、最深部付近では7.5φを示す。3.5m以浅では、2φ前後の細粒中粒砂が主体である。全有機炭素(TOC)濃度は、4%以下であった。平均粒径とは、相関係数0.85の高い正の相関が認められ、広域的なTOC濃度の分布は、粒径に大きく依存している。全イオウ(TS)濃度は、1%以下であり、深度が深くなるほど高くなる傾向にある。しかし、水深4.5m以浅では0.2%以下であり、それ以深で急速に増加する。

2013年の表層堆積物は、3.5m以浅では砂質、それ以深では泥質堆積物であった。平均粒径は、2006年と同様であった。TOC濃度は、泥質堆積物において6~8%で、TS濃度は、2%以下であり、深度が深くなるほど高くなる傾向にある。TS濃度は、水深3m以浅で0.2%以下であり、その深度は2006年より明らかに浅くなっている。

2010年からモニタリング地点(宍道湖湖心: SJ01地点)の表層堆積物のTOC濃度は4%~10%の範囲で大きく変化し、夏季に低く、冬季に高い傾向がある。この傾向は、冬季に植物プランクトンの生産性が増加すると考えるより、夏季の降雨に伴う無機碎屑物による希釈効果に起因するものと思われる。さらにTOC濃度は、2010年から2013年の間に増加する傾向が見られた。TS濃度は、0.5~2.0%の範囲で変化し、夏季に高く、冬季に低い傾向を示し、TOC濃度と同様に年々増加する傾向が認められた。これらの変化は、塩分の流入と溶存酸素量の低下の継続によってTS濃度が高くなることを示唆している。

これらの結果から、2006年以降、水質では目立った変化は見られないが、湖底の表層堆積物ではTOC濃度、TS濃度が倍化している。TOC濃度の変化は、富栄養化による植物プランクトンの増加または河川から供給される無機碎屑物の減少が考えられる。TS濃度の変化は、大橋川からの中塩分水の流入の増加とそれらに伴う無機碎屑物環境の長期化に起因していると考えられる。中塩分水の流入の増加は、斐伊川から流入している淡水の減少、日本海の海水準の上昇、大橋川の河床の穿掘による深化などが考えられる。

キーワード: 宍道湖, 表層堆積物, 全有機炭素濃度, 全イオウ濃度, 粒度分析

Keywords: Lake Shinji, Surface sediments, Total organic carbon contents, Total Sulfur contents, Grain size analysis

水月湖堆積物中碎屑物の起源とその寄与率の定量復元法 Provenances of detrital materials in the Lake Suigetsu sediment and quantitative evaluation of their mixing ratio

鈴木 克明^{1*}; 多田 隆治¹; 中川 毅²; 長島 佳菜³; 原口 強⁴; 五反田 克也⁵; 入野 智久⁶; 杉崎 彩子¹; SG12/06 プロジェクトメンバー⁷
SUZUKI, Yoshiaki^{1*}; TADA, Ryuji¹; NAKAGAWA, Takeshi²; NAGASHIMA, Kana³; HARAGUCHI, Tsuyoshi⁴; GOTANDA, Katsuya⁵; IRINO, Tomohisa⁶; SUGISAKI, Saiko¹; SG12/06, Project members⁷

¹ 東京大学, ² ニューカッスル大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 大阪市立大学, ⁵ 千葉商科大学, ⁶ 北海道大学, ⁷ SG12/06 プロジェクト

¹ Univ. Tokyo, ² Univ. Newcastle, ³ JAMSTEC, ⁴ Osaka City University, ⁵ Chiba University of Commerce, ⁶ Hokkaido University, ⁷ SG12/06 Project

日本中部に位置する福井県水月湖の堆積物には、1993年、2006年の掘削試料から超高精度、高解像度な深度年代モデルが確立しており、過去の気候変動を高精度・高時間分解能で復元するために理想的な研究対象である。水月湖に流入する碎屑物には、風成塵、周辺斜面からの流入物、隣接する三方湖の集水域から三方湖を介して水月湖に流入する細粒の河川起源懸濁物の3種類があると考えられる。これらの碎屑物の流入メカニズムやフラックスの変動は、それぞれ偏西風の挙動、過去における地震や洪水などの災害、周辺地域の降水史を反映している可能性があり、これらを分離してそれぞれのフラックス変動を復元できれば、西南日本、更には東アジア地域の詳細な古気候記録や自然災害記録を得ることが期待できる。

本研究では、堆積物から薬品処理によって抽出した碎屑物フラクションについて、主要元素分析を行い、その結果の因子分析に基づいて端成分の抽出を行い、更に抽出されたそれぞれの端成分について鉱物組成、色、粒度組成などの指標を用いて特徴づけを行った。さらにこの結果を考えられる供給源の試料や水月湖堆積物中に挟在するイベント層の特徴と比較することでそれぞれの端成分が表す供給源の推定を行い、さらにそれぞれの端成分について、フラックス変動復元を試みた。

キーワード: 水月湖, 退氷期, 完新世, 因子分析, 重回帰分析

Keywords: Lake Suigetsu, Deglaciation, Holocene, Factor analysis, Multi-regression analysis

水月湖 SG06/12 コアの碎屑物グラックス・供給源変動が示す Heinrich Event1 の湿潤化 Wetter condition during the Heinrich Event 1? deduced from detrital flux and provenance records from Lake Suigetsu

長島 佳菜^{1*}; 中川 毅²; 鈴木 克明³; 多田 隆治³; 堀内 大嗣⁴; 杉崎 彩子³; 五反田 克也⁵; 原口 強⁶; SG06/12 プロジェクトメンバー⁷

NAGASHIMA, Kana^{1*}; NAKAGAWA, Takeshi²; SUZUKI, Yoshiaki³; TADA, Ryuji³; HORIUCHI, Daishi⁴; SUGISAKI, Saiko³; GOTANDA, Katsuya⁵; HARAGUCHI, Tsuyoshi⁶; SG06/12, Project member⁷

¹ 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ² ニューカッスル大学, ³ 東京大学, ⁴ 海上保安庁, ⁵ 千葉商科大学, ⁶ 大阪市立大学, ⁷ <http://www.suigetsu.org>

¹JAMSTEC RIGC, ²University of Newcastle, ³The University of Tokyo, ⁴Japan Coast Guard, ⁵Chiba University of Commerce, ⁶Osaka City University, ⁷<http://www.suigetsu.org>

Stalagmites in Chinese caves, loess/paleosol sequence of the Chinese Loess Plateau, and lacustrine sediments in Asian countries are favorable to monitor the past changes in East Asian summer monsoon (EASM). However, not much is known about EASM spatial changes during the last deglaciation mostly due to the large uncertainty in the chronologies of the lacustrine and loess/paleosol sediments.

Lake Suigetsu in Central Japan is known for the varved sediments which cover at least last 70 kyr. Recently, accurate age model is established for SG06 core based on varve counting and more than 800 radiocarbon dates (e.g., Ramsey et al., 2012; Staff et al., 2013). Here we examine the precipitation changes in Central Japan during the last deglaciation from the flux and provenance changes of the detrital materials found in the SG06 core sediment.

We analysed flux of detrital materials for the last glacial part of the SG06 core (1402-1810 cm interval of the SG06 composite depth) with 1 cm resolution (corresponding to 7-13 yrs) and estimated provenance of the detrital materials using chemical and mineral compositions, grain sizes, and electron spin resonance intensity and crystallinity of the quartz. The reconstructed flux of detrital materials are characterized by the millennial-scale increases exceeding 12 mg/cm²/yr at 16,600-14,800 and 13,700-12,800 SG06₂₀₁₂ yr BP and short-lived (decadal to centennial) episodes of higher flux repeated more than thirty times throughout the deglaciation interval.

The grain size, color, chemical composition, and crystallinity of quartz records suggest that the increase of the detrital materials during 16,600-14,800 SG06₂₀₁₂ yr BP was mainly due to increase of suspended particles supplied from Hasu river through Lake Mikata, that is located immediately upstream of Lake Suigetsu and trapping most of coarse detrital grains. In contrast, the increase of detrital materials during 13,700-12,800 SG06₂₀₁₂ yr BP likely reflects local slope erosion around the lake and partly the long-distance aeolian transport from the Asian deserts. Our result suggests the wetter condition in Central Japan during the Heinrich Event 1 in contrast to the dry condition in Yangtze River Basin, China, according to the $\delta^{18}O$ stalagmite record (Wang et al., 2001).

キーワード: 水月湖, ハインリッヒイベント, 東アジア夏季モンスーン, 碎屑物, 石英

Keywords: Lake Suigetsu, Heinrich Event, East Asian Summer Monsoon, detrital material, quartz

北海道礼文島における過去5000年間の極細粒元素状炭素堆積量の変動 Variation of very fine grained elemental carbon deposition to the Rebun Island, Hokkaido, during the last 5 ky

中井 淑恵^{1*}; 入野 智久¹; 山本 正伸¹; 宮崎 雄三¹; 河村 公隆¹; 山田 和芳²; 米延 仁志³
NAKAI, Yoshie^{1*}; IRINO, Tomohisa¹; YAMAMOTO, Masanobu¹; MIYAZAKI, Yuzo¹; KAWAMURA, Kimitaka¹; YAMADA, Kazuyoshi²; YONENOBU, Hitoshi³

¹北海道大学, ²早稲田大学, ³鳴門教育大学

¹Hokkaido University, ²Waseda University, ³Naruto University of Education

元素状炭素 (elemental carbon: EC) は、炭素に富み、酸素、水素、硫黄、窒素に乏しい燃焼生成物である。工業化前の EC の主要な供給源はバイオマス燃焼であったが、18 世紀以降は、化石燃料の燃焼がもっとも重要な供給源となっている。EC を含む黒色炭素 (black carbon: BC) は大気中をエアロゾルとして移動し、特に気候に多大な影響をもたらす。EC は地球温暖化を引き起こす 2 番目に強い要因であり、雪氷面のアルベドを低下させる効果を持つ。一方、EC を含むエアロゾルは、放射強制力を弱めることで寒冷化を引き起こすこともある。よって EC の気候への正味の影響を評価することは非常に難しく、化石燃焼による EC と、バイオマス燃焼による EC を区別して評価することは重要である。EC は単一の化学物質ではないが、char と soot の 2 つに大別することが出来る。char は熱分解によって生じ、soot はガス-粒子の転化によって生じる。顕微鏡下で数えることのできる char の粒子を charcoal と呼ぶ。charcoal を数えることで過去の火災を復元した先行研究は数多くあり、後期完新世では、しばしば火災は人間活動と同調している。それゆえ、過去の EC 蓄積量の変動を理解することは、人間活動と気候変動の関係を調べるのに重要である。

EC の分析法はいくつかあり、thermal optical reflectance: TOR 法を検討した。この方法はエアロゾルの EC/OC 分析において主要な手法であり、試料へのレーザーの透過率を測定することによって、分析中の無酸素の昇温過程での熱分解によって生じる EC を評価出来る。TOR 法を堆積物に応用する為に、事前にスクロース、フミン酸、フルボ酸、フラレーレンのサーモグラムを調べた。その結果、酸素雰囲気下、700 °C-850 °C で分解される炭素のフラクションが EC として定義出来る事を確認した。

分析に用いた堆積物サンプルは、礼文島・久種湖から採取された。得られた 5 本のコア間の層序を、岩相、物性を対比することで確立し、²¹⁰Pb、¹³⁷Cs の測定により、表層付近の堆積速度も算出した。コアの表層約 0-1200 cm の範囲の粗粒/細粒比から、堆積環境が深度約 600 cm の層準で海水から淡水環境になると考えられた。EC/OC 分析はおおよそ 0-600cm の範囲で粗粒フラクション、細粒フラクションの両方に対して行った。粗粒 EC はローカルなバイオマス燃焼変動を反映し、細粒 EC はローカル、遠方両方のバイオマス燃焼変動を反映している可能性が示唆された。ローカルなバイオマス燃焼は、深度 521 cm で増加している。217 cm 以深で遠方起源の EC の変動の影響が大きく、深度 217 cm で最大になり、深度 263cm で最小になる事が分かった。長距離輸送の EC は、バイオマス燃焼による供給量の増減だけでなく、遠方起源の EC を運ぶ風の経路変化にも影響されうる。

キーワード: 元素状炭素, バイオマス燃焼, 完新世, 礼文島

Keywords: elemental carbon, biomass burning, Holocene, Rebun Island

最近5万年間の広域テフラの年代研究 Chronological study on widespread tephra for the past 50,000 years in and around Japanese Islands

奥野 充^{1*}; 鳥井 真之²; 中村 俊夫³
OKUNO, Mitsuru^{1*}; TORII, Masayuki²; NAKAMURA, Toshio³

¹ 福岡大・理, ² 熊本大・自然, ³ 名古屋大・年代セ
¹Fac. Sci., Fukuoka Univ., ²Grad. Sch., Sci. Tech., Kumamoto Univ., ³CCR, Nagoya Univ.

始良 Tn (AT) の発見以降, 多数の広域テフラが知られるようになった。支笏第1 (Spfa-1) 以降の最近5万年間のテフラは, 放射性炭素 (¹⁴C) 年代測定法が適用でき, 暦年較正データセット IntCal13 によりすべての暦年較正が可能になった。一方, 海域や湖沼でのコア試料解析でも, 挟在するテフラの層位や年代が高精度化されている。この発表では, 最近5万年間の広域テフラについての年代学的研究を概観し, 今後を展望する。

キーワード: 広域テフラ, 放射性炭素年代
Keywords: widespread tephra, radiocarbon dating

IntCal13 と水月湖データによって何が可能になったか The door that the IntCal13 and Suigetsu dataset opened for us all

中川 毅^{1*}; SG06 プロジェクト メンバー一同¹
NAKAGAWA, Takeshi^{1*}; SUIGETSU 2006, Project members¹

¹ ニューカッスル大学地理学教室

¹Department of Geography, Newcastle University (UK)

IntCal13 は、それまでの IntCal と何が決定的に違って、それによってどのようなことが可能になったのか。鍵となった水月湖の重要性についてはこれまで繰り返し紹介してきたが、水月湖以外の多くのサイトで研究をおこなうユーザーにとっての意義については、これまで説明する機会がなかった。Intal13 と水月湖の古気候データによってどのようなサイエンスが可能となったのか、なるべく実用の見地からの解説を試みる。

キーワード: IntCal13, 放射性炭素年代測定, 放射性炭素年代較正, 年縞堆積物, 気候変動, 年代対比

Keywords: IntCal13, Radiocarbon dating, Radiocarbon calibration, varved sediment, climate change, age-based correlation

木材年輪セルロースの酸素同位体比を用いた新しい高精度年代測定法 A new high resolution dating method using tree-ring cellulose oxygen isotope ratio

中塚 武^{1*}; 佐野 雅規¹; 許 晨曦¹; 木村 勝彦²
NAKATSUKA, Takeshi^{1*}; SANO, Masaki¹; XU, Chenxi¹; KIMURA, Katsuhiko²

¹ 総合地球環境学研究所, ² 福島大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²Fukushima University

●はじめに

年輪幅の変動パターンを、年代既知の木材と年代未知の木材の間でマッチングすることによる年輪年代法は、地層や遺跡、古建築などから得られる木材の年代を年単位で決定できる極めて精度の高い年代測定法である。年代の決定には、信頼できる年輪幅の標準変動曲線（マスタークロノロジー）が地域毎・樹種毎に作成される必要があるが、北欧やニュージーランドでは現生木と埋没木のデータをつなぎ合せて、Holocene 全体をカバーする年輪幅の標準変動曲線が確立している。年輪には年輪幅以外にも、年代決定に利用できる指標が含まれているが、その一つがセルロースの酸素同位体比である。本講演では、年輪セルロース酸素同位体比を用いた新しい年輪年代法の特長と現在の到達点及び、その発展に向けた課題について、詳しく紹介する。

●酸素同位体比年輪年代法の原理と特長

年輪セルロースの酸素同位体比は、降水の同位体比と相対湿度と言う2つの気象因子によって物理化学的に規定され、その経年変動パターンは、年輪幅とは違って生理生態学的な影響を受けにくいことが特徴である。それ故、第一に個体間での変動の相関が高く、年代決定の成功率も高くなる。第二に同じ地域で同じ時期に成長した樹木個体であれば、異なる樹種でも同じ変動パターンを示すので、年輪数の多いスギやヒノキから得られた酸素同位体比の標準変動曲線が、他のあらゆる樹種の木材の年代決定に利用可能である。そのため、現在、過去数千年間の Late Holocene 全体を対象に、急速に日本各地で酸素同位体比クロノロジーが構築されつつある。年輪酸素同位体比クロノロジーは、考古遺跡や古建築、洪水堆積物等々から得られる、さまざまな木材の年単位での年代決定に用いられつつあり、文理双方の多くの研究分野に精度の高い新しい年代軸を供給し始めている。

●酸素同位体比年輪年代法の成立の経緯

酸素同位体比年輪年代法が、急速に現実化してきた背景には、2つの分析化学上の進歩があった。1つは、熱分解元素分析計と同位体比質量分析計のオンライン装置の登場（2000年）、もう1つは、セルロースを迅速に木材から抽出する板ごと抽出法の開発（2010年）である。木材のような有機物に含まれる酸素は、ガス化する際に酸化剤の酸素の混入が避けられないため、その同位体比を測定することは至難の業であったが、1400℃の高温炉を用いて無酸素雰囲気下で有機物をCOに熱分解し、それをオンラインで同位体比質量分析計に送り込む装置が開発されたことで、樹木年輪のような莫大な数の試料の酸素同位体比の分析が可能になった。一方で年輪からのセルロースの抽出も、その数の多さゆえに大変時間のかかる作業であったが、演者らの研究室で、木材を厚さ1mmの薄板にして板のまま化学処理を行い、セルロースだけとなった薄板から年輪を切り取る「板ごと抽出法」を開発した結果、いよいよ酸素同位体比年輪年代法を現実化する準備が整った。

●酸素同位体比年輪年代法の課題と展望

年輪幅の測定に比べると遥かに手間はかかるが、年輪セルロース酸素同位体比の分析が迅速化した結果、膨大な数の木材試料のデータが続々と出てくるようになり、さまざまな知見が積み重ねられつつある。その中では、新しい年代データが新しい学問の進歩を促す、多くの成功例もあるが、さまざまな課題も見えてきている。ここでは、その課題のいくつかを紹介し、今後の方向性について議論したい。【樹種の違い】年輪酸素同位体比は、樹種の違いを越えて対比できることが特長であり、特に針葉樹同士や針葉樹と落葉広葉樹の間の相関は高い。しかし常緑広葉樹とは未だ十分な対比が出来ておらず、光合成期間の違いなどが影響している可能性がある。現生木の網羅的分析により、樹種毎の特性の違いを明らかにしていく必要がある。【広域の相関】酸素同位体比のマスタークロノロジーは、気候条件の異なる地域毎に構築する必要があるが、本州南部から中国・四国・九州では、梅雨前線活動の変動を反映して、広域にクロノロジーは良く一致する。しかし、冬季の積雪の影響を受ける日本海側では、湧水の影響を受ける湿地帯などと共に、その変動パターンは個体毎に複雑になる可能性があり、現生木による年輪酸素同位体比の空間分布に関する詳細な研究が必要である。【分析の手法】セルロースの「板ごと抽出法」は、酸素同位体比年輪年代法を一気に現実化させた手法であるが、遺跡や地層から発掘される埋没木の中には、セルロース繊維が分解もしくは切断されていて、板ごと抽出の結果、年層が判定不能になるケースも多い。実際には従来のように、切り出した年層から1つ1つセルロースを抽出することで問題が解決する試料も多いので、更なる分析法の効率化が必要である。

MIS30-09

会場:501

時間:4月28日 11:30-12:00

キーワード: 樹木年輪, セルロース, 酸素同位体比, 年輪年代法
Keywords: tree ring, cellulose, oxygen isotope ratio, dendrochronology

石灰質ノジュールを用いた海底古水温推定 Calcareous nodules for sea floor paleothermometry

長谷川 卓^{1*}; 媚山 陽介²; 米澤 駿介²; 鈴木 崇明⁴; ジェンキンス ロバート¹; 森 尚仁³
HASEGAWA, Takashi^{1*}; KOBAYAMA, Yosuke²; YONEZAWA, Shunsuke²; SUZUKI, Takaaki⁴; JENKINS, Robert¹; MORI,
Takami³

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系, ² 金沢大学自然科学研究科, ³ 金沢大学自然科学研究科 (現・マリンワーク・ジャパン), ⁴ 金沢大学自然科学研究科 (現・伊藤忠石油開発)

¹ College of Natural Science and Engineering, Kanazawa University, ² Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ³ Kanazawa University (currently Marine Work Japan), ⁴ Kanazawa University (currently Itochu Oil Exp. Co. Ltd.)

古水温は、古環境プロキシの中でも最も重要なパラメーターである。酸素同位体比法は、長年古海洋の分野で用いられてきた古水温計である。海底の水温を見積もるには、炭酸塩軟泥などから抽出する底生有孔虫殻を用いるが、太平洋沿岸のような泥質堆積物が卓越する地域では、再結晶がない個体を複数抽出し、超音波洗浄のうえ電子顕微鏡で観察を行う必要があり、非常に労力を必要とする作業である。泥質岩には石灰質ノジュールが普遍的に産出する。その酸素同位体比温度計への応用に関しては、これまでほとんど議論されていない。本研究では、北海道羽幌地域や大夕張地域などの白亜系から石灰質ノジュールを採集し、産出状況、ノジュール記載、炭酸塩含有量、全有機炭素含有量および酸素同位体比分析に基づき、石灰質ノジュールを用いた古水温推定の可能性について論じる。

海底面直下で形成されたと考えられる構造（生痕によりノジュールを形成する炭酸塩が外部の母岩に抽出された構造があるなど）を持つノジュールと、湧出メタンの硫酸還元に伴い形成されると考えられるノジュールは例外なく底生有孔虫とほぼ同様の値を持っており、海底古水温を反映しているといえる。また湧出メタンの硫酸還元下で形成されたと考えられる一部のノジュールには、海底面直下を示唆する二枚貝（キヌタレガイ）が付着していたことも、このことを支持する。さらにその二枚貝の酸素同位体比を測定したところ、ノジュールの示す古水温とほぼ同じ古水温が得られている。

炭酸塩含有量と酸素同位体比の間には、相関がある。炭酸塩含有量はノジュールの形成された堆積物深度と関連している可能性が高く、含有量の低いノジュールは例外なく底生有孔虫と比べると著しく負側にシフトした酸素同位体比値をとるため、古水温推定に用いることはできないといえる。

羽幌地域産ノジュールの調査の結果、露頭での選別作業と室内での選別作業を行うことにより、効率よく古水温を保持する可能性の高いノジュールを選別することができることが分かった。多数の分析を行い、炭素・酸素同位体比クロスプロットを行うと、酸素同位体比の「上限」に値が収束する。その酸素同位体比値をもって求めた海底古水温が、もっとも合理的な水温推定値であると判断される。その一方で、羽幌のノジュールと同様の記載条件の大夕張産ノジュールは、再結晶が生じていると考えられ、水温推定には適していなかった。これは羽幌と大夕張の堆積物の埋没深度の差が関連していると考えられる。ノジュールは海底直下で形成されても、堆積後の強い圧縮を受ける過程で間隙水がノジュールに浸潤し、ノジュール内の有機物が分解することで二酸化炭素ないし重炭酸イオンが供給されたと考えると、再結晶と約10%程度の著しく低い酸素同位体比値を合理的に説明できる。

キーワード: 炭酸塩, ノジュール, 古水温, 酸素同位体比

Keywords: nodules, paleothermometry, oxygen isotope

全ゲノム増幅法を用いた氷河中の花粉1粒ずつの同定 Identification of single pollen grains found in a glacier using a whole genome amplification method

中澤 文男^{1*}; 陶山 佳久²; 伊村 智¹; 本山 秀明¹

NAKAZAWA, Fumio^{1*}; SUYAMA, Yoshihisa²; IMURA, Satoshi¹; MOTOYAMA, Hideaki¹

¹ 国立極地研究所, ² 東北大学

¹National Institute of Polar Research, ²Tohoku University

氷河から見つかる花粉は、他の堆積物試料から見つかる花粉と異なり、細胞内物質（原形質）を残存しているものが多い。このことは、氷河中の花粉から遺伝情報が取得できる可能性を示唆する。従来の花粉分析は、花粉の形態によって分類群を同定するため、形態の類似した近縁種の識別は難しく、科あるいは属レベルでの同定に留まる場合が多かった。氷河に含まれる花粉をDNA分析しその遺伝情報が得られれば、属より下位の階級で同定が可能となる。そこで本研究では、ロシア・アルタイ山脈にあるペルーハ氷河から採取した表層積雪中のマツ属花粉を用いて、DNA分析から詳細な同定を試みた。マツ属の下位の階級には、2 亜属、4 節、17 亜節、約 111 種が存在する。各マツ属花粉に含まれるゲノムDNAは、全ゲノム増幅法によって増幅し、葉緑体DNAの塩基配列解析を行った。その結果、亜節レベルでの同定が可能となり、さらに花粉種の候補を約 10 種まで絞ることに成功した。

キーワード: 氷河, アイスコア, 花粉分析, マツ属, DNA, 全ゲノム増幅

Keywords: glacier, ice core, pollen analysis, *Pinus*, DNA, WGA

X線CTを用いた浮遊性有孔虫殻 *Globigerina bulloides* の溶解プロセス Dissolution process of *G. bulloides* shell observed by X-ray CT based on dissolution experiment

岩崎 晋弥^{1*}; 木元 克典²; 佐々木 理³; 鹿納 晴尚³; 本多 牧生²; 岡崎 裕典¹
IWASAKI, Shinya^{1*}; KIMOTO, Katsunori²; SASAKI, Osamu³; KANO, Harumasa³; HONDA, Makio²; OKAZAKI, Yusuke¹

¹九州大学大学院理学府, ²海洋研究開発機構, ³東北大学博物館

¹Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Tohoku University Museum

海洋生物が形成する炭酸カルシウム (CaCO_3) は海洋堆積物の主要な構成成分である。生物の殻を構成する炭酸カルシウムにはアラレ石と方解石の2つの結晶形が存在する。特に有孔虫や円石藻が形成する方解石はアラレ石より安定で、海底堆積物中に保存されやすい。炭酸塩堆積物は比較的浅い海洋底に豊富に存在するが深海底には無い。これは炭酸カルシウムの溶解が低温、高圧下で進行するためである。炭酸カルシウムの溶解が急速に進行する水深をリソクライン、海洋表層からの炭酸カルシウムの供給速度と溶解速度が釣り合う水深を炭酸塩補償深度 (CCD) と呼び、炭酸カルシウムはこれら二つの水深で区切られる遷移帯 (Transition zone) で溶解する。 CaCO_3 が溶解するかどうかは、 CaCO_3 の飽和指数 (Ω) によって決定される。

$$\Omega = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}}$$

Ω : 飽和指数 ($\Omega=1$ なら飽和, $\Omega>1$ なら過飽和, $\Omega<1$ なら不飽和) K_{sp} : 溶解度積

炭酸カルシウムの溶解は、海水のアルカリ度を変化させアルカリポンプを通じ海洋炭素循環に影響を与える。そのため多くの古海洋研究者が炭酸カルシウムの溶解に注目し様々な溶解指標を提案した。代表的な溶解指標として浮遊性有孔虫の殻重量および破片率がある。両者は、炭酸カルシウム殻の溶解が進行すると有孔虫殻の重量減少や破壊が起こる、という考えに基づく。しかし、有孔虫殻の溶解プロセスは未だ十分に理解されていない上、いずれの指標も溶解量を定量的に測定できない。そこで本研究は有孔虫殻の溶解プロセスの解明と溶解量の数値化を目的とした。本研究は有孔虫殻の内部構造を含めた溶解プロセスを理解するために、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナ (ScanXmate 11000, Comscan Techno 製, 東北大学総合学術博物館に設置) を用い、マイクロメートルスケールの殻内部構造観察を行った。X 線 CT は対象物に X 線を照射しその内部画像を三次元画像として構成する。その際、X 線 CT は X 線の透過度を数値化することで物体の密度 (空隙率) を定量的に測定できる。本研究で用いたマイクロフォーカス X 線 CT スキャナは $0.8 \mu\text{m}$ の空間分解能を持ち、有孔虫殻内部の微細構造と密度分布を測定できる。本研究では実験水槽内で現生有孔虫殻を溶解させる溶解実験を実施し、有孔虫殻の溶解プロセス解明と殻溶解量の数値化を行った。その後、溶解実験の成果を海底表層堆積物試料へ適用した。

本研究ではまず、有孔虫殻の溶解プロセスを調べるため実験水槽内で時系列の溶解実験を行い、人為的に溶解させた有孔虫殻の内部構造と密度分布の変化を X 線 CT により観察した。北西太平洋のセディメントトラップ試料 (St. K2) から同サイズの浮遊性有孔虫殻 (*Globigerina bulloides*) を集め、 CO_2 ガスの曝気により炭酸系をコントロールした実験海水中 ($\Omega \text{ Calcite} = 0.119$) で1日から9日間溶解させた。X 線 CT 測定の結果、有孔虫殻は低密度の殻 (初期成長殻・内殻) と高密度の殻 (外殻) で構成されることが明らかになった。また有孔虫殻の溶解は殻中心部の初期成長殻から始まり、その後内殻へと進行した。一方、外殻はほとんど溶解せずに保存された。CT 値の頻度分布 (ヒストグラム) 変化は、殻重量や内部構造の変化に対応しており有孔虫殻の溶解は、初期成長殻と内殻の選択的な溶解によって特徴づけられることを明らかにした。また溶解による CT 値ヒストグラムの変化を定量的に評価する指標として低密度殻体積比 (低密度殻体積の全殻体積に占める比率) を提案し、この指標が溶解量の定量的指標として利用できることを示した。

溶解実験の成果は水槽実験から得られたものであり、同様の溶解プロセスと溶解量の評価方法が堆積物試料に適用できるか検証する必要がある。そこで本研究は、北太平洋高緯度海域の8海域 (水深 969-3135 m) から採取された表層海底堆積物試料中の *G. bulloides* 殻について殻重量および X 線 CT 測定を行った。その結果、有孔虫殻は水深が深くなるほど溶解することがわかった。また堆積物試料の X 線 CT 測定から、溶解実験で示した有孔虫殻の溶解プロセスが堆積物試料にも当てはまることわかった。さらに溶解量の定量的指標として提案した低密度殻体積比は殻重量と比べ測定値のばらつきが小さく、溶解指標として有効であることを示した。

キーワード: 炭酸塩, 浮遊性有孔虫, X 線 CT, 殻重量, 殻密度, 溶解指標

Keywords: carbonate, planktic foraminifera, X-ray CT, shell weight, shell density, dissolution index

アジア熱帯域の洞窟における現在の洞外気象と石筍成長の関係 Relationship between modern speleothem formation and surface weather in an Asian tropical cave

長谷川 航^{1*}; 渡邊 裕美子¹; 松岡 廣繁¹; 大沢 信二²; 田上 高広¹

HASEGAWA, Wataru^{1*}; WATANABE, Yumiko¹; MATSUOKA, Hiroshige¹; OHSAWA, Shinji²; TAGAMI, Takahiro¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地質学鉱物学教室, ² 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室

¹Earth and Planetary Sciences, Graduate school of Science, Kyoto Univ., ²Geophysics, Graduate school of Science, Kyoto Univ.

Introduction

For precise climate prediction, it is necessary to reconstruct high time and space resolution paleo-climate (especially past 2000 years) from paleo-climate proxies and assimilate the result to climate model. Tropical Asia, including Indonesia, is well affected by El Nino Southern Oscillation (ENSO). The ENSO does not only directly affect on precipitation in tropical Asia, but also indirectly on middle and high latitude climate through teleconnection [1]. In Indonesia, Watanabe et al. [2] suggested inverse-correlation between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in speleothems and instrumental precipitation. However, relationship between modern speleothem formation and surface weather is not revealed clearly.

Therefore, the cave monitoring program, which included cave air temperature, relative humidity, airflow current, air CO_2 concentration monitoring and $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis of dripwater and farmed speleothems, was initiated from 2011 in Petruk Cave (Central Java, Indonesia) in order to study the recording mechanism of precipitation variation into the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ fluctuation in speleothems.

Result and Discussion

Air CO_2 concentration in Petruk Cave is fluctuated daily and seasonally until over 100 m deep site from the entrance.

It is revealed that cave air CO_2 concentration may be a significant factor that controls stable isotope value in speleothems, because temperature, humidity and drip rate in Petruk cave are nearly stable.

A scenario of precipitation recording is as follows: (1) surface rainfall cools outside air temperature; (2) cave airflow direction is inverted; (3) outside fresh air flows into the cave and air CO_2 concentration is dropped; (4) pCO_2 difference between cave air and dripwater becomes higher and calcite precipitation is promoted; (5) $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in dripwaters and speleothems are decreased.

In addition to above discussion, we will show you $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in dripwaters and farmed speleothems and confirm the scenario by these data.

[1] Hastenrath (1991) Climate dynamics of the tropics. [2] Watanabe et al. (2010) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 293, 90-97.

Keywords: cave monitoring, speleothem, isotope, paleo-climate

岐阜県中央部の石筍に記録された数千年スケールの変動 Millennial changes recorded in a stalagmite from central Gifu, Japan

曾根 知実¹; 狩野 彰宏^{1*}; 森 大器¹; 奥村 知世²
SONE, Tomomi¹; KANO, Akihiro^{1*}; MORI, Taiki¹; OKUMURA, Tomoyo²

¹九州大学比文, ²海洋研究開発機構

¹SCS Kyushu University, ²JAMSTEC

岐阜県郡上市から採集した長さ 13cm の石筍は、最終氷期の長いハイアタスを境に、上部が前期?中期完新世に、下部が Marine isotopic stage 3 (MIS-3) に形成したものである。組織的に均質で透明度が高い完新世の部分に対し、下部は全体的に褐色を帯びている。MIS-3 と完新世の酸素同位体比の値を比較すると、MIS-3 の方が 0.5-1.0 パーミルほど高い。この差は中国南部の石筍と同等であり、岐阜県の石筍記録が夏期モンスーンの強い影響を受けていることを示唆する。

この石筍で最も顕著な特徴は下部に認められる幅約 1 cm の周期的変化である。下部石筍が連続的に沈殿したのであれば、U-Th 年代により 56-35 ka に堆積したものと見積もられ、その中に合計 8 回の周期が認定される。これは日本海堆積物に記録された暗色層の出現頻度と一致する。1つの周期の中で、方解石は上方へとゆるやかに透明度を増し、次の周期との境界で急激に褐色を帯びる。酸素同位体比も同様にゆるやかに増加し、次の周期との境界で急激に減少する。

岐阜石筍に記録された数千年スケールの変動はダンスガード・オシュガーイベントに対応すると思われるが、グリーンランド氷床に明瞭に現れない 50-43 ka の周期性もこの石筍には明瞭に現れている。この事は、ダンスガード・オシュガーサイクルの汎世界性を支持するとともに、その起源が必ずしも北大西洋の変動に関わっていなかったことを示唆する。岐阜石筍の酸素同位体比が主に降水量の変化を反映しているのであれば、ゆるやかな寒冷化の時期に降水量が減少し、急激な温暖化の時期に降水量が増加したことになる。

石筍の U-Th 年代は台湾国立大学の沈川洲教授の指導のもとで行った。

キーワード: 石筍, 酸素同位体比, 後期更新世

Keywords: stalagmite, oxygen isotope, late Pleistocene

石筍酸素同位体組成から推定した岩手県の過去2000年間の降水量変化と飢饉・災害記録

Changes in precipitation over the last 2000 yrs recorded in a stalagmite and famine and disaster records in Iwate Pref.

加藤 大和^{1*}; 山田 努¹

KATO, Hirokazu^{1*}; YAMADA, Tsutomu¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Science, Tohoku University

Stalagmites are excellent archives of terrestrial paleoclimate information. Some of them are formed in caves near the noosphere and may have recorded past climatic changes influenced human activity. Stable oxygen isotopic compositions of stalagmites especially have been utilized in many paleoclimate studies. However, many factors controlling stalagmite oxygen isotopic composition are known and the degrees of their influence varied from region to region. It is not easy to specify the main controlling factor in Northeast Japan, because the climate is influenced by the East Asian Monsoon and surrounding continental and oceanic air masses struggling with each other. Therefore stalagmite climatic studies is not advanced in this region.

We collected growing stalagmite UT-A from Uchimagi-do Cave, Iwate Prefecture, Northeast Japan. UT-A is 25 cm in height and obvious annual growth layers are found entirely under UV light. The age model of UT-A was based on these growth bands and it revealed that the mean growth rate is 0.12 mm/year and the stalagmite has continuously grown over the last 2000 years. In order to specify the major factor controlling isotopic composition of UT-A, we analyzed changes in annual layer thickness and oxygen isotopic composition of the uppermost part of UT-A and examined the correlations between these changes and weather around the cave over the last 30 years. As the changes in $d^{18}O$ correlates well with the growth rates and amount of precipitation, the oxygen isotopic profiles of UT-A could be interpreted as a proxy of precipitation change over the last 2000 years. The past precipitation deduced from oxygen isotopic composition of UT-A has a 100-200-year cycle and synchronized with famine and disaster caused by excess and lack of precipitation in regional historical records (e.g. Nihon'yanagi, 1968MS). Thus oxygen isotopic composition of stalagmites in Northeast Japan could be a good proxy of past precipitation and we can reconstruct past precipitation and possible famine and disaster events in prehistoric times. Moreover, we may be able to forecast the near future precipitation change in this region by the cyclic fluctuation.

Reference

Nihon'yanagi, S., 1968MS. *Small history of famines in Nanbu-Hachinohe Han in the Thousand Years* (in Japanese). Aomori.

キーワード: 石筍, 安定酸素同位体組成, 降水量, 飢饉・災害記録, 内間木洞, 岩手県

Keywords: stalagmite, $d^{18}O$, precipitation, famine and disaster records, Uchimagi-do Cave, Iwate Prefecture

琉球列島沖永良部島のサンゴ骨格の長期記録 Skeletal records in a long-lived *Porites* coral from Okinoerabu-jima, Ryukyu Islands

浅海 竜司^{1*}; 玉城 昭太¹; 土屋 真衣香¹; 川上 紗弥¹; 村山 雅史²; 井龍 康文³
ASAMI, Ryuji^{1*}; TAMASHIRO, Shota¹; TSUCHIYA, Maika¹; KAWAKAMI, Saya¹; MURAYAMA, Masafumi²; IRYU, Yasufumi³

¹ 琉球大学・理, ² 高知大学・理, ³ 東北大学・院理

¹University of the Ryukyus, ²Kochi University, ³Tohoku University

Tropical and subtropical ocean-atmosphere interactions play a significant role in global climate changes on seasonal, interannual and decadal timescales. Knowledge of past ocean variability is crucial for understanding and modeling current and future climate. However, spatial and temporal instrumental time series from tropical and subtropical oceans before 1950 are quite limited. There is, therefore, a strong need for high-resolution paleoclimate proxies such as corals and sclerosponges from the oceans that extend beyond the instrumental data.

Massive *Porites* corals, living in shallow waters of the tropical to subtropical oceans, precipitate annually banded aragonite skeletons. These colonies provide robust chronological control and allow sub-sampling at monthly-to-seasonal resolution. Oxygen isotope composition of coral skeleton reflects variations in sea surface temperature and seawater oxygen isotope composition (salinity) with the latter being closely related to the precipitation-evaporation balance at sea surface and changes in water mass transport (e.g., Gagan et al., 1998). Long-lived corals are an excellent archive for documenting high temporal resolved time series of thermal and hydrologic changes at sea surface for the last several centuries (e.g., Quinn et al., 1998). Nevertheless, there are a few published long coral records of more than 100 years in the tropical northwestern Pacific (Guam: Asami et al., 2005; Ogasawara: Felis et al., 2009; Ishigaki: Mishima et al., 2010).

We collected a 4.5-m-long skeleton core from a modern *Porites* coral colony in Okinoerabu-jima, Ryukyu Islands on October 2011. Our continuous observational data at the coral living site for the years 2009-2011 are consistent with gridded sea surface temperature and salinity products, suggesting that the site is exposed directly to open sea surface conditions. X-ray images of the coral skeleton showed well-developed annual density bands for the last several centuries. Here we present monthly-to-bimonthly resolved oxygen and carbon isotope composition time series from the coral skeleton to reconstruct secular trend of oceanographic changes before and after the Industrial Revolution. Along with previously published long coral records, our coral-based climate reconstruction will document spatial changes in thermal and hydrologic conditions in the northwestern Pacific for the last several centuries.

キーワード: サンゴ骨格, 酸素同位体組成, 炭素同位体組成, 古水温, 古塩分, 琉球列島

Keywords: coral skeleton, oxygen isotope composition, carbon isotope composition, paleo-temperature, paleo-salinity, Ryukyu Islands

北半球高緯度域における沈降粒子フラックスと古海洋環境研究 Particle flux and paleoceanographic studies in the subarctic Pacific and the Arctic Ocean

高橋 孝三^{1*}
TAKAHASHI, Kozo^{1*}

¹ 北星学園大学
¹Hokusei Gakuen University

時系列セディメントトラップを用いた海洋沈降粒子フラックスの研究に取り組み、生物源オパール、有孔虫の殻・骨格を持つ、放射虫、珪藻、珪質鞭毛藻などの珪質プランクトン群集を中心に、海洋に生息する有殻プランクトンの沈降過程と季節変動、そして初期化石化プロセスについて研究を行ってきた。北海道大学水産学部練習船おしよろ丸による北太平洋亜寒帯域およびベーリング海における沈降粒子フラックス観測を、1989年から2010年まで20年余りにわたって実施し、世界有数の高生物生産域における生物ポンプ稼働効率を実測した。また、国際深海掘削計画（ODP）および統合国際深海掘削計画（IODP）に参加し新生代の海洋環境復元に取り組んだ。IODP Expedition 302 北極海掘削航海では、北極海の水氷形成の始まりと北半球氷河化との関係について初めて科学的知見を得ることに貢献した。IODP Expedition 323 ベーリング海掘削航海では、研究代表者として掘削提案を行い、北極海と太平洋を結ぶゲートウェイであるベーリング海が鮮新世以降のような海洋環境変遷を経てきたか研究を進めている。

キーワード: 沈降粒子フラックス, ベーリング海, 北極海, 北半球氷床発達, 海洋ゲートウェイ
Keywords: particle flux, Bering Sea, Arctic Ocean, Northern Hemisphere glaciation, Oceanic gateway

古海洋学における有用なツールとしての石灰質ナノプランクトン及び石灰質ナノ化石
Calcareous nannoplanktons and nanofossils as useful tools for paleoceanography

岡田 尚武^{1*}
OKADA, Hisatake^{1*}

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

Microfossils are useful tools for paleoceanographic studies in two ways: age identification by detailed biostratigraphy, and reconstruction of sea state such as water temperature, productivity and dynamic properties of water mass. Needless to say, calcareous nanofossils are powerful age-diagnostic tool for oceanic sediments, but because of their minute size, its usefulness for oxygen and carbon isotopic analysis are limited. On the other hand, the unique existence of *Florisphaera profunda*, a deep photic-zone dweller, provide an useful method for paleoproductivity and dynamic analysis of water column. By the way, new discoveries or break through in any disciplines are often resulted from unexpected encounters or conversations between researchers. Personal relationships are also very important factor to progress career and to accomplish scientific achievement for young scientists. Utilizing this opportunity, I will summarize major points for paleoceanographic applications of calcareous nanofossils, and also, I will explain my own experiences of various encounters that resulted fruitful scientific achievements.

キーワード: 古海洋学, 石灰質ナノ化石, 生物層序, 水動力学, 下部有光層
Keywords: paleoceanography, calcareous nanofossils, biostratigraphy, water dynamics, lower photic-zone

氷期・間氷期サイクルの変動メカニズムと古気候モデリング Mechanism of ice age cycle and paleoclimate modeling

阿部 彩子^{1*}
ABE-OUCHI, Ayako^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所および JAMSTEC

¹ University of Tokyo (AORI) and JAMSTEC

地球科学の古気候 (paleoclimate) 研究の分野は、過去の気候環境を復元し、その変動メカニズムを明らかにすることを目的としている。従来の地質学に間接指標によって気候データ復元する研究手法に加え、物理や化学的手法が盛んに開発されたことで、この分野の研究がとくにこの10?20年大いに進んだ。とくに、「なぜ」「いかに」を明らかにするための気候変動に関するコンピューターシミュレーション (数値モデリング) の手法や、年代を高精度で明らかにする方法の進展はめざましい。100年先あるいはそれより長期の気候の将来予測に関連して、古気候モデリングを行う意味は大きくわけて3つ挙げられる。第一に、実際過去に起った気候変化の再現を通じて気候モデルの信頼性を増すという期待がある。とくに温室効果ガスなどの放射強制力に対して気候システムがどう応答し、どのようなフィードバックプロセスが重要か定量的に調べることは大変重要である。そこで、気温を中心とした気候感度や地域的な気候分布変化について将来予測を古気候データとモデリングで検証するような研究が進められ IPCC 報告書でも多くの紙面が割かれている。第二に、氷床分布 (の海水準への影響) や植生分布さらには炭素循環などの長期の地球システム変化プロセスについてその振る舞いを明らかにすることは重要である。これらの地球システム要素は、変化の時間スケールが100年よりはるかに長く及ぶ性質や、一方で急激な変化を非線形にもたらすことが知られつつあるが、古気候データによる情報と気候や地球システムモデルの高度化が不可欠である。第三に、気候状態の変化のメカニズムをさまざまな事例を通して明らかにすることが期待される。気候変化の時間スケールについては数万年スケール、数千年スケール、数年スケールの急激な温暖化など様々あり、異なる時間スケールの気候変動の関係や気候変動の性質を知る上で古気候研究が重要なことが最近に明らかになりつつある。実際の事象をデータから知り、さらに、気候モデルを併用して原因結果を考察することが必要である。講演では、最近行った氷期サイクルの古気候モデリングを例にとりあげ、古気候モデリングの意味を考える

キーワード: 気候, 古気候

Keywords: climate, paleoclimate

北西太平洋における白亜系—古第三系の層序と温室期古環境変動の復元における意義 Cretaceous-Paleogene stratigraphy in Northwest Pacific and its significance for paleoenvironmental study

西弘嗣^{1*}; 高嶋礼詩¹; 山中寿朗²; 折橋裕二³; 林圭一⁴; 金綱将也¹
NISHI, Hiroshi^{1*}; TAKASHIMA, Reishi¹; YAMANAKA, Toshiro²; ORIHASHI, Yuji³; HAYASHI, Kei-ichi⁴; KANETSUNA, Masaya¹

¹ 東北大学, ² 岡山大学, ³ 東京大学, ⁴ 北海道立総合研究機構地質研究所

¹Tohoku University, ²Okayama University, ³The University of Tokyo, ⁴Geological Survey of Hokkaido

The Cretaceous – Paleogene period is known as the latest Greenhouse climate in the history of earth. In order to understand ocean – climate system during past Greenhouse climate, numerous attempt has long been made for the marine sequences in the Atlantic and Southern oceans and the Tethyas Sea. The Pacific Ocean was the outstandingly largest ocean during Cretaceous – Paleogene, and it may have played important roles in Earth's ocean – climate system. Despite its importance, very little work has been done to establish detailed paleo-oceanographic changes during Cretaceous – Paleogene. This is largely because most of the Cretaceous – Paleogene Pacific oceanic crusts have subducted under continents, and bad recoveries of Cretaceous – Paleogene sediments of the ODP and DSDP cores from the Pacific sites have prevented researchers from studying paleoenvironmental changes of the Pacific Ocean.

First, we establish the detailed integrated stratigraphy (planktic foraminiferal and dinoflagellate cyst biostratigraphy, carbon isotope stratigraphy and U-Pb dating of tuff beds) of the Cretaceous – Paleogene marine sequences exposed in Hokkaido Japan because the resolution of international stratigraphic correlation of these strata is not enough to identify important climatic and/or extinction events such as the OAEs, K/Pg, PETM and others. The strata used in this study is as follows; the Yezo Group (early Aptian – early Campanian: 125 – 75 Ma), the Nemuro Group (Campanian?– early Eocene: 75?– 53 Ma), the Poronai Formation (late Eocene: 42 – 35 Ma) and the Onbetsu Formation (late Eocene – early Oligocene: 34 – 32 Ma). Our integrated stratigraphy enables to identify the exact horizons of following climatic and extinction events. The Cretaceous Oceanic Anoxic Events (OAEs) of the OAE1a (125.5 – 124 Ma), Leenhardt Level of OAE1b (110 Ma), OAE1c (107 Ma), OAE1d (101 Ma), OAE 2(94 – 93.5 Ma) are identified in the Yezo Group exposed in Oyubari and Tomamae areas. Although no so-called black shales were found in these horizons, evidences of oxygen depletion were identified from the most of these horizon based on the analyses of benthic foraminifera, degree of pyritization and sedimentary structure such as degree of bioturbation. The horizons of the K/Pg (66 Ma) and PETM (Paleocene Eocene Thermal Maximum; 56 Ma) in the Nemuro Group and Late Eocene Warming (37 Ma) in the Poronai Formation exhibit no obvious differences in lithology. Especially, the strata across the K/Pg boundary in the Shiranuka Hill consists of massive mudstone and a few intercalations of thin felsic tuff and turbidite sandstone. The middle – late Eocene cooling (40 – 39 Ma) is characterized by abundant occurrences of glendonites and buliminids (benthic foraminifera) in the middle part of the Poronai Formation, which indicates that cooling and eutrophication of surface water occurred in the northwest Pacific. The prominent positive excursion of oxygen isotope around Eocene/Oligocene boundary (34 – 33.6 Ma) is placed at the top of the Urahoro Group. The overlying Onbetsu Formation includes Oi-1a and Oi-1b of early Oligocene. Flood occurrence of buliminids in the lower part of the Onbetsu Formation suggest that surface water eutrophication occurred in response to global cooling after the Oi-1 glaciation.

The horizons of climatic and extinction in Hokkaido have continuous outcrop without significant hiatus and faults. High resolution analyses of these horizons will improve our understanding of climatic and environmental changes in northwest Pacific during the latest greenhouse period.

キーワード: 白亜紀, 古第三紀

Keywords: Cretaceous, Paleogene

ミランコビッチ・サイクルと炭素循環が Toarcian 海洋無酸素事変に与えた影響 Milankovitch forcing and carbon cycle during the Toarcian Oceanic Anoxic event

池田 昌之¹; 堀 利栄^{1*}; 池原 実²

IKEDA, Masayuki¹; HORI, S., Rie^{1*}; IKEHARA, Minoru²

¹ 愛媛大学理工学研究科, ² 高知大学海洋コア総合研究センター

¹Department of Earth Science, Faculty of Science, Ehime University, ²Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

One of the most profound environmental changes in the Mesozoic took place during Toarcian (Early Jurassic), including oceanic anoxia (Toarcian Oceanic Anoxic Event; T-OAE). The T-OAE is characterized by negative carbon isotope excursion (CIE) of up to ~8 ‰. The T-OAE is considered to have resulted from the release of CO₂ by Karoo-Ferrar volcanism and possible methane hydrate dissociation. However, the origin of these perturbations remains strongly debated, primarily due to lack of radiometric age constraints across the T-OAE (e.g. Palfy and Smith, 2000; Kemp et al., 2005, 2011; Suan et al., 2008).

Here we present the orbitally-tuned bio-, and $\delta^{13}\text{C}_{org}$ stratigraphy of the Lower Jurassic deep-sea bedded chert sequence at the Katsuyama-Sakahogi section, in the Inuyama area, central Japan, which covers the T-OAE (Ikeda and Tada, 2013; Ikeda and Hori, in review). The sedimentary rhythms of the bedded chert display a full range of climatic precession related cycles; ~20 kyr cycle as a chert-shale couplet and ~100 kyr, 405 kyr, ~2000 to 4000 kyr cycles as chert bed thickness variations (Ikeda et al., 2010; Ikeda and Tada, 2013). Chert-shale cycles and variations in chert bed thickness are interpreted as resulted from changes in the burial rate of biogenic silica (Hori et al., 1993).

By using 405-kyr eccentricity cycle of constant and stable periodicity (Laskar et al., 2004) observed in the Inuyama bedded chert, we established the astronomical time scale (ATS) by counting 405 kyr cycle (~20 bed cycle; Ikeda and Tada, 2013). Then, this ATS is anchored at the end-Triassic radiolarian extinction level of which age is estimated as 201.4 ± 0.2 Ma based on projection of the U-Pb date measured at the Pucara section, Peru, using the conodont and radiolarian biostratigraphy (e.g. Carter and Hori, 2005; Schoene et al., 2010; Ikeda and Tada, 2013).

This astronomical time scale suggests the absolute ages of the T-OAEs. The timing of two black bedded chert intervals (T-OAEs 1 and 2) and the negative CIE of ~5 ‰ are within the time interval of radiometric ages from the Karoo-Ferrar Lips (Svencen et al., 2007; Jourdan et al., 2008). This result supports the volcanic degassing origin of these carbon cycle perturbations (Palfy and Smith, 2000; Suan et al., 2008).

The termination of black shale deposition occurred at the minimum of 40 kyr obliquity and 100 kyr and 405 kyr eccentricity cycles. These temporal relations imply the possible impacts of these orbital forcing on the stabilization of carbon cycle perturbation through Earth system dynamics, such as weathering and nutrient cycles.

キーワード: ミランコビッチ, 炭素循環, 火成活動, シリカ循環, 水循環

Keywords: Milankovitch cycle, carbon cycle, volcanism, silica cycle, hydrological cycle

石灰質ナノ化石からみた中新世～鮮新世の琉球列島の古海洋環境 Paleoceanographic evolution of Miocene to Pliocene mud sea in the Ryukyus based on calcareous nannofossil assemblages

今井 遼^{1*}; 佐藤 時幸²; 井龍 康文¹
IMAI, Ryo^{1*}; SATO, Tokiyuki²; IRYU, Yasufumi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 秋田大学大学院工学資源学研究科応用地球科学教室

¹Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University, ²Institute of Applied Earth Sciences, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

琉球列島沖縄本島には、中新統～更新統の島尻層群、更新統の知念層および琉球層群が分布する。島尻層群は主に泥岩と砂岩からなり、琉球層群は主にサンゴ礁およびその周辺海域で形成された石灰岩からなる。両者の間に位置する知念層は、島尻層群と琉球層群との中間的な岩相を示す。この「泥海（島尻層群）」から「サンゴ海（琉球層群）」への岩相変化は、琉球列島の背弧海盆すなわち沖縄トラフの形成により、黒潮が背弧側へ流入したことに関連していると考えられている。我々は、沖縄本島南部で掘削された「南城 R1（掘止深度 2119.49 m）」の試料を用いて、島尻層群（豊見城層・与那原層）の石灰質ナノ化石生層序の確立と石灰質ナノ化石群集解析と岩相層序に基づいた後期中新世から後期鮮新世の古海洋環境復元を目的に研究を行った。その結果、4つの化石基準面が認定され、豊見城層は上部中新統（NN11～NN12；CN9a～CN10a - CN10b）に、与那原層は上部中新統から上部鮮新統（NN12～NN16；CN10a - CN10b～CN12）に対比されることが判明した。豊見城層および与那原層下部堆積時（>8.3～5.3 Ma）は、低いココリス生産量と *Sphenolithus abies* の多産から、貧栄養環境であったと推定される。与那原層中部堆積時（5.3～3.5 Ma）は、ココリス生産量の増加および *small Reticulofenestra* spp. の多産から、富栄養環境への変化が想定される。与那原層上部堆積時（3.5～2.9 Ma）は石灰質ナノ化石の産出頻度が低いことより、再び貧栄養環境へ戻ったと考えられる。島尻層群の堆積相および底生有孔虫に関する先行研究の結果を併せて考察すると、以上の海洋環境の変化は堆積盆地の浅海化に起因すると結論される。これに加え、2013年8月から沖縄本島那覇市奥武山および南城市大里の2地点で実施された地下埋蔵天然ガス試掘調査で取得したカッティング試料の石灰質ナノ化石群集を検討する機会をえたので、その成果を併せて報告する。

キーワード: 石灰質ナノ化石, 中新世, 更新世, 琉球列島, 島尻層群
Keywords: calcareous nannofossil, Miocene, Pliocene, Ryukyu Islands

鮮新世以降の東南極氷床高度の低下：南極寒冷圏システム進化とのリンク East Antarctic deglaciation and the link to global cooling since the Pliocene

菅沼 悠介^{1*}; 三浦 英樹¹; Zondervan Albert³; 奥野 淳一²
SUGANUMA, Yusuke^{1*}; MIURA, Hideki¹; ZONDERVAN, Albert³; OKUNO, Jun'ichi²

¹ 国立極地研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ GNS, Science
¹National Institute of Polar Research, ²JAMSTEC, ³GNS, Science

Reconstructing past variability of the Antarctic ice sheets is essential to understand their stability and to anticipate their contribution to sea level change as a result of future climate change in a high-CO₂ world. Recent studies have reported a significant decrease in thickness of the East Antarctic Ice Sheet (EAIS) during the last several million years. However, the geographical extent of this decrease and subsequent isostatic rebound remain uncertain and a topic of debate. In this study, we reconstruct magnitude and timing of ice sheet retreat at the Sor Rondane Mountains in Dronning Maud Land, East Antarctica, based on detailed geomorphological survey, cosmogenic exposure dating, and glacial isostatic adjustment modeling. Three distinct deglaciation phases since Pliocene for this sector of the EAIS are identified, based on rock weathering and ¹⁰Be surface exposure data. We estimate that during the Plio-Pleistocene the ice sheet thinned by at least 500 m. This thinning is attributed to the reorganization of Southern Ocean circulation associated with the global cooling into the Pleistocene, which reduced the transport of moisture from the Southern Ocean to the interior of EAIS. The data also show since the Last Glacial Maximum the ice surface has lowered less than ca.50 m and probably started after ca. 14 ka. This suggests that the EAIS in Dronning Maud Land is unlikely to have been a major contributor to postglacial sea-level rise and Meltwater pulse 1A.

Past 2 Myr Radiolarian Assemblages and Paleoceanographic Changes off the Southwestern Japan (IODP Site C0001)

Past 2 Myr Radiolarian Assemblages and Paleoceanographic Changes off the Southwestern Japan (IODP Site C0001)

MATSUZAKI, Kenji M.^{1*} ; NISHI, Hiroshi¹ ; SUZUKI, Noritoshi² ; HAYASHI, Hiroki³ ; IKEHARA, Minoru⁴ ; GYAWALI, Babu R.² ; TAKASHIMA, Reishi¹

MATSUZAKI, Kenji M.^{1*} ; NISHI, Hiroshi¹ ; SUZUKI, Noritoshi² ; HAYASHI, Hiroki³ ; IKEHARA, Minoru⁴ ; GYAWALI, Babu R.² ; TAKASHIMA, Reishi¹

¹The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University Museum, Tohoku University (Japan), ²Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University (Japan), ³Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University (Japan), ⁴Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University (Japan)

¹The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University Museum, Tohoku University (Japan), ²Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University (Japan), ³Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University (Japan), ⁴Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University (Japan)

The effects of Quaternary paleoceanographic events on the Kuroshio Current off the southwestern Japan, including the mid-Pleistocene Transition (MPT) (1,200?700 ka) and the mid-Brunhes event (MBE) (400?300 ka), are poorly documented at this time because of a lack of long core recovering the MBE and the MPT. In this context, this study aims to establish paleoceanography of this region since the Early Pleistocene, using radiolarian assemblages as paleoceanographical proxy. The Holes C0001E and F, drilled by the R/V Chikyu during IODP Expedition 315 at a depth of 2198 m in the Shikoku Basin off the Kii Peninsula on the slope of the Nankai accretionary prism (southern Japan) are used in this study. The upper 190 m LSF sediments cover the Quaternary based on the shipboard results, the dominant lithology consisted of greenish-gray to grayish-green mud. The age model of Site C0001 is based on calcareous nannofossils datums, planktic foraminifers datums, radiolarians datums and *Globorotalia inflata* oxygen isotope stratigraphy. In this study, 240 samples of 20 cc, covering the Early to Middle Pleistocene, were used for radiolarian faunal analysis. The examination of the polycystine radiolarians was performed using an optical microscope at a magnification of 100?400x. In each sample, 400 to 1000 polycystine radiolarians were identified. The radiolarian-based sea surface temperature (rSST) was estimated using a Modern Analogue Technique (MAT). Several warming event is recorded during the Early Pleistocene. However, the strongest warming event is recorded during the MPT, where the subtropical fauna abundances increased consequently.

キーワード: Pleistocene, Paleoceanography, Mid Pleistocene Transition, Radiolarian

Keywords: Pleistocene, Paleoceanography, Mid Pleistocene Transition, Radiolarian

オホーツク海における環境岩石磁気学手法により推定した過去55万年間の海水変動 Sea-ice conditions in the Okhotsk Sea during the last 550 kyr deduced from environmental magnetism

山崎 俊嗣^{1*}; 井上 聖子²; 下野 貴也²; 坂本 竜彦³; 坂井 三郎⁴

YAMAZAKI, Toshitsugu^{1*}; INOUE, Seiko²; SHIMONO, Takaya²; SAKAMOTO, Tatsuhiko³; SAKAI, Saburo⁴

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科, ³ 三重大学生物資源学部, ⁴ 海洋研究開発機構

¹AORI, University of Tokyo, ²Tsukuba University, ³Mie University, ⁴JAMSTEC

オホーツク海における海氷の状態はグローバルな気候変動に応じて変化し、また、それが太平洋中層水の生成を通じてグローバルな海洋循環にも影響する。このため、過去の海氷の状態を復元することは重要である。私たちは、環境岩石磁気学手法により海氷の空間的・時間的変化を復元することを目的として、オホーツク海中央部の3地点で採取された6本のコアの研究を行った。主として相対古地磁気強度を用いて、コア間の対比と年代推定を行った。酸素同位体比層序は、1地点のみで得られている。磁化率の極小は、堆積物の色 b^* 、ARM (非理歴性残留磁化) 磁化率と SIRM (飽和残留磁化) の比 ($k_{ARM}/SIRM$)、S 比の極大を伴っている。これらのパラメータは生物源磁性鉱物の陸源磁性鉱物に対する割合が高いことを示し、海洋生産性が増大したことを反映している。FORC 図と IRM 獲得曲線の成分解析結果は、磁化率極小における生物源磁性鉱物の増加を支持している。磁化率が大きいところでは反対に b^* 、 $k_{ARM}/SIRM$ 、S 比は低く、これらは陸源磁性鉱物の割合が増加したことを示す。陸源磁性鉱物はおそらく IRD として供給された。南部の2地点では、氷期及び融氷期において IRD 供給の指標が増加することから、氷期においても海氷が流動する環境にあったと考えられる。引き続き間氷期初期には、海洋生産性が著しく増加し、ほぼ海氷のない環境であったと考えられる。一方、北部の地点では、IRD の供給は氷期には小さく、間氷期初期に増加した。このことは、氷期には万年結氷した状態にあったことを示すと考えられる。引き続き、南部の2地点より時間的に遅れて海洋生産性が増大した。以上のように、相対古地磁気強度と環境岩石磁気手法は古海洋研究に役立つ。

Keywords: Okhotsk Sea, paleoceanography, environmental magnetism, sea ice, IRD

珪藻化石群集変動解析による北西太平洋およびベーリング海における鮮新世-更新世古海洋環境復元 Pliocene and Pleistocene paleoceanography in the northwestern Pacific and the Bering Sea based on diatom analyses

加藤 悠爾^{1*}; 小野寺 丈尚太郎²; 須藤 斎¹; 寺石 瑛人³; 高橋 孝三⁴
KATO, Yuji^{1*}; ONODERA, Jonaotaro²; SUTO, Itsuki¹; TERAISHI, Akihito³; TAKAHASHI, Kozo⁴

¹名古屋大学大学院 環境学研究科, ²海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ³NTTコムウェア, ⁴北星学園大学 社会福祉学部
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Research Institute for Global Change, JAMSTEC, ³NTT COMWARE Co, Ltd., ⁴School of Social Welfare, Hokusei Gakuen University

1. はじめに

本研究では、北西太平洋域の堆積物試料 (ODP Leg 145 Hole 884B) に含まれる珪藻化石の種構成の変化を 2.5-0 Ma について分析し、本海域における古海洋環境の復元を試みた。さらに、ベーリング海の堆積物試料 (IODP Exp. 323 Holes U1341B, U1343E) に含まれる珪藻化石分析結果 (Onodera et al., in press; Teraishi et al., in press) との比較を行い、ベーリング海・亜寒帯太平洋域全体の海洋環境の変化について考察した。

2. 研究方法

Hole 884B では、2.5-0 Ma の層準について 3 m ごと (解像度: ~40 kyr) にサンプリングを行い、各サンプルにつき珪藻殻が計 100 殻になるまで計数した。古環境推定にあたっては、Sancetta (1982) などを参照しながら、環境指標種を Cold-water (冷水種), Sea-ice related (海水関連種), Temperate-water (温水種), Neritic (沿岸種), Open-ocean (外洋種) の 5 つに分類し、2.5-0 Ma における各環境指標種の産出数比の変化を調べた。年代モデルには、珪藻化石および古地磁気の datum を用いた。

3. 北西太平洋亜寒帯域 (Site 884) の古海洋

全体として冷水種・外洋種が多く、一方で海水種はほとんど産出しないことから、本海域は、海水は張らないものの寒冷で、かつ沿岸水との混合があまりない海洋環境であったと推定される。また、約 2.2 Ma における温水種の急減は、Koizumi (1985) などで報告された寒冷化イベントを、約 2.3 Ma から見られた海水種や沿岸種の散発的な産出は、亜寒帯水塊の段階的な発達 (Sancetta and Silvestri, 1986) を反映していると考えられる。

4. ベーリング海 (Sites U1341, U1343) との比較

全てのサイトで、温水種の急減が見られたが (約 2 Ma), そのタイミングは三者で異なり、南に位置する Site 884 で最も早く (2.2 Ma), Site U1341 (2.1 Ma) と U1343 (1.9 Ma) がそれに続いた。この差異は、寒冷化に伴う亜寒帯循環の強化によるものと考えられる。具体的には、1) 東カムチャツカ海流による Site 884 への寒冷水供給が強化、2) 一方で、比較的温暖的アラスカストリーム起源の海水供給が減少、3) Site U1341 への Near Strait 経由の温暖水供給が減少、というシナリオを考えている。

キーワード: 珪藻, 古海洋, 亜寒帯太平洋, ベーリング海, IODP Expedition 323, ODP Leg 145

Keywords: diatom, paleoceanography, subarctic Pacific, Bering Sea, IODP Expedition 323, ODP Leg 145

北半球氷床発達期 (MIS100)における千年スケールの古環境変動の岩石磁気記録 Millennial-scale rock-magnetic variation indicating instability of North Atlantic environments during MIS 100

大野 正夫^{1*}; 佐藤 雅彦¹; 林 辰弥²; 桑原 義博¹; 北 逸郎¹
OHNO, Masao^{1*}; SATO, Masahiko¹; HAYASHI, Tatsuya²; KUWAHARA, Yoshihiro¹; KITA, Itsuro¹

¹九州大学大学院地球社会統合科学府, ²御船町恐竜博物館

¹Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, ²Mifune Dinosaur Museum

Ocean thermohaline circulation (THC) plays an important role in global climate change linked with continental ice sheets. To clarify the variation of ocean THC in the early stage of glaciations in the northern hemisphere, we studied a deep-sea sediment core with high sedimentation rate recovered at IODP Site U1314 in the North Atlantic. Rock magnetic study of the sediments during marine oxygen isotope stage (MIS) 100 indicated links between the millennial-scale variability in deep water circulation and iceberg discharge. The observed abrupt decreases of magnetic coercivity associated with ice-rafted debris (IRD) are interpreted to be reduced transport of high-coercivity material from Icelandic source indicating reduced formation of North Atlantic Deep Water (NADW). In these periods, a current from the south, Lower Deep Water, transports sediments with low magnetic coercivity contributed by coarse grained magnetite of continental sources. Repetition of vigorous and weakened NADW production linked to IRD was observed during MIS 100 in a similar manner to that in the last glacial suggests that the regime of climate change in the millennial-scale was already established in the early stage of glaciations in the northern hemisphere.

キーワード: 岩石磁気, 熱塩循環, 北大西洋深層流, 漂流岩屑

Keywords: rock magnetism, thermohaline circulation, North Atlantic Deep Water, Ice rafted debris

北極チュクチ海における珪藻化石を用いた完新世古環境復元 Paleoceanographic reconstruction of the Holocene Arctic Chukchi Sea using fossil diatoms

今野 進^{1*}; ジョルダン アール ダブリュー²
KONNO, Susumu^{1*}; JORDAN, R. W.²

¹九州大学大学院 理工学研究院, ²山形大学 理学部

¹Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Faculty of Science, Yamagata University

北極チュクチ海は、ベーリング海からの暖かい海水が流入する北極海の入り口の海域である。北極海の海水減少の一因であるベーリング海からの温海水は、チュクチ海の海水分布によって流れを変えている。地球の気候システムにおいて海水は、太陽光の反射・大気への熱の遮断・海水の低温維持・結氷時の高塩分海水排出による鉛直混合などを担い、大気循環・生物生産・海洋循環などの様々な地球環境に大きな影響を持つ。従ってチュクチ海の過去の海水史の復元は、北極海の気候システム、そして地球の気候システムを理解する上で重要である。しかし、これまでチュクチ海から採取されたピストンコア堆積物は、微化石による詳細な古環境解析には短すぎる、もしくは微化石が全く含まれていないなど微化石解析や年代軸確立の困難や定量的指標の欠如など大きな問題があった。

2005年アメリカ沿岸警備隊砕氷船カッター「Healy」HLY0501航海によりチュクチ海から採取された堆積物コアの解析に取り組み始めた。HLY0501航海により採取された堆積物コアは8カ所あり、従来の研究結果通り6カ所では珪藻化石は産出しなかったが、コア5と8では珪藻化石が観察できたため、珪藻化石分析の結果を示す。

キーワード: チュクチ海, 珪藻, 完新世

Keywords: Chukchi Sea, Diatom, Holocene

氷期の急激な気候変動における大西洋深層循環の熱的閾値の役割 Thermal threshold of the Atlantic meridional overturning circulation as a trigger for glacial abrupt climate changes

岡 顕^{1*}; 阿部 彩子¹; 横山 祐典¹; 川村 賢二²; 羽角 博康¹

OKA, Akira^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako¹; YOKOYAMA, Yusuke¹; KAWAMURA, Kenji²; HASUMI, Hiroyasu¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 国立極地研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ² National Institute of Polar Research

Abrupt climate changes known as Dansgaard-Oeschger events (DO events) took place frequently during glacial climate. Geological evidences support the idea that changes of the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) are related to these events, but question on what triggers the AMOC changes remains unsolved. Although most studies have regarded freshwater flux from melting ice sheet as a cause of the AMOC changes, we recently identified the existence of the thermal threshold of the AMOC during glacial climate. Here, from the results of numerical simulations about the glacial AMOC, we report that the thermal threshold of the AMOC serves as a triggering mechanism of DO events. We investigated the structure of the thermal threshold in glacial climate by conducting ocean general circulation model simulations under various thermal conditions in which degrees of sea surface cooling are systematically changed separately or simultaneously in northern and southern hemispheres. The results suggest that the threshold is located near the condition under which the climate is slightly warmer than the coldest glacial conditions. We also found that the amplitude of AMOC changes in crossing the threshold depends on thermal conditions in northern and southern hemispheres. The most prominent threshold is identified where the southern hemisphere is somewhat warmer than the coldest glacial conditions. It is also demonstrated that gradual warming in the southern hemisphere from the colder glacial climate leads to crossing this threshold and can cause significant strengthening of AMOC. Our results indicate that the thermal threshold could be a triggering mechanism of DO events, especially for those accompanying the gradual warming of southern hemisphere before their abrupt warming in northern hemisphere.

キーワード: 大西洋深層循環, 氷期, DO イベント

氷期における南大洋成層化が海洋炭素循環に及ぼす影響の評価 Role of Southern Ocean stratification in glacial atmospheric CO₂ reduction

小林 英貴^{1*}; 岡 顕¹
KOBAYASHI, Hidetaka^{1*}; OKA, Akira¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

約 80 万年前から現代にかけて、氷期-間氷期サイクルに伴い、大気中二酸化炭素濃度が約 80-100ppmv 程度変動していたことが、氷床コアの記録から明らかにされている。その変動には、海洋が大きく関わっていることが認識されつつあるが、その詳細なメカニズムについては、未だ未解明な点が多い。古気候データから、南大西洋深層では 37.0psu を超える高塩分が示唆され、成層が現代より強くなっていたことが示唆されている。さらに、深海サンゴから得られた $\Delta^{14}\text{C}$ のデータから、南大西洋で水塊年齢が 3000 年を超えていたことが示されている。これらの証拠から、氷期には南大洋深層を中心に塩分による成層が強く、海洋深層が表層から隔離され、南大洋深層が氷期に炭素の大きな貯蔵庫であった可能性が示唆されている。

本研究の目的は、氷期における南大洋成層化が海洋の炭素循環場に与える影響について、数値モデリングによる定量的な評価を行うことである。まずは、古気候データから示唆される、南大洋深層における高塩分かつ古い水塊年齢を、三次元の海洋大循環モデルを用いて再現することができるかを議論する。その上で、そのような南大洋での変化が大気中二酸化炭素濃度にどの程度影響するのかを評価する。現代 (CTL) と LGM に関する標準実験では、大気中二酸化炭素の濃度は CTL 実験が約 303ppmv、LGM 実験が約 259ppmv で、LGM-CTL 間の大気中二酸化炭素濃度差は、約 44ppmv であった。また、LGM 実験において、データから示唆される南大洋深層における高塩分で古い水塊は再現されなかった。ブラインリジェクション過程を表現することで、氷期の塩分分布は概ね再現できたが、南大洋深層の高密度化に伴う循環構造の変化の影響で、古い水塊年齢や氷期の大気中二酸化炭素濃度は実現されなかった。さらに、塩分成層が鉛直混合を弱くもたらす過程を考慮するため、鉛直拡散係数を成層に依存させた形で与えたところ、高緯度の深層水形成領域で鉛直拡散係数が大きくなり、循環構造の変化が大気中二酸化炭素濃度の増加をもたらした。そこで、南大洋の成層化を想定し、南大洋の鉛直拡散係数を理想的に $0.1\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ とする数値実験を実施したところ、標準実験に比べて約 11ppmv の大気中二酸化炭素濃度の減少が生じたが、南大洋の局所的な成層化による深層への炭素貯蔵の増加だけでは、氷期の低い大気中二酸化炭素濃度を説明できなかった。その後、全海洋で鉛直拡散係数を理想的に $0.1\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ とする実験についても行ったが、その応答は標準実験に比べて約 15ppmv の大気中二酸化炭素濃度の減少に過ぎず、鉛直拡散係数の変化に伴う循環構造の変化だけでは、氷期の低い大気中二酸化炭素濃度は実現するのは困難であった。これらの結果から、炭酸塩補償過程など、今回用いた数値モデルでは表現されない過程の重要性が示唆された。

キーワード: 海洋炭素循環, 最終氷期, 南大洋, 海洋大循環モデル

Keywords: ocean carbon cycle, Last Glacial Maximum, Southern Ocean, Ocean general circulation model

ヤクスギ年輪の酸素同位体比クロノロジーの構築 - 夏季モンスーンの復元に向けて - A tree-ring oxygen isotope chronology from Yakushima Island and its dendroclimatic potential

佐野 雅規^{1*}; 安江 恒²; 木村 勝彦³; 中塚 武¹
SANO, Masaki^{1*}; YASUE, Koh²; KIMURA, Katsuhiko³; NAKATSUKA, Takeshi¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 信州大学, ³ 福島大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²Shinshu University, ³Fukushima University

日本などの温暖・湿潤な地域に生える樹木は、水や光をめぐる隣接木との競合など生態的な影響を強く受けるため、年輪幅から気候の情報を高精度で抽出することが困難であった。しかし近年、日本を含むアジアの温暖・湿潤地において、樹木年輪のセルロースに含まれる酸素同位体比が、過去の降水量や相対湿度の変動を正確に記録しているという知見が続々と報告されている。本研究では、屋久島産の長樹齢のスギ（以下、ヤクスギ）を用いて、過去 2000 年間にわたる夏季モンスーン変動の復元に向けて年輪セルロースの酸素同位体比の測定を進めている。

本報告では、年輪幅変動の個体間比較によって年代の定まった複数のサンプルを材料とし、個体毎にセルロースの酸素同位体比を年単位で測定して個体間での変動の同調性を確認すると共に、近隣の気象データと対比して、酸素同位体比の変動に寄与する気候因子を明らかにした。まず、過去 300 年間を対象にして 2 個体の酸素同位体比を測定した結果、その変動パターンは両者で良く合っていた ($r = 0.68$) ほか、いずれも 20 世紀に顕著な上昇傾向を示すことが明らかとなった。次いで、各々の酸素同位体比の時系列を規格化（平均 0, 分散 1）した後、それらの平均値を求めて酸素同位体比のクロノロジーを作成して鹿児島島の気象観測データ（月別の気温・降水量・相対湿度）と比較した。測候所の気温と相対湿度のデータも、それぞれ上昇（温暖化）と下降（乾燥化）トレンドを示していたため、いずれも酸素同位体比クロノロジーと有意な相関を示した。そこで、気象データと酸素同位体比クロノロジーの短周期成分を抽出した上で相関解析を再度行ったところ、気温では相関が消える一方で、夏季（5-9 月）の相対湿度は依然として有意な負の相関を示した。また、相対湿度に比べると弱い相関が、夏季の降水量もまた酸素同位体比と有意な負の相関を示した。以上から、1) ヤクスギ年輪の酸素同位体比は、主に夏季の相対湿度を反映していること、2) 20 世紀の酸素同位体比の上昇傾向は、相対湿度の減少トレンド（乾燥化）を反映していることが明らかとなった。

キーワード: 樹木年輪, 酸素同位体比, 屋久島, モンスーン

Keywords: tree ring, oxygen isotope ratios, Yakushima Island, monsoon

インドネシア西ジャワにおける古気候復元のためのスンカイの年輪の $\delta 18\text{O}$ プロキシの評価

Assessment of Sungkai tree-ring $\delta 18\text{O}$ proxy for paleoclimate reconstruction

原田 麻央^{1*}; 渡邊 裕美子¹; 中塚 武²; 田鶴 寿弥子³; 堀川 祥生³; バンバン スビヤント⁴; 杉山 淳司³; 津田 敏隆³; 田上 高広¹

HARADA, Mao^{1*}; WATANABE, Yumiko¹; NAKATSUKA, Takeshi²; TAZURU, Suyako³; HORIKAWA, Yoshiki³; BAMBANG, Subiyanto⁴; SUGIYAMA, Junji³; TSUDA, Toshitaka³; TAGAMI, Takahiro¹

¹ 京都大学大学院 理学研究科, ² 名古屋大学 環境学研究科, ³ 京都大学 生存圏研究所, ⁴ インドネシア科学院

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Graduate School of Environmental Studies, ³Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ⁴Indonesian Institute of Sciences

We measured annual $\delta 18\text{O}$ variations of two sungkai trees that were collected in the same area as previous study, in order to assess the reproducibility of sungkai $\delta 18\text{O}$ as paleoclimate proxies. Two sungkai $\delta 18\text{O}$ variations has a significant correlation ($r = 0.80$; $P < 0.001$) with each other and also with the previous analysis, suggesting that $\delta 18\text{O}$ values of sungkai are affected by external climatic factors. The annual $\delta 18\text{O}$ of SungkaiNAN7 has significant, positive correlations with temperature, sunlight hours and air pressure whereas it has significant, negative correlations with relative humidity and SOI. Moreover, the seasonal $\delta 18\text{O}$ variation acquired during severe drought of 1997-98 El Nino event shows that the maximum $\delta 18\text{O}$ value around 1997 latewood corresponds to rainfall/relative humidity minimum and temperature/sunlight hours/air pressure maximum with a significant time lag.

キーワード: 樹木年輪, セルロース, 安定同位体地球科学, 熱帯, 古気候

Keywords: tree ring, cellulose, stable isotope geochemistry, tropics, paleoclimate

現河床堆積物中に含まれる石英粒子の ESR/TL 特性 Characteristics of ESR and TL of natural quartz from river bed sediments

島田 愛子^{1*}; 豊田 新²; 高田 将志¹
SHIMADA, Aiko^{1*}; TOYODA, Shin²; TAKADA, Masashi¹

¹ 株式会社 JEOL RESONANCE, ² 岡山理科大学 理学部 応用物理学科, ³ 奈良女子大学 文学部 人文科学系
¹ Application Support Team, JEOL RESONANCE Inc., ² Department of Applied Physics, Okayama University of Science,
³ Department of History, Sociology and Geography, Faculty of Letters, Nara Women's University

沖積平野や台地は、その形成過程において地殻・地盤運動や海面変化の影響を受けているが、その形成作用の鍵となるものの一つに、河川の土砂運搬堆積作用がある。河川は、様々な基盤地質の流域を含み、沖積平野や台地などの地形が形成後に変形をうけている場合もあるため、地形をつくる堆積物の供給起源を解明するのが難しい場合も少なくない。したがって、堆積物の供給起源になりうる基盤岩などに含まれる石英結晶を調べ、その特性の違いから堆積物の供給起源地を推定できれば、地形学・地質学的プロセスの解明に大きな貢献を果たすものと期待される。

堆積物の供給起源推定に関しては、近年、電子スピン共鳴 (ESR) や熱ルミネッセンス (TL) 特性を用いた研究が精力的に進められている。たとえば、石英粒子の E_1' 中心信号強度は、風成塵の供給起源地を推定する有用な指標として用いられている [1]、[2]、[3]。石英粒子の Al 中心、Ti-Li 中心、 E_1' 中心信号強度を用いて、堆積物の供給起源地を推定するための基礎研究も行われている [4]、[5]、[6]。熱ルミネッセンスカラー画像 (TLCI) は [7]、天然石英の発光色を利用して風化テフラと広域風成塵の識別に用いられている [8]。

本研究では、現河床堆積物中に含まれる石英粒子の ESR/TL 特性を調べた。現河床堆積物中に含まれる石英粒子の粒径ごとの ESR/TL 特性と同一粒径の ESR/TL 特性にどの程度ばらつきがあるのかを検討する。将来的には、河川流域スケールでの細粒堆積物の供給起源推定法の確立を目指している。

[1] Naruse T, Ono Y, Hirakawa K, Okashita M, and Ikeya M, 1997. Source areas of eolian dust quartz in East Asia: a tentative reconstruction of prevailing winds in isotope stage 2 using electron spin resonance. *Geographical review of Japan* 70A-1, 15-27.

[2] Toyoda S and Naruse T, 2002. Eolian Dust from Asia Deserts to Japanese Island since the last Glacial Maximum: the Basis for the ESR Method. *Japan Geomorphological union* 23-5, 811-820.

[3] Nagashima K, Tada R, Tani A, Toyoda S, Sun Y, and Isozaki Y, 2007. Contribution of aeolian dust in Japan Sea sediments estimated from ESR signal intensity and crystallinity of quartz. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi:10.1029/2006GC001364.

[4] Duttinea M, Villeneuve G, Bechtela F, Demazeaub G, 2002. Characterisation par resonance paramagnetique electronique (RPE) de quartz naturels issus de differentes sources. *C.R.Geoscience* 334, 949-955.

[5] Shimada A and Takada M, 2008. Characteristics of Electron Spin Resonance (ESR) signals in quartz from igneous rock samples: a clue to sediment provenance. *Annual Reports of Graduate School of Humanities and Sciences*, 23, 187-195.

[6] Shimada A, Takada M and Toyoda S, 2013. Characteristics of ESR signals and TLCLs of quartz included in various source rocks and sediments in Japan: A clue to sediment provenance. *Geochronometria*, 40, Issue 4, 334-340.

[7] Hashimoto T, Koyanagi A, Yokosaka K, Hayashi Y and Sotobayashi T, 1986. Thermoluminescence color images from quartz of beach sands. *Geochemical journal* 20, 111-118.

[8] Ganzawa Y, Watanabe Y, Osanai F and Hashimoto T, 1997. TL color images from quartzes of loess and tephra in China and Japan. *Radiation Measurements* 27, 383-388.

キーワード: 電子スピン共鳴, 供給起源地, 石英, 堆積物, 熱ルミネッセンス, 現河床堆積物

Keywords: Electron Spin Resonance, Sediments provenance, Quartz, Sediments, Thermoluminescence, River bed sediments

安房層群安野層上部の年代層序学的研究 A chronostratigraphic study of the upper Anno formation, in the Awa group

羽田 裕貴^{1*}
HANEDA, Yuuki^{1*}

¹ 茨城大学
¹Ibaraki University

本研究地域は千葉県富津市志駒川流域に分布する安房層群安野層上部である。安野層では吉川(2010MS)(以後、先行研究)において古地磁気層序についての研究が成され、Mammoth 逆磁極亜期と思われる逆磁極帯と Gauss/Gilbert 境界が確認された。しかし、確認された逆磁極帯から Gauss/Gilbert 境界までの試料採取の解像度が十分ではなかったため、その逆磁極帯がより上位の Kaena 逆磁極亜期である可能性を否定できないため、再検討の余地が残った。そこで本研究では古地磁気層序と有孔虫化石による酸素同位体層序を用いた年代層序の構築を目的に行う。古地磁気測定用試料は本研究地域で確認できる安野層の最上部から層厚 123m に渡り 79 サイトから、有孔虫試料は深度 14.7-53.3m の層準から 25 サイトで採取した。これらの試料に対して岩石磁気測定、古地磁気測定、酸素同位体・炭素同位体測定を行った。

段階熱消磁(以後 ThD)と熱磁気分析の結果から本研究地域の主要な磁性鉱物がマグネタイトであることが推測された。磁気ヒステリシス測定からは、ほとんどの試料が疑似単磁区構造であり、安定した磁化を保持していることが分かった。これらから、本研究地域では疑似単磁区構造のマグネタイトが磁化を担っていると考えられる。

ThD から得られた消磁結果に対して主成分分析を行い、固有磁化成分(以後 ChRM)を抽出、ChRM の偏角と伏角のデータを用いて極性判断を行った。その結果、先行研究における逆磁極帯はその層準から Gauss/Gilbert 境界までの試料が全て正帯磁であったことから Mammoth 逆磁極亜期であるとした。以上の地磁気極性を用いて標準古地磁気極性年代(Ogg,2012)と対比させた。すなわち、Mammoth 上位境界(深度 10~13.8m)を 3.207Ma、Mammoth 下位境界を 3.330Ma、Gauss/Gilbert 境界(深度 97.1~98.4m)を 3.596Ma に対比した。

同位体測定の結果から酸素同位体曲線を描いた。得られた酸素同位体曲線を古地磁気極性対比と矛盾しないよう LR04 酸素同位体標準曲線(Lisiecki & Raymo, 2005)と対比させた結果、6 点で対比可能なことが分かった。本研究酸素同位体曲線では深度 37.2m から徐々に大きくなり、深度 17.3m で最も重い値となる寒冷化イベントが確認できた。この寒冷化イベントは LR04 酸素同位体標準曲線でも確認できる。

本研究で得られた酸素同位体曲線は LR04 酸素同位体標準曲線に比べて振幅は 0.4 ‰大きく、平均値は 0.4 ‰軽いことがわかった。また、LR04 との差は氷期よりも間氷期においてより大きく(安野層 δ 18O がより軽く)なる傾向が見られる。LR04 酸素同位体標準曲線は様々な海域で採取されたコアのスタックカーブであるため、地域性が排除された平滑なカーブである。そのため、地域的なカーブに比べて振幅が小さくなる傾向があり、本研究酸素同位体曲線の振幅が大きい理由の 1 つとして考えられる。平均値が軽いことは、安野層堆積時の海底面における水温が LR04 コアの堆積時のそれより高かったこと、つまり水深が浅かったことを示す。現在房総沖では黒潮の影響で温度躍層が水深 500 m 前後であり、氷期は温度躍層の水深が浅くなったと考えられる。安野層堆積時と同様であったなら、間氷期に安野層 δ 18O がより軽くなるという本研究の結果は安野層の堆積水深が当時の温度躍層付近であったことを示す。

キーワード: 古地磁気層序, 酸素同位体層序, 年代層序学

Keywords: paleomagnetic stratigraphy, oxygen isotopic stratigraphy, chronostratigraphy

日本海、隠岐堆積物コア MD01-2407 の TOC 含有率変動に基づく 過去 60 万年間の古気候変動解析 Palaeoclimatic analysis for 600 ka based on the TOC contents of MD01-2407 core from the Oki Ridge, Japan Sea

滝沢 侑子^{1*}; 山本 洗樹³; 林田 明⁴; 公文 富士夫²
TAKIZAWA, Yuko^{1*}; YAMAMOTO, Hiroki³; HAYASHIDA, Akira⁴; KUMON, Fujio²

¹ 信州大学大学院 理工学系研究科, ² 信州大学 理学部, ³ 元 信州大学 理学部, ⁴ 同志社大学 理工学部
¹Graduate school of Science and Technology, Shinshu University, ²Faculty of Science, Shinshu University, ³a former student of Faculty of Science, Shinshu University, ⁴Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

泥質堆積物中の全有機炭素 (Total Organic Carbon : TOC), 全窒素 (Total Nitrogen : TN) 量は, 古気候・古環境復元の指標として有用である. 特に日本海堆積物中の TOC 量は過去の表層における生物生産性を表すとされており (大場・赤坂, 1990), 生物生産性の変動を介した古気候を復元できる指標となる可能性が高い. 本研究では, 2001 年に日本海隠岐堆で採取された MD01-2407 コア (深度: 932 m, コア長: 55.28 m) 中に含まれる TOC・TN 量を 1 cm おきに測定した. 年代は, TL 層, ¹⁴C 年代, コア中に認められた指標テフラ, および MIS イベント年代を用いて作成された年代モデル (Kido et al., 2007 を一部改編) に従った. 深度-年代の対応関係からコア試料の下底は約 67 万年前にあたり, 分析間隔は 200~250 年となった.

隠岐堆堆積物中の TOC 量は, 過去から現在に至るまでに明瞭な準周期的な経年変動を示している. TOC が下部ほど減少するという傾向は認められない. 海洋酸素同位体ステージ (Marine Isotope Stage : MIS) 区分で見ると, TOC 量は間氷期に多く (およそ 5%), 氷期に少ない (およそ 1%) という傾向があった. この変動パターンは LR04 カーブとよく似ている. また 10 万年前以降では, グリーンランド氷床の酸素同位体比変動 (NGRIP) とも類似性が高い. このような特徴は他の日本海堆積物コアの TOC 分析結果 (上越沖 (Urabe et al., 2013), 秋田沖 (森田, 2014 MS)) でも見られ, 日本海堆積物で一般的に見られる変動である. このことから過去の日本海では温暖な時期に生物生産性が増加し, 寒冷な時代に減少していたと考えられる. 隠岐堆コアの特徴としては, TOC 量が高く, かつ 0.5~5% の振幅で大きく変動することが挙げられる.

本研究によって, 200 年程度の時間分解能で 67 万年前までの気候変動を解明する手がかりを得ることができた. これは中緯度地域での古気候資料として, バイカル湖での資料と並ぶ重要な成果と考えられる. 今回初めて明らかになった MIS 8 以前の TOC 量変動では, MIS 15 における TOC 量が 1.6~3.5% の範囲で, 急激かつ短周期的に増減をしていることが注目される. このような変動パターンは, グリーンランド氷床の $\delta^{18}\text{O}$ 変動における MIS 3 の時期に特徴的な数百~数千年周期の急激な変動 (D-O サイクル) と酷似している. この結果は北半球における気候システムの解明に重要な手がかりを与えると考えられる.

キーワード: 全有機炭素, 全窒素, 日本海, MD01-2407
Keywords: TOC, TN, Japan Sea, MD01-2407

日本海堆積物の TOC 含有率の高時間分解能資料を用いた第四紀後期の年代層序 A standard local chronology of late Quaternary based on the TOC profiles of the sediment cores from the Japan Sea

ト部 輔^{1*}; 公文 富士夫²
URABE, Tasuku^{1*}; KUMON, Fujio²

¹ 信州大学大学院, ² 信州大学理学部物質循環学科

¹Faculty of Science, Shinshu University, ²Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University

日本海から採取された堆積物コア試料を対象として、第四紀後期の TOC 含有率を高時間分解能(約 100 年間隔)で測定し、その経年的変動が軌道要素スケールだけでなく、D-O サイクル・スケールでもグリーンランド氷床 NGRIP の酸素同位体比変動とよく一致することを明らかにしてきた(例えば, Urabe et al., 2013). 本研究では、日本海上越沖で採取された MD179-3312 コアの高い時間分解能を持つ TOC プロファイルを日本海の基準とし、それをグリーンランドの氷床(NGRIP)の酸素同位体比プロファイルに合わせて TOC 変動のピークや谷の年代を NGRIP に一致させた。このマッチングには Lisiecki and Lisiecki (2002) による Match プロトコルを用いた。マッチング前の両者の変動には、最大で 4,000 年ほどのズレが生じており、どちらかが系統的に先行するといった傾向はなく、年代的な前後関係は一様ではない。マッチング後の年代目盛りに基づいて、MD179-3312 で認定した TL 層(角和ほか, 2013)に新たな年代を与えた。

一方、堆積物の経年的 TOC プロファイルが日本列島沿岸の日本海でよく似た変動を示すことが分かってきた。そのため、先述したようにマッチングさせた MD179-3312 コアに上越沖(MD179-3304)、秋田沖(MD01-2408)、および隠岐堆(MD01-2407)の 3 つのコア試料の TOC プロファイル資料をマッチングさせて統合し、「日本海における標準的な TOC 層序的変動カーブ (TOC_{JCcom}: Japan Sea TOC compile)」を作成した。これでは 4 地点の資料が平均化されているので、局地的な乱れは抑えられている。この平均化された TOC プロファイルは日本の湖沼堆積物の TOC 変動と良く一致する。TOC_{JScom} と中国南部の Hulu 洞窟, Sanbao 洞窟の石筍の酸素同位体記録(Wang et al., 2001, 2008)とを比較した。MD179-3312 の TOC プロファイルも中国南部の石筍記録とよく一致していたが、TOC_{JScom} では最終退氷期, MIS3 前期, 4, 5.1, 5.2 において、年代層序的な対応関係に改善が認められた。一方、不一致も確認できるが、その原因の一部は日本海の局地的な環境条件の変化にあると考えられる。

キーワード: 第四紀後期, 日本海, TOC, 年代層序

Keywords: Late Quaternary, Japan Sea, TOC, Chronology

下北半島沖 C9001C コアから得られた万年スケールの花粉記録 A Long-term pollen record of the C9001C core from the deep-sea bottom, off Shimokita peninsula, northeastern Japan

菅谷 真奈美^{1*}; 奥田 昌明²; 岡田 誠¹
SUGAYA, Manami^{1*}; OKUDA, Masaaki²; OKADA, Makoto¹

¹茨城大学, ²千葉県立中央博物館
¹Ibaraki University, ²Natural History Museum and Institute of Chiba

下北半島沖にて掘削された海洋コア C902 C9001C より過去十数万年間の花粉記録を抽出し、陸域における古気候変動の復元を行った。これは日本周辺では初めての、海洋底堆積物から産した化石花粉群集に対してモダンアナログ法を用いた古気候パラメータの定量復元である。本研究では約 2000 年の解像度で花粉分析を行った。その結果、花粉記録が示す植生変動は氷期-間氷期変動とおおむね一致していることが分かった。間氷期は現在と同じく、コナラ亜属が卓越した亜寒帯落葉樹林であり、氷期にはカバノキ属やトウヒ属が卓越した亜寒帯針葉樹林となっている。また、この花粉記録にモダンアナログ法を適用し、古気温・古降水量を定量的に復元した。この定量復元結果においては、古気温と古降水量は異なる周期性を示している。古気温の変動は氷期-間氷期サイクルとよく一致する一方で、古降水量変動は 2 万年周期の歳差運動とよく一致していた。これは琵琶湖堆積物の花粉記録にモダンアナログ法を適用した結果と整合的であり、モンスーン変動が日射量変動に規制されているという Nakagawa et al. (2008) の仮説を支持する結果となった。

以上のことから、海洋コアの花粉記録は陸上記録と充分に対比できる気候変動史を復元できると分かった。さらに、定量復元によって古気温・古降水量と異なる気候パラメータの直接対比が可能であることから、モンスーン変動メカニズムについての理解が進むことが期待される。今後も本コア基底（約 80 万年前）までの堆積物に対して花粉分析を続けていく。

Reference

Nakagawa et al., 2008. Regulation of the monsoon climate by two different orbital rhythms and forcing mechanism. *Geology*, 36, 6, 491-494, doi: 10.1130 / G24586A.1.

キーワード: 花粉, モンスーン, 海洋コア
Keywords: pollen, monsoon, marine core

中新世以降の北西太平洋深層水塊特性変化：DSDP296 サイトより Carbon and oxygen stable isotope records of benthic foraminiferal shells at DSDP Site 296

岡崎 裕典^{1*}; 山本 窓香¹; 河瀨 俊吾²; 池原 実³

OKAZAKI, Yusuke^{1*}; YAMAMOTO, Madoka¹; KAWAGATA, Shungo²; IKEHARA, Minoru³

¹九州大学, ²横浜国立大学, ³高知大学

¹Kyushu University, ²Yokohama National University, ³Kochi University

底生有孔虫の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は、水塊指標として海洋循環を復元するツールとなる。Zachos et al. (2001) は、これまでに得られた新生代における底生有孔虫安定同位体比データをまとめた。彼らは過去 1000 万年間に太平洋と大西洋の $\delta^{13}\text{C}$ 値に差が生じたことを示し、北大西洋子午面循環の成立時期を議論した。しかし、太平洋のデータは地域・年代に偏りが見られ、北太平洋のデータは含まれていない。北西太平洋の長期的な底生有孔虫の $\delta^{13}\text{C}$ に基づき中新世以降の太平洋域における深層水特性変化を議論するため、九州パラオ海嶺北部の掘削堆積物試料中の底生有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。

九州パラオ海嶺において 1971 年に掘削された DSDP Site 296 (水深 2920 m) 堆積物試料の上部 300 m から約 2 m おきに試料を分取した。堆積物試料中から底生有孔虫、*Cibicides wuellerstorfi* および *Cibicoides mundulus* を実体顕微鏡下で拾い出し、炭素および酸素の安定同位体比を測定した。海底面に生息する 2 種は CaCO_3 殻形成時に深層水の $\delta^{13}\text{C}$ 値を反映する (McCorkle et al., 1997)。高知大学海洋コア総合研究センターの炭酸塩デバイス付安定同位体比質量分析計 (IsoPrime) を用いて、計 118 試料の底生有孔虫安定同位体比測定を行った。

Site 296 堆積物試料の年代モデルは浮遊性有孔虫化石層序 (Ujiie, 1975) および石灰質ナノ化石層序 (Elias, 1975) に基づき構築され、中新世初期以降 (過去 2000 万年間) の連続的な安定同位体比データを測定できる。安定同位体比の測定誤差は、標準試料 IAEA CO-1 の繰り返し測定により $\delta^{13}\text{C}$ で 0.03 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ で 0.1 ‰であった。また、同一試料中の底生有孔虫 *C. wuellerstorfi* と *C. mundulus* 間の $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ 値に有意差はないことを確認した。長期的な深層水温および氷床量の指標となる Site 296 試料の $\delta^{18}\text{O}$ 変動パターン (図 1) は Zachos et al. (2001) のデータと概ね一致し、年代モデルの妥当性を裏付けるものであった。Site 296 試料の $\delta^{13}\text{C}$ は過去 1900 万年間を通じ、赤道太平洋深層水 (水深 ~ 4000 m) の値に近かった。ただし、約 800 万年前 ~ 500 万年前の Site 296 試料の $\delta^{13}\text{C}$ は、赤道太平洋深層水と比べて重く大西洋や南太平洋 (水深 ~ 1500 m) の値に近かった。このことは、北西太平洋の水深 3000 m 付近における若い水塊の存在と、海洋循環再編を示唆する。

キーワード: 北太平洋, 底生有孔虫, 安定同位体比, 中新世, 鮮新世

Keywords: North Pacific, Benthic foraminifera, Stable isotope, Miocene, Pliocene

完新世北西太平洋中・深層水循環変動の復元—南大洋深層水形成強化が原因か？
A Southern Ocean trigger for Northwest Pacific ventilation during the Holocene?

レラ シュテファン¹; 内田 昌男^{1*}
RELLA, Stephan¹; UCHIDA, Masao^{1*}

¹ 国立環境研究所

¹National Institute for Environmental Studies

Holocene ocean circulation is poorly understood due to sparsity of dateable marine archives with submillennial-scale resolution. Here we present a record of mid-depth water radiocarbon contents in the Northwest (NW) Pacific Ocean over the last 12,000 years, which shows remarkable millennial-scale variations relative to changes in atmospheric radiocarbon inventory. Apparent decoupling of these variations from regional ventilation and mixing processes leads us to the suggestion that the mid-depth NW Pacific may have responded to changes in Southern Ocean overturning forced by latitudinal displacements of the southern westerly winds. By inference, a tendency of in-phase related North Atlantic and Southern Ocean overturning would argue against the development of a steady bipolar seesaw regime during the Holocene. This study was also published in Scientific Reports.

Keywords: Holocene, Northwest Pacific, Radiocarbon, Southern Ocean overturning, Southern westerly winds

インド洋海底堆積物を用いた前期始新世 “Hyperthermals” イベントの復元 Multiple early Eocene hyperthermals reconstructed from the Indian Ocean deep-sea sediments

安川 和孝^{1*}; 中村 謙太郎¹; 加藤 泰浩²; 池原 実³
YASUKAWA, Kazutaka^{1*}; NAKAMURA, Kentaro¹; KATO, Yasuhiro²; IKEHARA, Minoru³

¹ 東大・工・システム創成, ² 東大・工・資源エネルギーフロンティアセンター, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター
¹Sys. Innovation, Univ. of Tokyo, ²FR CER, Univ. of Tokyo, ³Center for Advanced Marine Core Research, Kochi Univ.

後期暁新世から前期始新世にかけては、新生代の中で最も温暖なバックグラウンドの気候に重ねて、さらに急激かつ短期的な温暖化イベントが発生したことが知られている。約 56 Ma の暁新世/始新世境界温暖化極大 (Paleocene-Eocene Thermal Maximum; PETM) では、数千年以内に気温が 5-8 °C 上昇するとともに、海洋の酸性化と全球的な $\delta^{13}\text{C}$ 負異常が生じた。これは、同位体的に軽い (^{12}C に富む) 温室効果ガスが急激かつ大量に放出されたためと解釈されており、そのような温室効果ガスの起源として、海底のメタンハイドレートの分解などが考えられている [1]。さらに近年、PETM とよく似た短期的な「超温暖化 (hyperthermals)」が、前期始新世 (56-52 Ma 頃) において繰り返し発生していたことが分かってきた [2]。この hyperthermals でも PETM と同様、 $\delta^{13}\text{C}$ の負異常と温暖化が同時に発生している。また、hyperthermals は地球軌道の離心率変化周期と同期して発生しており [2, 3]、大規模な大陸氷床の存在しない温暖な気候の下でも、地球軌道要素と地球表層の炭素循環および気候変動が密接に関連していることを示唆している。

Hyperthermals の痕跡は、ここ数年で世界各地 (例えば太平洋, 大西洋, 北極海, ヨーロッパ, 北米内陸部など) から相次いで報告されている。しかし、これまでにインド洋の海底堆積物から報告された事例はほとんどなく、インド洋は hyperthermals に関して情報の空白域となっている。本研究では、インド洋で過去に掘削された 4 本の DSDP/ODP 堆積物コア (DSDP Site 213, DSDP Site 259, ODP Site 738C, ODP Site 752) から採取した 376 試料について、全岩炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ および CaCO_3 含有量を分析した。その結果、Site 738C および Site 752 において、PETM を含む前期始新世の hyperthermals にあたるとみられる $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ 異常および CaCO_3 含有量の減少を見出した。両 Site から復元されたのは H1 (Eocene Thermal Maximum 2; ETM2)/H2 イベントおよび I1/I2 イベント [3] と考えられる。ETM2 の $\delta^{13}\text{C}$ 異常は Site 752 で約 -1 ‰, Site 738C で約 -0.5 ‰, I1 の $\delta^{13}\text{C}$ 異常は Site 752, Site 738C とも約 -0.6 ‰であった。これらの異常は太平洋や大西洋などで得られている hyperthermals の記録と同程度の規模であり、インド洋の hyperthermals も他の海洋と同等の同位体比異常で特徴づけられることが明らかになった。

[1] McNerney and Wing (2011) *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 39, 489-516.

[2] Zachos et al. (2010) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 299, 242-249.

[3] Cramer et al. (2003) *Paleoceanography*, 18, 1097. doi: 10.1029/2003PA000909.

