

# PMIP3マルチモデルが示す中世温暖期におけるアジアモンスーン開始期の遅れ

## Delayed Asian monsoon onset during the Medieval Warm Period: PMIP3 multi model study

\*釜江 陽一<sup>1,2</sup>、川名 冬士<sup>3</sup>、大城 萌美<sup>4</sup>、植田 宏昭<sup>1</sup>

\*Youichi Kamae<sup>1,2</sup>, Toshi Kawana<sup>3</sup>, Megumi Oshiro<sup>4</sup>, Hiroaki Ueda<sup>1</sup>

1. 筑波大学生命環境系、2. カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所、3. 筑波大学地球学類、4. 筑波大学生命環境科学研究科

1. Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2. Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, 3. College of Geoscience, School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 4. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

アジアモンスーンはアジア大陸・海洋間で季節的に卓越風向が逆転する現象として、南アジアから東アジアにかけて広く確認することができる。気候モデルを用いた過去百年～千年スケールの気候変動再現実験からは、地球軌道要素の変動に伴う大気上端短波入射量の緯度・季節配分の変動が、アジアモンスーン変動を駆動することが指摘されている。中世温暖期（西暦950～1250年）と小氷期（西暦1400～1700年）を比較すると、夏季に北半球中高緯度の入射量が多い中世温暖期には、小氷期に比べてユーラシア大陸上がより温暖で、夏季アジアモンスーンが強まっていたことが指摘されている。古気候モデリング相互比較プロジェクト（PMIP3）に参加したマルチモデルの実験結果を比較すると、モデル間で大きなばらつきが存在するものの、大陸スケールの温度勾配とモンスーン強度の変化は概ね整合的である。

アジアモンスーンの駆動源である短波入射量は、中世温暖期と小氷期を比較すると、北半球中高緯度では7～9月に正偏差のピークを迎える。一方で、北半球冬季からプレモンスーン期にかけては、短波入射量は逆に負偏差を示す。このような季節的に非対称な短波入射量変動は、アジアモンスーンのオンセット時期に影響しうる（e.g. Ueda et al. 2011）。本研究ではPMIP3マルチモデルデータセットと、気候モデルを用いた感度実験から、小氷期と比較した中世温暖期のアジアモンスーンオンセット時期と短波入射量との物理的関係を検証した。

PMIP3マルチモデル平均は、中世温暖期の7～9月ユーラシア大陸気温が小氷期よりも高く、アジアモンスーンが強まる一方で、4～6月は逆に大陸が低温偏差に覆われ、モンスーンのオンセットが遅れる傾向を示す。対流圏中上層の気温の海陸コントラストは、このモンスーンの変動を表す指標として有効である。気象研究所大気海洋結合モデルに中世温暖期、小氷期それぞれの軌道要素のみを与えた感度実験を実施すると、上記の傾向を概ね再現する。この結果は中世温暖期のアジアモンスーンオンセットの遅れがマルチモデル間で堅牢な傾向であり、それが軌道要素の緩やかな変動に起因する可能性を示している。

### 参考文献

Ueda, H., et al. 2011. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-010-0975-z.

キーワード：アジアモンスーン、海陸コントラスト、中世温暖期、小氷期

Keywords: Asian monsoon, Land-sea contrast, Medieval Warm Period, Little Ice Age

# 平安初期の最暖期と前後の寒冷期—日本には中世温暖期は存在しなかった—

## The cold periods before and after the warmest early Heian era –No existence of Medieval Warm Event in Japan –

\*川幡 穂高<sup>1</sup>

\*Hodaka Kawahata<sup>1</sup>

1. 東京大学 大気海洋研究所

1. Atmosphere Ocean Research Institute, the University of Tokyo

陸の気候は私達の生活に大きな影響を与えてきました。その中でも、気温は重要ですが、寒冷限界値を除くと、気温を高精度にデジタルで復元することはこれまで難しいとされてきました。今回、西日本（広島）の初夏の気温を誤差0.2℃程度で3,000年間にわたる気温を初めて復元しました。西日本（広島）における気温の復元によると、最高気温は平安初期（西暦820年）の嵯峨天皇の頃で、気温は25.9℃でしたが、その後、断続的に下がっていき、紫式部が活躍した頃が中間点で、平清盛の時代である平安後期（11～12世紀）には、24.0℃まで下がりました。逆に、時代を遡ると天皇中心の貴族社会の開始となった聖徳太子の活躍した飛鳥時代初期（600年頃）には極小気温、24.7℃を記録しました。ヨーロッパでは10～13世紀を中心に中世温暖期（950～1250年頃）と呼ばれる時期が報告されています。グリーンランドでも9～12世紀にかけては中世温暖期の恵みにあずかり、飼料用の穀物が栽培され、家畜が飼育されました。クメール王朝の繁栄した時代は、アジア大陸では中世温暖期に相当していたので、アジアモンスーンによる降雨に恵まれた環境であったと考えられています。同様な温暖期は、アメリカ合衆国、中国などでも確認されています。しかし、西日本では反対に、11～12世紀にかけては大きな寒冷期でした。これは、西日本のみならず、北海道南部の噴火（内浦）湾から得られた結果においても、平安時代の最高温度から最低温度まで約6℃低下していることがわかりました。この大寒冷期の原因の有力候補として、大規模なエルニーニョ状態が考えられます。なぜなら、日本列島は、エルニーニョ期には冷夏となる傾向があるためです。実際、復元された南方振動指数に基づくエルニーニョ状態であったことが示唆されています。

Reference: 1) Kawahata, Matsuoka, Togami, Harada, Murayama, Yokoyama, Miyairi, Matsuzaki and Tanaka (2016) Quaternary International, in press. DOI:10.1016/j.quaint.2016.04.013.

2) Kawahata, Ishizaki, Kuroyanagi, Suzuki, Ohkushi (2017) Quaternary Science Reviews, 157, 66-79.

3) Kawahata, Hatta, Yoshida Kajita, Ota, Ikeda, Habu (2017) Quantitative reconstruction of SSTs(ATs) in northern Japan for the last 7 kiloyears Implication to the society of Jomon people. Submitted.

キーワード：表層海水温、気温、気候変動、中世温暖期、日本

Keywords: Sea surface temperatures, Atmospheric temperatures, Climatic change, Medieval Warm Period, Japan

## 別府湾堆積物中のGDGT組成から復元した後期完新世洪水記録 Late Holocene flooding history reconstructed from GDGTs in Beppu Bay sediments

\*山本 正伸<sup>1</sup>、加 三千宣<sup>2</sup>、瀬川 雄大<sup>1</sup>、入野 智久<sup>1</sup>、池原 研<sup>3</sup>、竹村 恵二<sup>4</sup>

\*Masanobu Yamamoto<sup>1</sup>, Michinobu Kuwae<sup>2</sup>, Yudai Segawa<sup>1</sup>, Tomohisa Irino<sup>1</sup>, Ken Ikehara<sup>3</sup>, Keiji Takemura<sup>4</sup>

1. 北海道大学大学院地球環境科学研究院、2. 愛媛大学沿岸環境科学研究センター、3. 産業技術総合研究所、4. 京都大学地球熱学研究施設

1. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, 2. Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Institute for Geothermal Science, Kyoto University

Reconstruction of flooding events is a recent issue of paleoclimatology. We developed the use of GDGT compositions to identify flooding sediments in marine cores and generated a 2900-year long record of flooding in Beppu Bay area, northern Kyushu, Japan by analysing 457 sediments (2-cm interval) of core BP09-3 retrieved in Beppu Bay basin. We also analysed 74 soils in the watershed areas of Oita and Ohno Rivers and 35 estuary sediments for comparison.

Branched GDGTs in soils have less methyl group (higher MBT) and less cyclic structures (higher CBT) than estuary and basin GDGTs. Soil and estuary sediments have more branched GDGTs (higher BIT) than basin sediments. GDGT compositions are, thus, useful to identify the provenance of sediments in Beppu Bay cores.

In core BP09-3, 18 thick and 55 thin event layers were recognized by visual, soft X ray and CT-scan descriptions, and the sediment ages were determined by 42 radiocarbon dates of molluscan shells (Kuwae et al., 2011). Most of major event layers showed higher BIT than hemipelagites. Some of them have high MBT and CBT values which correspond to those of soils. We interpret that they originated directly from the surface soils via Oita and Ohno Rivers, most likely by typhoon-induced flooding. Historical records support this interpretation.

$U_{37}^K$  in the study core showed decadal-scale variation in temperature (PDO). More than two third of flooding events occurred when temperature was rising (transition from positive to negative PDO). These results suggest that the spatial pattern of North Pacific sea surface temperature is a key factor controlling typhoon activity.

キーワード：台風、洪水、太平洋十年規模変動

Keywords: typhoon, flooding, PDO

# 福井県日向湖における年縞堆積物の形成過程と近年の周期的変動

## Formative Process of varve sediments and recent cyclic change in the Lake Hiruga, Fukusima Prefecture, central Japan

\*瀬戸 浩二<sup>1</sup>、北川 淳子<sup>2</sup>、入澤 汐奈<sup>3</sup>、香月 興太<sup>1</sup>、山田 和芳<sup>4</sup>

\*Koji Seto<sup>1</sup>, Junko Kitagawa<sup>2</sup>, Sena Irisawa<sup>3</sup>, Kota Katsuki<sup>1</sup>, Kazuyoshi Yamada<sup>4</sup>

1. 島根大学汽水域研究センター、2. 福井県里山里海湖研究所、3. 島根大学総合理工学部、4. ふじのくに地球環境史ミュージアム

1. Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 2. Fukui Prefectural Satoyama-Satoumi Research Institute, 3. Sci, Shimane University, 4. Museum of Natural and Environmental history, Shizuoka

福井県三方郡美浜町に位置する日向湖は、1km<sup>2</sup>未満の小さな湖沼である。日向湖は、日向水道によって日本海と、嵯峨隧道によって水月湖と通じている。現在、嵯峨隧道は水門によって閉鎖されている。湖水の塩分は、海水に近いが、湖盆の水深が38mと深いため、底層水は夏季でも水温が低く、一年を通して無酸素状態である。

日向湖で古環境変遷史を明らかにするために湖心付近において空気圧入式ピストンコアラーを用いて2本のコア(15HG-1C, 2C)を、リミノスコアラーを用いて1本のコア(15HG-3C)の採取した。本発表では上部50cmで観察される明瞭なラミナ堆積物について形成過程を議論し、その結果で明らかとなった周期的な変動について報告する。

ラミナ層準において軟X線吸収強度が高いラミナは、灰色を示している。これは降水性のラミナであることを示唆している。若狭地域の降水パターンを見ると、冬季の降雪期と夏季の梅雨期、台風期にそれぞれ降水のピークを示す。降雪期(12月~1月)がもっとも高い降水量を示しているが、雪氷として流域に蓄積するため、流量は多くても流速は弱いと思われる。この時期は、細粒碎屑物の供給に寄与し、軟X線吸収強度の弱いラミナを形成するものと思われる。夏季の梅雨期(6月~7月)、台風期(8月~9月)は、集中豪雨が起りやすく、速い流速を示していると思われる。これらの時期は、粗粒碎屑物の供給に寄与し、軟X線吸収強度の強いラミナを形成するものと思われる。強いラミナは良く観察すると2重に見える層準がある。これは梅雨期と台風期の両方に降水が起きたことを示唆している。これらのことから強いラミナの集合体は夏季を示し、弱いラミナは冬季を示すことになる。このラミナセットは1年を示す年縞と解釈できる。

