

日本およびその周辺海域における“古環境標準サイト”確立に向けて Toward an establishment of "Standard Paleosite" in and around Japan

岡崎 裕典^{1*}, 池原 研²

OKAZAKI, Yusuke^{1*}, IKEHARA, Ken²

¹九州大学, ²産業技術総合研究所

¹Kyushu University, ²AIST

福井県にある水月湖の年縞堆積物分析が現在精力的に行われている(中川 2010; Nakagawa et al., in press)。水月湖の年縞カウントと14C測定により、大気14C濃度変化が極めて高精度で明らかになり、14C年代の暦年較正プログラムに採用されれば過去数万年間の「標準時計」となると期待されている。また、男鹿半島の一の目潟や青森県東部の小川原湖でも年縞堆積物研究が行われており、水月湖同様高精度年代軸の確立が見込める。一方で、日本周辺の北西北太平洋は、海洋大循環の終着点、という言葉が枕詞のように使われる通り、古海洋研究における辺境として認知されている。亜寒帯境界を境に古い深層水が湧昇する北太平洋高緯度域では、表層海水の14C年代が有意に古くなり(海洋レザバー効果)、海底堆積物の年代軸を有孔虫殻の14C年代から構築する際、不確かさが大きい。まして、海洋循環様式が現在と大きく異なっていたと考えられている最終氷期や最終退氷期の海洋レザバー効果の見積りは大変困難であった。

何らかの方法で水月湖の標準時計を日本周辺域の海底堆積物年代軸と結ぶことができれば、過去の海洋レザバー効果を精度よく見積もられると期待できる。このメリットは、(1)海底堆積物や海産物の14C年代を暦年較正する際の誤差が減少し、古気候・古環境研究の土台である年代軸の確立、および(2)過去の海水の14C年齢を復元することで、氷期・間氷期サイクルにおける炭素循環解明への貢献、である。

水月湖をはじめとする年縞堆積物と海底堆積物をむすぶ鍵となるのが広域テフラである。水月湖の年縞堆積物に狭在するテフラは、その正確な噴出年代が特定される。日本周辺から採取された海底堆積物コアに狭在するテフラが、水月湖試料に狭在するテフラと同じものであると同定できれば、海底堆積物コアのテフラ層直上および直下の層準から拾い出した浮遊性有孔虫殻の14C年代を測定することで、当時の海水の年齢、すなわち過去の海洋レザバー効果を見積もられる。

私たちは、水月湖、一の目潟、小川原湖といった年縞堆積物から構築される高精度年代軸を、広域テフラを介して、日本列島周辺の海底堆積物へと延長するため、陸(湖沼)の古気候コミュニティが古海洋コミュニティと手を結び、日本およびその周辺海域を古環境研究の標準サイトとして確立することを提案する。この研究が行えるのは年縞堆積物と広域テフラに恵まれている日本列島周辺域だけである。

参考文献

中川毅, 水月湖の年縞: 過去7万年の標準時計, 日本地球惑星科学連合ニュースレター 6 (4), 1-3, 2010.

Nakagawa, T. et al., SG06, a fully continuous and varved sediment core from Lake Suigetsu, Japan: stratigraphy and potential for improving the radiocarbon calibration model and understanding of late Quaternary climate changes, *Quat. Sci. Rev.*, in press.

キーワード: 年代軸確立, 炭素循環, 氷期・間氷期, テフラ, 年縞堆積物, 海洋レザバー効果

Keywords: Age model, Carbon cycle, Glacial Interglacial cycle, Tephra, Varved sediment, Marine reservoir effect

リンの存在形態別分析から明らかにする約45~50Maの北極海の環境変動と生物地球化学循環 (IODP Exp302)

Biogeochemical cycling of phosphorus in the 45~50Ma Arctic Ocean: Constraints from speciation analysis (IODP Exp302)

橋本 俊太^{1*}, 山口 耕生¹, 高橋 孝三³

HASHIMOTO, Shunta^{1*}, YAMAGUCHI, Kosei E.¹, TAKAHASHI, Kozo³

¹ 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, ² 東邦大学大学院理学研究科化学専攻, NASA Astrobiology Institute, ³ 九州大学大学院地球惑星科学専攻

¹Department of Chemistry, Toho University, ²Department of Chemistry, Toho University, NASA Astrobiology Institute, ³Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

現代の北極海は、海洋深層水の形成を通じた熱および栄養塩輸送の役割を果たす熱塩循環の出発地点であると同時に、その海水の高いアルベドにおいて、地球規模の気候に大きな影響を及ぼす。しかしながら、北極海の海水は過去に常に存在してきたわけではなく、かつては温暖な時期もあった。温暖期(海水温:約10~14℃)の約49~48Maに雨量の増加に伴う表層海洋の淡水化が起き、Azolla Eventと呼ばれるアカウキウサの大発生が起こり、大気中CO₂が大量に固定されて気候は寒冷化し、約45~44Maには海水が形成されるなど、かつては温暖だった北極が寒冷化したことが、IODP Exp302の北極海掘削航海(ACEX)に関連した最近の研究等から明らかになっている(e.g., Brinkhuis et al., 2006; Moran et al., 2006; Marz et al., 2010)。これは、当時の熱塩循環に大きな変動、すなわち地球規模の環境変動があったことを示唆している。

海洋循環が停滞に伴って嫌気的環境が出現すると、硫酸還元細菌による硫酸還元を通じて硫化水素が発生する。このような環境変動は海の生態系に大きな影響を及ぼす。Ogawa et al. (2009)では、ACEX堆積物中からフランボイダルパイライトが確認され、全硫黄の安定同位体分析から当時の北極海では現代の黒海のような嫌気的環境が存在していたことがわかっている。以上のような北極海の環境変動、特に酸化還元状態の変動に起因した栄養塩状態の変動を明らかにすることは、当時の生物生産の復元につながることもあり、非常に重要である。

そこで本研究では、約55~44MaのACEX北極海堆積物を用いて、代表的な栄養塩であり生物生産を制御しているとされる、生体必須元素のリンの地球化学循環を明らかにすることを目的に、リンの存在形態別の連続抽出分析を行った。リンの存在形態別存在量比を見ることで、海洋中の生物生産性や堆積環境中のリンの生物地球化学循環を知ることができる。リンはまた、海洋の酸化還元状態を間接的に制御している可能性がある(Van Cappellen and Ingall, 1994, 1996)ことから、酸化還元状態の変動があった過去の北極海の海洋環境に復元にとって興味深い研究対象である。

Ruttenberg (1992)によりSEDEX法(堆積物中のリンの連続抽出法)が確立され、堆積物中のリンを5つの形態に分けることができるようになった。5つの形態とは、(1) absorbed P、(2) Fe_{oxide}-P、(3) carbonate fluorapatite (CFAP) + CaCO₃-P + hydroxylapatite (HAP)、(4) detrital P、(5) organic P、である。Schenau et al. (2000)では、SEDEX法の(3)を非生物由来のCFAP、生物由来のCaCO₃-PとHAP(2つを合わせてbiogenic apatiteとする)の2つに分けることで、得られる情報を増大させた。これは、生物生産を考慮して堆積時のソースとシンクを決定するために重要な方法である。本研究では、Schenau et al. (2000)の方法に則り、以下の作業仮説を立てて実験を進めた。

北極海が温暖で閉鎖的であった場合には水塊の成層状態が続き、嫌気的な海盆中では硫酸還元細菌による硫酸還元が活発に行われていた場合(Ogawa et al., 2009)、堆積物中ではリンは主に表層からの沈降プランクトン等を起源とするorganic Pとして保存されると考えられる。このような環境の場合、黄鉄鉱形成のため鉄(reactive Fe)が枯渇する(十分な有機物と硫酸のもとで微生物起源の硫化水素の形成は盛んになるが、結びつく鉄が不足する)傾向があるので、Fe_{oxide}-Pはリンのシンクとしてあまり重要でないと考えられる。CFAPの形成は年代と深度の増加と共に増える傾向にあり、約40~50Maの堆積年代を持つ酸化的な太平洋沖堆積物中のリンの存在形態はCFAPが9割程度を占めている(Fillippelli and Delaney, 1996)ことから、同様の年代を持つACEX北極海堆積物ではCFAPの形成は無視できない可能性がある。嫌気的環境下では分解が進んでCFAPへと変化したと考えられるbiogenic apatiteは、リンのシンクとしてあまり重要でないと可能性がある。約49~48MaのAzolla Eventに伴う雨量の増加(海洋表層の淡水化の原因)で大陸風化も活発化していれば、供給量の増えたリンを利用した生物活動も増大したと考えられるので、この痕跡を明らかにしたい。

本発表では、以上の作業仮説を検証するデータを提示し、議論を行う予定である。

キーワード: 統合国際深海掘削計画, 北極掘削計画, 堆積物連続抽出法, リンの形態別分析

Keywords: IODP, ACEX, SEDEX method, Phosphorus phase

北極海における生物源炭酸塩の生産と溶解：セジメントトラップの結果 Production and destruction of biogenic carbonates through the year in the Arctic Ocean

木元 克典^{1*}, 佐々木 理², 小野寺 丈尚太郎¹, 原田 尚美¹, 岡崎 裕典³, 本多 牧生¹, 田中 裕一郎⁴

KIMOTO, Katsunori^{1*}, SASAKI, Osamu², ONODERA, Jonaotaro¹, HARADA, Naomi¹, OKAZAKI, Yusuke³, HONDA, Makio¹, TANAKA, Yuichiro⁴

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 東北大学総合学術博物館, ³ 九州大学, ⁴ 独立行政法人産業技術総合研究所

¹JAMSTEC, ²Natural Science Museum, Tohoku University, ³Kyushu University, ⁴AIST

The Arctic Ocean is one of the most sensitive realms to global climate changes in the world oceans. It is concerned that oceanic acidification accompanied by global warming allows dissolution of carbonate shells of phyto- and zooplankton and it could be affected oceanic food chain in near future. In this study, we show the result of carbonate production and destruction changes through the year in the Arctic Ocean using faunal and micro focus X-ray CT analysis. Time-series samples of sinking particles were obtained at Stn. NAP10t (75N, 162W, water depth 1,975 m) in the Northwind Abyssal Plain, the Arctic Ocean. Deployed time was from Oct. 2010 to Sep. 2011. The sediment trap cups were deployed at 300 m (shallow) and 1,300 m (deep) water depth and 26 samples were recovered from each water depths. Sampling interval for each bottle was 13-15 days.

Total mass flux (TMF, mg/cm²/day) between both water depths showed clear relationship with the seasonality. Relative higher TMF were observed in late Autumn(November - December), and Summer (August). In fact, contributors of TMF were not only carbonate shells but also some kind of phyto- and zooplankton (diatoms, Copepods, Shrimps, and other gelatinous plankton). From the perspective of biogenic carbonates, primary producers were planktic foraminifers, pteropods, and bivalves and their shells were observed in each bottles commonly. However favorable seasons for their growth were different each other: Primary producers of biogenic carbonates during the late Autumn were the pteropods and small bivalves. On the other hand, planktic foraminifers were most dominant fauna in the Summer. It suggests that faunal alternations between carbonate-shelled plankton has been occurred through the year in the Arctic Ocean. In this presentation, we will show the micro-focus X-ray CT images of planktic foraminifers, pteropods, and bivalves shells and will discuss about the carbonate dissolution in the water column.