キーワード: 深海底堆積物, インド洋, 気候変動, hyperthermals

Keywords: deep-sea sediment, Indian Ocean, climate change, hyperthermals

MIROC-ESM をもちいた最終氷期最大期実験初期解析-ダストエアロゾル分布 Preliminary analyses on a LGM simulation using MIROC-ESM :climate and dust aerosol representation

大垣内 るみ^{1*}; 阿部 彩子²; 竹村 俊彦³; 末吉 哲雄¹; 渡邊 真吾¹; 羽島 知洋¹; 大石 龍太⁴; 岡島 秀樹¹; 齋藤 冬樹¹;
近本 めぐみ⁵; 河宮 未知生¹

OHGAITO, Rumi^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako²; TAKEMURA, Toshihiko³; SUEYOSHI, Tetsuo¹; WATANABE, Shingo¹;
HAJIMA, Tomohiro¹; O'ISHI, Ryouta⁴; OKAJIMA, Hideki¹; SAITO, Fuyuki¹; CHIKAMOTO, Megumi⁵; KAWAMIYA,
Michio¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 九州大学応用力学研究所, ⁴ 極地研, ⁵ ハワイ大 IPRC
¹JAMSTEC, ²AORI, U. Tokyo, ³Kyusyu U., ⁴NIPR, ⁵IPRC, U. Hawaii

地球システムモデル (ESM) を用いた温暖化予測は Intergovernmental Panel on Climate Change 第 5 次報告書 (IPCC AR5) においても、モデル研究分野からの貢献として重要な役割を担っており、その ESM を用いて古気候実験を行い、気候変化をどの程度再現できるのか、またどういった問題点があるのかを検証することが求められる。特に最終氷期最大期 (LGM, 21,000 年前) は、比較的最近の最も寒冷化した時期として、気候感度の推定の観点からも注目される時期である。本研究では海洋研究開発機構、東京大学の研究チームによって開発された ESM, MIROC-ESM (Watanabe et al. 2011) を用いて LGM を再現した実験と、特にダストエアロゾル量・分布とデータアーカイブ DIRTMAP (Korfeld and Harrison 2001) と比較検討した初期解析結果を報告する。

IPCC AR5 に貢献した MIROC-ESM を用いた。大気大循環モデル (AGCM) の水平解像度は T42、鉛直 80 層で、海洋大循環モデルの水平解像度は約 1 度、鉛直 44 層である。本研究に関連するダストを含むエアロゾルモデル SPRINTARS (Takemura et al. 2000, 2002, 2005) が組み込まれている。

Coupled Model Intercomparison Project phase 5 の指針に従い、西暦 1850 年相当の地球温暖化ガスレベルを用いた定常実験を PI 実験と呼ぶ。PI から、地球の軌道要素と地球温暖化ガスレベル、地形 (大陸氷床、海水準) を LGM 設定に変更し準定常状態まで積分した実験を LGM 実験と呼ぶ。

PI の気候場は概観でよく現わされている (Watanabe et al. 2011)。LGM の PI からの全球平均気温変化は 5.4 °C であり、MARGO データセット (MARGO project members 2009) と海水温変化分布を比較して、ばらつきはあるものの良好な再現性である。高緯度では、氷床コアデータが示す南極の気温低下 7~10 °C (Stenni et al. 2010, Uemura et al. 2012) は再現できているが、グリーンランド中心部の 21~25 °C の温度低下 (Cuffey et al. 1995, Johnsen et al. 1995, Dahl-Jensen et al. 1998) は十分に現わしていない。これは、モデルに共通してみられる問題であり、モデルによる将来予測の信頼性を高める上でこの問題に取り組むことは重要である。原因はさまざま考えられるが、そのうちの重要な一つに、氷床コアにみられる氷期のダスト増加がモデルでは不十分であることが考えられる。そこで、ダストエアロゾル量を DIRTMAP と比較検討した。その結果、PI におけるダスト量は観測値と比較して概ね再現されたが、南太平洋地域では観測値を下回っている観測点もあり、グリーンランド中心部では観測値よりも一桁大きい。LGM では、グリーンランド中心部のダスト量は観測値を下回り、南極地域でのダスト量は観測値を 2 桁下回っている。南太平洋地域でも観測値を下回る量である。他の地域は概ね再現されている。PI で南太平洋での値が低いのは、オーストラリアの降水バイアスのために実際は砂漠に近い気候である地域で植物が繁茂しているためであると考えられ、このバイアスが LGM にも影響を与えている可能性がある。グリーンランドでは、PI と LGM それぞれのダスト量の再現性に問題があり、これらが修正されればより大きな気温低下を表すことができそうである。LGM での北半球高緯度のダスト量が低い原因の一つは、モデルで与えられる植生タイプが不変であることから、実際は北半球高緯度で森林からツンドラなどに変わり、LGM でダストを発生できるはずの地域から発生できていない、ということが考えられる。一方南極では、主なダスト供給源と考えられるパタゴニア起源のダストの発生量が少ないことが低いダスト量の原因と思われる。パタゴニアでのダスト発生を阻む要因は土壌水分過多のためである可能性が高く、原因として PI の降水過多が考えられる。このために、LGM で降水は PI よりも減少するが、ダスト発生の閾値を超えられず、ダスト生成に影響があるのではないかと考えられる。

MIROC-ESM を用いた LGM 実験について、ダスト量を中心に調べた。その結果、最新の ESM を用いても、高緯度の氷床コアデータが示すようなダスト量の再現は難しく、さらなるモデル改良、ここでは特に植生タイプの変化を取り入れることや、南半球陸上での降水分布の再現性向上が必要であることが示唆された。南極域では、LGM での氷床コアデータが示す気温低下を再現できているが、ダストの量は再現できていない。つまり、別の理由でそれらしい気温低下値になっている可能性がある。今後、ダスト発生過程の改良と、沈着プロセスの検討や放射強制力の見積もりを行って、モデルの改良案を示したい。

キーワード: 最終氷期最大期, ダスト, 気候感度, 地球システムモデル

MIS30-P11

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Keywords: LGM, dust, climate sensitivity, Earth System Model

アジア大陸内陸部における過去3.3万年間の古環境復元 A 3.3-kyr record of environmental changes in Asian continental interior by Lake Baikal core analysis

池田 久士^{1*}; 村上 拓馬²; 勝田 長貴³
IKEDA, Hisashi^{1*}; MURAKAMI, Takuma²; KATSUTA, Nagayoshi³

¹ 岐阜大学大学院教育学研究科, ² 独立行政法人 日本原子力研究開発機構, ³ 岐阜大学教育学部
¹Graduate School of Education, Gifu University, ²Japan Atomic Energy Agency, ³Faculty of Education, Gifu University

アジア大陸内陸部は、日射量変動に対して、地球上で最も鋭敏に応答してきた地域である。このため、気候変動に対する陸域環境の応答特性を理解する上で格好のフィールドと見なされている。本研究では、シベリア南東部・バイカル湖湖底堆積物の化学分析の結果を報告する。全有機炭素 (TOC) は、0.30~2.67 (wt%) 濃度を持ち、その濃度は、日射量変動の2万年周期に対応するように変動する。有機物の起源の指標となる TOC/TN は、最終氷期では 8.35 (wt%) を、完新世では 17.20 (wt%) を示す。このことから、バイカル湖における氷期の有機物は湖内性であり、完新世では、湖内性に加えて集水域からの有機物成分の流入があることを示唆する。TS/TOC 比は、過去の3.3万年間において、5つのピークが認められた。このうち、12.66 ka のピークが最大の値を示し、この時期はヤングドリラス期に対応する。また、この時期の TOC/TN 比は、その前後の時代に比べて低い値を示す。一般に、バイカル湖では、湖底堆積物中の硫黄は、硫酸還元細菌による有機物分解によって増加するものと考えられている。このため、TS/TOC 比は、湖水の還元化の指標と見なされている。ヤングドリラス期における湖水の還元化は、低塩濃度 (低密度) の河川水の流入により、湖水の密度成層によって生じたものと解釈することができる。生物起源シリカ濃度は、0.82~21.47 (wt%) 濃度を持ち、その濃度変動は、TOC とは異なり、6 ka でピークを示し、現在にかけて減少傾向を示す。これらの変動は、GCM モデルや花粉分析から復元された年平均気温変化と対応するものであり、バイカル湖では生物起源シリカ濃度が気温の指標となることを意味するものである。

古気候復元に向けた滋賀県多賀鉱山鍾乳洞鍾乳石の成長縞観察 Observation of stalagmite laminae for paleoclimate reconstruction at Taga Mine Cave, Shiga Prefecture, Japan

久持 亮^{1*}; 渡邊 裕美子¹; 阿部 勇治²; 田上 高広¹
HISAMOCHI, Ryo^{1*}; WATANABE, Yumiko¹; ABE, Yuji²; TAGAMI, Takahiro¹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 多賀町立博物館
¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Taga Town Museum

鍾乳石を用いた古気候復元が中国やヨーロッパを中心に世界各地で行われている。しかし、日本での研究例はまだ少ない。本研究では、滋賀県犬上郡多賀町の多賀鉱山で発見された鍾乳洞で採取された5つの石筍サンプル (TAGA 3、TAGA 5、TAGA 7、TAGA 11、TAGA 12) を用いて、古気候復元を目的とした石筍の成長縞の観察を行った。

石筍を用いて古気候復元を行う場合、年縞 (1年に1枚形成される成長縞) を利用することで、年単位の時間分解能の復元が可能となる。しかし、1つの石筍に数種類の成長縞が存在することがある (Baker et.al,2008)。その場合、どの縞が年縞であるかを判別することが重要である。本研究での各石筍の断面の薄片を顕微鏡で観察したところ、5つの石筍の内、全ての石筍で成長縞が観察できた。蛍光顕微鏡で同様に観察を行ったところ成長縞は紫外線蛍光することから、成長縞は土壌起源の有機物で構成されていると考えられる (Baker et.al,2008)。縞の間隔は石筍ごとに、また同じ石筍でも観察する部分によって変化するが、数 μm ~数百 μm の範囲に収まる。成長縞の形状は中国やトルコの石筍にみられる縞とよく似ている (Tan et.al,2006, Baker et.al,2008)。

TAGA 3の成長縞は他の石筍と比べて明瞭だが、中国の石筍で報告されている年縞ではない成長縞と似た縞が多く存在する。また、一部成長縞が波状になっているところがある。今後、U-Th非平衡年代の結果や縞の特徴を細かく観察することで、年縞を特定できれば、高い時間分解能の古気候復元が期待できる。

キーワード: 石筍, 縞, 古気候

Keywords: stalagmite, laminae, paleoclimate

琵琶湖高島沖コアの新規年代モデル New age model of off Takashima drilling sediment

井内 美郎^{1*}; 山田 和芳¹; 岡村 眞²; 松岡 裕美²; 里口 保文³; 林 竜馬³; 公文 富士夫⁴; 松久 幸樹⁵; 岡田 涼祐⁵; 川島 頌平⁵

INOUCHI, Yoshio^{1*}; YAMADA, Kazuyoshi¹; OKAMURA, Makoto²; MATSUOKA, Hiromi²; SATOGUCHI, Yasuhumi³; HAYASHI, Ryouma³; KUMON, Fujio⁴; MATSUHISA, Koki⁵; OKADA, Ryouyusuke⁵; KAWASHIMA, Shouhei⁵

¹ 早稲田大学人間科学学術院, ² 高知大学理学部, ³ 琵琶湖博物館, ⁴ 信州大学理学部, ⁵ 早稲田大学人間科学部

¹Faculty of Human Sciences, Waseda University, ²Faculty of Science, Kochi University, ³Lake Biwa Museum, ⁴Faculty of Science, Shinshu University, ⁵School of Human Sciences, Waseda University

琵琶湖高島沖ボーリング試料については、これまで様々な研究が行われ、多くの成果が報告されている。現在、生物源シリカ濃度について高時間分解能の測定を行っているが、年代モデルについて、とくに表層部数万年間についてはやや不十分であることが明らかになってきた。そのため2012年に高島沖ボーリング地点近傍で新たにピストンコア試料を採取し、年代モデルの時間精度向上を目指した。新たに採取したピストンコア試料 (BWK12-2; 試料長 16.33 m) および他2試料について約30の放射性炭素年代を測定し、年代既知の広域テフラの年代も加えて新たな年代モデルを作成した。昨年の発表ではボーリング試料とピストンコア試料双方の含水率プロファイルをもとに対比を行い、年代モデルを暫定的に作成した。今回は新たに粒度分析、全炭素濃度・全窒素濃度 (TOC・TN) 測定を行い、それぞれのプロファイルについて対比を行った。その結果、TOCプロファイルを用いることによって年代モデルの精度はさらに向上した。

キーワード: 琵琶湖, 堆積物, 古環境変遷, 年代モデル

Keywords: Lake Biwa, sediment, paleoenvironment, age model

琵琶湖高島沖ピストンコア (BWK12-2) の粒度、全炭素・全窒素濃度に示される過去約4.5万年の気候変動史
Climate change history of the last 45ka of Lake Biwa based on grain size and TOC, TN of BWK12-2 piston core

松久 幸樹^{2*}; 松野下 晃治²; 岡田 涼祐²; 川島 頌平²; 山田 和芳¹; 井内 美郎¹; 公文 富士夫³; 岡村 眞⁴; 松岡 裕美⁴; 里口 保文⁵; 林 竜馬⁵
MATSUHISA, Koki^{2*}; MATSUNOSHITA, Kouji²; OKADA, Ryosuke²; KAWASHIMA, Shyohei²; YAMADA, Kazuyoshi¹; INOUCHI, Yoshio¹; KUMON, Fujio³; OKAMURA, Makoto⁴; MATSUOKA, Hiromi⁴; SATOGUCHI, Yasufumi⁵; HAYASHI, Ryoma⁵

¹ 早稲田大学人間科学学術院, ² 早稲田大学人間科学部, ³ 信州大学理学部物質循環学科, ⁴ 高知大学理学部, ⁵ 滋賀県琵琶湖博物館

¹Faculty of Human Sciences, Waseda University, ²School of Human Sciences, Waseda University, ³Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University, ⁴Faculty of Science, Kochi University, ⁵Lake Biwa Museum

琵琶湖高島沖ボーリングコア採取地点近傍で新たに採取したピストンコア試料 (BWK12-2) について、約30のC-14年代値と年代既知の広域テフラの層準をもとに年代モデルを確立し、高時間精度で粒度測定および全炭素濃度・全窒素濃度測定を行った。分析間隔は5mm毎に採取した試料について、粒度測定4cm (30~120年間隔)、全炭素・全窒素濃度2cm (15~60年間隔)である。海洋酸素同位体比との比較ではMIS1の温暖化は顕著であったが、MIS2とMIS3の値に大きな違いは識別できなかった。一方、急激な寒冷化イベントであるハインリッヒイベントに相当すると思われる寒冷化現象 (粒度の細粒化やTOC濃度の低下) は観察され、ヤングドリフトイベントを示すと思われる寒冷化傾向もわずかだが確認された。なお、ダンスガード・オシュガーイベントに相当する明瞭な温暖化現象は確認できなかった。

キーワード: 琵琶湖, 堆積物, 古気候, 粒度, 全炭素, 全窒素

Keywords: Lake Biwa, sediment, paleo climate, grain size, TOC, TN

浜名湖湖底堆積物の珪藻化石群集から推定された完新世後期の湖水環境変遷 Late Holocene change in lacustrine environment inferred from diatom fossil analysis of lake bed core

佐藤 善輝^{1*}; 松岡 裕美²; 岡村 眞³; 鹿島 薫⁴

SATO, Yoshiki^{1*}; MATSUOKA, Hiromi²; OKAMURA, Makoto³; KASHIMA, Kaoru⁴

¹九州大学理学研究院(現所属:日本原子力研究開発機構), ²高知大学理学部, ³高知大学総合研究センター防災部門, ⁴九州大学理学研究院

¹Faculty of Science, Kyushu University, ²Faculty of Science, Kochi University, ³Science Research Center, Kochi University,

⁴Faculty of Science, Kyushu University

遠州灘沿岸に位置する浜名湖で得られた湖底堆積物について珪藻分析を高密度で実施し、過去約4700年間の湖水環境変遷を詳細に復元した。その結果、完新世後期における浜名湖の湖水環境は大きく6ステージに区分することができ、湖水の塩分や外洋水流入量が大きく変動していたことが示唆された。また、層相や珪藻組成の変化から、何らかのイベントによって堆積した可能性の示唆される層準が計2層見出された。

浜名湖の湖水環境については、これまでに池谷ほか(1990)により湖底堆積物の層相解析、微化石分析などに基づく後氷期以降のおおまかな変遷が示され、海水準上昇による海域の形成とその後の汽水湖沼・淡水湖沼化が明らかにされている。また、森田ほか(1998)は湖底堆積物の珪藻分析を行い、完新世後期にも淡水湖沼環境と内湾環境が繰り返し生じていたことを示した。しかし、これらの研究では年代測定値の不足や誤差、珪藻分析の間隔が大きく、時間分解能が不十分であった。

浜名湖湖心部で採取された掘削長350cmのコア試料について1cm間隔で珪藻分析を行い、湖水環境変遷を復元した。コアは全体として泥質堆積物からなり、砂層(深度285~288cm)と2枚のテフラ層(深度261-263cm, 深度265cm)を挟む。テフラ層は屈折率と層相・層準から、下位がカワゴ平軽石(Kg, 3126-3145 cal BP, 町田・新井2003)、上位が富士大沢スコリア(Os, 2.5~2.8 ka, 町田・新井2003)と考えられる。KgおよびOsの噴出年代と計7点の¹⁴C年代測定値に基づいてコアの年代モデルを構築し、堆積環境復元の年代軸とした。

湖底堆積物の珪藻分析結果から、浜名湖の湖水環境変遷は以下のように復元された。ステージI(4600~4700 cal BP)では汽水~海水生種が多産し、特に外洋指標種が比較的多く産出することから多量の外洋水が流入する沿岸域であったと推定される。ステージII(4500~4600 cal BP)では内湾指標種が急激に増加していることやラミナが発達することから、内湾環境が形成されたと考えられる。その後、ステージIII(2650~4500 cal BP)では、ラミナが形成されなくなることや内湾指標種が減少して淡水~汽水生珪藻が多産することから、内湾の閉鎖性が弱まって淡水・海水が混合する循環的な湖水環境になったことが示唆された。また、3500 cal BP以降には外洋指標種が多産するようになることから、外洋水の流入が増加したと考えられる。ステージIV(2250~2650 cal BP)では、外洋指標種が産出しなくなり、内湾指標種が減少して徐々に淡水~汽水生種や淡水性種が増加することから、塩分が段階的に減少していったことが示唆された。その後、ステージV(西暦1498年~2250 cal BP)では淡水生浮遊性種が優先的になることから淡水湖沼化したことが明らかになった。この淡水湖沼は、淡水~汽水生種の増加から一時的に塩分がわずかに上昇した時期があったと考えられるが、淡水生種が継続して優占しており、西暦1498年の明応地震に伴う今切口の形成まで淡水環境が継続したと推定される。ステージVI(西暦1498年以降)では再び汽水~海水生種が優占し、内湾環境が形成された。

また、イベント堆積物の可能性のある層準が計2層(下位からA・B層)検出された。A層はステージIIの深度321~322cmに認められ、*Plagiogramma* sp.の顕著な増加によって特徴付けられる。*Plagiogramma* sp.はこの層準以外ではほぼ全層にわたり産出しないが、A層中では特異的に極めて高い産出頻度を示し、何らかの突発的な環境変化あるいは異地性珪藻の一時的な供給が生じたと考えられる。A層ではラミナが認められないことや*Thalassiosira* sp.や*Thalassionema nitzschioides*が多産する傾向を示すことから、外洋水の流入量増加を伴った可能性が高い。ただし、*Plagiogramma* sp.の詳しい生息環境が不明であり、現段階ではA層の堆積を引き起こした要因を特定するには至っていない。また、B層はステージIII中の泥層中に挟む砂層に対応し、淡水生種が一時的に多産する特徴を示すことから、湖岸に形成されていた淡水環境から砂質堆積物が供給されたことが示唆される。

参考文献

池谷ほか1990. 地質学論集 36, 129-150.

森田ほか1998. Laguna(汽水域研究) 5, 47-53.

町田・新井2003. 新編火山灰アトラス. 東京大学出版会. 337p.

キーワード: 浜名湖, 湖水環境, 海跡湖, 珪藻化石, 明応地震, 完新世

Keywords: LakeHamana, lacustrine environment, coastal lagoon, diatom fossil, 1498 Meio earthquake, Holocene

モンゴル北部のレス-古土壌シーケンスから復元する最終氷期～完新世のアジア中緯度域の気候変動
Reconstruction of the Last glacial to Holocene climate changes in Shaamar loess-paleosol succession, northern Mongolia

オルホンセレンゲアレクサンドラ¹; 長谷川 精^{2*}
ORKHONSELENGE, Aleksandr¹; HASEGAWA, Hitoshi^{2*}

¹ モンゴル国立大学地理地質学科, ² 名古屋大学博物館

¹School of Geography and Geology, National University of Mongolia, ²Nagoya University Museum

Two atmospheric circulation systems, the mid-latitude Westerlies and the Asian monsoon, play key roles in northern-hemisphere climatic changes. However, the variability of the Westerlies in mid-latitude Asia and their relationship to the Asian summer and winter monsoon remain unclear. We examined the variations in the grain size and elemental composition from the 30 m long loess-paleosol succession in Shaamar area, northern Mongolia, which could be recorded the interplay of the Westerlies and Asian winter monsoon for the last 30 k.y. We then compared our results with the multi-proxy paleoclimate records (e.g., eolian grain sizes, lake levels, pollen assemblages) of the Asian summer and winter monsoon regions and the Westerlies affected region.

According to the compiled data of the Wang and Feng (2013), the Holocene climatic variation patterns (mainly from lake levels and pollen records) in Asia are categorized into 4 characteristic regions, such as the Summer monsoon region (southern and northeastern China), Westerlies affected region (northwestern China), Winter monsoon region (southern Siberia), and Mixture of westerlies and winter monsoon affected region (Mongolia). Specifically, summer monsoon region is characterized by dry earliest Holocene (12-11 ka), humid early to middle Holocene (11-6 ka), and the moderate-humid late Holocene (last 6 ka), corresponding to the Northern hemisphere summer insolation changes. Westerlies affected region is characterized by dry early Holocene (12-8 ka) and humid middle to late Holocene (last 8 ka). Winter monsoon region is characterized by the humid early Holocene (12-8 ka) and dry middle to late Holocene (last 8 ka). On the other hand, Mongolian records (e.g., Lake Khuvsgul, Lake Gun Nuur) demonstrate humid early Holocene (12-9 ka), dry middle Holocene (9-5 ka), and humid late Holocene (last 5 ka), which seems mixture of westerlies and winter monsoon affected region.

Shaamar loess-paleosol succession record is characterized by the humid early Holocene (12-8 ka) and dry middle to late Holocene (last 8 ka), similar to the winter monsoon region in southern Siberia. Thus, it is suggested that the eolian sediment record in Shaamar could be affected more strongly by winter monsoon influence, although Shaamar section is located closely to the mixture of westerlies and winter monsoon affected region (e.g., Lake Khuvsgul and Lake Gun Nuur). Except for the Chinese Loess Plateau, Shaamar loess-paleosol succession is only the continuous eolian sediment record in mid-latitude Asia. Thus, Shaamar loess-paleosol succession should provide us rare glimpse for understanding the interplay of westerlies and winter monsoon in Asian mid-latitude. We will further examine the Last glacial records of the Shaamar loess-paleosol succession and compare with other records of the Asian summer and winter monsoon regions and the Westerlies affected region.

キーワード: モンゴル, レス-古土壌シーケンス, 偏西風, 冬季モンスーン, 完新世, 最終氷期
Keywords: Mongolia, Loess-paleosol succession, Westerlies, Winter monsoon, Holocene, LGM

珪藻遺骸群集を用いた鹿児島県蘭牟田池における古環境復元 Reconstruction paleoenvironment by using diatom fossil assemblage analysis in Imutaike wetland, Satsumesendai, Kagoshim

後藤 大智^{1*}; 鹿島 薫¹; 山田 和芳²; 原口 強³; 井村 隆介⁵; 米延 仁志⁴
GOTO, Daichi^{1*}; KASHIMA, Kaoru¹; YAMADA, Kazuyoshi²; HARAGUCHI, Tsuyoshi³; IMURA, Ryusuke⁵; YONENOBU, Hitoshi⁴

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²早稲田大学人間科学学術院, ³大阪市立大学大学院理学研究科, ⁴鳴門教育大学大学院学校教育研究科, ⁵鹿児島大学 大学院理工学研究科

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ²School of Human Sciences, Waseda University, ³Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, ⁴Graduate School of Education, Naruto University of Education, ⁵Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

この研究は、年稿堆積物による環太平洋諸文明の高精度環境史復元の一部として行われているもので、環太平洋の環境システムの変動を高精度に復元するために、湖沼年縞堆積物を用いて、環太平洋環境史の高精度年代軸の確立と多様な環境因子の復元と人類活動の痕跡を検出することを目的としており、本研究の調査地である蘭牟田池ほか数サイトでボーリング調査が行われている。蘭牟田池においては、南日本における陸上古環境アーカイブとなるサイトかどうかを検証しており、蘭牟田池の入戸火砕流堆積以降の環境変遷、具体的には、ボーリングコア中の珪藻を用いて、水深の変動、有機汚濁度の変動、pHの変動の復元を行った。

本研究調査地である蘭牟田池は、鹿児島県北西部の標高 300 m に位置する直径約 1 km の更新世中期に形成された火山性陥没湖であり、周囲を標高 400 m~500 m 前後の外輪山に囲まれている。池の西側の 3 分の 1 は、湿原化しており、多数の泥炭質の浮島が見られ、この浮島は国の天然記念物「泥炭形成植物群落」として指定されて、多くの植物が枯れて完全に腐らずに堆積し、南九州では稀な泥炭形成地としても知られている。絶滅危惧種であるベッコウトンボの生息地でもあることから 2005 年 11 月にラムサール条約登録湿地に登録された。

2011 年 2 月に蘭牟田池の古環境調査のため湖底から 25 m のコア堆積物を採取した。コア試料は 平行オーバーラップ法を用いて第一掘削孔と近傍に第二掘削孔を設けオーバーラップさせながら互い違いにコア堆積物を採取した。第一掘削孔 IMT11-1 では 73~90 cm のコア 20 本、第二掘削孔 IMT11-2 では、IMT11-1 の欠落した部分をカバーするように 40~80 cm のコア 20 本を採取した。採取したコアは表層から深度 7.6m まで泥炭層が続き、6 つの visible tephra を挟んでおり、堆積年代を決定することができた。深度 7.6 m~13.0 m までは湖成粘土・シルト層から成り、10.0 m~12.5 m には平行ラミナ構造が見られる。13.0 m 以深は、入戸火砕流の再堆積層と考えられている。本研究では、入戸火砕流堆積層以降の古環境変遷について、コア堆積物中の珪藻群集解析を行い、水深・有機汚濁度・pH の変動を追うとともに蘭牟田池の堆積過程を明らかにする。

試料は、過酸化水素を用いて、酸処理を行い、マウントメディアを用いて、封入し、永久プレパラートを作成し、検鏡(光学顕微鏡 倍率 1000 倍)による珪藻群集の同定・カウントを行った。珪藻群集解析の結果、産出する珪藻群集を生息環境ごとのグループに分け、以下の環境を復元した。

【結果】

(1) 深度 13.73 m~10.38 m 約 30000 年前~23400 年前

珪藻がほとんど産出しない入戸火砕流の層であるため、古環境は復元できなかった。また、ラミナ層は年稿ではなく、別の成因である。

(2) 深度 10.38 m~7.02 m 約 23400 年前~13600 年前

浮遊性種・付着性種・底生種の珪藻が多数産出し、また、好汚濁性種も好清水性種の割合も多く、破片率も高かったことから、流れ込みのある環境であったことが推測される。また、池の端の水深が浅い部分では、湿地が存在していた。

(3) 深度 7.02 m~6.02 m 約 13600 年前~10800 年前

埋積により、池の端にあった湿地が陸地化したため、池水の pH は上昇した。

(4) 深度 6.02m~3.02m 約 10800 年前~4600 年前

後氷期になり、降水量が増加したため、水位が増加した。7.3 ka の K-Ah 噴火後、火山灰が池に堆積したため、水深は小さくなった。

(5) 深度 3.02m~1.63m 約 4600 年前~1500 年前

Melosira arentii が大部分を占め、当時は、腐植栄養湖であり、池の西側で湿原化が始まった。

(6) 深度 1.63m~0.03m 約 1500 年前~現在

池の埋積が進み、水深が浅くなり、湿原の形成が進んだ。湿原が形成されたことにより、池水は酸性化したと推定される。

MIS30-P18

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

キーワード: 珪藻, 完新世, 気候変動, pH 変動, 火山灰層序, 年縞ラミナ

Keywords: diatom, Holocene, climatic change, pH change, volcanic stratigraphy, annually laminated lake deposit

珪藻遺骸群集を用いた南極宗谷海岸の沿岸湖沼における環境復元 Reconstruction of Paleo-environment at coastal lakes along the Soya Coast, Antarctica, using fossil diatom assemblages

姜 怡辰^{1*}; 鹿島 薫²; 瀬戸 浩二³; 谷 幸則⁴; 井上 源喜⁵

KANG, Ijin^{1*}; KASHIMA, Kaoru²; SETO, Koji³; TANI, Yukinori⁴; MATSUMOTO, Genki I.⁵

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ³島根大学汽水域研究センター, ⁴静岡県立大環境科学研究所, ⁵大妻女子大学社会情報学部

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ³Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, ⁴Institute of Environmental Sciences, University of Shizuoka, ⁵School of Social Information Studies, Otsuma Women's University

宗谷海岸は南極大陸の東南極の沿岸であり、昭和基地が位置するオングル島を始め、ラングホブデ (Langhovde)、スカルブスネス (Skarvsnes)、スカーレン (Skallen)、ルンドボークスヘッタ (Rundvagshetta) のような露岩地域が広がっている。このような露岩地域には淡水から海水の数倍の塩分を含む湖沼が数多く分布している。研究地域である 5 つの湖沼はラングホブデのぬるめ池と雪鳥池、スカルブスネスの親子池、ルンドボークスヘッタの丸湾南池と丸湾大池である。

Matsumoto et al, 2014, では親子池における完新世の古湖沼学的変動について研究を行った。この研究では親子池で採取した湖底堆積物コア (Ok4C-1) に軟 X 線撮影・放射性炭素年代測定・元素分析・クロロフィル化合物およびカロチノイド分析・藻類及びシアノバクテリアの分析を行い、親子池は TOC 濃度が低く珪藻が主体であった沿岸海洋環境から、成層化し緑色硫黄バクテリアが生息する塩湖環境へ、さらに緑藻およびシアノバクテリアが主体となって生物生産量が高い現在のような淡水湖に変化したと報告している。このような親子池の変遷は氷床の後退に伴うアイソスタシーによる隆起で海退したことが原因とされている。

現在、親子池の湖底堆積物コア (Ok4C-1) について化石珪藻の同定・カウントを行い、ダイアグラムを作成した。珪藻群集により 5 つの Zone に分け、下部から Zone1 とした。Zone ごとの優占種は Zone1 では海水性種の *Paralia sulcata*、Zone2 では *Staurosira construens*、Zone3 では海水性種の *Tryblionella littoralis*、Zone4 では汽水性種の *Chamaepinnularia Cymatopleura*、Zone5 では淡水性種の *Amphora oligotrappenta*, *Navicula gregaria*, *Diadsmis* spp. となった。珪藻群集の変化からも親子池の水環境が沿岸海洋環境から淡水湖環境に推移してきたことが分かり、先行研究の結果とも整合性がある結果となった。今後、4 つの湖沼堆積物コアでも化石珪藻分析を行う予定である。

キーワード: 南極沿岸湖沼, 古湖沼学, 珪藻, 完新世, 堆積物コア

Keywords: Antarctic coastal lakes, paleolimnology, diatom, the Holocene, Sediment core

氷河湖堆積物に記録されるペルー南部における完新世の環境変化 Holocene climate changes detected in the bottom sediments of the glacier lake, southern Peru

山田 和芳^{1*}; 篠塚 良嗣²; 瀬戸 浩二³; 原口 強⁴; 米延 仁志⁵
YAMADA, Kazuyoshi^{1*}; SHINOZUKA, Yoshitsugu²; SETO, Koji³; HARAGUCHI, Tsuyoshi⁴; YONENOBU, Hitoshi⁵

¹ 早稲田大学, ² 北海道大学, ³ 島根大学, ⁴ 大阪市立大学, ⁵ 鳴門教育大学

¹Waseda University, ²Hokkaido University, ³Shimane University, ⁴Osaka City University, ⁵Naruto University of Education

本研究では、ナスカより東へ 130km 離れたプキオ市東方の氷河湖であるヤウリウイリ湖 (Laguna Yauriuri) にておこなった音波探査調査およびコアリング調査で採取したコアの各種分析から、完新世における気候変動を明らかにし、その変動要因について考察した。

ヤウリウイリ湖は、標高 4,384 m の地点にあり、イグニブライトで構成される基盤岩が露出する U 字谷と前面に残るモレーンに囲まれた面積 4 km² の小さな湖沼である。ここで、水底下の地下構造を簡便に把握することができる音波探査装置 (Synquest 社製: StrataBox) を用いて、水域全体の地下地質を観察した。その結果、氷河浸食された基盤岩の上に、主に水域南部にてモレーンの礫層が堆積し、それにパックされた水域にて最大層厚約 10 m の粘土層を確認できた。また、反射面の検討から、粘土層中には少なくとも 6 枚の砂もしくは火山灰薄層が確認できた。

地層の側方連続性も良好であることを確かめた上で、水深 50m の地点から、携帯型ピストンコアラーによって、深度 50 および 170 cm のコア (PY11-1 および-2) を 2 本採取した。採取したコアの岩相は、塊状暗灰色粘土で主に構成され、一部、未分解の有機物濃集層や、洪水と考えられる褐色シルト薄層が認められた。コア中に含まれた植物遺骸を用いた放射性炭素年代測定結果から、PY11-2 コアは過去 11,000 年から現在までの堆積物であることが明らかになった。物性分析および元素分析結果に基づいて完新世における気候変動を復元した結果は、以下のようにまとめられる。

1. 約 7000 年前に急激な湖水位の低下が生じた。これは、Holocene Optimum 期に相当する寒冷気候から温暖気候に転じた結果を反映している。
2. 約 4000 年前に突然生じた気候湿潤化は、その後大きく 3 回の乾燥-湿潤期をくりかえしていた。また、全体的な傾向として、約 1200 年前頃まで続く長期的な乾燥化を示されている。
3. ヤウリウイリ湖で復元されたペルー南部の環境変動は、4,000 年前以前では、アルティプラーノ地域から復元された気候変化と概ね同調しているが、4,000 年前以降では、同調性は見えなくなる。むしろ、海岸地帯における気候変化と同調する傾向がみられる。この原因は、ENSO 変動や ITCZ の軸移動にその原因を求める事ができる。

キーワード: ペルー, ヤウリウイリ湖, 気候変動, ナスカ文化

Keywords: Peru, Laguna YauriUri, climate change, Nazca Culture

2100年以降ゼロエミッションによるRCP2.6/4.5の延長：MIROC-ESMについての2°C/3°C安定化シナリオとして Extensions of RCP2.6/4.5 with zero emission after 2100: as 2K/3K stabilization scenarios for MIROC-ESM

立入 郁^{1*}; 羽島 知洋¹; 河宮 未知生¹
TACHIIRI, Kaoru^{1*}; HAJIMA, Tomohiro¹; KAWAMIYA, Michio¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

MIROC-ESM (大気化学なし) について、RCP (Representative Concentration Pathways、代表的濃度経路) 2.6/4.5 濃度シナリオを入力した場合に 2100 年時点での産業革命以前からの気温上昇がそれぞれ約 2°C、3°C になることに着目し、それ以降をゼロエミッションとした場合の気候変化を調べた。MIROC-ESM は、相対的に悲観的な (気候感度が高く、生態系の炭素吸収量も小さい) モデルであり、このモデルで気候が安定化することは他の ESM (地球システムモデル) でも気候が安定化する可能性が高い。以下、RCP2.6 を延長したものを 2°C 安定化シナリオ、RCP4.5 を延長したものを 3°C 安定化シナリオと呼ぶ。なお、土地利用や CO₂ 以外のフォーシングについては 2100 年以降固定している。

実験は 2300 年までを予定しており、現在 2200 年を超えたところである。まず、2°C 安定化シナリオは、2100 年時点で産業革命以前からの全球平均気温上昇が 2°C を少し超えているが、その後ゼロエミッションとすることで徐々に下がり、2200 年時点では 20 年平均で 2°C を少し下回っている。CO₂ 濃度については、2100 年時点で 421 ppm だったのが徐々に下がり、2200 年時点では約 400 ppm であった。一方、3°C 安定化シナリオは、2100 年時点で 3°C を少し上回っているが (20 年平均)、徐々に下がって 2200 年時点では約 2.8°C となっている。CO₂ 濃度は、2100 年時点で約 540 ppm であり、2200 年時点では 500 ppm をわずかに下回っている。

ゼロエミッション化後の気温・降水量変化 (2200 年と 2100 年の 20 年平均の差) の空間分布をみると、2°C 安定化シナリオでは気温が南極とその周辺やシベリア、グリーンランドで上昇し、アマゾンや北半球の陸地で下降している一方、3°C 安定化シナリオでも傾向は似ていたが、南極・南極海の上昇度合いはやや小さく、グリーンランドでは上昇していなかった。シベリアではやや上昇する一方、北極海で顕著な温度低下がみられた。降水量については、2°C 安定化シナリオでは西太平洋で減少しており、東太平洋の一部やインド洋周辺で増加していた。3°C 安定化シナリオでは、太平洋南部にやや増加している地域が見られた。

キーワード: 代表的濃度経路, ゼロエミッション, 安定化, 地球システムモデル

Keywords: Representative Concentration Pathways, zero emission, stabilization, Earth system model

気候変動研究における気候・影響・社会経済の並行プロセスと統合プロセス Parallel and integrated processes of climate-impact-socioeconomics for climate research

江守 正多^{1*}
EMORI, Seita^{1*}

¹ 国立環境研究所
¹National Institute for Environmental Studies

国連気候変動枠組条約における国際交渉では、温暖化対策の長期目標として「産業化前を基準に世界の平均気温上昇を2℃以内に抑える観点から対策を行う必要がある」という認識が合意されている。昨年9月に発表されたIPCC第1作業部会の第5次評価報告書によれば、この目標を50%の可能性で達成するためには、人類が今から将来にわたって排出する二酸化炭素の総量を300 GtC程度に抑える必要がある。現在の世界の排出量は年間10 GtC程度であるので、仮に現在の排出量が毎年続くとした場合で、わずか30年でこの制限に達してしまう。「2℃以内」の目標を本気で目指すのであれば、世界の二酸化炭素排出量をできるだけ速やかに減少に転じさせ、今世紀末を目途にゼロに近づけていかねばならない。

温暖化の影響についても対策についても多くの研究があるが、それらの全体像には大きな不確実性がある。世界平均気温で「2℃」を超える温暖化が人間社会や生態系にどんなリスクをもたらすかも、徹底的な排出削減対策が社会経済にどんなリスクをもたらすのかも、現時点で正確に把握できる人はいない。また、そのようなリスクの発現の仕方は国、地域、世代や様々な社会属性によって異なり、温暖化を放置したとしても、徹底的に対策をしたとしても、それぞれの場合で「得をする」人と「損をする」人が生じるだろう。さらに、温暖化の影響をどう捉えるかは単なる損得の問題ではなく、生態系や途上国や将来世代に押し付けられたリスクにどの程度心を痛めるかといった、人によって異なる価値判断が関わってくる。

気候変動の科学は、このような不確実で、複雑で、曖昧なリスク問題についての社会の意思決定に必要な科学的情報を提供する役目がある。これに向けて、気候、影響、社会経済の3つの研究コミュニティ（IPCCの第一、第二、第三作業部会にそれぞれ対応）で相互連携を図ろうとする流れが、数年前より国際的に本格化してきている。2010年ごろにRCP（代表的濃度経路）の議論を通して企図された3つのコミュニティの並行プロセスと統合プロセスというアイデアを、IPCC第5次評価報告書が発表された現時点から振り返り、プロセスの達成度と今後の展望を議論する。

次期 IPCC 報告書に向けた気候モデル MIROC 及びその初期値化システムの開発 Development of the climate model MIROC and initialization system using LETKF for the next IPCC report

建部 洋晶^{1*}; 小倉 知夫²; 渡辺 真吾¹; 渡部 雅浩³; 鈴木 立郎¹; 小室 芳樹¹; 新田 友子³; 大石 龍太³; 高田 久美子⁵; 小山 博司¹; 石井 正好⁴; 木本 昌秀³
TATEBE, Hiroaki^{1*}; OGURA, Tomoo²; WATANABE, Shingo¹; WATANABE, Masahiro³; SUZUKI, Tatsuo¹; KOMURO, Yoshiki¹; NITTA, Tomoko³; O'ISHI, Ryouta³; TAKATA, Kumiko⁵; KOYAMA, Hiroshi¹; ISHII, Masayoshi⁴; KIMOTO, Masahide³

¹ 海洋研究開発機構, ² 国立環境研究所, ³ 東京大学大気海洋研究所, ⁴ 気象研究所, ⁵ 国立極地研究所
¹RIGC, JAMSTEC, ²NIES, ³AORI, Univ. of Tokyo, ⁴MRI, JMA, ⁵NIPR

地球の気候システムに内在する経年から数十年スケールの気候変動及び人為起源温室効果ガス排出による地球温暖化のメカニズム解明を目的とする 19 世紀半ばからの気候再解析データセットの作成を目指し、我々のグループではこれまで開発してきた気候モデル MIROC の改善及び局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF) によるモデル初期値化システムの開発に取り組んでいる。IPCC 第 5 次報告書に向けて行われた十年規模気候変動予測実験は、気候内部変動及び温暖化シグナルを同時に予測する試みである。MIROC を用いた一連の実験では、太平洋十年規模気候変動パターンに付随する北太平洋海面水温変動、1990 年代後半に北太平洋全域で観測された気候ジャンプ、東部北太平洋亜熱帯海域での熱帯低気圧の強度及び発生頻度、等に数年先までの予測可能性の存在する事が示されており、IPCC 報告書へ一定の貢献をすることが出来た。また、これらの実験に続いて実施された季節から数年スケールでの気候変動予測実験では、特に ENSO に伴う熱帯海域海面水温変動に世界各地の現業機関と同等以上の予測精度を見いだすことに成功している。しかしながら、現行 MIROC の気候学的な場は観測からの顕著なバイアス (例えば、観測と比べて強い赤道貿易とこれに伴う深い水温躍層、亜熱帯海域での過剰雲量と低海面水温、弱い中緯度偏西風など) を持つため、予測に際してのモデル初期値化にはいわゆるアノマリー同化という手法が用いられている。アノマリー同化では、観測気候値とモデル気候値が既知である必要があり、したがって、近年ひとつのトピックとして挙げられるシームレス気候変動予測に現行システムを使用することは不可能である。本講演では、シームレス気候予測システム構築へ向けた気候モデル改善への取り組み及び大気海洋結合系での LETKF を用いたデータ同化による初期値化システムの開発状況を紹介する。

キーワード: 気候モデル, 初期値化, シームレス予測

Keywords: climate model, initialization, seamless climate prediction

気象研究所高解像度大気モデルによる気候変化予測 Climate projections using high-resolution MRI-AGCM

水田 亮^{1*}; 尾瀬 智昭¹; 村上 裕之²; 荒川 理³; 吉田 康平¹; 仲江川 敏之¹
MIZUTA, Ryo^{1*}; OSE, Tomoaki¹; MURAKAMI, Hiroyuki²; ARAKAWA, Osamu³; YOSHIDA, Kohei¹; NAKAEGAWA,
Toshiyuki¹

¹ 気象研究所, ² 国際太平洋研究センター, ³ 筑波大学

¹Meteorological Research Institute, ²International Pacific Research Center, ³University of Tsukuba

気象研究所では、水平解像度 20km の高解像度全球大気気候モデル (MRI-AGCM) を開発し、熱帯低気圧や豪雨などの極端現象についての将来変化予測研究を行っている。このモデルでは、観測された海面水温を下端境界条件に与えることにより、全球スケールの平均的な気温や降水分布に加え、熱帯低気圧の地域分布や強度、東アジアモンスーンの季節進行といったスケールの現象の気候的な特徴も精度よく再現することができる。

文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラム (H19-H24) においては、大気海洋結合モデル計算結果における 21 世紀末の海面水温変化をこのモデルの境界条件に与えて、地球温暖化に伴って地域スケールの気候にどのような変化が見られるかを調べた。また 60km の解像度で多数のアンサンブル実験を行って変化の不確実性についても調べた。計算結果は台風の発生数減少と強い台風の増加といった気象学的な解析に加え、災害・水資源・農業における影響評価研究など、各方面に利用されている。また世界各国の研究者にも提供され、各地域の地域気候の変化を調べる研究に利用されている。日本域についてはさらに水平解像度 5km や 2km の地域気候モデルにダウンスケーリングする実験も行っている。

さらに現在進められている文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム (H24-H29) においては、将来変化予測の不確実性を評価し、その低減を目指すため、CMIP5 実験の結果における海面水温変化パターンの違いによる影響を調べるアンサンブル実験を 20km の解像度でも実施している。

キーワード: 地球温暖化, 大気大循環モデル

Keywords: global warming, atmospheric general circulation model

MIS31-05

会場:511

時間:5月2日 10:00-10:15

地球システムモデル—これまでとこれから Earth system modeling - a brief history and future direction

渡邊 真吾^{1*}
WATANABE, Shingo^{1*}

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

地球システムモデルのいままでを簡単に振り返り、今後の進むべき方向を議論します。

キーワード: 地球システムモデル
Keywords: Earth system model

モデル間相互比較からみえてきた気候変動と炭素循環の関わり
Findings in climate change and global carbon cycle from model inter-comparison analyses

羽島 知洋^{1*}

HAJIMA, Tomohiro^{1*}

¹(独) 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

長期的な気候変動を考える際、炭素循環と気候との相互作用を考慮に入れることは不可欠である。これは、陸域生態系や海洋における炭素循環が、環境変化に対して数百年スケール以上での応答を示しながら、大気とのCO₂交換速度および大気CO₂濃度を定めるからである。このため、温暖化を始めとする長期気候変動の予測では、気候-炭素循環モデル(地球システムモデル、ESM)が利用されてきた。近年ではモデル間相互比較プロジェクトCMIP5が実施され、気候と炭素循環に関する理解の深化、モデルが抱える問題や新たな課題の発見が進んできた。また、IPCC第5次報告書では、気候と炭素循環の両者の応答を包括する”TCRE”という新しい概念も盛り込まれている。本発表ではTCREを始めとする気候と炭素循環の関わりや、近年の気候-炭素循環モデルの相互比較から見えてきた課題や問題などを紹介する予定である。

Cyber Earth: 分野横断的地球科学に向けた技術的アプローチ Cyber Earth: A new technical approach for global studies of Earth

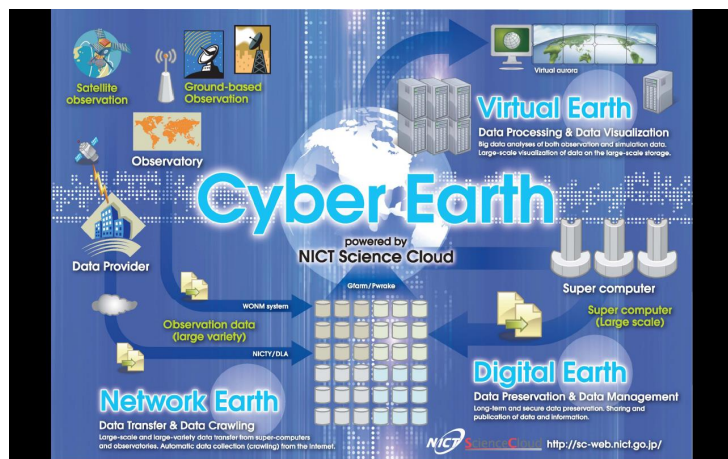
村田 健史^{1*}
MURATA, Ken T.^{1*}

¹ 情報通信研究機構
¹NICT

分野横断的地球科学のためには、様々な観測データやシミュレーションデータを融合して解析・分析する環境が必要である。このことは誰もが理解していることであるが、一方で、その環境はもちろん、技術的方法論も明確ではない。

本発表では、今後のグローバルな地球理解へのアプローチの一つとして、Cyber Earth という考え方を提案したい。Cyber Earth は、実体としての地球とは別に、デジタルデータをクラウドコンピュータ上に集約し、そこにデジタルでバーチャルな地球を実現（再現）するイメージである。デジタル地球（Cyber Earth）にはあらゆるデータが定期的に流れ込み、管理・保存される。保存されたデータは1次処理、2次処理がなされると同時に、ユーザの要望に応じた形で抽出できる。また、過去、現在、未来の地球を大型ディスプレイ上に再現するために、Cyber Earth 内においてあらゆるデータ（ビッグデータ）の大規模処理と可視化が進められる。研究者は、3次元時系列空間（またはその一部を切り出した空間）においてそれらの情報を総合的に理解することができる。すなわち、Cyber Earth は、ネットワークを介してデータ収集する機能（Network Earth）、デジタル化されたデータを保存・管理する機能（Digital Earth）、およびデータを大規模処理・可視化する機能（Virtual Earth）の3つの機能から構成される。

Cyber Earth の考え方は特段珍しいものではなく、一方で現実離れしているという考え方もあろう。しかし、現在のICT（情報通信技術）をマッシュアップすることで、NICTサイエンスクラウドではCyber Earthのプロトタイプを作成してきた。講演では、Cyber Earth の考え方について議論すると同時に、Cyber Earthの基盤技術とマッシュアップ例を紹介する。



温室効果ガス排出削減シナリオの国際的分析の最近の動向 Current trends of international assessments of greenhouse gas emission mitigation scenarios

秋元 圭吾^{1*}
AKIMOTO, Keigo^{1*}

¹ 公益財団法人地球環境産業技術研究機構

¹ Research Institute of Innovative Technology for the Earth

The IPCC 5th Assessment Report (AR5) are scheduled to be completed in 2014. The Working Group III assesses mitigation options and the report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", will be released in April 2014 after the approval in the 39th Session of IPCC. Scenario analysis and modeling exercise by the integrated assessment model (IAM) provide a key element in the AR5 report. A number of international inter-model comparison projects are formulated mainly in the United States and EU countries in an effort to make contribution to the IPCC AR5 report.

This paper introduces that the current trends of international assessments of greenhouse gas (GHG) emission mitigation scenarios with the key points which have been described in the AR5 and the key outcomes of the international IAM comparison projects. In addition, international research cooperation activities for harmonizing socioeconomic scenarios for the future IAM assessments, which is named SSPs (Shared Socioeconomic Pathways), will be introduced.

The Fourth Assessment Report (AR4) of IPCC WGIII which was published in 2007 provided six categories for broad ranges of several emission pathways provided by IAM estimations. The lowest level of GHG concentration stabilization is 445-490 ppm CO₂eq and the emission pathways correspond to 85-50% reductions of global emission by 2050 relative to the 2000 level. The report summarized that the emission pathways will be expected to the equilibrium global mean surface temperature of 2.0-2.4C increase relative to pre-industrial level. The assessment had a strong impact on the international climate change negotiations and domestic measures of climate change response. Long-term target of 2C and halving global emissions by 2050 have been widely discussed in international negotiations such as UNCCC/COP and G8 after the release of AR4, while IPCC never recommends a specific target and policy.

A lot of assessments for emission reduction scenarios by IAMs particularly for deep emission reduction scenarios such as 450 ppm CO₂eq, have been conducted after the AR4. The assessments also include many overshoot scenarios which are temporally over 450 ppm CO₂eq and then achieve 450 ppm CO₂eq in 2100 as well as 450 ppm stabilization scenarios, because current global emission increases are large due to the increases in developing countries, and it is difficult to develop emission reduction pathways with reality in near-term emissions for 450 ppm CO₂eq stabilization without overshoot.

One of the inter-model comparison projects, AMPERE (Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates) project which was funded by the European Commission provided the feasibility of significant emissions reduction for a variety of mitigation technology portfolios. The project assessed that the feasibility for deep emission reductions such as 450 ppm CO₂eq and the emission reduction costs under several conditions of technology unavailability and the near-term emissions locked into by the Cancun pledges. With significant emission reduction until 2030, the required annual emission reduction to meet 450 CO₂eq target diverges from the historical rates of change. If the emissions pathways are locked into the low ambitious Cancun pledges to 2030, further improvement is required after 2030. There are many infeasible results to meet the stringent target in model calculation, if there are technological constraints in the availability of CCS, nuclear and renewable energy particularly under the near-term emissions locked in. The emission reduction costs are also very high and almost double or more compared with the idealistic conditions. These assessments which consider realistic conditions in IAMs are one of the progresses after the AR4.

The AR5 of IPCC will includes such new assessments will make impacts on international climate policies after the release.

キーワード: 気候変動, 温暖化緩和策, 排出シナリオ, IPCC, 統合評価モデル

Keywords: climate change, global warming mitigation, emissions scenarios, IPCC, integrated assessment model

統合評価モデルの構造と気候モデルとの連携 Integrated assessment model structure and linkage with climate model

黒沢 厚志^{1*}
KUROSAWA, Atsushi^{1*}

¹ 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
¹The Institute of Applied Energy

統合評価モデル (Integrated Assessment Model, 以下 IAM) は、気候変動対策を分析するツールとして開発されてきた。1980年代における Edmonds-Reilly モデルは、温暖化とエネルギー起源 CO₂ の関係を明示的に分析し、気候変動とエネルギー問題の関連の重要性を指摘した先駆例として知られている。1990年代以降は、気候変動に伴う地球環境問題に対する対策を検討するため、気候変動、エネルギーシステム、土地利用等の学際的な知見を評価するためのモデル開発が積極的に進められた。それらのモデルのキーワードは、「学際性」、「大規模化」、「超長期化」、「スケール統合」にある。このような時間、空間および学際領域に対して広範な評価を必要とするモデルは、その扱う分野も幅広いことから、「統合評価モデル」と呼ばれるようになった。過去の気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第3作業部会評価報告書でも、京都議定書の経済影響、CO₂ 以外の温室効果ガス削減を含めたマルチガス削減の効果など、モデルの相互比較による評価結果の紹介が行われている。一例を挙げれば、筆者らが開発を進めている GRAPE モデルは、エネルギー、気候、農業・土地利用、マクロ経済および環境影響の5つのモジュールから構成される統合評価モデルであり、各モジュール間では、温室効果ガス排出量、各種のコストおよび貿易量などを共有している。世界を15地域に区分するとともに、超長期にわたる気候変動のダイナミクスを考慮し、モデル終端年は2100年に設定している。モデルは一人あたり消費の関数である効用に対して、地域総和、および割引率を考慮した時点総和をとった値を目的関数とし、その最大化を行う非線形最適化モデルである。

2. 気候モデルとの連携

統合評価モデルに用いられている気候モデルには、連携方法によって様々な形式があり、ハードリンク型とソフトリンク型に大別できる。統合評価モデルの嚆矢である W. Nordhaus の DICE モデルは、すべての変数や方程式をモデル内に含める前者のタイプであり、数層の海洋と大気1層を仮定した全球1次元鉛直モデルである。CO₂ 以外の放射強制力は外生的に与えられ、CO₂ 濃度や大気温度が求められ、温度上昇がマクロ経済に負の影響を与えるフィードバックが表現されている。詳細気候モデルを統合評価モデルそのものに取り込むことは、かなり難易度が高い。不等式を含む多数の制約式があり、気候システム自体の非線形性を有するなかで、システム全体の変数を同時決定する最適化モデルについては、モデル自体が大規模化しているためである。GRAPE モデルでは、全球の炭素循環とエネルギーバランスを超長期的に評価するため、大気・海洋(40層)・陸域(6ボックス)の間の炭素循環、および大気、海洋の間のエネルギー交換を物理的に解く1次元モデルを、IPCC 第3次報告書に掲載された簡易気候モデル ISAM を参考に整備し、エネルギー、土地利用、マクロ経済のモジュールとハードカップリングして、動的に諸変数を同時決定する拡張を加えている。さらに近年では、地球システムモデルそのものと統合評価モデルをリンクし、世界地域(場合によってはメッシュレベル)での気候変動影響評価や、冷暖房エネルギー消費量などとの相互作用を分析する試みが活発になっており、気候に関する情報がますます活用されるようになっていくだろう。

3. 今後の課題とまとめ

温室効果ガスの排出削減が進まない中で、気候変動影響を低減する、適応策の重要性が高まっている。気候変動に対する脆弱性は世界各地の経済発展段階によって大きく異なるので、先進地域は、既に気候変動にある程度適応しているとも考えられ、通常のインフラ投資と適応のための投資を厳密に区分することは難しい。また、気候変動影響の経済評価は、適応策のレベルを決定する上で重要な情報であるが、不確実性が大きく、評価例が不足している途上地域も多い。

さらに、IPCC 第1作業部会第5次報告書では、太陽放射管理(SRM)とCO₂除去(CDR)に関するジオエンジニアリングの記述が含まれた。「ネガティブ・エミッション」を実現して、低排出シナリオを可能とするためには、バイオマスCCSなどのCO₂除去が必須の手段になる可能性もある。両者はいずれも気候に直接介入するものであり、効果や副作用を検討するためには、気候モデルの活用が不可欠となっている。

このように、当初からその連携が不可欠であった統合評価モデルと気候モデルは、お互いの不確実性を有しながらも、その関係がますます密接なものになっていくだろう。

キーワード: 統合評価モデル, 気候モデル
Keywords: Integrated Assessment Model, Climate Model

気候モデル研究と経済モデル研究の連携 Integration of climate and economic modeling studies

松本 健一^{1*}; 立入 郁²
MATSUMOTO, Ken'ichi^{1*}; TACHIIRI, Kaoru²

¹ 滋賀県立大学, ² 海洋研究開発機構

¹The University of Shiga Prefecture, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

So far, there have not been many studies which integrate climate modeling and economic modeling research. The purpose of this presentation is to show one way to integrate climate and economic studies with regard to climate change issues. Here, we present an example of the integration of these two areas, which analyzes socioeconomic impact of achieving a specific radiative forcing level considering the uncertainties of Earth system models using a computable general equilibrium (CGE) model.

Although much uncertainty exists in climate system and simulations of future climate profiles with Earth system models (ESMs), it has not been evaluated in relation to socioeconomic aspects. In this study, we analyze the socioeconomic impact (including that on energy) of three emission pathways, all of which possibly achieve 4.5 W/m² of radiative forcing in the year 2100 within uncertainties estimated by an ESM of intermediate complexity (EMIC) tuned for full ESMs using a CGE model, a type of economic models. The model used here is a multi-regional and multi-sectoral recursive dynamic CGE model on a global scale, with energy and environmental components. Thus, the model is also called an integrated assessment model or IAM.

The emission pathways considered in this study are allowable emission pathways obtained by using an EMIC with the Representative Concentration Pathway 4.5 scenario. Here, we analyze the emission pathways of the 5th (lower bound), 50th (mean), and 95th (upper bound) percentiles of the weighted ensemble members in the parameter perturbation experiment. Different pathways are derived from different physical and biogeochemical properties. The global CO₂ emissions in 2100 and the cumulative CO₂ emissions in this century in the upper bound case are 5.1 GtC/yr and 917.6 GtC, while those in the mean case are 3.0 GtC/yr and 764.9 GtC respectively, and those in the lower bound case are 0.91 GtC/yr and 619.7 GtC respectively.

The results indicate that the socioeconomic impacts are larger in the lower bound emission pathway to achieve 4.5 W/m² as expected, although the economy and energy demand (both primary and final energy demand) increase continuously in this century. For example, the global gross domestic product (GDP) in each emission pathway is \$212 trillion in the lower bound case, \$217 trillion in the mean case, and \$221 trillion in the upper bound case in 2100 (\$30 trillion in 2001), which are 4.2 – 8.1% smaller than that of the reference scenario (\$230 trillion in 2100). On the other hand, the global primary energy demand in 2100 in the lower bound case is slightly larger than in the mean case; this can be interpreted because biomass energy with carbon capture and storage technology is enhanced to achieve very low carbon dioxide emissions in the lower bound case. In a comparison between the upper bound and lower bound emission pathways, the carbon price of the latter is approximately three times higher in 2100. The GDP in the latter is 4.1% smaller than that in the former in 2100, which is equivalent to only a 0.042% decrease in the annual GDP growth rate. Thus, the socioeconomic impacts caused by ESM uncertainties, here evaluated by GDP and energy demand, are not insignificant but are smaller than the differences in the emission pathways to achieve 4.5 W/m².

キーワード: 地球システムモデル, 応用一般均衡モデル, 気候変動

Keywords: earth system model, computable general equilibrium model, climate change

統合評価モデル比較研究の紹介及び統合評価モデルと影響評価との接合点 Model Inter-comparison projects of Integrated Assessment Models and the Collaboration with Impact Assessments

藤森 真一郎^{1*}; 花崎 直太¹; 高橋 潔¹; 増井 利彦¹; 甲斐沼 美紀子¹; 肱岡 靖明¹; 長谷川 知子¹
FUJIMORI, Shinichiro^{1*}; HANASAKI, Naota¹; TAKAHASHI, Kiyoshi¹; MASUI, Toshihiko¹; KAINUMA, Mikiko¹;
HIJIOKA, Yasuaki¹; HASEGAWA, Tomoko¹

¹ 国立環境研究所

¹ National Institute for Environmental Studies

本発表では、①近年の統合評価モデル (IAM) のモデル比較プロジェクトと、②影響評価研究との接点について議論する。IAM のモデル比較研究は、参加者共通の主題を立て、その主題に従ったモデルやシミュレーションの条件設定を行い、モデル間比較を行う。近年のモデル比較研究の主題の例を挙げると、技術的制約 (例えば原子力)、緩和策の開始年の違いが GHG 削減費用に与える影響を明らかにするというものがある。各プロジェクトは 3-4 年かけ、その間 2, 3 回のデータ提出と会合を行う。成果はジャーナルの特集号としてまとめる。モデル間での相互比較のために共通化する情報は、定性的なものにとどめ、社会経済条件、排出パスなどの主要な前提を各モデルに委ねる。IAM は様々なタイプが存在し、ある変数がモデルにより内生、外生変数であることがあり、できるだけ多くのモデルが参加できるように条件を緩くすることを意図している。一方、モデルの検証に関する活動が近年少しずつ注目され、比較研究プロジェクトの主題の一つになってきた。モデルに関する文書の公開、診断用のプロトコルの開発、過去の観測との比較などいくつかの取組が議論されている。

次に、影響研究と IAM との協力方法に関して、IAM の使い方に応じて大別して二種類に大別できる。第一は、影響評価コミュニティに対して排出量見通しや社会経済的な諸条件の提供者としての IAM である。代表的な濃度パス (RCP)、共通社会経済シナリオ (SSP) などがその代表的な例である。例えば、Hanasaki, et al. 1 は、AIM/CGE が水モデルである H08 に情報提供するという形で行われた。第二の IAM の使い方は、IAM 自身が影響評価モデルの要素を取り込んで、影響評価をするというものである。これは、影響評価モデルを独立に実行して、その結果を IAM の入力とし、IAM が影響評価を行う。Hasegawa, et al. 2 がその例であり、作物生産性モデル GAEZ による潜在作物生産性影響を AIM/CGE に入力し、飢餓リスク人口を評価した。上記の例からわかるように、水、農業というのは土地利用、エネルギー供給を介して IAM の境界条件と重なる部分があり、相互作用を考慮した研究は、今後の研究課題の一つとして考えられる。いずれの種類の研究も排出シナリオと気候モデルの実験の組み合わせがベースとなり、RCP、(CMIP5) の結果に加えて SSP が作られることによって、類似の研究がより促進されるであろう。しかし、SSP が仮に完成したとしても課題はいくつか残る。ここでは課題を 2 つ挙げる。第一に SSP は緩和策を含まない情報であり、緩和策を取った時には緩和策無しの SSP とは大きく異なる土地利用やエネルギー供給となる可能性がある。第二に、既存の 4 つの RCP 以外の気候緩和レベルを実験する必要が生じたときの対応方法である。鍵となるのはパターンスケーリングの精度であると考えられる。パターンスケーリングが影響評価研究に耐えうる精度を持っているのであれば、RCP、CMIP5 のパターンスケーリングで事足りるが、そうでなければ新たな気候実験が必要となる。CMIP に類するマルチモデルアンサンブル実験を SSP と気候緩和策を組み合わせた排出シナリオで行うと、さらに何年も要し、影響研究にとって実施は非現実的である。従って、日本内の研究チームで特定の IAM、気候モデルを組み合わせ、SSP と緩和策の組み合わせの排出シナリオに関する気候実験を行うといったことが求められる。こういった研究には、多大な労力が必要になる可能性があり、研究を実施する障壁となるが、コミュニティ間で議論を重ねることで、学術的な新規性、社会的意義などをより強く認識でき研究を促進する一つの要因になる可能性があり、本発表がその議論の一つのきっかけになることを期待する。

Hanasaki, N. et al. A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways ? Part 1: Water use. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 2375-2391, doi:10.5194/hess-17-2375-2013 (2013).

Hasegawa, T. et al. Climate Change Impact and Adaptation Assessment on Food Consumption Utilizing a New Scenario Framework. *Environmental science & technology* 48, 438-445, doi:10.1021/es4034149 (2014).

キーワード: 統合評価モデル, 影響評価, モデル比較研究, シナリオ

Keywords: Integrated Assessment Models, Impact, Adaptation and Vulnerability, Model inter-comparison projects, Scenarios

日本全域を対象地域とした温暖化影響の総合評価のための共通シナリオの開発について Climate and socioeconomic scenarios for climate change impact and adaptation assessments in Japan

高橋 潔^{1*}; 花崎 直太¹; 肱岡 靖明¹
TAKAHASHI, Kiyoshi^{1*}; HANASAKI, Naota¹; HIJIOKA, Yasuaki¹

¹ 独立行政法人国立環境研究所

¹National Institute for Environmental Studies

地球温暖化の影響は多岐にわたるため、日本への影響の全体像を評価し、効果的な適応策を検討するためには、学問分野を横断して専門的知見を集めることが重要である。将来の温暖化の影響を評価する方法として、まず将来の気候と社会経済を定量的に想定し、それらを入力条件として統計モデルあるいはプロセスモデルを利用し、検討対象ごとにシミュレーションを行うのが一般的である。ここで多くの検討対象について入力条件を揃えることができれば、ある将来の気候と社会経済の想定下における日本の影響と適応策を、総合的に捉えることができる。

環境省環境研究総合推進費研究プロジェクト「地球温暖化に係る政策支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合的研究」(略称:S-8プロジェクト;研究期間:2010~2014年度;課題代表:三村信男茨城大学教授)では、我が国における適応策策定の支援と、安全・安心な気候変動適応型社会の実現可能性の評価を目的として、水資源、沿岸、防災、自然植生、農業・食料生産、人間健康を対象分野として、日本全体への温暖化影響の定量評価に関する研究に取り組んでいる。S-8プロジェクトでは、先行研究事例や最新情報の精査を行い、温暖化影響・適応研究における日本の将来気候と社会経済の想定(S-8共通シナリオ)について議論した。またこの議論に基づき、プロジェクトの進行計画に合わせて、各時点において入手可能であった最新情報を利用し、日本全域を対象地域とする時系列・メッシュ型のシナリオを2期(第1版:2011年3月、第2版:2013年11月)に分けて開発した。

共通シナリオ第2版では、気候予測情報に関しては、年平均気温・年降水量変化の不確実性幅を捉えることに留意して、Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)に参加した4つの気候モデルによる3つの放射強制力シナリオを前提とした予測実験の出力を利用し、共通シナリオを用意した。さらに、これらと整合的な領域気候モデルを用いた力学的ダウンスケールの結果も、バイアス補正を施したうえで活用した。社会経済シナリオに関しては、人口の総数の予測幅に加えて、その空間分布の変化の不確実性も考慮した9つのシナリオを利用した。さらに、各人口シナリオに整合的な土地利用シナリオも開発した。

本セッションでは、分野間連携の実例として、上記のS-8プロジェクトにおける共通シナリオ開発の経緯・手順ならびに開発されたシナリオについて紹介する。また、共通シナリオの開発にあたって認識された今後の課題についても述べる。

キーワード: 気候変動, 温暖化影響, 適応, シナリオ

Keywords: climate change, climate change impact, adaptation, scenario

全球温暖化影響評価の紹介 Introduction to global climate change impact assessment

花崎 直太^{1*}
HANASAKI, Naota^{1*}

¹ 国立環境研究所
¹National Institute for Environmental Studies

この発表では、現在の温暖化影響評価で利用される典型的な方法を紹介する。また、いくつかの重要な問題に取り組む最新の研究活動について議論する。発表は地球規模の水資源分野に焦点を当てるが、内容は他の規模や分野にも広く当てはまるだろう。

温暖化影響評価には将来の気候と社会経済の想定とそれらの変化に対して対象の系がどのように応答するのかを定量的に示すモデルが必要である。この発表はまず CMIP5、RCP、SSP という最新のシナリオを紹介する。また、地球の水循環と水利用を表現する全球水資源モデル H08 についても説明する。

温暖化影響評価は多くの場合3つの手順で行われる。まずモデルを準備し、現在の気候と社会経済を利用して、現在に関するシミュレーションを実施する。次に将来の様々な想定を利用して、将来に関するシミュレーションを実施する。最後に、気候と社会経済の変化による影響である、将来と現在の差を詳細に分析する。この発表では、10の異なる将来想定下において、水資源の逼迫する地域の地理的分布や影響を受ける人口の総数について議論する。

温暖化影響評価に関して多くの未解決の課題があるが、それらに取り組んでいる2つの国際的な研究活動2つを取り上げる。一つ目は、モデルの違いによる影響評価の不確実性の定量化である。影響評価に使われるモデルは現在の状況をよく再現できるものが用いられるが、モデルは完全ではなく、結果には誤差が含まれる。複数のモデルに同じ将来の想定を与えて温暖化影響評価を行い、結果のばらつきとその原因を調べる ISI-MIP という国際プロジェクトについて紹介する。二つ目は、適応策の導入である。温暖化の影響が耐え難くなれば人間は適応策を取ると考えられるが、適応策を考慮した温暖化影響評価の事例は非常に少ない。適応策を扱った先駆的な事例を紹介し、今後の研究の方向を論じる。

キーワード: 温暖化, 影響, 全球, 水資源
Keywords: climate change, impact, global, water resources

地球温暖化に伴う自然災害影響評価の現状 Impact assessment of natural disaster due to global warming

森 信人^{1*}
MORI, Nobuhito^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Climate changes in give significant impacts on natural disasters such as typhoon, river flooding, storm surge, landside and etc. The different natural disasters require different forcing from GCMS. The spatial and temporal resolutions of forcing also give significant impact on the impact assessment of natural disasters. This study summarize current activity of impact assessment of natural disasters by SOUSEI program in Japan and discuss importance of cooperative research between GCM modelers and IAM group.

気候情報におけるダウンスケーリングと応用 Downscaling in Climate Information and applications

大楽 浩司^{1*}
DAIRAKU, Koji^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Climate effects caused by human activities will continue for centuries and natural climate influences have always been a risk. Mitigation is a complex, uncertain approach and will need at least several decades. It is necessary, therefore, to put adaptation together immediately. The impacts and potential applications of interest to the stakeholders are mostly at regional and local scales as the essential resources of water, food, energy, human health, and ecosystem function respond to regional and local climate. Climate information and services for Impacts, Adaptation and Vulnerability (IAV) Assessments are of great concern.

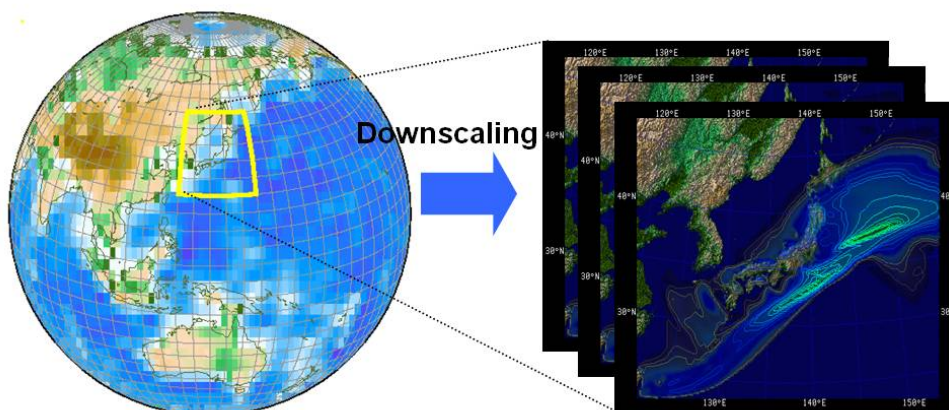
Users of climate scenarios produced by global climate models with coarse grid-spacing involve an inadequate mismatch of spatial scale. Downscaling technique is used to obtain the regional climate scenarios, especially in regions of complex topography, coastlines, and in regions with highly heterogeneous land surface covers where those results are highly sensitive to fine spatial scale climate processes. Dynamical and statistical downscaling techniques available for generating regional climate information have the respective strengths and weaknesses. To produce useful climate assessments for decision-making, interaction between the downscaling community and the IAV community are necessary.

To facilitate its interaction, author will present,

- Overview of downscaling techniques in particular for regional climate modelling.
- current International activities (WCRP-CORDEX, etc.)
- Applications of downscaling in Japan from the "REsearch program on Climate Change Adaptation (RECCA)" and the "Program for Risk Information on Climate Change (SOUSEI)" sponsored by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology(MEXT)

キーワード: ダウンスケーリング, 地域気候モデル, 気候変動, CORDEX, 気候変動適応研究推進プログラム, 気候変動リスク情報創生プログラム

Keywords: Downscaling, Regional Climate Model, Climate Change, CORDEX, RECCA, SOUSEI



熱帯低気圧に伴う将来の極端現象を地域規模で予測するパターンスケリング手法 Pattern scaling approach for generating regional projections of future extreme events associated with tropical cyclones

筒井 純一^{1*}
TSUTSUI, Junichi^{1*}

¹ 電力中央研究所
¹ Central Research Institute of Electric Power Industry

気候変化研究において様々な温室効果ガス排出シナリオを評価する際、少数の代表シナリオに対する複雑な気候モデルによるアンサンブル予測を基にした、簡易気候モデルとパターンスケリングが用いられる。簡易気候モデルは全球平均地表温度を予測変数として扱い、パターンスケリングは、シナリオや時点に依存しない形で与えられた空間パターンを使って、様々な気候変数の空間分布を表現する。通常、パターンスケリングで扱われる変数は、平均的な気温や降水量であるが、本研究では、パターンスケリングの考えを気候変化影響の評価で重要となる極端現象に適用する。その一例として、日本に上陸する最強規模の熱帯低気圧を対象に、最低海面気圧と降水極値の変化を多数のシナリオで評価するスキームを提示する。

本スキームは、熱帯低気圧の潜在強度の理論と一般的な降水極値の理論がベースとなる。現実の熱帯低気圧は、様々な環境制約のために、必ずしもその潜在強度に達するわけではないが、観測される最低海面気圧の下限値の年サイクルが、気候学的な潜在強度で良く表される。社会的インパクトの大きい極端に強い熱帯低気圧は、背景場の昇温によらず、自然の気候変動の大きな振れ幅の中で、ごく稀に出現する。そのような稀な事象の強度について、相対的に小さい背景的变化を評価するのは、一般に、観測統計や気候モデル実験では困難である。この問題を克服するために、本スキームは、熱帯低気圧の頻度を左右する力学的環境は考慮せず、大規模な熱力学的環境の背景的变化のみに注目する。この背景的变化は、アンサンブル気候モデル実験の結果（パターン）を参照して、全球平均気温でスケリングし、対象とする熱帯低気圧の潜在強度の変化に反映する。さらに、降水極値の評価では、熱力学的な水蒸気量の変化に加え、基準上昇流の鉛直構造をその潜在強度の変化でスケリングして、熱帯低気圧の強大化の効果を取り入れる。

図1に、3種類のシナリオに対する評価結果を示す。本スキームは、全球平均地表温度偏差の関数として、評価対象の気圧降下量と降水極値の変化を定式化している。温度偏差は、別途開発した簡易気候モデルを用いて、気候感度の不確実性を考慮してシナリオ別に3000ケースを計算している。計算負荷は僅かであり、異なる条件で多数のシナリオを短時間で評価できる。また、ここでは示さないが、最低海面気圧が対流圏上空の気温偏差に強く依存することから、その不確実性をアンサンブル気候実験から取り入れることもできる。簡易気候モデルとパターンスケリングの組み合わせは、このように様々な不確実性を区別できる形で扱える利点もある。

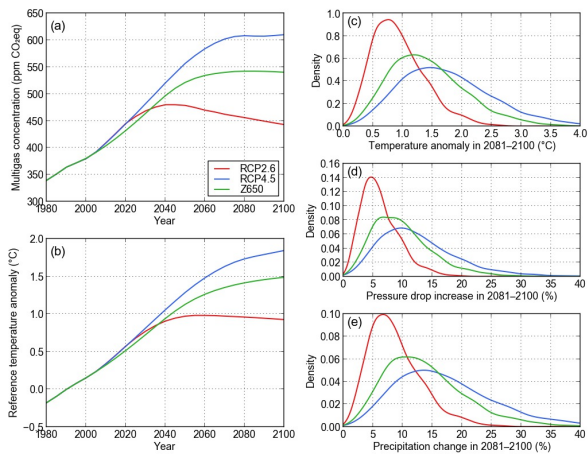
図1: RCP2.6, RCP4.5, Z650 と表記された3種類のシナリオに対する熱帯低気圧の確率論的評価。(a), (b): 大気中の温室効果ガス濃度と参照ケースの全球平均地表温度偏差の経年変化、(c)-(e): 1981-2000 から 2081-2100 年にかけての温度偏差、気圧降下量の増加、降水極値の増加の確率密度関数。

キーワード: 熱帯低気圧, 潜在強度, 降水極値, パターンスケリング, 簡易気候モデル, 排出シナリオ
Keywords: tropical cyclone, potential intensity, precipitation extreme, pattern scaling, simple climate model, emission scenario

MIS31-16

会場:511

時間:5月2日 14:30-14:45



パターンスケーリングの排出シナリオ依存性と線形加法性 Emission scenario dependency of pattern scaling and linear additivity of climate forcing-response relationship

塩竈 秀夫^{1*}
SHIOGAMA, Hideo^{1*}

¹ 国立環境研究所地球環境研究センター

¹Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

Human activities are changing the climate, and the consequent impacts on humans and ecosystems are becoming increasingly serious. It has been recognised that adapting to and mitigating anthropogenic climate change is a matter of immediate concern for the world. To inform adaptation and mitigation policies, it is essential to assess the impact of climatic changes under a wide range of scenarios for the stabilization of emissions of greenhouse gases (GHGs) and anthropogenic aerosols (sulfate, black carbon, and organic carbon aerosols). Impact assessments are based on climate change projections from coupled atmosphere-ocean general circulation models (GCMs). Therefore, uncertainties in climate projection propagate to impact assessments and affect subsequent policy decisions for adaptation and mitigation.

Due to the large computational costs of GCMs, only a limited number of emissions scenarios can be made for GCM simulations. To overcome this difficulty and obtain climate scenarios under a wide range of emissions scenarios, the so-called pattern scaling method is often used. By multiplying climate change patterns per 1K of global warming from an AOGCM (called a scaling pattern) by the global mean warming projections from a simple climate model, this method provides projections of precipitation, as well as other variables, at global and regional scales under many emission scenarios. Although the pattern scaling method is widely used, applicability of pattern scaling has been evaluated by only a few studies, and further investigations are clearly warranted.

The basic assumption of pattern scaling method is that scaling patterns are independent on the emission scenarios. Here I show a robust emission-scenario dependency (ESD) in scaling patterns of annual mean precipitation; smaller global precipitation sensitivities occur in higher GHG and aerosol emission scenarios in all the CMIP3 GCM. Different aerosol emissions lead to this ESD. The ESD of precipitation pattern potentially propagates into considerable biases in water resource assessments via pattern scaling.

It is possible to scale climate response patterns to individual forcing agents to obtain climate scenarios. This 'separated pattern' approach is useful to overcome the influences of the ESD. However, this approach requires care in its use. An important assumption of the separated pattern is that individual climate responses to individual forcing agents can be linearly added to obtain the total climate response to the sum of the forcing agents. We explored whether linear additivity holds in 5-year mean temperature/precipitation responses to various combinations of forcing agents in the 20th century and in a future-emissions scenario at global and continental scales. We used MIROC3 GCM, which includes the first and second indirect effects of aerosols. The forcing factors considered were well-mixed greenhouse gases, the direct and indirect effects of sulphate and carbon aerosols, ozone, land-use changes, solar irradiance and volcanic aerosols (the latter three factors were specified only in the 20th-century runs). By performing and analysing an enormous matrix of forcing runs, we concluded that linear additivity holds in temperature responses for all of the combinations of forcing agents at the global and continental scales, but it breaks down for precipitation responses in certain cases of future projections.

キーワード: 気候シナリオ, パターンスケーリング, 影響評価
Keywords: Climate scenario, pattern scaling, impact assessment

気候変化によって生じるリスク連鎖の評価 Evaluation of the nexus of risks under global climate change

横畠 徳太^{1*}; 仁科 一哉¹; 木口 雅司²; 井芹 慶彦³; 末吉 哲雄⁴; 吉森 正和²; 山本 彬友²; 本田 靖⁵; 花崎 直太¹; 伊藤 昭彦¹; 眞崎 良光¹; 重光 雅仁⁶; 飯泉 仁之直⁷; 櫻井 玄⁷; 岩瀬 健太⁸; 高橋 潔¹; 江守 正多¹; 沖 大幹²
YOKOHATA, Tokuta^{1*}; NISHINA, Kazuya¹; KIGUCHI, Masashi²; ISERI, Yoshihiko³; SUEYOSHI, Tetsuo⁴; YOSHIMORI, Masakazu²; YAMAMOTO, Akitomo²; HONDA, Yasushi⁵; HANASAKI, Naota¹; ITO, Akihiko¹; MASAKI, Yoshimitsu¹; SHIGEMITSU, Masahito⁶; IIZUMI, Toshichika⁷; SAKURAI, Gen⁷; IWASE, Kenta⁸; TAKAHASHI, Kiyoshi¹; EMORI, Seita¹; OKI, Taikan²

¹ 国立環境研究所, ² 東京大学, ³ 東京工業大学, ⁴ 海洋研究開発機構, ⁵ 筑波大学, ⁶ 北海道大学, ⁷ 農業環境技術研究所, ⁸ 野村総合研究所

¹National Institute for Environmental Studies, ²University of Tokyo, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁵University of Tsukuba, ⁶Hokkaido University, ⁷National Institute for Agro-Environmental Sciences, ⁸Nomura Research Institute

温室効果ガス濃度の増加によって生じる気候変化は、人間社会や生態系に様々な影響を及ぼす。影響の性質は様々であり、その多くは人間社会や生態系にとって好ましくない悪影響（被害）であるが、時期や場所によっては好影響（利益）をもたらすこともある。今後、社会が気候変化に対する対策を行うためには、将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益（＝リスク）について、信頼のおける予測を行う必要がある。

将来の気候変化によって生じる被害や利益は、非常に幅広い分野・部門にわたって生じる可能性がある。そして、将来の気候変化のために生じる様々な分野・部門における様々な問題は、互いに深く関連している。特に、水・食料・エネルギーの部門における影響の間には、密接なつながりがあることが指摘されている（Hoff 2011, Understanding the Nexus. Stockholm Environment Institute）。例えば、気候変化によって降水量が減少すると、乾燥化や河川流量の減少などによって、作物生産性が変化する。作物生産性の変化は、食料価格の変動などを通して、社会に大きなインパクトを与える可能性がある。気候変化対策のためのバイオ燃料増産などが、食料供給の安定性に影響を与えるかもしれない。また、河川流量の変化は水力発電などのエネルギー生成量にも影響を与える可能性がある。そして、乾燥化は森林火災の頻度を増加させ、生態系にも影響を与え得る。

この発表では、将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益の連鎖と全体像を理解するための私たちの取り組みを紹介する。一つは、気候変化のために生じる様々な分野・部門における様々なリスクのつながりを、定性的に理解するための取り組みである。ここではまず、気候変化によって人間社会や生態系において生じる被害や利益を、考えられる限り全ての分野・部門において記述した、網羅的なリストを作成する（「リスク項目」リストの作成）。このリストは、気候・水資源・エネルギー・食料・健康・安全・産業・社会・生態系の分野において将来起こりえる変化を、その分野の専門家が、将来人間社会と生態系に何らかの影響を及ぼしえると判断した項目を、網羅的に記述したものであり、現時点で200程度のリスク項目が挙げられた（例えば「河川流量の減少」「作物生産性の減少」「森林火災の増加」など）。さらに、このリスク項目の間の因果関係を網羅的に記述したリストを作成する（「リスク因果関係」リストの作成）。このリストも「リスク項目」リストと同様に、様々な分野の専門家が重要だと判断した因果関係を網羅的に記述したものであり、現時点で400程度の因果関係が挙げられた（例えば「河川流量の減少」→「作物生産性の減少」など）。最後に、「リスク因果関係」で作成した因果関係を、図として表現する。手法としては、複雑ネットワークを図化する Fruchtmann & Reingold 力指向アルゴリズムを用いた。得られたデータやネットワーク図をもとに、気候変化リスクの連鎖について議論を行う。

将来気候変化によって生じうる様々な被害や利益の連鎖と全体像を理解するためのもう一つの取り組みは、「モデル統合」による定量的な研究である。現在我々のグループでは、気候モデル MIROC5 (Watanabe et al. 2010, J. Climate)、水資源モデル H08 (Hanasaki et al. 2008, HESS)、陸域生態系モデル VISIT (Ito and Inatomi 2012, Biogeosciences)、作物モデル PRYSBI2 (Iizumi et al. 2013, J. Agricultural Meteorology) のすべてを統合したモデル、すなわちそれぞれのモデルが予報する変数を時間発展しながら別のモデルに受け渡すシミュレーションシステムである「陸域統合モデル」の開発を進めている。陸域統合モデルの現状と、解析によって明らかになったリスク連鎖に関して報告する。

キーワード: 気候変化, リスク, 水資源, 生態系, 健康, 社会

Keywords: climate change, risk, water resources, ecosystem, health, society

総合的な地球温暖化研究に向けての総合討論
Discussion on the challenges for comprehensive global warming studies

立入 郁^{1*}
TACHIIRI, Kaoru^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

提起された課題について、総合討論を行う。

キーワード: 総合的な地球温暖化研究
Keywords: Comprehensive Global Warming Studies

海洋へ供給される有機態窒素に関する大気化学輸送モデル Atmospheric Chemistry Transport Modeling of Organic Nitrogen Input to the Ocean

伊藤 彰記^{1*}; Lin Guangxing²; Penner Joyce²
ITO, Akinori^{1*}; LIN, Guangxing²; PENNER, Joyce²

¹ 海洋研究開発機構, ² ミシガン大学
¹JAMSTEC, ²University of Michigan

地球温暖化や人間活動の影響による海洋および陸域における生態系変化は二酸化炭素の吸収量や揮発性有機化合物の発生量などに影響を与える。その数値モデルの予測可能性向上にとって主要な必須元素となるのが、窒素である。従来、生物が利用可能な反応性の窒素成分の中で硝酸態窒素とアンモニア態窒素に着目した数値モデル研究が一般的に行われている。近年では、それらに加えて有機態窒素に関心が集まりつつある。有機態窒素とは、有機成分に含まれる窒素のことである。尿素、アミノ酸、そしてフミン酸などに含まれる窒素は植物プランクトンへの養分供給となるため、窒素が生育の制限要因となっている場合には、植物成長を促進させる。これまでの観測結果から、有機態窒素の重要性は指摘されているが、大気中における有機態窒素の化学形態と空間分布はよく知られていない。さらに、従来の大気化学輸送モデルでは有機態窒素の観測結果をおよそ再現できていない。本研究では、大気中における有機態窒素の動態に関する理解を深めるため、全球エアロゾル化学輸送モデルを用いて、海洋へ供給される大気由来の有機態窒素供給量に関して議論する。

キーワード: 大気由来の沈着, 水溶性有機態窒素, 環境変化

Keywords: atmospheric deposition, soluble organic nitrogen, environmental changes

BECCS 利用 2 °C シナリオにおける陸域生態系の持続可能性 Ecosystem sustainability of 2 degrees celsius scenario using BECCS

加藤 悦史^{1*}; 山形 与志樹¹

KATO, Etsushi^{1*}; YAMAGATA, Yoshiki¹

¹ 国立環境研究所

¹National Institute for Environmental Studies

Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) is a key component of mitigation strategies in the future socio-economic scenarios to keep mean global temperature rise below 2 °C above pre-industrial, which would require net negative fossil fuel emissions in the end of the 21st century. Large scale BECCS requires additional production of biofuels, which could potentially cause substantial carbon emissions from the land-use change. Developing sustainable low carbon scenarios requires careful consideration of the land-use implications involving large scale BECCS.

We use a global terrestrial biogeochemical cycle model to evaluate effects of land-use change in RCP2.6, which is a scenario with net negative fossil fuel emissions aiming to keep the 2 °C temperature target used in CMIP5. We also use a global crop model to examine BECCS attainability in the land-use scenario of RCP2.6. In the evaluation, we consider deployment of bioenergy with both first-generation second-generation biofuels.

Our analysis reveals that first generation bioenergy crop production would not be sufficient to achieve the required BECCS of RCP2.6 scenario even if we consider the higher fertilizer and irrigation use cases. It would require more than doubling the area for bioenergy crops around 2050 assumed in RCP2.6, however, such scenarios implicitly induce large scale land-use changes that emit significant amount of carbon from deforestation.

キーワード: BECCS, 土地利用, 作物単収, バイオエネルギー

Keywords: BECCS, land-use, crop yield, bioenergy

地球システムモデルを用いた CO₂ ゼロ排出による気候復元実験 Climate Restoration via Zero Emissions Stabilization: Examination using Earth System Models

野原 大輔^{1*}; 渡邊 真吾²; 立入 郁²; 羽島 知洋²; 岡島 秀樹²; 筒井 純一¹; 松野 太郎²

NOHARA, Daisuke^{1*}; WATANABE, Shingo²; TACHIIRI, Kaoru²; HAJIMA, Tomohiro²; OKAJIMA, Hideki²; TSUTSUI, Junichi¹; MATSUNO, Taroh²

¹ 電力中央研究所, ² 海洋研究開発機構

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Zero-emissions stabilization is a newly proposed concept that targets reduction of CO₂ emissions to zero in a distant future, after which the atmospheric CO₂ concentration is reduced by a natural atmospheric CO₂ removal process, eventually allowing the atmosphere to reach an equilibrated stable state. The zero-emissions pathway, Z650, has been designed based on this concept as a flexible alternative toward a climate stabilization target. It allows cumulative emissions of 650 GtC during the 21st century and aims to attain zero emissions in the middle of the 22nd century. To confirm the decreases in CO₂ concentrations and temperature that would be achieved with the Z650 pathway, long-term climate and carbon cycle projections have been conducted up to the year 2300 by emission-driven experiment using the Earth system models, CESM1 and MIROC-ESM. Both the models show gradual decreases in the atmospheric CO₂ concentration subsequent to the occurrence of temporal peaks of the concentration due to oceanic and terrestrial CO₂ uptakes. The models also project decreases in the globally averaged surface air temperature after the peak temperature increase. These results imply that the climate is eventually stabilized from a temporal warming state to less warmed under the zero emissions with the Z650 pathway. However, the experiments show considerably different increases in the peak concentration and temperature values, which are attributable to the different carbon and climate sensitivities.

第 6 次結合モデル相互比較計画 (CMIP6) について On the 6th phase of Coupled Model Intercomparison Project

河宮 未知生^{1*}
KAWAMIYA, Michio^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

IPCC の第 1 作業部会による第 5 次報告書が平成 25 年に公表されたのと同時期から、次期の温暖化予測実験の枠組みについての議論が始まっている。同年 8 月には米国コロラド州アスペンで AGCI(Aspen Global Change Institute) ワークショップが、10 月にはカナダのビクトリアで世界気候計画 (World Climate Research Program, WCRP) の結合モデル作業部会 (Working Group on Coupled Model, WGCM) の会合が開かれ、第 6 次結合モデル相互比較プロジェクト (6th Phase of Coupled Model Intercomparison Project, CMIP6) における温暖化予測実験の推進体制について検討が行われている。

CMIP6 の運営体制として提案されているのが「分散型運営」である。これは、炭素循環についての C4MIP、古気候についての PMIP、ジオエンジニアリングについての GeoMIP など関連の深いモデル相互比較プロジェクト (MIP) と協力しながら、CMIP そのものはすべての MIP に共通する基盤的な実験のみを、その他の MIP は各々の関心に応じた実験を、それぞれ管理し、全体として CMIP6 を形成するという体制である。そうした分散型運営に際し CMIP が管理すべき中心的な実験とは何かについても議論が交わされており、CO21% 漸増実験などの理想化実験や、緩和策を施した場合と施さない場合それぞれについてのシナリオ実験などが提案されている。スケジュールとしては、平成 27 年末までに社会経済シナリオを作成し、平成 28 年初頭には実験デザインを固め、モデルグループによるシナリオ実験の実施は平成 29 年からとなる見込みである。

キーワード: CMIP6, IPCC, 温暖化予測, モデル相互比較, 社会経済シナリオ, 気候モデル
Keywords: CMP6, IPCC, Global Warming Projection, Model Intercomparison Project, Socio-economic Scenario, Climate Model

南海トラフ地震発生帯掘削の7年：達成と教訓 7 years of NanTroSEIZE: Achievements and Lessons Learned

木下 正高^{1*}; Tobin Harold²
KINOSHITA, Masataka^{1*}; TOBIN, Harold²

¹ 海洋研究開発機構, ² ウィスコンシン大
¹JAMSTEC, ²Univ. Wisconsin-Madison

南海トラフ地震発生帯掘削 (NanTroSEIZE) が 2007 年 9 月に開始以来、6 年経過した。13 地点で掘削、これまで延べ 170 名超の研究者が「ちきゅう」に乗船した。4 ノットを超える黒潮下でのライザー掘削、東北地震による破損など、様々な困難を乗り越え海底下 7km の断層固着域に向けて掘削を進めている。本発表では、NanTroSEIZE のこれまでの掘削実績、科学成果、今後の展望について概観する。

キーワード: IODP, ちきゅう, 固着域, 地震発生メカニズム, 南海地震
Keywords: IODP, Chikyu, seismogenic zone, Nankai Trough

IODP Expedition 348 南海付加体内部への超深部ライザー掘削概要 Ultra-deep riser drilling into the Nankai accretionary prism: Preliminary results of IODP Expedition 348

廣瀬 丈洋^{1*}; Tobin Harold²; Saffer Demian³; Toczko Sean¹; 前田 玲奈¹; 久保 雄介¹; 金川 久一⁴; 木村 学⁴; Expedition 348 乗船研究者⁶

HIROSE, Takehiro^{1*}; TOBIN, Harold²; SAFFER, Demian³; TOCZKO, Sean¹; MAEDA, Lena¹; KUBO, Yusuke¹; KANAGAWA, Kyuichi⁴; KIMURA, Gaku⁴; EXPEDITION 348, Scientists⁶

¹ 海洋研究開発機構, ²University of Wisconsin-Madison, ³Pennsylvania State University, ⁴千葉大学, ⁵東京大学, ⁶IODP Expedition 348

¹JAMSTEC, ²University of Wisconsin-Madison, ³Pennsylvania State University, ⁴Chiba University, ⁵The University of Tokyo, ⁶IODP Expedition 348

The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) is a multi-disciplinary scientific project designed to investigate fault mechanics and seismogenesis along subduction megathrusts through seismic imaging, direct sampling, in situ measurements, and long-term monitoring in conjunction with laboratory and numerical modeling studies. As part of the NanTroSEIZE program, International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 348 started on 13 September 2013 and was completed on 29 January 2014. During Expedition 348, the drilling vessel *Chikyu* advanced the ultra-deep riser hole at Site C0002, located 80 km offshore from the Kii Peninsula, from a depth of 860 meters below sea floor (mbsf) to 3058.5 mbsf, the world record for the deepest scientific ocean drilling, and cased it for future access. The drilling operation successfully obtained data on formation physical properties from logging while drilling (LWD) tools, as well as from lithological analyses of cuttings and core from the interior of the active accretionary prism at the Nankai Trough. IODP Site C0002 is the currently only borehole to access the deep interior of an active convergent margin. We will present preliminary scientific results as well as key aspects of riser-drilling operations, including two sidetrack borehole drilling operations conducted in this never-before accessed tectonic environment.

キーワード: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism

Keywords: IODP, NanTroSEIZE, Nankai Trough, accretionary prism

CRISP：沈み込み帯巨大地震の特徴的マグニチュードは何か決めるのか Costa-Rica Seismogenesis Program (CRISP) to understand characteristic magnitude of subduction earthquake

坂口 有人^{1*}; Harris Robert²

SAKAGUCHI, Arito^{1*}; HARRIS, Robert²

¹ 山口大学大学院・理工学研究科/海洋研究開発機構, ²Oregon State University

¹Yamaguchi Univ./JAMSTEC, ²Oregon State University

Variations in earthquake magnitude and recurrence intervals of fault behavior are best understood in the context of regional tectonics. Convergent margins may be divided into two end-member types termed erosive and accretionary plate boundaries (e.g. von Huene and Scholl, 1991; Clift and Vannucchi, 2004). These margins may differ greatly in lithology, physical properties and hydrology. The Nankai accretionary margin has a 1300-year historical earthquake record with a recurrence interval of 100-150 years (Ando, 1975). Great earthquakes at Nankai are typically tsunamigenic and include the 1944 Tonankai ($M_w=8.1$) and 1946 Nankaido ($M_w=8.1$) earthquakes (Kanamori, 1977). In contrast, the Middle America trench offshore Costa Rica events of $M=7.6$ reoccur on average of every 40 years. The CRISP drilling area is offshore Costa Rica just northwest of the Osa Peninsula. Comparisons between these margins may produce insights into mechanisms that influence characteristic magnitudes and recurrence intervals of subduction earthquakes.

The IODP Costa-Rica Seismogenesis Program (CRISP) has carried out the first step toward the deep riser drilling by characterizing the shallow lithologic, hydrologic, stress, and thermal state at offshore Osa Peninsula (Vannucchi et al., 2011; Harris et al., 2013). CRISP drilling reveals that the shallow basement of upper plate crust is forearc basin material consisting of lithic sedimentary units with terrigenous sediment accumulated at a high rate. A large sediment flux to the forearc may have originated from the uplifted back-arc Talamanca Cordillera due to Cocos-Ridge subduction (Lonsdale and Klitgord, 1978; van Andel et al., 1971). Both the Nankai and the CRISP drilling areas are characterized by the subduction of young oceanic crust with high heat flow and active fluid flow (Spinelli and Wang, 2008; Spinelli and Harris, 2011; Harris et al., 2010). The Nankai and Costa Rica margins are ideal areas to better understand the relation between the earthquake magnitudes and other subduction zone factors.

Keywords: Large subduction earthquake, seismogenic fault, accretion and erosive margin

底生有孔虫群集解析にもとづく、コスタリカ沖中米海溝周辺海域過去 200 万年間の古水深変化 (IODP Exp.344 : CRISP-A2) Estimation of the past bottom-ocean environment of 2Ma based on the benthic foraminifera stratigraphy: IODP Exp. 344

内村 仁美^{1*}
UCHIMURA, Hitomi^{1*}

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

赤道太平洋東縁、コスタリカ沖の中米海溝付近ではココスプレートがカリブ海プレートの下に沈み込んでおり、東日本大震災を引き起こした日本海溝と同様の浸食型沈み込み帯とされる。中米海溝は日本海溝よりも地震発生帯が浅いことから、地震発生帯を直接掘削・調査することを目的に CRISP 計画 (Costa Rica Seismogenesis Project) が進められている。

一般に浸食型沈み込み帯では、沈み込むプレートによって上盤プレートの下部が削剥されて、上盤プレート自体が沈降すると考えられている。しかしながら CRISP 計画による IODP Exp.334 の 1 地点では上盤側の隆起が確認され、ココスリッジ沈み込みに起因するものとも推定されている。そこで同計画の第二期航海 IODP Exp.344 では、ココスプレートの活動に伴う地域的な変化を解明するため 5 地点で掘削を行った。筆者は修士論文として、掘削地点の底生有孔虫化石層序を解析し、そこで得られる群集変化から推定される上盤側海底の古水深変化とプレート活動史との関連性を追求している。

本研究では、Exp.334 において既に概査研究が行われている 2 地点を除いた 3 地点についての底生有孔虫群集変化を議論するため、上盤側の大陸斜面上部に位置する U1413A, C (水深 540m)、上盤プレート先端部に位置する U1412 (水深 1921m)、および中米海溝の沖側のリファレンス地点 U1414 (水深 2459m) を扱った。これらの全地点では、船上での石灰質ナノ化石及び放散虫化石層序により、現在から約 2Ma まで連続的な堆積記録が確認されている。この層序区間について、船上で分取したコアキャッチャー (CC) 試料と下船後に試料を追加した試料の有孔虫群を分析し、得られた結果をもとに、R モード及び Q モード・クラスター分析を通じて、群集変化を考察している。また、有孔虫化石群集の変遷を検討する上での基礎情報として、中米沖を中心に、北米から南米に至る太平洋沿岸海域の現生群集の分布を総括した。

海溝外側の地点 U1414 において、約 2 Ma 以降に当たる 1H?14H の CC 試料は、主に *Uvigerina senticosa*, *Oridorsalis umbonatus*, *Pullenia bulloides* など深海性種から構成され、大きく変化することはない (Horn の類似度指数は 0.6~0.8)。これは、U1414 が水深 2000m 超の大洋底上にあつて、底生有孔虫群集に影響するような劇的な変化がなかったことを示唆する。

U1412 の群集は Q モードクラスター分析により 3 群に分けられた。第 1 群は U1414 と共通した深海性の種群から構成されるグループで、これは U1414 と共通する深度帯での堆積相形成を示す。他の 2 群は、第 1 群の深海性種に、第 2 群では *Blizalina bicostata*、第 3 群は *Cibicidoides mackannai* が付随する特徴がある。この両種はともに大陸棚上に分布する種であることから、原地性の深海種群に、異地性の浅海種が混入したことを示している。

最も陸よりの Site U1413 は、下位より、I 帯~IV 帯の 4 化石帯に大別される。I 帯は最下部の約 250m の区間で、岩相ユニット III (細中粒砂岩) に対応するが、有孔虫は大陸斜面下~中部の種群から成る。II 帯は I 帯の上位約 200m にわたる細粒砂岩層で大陸斜面中部の種群から成る。III 帯は II 帯の上位約 60m の砂岩層であり、大陸棚中部の種群から構成される。IV 帯は最上位約 100m の区間で、大陸斜面上部に分布する種群から構成される。

U1413 では、多くの浅海性種群が混入することが明らかになった。I 帯では多数の貝化石を含む層準が確認され、底生有孔虫群集にも大陸棚中部に生息する *B. bicostata* が頻繁に確認され、本来の浅い生息場からの再堆積した個体と推定される。浅海性種が大陸斜面から海溝に至る広い範囲への運搬はブルー・チリ海溝でも報告された現象である (Ingle and Kolpack, 1980)。また、III 帯の群集は大陸棚中部の種のみで構成される。しかしながら、その直上・直下の層準に古水深変化を示すデータがまったく見られないこと、また坑内検層によりこの層序区間に褶曲構造が確認されたことから、III 帯は浅海域からのスランプ堆積物であると推定される。

コスタリカ沖海域における堆積物の二次的移動は、中米海溝でカリブ海プレートの下に沈み込むココスプレートの活動に伴う地殻変動の影響と考えられる。このような海域においても、混入する異地性個体を識別することによって、原地性群集を認定し、古水深変化を理解することが可能となった。また、混入する異地性個体群の量や産出頻度は、後背地の変動を反映する可能性が高い。これらの運動史解明に向けて、共同研究者と連携を取りつつ、酸素同位体比分析や微化石層序の検討の準備を進めている。

キーワード: 底生有孔虫, 古水深, 削剥型沈み込み帯

MIS32-04

会場:416

時間:4月30日 09:45-10:00

Keywords: benthic foraminifera, paleobathymetry, Subduction zone

海底下生命圏の限界と生息可能域の追究：統合国際深海掘削計画第329・337次研究航海からの新知見
Limits and Habitability of the Deep Seafloor Biosphere: New Insights from IODP Expeditions 329 and 337

稲垣 史生^{1*}；統合国際深海掘削計画 第329・337次研究航海研究者一同²
INAGAKI, Fumio^{1*}；IODP, Expedition 329 and 337 scientists²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所 地下生命圏研究グループ, ² 統合国際深海掘削計画第329・337次研究航海研究者一同

¹Geomicrobiology Group, Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ²IODP Expedition 329 and 337 Scientists

In the past decade, the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) has offered unique opportunities to explore how life persists and evolves in ecosystems of the Earth interior. There are very few natural environments on surface of the Earth where life is absent; however, the limits to life are expected in the subsurface world. Processes that mediate genetic and functional evolutions of the deep seafloor life may be very different to those in the Earth surface ecosystems. Previous studies of seafloor sedimentary habitats demonstrated that activity of microbial communities is generally extremely low, mainly because of the limit of nutrient and energy supply. Nevertheless, microbial activity plays important ecological roles in biogeochemical element cycles over geological timescale.

In 2010, during Expedition 329, we explored limits and habitability of life in deep-sea sediments and basalts in the South Pacific Gyre, the largest oceanic province where surface chlorophyll concentrations and primary productivity in the gyre are lower than any other regions of the world ocean. In 2012, during Expedition 337, we also explored the deep seafloor coalbed biosphere off the Shimokita Peninsula of Japan. Using riser system of the *Chikyu*, we successfully drilled, cored and logged down to the depth of 2,466 meters below the seafloor.

The IODP Expeditions 329 and 337 represent aerobic and anaerobic seafloor microbial ecosystems on our planet, respectively, both of which realms have never been explored by previous scientific drilling; therefore, these provide unprecedented opportunities to address the issue of limits and habitability in the deep seafloor biosphere. A variety of geophysical and geochemical properties, such as temperature, pH, pressure, salinity, porosity, and availability of nutrient and energy are conceivable to constrain biomass and activity of deep life and extent of the seafloor biosphere. These are systematically investigated by international and multidisciplinary teams of the Expedition 329 and 337 scientists.

下北掘削航海で実施された物理検層 Geophysical logging at the Shimokita IODP Expedition 337

山田 泰広^{1*}; 真田 佳典²; 久保 雄介²; 稲垣 史生²; 中村 恭之²; MOE KYAW²
YAMADA, Yasuhiro^{1*}; SANADA, Yoshinori²; KUBO, Yusuke²; INAGAKI, Fumio²; NAKAMURA, Yasuyuki²; MOE,
Kyaw²

¹ 京都大学, ² 海洋研究開発機構

¹Kyoto Univ, ²JAMSTEC

2012年8-9月に青森県八戸市の沖合約80kmにおいて「ちきゅう」を用いて実施された統合国際深海掘削計画(IODP)第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏探査」での掘削作業で取得された物理検層データとその解析結果についてその概要を報告する。

掘削試料からみる地中海の歴史 History of the Mediterranean Sea based on drilled core samples

黒田 潤一郎^{1*}
KURODA, Junichiro^{1*}

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Mediterranean Sea has experienced an extreme event called Messinian Salinity Crisis (MSC) that represents a formation of gigantic evaporite deposits in deep basins. Although this event has long been studied, a fundamental question whether the Mediterranean Sea was desiccated or not, still remains unsolved. In this presentation we review the recent achievements of the MSC. To understand hydrological conditions of the Mediterranean Sea during the Miocene-Pliocene, we report a series of Os isotopic record of marine sediment cores from four deep-sea drilling sites in the Balearic Basin, the Tyrrhenian Sea, the Ionian Basin and the Florence Rise, in comparison with the coeval sediments in North Atlantic. Osmium isotopic ratios of the pre-Messinian sediments in the western Mediterranean basin are almost identical to that of the coeval ocean water. In contrast, the pre-Messinian sediments in the eastern Mediterranean basin have significantly low $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ values. This suggests that Os in the eastern Mediterranean was not fully mixed with western Mediterranean and North Atlantic, and that the basin isolation has already started much earlier than the MSC. The less radiogenic Os would have been supplied to the eastern Mediterranean by selective weathering of ultramafic rocks cropping out in the drainage areas, which contains high amount of non-radiogenic Os. The isotopic compositions of Os in gypsum and halite samples are significantly lower in eastern Mediterranean basins, compared with those of gypsum samples from the western Mediterranean basin, supporting the idea that limited exchange of seawater between eastern and western basins sustained also during the MSC. In all sites Pliocene sediments show more radiogenic Os isotopic ratios, which are close to the coeval oceanic values, indicating that Os started mixing with global seawater again.

Keywords: Mediterranean Sea, Messinian Salinity Crisis, osmium isotope

グレートバリアリーフ環境変化復元 (IODP Exp 325) Exp. 325 Great Barrier Reef Environmental Changes

横山 祐典^{1*}
YOKOYAMA, Yusuke^{1*}

¹ 横山祐典
¹ Yusuke YOKOYAMA

The Great Barrier Reef is the largest coral reef in the world and a world heritage site. Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 325 drilled fossil corals and obtained 225m of core materials from 42 to 167 m below sea-level. The site is suited for reconstructing paleo climate data because: 1) reconstructed sea-level data is relatively immune from isostatic effect since it is located at site far from former ice covered regions (far-field), 2) it locates in or near the Indo Pacific Warm Pool (IPWP) where paleo sea surface temperature (SST) data will constrain climate model strongly, and 3) the growth history of the reef since the LGM is to unlock a key factors for reef system response against environmental changes. Both sea level and climate data have been reconstructed by the science party and they provides new insights of the climate system. In this presentation, I will overview and introduce some key findings of IODP 325 GBR environmental changes (Yokoyama et al., 2011)

Reference: Yokoyama, Y. et al. (2011) "IODP Expedition 325: Great Barrier Reefs Reveals Past Sea-Level, Climate and Environmental Changes Since the Last Ice Age" *Scientific Drilling*, 12, 32-45.

キーワード: 海面変動, 氷床, 最終氷期最盛期, 海面表層水温, サンゴ, グレートバリアリーフ
Keywords: Sea level change, Glacier, Last Glacial Maximum, Sea Surface Temperature, Coral, The Great Barrier Reef

IODP 第 348 次航海の船上分析に基づいた南海トラフの炭化水素ガスの分布と起源 Determination of hydrocarbon gas in drilling mud and cores during Expedition 348 at the Nankai Trough, Japan

淵田 茂司^{1*}; Hammerschmidt Sebastian²; IODP 第 348 次航海乗船 研究者一同³
FUCHIDA, Shigeshi^{1*}; HAMMERSCHMIDT, Sebastian²; EXPIDITION 348, Shipboard scientists³

¹ 大阪市立大学, ²University of Bremen, ³ ウィスコンシン大学 他

¹Osaka City University, ²University of Bremen, ³University of Wisconsin and others

The recent International Ocean Discovery Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 348 at Site C0002 drilled and cored successfully up to 3058.5 mbsf. During drilling and coring, hydrocarbon and other inorganic gas concentrations were monitored on board. Here, we will report the distribution and origin of the hydrocarbon gas in Holes C0002N (838 to 2330 mbsf) and C0002P (1954 to 3058 mbsf).

Methane, ethane, and propane concentrations in the headspace gas were measured by Geoservices and by using the scientific drilling mud gas monitoring system onboard D/V Chikyu. Total gas concentrations were dominated by methane, with the highest concentrations of up to 8% at around 1305 mbsf. Downhole gas concentrations steadily decreased to values <0.2 %. Ethane and propane were only present in minor concentrations, and higher homologues (i.e. n-butane, i-butane, n-pentane, i-pentane) stayed typically below 0.01 %. Below 2200 mbsf, ethane and propane increase steadily with depth. Bernard diagram (i.e. Bernard parameter vs. $d^{13}C_{CH_4}$, Bernard et al., 1978) indicates that the gas in Hole C0002NP was gradually changed from biogenic to thermogenic with increasing depth.

Headspace gas samples from cores in Hole C0002P (2160-2220 mbsf) were all dominated by methane, with up to 23455 ppm. Methane concentration in the headspace gas samples was higher than the drilling mud gas samples at the same interval. This underestimation of methane in the drilling mud is due to the influence of drilling parameter (e.g. rate of penetration), mud properties (e.g. mud weight) and degassing efficiency.

キーワード: IODP, Expedition 348, Nantrosise, hydrocarbon

Keywords: IODP, Expedition 348, Nantrosise, hydrocarbon

海底下メタン生成研究への新しいアプローチ法 New approach for subsurface methanogenesis

金子 雅紀^{1*}; 高野 淑識¹; 大河内 直彦¹
KANEKO, Masanori^{1*}; TAKANO, Yoshinori¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Quantitative understanding of microbially mediated methanogenesis is important in biogeochemistry for many reasons; Firstly, methanogenesis plays an important role in the carbon cycle on the Earth mediating a terminal process of organic matter degradation and a major metabolic process in anoxic sediments. Secondly, methane produced by methanogens results in methane hydrate formation which is a potential energy resource, while methane released to the atmosphere acts as a greenhouse gas. Thirdly, since methanogens are primitive organisms, clarification of their distribution and environmental factors controlling their activity provides better understanding of subsurface biosphere and environmental constraints for early life.

Although quantitative understanding of distribution and activity of methanogens is requisite for better understanding of methane biogeochemistry, available techniques are restricted to address this issue. Particularly, it is difficult to quantitatively detect a signal of modern methanogenesis from deep marine sediment cores where methanogenic activity is low and complex mixture of organic matter is accumulated during a geologic time scale. However, if function-specific compound directly involved in the methanogenic reaction can be quantified, we would be able to extract information about distribution and activities of methanogens in the marine sediments.

Recently we developed analysis of coenzyme F430. Since F430 catalyzes a terminal step of methanogenesis and possessed by all methanogens, it should be a good biomarker for methanogenesis. High sensitive detection of F430 by LC-MS/MS (sub-femto mol level) allows to detect F430 in marine sediment. We will present the developed methodology and application to sediment core samples.