年縞の確認ができる約200年間に、全有機炭素(TOC)濃度は5回の増減のサイクル、TS濃度は10回の増減のサイクルが認められる。TS濃度のサイクルはおよそ20年周期で、周期的な海水準の変動に伴う海水の流入量の違いによる還元環境の変化に起因するものと思われる。おそらくこの周期的変化は太平洋十年規模振動(PDO)に関係するものと思われる。また、TOC濃度は、およそ35年周期、堆積物フラックスはおよそ75年周期が見られた。

キーワード：日向湖、年縞、全イオウ濃度、周期的変化、太平洋十年規模振動

Keywords: Lake Hiruga, varve, Total sulfur contents, cyclic fluctuation, PDO

## 水月湖堆積物に記録された完新世後期災害史の種類・規模・頻度変動と、堆積環境変化との関係

### Relationship between sedimentary environment and change in type/magnitude/frequency of paleo-hazard history recorded in the sediment of Lake Suigetsu during the late Holocene

\*鈴木 克明<sup>1</sup>、多田 隆治<sup>1</sup>、入野 智久<sup>2</sup>、山田 和芳<sup>3</sup>、長島 佳菜<sup>4</sup>、中川 毅<sup>5</sup>、原口 強<sup>6</sup>、五反田 克也<sup>7</sup>  
、SG12/06 プロジェクトメンバー

\*Yoshiaki Suzuki<sup>1</sup>, Ryuji Tada<sup>1</sup>, Tomohisa Irino<sup>2</sup>, Kazuyoshi Yamada<sup>3</sup>, Kana Nagashima<sup>4</sup>, Takeshi Nakagawa<sup>5</sup>, Tsuyoshi Haraguchi<sup>6</sup>, Katsuya Gotanda<sup>7</sup>, SG12/06 Project members

1. 東京大学、2. 北海道大学、3. 静岡県ふじのくに地球環境史ミュージアム、4. JAMSTEC、5. 立命館大学、6. 大阪市立大学、7. 千葉商科大学

1. The University of Tokyo, 2. Hokkaido University, 3. Museum of Natural and Environmental history, Shizuoka, 4. JAMSTEC, 5. Ritsumeikan University, 6. Osaka City University, 7. Chiba University of Commerce

洪水や地震などの災害が発生すると、多量の物質が堆積場に流入し、「イベント堆積物（イベント層）」を形成する。イベント堆積物は、観測や歴史記録を大きく超える時間スケールをカバーできる長期災害記録となるポテンシャルを有している。しかし、堆積物から災害現象の原因（たとえば、地震か洪水か）やその規模を識別する方法は確立していない。また、イベント層の堆積やその規模を決定する境界条件が変化する可能性があるため、周辺の堆積環境の変化も考慮する必要がある。本研究では、福井県水月湖の堆積物掘削コア (SG12)を用いて、観測と堆積物の対比に基づいて、過去7000年における強雨・洪水史の復元を試みた。その結果、水月湖堆積物への災害記録プロセスとして以下のことが明らかになった。

- ・ 河川起源懸濁物の堆積フラックスは強雨頻度に比例する。
- ・ 明灰色イベント層が洪水に伴って堆積し、その厚さは洪水時の総雨量を反映する。

さらに、河川起源細粒砕屑物（洪水起源イベント層の主構成要素）および他の堆積物構成要素のフラックス変動を主要元素組成およびその重回帰分析によって復元し、水月湖堆積物から得られている他の環境変動記録と比較した。その結果、災害記録の定量性に影響を与えるローカルな環境変動として、以下のことが明らかになった。

・ 明灰色イベント層の堆積後、砕屑物フラックスが上昇する場合があるが、100年程度の時間スケールで元の水準にまで低下する。これは、斜面崩壊に伴う侵食ポテンシャルの上昇と、その後の植生の回復を反映していると考えられる。

・ 歴史地震と対比可能なイベント層の堆積後、砕屑物フラックスの上昇が1000年程度の時間スケールで継続する。このことは断層運動に伴う地形変動を反映していると考えられる。

本発表に関連して、観測と堆積物の比較による強雨・洪水プロキシ開発の詳細についてH-SC07セッションで、完新世後期の災害史復元結果と広域気候変動との関係についてM-IS06セッションで発表する。

キーワード：水月湖、年縞、洪水、地震、完新世

Keywords: Lake Suigetsu, varved sediment, flood, earthquake, Holocene

## Variation factors of the coastal lagoon environment and ecosystem since the modern period in Hokkaido, Japan

\*香月 興太<sup>1</sup>、瀬戸 浩二<sup>1</sup>、園田 武<sup>2</sup>、高田 裕行<sup>3</sup>

\*Kota Katsuki<sup>1</sup>, Koji Seto<sup>1</sup>, Takeshi Sonoda<sup>2</sup>, Hiroyuki Takata<sup>3</sup>

1. 島根大学 汽水域研究センター、2. 東京農業大学 アクアバイオ学科、3. 釜山国立大学 海洋学部

1. Research Center for Coastal Lagoon Environments, Shimane University, 2. Faculty of bio-industry, Tokyo University of Agriculture, 3. Marine Research Institute, Pusan National University

Although both human activity and natural climate change affect the aquatic environment and ecosystem of lagoon, most previous researches on lagoon eutrophication only discussed the effects of human-induced eutrophication. The effects of climate and sea-level changes have been comparatively less discussed. Thus, we reconstructed the environment and ecosystem changes since the mid 19 centuries in a seasonally frozen lagoon Mokoto-ko locates along the Okhotsk Sea coast in Hokkaido, northern Japan based on multi proxy analyses (CNS, XRF, and diatom) of sediment samples, to discover the impact of eutrophication and climate change on the lagoon ecosystem.

Mokoto-ko is seasonally ice-covered small lagoon, however, has a large 167 times catchment area. At present, Mokoto-ko is an eutrophic lagoon, and anoxic bottom water mass was observed. In January 2009, 1.8 m long sediment cores (09Mk-1C) was obtained from the northern part of basin using a push-in piston corer. There is the clear lamina layer throughout this core. Based on the sediment core analysis, eutrophication of lagoon Mokoto-ko started in late 1950s by phosphorus input, which is probably related with the development of dairy farming in the catchment area. On the other hand, lagoon environment and ecosystem showed drastic fluctuation. A sudden eutrophication and fresh water input of this lagoon has a strong relationship with heavy precipitation in its catchment. In this area, frequency of the heavy precipitation has good correlation with the phase of the Arctic Oscillation, meaning that Arctic Oscillation partially controlled the lagoon environment and ecosystem. In this presentation, impact of climate change on the lagoon ecosystem is discussed based on this periodical environmental change in addition to the impact of human activity.

キーワード：海跡湖、古環境、珪藻、人為効果

Keywords: lagoon, Paleoenvironment, Diatom, Anthropogenic effect

## ミレニアム再解析に向けた挑戦 Challenges for Millennium Reanalysis

\*芳村 圭<sup>1,2</sup>、岡崎 淳史<sup>3</sup>、Neluwala Panduka<sup>4</sup>

\*Kei Yoshimura<sup>1,2</sup>, Atsushi Okazaki<sup>3</sup>, Panduka Neluwala<sup>4</sup>

1. 東京大学生産技術研究所、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 理化学研究所計算科学研究機構、4. 東京大学大学院工学系研究科

1. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. RIKEN Advanced Institute for Computational Science, 4. Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

将来気候の予測とその影響を評価するにあたり、過去の気候形成のメカニズムを理解することや、過去の気候の変動が文明にどのような影響を与えてきたかを知ることは極めて重要であるが、過去の直接観測データはたかだか100年ほどの蓄積しかなく、つい最近の大きな気候変動と目される小氷期や中世温暖期のメカニズムも詳細に理解できていない。研究代表者のグループでは、観測された同位体比情報を直接用いた同位体プロキシデータ同化システムを開発し、このシステムを用いて、観測されたサンゴ・樹木セルロース・アイスコアの各同位体比の年々変動データのみでデータ同化し、19世紀後半から現在までの海面水温の時空間分布の復元に成功した (Okazaki and Yoshimura, submitted)。さらに、古い日記・日誌に長期間にわたって記載された高頻度で天気情報を、LETKFと大気大循環モデルを用いたデータ同化システムに投入して大気状態を拘束する手法、すなわち古天気データ同化システムを開発し、雲量分布を拘束することで大気循環の日々の変動が同時に拘束されることを確認した (Toride et al., submitted)。講演ではこの2種類の新たなデータ同化手法を紹介するとともに、それらを組み合わせることで作成できる、これまでよりも飛躍的に長期間にわたる大気・地球表層再解析プロダクトである「ミレニアム大気再解析」について、その進捗状況と問題点を議論したい。

キーワード：千年再解析、データ同化、水安定同位体

Keywords: Millennium Reanalysis, data assimilation, stable water isotope

## 過去70万年間の南極と南大洋における年平均日射量に対する温度変動の 応答

### Responses of Antarctic and the Southern Ocean temperatures to changes in annual-mean insolation over the past 700,000 years

\*植村 立<sup>1</sup>、ドームふじ氷床コア 研究グループ<sup>2</sup>

\*Ryu Uemura<sup>1</sup>, Dome Fuji ice core Research Group<sup>2</sup>

1. 琉球大学 理学部、2. 国立極地研究所他

1. University of the Ryukyus, 2. National Institute of Polar Research

日射量変動に対して気温がどのように応答するかは、氷期-間氷期サイクルの気候変動を理解するために重要である。ミランコビッチ説では、2.3万年周期の歳差運動が日射量の季節変動に影響をあたえることで、氷床量変動を引き起こし、フィードバックメカニズムを引き起こすとされている。これに対して、4万年周期の地軸の傾きの変動は年平均の日射量に影響を与え、南極のような高緯度地域の気温にローカルな影響を与えている可能性がある。南極の気温変動 ( $\delta D$ ) は、全球の二酸化炭素濃度 ( $CO_2$ ) の変動と良い相関があり、南極海とその周辺海域の温度変動が炭素循環に影響を与えている可能性が多く指摘されている。しかし、ローカルな日射量変動が南極の気温と南極海の表面水温にどの程度の地域的な影響を与えているのかは未解明である。

本研究では、南極ドームふじで掘削された第二期ドームふじアイスコア(DF2 core)の  $\delta D$  と d-excess を用いて、過去70万年間の南極の気温 ( $T_{site}$ ) と水蒸気起源温度 ( $T_{source}$ ) を復元した。復元した  $T_{source}$  を評価するために、水蒸気起源海域の海底コアの表面海水温の平均値 (17データ) と比較したところ、振幅の定量値も含めて、過去30万年間にわたって、よく一致していた。 $T_{source}$  は、 $CO_2$  と高い相関があり、南極海とその周辺海域の水温が世界的な炭素循環に強い影響を与えている説を支持している。一方、 $T_{site}$  には強い4万年周期の変動があり、年平均日射量の変動の影響を受けている可能性を示唆している。この4万年周期帯については、 $T_{site}$  は  $CO_2$  よりも2 kyr 先行し、 $T_{source}$  は  $CO_2$  よりも1 ky 遅れて変動していた。これらの結果は、南極の気温が  $CO_2$  に対して数百年早く変動を始める原因の一つが、年平均日射量の影響であることを示唆している。また、 $T_{site}$  と  $T_{source}$  は、年平均日射量の変動に対して平均4-7kyr遅れて変動している。この位相差は、日射量が気温や水温を直接コントロールしているのではなく、地軸の傾きによって変調された気候フィードバックメカニズム (水蒸気輸送強度の変動等) が関与していることを示唆している。