Keywords: Arctic Ocean, time-series records, production, dissolution, calcium carbonate, micro-focus X-ray CT

中期~後期中新世における北海道石狩海盆の海洋生物生産変動の復元 -中新世における陸-海間の相互作用の解明-
Reconstruction of marine production changes from middle to late Miocene in the Ishikari Basin, Hokkaido, Japan

風呂田 郷史^{1*}, 沢田 健¹, 川上 源太郎²

FUJOTA, Satoshi^{1*}, SAWADA, Ken¹, KAWAKAMI, Gentaro²

¹ 北海道大学理学研究院, ² 道総研地質研究所

¹ Faculty of Science, Hokkaido University, ² Geological Survey of Hokkaido, HRO

中期~後期中新世は北太平洋全体で珪藻の生産性が増加したことで知られている (Barron, 1998) . このような珪藻の生産性の増加は深層水循環の変化によって説明されているが, 陸域での C₄ 植物の進化と珪藻の進化の関係性も示唆されている (Falkowski et al., 2004) . また, Sawada (2006) では, 中部日本の新第三系浅海堆積層において, ケロジェンの ¹³C の上昇と珪藻由来のバイオマーカーの増加が調和的であることを報告しており, 当時の古日本海において陸上物質の流入が海洋生物生産に影響を与えていたことを指摘している. しかしながら, このような中新世における陸-海間の相互作用を目的とした研究はあまり行われていない. そこで, 本研究では, タービダイトを中心に構成される北海道中新統川端層の有機地球化学分析を行い, 中期~後期中新世における陸上物質の海洋への流入と海洋生物生産の変動の関係性について考察した.

試料は北海道夕張地域川端層, 東山川ルートから採取した泥岩を用いた. 川端層は日本列島の誕生に伴い形成された石狩海盆を, タービダイトが充填して形成された地層である. 川端層は日高山脈の形成史をはじめとした北海道のテクトニクスを考える上で重要であり, それらを目的とした研究によって凝灰岩のフィッシュトラック年代や, 珪藻化石層序を用いた年代決定が行われている (川上ほか, 2002) . 本研究ではおよそ 13Ma 以前から 10Ma 以降の間に堆積したと考えられる泥岩を採取し研究を行った. 採取した試料から総有機炭素量 (TOC) を測定するとともに, 有機溶媒抽出を行い GC/MS を用いてバイオマーカー分析を行った.

川端層から採取した泥岩試料の TOC は 0.5~0.8 % の値とほとんど変化がなかった. さらに, ステランやホパンの異性体比から求めた熟成度は低く, 有機物が未熟成であることがわかった. また, 珪藻に由来する高分枝鎖イソプレノイド (HBI) アルカン, HBI チオフェンが検出された他, 渦鞭毛藻起源のジノステランも検出された. これらの含有量が川端層のおよそ 13Ma 以前と 10Ma 以降の層準において高い値を示したことから, 珪藻と渦鞭毛藻による海洋生物生産がその年代で高かったことが推察される. さらに, HBI アルカンが増加する層準では Pr/Ph の低下がみとめられ, 石狩海盆の底層が高い海洋生物生産によって還元的な環境になっていたことが示唆された.

陸上植物由来のテルペノイドバイオマーカーが, 分析した試料を通じて多く検出された. テルペノイドを用いた針葉樹植生を示す higher plant parameter (HPP) は 10Ma 頃に高い値を示す他は, 上部層準ほど減少しており, 中期~後期中新世にかけて針葉樹の植生が減少していったことが推察される. また, 陸上植物テルペノイドの含有量は川端層の中でも大きく変動しており, これらは陸源有機物の海洋への運搬量の変動を反映していると考えられる. このように分析した海洋起源と陸上植物起源のバイオマーカーを共に評価することで, 中新世における陸-海間の相互作用について, さらに詳細に考察する.

キーワード: 新第三紀古海洋, 陸-海間の相互作用, 海洋生物生産, 古日本海, タービダイト, バイオマーカー

Keywords: Neogene paleoceanography, land - ocean interaction, marine primary production, paleo-Japan Sea, turbidite, biomarker

日本列島降下物中の石英のESR信号の特徴とその起源 Temporal change of the sources of aeolian dust delivered to Japan

山本 裕哉^{1*}, 豊田 新¹, 長島 佳菜², 多田 隆治³, 五十嵐 康人⁴

YAMAMOTO, Yuya^{1*}, TOYODA, Shin¹, NAGASHIMA, Kana², TADA, Ryuji³, IGARASHI, Yasuhito⁴

¹ 岡山理科大学, ² 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ³ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ⁴ 気象研究所 環境・応用気象研究部

¹ Okayama University of science, ² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Research Institute for Global Change, ³ Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁴ Atmospheric Environment and Applied Meteorology Research Department, Meteorological Research Institute

風成堆積物などの運搬経路の解明が古気候における大気循環などを議論する上で重要な情報となることが多い。こうした物質移動の指標として、バルクや希元素の化学組成、同位体比が用いられてきた。しかしこれらの指標は、地球環境中で起きる風化に伴う化学的な溶解による元素移動という要素を常に考慮しなければ正確な議論を行うことが出来ない。これに対し、堆積物に含まれる主要な鉱物である石英の格子欠陥のE₁'中心が10億年までの範囲でその母岩の年代を反映している (Toyoda and Hattori, 2000) ことを用いることによって、MIS1及び2に日本列島に堆積した風送堆積物中の起源地が異なっていることが見出された。(Toyoda and Naruse, 2002) また、酸素空孔量と共に石英の結晶化度を用いて日本海堆積物を連続的に分析することでその変動を時間的に追うことができることも示された (Nagashima et al., 2007)。

本研究ではこれらのことを踏まえて、酸素空孔量と結晶化度を用いて日本列島への最近数十年の風送降下物についてその起源地の変動を調べることを試みた。

試料は秋田で降下物を水をいれた容器で1ヶ月間ごとに集めたものを使用した。

1969年と1971年のそれぞれ2月及び4月の降下物の粒径ごとの酸素空孔量に関しては細粒ほど高い値を示すことがわかった。細粒のフラクションで酸素空孔量の値が高くなっている。細粒のものが中国の高い酸素空孔量の値をもつ砂漠から飛来しているのに対して粗粒のフラクションのものは酸素空孔量の値の低い日本の現地の石英に起源をもつと考えれば、この傾向は説明できる。

1960?1988年の降下物については酸素空孔量は全体として少しずつ低下していることがわかった。この間の石英の結晶化度はほぼ一定である。このことは風送塵混合比が一定であることを示す。これらのことを考慮すれば、中国に起源をもつ風送塵の石英の酸素空孔量の値が低下していることがわかる。これが、Igarashi et al. (2009) で⁹⁰Srと¹³⁷Csの比の変動から議論されているような、乾燥化と関連しているのかどうかについては、今後の検討が必要である

YR11 と SG12: 東アジア夏季モンスーンと偏西風ジェットとの完新世を通じたリンクエッジを探る兄弟プロジェクト

YR11 and SG12: Paired projects to explore linkage between East Asian Summer Monsoon and Westerly Jet during the Holocene

多田 隆治^{1*}, 入野智久², 長島佳菜³, 朕洪波⁴, 中川 毅⁵

TADA, Ryuji^{1*}, IRINO Tomohisa², NAGASHIMA Kana³, ZHENG Hongbo⁴, NAKAGAWA Takeshi⁵

¹ 東京大学理学系研究科, ² 北海道大学地球環境科学研究所, ³ 独立法人海洋研究開発機構, ⁴ 南京大学, ⁵ ニューカッスル大学

¹Graduate School of Science, the University of Tokyo, ²Faculty of Environmental Earth Science, ³JAMSTEC, ⁴Nanjing University, ⁵University of Newcastle

Hydrological cycle in Asia is strongly influenced by spatial pattern and intensity of East Asia Summer Monsoon (EASM). Recent study by Sampe and Xie (2010), based on detailed analysis of meteorological data set, revealed a close genetic relation between the westerly jet (WJ) and EASM front. Preliminary examination of our paleoclimatic data set also suggests the relationship between the position of WJ over East Asia and the intensity of EASM precipitation over South China on millennial time-scale during the Holocene. In order to confirm this relationship and test whether the similar relationship is maintained on shorter time-scales, we organized two projects YR11 and SG12.

YR11 is a project to reconstruct distribution of EASM precipitation over the Yangtze River drainage during the late Holocene with decadal time-scale. To accomplish this objective we first examine provenance of detrital silt and sand throughout the drainage of modern Yangtze River so as to develop a new method to estimate relative contribution of detrital sediments from various branches of Yangtze River to the sediments discharged to the Yangtze River Delta. Next, we will drill the Yangtze River Delta to retrieve sediment cores that are expected to preserve high resolution record of Yangtze River discharge with flood events. By applying a newly developed method to quantitatively estimate the provenance, we hope to reconstruct changes in the area of heavy precipitation over the Yangtze River drainage.

SG12 is a project to reconstruct the changes in the position of WJ axis over East Asia during the Holocene with decadal to annual resolution using the Lake Suigetsu sediments. Our previous studies proved applicability of the provenance tracing method of eolian dust to the Lake Suigetsu sediments. Because the Lake Suigetsu sediments have annual lamination and extremely well-dated through the extensive studies under SG06 project (lead by Nakagawa), the sediments will provide us a rare opportunity to examine changes in eolian dust flux, grain size and provenance on annual time-scale. To accomplish this objective, we plan to drill Lake Suigetsu again in this summer.

The outline of the paired projects and preliminary result of YR-11 project will be presented at the meeting.

キーワード: 東アジア夏季モンスーン, 偏西風ジェット, 揚子江, 水月湖, 堆積物, 風成塵

Keywords: East Asian Summer Monsoon, Westerly Jet, Yangtze River, Lake Suigetsu, sediments, eolian dust

糸魚川石筍の完新世酸素同位体記録と気候変動 Holocene oxygen isotopic records of Itoigawa stalagmites and climate change

曾根 知実^{1*}, 狩野彰宏¹, 柏木健司²
SONE, Tomomi^{1*}, Akihiro Kano¹, Kenji Kashiwagi²

¹九州大学, ²富山大学

¹Kyushu University, ²Toyama University

石筍は気温、降水量、植生の条件を安定同位体比に記録することが知られ、気候変動の指標として用いられてきた。特に熱帯地域やモンスーン地域など、降水量の多い場所では石筍の酸素同位体比が降水強度と逆相関を示し、中国南部の石筍の酸素同位体比記録は夏季モンスーン強度の指標として理解されている。本研究では新潟県糸魚川市の鍾乳洞で採集した2本の石筍試料を用いて分析を行った。糸魚川市は冬季アジアモンスーンの影響により冬に降水(降雪)量が多い地域であり、今回採集した石筍の安定同位体記録を中国南部の記録と比較し、日本海沿岸地域での過去の気候変動について議論する。

U-Th年代測定の結果、FG01の上部は完新世、FG01の下部とFG02は更新世後期(21-30 ka)に形成されたものであることが分かった。Hendy Test、雨水の同位体比分析、および過去90年間の降水量記録との比較から、石筍試料の酸素同位体比は降水量を反映していると思われる。FG01の酸素同位体変動曲線を中国南東部に位置するDongge洞窟で採集された石筍記録と比較したところ、両者のトレンドは大きく異なった。これは中国南東部が夏季アジアモンスーンの卓越する地域なのに対して、糸魚川が冬季アジアモンスーンの影響を強く受けるためだと考えられる。特に4500~1000年前において両者は逆相関関係を示し、この時期は夏季・冬季モンスーンの強弱が強く連動していた可能性がある。その一方で、それ以前の時期では逆相関は見いだせない。一般的に寒冷期は冬季アジアモンスーンが強化されて降水(降雪)量が増加するため、石筍の酸素同位体比が減少する傾向にある。しかし、FG01の酸素同位体比は温暖期に低下する傾向を示した。このことから、冬季モンスーン以外にも酸素同位体比を変化させる要因が大きく働いていたと考えられる。そこで、冬のモンスーンに水蒸気を供給する対馬海流に注目し、島根県隠岐島沖で採集されたコア堆積物中の放散虫*Dictyocoryna* spp.の産出頻度をFG01上部の酸素同位体比曲線と比較した。この種は温暖な表層水に多く存在し、その頻度は対馬海流の流入強度を反映すると考えられている。2つの曲線は極めて良い一致を示し、日本海の海水温度が糸魚川での降水強度に影響したことを支持する。

キーワード: 石筍, 完新世, 気候変動

Keywords: stalagmite, Holocene, climate change

日本海南部の同位体ステージ3における千年スケール表層水変動 Millennial-scale surface water property change in the southern Japan Sea during the Marine Isotope Stage 3

佐川 拓也^{1*}, 内田 昌男², 池原 研³, 村山 雅史⁴, 岡村 慶⁴, 加 三千宣¹, 多田 隆治⁵
SAGAWA, Takuya^{1*}, Masao Uchida², Ken Ikehara³, Masafumi Murayama⁴, Kei Okamura⁴, Michinobu Kuwae¹, Ryuji Tada⁵

¹ 愛媛大学 上級研究員センター, ² 国立環境研究所, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 高知大学海洋コア総合研究センター, ⁵ 東京大学大学院理学系研究科

¹Senior Research Fellow Center, Ehime University, ²National Institute for Environmental Studies, ³Geological Survey of Japan, AIST, ⁴Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, ⁵School of Science, the University of Tokyo

The deep sea environment in the glacial Japan Sea was more sensitive to surface climate change than today because of semi-closed situation due to sea-level low stands. The hemipelagic sediments in the sea are characterized by alternations of bioturbated, organic-poor light layers and finely laminated, organic-rich thin dark layers during the Marine Isotope Stage (MIS) 3. Such sedimentological evidence indicates drastic changes in bottom oxygen level during MIS3. Two possible mechanisms that explain depleted oxygen in bottom water are suggested. First, the dissolved oxygen consumption in bottom water was increased by high productivity due to upwelling. Second, the supply of dissolved oxygen to bottom water was decreased due to enhanced density stratification. These should be quite different situations in terms of surface water density structure. However, there are a few surface water property records at this time.