Keywords: coenzyme F430, methanogenesis, LC-MS/MS, marine sediment

日本の湖沼掘削：琵琶湖と水月湖を中心に Lake drilling in Japan: Biwa and Suigetsu

林田明^{1*}; 竹村 恵二²; 中川 毅³
HAYASHIDA, Akira^{1*}; TAKEMURA, Keiji²; NAKAGAWA, Takeshi³

¹同志社大学, ²京都大学, ³ニューカッスル大学

¹Doshisha University, ²Kyoto University, ³University of Newcastle

国際陸上科学掘削計画 (ICDP) において、多数の湖沼掘削が立案実施されてきた。ICDP の体制が確立される前から湖沼堆積物の採取は陸水学や第四紀学の重要な研究手法であったが、最終間氷期以前の堆積物を含むいわゆる古代型湖の掘削は琵琶湖などの少数の先駆的な研究に限られていた。それに対し、ICDP では GLAD200 や GLAD800 と呼ばれる掘削システムが開発され、多くの構造湖で深層掘削が効率的に実施されるようになった。しかし、日本列島の湖についての具体的な掘削計画は未だ提案されていない。

ICDP が本格的にスタートするまでに琵琶湖では大規模な湖沼掘削が行われており、三方五湖でも年縞堆積物を用いた高精度気候変動の研究が開始されていた。しかし、特に 1990 年代から古気候・古環境の研究には高時間分解能の分析が欠かせないものになり、コアの連続性や保存状況などの制約から既存の試料を用いて高精度の解析や新手法による研究を行うことは不適切であることが明らかになった。このような状況を背景として、2002 年 11 月、琵琶湖と水月湖から連続的な堆積物試料を採取するプロジェクトの立案を目指し、ICDP 国際ワークショップ “Lake Biwa and Lake Suigetsu: Recorders of Global Paleoenvironments and Island Arc Tectonics” が開かれた。このワークショップでは、琵琶湖と三方五湖周辺の地殻変動、琵琶湖・水月湖の堆積物の編年と気候変動の記録に関する研究の現状、さらに年縞堆積物、古地磁気、花粉分析、有機地球化学、掘削方法などに関する研究分野の動向が報告され、国際的な連携のもとで掘削経費の検討や既存試料の解析を進める方針が確認された。しかしながら、このワークショップの後、琵琶湖と水月湖の研究は ICDP の枠組みから離れた形で進行することになる。

琵琶湖では 2007~2009 年度に竹村恵二を代表者とする文科省科学研究費による基盤研究「琵琶湖堆積物の高精度マルチタイムスケール解析 - 過去 15 万年間の気候・地殻変動」が実施され、2007 年に北湖の 6 地点からピストンコアが、2008 年には沖島北方の 2 地点で湖底から深度 71.75m (BIW08-A) と 100.30m (BIW08-B) までの掘削試料が採取された。その概要は竹村他 (2010) に報告されているが、ピストンコアでは三瓶池田火山灰を含む約 45,000 年間、掘削コア (BIW08-A, B) では約 30 万年前までの堆積物が得られた。これらのコアについて磁気特性や有機化学の研究を通して東アジア・モンスーンの変動を復元できることが示された。また、長尺の掘削試料 (BIW08-A, B) の解析を進めることにより、その記録を約 30 万年前まで拡張できる可能性も明らかになっている。

水月湖に関しては、ニューカッスル大学に移った中川毅が中心となり、2006 年に全長 73.2m の連続試料 (SG06 コア) が採取された。このコアは 4 つの掘削孔から深度を重複させて採取されたもので、約 7 万年間の欠落のない堆積物についての年縞計測と ¹⁴C 年代測定が可能になり、陸上の植物化石を用いた ¹⁴C 年代校正曲線が作成された。このデータセットは ¹⁴C 年代の標準的な校正法である IntCal の最新版 (IntCal13) の提案に主要な役割を果たすことになった。もちろん SG06 コアの寄与は年代測定法の改善にとどまらず、多様な手法による高時間分解能の気候復元を中心に湖沼堆積物の高精度研究のモデルケースとなっている。

このように、琵琶湖と水月湖の掘削と ICDP との関係についての見通しは明確になっていない。しかし、今後の研究は国際的な体制のもとで展開することが望まれ、その実現のために ICDP への掘削計画の提案を検討すべき段階に至ったといえる。具体的には、まず琵琶湖の湖底から深度 250m までの粘土層について、複数の掘削孔からのコア採取により完全な連続セクションを得ることが必要である。この試料は約 45 万年間の環境変動のアーカイブを提供し、汽水環境を含む水月湖と内陸の広い集水域を持つ琵琶湖の記録の対比と統合により、東アジアの気候変動に関する多くの新知見を提供するであろう。特に、北湖北部の湖盆 (水深 90m 以上) では南湖盆の堆積速度 (1.1~1.4 m/ky) を凌ぐ堆積物が存在する可能性が高く、高精度の環境変動の記録や湖盆形成のテクトニクスに関する情報を得るために琵琶湖の最深部での掘削に挑戦することが望まれる。

キーワード: 国際陸上科学掘削計画, 湖沼掘削, 琵琶湖, 水月湖

Keywords: ICDP, Lake drilling, Lake Biwa, Lake Suigetsu

断層近傍応力分布はどのように時間変化しているか How the stress state changes with time in and around faults

小村 健太郎^{1*}
OMURA, Kentaro^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

断層帯掘削にともない、孔内計測による原位置測定によって、地震の発生に直接かかわる重要な物理量である応力が求められている (Ikeda et al., 1996a; Ikeda et al., 1996b; Ikeda et al., 2001; Tsukahara et al., 2001; 小村他, 2004; Yamashita et al., 2004; Hickman and Zoback, 2004; Lin et al., 2007; Yabe et al., 2010; Yamashita et al., 2010; Yabe and Omura, 2011; Kuwahara et al., 2012; Ito et al., 2013; Lin et al., 2013). 一度地震のおこった断層で、断層面の強度が回復し、断層に作用する応力が蓄積し、再度、地震が起こる、という地震サイクルでは、断層近傍の応力状態が、地震発生後どのように変化するのかは、将来の地震を予測するための重要な要因である。しかし、地震の再来期間が長いことがあるため、断層近傍の応力状態の時間変化を実地に検証することは困難といわれる。そこで、これまで、主に国内における原位置地殻応力測定で、断層近傍の応力分布の時間変化に関わる例を紹介し、孔内計測を時間をおいて繰り返し実施することにより、断層における地殻応力の時間変化を検証することを提案する。

これまでの原位置応力測定のなかで、地震発生直後の測定には、1995年兵庫県南部地震の野島断層、1999年台湾集集地震のチェルンブ断層、2011年東北地方太平洋沖地震震の源域先端部(海溝軸付近)の例がある。地震前の測定例では、地震調査推進本部による長期評価により、地震後経過率が1を越え、地震の迫っていると予想される糸魚川・静岡構造線断層帯牛伏寺断層と阿寺断層帯萩原断層の例がある。また、地震後の経過年数の異なる複数の断層の測定結果を並べて時間変化にした例として、根尾谷断層、阿寺断層、跡津川断層と、先に述べた野島断層、牛伏寺断層の例がある。さらに、断層からは距離が離れるが、鉱山の坑道を利用して、同じ場所で、時間をおいて繰り返し測定し、時間変化を直接測定した例もある。それらを見ると、地震直後から、地震にいたるまで、応力は増加していることが示唆される。しかし、時間とともにどのように変化するのか、直線的に変化するのか、それとも地震直後ないし地震直前に急速に変化するのか、についてははっきりしない。断層近傍においても、地震の再来期間が非常に長いことを考慮しても、少なくとも、同じ地点で、時間をおいて繰り返し応力測定することが、必須の測定データになると考えられる。

Hickman, S., and M. Zoback, 2004, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L15S12, [oi:10.1029/2004GL020043](https://doi.org/10.1029/2004GL020043)

Ikeda, R., K. Omura and Y. Iio, H. Tsukahara, 1996a, *Proc. VIIIth Int'l. Symp. on the Observation of the Continental Crust through Drilling*, 30-35.

Ikeda, R., Y. Iio and K. Omura, Y. Tanaka, 1996b, *Proc. VIIIth Int'l. Symp. on the Observation of the Continental Crust through Drilling*, 393-398.

Ikeda, R., Y. Iio and K. Omura, 2001, *The Island arc Special Issue*. 10, Issue 3/4, 252-260.

Kuwahara, Yasuto, Tsutomu Kiguchi, Xinglin Lei, Shengli Ma, Xueze Wen, and Shunyun Chen, 2012, *Earth, Planets and Space*, 64, 13-25.

Lin, W., E.-C. Yeh, H. Ito, J.-H. Hung, T. Hirono, W. Soh, K.-F. Ma, M. Kinoshita, C.-Y. Wang, and S.-R. Song, 2007, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L16307, [doi:10.1029/2007GL030515](https://doi.org/10.1029/2007GL030515).

Lin, Weiren, Marianne Conin, J. Casey Moore, Frederick M. Chester, Yasuyuki Nakamura, James J. Mori, Louise Anderson, Emily E. Brodsky, Nobuhisa Eguchi, and Expedition 343 Scientists, 2013, *Science*, 339, 687-690.

小村健太郎・池田隆司・松田達生・千葉昭彦・水落幸広, 2004, *月刊地球* 号外 No.46, 127-134.

Tsukahara, H., Ikeda, R. and Yamamoto, K., 2001, *Island Arc*, 10, 261-265.

Yabe, Yasuo, Kiyohiko Yamamoto, Namiko Sato, and Kentaro Omura, 2010, *Earth Planets Space*, 62, 257-268.

Yabe, Yasuo and Kentaro Omura, 2011, *Island Arc*, 20, 160-173.

Yamashita, Furoshi, Eiichi Fukuyama and Kentaro Omura, 2004, *Science*, 306, 261-263.

Yamashita, F., Mizoguchi, K., Fukuyama, E. and Omura, K., 2010, *J. Geophys. Res.*, 115, B04409-[doi:10.1029/2009JB006287](https://doi.org/10.1029/2009JB006287).

キーワード: 応力, 断層, 原位置測定, 水圧破砕, ボアホールブレイクアウト, 孔内計測

Keywords: stress, fault, in-situ measurement, hydraulic fracture, borehole breakout, downhole measurement

台湾チェルンプ断層掘削によって明らかになった地震時の物理化学的描像 Physicochemical process during earthquake slip: An example from the TCDP

廣野 哲朗^{1*}

HIRONO, Tetsuro^{1*}

¹ 大阪大学 理学研究科 宇宙地球科学専攻

¹Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

Several fault-drilling projects have been conducted with the common aim of seeking direct access to zones of active faulting and understanding the fundamental processes governing earthquakes and fault behavior, as well as the factors that control their natural variability. Here, we review recent scientific drilling project on the the Chelungpu Fault which slipped during the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquake. One of the main findings of fault-drilling research is a better understanding of the physicochemical processes of the primary slip zone during an earthquake, which is closely related to the mechanism of dynamic fault weakening. In the case of the Chelungpu fault, integrated research with borehole experiments, core sample analyses, and numerical simulations were performed, and the results indicate that thermal pressurization occurred during the 1999 earthquake, explain ing the peculiar seismic behavior during the earthquake. Such fault-drilling project related to active fault certainly improve our knowledge and understanding of earthquakes.

キーワード: 陸上断層掘削, 活断層

Keywords: Onland fault drilling, Active fault

ニュージーランド，アルパイン断層掘削計画 (DFDP) の概要 Deep Fault Drilling Project, Alpine Fault, New Zealand

重松 紀生^{1*}; Sutherland Rupert²; Tonwend John³; Toy Virginia⁴
SHIGEMATSU, Norio^{1*}; SUTHERLAND, Rupert²; TONWEND, John³; TOY, Virginia⁴

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ²GNS Science New Zealand, ³ ビクトリア大学ウェリントン, ⁴ オタゴ大学

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, AIST, ²GNS Science New Zealand, ³Victoria University of Wellington, ⁴University of Otago

アルパイン断層は長さ 460 km 以上、平均年間変位速度 25 mm/年に及ぶ活動的な断層であり、平均活動間隔や最新活動時期を考慮すると地震後経過率は高い。最新活動は 1717 年であり、平均 330 年間隔で M8 以上の地震の 50 年発生確率は 30 % 程度とされている (Berryman et al., 2013)。アルパイン断層掘削計画 (DFDP) の目的は、地震発生過程と大陸地殻における造山作用の理解のために、アルパイン断層の深部における物質の採取、深部における条件の測定、そして深部の動きを観測することである。

このプロジェクトにおいては 2011 年にパイロット掘削 (DFDP-1) が行われている。DFDP-1 においては、2つの孔を掘削し、検層と観測装置の設置が行われている。初期成果として次のことが明らかになった。断層中軸部とダメージゾーンの境界に沿って透水性の小さい変質帯が形成。変質帯は、断層の物理的性質に影響を与え、地震発生サイクルのなかで変化している可能性がある。掘削深度 128 m における断層をまたぎ、0.53 MPa の流体圧の差が見られ、この差はより深い部分ではより大きくなる可能性がある。地温勾配は 63 ± 2 °C/km である。主滑り面を挟んだ断層物質の物理的性質は非対象であり、北西方向に向かって破壊が進展したことを示唆する。

現在、次期計画である DFDP-2 が 2014 年に掘削を開始する予定である。目標掘削全深度は 1.3 km であり、場合により 1.5 km まで掘る可能性もある。この計画により、上部から中部地殻の脆性的な変形過程、延性的な変形過程を通じ断層帯がどのように形成してきたのかが明らかにされることが期待される。

キーワード: 断層帯掘削, アルパイン断層, 地震発生過程, 脆性-塑性変形過程

Keywords: Fault zone drilling, the Alpine Fault, Earthquake processes, Brittle and ductile processes

IODP Expedition 346 アジアモンスーンの概要 An Overview of IODP Expedition 346: Asian Monsoon

多田 隆治^{1*}; Murray Richard W.²; Zarijian Carlos Alvarez³; Expedition 346 Scientists⁴
TADA, Ryuji^{1*}; MURRAY, Richard W.²; ZARIKIAN, Carlos alvarez³; EXPEDITION 346, Scientists⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ²Earth and Environment, Boston University, ³Texas A&M University, ⁴IODP
¹Graduate School of Science, the University of Tokyo, ²Earth and Environment, Boston University, ³Texas A&M University,
⁴IODP

Alaska on August 2nd, sailed all the way to the Japan Sea/East Sea (JS/ES), drilled 7 sites in the JS/ES and 2 sites in the northern East China Sea (ECS), and ended her cruise at Pusan, Korea on September 28th. During six weeks of drilling, we recovered 6135.3 m of core, with an average recovery of 101%, which is a record of IODP. The expedition was originally aimed to test the hypothesis that Plio-Pleistocene uplift of Himalaya and Tibetan Plateau (HTP) and/or emergence and growth of the northern hemisphere ice sheets and consequent establishment of the two discrete modes of westerly jet (WJ) circulation is the cause of the millennial-scale variability of the East Asian summer monsoon (EASM) and amplification of the Dansgaard-Oeschger cycles (DOC). The expedition is also aimed to test the hypothesis that surface and deep water conditions of the JS/ES has been controlled by the nature and strength of the water influx through the Tsushima Strait which are strongly influenced by EASM precipitation, eustatic sea level changes, and EAWM cooling.

In order to explore the linkage between WJ circulation and EASM precipitation, it is critical to obtain high-resolution, continuous sedimentary records that preserve proxies of both WJ and EASM. In this respect, the JS/ES is ideal because its hemipelagic sediments contain significant amount of the eolian dust transported from East Asia by the WJ, and alternations of dark and light layers that characterize Quaternary sediments of the sea record variations of EASM precipitation over South China (Tada et al., 1999). Sites are also arranged along the north-south transect to monitor the behavior of the WJ. The sites are arranged to make the depth transect to monitor the behavior of deep water through changes in calcium carbonate compensation depth and bottom water oxygenation level. Northern East China Sea is ideal to monitor changes in EASM precipitation because its surface water salinity and temperature during summer is significantly influenced by the discharge of the Yangtze River whose drainage area covers the majority of the South China where EASM precipitation is most intense (Kubota et al., 2010).

Because of recent advances in drilling technology and newly developed analytical tools, we were able to collect and examine sediment records that were impossible to acquire even a few years ago. The newly engineered half piston core system (called the half APC) enabled us to recover the deepest piston core in DSDP/ODP/IODP history (490.4 m in Hole U1427A). That achievement was also the deepest continuously recovered piston cored sequence, initiated at the mudline and penetrating to the ~500 m depth solely by piston coring. These technological advances delivered a series of new surprises. Examples are pristine dark/light laminae from ~12 Ma sediment recovered by piston core from 410 m core depth below seafloor, Method A [CSF-A] at Site U1425 and from 210 m CSF-A at Site U1430.

Through this expedition, we collected the geological evidence necessary to test the hypotheses described above through drilling in the JS/ES and northern part of the ECS, and are trying to 1) specify the onset timing of orbital and millennial-scale variability of EASM, EAWM and WJ and reconstruct their evolution process and spatial variation patterns, and 2) reconstruct orbital and millennial-scale paleoceanographic changes in the JS/ES to clarify the linkage between the paleoceanography of the JS/ES and EASM, EAWM and/or sea level. Comparison of the obtained results with the uplift history of HTP and/or ice volume changes will enable us to test the hypotheses.

キーワード: IODP, Expedition 346, 日本海, 東シナ海, ダンスガードーオシュガーサイクル, 東アジアモンスーン
Keywords: IODP, Expedition 346, Japan Sea/East Sea, East China Sea, Dansgaard-Oeschger Cycle, East Asian Monsoon

Sediment cores recovered from the Sea of Japan/East Sea during IODP Expedition 346 and preliminary result of foraminifer Sediment cores recovered from the Sea of Japan/East Sea during IODP Expedition 346 and preliminary result of foraminifer

佐川 拓也^{1*}; 多田 隆治²; Murray Richard W.³; Alvarez-Zarikian Carlos A.⁴; Expedition 346 Scientists⁵
SAGAWA, Takuya^{1*}; TADA, Ryuji²; MURRAY, Richard W.³; ALVAREZ-ZARIKIAN, Carlos A.⁴; EXPEDITION 346, Scientists⁵

¹九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門, ²東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ³Earth & Environment, Boston University, USA, ⁴Integrated Ocean Discovery Program, Texas A&M University, ⁵IODP Expedition 346
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Earth & Environment, Boston University, USA, ⁴Integrated Ocean Discovery Program, Texas A&M University, ⁵IODP Expedition 346

Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 346 (29 July-27 September 2013) recovered 6135.3 m of core from seven sites in the Sea of Japan/East Sea and two adjacent sites in the East China Sea. One of the objectives of this expedition is to explore the orbital- and millennial-scale variation and evolution of the East Asian monsoon and its impact on the paleoceanography in the Sea of Japan/East Sea. We recovered centimeter- to meter-scale alternation of dark and light layers in the Pleistocene sediments that could be correlated across the six sites in latitudinal and depth transects of the Sea of Japan/East Sea (U1422-U1426 and U1430), suggesting that the Sea of Japan/East Sea responded as a single system to climatic and/or oceanographic perturbations. Sediments of shallower sites (U1426: 903 mbsl and U1427: 330 mbsl) contain well preserved calcareous fossils and are expected to provide high-quality oxygen isotope stratigraphy that will be a key age controls for the entire region. In particular, high sedimentation rate (~36 cm/kyr) and a complete splice down to ~400 m at Site U1427 make it possible to produce centennial-scale continuous records in shallow water environments for the last ~1.2 Ma. We conducted preliminary oxygen and carbon isotope analyses of benthic and planktonic foraminifera for core catchers from Site U1427A (87 samples). The oxygen isotope variations correspond to lithological change alternating low isotope values in darker clay-rich and high values in light biogenic component-rich sediment and therefore show similar variation to physical properties of the sediment, such as bulk density, magnetic susceptibility, natural gamma ray, and color reflectance. These results confirm high potential of this site for paleoceanographic investigation in orbital, millennial, and centennial timescales.

Expedition 346 Scientists:

Anderson, W., Bassetti, M-A., Brace, B., Clemens, S., Dickens, G., Dunlea, A., Gallagher, S., Giosan, L., Gurgel, M., Henderson, A., Holbourn A., Ikehara, K., Irino, T., Itaki, T., Karasuda, A., Kinsley, C., Kubota, Y., Lee, G-S., Lee, K-E., Lofi, J., Lopes, C., Peterson, L., Saavedra-Pellitero, M., Singh, R., Sugisaki, S., Toucanne, S., Wan, S., Xuan, C., Zheng, H., and Ziegler, M.

Keywords: IODP, Expedition 346, Asian Monsoon, Sea of Japan/East Sea

アラスカ湾堆積物から探る北米氷床の消長と海洋環境動態 - IODP 第341次アラスカ湾掘削の船上分析結果概要 Preliminary results from shipboard research during IODP Expedition 341 (Alaska Tectonics, Climate and Sedimentation)

須藤 斎^{1*}; 朝日 博史²; 福村 朱美³; 喜岡 新⁴; 今野 進⁵; 松崎 賢史⁶; 中村 淳路⁴; 小嶋 孝徳⁷; Expedition 341 Scientists⁸
SUTO, Itsuki^{1*}; ASAHI, Hirofumi²; FUKUMURA, Akemi³; KIOKA, Arata⁴; KONNO, Susumu⁵; MATSUZAKI, Kenji⁶; NAKAMURA, Atsunori⁴; OJIMA, Takanori⁷; EXPEDITION, 341 scientists⁸

¹名古屋大学大学院・環境学研究科, ²釜山大学・海洋学部, ³北海道大学大学院・理学研究院, ⁴東京大学大学院・理学系研究科, ⁵九州大学大学院・理学研究院, ⁶東北大学・学術資源研究公開センター, ⁷東京大学大学院・新領域創成科学研究科, ⁸(none)

¹Nagoya Univ., ²Pusan National Univ., ³Hokkaido Univ., ⁴Univ. of Tokyo, ⁵Kyushu Univ., ⁶Tohoku Univ., ⁷Univ. of Tokyo, ⁸(none)

アラスカ湾周辺域はプレートの沈み込み帯にあり、活発な造山運動や巨大な氷河の存在で良く知られている地域である。造山活動や氷河により削剥された多量の陸上堆積物は、海洋に栄養塩を供給し、珪質・炭酸塩殻を持つ植物・動物プランクトン（本海域の主要な基礎生産者である珪藻や放散虫、有孔虫など）が多く生息し、アラスカ湾の豊かな生態系を支えている。

約300万年前以降、北米大陸には大規模な氷床が形成され始め、その地域環境やその後の全球的な寒冷化へ強く影響を与えてきたと考えられている。一方で、北米氷床の一つであるアラスカ湾辺縁部を覆うコルディレラ氷床や氷河によって削剥された陸上物質は、陸域の堆積・運搬・供給システムにほとんど影響を受けずに沿岸域に供給される。したがって、アラスカ湾沿岸域の堆積物は、コルディレラ氷床の変動史を直接記録していると予想される。これまでに得られた海底堆積物試料は、アラスカ湾沿岸域の堆積速度が極めて速かったため、最終氷期以降のものに留まっていた。北米大陸氷床の消長と海洋環境変動、そして全球気候変動の関係を地質学的・古海洋学的見地から明らかにするためには、少なくとも氷期-間氷期スケールの変動を捕らえる時系列データが不足している問題がある。

このような背景から、2013年5月から7月に行われたIODP第341次航海では、アラスカ南方陸棚を横切るセクションにおいて後期新生代の高解像度堆積物記録から、テクトニックに駆動される造山運動のプロセスや氷河プロセス、そしてそれらとの北太平洋や全球的な気候変動との関連性を調査する目的で、陸棚から陸上氷河の縁辺部まで横断的に掘削が行われた。現在、これらから得られた堆積物コアを用いて、新第三紀におけるコルディレラ氷床の発達史の立証や、陸棚縁辺堆積物の堆積史と氷河記録の解明、永年変化と地磁気極性の反転をコントロールするプロセスの評価と高時間分解能による地球磁場の挙動の解明などを目的として分析が進められている。

本発表では、まだモラトリアム中であるために詳細は述べられないが、船上分析結果の概要を紹介する。まず、本掘削により、不完全ではあるが珪藻と放散虫化石生層序年代の決定、及び古地磁気年代との対比がなされ、数百万年間の、もしくは氷期-間氷期スケールの変動を補えることができると期待される堆積物試料を採取できたことが分かっている。本掘削で得られた多くの堆積物試料は、極めて速い堆積速度を記録しており、本掘削での最大の成果の一つであると言える。さらに、物性測定や検鏡によって、多くの氷河成堆積物（漂流岩屑, Ice-rafted debris: IRDなど）が含まれていること、有機・無機化学分析によって、氷床の発達に応じて大量の陸源砕屑物が運搬されてきていることなども明らかとなった。

また、一般的な北太平洋高緯度の堆積物中の化石保存傾向から、本海域には炭酸塩堆積物はあまり保存されていないと予想されていたが、本航海で得られた堆積物試料中には、有孔虫化石が多量かつ連続的に含まれていた。このことにより、これまで北太平洋高緯度域において掘削された堆積物試料中の有孔虫化石産出が少なかったために、酸素同位体比変動の連続データが決定的に不足していたという問題点を解決できると期待される。さらに、氷期-間氷期スケールの海洋・陸上環境変動復元を行う上で最も重要な堆積物試料の年代軸を正確に構築するための有孔虫殻の酸素同位体比曲線を、北太平洋亜寒帯域で初めて連続的に得られる可能性がある。ここで得られた「北太平洋酸素同位体比曲線」を、珪質微化石生層序や古地磁気層序の結果と組み合わせることにより、より正確な年代の決定を行うことができるであろう。今後、これらから構築された年代軸を元に堆積物試料の分析を進め、アラスカ湾近傍に発達するプレートの沈み込みに伴う造山運動に影響を受ける北米大陸氷床の変動史を明らかにし、氷床により削剥された陸上堆積物の海洋への供給量変動や、その海洋生態系への影響と変遷史の詳細な復元を行う予定である。

キーワード: IODP Exp. 341, アラスカ湾, 陸上・海洋古環境, 氷床

Keywords: IODP Exp. 341, Gulf of Alaska, land/ocean paleoenvironment, Glacier

IODP Exp. 345 成果：海洋底から初めて層状はんれい岩採取に成功 IODP Exp. 345: The first sample of primitive layered gabbros from fast-spreading lower oceanic crust

阿部 なつ江^{1*}; 秋澤 紀克²; 針金 由美子⁵; 星出 隆志⁴; 前田 仁一郎³; 町 澄秋²; 野坂 俊夫⁶; Python Marie⁵; Gillis Kathryn⁷; Snow Jonathan⁸; Shipboard Scientific Party IODP Expedition 345⁹
ABE, Natsue^{1*}; AKIZAWA, Norikatsu²; HARIGANE, Yumiko⁵; HOSHIDE, Takashi⁴; MAEDA, Jinichiro³; MACHI, Sumiaki²; NOZAKA, Toshio⁶; PYTHON, Marie⁵; GILLIS, Kathryn⁷; SNOW, Jonathan⁸; SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY, Iodp expedition 345⁹

¹(独) 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域, ² 金沢大学, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 秋田大学新学部創設準備担当, ⁵ 北海道大学, ⁶ 岡山大学大学院自然科学研究科, ⁷University of Victoria, B.C., ⁸University of Houston, ⁹IODP, Texas A&M University

¹IFREE, JAMSTEC, ²Department of Earth Sciences, Kanazawa University, ³AIST, ⁴Akita University, ⁵Hokkaido University, ⁶Okayama University, ⁷University of Victoria, B.C., ⁸University of Houston, ⁹IODP, Texas A&M University

米国科学掘削船ジョイデスレゾリューション号による統合国際深海掘削計画第 345 次研究航海におけるにおいて、ガラパゴス諸島沖の東太平洋中央海膨近傍のヘスディープ海盆にて、海洋下部地殻の掘削を行い、海洋地殻下部の層状はんれい岩の採取に、世界で初めて成功した。

同航海は、海洋プレート構造を明らかにするために、東太平洋中央海膨の付近のヘスディープ海盆において実施された。採取したはんれい岩試料を詳細に記載・分析した結果、同試料は、マントルで発生して間もない初生マグマと、そのマグマが結晶分化してできた多様な組成を持つマグマから形成されていることが明らかになった (Gillis et al., Nature, 2014, doi:10.1038/nature12778)。また、そのはんれい岩の構成鉱物と全岩化学組成の検討から、同試料が、海洋マントル最上部で形成された初生マグマと地殻最下部で分化したマグマの複数のマグマが混合して出来ていることが明らかになった。このことは、層状はんれい岩から構成されている海洋地殻下部において活発なマグマの混合作用が起きていることを示している。

本研究の成果は、地球表層のおよそ 6 割以上を占める海洋地殻の構造と変成過程を明らかにする上で非常に貴重な知見を与えるものであり、海洋地殻全体の化学組成を知る手がかりとなる試料 (missing rock: ミッシング・ロック) を採取したことで、地球規模の物質的循環・地球化学的循環の検討にとって不可欠の情報が得られました。更には地球内部のダイナミクス (挙動) を明らかにし、プレート境界における地震や火山活動などの諸現象のメカニズム解明に繋がることが期待される。

キーワード: 層状はんれい岩, 海洋下部地殻, ヘスディープ, 高速拡大海嶺, 東太平洋中央海膨, 初生はんれい岩
Keywords: layered gabbro, oceanic lower crust, Hess Deep, fast-spreading ridge, East Pacific Rise, primitive gabbro

巨大海台掘削の成果と今後の展望 Results of Previous Drilling on Cretaceous Oceanic Plateaus and Future Outlook

佐野 貴司^{1*}; 中西 正男²
SANO, Takashi^{1*}; NAKANISHI, Masao²

¹ 国立科学博物館, ² 千葉大学

¹National Museum of Nature and Science, ²Chiba University

巨大海台は地球の歴史上で最大の火山活動により形成された火成岩体であり、数十万?数百万立方キロメートルもの体積がある。巨大海台のマグマ成因モデルに関しては、マントル下部から上昇してきた巨大なプルームに起因するという説が有力であるが、プルームの証拠を示す決定的な岩石学的・地球化学的データは得られていない。このため、プレート境界下での溶けやすいマントルの溶融モデルや巨大隕石衝突などのモデルも提案されている。検証が困難な理由として、多くの巨大海台は大陸縁辺部に形成されたため、大陸リソスフェアの混染の影響があり、プルーム成分の検出が難しいことがあげられる。西太平洋に分布する巨大海台（オントンジャワ海台やシャツキーライズ）は、大陸リソスフェアの影響がないため、マントル情報を得やすいという利点がある。このため、複数の巨大海台で掘削が行われている。特に、国際深海掘削計画第 192 次航海と統合国際深海掘削計画 324 次航海はオントンジャワ海台とシャツキー海台の基盤岩掘削を主目的とした。そして、複数の研究成果が得られてきた（例えば、Fitton and Godard, 2004, *J Geol Soc Lond Spec Pub* 229, 151-178; Tejada *et al.*, 2004, *J Geol Soc Lond Spec Pub* 229, 133-150; Sano *et al.*, 2012, *Geochem Geophys Geosyst*, 13, Q08010）。しかし、これまでの巨大海台の基盤岩掘削の厚さは 300m 未満と薄く、巨大海台の厚さである 30km の 1% に満たなく、プルーム成分の検出も行われていない。このため、更なる深部掘削が必要である。巨大海台を形成したマグマの全体像を把握するためには、海台全体の 1 割程度は調査したく、3000m 程の掘削を希望している。「ちきゅう」は 3000m を超える掘削が技術的に可能であり、今後の掘削が期待されている。

キーワード: 巨大海台, 大規模火成区, プルーム, マグマ成因論

Keywords: oceanic plateau, large igneous province, plume, magma genesis

古地磁気・岩石磁気学およびその応用のIODPによる最近の進展 Recent progress in paleo- and rock magnetism and its applications produced by IODP

山崎 俊嗣^{1*}
YAMAZAKI, Toshitsugu^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所
¹ AORI, University of Tokyo

Paleomagnetists have sailed most of the IODP expeditions, and greatly contributed to the achievement of the aims of individual expeditions. At the beginning of the new phase of IODP, I will review progress in paleomagnetism and rock magnetism and their applications produced by IODP for the last about 10 years.

Results of the two IODP coring programs, one in the North Atlantic (Exp. 303/306) and the other in the east equatorial Pacific (Exp. 320/321), greatly improved our understanding of the past geomagnetic field variations. High-resolution paleointensity records during the Pleistocene with precise age control were obtained from North Atlantic drift sediments. These records led the establishment of the PISO-1500 paleointensity stack, which is now used as the standard curve for paleointensity-assisted chronostratigraphy. Detailed records of polarity reversals and excursions were also obtained. From the equatorial Pacific sediment cores, continuous Miocene to Eocene relative paleointensity records were obtained for the first time, although resolution is not high. Previously, continuous paleointensity records were available only for the last ca. 3 m.y. No discernible relation between paleointensity and polarity length was recognized, despite that a weak positive correlation was suggested previously. On the other hand, volcanic rocks from seamounts (Exp. 330) and oceanic plateau (Exp. 324) were utilized for obtaining absolute paleointensity in the Mesozoic.

Rock- and paleomagnetism was applied to resolve various geological and geophysical problems in IODP. First of all, paleomagnetism contributed progress in the mantle dynamics; paleomagnetic inclinations revealed that the Louisville hotspot did not move in concert with the Hawaiian hotspot (Exp. 330), which is known to have shifted southward about 15° between about 80 and 50 Ma. Magnetic techniques such as the anisotropy of magnetic susceptibility were successfully utilized for studying subduction zone dynamics (NanTroSEIZE, CRIPS). Rock magnetic techniques become widely used in paleoceanographic and paleoenvironmental applications. It was recently revealed using IODP cores that biogenic magnetite prevails in marine sediments (e.g., Exp. 320/321 and 329). Its role to remanent magnetization acquisition processes and potential applications to paleoceanography are attracted attention.

Keywords: paleomagnetism, rock magnetism, IODP, paleointensity

ちきゅうでのIODPのロギングのレビューと科学掘削における将来展望 Chikyu logging review in IODP and future of well logging in scientific drilling

真田 佳典^{1*}; 木戸 ゆかり¹; キョー モー¹
SANADA, Yoshinori^{1*}; KIDO, Yukari¹; KYAW, Moe¹

¹ (独) 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

It has passed seven years since Chikyu joined the IODP expeditions. There were many expeditions where well logging were conducted: NanTroSEIZE exp314 in 2007, expeditions 319 and 322 in 2009, exp332 in 2010, exp338 in 2012-2013, exp348 in 2013-2014; Japan trench fast drilling project (J-FAST) exp343 in 2012; Deep coalbed biosphere off Shimokita exp337 in 2012. The total logged length on Chikyu during IODP Expeditions are 26.2 km in the seven years period. Well logging has increased its importance in science and operations. The reasons are 1) sensor and technological innovation brings more geological and geophysical information, 2) spot or partial interval coring in combination of logging-while-drilling and mudlogging is best option in deepwater expeditions, and 3) need of LWD real time data in decision making for precise location of observatory installation and spot coring. Riser drilling by Chikyu improves hole condition by means of drilling fluid control, which improves logging data quality, and its large hole diameter bring us more selections of tools, measurements, and downhole experiments.

The logging companies have been developing new measurement, higher accuracy and resolution tools. For example, resistivity image tools have wider azimuthal coverage and higher resolution, which help to deeper geological interpretations and breakout analysis. The new sonic tool improves accuracy of velocity in soft sediment and more availability of measurement in shear velocity.

With accessing deeper, more challenging management of time (coring is a time consuming operation), combination of spot coring in the most interesting interval and continuous logging may be one of solutions under limited cruise schedule.

Realtime LWD data acquisition and interpretation were required to install observatory at proper depth. Current LWD technology sends more data to surface, which helps to understand the lithology in real time.

To use large diameter of riser pipes brings us a lot of advantages against lowering logging tools through small drill pipes. Proper tool size and sensor position in the borehole improve data quality. Increasing of tool selection brings more variety of measurement and experiment. FMI resistivity borehole imager covers more image area of borehole wall. Pressure test by dual packer and fluid sampling were available with large diameter tools.

Logging activities and results by Chikyu as part of IODP (2003-2013) will be reviewed and discuss its potential, role, and challenges in the future scientific drilling.

キーワード: ロギング, ちきゅう, IODP
Keywords: logging, Chikyu, IODP

科学掘削泥水検層：第一期IODPでの成果
Mud logging for scientific drilling on D/V Chikyu: results of the past riser operations in the 1st phase IODP

杉原 孝充^{1*}; 青池 寛¹; モー キョースー¹
SUGIHARA, Takamitsu^{1*}; AOIKE, Kan¹; MOE, Kyaw thu¹

¹ 海洋研究開発機構 地球深部探査センター
¹ CDEX/JAMSTEC

Mud logging has been a key technology for scientific drilling operation by D/V Chikyu. In order to penetrate into deeper formation by riser drilling, full-coring operation to targeted total depth is difficult due to taking much operation time. Therefore mud logging obviously contributes to acquiring continuous geological and geochemical data from formation and circulating fluid in formation to targeted total depth. In the IODP 1st phase, riser drilling operations with mud logging were conducted 4 times by the Chikyu (Expeditions 319, 337, 338, and 348). In this paper, we highlight some results of mud logging operated in the past operation and discuss on technical challenging for future riser operations by the Chikyu.

Mud logging is roughly composed of three components, lithological logging on cuttings, mud gas monitoring, and mud circulation/drilling parameters monitoring. As well known, cuttings lithology logging and mud gas monitoring are important tool to understand geological characteristics beneath drilling site based on results of not only the IODP riser operations by the Chikyu but also ICDP onshore drilling projects (e.g., Unzen and SAFOD). However, potential of mud circulation and drilling parameters monitoring associated with cuttings and mud gas analyses has not been discussed in detail in scientific drilling community. d-exponent is an indicator to detect zone of high pore pressure during drilling and it is well developed in the petroleum industry. d-exponent is defined as normalized rate of penetration (ROP) with rotation speed (RPM) and weight on bit (WOB), and in general case, d-exponent gradually decreases as entering into high pore pressure zone increasing ROP. During Expedition 348, we often faced formation with difficulty of drilling, and supposed there was relatively higher pore pressure zone based on the d-exponent analysis. In this presentation, we will discuss on comprehensive mud logging data analysis including data of d-exponent acquired in the past riser drilling operation and assess its potential for future expeditions.

キーワード: 地球深部探査船 ちきゅう, 統合国際掘削計画, 泥水検層, カッティングス, 泥水ガスモニタリング, 科学掘削
Keywords: D/V Chikyu, IODP, Mud logging, Cuttings, Mud gas monitoring, Scientific drilling

Downhole Logging Data Acquisition and Integration: Changing Tactics in the IODP and Its Future Direction

MOE, Kyaw¹ ; KIDO, Yukari^{1*} ; SANADA, Yoshinori¹
MOE, Kyaw¹ ; KIDO, Yukari^{1*} ; SANADA, Yoshinori¹

¹CDEX-JAMSTEC

¹CDEX-JAMSTEC

Since the initiation of IODP in 2003, three drilling platforms, Chikyu, JOIDES Resolution (JR) and Mission Specific Platform (MSP), operated at various environments of global locations using varieties of new techniques. Overcoming many difficulties, longest serving ship JR reached the maximum time in operations with 32 expeditions even ship was modified in dock for 38 months, new riser ship Chikyu with 13 expeditions, and MSP with 5 expeditions. Varying in their capabilities, JR expeditions covered most global areas and research themes where MSP and Chikyu expeditions were targeted to the most challenging and extreme environments. Further addition of riser technology and very shallow locations for MSP brought wider choice of new logging and coring tools, rigfloor parameter, and very high-resolution slim-hole logging tools.

In the downhole logging data acquisition, JR continued her standard set of basic wireline logging with best cost and performance factor but MSP and Chikyu were used expedition/project specific measurements with higher cost and better technology. For the new challenges in the various IODP expeditions, things changed from the previous program were new tools and better measurements, data integration applications and facilities, increased staffing for science support.

Those new techniques covering laboratory and downhole measurements, extended widely in measurement types and improved their capability and efficiency in data integration and onsite decision making. All these large volume of data with wider choice of software further enhanced the integrated studies like cuttings/core-log-seismic integration for the very deep-riser holes.

In this talk, downhole measurements data acquisition and wider data integration in the IODP will be summarized, operational-technical-scientific highlights and lessons will be reviewed, and future direction will be discussed.

キーワード: IODP, Logging, Data Integration, Chikyu, JOIDES Resolution, MSP

Keywords: IODP, Logging, Data Integration, Chikyu, JOIDES Resolution, MSP

プロジェクト IBM 掘削 2014 Overview of IODP drilling in Izu-Bonin-Mariana arc

石塚 治^{1*}; 田村 芳彦²
ISHIZUKA, Osamu^{1*}; TAMURA, Yoshihiko²

¹産総研, ²海洋研究開発機構
¹GSI/AIST, ²IFREE, JAMSTEC

What is raw and juvenile continental crust? Furthermore, how does it form and evolve into mature continental crust? The continental crust we observe on the surface of the earth has been deformed, metamorphosed, and otherwise processed perhaps several times from its creation in subduction zones to the present.

Although there are many examples of accreted arc crust on the margins of continents, during- and/or post-collision geochemical changes are widespread, and we do not have the ability to observe active crust-forming processes in modern arcs except by what we can infer from eruptions at the surface, and by remote sensing of arc interiors. ULTRA-DEEP DRILLING INTO ARC CRUST is the best way to sample unprocessed juvenile continental-type crust, to observe these active processes that produce the nuclei of new continental crust, and to examine the nature of juvenile continental crust as first generated at intra-oceanic arcs.

Key questions for comprehending arc crust formation are: (1) What is the nature of the crust and mantle in the region prior to the beginning of subduction? (2) How does subduction initiate and initial arc crust form? (3) What are the spatial changes of arc magma and crust composition of the entire arc? (4) How do the middle arc crust evolve? Possible strategies for answering these questions include drilling by IODP at the Izu-Bonin-Mariana (IBM) arc system. IODP has proposals to drill at the IBM, including three non-riser holes (IBM-1, IBM-2 and IBM-3) and one riser, ultra-deep hole (IBM-4), which answer these questions, respectively, and the four drillings result in comprehensive understanding of the arc evolution and continental crust formation. Drillings by Joides Resolution at three sites (IBM-1, IBM-2 and IBM-3) are scheduled in 2014. This presentation will give an overview of these 3 cruises and their perspectives.

ICDPのジオハザードプログラムとしての津波堆積物の研究 Tsunami deposits sciences as geohazard research program of ICDP

藤原 治^{1*}
FUJIWARA, Osamu^{1*}

¹ 産総研 活断層・地震研究センター

¹ Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

2004年スマトラ島沖地震(Mw 9.1~9.3)や2011年東北沖地震(Mw 9.0)の例に見るように、プレート間巨大地震に伴う巨大津波は広域かつ巨大な災害を引き起こす。これは人間社会にだけでなく、大規模な侵食や堆積によって海岸の地形発達や生物相にも大きな影響を与える。こうした巨大津波はその痕跡を地質記録の中にとどめている、つまり津波堆積物である。

地質学的なタイムスケールで見ると、巨大津波はプレート境界の地震以外にも様々な原因で発生する(巨大火山噴火、海底地すべり、さらには巨大隕石の衝突)。ガスハイドレートの崩壊も巨大津波を起こすかもしれない。したがって、巨大津波による災害リスクは、活動的プレート境界に限った話ではない。こうした巨大災害は人の一生と比べると稀な現象ではあるが、次に何時・何処で起きるかは分かっていない。将来の災害軽減に向けたより良いプランニングのために、津波堆積物の研究は大きく貢献する。さらに、この研究は、地球史を通じた巨大イベントによる地形・地層の発達ダイナミクスや、生物相の変遷についても理解を深めることに繋がる。

陸上科学掘削の枠組みにおいて、次のような研究の方向性が考えられるだろう。

○過去の巨大津波を知る

将来の見通しを立てるには、まず過去を詳しく理解する必要がある。2004年スマトラ島沖地震や2011年東北沖地震を含むM9クラスの巨大地震とそれに伴う津波は、20世紀には世界各地のプレート境界で5つ発生しており、必ずしも稀な地質現象ではない。さらにタイムスケールを広げると、海底地すべり、火山噴火、インパクト津波といった巨大イベントも繰り返している。これらは低頻度ではあるが、一旦おこると巨大災害となる。巨大津波はTrans Oceanなイベントであり、超広域の災害を引き起こす(1960年チリ津波、2004年インド洋大津波の例)。遠地から巨大津波が押し寄せれば、標高の低い島嶼の国々では国全体が大被害を受けることになり、大きなリスクである。

・地球史の中の巨大津波

津波による大規模・急速な浸食と堆積は、地形・地層の発達へのトリガーとなる。また、生物相の生物相の破壊と再生(Turnover)や、移動の原因ともなる。白亜紀末に起こった巨大隕石の衝突は地球の生物相を大きく変えたが、この際にも巨大津波が発生している。巨大津波の痕跡は、隕石衝突といった地球規模の巨大インパクトも記録している。

・人類の歴史との関係

巨大津波は人類の生活史や文明の消長にも影響を与えてきた。災害による衰退と復興、集団移転などである。巨大津波による地形・生物相の変化も、間接的に人類の生活に影響を与えてきただろう。人類史と自然災害との関係はSeismo-archaeologyという新たな研究分野の開拓と発展にも通じる。

○巨大津波のインベントリー構築のためのグローバルな連携

津波堆積物は、人の記憶や文字記録を越えた長期間にわたる巨大津波の履歴を提供する。津波堆積物の分布や時代については、データベースがNOAAなどの複数の機関で構築されつつある。しかし、1000年以上前まで遡るデータは非常に少ない。また、津波以外の堆積物のデータも混在していると思われる。地質学的時間スケールまで広げた津波堆積物のインベントリー(個々のデータの信頼性や特徴を付記した目録)を構築していく必要がある。

・海溝周辺地域の津波の規模と履歴

環太平洋(日本、アラスカ、アメリカ西海岸、メキシコ、チリなど)の海岸低地で掘削調査を行い、地質学的時間スケールで起きる津波の規模と履歴を個別に明らかにする。

・遠地津波の影響をうける島嶼地域の津波の規模と履歴

ハワイやタヒチなどで、過去の巨大津波履歴の編年を行う。

○アウトリーチと若手研究者の育成

チリやインド洋大津波後のインド洋沿岸諸国では、日本やアメリカなどの研究者との連携によって、津波堆積物を使った地震・津波履歴の復元について、現地のYoung Scientistの育成が進んできた。津波のリスクが考えられるアジアやヨーロッパなどの国々へも、日本などの研究者がイニシアチブをとって、こうした取り組みを広げる必要がある。

MIS32-25

会場:416

時間:4月30日 17:15-17:30

キーワード: 津波堆積物, ジオハザード, 陸上掘削

Keywords: Tsunami deposit, Geohazard, Continental drillig

Japan Beyond-Brittle Project の概要 Japan Beyond-Brittle Project

浅沼 宏^{1*}; 土屋 範芳²; 伊藤 久男³; 村岡 洋文⁴

ASANUMA, Hiroshi^{1*}; TSUCHIYA, Noriyoshi²; ITO, Hisao³; MURAOKA, Hirofumi⁴

¹ 産業技術総合研究所, ² 東北大学, ³ なし, ⁴ 弘前大学

¹ AIST, ² Tohoku University, ³ Independent Scientist, ⁴ Hirosaki University

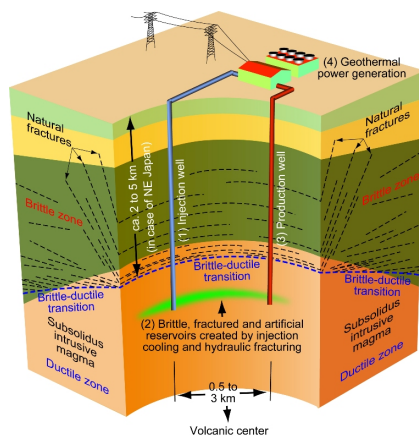
New conventional geothermal energy projects have not been actively promoted in Japan for the last decade because of perceptions of high relative cost, limited electricity generating potential and the high degrees of uncertainties and associated risks of subsurface development. More recently however, EGS (Enhanced Geothermal System) geothermal has been identified as a most promising method of geothermal development because of its potential applicability to a much wider range of sites, many of which have previously been considered to be unsuitable for geothermal development. Meanwhile, some critical problems with EGS technologies have been experimentally identified, such as low recovery of injected water, difficulties in establishing universal design/development methodologies, and the occurrence of induced seismicity, suggesting that there may be limitations in realizing EGS in earthquake-prone compression tectonic zones.

We propose a new concept of engineered geothermal development where reservoirs are created in ductile basement. This potentially has a number of advantages including: (a) simpler design and control of the reservoir, (b) nearly full recovery of injected water, (c) sustainable production, (d) lower cost when developed in relatively shallower ductile zones in compression tectonic settings, (e) large potential quantities of energy extraction from widely distributed ductile zones, (f) the establishment of a universal design/development methodology, and (g) suppression of felt earthquakes from/around the reservoirs.

To further assess the potential of EGS reservoir development in ductile zones we have initiated the "Japan Beyond-Brittle Project (JBBP)". It is intended that the first few years of the JBBP will be spent in basic scientific investigation and necessary technology development, including studies on rock mechanics in the brittle/ductile regime, characterization of ductile rock masses, development of modeling methodologies/technologies, and investigations of induced/triggered earthquakes. We expect to drill a deep experimental borehole that will penetrate the ductile zone in northeast Japan after basic studies are completed. The feasibility of EGS reservoir development in the ductile zone will then be assessed through observations and experimental results in the borehole. An ICDP supported workshop on JBBP has been held March 12-16 in Sendai, Japan, where feasibility, necessary breakthroughs, and roadmap has been discussed from scientific and technological points of view.

キーワード: 地熱, 脆性-延性境界, 水圧破碎

Keywords: Geothermal, Brittle-ductile transition, EGS



掘削科学への期待 Expectations for the new decade of drilling science

山田 泰広^{1*}
YAMADA, Yasuhiro^{1*}

¹ 京都大学
¹ Kyoto Univ

これから「掘削科学」はどのような役割を担うのか？ 地下を探る3つの手法「物理探査」・「掘削」・「物質科学」をブリッジする視点から、今後の方向性を提案する。

IODP Exp.337 下北半島沖三陸沖堆積盆地試料の水理特性と間隙構造 Hydraulic properties and pore structure of the sedimentary rocks at Site C0020, IODP Expedition 337 in Sanriku-oki basin

谷川 亘^{1*}; 多田井 修²; 稲垣 史生¹; Kai-Uwe Hinrichs³; 久保 雄介⁴; 大友 陽子¹
TANIKAWA, Wataru^{1*}; TADAI, Osamu²; INAGAKI, Fumio¹; KAI-UWE, Hinrichs³; KUBO, Yusuke⁴; OHTOMO, Yoko¹

¹ 海洋研究開発機構高知コア研究所, ² 株式会社マリンワークジャパン, ³ University of Bremen, ⁴ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC/Kochi Core Center, ²Marine Works Japan Ltd., ³University of Bremen, ⁴JAMSTEC

海底下深部堆積物中の微生物のバイオマスは物理的、化学的、生物的要因によって支配される。地下深部環境ほど微生物の数は減少し、その変動量や微生物生息限界深度はこうした要因により規制される。地下深部では堆積物は圧密・固化作用を受けるため、堆積物の間隙率、透水性、間隙径は減少するが、これら物理的要因と地下生物圏バイオマスとの関係はわかっていない。そこで本研究では、国際統合掘削計画 (IODP) 第 337 次研究航海および「ちきゅう」慣熟航海 (CK06-06) によって採取された下北半島沖の三陸沖堆積盆地深部の堆積物の水理学的な物性測定 (水ポテンシャル、透水係数、間隙率) を行い、物性の深度分布を評価した。特に、水ポテンシャルが地下生物圏バイオマスの指標になるか検討を行った。

水ポテンシャルの測定は市販の水分活性装置 (Novasina 社:LabTouch-aw、Dekagon 社:WT4T) を用いて測定した。高知コアセンターのコア保管庫から採取した直後、およびその試料を塩水 (35%) で再飽和した環境下でコア試料の水ポテンシャルを測定した。海底下深度 500m より浅い水ポテンシャルは-2.7~-4.1 MPa (水分活性 $A_w=0.97\sim0.98$) を示し、また 1200m 以深では-2.7~-5.5 MPa ($A_w=0.96\sim0.98$) のやや幅広い値を示した。水ポテンシャルと間隙率もしくは深度は強い相関は認められなかったが、間隙率が低い、もしくは深度が深い試料は水ポテンシャルが小さくなる傾向が認められた。

コア試料を円柱形 (外径 20mm、長さ 5~20mm) に整形して、封圧 1 - 42MPa (水圧 1 - 2 MPa) で室温下において透水係数の測定を行った。間隙流体は蒸留水を用いて試料下流側を 1MPa の一定圧に制御して、試料上流側を 1.2 - 1.8MPa に制御して測定を行った。いずれの試料も有効圧の増加とともに透水係数が減少し、その変化量は有効圧の増加とともに小さくなった。また、減圧時の透水係数の変化は非常に小さかった。砂岩は泥岩と比較して 1~2 桁低い値を示し、泥岩については堆積深度の大きい試料が低い透水係数を示した。また、有効圧 10MPa ほどで頁岩の透水係数の変化がほとんど認められなくなった。

現段階では、水ポテンシャルとバイオマスの関係は明らかではない。水ポテンシャルは間隙構造や堆積物表面の吸着特性とも関係することが考えられるため、今後、間隙分布と粘土鉱物含有量の測定を通して、海底下深部微生物のバイオマスと物理的環境との関係を明らかにしたい。

キーワード: 透水係数, 水ポテンシャル, 水分活性, 三陸沖盆地, IODP expedition 337, biomass

Keywords: permeability, water potential, water activity, off-Sanriku basin, IODP expedition 337, biomass

IODP Exp. 337 下北沖ライザー掘削でみられたコアリングディスタートバンス Coring disturbances with the riser drilling system of the D/V Chikyu during IODP Exp. 337 off Shimokita, Japan

村山 雅史^{1*}; 森田 澄人²; 山田 泰広³; 久保 雄介⁴; Hinrichs K-U⁵; 稲垣 史生⁶
MURAYAMA, Masafumi^{1*}; MORITA, Sumito²; YAMADA, Yasuhiro³; KUBO, Yusuke⁴; HINRICHS, K-u⁵; INAGAKI,
Fumio⁶

¹ 高知大学海洋コア総合研究センター, ² 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門, ³ 京都大学工学研究科都市社会工学専攻, ⁴ 海洋研究開発機構地球深部探査センター, ⁵ ブレーメン大学, ⁶ 独立行政法人海洋研究開発機構高知コア研究所
¹Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Japan, ²Institute for Geo-Resources and Environment, National Institute of Advanced Industrial Science and T, ³Department of Urban Management Engineering, Kyoto University, ⁴CDEX, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁵University of Bremen, Germany, ⁶Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2012 年に行われた地球深部探査船「ちきゅう」をもちいたライザー掘削による IODP 第 337 次掘削航海（下北沖石炭層地下生命圏掘削）では、科学海洋掘削史上、世界最高到達深度である海底下約 2,466 m まで掘削コア試料を採取した。ライザー掘削では、掘削深度が深くなるにつれ粘性の高い泥水を使用し、孔壁の安定を図る。そのため、回収された堆積物に様々なコアリングディスタートバンスが確認された。特に、未固結な砂層や泥層では、高密度の泥水が掘削コアに規則正しく注入されており、砂泥互層と見間違えるほどである。これら様々な現象について報告する。

キーワード: コアリングディスタートバンス, ライザー掘削, IODP, Exp. 337
Keywords: Coring disturbance, riser drilling, IODP, Exp. 337

IODP Exp.337 下北沖石炭層地下生命圏掘削で採取された掘削コアの岩相と全岩化学分析
Lithology and XRF analysis data at drilled Site C0020 off the Shimokita Peninsula, IODP Exp. 337

村山 雅史^{1*}; 東丸 直頌¹; 井尻 暁²; 稲垣 史生²
MURAYAMA, Masafumi^{1*}; HIGASHIMARU, Naotsugu¹; IJIRI, Akira²; INAGAKI, Fumio²

¹ 高知大学海洋コア総合研究センター, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所
¹Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, Japan, ²KCC/JAMSTEC

Marine subsurface hydrocarbon reservoirs and the associated microbial life in continental margin sediments are among the least characterized Earth systems that can be accessed by scientific ocean drilling. We penetrated a 2,466 m-deep sediment sequence with a series of coal layers around 2 km below the seafloor. Here, we present the 160 XRF data and lithology of sediments and paleoenvironments from drilling Site C0020, IODP Expedition 337. We defined four different lithologic units present in Site C0020. The succession of lithofacies at Hole C0020A also provides insight into the evolution of depositional environments in this region.

キーワード: 岩相, XRF 全岩化学分析, IODP, Exp.337
Keywords: Lithology, XRF, IODP, Exp.337

IODP 348 航海で明らかになった南海沈み込み帯 C0002 の構造的特徴 Structural characteristics of Nankai accretionary prism at C0002: Preliminary results from IODP Expedition 348

山本 由弦^{1*}; 大坪 誠²; Brown Kevin³; Crespo-Blanc Ana⁴; EXPEDITION 348 Scientist⁵
YAMAMOTO, Yuzuru^{1*}; OHTSUBO, Makoto²; BROWN, Kevin³; CRESPO-BLANC, Ana⁴; EXPEDITION 348, Scientist⁵

¹ 海洋研究開発機構, ² 産業技術総合研究所, ³ カリフォルニア大学サンディエゴ校, ⁴ グラナダ大学, ⁵ IODP Expedition 348
¹ JAMSTEC, ² AIST, ³ SCRIPS, ⁴ University of Granada, ⁵ IODP Expedition 348

Integrated Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 348 has deepened hole down to 3058.5 mbsf at Site C0002, and collected cutting and core samples of Upper Miocene Nankai accretionary prism. The structural key observation made on cuttings in Holes C0002N and C0002P, and cores retrieved in Hole C0002P are:

a) The structures observed in intact cuttings include slickenlined surfaces, scaly fabric, deformation bands, minor faults and mineral veins. Slickenlines are observed throughout the whole interval, but scaly fabric is increasingly observed below ~2200 mbsf. The other types of structures are scattered throughout the whole section.

b) The cored interval is characterized by steep bedding planes (more than 75°). A fault zone, 90 cm in thickness, with a few mm-size angular clasts is present in one of the cores (2204.9~2205.8 mbsf). In its present position, the brittle fault zone is associated with a normal faulting sense. It is unclear if this represents an early thrust rotated after its development or late normal fault.

c) SEM images in the upper part of Hole C0002N show little evidence for opal diagenesis, implying $T < 60-80$ °C at 1225.5 mbsf. In Hole C0002N, the fabric lacks a strongly preferred orientation in clay-rich materials, except along striated micro-faults formed by clays. These zones are extremely localized with a thickness of a few microns or less. In Hole C0002P, below 2200 mbsf, SEM images show the development of a regularly spaced fabric in sandstones, constituted by thin (<0.1 μm), clay-dominated shear planes. Towards the base of the hole, below 2625 mbsf, compaction fabrics in clay-rich materials can be observed. Very thin shear zones with almost no wall damage zone have cut this fabric.

The overall character of the deformation (independent particulate flow with limited evidence for cataclastic deformation) is suggestive of that deformations occurred in a relatively shallow environment (approximately 0-4 km in burial depth).

キーワード: Expedition 348, C0002, 断層帯, コア, カッティングス

Keywords: Expedition 348, C0002, Fault zone, Core, Cuttings

相模トラフ沈み込み帯インプット把握のための反射法地震探査 Seismic reflection survey investigating subduction inputs at the Sagami Trough

三浦 誠一¹; 野 徹雄^{1*}; 佐藤 壮¹; 山下 幹也¹; 斎藤 実篤¹; 高橋 成実¹; 小平 秀一¹
MIURA, Seiichi¹; NO, Tetsuo^{1*}; SATO, Takeshi¹; YAMASHITA, Mikiya¹; SAITO, Saneatsu¹; TAKAHASHI, Narumi¹; KODAIRA, Shuichi¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

相模トラフはフィリピン海プレートが関東地方を含む東北日本の下に沈み込むプレート収束域である。このプレート収束運動に伴って大小さまざまな地震活動が発生している。例えば 1703 年元禄地震や 1923 年大正関東地震などはマグニチュード (M) 8 クラスの巨大地震であり関東地方に大きな被害をもたらしている。一方、房総沖において 5-7 年周期のスロースリップイベントが観測されており、スロースリップイベントによって解放されるエネルギーは Mw6 に匹敵する。これら相模トラフ周辺での M8 クラス巨大地震およびスロースリップイベント発生深度はほぼ同じと考えられている。これら違いをもたらす原因の一つとして、相模トラフ沈み込み帯におけるインプットの違いが考えられており、その地下構造や地下物質の把握は重要である。将来フィリピン海プレートとともに沈み込んでいく堆積層や基盤の組成、構造や物性などを理解するために、インプット掘削の掘削提案も検討されている。このような観点から、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) は相模トラフ沈み込み帯のインプット側であるフィリピン海プレート上で反射法地震探査を 2013 年 4 月に実施した。相模トラフの約 50km 南側にトラフとほぼ平行な西北西-東南東方向で測線長約 270km のデータ取得を予定したが、天候不良のため当初予定のほぼ半分である火山フロント付近から海溝陸側斜面上部付近までの範囲の取得となった。取得データから測線下の堆積層分布や基盤形状の把握が可能となった。それによると堆積層内は大きく 3 つのユニットに区分することができる。基盤形状は測線において大きく変化しており、火山フロント付近や伊豆小笠原の古島弧である Frontal Arc および Outer Arc High の北方延長付近において海底付近まで高まっていることが確認できた。一方それら高まりの間には海底下 4km にも達するような基盤の落ち込みが存在し厚い堆積構造が確認できる。既存測線との交点から、相模トラフ軸付近への堆積層や基盤の連続性を確認することも可能となった。既往結果との比較から堆積層や基盤の年代推定や物質推定を行い、相模トラフ沈み込み帯のインプット把握を行うとともに、相模トラフ周辺域の地震活動についても考察していきたい。

キーワード: 反射法地震探査, 相模トラフ, 沈み込み帯インプット

Keywords: MCS survey, Sagami Trough, subduction input

X線CTを使ったコア品質の評価 Core quality evaluation with X-CT data

久保 雄介^{1*}; 青池 寛¹
KUBO, Yusuke^{1*}; AOIKE, Kan¹

¹CDEX, JAMSTEC

¹CDEX, JAMSTEC

X-ray Computed Tomography (X-CT) is a powerful tool for an observation of internal structures and conditions of core samples. In the laboratory of D/V Chikyu, X-CT data has been used in initial evaluations of sample lithology, structure and physical properties such as density, before splitting the sample. In addition, the non-destructive measurement is particularly useful to evaluate the sample quality, based on which we can optimize the sampling and sample distribution plan. For example, intact pieces are passed to high-priority and contamination-sensitive analyses after observation of X-CT image. However, the evaluation of core quality has been mostly based on visual observation. While visual observation is good for quick evaluation, it sometimes lacked consistency and detailed survey.

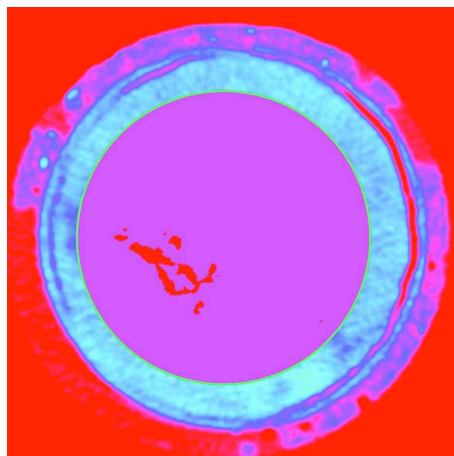
In this study we propose a quantitative way to evaluate the core quality from X-CT data. The core quality index (CQI) is calculated as the ratio of area with CT value higher than a threshold value in a sliced image of core sample. The threshold value is determined from the representative CT value in the core section and varies depending on lithology. The data in the region of interest, which is 15 cm² of central part of core sample, is binarized with the threshold value to provide normalized index through all sections. The plot of CQI reveals the position and degree of damages inside a core sample.

The method is applied to X-CT data of a total of 176 sections from IODP Exp 337. The results show that CQI profile clearly differentiates intact part and disturbed part of core section. Comparison with other core quality indicators in pore water chemistry and chemical tracer experiments suggests that CQI can be used to identify intervals suitable for contamination-free sampling.

The figure shows an example of binarized X-CT slice of a core sample. Red in the central part (purple) shows porous part in the core sample.

キーワード: ちきゅう, IODP, X線CT, コア試料

Keywords: Chikyu, IODP, X-CT, core sample



東北地方太平洋沖地震前後の宮城県沖水深2000m以浅における海底の比較 Comparison of seabeds at <2000 m in water depth off Miyagi before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake

和田 彩花¹; 川村 喜一郎^{1*}; ルーマー ミリアム²; シュトラッサー ミカエル³; フィンク ヒスケ²; 新井 和乃⁴; 日野 亮太⁵; 伊藤 喜宏⁶; 藤倉 克則⁷
WADA, Ayaka¹; KAWAMURA, Kiichiro^{1*}; ROMER, Miriam²; STRASSER, Michael³; FINK, Hiske²; ARAI, Kazuno⁴; HINO, Ryota⁵; ITO, Yoshihiro⁶; FUJIKURA, Katsunori⁷

¹ 山口大学, ² ブレーメン大学, ³ スイス工科大学チューリッヒ, ⁴ 千葉大学, ⁵ 東北大学, ⁶ 京都大学, ⁷ 海洋研究開発機構
¹Yamaguchi University, ²University of Bremen, ³ETH Zurich, ⁴Chiba University, ⁵Tohoku University, ⁶Kyoto University, ⁷JAMSTEC

2011年3月11日の日本時間14:46に、東北地方太平洋沖でMw9.0の地震が発生した。Arai et al. (2013)によると、この地震による津波に伴い混濁流が発生したとされている。この混濁流について、今後どのように地層として保存されるか良く分かっていない。

そこで本研究では、海底面を観察することで、地震に伴う混濁流が海底面にどう影響したかを調べた。また、それに基づき混濁流が発生したという事実が今後どのように地層に保存されるかを考察した。

研究に用いたビデオ映像は、R/V NATSUSHIMAによる3K#483(2000年9月5日実施)、同じ船による2K#1220(2000年9月19日実施)、R/V YOKOSUKAによるYKDT#100(2011年6月21日実施)、備船によるHAKUYO3000(2011年9月25日実施)、R/V SONNEによるSO219A OFOS(2012年3月8日~4月5日実施)とで、撮影された物を使用した。また、海底断面図はSO219A航海時にパラサウンドによって得られたものを使用した。

ビデオ映像から、震災前後で海底は大きく変化したことが確認出来た。震災10年前はヒトデやタコといった多くの生物がおり、また海底には生物の巣穴が多数存在し、低層流の強い流れは確認できなかった。震災の数ヶ月後の海底は、YKDT#100、HAKUYO 3000の映像から、生物の死骸が多数していた。また、その死骸の上やその付近には、直径1m程の大きなバクテリアマットが広がっていた。震災の1年後の海底は、OFOS-1,2の映像から、バクテリアマットが直径10cm程に小さくなっていた。このことから、地震後海底擾乱が起こった際、バクテリアマットは一時的にはできるが、地層に保存されることはなく、混濁流の証拠とならないと言える。

一方、地層記録として保存されうる混濁流の証拠も見つかった。YKDT#100、OFOS-2の映像から海底面上に多数の生物片が散らばっていた。これらの方向を測ると、大部分が南西-北東方向を向いており、これらはごく最近の強い流れ、すなわち津波混濁流によって形成されたものである。また、その方向は、Arai et al. (2013)を支持する結果であった。これらは震災直後、1年後どちらにも確認されたことから、混濁流の証拠として地層に保存されるのではないかと考えている。

キーワード: ゾンネ, 津波堆積物, 生物片, 古流向

Keywords: R/V SONNE, Tsunami deposit, biofragment, paleocurrent

東北沖巨大地震の痕跡：大水深の海底堆積物から探る Evidence of Tohoku-oki earthquake in the deep sea sediment

金松 敏也^{1*}; 池原 研²; 宇佐見 和子²
KANAMATSU, Toshiya^{1*}; IKEHARA, Ken²; USAMI, Kazuko²

¹ 海洋研究開発機構, ² 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Techn

2011年の東北地方太平洋沖地震の地震性滑りは海溝軸まで達し、38° N付近では海溝先端にいくほど変位量が多いというこれまでに観測例がないものであった。また海溝軸海底は地震により隆起したことが明らかになっている (Fujiwara et al. 2012)。さらに地震後の詳しい海底下構造が調べられ (Kodaira et al. 2013, Nakamura et al. 2013 など)、上盤プレートが海側にせり出し、海溝堆積物をスラストアップさせた構造を作っていることが明らかにされている。Strasser et al. (2013) は採取された堆積物コアの記録を元に、地震時に先端部がスランプしたとし、Kawamura et al.(2012) や Tsuji et al.(2013) も同様に海溝先端の海底変動を議論している。

このように海溝軸まで地震性滑りが達する地震では、海底変動が海溝軸に近いほど大きく、変動の様子が海溝付近の地層に記録されている可能性が高い。その痕跡を読み解き、さらに過去に生じた巨大地震の特徴を明らかにすることを目指し、海溝底付近の海底堆積物を積極的に調査し始めている。

2012年に、海洋地球研究船“みらい”を使い、38° N付近で隆起した海溝軸（水深7500m）の海底堆積物採取を行い、ドイツ調査船“ゾンネ”では、陸側斜面を含む海底堆積物採取を行った。海溝底の地形的高まりから採取されたコアの最上部数十cmは、2011年の地震による赤褐色のタービダイトで構成され、海溝軸に地震記録が残る事が確認できている。また下位には、何枚かのタービダイトが確認され、これは歴史地震に対応するものと考えられる。海溝軸沿い南北にも同様なタービダイトが認められるため、広くこれを追跡すれば、地震履歴をより詳細にできるであろう。一方、“ゾンネ”によって海溝近辺の陸側斜面から得たコアには海溝底の岩相と違い、デブライトや傾斜変形した構造が記録されており、上盤プレートの変動が記録されていると考えられる。

2013年には海溝軸から一段高い、下部陸側斜面の平坦面（水深4000-6000m）で、“なつしま”を使い、広く海底堆積物採取を行った。採取された堆積物は多くの場合、薄い砂層を含むタービダイトで特徴づけられる。また表層崩壊の痕跡と考えられる流動変形した岩相を含むコアも採取されており、過去の地震との関連が注目される。

このように海溝軸・下部陸側斜面平坦面では、地震に関連したと考えられるイベント層が見いだされている。海底堆積物中の東北地方太平洋沖地震を含む地震記録の時空間的広がりを把握することができれば、今まで得られなかった情報を抽出することができ、東北沖地震の理解が進むと期待している。本発表では、これまでの調査の結果概要を紹介し、巨大地震・津波のポテンシャル評価にどのように貢献することができるか考えたい。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 日本海溝, 海底堆積物

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, Japan Trench, deep sea sediment

日本海溝下部陸側斜面のタービダイト—NT13-19次航海の成果から Turbidites collected from the Japan Trench inner slope, during the NT13-19 cruise

宇佐見 和子^{1*}; 池原 研¹; マクヒュー セシリア²; 金松 敏也³
USAMI, Kazuko^{1*}; IKEHARA, Ken¹; MCHUGH, Cecilia²; KANAMATSU, Toshiya³

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門, ² 海洋研究開発機構・Queens College, C.U.N.Y., ³ 海洋研究開発機構
¹Geological Survey of Japan, AIST, ²JAMSTEC / Queens College, C.U.N.Y., ³JAMSTEC

To understand the recurrence of large earthquakes along the Japan Trench, we collected 24 sediment cores from the Japan Trench inner slope, 37.5-40 N, 143.5-144.16 E, water depth 4000-6000 m, during the NT13-19 cruise. Many deep-sea turbidites were intercalated in the sediment cores. We examined the interval and structures of the turbidites using soft-X radiographs. In general, number of the turbidites in a core is high in the southern part off Sendai, but is low in the northern part off Miyako. Meanwhile, intercalated tephtras such as Haruna-Ikaho (Hr-FP), Towada-Chuseri (To-Cu) and Towada-a (To-a) were identified in the 13 cores. Based on the eruption ages of the tephtras, we estimated the averaged recurrence intervals of 100-500 years in average in almost cores. But there are cores that display different intervals over 1500-2000 years.

キーワード: 地震, 日本海溝, タービダイト, テフラ
Keywords: earthquake, Japan Trench, turbidite, tephra

津波起源タービダイトは巨大地震発生履歴を物語るか Tsunami-generated turbidite as a proxy for large-scale earthquakes

成瀬 元¹; 新井 和乃^{2*}
NARUSE, Hajime¹; ARAI, Kazuno^{2*}

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 千葉大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Graduate School of Science, Chiba University

本発表は、津波起源タービダイトに関する研究の現状を総括し、それらが巨大地震の発生履歴のプロキシとなる可能性について検討を行う。津波を起源とするタービダイトは、わずかな例外を除いて、地震起源タービダイトの一種といえるだろう。1980年代より地中海に分布する塊状砂岩 (homogenite) が津波起源タービダイトではないかなどの指摘はなされていたが、ほぼ確実に津波が直接の起源となったタービダイトが発見されたのは、2011年東北地方太平洋沖地震津波の直後の調査によるものである。例えば、Arai et al. (2013) は、海底圧力計の突然の移動や海底地震計などに残された堆積物から、津波を起源とする混濁流が発生した可能性が高いことを示した。この研究は、津波が浅海域の堆積物を巻き上げ、それにより発生した堆積物雲が斜面を流れ下ったことで混濁流が生じたと推定している。発生した混濁流は、地震発生から約3時間後に流速 2.4 ? 7.1 m/s 以上で水深約 1000 m の地点を通過したことが海底圧力計の記録などから見積もられる。Ikehara et al. (2014) など、多くの研究がこの津波起源混濁流により形成されたタービダイトを報告している。今回発生した津波起源タービダイトは極めて細粒であり、水深 1000 m 以深のほとんどの領域では中央粒径はシルト以下のサイズだが、級化構造などの堆積構造や生物攪拌の程度により十分に識別可能である。

それでは果たして、津波起源タービダイトは、巨大地震発生履歴を知るために有益だろうか。これまで、長期にわたる巨大地震の発生履歴を知るためのプロキシとして、地震起源タービダイトが用いられることがあった。特に Cascadia 沖のタービダイトの堆積タイミングは歴史地震などとの一致が良いことが知られている。巨大地震が混濁流を発生させるメカニズムとしては、津波以外にも、例えば地震に伴う海底地すべりなどが考えられる。ただし、このような地震起源タービダイトを他の要因 (例えば地震と関係のない地すべりや breaching など) によるタービダイトと区別することは容易ではない。Goldfinger (2012) は広範囲にわたって同時に堆積していることを地震起源タービダイトの認定根拠として挙げているが、Paris (2010) が 2004 年スマトラ沖地震起源タービダイトに関して示したように、巨大地震起源で起こった海底地すべりによるタービダイトは必ずしも広範囲に分布しているとは限らない。一方、巨大津波は広範囲な浅海域に影響を与えるため、今回検出された津波起源タービダイトは海溝軸と平行方向に幅 200 km 以上にわたって分布している。また、海底地すべり起源のタービダイトと異なり、海底斜面上部から海溝域まで、深さ方向にも広範囲な分布を示すことが重要な特徴である。すなわち、これまで広範囲な分布を根拠として認定されてきた地震起源タービダイトの多くは、実際には津波起源タービダイトである可能性があるだろう。むしろ、何らかの証拠により海底地すべりに関連したタービダイトを除外し、津波起源タービダイトと共通する特徴をもつタービダイトを地質記録から抽出した方が、より確実に巨大地震発生履歴を復元できるのではないかと考えられる。

今後の課題は、津波起源タービダイトの発生条件や、その保存ポテンシャルの解明である。数値計算の結果から、すべての津波が混濁流を発生させるわけではなく、ある規模 (波高) を超えた津波のみが混濁流を生じさせることが推定されている。この「津波規模フィルター」を定量的に見積もることが、巨大地震発生履歴を津波起源タービダイトから復元するためには重要であろう。また、津波起源タービダイトは深海の安定した環境に堆積するため、堆積・侵食が頻繁に起こる陸上環境の津波堆積物に比べて地層中への保存ポテンシャルが高いことが期待されるが、この点についても継続的な観測に基づく研究が必要だろう。

キーワード: 地震, タービダイト, 堆積物重力流, 津波
Keywords: Earthquake, turbidite, sediment gravity flow, tsunami

2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後に震央域で観測された海底水温の急上昇について An abrupt seafloor water-temperature increase in the epicentral region of the 2011 Tohoku earthquake

稲津 大祐^{1*}; 伊藤 喜宏²; Saffer Demian³; 日野 亮太⁴
INAZU, Daisuke^{1*}; ITO, Yoshihiro²; SAFFER, Demian³; HINO, Ryota⁴

¹ 防災科学技術研究所, ² 京都大学, ³ ペンシルバニア州立大学, ⁴ 東北大学
¹NIED, ²Kyoto University, ³The Pennsylvania State University, ⁴Tohoku University

東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震)は、地震学的のみならず、地質学的、地球化学的など、震源域間近に限っても、非常に多面的かつ高感度な現代計測技術によって観測された。本発表では、東北大学によって実施された、東北地震の震源域直上の海底圧力観測網で計測された、東北地震の発生直後に起こった海底水温の急上昇について報告する。

海底圧力計には、圧力センサーの温度補償のために温度計が内蔵されている。この内蔵温度計で取得された温度変動データは、圧力計外の(海底)水温変動とよく一致する。東北地震を計測した海底圧力計は8点ある(Ito et al. 2013 Tectonophys.)。これら8点の圧力計の温度計データから以下の事実が明らかになった。東北地震時の最大すべり領域の直上の2点の観測点(TJT1、GJT3:水深3000-6000 m)において、地震前までの水温変動と比べ、明瞭な水温上昇が認められた。それは地震発生から数時間後に始まり、0.1℃前後の上昇で、2、3週間は継続していた。その他の陸側の観測点(水深2000 m以下)では、同様の異常は確認されなかった。また、3/9のM7の最大前震を含め、東北地震に先行する他の地震に関係する明瞭な水温異常は、いずれの観測点においても確認されなかった。まず、おそらく、この水温変動の起源は、M9の東北地震であり、特に海溝に近い地震時最大すべり領域にあった、と言えそうである。

ところで、海底付近で採取した海水の分析に基づく地球化学的研究は、東北地震に伴い、地下約1 kmのメタン(Kawagucci et al. 2012 Sci. Rep.)、および、マントル(地下15 km以深)(Sano et al. 2014 Nat. Comm.)に起源を持つ水・流体が、地震時最大すべり領域を通して海底に放出されたと報告した。

そこで、我々が観測した水温変動の異常が、観測点地下数 km 以深から供給された流体起源と仮定すると、数時間という時間差から、供給された流体の速度は、遅くとも0.1 m/sのオーダーと見積もられる。これは、非地震時の地殻内の湧水の典型的な移動速度(たとえば、 10^{-9} m/s)(Screaton and Saffer 2005 EPSL)と比べ何桁も大きい。放出された流体の移動速度が0.1 m/sオーダーだったとすると、おそらく、その流体は、地殻内を通過し海底に湧き出たのではなく、東北地震の巨大すべりによって生じた地殻の亀裂(Tsuji et al. 2013 EPSL)に放出され、海水中の拡散などによって海底に到達したのかもしれない。

キーワード: 海底水温, 2011年東北地震

Keywords: Seafloor water temperature, 2011 Tohoku earthquake

相模トラフで採取された海底堆積物の堆積学的・古地磁気学的研究 A sedimentological and paleomagnetic study of deep-sea sediments collected from the Sagami trough

中嶋 新^{1*}; 川村 喜一郎¹; 金松 敏也²; 斎藤 実篤²; 村山 雅史³

NAKAJIMA, Arata^{1*}; KAWAMURA, Kiichiro¹; KANAMATSU, Toshiya²; SAITO, Saneatsu²; MURAYAMA, Masafumi³

¹ 山口大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 高知大学

¹ Yamaguchi University, ² JAMSTEC, ³ Kochi University

はじめに

関東地方では、過去に大規模の地震が繰り返し発生している。陸上では、主に海岸段丘の分布と年代に基づいて地震履歴が復元されてきた(宍倉, 2012; 地震予知連)。一方、海底では地震性堆積物を用いることによって、古地震研究の可能性が議論されている(池原, 2001 など)。さらに、近年の海底堆積物を用いた研究によると、採取地点において洪水堆積物が到達しえないと考えられる場所での古地震研究が提唱されている(野田他 2008)。

このように、近年の池原らの研究成果により、海底での地震イベント堆積物の研究は急速に発展してきた。そこで、本研究では、海底の地層中の関東地震の痕跡に探るべく、相模湾の水深 1000~1200 m のなだらかな海底斜面から海底堆積物を採取し、堆積学的・古地磁気学的に詳細に記載し、堆積プロセスを議論した。

研究試料の概要

研究に用いた堆積物は、学術研究船「淡青丸」による KT-12-35 航海(2012 年 12 月 23 日~27 日実施)中にピストンコアラを用いて相模湾で採取された 2 つのコア(PC01 と PC03)を使用した。PC01 は北緯 35° 04' 00", 東経 139° 12' 99", 水深 991m の地点で採取された。PC03 は北緯 34° 58' 30", 東経 139° 13' 40", 水深 1235m の地点で採取された。この地域では、地震イベント堆積物の存在が Ikehara et al.(2012) によって示唆されている。

結果と議論

堆積物の観察、測定結果から以下のことがわかった。

(1) 肉眼及び顕微鏡観察: PC01, PC03 は、主としてオリーブ黒色の半遠洋性堆積物であり、有孔虫、ケイ藻などを多量に含む。両者には複数枚の厚さ数 cm の火山灰層や砂層が肉眼で観察された。

(2) X 線 CT 解析: 半遠洋性堆積物と思われた層準に多くのイベント層が認められた。

(3) 物性値: 間隙率は、PC01 では 72%→58%, PC03 では 76%→65%であった。

(4) 磁化特性: 古地磁気及び帯磁率異方性測定から、古流向解析を行った。全データのプロットから PC01 は E→W の古流向が示された。

(5) 年代: 火山灰分析は、PC03 の 11cm と 95cm の 2 箇所行い、1707 年の富士宝永噴火と 838 年天津島天上山噴火が得られた。C14 年代測定は、PC01 の 136cm と PC03 の 172cm の 2 箇所行い、30820 ± 210 年 BP と 2850 ± 30 年 BP が得られた。以上のことから、PC03 の平均堆積速度は 64 cm/1000 年であった。また、PC01 は、一点のみの測定ではあるが、4 cm/1000 年と算出された。

以上の結果から、過去にこの地域で発生したイベント回数及び発生間隔を検討し、既知の古地震・噴火などの地質イベントと照らし合わせ、海底における古地震研究の可能性を議論する。

キーワード: 相模トラフ, 地震性堆積物, X 線 CT, 火山灰分析, C14 年代測定, 磁化特性

Keywords: Sagami trough, Seismic deposit, XrayCT, Volcanic glass, C14 dating, Magnetic properties

DEVELOPMENT OF MULTI-PARAMETER BOREHOLE SYSTEM TO EVALUATE THE EXPECTED LARGE EARTHQUAKE ?N THE MARMARA SEA, TURKEY DEVELOPMENT OF MULTI-PARAMETER BOREHOLE SYSTEM TO EVALUATE THE EXPECTED LARGE EARTHQUAKE ?N THE MARMARA SEA, TURKEY

OZEL, Oguz^{1*} ; GURALP, Cansun² ; PAROLAI, Stefano³ ; BOUCHON, Michel⁴ ; KARABULUT, Hayrullah⁵ ; AKTAR, Mustafa⁵ ; MERAL OZEL, Nurcan⁵

OZEL, Oguz^{1*} ; GURALP, Cansun² ; PAROLAI, Stefano³ ; BOUCHON, Michel⁴ ; KARABULUT, Hayrullah⁵ ; AKTAR, Mustafa⁵ ; MERAL OZEL, Nurcan⁵

¹Istanbul University-Turkey, ²Guralp Systems-UK, ³Geoforschungszentrum-Germany, ⁴CNRS-France, ⁵Kandilli Observ. & Earthq. Res. Inst.-Turkey

¹Istanbul University-Turkey, ²Guralp Systems-UK, ³Geoforschungszentrum-Germany, ⁴CNRS-France, ⁵Kandilli Observ. & Earthq. Res. Inst.-Turkey

The Istanbul-Marmara region of northwestern Turkey with a population of more than 15 million faces a high probability of being exposed to a hazardous earthquake. The 1999 Izmit earthquake in Turkey is one of the best recorded in the world. For the first time, researchers from CNRS and Kandilli Observatory (Istanbul) observed that the earthquake was preceded by a preparatory phase that lasted 44 minutes before the rupture of the fault. This phase, which was characterized by a distinctive seismic signal, corresponds to slow slip at depth along the fault. Detecting it in other earthquakes might make it possible to predict some types of earthquakes several tens of minutes before fault rupture.

In an attempt to understand where and when large earthquakes will occur, and the physics of the source process prior to large earthquakes, we proposed to install multi-parameter borehole instruments in the western part of Marmara Sea in the frame of an EU project called MARSITE. This system and surrounding small-aperture surface array is planned to be capable of recording small deformations and tiny seismic signals near the active seismic zone of the North Anatolian Fault passing through the Marmara Sea, which should enable us to address these issues.

The objective is to design and build a multi-parameter borehole system for observing slow deformation, low-frequency noise or tremors, and high frequency signals near the epicentral area of the expected Marmara earthquake. Furthermore, it is also aimed to identify the presence of repeating earthquakes and rupture nucleation, to measure continuously the evolution of the state of stress and stress transfer from east to west with high resolution data, and to estimate the near-surface geology effects masking the source related information. The proposed location of the borehole system is right on the Ganos Fault and in a low ambient noise environment in Gazikoy in the western end of the North Anatolian Fault in the Marmara Sea, where the Ganos Fault goes into the Marmara Sea. The proposed instrumentation will be consisted of broadband seismometer with very wide dynamic range, strainmeter, tiltmeter, hydrostatic pressuremeter and thermometer. These instruments will be installed in 150m deep borehole. Additionally, a surface microearthquake observation array, consisting of 8-10 seismometers around the borehole will be established to obtain continuous high resolution locations of micro-seismicity and to better understand the existing seismically active structures and their roles in local tectonic settings.

キーワード: Borehole system, repeating earthquakes, slow motion, microearthquake activity, rupture nucleation, MARSITE

Keywords: Borehole system, repeating earthquakes, slow motion, microearthquake activity, rupture nucleation, MARSITE

東北地方太平洋沖地震発生後の宮城県沖水深2000m~3500mの海底地形と地質構造 Seabed topography and geologic structure of 2000~3500 m in water depth, off Miyagi prefecture

濱田 穂¹; 川村 喜一郎^{1*}; 中村 恭之²; 小平 秀一²

HAMADA, Mari¹; KAWAMURA, Kiichiro^{1*}; NAKAMURA, Yasuyuki²; KODAIRA, Shuichi²

¹ 山口大学, ² 海洋研究開発機構

¹ Yamaguchi University, ² JAMSTEC

はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震発生後、津波波源域を含む日本海溝の宮城県沖～岩手県沖の広範囲において16測線の地震探査が実施された。しかし、3000m以浅のDeep Sea Terraceに発達する前弧海盆の解析は、未だ手がつけられていない。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震後の宮城県沖の海底地形と地質構造を調べることを目的とし、未公表の15測線も含めた16測線を解析した。

研究地域概要

日本海溝の前弧海盆地には、白亜紀の基盤上に漸新世の不整合があり、その上部に古第三紀～新第三紀の厚い堆積物(前弧海盆)がある。南北変化が激しく、その比較は容易でない。

結果

16測線の観察により、地形、活構造、厚層化等の共通する特徴が認められ、それらはArea1~5の領域に分布する。
Area1: 漸新世の不整合の上に厚層化した堆積ユニットがあり、西端を褶曲、東端を断層または褶曲で区切られる。この特徴は、南北100kmで見られる。

Area2: 両端の特徴は、Area1と類似するが、南北の連続性は50kmと短く、また、やや海側に配列する。

Area3: Area2の北延長部であるが、明瞭な厚層化は認められない。

Area4: 陸側に傾動した厚い新第三系の堆積ユニットがあり、その堆積域が海側から陸側へシフトしている。

Area5: 両端の特徴は、Area1と類似するが、表面にまで及ぶ断層(活断層)がある。2011年の震源付近であり、最近の変動域と考えられる。

まとめ

これらの特徴は、長期的な日本海溝の形成プロセスを論じる上で重要な知見であり、今後、さらに検討を進める必要がある。

キーワード: 日本海溝, 地震探査, 前弧海盆, 不整合, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: Japan Trench, Seismic survey, Forearc Basin, Unconformity, 2011 Tohoku-Oki earthquake

精密温度計付き自己浮上式海底圧力計の開発 The development of the self pop-up ocean bottom pressure gauge (OBP) with precision thermometers attached

鈴木 秀市^{1*}; 伊藤 喜宏²; 日野 亮太³; 稲津 大祐⁴; 長田 幸仁³
SUZUKI, Syuichi^{1*}; ITO, Yoshihiro²; HINO, Ryota³; INAZU, Daisuke⁴; OSADA, Yukihito³

¹ 東北大学理学研究科, ² 京都大学防災研究所, ³ 東北大学災害科学国際研究所, ⁴ 防災科学技術研究所
¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ⁴National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

我々は、大地震やスロースリップに伴う海底地殻上下変動の観測を目的として、自己浮上式の海底圧力計を用いた観測を宮城沖や根室沖において実施してきた。また、平成 24 年以降、ニュージーランド北島東方沖でも実施してきた。特に、2008 年以降宮城沖で実施している海底圧力観測では、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う 5 m を超える海底面の隆起 (Ito et al., 2011) や地震前に発生したスロースリップに伴う地殻変動 (Ito et al., 2012) を観測できた。

海底圧力計で用いる水晶式圧力センサーは水晶の温度補償用に計測器内部に温度計を備える。この温度計により、複数の観測点で地震後に特徴的な温度上昇を捉えることが出来た。この温度変化の原因として 2 つの理由が考えられる。一つは、地震や津波により誘発された陸側から海側深部に向かって流れる低層乱泥流によるもの、もう一つは、海底下からの湧水によるものである。前者については、1 台の圧力計が低層乱泥流によって流されたことが圧力記録や潜航調査から確認された (Arai et al., 2012)。但し、他の海底圧力計の温度上昇は低層乱泥流では説明できず、深部からの湧水に伴う温度上昇である可能性が考えられるが、温度計が水温を直接測定していないこと、温度計が海底面から離れた位置に 1 つしかないことから、原因を特定することが困難であった。

本研究では、海底面と海中温度の計測機能付随の海底圧力計設置を行なった。現状の自己浮上式海底圧力計に超深海温度計ロガー 2 台の外装を設計し、試験観測を実施した。外装の設計および試験観測では、現状の海底地殻上下変動測定精度が変わらないこと、および安全に設置回収できるか確認を行った。

開発した温度計付き圧力計により、従来の海底圧力観測に加えて海底面および海底付近の温度を今後記録できる。開発した海底圧力計が日本海溝およびニュージーランド北島東方沖に今後展開される。特に日本海溝の海溝陸側斜面では、2011 年東北地方太平洋沖地震後、湧水量の増加が海底観察で確認されているため同海域に設置される温度計付き圧力計により地震後の余効変動に伴う海底上下変動のみならず、湧水量の時間変化に伴う海底水温の時間変化が将来観測可能になる。

キーワード: 2 台の精密温度計, 海底の温度, 海底圧力計

Keywords: Two precise thermometers, Sea-bottom water temperature, Ocean bottom pressure gauge

南極大陸棚域における淡水供給 -その空間分布と近年の変化-
Sources of freshwater to the Antarctic continental shelf -distributions and multi-decadal changes-

青木 茂^{1*}
AOKI, Shigeru^{1*}

¹ 北海道大学低温科学研究所

¹ILTS, Hokkaido University

The Antarctic continental shelf is the gateway to the global ocean from the Antarctic Ice Sheet, the largest freshwater reservoir on Earth surface. Discharge of the freshwater occurs as the processes such as basal melting of ice shelves and calving of icebergs. On the other hand, sea ice formation and melting on the shelf redistribute the freshwater, affecting the overturning circulations of oceans. These two processes of freshwater transport are closely related to the surrounding oceanic and atmospheric conditions, and therefore estimating their contributions and clarifying their relationships with underlying environments are necessary to quantify the overall impacts to the ocean and its temporal change.

From observed salinity and stable oxygen isotope ratio of sea water with a few assumptions applied, meteoric and sea ice fractions in sea water are estimated on the shelf and their geographical distributions are studied. Meteoric ice fraction is largest in the surface layer of West Antarctica, but the water column inventory is largest in the Ross Sea and surprisingly uniform around Antarctica. The column inventory of meteoric ice retains the broadly consistent signature of ice shelf basal melting, which is proposed by the recent studies, but its oceanic stock is rather homogenized due to the effects such as oceanic advection and basin-scale circulation. Sea ice fraction contributes large production in the areas of strong katabatic wind and shows negligible production/net melting in the West and central East Antarctica. The vigorous vertical mixing due to high production also distributes the meteoric fraction to a wider depth range.

Observed salinity trend suggests a possibility of temporal change in these freshwater transports. The salinity trend at the bottom of the shelf for the recent four decades reveals the salinification in the West Antarctica and freshening in the Ross Sea. Repeated observations on the shelf region off the Adélie Land Coast indicate freshening for the recent two decades. These signatures might be consistent with the accelerating discharge of the west Antarctic ice sheet. The signatures are consistent with the structure of the recent salinity change of Antarctic Bottom Water, suggesting the on-going impact of the Antarctic shelf on the global scale.

第4の南極底層水：ケープダンレー底層水 The fourth Antarctic Bottom Water: Cape Darnley Bottom Water

大島 慶一郎^{1*}; 深町 康¹; ウィリアムス ガイ²; 二橋 創平³; 田村 岳史⁴; 北出 裕二郎⁵; 平野 大輔⁵; 青木 茂¹; 若土 正暁¹

OHSHIMA, Kay I.^{1*}; FUKAMACHI, Yasushi¹; WILLIAMS, Guy D.²; NIHASHI, Sohey³; TAMURA, Takeshi⁴; KITADE, Yujiro⁵; HIRANO, Daisuke⁵; AOKI, Shigeru¹; WAKATSUCHI, Masaaki¹

¹北海道大学低温科学研究所, ²タスマニア大学, ³苫小牧工業高等専門学校, ⁴国立極地研究所, ⁵東京海洋大学

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Antarctic Climate and Ecosystem Cooperative Research Centre, University of Tasmania, Australia, ³Tomakomai National College of Technology, ⁴National Institute of Polar Research, ⁵Tokyo University of Marine Science and Technology

世界の最も大きな海洋循環は、南極海と北大西洋の2ヶ所で重い水が沈み込み全海洋の深層に拡がりながら徐々に湧き上がることで作られる深層循環である。より冷たくて一番重いのは南極底層水で全世界の底層に拡がっており、南極底層水起源の水は、地球の全海水の30 - 40%をも占める (Johnson, 2008)。重い水の沈み込みが弱化したり、沈み込む場所が変わると、深層循環が変わり、地球上の気候が激変することになりうる。

南極底層水の生成域は、ロス海・ウェッデル海・アデリーランド沖が3大生成海域として知られている。ウェッデル・エンダービー海盆の東部にも第4の南極底層水の生成域があることが示唆されていたが、それがどこかはよくわかっていなかった。南極底層水は、沿岸ポリニヤでの高氷生産に伴うブライン排出で生成される重い水が起源になっている。人工衛星からの海水情報と熱収支計算により南極海で初めて示された氷生産量のマッピング (Tamura et al., 2008) から、南極昭和基地の東方1,200km、アメリカ棚氷の西に位置するケープダンレーポリニヤが南極海で第2位の氷生産海域であることが明らかになった。そこで、この海域が未知 (第4) の南極底層水生成域ではないかと予想し、日本のIPY観測のターゲット海域とした。そして、予想通り、ここが南極底層水の生成域であることを実測で明らかにし、この第4の底層水をケープダンレー底層水 (Cape Darnley Bottom Water: CDBW) と名づけた (Ohshima et al., 2013)。

観測では、ケープダンレー沖に4つの係留系を設置し、2008/2009年の1年間の水温・塩分・流速の連続データを取得した。係留系の設置はJAMSTECの白鳳丸で、回収は東京海洋大学の海鷹丸で行われた。この観測によって、重い水が陸棚より峡谷に沿って底層に集中する形で300 m程度の厚さを持って流出し、底層水となっていく様子を直接捉えることに成功した。今回の発見は、底層水生成には、今まで広い陸棚・窪地と棚氷が不可欠とされていたが、それらの条件がなくても氷生成が非常に強力であれば底層水は作られることを示唆するものである。東南極では、ケープダンレー沖ほどではないが、氷生産量が大きい海域が複数ある。本研究は、これらの海域でも多量ではなくとも底層水ができて可能性を示すものであり、実際に海鷹丸での係留観測から、南極第6位の氷生産域であるビンセネス湾ポリニヤ沖でも底層水生成のシグナルが観測されている。

係留観測による底層水のフラックスの見積りと、氷生産量による塩分収支からの見積りから、全南極海で沈み込む底層水のうちの6 - 13%程度がこの海域から潜り込んでいると推定した (潜り込む流量は0.3 - 0.7 Sv)。さらに、ケープダンレー底層水は、徐々に周極深層水と混合しながら西方へ移流され、ウェッデル海 (大西洋セクション) の深層水の13 - 30%を占めると推定した (流量は0.65-1.5 Sv)。今までの底層水循環像を一部描き換えることを提案するものである。大西洋セクションでの底層水は、1980年代より昇温し生成量が減少していることが示唆され (Purkey and Johnson, 2012)、子午面循環の弱化の可能性が指摘されている。加えて、ケープダンレーポリニヤ周辺での海底コアの解析から、ここでの底層水の生成量が2000年スケールで変動していることも示唆されている。以上から、全球的な海洋子午面循環やその変動を考える際にも、今後はケープダンレー底層水を考慮に入れる必要がある。

キーワード: 南極底層水, 沿岸ポリニヤ, 氷生産, 高密度陸棚水, 係留系, ケープダンレー

Keywords: Antarctic Bottom Water, coastal polynya, sea-ice production, dense shelf water, mooring, Cape Darnley

気候変動の鍵を握る南極の海 Southern Ocean: the key factor of climate change

田村 岳史^{1*}; 嶋田 啓資²; 松村 義正³; 草原 和弥³; 佐藤 健³; 野村 大樹³
TAMURA, Takeshi^{1*}; SHIMADA, Keishi²; MATSUMURA, Yoshimasa³; KUSAHARA, Kazuya³; SATO, Tatsuru³; NO-MURA, Daiki³

¹ 国立極地研究所, ² 東京海洋大学, ³ 低温科学研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Tokyo University of Marine Science and Technology, ³Institute of Low Temperature Science

海は熱・塩・酸素・CO₂・栄養塩等を膨大に溜め込み、海洋大循環によってこれらを地球全体に輸送する。海水が存在する極域の海は“気候のカナリア”であり、温暖化等の気候変動に対して敏感に応答する。南極海で形成される南極底層水はこの二項目に対して主役を演じているが、その全体像を現場観測のみから捉えるのは今なお困難である。我々は、衛星観測による海水生産量のモニタリング、現場観測による水温塩分場の高精度マッピング、高解像度数値モデルによる数値実験という異なる三つの手法から多角的に取り組み、南極底層水の生成量・沈み込み過程・底層での拡がりを数値モデルから定量的に評価する事を目標としている。本研究は、地球規模での気候システムの解明における最後にして最難関の空白域に対してチャレンジするものであり、気候変動予測に貢献をするものである。

我々のここ数年の研究によって、(1) 衛星データの蓄積とその解析技術の開発・発展により、南極底層水の形成と直接リンクする海水生成量の広範囲長期連続モニタリングが可能になった事 (Tamura et al., 2008)、(2) 数値モデルの高解像度化・高度化により、南極沿岸域の様々な物理過程を経験的なパラメータ化に頼る事なく陽に解像するシミュレーションを行い、その結果を現場観測と直接比較する事が可能となった事 (Matsumura and Hasumi, 2011)、の二つの大きな進歩があった。これらの我々の経験を踏まえ、三つの独立した研究手法、(a) 衛星データ解析による海水生産量モニタリング、(b) 現場観測データに基づく水温塩分場等の高精度マッピング、(c) 高解像度海洋モデルによる数値実験を組み合わせる事で、南極底層水の実態を定量的に把握する事が初めて可能となる。

本研究では、我々がこれまで開発・運用してきたデータ・解析手法・数値モデルを結集し、新たに南極での海洋観測に参加して必要なデータを取得し、海洋大循環の南側駆動力である南極底層水形成をもたらす一連のプロセスを詳細に調査する事により、その全貌を定量的に明らかにする事を試みている。具体的には、「南極底層水の生成量・沈み込み過程・底層での拡がりを評価する事」である。「底層水の起源となる高密度水がどこでどれだけ作られているのか?」「その高密度水はどのくらい周囲の水と混合しながら大陸斜面上を沈降していくのか?」「最終的に南極底層水が海底のどこにどの程度存在し、拡がっていくのか?」を、最新の現場・衛星観測データ及び数値モデルを駆使して、定量的に明らかにする事を目標としている。

本講演では、我々が現在進めている、(I) 人工衛星による海水生産量のマッピング、(II) 海洋観測データの高度化、(III) 棚氷-海水-海洋結合モデリング、(IV) 微小スケールモデリングについて、それぞれ現時点で得られている結果を紹介する。

キーワード: 南大洋, 南極底層水, 海水生産量, 現場海洋観測データセット, 棚氷-海水-海洋相互作用, 微小スケールモデリング

Keywords: Southern Ocean, Antarctic Bottom Water, Sea Ice Production, In-situ Ocean Observation Data Set, Ice shelf - Sea ice - Ocean Interaction, Micro-scale Modeling

南極底層水形成機構の高解像度モデリング High resolution Modeling on the Antarctic Bottom Water Formation

松村 義正^{1*}; 大島 慶一郎¹; 羽角 博康²
MATSUMURA, Yoshimasa^{1*}; OHSHIMA, Kay I.¹; HASUMI, Hiroyasu²

¹ 北海道大学 低温科学研究所, ² 東京大学 大気海洋研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

南極沿岸域で形成される南極底層水は海洋の成層構造の最下層に位置し、その生成量や水塊特性は全球規模の海洋深層循環や密度構造の維持に極めて重要な役割を担っている。しかし時空間的に密な直接観測が困難なことから南極底層水形成の実態は未だ明らかでなく、その詳細な理解は現代の海洋学・気候学の最重要課題の一つと言って良い。底層水形成においては数 10m 規模のシア不安定による水塊混合・数 km 規模の海底地形起伏・数 10km 規模のポリニヤ形成とそこでの熱・塩分フラックス、数 100km スケールの風成循環場など、様々な時空間スケールのプロセスが本質的に重要な役割を担っており、かつそれは相互に影響を及ぼしあっている。それらを単一の数値モデルで同時に扱うことは計算負荷の観点から困難であるため、底層水形成を扱った既存の数値モデリング研究は極めて理想化した設定で各プロセスの影響をそれぞれ別個に評価するものに留まっていた。

特に高密度水が沈み込む過程で周囲に存在する相対的に軽い水と混合することによる水塊変質プロセスは静水圧近似に基づく数値モデルでは表現できないため、非静力学モデルが必要となる。海洋非静力学モデルは時間刻み毎に全計算領域を対象とする 3 次元 Poisson 方程式を解く必要があるが、従来用いられていた共役勾配法による解法では計算コストが格子数に対して非線形的に増大するため、現実海洋を対象とした大規模シミュレーションは困難であった。我々は多重格子法を海洋モデルに最適化して用いることでこの問題を克服し、極めて計算効率の高い非静力学海洋モデルを開発した。これにより現実的な設定での大規模数値実験を行い、シミュレーション結果と現場観測データを直接定量的な意味で比較することが可能となりつつある。またこの非静力学海洋数値モデルにオンラインの粒子追跡法を組み込むことにより、底層水が沈み込む過程で海底のセジメントを輸送するプロセスや、海水が結氷する際に生じる微小な結晶粒子(フラジリアイス)の振舞いを陽にシミュレートする事を可能とする事も可能となった。

本講演では我々が開発している数値モデルの概要を紹介すると共に、それを用いて行っている南極底層水形成過程に関するシミュレーションの結果を、特に数 km スケールの海嶺・峡谷が底層水形成の経路に与える影響、及び斜面を降る底層水が引き起こす KH 不安定に伴う乱流混合過程に関して議論する。

キーワード: 南極底層水, 非静力学モデル

Keywords: Antarctic Bottom Water, non-hydrostatic model

南極棚氷底面融解の数値モデリング Modeling basal melting of Antarctic ice shelves

草原 和弥^{1*}; 羽角 博康²
KUSAHARA, Kazuya^{1*}; HASUMI, Hiroyasu²

¹ 北海道大学低温科学研究所, ² 東京大学大気海洋研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

海水-海洋結合モデルに棚氷コンポーネントを導入し、その数値モデルを使って、南極棚氷の底面融解について調べた。このモデルでは、現在気候下での南極棚氷底面融解量は 770-944 Gt/yr と見積もられる。南極各棚氷において、数値モデルと様々な棚氷底面融解観測結果を詳細な比較を実施した。南極棚氷の底面融解を引き起こす熱源は棚氷ごとに大きく異なることがわかった。このモデルを用いて、将来南大洋上で起こる予測されている気温上昇と西風の強化に対する感度実験を行なった。このモデルでは、南極棚氷底面融解量は気温上昇に鋭敏に応答するが、西風強化にはほとんど応答しない。気温上昇に対する底面融解量の変化は棚氷ごとに大きく異なる。気温上昇に最も鋭敏に応答したのはベリングスハウゼン海に存在する棚氷群で、次に東ウェッデル海、インド洋セクターに位置する棚氷群であった。これらの棚氷での融解量の増加は、中層水または表層水の棚氷下への流入パターンの変化に伴う熱量増加によって引き起こされる。対照的に、ロス海やウェッデル海の棚氷群では、気温上昇に対して極めて鈍感である。これらの棚氷ではたとえ気温が上昇しても、棚氷前面での海水生産がある程度あり、棚氷下に流入する水温が表層結氷水温付近に維持されるためであることがわかった。南極全体では、気温上昇に対して、棚氷底面融解量が増加する。この棚氷底面からの南大洋への淡水供給の増加は南極底層に形成される子午面循環を弱体化させる効果をもつ。

キーワード: 南極棚氷, 棚氷-海水-海洋結合モデル, 気候変動

Keywords: Antarctic ice shelves, Ice shelf-sea ice-ocean coupled model, Climate change

氷床の融解によって起こりうる南極沿岸ポリニヤの急激な変化 A possible scenario of a drastic change in Antarctic coastal polynyas associated with ice sheet loss

二橋 創平^{1*}; 大島 慶一郎²; Fraser Alexander D.²
NIHASHI, Sohey^{1*}; OHSHIMA, Kay I.²; FRASER, Alexander D.²

¹ 苫小牧工業高等専門学校 機械工学科, ² 北海道大学 低温科学研究所

¹Department of Mechanical Engineering, Tomakomai National College of Technolog, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Coastal polynyas, which are newly-forming sea-ice areas surrounded by pack ice, are formed by divergent ice motion driven by winds and/or ocean currents. Antarctic coastal polynyas are very high sea-ice production areas, because the heat insulation effect of sea ice is reduced significantly in the case of thin ice and accordingly huge heat loss to the atmosphere occurs. The resultant large amount of brine rejection leads to dense water formation. The dense water is a major source of Antarctic Bottom Water (AABW), which is a key player in the global climate system as a significant sink for heat and possibly carbon dioxide. Coastal polynyas are also sites of biological "hot spots", because of much-enhanced primary productivity.

Very recent studies have suggested that landfast sea ice, which is stationary sea ice attached to coastal features such as grounded icebergs and glacier tongues play an important role in the formation of some coastal polynyas by blocking ice advection to cause divergence. Key examples are the Cape Darnley Polynya and Mertz Polynya, both of which are major source areas of AABW.

In this study, we present the first combined circumpolar mapping of Antarctic coastal polynyas and fast ice, based on satellite observation to examine and quantify the linkage between coastal polynyas and fast ice. The map reveals that most coastal polynyas are formed on the western side of fast ice, suggesting that fast ice is an essential element for the formation of most coastal polynyas. Furthermore, we demonstrate that a drastic change in fast ice extent, which is particularly vulnerable to climate change, causes dramatic changes in associated polynyas and possibly AABW formation that can potentially contribute to further climate change.

The map presented in this study reveals that many of the coastal polynyas are formed along the East Antarctic coast where fast ice dominates. In the West Antarctic sector, it was suggested that intrusion of relatively warm Circumpolar Deep Water (CDW) onto the continental shelf causes the basal melting of ice shelves, possibly leading to acceleration of iceberg calving. Future climate change might precipitate a similar situation also in the East Antarctic sector where the location of CDW is relatively close to the continent. This possibly causes drastic changes of fast ice extent directly by melting, or indirectly by acceleration of iceberg calving. The drastic change in fast ice extent is expected to cause a dramatic change in the polynya area and sea-ice production. Further, a huge tabular iceberg can directly affect the polynya area by covering over as shown in the Ross Sea Polynyas area in 2000 and 2002; giant icebergs B-15 and C-19, calved from the Ross Ice Shelf, causing a significant reduction of the polynya area and sea-ice production. The results of this study suggest that fast ice and precise polynya processes should be addressed by next-generation models to reproduce the formation and variability of sea-ice production, dense water, and AABW properly. The mapping presented in this study would give the boundary/validation data of fast ice and sea-ice production for such models.

キーワード: 沿岸ポリニヤ, 定着氷, 南極底層水, 冰山, 氷床

Keywords: Coastal polynya, Landfast sea ice, Antarctic Bottom Water, Iceberg, Ice sheet

偏西風 VS 成層・南大洋の環境変動と炭素貯蔵 Wind-buoyancy dichotomy of the Southern Ocean carbon storage

伊藤 貴充^{1*}; 高野 陽平¹; Deutsch Curtis²
ITO, Takamitsu^{1*}; TAKANO, Yohei¹; DEUTSCH, Curtis²

¹ ジョージア工科大学地球大気科学科, ² ワシントン大学海洋学科

¹School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, ²School of Oceanography, University of Washington

We use a hierarchy of ocean climate-carbon models to investigate the future scenarios of the Southern Ocean carbon storage. Intensified and poleward-shifted westerly wind is hypothesized to enhance the upwelling of deep water and thermocline ventilation, which may be counteracted by the warming and freshening of the surface waters. We analyze the solubility and biological carbon pumps in the Southern Ocean as simulated by the Climate Model Inter-comparison Project phase 5 (CMIP-5) models. Model-model differences in the regional carbon storage are significant, O(100PgC), reflecting the organized changes in the two carbon pumps. To investigate the underlying mechanisms, we perform a suite of numerical sensitivity experiments using an ocean biogeochemistry model, where we purposefully impose (1) a global warming of sea surface temperature, (2) an intensification of freshwater forcing and (3) an increase in the Southern Ocean wind. Comparing the simulated patterns of carbon and oxygen changes, we find that the future increase in the biological carbon storage is likely due to the warming and freshening of the surface water dominating over the increasing wind.

ケイ藻ケイ酸殻の微量元素と南太洋のセディメントトラップ観測 Incorporation of trace elements by diatom frustules: Significance of sediment-trap observation in the Southern Ocean

赤木 右^{1*}
AKAGI, Tasuku^{1*}

¹九州大学大学院理学研究院
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

近年、演者はセディメントトラップ試料の希土類元素の研究を通して、ケイ藻ケイ酸殻には、ケイ酸イオンの他に、①ケイ酸-金属錯体、②アルミノケイ酸塩をも吸収されることを明らかにした。そして、ケイ藻が希土類元素の海洋物質循環、アルミノケイ酸塩の可溶化に影響を与えている可能性を指摘した (Akagi, 2013; Akagi et al., in press)。そして、これらはネオジムの同位体比の観測結果と整合的であり (Akagi et al., in press)、ほぼ証明されたと考えている。世界の研究者に新たな知識として受け入れられるためには、ベーリング海は特殊海域と見なされる傾向があり、南太洋での研究が必要である。

①のケイ藻ケイ酸殻が希土類元素を吸収するというアイデアは、希土類元素のケイ酸錯体をケイ藻が摂取する理論が海洋表面の希土類元素濃度を良く説明することから生まれた (Akagi, 2013)。この理論は、ベーリング海の調査では、②のケイ藻が同時に吸収するアルミノケイ酸塩粒子によって軽希土類元素のデータが乱され、その影響の少ない重希土類元素に適用が限られてきた。この理論は南太洋のように陸起源物質の混入が少ない理想的な海域で最もきれいに証明されるだろうと期待している。理論の完成には、南太洋のセディメントトラップ調査が求められる。

希土類元素の中のネオジムの同位体比は氷期-間氷期の変動と連動していることを考えると、ケイ藻は何らかの方法で海洋ネオジムの同位体比に影響を与えている可能性がある。この“何らかの方法”を明らかにすることは、ネオジムの同位体比変動を正しく捉えることに直結し、氷期-間氷期変動研究において最も中心的な意義と考えている。

ところで、海洋の微量元素化学においてケイ藻は全く考慮されていない。海洋において、2価の金属元素の一部と3価の金属元素のほぼ全てはケイ酸錯体で存在することが予想され、ケイ藻ケイ酸殻に効率的に吸収される可能性が高いと考えられる。南太洋においてケイ藻の役割を正しく理解し、他の元素の循環への影響を考察することも、研究の大きな意義である。

Akagi, T., Fu F.-F., Hongo, Y. & Takahashi, K. (2011) Composition of Rare Earth Elements in Settling Particles Collected in the Highly Productive North Pacific Ocean and Bering Sea: Implications for Siliceous-Matter Dissolution Kinetics and Formation of Two REE-Enriched Phases. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 75, 4857-4876.