キーワード：アイスコア、d-excess、氷期間氷期サイクル

Keywords: ice core, d-excess, glacial interglacial cycle

# 樹木年輪酸素同位体比の年層内データと古日記天気記録による江戸時代三大飢饉期の高分解能気候復元

## High-resolution reconstruction of climates under the three great famines in the Edo period based on intra-ring oxygen isotope ratio of tree rings and historical daily weather record

\*庄 建治朗<sup>1</sup>、荒神 勇太<sup>2</sup>、濱田 育実<sup>1</sup>、鎌谷 かおる<sup>3</sup>、佐野 雅規<sup>3</sup>、對馬 あかね<sup>3</sup>、中塚 武<sup>3</sup>

\*Kenjiro Sho<sup>1</sup>, Yuta Kojin<sup>2</sup>, Ikumi Hamada<sup>1</sup>, Kaoru Kamatani<sup>3</sup>, Masaki Sano<sup>3</sup>, Akane Tsushima<sup>3</sup>, Takeshi Nakatsuka<sup>3</sup>

1. 名古屋工業大学、2. 大成建設（株）、3. 総合地球環境学研究所

1. Nagoya Institute of Technology, 2. Taisei Corporation, 3. Research Institute for Humanity and Nature

樹木年輪中のセルロースの酸素安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) は、年輪形成当時の相対湿度をよく反映することが確かめられている。従来、セルロース酸素同位体比の測定には多大な時間と労力を要したが、近年の同位体比分析装置と試料作製技術の進歩により、現在では以前よりも飛躍的に測定効率が高まり、1年輪毎に測定するだけでなく、その年層内の細かな変動まで連続的に測定することも可能になった。本研究は、気候変化が江戸時代の社会に重大な影響を及ぼしたとされる三大飢饉期（享保、天明、天保）を中心とした時期について、年輪酸素同位体比の年層内変動を測定し、従来よりも高時間分解能で当時の気候の特異性を探ることを目的とする。

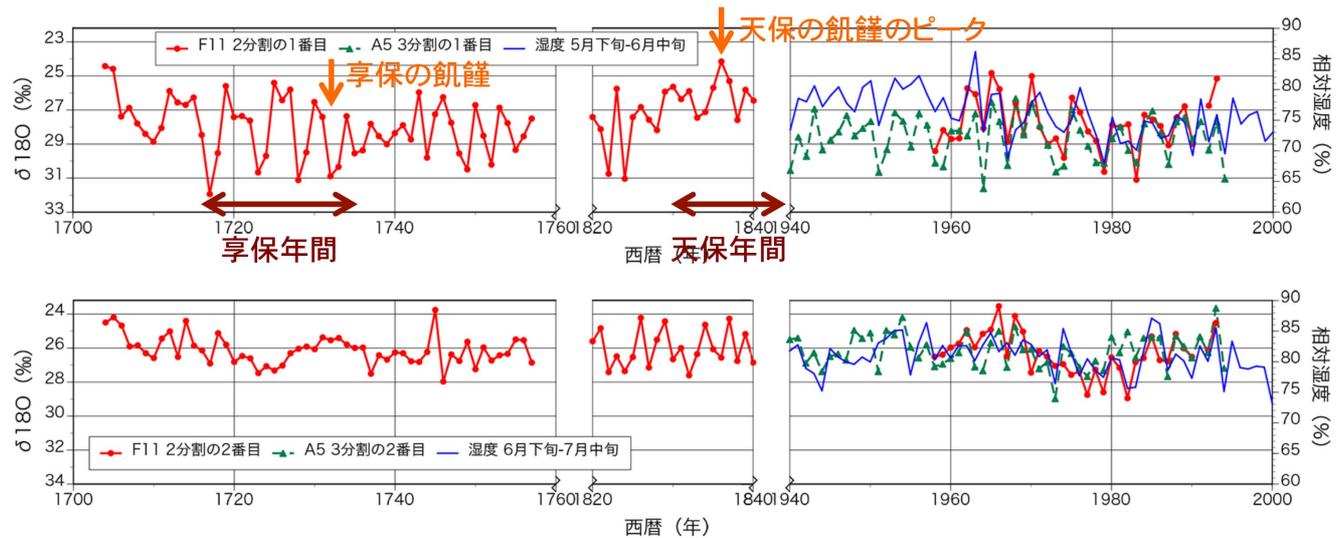
樹木年輪試料には、滋賀県太神山産のヒノキ2個体を用いた。一方は18世紀初頭まで遡る300近い年輪数を持つ個体（F11）、他方は樹齢約150年で最近数十年分の年輪幅が広い個体（A5）である。測定対象期間は、江戸時代の享保期（1716-1736年）、天明期（1781-1789年）、天保期（1831-1845年）前後の時期（F11）と、気象観測データと重なる20世紀中～後期（F11及びA5）とした。サンプルは「板ごと抽出法」により、厚さ約2mmの木口面の板からセルロースを抽出した後、双眼実体顕微鏡下で眼科用ナイフを用いて年層内を成長方向に細分割した。年層内の分割数は12を基本とし、幅が狭い年輪では6または2分割、特に広い年輪では24分割とした。同位体比測定には、総合地球環境学研究所に設置の熱分解元素分析計と同位体質量分析計のオンラインシステム（TCEA-Delta V Advantage）を用いた。

20世紀中～後期についての測定結果を相対湿度（彦根）のデータと照合した結果、年輪酸素同位体比の年層内変動パターンは数週間程度の時間分解能で成長期の湿度の変動をよく反映していることが分かった。また、成長期は概ね5～7月（F11）または5～9月（A5）であり、2つの個体で成長期の終了時期が大きく異なることが分かった。この結果を用いて、年層内の前半部分（F11）または年層内の前期1/3（A5）の酸素同位体比データを用いることによって初夏～梅雨季前期（概ね5月下旬～6月中旬）の、年層内の後半部分（F11）または年層内の中期1/3（A5）の酸素同位体比データを用いることによって梅雨季中～後期（概ね6月下旬～7月中旬）の、経年的な乾湿変動をそれぞれ復元した（図）。初夏～梅雨季前期については、享保年間（1716～1736年）に酸素同位体比が数年周期で激しく変動している時期が見られた。江戸時代は近世小氷期にあたり、現代より冷涼多雨の気候であったとされるが、この時期には梅雨入りが遅れて5～6月に近年の渇水年と同程度に乾燥した年が数年おきに訪れていたと推測される。享保の大飢饉が発生した1732年もそのような年にあたる。また、天保年間（1831-1845年）には、乾燥傾向にあった1820年代から急激に湿潤化が進んでおり、天保の飢饉のピークとされる1836年に湿潤のピークに達している。この時期には5月頃から梅雨のような天候であったと考えられる。梅雨季中～後期については、初夏～梅雨季前期のような酸素同位体比の激しい変動は見られない。享保期頃には特に変動が小さく、比較的湿潤な年が連続していたと考えられる。

梅雨季を中心とした夏季の乾湿変動を月単位ないしそれ以上の時間分解能で連続的に復元するため、江戸時代の他の時期についても年層内酸素同位体比の分析を順次進めていく予定である。また、上記の結果を検証するとともに、樹木成長期以外の季節の気候変化を復元するため、もう一つの高時間分解能資料である古日記天気記録の収集整理も江戸時代の京都・近江地域を中心に進めているところである。

キーワード：樹木年輪セルロース、酸素安定同位体比、年層内変動、相対湿度、江戸三大飢饉、古日記天気記録

Keywords: Tree-ring cellulose, Stable oxygen isotope ratio, Intra-ring fluctuation, Relative humidity, The three great famines in the Edo period, Historical daily weather record



初夏～梅雨季前期(上)と梅雨季中～後期(下)に対応する年層内セグメントの年輪酸素同位体比と相対湿度の経年変動

# 樹木年輪セルロースの酸素同位体比による東北地方の古気候復元の可能性

## Climate variations in northern Japan as reconstructed from tree ring cellulose $\delta^{18}\text{O}$

\*對馬 あかね<sup>1</sup>、佐野 雅規<sup>1</sup>、中塚 武<sup>1</sup>、Li Zhen<sup>1</sup>、大山 幹成<sup>2</sup>、安江 恒<sup>3</sup>

\*Akane Tsushima<sup>1</sup>, Masaki Sano<sup>1</sup>, Takeshi Nakatsuka<sup>1</sup>, Zhen Li<sup>1</sup>, Motonari Ohyama<sup>2</sup>, Koh Yasue<sup>3</sup>

1. 総合地球環境学研究所、2. 東北大学植物園、3. 信州大学

1. Research Institute for Humanity and Nature, 2. Botanical Gardens, Tohoku University, 3. Shinshu University

樹木年輪のセルロースに含まれる酸素同位体比は、樹木自身の生理生態的な影響をほとんど受けず、降水の酸素同位体比と相対湿度という、気候学的因子の影響を受けて変化するため、日本のように降水量の多い地域においても過去の年々の気候変化の復元が可能な、有用な古気候プロキシである。

本研究では、宮城県の離れた地点で採取された2つのスギの年輪酸素同位体比を測定し、両者が高い相関関係をもったことから、宮城県の2個体のスギが何らかの古気候情報を持っている事が期待された。それを踏まえて、それらの酸素同位体比データと気象データや他県の年輪酸素同位体比を比較した結果、(1) 宮城で採取された樹木の酸素同位体比と東北地方の相対湿度の関係は単純ではなく、数十年周期で正負が逆転していること、(2) 宮城の年輪酸素同位体比と他地域の年輪酸素同位体比の関係も年によって大きく変化することがわかった。この事から、この地域が年輪酸素同位体比の規定要因が大きく変化する空間的なバウンダリーに位置している、すなわち、大規模な気候場の境界に位置していることが推測された。今後、年輪酸素同位体比データを日本中で面的に拡充していく事で空間的広がり自身の復元を目指している。

キーワード：樹木年輪酸素同位体比、日本

Keywords: Tree-ring cellulose  $\delta^{18}\text{O}$ , Japan

## Correlation between two tree-ring d18O chronologies from coastal areas of Pacific and Japan Sea in Hokkaido, North Japan

\*重岡 優希<sup>1</sup>、中塚 武<sup>2</sup>、佐野 雅規<sup>2</sup>、對馬 あかね<sup>2</sup>、李 貞<sup>2</sup>、安江 恒<sup>3</sup>、藤田 耕史<sup>1</sup>

\*Shigeoka Yuki<sup>1</sup>, Takeshi Nakatsuka<sup>2</sup>, Masaki Sano<sup>2</sup>, Akane Tsushima<sup>2</sup>, Zhen Li<sup>2</sup>, Ko Yasue<sup>3</sup>, Koji Fujita<sup>1</sup>

1. 名古屋大学院環境学研究科、2. 総合地球環境学研究所、3. 信州大学農学部

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Research Institute for Humanity and Nature, 3. Shinshu University

We analyzed the tree-ring oxygen isotope ratios (d18O) during last one hundred years for four trees of *Picea glehnii* in each of North (Teshio) and East (Onnebetsu) Hokkaido, Japan. In each of the two sites, there are very good correlations of the tree-ring d18O variations among different tree individuals. However, there is no good correlation between averaged tree-ring d18O variations of Teshio and Onnebetsu, suggesting that the main meteorological factors to determine the tree ring d18O are different between Teshio and Onnebetsu.