Here we conducted $d_{18}O$ and Mg/Ca analyses of planktonic foraminifera for a radiocarbon-dated sediment core KR07-12 PC3, which is taken from intermediate depth (329 m) of the southern Japan Sea. Sea surface temperature (SST) and $d_{18}O$ of seawater ($d_{18}O_{sw}$), which is a proxy of salinity, were reconstructed to reveal variations of surface water property during the MIS3. Results clearly showed millennial-scale surface environmental change. Reconstructed SST ranges from 4 to 9 degreeC which is much lower than modern SST (seasonal range: 11 to 26 degreeC) at the core site. Variations of SST and $d_{18}O_{sw}$ were positively correlated ($r = 0.78$).

This positive correlation can be regarded as a mixing of two distinct water masses of high SST, $d_{18}O_{sw}$ and low SST, $d_{18}O_{sw}$. The only one current of warm and saline water flows into the Japan Sea today is the Tsushima Warm Current (TWC). Therefore, the alternation of high SST, $d_{18}O_{sw}$ and low SST, $d_{18}O_{sw}$ during MIS 3 is explained by periodic changes in the strength of TWC inflow. This is consistent with planktonic foraminiferal assemblage in the East China Sea (ECS), which indicates the alternation of two water masses, Kuroshio-related water and coastal water. The millennial-scale variation of the TWC inflow into ECS and Japan Sea played an important role in determining surface water density.

キーワード: 海洋表層水温, 酸素同位体ステージ3, 日本海, 浮遊性有孔虫, Mg/Ca 古水温計

Keywords: sea surface temperature, marine isotope stage 3, Japan Sea, planktonic foraminifera, Mg/Ca thermometry

ロナクレーター堆積物を用いたインドモンスーン復元

Indian monsoon variations obtained from Lonar crater lake in the Deccan Plateau, India

中村 淳路^{1*}, 横山 祐典¹, 松井 孝典², 関根 康人³, 後藤 和久², 小松 吾郎⁴, Senthil P. Kumar⁵, 常⁶, 宮入 陽介¹
NAKAMURA, Atsunori^{1*}, YOKOYAMA, Yusuke¹, MATSUI, Takafumi², SEKINE, Yasuhito³, GOTO, Kazuhisa², Goro Komatsu⁴,
Senthil P. Kumar⁵, CHANG, Yu⁶, MIYAIRI, Yosuke¹

¹ 東大大気海洋研, ² 千葉工業大学惑星探査研究センター, ³ 東大新領域創成科, ⁴ IRSPS, Univ. G.d'Annunzio, ⁵ National Geophysical Research Institute, India, ⁶ Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo

¹ AORI, Univ. of Tokyo, ² PERC, Chiba Institute of Technology, ³ Complexity Sci. & Eng., Univ. of Tokyo, ⁴ IRSPS, Univ. G.d'Annunzio, ⁵ National Geophysical Research Institute, India, ⁶ Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo

Indian monsoon is an important component of the Earth's climate system to understand regional and global climate dynamics. Various geological archives including marine sediment records from Indian Ocean reveal evolutions of the monsoon (e.g. Clemens and Prell, 2003) yet, few reconstructions are available from the Indian sub-continent. Therefore, we study geology of Lake Lonar in the Deccan Plateau, India. Lonar crater is one of the best-preserved impact structures on Earth and there is a saline lake with depth of 6 m in the center of the crater (Maloof et al., 2010). The crater cavity is filled with breccia overlain by 30 to 100 m of unconsolidated sediment (Fudali et al., 1980). ⁴⁰Ar/³⁹Ar step heating experiments of the Lonar crater melt rocks yielded a precise and statistically robust combined isochron age of 570 ± 47 ka (Jourdan et al., 2011). This suggests that Lake Lonar sediment can possibly provide the records of Indian monsoon for the last 500,000 years or more.

キーワード: ロナ湖, インドモンスーン, クレーター

Keywords: Lake Lonar, Indian monsoon, crater

過去千年の気候シミュレーション：代替指標による復元データとの比較について Climate simulation of the last millennium: some notes on comparison with proxy-based reconstructions

吉森 正和^{1*}, 阿部 彩子¹, 末吉 哲雄²

YOSHIMORI, Masakazu^{1*}, ABE-OUCHI, Ayako¹, SUEYOSHI, Tetsuo²

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² 海洋研究開発機構 地球環境変動領域

¹The University of Tokyo/AORI, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology/RIGC

Coordinated simulations of the last millennium climate are being organized in the WCRP-CMIP5/PMIP3 framework for coupled atmosphere-ocean general circulation models and in a community-based framework for earth system models of intermediate complexity. The authors participate in both, and carried out several experiments. An increasing number of model output becomes available widely to the community. While the direct comparison between reconstructions and model simulations is tempting immediately after the data become available, there are several issues that have to be considered. Difficulties arise from the relatively weak forcing and consequent small ratio between externally-forced climate change and unforced (time-invariant forcing) internal variability. We argue that useful comparisons can be made by 1) first distinguishing externally-forced "signal" and internally-generated "noise" using both forced and unforced simulations; 2) extracting the "signal" with ensemble simulation; and 3) running the model separately with individual forcings. Examples will be presented for variations in the Northern Hemisphere and Greenland temperature.

キーワード: 過去千年, シミュレーション, 古気候モデリング相互比較プロジェクト

Keywords: last millennium, simulation, PMIP

中部日本における過去千年間の樹木年輪セルロース酸素同位体比クロノロジーの構築 Construction of tree-ring cellulose oxygen isotope chronology in central Japan during last millennium

中塚 武^{1*}, 岡部 雅嵩¹, 坂本 稔²

NAKATSUKA, Takeshi^{1*}, Masataka Okabe¹, Minoru Sakamoto²

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 国立歴史民俗博物館

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²National Museum of Japanese History

【はじめに】現在世界中で気候モデルの能力の検証などを目的として、過去2千年間に亘る年から季節単位の気候変動データを収集・統合して、モデル計算の結果と比較する2k-networkの取り組みが進められている。高時間分解能での古気候復元は、これまで日本では古文書が豊富に存在する江戸時代(17世紀)以降については盛んに行われてきたが、中世温暖期から小氷期への移行期に当り、数多くの飢饉や戦乱が起きた中世(11-16世紀)については、年単位での古気候復元は殆ど行われていない。樹木年輪は中世からも建築古材、埋没木等の形で豊富に取得されるため、適切なクロスデーティングを行うことができれば、それらの試料から中世を含む過去千年に亘る樹木年輪データを獲得することは可能である。本研究では、広域のエリアで樹種の違いを越えて夏季の水循環を反映した高い変動パターンの相同性を示す年輪セルロースの酸素同位体比に着目して、中部地方における数個体の樹齢数百年の木材年輪試料を分析し、過去千年近くに亘るセルロース酸素同位体比のクロノロジーを構築して、その年代学的・気候学的・歴史学的意味について考察した。

【試料と方法】分析に用いた試料は、(1)1960年代に伐採された岐阜県中津川市のヒノキ(年輪数810年、名大博物館)、(2)2009年10月に倒壊した三重県伊勢市のスギ(年輪数481年、伊勢神宮倒木)、(3)長野県木曾郡大桑村で得られたヒノキ古材(年輪数351年、池口寺解体材)である。試料は厚さ1mmの薄板にして、そのままセルロースを抽出し、顕微鏡下でセルロース化した年層を1つ1つ剥離したのち、1年層当たり2個ずつ銀箔に包んで、TCEA/IRMSを用いた酸素同位体比の測定に供した(Xu et al., 2011)。以上3試料のうち、(3)は¹⁴Cの測定から11-14世紀に掛けての木材であることが分かっている。一方(1)と(2)の伐採年代は分かっているが、既に年代が確定している奈良県宇陀市のスギ(1611~1756年(Yamaguchi et al., 2010))と長野県上松町のヒノキ(1730~2005年(中塚,2010))の年輪セルロース酸素同位体比との対比により、(3)と共にその年代を再確認することを試みた。

【結果と考察】まず(1)の年輪セルロース酸素同位体比の時系列データを、奈良県宇陀市のスギ、長野県上松町のヒノキのデータと比較したところ、それぞれ相関係数 $0.62(p=9.98 \times 10^{-12})$ と $0.57(p=7.22 \times 10^{-14})$ で完全に一致する区間が認められ、(1)の年輪は1121年から1930年のものであることが確定できた。また(2)のデータを、年代が確定した(1)及び奈良県宇陀市のスギのデータと対比したところ、それぞれ相関係数 $0.44(p=1.23 \times 10^{-10})$ と $0.57(p=7.89 \times 10^{-11})$ で一致する区間が認められ、伐採年と年輪数から推定した最も内側の年輪年代1529年が正しいことが確認できた。一方(3)のデータには、(1)との間で相関係数 $0.66(p=3.14 \times 10^{-22})$ で一致する区間が認められ、この試料は1034年から1384年のものであることが分かった。これは放射性炭素の測定結果と完全に一致する。このように地域や樹種が異なる試料間でも高い相関係数が確認できたことは、年輪酸素同位体比の時系列データが、気候、特に夏季の水環境を正確に記録していることを示唆すると共に、この酸素同位体比クロノロジーを用いれば、今後、過去千年間に亘って中部日本の年代未知の任意の木材資料の年代を1年単位で決めていけるという、画期的な意味を持つ。

本研究で分析した試料の中で最も期間の長い(1)の年輪セルロース酸素同位体比の時系列データをWavelet解析したところ、12-16世紀の中世の時代に50年から120年程度の周期性をもつ顕著な変動が認められた。社会の大きな変動の背景には、しばしば数10年周期の気候変動があることが、近年指摘されてきており(Zhang et al., 2008など)今後、飢饉や戦乱が頻発した日本の中世社会の背景に、どのような気候変動があったのかについて、新しい歴史学的な検討の可能性が開けたと言える。(1)のデータを中国及びインドで得られている鍾乳石の酸素同位体比の変動(Zhang et al., 2008; Berkelhammer et al., 2010)と対比したところ、13-14世紀において極めて良く同調した変動が認められた。これらの鍾乳石の酸素同位体比は、アジアにおける夏季モンスーンの変動の指標になると考えられており、13-14世紀に中部日本で見られた樹木年輪酸素同位体比の大きな変動が、アジア全域を対象とした夏季モンスーンの変動によって生じていることを強く示唆している。今後、これらの酸素同位体比データの広域対比から、東アジアモンスーンとインド洋モンスーンの長期に亘る変動の同調性や相違性について、詳しい検討が加えられ、新しい気候学的な発見につながるものと期待できる。

キーワード: 樹木年輪, セルロース, 酸素同位体比, 年代決定, 中部日本, 中世
Keywords: tree ring, cellulose, oxygen isotope, dating, central Japan, middle age

インドネシア・ジャワ島西部の石筍における過去千年間の炭素・酸素同位体比変動 Carbon and Oxygen Isotopic Variation over the Last 1000 Years of a Stalagmite from West Java, Indonesia

北愛美¹, 渡邊 裕美子^{1*}, 坂井三郎², 田上高広¹, 竹村恵二¹, 余田成男¹

Manami Kita¹, WATANABE, Yumiko^{1*}, Saburo Sakai², Takahiro Tagami¹, Keiji Takemura¹, Shigeo Yoden¹

¹ 京大・理・地惑, ² 海洋研究開発機構, ³ 京大・理・地熱

¹EPS, Kyoto Univ., ²JAMSTEC, ³Institute for Geothermal Sciences, Kyoto Univ.