Akagi, T. Rare earth element (REE)-silicic acid complexes in seawater to explain the incorporation of REEs in opal and the “leftover” REEs in surface water. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 113, 174-192 (2013).

Akagi T., Yasuda S., Asahara Y., Tanimizu M, Emoto M. & Takahashi K. Diatoms spread a high ϵ Nd-signature in the Oceans. *Geochem. Jour.* in press.

キーワード: ケイ藻ケイ酸殻, 微量元素, セディメントトラップ, 南太洋
Keywords: diatom frustules, trace elements, sediment trap, Southern Ocean

最終氷期の南大洋における千年スケールの海氷拡大イベント Millennial-scale sea ice expansion in the glacial Southern Ocean

池原 実^{1*}; 香月 興太²; 山根 雅子³; 横山 祐典⁴

IKEHARA, Minoru^{1*}; KATSUKI, Kota²; YAMANE, Masako³; YOKOYAMA, Yusuke⁴

¹ 高知大学海洋コア総合研究センター, ² 韓国地質資源研究院, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 東京大学大気海洋研究所

¹Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM),

³JAMSTEC, ⁴Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

The Southern Ocean has played an important role in the evolution of the global climate system. Area of sea ice shows a large seasonal variation in the Southern Ocean. Sea ice coverage on sea surface strongly affects the climate of the Southern Hemisphere through its impacts on the energy and gas budget, on the atmospheric circulation, on the hydrological cycle, and on the biological productivity. In this study, we have conducted fundamental analyses of ice-rafted debris (IRD) and diatom assemblage to reveal a rapid change of sea ice distribution in the glacial Southern Ocean. A piston core COR-1bPC was collected from the Conrad Rise, Indian sector of the Southern Ocean. Core site is located in the Polar Frontal Zone. Sediments are composed of diatom ooze. Age model of COR-1bPC was established by ¹⁴C dating and oxygen isotope stratigraphy of planktic foraminifera. Records of IRD concentration suggest millennial-scale pulses of IRD delivery during the last glacial period. The depositions of rock-fragment IRD excluding volcanic glass and pumice were associated with increasing of sea-ice diatoms, suggesting that the millennial-scale events of cooling and sea-ice expansion were occurred in the glacial South Indian Ocean. Similar episodic IRD depositions were identified in the South Atlantic during the last glacial period (Kanfoush et al., 2000). However, Nielsen et al. (2007) proposed that the tephra-rich grains in the South Atlantic IRD events (SA-IRD events) were mainly derived from South Sandwich Island volcanic arc, and concluded that sea-ice was the dominant ice rafting transport of such IRD grains. Preliminary provenance study of IRD grains suggest that the source of IRD in the South Indian Ocean was also volcanic arc in the South Atlantic, based on chemical compositions of rock-fragment IRD grains. Thus prominent IRD layers in the glacial South Indian Ocean correlate the SA-IRD event, suggesting episodes of sea ice expansion and cooling in the Atlantic and Indian sectors of the Southern Ocean.

キーワード: 南大洋, 海氷, 千年スケール変動, ダスト

Keywords: Southern Ocean, sea ice, millennial-scale, dust

南極地質掘削「ANDRILL Coulman High Project」の紹介と日本の貢献
The ANDRILL Coulman High Project: Japanese contribution to the next phase of the Antarctic Geological Drilling

菅沼 悠介^{1*}; 池原 実²; 須藤 斎³; 野木 義史¹
SUGANUMA, Yusuke^{1*}; IKEHARA, Minoru²; SUTO, Itsuki³; NOGI, Yoshifumi¹

¹ 国立極地研究所, ² 高知大学海洋コア研究センター, ³ 名古屋大学
¹National Institute of Polar Research, ²Kochi Core Center, ³Nagoya University

The Coulman High Project (CHP) proposes to recover two, high-quality, continuous drill-cores by drilling into Paleogene to lowest Miocene strata beneath the Ross Ice Shelf on the Coulman High in the Ross Embayment, Antarctica. The overarching objective is to establish a history of Cenozoic climate, tectonic and glacial changes in an ice-proximal setting to determine the sensitivity of Antarctica's ice sheets to a range of climatic and tectonic forcings. The sedimentary archives to be recovered in these two ~800-m drill holes will offer a window into the range of environments, ecosystems and tectonic events in the Ross Sea region as it stepped from the warm, high-CO₂ Greenhouse world of the Eocene into the lower-CO₂ and highly variable Icehouse climate of the Oligocene and early Miocene. Antarctica was the keystone in this global climate transition and hosted the growth of ice sheets that started major cryosphere influence on global systems. The sensitivity of the climate system to elevated levels of greenhouse gases, the strength of polar amplification, and the behavior of the AIS in a world warmer than today remain fundamental questions to be addressed by CHP's integrated data-climate modeling studies. These seek to reduce the large uncertainties in predictions of future ice-sheet dynamics and sea level, in part by testing models with ancient scenarios under conditions warmer than today. To improve predictions of long-term future climate and sea level, it is imperative to obtain geological records of past polar climates and ice sheets from time intervals when atmospheric CO₂ was two to four times higher than present levels. Modern observations and instrumental records provide details regarding current and short-term change, but high-fidelity climate records that span previous periods characterized by higher-than-present CO₂ are only available from the Earth's geological records.

The Japanese ANDRILL consortium has decided to join the CHP. In this talk, we will introduce the scientific backgrounds, logistics, and schedule of this drilling project.

ジオパークに関する内外の状況と今後の課題 Global circumstance on Geopark

渡辺 真人^{1*}
WATANABE, Mahito^{1*}

¹ 産業技術総合研究所地質標本館

¹ Geological Survey of Japan,

日本国内、また世界の各国でもジオパークの理念が広く知られるようになり、研究者、地域住民、行政職員、中央政府職員、地域貢献を考える企業の人々など様々なタイプの人々がそれぞれの立場からジオパークに注目している。それぞれの思惑は異なり、また多くの関係者は自分の立場を中心にジオパークをとらえており、ジオパークの理念について様々な立場からの議論して理念を再構築して行く時期に来ている。

こうした状況の中で、世界ジオパークネットワークはジオパークのユネスコ正式イニシアチブ化（あるいは正式プログラム化）に向けてユネスコと議論を続けている。ユネスコの正式イニシアチブないし正式プログラムとなった場合、これまでのジオパーク関係者自らがジオパークを評価・審査する、Peer review 的な方法に変化を迫られる可能性がある。また、ユネスコ傘下でジオパークを推進する以上、これまで専門家不在、ノウハウ不足、資金不足など様々な理由でジオパークを実現できなかった国への支援がジオパークコミュニティに求められることとなる。ユネスコでのジオパークに関する議論は、ユネスコ生態地球科学部が事務局となり、ユネスコ加盟国のユネスコ代表部科学担当が議論の中心的な役割を果たし、世界ジオパークネットワークのメンバーが加わって行われる。この中で、これまでのジオパークの活動に対する一種の外部評価が行われつつ、今後の体制作りが議論されている。

一方国内では、ジオパークの科学担当者や運営担当者による現地審査が一昨年から動き出し、昨年からは現地審査員グループとJGC委員によるジオパークの審査方針に関する議論も活発となってきた。ジオパークのpeer review がようやく始まった段階と言える。その中で、これまでのジオパークの推進体制、日本のジオパークの進むべき方向への議論も併せて活発となってきた。

以上のようなジオパークの国内外の動きについて最新の情報を元に報告するとともに、日本国内のジオパーク関係者で議論すべき課題について提起したい。

キーワード: ジオパーク, ユネスコ, 世界ジオパークネットワーク, 日本ジオパークネットワーク, 日本ジオパーク委員会

Keywords: Geopark, UNESCO, Global Geoparks Network, Japanese Geoparks Network, Japan Geopark Committee

日本のジオパークにおける「地球科学」—複数領域を横断するジオストーリーの重要性—
Geoscience in Japanese Geoparks: Significance of Multidisciplinary and Interdisciplinary Geostories

尾方 隆幸^{1*}
OGATA, Takayuki^{1*}

¹ 琉球大学教育学部

¹Faculty of Education, University of the Ryukyus

ジオパークは、地球科学のすべての領域を対象にするものであり、とりわけ領域どうしのつながりを重視すべきである。実際、日本地球惑星科学連合大会でも、ジオパークに関する議論は「パブリックセッション」および「領域外・複数領域セッション」で行われている。日本地球惑星科学連合の場合、学術セッションを「宇宙惑星科学」「大気水圏科学」「地球人間圏科学」「固体地球科学」「地球生命科学」の5つの領域に区分している。これらの領域を基準に、すべての日本ジオパークのウェブサイトを定量的・定性的に調査したところ、取り上げられているテーマが特定の領域に偏っており、複数領域を横断するジオストーリーに乏しい傾向が認められた。なかでも、自然地理学に関する内容が十分に扱われていないジオパークが多い。大気圏・水圏・地圏のさまざまな現象について、それらの相互作用に着目しながらシームレスに自然環境の実態を解明する自然地理学は、ジオパークに欠かせない学問領域である。今後、すべての日本ジオパークで自然地理学的な視点が重視されることを期待したい。

キーワード: ジオパーク, ジオストーリー, 地球科学, 自然地理学, 日本ジオパークネットワーク, 日本地球惑星科学連合
Keywords: geoparks, geostory, geoscience, physical geography, Japanese Geoparks Network, Japan Geoscience Union

ジオパーク利用者へのリスク情報の提供 Provision of the Risk Information for Geopark guests in Japan

小森 次郎^{1*}
KOMORI, Jiro^{1*}

¹ 帝京平成大学現代ライフ学部
¹Teikyo Heisei University

ジオパーク利用者にとって、ジオサイトやジオポイントでのリスク情報とその的確な提供は重要である。日本の山岳遭難事故の統計を参考に、ジオパークの利用者が被りうるリスクを検討した。その結果、転落、滑落、転倒、動物との遭遇、落石が主な危険要素として考えられた。ジオパークに関する出版物を見たところ、これらのリスクを注意喚起したり、注目・議論したものは見つけられなかった。また、各ジオパークの公式 Web サイトを調べたところ、2/3 のジオパークにはリスクや安全対策に関する記述は見当たらなかった。残りの 1/3 のサイトでも、その記述は簡単なものであった。利用者の安全を考えると今後はこれらのリスク情報がジオパークの魅力などと一緒に効果的に公開されていく必要がある。

キーワード: ジオサイト, ジオツアー, 山岳遭難事故, 注意喚起, 説明責任, 公式ホームページ
Keywords: geo-site, geo-tour, alpine accident, alert, accountability, official website

日本のジオパークにおけるガバナンスについて Democratic governance of the Japanese geopark movement

目代 邦康^{1*}
MOKUDAI, Kuniyasu^{1*}

¹ 公益財団法人自然保護助成基金

¹ Pro Natura Foundation Japan

日本のジオパークに関わりのある組織は、各地のジオパークのネットワークである日本ジオパークネットワーク (JGN: Japanese Geoparks Network) と、個々のジオパークが日本ジオパークネットワークに加盟するときの審査と4年ごとの再審査を担当する日本ジオパーク委員会 (JGC: Japan Geopark Committee) がある。この審査される側とする側という関係性の正当性について、これまで十分議論されていない。そのような状況を改善するためのボトムアップ型のガバナンスの仕組みを提案する。

キーワード: 日本ジオパークネットワーク, 日本ジオパーク委員会, 学会, サイエンスコミュニケーション, ボトムアップ
Keywords: Japanese Geoparks Network, Japan Geopark Committee, academic society, science communication, bottom-up

トレジャーストーン—バーチャルジオツアーを活用した岩石標本の作製 Program of Treasure Stones : Making an original rock specimen using a virtual geotour -

大野 希一^{1*}
OHNO, Marekazu^{1*}

¹ 島原半島ジオパーク事務局

¹Unzen Volcanic Area Geopark Promotion Office

子供は石が大好きである。しかし子供たちになぜ石が好きかと聞いても、明確な答えは返ってこない。それは、石の持つ時空間スケールが人間のそれと大きくかけ離れているため、石の成因はもちろん、自らと石との関わりを経験に基づいて推定することが困難であるためである。よって石を知り、本当の意味で石を好きになってもらうためには、野外に出向いて石に関する一般的な知識を学び、そこから石と自分自身との関わりを体験するプロセスが必要となる。しかし、石の見学を目的に野外に出向く機会は決して多くはなく、またその行為自体が商業的に成立していないからこそ、ジオパークという仕組みを用いた地域振興が頓挫している、という現状がある。現地に行かないのであれば、現地在室内に持ってきて、そこで石と人との関わりを説明すればよい。そこで演者は、バーチャルジオツアーの手法を用いて、石と人との関わりを疑似体験しながら、室内で岩石標本を制作するプログラム「トレジャーストーン」を開発した。

バーチャルジオツアーとは、室内にいるにも関わらず、実際にジオサイトを訪れたような疑似体験を聴衆にさせるプレゼンテーションスタイルのことで、日本科学未来館で毎年行われている科学の祭典「サイエンス・アゴラ 2009」の場で演者が初めて実施した。バーチャルジオツアーはその後、日本ジオパーク大会や地球惑星科学連合同大会で実施されたほか、最近では観光情報説明会でのプレゼンテーションや、ガイド養成講座における認定試験、さらには大学のゼミでも実施されるなど、さまざまなスタイルで国内に広まりつつある。このバーチャルジオツアーと岩石標本の作製を組み合わせるのが、今回紹介するプログラムである。

プログラムの実施に当たって最低限必要なものは、ジオサイトの写真を掲載したプレゼンテーション資料、ジオサイトで採取できる岩石試料、そして石を貼りつける専用の台紙である。標本作りに参加するのは、小学校低学年を中心としたこども立ちであることが多いため、プログラム全体の所要時間を30分程度に設定し、紹介するジオサイトの数は5カ所、貼りつける石の数は10個程度に抑えた。

このプログラムを過去2年に渡って「サイエンス・アゴラ」で実施した。標本作りに参加できるの参加定員は1回につき8人までとした。バーチャルジオツアーの中では、露頭や石の説明だけでなく、石と人との関わりや、ジオサイトの歴史的背景、郷土の食べ物なども紹介した。参加者はバーチャルジオツアー形式でジオサイトの説明を聞いた後、同定済みの岩石試料の中から好きな形・大きさの石を選んで接着剤で台紙に貼りつける、という行為を繰り返した。また、多様な石が採取されるジオサイトについては、お気に入りの石3種類を参加者に選んでもらった。2012年は下仁田ジオパークと合同で実施し、2日間で151人が参加（関谷，2013 JpGU2013 Meeting Abstract）した。また2013年は島原半島ジオパークが単独でブースを構え（下仁田ジオパークと銚子ジオパークが別ブースで実施）、129名が参加した。これらのイベントはおおむね好評で、2012年には「サイエンス・アゴラ賞」を、2013年には参加者数を制限したにもかかわらず、来場者人気投票の5位にランクインした。トレジャーストーンは、2013年12月に地球環境パートナーシッププラザで行った「ジオパークワンダーランド展」でも実施し、サイエンス・アゴラでのリピーター3組を含め、2日間で58名が参加した。

バーチャルジオツアー付きの岩石標本制作は、機材や場所が整えば、場所を問わず実施できる。主な参加者が子供であることから、岩石標本作りのブースには多くの場合、家族連れで参加することが多い。これは様々な年齢層にジオパークの見どころをPRするチャンスといえる。岩石標本作りを通して、参加者がジオパークに興味を持ってもらえれば、本当に現地に行って岩石を採取するツアーの集客にもつながることが予想されることから、2014年度は、さらに複数のジオパークがサイエンス・アゴラにて岩石標本制作に参加してほしい。

キーワード: 島原半島世界ジオパーク, バーチャルジオツアー, 岩石標本, サイエンス・アゴラ
Keywords: Unzen Volcanic Area Global Geopark, virtual geotour, rock specimen, Science Agora

地質図をモチーフにした布製品の開発—ジオパークや博物館から地質の話を持ち帰るために
Development of the textile with a geological map motif-To carry back geo-stories from geopark or natural history museum

斎藤 眞^{1*}
SAITO, Makoto^{1*}

¹産総研地質調査総合センター
¹Geological Survey of Japan, AIST

2013年9月、20万分の1日本シームレス地質図をモチーフにした布製品が発売された。この製品は、20万分の1日本シームレス地質図のデジタルデータを用いて、凡例ごとにGISソフト上で色の変更を行って布に印刷し、それを元に製品を製造したものである。地質図をそのまま製品に使うのではなく、1)地質図を「地球のデザイン」として利用して優れた商品を作る、2)博物館やジオパークから地質の話を持ち帰ることのできるものにする、というコンセプトで、地質の研究者とデザイナー・GIS技術者が協力して作成した。

斎藤は以前に化石チョコレートを企業と製品化したことがあった(利光ほか,2009)。その際、開発に携わったデザイナーから地質図はカラフルで、自然の作り出したデザインであるという感想を聞き、当時、プロトタイプとして作成していた布製品の開発を進め、成果を2010年?2011年にかけて地質ニュースに連載した(斎藤,2010など)。それをもとに、2013年に東京カートグラフィック株式会社が商品化した。

化石チョコレートは、本物のレプリカとして観察に耐えうるいわば「本物」として製作し、博物館やジオパークから地質や化石の話を持ち帰ってほしいというコンセプトで製作した。また、ジオパークでは本物の化石の「消費」は不可能なので、地質や化石の話を持ち帰るための適切な商品になると考えた。今回の布製品でも、地質の話を持ち帰ってほしいというコンセプトは共通であるが、より学術(お勉強)から離れたゾーンをねらっている。

今回作成した布製品は、日光地域を中心とした地域の「20万分の1日本シームレス地質図」を元に作成された。製品はハンカチ、ポーチ、ミニトートバッグの3種で、それぞれ紫系、緑系、ピンク系があり、地質図を印刷した生地からの切り抜く場所によって、ポーチは10地域、ミニトートバッグは3地域の種類があり、色も考慮すると、ハンカチ3種、ポーチ30種、ミニトートバッグ9種と多数のデザインの製品を作ることができた。20万分の1日本シームレス地質図は全国一律の凡例で作られたデジタル地質図のため、任意の地域の地質図を切り出して使うことができるため、地域ごとに違うものが作成できる。このため各ジオパークで作成すれば、その地域でしか手に入らない、ジオパークの話を持ち帰ることのできる製品ができることを示している。

このような製品を作成することを考えた時に、地質図をTシャツなどにそのままプリントすることは、現在では比較的容易である。しかし、それでは商品として魅力のあるものを作るのは難しい。企画担当者、デザイナー、GIS技術者、地質の専門家などが組んで、商品として魅力あるもの作ることによって、手に入れたくなる人が増え、商品に乗った地質図が「地質図はこんな感じ」という柔らかいニュアンスで、一般の人の身近なところに届けられる。

今後、地域を変えて作成する計画をすすめており、期待して頂きたい。

キーワード: 布製品, 地質図, ジオパーク, 自然史博物館, GIS, 地理情報システム

Keywords: textile, geological map, geopark, natural history museum, GIS, geographical Information system

粉砂糖, ココアとクッキングペーパーを使ったジオパーク用付加体実験 The accretionary prism experiment for geoparks using powdered sugar, cocoa, and a cooking paper

林 信太郎^{1*}
HAYASHI, Shintaro^{1*}

¹ 秋田大学・教育文化学部
¹ Fac. of Edu. and Human Studies, Akita Univ.

児童・生徒やジオパークのツーリストが、実感を持って付加体を理解することを目的として、付加体に見られるデュープレックス構造を再現するアナログ実験を開発した。本実験は簡便であり、粉砂糖, ココア, キッチンペーパーなどの身近な材料だけを使用している。

付加体は日本の骨格をつくり、日本列島には普遍的な存在であり、北は白滝ジオパークから南は本部半島ジオパーク構想まで、様々なジオパークに出現する。しかしながら、その形成過程を言葉で説明する事はむずかしい。特に、本研究で対象とする児童・生徒やジオパークのツーリストには、実感を持って現象を理解することの他に、実験そのものの注目度も重要であり、「楽しさ」を演出する事も考慮して開発を行った。

これまで提案された付加体実験は、砂箱実験(山田, 2006, 兼田ほか, 2004)や、岡本(1999, 2000)の小麦粉断層断層実験を応用したものがあつた。今回は、玄武岩, 石灰岩, チャートなど海洋地殻の一部とその上の深海堆積物がデュープレックス構造をつくりながら付加する過程(木村, 2002)をアナログ実験で再現する事を目標とした。海洋地殻の上部の枕状溶岩層下部にできる強度の弱い部分を、摩擦係数の低いオープンペーパー(クッキングペーパー)とココアとの境界面で表現した。また、粉砂糖部分は強度が弱く上面に断層が形成されやすい。クッキングペーパーは、紙にテフロンあるいはシリコンをコーティングしたものであり、電子レンジ調理やフライパンによる調理に用いられ、スーパーマーケットで安価に入手できる。摩擦係数はたいへん低く、食材が貼り付きにくい。

<実験の方法>

用意するもの: 粉砂糖, 純ココア, クリープなどの粉末クリーム, クッキングペーパー, 茶こし, スプーン, 紙コップ, キッチン用ラップ, 紙粘土

- 1) 紙粘土をラップで包み、「大陸」をつくる。
- 2) 40cmほどにカットしたクッキングペーパーを机上に置く。
- 3) オープンペーパー上にココアの層をつくる。茶こしでココアを落とし、2mmほどの薄い層をつくる。クッキングペーパーが沈み込む海洋地殻の岩脈群から下部の層をあらわす。ココアは最上部の枕状溶岩のさらに上部をあらわす。
- 4) ココアの層の上に、茶こしで粉砂糖をふりかける。2mmの薄い層をつくる。
- 5) 「大陸」をクッキングペーパーの端におく。
- 6) ミルクを大陸及びココアと粉砂糖の層の大陸側にふりかける。これは陸源の堆積物を表現している。
- 7) 「大陸」を固定したまま、クッキングペーパーをひく。これはもちろんプレートの沈み込みを表現している。
- 8) 大陸にココアや粉砂糖が付加する。ココアと粉砂糖の層がセットになり、次々と底付けされて行く。
- 9) 最終的にココア・粉砂糖の層序が数回繰り返すデュープレックス構造様のものが形成される。
- 10) ココア, 粉砂糖, ミルクをまとめて紙コップにいれお湯を注ぎ処理する。使用する材料の量をココアとして美味になるようにあらかじめ調整しておくが良い。

今回の実験は、本部半島ジオパークで行われたサイエンス・カフェで実践した。今後、学校教育の現場でも使用し、その効果を検証したい。

キーワード: ジオパーク, 付加体, アナログ実験, キッチン実験
Keywords: geopark, accretionary prism, analog experiment, kitchen experiment

白山手取川ジオパークにおける教育活動の試み Approach of Educational Activities in Hakusan Tedorigawa Geopark

餅田 修一^{1*}; 廣瀬 修¹; 日比野 剛¹
MOCHIDA, Shuichi^{1*}; HIROSE, Osamu¹; HIBINO, Tsuyoshi¹

¹ 白山手取川ジオパーク推進協議会

¹Hakusan Tedorigawa Geopark Promotion Council

2011年に日本ジオパークに認定された白山手取川ジオパークは、手取川水系でみられる水の旅(水循環)を一般的にもわかりやすいメインテーマとして設定している。白山手取川地域には、その水の旅に関連して、さまざまな地球科学的現象、自然、人の暮らし、文化など(例えば、化石、土石流、扇状地、醸造業、俳句など)が存在していることがジオパークの見どころとなっている。

白山手取川ジオパークでは、このような見どころを、当初より教育に活かすよう活動を進めてきた。次の世代を担う子どもたちへの普及的な意味もこめて、特に学校教育においてジオパークを取り入れていくことを推進し、地域の持続的な活動にもつながることを意識している。

また、近年の学校教育の現場では、地球科学に関する分野などの学習において、フィールドで学ぶためのノウハウを持たない教員が増えてきていると言われているが、平成20年3月告示の新学習指導要領では、実際の自然や日常生活の中での指導が必要であることが前面に出されている。ジオパークにおける学習はこれからの教育に合致すると考えられるが、新たな学習を研究する時間の少ない教員の補助が必要になると思われる。そこで、白山手取川ジオパークでは、退職理科教員によるジオパーク学習支援員グループを作り教育活動を支援している。また、教育プログラムとして完成させていくことで、現職教員のみでもジオパーク的な指導ができることを目指して活動を進めている。

キーワード: 白山手取川ジオパーク, 教育活動, 学校教育

Keywords: Hakusan Tedorigawa Geopark, educational activity, school education

静岡におけるジオをテーマにした教材及び授業の紹介と高校生の防災認知について Introduction of teaching and materials the theme of Geo, and Disaster awareness of high school students in Shizuoka

津田 和英^{1*}; 村越 真²
KAZUhide, Tsuda^{1*}; MURAKOSHI, Shin²

¹NPO 法人ホールアース研究所, ²静岡大学教育学部
¹NPO Whole Earth Institute, ²Faculty of Education, Shizuoka University

[はじめに]

科学と環境教育連携プロジェクトは、研究者・自然ガイド・学校教員などが連携して、自然科学をテーマにした教育コンテンツを開発した(津田他, 2013)。開発された12種類の地学教材とモデル授業は、伊豆半島ジオパーク人材育成事業に於いて、3年間で述べ150人を超えるジオガイドに対して実施し、静岡県の大地的特徴を捉えるという狙いについて、ほぼ全ての受講者より高い評価を得た。

本プロジェクトで開発されたモデル授業「静岡の大地の成り立ち」における事前と事後の防災アンケートの統計研究を、「平成24~25年度ふじのくに防災フェロー養成講座」の修了研修に於いて試みた。

[方法]

対象は静岡県内の2校の高校1年生約320名とし、1つは伊豆半島ジオパーク内の学校でもう1つはジオパークのエリア外の学校で実施した。

手法としては、①インタープリターによる出前授業、②フランクなコミュニケーション、③工夫されたハンズオン教材、④理解を深める小道具(サブ教材)、⑤学習ワークシートを用いた。

具体的に、授業では主に3つの教材を使用して、①導入では静岡県の4つのエリアの石をグループごとに観察及び実験、指定された年代クイズを選択し、②展開に於いて各岩石のエリアを含む静岡県の地質区分によるパズルで年代順序を捉え、③まとめでは、その時代にどのような地学的なイベントがあったかを静岡の地史の紙芝居(木製パネル)で静岡の大地の成り立ちを確認した。

[成果]

事前アンケートでは個別の理解度を知らするために、「地震」、「プレート」、「過去の南海トラフ地震」、「富士山噴火」、「県内の活火山」、「県内の岩石」、「ジオパーク」の項目を質問した。ジオパークエリア外の高校ではジオパークについてのほとんど認知されていない事がわかった。

授業後の事後アンケートに於いては、期待度・好奇心の質問項目(授業への興味、野外での活動等)に対する回答が事前に比べて大幅に向上した。理由として工夫された教材による体験(60%)と授業者であるインタープリターへの興味(22%)が多くを占め、授業が地学、ジオ(大地)についての関心を高める結果となった。

発表ではSPSS統計解析により、データの詳細な分析結果を提示する予定である。

キーワード: 地学教材, ジオパーク人材育成, 高校への出前授業, 防災認知

Keywords: Geoscience materials, Geopark guides training programs, Visiting lectures in high schools, Disaster awareness

ジオパークによる学校教育の進展 —糸魚川世界ジオパークの例— Progress of school education through Geopark Studies in the Itoigawa Global Geopark

竹之内 耕^{1*}; 宮島 宏¹; 茨木 洋介¹; 鳥越 寛子²; ブラウン セオドア²; 渡辺 成剛²; 松縄 隆之¹; 親跡 久樹¹; 藤田 英志³; 市川 哲³

TAKENOUCHI, Ko^{1*}; MIYAJIMA, Hiroshi¹; IBARAKI, Yousuke¹; TORIGOE, Hiroko²; BROWN, Theodore²; WATANABE, Seigou²; MATSUNAWA, Takayuki¹; CHIKAATO, Hisaki¹; FUJITA, Eishi³; ICHIKAWA, Satoshi³

¹ 糸魚川市教育委員会, ² 糸魚川市ジオパーク推進室, ³ 糸魚川市理科教育センター

¹Itoigawa City Board of Education, ²Itoigawa Geopark Promotion Office, ³Itoigawa Science Education Center

ジオパークは、地球と人との関係をさぐる学習公園であると同時に、持続可能な地域社会づくりの運動でもある。教育は、持続可能な社会を担う人材を育てる仕組みとしてジオパークにおいて重要視されている。糸魚川は、2009年、世界ジオパーク認定を契機に、持続可能な地域社会づくりに着手した。糸魚川市教育委員会は、教育におけるジオパークの役割をいち早く認識して、義務教育課程（小学校、中学校）にジオパーク学習を導入した。その最初は、2009年に策定された、0歳から18歳までの子ども一貫教育という新しい方針であり、その中でジオパーク学習が明確に位置づけられた。以降、教育委員会は、以下に述べるようなジオパーク学習への支援を行い、いくつかの成果が得られている。(1) 理科教育センターのスタッフが増員され、また、教員組織である糸魚川市教育研究会にジオパーク部が設置された。(2) これらの組織や糸魚川ジオパーク協議会によって教員向けの研修会（室内・野外）が開催され、授業への準備対応や応用例が研究されている。(3) 小学校、中学校、高校が参加したジオパーク学習の発表会が行われ、学習方法や成果の交流が行われている。(4) ジオパーク副読本4冊（小学3-4年理科、小学5-6年理科、小学3年社会科、小4中3総合学習）が作成配布され、地球科学と歴史、文化との関連が示された学習素材が提供されている。副読本の作成にあたっては、教員、専門家、市民などが参加したそれぞれの編集委員会がつくられた。(5) ジオサイトに教育用サイトがつくられ、野外解説板や観察を支援するリーフレットが準備された。これは小学6年生と中学1年生が授業で使う地層観察用のものである。(6) 防災学習にジオパーク学習が利用され、とくに根知小学校の取り組みが、2012年に防災教育大賞（内閣府主催）を、2013年に「小学生の部・ぼうさい大賞」（兵庫県等主催）をそれぞれ受賞した。(7) 糸魚川の大地や海で育った食材を使った特別な料理を食べ、ジオパークの大地の恵みと食との関係を知るジオ給食の日が設けられた。(8) 糸魚川ジオパークと香港ジオパークとの姉妹ジオパーク協定によって、新たな国際教育プログラムとして両者の小学生と中学生の交流が始まった。

キーワード: ジオパーク, 学校教育, 糸魚川

Keywords: geopark, school education, Itoigawa

山陰海岸ジオパークにおけるガイドのスキルアップのための継続教育 (GEO-CPD) CPD program for improvement of guide skill in the San-in Kaigan Geopark

先山 徹^{1*}; 松原 典孝¹
SAKIYAMA, Tohru^{1*}; MATSUBARA, Noritaka¹

¹ 兵庫県立大学大学院地域資源マネジメント研究科

¹ Graduate School of Management of Regional Resources, University of Hyogo

山陰海岸ジオパークは広範囲にわたるジオパークであり、約30のガイドグループが活動している。それらのグループに所属するメンバーのうち、以下の養成講座を受けた人たちがジオパークのガイドとして認定される。

- (1) ジオパークの理念、世界ジオパークと日本ジオパーク、山陰海岸ジオパークの概要。
- (2) ガイド対象となる個別のジオサイトについての地質・地形・生物・歴史・文化など。
- (3) ガイド手法とマナー。
- (4) 自然保護と関連する法律。
- (5) リスクマネジメントと保険。

試験がおこなわれないなど、公認ガイド認定のための基準は必ずしも高くはないが、認定は3年ごとに更新され、その間のスキルアップ重視している。そのため3年間のガイド実績とセミナー等への参加が課せられる。

しかしながら山陰海岸ジオパークは広範囲で担当するジオサイトも多様であるため、ジオパーク推進協議会のみがすべての公認ガイドに同レベルの学習プログラムを提供することは難しい。一方、広範なジオパークで多くの市町で構成されるため、山陰海岸には博物館や公民館など多くの学習施設が存在する。それらの多くはジオパークの活動とは無関係に独自の学習プログラムを実施しているのが現状である。しかしながらそれらのメニューにはジオパークガイドのスキルアップに深くかかわるものも存在している。したがって、山陰海岸ではガイドのスキルアップを主目的とした継続教育 (GEO-CPD) を導入することとした。

GEO-CPD は以下のように進められる。

(1) 事務局の要請に応じ、各施設の予定する学習プログラムのうちガイドスキルアップに有効と考えられるものを GEO-CPD 講座として広報する。

(2) 各ガイドはそれらを受講することで、CPD ポイントを1ポイント与えられる。

(3) 3年後にそれまでに得たポイントが15点以上になったものが、公認ガイドとして再任される。

この CPD ポイントには各施設によるセミナーだけでなく、山陰海岸内で開催されるフェスティバル、キャラバン、シンポジウム等のアウトリーチプログラムへの参画、GGN・APGN・JGNの大会や学会への参加・発表なども加えられる。そして GEO-CPD の運営にはジオパーク推進協議会事務局員に大学教員や経験のあるガイドが加わったグループがおこなう。

この GEO-CPD システムを導入し、生涯学習の一環としてスキルアップを実施することで、山陰海岸ジオパークにとって以下の効果が得られると考えられる。

- (1) ガイドのスキルアップ講座を確保し、多数のガイドに対応することができる。
- (2) 生涯学習の一環として実施することで、ガイドと一般参加者との交流ができる。
- (3) 生涯学習の参加者がガイドへの興味を深めることができる。
- (4) ジオパーク地域内の生涯学習をより活発にすることができる。

キーワード: ジオパーク, 山陰海岸, 継続教育, 生涯教育

Keywords: geopark, San'in Kaigan, continuous professional development, lifelong education

自然状態が回復しつつある鳥取砂丘海岸 Restoration of the coastal geo-environment along Tottori Sand Dunes

小玉 芳敬^{1*}
KODAMA, Yoshinori^{1*}

¹ 鳥取大学 地域学部
¹Fac. Regional Sciences, Tottori-Univ.

はじめに

鳥取砂丘が1980年代から抱える課題に「草原化」と「海岸侵食」があり、それぞれ除草やサンドリサイクルなどの対策がとられてきた。本発表では、砂丘の後背地にあたる千代川流域に注目し、流砂系の観点から両課題の原因を探った結果を報告する。

砂を断続的に流す千代川

1998年と2004年、千代川では久々に大規模な出水が発生し、川原が砂で満ちあふれ、砂礫が活発に移動した。礫集団の動きを追跡調査しつづけた結果、粒径の混合効果の役割を再認識した。つまり礫集団の動きは、1998年の大規模出水後4-5km流下したが、数年後には移動を停止した。そして再び2004年の大規模出水で流下したが、数年後には移動を停止した。大規模出水時には河原が砂であふれ、その数年後には砂が流亡し河原が礫がちになり、礫集団の移動が停止した。そして河原が草本類で被覆された。

沿岸砂州の規模変遷

鳥取砂丘の浅海底に発達する沿岸砂州の規模を、5年おきに撮影された空中写真で調べた結果、1968年～1998年にかけては縮小傾向にあった沿岸砂州が、2003年には大規模に拡大し、2008年も拡大状態を維持したことが明らかになった。沿岸砂州の規模は、千代川の大規模出水に数年遅れて対応した。また沿岸砂州の規模変化は西から東に向けて伝播した。1968年～1998年の沿岸砂州の規模縮小は、千代川で実施されてきた川砂利採取の影響（負の遺産）と考えられる。

砂浜堆積物の粒度変遷

2004年、2009年、2011年に鳥取砂丘が面する海浜において、堆積物の粒度組成調査を実施し、1955年当時のデータと比較した。少なくとも2004～2009年にかけては中央粒径1.0mm以上と粗粒化していた海浜が、2011年には0.5mm～0.25mmへと細粒化し、1955年当時の粒径に戻りつつある実態が明らかになった。粒径変化は、千代川河口に近い西側から東に向けて伝播した。また1980年代以降、侵食傾向にあった鳥取砂丘海岸は、2010年から2011年の冬には汀線の前進が顕著であった。

飛砂特性と草原化

風洞実験によると、海浜の粒度のわずかな変化（中央粒径1.0mmと0.2mm）が、飛砂量には決定的な違いをもたらす。砂浜からの飛砂量は砂丘内の飛砂量に大きい影響を与える。つまり砂浜の中央粒径が1.0mmであった時代には、砂浜からの飛砂量が抑制され、その結果砂丘内の飛砂も不活発となり、非砂丘植物も生育できる環境が維持されてきた。これが砂丘草原化の原因と考える。2011年以降、砂浜の中央粒径が0.5mm以下へと細粒化したため、砂浜からの飛砂量が今後増加し、砂丘内の飛砂も活発になる。すると草原化が自然に緩和することが期待される。

自然のダイナミックな回復力をジオ・ストーリーに

以上のように、鳥取砂丘およびその海岸部では、自然がダイナミックに回復してきている。このようなストーリーは、ジオパークの訪問者が自然のシステムについて学ぶための素材となり、自然に対して畏敬の念を抱くきっかけとなる。

キーワード: 鳥取砂丘, 砂丘の草原化, 沿岸砂州, 海浜堆積物の粒度組成, 砂利採取, 半世紀にわたる変遷

Keywords: Tottori sand Dunes, weeding of sand dunes, offshore bar, grain size distribution of beach deposit, sand and gravel harvesting, changes over a last half century

火山の形が地域にもたらしてきた影響：霧島火山群，高千穂峰の例 Various effects that the shape of volcano has brought to the local area: an example of the Takachihonomine volcano

石川 徹^{1*}
ISHIKAWA, Toru^{1*}

¹ 霧島ジオパーク推進連絡協議会

¹The Council for the Promotion of the Kirishima Geopark

「火山の恵み」の話題になると、温泉や湧水、地熱エネルギーなどが連想されることが多い。しかし、これらは「人間の生活に直接的に有用な火山の恵み」という一面的な見方にすぎない。火山そのものが人間社会にどのような恩恵をもたらしてきたかを深く知るためには、「火山の恵み」を多面的に考察する必要がある。本研究ではその手始めとして、「火山の形」に注目したい。

霧島火山群の東部にそびえる高千穂峰は約 7000 年前に活動を始めた成層火山で、両肩に御鉢と二子石を抱いた円すい形の山頂部を持っている。その秀麗な山容はしばしば霧島のアイコンとして取り扱われ、麓に住む人々の文化や価値観、宗教観などに大きな影響をもたらしてきたと予想される。本研究は高千穂峰の地形的特徴がどのような方面にどの程度影響しているかを考察するものである。

キーワード: 霧島火山群, 高千穂峰, 火山の恵み

Keywords: Kirishima Volcano Group, Takachihonomine, Volcanic blessing

白山手取川ジオパークにおける国土交通省の取り組み The Activities of MLIT on the Hakusan Tedorigawa Geopark

金谷 孝雄^{1*}; 山口 隆²
KANATANI, Takao^{1*}; YAMAGUCHI, Takashi²

¹ 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所, ² 白山手取川ジオパーク推進協議会

¹Kanazawa Office of River & National Highway, Ministry of Land, Infrastructure, Transport & Tourism, ²Hakusan Tedorigawa Geopark Promotion Council

白山手取川ジオパークは、「山ー川ー海そして雪、いのちを育む水の旅」をメインテーマに、石川県白山市全域をジオパークのエリアとしている。白山火山を源とする手取川を主体に、上流では火山作用による侵食しやすい地形からの土砂災害が繰り返され、中流域では渓谷が形成され、下流には扇状地が広がるなど、山地から平地、侵食から堆積への遷移を間近で観察できるジオパークである。また、大地の変動や侵食・堆積のメカニズムである「石の旅」もテーマの1つに掲げている。

国土交通省では、手取川において、昭和2年から上流で土砂崩壊や土砂災害の抑制を目的とした砂防及び地すべり対策、昭和55年完成の洪水から生命財産を守るための手取川ダム、昭和37年より手取川扇状地での河川改修、さらには、昭和36年から海岸侵食防止のための石川海岸保全施設整備など、県民生活の安全安心の確保を目的とした社会基盤整備を行っている。

手取川における国の治水事業は、白山手取川ジオパークのテーマである「水の旅」、「石の旅」と深く関わっている。昭和初期に建設した施設の中には、「選奨土木遺産」や「登録有形文化財」に登録された建造物があり、歴史的・景観的にも価値が高く、白山手取川ジオパーク推進協議会の一員として、施設の役割や事業のPR、間近で観察できる見学会等に取り組んでいるところである。

昭和9年には、手取川で未曾有の大災害があり、112名の尊い命を奪う土砂災害が発生した。その時に流れ出てきた大きな石「白峰百万貫の岩」が当時の恐ろしさを今に伝える資産として川の中に鎮座しており、小学生のジオパーク学習やジオツアーに活用している。また、平成13年に開館した「白山砂防科学館」は、白山手取川ジオパーク推進協議会と連携し、砂防の観点から白山の自然、地質、歴史、暮らしを科学的に映像や展示物で紹介するとともに、災害時には防災拠点としての役割を果たしており、年間1万人以上の来客がある。さらに海岸部では、ジオサイトとリンクしながら地域の歴史や海岸の成り立ちなどを学べる野外博物館「石川海岸フィールドミュージアム」を整備している。

キーワード: 白山手取川ジオパーク, 水の旅, 石の旅, 白山砂防, 国土交通省

Keywords: Hakusan Tedorigawa Geopark, "Journey of Water", "Journey of Rocks", Sabo at Mt.Hakusan, Ministry of Land, Infrastructure, Transport & Tourism

白山におけるジオパーク、ユネスコエコパーク、国立公園の連携 The link among Geopark, Biosphere Reserve, and National Park in Hakusan, Japan

中村 真介^{1*}; 酒井 暁子²; 松木 崇司³
NAKAMURA, Shinsuke^{1*}; SAKAI, Akiko²; MATSUKI, Takashi³

¹ 白山手取川ジオパーク推進協議会 / 白山ユネスコエコパーク協議会, ² 横浜国立大学大学院環境情報研究院 / 日本MAB計画委員会, ³ 環境省白山自然保護官事務所

¹Hakusan Tedorigawa Geopark Promotion Council / Mt. Hakusan Biosphere Reserve Council, ²Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University / JCC for MAB, ³Hakusan Ranger Office, Ministry of the Environment

白山は、中部日本の日本海側にそびえたつ独立峰で、標高は2,702mに及ぶ。富山県・石川県・福井県・岐阜県の4県にまたがる区域が1962年に国立公園に指定され、さらに1980年にユネスコの生物圏保存地域（国内呼称はユネスコエコパーク。以下「ユネスコエコパーク」）に登録された。そして2011年には、白山の山頂部を含む石川県白山市の全域が、白山手取川ジオパーク（日本ジオパーク）に認定された。その結果、白山には自然の保護と利用に関する3つの枠組みが共存することとなり、3者相互の連携は1つの課題であると同時に、大きなチャンスともなった。

国立公園は、日本を代表するすぐれた自然の風景地を保護するために開発等の人為を制限するとともに、自然と親しむ利用がしやすいように情報提供や施設整備をしている場所であり、自然公園法に基づき管理されている（国内31地域）。ユネスコエコパークは、生態系の保全と持続可能な利活用との調和を実現する場所で、ユネスコの「人間と生物圏」計画の1事業として実施されている。保全機能・経済と社会の発展に関する機能・学術的研究支援の機能の3つの機能を有しており、それらの機能を効果的に発揮するため核心地域・緩衝地域・移行地域のゾーニングが行われている（国内5地域）。一方、ジオパークはジオ（地球）に親しみ、ジオを学ぶ旅ジオツーリズムを楽しむ場所であり、ユネスコの支援のもと実施されている（国内では世界ジオパーク6地域及び国内版の日本ジオパーク27地域）。

ユネスコエコパークとジオパークは、どちらも持続可能な社会の発展を目標に据えており、世界遺産とは違って保全だけではなくその積極的な活用を謳っている。また、地域間のネットワークを形成して相互の支援やプログラムの普及拡大を目指しているなど、共通点が多い。一方で違いも見られ、ユネスコエコパークはユネスコの公式プログラムだが、ジオパークはユネスコの支援プログラムである。そして最も大きな違いは、ユネスコエコパークが動植物を中心とした生態系に重きを置いているのに対し、ジオパークは地質・地形などの大地に重きを置いている点であろう。

しかし、両者とも生態系や大地だけに注目している訳ではなく、例えば文化や生活とのつながりにも言及している。白山を例に挙げれば、白山山麓の白峰集落では、山間地のわずかな平地である細長い河岸段丘上に集落が成立し、焼畑や林業などの生業が営まれてきた。これは地形の利用であると同時に、生物資源の利用でもあるといえるだろう。また、山頂周辺に目を向ければ、多様な高山植物が見られる一方で、その立地には積雪の多寡や地形の形成など大地の諸要素が影響していることが指摘できる。大地、生態系、文化は密接に関連しており、ユネスコエコパークとジオパークの双方の活動を推し進めることで、その関連は一層明確になることが期待される。この文脈でとらえれば、ジオツアーとエコツアーは時に同じツアーとして（言うなれば小泉（2011）の言う「ジオエコツアー」として）実施できるだろう。

そんな両者の取り組みを下支えしているのが、国立公園である。ユネスコエコパーク・ジオパークともに各国内での法的拘束力は有していないが、各国の国内法規等で適切な保全措置を採ることを求めている。日本では保全措置を担保する代表的な制度が国立公園であり、特別保護地区、特別地域、普通地域などのゾーニングのもと、段階に応じた開発の規制が行われている。また、国立公園はそれ自体も利用促進の取り組みを行っており、よりテーマ性の明確なユネスコエコパーク・ジオパークと連携することで、新たな魅力が創出できるものと思われる。

しかしこれらの連携も、それぞれの管理・活動主体同士の連携がうまくいかなければ、絵に描いた餅に終わってしまう。そこで白山では、白山手取川ジオパーク推進協議会と白山ユネスコエコパーク協議会の事務局を、ともに白山市ジオパーク推進室が担い、同じスタッフが事務局を務めることで、両者の連携をこれ以上ない強いものとしている。そして国立公園を管理する環境省は、この両協議会のメンバーに加わっている。3者の連携はまだ始まったばかりだが、この恵まれた条件を活かして、白山から発信する新たな価値と魅力の創出に努めていきたい。

キーワード: ジオパーク, ユネスコエコパーク, 国立公園, 白山, 地質多様性, 生物多様性
Keywords: Geoparks, Biosphere Reserves, National Parks, Mt. Hakusan, Geodiversity, Biodiversity

恐竜渓谷ふくい勝山ジオパークが再認定審査結果の検証から学んだこと What we learned from the verification of the Dinosaur Valley Katsuyama Geopark reexamination results

吉川 博輔^{1*}
YOSHIKAWA, Hirotsuke^{1*}

¹ 吉川 博輔
¹ Hirotsuke Yoshikawa

今回、当ジオパークが受けた「日本ジオパーク再認定審査結果」の内容は、より良いあるべき姿のジオパークの構築のため、地域住民、ジオパーク関係者等と共に根本的にジオパークについて見つめ直し、将来のための取り組みや改善策を講じるためのチャンスをいただいたと実感している。

今回の判定を有意義なものにするためにも地域全体の底上げが不可欠であり、勝山全体での取り組みを行っていくための方策等について発表する。

キーワード: 再審査結果, ジオパークの検証, 改善策, 将来の取り組み

Keywords: the reexamination results, our geopark's verification, development strategies, plan future initiatives

三島村ジオパーク計画の現状とこれから Present state and Future outlook of Mishimamura Geopark Project

大岩根 尚^{1*}
OIWANE, Hisashi^{1*}

¹ 鹿児島県三島村
¹ Mishimamura Village

鹿児島県三島村は、特異な自然・歴史・文化的背景をもち、これらを活かした地域づくりの目標として日本ジオパークへの認定を目指している。本村の観光素材になり得る地質学的な背景として硫黄島を例にとると、7300年前の大噴火で形成された鬼界カルデラのカルデラ壁が島内を通過している点、その活発な熱水活動による変色海水が島の周囲いたるところに見られる点、活火山である硫黄岳を有し活発な噴気活動、硫黄の析出が見られる点などが挙げられる。このような地質学的背景に関連して、変色海水中にサンゴの生育が見られる点、噴気から析出する硫黄が採掘され1000年ほど前から中国との交易が行われてきた点、さらに平家物語の舞台となってきた点など、生態的、歴史的背景を有す。さらに、文化的背景としては、硫黄島が歌舞伎「俊寛」の舞台でもあり十八代目中村勘三郎丈が来島講演を行ったり、高名なジャンベ奏者とジャンベを通じた国際交流をしたりといった稀有な素材を有している。しかしこのような複数の分野での素晴らしい観光素材を備えているながら、本村はこれらを有機的に結びつけたツアーや情報発信を行ってこなかった。そこで現在、これらを活用した観光化の目標として日本ジオパークへの認定を目指している。

本村のジオパーク計画において問題となっているのは、人口の少なさである。村の総人口は350人ほどであるが、3島に分かれているために各島の人が100人程度である上に高齢化もあり、実際に活動できる人員は数十人である。さらに島民は各自の職務やコミュニティ維持のために必要な地区の行事に時間を割くため、観光客に対応する時間を十分には確保できない。このため、これまで三島村へのツアーを催行する際には、島外の講師をガイドとして招いて対応してきた。しかしこの場合、村との深い関わりのないツアーガイドでもあるため、村のもつ魅力を十分に伝えきれないことがあった。また、この仕組みでは自立的・持続的な観光ツアーには発展しにくいという問題があった。これを解決するため本村では、地質学の研究者である専門職員を雇用し、業務の一つとしてツアーガイドを行うことにした。専門職員は、島民に聞き込みを行って観光素材の収集をし、一方でこれまでに行われてきた学術研究を整理し、両者を結びつけた新しいツアーの構築を図っている。また、本村での独自の試みとして、島へ渡るための定期航路上の4時間を利用して、三島村の自然、歴史、文化の解説や、航路上から見える霧島、桜島、錦江湾といった沿岸地域の解説を行うようにしている。ツアーは大変好評で、キャンセル待ちが出るほどになってきている。今後、定期的にツアーを行って交流人口を増やし、船の出る鹿児島市内からのツアーガイドの育成を計画している。これにより、実質的な島民の負担が少ない形でのツアーを催行し、人口の少なさを補ってゆくことを目標としている。

キーワード: ジオパーク, 鬼界カルデラ
Keywords: geopark, caldera

南紀熊野ジオパーク構想活動調査研究事業の紹介 Introduction of the Nankikumano Geopark activity research project

森野 善広^{1*}; 谷脇 智和²
MORINO, Yoshihiro^{1*}; TANIWAKI, Tomokazu²

¹パシフィックコンサルタンツ株式会社, ²和歌山県環境生活部自然環境室
¹Pacific Consultants Co.,Ltd., ²Natural Environment office of Wakayama Prefectural Government

南紀熊野ジオパーク構想は、和歌山県の南部の1市7町1村からなる地域におけるジオ資源を生かした地域振興を目指しています。エリアの地質は、プレートの一連の動きによって生み出された、3つの地質体で構成されています。エリア中央部は海洋プレートの沈み込みにもない海溝付近で作られた付加体からなり、東部と西部は付加体上で形成された前弧海盆堆積体で構成されています。さらに東部には巨大な火成岩体が分布している。これらをふまえ、ジオパークのテーマとして、「プレートが会って生まれた3つの大地～大地に育まれた熊野の自然と文化に会う～」が掲げられた。平成24年度より「南紀熊野ジオパーク推進協議会」を中心に様々な事業（講演会などの普及活動、教育・観光資源としての活用、ジオパークガイド養成など）が展開されています。平成25年度には、南紀熊野ジオパーク構想の学術資料の蓄積や地域活性化を図るため、「南紀熊野ジオパーク活動調査研究事業」が実施された。この事業はジオパーク構想地域において個人、地元団体、民間企業等とともに、学術調査及び普及活動を行うものです。本事業において採択された活動は以下の11件である（括弧内は活動団体（者））。

■ジオツーリズム振興活動

- ①ジオパークツアー「こんなに面白い紀伊半島の地質と海」（特定非営利活動法人 Blue Ocean for Children）
- ②南紀熊野ジオサイト見学・学習会（和歌山大学南紀熊野サテライト同窓会）
- ③ジオパーク普及啓発とその振興活動（熊野人倶楽部）
- ④紀の松島とジオクルーズ（紀の松島観光株式会社）
- ⑤ジオウォークイベント（古座川ふるさと振興公社）
- ⑥アナタだけの「一石」を見つける古座川ダッキー・ジオ・トリップ（川坊主）

■ジオパーク普及啓発活動

- ⑦「南紀熊野ジオパーク」を熊野エリアに発信しよう！（熊野円座）
- ⑧「古座川の石ころたち（仮）」下敷き 作成・配布活動（古座観光協会）
- ⑨ガーネット観察会（古座川街道やどりの会）

■ジオパーク学術研究活動

- ⑩ジオパークに必要なジオを伝えられるガイドの研究（和歌山大学教育学部 大西菜緒）

■その他ジオパーク推進活動（保全）

- ☒紀伊大島「地獄カマ」清掃作業（熊野古道大辺路刈り開き隊）

ジオツーリズム振興活動では、各団体がこれまでから開催しているツーリズムやイベントに「ジオ資源」をどのように取り入れるかが注目された。ジオサイトの紹介にとどまるツーリズムであることが多く、地質に関心のある参加者にとっては「面白く」感じられたと思うが、さらに本来のツアーメニューに地質との関わりを紹介する（その工夫をする）ことで、ツーリズムの魅力を引き出せるのではないかと考える。その中で、「古座川ダッキー・ジオ・トリップ」では、カヌーのような舟で川下りを体験しながら、川原の自然と触れあえ、石についての興味を持たせ、子どもたちを夢中にすることができたことは、今後の「ジオ」に関する体験観光や体験学習の企画開発に役立てる上で重要な事例である。

ジオパーク普及啓発活動では、地元小学校の地域学習、理科教育の中で、子どもたちが川原の石ころの「下敷き」を作成し、地域のことを理解する体験学習メニューとしての成果をあげることができた。また、ガーネットを探すための体験型イベントで使用する機材開発作成費用（実体顕微鏡と鉱物選別用の特殊な容器）として活用された。

本事業は今後も継続し、「ジオ」に関する商品開発、情報発信、学術研究奨励として活動研究の支援を行っていく予定である。

キーワード: ジオ資源, 地域振興, ジオツーリズム
Keywords: Geo-resources, Local promotion, Geo-tourism

東日本大震災の被災遺産を活用して地域の復興と活性化を図る — 山元町ジオサイトの例 — Plan to aim at the revival and activation of disaster region by disaster heritage of the Great East Japan Earthquake

谷口 宏充^{1*}; 田代 侃²; 宮原 育子³; 相原 淳一⁴; 田中 倫久⁵; 南三陸海岸ジオパーク 準備委員会¹
TANIGUCHI, Hiromitsu^{1*}; TASHIRO, Kan²; MIYAHARA, Ikuko³; AIHARA, Junichi⁴; TANAKA, Michi-hisa⁵; MSC GP, Prep. com.¹

¹ 東北大, ² 東北工大, ³ 宮城大, ⁴ 東北歴史博, ⁵ アジア航測

¹Tohoku Univ, ²Tohoku Inst Tech, ³Miyagi Univ, ⁴Tohoku History Museum, ⁵Asia Air Survey

南三陸海岸ジオパーク構想

多くの犠牲者をもたらしたあの東日本大震災から3年が過ぎた。しかし復興状況ははかばかしくない。とりわけ将来への明るい展望が見いだせず、地域産業の衰退や人口流出のため、地域によっては更なる過疎化が危惧されている。私たちは震災の半年後、“南三陸海岸ジオパーク”を宮城県の被災沿岸部に実現することを考えた。目指すのは地域の復興であり、震災以前よりも豊かな社会の実現である。そのためにはジオパークの実現を足掛かりとして、ビジターズ産業を活性化させ、被災地へ県内外からの訪問者を増やすことを目標とした。

本構想では、当面、宮城県沿岸部を地形の特徴にもとづき次の3つのエリアにわける：リアス海岸の宮城三陸GP（ジオパーク）、多島海の松島湾GP、そして広大な海岸平野が特徴の仙台湾GPであり、これらを併せて南三陸海岸ジオパークとよぶ。地形の違いによる区分は地質の違いばかりでなく今回の3.11津波の挙動や地場産業なども密接に関係している。各GPは複数の市町にまたがり、各市町の名称をとって仮のジオサイト名とする。

震災半年後からこれらの自治体と協議を進めた。しかし自治体の多くは期限の限られた復興事業で多忙であり、ジオパーク設立など将来にわたる事業については踏み出すことが困難であった。そのため私たちはジオパークの設立は後にまわし、現在可能なことで将来必ず必要になることとして、被災遺産の調査・整理とそれらを活用した学習会や教育ツアーの実施を行うことにした。これらを優先した他の大きな理由は、復興事業の進行に伴う被災遺産の急速な消滅という現実があるからである。現在では約40ヶ所の調査を終えている。

山元町の概要

山元町は2010年人口が約16,700人の、福島県との県境にある小さな町である。年齢別構成は65歳以上が約14%の高齢社会であり、3.11津波によって町全体で635人も犠牲者を出した。人口は1995年のピークの後、減り続け、2014年1月には約13,000人までになっている。産業としては農業と水産業が主力であり、イチゴやホッキ貝などを特産品としているが津波によって大被害を受け、まだ回復には至っていない。今後の町の復興や活性化を図るためには、従来からの産業と同時に、地元で深い知識をもつ高齢者による取組が可能な、教育や観光を目的としたツアーによる新たな町興しが重要である。

山元町ジオサイトの特徴、ガイドのフレームワークと課題

山元町は太平洋に沿って約11kmの海岸線を有し、海側から未固結の砂や泥層からなる標高10m以下の平地、新第三紀堆積岩からなる～100mの丘陵地、そして白亜紀の火成岩などからなる200～300mの山地より構成されている。総面積は約65km²であるが、このうち3.11津波によって37%もの土地が浸水した。この地域には縄文時代以降の遺跡が平地から丘陵地にかけて点在している。遺跡調査や津波堆積物調査などにもとづくと、当ジオサイトには3.11津波ばかりでなく、少なくとも1611年の慶長津波、そして869年の貞観津波が押し寄せていたことがわかっている。これらの津波による痕跡は、3.11津波による被災遺産（中浜小学校、津波湾群、海岸沿いの住居跡群、体験談、動画、写真など）はもとより、水神沼などの地質調査による津波砂層で、そして熊の作遺跡で最近見出された奈良時代～平安時代の役所跡で確認される。熊の作遺跡の理解が正しいとすれば、これは貞観津波による被災遺構が初めて発見された例になる。このように、本ジオサイトには津波災害の歴史的経緯はもとより、中浜小学校に残された防災教育上の重要な教訓、中浜小津波湾に代表される津波のダイナミクスを知る手がかりを与える景観など、学習と観光の様々な素材が残されている。私たちは国の特別天然記念物や重要文化財に指定されても不思議でないと考えている。従って、このような特徴を生かす形でジオサイトとツアーを準備したい。

しかし深刻な課題もある。それは“復興”の進展に伴い、津波湾は巨大防潮堤によって破壊され、貞観津波遺構は常磐線の下になるということである。東日本大震災に関してどこでも共通することであるが、被災遺産について情動的な視点のみではなく、防災教育、科学教育や歴史教育など多様な視点、とりわけ将来の真の地域振興の観点での検討が切に望まれる。このことは行政や報道関係者ばかりでなく研究者に対しても望みたいことである。

MIS35-19

会場:211

時間:5月2日 17:15-17:30

キーワード: ジオパーク, 南三陸海岸, 被災遺産, 復興, 山元町
Keywords: geopark, Minami Sanriku Coast, disaster heritage, revival, Yamamoto Town

「大地の遺産 100 選」の選定と地理学 ”100 Earth Heritages” and its Geographical Concept

有馬 貴之^{1*}
ARIMA, Takayuki^{1*}

¹ 日本地理学会ジオパーク対応委員会、大地の遺産 100 選選定委員会
¹ AJG Geopark Committee, Committee for ”100 Earth Heritages” Selection

I. 日本地理学会と「大地の遺産 100 選」選定委員会の発足

日本地理学会では、ジオパーク対応委員会を中心に日本の「大地の遺産 100 選」の選定を目指し、学術大会でのシンポジウムを 3 回、候補地の選出アンケートを 4 回行って来た。さらに、2012 年には「大地の遺産 100 選選定委員会」を発足させ、シンポジウムとアンケートの結果から選定作業を進めた。なお、委員のメンバーは日本地理学会の会員であり、地形、植生、気候、水文などの自然分野および、都市、農村、歴史、観光などの人文分野の双方の研究者で構成されている。

本発表では委員によって行われた大地の選定作業の課程を紹介し、選出された「大地の遺産 100 選」について解説文の内容を考察することで日本地理学会が考える「大地の遺産 100 選」という価値、および地理学の現状について明らかにする。

II. 「大地の遺産 100 選」の選定手順

選定委員会では地理学者の意見を反映すべく、日本地理学会会員への候補地アンケート調査などを数回行った。その結果 264 ケ所の候補地が示された（一部重複を含む）。その内訳は以下の通りである。2012 年 3 月の大会シンポジウムにおいて登壇者から 155 ケ所、アンケート回答者から 40 ケ所の候補地（計 195 ケ所）が、2013 年 3 月の大会シンポジウムでは登壇者から 7 ケ所、アンケート回答者から 38 ケ所の候補地（計 45 ケ所）が列挙された。また、2013 年 5 月に実施した日本地理学会代議員への郵送アンケートにより 20 ケ所が、2012 年度から開始されたウェブサイト上のアンケートによって 4 ケ所が加えられた。これらの延べ 264 ケ所の候補地のリストを基に、選定委員による各候補地への投票、および議論が 2013 年 7 月に行われ、計 65 カ所の大地の遺産が選出された。その後、選定委員による新たな候補地の列挙と投票が行われ、33 カ所の遺産が追加された。現在、これら 98 カ所の精査と、残りの 2 カ所の選出を行っているところである。

III. 選出された「大地の遺産 100 選」

2014 年 1 月現在、98 ケ所の「大地の遺産」が選定されている。これらに新たに 2 カ所を加えた 100 選のリストは大会発表の時点で提示する予定である。大地の遺産は 47 都道府県に必ず一つ存在し、例えば根釧原野、八幡平、黒部川扇状地、甲府盆地、志摩半島南岸、足摺岬、始良火山群などが選出されている。都道府県それぞれに 1 つ以上存在するのは選定の際の配慮によるものである。その配慮とは大地の遺産の地理教育への活用を意味しているが、一方でその配慮の裏には地理学的価値の評価の難しさが隠れているといえる。つまり、日本の地域どこにおいても地理学的な貴重性が主張できる、一見矛盾した状況として捉えられる。

IV. 「大地の遺産 100 選」の解説文の内容からみる地理学的価値と方向性

98 ケ所の大地の遺産が選ばれ、それぞれの遺産に対しては、選定理由である解説文が執筆されている。本章では解説文の内容を考察することで地理学的な価値とその方向性を明らかにする。

大地の遺産は複数のサイトからなっているものが大半である。これは、後述するように、候補地内のサイト間にある相互的な視点（ストーリー）が重視されたためである。解説文の内容を検討すると、自然同士、もしくは自然と人間の相互的な関係の記載がみられる。例えば、吉野川上中流域では、堆積岩山地のため急峻な斜面を河川が流れている。このことが前提条件となり、かずら橋などの集落間移動のための橋が作られたという経緯が説明されている。このような自然と人間の関係は他の遺産の解説文でも多くみられる。つまり、「大地の遺産 100 選」にみる地理学的価値とは、これらの相互的な関係性であると考えられる。

一方、解説文の内容には課題も指摘できる。本発表では主に 2 つの点を指摘する。まず、解説文の執筆者の専門が自然地理か人文地理かによって、その内容に偏りがみられている。そのため、地理学者は互いの分野についての学習が必要な状況にあるといえる。2 つ目の課題に解説文では自然条件が前提条件として記述され、読者にとって環境決定論的な印象を与えているものがあることが指摘できる。これは環境決定論をどのように捉えるかにもよるが、少なくとも同一の自然条件における共通的な人文現象の存在とその科学的な理論を地理学が率先して議論する必要があるといえる。自然現象と人文現象の一般的関係性が科学的に証明されれば、初めて各地域における独特な関係性をも理解することができるであろう。そのことがジオパークに対する地理学の方向性の一つだと考えられる。

MIS35-P01

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

キーワード: 大地の遺産, 自然地理学, 人文地理学, 地誌学, 環境決定論

Keywords: Earth heritages, Physical geography, Human geography, Regional geography, Environmental determinism

三笠ジオパークにおける小中一貫教育の支援活動 Activity support for the educational continuity from primary through early secondary levels in the Mikasa Geopark

栗原 憲一^{1*}; 新居 忠浩²
KURIHARA, Ken'ichi^{1*}; NII, Tadahiro²

¹ 三笠市立博物館, ² 三笠市企画経済部企画振興課政策推係
¹Mikasa City Museum, ²Promotion Policy Division, Mikasa City Office

三笠ジオパークのエリアである三笠市では、平成 17 年度より小中一貫教育を実施している。この取り組みの中には、地域の歴史、自然、産業等について学ぶ「地域科」と呼ばれる科目がある。この科目は、地域の素材と人材を活用し、地域全体で子ども達を育て、郷土愛の醸成を図ることを目的としている。

一方、同ジオパーク内には、三笠市立博物館と呼ばれる総合博物館が昭和 54 年から設置されており、これまで地域の歴史、自然史、産業史資料の研究・保存活動を行っている。

そのため、小中一貫教育の始まった初年度より「地域科」の授業の一部を博物館学芸員が担当し、現場の教員と議論を重ねながら、授業を実践してきた経緯がある。さらに、昨年からは、地域科とジオパーク活動との連携について、市内小中学校の教員と議論を重ねており、まだ試行錯誤の段階ではあるがジオパークと連携した授業を行い、小中学生用のジオパークガイドブックも作成した。

そこで、これまでの地域科で実施された博物館活動との連携および近年のジオパーク活動との連携について紹介し、地域教育とジオパーク活動との相乗効果について模索したい。

キーワード: 小中一貫教育, 地域科, 博物館活動, ジオパーク活動, 三笠ジオパーク
Keywords: educational continuity, regional study, museum activity, geopark activity, Mikasa Geopark

銚子ジオパークの屏風ヶ浦ジオサイトを利用した体験型の理科・環境教育の効果 The effects of experience-based science and environmental education on Byobugaura geosite in Choshi Geopark

安藤 生大^{1*}
ANDO, Takao^{1*}

¹ 千葉科学大学
¹ Chiba Institute of Science

1. 本研究の教育モデル：地域へのライフサイクル思考の導入

本研究では、銚子ジオパークを利用して、そこに「ライフサイクル思考」の考え方を取り入れた独自の「理科・環境教育プログラム」の開発を目指している。ここで、「ライフサイクル思考」とは、「目の前の「つかう（現在）」段階の環境負荷だけでなく、「つくる（過去）」段階や「すてる（未来）」段階での環境影響も追跡し、システム全体の環境負荷をも考慮する思考法である。

ライフサイクル思考を地域に導入する場合、過去の「地質学的な土地の成り立ち」と、現在の「特産物の生産などの土地利用」、そして未来の「地域環境の持続的な保全」を考える。著者は、これまで現在の土地利用の例として、地域の自然環境と関係の深い特産物について、それらの環境負荷（GHG 排出量）をライフサイクルアセスメント（LCA）の手法に基づいて定量的に評価する「環境教育プログラム」を開発し、実践し、高い環境教育効果を確認した。本研究では、ここに過去の「地質学的な土地の成り立ち」に関する「理科教育プログラム」を付加することで、地元の自然環境を理解し、地元への愛着を醸成し、その環境を守る意識による具体的な環境配慮行動の発現を目指している。そして、銚子ジオパークは、この理科・環境教育プログラムの実践の場として位置づけている。

本研究では、地域へライフサイクル思考を拡張した場合の（1）「つくる（地域の成り立ち）」段階に相当する理科教育プログラムの内容を紹介し、（2）地元の中学1年生に対して実施した結果を報告し、（3）プログラムの実施前後の質問紙調査と実施後の自由記述文の分析から明らかとなった効果と課題について報告する。

2. 「つくる（地域の成り立ち）」段階の理科教育プログラムの内容と実施方法

本プログラムでは、平成24年度から改訂された新学習指導要領の中学校理科における「地層」の単元の学習内容に正確に則りつつ、今まで実施が難しかった地層の野外観察や、教室における火山灰等の標本観察などを取り入れた内容を1日で行う（以後、「1日型の」）理科学習プログラムとした。

2. 1 1日型の理科学習プログラムの実施概要

1日型の理科学習プログラムの実践は、銚子市立第三中学校（千葉県銚子市東小川町2348）の1年生2クラス（54名）に対して、2013年7月2日に行った。講師は著者が担当し、補助として大学生4名と銚子ジオパーク推進市民の会の一般会員5名が参加した。午前中に屏風ヶ浦ジオサイトを構成する地層の野外見学は実施した。現地では、ワークシートを配布し、露頭全体のスケッチ（露頭図）、地層のスケッチ（柱状図）を作成し、少量の火山灰の地層を採取した。その後、屏風ヶ浦遊歩道を銚子マリナ海水浴場の駐車場まで歩きながら、数カ所の観察地点で、土地の成り立ちや地域環境問題についての説明を行った。午後は、銚子市青少年文化会館に移動し、書き込み式の資料を配付して、屏風ヶ浦の成り立ちに関する講義と、採取した火山灰の実体顕微鏡での観察、地元を作る堆積岩や化石標本の観察を行い、最後にまとめを行った。

さらに、本プログラムを実施した翌週の理科の授業（3校時分）では、受講内容や感想等をA1版のポスターにまとめた。このポスターは、銚子市青少年文化会館に展示した。

2. 2 質問紙調査と感想文

本研究では、地元の中学生に、銚子ジオパークを周知し、その地質学的な価値を理解させることで、郷土愛を育むことを目指した。このため、質問紙調査では本理科教育プログラムの実施前後で、銚子ジオパークへの関心やイメージがどのように変化したかに注目した。さらに、本プログラム実施後には、授業理解と印象に残った点、不明だった点、その他の感想について、自由記述の「感想」文の提出を求めた。

3. 主な結果

本プログラム実施後に行った自由記述の「感想」文のキーワード分析からは、本プログラムが、（1）半数を超える生徒にとって十分に理解可能であり、（2）学習内容（地層、堆積岩、化石など）が効果的に生徒の印象に残る内容であることが明らかとなった。加えて、本プログラム実施前後の質問紙調査結果からは、（3）ジオパークへの興味が増すと共に、ジオパークの活動への参加意図が高まり、（4）屏風ヶ浦などのジオサイトをより身近で、地元の誇りとなるような対象として感じるようになり、（5）銚子ジオパークに対する関心や、よいイメージを高まることが示された。その結果、地域への愛着が増進される可能性が示唆された。

しかし、その一方で、自由記述の「感想」文からは、野外見学や露頭の観察に十分な時間を確保する必要があることや、外部講師（大学教員や一般市民）が説明や授業を行う場合には、特に授業の進行速度に注意を払い、十分な理解が得

MIS35-P03

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

られるように心がける必要があることが示された。

キーワード: ジオパーク, 銚子, 理科教育, テフラ, 屏風ヶ浦, ライフサイクル思考

Keywords: Geopark, Choshi, Science education, tephra, Byoubugaura, Life cycle thinking

大地の成り立ちへの理解を通じた自然災害への理解度向上を目的としたプログラムの効果検証 Analuzing the Efficcy of Natulal Disaster Awareness Programs based on the Understanding of Geophysical Mechanisms

鈴木 雄介^{1*}; 小山 真人²; 上西 智紀³
SUZUKI, Yusuke^{1*}; KOYAMA, Masato²; UENISHI, Tomoki³

¹ 伊豆半島ジオパーク推進協議会事務局, ² 静岡大学防災総合センター, ³ 静岡県立伊豆総合高校
¹Izu Peninsula Geopark Promotion Council, ²CIREN, Shizuoka University, ³Izu-sogo High-school

伊豆半島は、その全体がかつては南洋に位置する海底火山（火山島）であった。これらの海底火山はフィリピン海プレートとの北進にともない約 100 万年前に本州に衝突し、その姿を陸上にあらわすとともに、現在の半島の形になった。

半島になった伊豆半島では、陸上での火山活動が続き、天城火山や達磨火山などの複成火山が誕生した。約 20 万年前にはこれらの複成火山の活動は終わり、約 15 万年前からは活火山である伊豆東部火山群が活動を続けている。また、プレート境界型地震や活断層、それらに伴う地殻変動も活発な地域である。

このような背景を持つ伊豆半島では、その地形地質だけでなく、祭事などの伝統文化を通して、さまざまな大地のうごきを実感することができる。

自然観察や地域の伝統文化等を知り・楽しむことが、自然災害に対する理解向上にどのような効果があるか、小学校高学年から高校生までもを対象としたアンケートや聞き取り調査により、効果検証を行った。

調査の結果、身近な自然の観察を主体としたプログラムを通じて、自然災害に対する理解向上に一定の効果が見られることがわかった。一方、参加者からは、より具体的な防災対応に関する知識向上を求める意見もあがり、楽しむことを目的としたプログラムのあとに、適切なフォローアップを行う必要もある。

キーワード: ジオパーク, 防災教育

Keywords: Geopark, Disaster Mitigation Education

活断層沿いにおける噴砂の検出・記録保存とその活用：白山手取川ジオパークの取り組み
Detection, Observation, Preservation, and Utilization of Sand Boiling Traces along an Active Fault : Effort of Hakusan T

小阪 大^{1*}; 平松 良浩²
KOZAKA, Yutaka^{1*}; HIRAMATSU, Yoshihiro²

¹ 白山手取川ジオパーク推進協議会, ² 金沢大学
¹Hakusan Tedorigawa Geopark Promotion Council, ²Kanazawa University

白山手取川ジオパーク内には、大地の営みを学習できるジオサイトが各所にある。金沢市を南北に縦断し、白山市鶴来地区まで伸びる森本・富樫断層帯もその一つである。断層の東側は、断層による隆起活動により標高 649 m を最高峰とする山地が形成されている。一方、断層の西側は手取川が運んだ大量の土砂が堆積し、広大な扇状地が広がっている。

近年、活断層である富樫断層の西側縁辺部で行われた二カ所の埋蔵文化財発掘調査で弥生時代後期から平安時代の堆積層の中で、大規模な地震が起こったことを示す噴砂（液状化現象）が確認されている。一つは部入道遺跡であり（平松・小阪, 地震, 2013）、もう一つは 2013 年に発掘調査が行われた熱野遺跡である。これらの噴砂を引き起こす地震が発生した活断層を特定することは困難である。しかし、森本断層沿いの梅田地区での調査からは約 2 千年前以後、4 世紀以前に最新の活動があったことが報告されており（地震調査研究推進本部, 2013）、噴砂が確認された堆積層の時代と同時代であることを考慮するとこれらの噴砂は富樫断層の活動の痕跡である可能性も考えられる。

本報告では、部入道遺跡、熱野遺跡の噴砂について紹介するとともに、扇状地中の微高地に存在するこれらの遺跡に関連した人間活動にも注目する。また、2013 年には両遺跡や富樫断層を実際に歩いて見る学習会を一般市民対象に実施しており、その様子についても報告する。

白山手取川ジオパーク推進協議会では、この噴砂の剥ぎ取りを実施、パネル化した上で大地の営みと防災学習を兼ね備えた今後のジオパーク学習教材として役立てることを計画している。

キーワード: 白山手取川ジオパーク, 活断層, 森本・富樫断層帯, 噴砂痕, 遺跡

Keywords: Hakusan Tedorigawa Geopark, Active Fault, Morimoto-Togashi Fault Zone, Sand boiling traces, ruins

ジオパークを教材とした大学教育の実践-鳥取環境大学プロジェクト研究を事例に- A practical use of geoparks as university educational materials

新名 阿津子^{1*}
NIINA, Atsuko^{1*}

¹ 鳥取環境大学地域イノベーション研究センター

¹Regional Innovation Research Center, Tottori University of Environmental Studies

鳥取環境大学では学部の枠を超えた初学者向けの演習科目「プロジェクト研究」を開講している。本科目は教員がテーマを設定し、環境学部と経営学部の学生が共に調査研究を行うものである。本学では2012年度後期から「山陰海岸ジオパーク」シリーズを開講した。「山陰海岸ジオパーク」シリーズではジオパークを研究対象とし、フィールドワークを通じて地域調査の手法を習得する事を目的としている。これまで一年生対象の「バーチャルジオツアーの開発」、「吉岡温泉の土地利用調査」、「ジオ商品・サービス開発」、二年生対象の「湖山池ジオツアーの開発と実施」、「吉岡温泉における地域変容の要因解明」を行った。その研究成果は学内での研究発表に加え、開発したジオツアーの実施、研究報告会の開催等を通じて地域へとフィードバックしている。そして、これら一連の研究活動から、学生にとってジオパークがソーシャルラーニングの場としての性格を持つ事が判明した。

そこで、本報告ではジオパークを活用した大学教育の実践について、鳥取環境大学プロジェクト研究を事例に検討し、大学教育でジオパークを対象とする際の課題や大学と地域の関係について議論する。

キーワード: 大学教育, 地域調査, ソーシャルラーニング, 山陰海岸ジオパーク, 鳥取環境大学

Keywords: university education, regional survey, social learning, San'in Kaigan Geopark, Tottori University of Environmental Studies

天草地域のガイド養成 Geopark guide training program in Amakusa area

鶴飼 宏明¹; 長谷 義隆^{1*}
UGAI, Hiroaki¹; HASE, Yoshitaka^{1*}

¹ 天草ジオパーク構想推進協議会

¹ Amakusa Geopark planning promotion committee

2013年に開催したガイド養成では、天草地域に149名のジオガイドが誕生した。ガイド養成で現地研修を行ったジオサイトなどを紹介する。

『天草ジオパーク構想』は、天草地域を「天草ジオパーク」として日本ジオパークネットワーク加盟をめざす取り組みである。天草地域には、大地の遺産・地形・資源および石文化が豊富に存在している。ガイド育成講座では、講義および現地研修を通じて、地域の大地と自然のすばらしさ、および大地に関わる人の文化・産業を伝えるジオパークガイド（ジオガイド）の養成を目的としている。認定試験で合格された方には、ジオガイドの資格を授与している。ガイド活動は、各地域のガイド組織に入会後、行うこととしている。

ガイド認定については、ガイド養成講座、および個別地域ガイド養成講座の事業を中心に、地域住民等に向けたジオパーク活動の周知を図り、併せて、天草地域のジオパークに関連する資源を誰にでも分かりやすく伝えることができるようなインタープリターとしてのジオガイドの養成を図った。

現場で活動するガイドは「ジオパークとはなにか」を的確に説明するジオパークの普及者として重要であると共に、地域住民と一体になった取り組みまたは教育普及などに必要な存在といえよう。この構想ではこの大地の遺産に恵まれた島々の自然の保護と、そこに暮らす人々の文化を体験できる地域づくりを行い、地域振興や観光振興等を含めた総合的な展開を図るものである。

天草ジオパーク構想では、ジオパークの理念に沿って、ジオパーク関連の資源の価値を住民が認識し、地域住民の主体的な活動により教育に活用すること、および、その価値を分かりやすく・面白くアピールすることで観光資源として活用することを目指している。

ジオツーリズムによる地域振興のポイントは、難しくて分かりにくいという地形や地質などの地球科学的な要素を、大地や地球の成り立ちと地域の歴史や文化に関するストーリーとして解説することで、理解し・体験できる場を提供できることにある。

キーワード: ジオパーク, ガイド, 住民

Keywords: geopark, guide, inhabitants

ジオパークガイドの意識と知識を高める取組 Program for broadening the knowledge base and awareness of geopark guides -An example of Amakusa Goshoura Geopark-

長谷 義隆^{1*}; 鶴飼 宏明¹; 廣瀬 浩司¹; 鶴岡 誠也²
HASE, Yoshitaka^{1*}; UGAI, Hiroaki¹; HIROSE, Koji¹; TSURUOKA, Seiya²

¹ 天草市立御所浦白亜紀資料館, ² 御所浦ジオツーリズムガイドの会
¹Goshoura Cretaceous Museum, ²Association of Goshoura Geo-Tourism Guide

ジオパークではジオツーリズムにおけるガイドの活躍は無くしてはならないものである。その意味で、ガイド養成を受け、ジオパークのガイドとして認定を得たとしても、ガイドとしての心構えやガイドする内容の工夫を怠ってはならない。その努力は、当該ジオパークに直接関わる事象だけでなく、その周辺地域における知識におよぶ必要があることもある。そのような場合の取組として、天草御所浦ジオパークに関わる事例を紹介する。

天草御所浦ジオパークは、白亜紀の恐竜をはじめ、古第三紀の大型哺乳類および両紀の軟体動物化石を豊富に産することで、約 1 億年におよぶ地球の歴史と生命を主題としたジオパークである。さらに、このジオパークには、御所浦島で最も標高が高い烏峠（海拔 442m）があり、360 度の眺望がきくことで人気がある。この烏峠からは天草上島、下島が見えるばかりでなく、①島原半島の普賢岳や、②八代海（不知火海）を挟んで、九州本島の八代地域、その向こうに阿蘇山が見え、③八代海に沿って芦北、その向こうに人吉盆地と白髪岳山地、さらに④水俣の湯の児温泉、その奥に鬼岳や矢筈岳がのる肥薩山地ともっと奥には霧島火山の韓国岳、⑤鹿児島県出水平野とその奥の紫尾山、⑥獅子島、長島および甕島までも見渡せる。来島者にこのすばらしい景色をみて感動してもらうことに加えて、ジオパークガイドはその風景が意味する地質的、地形的および歴史的な事象を御所浦島を含めた天草のそれらとの関わりについても触れて語れることを課している。

このような思いから、「御所浦ジオツーリズムガイドの会」では、当該地域のみでなく周辺地域へ自ら赴き、その意識と知識を高める取組をしている。今年の研修課題として、烏峠から見える九州本島の地形と地質とを見て廻り、知識を深めることにした。また、次回は有明海を挟んだ島原半島における島原ジオパークへ出向く予定であり、これらの研修で、天草諸島の地形・地質、歴史・民俗と周辺地域の事象の比較を認識し、より一層、「天草御所浦ジオパーク」を理解しようとしている。

キーワード: ジオパークガイド, ジオパーク周辺地域, 意識高揚, 知識拡張
Keywords: Geopark guide, neighboring areas, broadening knowledge

地球と大地の大規模変動を語るアポイ岳ジオパーク Mt. Apoi Geopark telling a global dynamic movement of the earth

新井田 清信^{1*}; アポイ岳ジオパーク 推進協議会²
NIIDA, Kiyooki^{1*}; MT. APOI GEOPARK, Promoting council²

¹ 北海道大学総合博物館, ² 様似町
¹Hokkaido Univ. Museum, ²Samani

アポイ岳は、日高山脈の南端に位置し、南に太平洋が広がる。ここが地理学的にも地質学的にも千島弧と本州弧の2つの島弧のちょうど境界部に位置していることから、日高山脈は（北米プレートとユーラシアプレートの境界部で）千島弧側が西側に衝上してできた（木村, 1981）と考えられてきた。北海道大学総合博物館のアイランド・アーク学術標本展示でも、アポイ岳のかんらん岩は日高山脈の上昇とともに玄武岩質マグマのふるさと「上部マントル」から持ち上げられて地表に露出した（新井田, 1999）と解説された。このような経緯から、アポイ岳ジオパークでは「かんらん岩から地球の深部と大地の変動を学ぶ」という目標がテーマの1つ掲げられ、様似町役場前の「アポイの鼓動（かんらん岩広場）」のパンフレットでも同じ基調で解説されている。

最近、注目すべき地球儀スケールの構造図が、日本地方地質誌1「北海道地方」の概説に掲載され、北半球のプレート運動と日高山脈の成立との関係を解説している（新井田, 2010）。北米プレートとユーラシアプレートの衝突境界は、現在は日本海東縁にあると考えられているが、日高山脈の上昇ステージ（新生代中新世後期）には北海道の中軸部に位置し、ここで日高山脈が形成された。また、この衝突境界の北方延長は、北極点付近から拡大境界に転じ、地球の反対側で大西洋中央海嶺に連続するのである。

このような地球規模の変動帯としては、アルプス山脈からギリシャ?トルコ?イラン?オマーン?パキスタン?インドスーチャ?アンダマン?グレートスンダに続くテチス海のオフィオライト帯が第1級の規模である。そこには、有名な、アフリカ大陸とユーラシア大陸の衝突帯でできたアルプス山脈やインド大陸とアジア大陸の衝突帯でできたヒマラヤ山脈が形成されている。北海道の日高山脈も、北半球をほぼ縦割りにした地球変動帯でできた山脈であり、北アメリカプレートとユーラシアプレートの2つの巨大プレート境界で起こった地球規模の地質イベントとして、もう少し大きな声でその魅力を伝える必要があるようだ。

この発表では、アポイ岳ジオパークがグローバルに「地球と大地の大規模変動」を学ぶことができる拠点ジオパークになりうるかどうかを検証してみたい。

<文献>

木村 学, 1981, 地質雑, 87, 757-768.

新井田清信, 1999, 北海道大学総合博物館学術資料展示解説書, 22-28.

新井田清信, 2010, 日本地質学会(編)日本地方地質誌1「北海道地方」, 朝倉書店, 1-15.

キーワード: アポイ岳ジオパーク, かんらん岩, 上部マントル, 玄武岩質マグマ, プレート境界, 地球変動
Keywords: Mt. Apoi geopark, peridotite, upper mantle, basaltic magma, plate boundary, global dynamic movement

ジオパークによるインターネットを通じた情報発信：三陸ジオパークを例として Communication of Information on the Internet By Geopark: Case Study of Sanriku Geopark

伊藤 太久^{1*}; 橋本 智雄¹; 植野 歩未²
ITO, Taku^{1*}; HASHIMOTO, Tomoo¹; UENO, Ayumi²

¹ 中央開発 (株), ² 三陸ジオパーク推進協議会
¹ Chuo Kaihatsu Co., ² Sanriku Geopark Promotion Conference

2013 年 9 月に日本ジオパークに認定された三陸ジオパークは、青森・岩手・宮城の 3 県 16 市町村からなる日本最大のジオパークである。三陸ジオパーク推進協議会では、その前身であるいわて三陸ジオパーク推進協議会 (2011 年 2 月設立) 時代を含め、インターネットを通じた情報発信を継続して行ってきた。

推進協議会では 2011 年 2 月に、三陸地域の生い立ちや見どころを網羅的に整理した一般向けのウェブサイト (<http://sanriku-geo.com/>) を作成、準備していたが、その後の東日本大震災を受け、企業や学識経験者を交えた学術支援ネットワークとして、学術調査や教育旅行に主眼を置いたウェブサイト (<http://sanriku-fukkou.net/>) を新たに作成し、2011 年 9 月に公開した。その後、日本ジオパークへの認定に向けて一般向けのウェブサイトに各種情報を追加し、公開するとともに、ブログ・Facebook・Twitter といった SNS による情報発信を通じて更新頻度を増加させるなど、対象や目的に応じてコンテンツや機能を追加、更新してきた。

このような中で、未だ関係者以外の「ジオパーク」の認知・理解度が高まったとは言えないものの、三陸地域の日本ジオパーク認定を受け、マスコミへの露出や地元・周辺地域の関心は増している。

これに対応するため、ウェブサイトのトップページで閲覧者に確実に興味を持ってもらい、かつ三陸の特徴をより一般にわかりやすく紹介できるサイトの構築を目的として、2014 年に新たにウェブサイトをリニューアルすることとした。

本発表では、国内他地域のジオパークウェブサイト进行调查し、構成要素を分類・比較した結果とともに、本地域におけるリニューアル事例とインターネットを通じた情報発信手法を紹介する。

キーワード: ジオパーク, 情報発信, インターネット, 三陸
Keywords: geopark, communication of information, internet, Sanriku

地球科学を利用した真の地域振興を目指して - 産官学民金連携とジオパークの学術的サポート - Utilization of Earth sciences for regional development

小沼 早織^{1*}; 郡山 鈴夏¹; 前田 知行¹; 菊田 亮太¹; 石川 なつみ¹; 池戸 熙邦¹; 松久 祐子¹; 福永 智恵¹; 澤畑 優理恵²; 古川 陽平²; 細井 淳²; 天野 一男¹

ONUMA, Saori^{1*}; KORIYAMA, Suzuka¹; MAEDA, Tomoyuki¹; KIKUTA, Ryota¹; ISHIKAWA, Natsumi¹; IKETO, Hirokuni¹; MATSUHISA, Yuko¹; FUKUNAGA, Chie¹; SAWAHATA, Yurie²; FURUKAWA, Yohei²; HOSOI, Jun²; AMANO, Kazuo¹

¹ 茨城大学理学部, ² 茨城大学大学院理工学研究科

¹ Faculty of Science, Ibaraki University, ² Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

ジオパークとは、地球科学的に重要な自然の遺産を見どころとした「大地の公園」である。従来、地球科学の情報は地震予知や噴火予知など、自然災害、防災面で活躍をしてきた。しかし近年、地球科学の情報を生涯学習や観光資源として活用する動きが増えてきている。大地（地質・地形）の上で、植物や動物、私たち人間の生活が成り立っており、さらに大地の性質によってそれらは異なってくる。大地を理解することで、普段見慣れた風景、文化が違って見え、大地の雄大さを感じ取ることができる。普段見慣れている風景に「大地（ジオ）」という新しい価値を加えることで、ジオツーリズムという新たな観光ジャンルを広げることができる。しかし、その基礎知識である地球科学に親しみのない人にとっては、大地を理解することは容易ではない。自分たちの足元に広がる大地を生涯学習や観光資源として活用しようとする動きがある今、一般市民に地球科学をより身近に感じてもらい、市民にとって理解が難しい地球科学をわかりやすく、楽しく学ぶ機会を提供する場が必要とされている。ジオパークはその機会を提供する場である。

茨城大学地質情報活用プロジェクトの目的は、地球科学情報をわかりやすく一般の人に伝え、地域振興につなげることである。ジオパークの理念と本プロジェクトの目的は一致する点が多い。本プロジェクトは、発足以降、地球科学を身近に感じてもらうため、地球科学の情報を文化や歴史などと組み合わせることで観光情報へと変換し、ジオに親しみのない人にもわかりやすいよう工夫をしてきた。具体的には、県内15か所の「地質観光まっぷ」の作成、それを用いたジオツアーの実施、学会やサイエンスフェスタでのアウトリーチ活動である。さらに、茨城県北ジオパーク推進協議会の一員となり、学術的な情報を提供することで茨城県北ジオパークをサポートしてきた。

平成 25 年度の活動

①「地質観光まっぷ」の改良制作

五浦マップ

花貫溪谷マップ

袋田の滝マップ

各ジオサイトのインタープリターと連携をとり、従来のマップのデザイン・内容を一新した。従来のマップは茨城県北ジオパークが認定される以前に作られたものであり、さらに、掲載している情報は、地質・地形に関するものに偏っていた。今回の改良で植物や歴史などの情報をさらに加え、より茨城県北ジオパークについて理解を深められるものになった。今後の茨城県北ジオパークにおいて新しいマップがジオツアー等で使われることが期待でき、重要な役割を果たすことができると考える。

②看板制作

北茨城市、筑波銀行と連携し、ジオサイトの魅力を解説する看板のデータを作成した。地質情報に写真や図を加え理解しやすい内容になるよう心掛け、北茨城市の歴史・文化などの情報も多く取り入れた。看板の設置費等は筑波銀行、設置における手続等は北茨城市が分担した。

③茨城県北ジオパークワーキンググループ (WG) への参加

茨城県北ジオパークは管理・運営組織としての協議会、委員会のほかに、実務組織として4つのワーキンググループ（ジオツアー、商品開発、広報、インタープリター）が設置されている。本プロジェクトはそれぞれのWGに加わり、それらの活動を学術面からサポートすることで、茨城県北ジオパークの活動を支えてきた。

平成 25 年度の活動では、従来の活動より「産官学民金」の連携に重点をおいた。各活動における北茨城市、筑波銀行や各ジオサイトインタープリターとの協力は産官学民金連携の成果と言える。結果として本活動は、茨城県北ジオパークを通じ地域振興に大きく寄与できた。このように地元住民だけではなく企業、県や市町村と強く連携を結んでいくことで、真の地域振興を目指していけることができると考える。

MIS35-P11

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

キーワード: ジオパーク, 茨城県北ジオパーク, 地域振興

Keywords: Geopark, North Ibaraki Geopark, regional development

佐渡ジオパークにおける美佐渡会の活動 Activity of Misato-Kai in Sado Island Geopark

市橋 弥生^{1*}
ICHIHASHI, Yayoi^{1*}

¹ 佐渡市教育委員会ジオパーク推進室
¹ Sado city board of education Geopark promotion office

日本ジオパークの認定に向けて機運の醸成を図るため、島内の宿泊施設の女将さんたちと連携した取り組みを紹介する。

美佐渡会（みさとかい）とは、女将どうしの親睦を深め、佐渡観光の活性化を目的として平成 18 年 4 月に設立された団体である。これまで、エコ箸の導入やおもてなし手帳などの作成・配布など、様々な活動を続けてきている。

その活動の 1 つに、「箸置きマット」がある。箸置きマットとは、食事の配膳の下に敷く紙で、その紙に佐渡のお酒処や推進事業などを文章やイラストで紹介し、宿泊客に佐渡島を P R するものである。今回、美佐渡会では佐渡ジオパークをテーマにした箸置きマットを作成した。この取り組みには、美佐渡会、佐渡市、島内福祉施設など複数の団体関わっていることが特徴である。

これらの箸置きマットは、宿泊客から大変好評だという。箸置きマットを気に入り、持ち帰ったり、福祉施設宛にメッセージを残す宿泊客もいる。また、宿泊客と女将たちとのコミュニケーションツールとしても役立っている。

佐渡では、既存団体が積極的な活動に取り組んでいる。複数の団体が参画しながら推進していく取り組みは、ジオパークの推進活動においても重要であり、大変参考になった。今回参画した団体とは、今後も連携を図ると同時に、ジオパークの輪を広げる上で有効な手段であると考えている。

キーワード: 佐渡ジオパーク, 美佐渡会, 観光
Keywords: Sado Island Geopark, Misato-Kai, tourism

ジオ鉄を楽しむー6. 土佐くろしお鉄道中村・宿毛線 Let us Enjoy Geo-Tetsu - the Sixth Geo-tour through Train Windows, Nakamura and Sukumo Line of the TOSA KUROSHIO RAILWAY

藤田 勝代^{1*}; 横山 俊治¹; 加藤 弘徳¹; 上野 将司¹; 安田 匡¹; 今尾 恵介¹; 須賀 康正¹
FUJITA, Masayo^{1*}; YOKOYAMA, Shunji¹; KATO, Hironori¹; UENO, Shoji¹; YASUDA, Tadashi¹; IMAO, Keisuke¹; SUGA, Yasumasa¹

¹ 深田研ジオ鉄普及委員会

¹ Geo-Tetsu Project Committee of the Fukuda Geological Institute

1. ジオ鉄の活動と目的

「ジオ鉄」とは、身近で安全な公共交通機関である鉄道を利用して、誰もが気軽に楽しみながら地質地形など自然や地球環境のことを学ぶ活動の呼び名である(加藤ほか,2009)。筆者らによるジオ鉄の取組みは今年で6年目を迎え、深田研ジオ鉄普及委員会により活動を継続している(藤田ほか,2013)。ジオ鉄では鉄道を通じて「見る」「触れる」「感じる」ことのできる地質・地形遺産やそれらと深く関わる鉄道施設や廃線遺構、さらには文化遺産を「ジオポイント」として選定し、一般の人向けに専門家の解説で見どころを紹介している。本稿ではジオ鉄第6路線「土佐くろしお鉄道中村・宿毛線」のルートを紹介する。

2. ジオ鉄を楽しむー第6路線土佐くろしお鉄道中村・宿毛線

(1) 中村・宿毛線の概要

高知県西部を走る土佐くろしお鉄道中村・宿毛線は、高知県四万十町窪川と同県宿毛市を窪川ー中村間43.0km、中村ー宿毛間23.6kmで結ぶ単線非電化の路線である。窪川駅でJR土讃線と接続し、若井駅の先の川奥信号場でJR予土線と分岐する。列車本数は1~2時間ごとに特急列車、約1時間ごとに普通列車が運行し、県西部の通学や観光アクセスの役割を担っている。とくに普通列車の車体デザインは種類が豊富で、やなせたかし氏の描くサニーくんとサンコちゃんが色鮮やかな「だるま夕日号」のほか、県西部の7市町村それぞれにラッピング車両があり、ジョン万次郎、ジンベイザメ、クジラ、海中写真と柏島、中村の小京都、ヒメノボタン、マラソン大会など、ご当地の魅力満載の列車が沿線風景を楽しませてくれる。

中村・宿毛線の名は建設経緯に由来する。当初、四国循環鉄道として鉄道敷設法により「宇和島ヲ經テ高知縣中村ニ至ル鐵道」として予定されていた宿毛線。しかし昭和26年窪川まで開通した国鉄土讃本線(現JR土讃線)や、昭和28年吉野生一江川崎間を延伸した宇和島線(現JR予土線)の影響もあり、昭和28年改正鉄道敷設法で窪川ー中村間が予定線になると中村線の建設が優先された。昭和31年、土讃本線の延長としての性格をもって国鉄中村線は着工され、同38年土佐佐賀まで、同45年中村まで開通した。しかしながら土讃本線に編入されなかったことが災いして国鉄の廃止対象路線となり、JR四国へ継承後の昭和63年に廃止となった。一方、宿毛線は昭和49年に着工するも、同56年国鉄再建法により凍結。両路線はその後、第三セクターの土佐くろしお鉄道株式会社に引継がれ、平成9年10月、念願の宿毛線開業により現在の形となった。

(2) 中村・宿毛線の恵まれた地形・地質遺産

中村・宿毛線は四万十川流域の白亜紀から古第三紀にかけての砂岩や泥岩からなる四万十帯の付加体地質を走る。列車は四万十川上流域に位置する高知県四万十町の窪川駅(標高210m)を出発するとほどなく沈下橋のかかる四万十川沿いの若井駅へ。川奥信号場で予土線に別れを告げると、当路線ハイライトのひとつ第1川奥トンネル(2031m)へ。車内ではコンパスを片手にぐるりと回転する針を見ながら半径350m、勾配20%で下るループトンネルを体感したい。トンネルを出ると車窓は谷底平野沿いに細長い田んぼが続く。荷稻駅(標高47m)に着くまでに沿線最大23%の勾配を下りきり、列車は伊与木川沿いを進む。伊与木川下流で春の風物詩、鯉のぼりと鯉の川渡しが見えるとすぐに鯉の一本釣りや有名な土佐佐賀駅に到着。海に見えるのは豊漁祈願の神社のある鹿島だ。土佐佐賀駅から先は急峻な大方山地が海岸まで迫っているため幾つもの短いトンネルをくぐる。途中、土佐白浜駅周辺で展望できる四万十帯のタービダイトの海岸露頭は見逃せない。土佐白浜ー有井川間で第一伊田トンネル(1260m)を通過する間に井ノ岬の海成段丘を越える。砂浜美術館やサーフィンで賑わう浮輪一土佐入野間では、沿岸漂砂による加持川(吹上川)の河口偏倚と、入野松原の賀茂神社にある南海地震の石碑を訪れたい。

列車は古津賀駅を過ぎると進路を西へ。幡多地域の中心地・中村市街地を抜け、旧国道56号の赤鉄橋を横目に四万十川を渡る。四万十川下流には度重なる洪水災害の果てに建設された長大な背割堤が支流の中筋川との間に延びている。列車はその先、中筋川沿いを遡りながら中筋低地帯(鹿納ほか,2003)をゆく。かつてこの低地帯は四万十帯北帯と南帯の境界をなす中筋地溝帯と呼ばれたが、現在、四万十帯を不整合で覆う古第三系の暁新世から始新世の斜面海盆堆積物(百笑層:砂岩・黒色頁岩と白色凝灰岩の互層)が侵食された地形であるとされている(鹿納ほか,2003)。列車は高架を西へ

MIS35-P13

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

進み、四国第二位の長さを誇る聖ヶ丘トンネル（5084m）を抜けると宿毛駅に到着。陸繋島の咸陽島とだるま夕陽を見つめながら、幻の宇和島－宿毛間の四国循環鉄道に想いを馳せたい。

キーワード: ジオ鉄, ジオポイント, 土佐くろしお鉄道中村・宿毛線, ループトンネル, 四万十帯, 中筋低地帯

Keywords: Geo-Tetsu, Geo Point, Nakamura and Sukumo Line of the TOSA KUROSHIO RAILWAY, loop tunnel, Shimanto terrane, Nakasuji lowland

重力下における微粒子分散系の集団性と個別性 Collectivity and individuality of particle dispersion under gravity

原田 周作^{1*}
HARADA, Shusaku^{1*}

¹ 北海道大学大学院工学研究院

¹ Faculty of Engineering, Hokkaido University

Collective motion of fine particles in liquid can be widely seen not only in engineering processes but also in natural phenomena such as water treatment [1], sediment transport [2], bio-convection [3] and lava convection [4]. It is well-known that the spatial variance of particle concentration brings about large-scale convection flow under gravity and sometimes it affects macroscopic motion of particles. In this study, of particular interest is whether collective or individual motion of particles reveals in liquid under the gravity field. The existence of concentration interface, which is an ambiguous interface between suspended particles and pure fluid, plays a significant role in these extreme behaviors.

Figure indicates the settling behaviors of stratified-suspended particles in a vertical Hele-Shaw cell filled with liquid [5]. In cases of small particle size with high concentration, the interfacial instability occurs at the lower concentration interface and the suspended particles behave as an immiscible fluid even though there is no distinct border with pure fluid [6]. Consequently the settling velocity is much faster than that of an isolated particle. On the other hand, in case of large particles with low concentration, the concentration interface is less distinct and the suspended particles settle individually. The transition from these collective to individual motions of suspended particles is controlled by the border resolution of concentration interface. We define the dimensionless parameter which describes the border resolution of concentration interface by the ratio of average particle distance $d_p/\phi^{1/3}$ (d_p : particle diameter, ϕ : concentration) to the dominant wavelength of the instability λ . As can be seen in Figure, the dimensionless parameter well describes the transition from fluid-like to particle-like behaviors. The suspended particles (and the interstitial fluid) perfectly behaves as continuum for $d_p/\phi^{1/3}\lambda < 0.03$ and behaves individually relative to fluid for $d_p/\phi^{1/3}\lambda > 0.2$ [5].

The similar collective motion of suspended particles has been studied on the settling of particle clouds in viscous fluid. Some researchers have suggested that the collective motion of particles in clouds can be explained by the swarm of Stokeslet [7]. They have found that the particle cloud behaves collectively when the flow generated by each particle (Stokeslet) enough screens the surrounding flow. If the above parameter is rewritten by number density of particles N , it is expressed as $(6/\pi)^{1/3}/N^{1/3}\lambda$. Therefore the border resolution of concentration interface express the discretization of space by Stokeslet $1/N^{1/3}$ for a given lengthscale λ .

One more interesting similarity to previous study is the wavelength of instability. From the linear stability analysis of Rayleigh-Taylor instability on both miscible and immiscible interfaces of pure fluids [8], it is found that the dominant wavelength of miscible interface with no diffusion and immiscible interfaces with no interfacial tension are asymptotically close to constant value. The wavelength at concentration interface is also close to the asymptotic value [9]. From this point of view, the concentration interface can be interpreted both as the the immiscible interface with no interfacial tension and the miscible interface with no diffusion.

References

- [1] E. Guyon et al., Physical Hydrodynamics, Oxford University Press (2001).
- [2] J. D. Persons et al., Sedimentology, 48, 465-478, (2001).
- [3] T. J. Pedley and J.O. Kessler, Annu. Rev. Fluid Mech., 24, 313-358, (1992).
- [4] H. Michioka and I. Sumita. Geophys. Res. Lett., 32, L03309, (2005).
- [5] S. Harada et al., Eur. Phys. J. E, 35, 1-6, (2012).
- [6] C. Voltz et al., Phys. Rev. E, 65, 011404, (2001).
- [7] B. Metzger et al., J. Fluid Mech., 580, 283-301, (2007).
- [8] J. Fernandez et al., Phys. Fluids, 13, 3120-3125, (2001).
- [9] S. Harada et al., Chem. Eng. Sci., 93, 307-312, (2013).

MIS36-01

会場:314

時間:5月1日 10:00-10:30

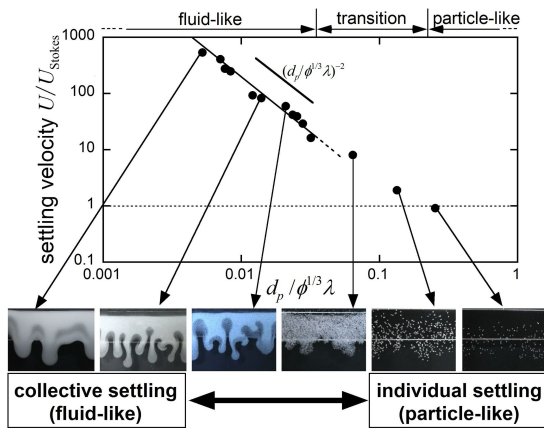


Figure 1: Collective and individual settlings of suspended particles in Hele-Shaw cell.

セメント物質の逆ケミカルガーデン反応 Reverse chemical garden reaction of cementitious materials

佐藤 久夫^{1*}; 古川 えりか²; 木村 勇氣²
SATO, Hisao^{1*}; FURUKAWA, Erika²; KIMURA, Yuki²

¹三菱マテリアル, ²東北大学

¹Mitsubishi Materials Corporation, ²Tohoku University

近年、ナノスケール鉱物学は星間ダストや小惑星由来の物質に知られる地球外物質からごく普通の工業生産物質であるセメントにまで広く拡張されている。ナノ物質における固有の性質は、(1)核形成、(2)自己組織化、(3)組織の柔軟性の観点において特徴づけることができる。非常に一般的な工業物質であるセメントは、カルシウムケイ酸塩水和物(C-S-H)のナノ粒子で構成されている。

最近、干渉計やナノ観察技術を使ったセメント物質の結晶成長実験が可能となった。水酸化カルシウムやそれ以上のアルカリ性溶液と反応するケイ酸塩からC-S-Hを形成するセメント反応は、建設中やその後のビルで広く起きているものであり、同様の反応は、トンネルやダム、放射性廃棄物処分場などのコンクリート建造物と天然の岩石が接触している界面などでも予想される。

垂直走査干渉計を用いた岩石の高アルカリ変質実験は、C-S-H沈殿の振る舞いが天然岩石における逆ケミカルガーデン反応によってもたらされることを明らかにした(Sato et al., in press)。このとき、岩石上のC-S-Hの成長速度は非常に遅く、およそ $2.4E-3$ nm/sと観測された。そのC-S-Hの壁は半透膜のようにナノポアをもっていて、それを通して溶質のイオン選択が起きていることも確認された。

最近になって、我々は新たに開発された溶液反応電子顕微鏡観察装置 Poseidon による超微細観察手法をシリカヒューム(Elkem Microsilica 940-U, ~150 nm)と水酸化カルシウム飽和溶液における逆ケミカルガーデン反応の研究に適用した。その結果、この反応は数分から数十分の短時間で観察でき、シリカの水和(体積膨張)で始まり、続いてひも状およびべール状のC-S-H形成が起こることを明らかにした。ひも状C-S-Hの成長速度は $4.5E-2$ nm/sであり、これは続いて起こるべール形成のためのフレームネットワークとなるには充分速いものである。またこのべール状CSHは時間と共に化学組成がCa-richへと変化することをFESEM-EDS分析によって確認した。この観察した過程は、逆ケミカルガーデン反応、すなわちセメント固化反応の素過程と思われる。

超微細観察によるC-S-H成長の探究は将来の地下水環境のシミュレーションを改善するために役立つであろう。

キーワード: 逆ケミカルガーデン反応, セメント物質, C-S-H, 流体反応透過電子顕微鏡

Keywords: reverse chemical garden reaction, cementitious material, C-S-H, fluid reaction TEM

水溶液系における液体・液体転移の普遍的性質 General nature of liquid-liquid transition in aqueous organic solutions

村田 憲一郎^{1*}; 田中 肇¹
MURATA, Ken-ichiro^{1*}; TANAKA, Hajime¹

¹ 東京大学生産技術研究所
¹Institute of Industrial Science, University of Tokyo

Contrary to the conventional wisdom that there exists only one unique liquid state for any material, there are growing experimental and numerical pieces of evidence for the existence of more than two liquid states in a single component substance. The transition between them is called liquid-liquid transition (LLT). LLT has attracted considerable attention because of its importance in the fundamental understanding of the liquid state. However, the physical nature of the transition has remained elusive. Particularly for water, the possible existence of LLT has special implications not only on its fundamental understanding, but also on a link of various thermodynamic and transport anomalies with critical anomaly associated with LLT. Here we reveal that 14 aqueous solutions of sugar and polyol molecules, which have an ability to form hydrogen bonding with water molecules, exhibit liquid-liquid transitions. We find evidence that both melting of ices and liquid-liquid transitions in all these aqueous solutions are controlled solely by water activity, which is related to the difference in the chemical potential between an aqueous solution and pure water at the same temperature and pressure. Our theory shows that water activity is determined by the degree of local tetrahedral ordering, indicating that both phenomena are driven by structural ordering towards ice-like local structures. This has a significant implication on our understanding of the low-temperature behaviour of water.