We investigated the relationship between the tree-ring d18O and local meteorological parameters. We found that the tree-ring d18O in Teshio has positive correlation with spring temperature and negative correlation with summer precipitation and relative humidity, showing that it can become a good summer precipitation proxy because there is especially large negative correlation with summer precipitation. In contrast, we could not find any significant correlations between the tree-ring d18O in Onnebetsu facing on Pacific Ocean and summer meteorological factors. Because summer hydro-climate in Pacific Ocean side of North Japan is more complex than that in Japan Sea side reflecting the inter-annually varying effects of cold marine fog, we are obliged to conclude that it is difficult to reconstruct paleoclimate using the tree-ring d18O solely in Pacific Ocean side of Hokkaido. However, we found that there are predominant 20-years periodicity in the 11 years sliding correlation between the tree-ring d18O in Teshio and Onnebetsu, which is coincident well with the 11 year running mean of air temperature in Hokkaido. So, the tree-ring d18O in Pacific Ocean side of North Japan can be used as a novel temperature proxy by investigating its correlation with the tree-ring d18O in distant area rather than treating it solely.

キーワード：年輪酸素同位体比、北海道、アカエゾマツ

Keywords: tree-ring d18O, Hokkaido, *Picea glehnii*

# インドネシア・ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比の気候応答 — プロキシシステムモデルを使った解析結果 —

## Climate response of oxygen isotopic compositions in tree-ring cellulose from Java, Indonesia: consideration based on proxy system model

\*久持 亮<sup>1</sup>、渡邊 裕美子<sup>1</sup>、栗田 直幸<sup>2</sup>、佐野 雅規<sup>3</sup>、中塚 武<sup>3</sup>、松尾 美幸<sup>4</sup>、山本 浩之<sup>4</sup>、杉山 淳司<sup>5</sup>、津田 敏隆<sup>5</sup>、田上 高広<sup>1</sup>

\*Ryo Hisamochi<sup>1</sup>, Yumiko Watanabe<sup>1</sup>, Naoyuki Kurita<sup>2</sup>, Masaki Sano<sup>3</sup>, Takeshi Nakatsuka<sup>3</sup>, Miyuki Matsuo<sup>4</sup>, Hiroyuki Yamamoto<sup>4</sup>, Junji Sugiyama<sup>5</sup>, Toshitaka Tsuda<sup>5</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 名古屋大学宇宙地球環境研究所、3. 総合地球環境学研究所、4. 名古屋大学大学院生命農学研究科、5. 京都大学生存圏研究所

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 3. Research Institute for Humanity and Nature, 4. Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, 5. Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

樹木年輪セルロース酸素同位体比は陸域の気候や水循環を年単位で復元できるプロキシとして有力である。本研究では、気候学的に重要でありながら、年輪セルロース酸素同位体比の研究がほとんど行われていないインドネシア・ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比を測定し、その気候応答を調べた。気候応答に解析には、気候要素（気温、降水量など）との相関解析に加え、より定量的な理解を目指して、年輪セルロース酸素同位体比モデル（プロキシシステムモデル）を用いた解析を行い、年輪セルロースの酸素同位体比の支配因子を推定した。

本研究に使用した樹種はチーク(*Tectona Grandis*)である。チークは南アジア～東南アジアの熱帯モンスーン気候域に分布し、雨季・乾季に対応して明瞭な年輪を形成する。さらに天然に樹齢300～400年の古木が存在することから、熱帯域で年輪年代学・気候学の研究対象となっている数少ない樹種の1つである。インドネシアに限って言えば、年輪幅の標準年輪曲線が作成されている樹種はこのチークのみである。チークサンプルはすべて円盤で採取し、伐採年と巻き枯らし処理（立木の状態で辺材部位を削り、枯れさせること）の有無が既知である。年輪を数えることで年代を決めた後、年輪幅とセルロース酸素同位体比を測定し、個体間の変動パターンを比較することで年代が信頼できることを確認した。

サンプル採取地点は最大で400kmほど離れているが、セルロース酸素同位体比は、すべての地点で共通の変動パターンを示した。このことは、ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比には、共通の気候シグナルが保存されていることを示唆している。年輪セルロース酸素同位体比と気候要素との相関解析を行ったところ、成長期（雨季）の降水量・湿度と逆相関を示し、成長期直前の乾季の降水量と正の相関を示した。次に、年輪セルロース酸素同位体比モデルを用いた解析を行った。モデルによると、年輪セルロース酸素同位体比は、根から吸い上げる水(Source water)の酸素同位体比、湿度、大気水蒸気の酸素同位体比の3つの要因によって決まる。解析の結果、この3つの要因のうち、Source waterの酸素同位体比だけでセルロース酸素同位体比の経年変動のほとんどを説明できることが分かった。また、Source waterの酸素同位体比と降水の酸素同位体比を比較した結果、Source waterは成長期前の乾季から雨季の降水で構成されていることが示唆された。

以上をまとめると、ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比は、成長期前の乾季から雨季の降水の同位体比の情報を保存していると考えられる。そして、降水量との相関は、降水の酸素同位体比を介して表れたものだと思われる。

キーワード：樹木年輪、プロキシシステムモデル、酸素同位体比

Keywords: tree-ring, proxy system model, oxygen isotope

## An 11.5 Ma paleoclimate record from travertine deposits at Barrancas Blancas in the eastern Atacama Desert, Chile

\*Jay Quade<sup>1</sup>, Troy Rasbury<sup>2</sup>, Katherine Huntington<sup>3</sup>, Adam Hudson<sup>6</sup>, Hubert Vonhof<sup>4</sup>, Kevin Anchukaitis<sup>1</sup>, Julio Betancourt<sup>5</sup>, Claudio Latorre<sup>7</sup>

1. University of Arizona, 2. University of New York at Stony Brook, 3. University of Washington, 4. Vrije Universiteit Amsterdam, 5. USGS Reston, 6. USGS Denver, 7. Pontificia Universidad Católica de Chile

Here we survey the potential of spring-related, surface and sub-surface carbonates as an archive of paleoenvironmental change at Barrancas Blancas, located in the broadest and driest sector of the Atacama at 24°S in Chile. From these deposits we present a new stable isotopic record of paleoenvironmental conditions over portions of the past ~11.5 Ma. U-Pb dates from the carbonates, both surface and sub-surface, demonstrate that springs have discharged at this location over much of the last 11.5 Ma, attesting to the exceptional geomorphic stability of the central Atacama. Many of the sampled vein systems line vertical fissures, and formed within the aquifer before ground water discharged at the surface. Carbonates in such circumstances should not undergo off-gassing and kinetic fractionation prior to formation, simplifying the interpretation of their isotopic composition. Oxygen isotopic compositions of carbonates are generally high ( $>-1\text{‰VPDB}$ ), and using paleospring water temperatures reconstructed from clumped isotopes, point to strongly (up to 20-30%) evaporated water oxygen isotope values, like those associated with hyperarid conditions in recharge areas today. Carbon isotopic compositions are also high ( $+3\text{‰PDB}$ ) reflecting a recharge area essentially devoid of plants and dominated by volcanic  $\text{CO}_2$ , as is the case today. Our isotopic results are very similar to those from the Calama Basin to the north, suggesting that the western face of the Andes between 21-25°S has been highly evaporative and plantless for much of the last 11.5 Ma. The spring carbonates at Barrancas Blancas strongly resemble those found at Devils Hole and Furnace Creek in Death Valley, USA, and as such warrant further exploration as potential archives of climate change.

Keywords: Atacama Desert, oxygen isotopes, carbon isotopes, travertine, paleoclimate

# 洪水情報が石筍中に記録される過程の解明 -大分県稲積水中鍾乳洞の場合- Preservation processes of paleoflood in stalagmite –case study of Inazumi Underwater Cave, Oita, NE Kyushu, Japan –

\*進藤 辰郎<sup>1</sup>、大沢 信二<sup>2</sup>、三島 壮智<sup>2</sup>、渡邊 裕美子<sup>1</sup>、田上 高広<sup>1</sup>

\*Tatsuro Shindoh<sup>1</sup>, Shinji Ohsawa<sup>2</sup>, Taketoshi Mishima<sup>2</sup>, Yumiko Watanabe<sup>1</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻、2. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

1. Division of Earth and Planetary Science, Graduate school of Science, Kyoto University, 2. Institute for Geothermal Sciences Graduate School of Sciences, Kyoto University

石筍中にトラップされている碎屑堆積物や泥を含む縞は通称“flood layer” (洪水縞)と呼ばれ、過去のサイクロンやハリケーンなどによって誘発された洞内洪水によって形成されたと考えられ、過去の洪水頻度の復元に用いられている (e.g., Dasgupta et al., 2010 EPSL; Frappier et al., 2014 AGU; Finné et al., 2014 Quat. Res.)。しかし、洪水による縞の形成過程についての理解は乏しくまた研究例も少ない。そこで本研究では、アジアモンスーンの影響を受けて主に夏期に洞内洪水が発生する大分県に位置する稲積水中鍾乳洞で採取した二つの石筍 (SUI-1とSUI-2) を用いて、顕微鏡観察 (実体・偏光・蛍光顕微鏡) によって基本的な物質科学的・鉱物学的特徴を捉え、そこから抽出できた洪水縞形成に関する情報を紹介する。

今回の顕微鏡観察で捉えた特徴は、以下の通りである。(1) 泥に満たされた溝が顕著に観察された上、石筍側面には泥のみならず、単斜輝石、磁鉄鉱、石英などの造岩鉱物が随所に確認できた；(2) 洪水縞上部には多量のCaCO<sub>3</sub>の微結晶が存在していた；(3) 密な縞と空隙が目立つ縞が交互に存在する層の組み合わせがあり、特に空隙には泥が埋まっているのを頻繁に確認できた；(4) 泥がある部位とない部位を含めて蛍光発色は観察されなかった。

(1) の特徴の形成については、次のような堆積学的過程が考えられる。洪水中に運搬された粒径の大きい河川懸濁物による機械的風化が石筍表面を削り、その結果溝が形成される。その溝を洞内河川水位の低下に伴い粒径の小さい泥が埋める。溝に収まらなかった粒径の大きい鉱物などは滴下水によって石筍側面まで洗い流される。(2) については、河川懸濁物が石筍表面に覆いかぶさったために連続的なCaCO<sub>3</sub>の結晶成長が一時的に阻害され、滴下水の再供給によるCaCO<sub>3</sub>の核形成及び成長の競争の痕跡であると考えられる。(3) については、空隙が目立つ縞が形成される時期と洞内洪水が発生する時期が一致するため、季節性を示している可能性がある。(4) については、石筍を生成させる滴下水中の腐植物質濃度が低すぎて蛍光顕微鏡観察では検出できなかったと思われるが、河川懸濁物中の腐植物質はCaCO<sub>3</sub>中に化学的に取り込まれないと蛍光発色までに至らないことも想像される。

キーワード：石筍、過去の洪水、古気候学、腐植物質、堆積学

Keywords: stalagmite, paleoflood, paleoclimate, humic substance, sedimentology

# 石筍の炭酸凝集同位体に記録された広島県での最終氷期以降の気温変化 Temperature change since the latest Pleistocene deglaciation stage recorded in carbonate clumped isotopes of a stalagmite collected in Hiroshima Prefecture, Japan