赤道域は、地球規模の大気循環を駆動している点で重要な地域である。近年鍾乳石や湖底堆積物を使った過去数千年間の古気候記録が得られつつあるものの、これまで赤道域では古気候記録が少なく、特に高時間分解能(年々~100年スケール)での古気候研究は十分に行われていない。石筍試料は、陸域での連続的な古気候記録が得られることに加え、U-Th年代測定による高精度な年代決定が可能である。そのため、石筍の炭素・酸素同位体比は、多くの研究で古気候指標として利用されている(Zhang et al., 2008; Jex et al., 2011 など)。

そこで本研究では、インドネシア・ジャワ島西部の Ciawitali cave で採取された、年縞をもつ石筍試料(CIAW15a)の炭素・酸素同位体比(^{13}C ・ ^{18}O)を年々スケールで分析し、アジア赤道域における過去の降水量変動の復元を目指した。Watanabe et al. (2010) は、石筍 CIAW15a の ^{13}C 、 ^{18}O が洞窟内での滴下水からの CO_2 脱ガスによる同位体分別の影響を受けていることを明らかにした。そして、地域的な降水量変動が、洞窟内での動的な同位体分別と関連して石筍 CIAW15a の ^{13}C 、 ^{18}O に記録されるプロセスを提示している。これを踏まえ、本研究では以下を行った。

(1) 石筍 CIAW15a の ^{13}C 、 ^{18}O データと Ciawitali cave 地点の降水量データを詳細に時系列比較し、降水量の指標としての評価を行った。

(2) 泉谷 (2010, 修士論文) の分析(過去 400 年間の ^{13}C 、 ^{18}O データを提供)からさらに過去にさかのぼって ^{13}C 、 ^{18}O を分析し、機器観測以前の過去の降水量変動の復元を試みた。

縞数えの結果から、降水量データとの比較を行う石筍最上部の平均層厚を求めると、 $45.9 \pm 1.5 \mu\text{m}$ になった。この誤差の範囲内で平均層厚を変え ^{13}C 、 ^{18}O と降水量の相関解析を行った結果から、平均層厚 $44.8 \mu\text{m}$ を用いた年代モデルを採用し、 ^{13}C 、 ^{18}O と降水量、SOI の比較を行った。平均層厚 $44.8 \mu\text{m}$ を用いて年代を決めた ^{13}C 、

^{18}O と Ciawitali cave の降水量は良い負の相関を示す。さらに、季節単位で降水量と ^{13}C 、 ^{18}O を比較すると、 ^{13}C 、 ^{18}O は雨季(12~4月)の降水量と高い相関を示すことが明らかになった。

ENSO(エルニーニョ南方振動)の指標である SOI(南方振動指数)と ^{13}C 、 ^{18}O には有意な相関は見られなかった。研究地域では ENSO は主に乾季(6~10月)の降水量変動と高い相関があり、石筍の ^{13}C 、 ^{18}O が降水量変動を反映する時期(雨季; 12~4月)と異なる。そのため、石筍の ^{13}C 、 ^{18}O には ENSO の記録は残りにくいと考えられる。

泉谷 (2010, 修士論文) と本研究の分析で、過去 1000 年間の ^{13}C 、 ^{18}O の時系列変動が得られた。1400 年以降の過去 600 年間では 10~30 年のオーダーで ^{13}C 、 ^{18}O の増減の傾向はほぼ一致しており、洞窟内での動的な同位体分別の影響を受け、地域的な降水量変動を記録していると考えられる。東ジャワの湖底堆積物から復元された干ばつの記録(Rodysill et al., 2012; Crausbay et al., 2006)と比較すると、 ^{18}O (^{13}C)の 1425~1625 年、1760~1800 年の少雨を示す大きな変動は、東ジャワで復元された干ばつの時期と誤差の範囲で矛盾しない。

インドネシア・東部ジャワの鍾乳石の炭素・酸素同位体比と降水量との時系列比較 Comparison of Stable Isotope Time Series of Stalagmite and Meteorological Data from East Java, Indonesia

福永卓也¹, 渡邊 裕美子^{1*}, 坂井三郎², 田上高広¹, 竹村恵二³, 余田成男¹

Takuya Fukunaga¹, WATANABE, Yumiko^{1*}, Saburo Sakai², Takahiro Tagami¹, Keiji Takemura³, Shigeo Yoden¹

¹ 京大・理・地惑, ² 海洋研究開発機構, ³ 京大・理・地熱

¹EPS, Kyoto Univ., ²JAMSTEC, ³Institute of Geothermal Research

鍾乳石は100年~10万年程度の長期間において、連続成長可能であり、ウラン放射非平衡年代測定法で正確に年代決定できるという特徴があるため、陸域の古気候を復元する地質学的試料として、近年、盛んに研究されている。

本研究地域である東南アジア熱帯域は、エルニーニョ南方振動(ENSO)など世界規模で気候に影響する現象が起こる地域であるにも関わらず、いくつかの研究例があるに過ぎない。先行研究において、石筍中の同位体比変動は主に降水量に起因するものであるとされているが、細部の解釈は分かれており、洞窟毎、石筍毎に異なる可能性もある。そこで、本研究では、2007年にインドネシア・ジャワ島東部のBribin洞窟で採取された石筍試料BRI09aにおいて成長縞の計数とU-Th非平衡年代の比較により年代モデルを構築し、既に福永(卒論、2010)で年代モデルが構築されている石筍試料BRI10aにおいて、石筍中の同位体比の降水量プロキシとしての評価を行った。降水量プロキシとしての評価は以下のように行った。

1. 同位体比が降水量をどう反映しているかを判断するため、同位体分別が速度論的分別か平衡論的分別かを推定する。
2. 石筍中の同位体比の気候プロキシとしての信頼性を検討するために、成長軸に沿った炭素/酸素安定同位体比分析を行い、同位体時系列と降水量データを比較する。

まず、石筍試料BRI09aを用いて、成長縞の計数とU-Th非平衡年代の比較による年代モデルの構築を行った。その結果、U-Th放射非平衡年代は 1038 ± 52 yrs(2 σ)であった。また、成長縞の枚数は年代測定を行った箇所の上端までで 879 ± 10 (2SE)枚、下端までで、 1018 ± 38 (2SE)枚であった。薄片観察において不整合は確認されず、石筍試料BRI09aの成長縞は年縞が支配的であることを示唆する。しかし、年代値より成長縞の枚数がわずかに少なく、薄片上において石筍の先端が欠損している可能性が高い。そのため、古気候復元においては先端の層厚設定に注意を払う必要がある。

次に、福永(卒論、2010)で年代モデルが既に構築されている石筍試料BRI10aにおいて、同位体比を測定し、同位体分別過程と降水量プロキシとしての信頼性を検討した。石筍中の炭素同位体比と酸素同位体比はよく相関する($R=0.75$, $p<0.01$)。また、石筍中の同位体比は、採取した地下水から平衡論的同位体分別が生じたと仮定し見積もった理論値より高い傾向にある。これらの結果は二酸化炭素の脱ガスを示唆しており、石筍試料BRI10aでは二酸化炭素の脱ガスにより炭素/酸素安定同位体比の動的同位体分別がコントロールされローカルな降水量が記録されていることが推定される。

ジョグジャカルタの降水量(1937年~2008年)と炭素/酸素安定同位体比を比較検討すると、先端を2006年10月~2007年5月の雨季に成長したと仮定すると良く相関する($R=-0.44$, $p<0.01$, $R=-0.59$, $p<0.11$)。このことは試料採取年月(2007年8月)と矛盾しない。石筍試料BRI10aの安定同位体比はローカルな降水量を記録しており、この地域の降水量プロキシとして有用であることが分かった。

また、ENSOのプロキシとしては役に立たない可能性が大きいことも分かった。これはENSOの指数であるSOIやNINO-4が降水量と相関が良い月(6月~12月、9月~11月)が、同位体比が記録している降水量の月(10月~5月)とズレていることに起因する。

本研究の結果、石筍試料BRI10aの炭素/酸素安定同位体比は降水量のプロキシとして用いることができることがわかった。また、同じBribin洞窟において石筍試料BRI09aの年代モデルが構築されたことにより、石筍試料BRI10aとの比較研究が可能となった。今後、比較研究によって石筍に記録されている安定同位体比と降水量の関係に対する理解が進むことが期待される。

東南アジア熱帯域の洞窟における現在の石筍生成と洞外気象の関係 Relationship between modern speleothem formation and surface weather in Southeast Asian equatorial cave

長谷川 航^{1*}, 渡邊 裕美子¹, 田上 高広¹
HASEGAWA, Wataru^{1*}, WATANABE, Yumiko¹, TAGAMI, Takahiro¹

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto Univ.

近未来の気候変動を予測し、それに備えることは、近年の大きな科学的・社会的課題である。正確な気候予測のためには、古気候代替指標を用いて過去、特に最近 2000 年間の気候変動を高地域・時間分解能で復元し、その結果を予測モデルへと反映させることが求められている。インドネシアを含む東南アジア熱帯域は、エルニーニョ南方振動 (ENSO) の影響を強く受ける地域である。ENSO は、東南アジア熱帯域の降水量に直接的に影響するだけでなく、熱移送を通じて中・高緯度域の気象にまで大きな影響を与える (Hastenrath, 1991)。にもかかわらず、この地域での連続的な古気候データの数は少なく (IPCC, 2007)、特に古気候代替指標による古気候復元の必要性が高い。

鍾乳石は洞窟内で連続的に成長していることから、陸域の古気候代替指標として有用である (Fairchild et al., 2006)。Watanabe et al. (2010) は、鍾乳石中の炭素・酸素同位体比と、機器観測降水量の時系列データが負の相関を持つことから、鍾乳石の炭素・酸素同位体比が降水量の代替指標になることを示した。しかし、石筍生成と洞外気象の関係 (降水量が石筍中の安定同位体比変動として記録されるメカニズムやどの季節のどんな大きさの降水量を記録しているのか等) については明らかになっていない部分が多い。そのため、石筍生成と洞外気象の関係を探るための洞内モニタリング (洞内外気象、滴下水の化学分析、鍾乳石成長実験) が盛んに行われて始めている (例えば、Tremaine et al., 2011; Boch et al., 2011)。しかし、熱帯域での研究例はほとんどない。

Baldini et al. (2008) は、洞外気温の季節変動に起因する洞内気流の向きの変化が、洞内二酸化炭素濃度を変動させ、石筍中の ^{13}C に影響を与えていることを明らかにした。また、Tremaine et al. (2011) は、洞内二酸化炭素濃度変動が、滴下水からの CO_2 脱ガス率を変化させ、鍾乳石の成長速度を季節変化させていることを示した。しかし、これらの先行研究は温帯域でのものである。熱帯域の洞窟においては、洞内二酸化炭素濃度の日内変動が、石筍の成長量及び安定同位体比を左右している主要因だと予想される。なぜなら、洞内気流の向きを決定しているのは、洞外気温の季節変動ではなく、むしろ日内変動であると考えられるからである。