キーワード: 液体・液体転移, 水・水溶液, 過冷却液体・ガラス
Keywords: liquid-liquid transition, water and aqueous solution, supercooled liquids and glasses

TEMによる溶液中結晶化過程の直接観察 Direct Observation of Crystallization Process in a Solution using Transmission Electron Microscopy

木村 勇気^{1*}; 山崎 智也¹; 古川 えりか¹; 新家 寛正²; 塚本 勝男¹; Garcia-Ruiz Juan M.³
KIMURA, Yuki^{1*}; YAMAZAKI, Tomoya¹; FURUKAWA, Erika¹; NIINOMI, Hiromasa²; TSUKAMOTO, Katsuo¹; GARCIA-
RUIZ, Juan M.³

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 名古屋大学大学院工学研究科, ³ グラナダ大学

¹Tohoku University, ²Nagoya University, ³Universidad de Granada

Nucleation is a fundamental event that determines the size, number and morphology of produced crystals. Therefore, the nucleation process must be clarified to form products efficiently and to predict mineralization in various environments. The direct approach to understanding nucleation would be atomic-scale in-situ observation, for which a transmission electron microscope (TEM) would be a most powerful tool. However, the experimental conditions for TEM are limited, and there have been only a few reports on the in-situ observation of nucleation processes to date. In particular, since TEM needs a high vacuum, crystallization experiments in a solution are generally impossible. Recently, the processes of formation of nanoparticles and coalescence in a solution were finally observed using specially designed cells in a TEM [1-3]. However, live observation of the dynamics of the earliest stages of nucleation - those taking place before the formation of a stable crystal - had never been achieved before our recent work [4]. We overcame the difficulty by using an ionic liquid, which has negligible vapor pressure and is not charged up by the electron beam due to its relatively high electron conductivity, and by aiming to visualize the dynamics of nucleation under conditions very close to equilibrium, where the nucleation rate must be small but the conditions for TEM observation are more stable. We used two TEMs at an acceleration voltage of 200 kV (Hitachi H-8100, installed at Tohoku University, Japan) for the nucleation experiment and 300 kV (Hitachi H-9500, installed at Hitachi High-Technologies Corporation, Ibaraki, Japan) for the in-situ heating experiment.

An ionic solution could be observed stably under normal electron irradiation conditions as expected. Nucleation of sodium chlorate crystals was directly observed in the TEM at room temperature. Then, the sample was heated up in the TEM. The main results of the heating experiment were as follows:

1. Nanocrystals were not only dissolved but also newly formed even in the totally dissolving system, i.e., probably an under-saturated condition.
2. Both stable and metastable crystals nucleated independently of their respective solubility. However, metastable crystals were dissolved in a shorter residence time.
3. The total number of smaller particles decreased with the formation of new particles by the Ostwald ripening at or near equilibrium conditions.
4. High-density fluctuations may lead to nucleation even under equilibrium conditions.

We describe the ongoing results to elucidate the dynamics of nucleation at the nanoscale, as well as the growth, coalescence and dissolution of nanocrystals in a solution.

[1] Yuk, J. M., Park, J., Ercius, P., Kim, K., Hellebusch, D. J., Crommie, M. F., Lee, J. Y., Zettl, A. & Alivisatos, A. P. High-resolution EM of colloidal nanocrystal growth using graphene liquid cells. *Science* **336**, 61-64 (2012).

[2] Li, D., Nielsen, M. H., Lee, J. R. I., Frandsen, C. Banfield, J. F. & De Yoreo, J. J. Direction-specific interactions control crystal growth by oriented attachment. *Science* **336**, 1014-1018 (2012).

[3] Liao, H.-G., Cui, L., Whitlam, S. & Zheng, H. Real-time imaging of Pt₃Fe nanorod growth in solution. *Science* **336**, 1011-1014 (2012).

[4] Kimura, Y., Niinomi, H., Tsukamoto, K. & Garcia-Ruiz, J. M. In-situ live observation of nucleation and dissolution of sodium chlorate nanoparticles by Transmission Electron Microscopy. *J. Am. Chem. Soc.*, DOI: 10.1021/ja412111f. (2014).

キーワード: 核生成, その場観察, 透過電子顕微鏡, イオン液体
Keywords: Nucleation, In-situ observation, TEM, Ionic liquid

NaClO₃ 溶液成長におけるアキラル-キラル多形転移を介したキラリティの発生と増幅 Emergence and Amplification of Chirality via Achiral-Chiral Polymorphic Transition in Sodium Chlorate Solution Growth

新家 寛正^{1*}; 原田 俊太¹; 宇治原 徹¹; 三浦 均²; 木村 勇気³; 上羽 牧夫⁴; 塚本 勝男³
NIINOMI, Hiromasa^{1*}; HARADA, Shunta¹; UJIHARA, Toru¹; MIURA, Hitoshi²; KIMURA, Yuki³; UWAHA, Makio⁴; TSUKAMOTO, Katsuo³

¹名古屋大学大学院工学研究科, ²名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科, ³東北大学大学院理学研究科, ⁴名古屋大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Engineering, Nagoya University, ²Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University, ³Graduate School of Science, Tohoku University, ⁴Graduate School of Science, Nagoya University

キラリティは、自然界の様々な階層において普遍的に存在する概念である。両鏡像異性体の安定性は同じであるにも関わらず、地球上における生命は、片方の鏡像異性体（例えば、アミノ酸はL体、糖はD体）のみで構成されている。この現象は、ホモキラリティと呼ばれ、その起源と同一キラリティの増幅過程は原始地球環境における生命進化上の謎である。ホモキラリティの起源の1つとして、アキラルな物質のキラル結晶化が考えられている。塩素酸ナトリウム (NaClO₃) は、アキラルな水溶液からキラル結晶する。NaClO₃ は立方晶系の結晶構造にキラリティを有する。NaClO₃ 水溶液を静置し、蒸発させ結晶を得ると両鏡像体は同数得られる。ところが、水溶液に攪拌を施すと、片方の鏡像体のみ得られることが Kondepudi らにより明らかにされた [1]。両鏡像体の熱力学的安定性は同じであるにもかかわらず、何故、キラリティが偏るのか、その機構は未解明である。後続の結晶化実験により、対称性の破れは結晶化初期で起きることが示唆されている。しかし、その初期過程を直接的に調べた研究はない。そこで、著者らは、NaClO₃ 結晶化初期過程の顕微鏡”その場”観察を試みた。その結果、キラル結晶の形成に先立ち、アキラルな単斜晶系の準安定相が現われることを明らかにし、2011年度の地球科学連合大会で報告した。本研究では、さらに詳細なその場観察を試み、キラリティ発生過程と増幅過程を明らかにする。

22℃で飽和な NaClO₃ 水溶液滴 (6μl) をスライドガラス上で蒸発させ、蒸発により誘起される結晶化過程を偏光顕微鏡によりその場観察した。液滴の温度は、ペルチェ素子を用いて 22℃に保たれた。偏光顕微鏡により複屈折の有無を検知し、立方晶か非立方晶かを判別し、キラル結晶とアキラル結晶を区別した。また、偏光顕微鏡により旋光性を検知し、キラル結晶の掌性を判別した。

アキラル結晶からキラル結晶への多形転移が観察された。その多形転移は、転移速度の違いにより2種類に分類できることがわかった。遅い転移はおよそ 35 μm/sec で進行し (Fig. A)、速い相転移はおよそ 2000 μm/sec の速さで進行した (Fig. B)。また、遅い相転移は、キラル結晶との接触により誘起されることがわかった。この接触誘起転移の場合、接触した結晶のキラリティと相転移の結果現れた結晶のキラリティは、同じであることがわかった。転移速度における2桁もの違いは、転移機構の違いが原因であると推測される。そのため、速い相転移と遅い相転移は、それぞれ、構造相転移と液相媒介相転移であると考えられる。構造相転移の場合、転移に要する活性化エネルギーは両鏡像体で等しいと推測されるので、両鏡像体は同確率で現われると考えられる。一方で、接触誘起の液相媒介相転移の場合、結果現われる結晶は、接触した結晶のキラリティを引き継ぐ。この特徴は、同一のキラリティの増幅過程であると考えられ、系のキラリティが偏る原因の1つであると考えられる。

これまで、キラリティの発現と増幅は、それぞれ、キラル結晶の一次核形成と、一次核形成により現れたキラル結晶を元にした二次核形成により解釈されてきた。それに対し、本研究では、結晶多形転移に基づいた新たなキラリティ発現・増幅機構が示唆された。

参考文献

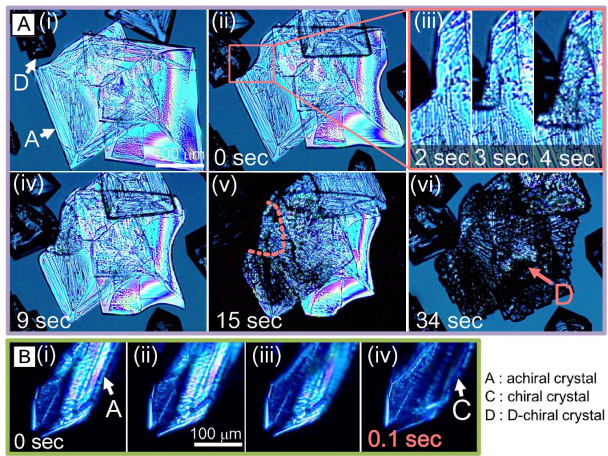
- [1] D.K. Kondepudi, R. J. Kaufman & N. Singh, (1990). *Science*, Vol. 250, pp.975-976.
- [2] H. Niinomi, T. Kuribayashi, H. Miura & K. Tsukamoto, Japan Geoscience Union Meeting 2011, MIS020-06.

キーワード: 塩素酸ナトリウム, キラリティ対称性の破れ, キラル結晶化, 準安定相, 多形転移, その場観察
Keywords: sodium chlorate, chiral symmetry breaking, chiral crystallization, metastable phase, polymorphic transformation, in-situ observation

MIS36-05

会場:314

時間:5月1日 11:45-12:00



炭酸カルシウム表面/クラスターにおける2価陽イオンの安定性に関する理論的考察 Theoretical analysis on the stability of divalent cations in the surface sites and clusters of calcium carbonate

川野 潤^{1*}; 佐久間 博²; 永井 隆哉³
KAWANO, Jun^{1*}; SAKUMA, Hiroshi²; NAGAI, Takaya³

¹ 北大創成, ² 物材研, ³ 北大院理

¹CRIS, Hokkaido Univ., ²NIMS, ³Grad. School of Science, Hokkaido Univ.

Formation process of calcium carbonate polymorphs, calcite, aragonite and vaterite has been extensively investigated, and impurity effect has been proposed as controlling phenomena in order to account for the formation of a particular polymorph. For example, it has been reported that an addition of Mg^{2+} in a solution inhibits calcite formation and promotes aragonite formation, however incorporation mechanism of this kind of impurities is poorly understood.

In general, smaller divalent cations than Ca^{2+} , like Mg^{2+} , cannot form solid solution with aragonite. However, the structure of a crystal surface or small cluster forming at an initial stage of crystal growth can be different from the bulk crystal because of its flexibility, and it can act as the site for incorporation of ions which is unstable in the bulk structure. In the present study, the stability of divalent cations, especially Mg^{2+} , (1) on hydrated aragonite surface and (2) in the cluster forming in an early stage of nucleation was investigated by quantum-chemical calculations, and the impurity effects on the formation of polymorphs were discussed.

The calculation results show that Mg^{2+} is easier to be incorporated into a small cluster, while the hydration energy of Mg^{2+} is higher than that of other divalent cations. This indicates that Mg^{2+} is difficult to be released from hydration shell, however, once released, it is easy to incorporate into the cluster. Atomic arrangement of these clusters including Mg^{2+} is different from that of additive-free $CaCO_3$ clusters. Furthermore, Mg^{2+} on the aragonite surface considerably affects the surface structure and has an influence on the stability of aragonite. Thus, incorporation of Mg^{2+} into the clusters and surfaces sites should play an important role on the formation of the crystalline nuclei and the consequent crystal growth.

キーワード: 炭酸カルシウム, 不純物, 結晶成長

Keywords: calcium carbonate, impurity, crystal growth

固液界面の原子レベルその場観察によるカルサイトの水和構造に対する添加物効果の解明

Atomic scale in situ observation of solid-liquid interface of calcite

荒木 優希^{1*}; 塚本 勝男²; 木村 勇氣³; 宮下 知幸⁴; 大藪 範昭⁵; 小林 圭⁶; 山田 啓文⁵
ARAKI, Yuki^{1*}; TSUKAMOTO, Katsuo²; KIMURA, Yuki³; MIYASHITA, Tomoyuki⁴; OYABU, Noriaki⁵; KEI, Kobayashi⁶
; YAMADA, Hirofumi⁵

¹ 神戸大学理学研究科, ² 東北大学理学研究科, ³ 北海道大学低温科学研究所, ⁴ 近畿大学生物理工学部, ⁵ 京都大学工学研究科, ⁶ 京都大学産官学連携本部

¹Graduate school of Science, Kobe University, ²Graduate school of Science, Tohoku University, ³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ⁴Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kinki University, ⁵Department of Electronic Science and Engineering, Kyoto University, ⁶The Hakubi Center for Advanced Research, Kyoto University

Calcium carbonate is one of common minerals on the earth. Calcium carbonate crystals are utilized industrially in various fields, so that the control of crystal growth is required. It has been known that organisms control the morphology and polymorph of calcium carbonate crystals by utilizing inorganic and organic additives in biomineralization. Understanding the additive effects on growth of calcium carbonate crystal is necessary to control the crystal growth.

The effect of additives on growth of calcite which is a stable polymorph of calcium carbonate has been investigated. The additive effect on calcite surface, such as incorporation of magnesium ions into calcite and pinning of step propagation by organic molecules has been confirmed. On the other hand, the additive effect on hydration of calcite has remained unclear even if that effect has been suggested by the measurement of growth rate of calcite in the presence of additives. Hydration affects adsorption and surface diffusion of ions on calcite surface. Also, the dehydration has been considered as rate-determining process in solution growth by the estimation of energy barriers of solution growth processes. Therefore, hydration is a key to control the kinetics of calcite growth.

Hydration at the vicinity of calcite surface has been measured by surface X-ray diffraction. Although this technique made the description of hydration structure clear, it does not show the local difference of hydration structure between on the terrace and the step front which is capture site of ions. Hence, we employed the newly frequency modulation atomic force microscopy (FM-AFM) for in situ observation of local hydration structure in atomic scale. This technique is expected to provide insight into the atomic scale distribution of hydrated water molecules in growth solution even at step front. This study describes the first in situ examination of the additive effect of organic molecules and magnesium ions on local hydration structure of calcite surface in atomic scale utilizing FM-AFM. The hydration images were compared with the growth rate of calcite measured using phase shift interferometry so as to validate the influence of hydration on the growth rate of calcite.

The findings are summarized as follows:

- (1) The synthetic polypeptide, even that with high hydrophilicity, does not affect hydration at the surface of calcite.
- (2) Combination of magnesium ions and the synthetic polypeptides provides a rigid hydration on calcite surface.
- (3) Magnesium ions and the synthetic polypeptides influence hydration and the surface pattern of calcite, respectively.
- (4) Structured water distribution eases the energy gap between the calcite surface and solution. As a result, the interfacial tension between the calcite surface and the solution is decreased.
- (5) Magnesium ions and the synthetic polypeptide act in unison to accelerate nucleation via changes in hydration structure.
- (6) Hydration contributes to interfacial energy between the calcite and the solution, but not for the adsorption of ions on the calcite steps.

This study demonstrated that additives affect the interfacial tension via altering hydration structure by application of FM-AFM for crystal growth experiment for the first time. Our results also showed that there is hardly any change in the adsorption of ions on calcite surface due to the hydration structure. That suggests that dehydration is not a rate-determining process, an observation that is contrary to the currently prevailing theory. The further observation of hydration of step front will be carried out by FM-AFM to demonstrate the effect of hydration on adsorption of ions. These findings indicate that the control of interfacial tension is possible utilizing the additive effect on hydration. That provides a new knowledge to regulate the polymorphism of calcium carbonate.

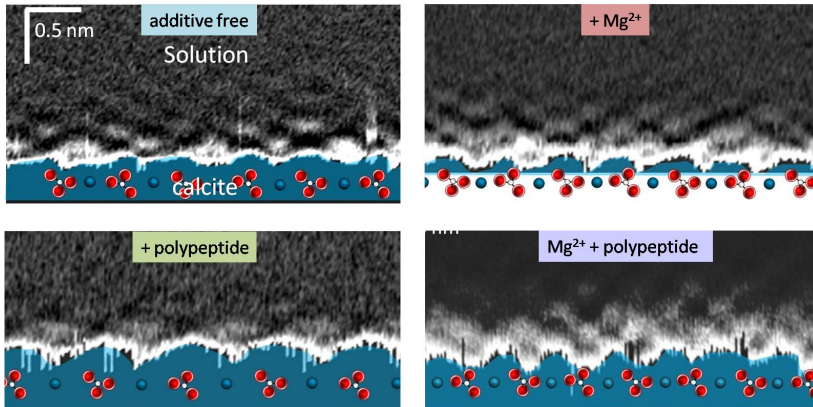
キーワード: カルサイト, 水和, 周波数変調方式原子間力顕微鏡
Keywords: Calcite, Hydration, FM-AFM

MIS36-07

会場:314

時間:5月1日 12:15-12:30

FM-AFM images of Hydration structure on calcite



コロイド結晶成長における不純物の分配挙動 Impurity partitioning in colloidal crystallization

野澤 純^{1*}; 胡 素梦¹; 小泉 晴比古¹; 藤原 航三¹; 宇田 聡¹
NOZAWA, Jun^{1*}; HU, Sumeng¹; KOIZUMI, Haruhiko¹; FUJIWARA, Kozo¹; UDA, Satoshi¹

¹ 東北大学, 金属材料研究所

¹Institute for Materials Research, Tohoku University

Colloidal crystals are regarded as a promising tool to investigate diverse basic physical phenomena. We have applied this colloidal crystal to impurity partitioning in the melt growth. Since no research has been focused to detail partitioning behavior of colloidal crystals, the objective of the present work is to reveal a partitioning behavior during colloidal crystallization.

A few amount of impurities (2 percent) were doped to the colloidal dispersion, from which colloidal crystals were grown with convective assembly method. Polystyrene particles (PS) were used for fabricating colloidal crystals, and different sizes of PS and fluorescent bearing PS (w/fluor.) were doped as impurity particles.

In each particle size for two kinds of impurity, effective partition coefficient (k_{eff}) were measured at various growth rates. Obtained k_{eff} gives k_0 by using BPS plot. The k_0 is decreased as the difference between the size of the impurity and the 500 nm host particle increased. The k_0 of each w/fluor. was larger than that of the corresponding pure PS. Moreover, the value of k_0 for the 520 nm w/fluor. surpassed unity, whereas the PS is always less than unity.

We have employed a Thurmond and Struthers (T&S) model (J. Phys. Chem. 57, 831 (1953)) to discuss the difference of k_0 for PS and w/fluor. particles. T&S model shows k_0 as; $k_0 = \exp((\Delta G_{Tr} - \Delta H)/RT)$. Here, ΔG_{Tr} is free energy difference between the solid and liquid phases of an impurity at the transition temperature, T, ΔH is the excess enthalpy which is caused by incorporation of the impurity into the host material, and R is a gas constant. We have determined the phase transition volume fraction for PS and w/fluor. to evaluate the ΔG_{Tr} . It was shown that ΔG_{Tr} of w/fluor. is positive whereas PS is zero. This leads to larger $\Delta G_{Tr} - \Delta H$ of w/fluor. than that of PS, which corresponds to larger k_0 of w/fluor., and in a small $-\Delta H$ range, k_0 of w/fluor. surpasses unity. We have found the difference of k_0 for different kinds of impurity particles, and succeeded in applying concept of T&S model to partitioning of colloidal crystals.

キーワード: コロイド結晶, 不純物分配

Keywords: Colloidal crystal, Impurity partitioning

シュウ酸カルシウム一水和物 (100) 面上での氷核生成機構：分子動力学シミュレーション研究
Mechanism of ice nucleation on (100) plane of calcium oxalate monohydrate: a molecular dynamics simulation study

灘 浩樹^{1*}; 石川 雅也²; 越後 拓也³
NADA, Hiroki^{1*}; ISHIKAWA, Masaya²; ECHIGO, Takuya³

¹ 産業技術総合研究所環境管理技術研究部門, ² 農業生物資源研究所, ³ 滋賀大学
¹EMTECH, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), ²National Institute of Agrobiological Sciences, ³Shiga University

シュウ酸カルシウム一水和物 (Calcium Oxalate Monohydrate, COM) はシュウ酸カルシウム多形の中で熱力学的に最も安定である。COM は、地表、海底、大気中、隕石中、植物中、腎結石中などに存在する有機鉱物として知られている。これまで、COM は鉱物学や生物学、医学の分野における研究対象としてよく取り上げられてきた。

最近、石川らの実験により、ヨウ化銀や氷核バクテリアと同じように COM が氷核物質であること、COM 結晶の (100) 面が高い氷核性を示す面であることがわかってきた。COM の氷核生成促進機構の研究は、人工降雪剤の開発などとも関連して学問的にも実用的にも重要である。分子動力学 (MD) シミュレーションは、分子レベルでの氷核生成促進機構を調べるにあたり最適な手段である。そこで我々は、COM(100) 面による氷核生成促進機構を解明するための MD シミュレーションを行った。

シミュレーションにおいて、水分子間相互作用は Six-site model を用いて計算した。水分子-COM 間相互作用は Tommaso らが提案する COM モデルを用いて計算した。COM の <100> 方向には、二つの異なる分子層が交互に積み重なっている。一つはカルシウムイオンとシュウ酸イオンからなる正に帯電した Ox-1 層で、もう一つはシュウ酸イオンと水分子からなる負に帯電した Ox-2 層である。シミュレーションは、Ox-1 層と Ox-2 層に挟まれた過冷却水に対して実施した。温度は 268 K に設定した。合計で 4 ns 以上のランを実施した。シミュレーションは、Ox-2 層周辺における極性立方晶氷構造の形成を示した。しかし、六方晶氷構造の形成は見られなかった。詳しいシミュレーション結果は講演時に示す。

本研究は文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「融合マテリアル」(領域 No. 2206, 課題 No. 22107004) の支援を受けて実施している。

キーワード: 結晶成長, 核生成, 氷, 有機鉱物, 計算機シミュレーション, シュウ酸カルシウム
Keywords: crystal growth, nucleation, ice, organic mineral, computer simulation, calcium oxalate

液中非接触原子間力顕微鏡による結晶表面での吸着分子観察 Observation of admolecule on the crystal surface in liquid by non-contact atomic force microscopy

長嶋 剣^{1*}
NAGASHIMA, Ken^{1*}

¹ 北海道大学低温科学研究所

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Japan

近年液中での非接触原子間力顕微鏡観察が盛んに行われている。我々はそれを用いてタンパク質結晶である正方晶リゾチーム (110) 面の溶液中観察を行った。非常に弱い相互作用力で高分解能像が得られるという特徴を活かし、分子分解能像や吸着分子等の観察を行うことに成功した。

原子間力顕微鏡 (AFM) による高分解能観察において最も重要なのは、如何にして弱い相互作用力で表面の情報を得るか、ということにある。これまで固液界面観察で主流であった接触方式 (コンタクト) や振幅変調方式 (タッピング) では nN オーダーの強い相互作用力によって画像化していたが、近年開発が進められている周波数変調方式による非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM)[1] では pN オーダーと弱い相互作用力により表面観察が可能である。この利点として、例えば原子 1 個や分子 1 個との間に働く弱い相互作用力によって画像化が可能であることがあげられ、高分解能観察や表面に弱い力で吸着している吸着分子観察への応用が期待できる。本発表ではタンパク質結晶である正方晶リゾチーム (110) 面の分子分解能観察 [2] や吸着分子観察を例にとって非接触原子間力顕微鏡の利点を紹介する。

謝辞

非接触原子間力顕微鏡の設置や操作等については (株) 島津製作所にご協力頂いた。リゾチーム結晶の作成については大阪大学森研究室ならびに (株) 創晶の方々にご協力頂いた。理論的な AFM 像については (株) アドバンストアルゴリズム & システムズ社の走査プローブ顕微鏡シミュレータを使用させて頂いた。

[1] T. Fukuma et al., Appl. Phys. Lett. 87, 034101 (2005).

[2] K. Nagashima et al., J. Vac. Sci. Technol. B 28, C4C11 (2010).

キーワード: 原子間力顕微鏡, 結晶成長, 原子像, 吸着分子, タンパク質結晶

Keywords: AFM, Crystal growth, Atomic resolution image, Admolecule, Protein crystal

MIS36-11

会場:314

時間:5月1日 14:45-15:00

国際宇宙ステーションでのタンパク質結晶成長その場観察実験結果 In-Situ Observation of Protein Crystal Growth in The International Space Station

村山 健太^{1*}; 吉崎 泉²
MURAYAMA, Kenta^{1*}; YOSHIKAZAKI, Izumi²

¹ 塚本勝男, ²JAXA
¹Katsuo Tsukamoto, ²JAXA

In-situ observation of protein crystal growth was conducted at the international space station in 2012. Both growth rate and surface topography of lysotyme crystals vs supersaturation and purity of the solution were measured for the first time by interferometry in space. The differences from ground-base experiments became clear to answer the question "Why better crystal could be grown in space?".

キーワード: 結晶成長, 宇宙実験

Keywords: crystal growth, space experiment, microgravity

空気雰囲気下における Pt/C 触媒の SEM/STEM 同時その場観察 In situ simultaneous SEM/STEM observation of Pt/C catalyts in a gaseous atmosphere

佐藤 岳志^{1*}; 松本 弘昭¹; 長沖 功¹; 長久保 康平¹; 矢口 紀恵¹
SATO, Takeshi^{1*}; MATSUMOTO, Hiroaki¹; NAGAOKI, Isao¹; NAGAKUBO, Yasuhira¹; YAGUCHI, Toshie¹

¹ 株式会社日立ハイテクノロジーズ
¹Hitachi High-Technologies Corporation

In order to gain fundamental understanding of the degradation mechanisms of Pt/C catalyst, there is an increasing demand on the nanostructural characterization using TEM. We have developed the humid-air supply system in TEM, H-9500 300 kV TEM and we have success the deterioration mechanism of fuel cell electrocatalyst¹. Recently, we developed in situ simultaneous SEM/STEM observation technique for surface analysis of catalyst materials using a HF-3300 Cold-FE TEM with SEM/STEM function. We succeeded in visualizing of three-dimensional movement of the Pt particles on the carbon support in the gas atmosphere by this observation technique.

In situ simultaneous SEM/STEM observation of the platinum catalyts on carbon support (Pt/C; Pt: 29 wt.%) in the air conditions were carried out using HF-3300 equipped with the Cold-FE gun and the SEM/STEM function. A gas injection-heating specimen holder² was used for the Pt/C powder heating and gas injection. Pt/C powder mounted on the tungsten wire was heated to 200 deg C in a TEM, and then, while air was spraying (up to 1.2×10^{-2} Pa) from the injection nozzle to the Pt/C, the behavior of the Pt/C was recorded as the movie file. After the air injection at about 1.0×10^{-3} Pa, the coalescence growth between Pt particles on the carbon support was observed, and the Pt particles gradually started inserting into the carbon support. After that, most all of the Pt particles on the carbon support disappeared from the surface of the carbon support. And the carbon support structure was changing into a porous morphology.

We can observe that the behavior of the Pt particles on the carbon support was penetrated into the carbon support by in situ simultaneous SEM/STEM observation. These results demonstrate that the penetration of Pt particles to carbon support affects the degradation mechanism of a Pt/C electrocatalyst.

1. T. Yaguchi et. al., Journal of Electron Microscopy 60(3), 217?225, (2011)
2. T. Kamino et. al., Journal of Electron Microscopy 54(6), 497?503, (2005)

キーワード: 電子顕微鏡, その場観察

Keywords: electron microscope, in situ observation

晩期型巨星周におけるシリケートダストの低温結晶化：自由浮遊ナノ粒子の赤外スペクトルその場計測実験
Low temperature crystallization of free-flying silicate nanoparticles investigated by in-situ IR measurement experiment

石塚 紳之介^{1*}; 木村 勇気¹; 左近 樹²
ISHIZUKA, Shinnosuke^{1*}; KIMURA, Yuki¹; SAKON, Itsuki²

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Tohoku University, ²Department of Astronomy, University of Tokyo

Dust is typically 100 nm sized nanoparticles which can be observed ubiquitously in the universe. Dust forms from the high temperature gas in the out flow of evolved stars and dispersed into interstellar space. Silicate dust is one of the most abundant minerals in the universe including, shells around evolved stars [1], disks around young stars [2], comets [3] and so on. So its formation mechanism is the key process to understand the lifecycle of dust. Especially, 10 μm IR band structure from 8 μm to 12.5 μm in wavelength arising from Si-O stretching provides us mineralogical character of silicate. The Infrared Space Observatory mission revealed the existence of crystalline silicates around evolved stars based on the 10 μm band feature mainly attributed to amorphous silicate [4]. Numerous laboratory experiments to reproduce the observed spectra such as direct condensation [e.g. 5] and annealing of amorphous silicates [e.g. 6] showed variation in the IR spectra due to structure, chemical composition, temperature, size and shape, and proposed formation mechanisms of crystalline silicates. Nevertheless the scenario is not fully understood. One of the most important discrepancies concerning the dust formation process is a detection of an IR feature attributed to crystalline silicates at low temperature region, typically <300 K [1] in contrast to amorphous silicates at high temperature region [4]. Low temperature crystalline silicates cannot be explained by direct condensation or annealing involving high temperature process.

Recently, we have investigated new IR measurement technique for free-flying nanoparticles which enabled direct comparison with astronomical observation without KBr medium effects which pervert its band structure such as peak wavelength, FWHM and relative intensity [7]. Applying the new IR technique, we investigated condensation of Mg-bearing silicate from thermally evaporated magnesium and silicon oxide under the atmosphere of O₂ and Ar based on 10 μm band.

In-situ IR measurement revealed initial condensates were amorphous or droplet of Mg-bearing silicate and its crystallization took place at <500 K. Furthermore, crystallization kept proceeding through lower temperature region. Produced particles showed core-mantle like structure, amorphous silica covered with polycrystalline forsterite observed by Transmission Electron Microscope.

Prevailing annealing experiments reported that 1000 K is required for crystallization of forsterite [8]. This critical discrepancy may be explained by nano size effects. When immoderately small particle nucleates, a particle takes metastable amorphous or droplet phase because of lower melting point of a nanoparticle [9] and larger diffusion coefficient of molecules in a nanoparticle distinct from in bulk [10]. In case the condensates were droplet due to the size effects, activation energy of crystallization is significantly low compared to amorphous [11]. We concluded such characteristic phenomena in nanometer scale enabled low temperature crystallization in the same way as the circumstellar environments.

References: [1] Waters, L. B. F. M., et al. 1996, A&A, 315, L361, [2] Bouwman, J., et al. 2001, A&A, 375, 950, [3] Hanner, M., et al. 1994, ApJ, 425, 274, [4] Molster, F., & Kemper, C. 2005, Space Sci. Rev., 119, 3, [5] Tsuchiyama, A. 1998, Mineralogy journal, 20, 59, [6] Hallenbeck, S. L., et al. 2000, ApJ, 535, 247, [7] Bohren, C. F., & Huffman, D. R. 1983, Absorption and Scattering of Light by Small Particles (New York: Wiley), [8] Koike, C., et al. 2010, ApJ, 709, 983, [9] Qi., 2005, Physica B, 368, 46, [10] Yasuda, H., et al. 1992, JEM, 41, 267, [11] Tanaka, K., K. et al. 2008, JCG, 310, 1281

Keywords: astromineralogy, nanoparticle, experiment, IR

大規模MD計算による凝縮核生成エネルギーの導出および核生成率の新しいスケーリング

Free energy of cluster formation and a new scaling relation for the nucleation rate

田中 今日子^{1*}; ディアモンド ユルグ²; アンジェリル レイモンド²; 田中 秀和¹
TANAKA, Kyoko^{1*}; DIEMAND, Juerg²; ANGELIL, Raymond²; TANAKA, Hidekazu¹

¹ 北海道大学低温科学研究所, ² チューリッヒ大学

¹Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ²University of Zurich

核形成過程は、様々な分野で重要な役割を果たすが、分子レベルでの理解は未だ限られている。古典的核形成理論は、均質核形成の巨視的記述を与え、広く用いられているが、理論から得られる核生成率は実験や分子シミュレーションから得られる核生成率と何れも一致しないことが示されている。我々は気相からの核生成過程を調べるため、大規模並列計算機を用いて 10 億から 80 億のレナード・ジョーンズ分子による分子動力学計算を行ってきた。これにより従来より 4 桁以上低い核生成率の現象を調べることが可能となり、これまで難しかった室内実験条件と同様の低過飽和状態での核生成過程を再現することに成功した (Deimand et al. *J. Chem. Phys.* 139,074309, 2013)。幅広い条件下での計算を行うことにより、核生成率の算出のみではなく、核生成の際のクラスター分布の詳細な情報を得ることが可能になった。本研究では大規模計算から得られたクラスター分布からクラスター形成のための自由エネルギーを算出した。ナノサイズの臨界核を形成するための自由エネルギーは従来の巨視的な見積りより大幅に小さくなり、これにより室内実験で得られる高い核生成率が説明できる。また自由エネルギーからクラスターの表面エネルギーのサイズ依存性を求めた。クラスターの表面エネルギーとバルクの表面エネルギーの比は温度によらず曲率のみに依存するという結果が得られた。得られた結果はクラスターの表面エネルギーのサイズ依存性が曲率に依存する Tolman の関係式を良く満たしていることを示す。算出した自由エネルギーを用いることにより任意の過飽和比に使える核生成率の表式が得られた。またこれらの結果を用いて核生成率および臨界核に関する新しいスケーリングの関係を見出した。新たなスケーリングは臨界核のサイズおよび $\ln J^*/\eta$ が $\ln S/\eta$ のみに依存することを示す (J^* は無次元核生成率、 S は過飽和比、 η は無次元のバルクの表面エネルギー)。得られたスケーリングの関係と分子計算および実験と比較したところ、このスケーリングの関係が幅広い温度や過飽和比において成り立っていることが分かった。

キーワード: 核生成, 分子動力学計算, 核生成率, スケーリング, 凝縮核, 自由エネルギー

Keywords: nucleation, molecular dynamics simulation, nucleation rate, scaling, free energy of cluster formation

ガス中蒸発法におけるナノ粒子生成過程の高速偏光“その場”観察 High-speed polarized in-situ observation in a nucleation process of nanoparticles produced by the gas evaporation method

木村 勇気^{1*}; 三原 新²; 大沼 隼志²; 石塚 紳之介¹; 村山 健太¹; 塚本 勝男¹
KIMURA, Yuki^{1*}; MIHARA, Arata²; ONUMA, Takashi²; ISHIZUKA, Shinnosuke¹; MURAYAMA, Kenta¹; TSUKAMOTO, Katsuo¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 株式会社フォトロン
¹Tohoku University, ²Photron

The gas evaporation method has been investigated for more than half a century since the Kubo effect was reported (1962). There have been many studies on the produced nanoparticles mainly using a transmission electron microscope, which have elucidated the different physical properties of nanoparticles from those in bulk. On the other hand, there have been almost no reports on nucleation in smoke related to crystal growth. Recently, we achieved in-situ observation of the nucleation process in smoke using a double-wavelength Mach-Zehnder-type interferometer, which can determine the temperature and pressure at the nucleation simultaneously. A series of experiments clearly showed that smoke particles condense homogeneously only in a very high supersaturated environment [1-3]. In a preliminary experiment using tungsten trioxide, the smoke particles condensed with a degree of supersaturation as high as $\sim 10^6$. In this process, since evaporant is continuously supplied into the surrounding of the evaporation source, the flow of smoke after the nucleation and growth of nanoparticles has been simply considered as a consecutive process. The nucleation and growth of smoke particles should be a rapid process (ms order) due to high supersaturation, so the concentration of the evaporated vapor drastically decreases. However, the details of the formation process remain unknown.

In this study, we attempted to visualize the nucleation of nanoparticles and motion of smoke using a high-speed polarization image sensor (Photron Inc.) to clarify the details of the nucleation process of smoke particles. Since the sensor itself has pixels with micro-polarizers, a phase shift interferogram can be obtained in less than a millisecond because of the lack of mechanical movement free, and can therefore be applied to rapid phenomena such as nucleation in vapor phase. Here, we show the preliminary results of homogeneous nucleation of tungsten oxide from vapor phase.

[1] Y. Kimura, H. Miura, K. Tsukamoto, C. Li, T. Maki, Interferometric in-situ observation during nucleation and growth of WO_3 nanocrystals in vapor phase, *Journal of Crystal Growth*, 316 (2011) 196-200.

[2] Y. Kimura, K. Tsukamoto, Interferometric observation of temperature distributions in the smoke experiment, *J. Jpn. Soc. Microgravity* 28 (2011) S9-S12.

[3] Y. Kimura, K. K. Tanaka, H. Miura, K. Tsukamoto, Direct observation of the homogeneous nucleation of manganese in the vapor phase and determination of surface free energy and sticking coefficient, *Crystal Growth & Design*, 12 (2012) 3278-3284.

キーワード: 核生成, 偏光高速カメラ, その場観察

Keywords: Nucleation, High-speed polarized camera, in-situ observation

フルイド反応TEMを用いた炭酸カルシウム核生成過程のTEM中“その場”観察 In-situ observation of nucleation process of calcium carbonate by the fluid-reaction TEM

山崎 智也^{1*}; 古川 えりか¹; 木村 勇氣¹
YAMAZAKI, Tomoya^{1*}; FURUKAWA, Erika¹; KIMURA, Yuki¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹Tohoku University

Recent studies have reported achievements of in-situ observation of the nucleation and crystallization studies using transmission electron microscope (TEM), and several new perspectives for non-classical pathway of crystallization [1-4]. Calcium carbonate generates a lot of attention because of complex nucleation due to appearance of various polymorphs in addition to availability for industrial materials such as paper and paint, and reservoir of carbon dioxide, and biomineralization. We also focus on the calcium carbonate in view of selection of polymorph in nucleation process. In case of nucleation from relatively higher supersaturated solution, nucleation of amorphous phase prior to crystalline phase has been known [5,6]. Kawano et al. have been reported an in-situ observation of solution-mediated phase transition from amorphous phase into crystalline phase under optical microscope [6]. The Ostwald law of stages has been believed to occur in many cases. Contribution of prenucleation cluster, which was confirmed by using the cryo-TEM [8], to the nucleation has also been reported [7]. However the generality or solution condition to take these processes is still not obvious.

Now, we have performed energetically a project to observe crystallization and dissolution processes in an aqueous solution using ionic liquid instead of water or the "Poseidon" (Protochips Inc.), which is a sample holder having a liquid cell for TEM observation. We call our TEM fluid-reaction TEM (FR-TEM), which is able to perform crystallization experiments in a solution including both methods. Here, we have been tried to observe whole the process of crystallization of calcium carbonate via amorphous phase using fluid-reaction TEM and actually observed a solid-state phase transition from amorphous phase into a crystalline phase by in-situ observation.

[1] Yuk, J. M., Park, J., Ercius, P., Kim, K., Hellebusch, D. J., Crommie, M. F., Lee, J. Y., Zettl, A. & Alivisatos, A. P. *Science* **336**, 61-64 (2012).

[2] Li, D., Nielsen, M. H., Lee, J. R. I., Frandsen, C., Banfield, J. F. & De Yoreo, J. J. *Science* **336**, 1014-1018 (2012).

[3] Liao, H.-G., Cui, L., Whitlam, S. & Zheng, H. *Science* **336**, 1011-1014 (2012).

[4] Kimura, Y., Niinomi, H., Tsukamoto, K. & Garcia-Ruiz, J. M. *J. Am. Chem. Soc.*, DOI: 10.1021/ja412111f. (2014).

[5] Ogino, T., Suzuki, T. & Sawada, K. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **51** (1987) 2757.

[6] Kawano, J., Shimobayashi, N., Kitamura, M., Shinoda, K., & Aikawa, N. *J. Cryst. Growth*, **237** (2002) 419.

[7] Gebauer, D., & Colfen H. *Nano Today*, **6** (2011) 564.

[8] Pouget, E.M., Bomans, P. H., Goos, J.A.C.M., Frederik, P.M., de With, G. & Sommerdijk, N. A. *Science*, **323** (2009) 1455.

キーワード: フルイド反応透過電子顕微鏡, その場観察, 炭酸カルシウム, 核生成

Keywords: Fluid-reaction TEM, In-situ observation, Calcium carbonate, Nucleation

“Poseidon”を用いた溶解過程のTEM中“その場”観察実験 In-situ TEM observation of dissolution processes in aqueous solutions using “Poseidon”

古川 えりか^{1*}; 山崎 智也¹; 木村 勇氣¹
FURUKAWA, Erika^{1*}; YAMAZAKI, Tomoya¹; KIMURA, Yuki¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻
¹Tohoku University

Recently, we started a new project to observe crystallization and dissolution processes of crystals in a solution using two different methods under transmission electron microscope (TEM). To overcome the difficulties to introduce a solution into a TEM, Kimura et al. used ionic liquid to avoid evaporation of a solvent in the high-vacuum of a TEM [1]. As the result, several new insights were found: solubility-independent formation of polymorph; crystals do not dissolve smoothly but in a fluctuating manner; and new crystals form even in a totally dissolving system. Another advantage of this method is that the growing crystal does not have a hydrated layer on their surface. It has been believed that dehydration process has a largest potential barrier to incorporate a unit cell into the crystal. However, no one ever visualized the process and it has been totally veiled. The water free experiment using an ionic liquid may give us a new perspective on the dehydration process by comparison with experiments in general aqueous solutions. Now, we are forwarding a project to observe crystallization and dissolution processes in an aqueous solution in atomic-scale using the “Poseidon”, which is a sample holder having a liquid cell for TEM observation. We call our TEM fluid-reaction TEM (FR-TEM) including both solution growth experiments using an ionic liquid and the Poseidon.

Poseidon (Protochips Inc.) give us the opportunity to visualize the three-dimensional process with several advantages compared with previous works using an atomic force microscope, which is able to observe only two-dimensional, and an optical microscope, which has much less lateral resolution. Growth and dissolution processes at the first top layer (surface) of a crystal have been energetically studied long time using these tools. However, the detail process in atomic scale has been observed very limited. Therefore, the aims of our project is understanding of three dimensional nucleation including Ostwald law of stages based on phase determination by electron diffraction, determination of very slow dissolution rates, and dissolution process in terms of an influence of defects. Here, we will show the first pictures about the movements of nanoparticles and dissolution of amorphous silica and crystalline silicate samples.

[1] Kimura, Y., Niinomi, H., Tsukamoto, K. & Garcia-Ruiz, J. M. In-situ live observation of nucleation and dissolution of sodium chlorate nanoparticles by Transmission Electron Microscopy. *J. Am. Chem. Soc.*, DOI: 10.1021/ja412111f. (2014).

キーワード: フルイド反応透過電子顕微鏡, 溶解, その場観察
Keywords: Fluid-reaction TEM, Dissolution, In-situ observation

モンモリロナイトの溶解における鉱物サイズ分布の変化 Mineral size distribution modeling during dissolution of montmorillonite

山口 耕平^{1*}; 三浦 均²; 佐藤 久夫¹
YAMAGUCHI, Kohei^{1*}; MIURA, Hitoshi²; SATOH, Hisao¹

¹ 三菱マテリアル株式会社, ² 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科
¹Mitsubishi Materials Co., ²Nagoya City University

In the geological disposal of radioactive waste, the waste is sealed by cement-based materials and bentonite-based material to prevent leakage into environment. The bentonite-based material protect the radioactive waste from the groundwater flow around the geological disposal area, so its low permeability should be maintained for a long term. The low permeability could be achieved by the swelling of montmorillonite in the bentonite-based material. However, montmorillonite will dissolve by a reaction with high-alkaline pore water, spoiling the low permeability of the bentonite-based material. In addition, precipitation of secondary minerals such as zeolite will promote the dissolution of montmorillonite through changes in composition of the pore water. In order to assess the long-term permeability of the bentonite-based material, it is necessary that the dissolution of montmorillonite and crystallization of secondary minerals are comprehended over a long time of several tens of thousands years.

In the pore water, there are numerous montmorillonite particles of various sizes. When montmorillonite of various sizes co-exists in the same solution, the smaller particle dissolves faster than the larger one because of the Thomson-Gibbs effect. The mean size of montmorillonite will increase gradually, leading to a delay of further dissolution. In addition, an evolution of size distribution is also important for the crystallization process of the secondary minerals, e.g., zeolite. Since zeolite is not present in the initial solution, the crystallization process is described in the nucleation and subsequent growth. Evolution of the size distribution of zeolite affects the dissolution of montmorillonite through changes in solution composition. This implies that the evolution of the size distribution of montmorillonite and zeolite should be considered to assess the long-term behavior of the permeability of the bentonite-based materials. However, in the previous chemical equilibrium calculations, the evolution of the size distribution has not been considered.

In this report, we numerically modeled the time evolution of the size distribution of montmorillonite due to dissolution according to a theoretical model described in Yao et al. (1993). The crystallization of zeolite was neglected as a first step. We consider the dissolution of montmorillonite in a closed system. The evolutions of the size distribution, bulk concentration of solution, and mean radius of montmorillonite were successfully calculated.

The model given in this report is a model in a closed system. On the other hand, the geological disposal environment is not a closed system because there is an actual mass transfer due to the flow of groundwater and diffusion. To couple the local mineral dissolution/crystallization and the global mass transfer, some chemical reaction-mass transfer calculation codes have been developed. However, these codes assumed chemical equilibrium, so the evolution of the size distribution of minerals did not considered. The evolution of the size distribution of minerals would significantly affect the long-term behavior of the permeability of the bentonite-based materials. Therefore, it is important to compare the calculation results of the model with the evolution of the size distribution and chemical equilibrium calculation result.

キーワード: モンモリロナイト, 溶解, 鉱物サイズ分布
Keywords: montmorillonite, dissolution, Mineral size distribution

結晶成長実験のための画像定量解析技術の最前線 Advanced techniques in the latest quantitative image analysis for crystal growth experiments

横峰 誠^{1*}; 佐藤 久夫²; 塚本 勝男³; 佐崎 元⁴
YOKOMINE, Makoto^{1*}; SATOH, Hisao²; TSUKAMOTO, Katsuo³; SAZAKI, Gen⁴

¹ 東陽テクニカ, ² 三菱マテリアル, ³ 東北大学, ⁴ 北海道大学
¹ TOYO Corporation, ² Mitsubishi Materials Corporation, ³ Tohoku University, ⁴ Hokkaido University

結晶成長実験は、ナノスケールの小さな空間から、我々が肉眼で認識できる可視的空間スケールを対象としてきた。しかし、近年では、その空間スケールはさらに拡大し、地下深部まで、あるいは軌道上の宇宙空間までを対象とするように発展した。測定の世界では、従来より xyz- t の時空間においてスケーリング則が存在するが、最先端技術の発達によってその障壁を超えることが可能となった。

干渉計やレーザ顕微鏡は試料表面を損なわずに高速データ収集が可能のため、結晶成長の長時間解析や広範囲な表面形状の観察には非常に価値の高いツールである。一定の時間間隔で取得されたデータをオフライン処理することで、時間スケールは容易に変えることができ、真の成長を追跡できる時系列データとなる。これは無人で測定された国際宇宙ステーションでのリゾチーム実験データ (Tsukamoto et al., 2013) や氷界面の観察 (Sazaki et al., 2012)、粘土の溶解速度測定 (Satoh et al., 2003) の自動処理に有効であった。

また、観察視野のシフトで得られた大量のデータ断片をオフライン処理することで、空間スケールも容易に変えることができる。一般に個別測定データにはオフセットや歪みを含み、また手作業では生成されるデータ量に補正が追いつかないため、データ全体を最終的な解析に活用できないケースが多い。そこで、市販ソフトウェアに専用の処理を行うプラグインを加えたシステムを用いて一貫した正規化や接続面の補正を行うことで測定機に起因するアーティファクトを除去することを試みた。これにより、面全体の特徴を解析するための大規模縫合が実現された。

本講演では、実際の大量データの定量解析を試みた例を紹介する。

キーワード: 画像解析, 時空間スケール, 表面形状, 大規模縫合
Keywords: image analysis, time-space scale, topography, huge stitching

銀輸送体としてのIP6 および銀ナノ構造の形成 IP6 as a silver carrier agent and formation of Ag nanostructures

立岡 浩一^{1*}; 孟 二超²; 小林 剛³; 下村 勝¹; 友田 和一¹; 宮林 恵子¹
TATSUOKA, Hirokazu^{1*}; MENG, Erchao²; KOBAYASHI, Tsuyoshi³; SHIMOMURA, Masaru¹; TOMODA, Waichi¹; MIYABAYASHI, Keiko¹

¹ 静岡大学大学院工学研究科, ² 静岡大学創造科学技術大学院, ³ (株) コバテクノロジー

¹Graduate School of Engineering, Shizuoka University, ²Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, ³Koba Technology

In recent years, people have become aware of the importance of natural organic materials in geological systems. It would be important to clarify the interaction between natural organic materials and metallic ions.

Phytic acid, known as inositol hexakisphosphate (IP6), or phytate, $C_6H_{18}O_{24}P_6$, is found within the hulls of nuts, seeds, and grains, and it is the principal storage form of phosphorus in many plant tissues, especially bran and seeds. IP6 is not digestible to humans and animals, and phytic acid chelates make unabsorbable certain important minerals such as zinc, iron, calcium and magnesium.

On the other hand, for many years, it has been known that silver works for its catalytic activities, anti-microbial activities, and used to avoid infections and prevent spoilage. Many researchers have focused on the anti-bacterial, ability to kill microorganisms and multi-functional properties of silver nano-particles.

In this study, it is demonstrated that IP6 plays a role as a metal carrier agent for the formation of metallic nanostructures. For the preparation of the IP6 with Ag elements (Ag-IP6), The commercial IP6 solution (50 %) was diluted with distilled H_2O at the $H_2O:IP6$ solution ratio of 9:1, then 1g of $AgNO_3$ was added to the diluted IP6 solution of 100 ml, and long-term stabilized small Ag clusters were formed in the solution. A drop of the solution was dripped onto metallic substrates, then kept for the treatment time of 10 s to several min at room temperature. The solution was immediately dried using a gas burner or hot plate. Then, the reaction of the Ag-IP6 with several kinds of metals was examined. The structural and morphological properties of the Ag nanostructures were characterized by scanning electron microscopy (SEM) along with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), transmission electron microscopy (TEM) and scanning transmission electron microscopy (STEM) with EDS. In addition, the surface condition of the Ag nanostructures reacted with Cu or Al and dried IP6 complexes was characterized by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) using a VG, ESCA-LAB Mk II with a non-monochromatized Al K α source ($h\nu = 1486.6$ eV). The energy calibration for a charge correction in the spectra was made using the C1s peak. The FTIR spectra of the dried IP6 complexes were measured using KBr disks. Each disc was composed of powders consisting of IP6:KBr=1:100. The spectra were recorded in the range of 400 to 1400 cm^{-1} . Raman spectra were obtained using an NR-1800 triple Raman system with backscattering geometry using the SHG(532 nm) of a Nd:YAG laser as the excitation source. All measurements were carried out at room temperature. It was found that various kinds of Ag nanostructures were formed with additional metallic sources using the Ag-IP6. Ag nanostructures with the three-dimensional dendritic structures replaced by Cu and Mn, the two-dimensional dendritic structures replaced by $CaSi_2$ and Mg, the two-dimensional fractal structures replaced by Fe, Ti, Al and Ni, the particles replaced by $SrSi_2$ and the nanowires replaced by Mo and W were formed. It is noted that the IP6 plays an important role as a silver carrier agent to control the structure and morphology of the Ag nanostructures. In addition, the experimental results suggest that the structural evolution of the Ag-IP6 reacted with Cu takes place to form the Cu-IP6 complex. However, the reaction of Ag-IP6 with Al is not active.

The structural properties of the Ag nanostructures were examined, and the growth evolution of the nanostructures was discussed. The results would help us to understand the nanostructure formation by the reaction between natural organic materials and metals in nature.

Keywords: IP6, nanostructure, dendrite growth, silver

三次元干渉計の開発とそのタンパク質結晶成長への応用 Development and application of 3-D interferometer for analysis of the concentration field in protein crystal growth

村山 健太^{1*}; 塚本 勝男¹
MURAYAMA, Kenta^{1*}; TSUKAMOTO, Katsuo¹

¹ 東北大学大学院理学研究科
¹ Graduate School of Science, Tohoku University

When the crystal is growing in a supersaturating solution, the solute concentration is decreasing towards the crystal/ solution interface because the crystal consumes solute in the solution as it grows. Due to this large vertical concentration gradient, buoyancy driven solutal convection develops. As a result, the distribution of concentration around the crystal become complicated compared to the case when there is no convection.

Thus, not only concentration gradient but also the flow and convection of the solution influences the state of the crystal surface. So that visualizing the whole concentration field of a crystal interface including convection is required.

There have been many reports concerning the measurement of the concentration field, but many of them were two-dimensional (2-D) observations, namely, the objects were observed only from one direction. The information obtained by the 2-D observations is integrated in average along the direction of the observation, so the local information, e.g., concentration distribution around the crystal-liquid interface, was not obtained.

To improve the disadvantage on the 2-D observation, a method of computer tomography (CT) has been adopted in this study. By using the CT method, we can reconstruct the information of the three-dimensional (3-D) concentration field around the growing crystal based on 2-D observations obtained from several directions (3-D observation).

In this study, 3-D measurement of the concentration field with convection and without convection around inorganic and protein crystals was carried out to reveal the concentration distribution over the crystal surfaces. Normal growth rate of the face from points to points are also measured to discuss the effect of concentration distribution on the surface.

キーワード: 干渉計, リゾチーム, 対流
Keywords: interferometer, lysozyme, convection

ステップ形状と成長速度から見た正方晶リゾチーム結晶の不純物吸着 Dependence of impurity adsorption on the step morphologies and growth rate of tetragonal lysozyme crystal

忍 健太郎^{1*}; 吉崎 泉²; 木村 勇氣¹; 山崎 智也¹; 塚本 勝男¹
OSHI, Kentaro^{1*}; YOSHIZAKI, Izumi²; KIMURA, Yuki¹; YAMAZAKI, Tomoya¹; TSUKAMOTO, Katsuo¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

High quality protein crystals are required to get the information of the 3-dimensional structure of protein molecules. Impurities, mainly dimer molecules, affect the quality of protein crystal strongly (Yoshizaki et al., 2006). In addition, it is known that the step morphology on {110} faces of the tetragonal lysozyme crystal is changed by impurities. Until now, a lot of space experiments were carried out to get high quality protein crystals under microgravity conditions (McPherson, 1993, etc.). However, the relevance between impurity effects and microgravity condition is not clear. In addition, the step morphology corresponding to the crystal external form is not observed in preceding studies.

We performed "in situ" observations under terrestrial environment and space environment using a tetragonal lysozyme crystal as the model protein. The purpose of this paper is to reveal "the influence of microgravity condition to the impurities adsorption on the {110} faces" and "the reason why the step morphology corresponding to crystal external form does not appear". We made it possible to observe the step morphology and to measure the face growth rate at the same time by using a Michelson type interferometer.

As a result of growth rate measurement, the face growth rate under microgravity condition was higher than that under terrestrial condition. An impurity works to suppress the growth rate of a crystal. Because the buoyancy-driven convection was suppressed under the microgravity condition, we assumed that the larger impurity-depletion-zone was formed around a crystal.

As a result of the observation of the step morphology, we succeeded in observing the lozenge shape step which was corresponding to an external form by a space experiment for the first time. In addition, the step morphologies were classified in four types. It is considered that the impurity adsorption on the crystal surface is different depending on the crystal orientation of the step.

NICTサイエンスクラウドのビッグデータ処理技術開発と運用 A Report of Big-Data Processing and Operation of the NICT Science Cloud

村永和哉^{1*}; 鶴川健太郎¹; 鈴木豊¹; 村田健史²; 渡邊英伸²; 水原隆道³; 建部修見⁴; 田中昌宏⁴; 木村映善⁵
 MURANAGA, Kazuya^{1*}; UKAWA, Kentaro¹; YUTAKA, Suzuki¹; MURATA, Ken T.²; WATANABE, Hidenobu²; MIZUHARA,
 Takamichi³; TATEBE, Osamu⁴; TANAKA, Masahiro⁴; KIMURA, Eizen⁵

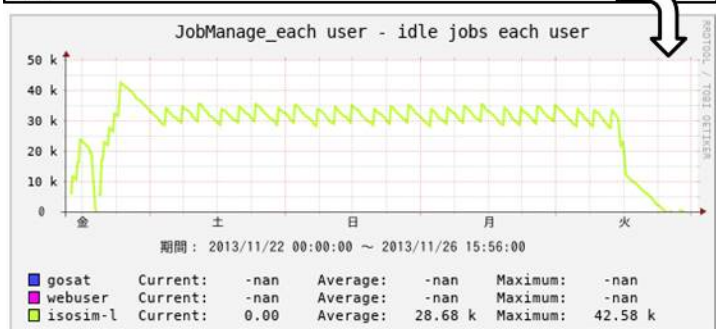
¹ 株式会社セック, ² 情報通信研究機構, ³ 株式会社 クレアリンクテクノロジー, ⁴ 筑波大学, ⁵ 愛媛大学
¹Systems Engineering Consultants Co., LTD., ²National Institute of Information and Communications Technology, ³CLEALINKTECHNO
 Co.,Ltd., ⁴University of Tsukuba, ⁵Ehime University

現在、多くの科学研究分野ではデータのほとんどがデジタル化され、その量および種類は大規模化の一途をたどっている。これからますます大規模化・複雑化するデータ指向型科学時代を踏まえて、ビッグデータ処理がより容易に、また一元的行うことができるクラウドシステムが求められている。

NICTサイエンスクラウドは、地球惑星科学を含む様々な科学研究データおよびソーシャルデータのためのクラウドシステムである。NICTサイエンスクラウドでは(1)データ伝送・データ収集機能、(2)データ保存・データ管理機能、(3)データ処理・データ可視化機能の3つの柱(機能)から構成されている。それぞれの機能についての基盤技術を開発するだけでなく、複数の基盤技術を組み合わせることでシステム化を行うことができる。システムを実際に科学研究に応用・適用することで、様々な分野でのビッグデータ科学・データインテンシブ科学が可能となる。

科学研究クラウドシステムは、単に計算機リソースやストレージを接続するだけでは機能しない。様々な科学研究で活用できる一般的なインフラ整備が必要であるが、インフラは同時に各研究目的にカスタマイズできなくてはならない。NICTサイエンスクラウドは、約3年にわたり汎用性と特殊性の両方を満たすクラウドの構築と運用を行ってきた。本発表では、クラウド運用及びそれにかかわる技術を紹介する。また、NICTのリモートセンシング研究を題材として、サイエンスクラウド上で構築した実研究システムについて、ビッグデータ処理の視点から報告する。

ISOSIM-L処理:サイエンスクラウドでTorque/Maui
 ジョブ投入環境整備・19万を超えるタスクを分割投入



広域分散ファイルシステム Gfarm と連動した高速ファイル転送ツール High-speed File Transfer Tool with the Gfarm File System

渡邊 英伸^{1*}; 黒澤 隆²; 村田 健史¹

WATANABE, Hidenobu^{1*}; KUROSAWA, Takashi²; MURATA, Ken T.¹

¹ 独立行政法人 情報通信研究機構, ² 株式会社 日立ソリューションズ東日本

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²Hitachi Solutions East Japan, Ltd.

巨大なデータ量を扱うハイパフォーマンス・コンピューティング (HPC) は、非常に大きなデータ量を扱う数値シミュレーション等に利用されている。近年、計算クラスタ内に数百から何千ものサーバを含む大規模な処理環境になるまでに至り、大量のストレージリソースが消費されている。さらに、ストレージリソースはエクサバイトオーダ以上のサイズが要求されるまでになり、スケールアウトが可能な広域分散型のストレージシステムが注目を集めている。情報通信研究機構 (NICT) は、観測データやシミュレーションデータなど、あらゆる科学データを収集・蓄積すると同時に解析環境も提供する科学研究向けのクラウドシステム (NICT サイエンスクラウド) を構築している。NICT サイエンスクラウドは、国内5地区 (東京, 名古屋, 京都, 大阪, 沖縄) にあるデータセンターに分散配置した計算機を 10Gbps の L2 高速バックボーンネットワーク網である JGN-X で接続し、オープンソースの広域分散ファイルシステムの Gfarm を用いて約 3PB の広域分散型ストレージシステムを運用している。

HPC 等を想定した広域分散型ストレージシステムは、大容量データに対して高速なデータ I/O とデータ転送が重要となる。Gfarm は、ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) の共有ストレージに採用されており、高速なデータ I/O を実現することが可能である。一方、データ転送にはインターネットで利用される標準の通信規約である TCP を採用している。TCP は長距離・高遅延のネットワークにおいて伝送遅延の問題が知られており、Gfarm では、TCP マルチストリーミングによってデータ転送の高速化を図っている。しかしながら、ネットワークが長距離・高遅延になればなるほど、高速化の効率が低くなっているのが実情である。

我々は Gfarm と連動する高速ファイル転送ツールを開発した。データ転送の通信プロトコルにオープンソースの通信ライブラリである UDT (UDP-based Data Transfer) プロトコルを採用し、簡易な並列データ転送制御機構を有する。UDT プロトコルは、UDP によるデータのバルク転送と RTT (Round Trip Time) に依存しない独自のフロー制御や輻輳制御を提供し、長距離・高遅延のネットワークにおいては TCP よりも高速なデータ転送が可能である。本発表では、開発した並列ファイル転送ツールを紹介するとともに、基本的な性能について報告する。

キーワード: 広域分散型ストレージ, Gfarm, 高速ファイル転送, UDT

分散ファイルシステムによる並列データ I/O 測定 An Examination of Data I/O Speed on a Parallel Data Storage System

村田 健史^{1*}; 渡邊 英伸¹; 鶴川 健太郎²; 村永 和哉²; 鈴木 豊²; 建部 修見³; 田中 昌宏³; 木村 映善⁴
 MURATA, Ken T.^{1*}; WATANABE, Hidenobu¹; UKAWA, Kentaro²; MURANAGA, Kazuya²; YUTAKA, Suzuki²; TATEBE, Osamu³; TANAKA, Masahiro³; KIMURA, Eizen⁴

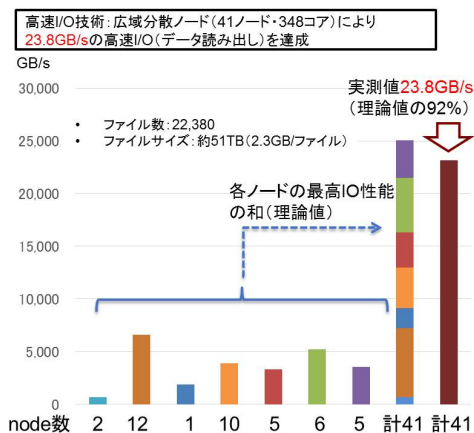
¹ 情報通信研究機構, ² 株式会社 セック, ³ 筑波大学, ⁴ 愛媛大学

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²Systems Engineering Consultants Co., LTD., ³University of Tsukuba, ⁴Ehime University

現在、多くの科学研究分野ではデータのほとんどがデジタル化され、その量および種類は大規模化の一途をたどっている。これからますます大規模化・複雑化するデータ指向型科学時代を踏まえて、ビッグデータ処理がより容易に、また一元的行うことができるクラウドシステムが求められている。

NICT サイエンスクラウドは、地球惑星科学を含む様々な科学研究データおよびソーシャルデータのためのクラウドシステムである。NICT サイエンスクラウドでは (1) データ伝送・データ収集機能、(2) データ保存・データ管理機能、(3) データ処理・データ可視化機能の3つの柱(機能)から構成されている。それぞれの機能についての基盤技術を開発するだけでなく、複数の基盤技術を組み合わせることでシステム化を行うことができる。システムを実際に科学研究に応用・適用することで、様々な分野でのビッグデータ科学・データインテンシブ科学が可能となる。

本研究では、NICT サイエンスクラウド上で科学研究のビッグデータ処理を行うための基盤技術について議論する。データサイズが大きい場合にクラウドデータ処理で解決すべき問題点の一つはデータ I/O である。例えば、100MB/sec で 100TB のデータを読み出すとすると、1,000,000 秒(約 11.5 日)かかる。すなわち、大規模科学データを処理するためには、高速 I/O 技術が不可欠である。本発表では、並列ファイルシステム (GPFS) と分散ファイルシステム (Gfarm) の2つのシステムでのデータ読み出し速度の比較を行い、それらのスケーラビリティを比較する。



時系列データダイナミックレビュー用 Web アプリケーションの開発 STARS touch: A web-application for time-dependent observation data

鶴川 健太郎^{1*}; 村永 和哉¹; 鈴木 豊¹; 村田 健史²; 篠原 育³; 小嶋 浩嗣⁴; 能勢 正仁⁴; 渡邊 英伸²; 建部 修見⁵; 田中 昌宏⁵; 木村 映善⁶
UKAWA, Kentaro^{1*}; MURANAGA, Kazuya¹; YUTAKA, Suzuki¹; MURATA, Ken T.²; SHINOHARA, Iku³; KOJIMA, Hirotsugu⁴; NOSE, Masahito⁴; WATANABE, Hidenobu²; TATEBE, Osamu⁵; TANAKA, Masahiro⁵; KIMURA, Eizen⁶

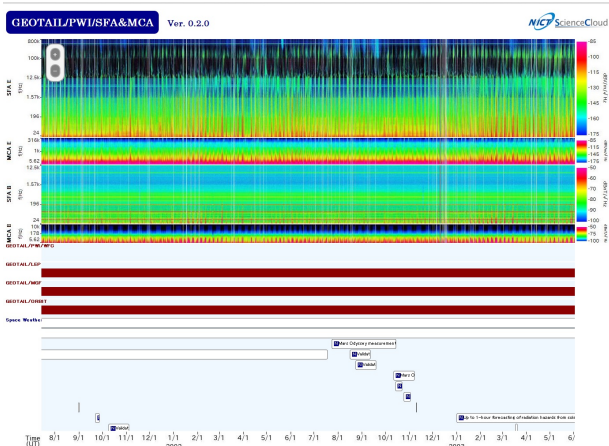
¹ 株式会社 セック, ² 情報通信研究機構, ³ 宇宙航空研究開発機構, ⁴ 京都大学, ⁵ 筑波大学, ⁶ 愛媛大学

¹Systems Engineering Consultants Co., LTD., ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Japan Aerospace Exploration Agency, ⁴Kyoto University, ⁵University of Tsukuba, ⁶Ehime University

現在、多くの科学研究分野ではデータのほとんどがデジタル化され、その量および種類は大規模化の一途をたどっている。これからますます大規模化・複雑化するデータ指向型科学時代を踏まえて、ビッグデータ処理がより容易に、また一元的に行うことができるクラウドシステムが求められている。

NICT サイエンスクラウドは、地球惑星科学を含む様々な科学研究データおよびソーシャルデータのためのクラウドシステムである。NICT サイエンスクラウドでは (1) データ伝送・データ収集機能、(2) データ保存・データ管理機能、(3) データ処理・データ可視化機能の3つの柱(機能)から構成されている。それぞれの機能についての基盤技術を開発するだけではなく、複数の基盤技術を組み合わせることでシステム化を行うことができる。システムを実際に科学研究に応用・適用することで、様々な分野でのビッグデータ科学・データインテンシブ科学が可能となる。

本研究では、NICT サイエンスクラウド上で開発した時系列データ表示ツール(開発名: STARS touch)について紹介する。これまでの多くの時系列データ表示用科学データ Web アプリケーションは、Web アプリ用のミドルウェアなどによりデータの読み込みと画像表示を行ってきた。その多くは、日時やデータ選択を行う手間やデータ処理を行う処理時間がユーザビリティを下げている。STARS touch はクラウド上のデータ収集システム(NICTY/DLA および WONM システム)により収集した科学データを Gfarm/Pwrake 等により並列処理することで画像化した時系列画像データを用いる。また、Ajax やキャッシュプログラムにより閲覧しているデータに近いデータを優先的に読み込む非同期処理を導入することでユーザビリティを上げている。発表では、STARS touch のデモを行うと同時に STARS touch のバックエンドの技術を紹介する。



NICTサイエンスクラウドを用いたかぐや衛星 WFC-Lからのバイポーラ型波形抽出処理の高速化 High performance data processing for detection of bipolar waveforms from KAGUYA/WFC-L using the NICT Science Cloud

矢木 大介^{1*}; 村田 健史²; 笠原 禎也¹; 後藤 由貴¹
DAISUKE, Yagi^{1*}; MURATA, Ken T.²; KASAHARA, Yoshiya¹; GOTO, Yoshitaka¹

¹ 金沢大学, ² 情報通信研究機構

¹Kanazawa Univ, ²National Institute of Information and Communications Technology

月探査衛星かぐやは、2007年9月に打ち上げられ、2009年6月に月面に制御落下した。かぐや衛星には月周辺のプラズマ波動を観測する波形捕捉器 WFC が搭載されており、特に 100Hz~100kHz の電界波形を観測する WFC-L では、これまでの研究からいくつかのパターンに分類できる特徴的なバイポーラ型の波形が多数確認されている。しかし、WFC-L は 250kHz のサンプリング周波数で波形データを取得することから、そのデータ総量は約 190GB に達する。我々は現在、この波形データからバイポーラ型波形を自動抽出するアルゴリズムを開発中であるが、汎用の PC ワークステーションでは、全観測データから波形抽出を行うのに 1 週間近い処理時間を要する。これでは、より精度よく波形を抽出し、その分類を行うための処理アルゴリズムを試行錯誤するには、大変非効率的である。そこで、情報通信研究機構 (NICT) のサイエンスクラウドを用いて、処理の高速化を図った。NICT サイエンスクラウドは、科学研究目的のために構築されたクラウドシステムで、特にビッグデータサイエンスを主対象の一つにしている。今回は、NICT サイエンスクラウド上でワークフローシステムを用いた並列分散処理による高速化を行い、その効率について評価した結果を報告する。

実際の並列処理は、Pwrake (Parallel Workflow extension for Rake) と呼ばれるツールを用いて、サーバ群にワークフローを与えることで実現した。Pwrake は、Ruby 言語で記述されるビルドツールである Rake をファイル共有システム向けに拡張したものである。Pwrake 上に処理内容と使用するノード及びコア数を記述することで、コマンドをタスクとして各ノードに割り振り並列処理を行うことが可能である。

結果として、10 ノード 24 コアの計算リソースを用いた場合、1 ノード 1 コアでの処理に比べて約 140 分の 1 の時間で処理を終えることが確認できた。処理速度が使用リソース数に比例していないのはハイパースレッドの影響によると思われる。同システムを活用することで、より精度の高い波形抽出アルゴリズムの開発が効率よく行えることが期待できる。今後は、波形抽出アルゴリズムの改善に加えて、更に計算リソースを増やした場合の測定実験についても実施する予定である。

キーワード: 月探査衛星かぐや, 波形捕捉器, NICT サイエンスクラウド, 並列処理

Keywords: Lunar Orbiter KAGUYA, Waveform Capture, NICT Science Cloud, parallel processing

気象用格子データ形式の比較：気象庁ではなぜ索引付き順番探索を使うのか Comparison of grid data formats in meteorology: the reason for indexed sequential access method (ISAM) used in JMA

豊田 英司^{1*}
 TOYODA, Eizi^{1*}

¹ 気象庁予報部数値予報課

¹NPD, Japan Meteorological Agency

数値天気予報などのシミュレーションで作成される格子点データにはWMO（世界気象機関）標準のGRIB、OGC標準のnetCDF、気象庁内で使われるNuSDaSなど多数の形式がある。Wright and Gao (2008)はデータ形式をファイル構造により順番探索と直接探索に二分し、部分読み込みの高速性とファイルサイズの違いと論じた。しかし気象庁で用いられるNuSDaS（豊田、2001）は索引付き順番探索ファイルであり、高速性とサイズが両立する。これら3種類の性能上の長短を比較した（表1）。

現業数値予報でのデータアクセスには、しばしばデータ構造が疎な配列となる、ファイル書き出しは一度に行われて追加が行われない、ファイルの一部を読みだすことが多く性能が問われるという特徴がある。索引付き順番探索ファイルの短所（索引作成）が目立たず、読み書き速度とコンパクトなファイルサイズの両立という利点が享受しやすい。

また、将来データサイズが巨大化してゆくと、単純な順番探索は不利になってゆくことも注意される。

引用文献

Bruce Wright and Feng Gao, 2008: GRIB vs NetCDF: Evaluation of the Technical Aspects. WMO ET-ADRS Doc.2.3(1) <http://goo.gl/AFrsls>

豊田英司, 2001: 気象庁の数値予報ルーチンで用いられているデータセット形式の紹介. 合同大会講演A2-001 <http://goo.gl/JE0a3M>

キーワード: GRIB, netCDF, NuSDaS, 格子データ, 索引付き順番探索

Keywords: GRIB, netCDF, NuSDaS, grid data, indexed sequential access method

ファイル構造とその特性

	順番探索	直接探索	索引付き順番探索
一部書き出し処理	単純: ただ先着順	単純: 決まったところにシークするだけ	複雑: 先着順、その位置を別途索引に保存
ファイルサイズ	コンパクト	疎配列が膨張	比較的コンパクト
一部読み込み処理	遅い: 先頭から読まねばならない	速い: 決まったところにシークするだけ	比較的早い: 索引で決まる場所にシーク
他の利点	ファイル作成時に内容未確定でもよい	単一ファイルへの並列書き出し	
気象格子データの例	GRIB2 GTOOL3	GrADS Binary netCDF	NuSDaS

NICTサイエンスクラウドを用いたシミュレーションデータと衛星観測データの大規模統計解析環境の構築 Construction of the Large-Scale Statistical Analysis Environment of the STP field data based on the NICT Science Cloud

山本 和憲^{1*}; 長妻 努¹; 久保田 康文¹; 村田 健史¹; 亘 慎一¹; 建部 修見²; 田中 昌宏²; 木村 映善³
YAMAMOTO, Kazunori^{1*}; NAGATSUMA, Tsutomu¹; KUBOTA, Yasubumi¹; MURATA, Ken T.¹; WATARI, Shinichi¹; TATEBE, Osamu²; TANAKA, Masahiro²; KIMURA, Eizen³

¹ 情報通信研究機構, ² 筑波大学, ³ 愛媛大学

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²University of Tsukuba, ³Ehime University

太陽地球系物理分野では、地球磁気圏ダイナミクスを解明するための主な研究手法として、衛星観測と計算機シミュレーションが確立されている。衛星観測では国際太陽地球系物理観測 (ISTP) 計画により、複数衛星による多地点観測データが蓄積されてきた。計算機シミュレーションでは、計算機技術の向上により、データの3次元化、大規模化、高精度化が顕著である。両者のデータは年々増大化している。

これに対して、これまでのデータ解析・可視化は、イベント期間の特定の観測データを使用したり、シミュレーションデータの3次元メッシュ構造の特定断面のみを可視化したりするなど、蓄積・生成されたデータ資源を十分に活用できていない。

両者のデータの性質は相補的な関係であり、データ同化に向けた相関関係を調べる取り組みは、データの信頼性と現象解明の可能性を増す。このためには、過去に蓄積されたデータを活用し、衛星観測データでは長期間の複数衛星を用いることで空間領域に対して、シミュレーションデータでは高時間分解能で計算することで時間軸に対して、信頼性を高める必要がある。

一方で、両データのアーカイブ、解析・可視化は独立した環境で行われてきた。そのため、データフォーマットおよび時間軸・座標系が統一されておらず、過去に蓄積した大量のデータファイルに対して統合的に可視化・解析することは容易ではない。

本研究では、NICTサイエンスクラウド [1] (以下、サイエンスクラウド) が提供している計算機リソースおよびデータ処理システムをマッシュアップし、両データのデータフォーマットを統一したデータセットを作成する環境を構築した。データセットを作成するプロセスは、データアーカイブ、時間軸・座標系の統一、物理量の抽出、両データのマージの4つからなる。

データアーカイブ

分散管理された衛星観測データの収集には、NiCTy+Download Agent を利用することにより、分散管理情報をメタデータベース化した STARSDB を参照して定常的にデータを収集できる。また、サイエンスクラウドではスパコンをハウジングできる環境を提供しており、スパコンから出力された大規模データは、基幹ネットワークが 10GbE で接続された分散ストレージ (Gfarm[2]) に出力することができる。

時間軸・座標系の統一

衛星観測データの時間分解能と座標系をシミュレーションデータに合わせる。サイエンスクラウドが提供する SEDOC を利用することで、衛星観測データのデータフォーマットの差異や時間単位で出力されたファイル群を意識することなく、指定した時間分解能にサンプリングして配列に格納される。また、衛星軌道データについては、主な座標系に変換することができる。

物理量の抽出

座標系が統一された衛星軌道の任意の座標値に該当する、シミュレーションデータの物理量を抽出する。サイエンスクラウドが提供する V_Aurora は、衛星観測データとシミュレーションデータの融合表示および指定した座標値の物理量の抽出が可能である。

両データのマージ

時間軸・座標系が統一された両データを1つのファイルにマージする。

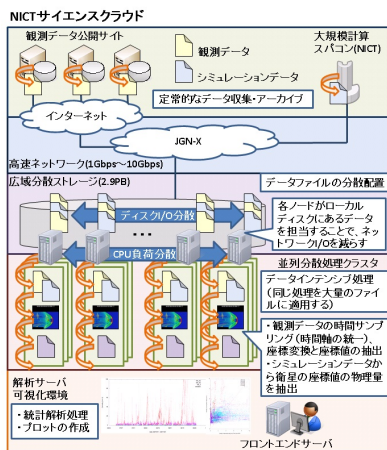
データアーカイブされた大量のデータファイルに対して、上記の一連の処理を行った場合、データ読み込み時のディスク I/O およびデータ補間時の CPU の処理性能がボトルネックになる。本研究では、この問題を解決するため Pwrake[3] によるワークフローを作成した。Pwrake は分散配置されたファイルがあるノード上でプロセスを起動するようにジョブ管理するため、ローカルディスク I/O を活用したデータ処理が行える。

本発表では、過去に蓄積した LANL シリーズの衛星データと Global MHD シミュレーションデータを用いて、両データのデータセットの作成および相関図を作成した結果について発表する。

参考文献

- [1] 村田健史, サイエンスクラウドは第四の研究基盤となるか? , 学術の動向, Vol. 17, No. 6, pp. 42-47, 2012.
- [2] 建部 修見, 森田 洋平, 松岡 聡, 関口 智嗣, 曾田 哲之, ペタバイトスケールデータインテンシブコンピューティングのための Grid Datafarm アーキテクチャ, 情報処理学会論文誌: ハイパフォーマンスコンピューティングシステム, Vol.43, No. SIG6 (HPS 5), pp.184-195 , 2002.
- [3] Masahiro Tanaka, Osamu Tatebe, Workflow Scheduling to Minimize Data Movement using Multi-constraint Graph Partitioning, The 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2012), pp.65-72, Ottawa, Canada, May 13-16, 2012.

キーワード: 計算機シミュレーションデータ, 衛星観測データ, 並列分散処理, Gfarm, Pwrake, NICT サイエンスクラウド
 Keywords: computer simulation data, satellite observation data, parallel distributed processing, Gfarm, Pwrake, NICT Science Cloud



東北大学における電波観測ネットワーク Radio observation network of Tohoku University

八木 学^{1*}; 小原 隆博¹; 鍵谷 将人¹; 米田 瑞生¹; 熊本 篤志¹; 三澤 浩昭¹; 土屋 史紀¹; 岩井 一正²; 寺田 直樹¹; 大矢 浩代³

YAGI, Manabu^{1*}; OBARA, Takahiro¹; KAGITANI, Masato¹; YONEDA, Mizuki¹; KUMAMOTO, Atsushi¹; MISAWA, Hiroaki¹; TSUCHIYA, Fuminori¹; IWAI, Kazumasa²; TERADA, Naoki¹; OHYA, Hiroyo³

¹ 東北大学, ² 国立天文台, ³ 千葉大学

¹Tohoku Univ., ²NAOJ, ³Chiba Univ.

Planetary Plasma and Atmospheric Research Center (PPARC) of the Tohoku University is now in progress to build a upper atmosphere, planetary, and space physics database under collaboration with the Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETWORK (IUGONET). The core data of the database are planetary and solar radio observation by Iitate Planetary Radio Telescope (IPRT) and Jupiter/galaxy decameter radio receiver working in Iitate observatory, that is one of the observatory of Tohoku University. Development of database of LF/VLF wave observation at Athabasca, Ny-Alesund, and Asia VLF Observation Network (AVON) are undergoing collaborated with Chiba University. In the presentation, we will introduce the observations of solar radio burst with high time resolution using the AMATERAS spectrometer of IPRT, as well as lightning and precipitation of high energy electrons into the atmosphere observed by LF/VLF wave.

キーワード: 電波観測, データベース, 超高層大気

Keywords: radio observation, database, upper atmosphere

福島第一原子力発電所事故の初期に放出された球状セシウム粒子 Cs-bearing spherical particles emitted from an early stage of the FDNPP accident

足立 光司^{1*}; 梶野 瑞王¹; 財前 祐二¹; 五十嵐 康人¹
ADACHI, Kouji^{1*}; KAJINO, Mizuo¹; ZAIZEN, Yuji¹; IGARASHI, Yasuhito¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

We found radioactive Cs-bearing, spherical particles from the filters collected in March 14 and 15, 2011, just after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, in Tsukuba. These particles mainly consist of Fe and Zn but contain detectable amounts of Cs using a scanning electron microscope (SEM) and energy-dispersive X-ray spectrometer (EDS). They are several micro meter and are hardly water soluble. They are mostly spherical, suggesting they formed through rapid cooling of radioactive materials. These particles were only found in the filters collected on March 14 and 15, 2011, and these filters had many spots of radioactive materials when measured using an imaging plate (IP). To date, we have identified six such Cs-bearing particles in the filter.

The finding of such Cs-bearing spherical particles suggests the following implications; understandings of the accident and health effects for the radioactive materials emitted at the early stage of the accident and estimations of the current and future environmental radioactivity contaminated by the particles.

Reference: Adachi K., Kajino M., Zaizen Y., and Igarashi Y., Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident, Scientific Reports, 2013, 3, Article number: 2554.

キーワード: セシウム, 電子顕微鏡, エアロゾル, 放射性物質

Keywords: Cesium, electron microscope, aerosol, radioactive material

福島県およびその近隣における大気エアロゾル中のCs-137濃度の長期変化 Measurement of Cs-137 in atmospheric aerosols in Fukushima prefecture and the surrounding area

二宮 和彦^{1*}; 張子見¹; 大隅 悠史¹; 松永 静¹; 柿谷 俊輔¹; 山口 喜朗²; 鶴田 治雄³; 渡邊 明⁴; 北 和之⁵; 篠原 厚¹
NINOMIYA, Kazuhiko^{1*}; ZHANG, Zijang¹; OSUMI, Yuji¹; MATSUNAGA, Shizuka¹; KAKITANI, Shunsuke¹; YAM-
AGUHI, Yoshiaki²; TSURUTA, Haruo³; WATANABE, Akira⁴; KITA, Kazuyuki⁵; SHINOHARA, Atsushi¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科, ² 大阪大学 RI センター, ³ 東京大学大学大気海洋研, ⁴ 福島大学, ⁵ 茨城大学
¹Graduate School of Science, Osaka University, ²Osaka University Radioisotope Research Center, ³Atmosphere and Ocean
Research Institute, University of Tokyo, ⁴Fukushima University, ⁵Ibaraki University

東京電力福島第一原子力発電所より放出された、放射性物質の大気中濃度の監視、これら放射性物質の拡散や輸送過程、さらには再浮遊といった現象の解明のために、本研究グループでは2011年4月より、福島県を中心としたエリアで大気エアロゾルの採取を行っている。大気中の放射性セシウム濃度は事故当初と比べ、かなり減少してきているものの、いまだに検出されている。事故より3年が経ち、長期間にわたる大気中の放射性セシウム濃度のデータが蓄積されてきており、これらのデータから季節変動やよりローカルな再浮遊由来と考えられる現象を捉えたので、測定の実状と併せて報告する。

大気試料の採取は、福島県福島市、宮城県丸森町、茨城県日立市において行っている。それぞれハイボリュームエアサンプラーにて石英繊維ろ紙上にエアロゾルを捕集し、事故後すぐは1日、現在は3-4日連続運転し大気試料を採取した。試料は大阪大学 RI 総合センターにて、測定試料として整形し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて¹³⁴Cs および ¹³⁷Cs を定量した。測定は試料採取場所に応じて、相対効率 15-40% の検出器を用いて試料あたり 1-3 日行っており、典型的な測定条件での 1 日測定の測定下限はおよそ 50 mBq、大気試料の吸引量を 3000 m³ とすると 1.7×10^{-5} Bq/m³ である。

2013 年以降、大気中の ¹³⁷Cs 濃度は、福島市および丸森町においては 10^{-4} - 10^{-5} Bq/m³ のオーダーであり、日立市では 10^{-5} Bq/m³ のオーダーであった。福島市および丸森町では、同時に活性炭素ろ紙による気体状の放射性物質の採取を行っているが、有意なカウントは得られなかった。大気中のセシウム濃度は、3 地点とも時間とともに緩やかな減少傾向が見られているが、時折前後の期間に採取された試料の 10 倍以上の高い濃度を示す試料が得られている。またこのような高濃度の試料は、採取地点間で相関が小さいことがわかった。このことは大気中のセシウム濃度の変動に、汚染された土壌のまきあげなどのローカルなイベントが大きく影響していることを示唆している。

キーワード: 大気観測, 大気中浮遊塵, 放射能測定, ¹³⁷Cs 濃度

Keywords: Atmospheric observation, Air dust, Radioactivity Measurement, Cs-137 concentration

宮城県南部で2年間(2012-2013)に観測されたCs-137の高濃度現象とその発生源推定 Estimate of possible sources of high Cs-137 in atmospheric aerosols measured in south Miyagi during 2 years (2012-2013)

鶴田 治雄^{1*}; 司馬 薫¹; 山田 裕子¹; 草間 優子¹; 荒井 俊昭¹; 渡邊 明²; 長林 久夫³; 北 和之⁴; 篠原 厚⁵; 二宮 和彦⁵; 張 子見⁵; 横山 明彦⁶; 梶野 瑞王⁷; 中島 映至¹
TSURUTA, Haruo^{1*}; SHIBA, Kaoru¹; YAMADA, Hiroko¹; KUSAMA, Yuko¹; ARAI, Toshiaki¹; WATANABE, Akira²; NAGABAYASHI, Hisao³; KITA, Kazuyuki⁴; SHINOHARA, Atsushi⁵; NINOMIYA, Kazuhiko⁵; ZHANG, Zijian⁵; YOKOYAMA, Akihiko⁶; KAJINO, Mizuo⁷; NAKAJIMA, Teruyuki¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 福島大学, ³ 日本大学, ⁴ 茨城大学, ⁵ 大阪大学, ⁶ 金沢大学, ⁷ 気象研究所

¹AORI, The University of Tokyo, ²Fukushima University, ³Nihon University, ⁴Ibaraki University, ⁵Osaka University, ⁶Kanazawa University, ⁷Meteorological Research Institute

1. 目的: 東京電力福島第一原子力発電所から放出される放射性物質の監視および土壌からの再飛散過程の解明などを目的として、日本地球惑星科学連合放射性物質観測チームは、2011年4月から、福島県を中心として広範な地域で、大気エアロゾル中の放射性物質の観測を開始しており、現在は、宮城県丸森町、福島県の福島市と郡山市、および茨城県日立市の4地点で、観測を継続している。ここでは、原発から北北西約55kmに位置する宮城県丸森町で、原発からの汚染気塊の影響と推測されるCs-137の高濃度現象がしばしば観測されたので、その概要を報告する。

2. 調査方法: 測定場所は、宮城県丸森町(丸森町役場)で、2011年12月から測定を開始した。ハイボリュームエアサンプラーで大気エアロゾルを数日間連続採取した試料は、大阪大学に送られてGe検出器で放射性物質が測定された。なお、Cs-134とCs-137だけが測定されたので、半減期が30年と長いCs-137のデータを解析に用いた。解析にあたり、丸森に設置されている気象庁のAMeDAS地点の気象データを用い、また、原発からの大気塊の輸送経路は、境界層乱流の効果を確率密度分布として反映できる、ラグランジュモデルを用いた前方流跡線解析により、48時間後まで追跡した。

3. 結果と考察:

(1) Cs-137濃度は、2011年12月から2012年4月までは 10^{-4} Bq m⁻³のレベルだったが、その後次第に減少して2013年後半には 10^{-5} Bq m⁻³付近となった。しかし、濃度が一時的に急激に増加する現象が、冬から春先と、それ以外の時期に、しばしば観測された。

(2) 冬から春先にかけてのCs-137濃度の増加は、風速が大きく相対湿度が低く大気が乾燥している時期に観測されたので、その原因は、土壌などからの放射性物質の再飛散であると推測された。

(3) 一方、2012年の9月と11月および2013年の5~8月にかけて、しばしば 10^{-4} Bq m⁻³以上の高濃度が観測された。特に2013年8月16-20日に採取された大気エアロゾル中のCs-137濃度は 4.6×10^{-3} Bq m⁻³と、測定を開始して以来の最高濃度となった。福島県放射線監視室の公表資料によれば、原発から2.8km北北西の双葉郡郡山局で、8月19日の6-12時と12-18時にダストモニターから回収した集じんろ紙中のCs-137は、各 7.1×10^{-1} 、 8.7×10^{-1} Bq m⁻³と非常に高い濃度を示した。また、東京電力福島第一原子力発電所は、「8月19日の9時半頃に免震重要棟前の連測ダストモニターで放射能高警報が発生しており、9時50分~10時10分にダスト採取した結果、Cs-134とCs-137の濃度が、各 2.6×10^2 、 5.8×10^2 Bq m⁻³で放射性Cs濃度の上昇を確認した」とプレス発表した。8月19日の前方流跡線解析によれば、09時と12時に原発を出発した大気塊は、南よりの風で丸森に15時と18時頃に到達していた。これらから、丸森で8月16-20日に観測された高濃度のCs-137は、原発から直接輸送された汚染気塊が到達したためと推測された。

(4) その他の高濃度の時期も、前方流跡線解析によれば、ほとんどの場合、原発から午前中に出発した大気塊が、午後から夕方にかけて丸森に到達していたので、原発からの汚染気塊が直接到達したためと推定された。

(5) このように、Cs-137の濃度は低いが、しばしば原発からの直接の影響とみられる高濃度現象が把握されたので、引き続き観測することが必要と思われる。

謝辞: 大気を採取してくださった宮城県丸森町役場の方々には深く感謝申し上げます。

キーワード: 大気エアロゾル, 放射性セシウム, 発生源推定, 前方流跡線解析

Keywords: atmospheric aerosols, radiocesium, source estimate, forward trajectory analysis

つくばにおける福島事故後6ヶ月間の大気中の放射性セシウム担体に関する研究 Study on the carrier of airborne radiocesium collected for six month in Tsukuba after the Fukushima nuclear accident

兼保直樹^{1*};小暮敏博²;向井広樹²;大橋英雄³;鈴木芙美恵³;赤田尚史⁴;奥田知明⁵;池盛文数⁶
KANEYASU, Naoki^{1*}; KOGURE, Toshihiro²; MUKAI, Hiroki²; OHASHI, Hideo³; SUZUKI, Fumie³; AKATA, Naofumi⁴
; OKUDA, Tomoaki⁵; IKEMORI, Fumikazu⁶

¹産業技術総合研究所, ²東京大学大学院理学研究科, ³東京海洋大学, ⁴核融合科学研究所, ⁵慶應義塾大学理工学部, ⁶名古屋環境科学調査センター

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²Graduate School of Science, The University of Tokyo, ³Tokyo University of Marine Science and Technology, ⁴National Institute for Fusion Science, ⁵Faculty of Science and Technology, Keio University, ⁶Nagoya City Institute for Environmental Sciences

To obtain the knowledge on the physico-chemical properties of airborne radionuclides, we had been collected size-resolved aerosol in Tsukuba, Japan, since April 28, 2011, although the data obtained do not include the first radioactive plumes that reached to Tsukuba on March 15, 2011. From the initial result, we proposed a hypothesis that the sulfate aerosol was the potential carrier of the ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs that had undergone the middle- to long-range transport from the damaged reactor. We further inferred that re-suspended soil particles that attached radionuclides were not the major airborne radioactive substances from late April to May, 2011 (Kaneyasu et al., 2012).

Nevertheless, there are some issues to be addressed on the nature of airborne radionuclides. Those are, a) until when the sulfate aerosol acted as a carrier of the radiocesium released from the reactor, or the other substances acted as carriers instead, and b) what is the carrier substance when the re-suspension or re-emission of became the dominant source in the airborne radiocesium.

In this study, we address these subjects by analyzing the long-term aerosol samples collected later than those presented in the previous study. The temporal change in the activity size distribution of radiocesium for six month will be discussed. In addition, the carrier substance of radiocesium in the coarse mode size range aerosol is investigated by use of the autoradiograph and scanning electron microscope to the aerosol sample collected in 2011 summer.

キーワード: 放射性セシウム, 粒径分布, 再飛散, 電子顕微鏡, オートラジオグラフ

Keywords: radiocesium, size distribution, re-suspension, electron microscope, autoradiograph

土壌および森林からの放射性セシウムの再飛散 Resuspension of radioactive cesium from soil and forest

北 和之^{1*}; 田中 美佐子¹; 木名瀬 健¹; 藤澤 遥¹; 山口 隆亮¹; 木野 日美子¹; 出水 宏幸¹; 五十嵐 康人²; 三上 正男²; 足立 光司²; 吉田 尚弘³; 豊田 栄³; 山田 桂大³; 篠原 厚⁴; 二宮 和彦⁴; 大河内 洋⁵; 石塚 正秀⁶; 川島 洋人⁷; 中井 泉⁸; 阿部 善也⁸; 恩田 裕一⁹

KITA, Kazuyuki^{1*}; TANAKA, Misako¹; KINASE, Takeshi¹; FUJISAWA, Haruka¹; YAMAGUCHI, Ryusuke¹; KINO, Himiko¹; DEMIZU, Hiroyuki¹; IGARASHI, Yasuhito²; MIKAMI, Masao²; ADACHI, Kouji²; YOSHIDA, Naohiro³; TOYODA, Sakae³; YAMADA, Keita³; SHINOHARA, Atsushi⁴; NINOMIYA, Kazuhiko⁴; OKOUCHI, Hiroshi⁵; ISHIZUKA, Masahide⁶; KAWASHIMA, Hiroto⁷; NAKAI, Izumi⁸; ABE, Zenya⁸; ONDA, Yuichi⁹

¹茨城大学, ²気象研究所, ³東京工業大学, ⁴大阪大学, ⁵早稲田大学, ⁶香川大学, ⁷秋田県立大学, ⁸東京理科大学, ⁹筑波大学

¹Ibaraki University, ²MRI, ³TiTech, ⁴Osaka Univ., ⁵Waseda Univ., ⁶Kagawa Univ., ⁷Akita Pref. Univ., ⁸Tokyo Univ. of Science, ⁹Tsukuba Univ

平成 23 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故によって、環境中に放出された放射性セシウムなど放射性物質は、土壌、植生、海洋に沈着するとともに、今も様々な形を変えつつ環境中を移動=移行している。大気による移行は、風によってすばやく広域に輸送・拡散させるという特徴をもつ。放射性セシウムの大気再飛散は、その刊行中の以降において無視できない役割を果たしていると考えられる。

我々のグループでは、福島県川俣町および浪江町といった比較的放射性セシウム沈着量が多い地区で、この再飛散の重要性、再飛散のメカニズムおよび再飛散量を明らかにすべく研究調査を行っている。放射性セシウムが土壌中の粘土鉱物に強く固定されていることから、当初は土壌粒子が風で舞い上がるにより再飛散が引き起こされているのではないかと予想された。しかし、大気放射能濃度の変動が土壌粒子の飛散とは異なることから、そう単純ではないことが明らかになった。ようやく最近、季節により再飛散の担い手もメカニズムも違っていることがわかってきた。浪江町でサンプルされた大気浮遊粒子の粒径別のセシウム 137 の放射能濃度を調べると、福島県で積雪がある 12-2 月 (降雪期)、梅雨入り前の 3-5 月 (春季)、梅雨入り以降の 6-9 月 (夏季) で異なる様相を示すことがわかった。降雪期には粒径 1 μ m 以下の微小粒子に放射性セシウムが集中し、春季には微小粒子の他に粒径 4 μ m 以上の粗大粒子にも放射性セシウムが分布し、夏季には粗大粒子に集中していることがわかる。粗大粒子を電子顕微鏡で観察すると、春季は土壌粒子がほとんどを占め、夏季には有機物粒子が主であり起源が異なることがわかった。春季には、比較的乾燥した地表から放射性セシウムを含む土壌粒子が飛散しているのに対し、夏季には森林から植物破片や花粉、孢子などの形で放出される粒子に、放射性セシウムが付着していると思われる。現在、冬季から春季の微小粒子について放射性セシウムの担体を明らかにすること、また季節毎に再飛散量を定量化するための研究を進めている。土壌および森林からの放射性セシウムの再飛散について、最新の結果を講演会時に報告したい。

福島県浪江町津島地区における粒径別鉛直一次元モデルを用いたダスト粒子による放射性物質の再浮遊の推定
Evaluation of radioactivity resuspension by dust emission using a size-resolved 1-D vertical model in Namie, Fukushima

石塚 正秀¹; 三上 正男^{2*}; 田中 泰宙²; 五十嵐 康人²; 北 和之³; 山田 豊⁴; 吉田 尚弘⁵; 豊田 栄⁵; 佐藤 志彦⁶; 高橋 嘉夫⁷; 二宮 和彦⁸; 篠原 厚⁸

ISHIZUKA, Masahide¹; MIKAMI, Masao^{2*}; TANAKA, Yasuhito²; IGARASHI, Yasuhito²; KITA, Kazuyuki³; YAMADA, Yutaka⁴; YOSHIDA, Naohiro⁵; TOYOTA, Sakae⁵; SATO, Yukihiko⁶; TAKAHASHI, Yoshio⁷; NINOMIYA, Kazuhiko⁸; SHINOHARA, Atsushi⁸

¹ 香川大学, ² 気象研究所, ³ 茨城大学, ⁴ 理化学研究所, ⁵ 東京工業大学, ⁶ 筑波大学, ⁷ 広島大学, ⁸ 大阪大学

¹Kagawa University, ²Meteorological Research Institute, ³Ibaraki University, ⁴RIKEN, ⁵Tokyo Institute of Technology, ⁶Tsukuba University, ⁷Hiroshima University, ⁸Osaka University

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性核種は、地表面に広範囲に沈着しており、土壌粒子(ダスト粒子)に吸着することで、強風によりダスト粒子と共に二次放出として再浮遊することが危惧されている。筆者らは昨年、ダスト粒子による放射性物質の再浮遊の粒径別鉛直一次元モデルを構築し、土壌粒径分布が粒径別の大気放射能濃度に与える影響が大きいことを明らかにした。しかし、現地土壌は高濃度に汚染されており、様々な仮定を置いていた。本研究では、福島県浪江町津島地区における土壌粒径分布の分析および土壌放射能の測定を行い、現地土壌の地表面条件を明らかにした。また、現地における粒径別大気放射能濃度とモデル推定結果の比較を行い、一次元モデルの適用性およびダスト粒子による放射性物質の再浮遊について検討を行った。

キーワード: 二次放出, 放射性エアロゾル, ダスト, 福島原発事故

Keywords: Secondary emission, Radioactive aerosol, Dust, Fukushima accident

福島第一原子力発電所事故により放出されたヨウ素 131 の大気中動態に関する数値シミュレーション
Simulation of I-131 in the atmosphere emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

滝川 雅之^{1*}; 鶴田 治雄²
TAKIGAWA, Masayuki^{1*}; TSURUTA, Haruo²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所
¹JAMSTEC, ²AORI, Univ. of Tokyo

A large amount of radioactive materials was released into the atmosphere after the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FD1NPP). Inhalation of iodine 131 is important for internal exposure, but the observation of iodine is quite limited especially in the early phase of the accident. We have conducted the simulation of radionuclides using a regional chemical transport model for March 2011. Calculated accumulated deposition of iodine 131 and caesium 137 was compared with the estimation using aircraft monitoring by MEXT and DOE (Torii et al., 2013). The model well captured the meridional gradient in the ratio of iodine 131 to caesium 137 around FD1NPP. The ratio of iodine 131 to caesium 137 is larger than 15 in the south of FD1NPP, and relatively small (around 0.7) in the northwest. This result implies that the regional model and the source term estimated by JAEA can generally reproduce eventual releases which cause large deposition over the land in March 2011.

キーワード: 数値モデル, 大気環境
Keywords: numerical simulation, atmospheric environment

放射性セシウム降下物量の指標としての地衣類の適用可能性 The applicability of lichens as indicator of radiocaesium fall-out following the Fukushima Daiichi nuclear accident

土肥 輝美^{1*}; 大村 嘉人²; 柏谷 博之¹; 藤原 健壮¹; 飯島 和毅¹
DOHI, Terumi^{1*}; OHMURA, Yoshihito²; KASHIWADANI, Hiroyuki¹; FUJIWARA, Kenso¹; IIJIMA, Kazuki¹

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 国立科学博物館

¹ Japan Atomic Energy Agency, ² National Museum of Nature and Science

地衣類は、菌類と藻類の共生体であり、(i) 樹皮や岩上などに着生し、陸上生態系に広く分布する、(ii) 維管束植物のような根を持たず、大気中の水分や浮遊物を直接取り込み保持する、(iii) 年間生長量が少なく寿命は数十年と比較的長い、などの性質を持つ。このような特性から、地衣類は大気圏核実験やチェルノブイリ事故など、長期間にわたり放射性降下物の汚染状況評価に用いられてきた。福島第一原子力発電所事故（以下、「事故」という。）により環境中に放出された放射性セシウムは、長期的に生活圏を含む生態系内を移動すると予想されることから、環境中の動態を把握していくことが必要である。放射性セシウムの土壌沈着量は、風雨等の自然要因等によって時間経過と共に比較的速く減少していくのに対し、地衣類中の放射性セシウムは長期間保持されることが報告されていることから、地衣類を放射性セシウム降下物量の指標として、動態評価に適用できる可能性が考えられる。しかし、我が国では、地衣類の放射性セシウム濃度に関する報告は少なく、地衣類を放射性降下物量の指標に適用した事例は無い。

本研究では、放射性セシウム降下物量の指標への適用可能性を検討するため、広く地衣類中の放射性セシウム濃度を調査し、放射性セシウム降下物量との関係を調べた。

2012年12月より、事故の影響を強く受けた福島県浜通り側を中心に、県内および関東地方で生育する地衣類を採取した。地衣類の種類については、福島第一原子力発電所周辺の低地に広く分布しているウメノキゴケ類に着目した。(1) 地衣類中の放射性セシウム濃度については、付着した樹皮等を除去し、乾燥させた後、CsIシンチレーション検出器およびGe半導体検出器を用いて、¹³⁴Csおよび¹³⁷Cs濃度を測定した。降下物量の目安には、地衣類採取地点における¹³⁷Cs土壌沈着量（2011年6月時点）および空間線量率を用いた。(2) 地衣類の放射性セシウムの保持能力については、地衣類と着生していた樹皮の放射性セシウム濃度を比較することによって評価した。

ウメノキゴケ類の放射性セシウム濃度は、着生樹皮よりも高い傾向が認められた。このことから、ウメノキゴケ類は樹皮よりも高い放射性セシウム保持能力を有すると言える。また、¹³⁷Cs土壌沈着量や空間線量率の高い地点では、ウメノキゴケ類中の放射性セシウム濃度は高く、互いに正の相関を示した。これらの結果から、ウメノキゴケ類が放射性セシウム降下物量の指標として適用できる可能性が示唆された。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 地衣類ウメノキゴケ類, 放射性セシウム

Keywords: Fukushima daiichi nuclear accident, Parmelioid lichens, radiocaesium

福島森林内におけるリターフォール、樹冠流、林内雨による放射性セシウムの降下量の把握 Estimation of radioactive cesium translocation by litterfall, stemflow and throughfall in the forest of Fukushima

遠藤 いく貴^{1*}; 大手 信人¹; 伊勢田 耕平¹; 廣瀬 農¹; 小林 奈通子¹; 田野井 慶太郎¹
ENDO, Izuki^{1*}; OHTE, Nobuhito¹; ISEDA, Kohei¹; HIROSE, Atsushi¹; KOBAYASHI, Natsuko¹; TANOI, Keitaro¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科
¹The University of Tokyo

2011年3月11日の地震と津波に起因する福島第一原子力発電所の事故により、周辺の森林域に多量の放射性物質が沈着した。樹冠に補足されたセシウム(Cs)は、さまざまな経路で林床に到達する。本研究は、年間に林床へ移動する放射性Csの量を推定するために、林床に移動するコンポーネントとその量をリターフォールと樹幹流、林内雨の測定をもとに調査した。

福島県伊達市の上小国川上流域の森林内に、落葉広葉樹とアカマツ(*Pinus densiflora*)の混交林に2プロット、スギ(*Cryptomeria japonica*)人工林に1プロットの調査区を設置した。リタートラップを各プロット内に5個ずつ設置し、毎月1度回収した。葉の試料は樹種ごとに分け、それ以外に枝、種子、樹皮に分けた。年間のリターフォール量とCs濃度から林床に降下したCs量を計算した。樹幹流と林内雨は、1-2か月毎に回収し、濾過して懸濁態を取り出した。放射性Cs濃度は、ゲルマニウム半導体検出器と、ヨウ化ナトリウム(タリウム)シンチレーションカウンターによって測定した。放射性Csとして¹³⁴Csと¹³⁷Csを検出したが、以下には¹³⁷Csの結果のみを示す。

常緑樹のスギの葉やマツの針葉からは、落葉樹に比べ高濃度の¹³⁷Csが検出された。原発事故当時に¹³⁷Csが付着した葉がまだ樹冠に残っていることが考えられる。落葉樹の葉からも¹³⁷Csが検出された。¹³⁷Csが降下してから1年半が経過し、落葉樹は2度目の落葉であるが、葉から¹³⁷Csが検出されたことから、樹体や根から樹体内に取り込まれた¹³⁷Csが葉に転流している可能性がある。¹³⁷Cs降下量は、落葉樹-マツ混交林内に比べスギ人工林内で約3倍多かった。その理由として、スギのリターフォール量が落葉広葉樹に比べ10%ほど多かったことと、葉の¹³⁷Cs濃度が3倍高かったことが考えられる。

樹幹流と林内雨の濃度は大きく変わらなかった。樹幹流量に比べ、林内雨量の方が多かった。降水量が多いときほど林床に移動する¹³⁷Cs量が多かったことから、降雨時に林内雨によって林床に移動する¹³⁷Cs量が多いことが示唆される。年間の¹³⁷Cs濃度は季節によって変動するものの、2012年と2013年で減少する傾向は見られなかった。林外雨の¹³⁷Cs濃度は検出限界以下だったことから、事故から1年半以上が経過しても、葉への付着あるいは葉からの溶脱による樹冠からの¹³⁷Csの供給は制限されておらず、安定した量の¹³⁷Csが樹冠から林床に移動していることが考えられた。

森林環境中の放射性セシウムの移行と林床の空間線量率の経時変化 Effect of Radiocesium Transfer on Ambient Dose Rate in Forest Environment

加藤 弘亮^{1*}; 恩田 裕一¹; ロフレド ニコラ¹; 久留 景吾²; 河守 歩³

KATO, Hiroaki^{1*}; ONDA, Yuichi¹; LOFFREDO, Nicolas¹; HISADOME, Keigo²; KAWAMORI, Ayumi³

¹ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, ² アジア航測株式会社, ³ 筑波大学大学院環境科学研究科

¹Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, ²Asia Air Survey Co., LTD., ³Masters Program of Environmental Sciences, University of Tsukuba

We investigated the transfer of canopy-intercepted radiocesium to the forest floor following the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. The cesium-137 (Cs-137) contents of throughfall, stemflow, and litterfall were monitored in two coniferous stands (plantation of Japanese cedar) and a deciduous broad-leaved forest stand (beech with red pine). We also measured an ambient dose rate at different height in the forest by using a survey meter (TCS-172B, Hitachi-Aloka Medical, LTD.) and a portable Ge gamma-ray detector (Detective-DX-100T, Ortec, Ametek, Inc.).

In decreasing order of total Cs-137 deposition from the canopy to forest floor were the mature cedar stand, the young cedar stand, and the broad-leaved forest. The ambient dose rate in forest exhibited height dependency and its vertical distribution varied by forest type and stand age. The ambient dose rate showed an exponential decrease with time for all the forest sites, however the decreasing trend differed depending on the height of dose measurement and forest type. The ambient dose rates at the canopy (approx. 10 m-) decreased earlier than physical attenuation of radiocesium, whereas those at the forest floor varied among three forest stands. These data suggested that an ambient dose rate in forest environment can be variable in spatially and temporally reflecting the transfer of radiocesium from canopy to forest floor.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, セシウム 137, 森林環境, 樹冠遮断, 移行, 空間線量率

Keywords: Fukushima Daiichi NPP accident, Cesium-137, Forest environment, Canopy interception, Transfer, Ambient dose rate

福島第一原発の北西地域における表層土壌の放射能比による3つの区分 Three different structures of radionuclide ratios on the surface soil in the northwestern area from the FDNPP

佐藤 志彦^{1*}; 末木 啓介¹; 笹 公和¹; 松中 哲也¹; 柴山 尚大¹; 高橋 努¹; 木下 哲一²

SATOU, Yukihiro^{1*}; SUEKI, Keisuke¹; SASA, Kimikazu¹; MATSUNAKA, Tetsuya¹; SHIBAYAMA, Nao¹; TAKAHASHI, Tsutomu¹; KINOSHITA, Norikazu²

¹ 筑波大学加速器質量分析グループ, ² 清水建設技術研究所

¹AMS Group, University of Tsukuba, ²Institute of Technology, Shimizu Corporation

福島第一原子力発電所事故によって福島県とその周辺地域では放射性核種による大規模な汚染が発生した。土地の汚染は原発の北西方向に集中していることが、事故初期における文部科学省の航空モニタリングと土壌採取調査の結果から明らかになっている。しかしながら福島第一原発事故では汚染源となった原子炉が3つもあるだけでなく、時期も複数回に及ぶため、地域ごとの汚染時期は空間線量変移等を取り入れたシミュレーションによって、再構築が試みられているものの、全容解明は行われている最中である。一方、文科省の土壌調査の結果から原発の北西方向にある高汚染地域は^{110m}Ag/¹³⁷Cs比を用いると2つに分けることが可能である。^{110m}Agは核分裂によって生成する核種であり、半減期も約250日と長いこと、汚染源の推定のみならず、輸送過程の推定が期待できる。そこで本研究では福島第一原子力発電所の北西方向を行政区とする双葉郡浪江町において40地点余の表層土壌の採取を行い、^{110m}Ag/¹³⁷Cs比を用い北西方向の放射性核種による汚染の実態解明を試みた。

本研究で対象とした放射性核種は¹³⁷Cs、¹³⁴Cs、および^{110m}Agの3核種で、原子炉が緊急停止した2011年3月11日に壊変補正した。採取土壌の測定結果と文科省による北西方向の公表値を組み合わせると、^{110m}Ag/¹³⁷Cs比において3つの地域に分かれた。最も北側に属する地域は^{110m}Ag/¹³⁷Cs比が0.02、¹³⁴Cs/¹³⁷Cs比が0.92で、範囲も原発から15kmの範囲であり極めて限定的であった。一方、^{110m}Ag/¹³⁷Cs比が0.005と0.002の地点はいずれの¹³⁴Cs/¹³⁷Cs比も0.98で、これらの地域は原発から北西方向に伸び、それぞれが原発から60km離れた福島市付近まで到達していた。

ORIGENコードを用いた炉内燃料状態のシミュレーション結果によると、3月11日時点で1号機の^{110m}Ag/¹³⁷Cs比と¹³⁴Cs/¹³⁷Cs比がそれぞれ0.02と0.94で最も北側地域の値におおよそ一致した。一方、^{110m}Ag/¹³⁷Cs比が0.005と0.0002を示した地域は¹³⁴Cs/¹³⁷Cs比から2、3号機由来と推定される。しかしながら2、3号機のシミュレーション結果を基にすると^{110m}Ag/¹³⁷Cs比は1/5-1/10程度しか観測されていない。政府事故調査委員会の発表では2、3号機からの放出が始まったのは14日以降である。銀の沸点はセシウムに比べ高く、地震発生から丸3日以上が経過し、1号機が放出した時に比べ炉心の冷却が進み、結果的に沸点が低いセシウムが主として放出されたと考えられる。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, ^{110m}Ag/¹³⁷Cs比, 表層土壌

Keywords: Fukushima Nuclear Power plant Accident, ^{110m}Ag/¹³⁷Cs ratio, Surface soil

福島第一原子力発電所事故前後における土壌中の ^{129}I と ^{137}Cs の深度分布 Depth profiles of ^{129}I and ^{137}Cs in soil before and after the FDNPP accident

松中 哲也^{1*}; 笹 公和¹; 末木 啓介¹; 高橋 努¹; 松村 万寿美¹; 佐藤 志彦¹; 柴山 尚大¹; 北川 潤一²; 木下 哲一³; 松崎 浩之⁴

MATSUNAKA, Tetsuya^{1*}; SASA, Kimikazu¹; SUEKI, Keisuke¹; TAKAHASHI, Tsutomu¹; MATSUMURA, Masumi¹; SATOU, Yukihiko¹; SHIBAYAMA, Nao¹; KITAGAWA, Jun-ichi²; KINOSHITA, Norikazu³; MATSUZAKI, Hiroyuki⁴

¹ 筑波大学, ² 高エネルギー加速器研究機構, ³ 清水建設, ⁴ 東京大学

¹University of Tsukuba, ²High Energy Accelerator Research Organization, ³Shimizu Corporation, ⁴The University of Tokyo

Massive nuclear fission products such as radioiodine and radiocesium were deposited on the land surface of Fukushima via radioactive pollution plumes derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. In order to evaluate inventory and penetration of accident-derived ^{129}I and ^{137}Cs in the land surface, depth profiles of ^{129}I , $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ atomic ratio and ^{137}Cs in 30-cm-long soil cores before (May 2008) and after (November 2012) the accident were compared at two sites (Iw-2 and Iw-8) on the western area within 10 km from the FDNPP.