\*加藤 大和<sup>1</sup>、雨川 翔太<sup>1</sup>、狩野 彰宏<sup>1</sup>

\*Hirokazu Kato<sup>1</sup>, Shota Amekawa<sup>1</sup>, Akihiro Kano<sup>1</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科

1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

広島県北東部の幻鍾乳洞から採集された石筍Hiro-1は、最終氷期以降の日本列島陸上古気候を記録する貴重な試料である (Shen *et al.* 2010; Hori *et al.* 2013). しかし、気候記録として用いられる石筍の酸素同位体比は、温度変化と降水量変化の効果を多重的に記録しており、2つの効果を分離することは容易ではない。一方、炭酸凝集同位体では、石筍を沈殿させた水の同位体組成とは無関係に温度が復元できるので (Ghosh *et al.* 2006)、近年石筍への適用も進んでいる (Affek *et al.* 2014)。炭酸凝集同位体とは、方解石からリン酸反応で生じた二酸化炭素の中での<sup>47</sup>CO<sub>2</sub>の存在度異常を示し、その値が絶対温度の二乗に反比例することが知られている。本研究では、石筍Hiro-1の40層準での炭酸凝集同位体測定結果を発表する。

分析では、70°Cでのリン酸反応で生じた二酸化炭素を、液体窒素と-10°Cに冷却したカラムによって精製し、九州大学に配備されているMAT253を用いて測定した。なお、測定結果にはHe *et al.* (2012) のベースライン補正を適用し、測定値はDennis *et al.* (2011) のabsolute reference frameに投影したものをを用いた。測定誤差は0.015パーミル以内であり、温度に換算すれば約3°Cに相当する。また、合成方解石試料の測定結果をもとに作成した温度換算式は、Guo *et al.* (2009) が提示した理論式と近似するものであった。

明確な外れ値を除くと、炭酸凝集同位体で示される温度は完新世 (11–4ka) が29.7–20.7°C (平均24.8°C) であり、最後期更新世 (18–12ka) が22.4–14.3°C (平均18.0°C) であった。現在の洞窟内温度は10.7°Cであるので、提示された温度は高めに算出されていると考えられる。多くの研究で、石筍の炭酸凝集同位体から導かれる温度が実際より高い値を示すことが指摘されており (例えば、Affek *et al.* 2014)、滴下水からの脱ガスの効果によるものと推定されている。

絶対温度復元には未だ障壁が残るものの、完新世と最後期更新世の温度差が6–7°C程度であったと考えられる。Shen *et al.* (2010) は、同石筍試料の完新世と最後期更新世のそれぞれの酸素同位体比の間に1.5パーミルほどの差を認めている。滴下水の酸素同位体比が安定していたと仮定すると、これは6°Cの温度差に相当する。Hiro-1の酸素同位体比は雨水の値ではなく、温度変化を記録したものである可能性がある。

キーワード：石筍、凝集同位体、気温変化、最終氷期、完新世

Keywords: stalagmite, clumped isotopes, temperature change, last glacial period, Holocene

## トンガ王国Tongatapu島で採取した貝殻と海水の地球化学分析と環境考古学への適用可能性

### Geochemical analyses of shells of *Gafrarium tumidum* and seawater collected from Tongatapu Island and their application for paleoenvironment and archaeology during the Holocene

\*福與 直人<sup>1,2</sup>、横山 祐典<sup>1,2</sup>、ジェフリー クラーク<sup>3</sup>、窪田 薫<sup>4</sup>、宮入 陽介<sup>2</sup>、杉原 奈央子<sup>2</sup>、白井 厚太郎<sup>2</sup>、樋口 富彦<sup>2</sup>、宮島 利宏<sup>2</sup>

\*Fukuyo Naoto<sup>1,2</sup>, Yusuke Yokoyama<sup>1,2</sup>, Geoffrey Clark<sup>3</sup>, Kaoru Kubota<sup>4</sup>, Yosuke Miyairi<sup>2</sup>, Naoko Sugihara<sup>2</sup>, Shirai Kotaro<sup>2</sup>, Tomihiko Higuchi<sup>2</sup>, Toshihiro Miyajima<sup>2</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 東京大学大気海洋研究所、3. オーストラリア国立大学 アジア太平洋学部 考古学・自然史学専攻、4. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 年代測定研究部

1. Earth and Planetary Science Department, Graduate school of Science, The University of Tokyo, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. Archaeology and Natural History, College of Asia and the Pacific, The Australian National University, 4. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

南太平洋島嶼国の降水は、南太平洋収束帯 (South Pacific Convergence Zone: SPCZ)に大きく影響されるが、そのメカニズムや変動の理解には古気候記録の収集が不可欠である。また、気候変動や海水準変動といった古環境変動が、南太平洋における人類の拡散に影響を与えたとする研究もあるが、地球化学的手法に基づいた定量的な裏付けがなされていない。本研究は、SPCZの影響下であり、かつ南太平洋における人類の拡散の拠点となったトンガ王国Tongatapu島の遺跡から発掘された二枚貝の化石を用いて、中期-後期完新世の古気候・古環境を復元することを目的としている。造礁サンゴのように、貝殻は成長輪を持つ炭酸塩骨格を形成するため古環境指標試料として有用である。また、本研究で用いる二枚貝アラスジケマン (*Gafrarium tumidum*) は、南太平洋の遺跡において多産するため、過去の環境変動の理解だけでなく、人々の生活様式の理解にも繋がることと期待される。しかしながら、*G. tumidum*の環境指標試料としての有用性はこれまでほとんど評価されてこなかった。そこで、トンガ王国において貝殻と海水試料を採取し、以下に述べる地球化学分析を行った。まず、貝殻試料について安定同位体比質量分析装置を用いて酸素・炭素同位体 ( $^{18}\text{O}$ ・ $^{13}\text{C}$ ) 値、加速器質量分析装置を用いて放射性炭素(海洋ローカル $^{14}\text{C}$ リザーバー年代:  $\Delta R$ )、レーザー照射型誘導結合プラズマ質量分析装置を用いて微量元素(Sr/Ca比, Mg/Ca比など)を測定した。次に海水試料については、ロガーを用いて4ヶ月間にわたって海面水温 (Sea Surface Temperature: SST) をモニタリングしたことに加え、現地で表層塩分 (Sea Surface Salinity: SSS) を、帰国後CRDS安定同位体比分析装置を用いて $^{18}\text{O}$ 値を測定した。貝殻と海水の分析の結果、(1) 殻の $^{18}\text{O}$ が季節変動を示すことから、*G. tumidum*は2~3年間の環境を殻に記録すること、(2) Sr/Ca比はSSTやSSSの変動ではなく、成長速度を反映すること、(3) 約2600年前から約1200年前にかけ、石灰基盤岩起源の $^{14}\text{C}$ の少ない炭素の寄与が増加し、この時に化石試料が採取された湾が閉鎖的になったこと、(4) *G. tumidum*の殻成長はSSSによって規定されていることが示唆された。特に3, 4の知見については、既往の考古学研究による結果と整合的である。

キーワード：炭酸カルシウム、酸素同位体、 $\Delta R$

Keywords: Calcium carbonate, oxygen isotope,  $\Delta R$

## 深海サンゴと造礁サンゴが示す過去60万年間の年代測定の問題点の解決法

### Uranium in Corals provide the clue to solve the Quaternary chronology logjam

\*横山 祐典<sup>1,2,3</sup>、Esat Tezer<sup>4</sup>、平林 頌子<sup>1,2</sup>、宮入 陽介<sup>1</sup>

\*Yusuke Yokoyama<sup>1,2,3</sup>, Tezer M Esat<sup>4</sup>, Shoko Hirabayashi<sup>1,2</sup>, Yosuke Miyairi<sup>1</sup>

1. 東京大学 大気海洋研究所 高解像度環境解析研究センター、2. 東京大学 大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻、3. 海洋研究開発機構 生物地球化学研究分野、4. オーストラリア国立大学 地球科学研究所

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 2. Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, 3. Department of Biogeochemistry, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Research School of Earth Sciences, The Australian National University

古気候の情報の中で、全球の平均的な気候状態を表すのは、全球氷床量変動である。底棲有孔虫の酸素同位体比は氷床量変化の間接指標として用いられ、その復元によると、氷床量は現在のグリーンランド氷床3-4個分、年代の誤差は、例えば最終間氷期あたりについて、5千年ほどであるとされている (SPECMAP, LR04など)。

全球氷床量、すなわち海水準変動を直接復元するのに有効な試料に造礁サンゴがある(Yokoyama & Esat, 2015 Willey Book)。放射性炭素の発見と加速器質量分析装置の導入により、過去5万年間の年代測定については、高精度で決定されるようになった。特に近年では、シングルステージ加速器質量分析装置という小型の装置も開発され、例えば東京大学大気海洋研究所では、0.1%という誤差での測定と、炭素量で100マイクログラム以下という微量での測定も可能になってきた(例: Yokoyama et al., 2016 PNAS; Hirabayashi et al., 2017 JQS)。

一方で5万年より古い年代については、ウラン系列核種の年代決定を行う必要がある。海洋の試料で唯一この手法が適用可能なのがサンゴ骨格であり、これまでも盛んに研究が行われてきた。しかし、アラゴナイト骨格である造礁サンゴは続成作用の影響を受けやすいため、一般的に化石サンゴの場合採取した1%ほどしか使用できないという問題点があった。これに対してウッズホール/ラモントのグループは、年代の補正をすることでこれまで使われていなかったサンゴ試料も“復活させ”、年代を決定できるという提案を2005年にScience誌に行い、2006年にSPECMAPの年代校正を行った(Thompson & Goldstein 2006 QSR)。それらの論文はそれぞれ220回及び150回以上の引用がされ、特にアイスコアの古気候指標との対比などに使われている。

ところが大きな前提となっているウランとトリウムの同位体の動きについて、疑義が生じる結果が、造礁サンゴのウラン系列核種分析から出されてきた(例えば横山2004 地球化学)。それは過去60万年間一定と考えられていた海水のウラン同位体比が、氷期と間氷期において変化するというもので、それらは海水準変動に伴う沿岸域の酸化還元環境の変化によりもたらされているとするものである(Esat & Yokoyama, 2006, 2010 GCA)。しかし造礁サンゴであるために、続成作用による同位体比の変化ではないかという議論が残っていた。

近年、ウラン系列核種の分析に表面電離型質量分析装置の他に誘導プラズマ質量分析装置が用いられるようになり、深海サンゴの分析も盛んに行われるようになった。その結果、太平洋と大西洋のどちらの海盆から取られた深海サンゴにも、ウラン同位体比の初期値の変化が記録されており、表層のサンゴと一致した(Chen et al., 2016 Science)。つまり海水中のウラン同位体比が時間によらず一定であるという前提に基づいた

オープンシステム法を用いた年代決定法が使用できないことを明確に示しており、氷期-間氷期の気候システムの連関性などについて、従来の年代測定法を適用する必要性を示している (Yokoyama & Esat, 2016 Science)。これはアイスコアと海洋堆積物コアなどの古気候シグナルの前後関係について重要な知見であり、本発表にて紹介する予定である。今後東京大学大気海洋研究所で開発されたウラン系列核種の分析法を用いた多くのサンゴや鐘乳石試料の分析に適用することで、異なるサブシステム同士の気候変動の前後関係について明らかになることが期待される。

文献 : Chen et al., 2016 Science 354, 626; Esat & Yokoyama, 2006, GCA 70, 4140; Esat & Yokoyama, 2010, GCA 74, 7008; Hirabayashi et al., 2017 JQS 32,1; Thompson & Goldstein 2006 QSR 25, 3207; Yokoyama & Esat, 2015 doi: 10.1002/9781118452547.ch7, p104-124.; Yokoyama & Esat, 2016 Science, 354, 550; Yokoyama et al., 2016 PNAS, 113, 2354.横山祐典2004 地球化学 38, 127.