そこで本研究では、インドネシアジャワ島中部の Petruk 洞窟において、洞外気象観測 (気温・降水量・ ^{18}O)、洞内気象観測 (気温・気流・二酸化炭素濃度)、滴下水水質観測 (pH, Ca^{2+} 濃度, HCO_3^- 濃度, pCO_2 , S.I.cc, ^{13}C ・ ^{18}O) 及び析出した石筍の分析 (成長速度, ^{13}C , ^{18}O) を内容とする洞内モニタリングを、2011 年 10 月より開始している。熱帯域では、気温の日内変動が重要と考えられることから、温帯域で通常行われている 1~3 か月ごとの観測に加え、2 時間おきの高時間分解能観測を実施している。本研究の目的は、モニタリングデータを時系列的に採取し比較することで、熱帯域の洞窟において石筍成長 (成長量, ^{13}C , ^{18}O) と洞外気象の関係を明らかにすることである。

キーワード: 洞窟, 石筍, 二酸化炭素濃度, 滴下水, 熱帯域, インドネシア

Keywords: cave, stalagmite, carbon dioxide concentration, dripwater, equatorial region, Indonesia

大分県大野川流域土壌および河口堆積物の鉱物組成変動

Temporal variation of mineral composition in the drainage area of the Ohno River, Ohita, Japan

入野 智久^{1*}, 山本康人¹, 山本 正伸¹, 竹村 恵二²

IRINO, Tomohisa^{1*}, YAMAMOTO Yasuto¹, YAMAMOTO, Masanobu¹, TAKEMURA, Keiji²

¹ 北海道大学, ² 京都大学

¹Hokkaido University, ²Kyoto University

The Ono River is located in the northeast Kyushu Island, which has the head water region at the Mt. Kuju and Mt. Aso, flows eastward combining some tributaries from the south, and then flows northward to the Beppu Bay. Surface geology of the drainage area is roughly divided into two as andosol in the northeast and brown forest soil in the south. Such contrasting detrital provenances could provide a variety of grain composition to the marine sediments deposited in the Beppu Bay. The No. 5 boring core was drilled at a landfill site on the mouth of the Ono River. The core continuously recovers 97 m length and consists of Holocene marine sediments. The variety of the sediment facies would give us a good opportunity to reconstruct the terrestrial environment of hinterland (the Ono River Basin) through the detailed analysis of the detrital mineral composition.

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. Change in the surface soil composition could be observed if a well-preserved depositional soil sequence was found. In order to detect the change in provenances and interpret the terrestrial environment using detrital proxies in the marine sediments, it is necessary to know the variability or range of the mineral composition of a particular provenance during the targeted time periods. Fortunately, we found a suitable soil sequence on the foot of the Mt. Kuju at 850 m altitude, which covers the similar time interval as the No.5. The soil sequence consists of brown loam overlain by the alternation of tephra and andosol. We tried to compare the variations in mineral compositions both for this soil sequence and the No.5 core since about 8,000 yrs age.

We conducted a powder X-ray diffraction analysis (XRD) and color (visible light reflectance) measurement to determine the major mineral composition. Used samples were extraction residues by organic solvent, which were dried and powdered before XRD and color measurement. Major minerals were identified and evaluated semi-quantitatively using the height of their diagnostic peaks. The sediment color was examined through L*, a*, and b* indices.

The No. 5 core mainly consists of smectite, illite, chlorite (or kaolinite), amphiboles, quartz, feldspars, and amorphous materials with minor calcite. Amorphous material is supposed to mainly consist of biogenic opal. Amorphous material is higher during 7000 to 3500 yrs BP which suggests the decrease in detrital input due to the Jomon transgression. All the detrital minerals show opposite variation. The detrital mineral composition such as quartz / feldspars ratio is higher during 0 ? 2000 yrs BP and before 7000 yrs BP which suggests a change in terrestrial condition. On the other hand, The Mt. Kuju soil sequence (KSS) mainly consists of smectite, illite, chlorite (or kaolinite), amphiboles, quartz, feldspars, and amorphous materials associated with gibbsite. Amorphous material is supposed to mainly consist of volcanic glass. Crystalline minerals such as smectite, illite, chlorite, and quartz are higher in loam (up to 7000 yrs BP), and quartz increases at the top andosol of the KSS (after 3000 yrs BP). Volcanic glass began to increase just before quartz decreased at about 7000 yrs BP when feldspars increased alternatively. Quartz / feldspars ratio both in terrestrial soil and marine sediment, which show lower value between 3000 and 7000 yrs BP, suggests that the change in surface soil composition could affect the mineral composition of the marine sediments.

キーワード: 大野川, 久住山, 別府湾, 土壌, 鉱物組成

Keywords: Ohno River, Mt. Kuju, Beppu Bay, Soil, Mineral composition

琵琶湖試料中の生物源シリカ含有率の過去約10万年間の変遷とその要因 Last 100ka biogenic silica content variation in Lake Biwa, Japan and its factors

根上 裕成^{1*}, 中西 俊貴², 喜岡 新³, 岩本 直哉⁵, 井内 美郎¹
NEGAMI, Hiroshige^{1*}, NAKANISHI, Toshiki², KIOKA Arata³, IWAMOTO, Naoya⁵, INOUCHI, Yoshio¹

¹ 早稲田大学大学院人間科学研究科, ² 三菱電機プラントエンジニアリング, ³ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ⁴ 東京大学大気海洋研究所, ⁵ 愛媛県総合科学博物館

¹Graduate School of Human Sciences, Waseda University, ²Mitsubishi Electric Plant Engineering Corporation, ³Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, ⁴Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, ⁵Ehime Prefectural Science Museum

琵琶湖の北湖内で採取された高島沖ボーリングコア中を用いて、過去約10万年間の生物源シリカ含有率を100年以下の高分解能で定量分析した。生物源シリカは植物プランクトンの一種である珪藻由来の化学成分であり、珪藻量の変化を近似的に表す。珪藻の増減は気温や降水量などの気候変化に左右されると考えられており、実際にバイカル湖やアフリカのマラウイ湖など世界各地で古気候記録の指標として用いられている。

分析により得られた結果を周波数解析すると、長周期では地軸の傾きの周期的変化と歳差運動周期の2つのミランコビッチサイクルが確認された。ミランコビッチサイクルより短い周期では、海洋表層循環や太陽活動などに起因するとみられる周期性が確認できた。

琵琶湖の生物源シリカ含有率記録は数十年から数百年と不規則なアップダウンを繰り返している。そのアップダウン中のピークの要因を検討するために明瞭なピークを抽出し、グリーンランド氷床コアや中国の石筍記録などのグローバルで高分解の古気候記録と比較した。

キーワード: 琵琶湖, 生物源シリカ, 亜間氷期, モリブデンイエロー法

Keywords: Lake Biwa, biogenic silica, interstadials, molybdenum-yellow method

琵琶湖高島沖コアの生物源シリカ濃度から見た過去約12~25万年における気候変動

Last 120ka to 250ka climate changes as deduced from the biogenic silica content of Lake Biwa, central Japan

村越 貴之^{1*}, 根上 裕成¹, 井内 美郎¹

MURAKOSHI, Takayuki^{1*}, NEGAMI, Hiroshige¹, INOUCHI, Yoshio¹

¹ 早稲田大学人間科学学術院

¹ Faculty of Human Sciences, Waseda University

本研究では、琵琶湖の主要な一次生産者である植物プランクトンの珪藻に注目し、湖底堆積物中の生物源シリカ含有率(BSC)を、吸光度法(モリブデンイエロー法)を用いて測定した。今回の分析に用いた試料は、1986年に琵琶湖の高島沖(N35°14.86', E136°03.06')で採取された高島沖ボーリングコアである。先行研究に引き続いて、平均時間分解能約400年で過去約12~25万年間(海洋酸素同位体ステージでおおよそ6~8に相当)にわたる範囲の分析を行った。

その結果、高島沖BSC記録中に中国 Sanbao / Hulu 洞窟から採取された石筍の(δ¹⁸O)記録中のCISイベント(B1~24)に対応するピークが確認された。

SPECTRUMソフトウェア(Schulz and Stettgen, 1997)を用いて高島沖BSC記録のMilankovitchスケールの周波数帯における時間周波数解析を行った。その結果、23 kyrと19 kyrの歳差運動周期が確認できた。この2つの歳差運動周期は喜岡ほか(2010)で過去約14万年間の高島沖BSC記録でも確認されている。つまり過去25万年の高島沖BSC記録の変遷は23 kyrと19 kyrの歳差運動周期に影響を受けていたと考えられる。

次に高島沖BSC記録中の千年スケールの気候周期性を調べるためにREDFIT 3.8e(Schulz and Mudelsee, 2002)を用いて周波数解析を行った。その結果、信頼水準95%で3.4 kyr, 2.3 kyr, 1.5 kyr, 1.2 kyr, 1.0 kyrの5つの周期が確認された。これらの周期は世界各地の先行研究で既に確認されており、喜岡ほか(2010)で最終氷期-間氷期中(過去約12万年間)の高島沖BSC記録でも確認されている。つまり、確認されたこれら5つの気候周期は過去2回の氷期-間氷期サイクルにおける日本列島中央部の気候変動をコントロールしていたと考えられる。

キーワード: 琵琶湖, 生物源シリカ含有率, 気候変動, 堆積物, 周期性

Keywords: Lake Biwa, Biogenic silica content, climate change, sediments, periodicity

長野県野尻湖における過去約4.5万年の湖水面高度変遷とその要因

Lake-level change history estimated by acoustic record and their factors during the last 45,000 years in lake Nojiri

中村 祐貴^{1*}, 井内 美郎¹, 公文 富士夫², 井上 卓彦³, 近藤 洋一⁴

NAKAMURA, Yuki^{1*}, INOUCHI, Yoshio¹, KUMON, Fujio², INOUE, Takahiko³, KONDO, Yoichi⁴

¹ 早稲田大学 大学院人間科学研究科, ² 信州大学理学部 物質循環学科, ³ 独立行政法人産業技術総合研究所, ⁴ 野尻湖ナウマンゾウ博物館

¹Human Sciences, Waseda University, ²Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Shinshu University, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Nojiri-ko Museum

長野県野尻湖においてユニブームを用いて得られた音波探査記録について音響層序学的手法を用いて、過去の湖水面高度変遷を明らかにしたところ、過去約4.5万年間に8回の上昇・下降を繰り返していたことが明らかになった。その結果を野尻湖内の花粉や TOC, NGRIP や Sanbao/Hulu の酸素同位体比といった他のプロキシと比較したところ、寒冷期と湖面上昇期、温暖期と湖水面下降期を対応させることができ、特に湖水面が上昇していた時期は Younger Dryas, Heinrich Event, Bond Cycle といった世界的な寒冷化イベントの時期と概ね一致した。寒冷期に湖水面が上昇する要因としては、地球規模の寒冷化による蒸発量の減少と冬季モンスーンが強化されたことに伴う降雪量の上昇が考えられる。また、温暖期に湖水面が低下する原因としては、温暖化による蒸発量の上昇と冬季モンスーンが弱体化したことに伴う降雪量の減少が考えられる。冬季モンスーン強度の変遷は、黄土高原のレス粒径の変化と同調的である。

キーワード: 野尻湖, 湖水面変動, 音波探査, 寒冷化イベント, 降雪, 冬季モンスーン

Keywords: Lake Nojiri, lake-level fluctuation, acoustic record, cold event, snowfall, winter monsoon

秋田県一の目潟堆積物から推測される過去 28,000 年間の東北日本の環境史 A 28-kyr record of environmental change in NE Japan inferred from the Lake Ichi-no-Megata sediments

山田 和芳^{1*}, 篠塚 良嗣², 米延 仁志¹, 五反田 克也³, 原口 強⁴, 安田 喜憲⁵

YAMADA, kazuyoshi^{1*}, SHINOZUKA, YOSHITSUGU², YONENOBU, Hitoshi¹, GOTANDA, Katsuya³, HARAGUCHI, Tsuyoshi⁴, Yoshinori Yasuda⁵

¹ 鳴門教育大学, ² 北海道大学, ³ 千葉商科大学, ⁴ 大阪市立大学, ⁵ 国際日本文化研究センター

¹Naruto University of Education, ²Hokkaido University, ³Chiba University of Commerce, ⁴Osaka City University, ⁵International Research Center for Japanese Studies

Continuous geochemical data of 37-m thin laminated sediment core from Lake Ichi-no-Megata (maar), northeast Japan provides a 28,000-year history of the response of the lake and its surroundings to global climate change in the northeastern Japan. Principle component (PC) analysis of 17 major and trace elements in the bulk sediment samples indicated that PC-1 score (explain 46.1% of all chemical variables) may reflect the paleo lake productivity and detritus inputs from the surrounding area caused by monsoonal-climate change. We interrupt this correlation that warm and humid climate leads to the high stand of lake productivity and the low input of detritus minerals when the PC-1 score is low (negative), and the vice versa.

