

地球システム史におけるテクトニクス - 気候リンケージの役割：山岳の隆起とモンスーン強化を例として

The role of tectonics and climate linkage in the Earth System history - An example of the mountain uplift and strengthen

多田 隆治^{1*}

Ryuji Tada^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ Graduate School of Science, the University of Tokyo

The linkage between tectonics and climate could be an important process to control earth's surface environment on million years or longer time-scale. Collision of continents and consequent uplift of mountains is an important part of Wilson Cycle during the assembly of super continent and should enhance physical weathering. Enhancement of physical weathering, in turn, increases specific surface area of rocks and minerals in the earth's surface environment and enhance chemical weathering. Enhancement of chemical weathering consumes CO₂ in the atmosphere and also resulted in the increase in nutrients supply to the ocean, the latter further enhance the uptake of CO₂ by the increase in biological productivity in the ocean. Furthermore, formation of supercontinent and/or large plateau will cause strong monsoonal climate that further accelerate chemical weathering through enhanced precipitation. A series of these processes, triggered by continental collision and uplift of mountains, should act as a strong positive feedback to promote global cooling. However, validity of this idea has not been vigorously tested by geological evidence due to the technical difficulty.

Uplift of Himalaya and Tibetan Plateau (HTP) has been believed to have caused enhancement of monsoonal circulation in Asia and pCO₂ decrease during Cenozoic. Because it is the most recent example of the continental collision and regarded as a textbook example of tectonics-climate linkage, it is worth to evaluate the possibility of the positive feedback explained above. Exploring when and how Asian monsoon evolved and whether such evolutionary process was closely related with the uplift of HTP is the first step to test the existence of the positive feedback loop to enhance global cooling. IODP is planning series of expeditions to explore this possibility and Exp. 346 to the Japan Sea and northern East China Sea is the first one to proceed this direction.

キーワード: テクトニクス, 気候変動, モンスーン, 化学風化, 二酸化炭素濃度, 栄養塩供給

Keywords: tectonics, climate, monsoon, chemical weathering, pCO₂, nutrient supply

東シナ海北部コアを用いた最終氷期以降の東アジア夏季モンスーンによる河川流出量の定量的復元

Quantitative reconstruction of river discharge due to East Asian summer monsoon since the last glacial period in the north

久保田 好美^{1*}, 木元 克典², 多田 隆治¹, 内田 昌男³, 池原 研⁴

Yoshimi Kubota^{1*}, Katsunori Kimoto², Ryuji Tada¹, Masao Uchida³, Ken Ikehara⁴

¹ 東京大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 国立環境研所, ⁴ 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹University of Tokyo, ²JAMSTEC, ³NIES, ⁴Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Techn

本研究では、東シナ海北部から採取された2本の海洋堆積物コア(KY0704-01, KR0712-01)を用いて、最終氷期(4万5000年)以降、特にMIS3及び後氷期について、中国南部の大部分を占める長江の淡水流出量を定量的に推定することで、東アジア夏季モンスーン降水量変動の定量的復元を高時間解像度(50年-100年)で行う事を試みた。現在においては、海水の $^{18}\text{O}_w$ と塩分には線形の関係があるため、 $^{18}\text{O}_w$ を塩分の指標(つまり淡水がどの程度の割合で混合しているか)として使うことが出来る。しかし、時代によって淡水や、それと混合する海水の $^{18}\text{O}_w$ が大きく変化することにより推定誤差が大きくなるため、過去における塩分の絶対値の推定は困難であるとされてきた。そこで、本研究では塩分の推定に伴う誤差の増大を避けるために、端成分の $^{18}\text{O}_w$ 変化を考慮し、 $^{18}\text{O}_w$ の収支から直接、淡水の混合比を求める方法で、過去における長江からの淡水の寄与率(f_{CFW})を完新世(約7千年間)および最終氷期(4万5000年前?2万年前)について定量的に復元した。本研究では、先ず、堆積物中に含まれる浮遊性有孔虫*G.ruber*の殻の炭酸塩骨格のマグネシウム/カルシウム比(Mg/Ca;水温の指標)と酸素同位体比($^{18}\text{O}_{pf}$)を組み合わせることにより、塩分の指標である海水の酸素同位体比($^{18}\text{O}_w$;塩分の指標)を求めた。東シナ海北部のプランクトンネット観測からは、*G.ruber*は、夏の表層30m以浅に多く生息するため、夏の表層水塊の記録を保持していると考えられる。現在の観測結果に基づくと、東シナ海北部の夏の表層塩分変動は、長江からの淡水流出量変動(集水域の降水量変動)を反映している。そこで、塩分に相当する指標 $^{18}\text{O}_w$ を用いることで、過去の淡水流出量変動を定量的に推定できると考えた。