キーワード : 年代測定、サンゴ、ウラン系列核種

Keywords: Quaternary chronology , Coral, Uranium series nuclides

## 浮遊性有孔虫 1 個体による同時 3 要素（遺伝子・形態・同位体）分析法の新規開発

### New analytical method of triple combination: gene, morphology, and isotopes, for a single planktonic foraminifer

\*氏家 由利香<sup>1</sup>、石村 豊穂<sup>2</sup>、木元 克典<sup>3</sup>

\*Yurika Ujiie<sup>1</sup>, Toyoho Ishimura<sup>2</sup>, Katsunori Kimoto<sup>3</sup>

1. 高知大学 海洋コア総合研究センター、2. 茨城工業高等専門学校 校物質工学科、3. 海洋研究開発機構  
1. CMCR, Kochi University, 2. National Institute of Technology, Ibaraki College, 3. RCGC, JAMSTEC

Stable oxygen and carbon isotopes of planktonic foraminiferal shells are the most important proxies for paleoceanographic studies. This is because that each (morpho)species of planktonic foraminifers is distributed in a certain area/depth in the world oceans, and their shells are formed under an influence of ambient water condition (i.e., temperature). However, this commonly accepted theory needs improvement, according to the classification of genetically incompatible species (biological species). Molecular phylogeographic studies have revealed that multiple biological species found in a single morphospecies of planktonic foraminifers are differently distributed in the oceans. This improved species concept (biological species) encourage ecological study, and is able to provide novel environmental proxies combining with other basic methods (i.e., morphology and isotope). Although the foraminiferal shells can be preserved after DNA extraction by using the guanidium isothiocyanate buffer, no study has examined the impacts of the chemicals and incubation step with 65–70°C on the shells. In this study, we carefully tested whether the process of DNA extraction physically and chemically damage to the shells of *Globigerinoides ruber*, one of the most useful planktonic foraminifers, or not. First, we checked the changes of the shell densities in pre- and post-DNA extraction by using the micro-focus X-ray CT (MXCT) scanning. The simultaneous measurement of a sample and the standard material enable us to calculate the accurate CT number, which indicates the density of the shell. As the result, the shell densities showed no significant differences. Second, we prepared three sample sets with: (a) no chemical and incubation as control, (b) incubation in the DNA extraction buffer at 65–70°C for 40 minutes as standard way, and (c) incubation in the DNA extraction buffer at 65–70°C for 120 minutes. Stable oxygen and carbon isotopes were measured one by one from these three samples sets by using the microscale isotopic analytical system (MICAL3c). Although the isotope values largely varied among specimens, there were no significant differences among the three sample sets. These data of MXCT scanning and isotopic measurements clearly certified that we define morphological and geochemical features from same specimens after genetic identification. Utilizing our developed method, we compared stable oxygen and carbon isotopes between two different genetic types of *G. ruber*, which were phylogenetically distant. All examined specimens were collected at the same place in the same season. We demonstrated that the isotopic signatures between biological species. Thus, our challenge provide future studies to establish the paleoceanographic proxies in higher-resolution based on the biological species of planktonic foraminifers.

キーワード：浮遊性有孔虫、酸素・炭素安定同位体、CTスキャン、微小領域分析

Keywords: planktonic foraminifers, stable oxygen and carbon isotopes, CT scanning, micro-scale analysis

## A preliminary result of paleowind variations in Hungary during MIS 19 from loess-paleosol deposits

\*上野 友輔<sup>1</sup>、ブラダク バラージュ<sup>2</sup>、兵頭 政幸<sup>2</sup>、ホーヴァス エルゼベツト<sup>3</sup>、ヴェーグ タマシュ<sup>3</sup>、ソンカ ダイアナ<sup>3</sup>、セベレーニー ヨージェフ<sup>4</sup>

\*Yusuke Ueno<sup>1</sup>, Balazs Bradak<sup>2</sup>, Masayuki Hyodo<sup>2</sup>, Erzsebet Horvath<sup>3</sup>, Tamas Vegh<sup>3</sup>, Diana Csonka<sup>3</sup>, Jozsef Szeberenyi<sup>4</sup>

1. 神戸大学大学院惑星学専攻、2. 神戸大学内海域環境教育研究センター、3. エトヴェシュ・ロラード大学、4. ハンガリー地球天文学研究センター

1. Department of planetology, Kobe University, 2. Research Center for Inland Seas, Kobe University, 3. Department of Physical Geography, Eotvos Lorand University, Budapest, H-1117, Hungary, 4. Geographical Institute, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences (HAS), 45 Budaorsi St., H-1112 Budapest, Hungary

Marine Isotope Stage (MIS) 19 is a unique interglacial that occurs around the minimum amplitude insolation variation of eccentricity component at 65 deg N, and thus has been a target for a number of paleoclimate studies. In East Asia, numerous studies revealed detailed paleomonsoon variations for MIS 19 using loess-paleosol deposits in Chinese Loess Plateau (CLP), and discussed continental climate changes. Despite the well-studied CLP, the detailed paleoclimate reconstruction of MIS19 is missing in Europe. The similarities and differences between the characteristic of the East Asian monsoon and the European paleoclimate have not been revealed yet. We analyzed loess-paleosol deposits in the European Loess Belt (ELB) in order to reconstruct detailed inland climate changes in Europe during MIS 19, to evaluate its relation to the global paleoclimate.

Quasi-continuous sampling was elaborated at Paks brickyard, about 150-km south of Budapest (Hungary), where about 60-m thick loess paleosol sequence lies on the right bank of River Danube. The studied sequence is dated back to Early to Late Pleistocene. The Matuyama-Brunhes magnetic polarity transition was reported in various stratigraphic positions around the PD<sub>1</sub> and PD<sub>2</sub> paleosol complex. Oriented samples were collected at 2.5-cm depth intervals from an about 380 cm thick section, ranging from paleosol PD<sub>1</sub> to PD<sub>2</sub>. We conducted magnetic and grain size analyses of the samples. Low field magnetic susceptibility (kLF) and frequency dependence of magnetic susceptibility (kFD) show consistent variations, having a large peak in each of paleosol PD<sub>1</sub> and PD<sub>2</sub>, and a minimum at the loess horizon between them. We tentatively correlate the lower peak with MIS 19.3, the upper with MIS 19.1, and the minimum with MIS 19.2. The kLF gradually decreases upward from the lower peak, and has a temporal stagnation of decrease on the way at 208~256 cm in depth, that probably lies between MIS 19.3 and 19.2. The result of grain size analyses shows that the median size inversely correlates well with kLF and kFD, namely large kLF and kFD samples have small grain sizes, and vice versa. The relation is the same with the loess-paleosol deposits in CLP. However, we find that the content of fine grains (< 8 μm) shows no vertical changes, namely almost constant, while coarse grains (> 8 μm) show variations, consistent with median size. We interpret the results as surface winds, carrying coarse grain over short distances, weakened in the warm-moist periods, and strengthened in the cool-dry period, whereas, compare to that winds, the intensity of high altitude winds, carrying fine grain over long distances, such as the Westerlies, has no large variation.

The paleoclimate records from Hungary were compared to those from Lingtai in the CLP during MIS 19. The kLF and kFD of both sites show quite consistent variations. In addition, the characteristic temporal stagnant of kLF decrease observed in Paks is also confirmed in the Lingtai record. The grain size records of both sites show consistent changes that the grain size decreases in the pedogenic zones, and increases in the less pedogenic zone. This record reveals the similarities between the influence of various wind

system in the ELB and in CLP: the surface wind (winter monsoon), probably weakened in the warm-moist periods, and strengthened in the cool-dry period. The similarities between the paleoenvironment in ELB and CLP reveal a possible link between Europa and East Asian inland climates during MIS 19.

キーワード：レスー古土壤層、海洋同位体ステージ19、帯磁率、粒度分析

Keywords: Loess-paleosol deposits, MIS 19, magnetic susceptibility, grain size analyses

## High-resolution magneto-climatostratigraphy for MIS 19 loess-paleosol layer in Paks, Hungary

\*Balazs Bradak<sup>1,2</sup>, Masayuki Hyodo<sup>2,3</sup>, Tamas Vegh<sup>4</sup>, Diana Csonka<sup>4</sup>, Jozsef Szeberenyi<sup>5</sup>, Erzsebet Horvath<sup>4</sup>

1. Research fellow of Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), Kobe University, Japan, 2. Research Center for Inland Seas, Kobe University, Nada, Kobe, 657-8501, Japan, 3. Department of Planetology, Kobe University, Nada, Kobe, 657-8501, Japan, 4. Department of Physical Geography, Eötvös University, Budapest, H-1117, Hungary, 5. Geographical Institute, Research Centre for Astronomy and Earth Sciences (HAS), 45 Budaorsi St., H-1112 Budapest, Hungary

Detailed paleomagnetic and rockmagnetic investigations of the Paks loess/paleosol succession in Hungary revised the stratigraphic position of the Matuyama Brunhes Transition (MBT).

The first deflections of the virtual geomagnetic pole (VGP) during the precursor phase of the MBT occurs in a well-developed soil horizon. The transit phase of MBT is situated in the upper and transient horizon of the soil mentioned above, and the overlaying loess layer. The transit period is followed by the rebound phase, characterized by instable magnetic field.

The new paleomagnetic results provided evidences for a new detailed terrestrial MIS19 chronostratigraphy in loess, including MIS19.3, 19.2 and 19.1 and revealed a possible link between various terrestrial and marine records from the Atlantic and Pacific area also.

Keywords: Matuyama Brunhes Transition, magneto-climatostratigraphy, pan-European loess

## Paleoceanographic change in the western North Pacific during MIS 20-18 based on Mg/Ca-temperature, oxygen and carbon isotope records from Chiba composite section deposited in Boso Peninsula, southeastern part of Japanese islands

\*久保田 好美<sup>1</sup>、羽田 裕貴<sup>2</sup>、菅沼 悠介<sup>3</sup>、岡田 誠<sup>2</sup>、板木 拓也<sup>4</sup>、亀尾 浩司<sup>5</sup>、林 広樹<sup>6</sup>

\*Yoshimi Kubota<sup>1</sup>, Yuki Haneda<sup>2</sup>, Yusuke Suganuma<sup>3</sup>, Makoto Okada<sup>2</sup>, Takuya Itaki<sup>4</sup>, Koji Kameo<sup>5</sup>, Hiroki Hayashi<sup>6</sup>

1. 国立科学博物館、2. 茨城大学、3. 国立極地研究所、4. 産業技術総合研究所、5. 千葉大学、6. 島根大学

1. National Museum of Nature and Science, 2. Ibaraki University, 3. National Institute of Polar Research, 4. Geological Survey of Japan, AIST, 5. Chiba University, 6. Shimane University

Marine Isotope Stage (MIS) 19 is one of the analogues for the present interglacial period in terms of orbital parameter: low-amplitude precessional insolation variability modulated by the 413-kyr eccentricity cycle. Thus, knowledge of natural climate variability during the time period between MIS 20 to 18 helps to understand the future climate change.