Total ^{129}I inventories in soil core at two sites after the accident were estimated to be 0.74 - 1.96 Bq m⁻², 14 - 34 times higher than those before the accident (53.6 - 57.0 mBq m⁻²). Average $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ ratios ((1.4 - 6.2) × 10⁻⁷) in soil core after the accident were consistent with the $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ ratio of the radioactively-contaminated surface soils in Fukushima (1.5 × 10⁻⁸ - 7.2 × 10⁻⁶, Miyake et al., 2012). We also estimated that total ^{137}Cs inventories after the accident were 0.60 - 3.15 MBq m⁻², 280 - 470 times higher than those before the accident (2.1 - 6.7 kBq m⁻²). Average $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ activity ratios (1.07 - 1.08) in soil core fell within the activity ratio in Unit 1 - 3 (0.94 - 1.08) of the FDNPP calculated by ORIGEN2 code (Nishihara et al., 2012). These results suggested that accurate total inventories of accident-derived ^{129}I and ^{137}Cs in soil could be determined by deduction of those backgrounds at almost same site, thus, the FDNPP accident caused ^{129}I deposition of 0.69 - 1.90 Bq m⁻² and ^{137}Cs deposition of 0.59 - 3.14 MBq m⁻² on the western area within 10 km from the FDNPP. Moreover, deposited ^{129}I and ^{137}Cs at Iw-2 (4.2 km west from the FDNPP) were respectively, 2.9 and 5.3 times higher than those at Iw-8 (8.4 km west from the FDNPP).

Depth profiles of ^{129}I concentration, $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ atomic ratio and ^{137}Cs concentration before the accident were essentially declined from upper layer with depth at two sites. On the basis of the highest values in these profiles, background levels were determined to be 420 ± 11 Bq kg⁻¹ for ^{129}I , 1.6 ± 0.1 × 10⁻⁸ for $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ and 48 ± 2.5 Bq kg⁻¹ for ^{137}Cs . After the accident, significant elevated values of ^{129}I (40.2 - 130 mBq kg⁻¹), $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ ((0.9 - 9.3) × 10⁻⁶) and ^{137}Cs (44.6 - 255 kBq kg⁻¹) were found in the uppermost layer at the two sites, then these profiles exponentially declined with depth. Approximately 90% of deposited ^{129}I and ^{137}Cs at two sites were absorbed upper 37.4 - 50.5 kg m⁻² (4.1 - 4.3 cm) and upper 13.3 - 21.3 kg m⁻² (1.0 - 3.1 cm) in depth, respectively. In addition, since the relaxation mass depths (h_0) of ^{129}I were 9.2 - 12.8 kg m⁻² greater than those of ^{137}Cs (6.8 - 11.7 kg m⁻²) at two site, radioiodine was considered to penetrate slightly deeper than radiocesium in upper layer of both sites as Kato et al. (2012) found at 40 km northwestern site from the FDNPP. This is not contradicting to increasing tendency of $^{129}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$ activity ratio with depth at both sites. Based on the fact that both ^{129}I and $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$ in soil after the accident declined to a background level under 84.8 kg m⁻² in depth at Iw-2 and under 133 kg m⁻² in depth at Iw-8, about 8 - 9% of accident-derived ^{129}I were likely to penetrated 37.4 - 84.8 kg m⁻² (4.3 - 8.6 cm) in depth at Iw-2 and 50.5 - 133 kg m⁻² (4.1 - 10.2 cm) in depth at Iw-8.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 放射性ヨウ素, 放射性セシウム, 加速器質量分析, ガンマ線測定, 土壌分布
Keywords: FDNPP accident, Radioiodine, Radiocesium, AMS, Gamma-ray analysis, Soil profile

福島第一原発事故により放出された¹²⁹Iの分布と¹³¹I/¹²⁹I比の評価 Distribution of ¹²⁹I in the environment released from the FDNPP accident and estimation of ¹³¹I/¹²⁹I ratio

笹 公和^{1*}; 松村 万寿美¹; 末木 啓介¹; 高橋 努¹; 松中 哲也¹; 佐藤 志彦¹; 柴山 尚大¹; 木下 哲一²; 西原 健司³; 松崎 浩之⁴

SASA, Kimikazu^{1*}; MATSUMURA, Masumi¹; SUEKI, Keisuke¹; TAKAHASHI, Tsutomu¹; MATSUNAKA, Tetsuya¹; SATOU, Yukihiko¹; SHIBAYAMA, Nao¹; KINOSHITA, Norikazu²; NISHIHARA, Kenji³; MATSUZAKI, Hiroyuki⁴

¹ 筑波大学, ² 清水建設, ³ 日本原子力研究開発機構, ⁴ 東京大学

¹University of Tsukuba, ²Shimizu Corp., ³Japan Atomic Energy Agency, ⁴The University of Tokyo

福島第一原発事故により、核分裂生成の放射性核種が大量に放出された。しかし、¹³¹Iの半減期が約8日と短い為に、被ばく線量評価を実施する為の詳細データの入手が既に困難となっている。そこで、半減期約1,570万年の¹²⁹Iを¹³¹Iの輸送及び降下・沈着量の推定に利用することが考えられる。本研究では、福島県内の表層土壌中の¹²⁹Iを加速器質量分析法(AMS)で測定し、陸域環境での¹²⁹I分布状況と¹³¹I/¹²⁹I比の関係を調査した。

本研究では、筑波大学において¹³¹Iを測定した表層土壌(表面深さ5cmまで)について、¹²⁹I/¹²⁷I同位体比を東京大学MALTの加速器質量分析(AMS)装置により測定した(Matsuzaki et al., 2007)。安定ヨウ素である¹²⁷IはICP-MSを用いて測定を行い、¹²⁹I濃度を算出した。なお、福島第一原発事故前の表層土壌中の¹²⁹I平均濃度は、 $(2.74 \pm 1.35) \times 10^8$ atoms/gとなり、これが¹²⁹Iバックグラウンド値と推定される。福島第一原発事故後における表層土壌中の単位重量当たりの¹³¹I/¹²⁹I原子数比は、 $(4.02 \pm 0.81) \times 10^{-2}$ (2011年3月11日換算)となった。事故時の炉内放射能比はORIGEN2コードにより推定されており、各炉内の¹³¹I/¹²⁹I原子数比の計算結果は、 3.18×10^{-2} (1号機)、 4.57×10^{-2} (2号機)、 4.81×10^{-2} (3号機)である(Nishihara et al., 2012)。本報告では、陸域環境での¹²⁹I分布状況と福島県内の地域ごとの¹³¹I/¹²⁹I比の値を示す。また、ORIGEN2コードによる計算結果と測定結果との比較、及び¹³¹I沈着量の復元を試みた結果について報告する。

キーワード: 福島第一原発事故, 放射性ヨウ素, ¹³¹I/¹²⁹I, AMS

Keywords: FDNPP accident, Radioiodine, ¹³¹I/¹²⁹I, AMS

細粒粘土鉱物に保持された微量セシウムの脱離挙動：セシウム固定に及ぼす粘土粒子凝集の影響

Desorption behavior of intrinsic cesium in smectite: Effect of aggregation on the cesium fixation in clay particles

福士 圭介^{1*}; 酒井 遥²; 糸野 妙子³; 田村 明弘³; 荒井 章司³
FUKUSHI, Keisuke^{1*}; SAKAI, Haruka²; ITONO, Taeko³; TAMURA, Akihiro³; ARAI, Shoji³

¹ 金沢大学環日本海域環境研究センター, ² 金沢大学理工学域自然システム学類, ³ 金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻

¹Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, ²College of Science and Engineering, Kanazawa University, ³Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

The radiocesium from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident is retained at the surface soils around the power plant. The expandable fine grained clay minerals such as smectite and vermiculate are the candidates for the host phases of radiocesium. The sorption mechanism of cesium in the clay minerals is expected to be cation exchange reaction in the interlayer of the clay minerals. Therefore, the retained Cs must be desorbed to the solutions in the presence of high concentrations of major cations. On the other hand, some natural observations after the Fukushima accident have shown that the radiocesium in the contaminated soils or sediments is merely desorbed to the water even in saline solutions (e.g. Aoi et al 2013 JPGU meeting). The purpose of the study is to reproduce the unexpected fixation of cesium in clay minerals from the laboratory experiment by using standard well characterized smectite (Kunipia-F). The desorption behavior of intrinsic trace Cs (10 nmol/g from LA-ICP-MS) in smectite by major cations were systematically examined. The results of the present study showed that the aggregation of smectite by the presence of the divalent cations or high concentration of monovalent cations lead to the fixation of cesium in the clay aggregates.

Keywords: cesium, smectite, desorption, fixation, aggregation

化学形態分析に基づく放射性セシウムの移行挙動の評価 Evaluation of the migration of radiocesium based on chemical speciation

田中 万也^{1*}; ファン チャオファイ²; 近藤 宏壮²; 坂口 綾²; 高橋 嘉夫²
TANAKA, Kazuya^{1*}; FAN, Qiaohui²; KONDO, Hiroaki²; SAKAGUCHI, Aya²; TAKAHASHI, Yoshio²

¹ 広島大学サステナセンター, ² 広島大学院理地惑

¹ISSD, Hiroshima University, ²Graduate School of Science, Hiroshima University

Chemical form of radiocesium is fundamental information for evaluation of its migration in the environment. After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, we analyzed ¹³⁷Cs in aerosols, rock, soil, leaves, river suspended sediment and river water collected in Fukushima. Here, we review the migration of radiocesium in the environment based on our up-to-date data.

Many particles with high radioactivity were found in aerosols collected in March, 2011, where 50% to 90% of radiocesium was water-soluble. This means that radiocesium was still present mostly in a water-soluble fraction of aerosols before deposition and just after deposition on the ground. However, it was found that little amount of radiocesium was contained in a soluble fraction in soil and weathered rock samples by leaching experiments with water at various pH conditions. Possibly, such a soluble fraction of radiocesium was strongly fixed on rock and soil particles after dissolution in water (e.g. rainfall) on the ground. At the moment, chemical species of radiocesium would have changed from soluble to insoluble form. This strong fixation of radiocesium in soils can be explained by formation of inner-sphere complex in phyllosilicate minerals of clay minerals, which was confirmed by extended X-ray absorption fine structure (EXAFS) analysis. Field-scale observation reflected well the strong adsorption of radiocesium because most of the radiocesium stayed within 5 cm from the surface in soil layers.

In particular, in river and ocean systems, whether radiocesium is particulate or dissolved form is closely related to uptake by organisms and incorporation into food chain in ecosystems. We have monitored radiocesium concentrations in the Abukuma River system since summer in 2011. Total ¹³⁷Cs concentration in river water including both dissolved and particulate fractions decreased drastically from summer to winter in 2011, and then gradually decreased with time except at heavy rainfall events. From the strong fixation of radiocesium on soil particles, it was expected that radiocesium was predominant in particulate matter in river systems. More than 70% of radiocesium was particulate form, where the contribution of silt size (3 ? 63 μm) fraction was the largest. However, radiocesium in dissolved fraction suggested an increase at estuary. This implies desorption of radiocesium from particulate matter because of an increase in salinity.

We made adsorption experiments to determine distribution coefficient, K_d , between fluvial sediment and river water, and further desorption experiments to examine the reversibility of adsorption-desorption process. K_d values determined by adsorption and desorption experiments were consistent, indicating that radiocesium adsorption was a reversible process. In addition, when artificial seawater was used for desorption experiment, the resulting K_d value was lower than that obtained using river water. This clearly demonstrated the influence of ionic strength on adsorption-desorption process through competition of cesium ions with other ions (e.g., K^+ , Na^+ and Ca^{2+}), which is consistent with the field observation as noted above. Furthermore, we applied generalized adsorption model (GAM) to predict the distribution of radiocesium between particulate matter and water in the Abukuma River system. As a result, it was demonstrated that GAM can predict the apparent K_d values calculated from ¹³⁷Cs concentrations in fluvial sediment and river water as well as lower K_d values at estuary.

キーワード: 福島, 放射性セシウム

Keywords: Fukushima, Radiocesium

福島原発事故後の様々な土地利用からの土壌侵食による放射性セシウムの流出 Radiocesium wash-off associated with soil erosion from various land uses after the Fukushima Dai-ichi NPP accident

脇山 義史^{1*}; 恩田 裕一¹; 吉村 和也²; 加藤 弘亮¹
WAKIYAMA, Yoshifumi^{1*}; ONDA, Yuichi¹; YOSHIMURA, Kazuya²; KATO, Hiroaki¹

¹ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, ² 日本原子力研究開発機構福島技術本部

¹Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, ²Headquarters of Fukushima Partnership Operations, IAEA

Soil erosion is the initial process which drives radiocesium into the aquatic systems and therefore the quantification of radiocesium wash-off associated with soil erosion is indispensable for mitigating the risks. This study presents two year's observation of soil erosion and radiocesium wash-off to quantify differences in radiocesium behavior in various land uses. Seven runoff plots were established in four landscapes; uncultivated farmland (Farmland A1, Farmland B1), cultivated farmland (Farmland A2, Farmland B2), grassland (Grassland A, Grassland B) and Japanese cedar forest (Forest) in Kawamata town, an area affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. The discharged sediments were collected approximately every two weeks. In laboratories, collected sediments were dried and weighed for calculating soil erosion rates (kg m^{-2}) and served for measurements of radiocesium concentration (Bq kg^{-1}) with HPGe detectors. The erosivity factor of the Universal Soil Loss Equation (R-factor: $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{hr}^{-1} \text{yr}^{-1}$) was calculated based on the data of precipitation. Standardized soil erosion rates ($\text{kg m}^{-2} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{ha hr yr}$), observed soil erosion rates divided by R-factor, was 1.8×10^{-4} in Farmland A1, 6.0×10^{-4} in Farmland A2, 1.5×10^{-3} in Farmland B1, 8.3×10^{-4} in Farmland B2, 9.6×10^{-6} in Grassland A, 5.9×10^{-6} in Grassland B and 2.3×10^{-6} in Forest. These erosion rates were basically proportional to their vegetation cover of soil surfaces except for cultivated farmlands. Concentrations of Cs-137 in eroded sediments basically depended on the local deposition of Cs-137 and varied enormously with ranging several orders of magnitude in all the landscapes. For the observation period of time decreasing trends in concentrations of Cs-137 in eroded sediments were not obvious. To compare these results with those of Chernobyl, we calculated normalized solid wash-off coefficient ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) with dividing the mean total concentration of Cs-137 in sediments by local deposition of Cs-137 (Konoplev et al., 1992). The coefficient was 4.4×10^{-5} in Farmland A1, 1.3×10^{-5} in Farmland A2, 6.4×10^{-5} in Farmland B1, 1.0×10^{-5} in Farmland B2, 2.2×10^{-5} in Grassland A, 1.0×10^{-5} in Grassland B and 8.2×10^{-5} in Forest. High erodibilities and relatively low values of normalized wash-off coefficients in cultivated farmlands can be attributed to the mixing of surface soil by ploughing. These values almost corresponded to those of Chernobyl. It was found that the total solid wash-off coefficient of radiocesium from farmlands is high and for 2 years period of time after the accident reaches 10%. Generally high precipitation in the region and steep slopes promote higher wash-off of radiocesium as compared to the Chernobyl case. Also, normalized wash-off coefficients exhibited relatively less volatility than erodibilities in the landscapes. These results suggest that soil erosion management is crucial for mitigating risks of radiocesium.

キーワード: 土壌侵食, 侵食プロット, Cs-137

Keywords: soil erosion, erosion plot, Cs-137

侵食に伴う放射性セシウム移行の経験モデルと沈着量および河川への流出量の将来予測 The distributed models to predict interannual changes in inventory and discharge of rCs from river basin

近藤 昭彦^{1*}; 恩田 裕一²
KONDOH, Akihiko^{1*}; ONDA, Yuichi²

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター
¹CEReS, Chiba University, ²CRiED, University of Tsukuba

平成 23 年 3 月に発生した東電福島第一原発の事故により環境中に放出された放射性物質は東日本の広範囲に拡散し、地表面近傍に沈着した。大量の放射性物質が沈着した阿武隈山地は低地の居住地、農耕地以外は大半が森林に被覆されている。放射性物質の移行は山地森林流域における水循環・物質循環とともに生起し、再配分が進行していくと考えられる。今後長期間にわたり放射性物質の分布と時間変化に対するモニタリングが必要であるが、同時に放射性物質の挙動を予測し、放射能対策に役立てる必要がある。本研究では分布型の侵食モデルと、侵食土砂の斜面下方への輸送モデルを構築し、放射性セシウム（ここではセシウム 137 を扱う）の沈着量の長期変化を予測することを目的とする。

分布型モデルの空間分解能は文部科学省から提供を受けた航空機モニタリングによる放射性セシウム沈着量データの分解能に合わせて 25m とした。計算範囲は阿武隈川を含む東電福島第一原発 80km 圏に含まれる 36 の流域の範囲とし、広域侵食量分布を計算し、侵食、運搬に伴う放射性セシウムの沈着量分布の経年変化、河川を通したセシウム輸送量を予測した。

侵食量を予測する USLE (Universal Soil Loss Equation) モデルの各項は、福島県川俣町山木屋地区に設置された USLE プロットにおける観測から導出された土地被覆ごとの USLE 式を使用し、グリッドごとに計算することにより、侵食量分布を求めた。

USLE モデルの入力として使う土地被覆は環境省による自然環境保全基礎調査成果である第 2 回～第 5 回植生調査集約シェープファイルを使用し、25m 分解能のラスターデータに変換して用いた。地形は国土地理院による 10mDEM を 25m 分解能にリサンプリングし、傾斜等の地形パラメータを求めた。植被率は 2011 年の雲補正が施された MODIS/NDVI データ (東京情報大学受信) を用いたが、250m 分解能を 25m 分解能にリサンプリングする際に、土地被覆データを利用して、土地被覆と NDVI 値の対応関係を修正した。

次に地形勾配に沿う侵食土砂の移動を予測する移行モデルを構築し、平成 23(2011)年から平成 53(2041)年までの 30 年間の土砂移動に伴うセシウムの沈着量の分布の変化の計算を行った。

分布型 USLE モデルで計算された侵食土砂は落水線に沿って斜面下方に運搬されると仮定し、時間ステップ ΔT を 1 年として、グリッドごとに生産された土砂 (侵食量) を下流側グリッドに移動させた。その際、 ΔT の間に下流側に移動する土砂量と侵食土砂量の比として SDR (Sediment Delivery Ratio) を設定した。SDR は最大値が 1 であるが、その値は経験的に決定する必要がある。現状では日本における値は不明であるが、SDR=1 を設定することにより土砂移動の最大値を計算した。

運搬される土砂に含まれるセシウムの濃度は沈着量 (Bq/m²) と流出 (侵食) 土砂のセシウム濃度 (Bq/kg) との比 (Sc) を USLE プロットにおける観測により土地利用項目ごとに求め、沈着量に掛けることにより求めた。

斜面を移動する土砂は崩壊が生じない限り、急速に移動することはまれである。しかし、斜面基部、谷底の飽和帯が発生しやすい領域に土砂が到達すると出水時に侵食され、下流に運搬される。そこで、DEM から TPI (地形指数) を求め、飽和帯発生域 (流出寄与域) を特定し、この領域に土砂が到達すると一定量が水流によって取り除かれるアルゴリズムとした。今回は河道近傍に到達したセシウムの 100 % が河川に流出するとして計算を行った。現実には河道内における滞留時間を考慮しなければならないため、セシウム流出量の最大値を計算していることになる。

計算の結果、侵食、斜面移動、水系からの運搬を考慮した放射性セシウムの沈着量分布は、放射壊変のみを考慮した沈着量分布と比較すると最大で 10 % 程小さくなった。河川からの放射性セシウム流出量に関しては、観測点が流域下流端の岩沼地点にある阿武隈川では初年度の実測値と計算値がどちらも 10^{13} Bq のオーダーで一致した。各河川流域からの放射性セシウム流出量は初期の 1~数年で急激に減少するが、その後は指数関数的に減少した。30 年後でも放射性セシウム流出量は上流に高濃度地域を含む新田川、請戸川では 10^9 Bq 程度、流域面積が大きい阿武隈川では 10^{10} Bq 程度の値となった。

本研究結果は経験モデルによる計算結果であり、モデルの精度は観測情報の蓄積とともに再検討していく必要があるが、流出・土砂移動のメカニズムに基づいた経験モデルであるため、放射性セシウム移行の一端を表していると考えられる。

MAG38-17

会場:501

時間:5月2日 14:45-15:00

キーワード: USLE, 侵食量, 放射性セシウム, 沈着量変化, 分布型モデル, 福島

Keywords: Universal Soil Loss Equation, erosion rate, radioactive cesium, inventory change, distributed model, FUKUSHIMA

2012年6月の豪雨後に阿武隈川等に移行する河川懸濁粒子のCs-134, Cs-137放射能濃度の変動 Cs-134 and Cs-137 radioactivity of riverine suspended solids in the Abukuma River after the heavy rain in June 2012

長尾 誠也^{1*}; 金森 正樹²; 落合 伸也¹; 富原 聖一³; 山本 政儀¹
NAGAO, Seiya^{1*}; KANAMORI, Masaki²; OCHIAI, Shinya¹; TOMIHARA, Seiichi³; YAMAMOTO, Masayoshi¹

¹ 金沢大学環日本海域環境研究センター, ² 金沢大学大学院自然科学研究科, ³ ふくしま海洋科学館
¹LLRL, INET, Kanazawa University, ²Grad. School of NST, Kanazawa University, ³Environmental Aquarium Aquamarine Fukushima

2011年の東日本大震災の地震・津波の影響により福島第一原子力発電所で全電源喪失の事故が発生し、約15PBqのCs-134とCs-137が環境中に放出された。福島県や栃木県、群馬県の山間部でもCs-134, Cs-137蓄積量が相対的に高い地域が分布している。そのため、短期から長期の環境への影響を考えた場合、沈着した土壌等から河川を経由した放射性物質、特に被爆評価の観点からCs-134とCs-137の移行を検討する必要がある。本研究では、河川流域での放射性セシウム(Cs-134とCs-137)の動態を評価するため、阿武隈川における降雨イベントの影響について、懸濁粒子中のCs-134とCs-137の移行動態を調査した。

フィールド調査は阿武隈川上流(白河市)、中流(本宮市、伊達市)、下流(岩沼市)で2012年6月19-21日の間に実施した。また、宇多川、新田川、夏井川、鮫川においても、6月20日に同様の調査を行った。台風グッチョルは6月20日に日本に上陸し福島県内に77.136mmの降雨を降らせた。採取した河川水は連続遠心分離法により分離した。分離した懸濁粒子はGe半導体検出器を用いてCs-134とCs-137を計測した。

採取した河川水のCs-134とCs-137放射能濃度は0.091~3.83 Bq/lの範囲を示し、粒子態の割合は平水時の77-89%から100%近くまで増加した。河川水懸濁粒子のCs-137の放射能濃度は、阿武隈川上流の白河でのBq/kgから下流の岩沼でのBq/kgまで徐々に増加した。また、太平洋に流れ込む宇多川では3200 Bq/kg、新田川では42440 Bq/kg、夏井川850 Bq/kg、鮫川で550 Bq/kgと、河川により大きな変動を示した。この変動は、流域の放射性セシウムの沈着量との相関性が認められた。以上の結果より、台風に伴う降雨により粒子に収着した放射性セシウムは、小河川では流域の放射性セシウムの沈着量に応じて変動するが、阿武隈川では上流から下流までに供給される放射性セシウムの含有量が高くなることを示唆している。

キーワード: 河川水, 放射性セシウム, 粒子態, 移行挙動, 降雨

Keywords: river water, radioesium, particulate forms, migration, heavy rain event

福島県内の河川における放射性セシウムの移行 Transportation of radiocesium through rivers in Fukushima

谷口 圭輔^{1*}; 吉村 和也²; Smith Hugh³; Blake Will⁴; 高橋 嘉夫⁵; 坂口 綾⁵; 山本 政儀⁶; 恩田 裕一¹
TANIGUCHI, Keisuke^{1*}; YOSHIMURA, Kazuya²; SMITH, Hugh³; BLAKE, Will⁴; TAKAHASHI, Yoshio⁵; SAKAGUCHI, Aya⁵; YAMAMOTO, Masayoshi⁶; ONDA, Yuichi¹

¹ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, ² 日本原子力研究開発機構, ³ University of Liverpool, ⁴ School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, ⁵ 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, ⁶ 金沢大学環低レベル放射能実験施設

¹ Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, ² JAEA, ³ University of Liverpool, ⁴ School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, ⁵ Department of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, ⁶ Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University

福島第一原発事故によって、周辺地域に放射性セシウムなどの放射性核種が拡散された。この放射性セシウムは現在も河川網の中を移動し続けている。本研究では、阿武隈水系と浜通りの二級河川で採集された河川水中および浮遊砂中の放射性セシウム濃度のモニタリング結果を示し、福島県内における放射性セシウムの移行状況を報告する。

放射性セシウムのモニタリングは、阿武隈川およびその支流の口太川上の6地点において、2011年6月より開始された。その後、2012年10月から2013年1月までにさらに24の観測点が追加された。各観測点では、流量と濁度が測定されており、これらのデータをもとに浮遊砂濃度・浮遊砂フラックスが算出される。また、半月から1月ごとに河川水と浮遊砂試料を採取し、ゲルマニウム半導体検出器によりCs-134とCs-137の濃度を測定した。

浮遊砂中および河川水中の放射性セシウム濃度は経時的に減少傾向にあるが、事故後約1年を境にその減少速度は低下していた。

同じ日に採取された試料について、放射性セシウム濃度と流域の平均沈着量を比較すると、両者の間には正の相関がみられる。つまり、各地の放射性セシウム濃度を平均沈着量で正規化することができる。その正規化された放射性セシウム濃度は、Cs-137の場合を例にとると $[At] = 1.551 \exp(-5.265 t) + 0.069 \exp(-0.266 t)$ という2重指数関数の形で表すことができた。ここで、tは事故後の経過時間で、単位は年である。

各モニタリング地点における放射性セシウムのフラックスは、流量・濁度のデータと放射性セシウム濃度から算出した。濁度から浮遊砂濃度を算出し、浮遊砂濃度に流量を乗じると浮遊砂のフラックスとなる。これに同時期の浮遊砂サンプルの放射性セシウム濃度を掛けることで、放射性セシウムフラックスを得る。2011年9月の台風15号の出水時に最も多くの放射性セシウムが流出していた。その後、放射性セシウムフラックスは減少傾向にあったが、2013年の2つの台風の際には放射性セシウムフラックスは流量の増加に伴いやや高い値を示した。

浮遊砂と河川水の間における放射性セシウムの分配係数K_bには、経時変化は認められなかったが、地域ごとの差異は認められた。その原因としては、流域の地質の影響などが考えられる。

キーワード: 放射性セシウム濃度, 浮遊砂

Keywords: Radiocesium concentration, suspended sediment

放射性核種の海域移行解析のための河口・沿岸域土砂輸送モデルの開発 A sediment transport model for analyzing the environmental dynamics of radionuclides in estuarine and coastal oceans

内山 雄介^{1*}; 山西 琢文¹; 津旨 大輔²; 宮澤 泰正³

UCHIYAMA, Yusuke^{1*}; YAMANISHI, Takafumi¹; TSUMUNE, Daisuke²; MIYAZAWA, Yasumasa³

¹ 神戸大学, ² 電力中央研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹Kobe University, ²Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

福島第一原発（以下 1F と呼称）から漏洩した溶存態の放射性核種に対して、これまで国内外の研究機関等によって多くの海洋分散再解析が行われてきた。著者らのグループも多段ネスティングによる水平解像度 1 km の領域海洋モデルにより、2011 年 3 月 24 日に生じた 1F からの海洋への直接漏洩事故の再解析を行っている（内山ら, 2013, 土木学会論文集; 以下前報）。その結果、2011 年春期の福島県沖陸棚域における流速変動には海上風が大きく関わり、¹³⁷Cs の漏洩開始から 5 月下旬まで陸棚波の影響を強く受けた南北方向の沿岸ジェットが形成され、放射性核種の初期分散パターンに対して強い影響を及ぼしていたことなどを明らかにした。海洋での放射性核種の分散は 1F からの直接漏洩に加えて大気からの降下や河川からの出水などの影響も受けるが、特に後者については懸濁態での移行過程に関する知見が不十分であり、その定量的な予測手法の確立が急務である。大気を経由して陸域に降下した放射性核種の多くは主に土壌表層の粘土画分の粒子に吸着し、降雨等に伴う水文過程によって懸濁態として河川から流出して沿岸域に堆積する。放射性核種は海底においても土粒子に吸着することが知られており、沈降速度のため溶存態と比較して浅海域に滞留しやすく、長期間にわたって沿岸に存在し続け、海洋生態系に対してより大きな影響を与えることが危惧される。したがって、放射性核種の沿岸域での拡散予測やインベントリ解析をより高精度で行うためには、陸域から河口へ至った土砂がどのように沿岸に堆積し、輸送および再懸濁・再輸送されるかを精緻に予測する技術が必要となる。

本研究では、前報で開発した福島沿岸の領域海洋モデルに対して Euler 型の土砂輸送モデルおよび海底堆積モデル (Blaas *et al.*, 2007) を組み込み、さらに多粒径土砂へと拡張することにより、細砂、シルト、泥の 3 成分から構成される土砂の輸送、再懸濁、沈降過程を予測するモデルを開発し、福島沿岸域に適用した結果について報告する。具体的には、前報の東北・北関東沿岸モデルからさらにもう一段階のネスティングを行い宮城・福島・茨城沿岸域モデルを構築し、2011 年 3 月から 8 月を対象とした再解析を行った。すなわち、JCOPE2 (水平解像度 1/12 度) を最外側境界条件とし、領域海洋循環モデル ROMS を用いた 3 段階ネスティングにより、JCOPE2 → ROMS-L1 (水平解像度約 3 km) → ROMS-L2 (同 1 km) → ROMS-L3 (同 250 m) へと順次ダウンスケーリングを行った。ROMS-L3 では active トレーサとしての土砂 3 成分を考慮し、海底からの再懸濁フラックスに関連する底面せん断応力の推定に対しては底層流れに加えて波浪の影響を考慮した。海底地形は内閣府中央防災会議による解像度 50 m の地形データを、波浪場は気象庁 GPV-CWM 再解析値にネスティングさせたスペクトル波浪推算モデル SWAN による 3 時間平均推算値 (水平解像度約 1 km) を、海上風には気象庁 GPV-MSM 再解析値を用いた。海底土砂の初期粒径組成には、宮城県水産試験場および福島県水産試験場による報告値 (1991 および 2013) を用い、最適内挿法で空間補間を行った。L3 領域内に存在する 6 本の一級河川、14 本の二級河川の河口における流量は、電中研 HYDREEMS による日平均推定値を与え、流入土砂フラックスは全国平均 $L'-Q'$ 式 (武川ら, 2013) および浮遊土砂量と流量の相関式 (武田, 2001) から土砂の平均断面濃度を求め、流量を乗じた。流砂組成比には JAEA (2013) による USLE 準拠モデルを用いた河口部流砂量の結果をもとに与えた。その他の各種外力・初期・境界条件等に関しては前報と同様のものを使用した。放射性核種としては溶存態放射性セシウム ¹³⁷Cs (半減期約 30 年) のみを考慮し、土砂への吸脱着等 (すなわち懸濁態 ¹³⁷Cs) は一切考慮していない。

講演では 250 m 解像度における溶存態 ¹³⁷Cs 分布特性、各河川からの土砂の輸送範囲、荒天時における再懸濁による土砂輸送の発生範囲などに関する解析結果を示し、海況との比較を行うとともに、吸脱着を考慮した場合の懸濁態・溶存態 ¹³⁷Cs の分布特性に関する考察などを行う予定である。

キーワード: 粒径別土砂輸送モデル, 放射性セシウム 137, 多段ネスティング, ROMS

Keywords: multi-class sediment transport model, radioactive cesium 137, multiple nesting approach, ROMS (Regional Oceanic Modeling System)

航空機モニタリングによる福島沿岸域の放射性核種濃度の分布 Distribution of radionuclides in the surface seawater developed by aerial radiological survey

猪股 弥生^{1*}; 青山 道夫²; 廣瀬 勝巳³; 眞田 幸尚⁴; 鳥居 建男⁴; 坪野 考樹⁵; 津旨 大輔⁵; 山田 正俊⁶
INOMATA, Yayoi^{1*}; AOYAMA, Michio²; HIROSE, Katsumi³; SANADA, Yukihisa⁴; TORII, Tatsuo⁴; TSUBONO, Takaki⁵
; TSUMUNE, Daisuke⁵; YAMADA, Masatoshi⁶

¹ アジア大気汚染研究センター, ² 福島大学, ³ 上智大学, ⁴ 日本原子力開発機構, ⁵ 電力中央研究所, ⁶ 弘前大学
¹ Asia Center for Air Pollution Research, ² Fukushima University, ³ Sophia University, ⁴ Japan Atomic Energy Agency, ⁵ Central
Research Institute of Electric Power Industry, ⁶ Hirosaki University

【はじめに】

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所(FNPP1)の事故により、人工放射性物質が環境中に漏洩した。FNPP1から大気中に放出され、地表面に沈着した放射性物質の濃度分布については、地上や航空機モニタリングにおいて広域に行われている(鳥居ら, 2012)。しかし、FNPP1から海洋へ直接漏洩されたことによる海洋汚染や海洋生態系ひいては人体への健康影響が懸念されているにも関わらず、海洋における放射性核種については、スポット的な濃度が報告されているだけであり、その濃度分布の詳細については把握されていない。本研究では、海洋上空において行われた航空機モニタリングと in-situ で採取された海水中の放射性核種の濃度を比較し、さらに海洋モデルと組み合わせることにより、福島沿岸域における放射性核種の濃度の分布を明らかにすることを目的とした。

【航空機観測及びデータ解析方法】

2011年4月18日、米国エネルギー省(USDOE)が福島沿岸域において、大型NaI検出器を搭載した米軍機C-12で航空機モニタリングを行い、1秒毎に係数率(cps)を計測した。海水採取地点(東京電力モニタリングサイト)に対して半径500mの領域で観測された係数率について、海水中放射性核種(¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)の濃度比較を行った。海水中濃度の分布は最適内挿法を用いて調べた。領域海洋モデルについては、Regional Ocean Modeling System(Tsumune et al., 2012)を用いた。

【結果と考察】

モニタリングサイトにおける海水中の放射性核種濃度と全係数率(cps)は、高い相関係数(¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)の直線で近似できた。FNPP1の南～南東側に高濃度領域が認められ、最大濃度は¹³¹I 329 Bq/L, ¹³⁴Cs 650 Bq/L, ¹³⁷Cs 599 Bq/Lに達していた。高濃度域における¹³¹I/¹³⁴Cs比は、0.6-0.7であった。2011年3月26日に、FNPP1の敷地内の汚染水で観測された¹³¹I/¹³⁴Cs比は5.7であったこと(Tsumune et al., 2012)から、放射壊変を考慮すると海洋上空で観測された放射性物質の高濃度域は、FNPP1からの直接漏洩に起因するものと考えられた。放射性核種濃度の分布は海洋モデルでも再現できていたが、その濃度は過小評価であった。

福島沿岸域における混合層深度を10mと仮定(Estral et al., 2012)して見積もった、航空機モニタリング領域における放射性核種の収支は、¹³¹I 0.8、¹³⁴Cs 1.1、¹³⁷Cs 1.3PB qであった。2011年4月18日までに、FNPP1からの海洋への直接漏洩量は3.4PB q(Tsunume et al., 2013)であることを考えると、4月18日には直接漏洩量の3分の1以上が福島沿岸域にあったことが推定された。

【引用文献】

- 鳥居他(2012) 航空機モニタリングによる東日本全域の空間線量率と放射性物質の沈着量調査, 日本原子力学会誌, 12-17.
Tsumune et al. (2012) Distribution of oceanic ¹³⁷Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. J. Environ. Radioact., 111, 100-108.
Tsumune et al. (2013) One-year, regional-scale simulation of ¹³⁷Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Biogeosciences, 10, 5601-5617.
Estournel et al. (2012) Assessment of the amount of Cesium-137 released into the Pacific Ocean after the Fukushima accident and analysis of its dispersion in Japanese coastal waters. J. Geophys. Res. 117. doi:10.1029/2012JC007933.

キーワード: 航空機モニタリング, 海洋, 人工放射能, 空間線量率, 領域海洋モデル, 福島第一原子力発電所
Keywords: Airborne surveys, Ocean, Anthropogenic radionuclide, Gamma-ray peak count, Regional Ocean Modeling System, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

原発事故に対応する緊急システムの試作と海底堆積物中の福島起因放射性セシウムの解析に向けた海洋専門家の取り組み
Approach taken by oceanography specialists toward building emergency system and analyzing radiocesium in bottom sediment

池田 元美^{1*}
IKEDA, Motoyoshi^{1*}

¹ 北海道大学
¹Hokkaido University

2011年3月11日に起きた地震とそれに伴う原子力発電所事故によって、東日本太平洋沿岸地域は大きな打撃を受け、そこからの復興を目指すと共に、想定される事故に備えることも求められる。万が一であれ、地震などに起因する原発事故が起きた場合に備えて、海洋汚染の拡大を正確に予測しモニタリングを的確に進める体制が必須である。海洋モデルを基盤に緊急対応システムを試作し、原発周辺海域で事故に備える体制の考案を開始した。また海底堆積物中で依然として高い濃度を保っている放射性セシウムのモニタリングとモデリングを進めると共に、海洋学会でシンポジウムを開催し、どのようなプロセスを経て海底堆積物に放射性核種が移行したのか検討してきた。植物プランクトン、動物プランクトンのデトリタス性懸濁粒子、懸濁土砂へ吸着し沈降した分、そして海水から直接吸着した分、さらに河川を経た土砂への吸着を比較検討して、懸濁土砂が鍵を握っていると推定した。

キーワード: 放射性物質, 緊急対応システム, 堆積物
Keywords: radionuclide, emergency system, sediments

福島第一原子力発電所事故によって海洋に漏洩したCs-137の海洋中の長期間の挙動 Long-term behavior of Cs-137 activity in the ocean following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

津旨 大輔^{1*}; 青山 道夫²; 坪野 考樹¹; 立田 穰¹; 三角 和弘¹; 速水 洋¹; 豊田 康嗣¹; 吉田 義勝¹; 植松 光夫³
TSUMUNE, Daisuke^{1*}; AOYAMA, Michio²; TSUBONO, Takaki¹; TATEDA, Yutaka¹; MISUMI, Kazuhiro¹; HAYAMI,
Hiroshi¹; TOYODA, Yasushi¹; YOSHIDA, Yoshikatsu¹; UEMATSU, Mitsuo³

¹ 電力中央研究所, ² 福島大学, ³ 東京大学

¹Central Research Institute of Electric Power Industry, ²Fukushima University, ³Tokyo University

A series of accidents at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant following the earthquake and tsunami of 11 March 2011 resulted in the release of radioactive materials to the ocean by two major pathways, direct release from the accident site and atmospheric deposition.

We reconstructed spatiotemporal variability of Cs-137 activity in the ocean by the comparison model simulations and observed data. We employed a regional scale and the North Pacific scale oceanic dispersion models, an atmospheric transport model, a sediment transport model, a dynamic biological compartment model for marine biota and river runoff model to investigate the oceanic contamination.

Direct releases of Cs-137 were estimated for two years and six months after the accident by comparing simulated results and observed activities very close to the site. The estimated total amounts of directly released was 3.6 ± 0.7 PBq. Directly release rate of Cs-137 decreased exponentially with time by the end of December 2012 and then, was almost constant. The daily release rate of Cs-137 was estimated to be 3.0×10^{10} Bq/day by the end of September 2013. The activity of directly released Cs-137 was detectable only in the coastal zone after December 2012. Simulated Cs-137 activities attributable to direct release were in good agreement with observed activities, a result that implies the estimated direct release rate was reasonable, while there is no observed data of Cs-137 activity in the ocean from 11 to 21 March 2011. Observed data of marine biota should reflect the history of Cs-137 activity in this early period. We reconstructed the history of Cs-137 activity in this early period by considering atmospheric deposition, river input, rain water runoff from the 1F NPP site and absorption in sediment. The comparisons between simulated Cs-137 activity of marine biota by a dynamic biological compartment and observed data also suggest that simulated Cs-137 activity attributable to atmospheric deposition was underestimated in this early period. In addition, river runoff model simulations suggest that the river flux of Cs-137 to the ocean was effective to the Cs-137 activity in the ocean in this early period. The sediment transport model simulations suggests that the inventory of Cs-137 in sediment was less than 10% of total released Cs-137. Sediment is not dominant sink of Cs-137 in the ocean.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 領域海洋モデル, セシウム 137

Keywords: Fukushima Daiichi NPP accident, Regional Ocean Model System, Cesium 137

福島県いわき市ため池中の放射性 Cs 汚染堆積物の特徴 Characteristics of radioactive Cs in reservoir sediment in Iwaki, Fukushima prefecture

青井 裕介^{1*}; 福土 圭介²; 富原 聖一³; 長尾 誠也²; 糸野 妙子¹
AOI, Yusuke^{1*}; FUKUSHI, Keisuke²; TOMIHARA, Seiichi³; NAGAO, Seiya²; ITONO, Taeko¹

¹ 金沢大学大学院, 自然科学研究科, ² 金沢大学, 環日本海域環境研究センター, ³ アクアマリン福島
¹Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ²Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, ³Aquamarine Fukushima

2011 年 3 月、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により福島県第一原子力発電所が水蒸気爆発を起こし、Cs を主とする多量の放射性元素が屋外へ放出され、福島県やその近隣の県の土壤が汚染された。多くの研究者により、放射性 Cs は土壤の中でも細粒な粘土鉱物に取り込まれている事が報告されている。原子力規制庁(2013)は航空モニタリングによって測定された空間線量の減少率は、Cs-137 の物理的半減期により計測された減少率よりも上回っていると報告している。この理由に対しては、降雨などによる天然環境中での土壤からの侵食が考えられる。ため池堆積物は集水域の土壤が侵食、運搬され、堆積したものであるため、放射性 Cs 汚染土壤の流出過程のモデル化に適していると考えられる。本研究では、福島県いわき市のため池にセディメントトラップを設置し、2013 年 6 月から 2014 年 2 月までの期間で 5 回堆積物とため池の水を採取した。セディメントトラップにより採取された連続的に堆積する放射性 Cs 汚染堆積物中の物理的・化学的・鉱物学的特徴を、詳細に検討した。

キーワード: 放射性セシウム, 堆積物, 侵食, 土壤, 粘土鉱物
Keywords: Radioactive Cs, Sediment, Erosion, Soil, Clay mineral

松川浦及び流入河川における放射性セシウムの移動及び堆積状況把握 (速報) Deposition and Migration of Radioactive Cs in the Matsukawa Ura and Feeder Rivers, Fukushima, Japan (Preliminary report)

神林 翔太^{1*}; 張 勁²; 成田 尚史³; 柴沼 成一郎⁴; 相馬双葉漁業協同組合松川浦支所 一同⁵
KAMBAYASHI, Shota^{1*}; ZHANG, Jing²; NARITA, Hisashi³; SHIBANUMA, Seiichiro⁴; SOMA-FUTABA FISHERIES
COOPERATION, Members⁵

¹ 富山大学大学院理工学教育部, ² 富山大学大学院理工学研究部, ³ 東海大学海洋学部, ⁴ 有限会社 シーベック, ⁵ 相馬双葉漁業協同組合松川浦支所

¹Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, ²Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, ³School of Marine Science and Technology, Tokai University, ⁴Cbec, ⁵Soma-Futaba Fisheries Cooperation Matsukawa Ura Branch

東京電力福島第一原子力発電所 (FDNPP) 事故により多くの放射性核種が環境中へ飛散した。FDNPP より放出され、陸上に堆積している放射性 Cs は河川を通じ最終的に海洋へ移行していくと考えられる。本研究では福島県相馬市に位置する松川浦及び流入河川をモデル域として河川-汽水域-海洋の系における放射性物質の輸送実態を把握することを目的とした。流入河川及び松川浦の堆積物採取は 2013 年 9 月より継続して行っており、採取した試料は研究室に持ち帰り、乾燥させた後 Ge 半導体検出器を用いて放射能測定を行った。また、2013 年 9 月以前の測定結果に関しては、福島県が公表している分析結果を用いた。北方に位置する小泉川・宇多川に比べ、南方に位置する梅川・日下石川では高濃度の放射性 Cs が検出され、日下石川においては豪雨イベント後を除き降水量が多くなるにつれて放射性 Cs 濃度が減少した。松川浦内の放射性 Cs 蓄積量と降水量には強い相関があり、河川では降水量が増加することにより放射性 Cs 濃度が減少していることから降水量の増加に伴う河川の流量増加により河川中の懸濁物物及び河床堆積物が松川浦へ流入していると考えられる。また、日下石川において豪雨イベント後に採取した堆積物は豪雨イベント前に比べ堆積物が細粒化していると同時に放射性 Cs 濃度が増大していたことも確認された。これは豪雨イベント後の出水後から平水時に戻る過程において塩水遡上に伴い微細粒子が輸送されたと考えられる。以上から、河川-汽水域-海洋の系における放射性物質の輸送実態には流動、細粒土砂等の動態等の物理化学現象が大きく寄与していることが明らかになった。今後は、同系における放射性物質輸送実態をより定量的に把握するために継続的な調査を続けると同時に汽水域内の水収支や水塊構造、物質循環等を明らかにする。

キーワード: 放射性セシウム, 松川浦, 汽水域

Keywords: Radioactive Cs, Matsukawa Ura, Brackish water area

キレート樹脂 DGA レジンを用いたイットリウム迅速分離と海水中 Sr-90 定量への適用 Rapid determination of Radiostrontium in seawater sample using DGA Resin

田副 博文^{1*}; 山形 武靖²; 小畑 元³; 山田 正俊¹
TAZOE, Hirofumi^{1*}; YAMAGATA, Takeyasu²; OBATA, Hajime³; YAMADA, Masatoshi¹

¹ 弘前大学被ばく医療総合研究所, ² 日本大学文理学部, ³ 東京大学大気海洋研究所

¹Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University, ²College of Humanities and Sciences, Nihon University,

³Atmosphere and Ocean Research Institute, the Tokyo University

2011 年 3 月に起きた福島第一原子力発電所の事故により多くの放射性核種が環境中に放出された。放射性ストロンチウムに関しては大気経路での陸上への放出は少なかったものの汚染水や地下水の流出により海洋への影響が懸念されている。しかし、放射性ストロンチウムの分析が非常に困難であるため、原発近海でさえデータが限られている。公定法では発煙硝酸や大容量のイオン交換カラムを用いて、カルシウムとの化学分離を行う必要があり、作業の煩雑さや作業員・環境への負荷が大きな問題であった。本研究ではストロンチウム-90 の娘核種として生成するイットリウムを選択的に吸着するキレート樹脂 DGA レジンを用いることにより、カルシウムとストロンチウムの相互分離を経ずに、イットリウム-90 のみを精製する方法を開発した。また、DGA レジンを用いるために海水の前濃縮法についても検討を行い、分析作業全体に渡る簡略化を達成した。

キーワード: ストロンチウム 90, イットリウム, 福島, 原子力発電所, seawater

Keywords: Sr-90, Yttrium, Fukushima, Nuclear power plant, seawater

福島原発事故で放出された強放射性大気粉塵粒子の放射光 X 線分析 Synchrotron radiation X-ray analyses of the radioactive single airborne particle emitted by the Fukushima nuclear accident

飯澤 勇信^{1*}; 阿部 善也¹; 中井 泉¹; 寺田 靖子²; 足立 光司³; 五十嵐 康人³

IIZAWA, Yushin^{1*}; ABE, Yoshinari¹; NAKAI, Izumi¹; TERADA, Yasuko²; ADACHI, Kouji³; IGARASHI, Yasuhito³

¹ 東京理科大学理学部, ²JASRI/SPring-8, ³ 気象研究所 環境・応用気象研究部

¹Tokyo University of Science, ²JASRI/SPring-8, ³Meteorological Research Institute

福島原発事故で放出された放射性核種の環境動態を解明するために様々な研究が行われている。しかし、原発事故当時、大気環境に飛散した放射性物質の正体は、いまだ解明されていない。この正体を明らかにすることは、事故当時の大気環境における放射性物質の挙動や人体への影響を評価する上で極めて重要である。そこで、本研究では原発事故当時に、茨城県つくば市で捕集された強放射性粒子 1 粒を対象として放射光 X 線複合分析を行い、原発事故により大気環境に放出された放射性物質の正体を解明することを目的として研究を進めた。

分析試料は、特に高い放射能を有していた 3 月 14 日から翌 15 日に、つくば市気象研究所で石英フィルター上に捕集されたものを用いた。このフィルターから、マイクロマンピュレーターを用いて強放射性の 1 粒子をサンプリングし、アクリル板上に貼ったカプトンテープに転写したものを放射光実験用の測定試料とした。測定は SPring-8 の BL37XU で行い、放射光を 15.0 keV (低エネルギーモード) と 37.5 keV (高エネルギーモード) に単色化し、縦横それぞれ約 1 μ m に集光した X 線を用いて、重元素組成情報を得るために蛍光 X 線 (XRF) イメージングを、化学状態と結晶構造の情報を得るために X 線吸収端近傍構造 (XANES) / 粉末 X 線回折 (XRD) 分析を行った。

現時点で 3 つの強放射性粒子の分析に成功し、XRF イメージングの結果すべての粒子で Cs の存在を明らかにできた。さらに、以下のような様々な元素が各分析モードで検出され、それぞれ粒子内に均一に分布していることが分かった。

高エネルギーモード: Cs, Ba, Te, Sn, Mo, Zr, Rb, Zn, Fe

低エネルギーモード: Fe, Mn, Cr, Zn, Ti

また粒子によって化学組成の違いがみられた。検出された元素のうち Sn, Mo, Zn, Fe について XANES による化学状態分析を行ったところ、これらの金属元素は高酸化数のガラス化状態で存在していることが明らかになった。さらに、XRD 測定により粒子の結晶状態の解析を行ったところ、回折線が観測されなかったことから、アモルファスであることが分かった。以上の結果より、検出された元素の起源は、核分裂生成物や原子炉を構成する材料であると考えられ、これらの粒子は核燃料を含む原子炉内の材料が高温で溶融され、急冷したことによりガラス状態で大気環境に放出されたものであると結論付けられた。

キーワード: 福島原発事故, 放射光 X 線分析, 大気粉塵, 強放射性粒子

Keywords: Fukushima Daiichi nuclear power plant, Synchrotron radiation X-ray analysis, airborne particle, strong radioactive particle

大気化学反応のひとつの計算法 An approach to chemical reactions in the atmosphere

青山 智夫^{1*}; 若月 泰孝¹
AOYAMA, Tomoo^{1*}; WAKAZUKI, Yasutaka¹

¹ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

¹Center for Research in Isotopes and Environment Dynamics, University of Tsukuba

1. Introduction

We discuss an approximate approach to simulate time series reactions in the atmosphere. At first, we write a reaction at definition time- t , as $A+B=C$. Next, we suppose that densities of the compounds are written by Gaussians. The Gaussian is a solution for general small particles diffusion processes. The time- t is discrete about the interval is dt . If 2 particles of compound A and B are interacted within the interval, the reaction reaches equilibrium, and a compound C is generated.

2. Descriptions

Considering properties of the atmosphere, we adopt Gaussian having different parameters for the horizontal and vertical directions.

$$GA\{A\}(r,z)=QA\{A\}\exp\{-\alpha A(r-rA)^2-\beta A(z-zA)^2\}, \quad (1)$$

The suffix A corresponds to compound A. The Q is density and the unit is [M/volume] of compounds. In case of uncertain compounds chemically, it is replaced by [kg/volume]. A vector r is for x - and y -coordinates, and z is for z -coordinate. The function \exp (whose arguments is 3-dimensional distance) is a kind of the volume. Eq. (1) is a relation of [M]; that is, a reaction equation, which is defined at any time.

The α and β (which are positive) are diffusion parameters and they depend with elapsed time from the generation. The dependency is very complex and the evaluation is difficult. In the puff-model approach, it is calculated by many turbulence parameters. However; we wonder that model is significant in case of very diffused case. We wish to adopt Lagrangian particles (L-particles), where alpha-beta-parameters are not, and effects of the turbulence are expressed by random numbers.

L-particles are a finite volume of the air, and have no shape. Therefore; we redefine it to be Gaussian. The multiply of Gaussians is a Gaussian; it is an appropriate function to express reactions.

Under the representation, alpha-beta-parameters are fixed coefficients to define a unit volume. They are a kind of mesh intervals. The re-defined Gaussians are moved by meteorological fields, as if they were L-particles. The Gaussian is like as a mesh-unit in Euler approach, which has a finite volume. They are in a space, and are moved by wind fields; however, they are not arranged orderly in Euler approach. Here, if the arrangement is introduced as following;

A transformation between L-particle and Euler-mesh:

$$Q(\text{mesh coordinates})=\text{Integral}\{GA(r,z)G(\text{on mesh})dv\},$$
$$\{GA(r,z)\}\rightarrow\{Q(\text{on mesh})\}.$$

The transformation seems to be usable to evaluate diffused mist.

3. Reactions

In an interval time, chemical equilibrium is,

$$Keq=[C]/([A][B]). \quad (2)$$

For every times,

$$QA(t+dt)=QA(t)-QC(t), \quad QB(t+dt)=QB(t)-QC(t), \quad (3)$$

$$rA(t+dt)=rA(t)+\{u,v\}Adt+\text{Rand}(), \quad (4)$$

$$ZA(t+dt)=ZA(t)+\{w\}Adt+\text{Rand}(), \quad (5)$$

Where, a vector $\{u,v,w\}$ is wind speeds. Rand() is normal distributed random numbers.

In another reaction, $A+B=C+D$, we get,

$$Keq=(C[D])/([A][B]), \quad (6)$$

Since the distributions of C and D are same at the first step,

$$GC=GD=(KeqGAGB)^{0.5}. \quad (7)$$

4. Progress of the research

We try to simulate some reactions in the atmosphere now.

MAG38-P05

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 2 日 16:15-17:30

キーワード: 大気化学, 浮遊粒子状物質, L-粒子
Keywords: atmospheric reaction, SPM, L-particle

福島原子力事故由来の放射性ストロンチウムの大気中濃度の経時変化 Secular distribution of radioactive strontium concentration in the atmosphere after after the accident of FD-NPP

張子見^{1*}; 二宮和彦¹; 高橋成人¹; 山口喜朗²; 吉村崇²; 齊藤敬³; 北和之⁴; 鶴田治雄⁵; 渡邊明⁶; 篠原厚¹
ZHANG, Zi jian^{1*}; NINOMIYA, Kazuhiko¹; TAKAHASHI, Naruhito¹; YAMAGUCHI, Yoshiaki²; YOSHIMURA, Takashi²
; SAITO, Takashi³; KITA, Kazuyuki⁴; TSURUTA, Haruo⁵; WATANABE, Akira⁶; SHINOHARA, Atsushi¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科, ² 大阪大学ラジオアイソトープセンター, ³ 尚絅学院大学 生活環境学科, ⁴ 茨城大学大学院 理工学研究科, ⁵ 東京大学大気海洋研究所, ⁶ 福島大学

¹Graduate School of Science, Osaka University, ²Radioisotope Research Center, Osaka University, ³Faculty of Comprehensive Human Sciences, Shokei Gakuin University, ⁴College of Science, Ibaraki University, ⁵Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ⁶Fukushima University

【はじめに】

2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の爆発事故により環境中に大量の放射性元素が放出された。現在まで、ヨウ素131、セシウム134・137の放射能値のデータは多く発表されている。一方で、原子炉内で大量に生成するストロンチウム90 (Sr-90)に関する報告は、Sr-90が純β線放出核種であり、それゆえ測定のための面倒な化学分離や高感度の検出器を必要とするために依然として少ないのが現状である。過去に原子力事故由来の大気中Sr-90を測定した研究は数例しかなく、放出されたSr-90がその後、大気中でどのような挙動をとり沈着するのかはほとんどわかっておらず興味深い。

我々の研究グループは、新しく開発した固相抽出法を用いた簡便で迅速な化学分離法を用いて、事故後に日本各地で採取されたエアダスト中に含まれるSr-90を分離し、その試料を低バックグラウンドの液体シンチレーションカウンター(LSC)を用いたチェレンコフ光測定により定量した。

【実験手法】

エアダストフィルターサンプルを細かく切断したのちに、王水中で3?4時間加熱してSrを抽出した。得られた酸溶液に安定同位体のSrを1mg加えたのちに超純水で4Mに薄めて3M社製のEmporeTM Strontium Rad Diskに通してSrを固相抽出したのち、0.02MのEDTA溶液によりDiskからストロンチウムを溶離した。これに硝酸を加えて溶液を酸性にしたのちに陽イオン交換カラムに通してSrを吸着させた。pH5に調整したEDTA溶液をカラムに通すことで、天然で存在するβ線放出核種で測定の妨害となるPb-210を除去した。3Mの塩酸を通してSrを溶出させ、これを測定サンプルとした。LSCの装置でチェレンコフ光を連続で測定し、成長曲線を描くことでSr-90の放射能を定量した。化学分離におけるSrの収率はICP-MSにより定量した。

【結果】

我々は、2011年3月以降に福島県福島市、茨城県日立市、神奈川県川崎市、大阪府豊中市で採取されたについて、ゲルマニウム半導体検出器によりCs-134・137を非破壊で分析したのちに、エアダストサンプルを実際に上記の手法に従いSr-90を分析した。福島市と日立市のサンプルについては初期のみならず事故から1年後までのいくつかの試料を分析し長期間にわたるSr-90の変化を観測したところ、時間の経過に従いSr-90/Cs-137放射能比が上昇する傾向にあることが明らかになった。発表ではそれらのSr-90の濃度の変化、Cs-137との比の変化について討論する。

放射性セシウムの大気再飛散と気象条件の関係 Correlation between Atmospheric Re-entrainment of Radioactive Cs and Meteorological Phenomena Conditions.

木野 日美子^{1*}; 北 和之¹; 田中 美佐子¹; 木名瀬 健¹; 出水 宏幸¹; 五十嵐 康人²; 三上 正男²; 梶野 瑞王²; 足立 光司²; 木村 徹²; 石塚 正秀³; 川島 洋人⁴; 吉田 尚弘⁵; 豊田 栄⁵; 山田 桂大⁵; 大河内 博⁶; 篠原 厚⁷; 二宮 和彦⁷; 恩田 裕一⁸
KINO, Himiko^{1*}; KITA, Kazuyuki¹; TANAKA, Misako¹; KINASE, Takeshi¹; DEMIZU, Hiroyuki¹; IGARASHI, Yasuhito²; MIKAMI, Masao²; KAJINO, Mizuo²; ADACHI, Kouji²; KIMURA, Toru²; ISHIZUKA, Masahide³; KAWASHIMA, Hiroto⁴; YOSHIDA, Naohiro⁵; TOYODA, Sakae⁵; YAMADA, Keita⁵; OKOCHI, Hiroshi⁶; SHINOHARA, Atsushi⁷; NINOMIYA, Kazuhiko⁷; ONDA, Yuichi⁸

¹茨城大学, ²気象研究所, ³香川大学, ⁴秋田県立大学, ⁵東京工業大学, ⁶早稲田大学, ⁷大阪大学, ⁸筑波大学
¹Ibaraki University, ²Meteorological Research Institute, ³Kagawa University, ⁴Akita Prefectural University, ⁵Tokyo Institute of Technology, ⁶Waseda University, ⁷Osaka University, ⁸Tsukuba University

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴い発生した福島第一原発事故によって、大量の放射性物質が環境に放出された。放出された放射性物質は風によって直接輸送、拡散し、最終的に土壌や植生に沈着する。沈着した放射性セシウムは風などによって大気中へ再飛散している。現在の放射性セシウムの大気放射能濃度の変動は主に再飛散による変動だと考えられる。しかし、そのメカニズムは複合的であり未だ明らかでない。今後の大気放射能濃度変動予測には、放射性セシウムの再飛散メカニズムを理解する必要がある。

土壌中のセシウムは粘土に吸着する性質をもつ。土壌粒子が放射性セシウムの担体となり、風による舞い上がりによって起こる大気再飛散がどのような気象条件下でどのくらい起こっているのか明らかにすることを本研究の目的とする。

2. 観測手法

平成24年12月から、浪江町下津島地区の浪江高校津島分校グラウンドにおいて、7台のハイボリュームエアサンプラーを用いて放射性セシウムの大気放射能濃度を観測している。石英フィルターでエアロゾルを捕集し、大気放射能濃度を測定する。その濃度をサンプリング期間の積算吸引量で割ることで24時間の平均大気放射能濃度(Bq/m³)を求める。風速は三杯風速計を用いて3高度で測定している。土壌水分はTDR式水分計を用いて測定している。

3. 放射性セシウムの大気再飛散の季節性と気象条件の関係

エアロゾル粒径別の放射性セシウムの大気放射能濃度には季節性がみられた。冬季(1・2月)においては、微小粒子に大気放射能濃度のピークがみられた。春季(3・5月)では微小粒子と粗大粒子に大気放射能濃度のピークがみられた。夏季(6・9月)では粗大粒子側に大気放射能濃度のピークがみられた。この結果から季節によって放射性セシウムの担体は異なり、再飛散メカニズムも異なると考えられる。

冬季の間、地表は積雪している為、土壌粒子が舞い上がるによる放射性セシウムの再飛散の可能性は極めて低いが、大気放射能濃度の増減がみられた。春季の大気放射能濃度と風速は正相関であった。しかし、土壌粒子の飛散メカニズム特有の摩擦速度(風によって地表に加えられる応力)のある閾値から3乗に比例して飛散量が増加するという傾向はみられず、大気放射能濃度は風速の増加と直線的であった。よって、土壌粒子による放射性セシウムの再飛散に加えて他の担体による再飛散が起こっていると考えられる。夏季においてみられた大気放射能濃度の粗大粒子側のピークの原因は土壌粒子であると予想していたが、大気放射能濃度と風速は逆相関であった。ゆえに夏季は冬季・春季とは別の再飛散メカニズムが存在し、放射性セシウムの担体は土壌粒子ではないと考えられる。

土壌粒子は土壌が飛散しやすい条件下すなわち風が強く、土壌水分の小さい環境において、放射性セシウムの大気再飛散に寄与しているが、他の担体による再飛散の影響が大きいと考えられる。

4. 前方流跡線解析による放射性セシウムの直接輸送の検討

現在、福島第一原子力発電所から放出された空気塊の前方流跡線解析の結果と浪江町下津島地区の浪江高校津島分校グラウンドにて観測した放射性セシウムの大気放射能濃度について解析している。この結果より、放射性セシウムの原発からの直接輸送の有無について検討することを目的とする。

キーワード: 放射性セシウム, 大気再飛散, 福島第一原発事故, 環境放射能

Keywords: Radioactive Cs, Atmospheric Re-entrainment, Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident, Environmental Radioactivity

福島県浪江町で観測された大気放射能濃度と、エアロゾル組成との関係の推定 Estimate of relationship between composition of aerosol and radioactive cesium observed in Namie Town, Fukushima Pref.

田中 美佐子^{1*}; 北 和之¹; 木名瀬 健¹; 木野 日美子¹; 出水 宏幸²; 五十嵐 康人³; 三上 正男³; 足立 光司³; 木村 徹¹¹; 川島 洋人⁴; 吉田 尚弘⁵; 豊田 栄⁵; 山田 桂大⁵; 大河内 博⁶; 山之越 恵理⁶; 篠原 厚⁷; 二宮 和彦⁷; 中井 泉⁸; 阿部 善也⁸; 石塚 正秀⁹; 恩田 裕一¹⁰

TANAKA, Misako^{1*}; KITA, Kazuyuki¹; KINASE, Takeshi¹; KINO, Himiko¹; DEMIZU, Hiroyuki²; IGARASHI, Yasuhito³; MIKAMI, Masao³; ADACHI, Kouji³; KIMURA, Toru¹¹; KAWASHIMA, Hiroto⁴; YOSHIDA, Naohiro⁵; TOYODA, Sakae⁵; YAMADA, Keita⁵; OKOCHI, Hiroshi⁶; YAMANOKOSHI, Eri⁶; SHINOHARA, Atsushi⁷; NINOMIYA, Kazuhiko⁷; NAKAI, Izumi⁸; ABE, Yoshinari⁸; ISHIZUKA, Masahide⁹; ONDA, Yuichi¹⁰

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 茨城大学工学部, ³ 気象研究所, ⁴ 秋田県立大学システム科学技術学部, ⁵ 東京工業大学総合理工学研究科, ⁶ 早稲田大学理工学術院創造理工学部, ⁷ 大阪大学大学院理学研究科, ⁸ 東京理科大学理学部, ⁹ 香川大学工学部, ¹⁰ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, ¹¹ 株式会社アトックス

¹Faculty of Science, Ibaraki University, ²Faculty of Engineering, Ibaraki University, ³Meteorology Research Institute, ⁴Akita Prefectural University, ⁵Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, ⁶Faculty of Science and Engineering, Waseda University, ⁷Graduate school of Science, Osaka University, ⁸Faculty of Science, Tokyo University of Science, ⁹Faculty of Engineering, Kagawa University, ¹⁰Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, Tsukuba University, ¹¹ATOX Co., Ltd.

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、大量の放射性物質が環境中へ放出され土壌・植生に沈着した。今後の推移を理解するために、地表に沈着した放射性核種が今後どのように移行するかモデル等によって定量的に表すことが重要である。放射性セシウムの移行において、大気再飛散は無視できない役割を果たしている。しかし、そもそも再飛散する放射性セシウムの担体となるエアロゾルなどメカニズムの理解が不十分なため、定量化は進んでいない。

そこで、放射性セシウム濃度と各種エアロゾル濃度の変動を比較し相関を見るとともに、PMF法によって放射能濃度への寄与が大きい因子は何か調べ起源を推定した。PMF法は発生源となる因子数と観測データを与えることでその観測値の変動を説明するような因子のプロファイルと因子寄与を推定する多変量解析であり、指定するのは因子の数のみであるので想定していなかった起源の発見も期待できる。

福島第一原発から約30kmの地点にある浪江高校津島分校において7台のハイボリュームエアサンプラーで24時間ごとの大気サンプリングを行い、それによって1日分解能の大気放射能濃度を得る。同時に、大気サンプリングと同地点の観測小屋で黒色炭素エアロゾルおよび硫酸エアロゾルの濃度をそれぞれブラックカーボンモニタおよびサルフェートモニタによって連続的に測定しており、電子式低圧インパクタ(ELPI)によって粒子を荷電し、各ステージの電流を測定することでエアロゾルの粒径別の個数および質量を測定している。

また、ハイボリュームエアサンプラーおよびカスケードインパクタで捕集したフィルタ上のエアロゾルについてイオンクロマトグラフによる化学分析を行った。

今回は2013年3月と8月の春と夏のサンプルについての解析を行った結果を発表する。

謝辞: 本研究は文部科学省科研費研究24110003「放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解」の助成を受けたものです。サンプル採取から分析に至るまで協力して下さっている多くの方々に深く感謝申し上げます。

キーワード: 福島第一原発事故, 環境放射能

Keywords: Fukushima daiichi nuclear plant accident, environmental radioactivity

MeSO-netの観測データから地表の揺れを推定する試み The trial which presupposes the surface ground motion using an underground seismograph; MeSO-net

酒井 慎一^{1*}; 中川 茂樹¹; 平田 直¹
SAKAI, Shin'ichi^{1*}; NAKAGAWA, Shigeki¹; HIRATA, Naoshi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

東京大学地震研究所では、文部科学省委託研究事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（平成19年～23年）」を受託し、首都圏に296ヶ所の地震計を設置した。この地震観測網（MeSO-net）は、地表の雑振動を避ける目的で、地下20メートルに地震計を設置している。そのため、この観測から得られるゆれは、地表のゆれとは異なっている。そこで、地下の地震計で観測された記録を用いて、地表におけるゆれを推定することを試みた。

まず、MeSO-netが設置されている地点で、その直上で臨時観測を行って有感地震を観測し、それらの差を計測震度相当値で比較してみた。その結果、弥生観測点では、地表の方が1.0程度大きくなった。別の観測点で同様のことを行うと、その差は0.5～1.5程度でばらつきがあり、それぞれの地盤構造を反映しているものと考えられ、地震の規模、周期、震源位置による違いも考慮する必要がある。さらに、すべての観測点における臨時観測で、有感地震を観測することは大変である。そこで、短期間の臨時観測で雑微動記録を得て、その比較から揺れの差を推定することを試みたので紹介する。その際に、文部科学省委託研究事業「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト（平成24年～28年）」でMeSO-net近傍に設置した地表面観測記録も利用した。

キーワード: 地動, 首都圏地震観測網

Keywords: ground motion, MeSO-net

最大振幅を使った関東地方の減衰構造 Attenuation Structure beneath Kanto Region using Maximum Amplitude

関根 秀太郎^{1*}; 武田 哲也²; 笠原 敬司¹
SEKINE, Shutaro^{1*}; TAKEDA, Tetsuya²; KASAHARA, Keiji¹

¹(公財) 地震予知総合研究振興会, ²(独) 防災科学技術研究所
¹Association for the Development of Earthquake Prediction, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

はじめに

地球内部の構造を見る上で、速度構造だけでなく減衰構造の推定をする事は、物質の弾性的な面だけでなく、非弾性の効果を考える事ができる点で重要であると考えられる。特に関東地方においては、複雑なプレート構造や地震発生地域などがあるため、これらの地域的特徴を見る事は有意義である。また、減衰構造は振幅分布にも影響を与える為、震度推定等にも役立てると考えられる。減衰構造を求める上ではいろんな手法があるが、本研究では、最大振幅を用いた減衰構造を求めるものとする。以前にも同様の手法で推定したが、計算機の制約等により、少ない波線数でしか計算出来なかった。また、関東地域のみに対してグリッドおよび震源や観測点を設定し、計算を行っていた為、領域の端の部分の解像度が悪かった。そこで今回は、解析全体の領域を大きく取る事により、ターゲットとなる関東地域にかかる波線本数を増やして解像度が上がるような解析を行った。

データおよび解析手法

2004年1月から2009年2月までの全国で発生した11,766個の地震に対して、防災科研Hi-netで読まれたデータのうち、P波またはS波の各2秒以内の最大振幅をそれぞれデータとした。この処理により、波線数は、P波552,935本、S波393,052本である。

グリッドは、関東地域は、水平方向に0.1度深さ方向に5kmのグリッドを取って計算を行った。なお、その他の地域のグリッドは、深さ方向は同じように切っているが、水平方向0.5度刻みである。

解析結果

以前に行った解析に比べて、チェッカーボードテスト等の結果を見ても非常に良くなった。フィリピン解プレートなどの大規模構造だけでなく、よい細かな部分まで求められていると思われる。これは、以前に比べて期間が伸びた為にデータの本数が増えただけでなく、周囲からの波線の通り具合が良くなった事による影響が大きいと思われる。

キーワード: Q, 減衰構造, 関東地方

Keywords: Q, Attenuation Structure, Kanto Region

A highly attenuative zone beneath the Tokyo Metropolitan area. A highly attenuative zone beneath the Tokyo Metropolitan area.

PANAYOTOPOULOS, Yannis^{1*}; HIRATA, Naoshi¹; SAKAI, Shin'ichi¹; NAKAGAWA, Shigeki¹; KASAHARA, Keiji²
PANAYOTOPOULOS, Yannis^{1*}; HIRATA, Naoshi¹; SAKAI, Shin'ichi¹; NAKAGAWA, Shigeki¹; KASAHARA, Keiji²

¹Univ. Tokyo, ERI, ²Assoc. Develop. Earthquake Prediction

¹Univ. Tokyo, ERI, ²Assoc. Develop. Earthquake Prediction

The material properties of the complex subduction zone beneath the Tokyo Metropolitan area can be estimated by the seismic attenuation Q of seismic waves observed at local seismic stations. Previous studies have provided us only with the large scale attenuation structure for all Japan (Jin & Aki, 2005; Nakamura et al., 2006; Edwards & Rietbrock, 2009) or only for the shallow part inside the Kanto basin (Kinoshita, 1994; Yoshimoto & Okada, 2009). In this study we aim to derive a detailed picture of the attenuation structure in the crust and upper mantle beneath the Kanto basin. The waveform data used in this study are recorded at the dense seismic array of the Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net). The station network is distributed on five lines with an average spacing of 3 km and in an area with a spacing of 5 km in the central part of Kanto plane. The 296 MeSO-net stations are equipped with a three-component accelerometer at a bottom of a 20-m-deep borehole, signals from which are digitized at a sampling rate of 200 Hz with a dynamic range of 135 dB. The attenuation of seismic waves along their path is represented by the t^* attenuation operator that can be obtained by fitting the observed seismic wave amplitude spectrum to a theoretical spectrum using an omega square source model. In order to accurately fit the spectral decay of the signal, only earthquakes that are recorded with intensity greater than 1 in the Japan Meteorological Agency (JMA) intensity scale are selected. The waveforms of 154 earthquakes were selected from the JMA unified earthquake list from January 1st 2010 to May 31st 2011. A grid search method is applied to determine the t^* values by matching the observed and theoretical spectra. The t^* data were then inverted to estimate a 3D Q_p structure under the Tokyo Metropolitan area, using a layered initial Q model. Grid points were set at 15 km spacing in the horizontal direction and with 10 km spacing at depth. We implemented the 3D velocity model estimated by Nakagawa et al., 2012 and in addition we set the initial Q values at 116 for the 0 km grids and to 400 for all the grids below them. The obtained model suggests average Q values of 50~100 inside the Kanto basin. Furthermore, a low Q zone is observed in the area where the Philippine Sea plate meets the upper part of the Pacific sea plate. This area is located at approximately 40 km depth, beneath the north-east Tokyo and west Chiba prefecture areas and is represented by Q values of 100~200. Earthquakes occurring on the Pacific plate pass through this low Q area inside the Philippine sea plate and are attenuated significantly. Combined with the detailed velocity structure beneath the Kanto basin, our results help us to understand the material properties of the subducting plates. The implementation of our findings in strong motion simulation studies could help towards a better understanding of the damage area of future earthquakes and mitigate the disaster of the affected areas.

キーワード: attenuation, tomography, MeSO-net

Keywords: attenuation, tomography, MeSO-net

2011年東北沖地震後の首都圏周辺断層にかかる応力への粘弾性的影響 Viscoelastic effects on stress on the active faults around the Tokyo metropolitan area after the 2011 Tohoku earthquake

橋間 昭徳^{1*}; Freed Andrew²; Becker Thorsten³; 佐藤 比呂志¹; Okaya David³; 水藤 尚⁴; 畑中 雄樹⁴; 松原 誠⁵; 武田 哲也⁵; 石山 達也¹; 岩崎 貴哉¹

HASHIMA, Akinori^{1*}; FREED, Andrew²; BECKER, Thorsten³; SATO, Hiroshi¹; OKAYA, David³; SUITO, Hisashi⁴; HATANAKA, Yuki⁴; MATSUBARA, Makoto⁵; TAKEDA, Tetsuya⁵; ISHIYAMA, Tatsuya¹; IWASAKI, Takaya¹

¹ 東京大学地震研究所, ² パーデュー大学, ³ 南カリフォルニア大学, ⁴ 国土地理院, ⁵ 防災科学技術研究所

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Purdue University, ³University of Southern California, ⁴Geospatial Information Authority of Japan, ⁵National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

日本列島域は東から太平洋プレート、南からフィリピン海プレートの沈み込みが起きていて、地下で相互作用を起こしている。2011年に起きたM9東北沖地震は震源域が南北約500 km、東西約200 kmにおよび、この地域のリソスフェア/アセノスフェア系に対し、広域にわたる変形をおよぼした。また、周辺での地震発生頻度も東北沖地震前に比べて大きく増加した。このように、日本列島域の地殻変動・地震活動に対して、東北沖地震の影響は非常に大きいので、この地震が周囲に引き起こす応力の時間変化を定量的に評価する必要がある。一方、地震後の地殻変動を起こすメカニズムとしては、震源域周辺での余効すべり、アセノスフェアの粘弾性的応力緩和などが考えられている。そこで本研究では、日本列島域の三次元的な地下構造がどのように2011年東北沖地震のすべりに影響するのか、そして、東北沖地震のすべりによって周囲にどのように応力が伝播するのかを調べた。

我々は、日本列島域の三次元的な地殻構造を取り入れた有限要素モデルを構築し、東北沖地震の震源域のすべりに対する変位応答関数を生成し、インバージョンによって地震時のすべり分布を求めた。観測データとしては、国土地理院による陸域のGPS観測データと海上保安庁による海域のGPS音響測距によるデータを用いた。モデル領域として4500 km × 4900 km × 600 kmの領域をとる。これは千島列島-マリアナ列島-琉球列島までを含む領域に対応する。プレート境界形状としては、地震活動などから求めた既存の研究を補間したものを用いた。地殻構造については、地殻の厚さを大陸側で一律に30 km、海洋側で6 kmという単純な構造であると仮定した。それより下のマントルでは、PREMモデルにしたがう弾性定数を与えた。またスラブではP波速度、S波速度が周囲よりそれぞれ5%大きいと仮定した弾性定数を与えた。モデル領域は5-100 kmの大きさの50万個の四面体メッシュによって分割した。地震時の変形に関しては、重力の影響は非常に小さかったので、この影響は無視した。インバージョンによって得られた東北沖地震のすべり分布をもとに、アセノスフェアの粘弾性緩和の効果を与えて、地震後の首都圏周辺の断層に与えるクーロン破壊応力変化を計算した。日本列島域の応力の時間変化を考える上で、現実的な地殻構造にもとづいて正確に地震時すべりを求めることは重要である。

キーワード: 2011年東北沖地震, クーロン破壊応力変化, 地殻構造, 活断層, 有限要素法, 粘弾性

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, Coulomb failure stress change, Crustal structure, Active fault, Finite element modeling, Viscoelasticity

反射法地震探査・重力異常からみた首都圏の伏在断層の分布と構造 Distribution and structures of blind thrust faults beneath the Tokyo metropolitan area

石山 達也^{1*}; 佐藤 比呂志¹; 加藤 直子¹; 阿部 進²; 渡辺 英久³; 志賀 信彦³
ISHIYAMA, Tatsuya^{1*}; SATO, Hiroshi¹; KATO, Naoko¹; ABE, Susumu²; WATANABE, Hidehisa³; SHIGA, Nobuhiko³

¹ 東京大学地震研究所, ² 地球科学総合研究所研究開発部, ³ 三井金属資源開発株式会社

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²R&D Department, JGI, Inc, ³Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.

近年増加しつつある深部構造探査データによって、首都圏にはいくつかの伏在断層が分布することが分かってきた。これらの中には、地形的な表現は微弱であり、これまで存在そのものが知られていなかったか、活断層として扱われてこなかったものもある。これらの構造は、活動的なものであっても長期的なすべり速度は非常に小さいと考えられるが、ひとたび活動すれば甚大な被害を首都圏にもたらす可能性がある。このようないわゆる活動度C級以下の低活動度の断層については、活動性に関するデータを得ること自体が容易ではないため、過去の活動履歴などに基づく地震発生予測を行うことが困難である。したがって、従来の地形地質学的な手法からは第四紀後期の活動性に関する証拠に乏しい構造についても、可能な限りその分布や過去の活動に関する情報をまとめることは、首都圏の直下型地震に関するテールリスクを考える上で有用であろう。Ishiyama et al. (2013) では、反射断面と周辺地域の新生代層序の対比の結果に基づき、大宮台地や武蔵野台地縁辺部に分布する伏在断層の深部形状について検討を行った。本研究では、深部構造探査データに加えて、重力異常等のデータに基づき、より詳細な関東平野南部に分布する伏在断層の深部形状について検討を行った。大大特・北関東測線の深部構造探査の結果(佐藤ほか, 2010)によると、北関東測線が延びる青梅から春日部にかけての区間では、地下に半地溝構造(ハーフ・グラベン)がいくつか認められる。これらは、既往の反射断面で見出された、前期-中期中新世の半地溝構造と同時期に形成されたと考えられる。このうち、綾瀬川断層については、東傾斜と西傾斜の正断層2条が大宮台地の地下に存在し、このうち西傾斜の正断層が最近の地質時代に逆断層として再活動したものとみられる。また、野田隆起帯(貝塚, 1987)と大宮台地の西側にあたる武蔵野台地北東縁部の地下にも半地溝構造が認められ(Ishiyama et al., 2013)、いずれも鮮新世から更新世にかけて反転した可能性がある。これに対応して、深層ボーリング等に基づく武蔵野台地?東京低地の断面から地下に上総層群上部の撓曲構造が伏在するとされる(遠藤・中村, 2000)。一方、より最近の変動については、武蔵野台地の段丘地形が北東向きの傾動を受けているとする考え(貝塚, 1957)がある。貝塚(1957)は武蔵野台地の傾動をその北東縁部全体に認めているが、ブーゲー重力異常の一次微分を見る限り、ハーフグラベン(ハーフ・グラベン)は武蔵野台地北東縁部全体には連続せず、長さ20kmほどに限られる。したがって、武蔵野台地北東縁部の傾動がこのような正断層の反転によって形成されているとしても、複数の雁行する伏在断層の活動による可能性が高い。これらの結果は、関東平野南部においては中新世に形成されたハーフグラベンの再活動が広汎に認められることを示しており、地球物理学的手法により平野下に伏在するハーフグラベンの分布や構造を把握することが、伏在断層の検出する上で一つの鍵となると考えられる。ただし、ハーフグラベンが全て再活動しているわけではなく、再活動の証拠やその地質時代の検討をあわせて行う必要がある。このほか、活動的な証拠には乏しいものの、地下構造データによってその存在が推定される首都圏の伏在断層の構造的な特徴についても紹介する。

1703年元禄関東地震における東京湾内の津波被害 Tsunami damage in Tokyo Bay from the 1703 Genroku Kanto Earthquake

村岸 純^{1*}; 佐竹 健治¹
MURAGISHI, Jun^{1*}; SATAKE, Kenji¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

元禄関東地震は、元禄十六年十一月二十三日(1703年12月31日)に相模トラフ沿いで発生した巨大地震である[宇佐美ほか(2013, 日本被害地震総覧)]. 外房地域における元禄地震の津波に関しては、羽鳥(1975, 1976, 地震研彙報)や古山(1982, 1983, 1987, 私家版)など、津波犠牲者の供養碑や寺院の過去帳などを調査した研究があるほか、都司(2003, 歴史地震)は集落別の流失家屋数を明らかにしている。

東京湾内の津波に関して羽鳥(2006, 歴史地震)は、東京湾内の津波の高さは船橋で2mと報告している。この値は、東京湾内における津波の最大高さとして、被害想定などでも利用されているが、その具体的根拠や研究に使用した史料名が明らかにされていない。一方、『1703元禄地震報告書』(内閣府, 2013)は、東京湾内の千葉県側海岸では津波の被害が全くなかった、と結論づけており、東京湾内における津波被害について再検討する必要がある。そこで既刊の地震史料集にある史料以外に津波の被害を記した史料がないか調査を行い、以下のような結果が得られた。

江戸市中へ元禄十七年(1704)四月に出された町触(三八四四)の史料中に「同夜八時過つなみ有之、内川一はいさし引四度有之」(『江戸町触集成 第二巻』)とある。内川(隅田川)がいっぱいになるほど波が来ており、4度ほど波の満ち引きがあったという。

『鸚鵡籠中記』(『新収日本地震史料 第二巻別巻』)には「永代橋津浪打潮七度進退す。翌廿三日諸海潮十二度満。」とあり波の満ち引きがあったことがわかる。『災変温古録』(『新収日本地震史料 第二巻別巻』)には、深川で津波から逃れようと茶船へ移動したところ、波が乗り上げ川へ転落してしまったことが書かれている。

千葉県側の記録では船橋市域での津波被害の記録がある。元禄地震の41年後に書かれた「佃島獵師入漁一件並びに御菜魚献納復活に付願書」(『船橋市史 史料編十』)には、「四十一年以前未年大地震二而舟あミ 諸道具等被押流、其上瀬ふた通り之藻草生不申寄魚無数御上肴不足仕旁以困窮仕候」とあり、漁船や網などの道具が津波で流され藻草が生えなくなり、魚が来なくなってしまい献上する魚が不足してしまっている。

「塩浜由来書」(『市川市史 第六巻上』)には「一元禄十六未年十一月廿三日夜大地震平岡三郎右衛門様御支配之節二而地形ゆり下ヶ塩浜海面塩除堤保チ不申荒浜致出来候」とある。元禄地震により土地が下がり、潮除けの堤防が壊れ塩浜が荒れてしまったことが書かれている。同史料には津波の記載はないが、元禄地震よりも前の延宝八年閏八月六日(1680年9月28日)に起きた、高潮の被害が書かれている。欠真間村内の地域では55人が流死したり、家財道具なども流失したりしたとある。延宝の高潮の被害は詳細に書かれているが、元禄津波の被害は記されていないことから津波の高さは23年前の高潮よりは低かったと推測される。

史料の調査から、東京湾奥地域にも津波が来ており被害があったことが明らかになった。今後、史料調査を進め東京湾内での津波被害の復元を行っていく。

謝辞

本研究は文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施された。

キーワード: 1703年元禄関東地震, 歴史地震, 津波

Keywords: the 1703 Genroku Earthquake, Historical earthquakes, Tsunami

首都圏地震観測網の新たな展開 A new direction of the MeSO-net

平田直^{1*}; 酒井慎一¹; 中川茂樹¹; 笠原敬司²; 木村尚紀³; 本多亮⁴

HIRATA, Naoshi^{1*}; SAKAI, Shin'ichi¹; NAKAGAWA, Shigeki¹; KASAHARA, Keiji²; KIMURA, Hisanori³; HONDA, Ryou⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 地震予知総合研究振興会, ³ 防災科学研究所, ⁴ 神奈川県温泉地学研究所

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²ADEP, ³NIED, ⁴Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

我々は首都圏に 296 箇所の中感度地震観測点からなる首都圏地震観測網 (Metropolitan Seismic Observation network: MeSO-net) を文部科学省受託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト: サブプロジェクト①首都圏周辺でのプレート構造調査, 震源断層モデル等の構築等 (2007-2011 年度)」によって整備し, 同「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト: サブプロジェクト①首都直下地震の地震ハザードリスク予測のための調査・研究」(2012 - 2016 年度) によって維持・管理している。この観測網の特徴は, 多点の広帯域加速度計からの信号を連続で収録していることにある。そのために, 自律協調型のデータ転送手順 (ACT) (森田他, 2010) を開発して, 比較的低コストの通信回線に確実に高品質のデータを取得できるようにした。都市部での人工雑音レベルが高いので, 20 m の浅層観測井戸の孔底にセンサーを設置して地表起源の雑音の低減を計ったが, 通常地震観測から比べると信号対雑音比は悪く, 測器そのもののダイナミックレンジは大きくとも, 実質的な記録の質は良くない。しかし, 平均観測点間隔を 5km 程度に稠密にすれば, 大都市部の浅層地震観測によっても, 地震学的に意味のあるデータの取得が可能であることが示された (Nakagawa et. al., 2011; Panayotopoulos et. al., 2013)。

現時点では, 気象庁一元化震源に基づいて記録の編集処理を行い, P 波, S 波の到着時刻の読み取りを検測者が行うことにより, トモグラフィー解析に用いる到着時刻データを作りだしている。しかし, 本来は, MeSO-net のデータだけで地震判定を行って検出処理を行うことが望ましい。MeSO-net の機能に, 自動的に地震を検出する機能と, 地震波相の読み取り機能を付けることができれば, 首都圏の地震活動や速度構造・減衰構造を求めるための大量のデータが得られる。さらに, 20m の孔底での記録から地表や建物の揺れを予測する機能を付加することによって, 準リアルタイムで地震を検知して, 建物の揺れを予測することができる。本講演では, 地震検知と P 波, S 波の検出および震源決定までを自動的に行うシステムの概要と, テスト結果を議論する。

キーワード: 首都圏地震観測網, 加速度計, 連続記録, 自律協調型通信手順, 自動地震検出, 地震波トモグラフィー

Keywords: MeSO-net, accelerometer, continuous recording, Autonomous Cooperative data Transfer, automatic event detection, seismic tomography

「都市機能の維持・回復に関する調査研究」の概要と射程 Overview of 'Maintenance and Recovery of Functionality in Urban Infrastructures'

中島 正愛^{1*}; 小鹿 紀英²; 梶原 浩一³; 野澤 貴¹
NAKASHIMA, Masayoshi^{1*}; KOSHIKA, Norihide²; KAJIWARA, Koichi³; NOZAWA, Takashi¹

¹ 京都大学防災研究所, ² 小堀鐸二研究所, ³ (独) 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
¹ Disaster Prevention Research Institute Kyoto University, ² Kobori Research Complex, ³ Hyogo EERC, NIED

「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」は3つのサブプロジェクトから構成されている。サブプロジェクト②「都市機能の維持回復に関する調査研究」は、平成17年4月から本格稼働した実大三次元震動破壊実験施設（Eーディフェンス）を効果的に活用し、「高層ビル等の都市の基盤をなす施設が完全に崩壊するまでの余裕度の定量化」と「都市の基盤施設の地震直後の健全度を即時に評価し損傷を同定する仕組みの構築」を達成することを目標としている。

国内観測史上最大規模の東北地方太平洋沖地震によって未曾有の大被害がもたらされ、震度5強以下であった首都圏においても、長時間にわたる長周期の揺れや湾岸域における液状化の発生、高層ビル等での什器類の転倒とエレベータ停止、ライフラインの長期間停止等によって、事業や生活の継続に支障を来し、現在の大都市が大災害に対していかに脆弱であるかが浮き彫りになった。首都直下地震や近い将来に発生が確実視される東海・東南海・南海地震などにおいて、大都市圏は今回以上の強震動に見舞われることに疑う余地はない。大震災からの教訓であるところの「想定を上回る地震動に対する対処」と「事業や生活の継続と速やかな回復」は極めて切実である。この二つの教訓に対する工学的見地からの処方箋として、「高層ビル等都市の基盤をなす施設が完全に崩壊するまでの余裕度の定量化」と「都市の基盤施設の地震直後の健全度を即時に評価し損傷を同定する仕組みの構築」を、本サブプロジェクトの射程とした。

本サブプロジェクトの研究実施体制は、先駆的研究の適切な進捗と成果の速やかな実装の必要性に鑑みて、産学官が密接に連携する組織とし、以下の三つの個別研究テーマを軸として詳細な検討を実施している。

- (1) 高層建物の崩壊余裕度定量化に関する研究開発
- (2) 建物の健全度モニタリングに関する研究開発
- (3) 地盤ー基礎ー建物系の応答評価とモニタリングに関する研究開発

2013年12月には、世界最大規模となる鉄骨造18層建物の1/3縮小試験体を対象に、試験体が崩壊に至るまでの挙動を検証する振動台実験を実施した。本論においては、本サブプロジェクトを紹介するとともに、実験結果の速報を報告する。



鉄骨造試験体
の最終崩壊形

MAG39-09

会場:502

時間:5月1日 11:30-11:45

都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査研究 Urban Resilience

林 春男^{1*}
 HAYASHI, Haruo^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

With a high probability in the first half of 21st century, Nankai Trough earthquakes will cause a tremendous amount of damage and losses which might exceeds Japanese national annual budget. In addition, we might take into account the possible occurrence of Tokyo Metropolitan earthquake which may cause a serious threat to our national security. It is virtually impossible to complete all the works needed to prevent those possible damage and losses due to these mega earthquakes before they will happen. It means that we need to develop a science and technology to minimize the resulting damage and losses due to these mega scale earthquake disasters and to realize high disaster resilience for quick and steady recovery based on the lessons taken from past earthquake disasters including 3.11 Tohoku Earthquake and Tsunami Disaster in 2011.

Recent progress in information and communication technology such as internet and mobile device with GPS should be adapted for effective disaster response and recovery. In this project, we will develop two ICT based system for creating common operational pictures among stakeholders. First system will be web-GIS system to provide an informational platform in which various kinds of information provided from seismology to social psychology will be mashed up for creating a new value. Second system will be Micro Media Service which will provide the information selected for each uses to meet their needs.

It is our ultimate goal to improve disaster preparedness of each individual who might be function as disaster response personnel or disaster victims. We will develop a Web portal site named as Disaster Literacy Hub to provide educational materials prepared for all disciplines related for earthquake disaster reduction based on the theory of instructional design.

All the academic achievements will be presented through the website shown below:



首都圏における過去の大地震—将来の発生確率や被害の予測へ向けての課題— Past large earthquakes beneath metropolitan Tokyo: Issues for estimation of occurrence probability and disaster

佐竹 健治^{1*}; 石辺 岳男¹; 村岸 純¹
SATAKE, Kenji^{1*}; ISHIBE, Takeo¹; MURAGISHI, Jun¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

首都圏で過去に発生し、将来も発生する地震のタイプとしては、相模トラフ沿いのプレート間地震 (M8 クラス) と南関東直下の地震 (M7 クラス) が挙げられる。1923 (大正十二年) 年 9 月 1 日の大正関東地震 (M 7.9), 1703 年 12 月 31 日 (元禄十六年十一月二十三日) 関東地震 (M 8.2 程度) は前者の例であり、1855 年 11 月 11 日 (安政二年十月二日) 安政江戸地震 (M7.0 程度) が後者の例である。

相模トラフ沿いのプレート間地震については、最近、内閣府や地震調査委員会によって震源域が見直され、最大規模は M 8.6 程度に達し、1703 年元禄関東地震がほぼこれに匹敵するとされた。元禄関東地震の前の関東地震についてはよく知られていなかったが、津波堆積物調査などから 1293 年 5 月 20 日 (ユリウス暦) 正応六・永仁元年四月十三日の地震が関東地震であったとされている (Shimazaki *et al.*, 2011, JGR)。さらに、これまで明応七年 (1498 年) の南海トラフの地震の誤記とされてきた 1495 年 9 月 3 日 (明応四年八月十五日) の地震が相模トラフの地震であった可能性も指摘されている (金子, 2012, 伊東市研究)。歴史資料や津波堆積物の研究によって関東地震の履歴が明らかになりつつあるが、それぞれの地震の震源域や国府津—松田断層の地震との連動性など、繰り返すプレート間地震の多様性を調べる必要がある。

首都圏直下の地震として、以前はフィリピン海プレートの上面における「東京湾北部地震」が想定されていたが、2013 年の内閣府の想定では、フィリピン海プレート内部に震源を持ち、安政江戸地震と同じような震度分布をもたらすものが想定地震として使われた。安政江戸地震の震源については歴史資料に基づく被害・震度分布から検討され、地殻内地震から深さ 100 km 程度の太平洋プレート内部の地震まで、様々な可能性が指摘されている。関東地域における震度分布は地下構造・地盤構造の影響を強く受けるため、安政江戸地震の正確な地震像の解明には、最近の地震との比較や最新の 3 次元地下構造モデルによるシミュレーションなどが必要であろう。

南関東の M7 クラス地震について地震調査委員会 (2004) は、1885 年以降に発生した 5 個の M7 クラスの地震 (1894 年 6 月 20 日明治東京地震, 1895 年 1 月 18 日茨城県南部の地震, 1921 年 12 月 8 日茨城県南部の地震, 1922 年 4 月 26 日浦賀水道付近の地震, ならびに 1987 年千葉県東方沖の地震) に基づき、今後 30 年間における M7 クラスの地震の発生確率をポアソン過程に基づいて 70 %程度と推定した。これら 5 地震のうち、少なくとも 3 個 (1921 年, 1922 年, 1987 年の地震) はフィリピン海プレート内で発生した地震, 1895 年の地震は太平洋プレート内で発生した地震であることが明らかとなった (石辺・他, 2012, 予知連会報)。長期評価の高度化のためには、さらに長期間の地震について、歴史資料などに基づく調査を実施して、これらの震源・深さ・タイプを解明する必要がある。

キーワード: 首都圏, 歴史地震, 関東地震, 長期予測

Keywords: Tokyo Metropolis, historical earthquake, Kanto earthquake, long-term forecast

安政2年10月2日 (1855-XI-11)江戸地震の余震の発生経過について Activity change of aftershocks of the Ansei Edo earthquake of November 11th, 1855

都司 嘉宣^{1*}; 松岡 祐也²
 TSUJI, Yoshinobu^{1*}; MATSUOKA, Yuya²

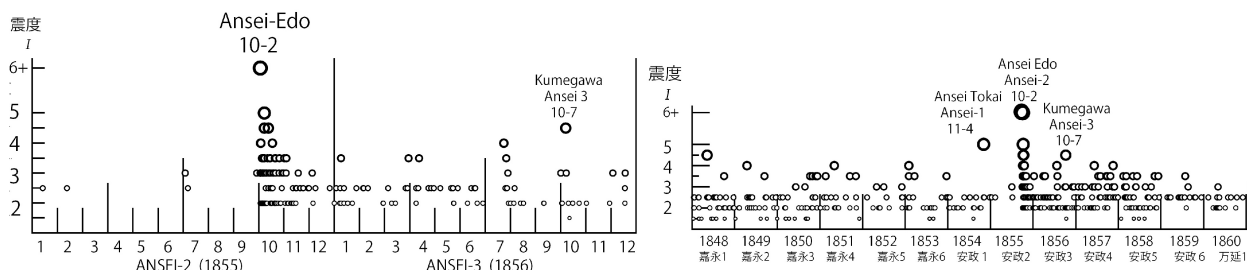
¹ 深田地質研究所, ² 仙台市博物館市史編纂室
¹Fukada Geolog. Inst., ²Editorial Room of Chronicle, Sendai City Museum

安政江戸地震は安政2年10月2日(1855年11月11日)の深夜23時頃、江戸近傍の直下で起きた地震であるが、その発生場所やメカニズムなどの地震像については、いまだ詳細は解明されていない。その地震像の解明に資するべく、この地震の余震の発生経過を調べてみた。この当時の江戸の平常時の有感地震発生の日常的状態(バックグラウンド)が安政江戸地震の発生によってどのように変化したのかを見るために、安政江戸地震の7年前の嘉永元年(1848)から、本震発生後6年余りを経過した万延元年(1860)の年末までの13年間の、江戸を始めとする関東地方全体での有感地震のデータベースを作成した。当時江戸では、公的なものでは九段坂上の渋川家江戸天文台での記録「霊憲候簿」や、「寒暖晴雨升降記」に有感地震が記録されていた。また、神田雉子町(現在司町)の「斎藤月岑(げっしん)日記」、両国緑町で書かれた「津軽藩日記」など、この時期に江戸で有感地震が長期間にわたって記録された日記類が常時10種類以上存在した。また、徳川家康の墓所である日光では「社家御番所日記」、が公的な記録として記されていたほか、「大屋家日記」(市川市原木)、「吉野家日記」(流山市)、「星野半右衛門日記」(志木市)、「鈴木平九郎公私日記」(立川市)、「牧野家日記」(笠間市)、「新田家俊純日記」(太田市)、「大高家日記」(水戸市)など関東平野の各地点で日記史料が存在し、『日本地震史料』(武者, 1951)、『新収・日本地震史料(第5巻、補遺、続補遺)』(地震研, 1985, 1988, 1992)に掲載されている。これらの日記史料に基づいて、上記13年間に関東地方で有感地震のデータベースの電子的カード枚数は3,192件となった。この間に江戸で記録された有感地震の総数は543回であった。地震記録から江戸での震度の推定を行ったが、現行の気象庁震度に準拠して、家屋の広範囲の倒壊を震度6強、破損を震度5、小規模な破損を震度4ないし5(数値として4.5)とした。無被害の有感地震については、棚の物の落下、天水あふれ出し、「近年覚えぬ」と記されたもの、人々家屋から逃げ出す場合を4、「大地震」、「甚」などを3.5、「中地震」を3、単に「地震」と記された事例を2.5、「小地震」、「地震少々」などは2、「微震」、あるいは江戸全体で2人以下が「小地震」である場合を1.5とした。

地震の発生した安政2年の年初から翌安政3年末までの江戸での震度別有感地震数を左図、安政江戸地震(1855)を含む前後13年の地震数を右図に示す。安政江戸地震の狭義の余震は本震発生の9ヶ月後の安政3年6月頃まで継続し、それ以後は安政3年10月7日(1856年11月4日)の所沢地震など、関東地方各地で安政江戸地震の誘発地震(広義の余震)の時期が始まる。安政江戸地震の3年後の安政5年の末ごろにはこの時期も終了して、バックグラウンドノイズの時期に帰して行ったものと考えられる。

キーワード: 歴史地震, 首都直下の地震, 余震, 安政江戸地震

Keywords: historical earthquake, earthquake in metropolitan zone, aftershocks, the 1855 Ansei Edo Earthquake



近年の地震に対するS-P時間・初動の整理とそれらに基づく1921年茨城県南部・1922年浦賀水道付近の地震の地震像 Compiling S-P times and first motion polarities for recent eqks and classification of the 1921 and 1922 eqks

石辺 岳男^{1*}; 佐竹 健治¹; 村岸 純¹; 鶴岡 弘¹; 中川 茂樹¹; 酒井 慎一¹; 平田 直¹
ISHIBE, Takeo^{1*}; SATAKE, Kenji¹; MURAGISHI, Jun¹; TSURUOKA, Hiroshi¹; NAKAGAWA, Shigeki¹; SAKAI, Shin'ichi¹; HIRATA, Naoshi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

明治・大正期に関東ならびにその周辺域において気象官署(気象大学を含む)によって設置、観測が行われていた21観測点(水戸・柿岡・筑波山・宇都宮・足尾・前橋・熊谷・秩父・柏・銚子・勝浦・富崎・館山・東京・八丈島・横浜・横須賀・沼津・松本・甲府・浜松),ならびに東京帝国大学による5観測点(本郷・一ツ橋・筑波・鎌倉・三崎(油壺))と対比される69観測点を対象として,気象庁検測値(1923年~2011年)中のS-P時間ならびに初動の分布を整理した.また,同様に19の首都圏地震観測網(MeSO-net)あるいは既存観測点で検測された3,086地震(2008年4月1日~2012年6月5日)に対するS-P時間・初動を整理した.

本研究で整理したS-P時間・初動は,計器観測時代初期に発生した顕著地震に対するそれらとの比較から,震源・発震機構解の推定あるいは類型化に活用が期待される.本研究ではその一例として,茨城県南西部,千葉県北西部ならびに浦賀水道付近の地震に対する各観測点でのS-P時間と初動の特徴を整理し,1921年茨城県南西部の地震(M7.0)ならびに1922年浦賀水道付近の地震(M6.8)に対するS-P時間・初動と対比した.茨城県南西部にはフィリピン海プレート(PHS)と太平洋プレート(PAC)の沈み込みに伴うプレート間地震が活発なクラスターが存在するが,1921年茨城県南部の地震に対する初動はこれらの地震に対する発震機構解と不調和である.また,1922年浦賀水道付近の地震に対する初動ならびにS-P時間と,近年の地震に対するそれらとの比較から,1922年の地震は千葉県南西部から浦賀水道に至る一帯で発生した,横ずれ型の発震機構解を持つPHS内部地震であった可能性が示唆された.

日本における近代計器観測は1870年代半ばに始まり,煤書きの波形記録や検測値,被害記録等が収集・保管されている.その後の焼失等のため不完全ではあるものの,これらは計器観測時代初期に発生した地震に関する貴重な資料として地震像の解明に活用されてきた.計器観測時代初期に発生した地震の震源・発震機構解の推定あるいは類型化は,気象庁による震源カタログ(1923年1月14日~)以前の地震活動を議論するうえで重要な課題であり,特に関東地方はこの時期,1923年大正関東地震(M7.9)発生前の数十年間にあたる.しかしながら,近年の地震に対する震源・発震機構解の推定手法をそのまま計器観測時代初期に発生した地震に適用するにはいくつかの困難が伴う.稠密観測網が構築された近年に発生した地震に対するS-P時間や初動と比較することで,計器観測時代初期に発生した地震の震源・発震機構解を従来よりも高精度で推定できる可能性がある.

謝辞

本研究では気象庁総合検測値ならびに首都圏地震観測網(MeSO-net)検測値を使用させて頂いた.また防災科学技術研究所によるF-netモーメントテンソル解,ならびに気象庁によるメカニズム解を使用させて頂いた.射出角・方位角の計算にはHASHv2(Hardebeck and Shearer, 2002)を使用させて頂いた.ここに記して感謝する.なお本研究は文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施された.

キーワード: S-P時間, 初動, 1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震

Keywords: S-P time, first motion polarity, 1921 Ibaraki-Ken-Nambu earthquake, 1922 Uruga-Channel earthquake

神奈川県における関東大震災の慰霊碑・記念碑・遺構調査 (1) 県中部 Field Survey for the Memorial Matters from the 1923 Great Kanto Earthquake in Central Kanagawa Prefecture

武村 雅之^{1*}
TAKEMURA, Masayuki^{1*}

¹ 名古屋大学減災連携研究センター
¹ Disaster Mitigation Research Center, Nagoya-Univ.

関東大震災の研究は震災直後に被害調査を含む多くの研究がなされたあと、1990年代から2000年にかけて武村らを中心として、地震計による地震記録の発掘と解析による本震・余震の解明、被害データの整理分析による詳細震度分布の評価などが行われた。また東京両国の被服廠跡の火災による大量死や小田原市根府川・米神における土砂災害など関東大震災を構成する個々の大惨事についても実態解明にあたってきた [武村 (2009)]。一方、市民がより身近なものとして関東大震災を理解し防災意識の向上に役立てるべく、当時の人々が記した日記などに科学的な解説を加えることによって、体験談のもつ臨場感と科学的客観性を融合させ時代を超えて震災を理解できるようにする取り組みも行ってきた [武村 (2005、2008)]。

さらに現代人が震災を日常的に意識するために有効なものとして、様々なところに人知れず建つ慰霊碑や記念碑や震災の爪痕を残す遺構などがあることに目を付けた。関東大震災の慰霊碑や記念碑については力武 (1994-1997)、神奈川県立歴史博物館 (2003)、上西 (2012) や Web サイト「関東大震災の跡と痕を訪ねて」などでも紹介されている。各自治体の教育委員会などによる石造物調査もある。しかしながらこれらの調査結果はそれぞれ限定的であり誤りも多く、震災を生き抜いた当時の人々の意思を知り、現代人に震災を伝えるには不十分であると判断した。このため、従来の調査結果をすべて踏まえさらに調査対象を広げ、正確を期すため全ての対象物の現地調査を行うことにした。

武村 (2012) による『関東大震災を歩く』吉川弘文館では、東京都 23 区内を対象として、震災の慰霊碑、記念碑、多くの犠牲者が出た場所や逆に多くの避難者の命を救った場所の現在の様子、震災で破壊された跡またはその再生を伝えるもの、復興過程で生まれた建物や施設、震災後の帝都復興事業による土地区画整理で郊外へ移転を余儀なくされた多くの寺院、さらには関東大震災以前から江戸・東京をたびたび襲った自然災害についての記念碑や遺構も調査しまとめた。調査地点は 180 カ所、対象物は 260 にのぼった。

今回その調査を神奈川県下 (静岡県伊豆地方も含む) に広げた。神奈川県を西部、中部、東部の 3 地域に分け、初年度として相模川を挟む中部の現地調査を終えた。慰霊碑 38、記念碑 65、その他エピソードを伝えるもの 16、消滅したものの 6、他の災害 1 の合計 126 を対象とした。この調査は今後 2 年間続け毎年結果をまとめる予定である。単純推定で県下の対象物は 400 近くにのぼるとみられる。現状の調査結果はすでに防災講演会や市民向け現地ツアー、文書館や博物館、防災団体へのデータ提供などの形で活用を進めている。

史上最悪の自然災害である関東大震災の慰霊碑・記念碑や被害の実態を今に伝える遺構、ならびに復興の記念物などを通じて、当時の人々の意志を受け止める。そのことを通じて現代社会に生きる人々の震災への理解を深め、防災意識の向上に繋げること。それこそが本調査研究の究極の目的である。本研究調査は JSPS KAKENHI 25350496 の助成を受けたものである。

キーワード: 慰霊碑・記念碑, 関東大震災, 神奈川県
Keywords: memorial tower, Great Kanto Earthquake, Kanagawa Prefecture

メガスラスト直下のスラブ構成岩石：伊豆衝突帯 Composition of the subducted slab beneath Izu collision zone, Japan

石川 正弘^{1*}
ISHIKAWA, Masahiro^{1*}

¹ 横浜国立大学環境情報研究院

¹ Graduate School of Environment Information Sciences, Yokohama National University

フィリピン海プレートは本州の下に沈み込む。しかし、フィリピン海プレートの東縁には伊豆小笠原マリアナ弧が存在するために、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う関東周辺のテクトニクスは複雑になっている。南関東の東部（房総半島や三浦半島周辺）では付加体が発達する一方、南関東の西部（丹沢山地等）では伊豆小笠原弧の地殻物質が大規模に衝突付加している（伊豆衝突帯）。フィリピン海スラブ上面は関東地震震源断層に相当する可能性が高く（Sato et al., 2005）、伊豆衝突帯は大正関東地震の震源域であったと推測されている。したがって、フィリピン海プレートと陸側プレートの接合部周辺の地殻の構成物質と物性を推測することは、首都直下地震を考察する上でも重要である。今回の発表では、岩石の弾性波速度実験と岩石の鉱物組み合わせの相平衡計算の結果に基づき、伊豆衝突帯直下のスラブ構成岩石を検討した。

フィリピン海プレート東縁に分布する伊豆小笠原弧の地殻構成は伊豆衝突帯の地殻構造を理解する上で重要な鍵となる。本研究では最初に弾性波速度測定実験から得られた丹沢山地等に産する深成岩類のP波速度と Suyehiro et al. (1996) の北部伊豆小笠原弧のP波速度構造を比較した。その結果、トータル岩のP波速度は伊豆小笠原弧中部地殻のP波速度と同程度であり、トータル岩が伊豆小笠原弧中部地殻の主要構成岩石であると推測した。また、角閃石はんれい岩とガブローライトのP波速度と伊豆小笠原弧で得られたP波速度を比較すると、下部地殻上層の主要構成岩石として角閃石はんれい岩を、また、下部地殻の主要構成岩石として角閃石輝石はんれい岩やガブローライトが推測された。伊豆小笠原弧の構成岩石モデルと Sato et al. (2005) の伊豆衝突帯の地殻構造を総合的に解釈すると、伊豆小笠原弧の下部地殻（角閃石はんれい岩等の苦鉄質岩石）は熱いスラブ（熱い下部地殻）として沈み込んでいると推測される。丹沢山地のはんれい岩の化学組成を用いて岩石の鉱物組み合わせの相平衡計算を Theriak-Domino を用いて計算した結果、熱いスラブの沈み込みに伴い含水鉱物である角閃石の脱水は30 km 以浅で脱水してしまうと考えられる。スラブの脱水によって脱水脆性化を引き起こすと期待されるが、実際に丹沢山地下では微小地震が沈み込むスラブ内で発生している。一方、丹沢山地北部や関東山地ではスラブ内の微小地震がほとんど発生していないことも、脱水反応によってグラニュライトに相転移した非震性スラブとして解釈できる。

キーワード: 衝突帯, スラブ
Keywords: collision zone, slab

五ヶ所湾における安政東海地震津波 (1854) の津波高 Tsunami Heights of the 1854 Ansei-Tokai Earthquake Tsunami in Gokasho Bay Region, Mie Prefecture

鳴橋 竜太郎^{1*}; 佐竹 健治¹
NARUHASHI, Ryutaro^{1*}; SATAKE, Kenji¹

¹ 東京大学地震研究所
¹ Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo

The Kumano-nada Sea coastal area has been repeatedly attacked by tsunamis from the Nankai Trough subduction-zone earthquake. For historical tsunamis, since this area is close to Kinki region, many historical records exist. For the recent 1944 Showa-Tonankai earthquake tsunami and the 1854 Ansei-Tokai earthquake tsunami, not only historical records and monuments but also many folklores still remain. However, the 1944 Showa Tonankai earthquake tsunami has a comparatively small scale, and is unsuitable for examining the average scale about the tsunami from the Nankai Trough. Based on above-mentioned reason, we studied for the 1854 Ansei-Tokai earthquake tsunami.