過去7千年間の長江淡水流出量(Q_{CFW})の変動を求めた結果、後氷期においては、長江の淡水量の平均値が中期後氷期(約6-7千年前)から現在にかけてほとんど変化しなかったことが示された。これまで、南中国の鍾乳石の ^{18}O から、東アジア夏季モンスーンによる降水量は北半球の夏の日射量変動に伴って中期後氷期から減少傾向を示すという考えが広く受け入れられてきたが、本研究の結果から、このような長期的な減少傾向は、少なくともモンスーンフロントの北限より南に位置する長江集水域には当てはまらないことが示された。これは、同時に、後氷期の鍾乳石の ^{18}O の長期トレンドの主要な要因が、長江流域内の降水量変動ではないことを示唆している。

一方、MIS3は、現在よりも海水準が約80m低かった時代であり、地形の変化に伴って東シナ海の海洋環境は後氷期と異なる状況であったと考えられる。従って、現在の経験的な $Q_{CFW}-f_{CFW}$ の関係式からこの時代の Q_{CFW} を推定することはできない。現在は、夏の東シナ海では、北東向きの流れがあり、長江から流出する淡水のほぼすべてが周りの海水と混ざりつつ日本海に流入する。対馬海峡は、水深が130m程度と浅い海峡であるので、海水準低下の影響を受けて断面積が減少する。現在、対馬海峡で観測されている東シナ海から日本海への全流量は2.6Svと、長江からの淡水流出量(4.0×10^{-2} Sv)の約65倍であり、そのほとんどが黒潮からの海水と台湾海峡から陸棚へ侵入してくる海水で占められる。一方、海水準が80m低下したMIS3について、東シナ海から日本海へと抜ける流量が対馬海峡の断面積減少に比例して低下したと仮定して、この時代の淡水と海水の全流量を現在比 $16 \pm 8\%$ と見積もることにより、 Q_{CFW} を求めた。その結果、MIS3における東シナ海への淡水流出量の平均値は後氷期の平均値と比較すると、 $75 \pm 30\%$ 程度になることが示唆された。一方、百年から千年スケールの変動の振幅は、後氷期よりも2倍程度大きかったことが示唆された。これは、最終氷期と後氷期の気候の境界条件の違いによって、東アジア夏季モンスーン降水量の変動が千年スケールで大きく変動したことを示し、北半球高緯度域の亜氷期(寒冷期)に弱く、亜間氷期(温暖期)に強かったことが明らかとなった。

キーワード: 東アジア夏季モンスーン, 酸素同位体比, Mg/Ca, 最終氷期

10万年氷期サイクル出現のメカニズムと氷床の質量収支 Ice sheet mass balance and the timing of 100,000-year glacial cycles

阿部 彩子^{1*}, 齋藤 冬樹², 川村 賢二³, レイモ⁴, 高橋 邦生², 奥野 淳一², ブラッター⁵

Ayako Abe-Ouchi^{1*}, Fuyuki SAITO², Kenji Kawamura³, Maureen E. Raymo⁴, Kunio Takahashi², Jun'ichi Okuno², Heinz Blatter⁵

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 国立極地研究所, ⁴ コロンビア大学, ⁵ スイス連邦工科大学

¹AORI, University of Tokyo, ²JAMSTEC, ³NIPR, ⁴Columbia Univ. LDEO, ⁵ETH

The waxing and waning of Northern Hemisphere ice sheets over the past one million years is characterised by an approximately 100,000-year (100-kyr) periodicity and a sawtooth pattern (gradual growth and fast termination) {Clark, 2009} {Hays, 1976}. The Milankovitch theory proposes that summer insolation at high northern latitudes drive the glacial cycles {Milankovitch, 1941}, but no significant 100-kyr periodicity exists in insolation intensity {Hays, 1976}. Statistical tests have demonstrated that the glacial cycles are linked to orbital eccentricity, obliquity and precession cycles, presumably through internal feedbacks {Saltzman, 1984} {Tziperman, 2006} {Lisiecki, 2010} {Huybers, 2011}. Furthermore, conceptual models have reproduced the glacial cycles by imposing a threshold of ice volume, “ excess 100-kyr ice ”, for glacial terminations {Raymo, 1997} {Paillard, 1998} {Parrenin, 2003} {Imbrie, 2011} {Huybers, 2011}; however, physical mechanisms have not been identified. Here, using comprehensive climate and ice sheet models, we show that the ~100-kyr periodicity is explained by orbital forcing and internal feedback amongst climate, ice sheet and lithosphere/asthenosphere system. We found that ice sheets exhibit hysteresis responses to summer insolation {Abe-Ouchi, 1993} {Calov, 2005} {Pollard, 2005}, and that the shape and position of the hysteresis loop play a key role to determine the periodicities of glacial cycles. The hysteresis loop of the North American ice sheet is such that, after its inception, the ice sheet mass balance remains mostly positive or neutral through several climatic precession cycles whose amplitude decreases towards eccentricity minimum. The larger it grows and extends towards lower latitudes, the smaller is the required insolation to turn the mass balance to negative. Once the large ice sheet is established, therefore, significantly negative mass balance continues for several thousand years even with a moderate increase in insolation amplitude, allowing time for disintegration. The fast retreat is governed mainly by rapid ablation due to the lowered surface elevation resulting from delayed isostatic rebound. CO₂ plays a supporting, but not controlling, role in the evolution of the ~100-kyr cycle of ice sheet volume and global climate change.