The Kuroshio Current, a western boundary current in the North Pacific, transports warm saline waters from low- to high-latitude and thus plays a crucial role in heat transport in East Asia. Previous studies revealed high SST variability during the last 144 ky off central Japan, with peak SSTs during early MIS 1 and the MIS 5a/4, 5c/5b and 5e/5d transitions, primarily caused by the latitudinal shift of the Kuroshio–Oyashio Currents.

Here, we present Mg/Ca-based temperature, and oxygen and carbon isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) records of planktic foraminifers *Globigerina bulloides* and *Globorotalia inflata* in Chiba composite section and reconstruct gradients of surface and intermediate water temperature ( $\Delta T$ ) and vertical  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\Delta \delta^{13}\text{C}$ ). Compared to Oyashio water, the Kuroshio is characterized by more oligotrophic, stratified with warm surface water. Therefore, the high  $\Delta \delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta T$  with warm surface water suggest the increase in the Kuroshio influence. The results indicate that both  $\Delta \delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta T$  increased during the transition from MIS 20 to 19, which suggests the increase in influence of the Kuroshio water. The  $\delta^{18}\text{O}$  of *G. bulloides* shows low values with high amplitude still in the late MIS 19, suggesting the warm surface water. This further suggests the strong influence of the Kuroshio water, which is also supported by relatively high  $\Delta \delta^{13}\text{C}$ ,  $\Delta T$  and microfossil assemblage. A recent study based on grain size analyses from Loess- palaeosol sequence in northern China suggest weak East Asian winter monsoon and Siberian High during late MIS 19, triggered by a very weak precessional insolation minimum leading to warm summer conditions unfavorable to Northern Hemisphere ice-sheet build-up at the inception of each of MIS 20, MIS 18. This study suggests that the strong Kuroshio Current during late MIS 19 might have played a crucial role in enhancement of poleward heat transport that helped to warm up the middle to high latitude and suppress the development of Siberian High.

キーワード：千葉複合セクション、黒潮、東アジア冬季モンスーン

Keywords: Chiba composite section, Kuroshio, East Asian winter monsoon

# Paleoceanographic change through the Marine Isotope Stage 19 in the Kuroshio-Oyashio subarctic boundary, the northwestern Pacific, based on benthic and planktic foraminiferal oxygen and carbon isotope records

\*羽田 裕貴<sup>1</sup>、菅沼 悠介<sup>2</sup>、久保田 好美<sup>3</sup>、岡田 誠<sup>4</sup>、長谷川 大輔<sup>4</sup>、平岡 陽佑<sup>4</sup>、中里 裕臣<sup>5</sup>

\*Yuki Haneda<sup>1</sup>, Yusuke Suganuma<sup>2</sup>, Yoshimi Kubota<sup>3</sup>, Makoto Okada<sup>4</sup>, Daisuke Hasegawa<sup>4</sup>, Yosuke Hiraoka<sup>4</sup>, Hiroomi Nakazato<sup>5</sup>

1. 茨城大学大学院理工学研究科、2. 国立極地研究所、3. 国立科学博物館、4. 茨城大学理学部理学科、5. 農研機構

1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. National Institute of Polar Research, 3. National Museum of Nature and Science, 4. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, 5. National Agriculture and Food Research Organization

Orbital configuration during the Marine Isotope Stage (MIS) 19 are characterized by weak eccentricity-precession forcing and the obliquity maximum, and they have occurred at around the precession minimum as well as MIS 1, the present interglacial period, although the both absolute values of obliquity are different (Tzedakis, 2010; Tzedakis et al., 2012). Thus, MIS 19c, the one of sub-stages during MIS 19, is assumed as the close analogue for the present interglacial and will suggest the timing of the next glacial inception in the future excluded anthropogenic influences.

Here, we report foraminiferal stable oxygen and carbon isotopic records from the Chiba composite section, and the Higashinagata Formation, Toyofusa Group in the Boso Peninsula, and the CHOSHI-1 core drilled through the Yokone Formation, Inubo Group, at Choshi city, northeastern part of Chiba. The Chiba composite section is one of the candidates for the middle Pleistocene GSSP (Global boundary Stratotype Sections and Points). We carried out stable oxygen and carbon isotopic analyses by using benthic foraminifers, *Bolivinita quadrilatera*, *Cibicides* spp. and *Uvigerina* spp., and planktic foraminifers, *Globigerina bulloides*, *Globigerinoides ruber* and *Globorotalia inflata*. Stable isotope measurements were performed by a Finnigan-MAT253 Isotope mass spectrometer coupled with a Kiel IV carbonate preparation device installed at the Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science. In order to develop age models, the resultant  $\delta^{18}\text{O}_{\text{benthic}}$  curves were correlated to the sea level equivalent curve (Elderfield et al., 2012).

$\delta^{18}\text{O}_{\text{planktic}}$  and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{benthic}}$  curves basically represent synchronized changes in the glacial-interglacial cycle scale. Especially,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{G. bulloides}}$  curves show millennial scale oscillations from the peak of the MIS 19 to MIS 18 superimposed on the glacial-interglacial cycles in both of the Chiba composite section and the CHOSHI-1 core. However, the  $\delta^{18}\text{O}_{\text{G. ruber}}$  curve from the Higashinagata Formation, in which the isotope data yielded only through the late MIS 19, exhibits a slight oscillation in contrast to those of the Chiba composite section and the CHOSHI-1 core during the same interval. This implies that since the Kuroshio front facing to the Kuroshio-Oyashio subarctic boundary was placed at near the latitude of the present Choshi region, the Chiba composite section and the CHOSHI-1 core were commonly affected by sea surface temperature (SST) changes associated with a latitudinal shift of the Kuroshio front during the MIS 19 –MIS 18 transition. In contrast, the Higashinagata Formation was less affected by the SST changes since the Kuroshio front have not reached down to the southernmost part of the Boso Peninsula during the interval.

## References

Elderfield et al., 2012, Science 337, 704. doi: 10.1126/science.1221294

Tzedakis, 2010, *Climate of the Past*, 6, 131–144.

Tzedakis et al., 2012, *Nature Geoscience* 5, 138–142. doi: 10.1038/ngeo1358.

キーワード：海洋同位体ステージ 19、有孔虫、酸素同位体、炭素同位体、黒潮フロント

Keywords: Marine Isotope Stage 19, Foraminifera, Oxygen isotope, Carbon isotope, Kuroshio front

## 東赤道太平洋IODP Site U1338における鮮新世の浮遊性有孔虫群集と古海洋

### Pliocene planktonic foraminiferal assemblages of IODP Site U1338 in the equatorial Pacific: implication to the closure of the Central American Seaway

\*川口 慶一郎<sup>1</sup>、林 広樹<sup>2</sup>

\*keiichirou kawaguchi<sup>1</sup>, Hiroki Hayashi<sup>2</sup>

1. 島根大学総合理工学部、2. 島根大学大学院総合理工学研究科

1. Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 2. Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

現在の東赤道太平洋の表層には冷水舌が発達し、西赤道太平洋の暖水塊と対照的である。この赤道太平洋における東西対立構造は、鮮新世中期の中央アメリカ海路の閉塞に起源があるとされる。東赤道太平洋のIODP Site U1338は中新世～鮮新世まで赤道帯に位置していたとされ、中央アメリカ海路閉塞に伴う古海洋変動を解析する対象として適している。この地点のコアでは底生有孔虫群集が解析されており (Tsujiimoto et al., 2013)、大西洋カリブ海のコアとの比較から、底生有孔虫における大西洋-太平洋の群集の隔離が約4.5 Maに生じたとされている。また、アルケノン水温の解析では、東赤道太平洋における冷水舌の発達が4.8-4.0 Maに開始したとされている (Rousselle et al., 2013)。一方、浮遊性有孔虫についてはHayashi et al. (2013)で生層序が検討されているものの、詳細な群集内容については報告されていない。

本研究ではSite U1338 Hole Bのコア9H～4Hまでの区間 (約5.5～2.2 Ma) の42試料で浮遊性有孔虫群集を検討した。検討の結果、19属72種の浮遊性有孔虫が検出された。群集は*Globorotalia tumida*, *Globigerinita glutinata*, *Menardella menardii*, *Globoturborotalita obliquus*などの熱帯～亜熱帯要素が卓越する。Qモード因子分析の結果、3因子が識別された。因子負荷量の変動に基づき、本研究の検討区間をA～Cの3群集帯に区分した。A帯 (約5.5～4.5 Ma) では亜熱帯要素と熱帯貧栄養表層水の要素 (現在の西赤道要素)、熱帯富栄養混合層の要素が交互に卓越する。B帯 (約4.5～3.1 Ma) では熱帯貧栄養表層水の要素と熱帯富栄養混合層の要素が交互に卓越する。C帯 (約3.1～2.2 Ma) では熱帯富栄養混合水の要素のみが卓越する。以上により、東赤道太平洋における温度躍層の浅化は約4.5 Maに成立し、その後上位に向かって西赤道暖水塊の影響が段階的に弱まっていったものと推定される。

キーワード：浮遊性有孔虫、鮮新世、東赤道太平洋、統合国際深海掘削計画

Keywords: planktonic foraminifera, Pliocene, eastern equatorial Pacific, IODP

# 前期～中期中新世を通じた赤道太平洋温度躍層の発達史

## History of the equatorial Pacific thermocline during the early to middle Miocene

\*松井 浩紀<sup>1</sup>、西 弘嗣<sup>2</sup>、黒柳 あずみ<sup>2</sup>、林 広樹<sup>3</sup>、池原 実<sup>4</sup>、高嶋 礼詩<sup>2</sup>

\*Hiroki Matsui<sup>1</sup>, Hiroshi Nishi<sup>2</sup>, Azumi Kuroyanagi<sup>2</sup>, Hiroki Hayashi<sup>3</sup>, Minoru Ikehara<sup>4</sup>, Reishi Takashima<sup>2</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科地学専攻、2. 東北大学学術資源研究公開センター、3. 島根大学総合理工学部、4. 高知大学海洋コア総合研究センター

1. Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University Museum, Tohoku University, 3. Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 4. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

現在の赤道太平洋域は東西で温度躍層の勾配が顕著である。一方鮮新世の温暖期では、現在よりも温度躍層は深く、東西の勾配は減少していた (e.g., Wara et al., 2005; Ford et al., 2015)。赤道太平洋域の温度躍層は全球の気候と密接に関連するため、長期的な温度躍層の発達史を理解することは重要である。しかしながら、これまで温度躍層の復元は後期中新世までに限られ (e.g., LaRiviere et al., 2012; Zhang et al., 2014)、前期～中期中新世については十分に検討されていなかった。本研究では、南極氷床や低緯度海峡と関連する、前期～中期中新世を通じた赤道太平洋の温度躍層発達史の解明を目指し、浮遊性有孔虫 *Paragloborotalia siakensis* (表層種) および *Dentoglobigerina venezuelana* (深層種) の酸素同位体比を分析した。