On the other hands, seventy four AMS 14C dates enabled us to establish the detailed chronology agreed well with tephrostratigraphy. The event-free composite depth versus calendar plots indicates a stable deposition environment since after 28,000 cal yr BP.

In the last glacial after 28,000 cal yr BP, the PC-1 score has fluctuated with millennial scale and temporally increased at the periods of 27, 25-24, 22-21, 19-18, and 16 cal kyrs BP. These climate cool/dry events could be compared with the stadials in the North Atlantic region such as the Heinrich events.

During the last glacial-interglacial transition (the LGIT, 15-9 ka), the PC-1 score began to become negative gradually at 14,500 cal yr BP, that means the onset of the B/A warming interstadial. After that, the score temporally increased between 12,100 and 11,200 cal yr BP. This temporal climate deterioration seems to be the Younger Dryas (YD) stadial. However, the YD term is not simultaneous compared with the records in the North Atlantic region as well as the affected area of Asian monsoon activities and the Westerlies as China and Japan. It needs to discuss more about it.

In the Holocene, one large change of the PC-1 score was occurred at 1,100 cal yr BP. Compared with the pollen data on the same core, this change may be caused by the human impacts to the lake surrounding area that are forest tree cutting to make buildings. Except this, the score has fluctuated with millennial scale, suggested that Holocene climates in the northeastern may have fluctuated caused by a solar activity.

Keywords: Major and trace elements, Principal component analysis, Lake Ichi-no-Megata, LGIT, human impacts, monsoonal-climate change

ペルー中部、高山地域における後氷期以降の地形発達と環境変動 - 氷河湖を用いた検討 -

Geomorphological evolution and environmental variation after a deglaciation in the high-land of central Peru

山田 和芳^{1*}, 原口 強², 五反田 克也³, 矢野 洋丞¹, 米延 仁志¹

YAMADA, kazuyoshi^{1*}, HARAGUCHI, Tsuyoshi², GOTANDA, Katsuya³, Yosuke Yano¹, YONENOBU, Hitoshi¹

¹ 鳴門教育大学, ² 大阪市立大学, ³ 千葉商科大学

¹Naruto University of Education, ²Osaka City University, ³Chiba University of Commerce

ペルーを縦断するアンデス山脈の標高 4,000 m を超える地域には、熱帯にも関わらず氷河が存在している。これより高度が低い場所では、氷河時代につくられた周氷河地形が残っており、一部については、も現在でも水を湛水した氷河湖が複数残存している。多くの氷河湖が分布するペルー中央部の気候を支配する要因は、熱帯収束帯 (ITCZ) の南北移動、大陸側からの南アメリカモンスーン変動、海洋側からの南方振動・エルニーニョ (ENSO) 変動の複合体で説明される。しかしながら、これまで、ティティカカ湖での調査研究以外には、詳細にボーリング調査を含めた地質学的検討が行われてはいない。たとえば ENSO は、異常気象をもたらすため、その発生時期や周期などを特定することは非常に重要なテーマである。したがって、ペルーにおける気候変動の各成分の抽出や、その一般性を検討するためにも、多くの地点からの古環境データの蓄積が切望される。

一方、ペルー首都リマより南へ約 600 km に位置するナスカ台地は、約 2,000 年前より 1,200 年前まで栄えた古代アンデス文明のひとつであるナスカ文明の舞台となる。このナスカ文明を含めた古代アンデス文明の環境考古学的調査研究は、Winsborough et al., (2012) のみであり、たとえば、マヤ文明のそれと比べると非常に少ない。そのため、古代アンデス文明と自然環境変動との関係を検討するためにも、堆積物による環境史の解明は早急の課題となる。

そこで、本研究では、上述した課題に関連して、ナスカ文明期の気候環境変動の復元や人間活動との関連性を比較検討する目的のため、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) にて音波探査調査およびボーリング調査の現地調査をおこなった。そして、最適な場所で掘削したボーリングコアによって採取された氷河湖堆積物の分析から、後期完新世以降の気候環境変動を推定した。

ヤウリウイリ湖は、標高 4,384 m の地点にあり、イグニンプ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。予察的なコアの分析結果から、PY11-2 コアの最下部は過去 2,000 年と推定され、堆積物は、4 つの堆積ステージに層序区分されることが明らかになった。深度 170 ~ 150 cm および 79 ~ 18 cm は、相対的に低い含水率、高い磁化率、高い L* 値、低い b* 値で表され、これらの特徴から高水位期と推定された。一方深度 150 ~ 79 cm および 18 cm 以浅は、上記とは逆のセンスを持つことから、低水位期と推定された。ティティカカ湖での研究成果から、ペルー高山域では、寒冷-湿潤、温暖-乾燥という気候変動と解釈されている。そのため、ヤウリウイリ湖でのデータは、ネオグラシエーション末期から現在までの気候変動となり、地球規模での気候変動イベントと概ね同調している。現在、蛍光 X 線分析とともに放射性炭素年代測定を実施中である。その結果を加えたコア解析の詳細は、発表に委ねたい。

キーワード: ペルー, 氷河湖, 気候変動, 音波探査, ナスカ

Keywords: Peru, glacier lake, climate change, echo sounding, Nazca

群馬県北東部の丸沼湖底堆積物からみた過去約80年間の洪水記録 Environmental history and flood events during the last 80 years in Lake Marunuma, Gunma Prefecture, Japan

行木 勝彦^{1*}, 井内 美郎², 岩本 直哉³

NAMEKI, Katsuhiko^{1*}, INOUCHI, Yoshio², IWAMOTO, Naoya³

¹ 早稲田大学人間科学部, ² 早稲田大学人間科学学術院, ³ 愛媛県総合科学博物館

¹School of Human Sciences, Waseda University, ²Faculty of Human Sciences, Waseda University, ³Ehime Prefectural Science Museum

湖底堆積物には、人々の生活と関係が深い環境記録が残されているとされ、近年の研究では、湖水面変動や気候変動のほか洪水・津波・地震などの災害イベントについての研究もなされている(例えば、井内ほか 1993; Inouchi et al., 1996 など)。本研究では、過去に発生した洪水災害の証拠を示すイベント堆積物を検出し、過去約80年間の災害史を復元することを目的に、群馬県利根郡片品村の丸沼で採泥を行い、様々な分析を実施した。

群馬県北東部に位置する丸沼は、日光白根山の溶岩流によって堰き止められてできた長径600mの楕円形の小湖だったが、1930年のダム建設によって水位が28m上昇し現在の形になった。本研究では、ダム化前の自然湖の位置である丸沼の南岸付近で柱状試料を、全域で表層試料を採取し、記載後に軟X線写真撮影と含水率測定を行った。また柱状試料についてはレーザー回折式粒度分布測定装置 Mastersizer2000 (Malvern Instruments 社製)を使用し粒度を求めた。粒度・含水率は1cm毎の厚さで分析した。

洪水が起きた可能性のある時期には、流入河川や湖岸から湖に土砂が一気に流入するため、通常の堆積物よりも粒度が粗い層となる。一般に粒度が粗いと含水率は低く、軟X線の透過が悪いことに着目し、ダム化以降のイベント層と思われる層を抽出したところ、イベント層とイベント層以外の平均値に有意な差があった。

粒度・含水率ともに表層から見て最も低くなっているピークをダム化した1930年と仮定し、堆積年代を層厚から求めた堆積速度および圧密の影響を考慮した重量堆積速度で推定した。分解能は、平均堆積速度がおおよそ 0.2cm yr^{-1} であるので5年程度である。推定した堆積年代と、片品アメダスおよび前橋地方気象台における観測データから抽出した10日間の積算降水量140mm以上の洪水(大雨)年代および文献に記録されている片品川流域で実際に発生した主な災害とを比べた結果、1930年以降で5回の対応がみられた。

これらの結果から、丸沼湖底堆積物の粒度・含水率の特異層準から検出したイベント層は、利根川下流域で大きな被害をもたらした洪水の記録とよく一致することが明らかになった。

キーワード: 丸沼, イベント堆積物, 洪水記録

Keywords: Lake Marunuma, Event sediment, Flood events

武蔵野台地・淀橋台地境界付近における最終氷期の古植生と古環境 Vegetation and paleoenvironment during the Last Glacial around the border of Musashino and Yodobashi Uplands, Tokyo

栗原 美貴^{1*}, 遠藤邦彦², 鈴木茂², 植村杏太²

KURIHARA, Miki^{1*}, ENDO Kunihiko², SUZUKI Shigeru², UEMURA Kyota²

¹ 日本大学大学院総合基礎科学研究科, ² 日本大学文理学部地球システム科学科

¹Graduate school of Integrated Basic Sciences, Nihon University, ²Department of Geosystem Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University

MIS5以降、激しい気候変動が展開されたはずであるが、武蔵野台地や淀橋台地における第四紀後期の環境変遷、植生変遷に関する研究は多くない。

2009年に日本大学文理学部(東京都世田谷区)の立川面相当の地形面の工事現場(地点A:9号館)から約30,000年前~約27,000年前の泥炭試料が採取された。この時期は最終氷期最盛期(LGM)に向かって寒冷化が進んでいる時期である。また2010年には同じく武蔵野面相当の地形面において(地点B:日本大学文理学部百周年記念館前にて)80mのボーリングコアが掘削された。この試料には武蔵野ローム層相当の複数層準(8m付近)に泥炭層が見られ、年代も地点Aより下位にあたる。本研究では地点Aの試料を用いて花粉分析を行い、最終氷期AT火山灰降下前後の古環境を推定し、同時期の関東地方の植生変遷が分析されている日本大学櫻丘高等学校(地点C)、調布市野川(辻, 1992)、茨城県桜川(鈴木ほか, 1993)のダイアグラムと比較してLGMの気候・植生環境を検討した。また地点Bコア試料の花粉分析から、武蔵野台地東部における過去10万年間の古植生について考察する。

地点A(9号館)においては以下のことが推測される。最終氷期が始まってから寒冷化により気候は冷涼になっていった。約32,000年前、地点Aにはハンノキ属を主体とした湿地林が広く成立していた。その湿地林の周囲に針葉樹や冷温帯 亜寒帯落葉広葉樹といった冷涼な気候に生える樹木が存在した。約30,000年前頃になると氷期の中でも若干暖かい温暖期になり、優勢だった針葉樹や冷温帯 亜寒帯落葉広葉樹が衰退し、その代わりに温帯 冷温帯落葉広葉樹が増えた。その後、再び最終氷期最盛期(LGM)に向かって気候は寒冷化していったため、温帯-冷温帯落葉広葉樹が減少し、代わりに冷温帯 亜寒帯落葉広葉樹や冷温帯 亜寒帯針葉樹が増加していった。そして約27,000年前にAT火山灰が降下した。よってAT火山灰降下より少し前に寒冷期が始まったと考えられる。

鈴木ほか(2010)では地点Aに近接した沖積低地の工事現場(地点C)で発見された立川期の泥炭層について花粉分析がなされた。ここでは、地点Aで得られなかったAT火山灰降下後の植生変遷が得られている。この地点では本研究と同じくハンノキ属を主体とした湿地林が広く成立していた。地点Aと地点Cの結果を合わせて考えるとAT火山灰降下後に本格的な寒冷期があるが、AT火山灰降下より少し前に寒冷化の始まりが見られる。この始まりの時期を同時期の関東地方の植生変遷が分析されている調布市野川(辻, 1992)と茨城県桜川(鈴木ほか, 1993)の花粉ダイアグラムに鹿島沖(Igarashi and Oba, 2006)の結果を加えて比較した。また比較しているいずれの地点でもAT火山灰が確認されている。