キーワード: 気候, 気候モデル, 古気候

Keywords: climate, climate model, paleoclimate

極域氷床コアによる古気候・古環境解析 Paleoclimatic studies using polar ice cores

川村 賢二^{1*}
Kenji Kawamura^{1*}

¹ 国立極地研究所
¹ National Institute of Polar Research

Polar ice cores have been extensively used for extracting paleoclimatic and paleoenvironmental information, such as temperature, accumulation, atmospheric aerosols, mineral dust, greenhouse gases, cosmogenic radionuclides, deep-ice biology. They cover the timescales from one year to million years, and the geographical scales from local to global. Here I review the major achievements polar ice core projects, especially those that Japanese communities have played significant roles. They include the Dome Fuji and other ice cores in Antarctica, and NGRIP and NEEM ice cores in Greenland. The future plans of international and Japanese ice core science will also be reviewed.

キーワード: 古気候, 古環境, 氷床コア
Keywords: Paleoclimate, Paleoenvironment, Ice core

海洋大循環における北太平洋の役割について The Role of the North Pacific in the world ocean circulation

岡崎 裕典^{1*}
Yusuke Okazaki^{1*}

¹九州大学
¹Kyushu University

The North Pacific is known as a terminal region of Ocean Conveyor and abyssal circulation from the south flows into the North Pacific, and upwells to mid-depth and returns south as the Pacific Deep Water (Schmitz, 1996). No deep water forms in the North Pacific in the present ocean because the surface water of the North Pacific is not dense enough to sink into the deep basin (Warren, 1983). Instead, the North Pacific Intermediate Water (NPIW) originated from the Okhotsk Sea lies at depths of 300 to 800 m (Talley, 1993).

The glacial Pacific Ocean had two water masses: well-ventilated and nutrient-depleted glacial North Pacific Intermediate Water (GNPIW) above ~2000 m and less-ventilated and nutrient-enriched deep water below ~2000 m (Keigwin, 1998; Matsumoto et al., 2002). GNPIW is a thicker and more deeply penetrating water mass than the present NPIW. The possible source of GNPIW was possibly in the Bering Sea inferred from microfossil (Ohkushi et al., 2003) and neodymium isotope evidence (Horikawa et al., 2010). A switch of meridional overturning circulation between the North Atlantic and the North Pacific during the last glacial termination was suggested by a collaborative study of sedimentary proxy data and climate modeling (Okazaki et al., 2010).

The North Pacific appears to have played an active role in global ocean circulation, not always passive during the last glacial cycles. The Role of the North Pacific in the world ocean circulation of the past will be discussed.

References:

- Horikawa K, Asahara Y, Yamamoto K and Okazaki Y (2010) Intermediate water formation in the Bering Sea during glacial periods: Evidence from neodymium isotope ratios, *Geology* 38: 435-438.
- Keigwin LD (1998) Glacial-age hydrography of the far northwest Pacific Ocean, *Paleoceanography* 13: 323-339.
- Matsumoto K, Oba T, Lynch-Stieglitz J and Yamamoto H (2002) Interior hydrography and circulation of the glacial Pacific Ocean, *Quaternary Science Reviews* 21: 1693-1704.
- Ohkushi K, Itaki T. and Nemoto N (2003) Last Glacial?Holocene change in intermediate-water ventilation in the Northwestern Pacific, *Quaternary Science Reviews* 22: 1477-1484.
- Okazaki Y et al. (2010) Deepwater Formation in the North Pacific During the Last Glacial Termination, *Science* 329: 200-204.
- Schmitz WJ (1996) Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report, WHOI-96-0B, 237 pp.
- Talley LD (1993) Distribution and Formation of North Pacific Intermediate Water, *Journal of Physical Oceanography* 23: 517-537.
- Warren BA (1983) Why is no deep water formed in the North Pacific? *Journal of Marine Research* 41: 327-347.