Gokasho Bay is a blockade inner bay which has typical ria coasts and drowned valleys. It is located in central Kii Peninsula and faced with the Nankai Trough. In this bay area, measurement points of the tsunami height for the 1854 Ansei-Tokai earthquake tsunami and the data on height were mainly based on historical records and oral traditions. In particular, in Konsa district, it is based on the words of the Bon festival dance currently kept in there called "Shongai kudoki" or "Tsunami kudoki". Tsunami heights were measured by level measurement using laser range finder TruPulse360 and a hand level on the basis of the spot elevation given by 1/2500 topographical maps.

As a result, a total of 40 points of tsunami height were obtained in Gokasho Bay region. The average inundation height of whole bay area was approximately 4 - 5 m.

In Konsa, located in the most closed-off section of the bay, dendritic valley plains which have small-sized rivers spread. According to distribution of both inundation and run-up points by this research, it is supposed that tsunami ran-up to every valleys of those. Tsunami heights in Konsa ranged 4 - 11 m, and were higher than those in other districts. The maximum run-up height was 11.5 m in the valley of Ushirogochi.

キーワード: 五ヶ所湾, 安政東海地震津波, 津波高, 遡上高, 浸水高

Keywords: Gokasho Bay, 1854 Ansei-Tokai Earthquake Tsunami, tsunami height, run-up height, inundation height

JUNEC 初動メカニズム解カタログの公開 Publication of the Japan University Network Earthquake Catalog of First-Motion Focal Mechanisms (JUNEC FM²)

石辺 岳男^{1*}; 鶴岡 弘¹; 佐竹 健治¹; 中谷 正生¹
ISHIBE, Takeo^{1*}; TSURUOKA, Hiroshi¹; SATAKE, Kenji¹; NAKATANI, Masao¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

国立大学観測網地震カタログ (JUNEC) の P 波初動ならびに HASH (Hardebeck and Shearer, 2002) に修正を加えたプログラムを用いて, 1985 年 7 月から 1998 年 12 月までに日本で発生した 14,544 個の地震のメカニズム解を推定し, JUNEC 初動メカニズム解カタログ (JUNEC FM²) として公開した. JUNEC は東京大学地震研究所による ftp サイト (<ftp://ftp.eri.u-tokyo.ac.jp/pub/data/junec/hypo/>) に, 初動メカニズム解カタログは (<ftp://ftp.eri.u-tokyo.ac.jp/pub/data/junec/mech/>) にそれぞれ公開されている. 東京大学地震研究所は, 1985 年 7 月から 1998 年 12 月まで国立大学により運営されてきた地震予知観測情報ネットワークで得られた検測データを統合処理し, JUNEC を公開してきた. その地震数は約 190,000 個に及ぶ.

このカタログは稠密地震観測網・自動波形データ転送システムの発展前の期間に発生した微小地震 (M2.0 以上) に対するメカニズム解を豊富に含むため, 当時の起震応力場の解明などに有効な情報となり, また近年の地震のメカニズム解と併せることで時空間的な起震応力場の不均質を議論することが可能になると考えられる. 豊富な数から統計的な解析にも有用であろう. ただし, 推定されたメカニズム解の分布は, 観測網の展開ならびにそれぞれの観測点における初動報告率 (初動報告数 / 検測数) を反映して, 時空間的に不均質であることに留意する必要がある. 本研究で推定されたメカニズム解は, 防災科学技術研究所で決定された F-net モーメントテンソル解や, 気象庁による初動メカニズム解と大局的に調和的であるが, 顕著に異なる地震も若干見られる.

日本では, 1995 年兵庫県南部地震 (気象庁マグニチュード 7.3) 以降に高感度地震観測網 (Hi-net) が展開され, 豊富な初動メカニズム解が推定されるようになった. また 1997 年以降, 広帯域地震観測網 (F-net) の展開ならびにデータ転送システムの向上によって防災科学技術研究所によりモーメントテンソル解が決定・公開されている. これらのメカニズム解は断層構造や地域的な起震応力場の理解に活用されている. 一方で, これらの地震観測網が展開される前に発生した地震に対するメカニズム解カタログは非常に限られる (例えば Ichikawa, 1961, 1971). 2011 年東北地方太平洋沖地震 (気象庁によるモーメントマグニチュード 9.0) の発生後に, 特に震源域およびその周辺においてメカニズム解分布が顕著に変化したことが報告されており, このことは起震応力場が時間的に変化した可能性を示唆する. したがって, 可能な限り遡って地震のメカニズム解を決定し, カタログ化することは中長期的かつ時空間的なメカニズム解あるいは起震応力場の不均質を解明するうえで重要である.

謝辞: メカニズム解の推定には HASH (Hardebeck and Shearer, 2002) に修正を加えたものを使用させて頂いた. また, 北海道大学, 弘前大学, 東北大学, 東京大学地震研究所, 名古屋大学, 京都大学防災研究所, 高知大学, 九州大学, 鹿児島大学の観測網で観測された検測値, ならびに防災科学技術研究所, 気象庁が決定したメカニズム解を使用させて頂いた. ここに記して感謝申し上げる. なお, 本研究の一部は科学技術振興費「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として実施された.

キーワード: 初動メカニズム解, 国立大学観測網地震カタログ (JUNEC)

Keywords: first-motion focal mechanism solution, Japan University Network Earthquake Catalog (JUNEC)

首都圏の地震発生予測モデルの構築に向けて：地震カタログの下限マグニチュードの評価
Three-dimensional earthquake forecasting model for the Kanto district: Completeness magnitude of earthquake catalogs

横井 佐代子¹; 鶴岡 弘^{1*}; 平田 直¹
YOKOI, Sayoko¹; TSURUOKA, Hiroshi^{1*}; HIRATA, Naoshi¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

関東地方は本州弧の地殻内からフィリピン海スラブ、太平洋スラブに関連した浅発および稍深発地震の活動が活発であり、地震発生頻度の高い「深さ」が存在する。そこで私達は、地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験の「関東領域」で扱われている二次元地震発生予測モデル（地震の経度・緯度を予測）を発展させ、地震の経度・緯度・深さを精度よく予測する三次元地震発生予測モデルを構築することを目的として 2012 年から研究を開始した。Relative Intensity モデル（以下、RI モデルとする。Nanjo, 2011）は、地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験の 3 ヶ月予測実験において良い成績を示したので三次元予測モデルの土台とした。RI モデルは過去の地震活動から将来の地震活動を予測する統計モデルなので、予測は使用するデータ（地震カタログ）の質の影響を受ける。マグニチュードが大きい地震の予測精度を向上させるためには長い期間のカタログを必要とするが、過去にさかのぼるほどカタログの時空間的不均質性の問題が生じる（例えば、楠城ら、2009）。よって、震源の深さ分布を考慮して地震カタログの品質評価を行った。関東地方を収録している地震カタログとして、宇津カタログ（宇津、1979 および 1982）（使用期間：1885 年から 1923 年）、防災科学技術研究所が作成した地震カタログ（収録期間：1979 年から 2003 年）、気象庁地震カタログ（収録期間：1923 年から 2013 年）を使用した。各カタログにおける震源データの下限マグニチュード（以下、 M_c とする）を Maximum curvature 法（Wiemer and Wyss, 2000）により求めた。例えば、収録期間の最も長い気象庁地震カタログにおいては 1923 年から 1970 年半ばまで M_c は 3.7 ± 0.4 （平均±標準偏差）となり、1970 年半ばから 2000 年にかけては観測網の整備に伴い M_c の減少が見られた。また、1980 年台から M_c の深さ依存性が議論できるようになった。2000 年から 2010 年における浅い予測領域（深さ 0 から 30km）の M_c (0.25 ± 0.14) は、深い領域（60 から 100km）の M_c (0.67 ± 0.10) より小さい値を示した。本発表では、三次元予測空間における地震予測の精度向上のために、これらの地震カタログをどのように使用していくべきか議論する。気象庁地震カタログおよび防災科学技術研究所の地震カタログを使用しました。記して感謝します。なお本研究は文部科学省受託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」の一環として行われています。

キーワード: 三次元地震発生予測モデル, 関東地方, 地震活動の評価に基づく地震発生予測検証実験, 地震カタログ

Keywords: Three-dimensional forecasting model, Kanto district, Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability, earthquake catalogs

構造物即時被害予測のためのスパースモデリングに基づく地震動分布推定アルゴリズムの開発 Sparse Modeling to Estimate Spatial Distribution of Ground Motion Required for Rapid Prediction of Structural Damages

水迫 覚信^{1*}; 長尾 大道¹; 廣瀬 慧²; 加納 将行³; 堀 宗朗¹
MIZUSAKO, Sadanobu^{1*}; NAGAO, Hiromichi¹; HIROSE, Kei²; KANO, Masayuki³; HORI, Muneo¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 大阪大学大学院基礎工学研究科, ³ 京都大学理学研究科

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Graduate School of Engineering Science, Osaka University, ³Graduate School of Science, Kyoto University

大地震発生時、構造物の即時被害予測は二次災害を防ぐために重要であり、観測される地震波形から構造物直下の地震動を推定するプロセスと、推定された地震動を入力として、構造物の損傷を予測するプロセスからなる。構造物の損傷をより精度良く予測するためには、地震動観測データから空間的に圧倒的に密に分布した構造物における地震波形を推定するための手法を創出する必要がある。近年、首都圏地震観測網 (MeSO-net) に代表される空間的に高密度な地震観測網が整備されたことを背景に、発表者らは地震観測網で得られるデータから高空間分解能を持つ地震動分布を推定するための統計学的手法の開発を行っている。

水迫 [2013, 卒業論文] では、テイラー展開に基づく手法を考案した。東北地方太平洋沖地震時に MeSO-net で得られた観測データに本手法を適用した結果、約 0.15Hz 以下の地震動分布を精度良く推定することが可能であることを示した。しかし、一般的な構造物の固有周波数は 1.0~10Hz であるため、本手法を実用化するためには、0.15Hz 以上の高周波成分を含む地震動分布を精度良く推定する必要がある。水迫 [2013] では、恣意的にテイラー展開を一次で打ち切り、近傍の 5 観測点のデータから、テイラー展開における微分係数を決定したが、このような打ち切り次数と観測点の組み合わせ (以降、クラスタと称する) が、最も精度の良い推定結果を与えるとは言い切れない。逆に、打ち切り次数とクラスタを最適化することで、0.15Hz 以上の周波数成分を含む地震動分布を推定することが可能になることが期待される。

以上を踏まえ、本研究では、地震動分布を推定するために適した打ち切り次数とクラスタを提示するためのスパースモデリングに基づく手法の開発に取り組んでいる。特に本研究では、スパース推定をする際、L1 ノルムを正則化項とする lasso (least absolute shrinkage and selection operator) を採用する。微分係数の推定に lasso を適用することで、多数の微分係数から有効な項のみが選択される。さらに、3次元のベクトル量である地震動データを解析する際、異なる成分の同階数の微分係数を同時に選択するために group lasso を実装している。講演においては、本手法によって得られた初期結果について、水迫 [2013] による結果と比較しながら報告する。

キーワード: スパースモデリング, lasso, 都市災害, 首都圏地震観測網

Keywords: Sparse modeling, lasso, urban disaster, MeSO-net

宇宙食における薬膳料理の必要性 - ボタンボウフウのおやつへの利用 - Let's make a space food by using Peucedanum Japonicum which is medicinal herbs

脇田 麻里^{1*}; 高瀬 芳美¹; 河合 美佳¹; 林 嬉乃¹; 小林 瑞希¹; 梶原 聡美¹; 片山 直美¹
WAKITA, Mari^{1*}; TAKASE, Yoshimi¹; KAWAI, Mika¹; HAYASHI, Yoshino¹; KOBAYASHI, Mizuki¹; KAJIWARA,
Satomi¹; KATAYAMA, Naomi¹

¹ 名古屋女子大学
¹ Nagoya Women's University

目的

宇宙での長期滞在において、食事は大変重要である。病気にならないように、できる限りバランスのとれた食事を毎回とる必要がある。そのため宇宙食は薬膳料理である必要がある。今回免疫増強やがん予防など優れた薬効が期待されるボタンボウフウを用いて宇宙食を作ることを目的とした。ボタンボウフウは苦みがあるが、おやつとして手軽に摂取できるような方法を考えた。

方法

まずミキサーを用いてボタンボウフウをミキサーにかけて液状にした。その後3種類(パウンドケーキ、団子、ショートブレッド)のおやつをボタンボウフウの液を用いて作成した。試食を行って官能試験結果(味、香、見た目、総合:10点満点)を得た。パウンドケーキはホットケーキミックス 200g、ボタンボウフウ 180 gを混ぜ合わせ、パウンドケーキ型で160度のオーブンで30分間焼いた。さらにこの基本レシピに加えて抹茶10gを加えたものも作成した。また、団子は上新粉150gとボタンボウフウ130gを混ぜ、団子状にして30分間100度で蒸し揚げた。ショートブレッドは薄力粉250g、上新粉50g、砂糖80g、バター175g、ボタンボウフウ25g、ミントの葉6gを混ぜ合わせ、170度で45分間焼きあげた。

結果

おやつにすることでボタンボウフウの苦みを感じることなく、おいしく食べることが出来た。官能試験でも小学生から高齢者まで、「おいしい」と評価してくださった。バターや小麦粉、さらに焼くまたは蒸す調理工程によって、ボタンボウフウの持つ苦みが和らぎおいしく食べることができた。

考察

バターや小麦粉など混ぜ合わせる食材量や焼くまたは蒸す調理工程によって、ボタンボウフウの持つ苦みが和らぎおいしく食べることができた。宇宙においては、宇宙放射線など、発がんの危険が伴うことがあるため、ボタンボウフウの様な癌予防効果がきたできる薬草を積極的に取り入れる必要がある。今後はおかずとしての利用を考え、薬膳として一般にも広く啓発したい。

キーワード: 宇宙食, 薬草, 薬膳, ボタンボウフウ, おやつ

Keywords: Space foods, medicinal herbs, medicinal meal, Peucedanum Japonicum, snacks

宇宙食としての低GI食材を用いた低GL食献立 Low GL menu by using Low GI food is good as Space food

小林 瑞希^{1*}; 梶原 聡美¹; 脇田 麻里¹; 高瀬 芳美¹; 河合 美佳¹; 林 嬉乃¹; 片山 直美¹
KOBAYASHI, Mizuki^{1*}; KAJIWARA, Satomi¹; WAKITA, Mari¹; TAKASE, Yoshimi¹; KAWAI, Mika¹; HAYASHI,
Yoshino¹; KATAYAMA, Naomi¹

¹ 名古屋女子大学
¹ Nagoya Women's University

目的

宇宙に長期間滞在できるようになり、宇宙での活動量に見合った食事の提供と、血糖値の上がりにくい食事内容になる献立提供が必要とされている。地球上でもメタボリックシンドロームが問題であり、食後の高血糖を防ぐことが重要である。同様に宇宙でも、血糖値の上がりにくい食事を摂り、病気の予防をすることが必要である。そこで本研究は、血糖値の上がりにくい食材料（低GI食材）を用いて、血糖値の上がりにくい献立（低GL食献立）を作成することを目的とした。

方法

低GI食材を集め、それらの食材を組み合わせることで血糖値の上がりにくい献立である低GL食献立を作成した。メニューは「玄米と麦の御飯、味噌汁、鮭のムニエル、野菜の煮物、黒蜜寒天」であった。この献立をもとに、実際に血糖値を末梢血を用いて測定し、本当に低GL食献立になっているかを確認した。末梢血はメデイセーフミニ（テルモ社製）を用いて、食前、食後15分、30分、45分、60分、90分、120分で測定した。また、グルコースによる糖負荷試験も行った。

結果

調理方法で比較した結果、今回のメニューのように柔らかく煮込むような調理方法では消化吸収が良くなるため、実測のGL値が高くなった。

考察

宇宙食は食後の高血糖を防ぐためと、表情筋を鍛える上でも、歯ごたえのある低GI食材を用いて素材を生かした調理方法で行うことが望ましいと考える。少量の食事でも噛むことで満足感があり、ゆっくり消化吸収が行われることで血糖値の急激な上昇を防ぐことができると考える。

キーワード: 低GI, 低GL, 血糖値, 糖尿病, 宇宙食
Keywords: Low GI, Low GL, Blood sugar level, Diabetes, Space food

Mars Desert Research Station(MDRS)における2週間の体験 Two weeks stay in Mars Desert Research Station(MDRS)

片山 直美^{1*}
KATAYAMA, Naomi^{1*}

¹名古屋女子大学
¹Nagoya Women's University

宇宙滞在を想定した閉鎖空間における長期滞在はライフサポートシステム構築のために必要不可欠な研究である。このたび、日本火星協会とアメリカ火星協会の協力を得て、Crew 137 (2014.2.28-2014.3.17)に参加し、宇宙食として使用可能である5年間保存可能な食料と乾物で献立を作成し、その献立における栄養バランスについて考察したので報告する。

2週間、滞在することになった今回の実験において、閉鎖空間内での食事の献立作成を行った。市販されているフリーズドライライスとフリーズドライスープをおもに用いて、さらに魚の缶詰類を組み合わせた。付け合せにはフリーズドライ野菜も用いた。デザートにはドライフルーツ、5年間または3年間保存可能なクッキー、ビスケット、飴などを組み合わせた。

14日間、3食と間食のための献立を作成した。被験者は5名で、それぞれの性別、年齢、活動強度に見合った栄養バランスのとれた食事を目指し、おもに主食の量で全体のエネルギーを調節した。女性53歳には1600kcal、女性21歳2名には1750kcal、男性50歳には1800kcal、男性41歳に2000kcalの食事を提供するように献立を作成した。

市販品の組み合わせであるが、14日間の食事を組み立てることができた。この研究の成果は今後の宇宙食としてステーションまたは長期の宇宙飛行の際に役立つと共に、災害が起こった時に、どのように食品を組み合わせるべきか、また有事に備えて各家庭でどのような食品をそろえて保存していたらよいかを示すことができる。防災対策として今回の研究の成果を冊子としてまとめたので、今後は必要に応じて広く一般に配布したいと考えている。

キーワード: 閉鎖空間, ライフサポートシステム, 宇宙食
Keywords: Closedown space, Life-support system, Space foods

市販されている災害食の朝食としての利用-宇宙食としての利用を含めて The recommendation of using the commercial disaster food as Breakfast -To consider it as space foods-

梶原 聡美^{1*}; 脇田 麻里¹; 高瀬 芳美¹; 河合 美佳¹; 林 嬉乃¹; 小林 瑞希¹; 片山 直美¹
KAJIWARA, Satomi^{1*}; WAKITA, Mari¹; TAKASE, Yoshimi¹; KAWAI, Mika¹; HAYASHI, Yoshino¹; KOBAYASHI,
Mizuki¹; KATAYAMA, Naomi¹

¹名古屋女子大学
¹Nagoya Women's University

目的

現代社会において朝食の重要性は国の方針でも示されている。朝食を食べない人たちの原因の中に、簡単で、おいしく食べられるバランスの良いものが少ないとの意見がある。宇宙においても長期滞在が可能となった現在、食事の重要性はさらに高まっている。やはり「おいしい」ということは重要である。そこで本研究は地上で市販されている長期間保存可能な食品について官能試験を行い、その結果をもとに、地上での朝食と、将来の宇宙食への利用を考えることを目的とした。

方法

50名の女子大学生(20-21歳)に対して、自記式で朝食に関するアンケート調査を行った。また50名の女子大学生(20-21歳)に対して、5年間保存可能な市販されているご飯物(8種類)を試食させ、官能試験を行った。項目は「味」「香」「見た目」「量」「総合」であった。評価は10段階評価とし、自記式で行った。市販品はマジックライス(サタケ社製)の「五目御飯」「エビピラフ」「しそわかめご飯」「ちらし寿司」「白飯」「炒飯」「牛飯」「ドライカレー」をお湯で15分戻したものと水で60分戻したものを用いた。

結果

朝食は1品または2品の場合が多く、15分以内で食べ終わる場合がほとんどであった。

味はほとんどの御飯で、水で戻したものよりも、お湯で戻したもののほうがおいしいと答えた。「五目御飯」「ドライカレー」「牛飯」「エビピラフ」「ちらし寿司」「炒飯」「しそわかめご飯」「白飯」の順に評価が高かった。

考察

朝は忙しく時間がないため、短時間で作れるバランスのとれた食事が必要とされていた。今回の災害食は朝食として大変向いているといえる。

味も香も「五目御飯」「ドライカレー」「牛飯」が上位を占めていた。日本以外の国の人々にも受け入れられる製品が高い評価であった。このことは今後のユニバーサルスペースフード作製に役立つと考える。お湯で戻して食べるフリーズドライ方式の食品である今回のマジックライスは忙しい朝でも簡単においしく食べられる食事として用いることが可能であると考えられる。今後はおかずのフリーズドライ製品を官能試験し、食事としての組み合わせについても考えたい。

キーワード: 朝食, 市販されている災害食, 宇宙食
Keywords: Breakfast, the commercial disaster food, Space food

宇宙食における乳酸菌飲料の必要性 The need of the lactic acid beverage in space foods

林 嬉乃¹; 小林 瑞希^{1*}; 梶原 聡美¹; 脇田 麻里¹; 高瀬 芳美¹; 河合 美佳¹; 片山 直美¹
HAYASHI, Yoshino¹; KOBAYASHI, Mizuki^{1*}; KAJIWARA, Satomi¹; WAKITA, Mari¹; TAKASE, Yoshimi¹; KAWAI,
Mika¹; KATAYAMA, Naomi¹

¹ 名古屋女子大学
¹ Nagoya Women's University

目的

宇宙での長期滞在が可能となったことは、今後の宇宙食開発にとって発展がなされることに繋がる。水分摂取とともに、整腸作用のある乳酸菌を取ることは、忙しい宇宙船の中での作業の合間であっても可能である。腸を健康にすることはホルモンのバランスを整えることにつながる。そこで本研究は、乳酸菌飲料を摂取することで腸内環境を整え、排便の状態を改善することを目的とした。

方法

成人女性 20 名 (平均年齢 20.5 歳) を被験者とした。この人数を便秘者と非便秘者の 2 群に分けた。ダブルブラインドクロスオーバーで実験を行った。実験開始前 2 週間の間、排便記録を取った。その後 Y 社乳酸菌飲料 (カロリー 49% オフ) を 100 度で 3 分間煮沸した飲料と処理しない印理療を用意した。便秘群 10 名には煮沸した乳酸菌飲料を 2 週間摂取させて排便の状態を記録した。その後煮沸していない乳酸菌飲料を 2 週間摂取させて排便の状態を記録した。同様に残りの 10 名に対して、この反対で実験を行った。実験終了後さらに 2 週間排便の状態を記録した。記録内容は「排便回数」「臭い」「形状」「ガスの回数」であった。

結果

便秘群では煮沸していない乳酸菌飲料摂取によって排便回数が改善された。非便秘群ではどちらの場合も排便回数には大きな変化は見られなかった。しかし、どちらの群においても、便臭、すっきり度はよくなった。

考察

便秘群において排便回数が増加したのは、乳酸菌飲料に含まれるオリゴ糖や乳酸によって腸内細菌の増殖と腸の蠕動運動に刺激が加わり、排便状態が改善された可能性がある。しかし、乳酸菌の摂取をやめると 2 週間で元に戻ってしまうことから、継続した摂取が必要であると考えられる。

キーワード: 乳酸菌, 飲料, 宇宙食
Keywords: Lactic acid, Beverage, Space foods

新たな多色刷2万5千分1地形図の刊行について Publication of redesigned multicolor 1:25,000 topographic maps

宇根 寛^{1*}; 根本 正美¹
UNE, Hiroshi^{1*}; NEMOTO, Masami¹

¹ 国土地理院

¹ Geospatial Information Authority of Japan

情報通信技術の急速な発展に伴い、国の基本図も大きな変化を遂げている。地球科学研究の基礎を支えている国土地理院の2万5千分1地形図についても、その作成工程がこれまでと大きく異なるとともに、より詳細で地形が理解しやすい内容となった多色刷2万5千分1地形図として2013年11月から新たに刊行が開始された。

新たな2万5千分1地形図は「電子国土基本図」をベースにしており、作成工程が大きく変更された。これまでの地形図作成の最大の特徴だった空中写真撮影～図化の工程は含まれず、電子国土基本図のベクトルデータをそのまま調製・印刷している。

このような変更の出発点となったのは2007年の「地理空間情報活用推進基本法」の制定である。この法律では、特に電子地図上における位置の基準として基盤地図情報を国が整備・利用することが規定された。国土地理院では2500分1都市計画基図、2万5千分1地形図などを活用して基盤地図情報の整備を推進し、2011年度末までに全国の基盤地図情報を概成させ、さらにこの基盤地図情報を骨格として電子国土基本図の整備が行われた。

新たな2万5千分1地形図は、電子国土基本図をベースとすることで、これまでの2万5千分1地形図と比べて内容はより詳細になった。更にプロセス印刷を導入したことで多色化が可能になり、幾つかの表現方法が初めて実現された。

内容の詳細化とは、特に都市計画区域では情報が2500レベルの精度になっていることを指す。これは、電子国土基本図が都市計画区域では2500レベル、それ以外の地域は25000レベルで整備されていることに由来する。これにより、これまで総描されていた密集している市街地の建物が、総描されずに各々が表示されるようになった。また、市街地の道路は取捨選択されていたが、今回からは取捨選択しないので道路の表示密度が高くなっている。

プロセス印刷導入に伴って新たに実現された表現方法としては、緑色の陰影を付加して地形が直感的に把握できるようにしたこと、建物を橙色にして道路や地名などの輻輳を避けたことがあげられる。その他、高速道路、国道、都道府県道をそれぞれ緑色、赤色、黄色にしたり、カッコ書きだった国道番号を道路標識と同じ青色の逆三角形に変更するなど、多彩な色を使って表現することで、地形図の見やすさ・読みやすさが向上した。

国土地理院では、この他、電子国土基本図をもとにした画像データをインターネットを使ってオンラインで提供する「電子地形図25000」の提供を2012年から開始している。電子地形図25000では利用者が用途に応じて図の中心位置、画像のサイズと向きなどを選択でき、さらにモノクロ地図や陰影の有無を選択することができる。地球科学研究の背景図としてより使いやすくなったといえるだろう。

多色刷2万5千分1地形図は当面毎月10面程度が新たに刊行されており、数年後に全国の地形図が置き換えられる予定である。

キーワード: 2万5千分1地形図, 地理空間情報活用推進基本法, 電子国土基本図, プロセス印刷
Keywords: 1:25,000 topographic map, NSDI Act of Japan, Digital Japan Basic Map, process printing

PNG 標高タイルの考案と防災関連 Web サイトの応答性高速化 Design of the PNG Elevation Tile and Rapid Response of Disaster Prevention-related Web Site

西岡 芳晴^{1*}; 長津 樹理¹
NISHIOKA, Yoshiharu^{1*}; NAGATSU, Juri¹

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門
¹ Institute of Geology and Geoinformation, AIST

標高データ利用の高度化を図るために PNG 標高タイルを考案した。PNG 標高タイルは画像ファイルフォーマットである PNG を利用したもので、Web ブラウザでの使用に適した標高タイルフォーマットである。PNG 標高タイルでは、通常画素の色情報が保存される各ピクセルに対して、標高データ (m または cm 単位) を 256 進数で表現し、R,G,B に分解して格納する。国土地理院から公開されている CSV 形式の標高タイルを元に PNG 標高タイルを作成し、利用テストを行った。利用テストでは、浸水シミュレーション、伊豆大島傾斜度、エナジーコーンの 3 つのテストアプリケーションを作成した。これらのアプリケーションでは、これまで数分かかった再描画を数秒で行うことができ、このことを利用して高速な応答性を実現できる。例えば、火砕流の到達範囲をシミュレーションするエナジーコンでは、ユーザに噴火中視点をドラッグさせて、ドラッグ終了と同時に再描画を行うようなインターフェイスが利用できる。また、Web ブラウザで 3D 描画を行うための規格である WebGL と併用して、日本シームレス地質図を 3D で表現するテストサイトを作成し、PNG 標高タイルが 3D 表現でも有効であることを検証した。

キーワード: PNG 標高タイル, タイル, 防災, エナジーコーン, シームレス地質図, 3D
Keywords: PNG Elevation Tile, tile, disaster prevention, energy cone, Seamless Geological Map, 3D

モバイル端末アプリを用いた防災科研高感度地震観測網 (Hi-net) モニタリング The monitoring of the NIED Hi-net by using the mobile application

江本 賢太郎^{1*}; 齊藤 竜彦¹; 上野 友岳¹; 針生 義勝²; 那須 健一²; 汐見 勝彦¹; 青井 真¹
EMOTO, Kentaro^{1*}; SAITO, Tatsuhiko¹; UENO, Tomotake¹; HARYU, Yoshikatsu²; NASU, Kenichi²; SHIOMI, Katsuhiko¹
; AOI, Shin¹

¹ 防災科研, ² 防災科研/地震予知振興会

¹NIED, ²NIED/ADEP

地震現象をモニタリングすることは、地球物理学的な研究においてのみでなく、防災の面でも重要である。たとえば、地震の時空間分布を視覚的に把握することにより、日々の地震活動の変化の検出や余震の震源分布に基づく本震の断層面の推定等を行うことが出来る。また、緊急地震速報では、波動場をリアルタイムでモニタリングすることが必要である。このような事象を正しくモニタリングするためには、観測点やシステムの状態を常に正しく把握しておく必要がある。故障や異常のある観測点を把握していなければ、地震現象のモニタリング精度が低下や、間違った解釈につながる危険性がある。防災科研高感度地震観測網 (Hi-net) では、約 800 個の高感度地震計が約 20km 間隔で日本全国に設置されており、波形はリアルタイムでサーバに蓄積され、自動処理解析で震源が求められている。本研究では、近年広く普及してきたモバイル端末アプリとして Hi-net 観測点のリアルタイム状況と自動処理システムの効率的な表示アプリを開発し、観測網と Hi-net システムの自動処理状況を把握する手法を提案する。モバイル端末を用いることで、どこにいてもリアルタイムで状況を把握することが可能である。

まず、Hi-net 自動処理で求められた震源分布を表示するアプリを開発する。埋め込んだ地図アプリ上に震源分布を色と大きさで深さとマグニチュードを表現して表示させ、地図に隣接して分布深さ断面図も表示する。地図は任意の状況に拡大・縮小・回転ができ、それに合わせて断面図も更新する。これにより、様々な走向で断面を表示させることができ、沈み込むプレートや断層の傾きがわかる。また、範囲内に存在する地震の頻度分布図などを作成することにより、地震活動の統計的情報も把握可能である。震源分布の背景に過去の地震活動を表示することにより、過去にも同様の地震が起こっているか、プレート境界で発生した地震かどうかを知ることができる。

次に、自動処理で取り残した地震があるかどうか、間違った場所を地震として検知していないかどうかの確認として、多観測点の波形トレースに震源情報を重ねて表示するアプリを作成する。Hi-net では 100 トレース画像を公開している。これは全観測点から 100 観測点選び、その波形記録を並べて表示したものである。地震時には複数の観測点で振動が観測されるため、100 トレース画像を見れば地震発生の有無、大まかな位置がわかる。この画像上に Hi-net 震源カタログの震央をプロットし、そこをタップすると横に日本地図上の位置と震源情報を表示させる。電子書籍のように 1 時間ごとの波形・震源情報がページとして表示され、過去に遡って確認ができる。これにより、自動処理震源決定が正しく機能しているかどうかかわかる。

最後に、Hi-net 全観測点のリアルタイム記録を確認する管理者向けアプリを作成する。データが蓄積されているサーバから、ほぼリアルタイムで Hi-net 全観測点のデータを取得する。取得した速度記録から 1 秒の RMS 振幅を計算したものを地図上に表示し、画像としてサーバに蓄積する。モバイル端末側でサーバに蓄積された RMS 値画像を 1 秒ごとに取得し、表示させる。これにより、Hi-net 全観測点の現在の様子が一目で把握できるようになる。地震が起きていない平時にも常に大きな振幅を示している点といった故障している観測点がわかる。地震時には 1 秒ごとの波動場の広がりがあり、隣接の観測点から大きく異なる挙動を示していれば、異常のある観測点として認識できる。異常のある観測点の情報を知るために、スワイプで画面を切り替え、マップアプリを読み込み、その上に観測点情報を表示させる。また、Hi-net では AQUA システムと呼ばれる、震源・マグニチュード・メカニズム解を即時的に推定するシステムを運用している。地震発生時には、AQUA 情報をモバイル端末側で取得し、1 秒 RMS 値の地図画像に震央位置を重ねて表示させる。震源情報と観測される波動場と比較することにより、AQUA システムで震源が正しく推定されているかどうかの判断も可能である。

最初の 2 つのアプリを用いて、Hi-net 自動処理システムでの誤決定や見逃しを空間的に把握する。また、群発地震発生時等、遠隔地でも統計情報を把握できるようにし、起動観測計画立案等に役立てる。3 つ目のアプリで観測点状況を把握する。これら 3 つのアプリにより、波動場・波形・震源の統合した情報で観測網を管理する。

キーワード: Hi-net, モバイル端末, リアルタイム

MTT41-P03

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Keywords: Hi-net, mobile, real time

月の地形表現手法としての赤色立体地図 Red Relief Image Map of the terrain representation method of the moon

千葉 達朗^{1*}; 神谷 泉²; 高桑 紀之²; 佐藤 壮紀²
CHIBA, Tatsuro^{1*}; KAMIYA, Izumi²; TAKAKUWA, Noriyuki²; SATO, Takenori²

¹ アジア航測株式会社, ² 国土地理院

¹ Asia Air Survey Co., Ltd., ² Geospatial Information Authority of Japan

概要

近年、日本のかぐや、NASAのLOLAなど、月面の詳細な地形データが取得されるようになり、地形表現手法が課題となってきた。月の地形的特徴が地球上の火山地形と類似していることに着目し、レーザ計測による火山地形表現に特化して開発された赤色立体地図を月の地形表現に適用した。その結果、月の地形的特徴を非常によく表現ができたので報告する。

月の地形の特徴

月の地形は、多数の衝突クレーターが分布する高地と、海と呼ばれる溶岩平原で特徴づけられる。月には大気や水がなく海もないので、水による侵食地形がみられない。風も吹かないので砂丘もない。いったん形成された地形が、風化侵食によって変化することはなく、形成時の状態が長期にわたって保存される。そのため、宇宙空間からの隕石衝突によるクレーター、火山噴火による楕状火山や溶岩流のほか、地殻変動によるリッジや断層が特徴的にみられる。これらの点は、スケールは異なるものの、地球の火山地形と類似している。月の高地のクレーター群は地球上の火山地域の小火口群と、月の海の地形が地球上の火山山麓や平野の地形と類似しているといえよう。

地形表現手法の問題

このような相対的な凹凸が少ない地形の表現にとって、等高線は不向きである。小縮尺の地勢図や地図帳では、陰影や高度段彩を併用している。月の小縮尺地形表現にも、陰影段彩図を使用することがほとんどであった。しかし、月の表面はクレーターが数多く分布し重なり合っている。このような窪地を陰影図で表現すると、光源の方向によって凹凸が反転して見える場合があり問題であった。

火山地形と赤色立体地図

日本の火山は樹木で覆われていることが多く、微地形判読は難しい。近年、航空レーザ計測の技術が進歩し、樹木を除去した詳細な地形データが取得できるようになってきた。微地形を観察し、重なり関係や切り合い関係から、火口の形成過程や溶岩流の流下プロセスを理解することができる。一方で、地形データが飛躍的に高精度になり、そのデータを表現するために、陰影図と高度段彩では、窪地や孤立丘の多い火山地形では表現手法として不十分であった。近年では、その点に特化して開発された赤色立体地図を利用する場面が多くなってきた。この図によって、多くの火山学的新発見がもたらされてきた。

赤色立体地図

赤色立体地図は、斜度図を改良した方法である。斜度を赤のグラデーションで表し、尾根谷度を明度に比例させて作成する。すなわち、急斜面ほど明るく、尾根ほど明るく、谷や窪地ほど暗く表現する手法である。この図は、1枚でオルソ画像ながら立体感があり、火山の微地形の特徴を判読するために改良工夫されたものであり、当初青木ヶ原樹海の地形地質調査のために開発された。尾根や谷の表現には地上開度と地下開度を合成して利用しており、地形のフラクタル性を考慮した表現が可能となっている。

月の赤色立体地図

そこで、われわれは、地球上の火山地形の表現で有効であった赤色立体地図を月の地形表現に応用することを試みたので、ここに紹介する。使用した地形データはかぐやによるもので、1/20度メッシュに調整して利用した。また、作成した画像は、国土地理院のwebページでも公開中である。SeciumやThree.jsなどの3次元高速表示も可能となっている。

謝辞

自然科学研究機構 国立天文台および宇宙航空研究開発機構には「かぐや」による月の地形データを提供していただきました。

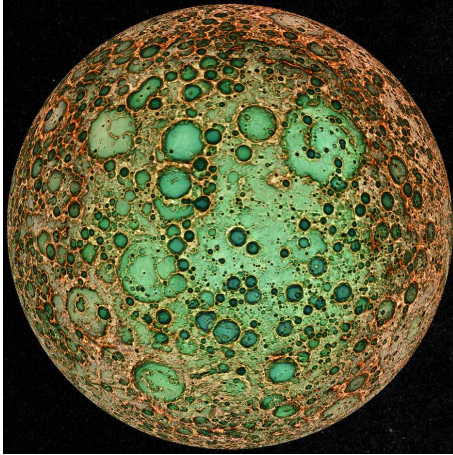
キーワード: 月, DEM, 地形表現, 赤色立体地図, クレーター, かぐや

MTT41-P04

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Keywords: moon, DEM, terrain representation, red relief image map, crater, selene



曲率と傾斜による立体図法 (CS 立体図) の開発について Development of the CS (Curvature and Slope) topographical map

戸田 堅一郎^{1*}; 大丸 裕武²; 小荒井 衛³; 中埜 貴元³; 岩橋 純子³

TODA, Kenichiro^{1*}; DAIMARU, Hiromu²; KOARAI, Mamoru³; NAKANO, Takayuki³; IWAHASHI, Junko³

¹ 長野県林業総合センター, ² 森林総合研究所, ³ 国土地理院

¹Nagano Prefecture Forestry Research Center, ²Forestry and Forest Products Research Institute, ³Geospatial Information Authority of Japan

1. 研究の背景と目的

従来、崩壊等の危険地予測には、地形図や空中写真などから危険な地形を判読する手法が用いられてきた。地形判読は危険地予測をする上で非常に有効な手法であるが、いくつか問題点がある。①判読者の技術と経験の差によって結果が異なる。②等高線による地形図では、線状凹地形や湧水などの危険地判読をする上で重要な微地形表現が難しい。③近年撮影された空中写真は、森林の樹冠により地表が覆われているため、詳細な地形が判読できない。④数値標高データ (DEM) から作成する一般的な立体図法である陰影図や鳥瞰図は、光源や視点の位置により地形の見え方が変わり地形判読には不向き等である。そこで、これら問題点を解決し、汎用 GIS ソフトで容易に作成可能な立体図法 (CS 立体図) の開発を行った。

2. CS 立体図の作製方法と地形判読

地形図を用いて地形を判読する場合、判読者は等高線から標高、傾斜、勾配変化 (曲率) の情報を読み取り、頭の中で立体イメージに変換している。CS 立体図は、これらの情報を視覚情報から直感的に読み取ることができるよう、DEM から曲率と傾斜を計算し、異なる色調で彩色して透過処理することで立体的に地形を表現する。CS とは曲率 (Curvature) と傾斜 (Slope) の頭文字を意味する。

航空レーザ測量により長野県内で計測された 1 m メッシュの DEM を用いて CS 立体図を作製し、目視により地形判読を行った。治山事業計画地等から対象地を選定し、湧水やリニアメント等、崩壊危険地予測の際に注目すべき特徴的な地形を抽出した。抽出した場所の CS 立体図をハンディ GPS の背景図に設定し、ナビゲーション機能により現地に行き、地形判読結果と現地の状況を照合した。

3. 結果

CS 立体図を用いた地形判読では、従来の地形図からは判読することが困難だった微小な崩壊跡地形や湧水、地すべりに特有の線状凹地形や等高線に平行方向のリニアメント等を容易に判読することができ、現地調査においてもこれらを確認することができた。

キーワード: CS 立体図, 地形判読, 曲率, 傾斜

Keywords: CS topographical map, topographical interpretation, curvature, slope

ジオパークの地図 The map of a geopark

小荒井 衛^{1*}; 目代 邦康²
KOARAI, Mamoru^{1*}; MOKUDAI, Kuniyasu²

¹ 国土地理院, ² 自然保護助成基金
¹GSI of Japan, ²Pro Natura Foundation Japan

2011 年の日本地図学会誌「地図」において、「ジオパークと地図」という特集を行った。その中で、目代・小荒井 (2011) は、日本におけるジオパーク活動の展開と地図の活用についてレビューを行い、その中で各地のジオパークにおける地図の実態について報告を行っている。毎年 5 月に開催されている地球惑星科学連合においてもジオパークの公開審査も行われ、多くの自治体から熱気を帯びたプレゼンテーションが行われている。ジオパークに関するポスター発表のセッションでも、多くのジオパークをもつ自治体やジオパークを目指す自治体等が自らのジオ資産についての価値を PR する発表を行うと共に、地球惑星科学の研究者らがジオパークに関するアウトリーチ活動やソーシャルメディアを活用した普及啓発活動に関する発表を行っている。演者は各ジオパークが配布するパンフレット等を収集し、ジオパーク活動における地図の利活用の状況について、特に地形表現に着目して再整理を行った (小荒井, 2013)。今回、その後の検討結果を含めて報告したい。

今回の検討で着目したのは、以下のような視点である。ジオパーク活動における地図の利活用の状況について、特に地形表現に着目し再整理した。等高線か、DEM による陰影表現か、等高線と陰影の併用か、鳥瞰表現か、赤色立体地図か、段彩表示か、その他の地形表現か、山頂のみの表示か、地形表現無しなど。地質情報をどのように表示しているのか。主題図を使用しているのか、地形表現に地質情報を加味しているのかなど。また、カラーコーディネートの視点からの見やすさの評価や、地学専門家からの視点と一般のジオパーク訪問者からの視点の違いにも考慮した。

結果としては、全体として観光地図的なものが多く、中には基図に地形表現を試みているものもあったが、段彩表現により簡便に表現しているものが主であった。詳細な地形表現を試みたものとしては、DEM による陰影図やそれを 3D 表現したものが多かった。このような視点で見た場合、等高線図と比べて読者にも地形の概要が理解しやすいものと考えられ、等高線図で表現したものは少なかった。等高線図で表現しているジオパークマップは、トレッキング向けに限定されていた。

引用文献

目代邦康・小荒井衛 (2011): 日本におけるジオパーク活動の展開と地図の活用. 地図, 49(3), 1-16.

小荒井衛 (2013): ジオパークの地図の地形表現について. 日本国際地図学会平成 25 年度定期大会発表論文・資料集.

キーワード: ジオパーク, 地図, 地形表現

Keywords: geopark, map, expression of geographical feature

北部飛騨山脈の地すべり地形学図 Landslide Geomorphological Map of the Northern Hida Mountains, Japan

佐藤 剛^{1*}; 苅谷 愛彦²
SATO, Go^{1*}; KARIYA, Yoshihiko²

¹ 帝京平成大学, ² 専修大学
¹Teikyo Heisei University, ²Senshu University

The northern Hida Mountains located in central Japan consist of high-relief mountain ranges. A previous study has reported the distribution of the glacial topography and explained the landform development caused by glaciers in this region. In 2008, we published the *Landslide Geomorphological Map of the Northern Hida Mountains*. This map revealed the landslide distributions and glaciated topographies. Our poster shows this map and explains the methods and criteria for geomorphological mapping, as well as the development and characteristics of landslide distribution.

キーワード: 地形学図, 地すべり地形, 氷河地形, 地形発達, 北部飛騨山脈

Keywords: Geomorphological map, Landslide topography, Glacial topography, Geomorphological development, The Northern Hida Mountains

高精度 DEM と印刷地図による地理的環境の復元と空間表現 Geographic Environment Reconstruction and Geo-visualization using High Resolution DEM and Old Printed Map

鈴木 厚志^{1*}
SUZUKI, Atsushi^{1*}

¹ 立正大学
¹Rissho University

本研究は、20 世紀前半に刊行された 5 万分の 1 地形図と現在の高精度 DEM を組み合わせ、そこから 2 次元・3 次元の地図を作成し、当時の地理的環境の復元と空間表現を試みた。

事例地域は、20 世紀前半の先島諸島である。当時の先島諸島では、年間 1000 人から 2000 人のマラリア患者の発生が報告されている。これまでの研究から、先島諸島のマラリア有病地は、高島と呼ばれる大陸性の島もしくは火山島において、起伏があり、水系の発達した地域に多く分布したことが明らかにされている。そもそも、マラリア媒介蚊であるコガタハマダラ蚊は、表層を非石灰岩の地質が広く覆う場所や、水たまりや水田が形成されやすい湿地帯を好み、こうした地理的環境を有する地域が有病地となった。また、最近時の空中写真判読による土地利用図の 3 次元化も試みた。合わせて報告したい。

キーワード: 高精度 DEM, 印刷地図, 地理的環境, 空間表現

Keywords: High Resolution DEM, Printed Map, Geographical Environment, Geo-visualization

津波挙動と津波避難開始時の状況に関する可視化と、その津波防災啓発への有効性について Visualization of tsunami and circumstances during initial evacuation and its effectiveness for disaster education

木村 裕行^{1*};菅原 大助²;今村 文彦²
KIMURA, Hiroyuki^{1*}; SUGAWARA, Daisuke²; IMAMURA, Fumihiko²

¹ 復建調査設計株式会社, ² 東北大学 災害科学国際研究所
¹FUKKEN CO.,LTD., ²International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

近年、南海トラフでの津波による甚大な津波被害が予測されており、特に西日本の太平洋沿岸地域を中心に津波防災への関心が高まっている。人的被害軽減のため、継続的かつ効果的な防災啓発と教育によって、津波に対する防災意識が高く維持されることが重要である。津波避難に関しては、沿岸地域の住民が適切な避難方法と避難計画に基づいて早期に避難を開始できることが重要であり、これを可能とさせるために津波の挙動や避難時の状況について理解を深めておくことが有用と考えられる。そこで、筆者らは、津波挙動や津波避難時の状況の可視化を試み、これらの可視化を活用した津波防災啓発・教育の方法とその有効性について検討した。本発表では、宮城県岩沼市沿岸地域を対象とした検討例を紹介する予定である。

東北地方沿岸地域では、東日本大震災前後の地域状況が斜俯瞰の航空写真で撮影されている。これらの航空写真から、土地利用に加えて地形の起伏や建物の高さなどの高さ情報が読み取れるため、地域状況を立体的に把握することが可能である。そこで、筆者らはまず、2011年東北地方太平洋沖地震津波の数値シミュレーションより得られる時間毎の浸水域を斜俯瞰航空写真と重ね合わせ、立体感を持たせた現実性のある津波の可視化を試みた。この方法により、土地利用や地形状況による影響を受けながら陸上を氾濫する津波の俯瞰的な把握が可能になると考えられる。

次に、津波避難時の緊急性や時間的猶予を把握するための情報として、避難開始時における移動可能範囲等の状況について可視化を試みた。避難方法の計画に有用となるように真俯瞰の衛星写真や航空写真を活用し、地域の道路網や避難施設に加えて、地域の代表的な地点からの等距離線などを表示させた。地域の代表地点を例として表示することにより、仮にその地点から津波避難を行う場合にどのような移動方法を選択するか、またその方法は妥当であるかを独自に検討できるものとした。実際の津波避難の開始地点は必ずしも自宅や職場など馴染みのある場所とは限らない。本手法により、日常生活において避難時の状況は多様であること、避難が困難と思われる地域も存在することなど、避難を計画する上で重要な情報を容易に読み取ることができる。

津波挙動及び避難開始時の状況の可視化は、沿岸地域の住民や自治体が、津波避難計画の策定やその妥当性を独自に検証するためのツールになると期待できる。また、津波自体の挙動に加えて、津波時に自らが置かれる状況についても相互に理解を深めることができる。津波防災啓発・教育効果の増大の観点から、津波挙動及び避難開始時の状況を可視化することの有効性は極めて高いと考えられる。

キーワード: 津波挙動, 津波避難, 可視化, 防災啓発

Keywords: tsunami behavior, tsunami evacuation, visualization, disaster prevention education

避難所・病院・要援護者施設情報を組み込んだウェブ版火山防災マップの試作 A Web-based Volcano Hazard Map with Information on Evacuation Shelters, Hospitals and Facilities for Vulnerable People

石峯 康浩^{1*}
ISHIMINE, Yasuhiro^{1*}

¹ 国立保健医療科学院 健康危機管理研究部
¹ National Institute of Public Health

保健、医療、福祉に関する教育訓練やそれらに関する調査研究を行う厚生労働省所管の国立保健医療科学院では、東日本大震災の教訓に基づき、大規模災害発生時の被災者の生命・健康を守るための方策の再検討を進めている。その一環として、災害時に保健・医療関連の資源ならびに人材を効率的・効果的に配分するために不可欠な情報共有化のシステムを構築中である。被災地外から支援者を派遣して迅速に救援活動を行うためには、地理情報を的確に把握することが重要であることから、本情報共有システムには災害拠点病院や避難所の情報をウェブベースの地図上にマッピングする機能が組み込まれている。この機能を利用して、2002年に富士山火山防災協議会が作成した富士山の火山防災マップのウェブ化を試みた内容を本発表で紹介する。

キーワード: 防災マップ, GIS, 火山噴火, 富士山, 災害医療, 公衆衛生
Keywords: Hazard Map, GIS, Volcanic Eruption, Mt. Fuji, Disaster Medicine, Public Health

GISを用いた保育サービス需給ギャップの地図化：東京都の事例 Mapping the supply-demand gap in childcare services with GIS: A case study in Tokyo

若林 芳樹^{1*}; 小泉 諒¹; 久木元 美琴²; 由井 義通³

WAKABAYASHI, Yoshiki^{1*}; KOIZUMI, Ryo¹; KUKIMOTO, Mikoto²; YUI, Yoshimichi³

¹ 首都大学東京, ² 大分大学, ³ 広島大学

¹Tokyo Metropolitan University, ²Oita University, ³Hiroshima University

本研究は、待機児童問題が深刻化している東京都を対象地域として、保育サービスの需給ギャップを地図にして可視化することを試みたものである。需給ギャップをGISによって地図化するために、認可保育所によるサービス供給量と未就学児の需要量のベクタデータをカーネル密度推定によってラスタデータに変換し、需給密度の差を求めた。得られた需給ギャップの地図は、保育サービスの需要と供給の空間的偏在を示していた。これに認可外保育施設の分布を重ね合わせると、公的サービスの空間的隙間は民間サービスによって補われていることが明らかになった。

キーワード: 保育サービス, 需給ギャップ, カーネル密度推定, ラスタ演算, 東京

Keywords: childcare services, supply-demand gap, kernel density estimation, raster calculation, Tokyo

ジオインタラクティブ・ガイドブック・サービス：位置連動イラストに基づく位置
情報アプリケーションの設計と開発
Geo-interactive Guidebook Services: Design and Development of LBS Applications Fea-
turing Geo-enabled Illustrations

Lu Min^{1*}; 有川 正俊¹
LU, Min^{1*}; ARIKAWA, Masatoshi¹

¹ 東京大学空間情報科学研究センター

¹Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

The current location-based mobile applications for tourists usually use Web maps as base maps with attached objects like POIs (points of interest) to provide relevant guide information. Their services rely on accuracy of positioning functions on the handsets and accessibility of the Web maps. However, their diversity of maps and geo-information representation methods are insufficient, and are regardless of the differences in cultures as well as target users. Meanwhile, such services provide information mainly based on points, but storytelling and plots are less concerned. On the other hand, conventional paper-based guidebooks and magazines are still popular because they are good at dealing with subdivided topics, content arrangement, illustrations and stories to provide tentative travel plans with attractiveness and readability. However, they lack the capability of interactions with readers' actions and locations.

In considering of combining the advantages of positioning-enabled devices and well-designed guidebooks, we researched on a framework to create geo-enabled pages for designing applications and services providing better user experience when traveling in the real world. By analyzing the graphic components of the pages of a guidebook from the viewpoint of geo-information representation, a structured description of both graphic and geographic information of the components is established. Different geo-reference methods for geocoding the components are discussed. Especially, the methods of positioning using illustrated-maps and lines on pages are focused. Possible location-based events in the procedures of interactions with users and their locations are summarized. The design principles of user interfaces for both content creators and final users are discussed.

Finally, prototypes named "Manpo" including a content editor and a content browser are developed based on Apple Inc.'s iOS platform. Contents created by the prototype editor from existing guidebooks were used with Manpo by experimenters, to show the usability of the framework and the potential to be a commercial product.

Keywords: guidebooks, illustrated maps, geo-reference, mobile applications

歴史叙述の時空間アニメーション表現を基本とする学習環境 Development of a Learning Environment based on Spatio-temporal Historical Story Mapping Animation

井上 泰志^{1*}; 鶴岡 謙一¹; 有川 正俊¹
INOUE, Yasushi^{1*}; TSURUOKA, Ken'ichi¹; ARIKAWA, Masatoshi¹

¹ 東京大学空間情報科学研究センター

¹Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

歴史的事実を学び、得られた知識を手段として用いることにより、将来の行動に対して予見をもつことを目的として、歴史学習が行われている。歴史学習では、歴史叙述のもつ事象間の因果的な関係性を正しく理解することが重要となる。教科書による歴史学習は、文章と数枚の図や写真、地図、年表などによって行われている。しかし、この枠組みでは事実を断片的・静的に表現しているだけであり、事象どうしの繋がりは学習者が頭の中でイメージして把握しなければならず、一般に困難である。歴史叙述における事象間に存在する因果的な関係性を容易に正しく理解できる学習環境が望まれる。

そこで、事象間の関係性を構造化し、その構造に基づき時空間表現としてのアニメーションにより歴史叙述の可視化を行う学習環境を提案する。歴史叙述は、個々の事象を時間関係・因果関係により組み合わせ、テーマを表現することにより形成される。この構造に基づき、歴史叙述を連続的に表現する、インタラクティブな利用者インタフェースをもつプロトタイプシステムを開発している。提案システムの主な特徴は以下の3点である。

- (1) 事象間の関係性を矢印により地図と年表上に表現
- (2) 事象間の関係性を階層構造により地図と年表上に表現
- (3) 叙述中の一点の事象に焦点を当てた情報提示

提案システムのモデルケースとして、東日本大震災時の省庁・自治体の取り組みについて時空間表現のコンテンツの制作を行っている。このモデルケースを通して、提案システムの特徴である、事象間の因果関係の理解の容易性、つまり歴史学習の実効性を明らかにすることが本研究の目的である。

キーワード: 歴史学習, 可視化, ユビキタスマッピング

Keywords: History Learning, Visualization, Ubiquitous Mapping

相対空間参照を用いた写真内地図統合 Integrating Maps in Photos with Relative Spatial References

Si Ruochen^{1*}; 有川 正俊¹; Lu Min¹
SI, Ruochen^{1*}; ARIKAWA, Masatoshi¹; LU, Min¹

¹ 東京大学空間情報科学研究センター

¹Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo

1. Introduction

Signboard maps are widely distributed in public places, such as parks, subway stations, universities, and so on. Signboard maps are usually designed specially for the local area. POIs are usually highlighted in the maps. Many signboard maps are also drawn in an artistic way, and the mapping styles are various in different signboard maps. Except for the content, the locations of the signboard maps also provide rich information. The locations of the signboard maps are usually important places, such as the entrance of the facility and the place people easily miss the way. However, one of the disadvantage of the signboard maps is that they are not accessible anytime anywhere if users are far from them. To solve the problem, we propose a method to integrate the signboard maps in photos with digital maps to provide location based services with the signboard maps on smart phones.

2. Mapping Signboard Maps onto Digital Topographical Maps

An example of a signboard map we are going to integrate is a map of Kashiwa Campus at the University of Tokyo. We took the high resolution photos of the signboard maps in the campus. And we use a digital topographical map provided by The Geospatial Information Authority of Japan as the base maps.

We use the road intersection points as the control points of the photos. All the road intersection points are picked and are given the same coordinates as the corresponding points on the base maps. With the control points, we can map a user's location coordinates onto the photos including the signboard maps. However, factors such as the generalization, exaggeration, and the different of map projection used in the signboard maps make errors of the mapped user's location on the photo. And the errors of relative spatial relations, like locating the user on the wrong side of roads intersection, will easily mislead the users.

To ensure the relative spatial relationship of user's location with roads, we depict the roads on the photos, record their coordinates, and find the corresponding roads on the base maps. Instead of mapping the user's location directly onto the photos, we first map it onto the base map. Then we find the nearest road in the base map from the user's location. Then we map the location from the base map to the photo, so that the relative distance from user's location to the road keeps same and the foot point cuts the road with same proportion. As shown in the figure, AB and A'B' are corresponding roads in base map and in the photo, U and U' are the user's locations, V and V' are the nearest point on the road from user's location. Then, $AV/VB=A'V'/V'B'$, $UV/AB=U'V'/A'B'$.

3. Integrating Multiple Various Signboard Maps

As we have mentioned, the locations of signboard maps themselves are usually important places. We annotate in each signboard map the locations of other signboard maps. By doing so, we do not only tell the users the locations of other signboards, but also composed different signboard maps, each may refer to a relatively small local area, to form a larger map. While the user is moving out of the current map, we zoom out of the current map and zoom into another map in which the user's location falls.

4. Conclusion

The signboard maps are generally more artistic, more stylish and more thematic than commonly used digital navigation maps. And the locations of the signboard maps are also important. We proposed the method to integrate the signboard maps in photos with digital base map to provide location based service with signboard maps on smart phones.

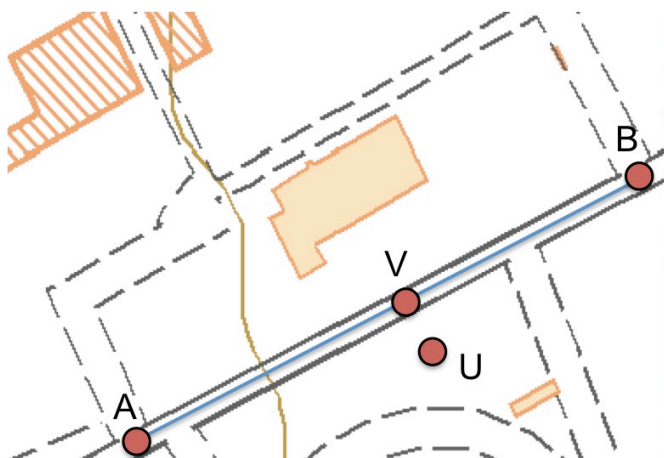
In this paper, we just made the experiment with the signboard maps of Kashiwa Campus at the University of Tokyo. In the future, we are going to cooperate with local governments and communities to collect and integrate more signboard maps on our proposed framework.

Keywords: Signboard Maps, Photos, Location-based Services, Relative Spatial References

MTT41-P14

会場:3階ポスター会場

時間:4月28日 18:15-19:30



地球地図データの新しい形式・表現での提供 Portrayal and Symbology of Global Map

安藤 暁史¹; 鶴生川 太郎¹; 齋藤 俊信^{1*}; 山田 晃子¹; 植田 摩耶¹; 須賀 正樹¹; 山崎 都子¹
ANDO, Akifumi¹; UBUKAWA, Taro¹; SAITO, Toshinobu^{1*}; YAMADA, Akiko¹; UEDA, Maya¹; SUGA, Masaki¹; YAMA-
MAZAKI, Satoko¹

¹ 国土地理院応用地理部環境地理課

¹Environmental Geography Division, Geocartographic Department

地球地図は、世界の国家地図作成機関が協力して整備する、地球全体を網羅する基礎的な地理空間情報データセットであり、統一仕様に基づいた8種類の主題情報（人口集中域・水系・交通網・境界・土地利用・土地被覆・植生・標高）が整備されている。2013年7月には、全球版第二版の土地被覆図や樹木被覆率図を公開した。地球地図データを他の有用な地理空間情報と組み合わせて分析することにより、自然活動に様々な影響を与える人間活動と森林分布の状況や土地の被覆の現状を知ることができる。本発表では、これら地球地図の利用促進のため、地図タイルを作成・配信を開始したことについて報告する。

キーワード: 地球地図, 地図表現

Keywords: Global Map, Map Symbology

地理空間情報の平面位置正確度の評価 Estimation of the Horizontal Positional Accuracy of Geospatial Data

小清水 寛^{1*}; 村上 真幸²
KOSHIMIZU, Hiroshi^{1*}; MURAKAMI, Masaki²

¹ 国土地理院, ² 国土地理院
¹GSI of Japan, ²GSI of Japan

測位情報精度の更なる向上への期待を背景として、測位情報を用いたサービスの更なる高度化へ向けた取り組みが活発になっている。例えば ITS (高度道路交通システム) サービス分野では、誰もが共通に利用できる高精度地図 (オーソリティマップ) を利用した各種運転支援サービスが検討されている。今後、測位情報とペアとなるべき地図の平面位置正確度に関する情報開示が、今まで以上の詳細さで求められると予想される。

地図を描画するための幾何情報が収録されている地理空間情報の位置正確度については、公共測量の作業規程の準則において標準偏差と呼ばれる指標の制限値が設定されている。縮尺が 1/2500 に相当する地図表現精度を有する数値地形図データに対する平面位置の標準偏差は、新規測量の場合には 1.75m 以内、修正測量の場合には 2.50m 以内と規定されている。

しかしながら、この規定値をそのまま地理空間情報の位置正確度とするには問題がある。まず、標準偏差と呼ばれる指標の従う確率分布が明示されていない。さらに、上記制限値は公共測量の実態や他国の制限値と比べて大きすぎるのではないかという問題提起が過去になされている。

そこで、米国連邦地理データ委員会 (FGDC) の位置正確度策定基準に影響を与えた Greenwalt-Shultz (1968) による二次元正規分布の考察結果を用いて、指標の明示的な定義を以下のように与える。地理空間情報のサンプル (地図) の検証点における残差 (測定された座標値と真とみなせる座標値との差) の水平成分 x, y を実現値にもつような確率変数を各々 X, Y とおく。残差に系統的誤差や異常値が含まれないならば、残差は平面位置正確度を表現するとみなせる。 $X (Y)$ が母平均 0, 母分散 $s_x^2 (s_y^2)$ を有する正規分布に従うと仮定し、確率密度関数を $f_x (f_y)$ とおく。 f_x と f_y を周辺密度関数にもつ二次元の確率密度関数を f とし、極座標変換を用いて検証点残差が半径 R の閉円盤に収まる確率 $P(R)$ を求めることができる。母分散 s_x と s_y が等しい場合には $s^2 = s_x^2$ で定義される指標 s^2 は $P(s^2) = 0.3935$ を満たす。母分散 s_x と s_y が等しくない場合には、 $P(R)$ を第一種変形ベッセル関数の積分変換の形式に変形して、数値計算することにより、 $P(s) = 0.3935$ を満たす s は $s = 0.5(s_x + s_y)$ と近似的に表現することができる。 s_x と s_y に等しい場合の s は s^2 に一致する。そこで、この s を Circular Standard Error (以下「CSE」と略す) と呼び、地理空間情報の平面位置正確度の指標とする。 s の推定値は検証点残差から得られる。

さらに、縮尺 1/2500 相当の数値地形図データのサンプル集合を対象として、CSE の平均値や実質的な制限値を大まかに見積もる調査を実施した。GNSS 測量機を用いた現地測量から検証点における真とみなせる座標値を求め、バイアスは事前に (極力) 除去している。その結果、CSE 推定値の平均値は 0.3~0.4m 程度、上限値は概ね 0.8m であることという見積もりが得られた。この見積もりは、地理空間情報の平面位置正確度の指標として CSE を採用するならば、指標制限値を国外の制限値並に厳しくする必要性を示唆している。

キーワード: 位置正確度
Keywords: positional accuracy

地形の高さ表現における連続断面の効果 Effectiveness of the consecutive cross sections expression for the relief representation

新井 陸^{1*}; 森田 喬²; 工藤 圭介¹
ARAI, Riku^{1*}; MORITA, Takashi²; KUDO, Keisuke¹

¹ 法政大学大学院デザイン工学研究科, ² 法政大学デザイン工学部

¹Graduate School of Engineering and Design, Hosei University, ²Faculty of Engineering and Design, Hosei University

地形の高さの表現方法としては、平面図における等高線や段彩図、さらに陰影を付すことにより立体感を与える陰影図などがある。近年は詳細な数値標高モデルにより、微地形に至るまで凹凸を表現できるようになっている。これらの表現方法により、空中写真では得にくい地形の変化を直観的に認知できるように示すことが可能となっている。

しかし、等高線のように、数量的に計測可能な形で地形の起伏を示すことも重要である。そこで、陰影段彩による地形凹凸地図に等高線を重ねたり、任意の断面を切り出したりすることで、特定の2地点間の起伏を可視化することも行われる。さらに、等間隔に平行な断面を連続的に切り出し連続断面に陰影処理を行うことで、主題図として地形を表現することも可能である。

これらの微地形の起伏を背景図として与え、その上にさまざまな主題情報を表現することにより、都市空間構造の成立要因が見えてくる。例えば、かつての江戸城の外濠は、一部は関東大震災の復興時に埋め立てられているが、市ヶ谷付近では貴重な水辺空間として現存している。この地点は、外濠通りに靖国通りが流入する場所であり交通量が多く、また、かつての門前町にあたる部分には多くのビルが乱立している。しかし、その間を抜けて、奥へ入り込むと、「市ヶ谷八幡」につながる。

市ヶ谷八幡は、山の手における神社の典型的な立地のあり方を示している。丘陵の縁に位置しており、小高いところに境内が設けられ、急な階段を下った門前には町家が並び、その間を抜ける参道がある。さらに進むと外濠に至る。この空間構造は、今も健在しており、江戸時代から不変の空間構造となっている。

そこで、本研究では、地形が与える都市空間構造への影響を検証するために、地形起伏の豊かな外濠周辺について、地形の高さ表現をいろいろ試みる。特に「市ヶ谷八幡」については、連続断面表現の効果を検討する。

結果として、微地形の起伏について、平面的な等高線や段彩陰影図だけでなく、斜めからの俯瞰図、さらには連続断面表現により詳細な地形勾配を表現した。これらに主題情報を重ねて表現することにより都市空間構造の成立要因について地形の影響について定量的情報も含んで議論することが可能となった。

キーワード: 地形図, 連続断面, 都市空間構造, 外濠, 山の手, 神社

Keywords: topographic map, consecutive cross sections, urban space structure, moat of a Edo castle, hilly sections of Tokyo, shrine

海底熱水域における水銀の質量非依存同位体分別 Mass-independent fractionation of mercury stable isotopes in deep-sea hydrothermal systems

武内 章記^{1*}; 富安 卓滋²; 児玉谷 仁²; 山本 正浩³; 丸茂 克美⁴

TAKEUCHI, Akinori^{1*}; TOMIYASU, Takashi²; KODAMATANI, Hitoshi²; YAMAMOTO, Masahiro³; MARUMO, Katsumi⁴

¹ 国立環境研究所, ² 鹿児島大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 富山大学

¹National Institute for Environmental Studies, ²Kagoshima University, ³JAMSTEC, ⁴University of Toyama

近年、CV-MC-ICP/MSを用いた水銀同位体分析システムによって、より詳細な水銀の環境動態や発生源を識別することが可能になってきた。水銀同位体比 ($\delta^{202}\text{Hg}$) は酸化還元作用や気液分離などの現象による質量依存同位体分別 (MDF) を示すのと同時に、奇数の同位体比 ($\delta^{199}\text{Hg}$ & $\delta^{201}\text{Hg}$) には質量非依存同位体分別 (MIF) を示すことが知られている。火山や熱水活動は、主要な自然由来の水銀放出源であり、これまでの先行研究によって地殻中を上昇する過程で気液分離が起こり、比較的低い $\delta^{202}\text{Hg}$ をもつ水銀が放出されていることが示されている。またこうした水銀は $\Delta^{199}\text{Hg}$ ($= \delta^{199}\text{Hg} - 0.252 \times \delta^{202}\text{Hg}$) に概ね約 0.2 ‰ の MIF を示すことが知られているが、その発生メカニズムは不明である。その理由に、これまでの研究は地表で採集した試料を対象としていたために、MIF が光還元反応による磁性同位体効果の影響で引き起こされたのか、それとも気液分離による核の体積効果によって引き起こされたのかを識別することができていないことが挙げられる。そこで本研究では、光還元反応の影響を受けない海底熱水域 (伊豆小笠原海域 明神礁 & 明神海丘) で採集した地質試料の水銀同位体比を分析した。分析した試料は概ね負の $\delta^{202}\text{Hg}$ (-1.0 - 0.5 ‰) を示したために、気液分離の影響で比較的低い $\delta^{202}\text{Hg}$ をもつ水銀が放出されているという知見を得た。それと同時に、こうした水銀の $\Delta^{199}\text{Hg}$ は、概ね約 0.1 - 0.2 ‰ であるという知見を得た。また奇数の同位体比の $\Delta^{199}\text{Hg} / \Delta^{201}\text{Hg}$ が 1.6 - 2.0 であることから、これらの水銀が核の体積効果の影響を受けていることが示唆される。この結果から火山活動によって放出される水銀に検出される MIF は、気液分離に伴う核の体積効果によって引き起こされていると考えられ、水銀汚染の発生源を識別する上で貴重な情報と成りうると思われる。

キーワード: 水銀同位体, 質量非依存同位体分別, 海底熱水域, 還元気化/マルチコレクター ICP/MS

Keywords: Mercury Isotope, MIF, Deep-sea Hydrothermal Systems, CV-MC-ICP/MS

水圏での金属イオンのスペシエーション：多種の酸素配位配位子の比較 Speciation of metal ions in water: comparison of their reactivities with oxygen-donor hard ligands

高橋 嘉夫^{1*}; 宮地 亜沙美¹; 田中 雅人¹
TAKAHASHI, Yoshio^{1*}; MIYAJI, Asami¹; TANAKA, Masato¹

¹ 広島大学大学院理学研究科

¹Graduate School of Science, Hiroshima University

Complexation of metal cations with ligands such as hydroxide ion, carbonate ion, carboxylate ion, and phosphate ion is one of the most important factors controlling behaviors of metal ions in natural environment. Previous studies showed that these ligands were classified as "intermediate hard ligands" having oxygen donor, which favors to form ionic bonding. However, it was found that the reactivity of these ligands depends on ionic radius and that there is a difference of the reactivity between hydroxide ion and other intermediate hard ligands such as carbonate and carboxylate. For example, among divalent alkaline earth metal ions, Mg²⁺ mainly precipitates as hydroxide (brucite), while Ca²⁺ prefers to form carbonate (calcite) or phosphate (apatite) minerals rather than hydroxide. However, quantitative discussion on the selectivity of metal cations has not been performed.

In this study, we evaluated the standard Gibbs free energy, entropy, and enthalpy for the complex formation of hydrated metal cations with these ligands based on a critical thermodynamic database. As a result, we found that the entropic contribution to the free energy was large in the case of hydroxide complex of smaller cation. In contrast, the entropic contribution to the free energy was small in the case of hydroxide complex of larger cation and other complexes. In addition, the enthalpy contribution was not significant in this reaction. In the aqueous complexation reaction, entropy was controlled by the number of water molecules replaced by the ligand, suggesting that hydroxide complex for large cation was not stable due to the small effect of dehydration.

This suggestion was confirmed by quantum mechanical calculations, which was performed with B3LYP/6-311+G* level using Gaussian 09. We calculated distance between metal (M) in the center and oxygen (O) in the ligand with the increase of number of water molecules placed in the vicinity of the metal ion. As a result, it was found that the M-O distance for hydroxide complex is larger than that of carbonate in the case of larger cation and vice versa. This means that hydroxide prefers to form outer-sphere complex for larger metal ion, which is not the case of other intermediate hard ligands. This result is consistent with what we suggested based on the thermodynamic data.

キーワード: スペシエーション, エントロピー, 錯生成, 加水分解, 量子化学計算

Keywords: Speciation, Entropy, Complexation, Hydrolysis, Quantum chemical calculation

ジルコン FT 年代と U-Pb 年代の一致性とその意義 Consistency between fission-track and U-Pb ages of zircon and its implications

岩野 英樹^{1*}; 檀原 徹¹
IWANO, Hideki^{1*}; DANHARA, Tohru¹

¹ 京都フィッショントラック
¹ Kyoto Fission-Track Co.

Following the recommendation by the Fission Track Working Group of the IUGS Subcommittee on Geochronology (Hurford, 1990), the fission-track method was transformed into a simplified and user-friendly dating tool. Standardization based on the common use of international age standards is what is called the zeta calibration. However, the adoption of the standardization scheme in which fission-track ages are determined against reference ages (K-Ar, Ar/Ar, Rb-Sr), and not based on physical parameters directly associated with the fission process, meant that the fission-track method lost its status as an independent geochronometer. Over the last two decades, we have investigated the problems of the absolute calibration approach, and we have finally demonstrated that it works well for zircon when using the external detector method (Danhara and Iwano, 2013). One of our conclusions is that the fission-track age for the Fish Canyon Tuff is 28.4 \pm 0.2 Ma. This is concordant with the recent zircon U-Pb ages (Schmitz and Bowring, 2001; Bachmann et al., 2007) and slightly older than the sanidine Ar/Ar age of 27.8 \pm 0.2 Ma, which is the reference age for the zeta calibration. We will discuss the consistency between fission-track and U-Pb ages of zircon from volcanic samples and give some comments on fission-track age standardization.

Bachmann et al. (2007) *Chemical Geology* 236, 134-166.

Danhara and Iwano (2013) *Island Arc*, 22, 264-279.

Hurford (1990) *Chemical Geology*, 80, 171-178.

Schmitz and Bowring (2001) *Goechimica et Cosmochimica Acta* 65, 2571-2587.

キーワード: ジルコン, FT 年代, U-Pb 年代, キャリブレーション
Keywords: zircon, fission-track age, U-Pb age, calibration

ガルバノ光学系を用いたLA-MC-ICPMSによるテーナイト相の鉄同位体比分析 Fe isotope measurement of taenite using LA-MC-ICPMS technique with Galvano scanner system

岡林 識起^{1*}; 平田 岳史¹
OKABAYASHI, Satoki^{1*}; HIRATA, Takafumi¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University

The laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICPMS) is widely accepted as the powerful technique to reveal the isotope ratios of solid sample. This technique can achieve the in-situ analysis of micro region with swiftness. On the other hand, it is difficult to avoid the mass spectrometric and non-mass spectrometric interferences from coexistent elements in this technique because the produced sample particles by laser ablation are directly introduced into the ICP with carrier gas. Such interferences have a potential to intercept to reveal the precise and accurate isotope data. The effect on the isotope ratios of analyte from coexistent elements can be corrected by using the standard material which include same amount of coexistent elements as the sample. However, synthesis of isotopic homogeneous solid material is extremely difficult.

In this study, we have developed a technique to measure the Fe isotope ratios of taenite in iron meteorites. The Fe isotope signature of iron meteorites is one of the key information to understand the core formation of planetesimals and terrestrial planets. However, the in-situ Fe isotope measurement of taenite is difficult because of the abundant Ni (>25 wt%) in it. In order to overcome this problem, we have applied Galvano mirrors and a telecentric optical system (Yokoyama et al., 2011) for LA-MC-ICPMS technique. In this technique, pure iron (IRMM-014) and pure Ni were ablated at a time using femtosecond laser with Galvano system as the Fe isotope standard. The ablated Ni amount was adjusted to the Ni amount in the taenite sample. The Fe isotope ratios ($^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$ and $^{57}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$) of taenite phases were measured using MC-ICPMS and the mass fractionation in the mass spectrometry was corrected by sample-standard bracketing technique. The precision and accuracy of Fe isotope data obtained by the presented technique will be discussed in this presentation. The isotope analytical technique developed in this study can be applied not only for taenite phase in iron meteorite but also for other sample which include coexistent elements.

Keywords: ICP-MS, laser ablation, taenite, Fe isotope, Galvano

地球内部の「水」を見るツール～超高压中性子ビームライン PLANET～ High-Pressure Neutron Beamline PLANET for investigating "Water" in the Earth

服部 高典^{1*}; 佐野 亜沙美¹; 有馬 寛²; 井上 徹³; 鍵 裕之⁴; 八木 健彦³
HATTORI, Takanori^{1*}; SANO, Asami¹; ARIMA, Hiroshi²; INOUE, Toru³; KAGI, Hiroyuki⁴; YAGI, Takehiko³

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 東北大学金属材料研究所, ³ 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ⁴ 東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設

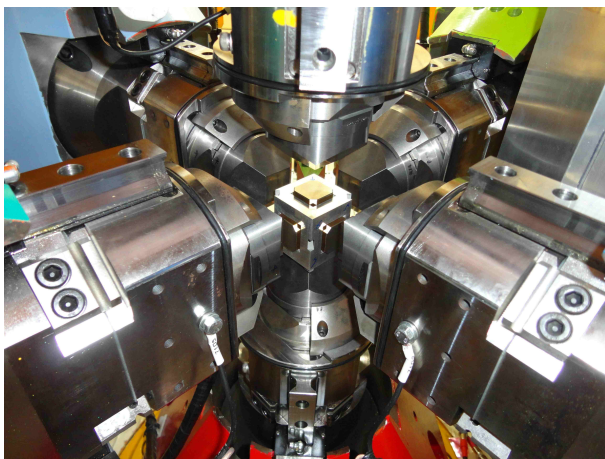
¹Japan Atomic Energy Agency, ²Institute for materials research, Tohoku university, ³Geodynamics Research Center, Ehime University, ⁴Geochemical Laboratory, Graduate School of Science, University of Tokyo

PLANET は、BL11 に建設された世界初の高温高压専用の中性子分光器である。その最大の特徴は、高温高压発生に優れたマルチアンビル型高压発生装置を用いて、約 20 万気圧 2000 度にある物質中の水、水素の状態を「中性子回折」及び「ラジオグラフィー」を用いて調べられる点にある。2008 年度から建設が始められ、2012 度下半期から実験が行われている。本発表では、装置デザイン及びこれまでに明らかとなった装置性能を紹介する。

PLANET は、さまざまな高压ユーザーの実験を想定し、結晶のみならず液体の構造解析が行える仕様となっている。回折パターンの分解能を実測した結果、デルタ $d/d \sim 0.6\%$ が実現しており、ほぼ設計値 (0.5%) に近い性能が出ていることが分かった。また、高压実験において問題となる試料周りの物質（ヒータや、試料容器）からの散乱を除去するために、シビアな入射および受光スリットを配置しており、加圧されたアセンブリ内の試料のみの情報を取り出せるようになっている。これらの工夫により、高压下でも、常圧データと比べ遜色ない大変クリアなパターンを取得することができ、これまでの高压中性子回折実験の常識を覆す革新的な中性子分光器となっている。

キーワード: 中性子, 高压, ビームライン, 含水

Keywords: neutron, high pressure, beamline, hydrous



J-PARC 高圧中性子ビームライン (PLANET) の地球惑星科学への応用 High-pressure neutron beamline at J-PARC and applications to earth and planetary sciences

鍵 裕之^{1*}; 飯塚 理子²; 小松 一生¹; 八木 健彦²; 永井 隆哉³; 井上 徹²; 佐野 亜沙美⁴; 服部 高典⁴
KAGI, Hiroyuki^{1*}; IIZUKA, Riko²; KOMATSU, Kazuki¹; YAGI, Takehiko²; NAGAI, Takaya³; INOUE, Toru²; SANJO, Asami⁴; HATTORI, Takanori⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ³ 北海道大学大学院理学研究科, ⁴ 日本原子力研究開発機構

¹Graduate School of Science, University of Tokyo, ²Geodynamic Research Center, Ehime University, ³Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁴Japan Atomic Energy Agency

Construction of the high-pressure dedicated beamline, PLANET, in Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) has been completed in 2012 and scientific programs for general users have just started in 2014. The PLANET beamline has a focusing mirror for incident neutron and two 90-degree detector banks. Each bank has 160 pieces of Position Sensitive Detectors (PSDs) filled with ³He gas. Each bank has a detector coverage of 90 ± 11 degree against the incident beam in the horizontal direction and 0 ± 35 degree in the vertical direction. Radial collimators are attached in front of the detector banks to reduce the background. The instrumental resolution is 0.6% in $\Delta d/d$. The accessible d-spacing is normally 0.2-4.2 Å and is doubled in a double-frame setup. The power of the proton beam is around 300 kW and will be increased to 600 kW in 2014. The most characteristic feature of the PLANET beamline is the multi-anvil apparatus with six independently acting 500-tonne rams (6-axis press called ATSUHIME). Using ATSUHIME, we successfully observed neutron diffraction patterns of hydrous minerals at high pressure and high temperature without any contamination from sample-surrounding materials such as pressure transmitting media, anvils, and so on. This clearly shows that the incident slit and radial collimator installed in the beamline are very effective to obtain the diffractions under high pressure.

We focus on pressure-responses on the structure of materials with hydrogen-bonding networks through neutron diffraction measurements at high pressure. These results will contribute to fundamental understanding of hydrous materials in the deep earth and icy material in the planets.

キーワード: 中性子, 中性子回折, 水素, 水, 高圧, 氷

Keywords: neutron, neutron diffraction, hydrogen, water, high pressure, ices

地球内起源ニュートリノによる新しい地球観測 Geo-neutrinos for advanced earth studies

田中 宏幸^{1*}
TANAKA, Hiroyuki^{1*}

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Neutrinos generated in Earth (geo-neutrinos) gives us information about the distribution of Uranium (U), thorium (Th), and potassium (K) inside Earth. Beta-decays of radionuclides U/Th/K inside Earth produce low energy anti-electron neutrinos (U and Th produces 7.41×10^7 neutrinos $\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ and 1.62×10^7 neutrinos $\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ respectively (without considering neutrino oscillation)) that traverse through Earth without being disturbed due to their extremely small interaction cross section with matter. Recent geo-neutrino observations have produced results that have a potential to support and clarify the current concerns of earth science: estimating the amount of contribution to the surface heat flux; constraining existing Earth's compositional estimates; and clarifying the origin of low shear velocity regions found at the core mantle boundary (CMB). Today, there are two detectors capable of measuring geoneutrinos: KamLAND, in Japan, and Borexino, in Italy. The KamLAND research team has found 116 ± 28 , 27 geoneutrino candidate events (generated through the decay processes of ^{238}U and ^{232}Th) during 2,991 days of geoneutrino observation (Gando et al. 2013). The contribution from geonuclear reactions to the heat flow, estimated from examination of the geoneutrino flux, reached 11.2 ± 7.9 , 5.1 TW. Although the volume of the Borexino detector (280 t) is much smaller than that of KamLAND (1,000 t), the background from reactor neutrinos is much lower than that for KamLAND because there are no nuclear power plants in Italy. Borexino detected 14.3 ± 4.4 geoneutrino candidates over 1353 days of observation. Both measurement results are consistent each other, and also reject the fully radiogenic model, which assumes that the total Earth's surface heat flux is completely originated from radiogenic heat from U, Th and K. The upper limit on the fully radiogenic heat flux hypothesis (Herndon 1996) was set to be 4.5 TW at 95% confidence level (Bellini et al. 2013).

Gando A, Gando Y, Hanakago H, Ikeda H, Inoue K, et al. 2013. Reactor on-off antineutrino measurement with KamLAND. Phys. Rev. D 88:033001.

Herndon JM. 1996. Substructure of the inner core of the Earth. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 93:646-48.

Bellini, G., Ianni, A., Ludhova, L., Mantovani, F., McDonough, W.F. 2013. Geo-neutrinos, Prog.Part.Nucl.Phys. 73:1-34

キーワード: ニュートリノ, ウラニウム, トリウム, マントル
Keywords: Neutrino, Uranium, Thorium, Mantle

マルチレンジ同位体イメージング技術の開発 Multi-range imaging mass spectrometry using laser ablation-ICP-mass spectrometry

平田 岳史^{1*}; 服部 健太郎¹; 小原 聖也¹
HIRATA, Takafumi^{1*}; HATTORI, Kentaro¹; OHARA, Seiya¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
¹ School of Science, Kyoto University

Time-resolved elemental and isotopic data can provide key information about the time changes of the geochemical conditions of the surface environment of the Earth, and therefore, critical restriction for the origin or evolutionary sequence of the surface environment of the Earth and the life could be derived. To obtain reliable and exclusive information from the samples, tremendous efforts have been given to develop various analytical techniques, which could provide both the higher elemental sensitivity and higher analytical throughput. Among the analytical techniques, plasma ion source mass spectrometer coupled with the laser ablation sample introduction technique (LA-ICPMS) has now become the most sensitive and user-friendly analytical tool to derive elemental and isotopic distribution among the different phases or minerals. Moreover, in the LA-ICPMS technique, atomization and ionization of the analytes were independently carried out from the sampling (i.e., post ionization technique), and therefore, the sampling and ionization conditions could be separately optimized. The post ionization technique results in the smaller contribution of the matrix effect, which could be the major source of analytical error. Furthermore, for the LA-ICPMS technique, sample was located under the atmospheric pressure sample cell, and laser induced sample aerosols were carried into the ICP ion source using a He carrier gas. This suggests that no evacuation of the sample housing is required, and therefore, biological cell or tissue samples (i.e., wet samples) can be directly subsided to elemental imaging analysis, obviating the drying or freezing procedure for the analysis. The LA-ICPMS technique has further advantages of imaging analysis for samples with various sizes, ranging from 10 microns to >10 mm. Because of high capability for quantitative imaging of ultratrace-elements, together with high analytical capability to measure large-sized samples, the LA-ICPMS technique has blossomed to become the key analytical technique for the imaging analysis of trace-elementals and isotopes. This is very important to obtain elemental and isotopic images for not only biological samples, but also various rock or minerals. In fact, imaging data for whole rock pierces or minerals can tell us the substantial process for the elemental distribution or diffusion among the samples. We should recall that we could not see the forest for the trees. Despite the obvious success in obtaining the elemental and isotopic imaging data, neither quantitative evaluation of the detection limits for the elements nor the dependence of the analytical conditions (e.g., laser pit size, raster rate, system setup or condition for data acquisition) onto the resulting spatial resolution were made. To investigate these, we have measured imaging analyses of several trace- and ultratrace-elements from meteorite samples and biochemical samples under the various analytical conditions. In this presentation, we will describe the effect of the system setup and operational settings onto the resulting spatial resolution and onto the limit of detection for the elements.

Keywords: laser ablation, ICP-mass spectrometry, imaging mass spectrometry, multi-scale imaging, trace-elements, quantitative imaging

分光式質量分析計による石筍中の流体包有物の水の同位体組成測定法の開発 Cavity ring-down spectroscopy for the isotope ratio measurements of water from fluid inclusions in stalagmites

植村 立^{1*}; 仲本 壯志¹; 儀保 雅一¹; 三嶋 悟¹; 浅海 竜司²

UEMURA, Ryu^{1*}; NAKAMOTO, Masashi¹; GIBO, Masakazu¹; MISHIMA, Satoru¹; ASAMI, Ryuji²

¹ 琉球大学 理学部 海洋自然科学科, ² 琉球大学 理学部 物質地球科学科

¹University of the Ryukyus, ²University of the Ryukyus

氷床コアと同様に過去の環境変動を記録し、かつ正確に年代が決定できる鍾乳石は、近年世界中で盛んに研究されている。なかでも、石筍の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) はモンスーン強度の復元などに利用されるが、降水や気温など様々な要因がその変動に寄与していると考えられ、その解釈は容易ではない。一般に、石筍の内部には CaCO_3 を生成した原料の滴下水が保存されていることが多い。高湿度の鍾乳洞内では、蒸発に起因する同位体分別が生じないため、石筍に含まれる流体包有物の水は、滴下水の同位体比を保存していると考えられる。 CaCO_3 を生成した水 (H_2O) と CaCO_3 のあいだの酸素同位体比の差は、温度のみに依存すると予想されるため、これに基づいて石筍生成時の気温を定量的に復元できると考えられる。これまでの研究では、水の同位体比は、水を他の気体に変換した後で磁場型の質量分析計を用いて測定されてきた (e.g. Dennis et al., 2001)。本研究では、測定の手間を削減して、抽出した水の同位体比を水分子のままキャビティリングダウン式分光計 (CRDS) で測定するラインを作成した。測定ラインは、真空下で水を抽出する前処理部と水同位体比を測定する検出器 (L2130-I Picarro) から構成されている。市販の液体試料を気化し CRDS に導入する装置 (Vaporizer, V1102-I, Picarro Ltd.) を参考にして、少試料量での測定に適した気化装置を制作した。開発した気化装置は内容積の小型化などにより、市販装置の約 10 分の 1 の試料量で測定可能となった。石筍中の流体包有物の測定精度は、同位体比が均一な同一層から石筍試料を複数切り出し、測定することで評価した。測定した石筍試料の重さは平均 151 mg (77 - 286 mg) で、抽出された水の量は平均 0.12 micro-L (0.01-0.26 micro-L)、同位体比測定の繰り返し精度は $\delta^{18}\text{O}$ で $\pm 0.2\text{permil}$ 、 δD で $\pm 1\text{permil}$ であった。この結果は、一般に高精度・高感度であるとされる IRMS を用いた研究と比較しても最高精度の研究と同等であり、必要試料量についてはこれまでの研究よりも少ない。年代が現在に近い沖縄の石筍の流体包有物の同位体組成は、現在の沖縄の降水と誤差範囲内で一致していた。この結果は、石筍中の流体包有物から過去の降水の同位体比組成を保存していることを示している。

キーワード: 安定同位体比, 流体包有物, 鍾乳石, 石筍, 古気候, CRDS

Keywords: Stable isotope, Fluid inclusion, Speleothem, Stalagmite, Paleoclimate, CRDS

高緯度サンゴを用いた酸素同位体比と Sr/Ca 比の骨格成長量依存性の評価および水温復元 Coral growth-rate insensitive Sr/Ca as a robust temperature recorder at the extreme latitudinal limits of Porites

平林 頌子^{1*}; 横山 祐典¹; 鈴木 淳²; 川久保 友太¹; 宮入 陽介¹; 岡井 貴司²; 野島 哲³
HIRABAYASHI, Shoko^{1*}; YOKOYAMA, Yusuke¹; SUZUKI, Atsushi²; KAWAKUBO, Yuta¹; MIYAIRI, Yosuke¹; OKAI, Takashi²; NOJIMA, Satoshi³

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 九州大学理学部附属天草臨海実験所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³ Amakusa Marine Biological Laboratory, Kyushu University

サンゴは過去数百年間の気候変動を季節単位で復元することが可能であるため、熱帯から亜熱帯域の詳細な気候復元に用いられている。近年の地球温暖化により、熱帯・亜熱帯に生息する造礁サンゴが北上し、日本列島の温帯域にも造礁サンゴが分布していることが確認された。したがって、これまで熱帯、亜熱帯域に限られていたサンゴ骨格気候学を適用し、より詳細な温帯域の長期気候値の復元可能性が出てきた。温帯域の造礁サンゴは地球温暖化や海洋酸性化の影響を敏感に反映し、骨格に記録していることが期待される。しかし、温帯域は熱帯・亜熱帯域とは SST や気候が異なり、サンゴ礁の形成可能な下限水温といわれる 18 °C を下回るような低水温や大型藻類との競争など、サンゴにとって過酷な生息環境であるため、温帯サンゴの SST 復元に用いられる Sr/Ca 比と酸素同位体比が水温をどのように骨格に記録するのか、検証する必要がある。

本研究では、サンゴの北限に近い熊本県天草市牛深にて採取されたサンゴの Sr/Ca 比を測定し、先行研究で測定された酸素同位体比と比較することで、酸素同位体比よりも Sr/Ca 比は成長量に依存せず、より正確に水温を記録するプロキシであることが確認された。したがって、成長量が小さい温帯サンゴから水温を復元するには、Sr/Ca 比の方が酸素同位体比よりも適していることが明らかになった。また、牛深にて採取した別のサンゴ 2 群体についても Sr/Ca 比測定を行い、異なる群体による水温復元の違いの評価を行った。現段階では、1 群体のみを使用して精度の良い水温換算式を作成するのは難しいが、複数群体用いて復元をすれば、温帯サンゴであっても観測水温と復元水温の差は約 1 °C におさまり、今後、温帯域の化石サンゴを用いて水温復元をするという古環境復元の利用の可能性が期待できる。

有機物から最大限の情報を引き出すために
Maximizing organic records: Recent achievements and future directions

大河内 直彦^{1*}; 力石 嘉人¹; 高野 淑識¹; 小川 奈々子¹
OHKOUCHI, Naohiko^{1*}; CHIKARAISHI, Yoshito¹; TAKANO, Yoshinori¹; OGAWA, Nanako¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Molecular isotopic record in either organisms or sediments has been proven useful for better understanding the bio(geo)chemical processes, reconstructing paleo-environment, etc. During the last decades, target molecules have been expanding from simple lipids to complex physiologically active compounds. There are two key issues to push this molecular tool more useful and more efficient: 1) Purity of the target compounds that are extracted from environmental samples (generally a complex mixture of organic compounds), and 2) sensitivity of isotope-ratio mass spectrometry (IRMS) system for precisely measuring isotopic compositions. In this presentation we will overview the recent advances in these two issues, and how these achievements contributed to the progresses in our knowledge. We also try to mention in the future challenges of molecular isotopic signatures.

キーワード: 有機分子, 同位体比, 窒素, 炭素
Keywords: Organic molecule, isotopic composition, nitrogen, carbon

アミノ酸の安定同位体比を正確かつ感度良く測定するための分析法 Precise and sensitive determination of stable isotopic compositions of amino acids

力石 嘉人^{1*}; 高野 淑識¹; 大河内 直彦¹

CHIKARAISHI, Yoshito^{1*}; TAKANO, Yoshinori¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ (独) 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Amino acids are biologically central and functional organic compounds. Their molecular and stable isotope profiles have been employed as a tool in various fields of studies, particularly for understanding of the trophic energy flow of food web ecology as well as for estimating the origin of amino acid procurers in extraterrestrial samples (e.g., meteorites). One of the most powerful techniques in the stable isotope studies of amino acids is compound-specific isotope analysis (CSIA) by gas chromatography/isotope ratio mass spectrometry (GC/IRMS), which potentially allows a rapid and precise determination of H, C, N, O, and S isotopic compositions of individual amino acids in complex mixture of samples. However, (1) isotopic fractionation and exchange during pretreatment (e.g., hydrolysis, extraction, purification, and derivatization) of samples, (2) chromatographic separation among individual amino acids, and (3) less sensitivity on GC/C/IRMS (i.e., 10-50 nmol of elements is required) are always problematic in CSIA of amino acids.

In the presentation, we will briefly review these issues on CSIA of amino acids, and show current advances in the precise and sensitive determination of C and N isotopic compositions of amino acids (i.e., within 0.4-0.8 permil for a minimum sample amount of 0.5 nmol element), based on the minimizing isotopic fractionation during HPLC purification and derivatization as well as reducing leak and background variation in GC/IRMS instrument. With this method, we can access C and N isotopic signature of wide range of samples including amino acids in bacteria and archea isolated from natural environments as well as amino acid procurers in meteorites.

キーワード: 安定同位体, アミノ酸, 食物連鎖, 隕石

Keywords: stable isotope, amino acids, food web, meteorite

「軽い」アミノ酸と地球化学の接点 On the role of amino acid metabolism and a biogeochemical linkage

高野 淑識^{1*}; 力石 嘉人¹; 大河内 直彦¹
TAKANO, Yoshinori^{1*}; CHIKARAISHI, Yoshito¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

1. はじめに

近年、「地下圏あるいは地球深部」のサイエンスで最も興味深いトピックの一つは、「Deep Biosphere」(地下生物圏あるいは地下生命圏とも呼ばれる)であろう。その共通概念は、異分野間でも広く認識されるようになった。地球科学と生命科学を分野横断的にカバーする新しい分野とも言える。ある環境から「地下生物圏」ではなく、化学(純粋な物質組成のみ)と物理(温度、圧力、pH等)のみが支配する「非生命圏」となる。ミクロな世界で駆動されている有機的な地球化学プロセスは、分子情報として入手することができる。最先端の知見をさらに詳しく明らかにするためには、分子レベルで解読できるような新しい技術開発が、一つの鍵になる。

2. 世界的に存在する第3の生物界「アーキア」(Archaea)と物質循環

新しい生物界「アーキア(古細菌)」の提唱以来(Woese and Fox, 1977)、その存在は、高温や高塩等の極限環境だけでなく、海洋(水柱・海底下)や陸上(水圏・土壌)を問わず、広汎的に棲息する原核生物であることが理解されるようになった。近年、これまで認知されてきたアーキアの2大門レベルであるユーリアーキオータ門およびクレンアーキオータ門の他、さらに新しい分類群のタウムアーキオータ門、コルアーキオータ門、ナノアーキオータ門の多様性が見えつつある。

アーキアは、全球的な物質循環の主役の一つともいえる。炭素の形態は、最も酸化的なCO₂、最も還元的なCH₄、そしてその中間である有機態炭素Cn(H₂O)_mの3つである。海底下に広く棲息するメタン生成アーキアは、深部の還元環境でもメタンを生成している(cf. Coenzyme F430: Takano et al., 2013)。地下圏には、逆に、メタンを炭素源にする嫌気的メタン酸化アーキア群も存在する。そのANME(Anaerobic Methanotroph)-1, ANME-2, ANME-3と呼ばれる系統分類群は、メタンを生化学的に分解している。さらに、嫌気的メタン酸化アーキア群集の中では、窒素固定が行われていること(Dekas et al., 2009)、そのメタン酸化アーキアは、メタン生成の逆反応から炭素源を同時に得ていること(Shima et al., 2012)等の発見が相次いでいる。

3. 中央代謝系としてのアミノ酸の重要性

原核生物1細胞あたりの化学組成を比較すると、主にタンパク質、核酸、炭水化物、脂質の4つに分類される。このうち、タンパク質の割合は優に5割を超え、中央代謝としての役割が大きい。タンパク質は、アミノ酸の基礎単位がペプチド結合で連なる生体高分子である。構造タンパク質と触媒タンパク質(酵素)という2つの主要なタンパク質群があり、いずれも加水分解すると α -アミノ酸が得られる。近年、このアミノ酸分子の同位体組成の規格式を用いて生態学的な食性を定量的に解析する研究が進められている(e.g., Chikaraishi et al., 2009)。アミノ酸は、地球生物圏(地下生物圏も含む)での合成と分解の間で準安定的に存在し、生細胞内の中央代謝系としてだけではなく、食性連鎖を通じた生体エネルギーの転換の担い手としても重要である。ここでは、最近になって分かってきたアミノ酸分子の知見から、地球化学的に重要な接点の一つを探ってみたい。

【References】

Ohkouchi, N. and Takano, Y. Organic nitrogen: sources, fates, and chemistry. Treatise on Geochemistry, 10: Organic Geochemistry (Edited by Birrer, B., Falkowski, P., Freeman, K.), Vol. 12, Elsevier, pp. 251-289 (2014).

Takano et al., Detection of coenzyme F430 in deep-sea sediments: A key molecule for biological methanogenesis. Organic Geochemistry, 58, 137-140 (2013).

Chikaraishi et al., Determination of aquatic food-web structure based on compound-specific nitrogen isotopic composition of amino acids. Limnology and Oceanography: Method, 7, 740-750 (2010).

キーワード: アミノ酸, 地球化学, 第3の生物界「アーキア」

Keywords: amino acid metabolism, deep-sea benthic archaea, a biogeochemical linkage

MC-ICP-MS による火山岩のホウ素同位体分析のための簡便なホウ素分離方法の開発
Simple method for separation of boron from volcanic rocks for isotopic analysis by MC-ICP-MS

新城 竜一^{1*}; 濱田 遊学¹
SHINJO, Ryuichi^{1*}; HAMADA, Yukinori¹

¹ 琉球大学理
¹Univ. Ryukyus

We developed a simple and thus effective method of separation of boron from volcanic rocks.

It has been suggested that easy volatilization of boron and isotopic fractionation during evaporation step after HF decomposition of silicate rock samples; therefore procedure of evaporation at low-temperature (<80C) with mannitol (which suppress volatilization) under boron-free specific experiment environment has been utilized.

Our new method dose not require evaporation step, thus effectively preventing boron volatilization and related fractionation. Contamination opportunity can also be reduced. In our method, supernatant HF solution at sample digestion step is loaded onto mini-column cartridge of Amberlite IRA 743 (0.25mL) with no evaporation step. Recovery yield for silicate rocks was generally >80%. To evaluate our method, the GSJ rock standards (JB-2, JB-3 and JR-2) were analyzed by following the proposed method. Measured boron isotopic compositions for these rocks were in good agreement with preferred values.

サブミクロン局所 U-Pb 年代分析に向けたレーザーイオン化 SNMS の開発 Development on submicron-scale U-Pb dating by Laser post-ionized SNMS

寺田 健太郎^{1*}; 中林 誠¹; 上岡 萌¹; 豊田 岐聡¹; 石原 盛男¹; 中村 亮介²; 青木 順¹; 日野 裕太¹
TERADA, Kentaro^{1*}; NAKABAYASHI, Makoto¹; KAMIOKA, Moe¹; TOYODA, Michisato¹; ISHIHARA, Morio¹; NAKA-
MURA, Ryosuke²; AOKI, Jun¹; HINO, Yuta¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科, ² 大阪大学産学連携本部

¹ Graduate School of Science, Osaka University, ² Office for University-Industry Collaboration, Osaka University

ウラン放射壊変系を利用した岩石・化石試料の U-Pb 年代分析法は、太陽系の進化や地球史を明らかにする上で必要不可欠な絶対年代情報を与える。特に、ウランを多く含む閉鎖温度の高い鉱物（ジルコンやアパタイトなど）をターゲットにした、2 次イオン質量分析計（SIMS）による局所 U-Pb 年代分析は、地球惑星科学の発展に多大な貢献をしてきた（例えば、Terada and Sano 2012）。しかしながら、1 次イオンビーム（酸素イオン）を照射し生成される 2 次イオン（U⁺, Pb⁺）を質量分離する SIMS は、イオン化効率が 1 % 以下と低い事が最大の弱点であった。そこで我々のグループでは、スパッタされた中性原子を、高強度レーザー照射によってポストイオン化することでイオン収量を増加させるレーザーイオン化 SNMS (Sputtered Neutral Mass Spectrometry) の開発を行ってきた (Ishihara et al. 2010)。本発表では、サブミクロンスケールの高精度 U-Pb 年代測定を行うことを目指し、0.1 μ m 径まで絞れる Ga イオン源+フェムト秒レーザー+多重周回型 Time of Flight (MULTUM II) からなる装置の開発現状について報告する。Pb 板の測定においては、 1.2×10^{14} W/cm² のレーザー照射時にイオン化効率を最大で 700 倍に増加させることに成功した。また 2 次イオンを多重周回型 time-of-flight (TOF) で長時間飛行させることで質量分解能約 1 万を達成した (従来のセクター型の SIMS では約 5000)。当日は、同システムの特長評価、および天然鉱物試料の測定に向けての課題についても報告する。

参考文献

- 1) Terada and Sano, Mass Spectrometry, 1, p.A0011 (2012).
- 2) Ishihara et al., Surf. Interface Anal., 42, 1598-1602 (2010).

キーワード: U-Pb 年代, 質量分析, 局所分析, 同位体分析

Keywords: U-Pb dating, mass spectrometry, in-situ analysis, isotope analysis

放射性セシウムの固相吸着に与える有機物の阻害効果：チェルノブイリ市プリピャチ川の懸濁粒子分析
Inhibition effect of natural organic matter on adsorption of radiocesium onto particulate matters in Pripyat River

菅 大暉^{1*}; Fan Qiaohui¹; 武市 泰男²; 田中 万也³; 近藤 宏壮¹; Kanivets Vladimir V⁴; 坂口 綾¹; 井波 暢人²; 小野 寛太²; 高橋 嘉夫¹

SUGA, Hiroki^{1*}; FAN, Qiaohui¹; TAKEICHI, Yasuo²; TANAKA, Kazuya³; KONDO, Hiroaki¹; KANIVETS, Vladimir v⁴; SAKAGUCHI, Aya¹; INAMI, Nobuhito²; ONO, Kanta²; TAKAHASHI, Yoshio¹

¹ 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻, ² 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, ³ 広島大学サステナブル・ディベロップメント実践研究センター, ⁴ ウクライナ水分気象学研究所

¹Department of Earth and planetary system science, Hiroshima University, ²Institute of Materials Structure Science, High-Energy Accelerator Research Organization (KEK), ³Institute for Sustainable Science and Development, Hiroshima University, ⁴Ukrainian Hydrometeorological Institute

Radiocesium have been emitted to environment originated from nuclear weapon tests and nuclear accidents such as in Chernobyl and Fukushima. Among various sources, the nuclear accidents in Chernobyl and Fukushima have caused serious contaminations in land-surface around these areas due to the deposition of the radionuclides dispersed via. atmosphere as aerosols. Subsequently, radiocesium can be transported via rivers into oceans. In the soil- river-sediment system, radiocesium has high affinity for particulate matters, in particular for clay minerals. The high affinity has been shown to be the results of specific adsorption to frayed edge site (FES) and interlayer site in 2:1 phyllosilicate as inner-sphere (IS) complexes. However, it has been indicated that cesium adsorption to clay minerals can be blocked by natural organic matters (NOM) that adsorb on the mineral surface. NOM are ubiquitous and play various important roles on the adsorption of metal ions on particulate matters such as (i) promotion of adsorption of metal ions by the complexation with NOM and (ii) inhibition of adsorption by covering the particulate matters. High availability of Cs in soils with relatively high organic matter content was explained in terms of the blocking of access of cesium to specific adsorption sites (such as FES and interlayer site) of the clay mineral.

In river waters in Fukushima, it has been indicated that more than 70% of radiocesium is adsorbed on particulate matters. In contrast, Sansone et al. (1996) showed that more than 70% of radiocesium was in the dissolved fraction in Chernobyl. One critically important difference between the two sites is that peat, which contains large amount of NOM, is the main surface layer in the Chernobyl area. These NOM can be introduced into the Pripyat River that can coat on the particulate matters in river waters. Thus, it is possible that high content of NOM in rivers (e.g., Pripyat River) in Chernobyl can be responsible for the larger fraction of dissolved radiocesium compared with that in Fukushima due to the blocking effect by the NOM. In this study, therefore, adsorption of cesium on particulate matters collected in the Pripyat River with the characterization of the particulate matters have been conducted to study whether the blocking effect is affecting the adsorption behavior of cesium.

Here, we examined Cs LIII-edge extended x-ray absorption fine structure (EXAFS) to study the cesium species adsorbed on the particulate matters collected from Pripyat River and also on the particulate matters after the removal of NOM by the treatment with hydrogen peroxide. To characterize the particulate matter, distribution image of organic substances on the particulate matter was analyzed by compact Scanning Transmission X-ray Microscope (cSTXM) newly developed in Photon Factory, KEK in Tsukuba, Japan. After the cSTXM imaging, characterization of NOM was conducted by near edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) at the C K-edge measured for the NOM by cSTXM.

From this study, blocking effect of cesium adsorption to clay minerals by humic acid was confirmed in natural particulate matter in Pripyat River, which might be related to the larger dissolved fraction of radiocesium around Chernobyl area, compared with that in rivers in Fukushima area.