これらの地点を比較した結果、産出量に差はあるもののいずれの地点でも約30,000年前に針葉樹減少に伴う温帯 冷温帯落葉広葉樹の増加が見られる。これはダンスガード・オシュガーサイクルにおける小温暖期に相当する可能性がある。この小温暖期の末期のAT火山灰降下より少し前にモミ属、ツガ属、トウヒ属といった冷温帯 亜寒帯針葉樹が増加し始め、AT火山灰降下後に増加が強まっている。これは寒冷期の影響によるもので、増加し始めた所が寒冷期の始まりだと考えられる。Igarashi and Oba(2006)のグラフでもAT火山灰が降下した約28,000~27,000年前より少し前に寒冷化の始まりが見られる。この本格的な寒冷期はLGMと対応するが、LGMの始まりをどこに置かかという問題についてはグローバルな視野での比較検討が必要である。

地点Bコアは上部から立川ローム層、武蔵野ローム層、下末吉ローム層、砂礫層の順に堆積している。武蔵野ローム層については全体的に泥炭質であった。このコアの放射性炭素年代を測定した結果、AT層準下位の深度3.32~3.34mで約30,000年前、深度4.94~4.95mで約40,000年前になった。花粉分析を行った結果、深度5~6mでは9号館や櫻丘高校の試料と同様にハンノキ属が優勢であったが、8m付近になるとハンノキ属の代わりにスギが優勢であった。また深度5mの箇所において日本ではMIS5に(LGM直前まで)生存していた“ハリゲヤキ属”が見つかった。この結果も交えて、更に詳しい武蔵野台地東部における最終氷期の古植生について考察する。

キーワード: 武蔵野台地, 最終氷期, 花粉, 植生変遷

Keywords: Musashino, Last Glacial Period, pollen, vegetation change, Japan

炭素・窒素元素変化からみた過去2万年間の沖縄本島周辺の堆積環境変遷 Depositional environment changes during the last 20000 years based on carbon and nitrogen around the Okinawa Island

天野 敦子^{1*}, 板木 拓也¹

AMANO, Atsuko^{1*}, ITAKI, Takuya¹

¹ 産業技術総合研究所地質情報研究部門

¹ Geological Survey of Japan, AIST

沖縄本島の太平洋側に面する東部海域 (GH08-2004) と沖縄トラフに面する西部海域 (GH10-2013) で採取された柱状堆積物を用いて, 全有機炭素 (TOC), 全窒素 (TN), 無機炭素 (TIC) 濃度と全有機炭素全窒素量比 (C/N 比) の分析をおこなった. GH08-2004 の TOC, TN は 26000 cal BP から 14000 cal BP にかけて徐々に増加し, 14000 cal BP から 7000 cal BP に向かって減少する. また C/N 比は 14000 ~ 26000 cal BP 間では 7 ~ 8 を推移し, 7000 cal BP に向かって 6 程度に減少する. TIC は 12000 ~ 26000 cal BP では 3.5 % 前後を推移し, 8000 ~ 12000 cal BP で 2 程度へ減少し, さらに 3000 cal BP にかけて 5 % 以上へ増加する. 一方, GH10-2013 の TOC と TN は 14000 ~ 28000 cal BP 間はほぼ一定で, 5000 cal BP に向かって減少し, さらに現在に向かって増加する. C/N 比は 11000 cal BP までは 10 前後で, 9000 ~ 11000 cal BP 間に 8 程度に減少し, その後, 現在に向かって大きく変動を繰り返しながら 9 程度に増加する. TIC は 11000 cal BP までは 3.5 % 前後を推移し, 9000 ~ 11000 cal BP に急激に 5 % に増加する.

大局的にみると TOC, TN, C/N 比, TIC の変化は最終氷期の海水準低下に伴う海岸線の前進によって, 陸上植物起源有機物の負荷が増加した. そして, 10000 ~ 15000 cal BP 以降の海水準上昇に伴って, 陸上起源有機物の供給量は減少し, 有孔虫殻など生砕物起源の炭酸カルシウム堆積量が増加したことを示す. GH10-2013 の C/N 比は 9000 cal BP 以降に大きく変動しながら現在に向かって増加している. これは周辺諸島部からのイベント的に供給される陸上植物起源有機物が増加している可能性を示唆する.

キーワード: 有機炭素, C/N 比, 無機炭素, 堆積物, 海水準変動, 沖縄

Keywords: Organic carbon, C/N ratio, Inorganic carbon, sediment, sea-level change, Okinawa

大気ドームを持つ海底洞窟における古海洋学的研究 Paleoceanographic study of submarine cave with air-chamber

玉置 周子^{1*}, 北村 晃寿¹, 小林 小夏¹, 横山 祐典², 宮入 陽介²

TAMAKI, Chikako^{1*}, KITAMURA, Akihisa¹, KOBAYASHI, Konatsu¹, YOKOYAMA, Yusuke², MIYAIRI, Yosuke²

¹ 静岡大学理学部, ² 東京大学大気海洋研究所

¹Shizuoka Univ., ²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

地球温暖化により、大陸氷床(特に西南極氷床)の融解に伴う海水準上昇が世界的に危惧されている。この問題に対処するには、過去数千年間の海水準変動を精密に復元することが必要だが、それは容易ではない。なぜならば、時間とともに、海水準の痕跡は、風化、浸食、植物の繁茂、人為的変化などにより消されてしまうからだ。そこで、我々は海水準の痕跡を消失する作用の及ばない海底洞窟で、鍾乳石、沈水鍾乳石、沈水鍾乳石や壁面に固着した海洋生物の炭酸塩骨格の時空間分布から、海水準変動の復元を行う研究に着手した。

琉球列島には多くの海底洞窟があるが、そのほとんどは水平方向に伸びた形状をしている。一方、沖縄県最北端に位置する海底洞窟「宜名真海底鍾乳洞」は、水深約16mに入口があり、洞内は上方に向かって斜めに伸び、最奥部には大気ドームがあり、水面から天井までの高さは10mほどある。つまり、水深16mから現海面までの間の海水準変動の痕跡が残されている点で優れている。

2011年夏10月に調査した結果、次のことが判明した。

1. 大気ドーム内では息が白くなったことから、その湿度は100%に近いと推定される。したがって、大気ドーム内の鍾乳石は、洞窟内の水没後、形成速度が激減あるいは停止している可能性が高い。

2. 大気ドーム内の水面の塩分は11.7‰であり、水深とともに増加し、水深11mで32.9‰となり外洋と同じ値になる。

3. 水深11m以浅の洞窟の壁は平滑で、散在的に洞窟性二枚貝 *Pycnodonte tanighchii* や硬骨海綿 *Acanthochaetetes wellsi*, *Astrosclema willeyana* などの死骸が固着しており、これらの遺骸の表面の一部は溶解し、一部に炭酸塩の晶出が見られる。

4. 水深11m以深の洞窟の壁には、硬骨海綿の生体などが固着している。

以上の内容と、洞窟性二枚貝 *P. tanighchii* や硬骨海綿の死骸の14C年代値から、宜名真海底鍾乳洞内の環境変遷について考察する予定である。

キーワード: 大気ドームを持つ海底洞窟, 固着動物, 環境変動, 沖縄

Keywords: submarine cave with air-chamber, sessile fauna, environmental changes, Okinawa

最終氷期最寒期のベーリング海底層水の酸素同位体比の復元 Oxygen isotopic composition of the Bering Sea bottom water during the Last Glacial Maximum: constraints from pore water

井尻 暁^{1*}, 川田 佳史², 村山 雅史³, 稲垣 史生¹, Alan Mix⁴

IJIRI, Akira^{1*}, KAWADA, Yoshifumi², MURAYAMA, Masafumi³, INAGAKI, Fumio¹, Alan Mix⁴

¹JAMSTEC, ²東大地震研, ³高知大, ⁴オレゴン州立大

¹JAMSTEC, ²ERI, ³Kochi Univ., ⁴Oregon State Univ.

1. はじめに

北太平洋の 25°N 以北、水深 300~800m に分布し、低塩分および密度 $\sigma_t = 26.8$ で特徴づけられる北太平洋中層水 (North Pacific Intermediate Water: NPIW) は、海洋表層で溶け込んだ酸素や人為起源二酸化炭素を太平洋の中層に運ぶ役割を果たし、北太平洋の物質循環に大きな影響を与えている。現在の NPIW はオホーツク海に起源をもつと考えられているが、堆積物コア中の微化石の解析などにより、最終氷期最寒期 (LGM) には NPIW の形成域がベーリング海に移り、当時の北太平洋の海洋環境が現在と大きく異なっていた可能性が指摘されている (Ohkushi et al., 2003; Tanaka and Takahashi., 2005)。しかし、過去の NPIW の形成域の移動について海水の温度や塩分、密度、同位体比の復元などによる定量的な研究はなされていない。本研究では、国際統合深海掘削計画 (IODP) 第 323 次研究航海によってベーリング海の大陵棚斜面 (U1339, U1343, U1344, U1345) および Bowers Ridge (U1341) より得られた掘削コア中の間隙水の酸素同位体比の鉛直分布から、LGM のベーリング海の底層水の酸素同位体比を復元し、LGM に NPIW の起源がベーリング海に移った可能性について議論した。

2. 試料

間隙水試料は冷蔵保存で持ち帰り、酸素同位体比の定量は水?二酸化炭素同位体交換法を用いて同位体質量分析計 (GV 社 IsoPrime) を用いて行った。分析は各試料につき二回ずつ行いその平均値を解析に用いた (標準誤差: 0.02 ‰)。

3. モデル

一般的な堆積物中では、LGM の酸素同位体比の高かった底層水が海底下 25~45 m に埋没・拡散して分布するため、この深度において間隙水の酸素同位体比の鉛直プロファイルは正のピークを示す。この間隙水の酸素同位体比のピークと、数値的にシミュレートした酸素同位体比の鉛直プロファイルをフィッティングさせることで LGM の底層水の酸素同位体比を復元することができる (Schrag and Depaolo, 1993; Schrag et al., 1996; 2002; Paul et al., 2001; Adkins et al., 2002; Malone et al., 2004)。

本研究では、Schrag and Depaolo (1993) らの手法に従い、一次元移流拡散方程式を用いて、過去 100 万年間のグローバルな酸素同位体比の変動をインプットし、海底下 200m の間隙水の酸素同位体比の鉛直プロファイルを 50 cm 間隔でシミュレートし、酸素同位体比の実測値と比較、LGM の酸素同位体比を見積もった。

4. 結果

全てのサイトから得られた間隙水のプロファイルは海底下 25~50 m で正のピークを示した。サイト U1343 とサイト U1344 では、海底下 150 m 以深から酸素同位体比が再び高くなる。これは粘土鉱物との反応や、より深い層準からの間隙水の移流を反映すると考えられる

モデルと実測値のフィッティングの結果、現在と LGM の酸素同位体比の差 ($\delta^{18}\text{O}$) は、サイト U1139 (水深 1868 m) では 0.9~1.0 ‰、サイト U1341 (水深 2140 m) では 1.2~1.3 ‰、サイト U1343 (水深 1953 m) では 0.6~0.7 ‰、サイト U1344 (水深 3177 m) では 0.7~0.8 ‰、サイト U1345 (水深 1008 m) では 0.6~0.7 ‰と見積もられた。LGM と現在の極域の氷床量の変化を反映する海洋全体の $\delta^{18}\text{O}$ は、1.0~1.2 ‰と考えられており (e.g. Schrag et al., 1996; 2002; Clark and Mix, 2002)、U1343、U1344 および U1345 におけるグローバルな $\delta^{18}\text{O}$ に比べて小さい $\delta^{18}\text{O}$ 値は、LGM のベーリング海大陵棚斜面に酸素同位体比の低い底層水が存在していたことを示す。この低い酸素同位体比は地域的な塩分の低下によるものと考えられ、LGM のベーリング海では、表層の低塩分の水が現在に比べより深くまで沈み込んでいたことが示唆される。