キーワード: 北太平洋, 海洋大循環, 海洋ゲートウェイ, 北半球氷床発達

過去の氷床復元における地形学的方法の意義 Significance of the geomorphological approach for the reconstruction of paleo ice-sheets

三浦 英樹^{1*}, 奥野 淳一¹, 岩崎 正吾², 菅沼 悠介¹, 前 奎 英明³
Hideki Miura^{1*}, OKUNO, Jun'ichi¹, IWASAKI, Shogo², SUGANUMA, Yusuke¹, MAEMOKU, Hideaki³

¹ 国立極地研究所, ² 筑波技術大学, ³ 広島大学

¹National Institute of Polar Research, ²National University Corporation Tsukuba University of Technology, ³Hiroshima University

In the paleoenvironment research, there are at least two data obtained only by using the geomorphological approach. The one is the history of paleo ice-sheet dimension and subglacial environmental data based on the glacial geomorphological technique, and another is the history of the relative sea-level variations used the coastal geomorphological technique. These data can provide the information about the geographical distribution of past ice sheet, mass balance mechanisms and ice-volume changes using glacial isostatic adjustment model. In this presentation, we introduce the paleo environmental significance of geomorphological approach using the case of East Antarctic ice sheet.

キーワード: 氷床, 氷河地形, 氷床底環境, 海岸地形, 相対的海水準変動, 氷河性アイソスタシー調整

Keywords: ice sheet, glacial geomorphology, subglacial environment, coastal geomorphology, relative sea-level variation, glacial isostatic adjustment

人為起源ダスト増加による我が国での重金属・栄養塩負荷の増大に関する研究 Recent enrichment of nutrient and heavy metal deposition in Japanese mountain lakes due to anthropogenic dust

槻木 玲美^{1*}, 兵藤不二夫², 加三千宣¹, 牧野渡³, 谷幸則⁴, 占部城太郎³

Narumi Tsugeki^{1*}, Fujio Hyodo², Michinobu Kuwae¹, Wataru Makino³, Yukinori Tani⁴, Jotaro Urabe³

¹ 愛媛大学 上級研究員センター, ² 岡山大学 異分野融合先端研究コア, ³ 東北大学大学院 生命科学研究科, ⁴ 静岡県立大 環境科学研究所

¹Senior Research Fellow Center, Ehime University, ²Research Core for Interdisciplinary Sciences, Okayama University, ³Graduate School of Life Science, Tohoku University, ⁴Institute for Environmental Sciences, University of Shizuoka

Recent studies revealed that nutrient inputs such as nitrogen and phosphorus through atmospheric deposition to aquatic ecosystems have been increasing (Elser et al. 2009; Neff et al. 2008). In addition to nutrients, large emissions of heavy metals such as antimony (Sb) and indium (In) to the atmosphere is expected to be extensive (Filella et al., 2002; Tian et al., 2012; White and Hemond, 2012). East Asia plays an important role in global anthropogenic emissions, but little is known about the effects of nutrient emissions on terrestrial ecosystems and changes in the extent of the metal pollution during its rapid economic growth in recent decades. In this study, we examined fossil pigments and zooplankton remains in dated sediments taken from high mountain lakes at some Japanese National Parks in Hokkaido and Honshu area, to uncover the historical changes of plankton community over the past 100 years. Simultaneously, we measured the geochemical variables such as heavy metals, nitrogen and lead stable isotope to uncover the historical changes of metal deposition, and to identify causal factors including dust source regions. Sedimentary results showed that the fluxes of heavy elements of Sb and In increased at Lake Hachiman-Numa and Hourai-Numa in recent years (Kuwae et al. 2013). Furthermore, the fluxes of phytoplankton abundance in Lake Hourai-Numa (Tsugeki et al. 2012) and Lake Mikurigaike and Niseko-Onuma drastically increased since around 1990 when N stable isotope ratios in sediments decreased, probably due to expanding atmospheric N deposition. In parallel with this, *Daphnia*, a keystone herbivore, increased. During this period, there seems not to be expanding human activities in the watershed around these lakes, suggesting that the increases in nutrients and heavy metals were not resulted from inputs from watershed. Alternatively, Pb stable isotope data in Lake Hachiman-Numa and Hourai-Numa showed that dust deposition with nutrient and metal substances originated from the Asian continent were increasingly transported to study lakes in recent years (Tsugeki et al. 2012; Kuwae et al. 2013). These results imply that long-range transports of anthropogenic dusts have promoted not only Sb and In deposition but also eutrophication in a wide range of Japanese lakes even far from direct human disturbance.

Elser JJ, Andersen T, Baron JS, Bergstrom AK, Jansson M, Kyle M, Nydick KR, Steger L, Hessen DO (2009) Shifts in lake N: P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition. *Science* 326:835-837.

Filella M, Belzile N, Chen Y-W (2002) Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence. *Earth-Science Reviews* 57:125-76.

Kuwae M, Tsugeki NK, Agusa T, Toyoda K, Tani Y, Ueda S, Tanabe S, and Urabe J (2013) Sedimentary records of metal depositions in Japanese alpine lakes for the last 250 years: Recent enrichments of airborne Sb and In in East Asia. *Science of the Total Environment*, 442: 189-197.