Keywords: chernobyl, natural organic carbon, STXM

新しい海洋生態系トレーサーとしての魚中ヨウ素 129 の分析法確立 Development of the technique for determination of I-129 in fish samples as new tracer of marine ecosystem

楠野 葉瑠香^{1*}; 松崎 浩之¹; 永田 俊²; 宮入 陽介²; 横山 祐典²; 大河内 直彦³; 徳山 裕憲¹
KUSUNO, Haruka^{1*}; MATSUZAKI, Hiroyuki¹; NAGATA, Toshi²; MIYAIRI, Yosuke²; YOKOYAMA, Yusuke²; OHKOUCHI, Naohiko³; TOKUYAMA, Hironori¹

¹ 東京大学大学院工学系研究科, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹School of Engineering, The University of Tokyo, ²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The availability of ¹²⁹I as a new tracer for marine ecosystem was examined.

The iodine isotopic ratio (¹²⁹I/¹²⁷I) in seawater is determined by the anthropogenic ¹²⁹I transferred from the atmosphere, i.e., it shows very high ratio as the order of 10⁻¹⁰ for ¹²⁹I/¹²⁷I at the surface or surface mixing layer and suddenly decreases going deeper to some of 10⁻¹² or lower. Iodine isotopic ratio (¹²⁹I/¹²⁷I) of marine lives like fish should be determined by their habitats and the ways exchanging iodine with seawater. This means that the iodine isotopic ratio is potential indicator of marine ecosystem. However there have been only few studies using ¹²⁹I for marine ecosystem. This is because ¹²⁹I is so trace in the marine lives that ordinary analytical techniques cannot detect.

Recent development of analytical technique for ¹²⁹I using AMS (Accelerator Mass Spectrometry) enables determine trace amount of ¹²⁹I concentration in environmental samples.

In this study the pyrohydrolysis method was applied to extract iodine from fish samples. A freeze-dried and homogenized fish sample, 0.1g to 0.5g, was combusted in the quartz tube under oxygen and water vapor flow. Iodine was extracted into an alkaline solution. An aliquot of this solution was taken for ICP-MS analysis to determine the stable iodine (¹²⁷I) concentration. The remaining was, added with carrier iodine (about 1 mg), purified by solvent extraction and collected as AgI precipitation. ¹²⁹I/¹²⁷I ratio was determined by AMS. From the AMS result and the ¹²⁷I concentration, the ¹²⁹I/¹²⁷I ratio of the fish samples themselves can be calculated.

The extraction yield was evaluated using IAEA-414 fish standard sample. Background in the pyrohydrolysis was also examined.

The preliminary results of fish samples, collected from Suruga-bay (located on Pacific coast in the middle of Honshu, Japan) showed 1×10⁻¹⁰ to 7×10⁻¹⁰, which was consistent with that of surface seawater.

キーワード: ヨウ素 129, トレーサー, 海洋生態系, 魚, AMS

Keywords: Iodine-129, tracer, marine ecosystem, fish, AMS

耳石のLA-HR-ICPMSによる微量元素分析から推定する北西インド Kutch 湾に生息するナマズの生態—中期完新世の古水温復元に向けて—
Exploring the ecology of catfish through trace elements analyses of otolith by LA-HR-ICPMS to reconstruct palaeo-SST

雨川 翔太^{1*}; 横山 祐典¹; 窪田 薫¹; 坂井 三郎²
AMEKAWA, Shota^{1*}; YOKOYAMA, Yusuke¹; KUBOTA, Kaoru¹; SAKAI, Saburo²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Otoliths are incrementally precipitated aragonite biominerals found within the inner ear of all teleost fish. Previous studies show that oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) of otolith aragonite precipitate in equilibrium with those of seawater regarding ambient water temperature (Campana, 1999). Therefore, ($\delta^{18}\text{O}$) of otolith can be used as a strong thermometer for reconstructing the past environment. In the meantime, fish habitats are necessary to be revealed before understanding the palaeoenvironments using otolith due to its nature as biomineral associated with fish. Thus we applied trace element measurements in the specimens to identify the habitable zones namely marine, brackish and freshwater. Strontium abundance in carbonate samples (Sr/Ca) is the best indicator to be employed because of distinct differences in concentration in marine and riverine waters (Walther and Thorrold, 2006). The present study is therefore aiming for identifying the past fish ecology using Sr/Ca in otoliths measured by newly developed laser ablation (ArF excimer) high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-HR-ICPMS). The study area is the Gulf of Kutch in Gujarat district, northwestern part of India. This area is strongly influenced by Indian monsoon, which is characterized as distinct seasonal rainfall (humid summer and dry winter). Salinity distribution within the Gulf of Kutch is unusual compared with general river-estuary system. Lower salinity (~ 37) is observed in the inner part, whereas higher values (>40) are observed near the mouth (Vethamony et al., 2007). In this study, we analyze both modern and fossil otoliths. Fossil otoliths were excavated from archaeological sites of Harappan Civilization located in Bagasra and Datrana. According to otolith morphology, they probably the otoliths of Siluriformes Ariidae catfish, known as marine catfish. Trace element concentrations relative to Ca (23Na, 25Mg, 55Mn, 88Sr and 137Ba / 43Ca) were measured along with growth bands of otoliths. They are measured using LA-HR-ICPMS. The system is consisted with Thermo Finnigan Element XR high resolution inductively coupled plasma mass spectrometer coupled to Resonetics 193 nm excimer laser ablation system installed at Atmosphere and Ocean Research Institute. Nine modern and 16 fossil otoliths thin sections were prepared and 6 modern and 4 fossil sections were analyzed using LA-HR-ICPMS. Abrupt changes in Sr/Ca with an amplitude of as much as 3 mmol/mol within ~ 2 weeks suggest fish migration between freshwater and the seawater. From a conservative mixing model for Sr/Ca of estuarine water, the fish has migrated to riverine environment sometimes in their life since the model predicts small changes in Sr/Ca of water if salinity is higher than ~ 5 unit. It is rather changes in Sr concentrations in ambient water than that for water temperature or salinity in the gulf.

キーワード: 耳石, 微量元素分析, 酸素同位体比, レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析, カッチ湾
Keywords: otolith, trace element, oxygen isotope, LA-HR-ICPMS, Gulf of Kutch

地球表層プロセス研究のための ^{10}Be 測定:バックグラウンド低減のための前処理法の改良 Improved ^{10}Be preparation to reduce analytical background for earth surface process studies

山根 雅子^{1*}; 横山 祐典²; 宮入 陽介²; 堀内 一穂³; 松崎 浩之⁴
YAMANE, Masako^{1*}; YOKOYAMA, Yusuke²; MIYAIRI, Yosuke²; HORIUCHI, Kazuho³; MATSUZAKI, Hiroyuki⁴

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 弘前大学, ⁴ 東京大学工学系研究科
¹JAMSTEC, ²AORI, Univ. Tokyo, ³Hirosaki Univ., ⁴Grad. Sch. Eng., Univ. Tokyo

石英中のベリリウム - 10 (^{10}Be) は宇宙線照射生成核種であり、加速器質量分析 (AMS) 法の発展とともに、年代決定や地球表層プロセスの理解などに用いられてきた (例えば、Gosse and Phillips, 2001)。本手法の適用範囲の拡大のためには、 ^{10}Be 濃度が低い (すなわち、露出年代が若い、もしくは、浸食速度が早い) 試料の測定が不可欠であり、そのためにはバックグラウンドを下げる必要がある。特に、同重体であるホウ素 - 10 (^{10}B) の混入を防ぐ前処理法の開発は必須である。本研究は、 ^{10}Be -AMS 測定のための前処理法の改良を行い、 ^{10}Be のバックグラウンドを下げることを目的として行った。その結果、バックグラウンドに最も影響を与えるのは、酸化時の試料の大気暴露時間の長さであることが明らかになり、電子レンジるつぼを使用し酸化時間を短縮することなどが重要であることが明らかになった (Yokoyama *et al.*, submitted)。講演では、分析結果の概要などを報告する。

キーワード: ベリリウム - 10, バックグラウンド, 地球表層プロセス, 加速器質量分析
Keywords: beryllium-10, background, earth surface process, Accelerator Mass Spectrometry

東京大学大気海洋研究所 AMS 用試料処理システムの構築 Radiocarbon pretreatment system of AORI AMS

宮入 陽介^{1*}; 横山 祐典¹; 山根 雅子²; 平林 頌子¹

MIYAIRI, Yosuke^{1*}; YOKOYAMA, Yusuke¹; YAMANE, Masako²; HIRABAYASHI, Shoko¹

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

加速器質量分析 (AMS) 法を用いた放射性炭素分析法の進歩は目覚ましく、現在は測定誤差 2.5 ‰程度の超高精度測定が主流となってきた。さらに分析装置の小型化も進み、以前は加速電圧 5MV 程度の大型タンデム加速器を用いていたものが、現在では小型の 250KV シングルエンド型加速器を用いたシステムも開発がされている。分析装置が小型化されることにより、操作性の向上やメンテナンスが容易になり、低コスト・高効率で高精度 14C 分析が可能となった。

昨年 2 月に国内で初めてシングルステージ型加速器質量分析計を東京大学大気海洋研究所に導入した。本装置は 5m × 7m の小型の放射性炭素分析に特化した AMS 機器であり、250KV と低い加速電圧で放射性炭素分析を可能とした。従来 AMS 装置に比べ、メンテナンスが容易であり、測定効率も一か月に約 600 検体の分析が可能と非常に高い。これらの特徴を備える本装置は今まで困難であった 14C を用いた高精度多点数分析に利用可能な装置であるといえる。AMS 装置の高精度、高効率化に伴い、それらに対応可能な前処理システムの構築も重要となる。

シングルステージ型加速器質量分析計導入に伴い、大気海洋研究所における放射性炭素年代測定前処理システムの構築を行ってきた。本発表ではシステムの詳細と本システムによって可能となる AMS 分析システムの地球化学分野への応用について述べる。

キーワード: 放射性炭素, 加速器質量分析, 試料処理, 放射性炭素年代測定

Keywords: Radiocarbon, AMS, Accelerator Mass Spectrometry, 14C

南極昭和基地周辺における多地点インフラサウンド観測 Multi-site infrasound observation around Syowa station, Antarctica

柿並 義宏^{1*}; 岡田 和見⁶; 山本 真行¹; 金尾 政紀²; 村山 貴彦³; 松島 健⁴; 石原 吉明⁵
KAKINAMI, Yoshihiro^{1*}; OKADA, Kazumi⁶; YAMAMOTO, Masa-yuki¹; KANAO, Masaki²; MURAYAMA, Takahiko³; MATSUSHIMA, Takeshi⁴; ISHIHARA, Yoshiaki⁵

¹ 高知工科大学, ² 国立極地研究所, ³ 日本気象協会, ⁴ 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター, ⁵ 宇宙航空研究開発機構 月・惑星プログラムグループ 研究開発室, ⁶ 北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター

¹Kochi University of Technology, ²National Institute of Polar Research, ³Japan Weather Association, ⁴Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, ⁵JAXA Space Exploration Center, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁶Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

Infrasound is one of the frontier fields in geophysics to observe atmospheric events. World wide infrasound observing network has been constructed as the CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) to detect infrasound signal from huge artificial explosions, however, the CTBTO infrasound observing stations usually catch the natural infrasonic waves generated by many geophysical events, like volcanic eruptions, earthquakes, tsunamis, etc. For example, when a huge meteorite fall was observed near Chelyabinsk, Russia in 2012, the induced infrasonic waves reached to many distant CTBTO stations more than 10,000 km apart from. In the polar region, there exists local infrasound sources generated mainly by the ice sheets on ground, ice field, and glacier motions. Icequakes have been frequently monitored by seismic stations in polar region, however, monitoring of induced atmospheric infrasonic waves through lithosphere-atmosphere coupling is still in progress. We installed an infrasound sensor at Syowa station, Antarctica in 2008 during IPY (International Polar Year) period by JARE (Japanese Antarctic Research Expedition) 49 mission. However, the direction-finding of the infrasonic waves is significant to study the comparison between the seismic data, thus, 2 sensors were added on Syowa to make a triangle sensor array in 2013 by JARE 54. In addition, 5 more sensors were installed at 5 locations around Syowa in 2013 (Murayama et al., 2013).

The infrasound data observed at Syowa can be transferred to Japan via satellite connection, however, the data recorded by data logger at the stations near Syowa cannot be obtained without visiting there. In JARE 55 mission, we obtained one-year infrasound observation data recorded at several stations around Syowa and will return them back to Japan in March 2014. In this paper, we will introduce some preliminary results obtained in Antarctica as the first multi-site infrasound observation at the frozen continent.

キーワード: インフラサウンド, 南極, 多地点観測, 南極地域観測隊, 氷震
Keywords: ifrasound, Antarctica, multi-site observation, JARE, ice quake

南極のインフラサウンドデータでみられる各種波動の特徴について Characteristic features of infrasound waves observed at Antarctica

金尾 政紀^{1*}; 村山 貴彦²; 山本 真行³; 石原 吉明⁴; 柿並 義宏³; 岡田 和見⁵; 松島 健⁶
KANAOKI, Masaki^{1*}; MURAYAMA, Takahiko²; YAMAMOTO, Masa-yuki³; ISHIHARA, Yoshiaki⁴; KAKINAMI, Yoshihiro³
; OKADA, Kazumi⁵; MATSUSHIMA, Takeshi⁶

¹ 国立極地研究所, ² 日本気象協会, ³ 高知工科大学, ⁴ 宇宙航空研究開発機構, ⁵ 北海道大学, ⁶ 九州大学
¹National Institute of Polar Research, ²Japan Weather Association, ³Kochi University of Technology, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Hokkaido University, ⁶Kyushu University

Characteristic features of infrasound waves observed at Antarctica reveal the physical interaction involving surface environmental variations in the continent and surrounding Southern Oceans. A single infrasound sensor has been continuously recorded since 2008 at Syowa Station (SYO; 39E, 69S), the Lutzow-Holm Bay (LHB), East Antarctica. The continuously recording data clearly represent a contamination of the background oceanic signals (microbaroms) during whole seasons. In austral summer in 2013, several field stations by infrasound sensors are established along the coast of the LHB. Two infrasound arrays with different diameter size are installed at both SYO (by 100 m spacing triangle) and S16 area on continental ice sheet (by 1000 m spacing triangle). Besides these arrays, two isolated single stations are deployed at two outcrops in LHB. These newly established arrays clearly detected the propagating directions and frequency contents of the microbaroms from Southern Ocean. Microbaroms measurements are a useful tool for characterizing ocean wave climate, complementing other oceanographic and geophysical data in the Antarctic. Moreover, several kind of remarkable infrasound signals are demonstrated, such as regional earthquakes, together with a detection of the airburst shock waves generated from meteorite injection at the Russian Republic on 15 February 2013. Detail and continuous measurements of the infrasound waves in Antarctica could be a new proxy for monitoring a regional environmental change as well as temporal climate variations in high southern latitude.

キーワード: infrasound, array observations, Lutzow-Holm Bay, East Antarctica, microbaroms, surface environment
Keywords: infrasound, array observations, Lutzow-Holm Bay, East Antarctica, microbaroms, surface environment

インフラサウンドによる雪崩監視—雪崩遠隔監視システムの構築に向けて— Monitoring snow avalanches by using infrasound with an object of establishing remote detection system of snow avalanches

新井 伸夫¹; 村山 貴彦^{1*}; 岩國 真紀子¹; 谷本 早紀²; 高橋 大介²; 栗原 靖²; 荒木 啓司²; 山本 真行³
ARAI, Nobuo¹; MURAYAMA, Takahiko^{1*}; IWAKUNI, Makiko¹; TANIMOTO, Saki²; TAKAHASHI, Daisuke²; KURI-
HARA, Yasushi²; ARAKI, Keiji²; YAMAMOTO, Masa-yuki³

¹ 日本気象協会, ² 鉄道総合技術研究所, ³ 高知工科大学

¹Japan Weather Association, ²Railway Technical Research, ³Kochi University of Technology

It has been demonstrated that avalanches produce strong infrasonic vibrations in air during their movement (Bedard, 1988^[1], Hejda, 1995^[2]). These infrasonic vibrations propagate great distances and can follow the natural relief. This fact shows that it is possible to monitor remotely the snow avalanche by using infrasound detection system.

We aim to establishing remote detection system of snow avalanches. In order to study the feature of the signal associated with snow avalanches, as a first step, we carried out trial infrasound observation simultaneously with the video monitoring and the meteorological observation at mountainous region in Niigata Prefecture from January to April 2013. During the trial observation, some infrasound signals generated by snow avalanches were recorded. We analyzed these data and attempted to extract features from infrasound signals.

[References]

[1] Bedard, A. J. et al. 1988. On the feasibility and value of detecting and characterizing avalanches remotely by monitoring radiated sub-audible atmospheric sound at long distances. Proc. A Multidisciplinary Approach to Snow Engineering, Santa Barbara, CA.

[2] Hejda, D. 1995. Caracterisation de l'émission acoustique des avalanches, (These de diplome, E. P. F. Lausanne, Suisse.)

Keywords: Infrasound, Snow avalanches, Avalanche monitoring

降雨に伴う微気圧変動 Micro-barometric variation associated with rainfall

家森 俊彦¹; 佐納 康治^{2*}; 林 泰一³; 小田木 洋子¹; 青山 忠司¹; 中西 邦仁¹
IYEMORI, Toshihiko¹; SANO, Yasuharu^{2*}; HAYASHI, Taiichi³; ODAGI, Yoko¹; AOYAMA, Tadashi¹; NAKANISHI,
Kunihito¹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 朝日大学経営学科, ³ 京都大学防災研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Asahi University, ³DPRI, Kyoto University

夏場の夕立など、急な降雨の開始と数十秒から数百秒周期の微気圧変動の間には明瞭な対応関係があることがわかった。その対応関係を定量的に調べるため、降雨と微気圧変動およびBS放送電波の受信強度観測データを毎秒値で記録した。その結果、降雨が始まる約1分前から気圧が上昇を始め、降雨が始まると、数分周期の振動が始まり、気圧上昇が元に戻り始めしばらくすると雨も小降りになる現象が頻繁に観測された。このような対応関係が生じる原因として、上空で雨滴が落下することによる動圧で大気が圧縮され、それが地表での降雨に先立ち気圧の上昇として観測されていると解釈できる。この解釈が正しいとすると、雨雲より上空では逆に減圧し、それが音波(希薄波)として上空に向かって伝搬する可能性が考えられる。この報告では、上記のような対応関係を多数の例について調べた結果について報告する。

キーワード: 微気圧変化, 重力波, 降雨, 重力音波

Keywords: micro-barometric variation, gravity wave, rainfall, acoustic gravity wave

火山の爆発的噴火に伴う電離圏擾乱：GNSSによる観測 Ionospheric disturbances by volcanic explosions: Observations with GNSS

中島 悠貴^{1*}; 日置 幸介¹
NAKASHIMA, Yuki^{1*}; HEKI, Kosuke¹

¹ 北海道大学理学院自然史科学専攻

¹Dept. Natural history sciences, Graduate school of science, Hokkaido Univ.

地表での様々な自然現象や人為的現象により引き起こされた、大気中の内部重力波や音波は、地表約 300km 上空の電離圏 F 領域を揺さぶることが多数報告されている [Calais et al., 1998 GJI; Heki and Ping, 2005 EPSL]。火山噴火により発生した音波は、近傍では空振として観測されるが、上空に伝搬して電離圏擾乱も引き起こすことが知られている [Heki, 2007 GRL]。我々は国土地理院が日本全国に 1240 点展開している GNSS 連続観測網 GEONET の観測データから、電離圏全電子数 (Total Electron Content; TEC) を抽出し、最近の爆発的火山噴火による電離圏擾乱をとらえてその特徴を明らかにすることを目的している。

Heki [2006] は、GEONET データの解析から、2004 年 9 月 1 日 11:02 UT に浅間山で起こった噴火に伴い、真南から南西にかけての領域において TEC が 0.1 TECU 程度、変動したことを見出した。そして変動量から大気波動のエネルギーを求め、さらに既知のエネルギーを持つ人工的爆発がもたらした電離圏擾乱 [Calais et al., 1998] と振幅を比較することによって、火山噴火そのもののエネルギーを概算している。その後 Dautermann et al. [2009 JGR] は、西インド諸島 Montserrat 島火山の 2003 年の爆発的噴火に関して同様の研究を行っている。

今回、我々は同様の変動を、霧島新燃岳で 2011 年 1 月 31 日 22:54UT に発生した噴火について見出した。気象庁による霧島山の火山解説資料 (平成 23 年 1 月) によると、この噴火で 458 Pa の空振が発生し、鹿児島県霧島市で窓ガラスの破損する被害が生じている。また 2009 年 10 月に発生した桜島火山の爆発的噴火に伴って、Peak-to-peak で最大 0.2-0.3 TECU 程度の擾乱が熱圏の音速で南に伝搬してゆく様子も見出した。擾乱は音波が熱圏に達するのに要する 10 分程度経過してから現れる。また地震時地殻上下変動が励起する音波による電離圏擾乱が約 4 分の周期を持つものに対して、火山噴火による擾乱は 2 分弱と有意に短い周期を持つことがわかった。当日は、2011 年霧島新燃岳や 2009 年桜島の爆発的噴火による TEC 変動の事例を、浅間山など他の火山での事例と比較して議論する。

キーワード: GPS, GNSS, 空震, 音波, 火山噴火, 電離圏

Keywords: GPS, GNSS, infrasound, acoustic wave, volcanic explosion, ionosphere

下層大気で生成される音波が電離圏に与える影響のシミュレーション Simulation of ionospheric variations caused by acoustic waves generated in the lower atmosphere

品川 裕之^{1*}
SHINAGAWA, Hiroyuki^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹NICT

地震、津波、火山、隕石落下、積雲活動、竜巻、台風、大規模爆発、ロケット発射などの突発性大気現象に伴うインフラソニック波や高周波の重力波などによって電離圏の変動が起きることはすでに知られている。しかし、大気圏、電離圏は極めて複雑かつ非線形のシステムであり、さまざまな要因で変動するため、これらの大気波動が具体的・定量的にどのようなメカニズムで電離圏変動を引き起こすのかは依然良く分かっていない。我々はこれまでに非静力学大気圏・電離圏結合モデルを開発し、それをを用いて2004年のスマトラ沖地震や2011年の東北沖地震の際に観測された電離圏変動の再現を試みた。その結果、地震に伴って観測された電離圏変動が概ね再現できることがわかった。我々は、このモデルをさらに高精度化・精密化することにより、大気音波の発生・伝搬過程と電離圏変動メカニズムの定量的な解明を目指している。本発表では、これまでの結果と今後の展望について報告する。

キーワード: 音波, 下層大気, 超高層大気, 電離圏, シミュレーション, モデル

Keywords: acoustic wave, lower atmosphere, upper atmosphere, ionosphere, simulation, model

2013年10月に福島県沖で発生したアウターライズ地震に伴う気圧変動シグナル
Low-frequency atmospheric pressure waves associated with the outer-rise earthquake on
Oct. 25, 2013, 17:10 UTC.

新井 伸夫^{1*}; 岩國 真紀子¹; 村山 貴彦¹; 野上 麻美¹

ARAI, Nobuo^{1*}; IWAKUNI, Makiko¹; MURAYAMA, Takahiko¹; NOGAMI, Mami¹

¹ 日本気象協会

¹ Japan Weather Association

Sensitive microbarographs in and around Japan recorded unequivocal signals associated with the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku, Japan earthquake (Mw = 9.0) (Arai *et al.*, 2011).

These signals retained the original shape of the tsunami and traveled in the atmosphere significantly faster than the tsunami waves in the ocean, therefore, we think that an establishment of a network of infrasound observation along the coast line facing the subduction zone would improve the tsunami warning system.

According to this idea, we deployed three (3) microbarograph stations in Ofunato City, Iwate last July as the first step of the establishment of a network of infrasound observation and are trying to observe atmospheric pressure changes continuously.

The outer-rise earthquake occurred off the Fukushima region on Oct. 25, 2013, 17:10 UTC and the tsunami waves with few tens centimeter heights observed at coastal area of Tohoku region. And some curious atmospheric pressure waves detected at our Ofunato sites. The characteristics of the observed signals are consistent with the features of the tsunami source produced by the outer-rise earthquake.

Reference:

Arai *et al.*, Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L00G18, doi:10.1029/2011GL049146.

キーワード: インフラサウンド, 気圧変動, アウターライズ地震, 津波発生検知

Keywords: Infrasound, atmospheric pressure change, outer-rise earthquake, detection of tsunami

地形効果を考慮した津波発生時における極超低周波音波伝搬の数値解析に関する基礎検討

Examination on Numerical Simulation of Tsunami-Induced Extremely Low Frequency Sound Waves with Geospatial Information

大久保 寛^{1*}; 川島 健¹; 大嶋 拓也²; 竹内 伸直³
OKUBO, Kan^{1*}; KAWASHIMA, Ken¹; OSHIMA, Takuya²; TAKEUCHI, Nobunao³

¹ 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, ² 新潟大学工学部, ³ 東北大学理学部

¹Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, ²Faculty of Engineering, Niigata University, ³Graduate School of Science, Tohoku University

Air pressure changes associated with earthquakes and/or tsunami have been investigated previously. As for air pressure changes associated with tsunami, some observation results have been reported (T. Mikumo (1964), T. Mikumo, et al. (2008) and William L. Donn and Eric S. Posmentier (1964), Y. Tamura (2011), N. Arai, et al. (2011)).

We have measured the air pressure in the terrestrial atmosphere with other meteorological parameters (temperature, humidity, etc.) continuously at Hosokura outdoor observation station (HSK) in Miyagi Prefecture, Japan. The extremely low frequency sound waves (so-called micro barometric waves) are also detected as large changes of air pressure in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0, origin time;14:46.18JST) (K. Okubo, et al. (2011)).

Although the power failure was caused by the earthquake occurrence, our observation system had been maintained by the UPS system and the private power generation. Therefore, in this earthquake, our observation system successfully observed extremely low frequency sound waves induced by tsunami. The waves were detectable at the observation point on the ground surface sufficiently early before the arrival of tsunami waves at coastal areas, because sound waves propagate faster than ocean waves (tsunami).

These results can encourage early tsunami detection (S. Iwasaki (1992), T. Izumiya (1994)) using multi-site observation and arrival time difference method. That is, detection of tsunamis might be possible by monitoring extremely low frequency sound waves at ground surface observation sites and/or sea-level observation at relatively low cost. It is important to obtain information of tsunami as soon as possible; arrival time, area and scale.

In this study we present a fundamental examination on analysis and visualization of extremely low frequency sound waves caused by tsunami using numeral approach. We employ the numerical simulation using the Finite-Difference method in Time-Domain (FDTD method) (Yee, 1966) with geospatial information for the large-scale sound wave propagation. As an elementary study, it is applied to the estimation of extremely low frequency sound waves' propagation and time-series analysis of sound pressure.

Through our study, we show the numerical results of sound pressure distribution and estimate the propagation phenomena of sound waves, compared with the observed data at HSK. This examination may help the development of the design of early tsunami detection system. In the future, further efforts can suggest new systems for early warning of destructive tsunami using a combination of other measurements.

We are grateful to Hosokura Metal Mining Co. for the maintenance of our site. This research was partially supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research from the Japan Society for the Promotion of Science.

キーワード: 数値解析, 津波, 音場変化, 微気圧波, インフラサウンド, 可視化

Keywords: Numerical Simulation, tsunami, sound field change, microbarometric wave, infrasound, numerical visualization

2010年Chile大地震(Mw8.8)による地殻変動から発生した長周期大気重力波 Atmospheric Gravity Waves from the 2010 Maule, Chile earthquake (Mw8.8)

三雲 健^{1*}; 岩国 真紀子²; 新井 伸夫²
MIKUMO, Takeshi^{1*}; IWAKUNI, Makiko²; ARAI, Nobuo²

¹ 京都大学, ² 日本気象協会, ³ 日本気象協会
¹Kyoto University, ²Japan Weather Service, ³Japan Weather Service

Atmospheric pressure waves were recorded after the 2010 Maule, Chile earthquake (Mw=8.8) by microbarographs at seven International Monitoring System (IMS) stations in the distance range up to 7,680 km. By applying bandpass-filtering, we extracted low frequency gravity waves, removing atmospheric noise and higher-frequency acoustic modes, and then estimated their phase velocities around 332-341 m/s. To compare with these observations, we constructed synthetic waveforms, referring to the source dimension and coseismic vertical ground displacements based on geodetic measurements (Moreno et al., 2012), and incorporating a standard atmospheric sound velocity structure up to a height of 220 km. The comparison between the observed and synthetic waveforms provides generally satisfactory agreement, and suggests the time constant of ground displacements between 2 and 3 min in the northern and southern segments of the entire source region extending for about 500 km..

キーワード: 2010年チリ大地震, 地殻変動, 長周期大気重力波
Keywords: 2010Maule, Chile earthquake, Mw=8.8, low-frequency, Atmospheric gravity waves

パラオにおける高精度気圧アレー観測 (序報) High resolution barometer array in Palau, Western Pacific

石原 靖^{1*}; 深尾 良夫¹; 志藤 あずさ²; 大林 政行¹; 城岡 竜一¹
ISHIHARA, Yasushi^{1*}; FUKAO, Yoshio¹; SHITO, Azusa²; OBAYASHI, Masayuki¹; SHIROOKA, Ryuichi¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 京都大学理学研究科附属地球熱学研究施設
¹JAMSTEC, ²Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University

大気・海洋・固体地球の各層には多様な波動が常時、時にはイベント的な信号として伝播し、層間で相互作用を及ぼしている。その知見を深めるためには従来の枠組みに囚われた個々の観測では議論を進めることが難しく、領域間を連携した統合的な観測が必要であろう。そのテストフィールドとして我々は西太平洋熱帯域に位置するパラオに注目した。パラオでは太平洋域地球物理観測網 (海半球ネットワーク) の一環として広帯域地震観測点が設置されている。また現在この観測点の移設作業が進められており、パラオにて 2 地点で地震観測がされている。一方、JAMSTEC のグループがレーダーを含む気象観測施設を運用しており、周辺の気象環境の常時モニターがなされている。このような背景があることから、この地での統合的な観測の可能性を考え、その一環としてパラオに高精度気圧計の小規模アレーを構築した。

パラオは熱帯域にあることから、日本のような中緯度地域や極地と比較すると数日周期の高・低気圧や前線帯の通過がなく、日常的には気象環境としては安定した環境である。特に今回は超低周波帯域に着目していることから、信号源の抽出・解釈などに優位であると考えられる。またパラオには CTBTO のインフラ・サウンドのアレー網も設置されていることから、今回の観測と併せて広帯域気圧観測が実現することも、この地をテスト・フィールドとした背景である。

観測はセンサーとしてパロサイエンティフィック社製の水晶振動子型高精度気圧計を用い、収録はシリアル通信を介して Linux Box で記録する。サンプリングは低帯域に注目して分解能を高めるために 2 sps としている。アレーはパラオ国内の 5 点に展開している。その内 2 地点は地震観測点に、また 1 地点は気象観測点に設置している。観測点の間隔は 20km 前後である。この観測アレーは 2013 年 8 月に展開され、電源系の若干のトラブルが発生したものの概ね安定して計測を続けている。

データの回収直後のレビューによると、周期 200 秒以上の帯域では大気重力波と見られる波群が多数確認されており、対応する位相も容易に追跡ができる。伝播速度は 20 ? 30 m/s 程度である。また頻繁にイベント的な大振幅の信号も到来している。伝播する方向は、その都度変化しているようであり、多くの信号はアレーの外部から到来している。本発表では観測される大気重力波の特性や周囲の気象状況との関連について報告する。

キーワード: 大気重力波, 脈動

Keywords: atmospheric gravity wave, micro seism

多地点観測に向けた光学式インフラサウンドセンサの改良と評価 Improvement and evaluation of optical-type infrasound sensor for multi-site observation

池原 光介^{1*}; 山本 真行¹; 柿並 義宏¹; 石原 吉明²

IKEHARA, Kousuke^{1*}; YAMAMOTO, Masa-yuki¹; KAKINAMI, Yoshihiro¹; ISHIHARA, Yoshiaki²

¹ 高知工科大学, ² 宇宙航空研究開発機構 月・惑星プログラムグループ 研究開発室

¹Kochi University of Technology, ²JAXA Space Exploration Center, Japan Aerospace Exploration Agency

Infrasound is applicable for remote-sensing methods for detecting geophysical phenomena in the atmosphere. There have been developed and used many types of infrasound sensors, however, typically used infrasound sensors are almost developed by foreign countries, resulting high cost situation in Japan. If we can develop low cost infrasound sensors, multi-site arrayed observation will be realized in near future.

Recently, infrasound signal generated by tsunami was clearly detected by many CTBTO infrasound stations (Arai et al., 2011), suggesting a new era for establishing a dense infrasound sensor network in every prefecture of Japan for preventing or reducing catastrophic disasters. Because the nature of pressure waves with large wavelength, amplitude of infrasound generated by tsunami might be proportional to the size of the disasters. Combination with sensor networks of seismometers on ground and ocean floor, GPS-buoy type wave recorders, and water manometers on ocean floor, establishing a dense network of infrasound sensors with arrayed configuration is desired.

Since 2006, we have been developing new sensing method of infrasound by using piezo film and PSD (Position Sensitive Detectors), achieving frequency range between 0.001 Hz and 10 Hz as well as minimum pressure level of 0.01 Pa (Yamamoto and Ishihara, 2009). In 2013, we tried downsizing the PSD type infrasound sensor developed in 2008 into a size of 0.15 m x 0.15 m x 0.25 m height with calibrating it by using space chamber (0.8 m length x 0.58 m diameter) as an accurate volume pressure reservoir (Manabe et al., 2013). Here, we improved the PSD optical-type infrasound sensor by using 3D printer technology to make many tiny parts designed with 3D CAD software.

By pushing and pulling a small amount of air by a small syringe, calibrating pressure waves with extremely weak amplitude (10 Pa to 0.01 Pa) can be generated in the space chamber, precise measurement of artificially generated infrasonic signals could be realized. The waves were measured by both of the developed PSD sensor and Chaparral Model-2.5 infrasound sensor at the same time. Comparison with output signals by two types of sensors, the downsized PSD type infrasound sensor was carefully studied. In this paper, we will introduce the new design and obtained calibrating datasets.

キーワード: インフラサウンド, 多地点観測, センサ開発, 光学, 計測, 低コスト

Keywords: infrasound, multi-site observation, sensor development, optics, measurement, low-cost

気圧計に対する風ノイズの試験観測 Pressure sensors detected wind noise produced in wind tunnel

岩國 真紀子^{1*}; 山本 真行²; 谷本 早紀³; 柿並 義宏²; 池原 光介²; 岡田 和見⁴; 荒木 啓司³; 栗原 靖³; 新井 伸夫¹; 村山 貴彦¹; 野上 麻美¹
IWAKUNI, Makiko^{1*}; YAMAMOTO, Masa-yuki²; TANIMOTO, Saki³; KAKINAMI, Yoshihiro²; IKEHARA, Kosuke²; OKADA, Kazumi⁴; ARAKI, Keiji³; KURIHARA, Yasushi³; ARAI, Nobuo¹; MURAYAMA, Takahiko¹; NOGAMI, Mami¹

¹ 日本気象協会, ² 高知工科大学 システム工学群, ³ 公益財団法人 鉄道総合技術研究所, ⁴ 北海道大学大学院理学研究科 付属地震火山研究観測センター

¹Japan Weather Association, ²Department of systems engineering, Kochi University of Technology, ³Railway Technical Research Institute, ⁴Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

一般的にインフラサウンドと風による圧力変動との周波数域は重なっており、インフラサウンドの圧力変動の振幅は風による圧力変動の振幅よりも小さいことも多い。これらのことから、風ノイズが含まれた圧力変動データからインフラサウンド信号を精度よく検出することは技術的な課題のひとつであり、風ノイズの低減を目的とした圧力計インレット部へのパイプの設置や多点同時観測などが行われてきた。しかし、これまで風洞施設を用いての風ノイズ低減策の効果を定量的に示した例は確認できていない。このことから本研究では、風ノイズの低減策のひとつであるパイプの配置方法を換えることで、測定された圧力変動に含まれる風ノイズがどの程度低減するかを評価するために風洞実験を実施した。

インフラサウンドの観測機器は、ナノ分解能の水晶振動式絶対圧力計 (6000-16B manufactured by Paroscientific Inc., USA)、マイクロホンタイプのインフラサウンドセンサー (Chaparral physics, Model25 manufactured by Univ. of Alaska Fairbanks) を用いた。風洞実験は鉄道総研の大型低騒音風洞で実施した。サンプリング周波数は 100Hz で計測し、最大風速は 60m/sec とした。風洞実験において、風速およびパイプの配置を変更して圧力を計測し、パイプの配置ごとに風速と圧力との関係を求めた。その実験結果を発表当日に示す。

Keywords: Infrasound, wind noise reduction, pipe reduction system, wind tunnel

枯れた技術：FLOSSから学ぶ Legacy Technology Still in Use: Lessons from FLOSS Development

馬場 美彦^{1*}
BABA, Yoshihiko^{1*}

¹立命館大学
¹Ritsumeikan University

1. Introduction

In science, including geospatial and earth science, use of the Internet is becoming more and more important. Institutions provide more and more, spatial data and scientists share the information or work on a project regardless of geographical boundary. In such situation, social media will be becoming more and more important, but the popularity changes so easily. On the other hand, there are several social tools which have been around for more than 30 years, such as IRC and CVS/Subversion/git. In this paper, the advantages and disadvantages of the current and legacy social tools.

2. Underlying Philosophy

IRC and CVS/Subversion/git are very popular among free and libre open source software (FLOSS) developers. One of the most important factor of free software was revealed by Eric Raymond, who contrasted two different free software development models:

The cathedral model: source code is available with each software release, but code developed between releases is restricted to an exclusive group of software developers.

The bazaar model: the code is developed over the Internet in view of the public.

In fact, all the commercial projects and many FLOSS projects are organized in the cathedral model. The point is, only FLOSS software can be developed in the bazaar model. The most well-known project which adopted the bazaar model is perhaps Wikipedia. What can we learn from the project?

3. IRC vs twitter

There are many real time chat tools, such as IRC, Skype, Messenger, Twitter and LINE.

IRC is a communication protocol developed in 1988. In IRC, users join a server (e.g. freenode.net) using IRC clients (e.g. xchat), then joins a room (e.g. #qgis, #grass) to talk and discuss issues. It is said that there are more than 50,000 users on Freenode. The figure may be small, when compared to twitter or LINE. It is noted that the author(s) asked several Fink developers to review this article. IRC can be compared to twitter in that they are both for "short text" and real-time communication.

When using twitter, you can browse information about a certain topic using hash tag (#). However, twitter is in its essence a "twit", expressing one's opinion and rarely becomes a place for conversation/discussion.

ITO (MTT38-01) discusses that the information is well organized at together by a coordinator. Byt the summary on together is often very difficult to read. On the other hand, chat logs of many IRC channels are very useful without any editing. Perhaps, something can be learned from IRC. But so far, my suggestion is to use IRC for scientific discussion.

4. Discussion

As seen in the previous section, there are several legacy tools that are still widely used, especially among FLOSS developers. One of the advantages of these legacy tools is that they have been evolved to support the "cathedral" model explained above.

For geospatial and earth science, such tool may be useful to share the information of, say, open data. There are many institutions, public or private, which offer GIS data on the Internet. The official data, such as shape files provided at data.gov.uk or nlfpt.mlit.go.jp/ksj/, would be more useful when one finds an error, fix it and report and/or redistribute it. The download pages

MTT44-01

会場:311

時間:5月2日 14:15-14:30

may be more enhanced with wiki, where users can post their ways of using the data. Google maps, or its more "open" alternative, OpenStreetMap, may be more sustainable if they learn more from legacy tools.

5. Conclusion

Several social tools for FLOSS development, which have been developed since 1980s, are reviewed. Some tools, such as IRC, are still used despite the recent advancement of newer social tools. In fact, these tools may be more advanced, in that they give more powers to users, than the recent and more popular social media, such as Facebook and twitter.

キーワード: FLOSS, IRC, CVS, Bug Tracking

Keywords: FLOSS, IRC, CVS, Bug Tracking

Abstract (English): In science, including Earth and Planetary Science, software development has played an important role, in many cases with package management systems. Fink Project, one of the package management systems, has been involved in a number of free software to Mac OS X. Such package management systems are supported by a large number of maintainers, with the aid of SourceForge, CVS and/or git, IRC and many other tools.

ソーシャルメディアを通じた環境調査インフラ構築手法の検討 Establishing Technology of Environmental Monitoring Using Social Media

伊藤 昌毅^{1*}
ITO, Masaki^{1*}

¹ 東京大学
¹The University of Tokyo

はじめに

スマートフォンの普及で誰もがいつでもどこでもネットワークサービスを利用できるようになる中、ソーシャルメディアは、コミュニケーションメディアとしてだけでなく、様々な社会現象や自然現象を知るセンサのひとつとして注目されている。多くの人が発信する情報を解析することで、低コストで、リアルタイムに、また人の感じ方など主観的な視点を含んだ情報収集が実現できるようになる。ソーシャルメディアに自発的に発信された情報を集めるだけでなく、積極的に情報発信を呼び掛け、集合知による調査を目指す参加型センシングも考えられている。もちろんこうした調査手法は研究途上であり、情報の信頼性や調査の確実性など、技術的、社会的な問題が数多く残っている。ここでは、こうしたソーシャルメディアを通じた調査手法自体を研究したり、研究目的の調査の実施は可能であろうか。本稿では、その手法を検討する。

Twitter 等既存ソーシャルメディアの利用

既にあるソーシャルメディアのデータを API を利用して取得し分析することで調査を実現する。北本による台風情報の試み [1] や、鉄道の混雑状況の調査 [2] などの例がある。既に多くの利用者がいるため必要な情報を収集しやすいが、目的を持った調査を行ったり、条件を整えた情報収集などを実現するためには適さない。また、API の利用に制限があり、大量のデータ収集が難しいなどの問題もある。

専用アプリケーションの配布

情報収集機能を備えたアプリケーションを開発し、調査協力者に配布する手法が考えられる。特定の位置や時刻での情報収集を依頼したり、備え付けのセンサを利用するなど、スマートフォンの機能を最大限生かした情報収集が可能になる。その反面、協力者の確保のためにアプリケーションのインストールを呼び掛けたり、調査協力者自身の操作によりアプリケーションを起動し、調査を行う必要があるため、十分な規模や継続性のあるプロジェクトとするには多くの困難がある。

他目的のアプリケーションの利用

別の目的で Web サービスやアプリケーションを開発、運用している場合、そのユーザを対象に調査を行うことが出来る。ニコニコ動画再生中にアンケートを求めるニコ割アンケートが大規模な実施例だが、名古屋大学の河口らが開発、運営し 160 万ダウンロードされているスマートフォン向けアプリケーション「駅.Locky」でも、広告を通してアンケートへの調査協力を呼び掛ける実験などが行われている。一挙に全国の多人数の人に調査への参加を呼び掛けられるだけでなく、アプリケーション次第で、特定の状況を狙って調査を実施することも可能である。もちろん、こうした調査を実現するためには、対象地域に十分な規模の利用者が存在することが前提であり、一般的にこの手法を目指すのは困難である。

クラウドソーシングサービスの利用

インターネットを通じて業務の依頼が行えるクラウドソーシングサイトを利用し、情報収集を依頼することが考えられる。クラウドソーシングサイトでは、インターネットを利用する不特定多数の生産能力と依頼者の要求とをマッチングさせ、比較的安価に、小規模な業務を依頼できる。海外におけるパーソントリップ調査をクラウドソーシングサイトを通じて行った例が報告されている [3] が、データ収集の確実性やデータの信頼性にはまだ問題が残っている。

おわりに

MTT44-02

会場:311

時間:5月2日 14:30-14:45

以上, インターネットを通じて不特定から環境観測の情報を得て, 環境調査を実現する手法を検討した. 研究機関がこのような調査を行ったり, 調査手法そのものを研究するためには, 研究者の手の届く形で調査を実施することが望ましい. しかしながら上に挙げたそれぞれの手法はすぐに実現することは難しい. さらに, 情報の信頼性や発信者のインセンティブなど, 調査手法として活用するためには未解決の問題も多い. そのため, 今後この分野の研究を, 理論と技術両面から深めてゆく必要がある.

参考文献

[1] 北本 朝展, "気象現象を対象としたソーシャルメディアの取材・分析・可視化手法", 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, No. MTT38-05, 2012 年 05 月.

[2] ナビタイムジャパン, "電車混雑レポート", <http://www.navitime.co.jp/?ctl=0171>.

[3] 杉森純子, 関本義秀, 金杉洋, 大伴真吾 "クラウドソーシングサイトを用いた海外における簡易的な人の流れ調査の試み", 21 回地理情報システム学会研究発表大会, F-4-2, 2012 年 10 月.

キーワード: ソーシャルメディア, 環境調査, クラウドソーシング

Keywords: Social Media, Environmental Monitoring, Crowdsourcing

時系列データダイナミックプレビュー用 Web アプリケーションの開発と科学データ・ソーシャルデータの融合表示 A Web-application for Time-dependent Observation Data for both Scientific and Social Data

村田 健史^{1*}
MURATA, Ken T.^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

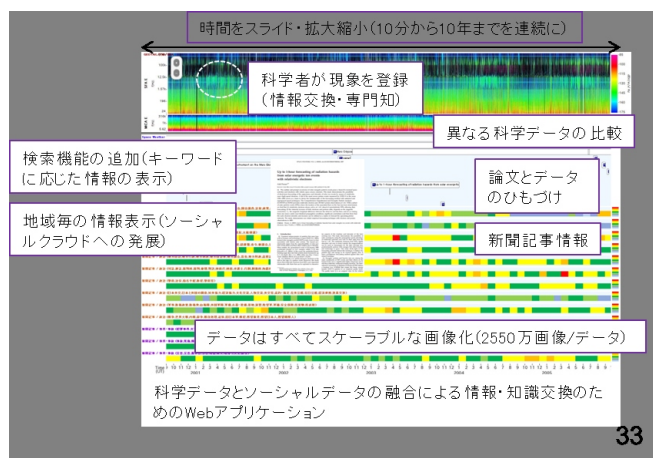
現在、多くの科学研究分野ではデータのほとんどがデジタル化され、その量および種類は大規模化の一途をたどっている。これからますます大規模化・複雑化するデータ指向型科学時代を踏まえて、ビッグデータ処理がより容易に、また一元的に行うことができるクラウドシステムが求められている。

NICT サイエンスクラウドは、地球惑星科学を含む様々な科学研究データおよびソーシャルデータのためのクラウドシステムである。NICT サイエンスクラウドでは (1) データ伝送・データ収集機能、(2) データ保存・データ管理機能、(3) データ処理・データ可視化機能の 3 つの柱 (3 つの機能) から構成されている。それぞれの機能についての基盤技術を開発するだけでなく、複数の基盤技術を組み合わせることでシステム化を行うことができる。システムを実際に科学研究に応用・適用することで、様々な分野でのビッグデータ科学・データインテンシブ科学が可能となる。

筆者が NICT サイエンスクラウドを構築する目標の一つが、集合知の発展である専門知や学術知の基盤としてのクラウドシステムである。専門知は、Web2.0 の発展により専門家の知識の融合を一般に公開する考え方である。さらに、学術知は Web 上で研究者が情報交換を行うことにより新しい知の発見を目指すものである。

専門知および学術知の実現を目指し、NICT サイエンスクラウドでは科学データだけではなく、科学データと社会データの融合解析環境の試行を行ってきた。特に、時系列データを時間方向にダイナミックに閲覧できる Web アプリケーション (STARS touch) では、科学データと社会データの連携表示が可能である。

講演では、専門知・学術知の概念について説明すると同時に、STARS touch により科学データ (例えば衛星観測データ) と社会データ (例えば論文データ・新聞記事データ) の融合表示についてのデモを行う。



SNS で高校生に情報発信する試み The trial which carries out information dissemination by SNS at a high school students

青木 邦勲^{1*}
AOKI, Kunihiro^{1*}

¹ 日本大学豊山高等学校・中学校

¹Nihon univ. BUZAN high school & junior high school

教員が生徒とコミュニケーションを取ろうと考えても、高校生と繋がるというのは非常に難しい。そこで、授業中の生徒とのコミュニケーションの構築が重要となる。

前半では生徒と繋がるための方法を報告する。

私が授業で気をつけていることは「生徒が話しやすい雰囲気を作る」と「生徒が聞こうとする授業」である。そのために積極的な発言を認め、何回か短時間だけ集中する時間を設けるようにしている。生徒の発言に対して正しい間違い関係なく受け止めてうなずくようにして、後に正しいと間違いの境界を明確にしている。

このように生徒の立場に立って対応することにより、生徒が教員に対して心を開いてくれると考えている。ここまで来ると生徒が SNS でつながってくれる。現在、私の Twitter のフォロワーは 95 人であるが、その殆どが生徒や卒業生である。

後半は SNS を利用して通常授業の延長や地理学や地球科学の情報を発信するために SNS を利用した実践を報告する。現状、生徒と SNS でコミュニケーションをとることはできても、地理に係る写真やコメントには反応がない。その理由の殆どが「写真がつまらない」と「文字数が多い」ことである。例えば、段丘の写真を見せても「のどかだな」といったコメントしかこない。文字数が 70 字を超えると文字を読むのに飽きている。写真の内容も景色が混ざっている方に反応があり、地形や植生などを見せても無反応である。

SNS は便利であるが、地理に関する写真を掲載してコメントを求めたり教材を提供したりしようとしても思うような成果が出ていないため、皆様からコメントを頂きたい。

キーワード: Twitter, Line, 授業
Keywords: Twitter, Line, Lesson

地球科学の教育とアウトリーチのための斬新なアイデアを得る場としてのソーシャルメディア Social media as a source of innovative ideas for education and outreach in geoscience

小口 高^{1*}; 石川 初¹; 橋本 麻里²
OGUCHI, Takashi^{1*}; ISHIKAWA, Hajime¹; HASHIMOTO, Mari²

¹ 東京大学・空間情報科学研究センター, ² 明治学院大学

¹CSIS, Univ. Tokyo, ²Meiji Gakuin Univ.

研究者は専門分野の教育やアウトリーチへの貢献を期待されることが多い。専門分野を熟知している研究者は、その分野について科学的に正確な情報を伝達可能である。一方で、その分野の慣習や常識にとらわれている側面もあり、その分野について専門的な知識を持たない人の興味を惹くような説明が実は苦手な可能性もある。多様な背景を持つ人と交流が可能なソーシャルメディアは、この問題の軽減に貢献する。ソーシャルメディアは、本来の専門は自分とは異なっているが、自分の専門に強い興味を持っている人と交流する場となることが多い。参加している人の立場も多様で、純粋科学の研究者とは異なることも普通である。このような人たちが、研究者の教育やアウトリーチを有効にするための斬新なアイデアを提供してくれることがある。一方、そのアイデアに研究者が専門的な立場でコメントすることにより、アイデアの提供者も有益な知見を得る場合がある。本発表では、そのような建設的な交流について、地形学に関する事例を取り上げて検討する。

キーワード: ソーシャルメディア, 教育, アウトリーチ, 人の交流
Keywords: social media, education, outreach, interaction among persons

ジオパークにおけるソーシャルメディアでの情報共有の可能性とその課題 The possibility and current issues of sharing information with social media in geoparks

新名 阿津子^{1*}
NIINA, Atsuko^{1*}

¹ 鳥取環境大学地域イノベーション研究センター

¹Regional Innovation Research Center, Tottori University of Environmental Studies

2004年からスタートしたジオパークは、2014年2月時点でGGN加盟ジオパークが世界29か国100地域、JGN加盟ジオパークが33地域（GGN加盟6地域を含む）となり、今後、ますますその成長が見込まれる。ジオパークは知識と経験の共有によって活動が進められる。この知識と経験の共有はコミュニケーションを介して行われる場合が多いが、そのコミュニケーション形態およびそのツールはソーシャルメディアの出現により多様化した。山陰海岸ジオパークのように東西約110km、南北最大30kmにもわたる広域なジオパークでは、対面接触による日常的なコミュニケーションが困難であり、その地理的距離を補完するためのツールとしてソーシャルメディアが利用されている。また、ソーシャルメディアは社会的な関係性の中でのネットワーク構築に長けていることから、潜在的なアクターがソーシャルメディアによって顕在化し、ジオパーク活動を担う重要なアクターとなる事例もみられる。ここでは山陰海岸ジオパークを事例に、ソーシャルメディアでの情報共有の可能性とそこに生じた問題点について報告する。

キーワード: ソーシャルメディア, コミュニケーション, 情報共有, 山陰海岸ジオパーク

Keywords: social media, communication, sharing information, San'in Kaigan Geopark

『恋するフォーチュンクッキー 山陰海岸ジオパーク V e r .』を次につなげよう ”San’in Kaigan Geopark *Fortune Cookie in Love” Project

小山 真琴¹; 古川 智子¹; 松原 典孝^{2*}

KOYAMA, Makoto¹; FURUKAWA, Tomoko¹; MATSUBARA, Noritaka^{2*}

¹ 山陰海岸ジオパーク推進協議会, ² 兵庫県立大 自然・環境研 ジオ環境研究部門

¹San’in Kaigan Geopark Promotion Council, ²Inst. Nat. Env. Sci., Univ. Hyogo

山陰海岸ジオパーク推進協議会では毎年、「山陰海岸ジオパーク認知度アンケート」を実施している。2013年京阪神PRキャンペーンアンケートでは、世代別の認知度で70代以上(68%)と比較して10代(27%)・20代(24%)の認知度が低かった。このことから、若者へのジオパーク活動の普及啓発が明日の課題だと言える。若者層で山陰海岸ジオパークの認知度が低い理由の一つに、インターネット上での広報活動の不十分さが挙げられる。協議会では、山陰海岸ジオパーク公式サイト、あるいはFacebook じおげんき上での情報配信を行なっているが、これには閲覧者がジオパーク関係者が多いという問題点がある。

このため今回山陰海岸ジオパークでは、若者への影響力があるアイドルグループAKB48の32ndシングル『恋するフォーチュンクッキー』にのせてジオサイトを背景に踊る、『恋するフォーチュンクッキー 山陰海岸ジオパーク V e r .』-みんなで踊ってつなごうプロジェクト-を実施した。完成したPR動画は2014年1月31日にYoutube で配信し、山陰海岸ジオパークを不特定多数の人に向けてアピールを目指した。全43カット、ご当地キャラクター 含め延べ265人の方々が明るい笑顔で出演してくれた。揃った踊りや、時折のアレンジした踊りは必見で、見る者を楽しませ、画面からは懸命で、他人のことを放っておけない真心あふれる人柄が伝わる。目標アクセス数10,000回を優に超え、メディアへの情報発信にも努めた。

今後はこの活動の普及の効果を、認知度アンケートや観光客数から検証していく。

キーワード: sns, youtube, 恋するフォーチュンクッキー, 山陰海岸, ジオパーク

Keywords: sns, youtube, Fortune Cookie in Love, San’in Kaigan, geopark

山陰海岸ジオパークにおける女性ブロガーを活用したツーリズムの推進について San'in Kaigan Geopark Tourism Promotion By Female Bloggers

安藤 和也^{1*}; 中谷 英明¹; 大江 誠二¹; 石上 伸之¹
ANDO, Kazuya^{1*}; NAKATANI, Hideaki¹; OOE, Seiji¹; ISHIGAMI, Nobuyuki¹

¹ 鳥取県山陰海岸世界ジオパーク推進室

¹San'in Kaigan Global Geopark Promotion Office

国内における個人旅行者の多くがインターネットや口コミから情報を得て旅行を企画する傾向が強い一方、ジオツーリズムに関する情報がインターネット上に多くないのが現状である。このため、鳥取県では、個人旅行市場での好感イメージ形成などで大きな影響力を持つ「女性ブロガー」を対象に山陰海岸ジオパークのモニターツアーを実施した。2012年度と2013年度に実施したモニターツアーでは延べ70名の女性ブロガーがそれぞれ独自にテーマを設定し、山陰海岸ジオパークの旅行を企画し、実際の旅行レポートをそれぞれのブログサイトやツイッターで発信した。同時に、「山陰海岸ジオパーク女子旅モニターツアー」フェイスブックサイトを開設し、各モニターブロガーのレポート記事をシェアすることにより、山陰海岸ジオパークの各地の旅行情報の継続的な発信に努めた。その結果、検索サイトでのジオパーク旅行に関する検索結果の上位に山陰海岸ジオパークに関する記事が多数ヒットするなど、ウェブ上での山陰海岸ジオツーリズムの情報発信、好感度の向上、認知度の向上を図ることができた。

キーワード: 山陰海岸ジオパーク, 女子旅, ジオツーリズム, 女性ブロガー

Keywords: San'in Kaigan Geopark, Tours for Women, Geotourism, Female Bloggers

広域ジオパークにおけるソーシャルメディアを用いた情報発信の効果と課題 Effects and issues of information transmission using the social media in a large active geopark

松原 典孝^{1*}
MATSUBARA, Noritaka^{1*}

¹ 兵庫県立大学 自然・環境科学研究所
¹Inst. Nat. Env. Sci., Univ. Hyogo

山陰海岸ジオパークは京都府の経ヶ岬から鳥取県の青谷海岸まで、東西 120 km 南北 30km に及び、3 市 3 町 3 府県からなる。このような広域ジオパークでは情報の共有と発信が困難である。そこで、情報の共有と発信をスムーズに行うためにソーシャルメディアを使った。

Facebook に山陰海岸ジオパークのファンページを作成、各地域に管理人を設定し、各自がそれぞれの地域の情報を発信している。今回は SNS を用いた情報共有と発信の効果と課題について論ずる。

キーワード: ジオパーク, フェイスブック, 山陰海岸ジオパーク, ソーシャルメディア
Keywords: geopark, facebook, San'in Kaigan Geopark, social media

Facebook を用いた茨城県北ジオパークワーキンググループの運営 Utilization of facebook for the management of working groups in North Ibaraki Geopark

天野 一男^{1*}; 細井 淳²; 茨城大学 地質情報活用プロジェクト¹

AMANO, Kazuo^{1*}; HOSOI, Jun²; IBARAKI UNIVERSITY, Geological information utilizing project¹

¹ 茨城大学理学部, ² 茨城大学大学院理工学研究科

¹ Faculty of Science, Ibaraki University, ² Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

背景

茨城県北ジオパークはこれまでソーシャル・ネットワーク・サービス (SNS) を用い、不特定多数の人と双方向のコミュニケーションを通じた情報発信を、発足当初から多く行ってきた (齊藤ほか, 2010; 伊藤ほか, 2011, 2012; 天野ほか, 2012, 2013)。これらは主に外部へ向けた茨城県北ジオパークの魅力などの情報発信が目的であり、茨城県北ジオパークの関係者と非関係者のコミュニケーションである。一方で茨城県北ジオパーク関係者内での SNS の活用はあまり行われてこなかった。今回は、2013 年度 1 年間の実績について分析し、報告する。

茨城県北ジオパーク推進協議会にはオブザーバーを含めて全 10 市町村が加入しており、その範囲は行政区分に基づけば約 2100km² に及ぶ広域なジオパークである。そのため協議会の関連委員が一同に会しての意見交換が困難なことが多かった。そこでジオパーク事業を活発に展開するために、2012 年 9 月に実務組織としてジオツアー、広報、商品開発、インタープリターの 4 つのワーキンググループ (WG) が設立された。これらの WG に容易な意見交換のツールとして facebook を導入した。

facebook における WG の組織体制

WG はグループごとに若干異なるが、主に各自治体の適任者と運営委員長、事務局、各 WG リーダー、委員長指名者から構成される。話し合いはメンバー全員で行われるが、その中でも自治体関係者は決定事項の遂行、運営委員長と事務局は活動の掌握と事務作業、各 WG 代表者が WG 間における双方向の情報共有を行なっている。これに委員長指名者枠で茨城大学地質情報活用プロジェクトメンバーも参加しており、学術的なサポートを行っている。

facebook の機能とその活用方法

主な facebook グループの機能と活用方法は以下の通りである。

- ・通常の投稿：WG 全体への報告と簡単な議論。写真や図も載せられるので、具体的な話が可能である。
- ・選択肢付き質問：WG メンバーの意見を聞く。
- ・ファイル：議事録の記録、活動記録などを保存。ファイルをアップロードすることで、メンバー全員がいつでも見ることができる形で残すことができる。
- ・イベント：直接会って話し合いをする時などのイベントに招待し、出欠をとることができる。イベントの情報発信とその出欠の意思表示が簡単に行うことが可能である。

facebook 上での WG の現状

2013 年、発足直後の WG の現状について、細井ほか (2013) が報告した。当時問題であった各 WG 間の連携については、各 WG 代表が全てのグループに加入するように変更された。発足直後、積極的な facebook を用いた議論が行われているのはインタープリター WG のみであったが、2014 年 1 月末現在、インタープリター WG の他にも、ジオツアー WG、商品開発 WG が積極的に活用しコミュニケーションがとられるようになった。

その一方で、自治体の関係者の方が、年度更新と共に変わり、facebook を用いた意見交換活用の方法が、引き継がれないという問題が発生した。これは facebook が個人アカウントで行うものであるためである。これについては今後の検討課題である。

キーワード: SNS, ジオパーク, 茨城県北ジオパーク, facebook

Keywords: SNS, geopark, North Ibaraki Geopark, facebook

地理空間情報分野における開発環境のソーシャル化に関する考察 Study on the socialized development environment in the geospatial informations field

瀬戸 寿一^{1*}
SETO, Toshikazu^{1*}

¹ 東京大学空間情報科学研究センター
¹ Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo

1. はじめに

地理空間情報をめぐる技術・制度的展開は、2000 年以降オープンソース運動・文化の普及に伴い、GIS 分野でも技術・情報のオープン化が一つのトピックとして重要視されるようになってきた。さらにオープン文化が社会・政治・経済領域にも波及することによって、オープンガバメントのように、行政機関の地理空間情報が広く開放され始めている。

2010 年代以降の地理空間情報技術の大きな特徴は、ソースコードが単にオープンになること以外にも、コード開発、ソフトウェア文書やインターフェース翻訳に関する種々のプラットフォーム、さらには開発コンセプト自体が、クラウド上でソーシャルに行われているという点である。そこで本発表では、オープンソース地理空間ソフトウェア (FOSS4G) における幾つかの事例を中心に、ソーシャルな開発環境を明らかにした上で、これらの試みがどのような効果や課題を有しているかを検討する。

2. 開発環境のソーシャル化を支えるプラットフォーム

代表的なデスクトップ GIS である QGIS を始め、OSGeo 財団が支援するオープンソース・ソフトウェアは、Sourceforge などを介してソースコードの公開が進められてきた。さらに OSGeo 財団に関するプロダクトを集めた Live-DVD が開発されているが、これらについては Subversion という集中型バージョン管理システムが利用され、情報交換の ML や IRC 等を用いることで、プロプライエタリなソフトウェアよりも活発な意見交換が行われてきた。

こうしたソーシャルな仕組みが、2010 年頃より積極的に導入が始まった GitHub と、Web ベースの翻訳プラットフォームである Transifex の登場で劇的に変化した。GitHub はバージョン管理システムである Git を扱いやすくした Web プラットフォームで、feed や follow、watch などソースコードの注目度を視覚化できる。またプログラムの変更箇所を書き込む commit や、ソースコードを自らの開発プロジェクトの一部に取り入れる fork など、ソースコードの多様な活用手段が提供されている。OSGeo に関するソフトウェアの幾つかは、Git に移行し始めており、特に Web 地図用のプラットフォームは、機能の拡張性等の関係で積極的に利用されている。また GeoJSON を用いると、GitHub 上に地理空間情報を簡易的な地図付きで掲載が可能である。これにより、オープンデータの配布がソースコードと同様に可能である。

Transifex は Web 上でのローカライズ管理システムで、翻訳用インターフェースの利便性や進捗状況の視覚化機能を有する。QGIS を始め約 20 以上の OSGeo に関するプロダクトが翻訳され、日本語化率 100% のソフトウェアも存在する。またソフトウェアのヘルプや文書類も扱うことが可能なため、QGIS のマニュアル翻訳以外にも、オープンデータの事例集の翻訳なども情報共有されている。

3. ソーシャル化がオープン化にもたらす効果と課題

以上の新しいソーシャルなプラットフォームは、地理空間情報技術をめぐって多くの機会を創出している。例えばハーバード大学の Worldmap は、Geonode をベースに様々な地理空間情報ライブラリが組み合わせられ、一つのパッケージとして開発されている。また、フィラデルフィア市は GitHub を通じて市政データの API 配布や地理空間情報のオープンデータ化を進めている。日本でも、CityData や IdeaLinkData といった同様のプラットフォームが稼働し、地理空間情報をめぐる様々な主体の関与が今後期待される。このような動向は、Web を通じた開発者やデータ利用者の参加機会を増大させ、ハッカソンなど開発イベントを行う上で、様々なリソースを直接提供する媒体ともなりつつある。

他方、オープンソースがソーシャル化する反面、プロダクト開発自体が機能やコードごとに細分化されてしまったり、ソースコード改変による他のプロダクトへの影響が大きくなっている。ソーシャル化によって開発者の相互の情報交換が広まったとはいえ、日本においては開発を主導する貢献者が圧倒的に少なく、ソフトウェアやマニュアル等の日本語翻訳の手間も少なくない。したがって、オープンデータに代表されるデータ生成へのソーシャルな貢献と同様に、地理空間情報に適したデータ操作や視覚化を支援するソフトウェア開発・翻訳においても、参加機会の創出や GIS 教育における導入などが期待される。

キーワード: オープンカルチャー, 自由でオープンな地理情報ソフトウェア, クラウドソーシング, ギットハブ
Keywords: open culture, FOSS4G, crowdsourcing, GitHub

エドムント・ナウマン(1854-1927)と富士山 Edmund Naumann (1854-1927) and Mt Fuji

矢島 道子^{1*}
YAJIMA, Michiko^{1*}

¹ 東京医科歯科大学教養部
¹Tokyo Medical and Dental University

エドムント・ナウマン(1854-1927)と富士山
矢島道子

富士山は高さ 3776 m で、日本で 1 番高い山であり、2013 年に世界文化遺産に認定された。日本人は古くから宗教的な理由で、老若男女を問わず、登山していたが、富士山の科学的研究は明治時代になって、欧米の研究者がお雇い教師として日本に来てから、始まった。

エドムント・ナウマンは 1875 年から 1885 年まで日本におり、東京大学の最初の地質学准教授となり、その後、日本の地質調査所を創立し、その技師長として、日本の地質図製作を開始した。当時、欧米からの来日は船であり、日本に近づくと、美しい富士が眺望でき、どの外国人もその魅力にとらわれた。ナウマンもその一人であり、彼の研究は富士山をめぐる行われたともいえる。外国人は競って富士山に登山した。ナウマンは 1883 年に、富士山に登頂できた。ナウマンは富士山の高さの測定をめぐる歴史を明らかにし、富士山の噴火の歴史を明らかにし、富士山が日本の地質構造上でもっとも重要なフォッサマグナの成因に関係すると議論した。帰独後、日本に古くからある物語で、富士山の噴火に関係している竹取物語のオペラのシナリオまで作成した。

キーワード: ナウマン, 富士山, フォッサマグナ
Keywords: Naumann, Mt Fuji, Fossa Magna

坪井誠太郎資料調査から得られた知見：遺された手紙類を読み解く The Research on Seitaro Tsuboi Materials: Interpreting his Correspondence

栃内 文彦^{1*}

TOCHINAI, Fumihiko^{1*}

¹ 金沢工業大学

¹ Kanazawa Institute of Technology

発表者は、JpGU2012年大会にて発表したように、東京大学大学院情報学環社会情報研究資料センターに収められている地質学者 坪井誠太郎（1893-1986年）に関する大量の資料（以下、「誠太郎資料」）の調査を、2010年から進めている¹⁾。坪井は、1920年代から1950年代にかけて、物理学的・化学的手法（溶融実験、偏光顕微鏡を用いた光学分析）を用いた火成岩成因研究を行なった。多くの地質学者が、肯定的であれ否定的であれ、彼の研究に惹きつけられた。東京（帝国）大学地質学教室教授として当時の日本地質学界のいわば「頂点」にいたこともあって、日本の地球科学の動向に大きな影響を与えた。

「誠太郎資料」の調査を始める前に発表者が得ていた知見では、坪井の日本地質学界への影響力は、坪井が1954年に停年によって東大地質学教室から退いた後は、急速に減少したことが窺われた。ところが、「誠太郎資料」として遺されている彼の著作に関して出版社と交わされた手紙や、印税額の通知書類などを分析した結果、坪井が行なった研究は1980年ごろになっても、相当な関心を集めていたことが分かった。

本発表では、「誠太郎資料」から得られた上記の新知見を、資料を実際に紹介しながら具体的に論じてみたい。

注

¹⁾ 栃内文彦：「地球科学史資料のアーカイブ化：坪井誠太郎資料調査からの知見より」（2012年5月20日）。これまでの調査の概要は、栃内文彦：「坪井誠太郎資料」の意義 一同資料の概要調査から得られた知見一、『東京大学大学院情報学環社会情報研究資料センターニュース』23号、2013年3月、pp. 1-6。なお、2012年度以降の調査・研究は（本発表も含めて）、JSPS 科研費（課題番号 24650583）の助成を受けて行われている。

キーワード: 科学史, 日本地質学史, 坪井誠太郎, アーカイブ

Keywords: History of Science, History of Geology in Japan, Seitaro Tsuboi, Archive

プレートテクトニクス理論の「パズル解き」の例 The Examples of the "puzzle-solving" in the Plate Tectonics Theory

千葉 淳一^{1*}

CHIBA, Jun'ichi^{1*}

¹ 大原法律公務員専門学校横浜校

¹ Yokohama School, O-hara Business College

プレートテクトニクス理論は固体地球科学の世界でパラダイムになっているとされる(たとえば都城, 1998など)。実際、著者が大学院時代に房総半島の地質の記載的研究に従事していたとき、観察事実の解釈にプレートテクトニクス理論のサブ理論である付加体理論の用語を用いていたし、フィールド調査の最中にも、目の前の露頭について、「これは付加体でいうと、どの部分に当たるのか?」と自問していることがあった。これは新たな観察事実を付加体理論の枠組みに納める作業で、ある意味トーマス・クーンの言うところの通常科学における「パズル解き」であったと言える。

プレートテクトニクス理論の日本地球科学界への受容について、当事者の回顧録以外のものとしては泊(2008)がある。泊は、地球物理学・地震学界が比較的スムーズにプレートテクトニクス理論を受容したのに対して、地質学の世界は10年遅れたとし、これを「失われた10年」と表現した。その原因として泊は、地質学者が物理学・化学の応用(現在主義)よりも造山運動理論による個々の地域地質の記述に興味を持っていたということ(歴史法則主義)、当時地質学会においてマジョリティであった地学団体研究会の指導的立場にある地質学者が強硬にプレートテクトニクス理論を批判していたことなどを挙げた。これに対し、芝崎(2011)は、1970年代後期~1980年代初期には、特に放散虫化石を用いて生層序学の研究をしていた地質学者は、付加体理論で地域地質の問題点-特にブロック・イン・マトリックス構造の年代決定の問題点を説明することに成功するなど(放散虫革命)、プレートテクトニクス理論の地質学界への受容を牽引しており、地域地質の研究に従事しているからこそグローバルな変動に関する理論に寄与できたと述べ、日本の地質学界のプレートテクトニクス理論の受容は決して遅くなかった、と反論した。また、この放散虫革命に寄与した多くの若手研究者は地学団体研究会に所属していたことから、地学団体研究会の指導的立場の研究者が反プレートテクトニクス理論であったことには間違いないものの、その影響力は限定的であったとした。その上で芝崎は、より統合的な科学史研究が必要であるとした。

著者はこの問題に関して、地質学の各分野(地域地質学のほか、構造地質学、層序学、火山岩岩石学、変成岩岩石学、鉱物学等)において、プレートテクトニクスの「パズル解き」に当たる研究がいつ頃から始まっているか、をレビューすることが有効であろうと考える。ある研究成果がプレートテクトニクスの「パズル解き」であるかどうかは、論理構造からある程度決定することが可能であるし、それこそがプレートテクトニクスがパラダイムとして機能をしていることを示すものだからである。本発表では地質学分野で、プレートテクトニクス理論の「パズル解き」を行っている研究のいくつかの例を紹介する。

引用文献

都城秋穂, 『科学革命とは何か』, 岩波書店, 1998年

泊 次郎, 『プレートテクトニクスの拒絶と受容-戦後日本の地球科学史』, 東京大学出版会, 2008年

芝崎美世子 『日本におけるプレートテクトニクス受容の「空白の十年」と地質維新: 転換期の技術革新と学会批判の構造』, 地球惑星科学連合2011年大会予稿集, 2011年

キーワード: プレートテクトニクス, パズル解き, 科学史, 地質学

Keywords: plate tectonics, puzzle-solving, history of science, geology

ドイツにおける鉱山・鉱物・地質学の歴史を文学作品にみる ー科学と思想の隙間ー A history of mining, mineralogy and geology in the German literature

上野 ふき^{1*}
UENO, Fuki^{1*}

¹ 名古屋大学大学院情報科学研究科
¹ Graduate School of Information Science, Nagoya University

古代ギリシアから中世まで、鉱物が有機体であるか無機物であるかという議論が絶えず行われてきた。タレスやピュタゴラス学派は石が靈魂を有すると考え、初期プラトンやアリストテレスは鉱物に神的、靈的な性質を見て取った。ローマの自然観では、鉱山はしばらく放置しておくとし生産性が上がると考えられた。中世になると、鉱物と魔術の関係が論じられるようになり、石には靈性が、宝石には魔力が備わるとされた。その考え方は錬金術師らに受け継がれ、鉱物、宝石の知識は魔術にとって不可欠なものとなった。

このような石が持つ超自然的な力についてのアイデアは、文学作品の中に散見される。特に 18、19 世紀のドイツ文学ではその傾向が顕著である。当時の作家の多くは鉱山研究をするか、もしくはそれに関わる職に就いており、鉱物や鉱山のモチーフを物語に取り入れた。彼らの作品の中では常に鉱物が神秘的役割を持つ。この傾向は 18、19 世紀に留まらず、20 世紀の作家にまで及んでいる。それを受けてドイツでは鉱山が魂の象徴となった。

しかし、このように鉱物に神秘性をもたらした石の靈魂含有説は、13 世紀にはアルベルトゥス・マグヌスによって否定され、その後、16 世紀にはアグリコラによって具体的な採鉱冶金技術が記され、17 世紀にはライプニッツによって聖書に準拠しない至極、機械的（現実的）な地球生成論が記されている。ライプニッツの哲学は生氣論の部類に入れられ、ロマン主義の文学者たちに莫大な影響を与えたにもかかわらず。

哲学書や文学作品には聖書の思想や古代の幻想が 20 世紀ごろまで残っているのに対し、地質学や地球生成論を真面目に論じるとなると、時代が中世であっても機械論的になるという傾向が見受けられる。それが、個人の思想家の中でも、思想と現実の大きなずれとして現れているように思われる。本発表では、鉱山を作品に用いた文学者（ゲーテやロマン主義作家）や哲学者（ライプニッツ）の作品と現実の活動を紹介しつつ、地球をありのままに観察した“現実”と彼らが理想とする形而上学的思想との間にある隙間を考察する。

日本と中国の地理学史における王謨の役割 Wang Mo's role in the history of Japanese and Chinese geography

柴田 陽一^{1*}

SHIBATA, Yoichi^{1*}

¹ 京都大学人文科学研究所

¹Institute for Research in Humanities, Kyoto University

16人のシニア地理学者へのインタビュー集である『地理学を学ぶ』に、1942年にある中国人の来日に合わせて集まった東京帝国大学理学部地理学科の卒業生たちの写真が収められている。中国人の名は王謨（字は献蜀）、同学科を卒業した初めての中国人であった。

日本の地理学は、他分野と比べて高等教育機関における制度化が遅かった。初めての地理学講座は、明治末期の1907年に京都帝国大学文科大学史学科に設置された（初代教授は小川琢治、1911年に第1回卒業生を輩出）。つづいて、1911年に東京帝国大学理科大学地質学科に地理学講座（初代教授は山崎直方）が置かれたものの、あくまで地質学の一部にすぎず講座として卒業生を輩出することはなかった。ところが、第一次世界大戦後の1919年になると、「地理学は世界の大勢を明らかにし、その応用分野が少なくない」などの理由から、上述の地理学科が新設されることになったのである（1921年に第1回卒業生を輩出）。学協会の設立をみると、京都の地球学会が1924年、東京の日本地理学会が1925年に創設され、それぞれ雑誌『地球』・『地理学評論』を刊行し始めた。

以上のことから、日本の地理学が制度化されたのは1920年代前半であり、王謨はちょうどこの時期に日本で学び、その知識を中国に持ち帰った人物と位置づけることができる。そこで本報告では、彼の生涯をたどることを通じて、日本と中国における地理学の交流の一端について考えてみる。

王謨は1895年に四川省儀隴県に生まれた。来日時期は定かではないが、1915年には東京高等師範学校に入学したと考えられる。同校理科で地質学・鉱物学を専攻した後、1919年から東京帝国大学で地理学を学んだ（1922年卒業）。帰国後は、武昌師範学校地学系の初代教授に就任（同校は北伐により1926年閉鎖）。1928年には北平師範大学地理系を設立し、主任となった。これは、1921年に南京に設立された東南大学地学系（主任は竺可楨、後に中央大学地理系）に次ぐ、中国で二番目の大学地理系であった。また、1909年に張相文らによって設立された中国地学会（1910年に『地学雑誌』を創刊するも1924年に停刊）の復興に尽力した。北伐軍が北京を占領した直後の1928年9月、王謨は地質調査所の翁文灏（後に中国地理学会初代会長）・章鴻釗（東京帝国大学地質学科を1911年卒業）らと共に同誌を復刊している。こうした経歴からみて、王謨が当時の中国地理学界において重要な位置にあったことはうなずけよう。

ところが、王謨の研究業績はそれほど秀でたものであったようには思えない（報告者の調査不足のせいかもしれない）。故郷の四川や新疆・チベットに関するいくつかの論文、松山基範（京都帝国大学地質学鉱物学教室教授）の『地球』（地人書館の地理学講座）の翻訳、教科書『初中外国地理教科書』・『復興高級中学教科書自然地理』が目玉を引く程度である。例えば、彼と同年に東京帝国大学地質学科を卒業し、地理学・地質学関連の数多くの著書・翻訳書を著した張資平と比べた時、彼の業績は見劣りがするといわざるを得ない。彼はむしろ、日中文化交流および教育の分野で活躍していくことになる。

1937年の日中戦争開始に伴い、北京に在住の中国知識人の多くは、西南へと逃れる道を選択した。しかし、王謨は日本が樹立した傀儡政権である中華民国臨時政府（後の華北政務委員会）下の北京にとどまることを決める。この決断は政治的な意味合いをもつものであった。彼は外務省文化事業部と臨時政府の協力の下に1938年に誕生した東亜文化協議会の中国側委員となり、何度か来日するなど積極的に活動した。また、同年成立した中華民国教育総会でも常務委員を務め、同会の機関紙上で地理教育の改革や、精神訓練や思想的統一などの重要性を訴えた。さらに、華北政務委員会では、1943年11月から教育総署督弁（文部科学大臣に相当、周作人も同職に就任）兼常務委員を務めた。冒頭で触れた写真は、こうした文化活動の一貫として来日した際に撮られたものであろう。また彼は日本地理学会創設時の同人の一人であり、日本の地理学者も彼の元を何度も訪問して交流を深めている。だが、こうした活動の結果として、日本敗戦後に王謨は漢奸として逮捕されることになった（その後消息不明）。

以上みてきたように、王謨が日本と中国における地理学の交流に果たした役割は、地理学書の翻訳を通じたものであったとはいえない。彼の役割はむしろ、中国の大学に地理系を設立して学生を教育したり、帰国後も日本の地理学者とのフェイス・トゥ・フェイスの交流を続けたことにある。そのため彼の営為を学説史上に位置づけるのは難しく、ほとんど忘れられた存在となっている。だが、当時の中国地理学界の多様性、そして現在の国家の枠組みにとらわれない東アジアの地理学史を描く上では、銘記されてしかるべき人物ではないだろうか。

キーワード: 地理学の制度化, 地理学思想の伝播, 中国人日本留学生, 地理学史

Keywords: institutionalization of geography, diffusion of geographical thought, Chinese international students in Japan, history of geography

科学における理論変化 — 太陽系形成論をケースに Theory Change in Science - Case Study on the Solar System Formation

青木 滋之^{1*}
AOKI, Shigeyuki^{1*}

¹ 会津大学
¹University of Aizu

現在の科学哲学は、科学の専門化と同じように個別化が進んでいるが、地球(惑星)科学に関する科学哲学の研究は、1960年代のプレートテクトニクス革命を取り上げたものが1980-90年代に多く見られた後、活気を欠いてきているように見える。最近の科学哲学についてのアンソロジー (Curd & Psillos 2013) を見ても、生物学、化学、認知科学、経済学、心理学、社会科学などが個別科学哲学で挙げられる中で、地球科学は抜け落ちている。上記のプレートテクトニクス革命をテーマとした科学哲学の諸成果は、すでにデータとして1960年代の地球科学を対象とした科学史研究が蓄積されていたことが前提にあった。対照的に、地球惑星科学の哲学においては、地球科学と惑星科学の融合過程が未だ詳らかにされていないことから、その史的データを発掘していくことも必要である。

本論では、Brush(1996)による惑星科学史を手掛かりとしながら、太陽系の起源・進化をめぐる20世紀初頭から中葉までの理論の流れを俯瞰し、この過程を説明するモデルとしてどのようなものが適切であるかを考察したい。

キーワード: 科学哲学, 科学史, 科学論

Keywords: Philosophy of Science, History of Science, Science Studies

人為起源気候変化とその対策とくに気候工学の位置づけに関する根本的考察 A rudimentary consideration on anthropogenic climate change and countermeasures to it, "geoengineering" in particular

増田 耕一^{1*}
MASUDA, Kooiti^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

地球温暖化あるいは anthropogenic climate change (人為起源の気候変化) と呼ばれる問題と、社会がそれに対処するのにどのような活動を必要とするかについて、考えの発達をふりかえり、根本的なところから組み立てなおしてみる。

ここでいう地球温暖化とは、人間の産業活動によって、大気中の二酸化炭素などの濃度が増加し、大気の温室効果を強化することによる、全球平均地表温度の上昇を特徴とする気候の変化である。これは海面上昇や乾湿の変化を伴い、人間社会に影響を与える。影響は、地域間や世代間で不公平に生じる。

1988年のIPCC(気候変動に関する政府間パネル)発足以来、地球温暖化の対策は、緩和策(mitigation)と適応策(adaptation)とに分けて論じられてきた。2013-14年のIPCC第5次評価報告書(AR5)では、気候工学(geoengineering、日本語表現は杉山昌広氏に従った)が加えられた。この3分類はこれまでの議論のいきさつを負ったものであり必ずしも合理的ではなく、組みかえも提案されている(たとえば Boucher ほか, 2014, WIREs Climate Change)が、ここではひとまずこれに従う。

人間社会は環境の制約を受けながら環境に適応して発達してきた。変動を含む気候も環境の部分であり、それへの適応は人間社会の基本的機能である。ただし、農業開始以来の人間社会は、第四紀の中でも変動が異常に小さい完新世の気候だけを経験しているという特殊性がある。また、近代の世界は、国境と土地所有権を明確にするようになり、しかも化石燃料利用を含む科学技術の発達によって人口がふえたので、かつてはふつうであった移住による適応が困難になっている。さらに、現代は、民族間平等や人道思想が普及し、多くの人々が不慮の死をとげるような事態を避けたいという価値観が強まった。人間社会の適応は、生物の適者生存とは違った課題となっている。

20世紀なかばには、科学技術によって気候を人間社会につごうのよいように制御することへの期待もあった。しかし、気候に関する科学的知見が発達するにつれて、一方で、気候は複雑なシステムであり非線形性や観測困難による不確かさが大きいことがわかり、他方で、化石燃料燃焼による二酸化炭素排出が気候システムのエネルギー収支を偏らせる強制作用として重要であることがわかった。そこで、気候システムへの積極的介入ではなく、人間活動がすでに起こしている強制作用を弱めることによって

気候変化を小さく食い止めるという消極的介入が、主要な対策として考えられるようになった。これが慣用的に地球温暖化の「緩和策」と呼ばれる。

緩和策の基本は化石燃料使用を減らすことであるが、経済発展に対してエネルギー資源があまりにも大きな役割を果たしているため、気候変動枠組条約締結(1992年)以来20年を経ても、緩和策に関する国際的意志決定はあまり進んでいない。

そこで、技術的に気候を制御すること、つまり「気候工学」への期待がふたたび高まっている。ただし、その困難は依然として大きい。それには技術が未完成であることも含まれるが、効果と副作用および費用に関する知見の不確かさもある。

気候工学のすべてをカバーはしないが主要な分類として二酸化炭素除去(CDR)と太陽放射管理(SRM)がある。

CDRは、大気に対する強制作用を減らす効果については緩和策と同等だが、除去された二酸化炭素の行き先である地層、土壌、海などの環境を改変する。また、隔離が破れる事故の可能性もないとはいえない。どの程度の環境改変と事故を許容するかが、社会的意志決定の問題となる。ただし、陸上や領海で行なわれる場合は、国内の政策決定ですむかもしれない。

SRMは、温室効果強化を平均としては打ち消すことができても、緯度別・季節別の強制作用については、強めてしまうこともある。それが世界の各地域の気候におよぼす影響は、地域別の温暖化の予測と同等に困難である。しかも、意

MZZ45-07

会場:422

時間:4月29日 15:45-16:00

図的な行為であるから、損害が生じた場合の責任は重大なものになりうる。また、SRMのうちでも技術的実現可能性が高いと考えられる成層圏エアロゾル注入が継続運用された末に急に中止されたとすれば、約2年以内にSRMの効果は消え温暖化が急激に再開する。これは適応策に対してSRMを実施しない場合よりも深刻な困難をもたらさう。したがって、SRMを政策オプションに含めるためには、技術的実現可能性のほかに、現在の気候変動枠組み条約よりもはるかに強力な国際的ガバナンス体制が必要である。

キーワード: 人為的気候変化, 地球温暖化, 気候工学, 気候変動適応策, 地球温暖化緩和策, 太陽放射管理

Keywords: anthropogenic climate change, global warming, geoengineering, adaptation to climate change, mitigation of climate change, solar radiation management

部分的な共役可能性：固体地球物理学における複数の観測システム間の翻訳について Partial Commensurability: Translations between Multiple Observational Systems in Solid-Earth Physics

森下 翔^{1*}
MORISHITA, Sho^{1*}

¹ 京都大学/日本学術振興会
¹ Kyoto University / JSPS

共役不可能性のテーゼは、1960年代にクーンとファイヤアーベントによって科学哲学へと導入された。この概念は当初複数のパラダイムや概念枠組みの間の翻訳にかかわる問題として議論されてきたが、90年代に科学哲学者のハッキングによって、実験系に代表される閉じたシステム（理論-物質系）間の関係にかかわる概念として拡張された [Hacking 1992]。

その主張を観測科学の文脈に引き直すならば、大略以下のようなになるだろう。各々の観測装置は閉じたシステムを形成している。すなわちその観測装置に固有の観測手順を持ち、観測装置の構造に応じた測定原理を持つ。生み出されたデータは固有の視覚的表示の形式によって可視化され、固有の補正手法を通じて解析される。つまり観測装置が異なれば観測手順、観測対象、解析手法、視覚的表示の形式やその分節化の在り方は全く異なり、それら一連の関係によって構成される特定の観測システムからもたらされる結果を、他の観測システムの結果へと翻訳することは原理的に困難である。

このような共役不可能性のテーゼは、「異なる観測システムからもたらされる結果の比較がいかにして達成されうるのか」という問題を提起する。本発表ではこのような比較の試みを「部分的共役」と呼び、固体地球物理学からジョイント・インバージョンを始めとするいくつかの事例を示し、その具体的な位相について検討する。

キーワード: 共約不可能性, 観測システム, 翻訳

Keywords: Incommensurability, Observational Systems, Translation

時系列データダイナミックプレビュー用 Web アプリケーションの科学史への応用 A Web-application of Dynamic Time-Scale Previewer and its Application for Historical Geoscience Studies

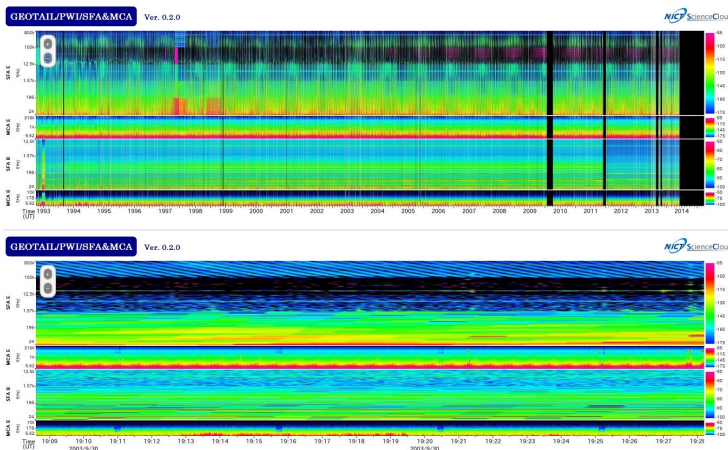
村田 健史^{1*}
MURATA, Ken T.^{1*}

¹ 情報通信研究機構
¹ NICT

本研究では、NICTサイエンスクラウド上で開発した時系列データ表示ツール（開発名：STARS touch）について紹介する。これまでの多くの時系列データ表示用科学データ Web アプリケーションは、Web アプリ用のミドルウェアなどによりデータの読み込みと画像表示を行ってきた。その多くは、日時やデータ選択を行う手間やデータ処理を行う処理時間がユーザビリティを下げていた。STARS touch はクラウド上のデータ収集システム（NICTY/DLA および WONM システム）により収集した科学データを Gfarm/Pwrake 等により並列処理することで画像化した時系列画像データを用いる。また、Ajax やキャッシュプログラムにより閲覧しているデータに近いデータを優先的に読み込む非同期処理を導入することでユーザビリティを上げている。

発表では、STARS touch のデモを行い、異なる時系列データを Web アプリケーション上で表示する有効性について議論する。現在の実装では数 10 年から数十年までの現象を連続的に閲覧することができる。これにより、マクロ時間スケールな現象や長期トレンドでの興味深い事象・現象を発見し、それをミクロ時間スケールで確認・解析することができる。このツールを数世紀から数年という時間レンジに改良することが科学史研究にとって有効であるかどうかの議論を行う。

キーワード: STARS touch, NICT サイエンスクラウド, Web アプリケーション
Keywords: STARS touch, NICT Science Cloud, Web Application



災害に抗する科学 1960-1993——自然災害科学は災害を克服できたか？ Science against Natural Hazard 1960-1993: Has the Natural Disaster Science Overcome the Disasters?

山田 俊弘^{1*}
YAMADA, Toshihiro^{1*}

¹ 東京大学大学院教育学研究員

¹ Post-doctoral Fellow of Pedagogy, University of Tokyo

日本の地球科学の歴史には自然災害が色濃く反映されている。災害を予想し未然に防ぎ、あるいは軽減するために、研究を積み重ね知識を蓄積してきたという一面をもっている。だがそうした自己了解の一方、そもそも災害を科学するとはどういうことなのか、実際に災害を防ぐ科学技術体系とは何なのか、災害を防ぐ最適な方法を評価する手段はあるのか、といった基本的な問題に関する議論は弱いように見える。本稿は、戦後、地球科学者が主唱してつくられた「自然災害科学」という領域の成り立ちをたどることによって、これらの問題を考える機会にするとともに、この領域のもつ現代地球科学史にとっての意味を考察する。

敗戦直後の地球科学にとって実際上の大きな課題は、資源の問題であったが、ほどなくして自然災害対策が浮上してくる。大きなきっかけとなったのは1959年9月の伊勢湾台風による被害であった。戦後復興後の国民生活と経済を災害から守ることは政治的社会的な課題となり、災害対策基本法の制定をみた(1961年)。この機をとらえ、全国の大学研究者を糾合して自然災害の総合的研究を呼びかけたのが、福井大学の学長であった地球物理学者の長谷川万吉(1894-1970)であった(災害科学総合研究班, 1977)。

長谷川は災害研究の必要を1959年秋の国立大学協会場で訴え、翌年には80万円の文部省科学研究費を得て「災害科学総合研究班」という研究連絡組織を発足させる。当初の研究分担者は30名ほどであったが、63年に特定研究のなかに領域が設定されるにおよんで、65年までの3年間に120件の研究が行われる規模になった。この特定研究は三期9年間を経るあいだに、研究分担者は800名を数え、研究費総額は1億円を超えるようになる(1971年度)。さらに72年からはガン研究と同等の扱いの特別研究として遂行されるようになった(自然災害科学総合研究班, 1972)。

自然災害科学研究の目標は「自然災害を軽減あるいは防止して生活の向上、福祉の増進に貢献するための学術的基礎を与えること」とされ(自然災害科学総合研究班, 1972: 71)、研究組織は、気象、河川、海洋、地震、火山、雪氷、農林など10ないし11の専門部会と、北海道、東北、関東、中部、関西、西部の6つの地区に分けられ、それぞれに責任者が置かれた。こうした整然とした組織づくりと運営をひきうけたのが、のちに「災害科学のドン」と呼ばれるようになる名古屋大学の地質学者松澤勲(1906-1990)であった。松澤は戦中大陸の資源探査に携わり、戦後は新設された名古屋大学地球科学科の構造地質学の教授となっていた。

この1960年代から始まった自然災害科学研究の流れは、戦後地球科学史研究のうえで次の3つの観点から注目される。

第一に、地球科学分野における軍民転換論における意味である。水谷(MS, 2013)の示唆するところによると、当時長谷川は研究費の確保に心を砕いており、地球科学者の社会的貢献と研究資金の獲得のために、公衆にアピールする災害対策に思いを致したと推定される。そうであるとすれば、広重(1973/2003)や松本(1998/2012)の指摘する戦中から戦後にかけての軍民転換のこの分野における例として、その問題点を含めて検討の価値がある。

第二に、地球科学の諸専門分野が連携する基盤としての意味である。特に2大ディシプリンともいえる地質学と地球物理学間には、教育・研究上越えがたい溝が存在したが、1990年代に地球惑星科学として統合されていくにあたって、プレートテクトニクスのような理論的發展とは別に、災害科学領域という活動の場が分野の形成に資するところがあったのではないかと。

第三に、人文社会科学分野との関係を開拓した意味である。当初、理工農の研究者主体で始まったプロジェクトであるが、問題の性質上「災害の自然科学的研究のみならず広く社会文化的研究や公害に対する研究などとともに幅広い研究体制」を確立する必要があった(自然災害科学総合研究班, 1972: 3)。この趣旨は1980年代に向け、防災教育や社会学的な見地を包含する方向に発展していくことになる(自然災害科学総合研究班, 1989: 88-95)。

キーワード: 自然災害科学, 現代地球科学史, 軍民転換, 学際領域, 長谷川万吉, 松澤 勲

Keywords: Natural Disaster Science, contemporary history of earth sciences, defense conversion, interdisciplinary domain, Hasegawa Mankichi, Matsuzawa Isao

大川小学校遭難事故をなぜ防げなかったのか?理科教育と地球惑星科学の責任・役割 The reasons why we couldn't avoid the Okawa Elementary School disaster

林 衛^{1*}
HAYASHI, Mamoru^{1*}

¹ 富山大学人間発達科学部
¹ University of TOYAMA

「天災は忘れた頃にやってくる」(寺田寅彦)は、低頻度災害の発生間隔の長さを指摘しただけにはとどまらない。地球惑星科学は進展したものの、明治の大森・今村論争以来の大問題は、解決するどころか、深刻化しているともいえる。

大川小学校大津波被災はハザードマップから想定できた

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震発生から50分後、巨大津波が石巻市立大川小学校を襲った。学校にいた大川小児童74名、同教員10名、迎えにきていた大川中生徒3名、人数が把握できていない大川地区住人が犠牲となった。現場生存者は児童4名、教員1名であった。明治の学制発布以来、学校管理下での最悪級の事故である。

3月9日の三陸沖地震(マグニチュード7.3、結果的に3月11日東北地方太平洋沖地震の一連の前震の一つであった)よりも激しい揺れが長時間(およそ2分半)続いたこと、1960年チリ津波を経験した祖父のことばなどを根拠に、高学年児童を中心に、授業や遊びの場であった学校裏山へ避難しようの声があがっていたにもかかわらず、「冷静に、落ち着いて」と教師がいさめてしまい、高台への避難がされないまま被災してしまった。

校長が現場を離れていたものの、大津波警報、避難を呼びかけるラジオ、広報車、保護者らからの情報も届き、教頭、教務主任、安全主任の少なくとも教員3名が安全確保のためには学校裏山へ登るのが有効だと判断をしていたのだが、裏山避難をする決断に至れなかったのだ。下流側に向け児童を乗せ出発する予定だったスクールバスは、バックして校庭に入り、上流方向に出発できるよう待機していた。

「想定外」と語られた巨大津波ではあったが、宮城県が想定した宮城県沖地震(連動型、マグニチュード8)にもとづく津波浸水予測では、北上川河口から4kmに位置する大川小学校の手前500m迫る津波浸水が想定されていた。避難が必要な大規模な津波陸上遡上は、石巻市発行のハザードマップにも明瞭に示されていた。マグニチュード8の宮城県沖地震にたいして大川小被災は想定外であったとしても、それを越えるマグニチュード9の超巨大地震では、想定を越える津波に襲われるとの想定は可能であり、現に小学生も教員も津波の難を避けるために裏山へ登る提案をしていたのだ。

「天災は忘れた頃にやってくる」人間・社会要因に向き合う責任・役割

石巻市が5700万円の予算を計上し、文部科学省と宮城県教育委員会の指導・監視によって進められた大川小学校事故検証委員会(室崎益輝委員長、事務局社会安全研究所)は、最終報告案(2014年1月20日提示)に至っても、事実がいまいになるばかりで、情報、手段、判断があつたのに、なぜ避難の決断ができなかったか、その原因究明には至っていない(本予稿投稿後の2月23日に公表予定の最終報告書を分析する)。

地震という自然現象が、自然現象に留まらず、自然災害となる原因は、今村明恒や寺田寅彦が指摘するとおり、人間・社会の側にあるとみるべきだろう。想定どおりであればマニュアルが直接役に立つが、事前の想定、マニュアルをやや越えた、想定可能な「想定外」の事態のもとで判断、決断をもとめられたときに、多くの自然災害が発生している。大森房吉が「浮説」として排除し「想定外」に置いてしまった今村の想定のはたしは、大正関東地震によって検証された。

直下地震の恐れありと1970年代に神戸市自ら報告書を出し、中学校理科教科書にも図入りで解説されていた六甲、神戸・阪神間の活断層研究の成果は、阪神・淡路大震災の軽減にほとんど役に立たなかった。1980年代の神戸市地域防災計画の際、震度6か5かで専門家の意見が割れた際に、震度5強の想定が選ばれ、公共施設や防火水槽の耐震化がされなかったどころか、震度6や7が発生する活断層地帯であるとの知識の共有がされなかった。世界で最も進んでいた近畿地方における活断層研究が、いかせなかったのだ。

マグニチュード7ならば強震動発生は10秒、同8ならば1分、同9ならば2分半といった半定量的で防災に役立つ断層すべりモデルにもとづくマグニチュードの理解も、科学者や高校理科教員にすらほとんど及んでいないため、世界で最も進んでいたはずの日本海溝沿いの地震、津波発生機構の研究もまた、震災軽減をもたらさなかったのだ。

大問題解決向け、理科教育と地球惑星科学の責任・役割を再検討する。

キーワード: 東日本大震災, 津波ハザードマップ, 強震動発生, 断層すべりモデル, 阪神・淡路大震災, 中学校理科

日本の近代花崗岩石材産業の特徴と産地による違いの考察 Characteristics of the modern stone industry and the regional context in each granite production areas in Japan

乾 睦子^{1*}
INUI, Mutsuko^{1*}

¹ 国土館大学理工学部
¹ School of Science and Engineering, Kokushikan University

日本で石材が広く一般の建築物に利用され始めたのは、明治維新後に西洋建築が導入されてからである。このため、日本の各地の石材産業は、産業が興った時期と、機械化され近代産業として成立した時期とが非常に近いという歴史的経緯がある。すなわち、当初から産業的採掘の意図をもって資源が探索され、採掘が始まった産地が多くある。そのため、石材利用の歴史が長い欧米諸国には見られない特徴的な石材産業が成立したが、その全体像はあまり知られていない。また、1980年代後半以降は国産石材の市場が急激に縮小したが、その理由は一般には安価な輸入材の増加のためとしか語られることがなく、産地それぞれの事情に踏み込んだ記述は少ない。しかし石材という地質資源が日本の産業が発展する中でどのような役割を果たして来たかを知っておくことは重要である。本稿では、国内のいくつかの花崗岩（みかげ石）石材産地への訪問・聞き取り調査の結果から、まず日本の石材産業の成り立ちと日本特有の事情を記述し、次に地域ごとに異なる構造が成立した要因と、その構造が時代とともに変遷した経緯を考察したものである。

日本の石材産業の特徴は、特に建築石材としては、構造材として使用する習慣がなかったために当初から装飾・化粧材として利用が広まった点であると考えられる。その結果、石材の高級感やデザイン性が重視され、色柄や縞模様を「キズ」として避けるなど、色柄に完璧を求め過ぎる風潮につながり、採掘の効率（歩留まり）を落とすことにつながったとも言える。また、第二次世界大戦後には墓石として石材（とくに花崗岩石材）を用いる習慣が広がった。ちょうど花崗岩の加工が機械化によって容易になった時期と重なったことも追い風となって墓石の国内市場が確立した。本磨き（鏡面研磨）の花崗岩を大量に使う墓石の形態も日本に特有のものである。この経緯によって、日本では建築石材と墓石材の二つが異なる市場を形成し流通することとなった。その後、輸入材や海外加工品に押されて石材産業が大幅に縮小し、とくに建築石材は価格の影響が大きいと壊滅的な打撃を受けた。これによって大理石産地のほとんどが閉山したが、花崗岩の産地では墓石や灯籠、寺社建築に国産品の需要が保たれたため、産地や業者の数は減ったものの継続して稼働している。

産地間の違いを生む要因として、まず石材そのものの品質と用途が挙げられる。石材の材質は、もともと建築石材と墓石材のどちらが主になるかを決定していたと思われる（ただし、建築石材を主に産出していた産地の多くが現在は墓石にシフトしている）。建築石材か墓石材かを決めていた大きな要因は大きな材が採れるか否かである。建築用には、同じ色目で同じ形状・サイズの材を数多く加工する必要があるため、キズの無い大きなブロックで採掘できることが望ましい。大材が採れるのは粗粒の花崗岩の産地に多く、首都圏の建築物に最初に用いられ始めた花崗岩も瀬戸内海のそのような産地（小豆島、北木島など）の石材であった。クラックが多い、目（特徴的に割れやすい方向）の方向が複雑、などの理由から大きな材が採れない産地は、特徴的に墓石用材を主に産出してきた（例：庵治、大島、岡崎）が、細粒の花崗岩が採られている地域が多い。細粒で繊細な外観が彫文字を美しく見せ、日本の墓石に向いていたということも大きいと思われる。

石質以外の社会的要因としては、採石場の立地の違いがある。瀬戸内海の島は、露出がよいと採掘しやすく海運による運搬が有利であったが、道路輸送が主力となってからはその立地が不利に変わった。反対に、本州や四国の本土にある採石場の中には、拡大してきた市街地と近接した立地になってしまい、騒音対策のため採掘の手段が限られるという事情が生じていた。自然破壊が問題視されるようになってからは、観光客の視線が届く場所での採掘は控える必要が出て来た。産地によって地権者・採掘者・加工者の関係が異なることも異なる産業構造を生んでいた。採掘と加工が共存している産地もあったが、採掘のみの産地もあった。大きな地権者の存在の元、複数の業者が稼働する産地は、採掘・加工ともに共同体意識が強く醸成され、それが産地としての求心力・ブランド力強化の動きにつながっているように思われた。

現在まで、日本の石材産業は外圧（西洋建築の導入）によって成立し、外圧（安価な輸入材）によって縮小した側面しか捉えられていなかったが、日本独特の石材産業の作法や、各産地の事情に応じた産業構造がその産業史の中で一定の役割を果たしたことが分かってきた。

キーワード: 石材産業, 建築石材, 墓石, 花崗岩, 採石場, 近代産業史

Keywords: building stone, tombstone, headstone, granite, quarry, modern industrial history

山口県美祢産の様々な大理石とその採掘の歴史について History of marble mining in Mine, Yamaguchi Prefecture, Japan, and its use in historic buildings

乾 睦子^{1*}

INUI, Mutsuko^{1*}

¹ 国土館大学理工学部

¹School of Science and Engineering, Kokushikan University

山口県の美祢地区はカルスト台地として知られ、秋芳洞は全国的に名を知られる鍾乳洞である。この石灰岩台地は、現在も工業用材料としての石灰岩の産地であるが、以前は建築用の大理石の採掘も行われており、国内最大の大理石産地であった。産業的採掘が始まったのは明治末期からとされ、すべて国内産の材料を用いた国会議事堂（1936）建設時には内装材や暖炉などに美祢産大理石が多く用いられた。その後、第二次世界大戦を挟み昭和 40 年代頃までは大きな産業として成り立っていたと考えられるが、安価な輸入大理石に価格と供給スピードの面で太刀打ちできなくなって国産大理石市場は急激に縮小した。現在ではほとんど建築材としての採掘は行われていないばかりか、多様な色・柄の大理石がそれぞれどの採石場でどの時期に採掘されていたかも確かな記録がなかなか見つからない状況である。

地質資源のひとつである大理石が、明治～昭和初期の日本の工業化の中でどのような役割を果たしたかを記録しておくことは大変重要であると考えられる。それだけでなく、建物側でも大理石の産地銘柄が記録されていないことが多いため、このような記録は近代の歴史的建築物の価値を正しく評価するために今後ますます必要になると思われる。そこで、文献と現地調査とからできるだけ多くの大理石の種類・銘柄名と、それらが採掘されていた採石場、またそれらの大理石を現在も残している場所（主に歴史的建築物）とを現在までに分かる範囲で整理したので紹介したい。

キーワード: 大理石, 美祢, 山口県, 石材産業, 採石場, 歴史的建築物

Keywords: marble, Mine district, Japan, stone industry, quarry, historic building

地球惑星科学と科学哲学の連携自己実験のレビュー Review of self-experiments on the cooperative study between EPS and philosophy of science since 2008

熊澤 峰夫^{1*}; 上野 ふき¹

KUMAZAWA, Mineo^{1*}; UENO, Fuki¹

¹ 名古屋大学, ² 名古屋大学

¹ Nagoya University, ² Nagoya University

【地球史と科学哲学の関係】 全地球史解説「重点領域研究 (1996-1998)」の立案において、丸山茂徳らと熊澤は、地球の歴史をその形成から現代まで、同じスケールの時間分解能で把握するにはどうするか検討した。それで地球史の時間軸上にいくつかの事件を設定して、それぞれの位置付けや意味を整理してみた。そのとき「現在」を「ヒトが科学を始めて地球・宇宙の歴史と摂理を探りはじめた地球史上の第7大事件」と設定した。当然、ヒトとは何か? 科学とは? 摂理とは? など科学では簡単に答えられそうにないが、われわれが多大な関心をもつ問いに波及する。このような問は大抵 IP(ill-posed = 不良設定) 問題であって、科学者は積極的に棚上げするが、科学とは何かという問いには答えられなければならないと思う。しかし「真理の探究だ」などという素朴な説明には、「その真理とは何か?」と聞かれて的確に答えられる科学者は多くはない。これはうれしいことではない。また、科学の発展が、人間の生存をおびやかす可能性も指摘されているので、これにも対処したい。

科学をその外から理解しようとするのがメタ科学、あるいは科学哲学 (philosophy of science) とされる。しかし、地球惑星科学~全地球史解説の立場からすると、ヒトは地球環境と生命現象の共進化の産物であり、科学現象 (つまり、科学と言う自然認識の方法やその意味) は科学で理解したい。つまり「科学の科学」である。そこで都城秋穂逝去の 2008 以来、こういう問題を科学哲学者の戸田山和久と検討を開始し、2009 からは戸田山スクール (彼とその周辺の科学哲学者たち) と地球科学者の連携共同研究を企画した。こうして 2010 年の JpGU 以来、科学史と科学論にかかわる学会発表を継続してきた。2011 からは、JSPS 科学研究補助金「地球惑星科学の哲学の基盤構築」(基盤研究 B 人文学・青木滋之代表) を得て文理連携の活動を試行した。その具体的研究成果の一部は、Nagoya Journal of Philosophy という実質和文の学術誌の vol.10 に、特集「地球惑星科学の科学史」として出版済みである。科学論に関わる成果は次の特集号 2 巻で刊行予定である。

【現状認識】 個別研究の個別成果はそれでよい。本質的な問題は、この「科学の科学」、すなわち、世界が世界を認識する自己言及系としての科学の意味の理解は、将来のヒトの「生き継ぎ」に関わる実務的要素までを含む喫緊究極の課題である。何千年にも亘る哲学の伝統や宗教の教義が生きている現代社会において、統一的な結論が出せるとは思えない。事実、共同研究の最中では、些細なことから本質的と思える重大課題まで、意見の激しい背反、対立を体験した。和気アイアイとよい共同研究ができました、と言うのは欺瞞である。むしろこの体験を通じて知った分野間の不整合性こそが、「最重要の研究課題」であり、かつ「ヒトが自然を知り生き継いで行く基礎資源」であると確信できたのである。このような報告に「客観性」を期待することは、現時点では IP (ill-posed) 問題だ。しかし研究を支える多様な異質の人格の相互作用と連携が「集団知~swarm intelligence」としてただよって進化変遷する状態にあることは、望ましいこととして広く知られており、その状態確保には積極的な意義があると考え。とりわけ現在のヒトは、自己責任において己の生き継ぎに向けて、予測設計制御の試行錯誤で対処する時代にはいつていることに留意する。本研究によって、上記の認識に確信を深めたことが成果の一つである。これを「現実の環境問題への現実的対処の実務としての研究」とうまく接続させることが望ましいと考える。

本研究を通じて得た具体的な方策を提案する。それは、大学院教育における人文社会系と理工系をまたぐ「副専攻制の普及と充実」である。副専攻制に反対する教員もいる。しかし、これは全分野の学門が現実社会に敬意と実益の両方の期待をもって積極的に受け入れられて、知的な役割を果たせるための積極的な提案である。

【この報告の意図】 地球惑星科学 (の限られた分野だが) と科学哲学の連携模索のマネジメントを担当したわれわれ 2 名が、この異分野交流の共同自己実験について、「主観を承知で」そのポジティブな意義を率直に報告しておくべきだと考えた。このような趣旨で、過去数年間の研究の推移とその「主観的」理解を報告し、将来のためにポスターセッションの場でこの問題に関心のある諸氏と議論の機会をもちたい。

キーワード: 全地球史, 科学現象の科学, 科学の科学, 科学哲学, 将来設計

Keywords: Science of Science Phenomena, Meta-Science, Philosophy of Science, Normative Science