キーワード: ベーリング海, 最終氷期最寒期, 北太平洋中層水, 酸素同位体比, 間隙水

Keywords: Bering Sea, Last Glacial Maximum, NPIW, oxygen isotopic composition, pore water

天皇海山列北部から採取された海洋コアの古海洋学的研究 Paleoceanography of a piston core collected from north Emperor Seamount, northwestern Pacific

米津 直人^{1*}, 村山 雅史², 松崎 琢也², 上栗 伸一², 成田 尚史³

YONEZU, Naoto^{1*}, MURAYAMA, Masafumi², MATSUZAKI Takuya², KAMIKURI, Shin-ichi², NARITA Hisashi³

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学 海洋コア総合研究センター, ³ 東海大学 海洋学部

¹Graduate School of Intergrated Arts and Sciences, Kochi Univ, ²Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University,

³School of Marine Science and Technology, Tokai University

北西太平洋は、海洋生物による海洋表面の二酸化炭素分圧を下げる効果が最も高い海域の一つである。特に、二酸化炭素濃度が 100 ppm 近く低下していた氷期には、ダストによる鉄の供給によって海洋表層の生物生産が増加したという説 (Morley et al., 1987) や、逆に、opal を指標として生物生産が低下をした説 (Narita et al., 2002 など) があり、未だはっきりした結論には至っていない。そこで、本研究では北西太平洋の天皇海山列北部で採取された海洋コアを用いて古環境復元を行い、その検証を行うことを目的とした。

学術調査船「白鳳丸」による KH-10-2 次航海において、天皇海山列北部 (47°39.48N, 169°15.48E, 水深 2,197 m) から海洋コア試料 CR-25 (マルチプルコア: 28 m, ピストンコア: 1250 m) が採取された。コア試料の岩相は、860 cm を境に、上部ユニットと下部ユニットに分けられる。上部ユニットは、Ice Rafted Debris (以下、IRD) が多く産出し、diatom bearing silt to clay と foraminifer bearing silt to clay の互層よりなる。下部ユニットはIRD をほとんど含まない diatom ooze からなる。上部ユニットには、肉眼観察により 3 枚のテフラが確認され、上位から T-1 (108-111 cm), T-2 (250-257 cm), T-3 (330-332 cm) とした。本コアから浮遊性有孔虫 *N. pachyderma* および *G. bulloides* と底生有孔虫 *Uvigerina* spp. を拾いだし、安定同位体比質量分析計 (MAT253) で酸素・炭素同位体比を測定した。また、堆積物中の > 250 μm の陸源砕屑粒子をIRD とみなしてカウントし、1g 中の粒子数とフラックス (grains/cm²・kyr⁻¹) を求めた。

年代モデルは、放散虫生層序 (上栗, 私信) から上部と下部ユニット境界を含む上部ユニットの 7 層準で年代が決定され、上部と下部ユニット境界は 2.7 Ma であった。さらに最上部から 400 m で、底生有孔虫 (*Uvigerina* spp.) の酸素同位体比と酸素同位体標準カーブ (LR04) との対比が可能であり、計 14 点のコントロールポイントが得られた。コアトップは約 120 ka (MIS 5e), 約 400 m は約 630 ka (MIS 16) に対比された。テフラ層厚を除いて計算された 0-400 m の堆積速度は、0-76 m で 1.2 m/kyr, 76-189 m で 2.8 m/kyr, 189-330 m で 0.45 m/kyr であり、平均堆積速度は 1.1 m/kyr であった。特に、76-189 m (MIS 7 に相当) で相対的に高い値を示した。また、マルチプルコアは LGM まで到達していると考えられる。

3 層のテフラ、T-1, T-2, T-3 の堆積年代は上記の年代モデルからそれぞれ 220, 300, 500 ka と推定された。火山ガラスの主要化学組成および屈折率に基づき、町田, 新井 (2003) や本海域近傍で報告された ODP Leg.145 (Cao et al., 1995) と比較したが、対比されるテフラはみいだされなかつたため、未記載のテフラである可能性がある。

本海域へのIRDの供給は、上記の年代モデルから、約 2.7Ma 前以降に始まったことが明らかとなった。年代が詳細に決定した上部 400 m におけるIRDフラックスは、MIS7 にピークがみられ、最大約 800 (grains/cm² kyr⁻¹) を示した。また、氷期-間氷期サイクルとの明瞭な関係はみられず、過去の報告例 (John and Kriesek, 1999 ほか) と整合的である。北西太平洋における氷山の給源とされるクリル・カムチャッカ弧 (Kriesek, 1999) に近い Site 882 において確認された MIS 6 および 8 におけるピークは本コアでは確認されなかつた。そのため、約 300 m 南方に位置する本研究サイトには、MIS 6 と 8 に放出された氷山は到達していないが、MIS 7 では同様に到達していたと考えられる。

氷期から間氷期への移行期、すなわち間氷期前期にかけて δ¹⁸O (*G. bulloides*-*Uvigerina* spp.) が縮小することから、湧昇が強まった可能性が示唆され、海洋表層の生物生産も大きく変化したと考えられる。

キーワード: 天皇海山列, 海洋コア, 酸素同位体層序, テフラ, IRD

Keywords: Emperor Seamount, marine core, oxygen isotopic stratigraphy, tephra, IRD

現在の永久凍土深分布からシベリア東部の最終氷期気温を制約する試み An attempt to use current permafrost thickness to constrain the Last Glacial Maximum temperature in eastern Siberia

末吉 哲雄^{1*}, 大垣内 るみ¹, 近本 めぐみ¹, 羽島 知洋¹, 齋藤 冬樹¹, 渡邊 真吾¹, 河宮 未知生¹, 阿部 彩子²
SUEYOSHI, Tetsuo^{1*}, OHGAITO, Rumi¹, CHIKAMOTO, Megumi O.¹, HAJIMA Tomohiro¹, SAITO, Fuyuki¹, Shingo Watanabe¹,
KAWAMIYA, Michio¹, ABE-OUCHI, Ayako²

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

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), ²Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), The University of Tokyo

The thickness of permafrost changes in responding to changing climate conditions. Since this process takes place as a result of thermal conduction from the surface, its response time becomes much longer for thick permafrost, compared with the timescale for climate change (Lachenbruch et al, 1982). The goal of the study is to constrain the ground temperature history using this characteristic of permafrost.

General circulation models (GCMs) has been used to calculate LGM climate, prescribing the reconstructed forcing conditions (i.e. orbital parameters, trace gases, topography, etc). Using temperature outputs from those experiments and assuming that the pattern of the climate history over last glacial cycle is basically follows the ice-core based temperature reconstruction, we ran a one-dimensional permafrost model to calculate the temperature profile variation for the north and central Siberia. Here, only spatially averaged characteristics of permafrost, such as permafrost thickness of the region or ground thermal properties, are discussed, to constrain the general temperature pattern over Siberia.

A series of 1-D experiments for ground temperature profiles are conducted to calculate temperature profile history in Siberia over last glacial cycle and to give the present (i.e. 0ka) value of permafrost thickness. The pattern of the climate history is assumed to be same, while the strength in LGM cooling is treated as a parameter for these experiments. Reflecting the long response time, the calculated 0ka permafrost thickness is strongly dependent of LGM temperature condition for such deep-permafrost area, varying from 200m to 600m for given conditions.

1-D ground temperature experiments suggest that strong cooling is required to explain the current deep permafrost thickness in eastern-central Siberia. Results from climate models, in which the difference in surface temperatures between LGM and present are larger in inland Siberia than arctic coast region, are consistent with the present permafrost thickness distribution.

キーワード: 永久凍土, 最終氷期, 地温, 数値実験, 古気候

Keywords: permafrost, last glacial maximum, ground temperature, numerical experiment, paleoclimate

氷期-間氷期サイクルにおける大陸棚有機物による pCO₂ フィードバック A negative feedback on pCO₂ by shelf organic matters

牛江 裕行^{1*}, 松本 克美²

USHIE, Hiroyuki^{1*}, Katsumi Matsumoto²

¹ 東京大学 大気海洋研究所, ² ミネソタ大学 地球科学

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ² Earth sciences, University of Minnesota

In the past 800 thousand years and before industrialization, the largest variations in atmospheric CO₂ concentration (pCO₂) occurred in connection with the glacial cycles that characterized Earth's climate over this period. The mechanisms responsible for the glacial-interglacial pCO₂ changes have remained unresolved. One curious feature of at least the last four glacial-interglacial cycles is that atmospheric pCO₂ reached about the same upper limit of 280 ppm during peak interglacial periods and about the same lower limit of 180 ppm during peak glacial periods. Here, we show using a numerical model of earth system that enhanced shelf sediment weathering during glacial sea-level low stand tends to raise pCO₂ and thus stabilize it from further reduction. This is because not all nutrients from weathering will be utilized by biology but more importantly because the spatial distributions of carbon and phosphate from weathering become decoupled in such a way that carbon is preferentially stored in the upper ocean and phosphate in the deep ocean. This finding, combined with observations of preferential remineralization of phosphate in shelf sediment diagenesis, would predict enhancement of biological production during interglacial high stand and stabilization of pCO₂ from further increase. The impact of sea level-driven continental shelf exposure and submersion on CO₂ is therefore a negative feedback that may have contributed to limiting the variation of Pleistocene pCO₂ to the observed 100 ppm range.

氷期サイクルの終焉メカニズム

Multiple steady states of Northern Hemisphere ice sheets and the timing of glacial cycles

阿部 彩子^{1*}, 斎藤冬樹², 川村賢二³

ABE-OUCHI, Ayako^{1*}, Fuyuki Saito², Kenji Kawamura³

¹ 東京大学大気海洋研究所, ²JAMSTEC, ³ 国立極地研究所

¹AORI, University of Tokyo, ²JAMSTEC, ³NIPR

Multiple steady states of Northern Hemisphere ice sheets and the timing of glacial cycles

A Abe-Ouchi (1,2), F Saito (2), K Kawamura (3), and M.E. Raymo (4)

(1) AORI, The University of Tokyo, Kashiwa, Japan (abeouchi@aori.u-tokyo.ac.jp), (2) JAMSTEC, Yokohama, Japan, (3) NIPR, Tokyo, Japan, (4) Lamont-Doherty Earth Observatory, NY, USA

Wax and Wane of large Northern Hemisphere ice sheet occurred in the past few million years, characterized by a transition from a period of 40 thousand years cycle with small amplitude of ice sheet change to 100 thousand year cycle with a large amplitude, known as the Middle Pleistocene transition. Although the characteristics of the glacial cycle is well observed, the mechanism what determines the 100ka cycle and what controls the terminations are still under debate. Here we show that the pattern of the growth of the ice sheets during a glacial cycle follows the hysteresis (multiple steady states) structure of North American ice sheet versus insolation by modelling the three dimensional ice sheet. The 100 ka termination is punctuated by Northern American ice sheet responding basically to the precession cycle and summer insolation through its delayed bedrock depression and the large scale calving. Terminations occur when the summer insolation increases after a minimum eccentricity even under constant CO₂ level. Obliquity modifies the role of precession and becomes important for a glacial cycle especially when the eccentricity is small. The North American ice sheet is slightly more favorable for faster growth than Eurasian ice sheet when the ice sheet expands over Labrador and Hudson Bay, and suppresses the growth of Eurasian ice sheet through the atmospheric planetary wave feedback. As a result, the North American ice sheet can have affected the hemispheric climate and punctuated the ice sheet change in Eurasia and in Antarctica through CO₂ and sea level change. Further we show that a cooling due to, for example, the draw down of long term CO₂ level of 20ppm or so at most from 240ppm to 220ppm is enough for a switch from 40 ka cycle response to 100 ka cycle response of Northern Hemisphere ice sheet.

キーワード: 氷期サイクル, 古気候, 氷床

Keywords: ice age cycle, paleoclimate, ice sheet