Neff JC, Ballantyne AP, Farmer GL, Mahowald NM, Conroy JL, Landry CC, Overpeck JT, Painter TH, Lawrence CR, Reynolds RL (2008) Increasing eolian dust deposition in the western United States linked to human activity. *Nature Geo* 1:189-195.

Tian H, Cheng K, Wang Y, Zhao D, Lu L, Jia W et al. (2012) Temporal and spatial variation characteristics of atmospheric emissions of Cd, Cr, and Pb from coal in China. *Atmospheric Environment* 50:157-63.

Tsugeki NK, Agusa T, Ueda S, Kuwae M, Oda H, Tanabe S, Tani Y, Toyoda K, Wang W, Urabe J (2012) Eutrophication of mountain lakes in Japan due to increasing deposition of anthropogenically-produced dust. *Ecological Research* 27: 1041-1052.

White SJO, Hemond HF (2012) The anthropiogeochemical cycle of indium: a review of the natural and anthropogenic cycling of indium in the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42:155-186.

キーワード: 古陸水学, アジア大陸, 人為起源ダストと栄養塩負荷, プランクトン, 重金属, 安定同位体

Keywords: paleolimnology, Asian continent, anthropogenic dust and nutrient deposition, plankton, heavy metal, stable isotope

弥生人が日本人となつてからの環境変化：西日本における3000年の高時間解像度の温度復元

High-precision temperature change at the western Japan during the past 3,000 years and its effect on the human activity

川幡 穂高^{1*}, 松岡めぐみ¹, 戸上亜美¹, 原田 尚美², 横山 祐典¹, 木元 克典², 田中裕一郎³, 加 三千宣⁴

Hodaka Kawahata^{1*}, Megumi Matsuoka¹, Ami Togami¹, Naomi Harada², Yusuke Yokoyama¹, Katsunori Kimoto², Yuichiro Tanaka³, Michinobu Kuwae⁴

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ (独) 産業技術総合研究所, ⁴ 愛媛大学

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² JAMSTEC, ³ AIST, ⁴ Ehime University

気候変動は、人間社会と自然の生態系に大きな影響を及ぼしてきたと考えられている。気温は最も影響力が大きい環境因子である。定量的に水温を復元できるアルケノン水温を用いて高時間解像度で西日本の気温を初めて復元した。

瀬戸内海は東西に450km、南北に15-55km、平均水深約31m、最大水深約200mである。傾向として東に行くほど浅い。海上保安庁のデータによれば、1999年から2000年までの月別海水温によれば、2月に10.3度、8月に26.6度で、平均は18.1度であった。同期間の広島市の気温は最低5.1度、最高28.3度、平均16.5度であった。冬期を除く春夏秋期の水温と気温の相関は非常に高かった。本研究で使用したコアは、広島湾から採取されたコアH1(北緯34度18分、東経132度22分、水深:24m、コア長:8.33m)とコアH3(北緯34度11分、東経132度22分、水深:34m、コア長:8.03m)である。1) 放射性炭素年代測定, 2) 粒度分析, 3) スミアスライド観察, 4) アルケノン分析, 主要化学成分分析を行った。レーザー効果は別府湾で求められた $R = 135 \pm 20$ 年を用いた (Kuwae et al., in press)。

まず、20世紀の顕著な地球温暖化が認められる以前の平均値(水温23.6度、気温25.2度)を求めた。次に、初夏の水温を代表するアルケノン水温を求めた。過去3000年間のアルケノン水温(気温)の最高は24.3度(25.9度)(830 A.D.)、最低は22.2度(23.8度)(780 B.C.)、22.4度(24.0度)(960 A.D.)で、平均値は3000年間の水温(気温)の平均(23.6度(25.2度))とほぼ一致していた。変化幅はわずか2.1度と非常に小さかった。この原因は、外洋の海流による影響が小さく、瀬戸内海の水塊が緩衝機構として機能していたからと推察される。人間の生活環境という側面からみると、あまり温暖で平準化された気候が卓越していたので、比較的過ごし易かったのではないと思われる。800-610 B.C. や990-1190 A.D. の低温期1100-900 B.C., 490-320 B.C., 550-660 A.D., 1380-1740 A.D. の準低温期は日射量の極小と一致している。しかし、日射量のみではこの低温は説明できず、地球表層システムのトリガーとして働いたものと考えられる。火山噴火に起因すると示唆される535-536 A.D. の中国の超寒冷期間、1450 A.D. のクワエ火山の爆発による寒冷期間との対応は整合的であった。人間社会との関連では、飛鳥から奈良時代の天皇および貴族政治の律令制度、鎌倉幕府による武家政治の確立などは温度上昇期に対応し、新しい政治体制の確立を気候が後押ししたと考えられる。

キーワード: アルケノン水温, 気温, 日射量, 歴史時代, 弥生人, 日本人

Keywords: Alkenone temperature, Atmospheric temperature, Solar radiation, Historical age, Yayoi People, Japanese

過去 2900 年間の太平洋十年変動とレジームシフト

The Pacific Decadal Oscillation and North Pacific regime shifts during the last 2900 years

山本 正伸^{1*}, 加 三千宣²

Masanobu Yamamoto^{1*}, Michinobu Kuwae²

¹ 北海道大学地球環境科学研究院, ² 愛媛大学上級研究員センター

¹Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, ²Senior Research Fellow Center, Ehime University

19 世紀以前の太平洋十年規模振動 (PDO) とレジームシフトを復元するために、別府湾から採取したコアについて UK37 分析し、鱗数を計数することにより、過去 2900 年間の古水温とマイワシ・カタクチイワシ存在量の変動を 8 年時間解像度で復元した。別府湾の湾央では春から晩秋にかけて貧酸素底層水が発達する。堆積物の生物攪拌は制限され、有機物と魚鱗の保存が良い。別府湾の湾央から 14 本のコアを採取し、イベント層を用いてコア間対比を行い、二枚貝殻化石の放射炭素年代 42 点と過剰鉛-201 濃度、セシウム-210 濃度のプロファイルからコアの年代・深度モデルを作成した。求められた堆積速度は 230-300 cm/千年と高い。UK37 水温は、100 年スケールと 10 年スケールの変動を示した。10 年スケール変動は 50-70 年の周期性を示し、20 世紀の PDO の周期性と一致した。この数十年スケール変動の振幅は数百年スケールで変動した。カタクチイワシ鱗数 / (カタクチイワシ + マイワシ鱗数) 比は UK37 水温と同調して、数十年スケール変動を示した。カタクチイワシは高水温レジームで多く、マイワシは低水温レジームが多かった。この組み合わせは 20 世紀のレジームシフトでもみられ、19 世紀以前にもレジームシフトが存在したことが示された。

キーワード: 太平洋十年規模振動, レジームシフト, 完新世, 水温, 海底コア, 別府湾

Keywords: PDO, Regime shift, Holocene, SST, marine core, Beppu Bay

LGM マルチモデルシミュレーションから見た気候感度推定の可能性について On the possibility of constraining the climate sensitivity: A view from LGM multimodel simulations

吉森 正和^{1*}, 阿部 彩子¹

Masakazu Yoshimori^{1*}, Ayako Abe-Ouchi¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹The University of Tokyo/AORI

Charney climate sensitivity (CCS) is defined as the equilibrium surface temperature change under the doubling of atmospheric CO₂ concentration specifically without vegetation, ice sheet, and carbon cycle feedbacks. CCS is one of the most important metrics in climate projections of coming centuries, and past climate has been used to constrain its uncertainty. The use of paleoclimate as a guide for the future needs to be demonstrated based not only on statistical relation between the past and future climate changes but also on sound physical understanding of mechanisms behind the changes. Much attention has been paid to the last glacial maximum of about 21 thousand years ago, and this presentation overviews previous and current effort on estimating CCS based on LGM climate. The emphasis is placed on the activity with general circulation models and the analysis of the latest PMIP3/CMIP5 multimodels. While perturbed physics ensembles of single models (sensitivity to model parametric uncertainty) suggest a relatively high correlation between LGM and 2xCO₂ global climate feedbacks, multimodel analysis (sensitivity to model structural uncertainty) suggest little correlation between them. This implies that globally averaged LGM climate change does not likely provide a strong constraint on the CCS spread in current models. The radiative feedback analysis indicates that the reason may be cloud feedback induced by the ice sheet forcing unique to the LGM. On the other hand, it was and is proposed that regional change, particularly in the tropics, may be of more use than global mean change. In order to more effectively impose the regional constraint and to increase our confidence, however, uncertainties in proxy data and the forcing estimate need to be reduced and the number of models need to be increased.

キーワード: 気候感度, 最終氷期最盛期

Keywords: climate sensitivity, last glacial maximum

生物源マグネタイト研究と古海洋学への応用の新展開

Recent progress in researches on biogenic magnetite and applications to paleoceanography

山崎 俊嗣^{1*}

Toshitsugu Yamazaki^{1*}

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ AORI, University of Tokyo

鎖状に配列したマグネタイトを持つ走磁性バクテリアは、Blakemoreにより1975年に発見された。この生物源マグネタイトが海底堆積物中に化石として残っていることが1986年に初めて報告されて以降、生物源マグネタイトは海底堆積物の強磁性鉱物の起源の一つとして認識されている。生物源マグネタイトは、透過電子顕微鏡(TEM)を用いて、マグネタイトが安定な永久磁石となる単磁区サイズ(数十nm)に揃った粒径と、生物のコントロールによる特徴的な結晶形態から同定できる。しかし、TEMによる観察では強磁性鉱物を分離、濃集させる必要があることなどから、陸源と生物源マグネタイトの割合、といった定量的な議論はこれまで困難であった。しかし、最近の岩石磁気学手法の発展により、生物源マグネタイトを定量的に把握することが可能となってきた(e.g., Egli, 2010)。その結果、少なくとも赤道域や高緯度域の堆積物では、生物源マグネタイトが強磁性鉱物の大きな割合を占めることがわかってきた(Roberts et al., 2012; Yamazaki & Ikehara, 2012)。生物源マグネタイトの量や形態の定量化ができるようになったことで、化石の一種として、古海洋、古環境研究への新たな応用がひらけつつある。本発表ではその例を紹介する。

一方、従来の堆積残留磁化獲得メカニズムの考え方は、生物源マグネタイトの寄与を考慮していないため再検討が必要であり、古地磁気学及びその応用への影響は甚大である。30年以上前から、堆積物の残留磁化は、堆積後に海底面下のある深度ゾーンで、圧密過程に伴い徐々に獲得されるとするモデルで考えられてきた。つまり、古地磁気が記録されるのは、堆積面、あるいは生物擾乱による混合ゾーンよりも下である。しかし、そのずれの大きさ(lock-in depth)は数cmから40cm以上と諸説出され、酸素同位体比や微化石年代と古地磁気記録を対比する際に大きな問題となっていて、精密な複合層序年代を構築する上での妨げであった。最近、地磁気逆転時の古地磁気強度の極小を、独立の地磁気強度の情報である10Be記録と比較することにより、15cm程度のlock-in depthが推定され、この問題は決着したかに見えた(Suganuma et al., 2010)。しかし、従来の議論は、生物源マグネタイトの役割を全く考慮していない。酸化から還元への化学勾配の中で生きる走磁性バクテリアは、鉄還元境界付近でその生息密度が最大になるとされている。もしこの考え方が正しくて、しかも生物源マグネタイトが主として堆積残留磁化を担うのであれば、鉄還元境界付近で残留磁化が獲得されることになり、lock-in depthは鉄還元境界までの深度、つまり堆積環境に支配されて、mmのオーダーから数十mまで大きく変化するはずである。しかし、生物源マグネタイトが主要な磁性鉱物であるとしても、残留磁化の担い手としての役割は未だ不明であり、その解明は急務である。

キーワード: 生物源マグネタイト, 走磁性バクテリア, 岩石磁気学, 古海洋学, 堆積残留磁化, 鉄還元境界

Keywords: biogenic magnetite, magnetotactic bacteria, rock magnetism, paleoceanography, depositional remanent magnetization, Fe-redox boundary

日本における白亜紀テフロクロノロジーの予察的検討と化石層序への応用 Preliminary study of the Cretaceous tephrochronology in Japan and its application to biostratigraphic study

高嶋 礼詩^{1*}, 折橋裕二², 長瀬敏郎¹, 桑原里³, 西弘嗣¹

Reishi Takashima^{1*}, Yuji Orihashi², Toshiro Nagase¹, Sato Kuwabara³, Hiroshi Nishi¹

¹ 東北大学・学術資源研究公開センター, ² 東京大学・地震研究所, ³ 東北大学・理学部

¹The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo,

³Faculty of Science, Tohoku University

Tephrochronology is a useful tool for high-resolution stratigraphic correlation and age determination for Quaternary marine and non-marine sediments. However, this method is very difficult to apply to the old sediments such as Paleozoic and Mesozoic because glass in tephra is very sensitive to diagenetic alteration. On the other hand, several heavy minerals in tephra are resistant to diagenetic alteration, and their variations in chemical composition are useful to distinguish individual tephra (Lowe, 2011). Recently, the validity of such mineral analysis as a tool for tephra fingerprinting was supported by Ordovician K-bentonites in North America and Scandinavia (Sell and Samson, 2011).

We analyzed biotite and apatite chemistry of 100-80 Ma tuffs in the Yezo Group exposed in Haboro, Kotanbetsu, Yubari, Hobetsu and Urakawa areas in Hokkaido in order to confirm their efficacy for tephrochronology. Both minerals occur in most tuffs of the Yezo Group. Although some biotites from the lower part of the Yezo Group in Yubari section are mostly altered to chlorite, apatite is always well preserved in all areas and horizons. Binary plot of Mg# vs TiO₂ of biotite and those of MgO vs FeO and F vs Cl of apatite analyses obtained using EPMA are proven to be useful indicators to distinguish individual tuff beds.

Using above method, we identified widely traceable two tuffs in the Yezo Group that are intercalated near the Albian/Cenomanian and the Santonian/Campanian boundaries. These two tuffs from various sections in Hokkaido are plotted in the same field on above mentioned binary plots of biotite and apatite, respectively, and show same U-Pb ages within the margin of error. Correlation of tuffs of the Albian/Cenomanian and the Santonian/Campanian boundaries demonstrate that horizons of first and last occurrences of several age-diagnostic fossils are not always synchronous among areas in Hokkaido. This may attribute to the differences in sedimentary environments and preservation of calcium carbonate among areas. Therefore, tephrochronology using heavy minerals is very useful method to identify "true" biostratigraphic datum, and will improve resolution of biostratigraphy.

References

Sell, B. K. and Samson, S. D., 2011. Apatite phenocryst compositions demonstrate a miscorrelation between the Millbrig and Kinnekulle K-bentonites of North America and Scandinavia. *Geology*, 39, 303-306.

Lowe, D. J., 2011. Tephrochronology and its application: A review. *Quaternary Geochronology*, 6, 107-153.

キーワード: テフロクロノロジー, 白亜紀, アパタイト, 黒雲母, 化石層序

Keywords: Tephrochronology, Cretaceous, Apatite, Biotite, biostratigraphy

日本の白亜系における微化石・炭素同位体比統合層序と U-Pb 年代 Bio- and chemo-stratigraphy and U-Pb ages of the Cretaceous sequence in Japan

西 弘嗣^{1*}, 高嶋礼詩¹, 折橋裕二², 山中寿朗³

Hiroshi Nishi^{1*}, Reishi Takashima¹, Yuji Orihashi², Toshiro Yamanaka³

¹ 東北大学学術資源研究公開センター, ² 東京大学地震研究所, ³ 岡山大学大学院自然科学研究科

¹The Center for the Academic Resources and Archives, Tohoku University, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ³Department of Earth Sciences, Okayama University

Most of GSSPs (Global Boundary Stratotype Section and Points) and their candidate sites of the Cretaceous stages are located in Europe where the stage boundaries are defined by the detailed biostratigraphy (e.g., Gale et al., 1996). Recent studies of integrated stratigraphy of microfossil, megafossil and carbon isotope of those sequences have greatly improved resolution of international stratigraphic correlation. However, few radiometric ages are determined from those sequences because of rare intercalations of volcanoclastic sediments. In order to understand detailed Cretaceous paleo-climatic changes, it is necessary to improve resolution of Cretaceous chronostratigraphic framework based on the radiometric dating.

The Yezo Group, accumulated at approximately 30-40 degree North along the Asian active continental margin in the northwestern Pacific Ocean, ranges from Aptian to Paleocene in age and consists mainly of hemipelagic mudstone and turbidite sandstone. Total thickness of this sequence attains 10,000m. This sequence is suitable for establishment of Cretaceous chronostratigraphic framework because it yields abundant felsic tuffs and well preserved age-diagnostic marine macro and micro fossils.

In this study, we established integrated stratigraphies of planktic foraminifera and carbon isotope of wood fragments of the Yezo Group exposed in Tomamae, Yubari and Urakawa sections. Detailed correlation of integrated stratigraphy of planktic foraminifera and carbon isotope between the Yezo Group and European sequences enabled the determination of Cretaceous stage boundaries and oceanic anoxic events (OAEs) in the Yezo Group. The felsic tuffs of the Yezo Group are intercalated at or near stratigraphic datum levels and environmental events, such as Aptian/Albian, Albian/Cenomanian, Cenomanian/Turonian, Turonian/Coniacian, Coniacian/Santonian, Santonian/Campanian boundaries and OAE 1b, OAE 1c, OAE 1d. The U-Pb ages of these tuff beds are consistent with the inferred age-model of Geologic Time Scale 2012 (GST2012) within the margin of error concerning Aptian/Albian, Albian/Cenomanian, Cenomanian/Turonian, Turonian/Coniacian, Coniacian/Santonian boundaries. On the other hand, Santonian/Campanian boundary, OAE 1c and OAE 1d show discrepancy about 1 m.y. These discrepancies between this study and GST2012 may attribute to the scarcity of radiometric age of European sections. Therefore, determination of a large quantity of U-Pb age in the Yezo Group will greatly improve the resolution of Cretaceous chronostratigraphy.

References

Gale, A. S., Kennedy, W. J., Burnett, A., Caron, M., Kidd, B. E., 1996. The Late Albian to Early Cenomanian succession at Mont Risou near Rosans (Drome, SE France) : an integrated study (ammonites, inoceramids, planktonic foraminifera, nannofossils, oxygen and carbon isotopes). *Cretaceous Research* 17, 515-606.

キーワード: 浮遊性有孔虫, 炭素同位体, 白亜紀, U-Pb 年代

Keywords: planktic foraminifer, carbon isotope, Cretaceous, U-Pb age