東赤道太平洋域の堆積物試料 (IODP Site U1337) から得られた両種の酸素同位体比の差に基づくと、鉛直温度勾配は中新世温暖期 (16.9～14.7 Ma) を通じて増加し、東南極氷床拡大 (約13.9 Ma) を通じて減少した。それぞれ東赤道の表層海水温上昇、低下を反映していると考えられる。東南極氷床拡大に伴う表層海水温の低下は、近傍の IODP Site U1338におけるアルケノン海水温復元 (Rousselle et al., 2013)、湧昇流の強化 (Holbourn et al., 2014) と整合的である。さらに、西赤道太平洋域 (ODP Site 806) の浮遊性有孔虫酸素同位体比 (Corfield and Cartlidge, 1993) と比較した結果、西赤道の鉛直温度勾配は東赤道よりも一貫して小さく、前期～中期中新世を通じた赤道湧昇の存在が示唆された。

また、東西赤道太平洋の酸素同位体比から2つの斜勾配を求め、温度躍層の深度と勾配について推定した。16.7～15.7 Ma にかけて温度躍層は浅化する一方、16.5～13.8 Ma については勾配が緩やかになった。低緯度海峡 (インドネシア海峡、中央アメリカ海峡) の閉鎖 (17～15 Ma) (Potter and Szatmari, 2009)、南極氷床量の減少 (16.4～13.9 Ma) (Holbourn et al., 2007; Tian et al., 2013) がそれぞれ温度躍層の浅化、勾配に影響した可能性がある。後期中新世以降の長期的な温度躍層の浅化 (LaRiviere et al., 2012) と合わせると、中新世を通じた赤道温度躍層の浅化が示唆された。

キーワード：東赤道太平洋、中新世、温度躍層、浮遊性有孔虫、酸素同位体比

Keywords: eastern equatorial Pacific, Miocene, thermocline, planktic foraminifera, oxygen isotope ratio

## Stratigraphy and paleo-environmental study of Paleogene sequences in Hokkaido, Japan

\*西 弘嗣<sup>1</sup>、高嶋 礼詩<sup>1</sup>、林 圭一<sup>2</sup>、折橋 裕二<sup>3</sup>、山中 寿朗<sup>4</sup>

\*Hiroshi Nishi<sup>1</sup>, Reishi Takashima<sup>1</sup>, Keiichi Hayashi<sup>2</sup>, Yuji Orihashi<sup>3</sup>, Toshiro Yamanaka<sup>4</sup>

1. 東北大学学術資源研究公開センター 東北大学総合学術博物館、2. 北海道立総合研究機構地質研究所、3. 東京大学地震研究所、4. 東京海洋大学

1. The Center for Academic Resources and Archives, The Tohoku Museum Tohoku University, 2. Geological Survey of Hokkaido, 3. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 4. Tokyo University of Marine Science and Technology

Paleogene period is characterized by the transitional interval from warm greenhouse period to cool icehouse period in the climate history of earth. Although detailed stratigraphic and paleo-environmental studies of Paleogene sequences have been carried out in the Atlantic, Indian oceans and Tethys Sea, while little is known about the paleo-environmental change in the northwest Pacific Ocean.

Thick Paleogene sequences are exposed in the central and eastern Hokkaido, Japan. These sequences were accumulated in the fore-arc and/or intra-arc basins in the northwestern Pacific Ocean. In this study, we analyzed U-Pb ages of tuff beds and carbon isotope, benthic foraminifera and dinoflagellate cyst fossils of the Paleogene sequences of the Nemuro, Poronai, Urahoro and Onbetsu groups. Based on our U-Pb ages and carbon isotope stratigraphy and previous work of calcareous nannofossil biostratigraphy, the middle-upper parts of the Nemuro, Poronai, Urahoro and Onbetsu groups are correlated with Danian to Ypresian, Lutetian to Rupelian, Bartonian to Rupelian and lower to middle part of Rupelian, respectively. Four major environmental events are identified in the studied sequences as below.

- (1) Danian-Selandian: This period is characterized by eutrophication of surface ocean, represented by prominent increase in P/G ratio of dinoflagellate in the Nemuro Group. This interval corresponds to the warm-climate period of early Paleocene.
- (2) PETM: No significant faunal change is identified around this period in the Nemuro Group. Since exposure around this horizon is quite poor, there is a possibility that exact PETM horizon is not exposed in this studied section.
- (3) Middle Eocene Climatic Optimum (MECO): This interval is correlated with the basal part of the Poronai Formation. Onset of deposition of the Poronai Formation might reflect the sea level rise in this period although tectonic subsidence might have been the major contribution of the Poronai basin formation.
- (4) Bartonian cooling: In the middle part of Poronai Formation is marked by occurrences of glendonite. This interval yields abundant benthic foraminifera of *Bullimina*. These evidences suggest that cooling and increased primary productivity occurred in this region.
- (5) Eocene/Oligocene boundary: Prominent sedimentary facies change from hemipelagic mudstone to shallow-marine sandstone occurred across the boundary between the Poronai and Momijiyama formations. These facies change may reflect sea-level fall around the Oi-1 glaciation. The same horizon is identified in the upper part of the Urahoro Group.

キーワード：古第三紀、層序、渦鞭毛藻

Keywords: Paleogene, stratigraphy, dinoflagellate

## アパタイト微量元素組成によるテフロクロロジー Utility of apatite trace-element for tephrochronology

\*高嶋 礼詩<sup>1</sup>、西 弘嗣<sup>1</sup>、桑原 里<sup>2</sup>

\*Reishi Takashima<sup>1</sup>, Hiroshi Nishi<sup>1</sup>, Sato Kuwabara<sup>2</sup>

1. 東北大学総合博物館、2. 東北大学大学院理学研究科

1. Tohoku University Museum, 2. Tohoku University,

Apatite is a common accessory mineral in intermediate and felsic igneous rocks. Because apatite has a wide range of trace-element compositions as well as strong resistance to diagenetic alteration, the trace-element composition of apatite has been used for tracing petrogenetic processes of plutonic bodies as well as the tephrochronology of Paleozoic tephtras. We studied apatite trace-element compositions of representative Quaternary ignimbrites and their corresponding co-ignimbrite ashes in Japan. The results demonstrated following three points.

1. Trace-element compositions of apatite phenocrysts are useful for discriminating and correlating tephtras and ignimbrites. Even different tephtra deposits and ignimbrites derived from the same caldera can be distinguished.
2. Trace-element compositions of apatite phenocrysts are not affected by welding, making them valid for correlations between densely welded and non-welded tuffs.
3. In successive ejecta of each eruption cycle, the Cl, Mg, Mn, Y, and Ce contents of apatite phenocrysts generally are constant throughout successions except for the uppermost parts, whereas Fe contents vary from horizon to horizon. This compositional stratigraphy makes it feasible to identify the eruptive stage at which co-ignimbrite ash was ejected by correlating apatite trace-element compositions between ignimbrite successions and co-ignimbrite ashes.

Given the resistance of apatite to diagenetic alteration, this correlation method is a promising tool for correlating pre-Quaternary volcanic and volcanoclastic rocks and identifying their source volcanoes. In order to apply this method to tephrochronology of pre-Quaternary tephtra, we examine Miocene and Cretaceous tuffs in Japan (Kinone Formation in Chiba and the Yezo Group in Hokkaido). Our result demonstrated that pre-Quaternary tuffs can also be used for wide-correlation of tephtra as well as identification of source caldera.

キーワード：アパタイト、テフロクロロジー、カルデラ

Keywords: apatite, tephrochronology, caldera

## 始新世初期における海洋硫酸硫黄同位体比急変イベント

## Dramatic oceanic sulfur-isotopic shift event at the Early Eocene

\*中瀬 千遥<sup>2</sup>、長谷川 卓<sup>1</sup>、後藤 (桜井) 晶子<sup>1</sup>、外山 浩太郎<sup>1</sup>、沖野 遼<sup>3</sup>

\*Chiharu Nakase<sup>2</sup>, Takashi Hasegawa<sup>1</sup>, Akiko S. Goto<sup>1</sup>, Kotaro Toyama<sup>1</sup>, Ryo Okino<sup>3</sup>

1. 金沢大学自然システム学系、2. 金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻、3. 三菱マテリアルテクノ

1. Faculty of Natural System, Institute of Natural Science and Technology, Kanazawa University, 2. Division of Global Environmental Science and Engineering, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, 3. Mitsubishi Material Techno Co.Ltd.

海洋中の硫黄の大部分は硫酸態で存在し、膨大なリザーバーを形成している。その滞留時間は約10myrと非常に長い。海洋硫酸イオンの硫黄同位体比( $\delta^{34}\text{S}$ )についてPaytan et al. (1998: Science, 282) は遠洋性バライトの経年変動を公表し、約50Ma において+17%から+22%への大きな正シフトを提示した。この変動の大部分は約1 myr の非常に短い期間で急激に生じている。一方Ogawa et al. (2009: EPSL, 285)は北極海堆積物コアの分析を行い、北極海での大量の黄鉄鉱埋没が始新世における約3%の海洋全体の $\delta^{34}\text{S}$ 変動をもたらした可能性を提示した。それは55-44Maの10 myr余りに堆積した黄鉄鉱量から推定されたものであり、上述の短期間かつ大規模な正シフトを説明する仮説としては矛盾点もあり、海洋バライトの示す硫黄同位体曲線の検証が求められていた。そこで本研究の目的を始新世初期における世界の平均的な $\delta^{34}\text{S}$ 変動を明らかにすることとした。そのためにODP, IODP試料を用いて層序学的に連続なCAS (carbonate-associated sulfate)の $\delta^{34}\text{S}$ 値を求めた。同一試料からCASとバライト両方の抽出を試み、複数の海域、複数のサイトでの $\delta^{34}\text{S}$ の比較を行った。CASとバライト両方が抽出できた試料は赤道太平洋の1試料のみであったが、ODP Site 1258, 1259 (赤道大西洋), Site 1262, 1263, 1265, 1267 (南大西洋)でCASの $\delta^{34}\text{S}$ 変動曲線を得ることができた。その変動はPaytan et al. (1998) とは異なり5 myr 以上に渡るもので、変動規模は最大でも5%以下という結果であった。その $\delta^{34}\text{S}$ 変動期間は北極海での約10 myrに渡る黄鉄鉱埋没と調和的なものであり、Ogawa et al. (2009) の議論した北極海水の流出によってより合理的に説明できる。またPaytan et al. (1998) が示す50Ma 付近における変動が、局所的な $\delta^{34}\text{S}$ の不均質性を反映している可能性がある。

キーワード：硫黄同位体比、始新世、硫黄、硫酸イオン、重晶石

Keywords: sulfur isotope, Eocene, sulfur, sulfate ion, barite

## タイ中央部の石炭系硫酸塩岩体の形成史

## Characterization of Carboniferous sulfate mineral deposits in central Thailand

\*黒田 潤一郎<sup>1,2</sup>、原 英俊<sup>3</sup>、上野 勝美<sup>4</sup>、Charoentitirat Thasinee<sup>5</sup>、丸岡 照幸<sup>6</sup>、宮崎 隆<sup>2</sup>、宮東 照<sup>4</sup>、Lugli Stefano<sup>7</sup>

\*Junichiro Kuroda<sup>1,2</sup>, Hidetoshi Hara<sup>3</sup>, Katsumi Ueno<sup>4</sup>, Thasinee Charoentitirat<sup>5</sup>, Teruyuki Maruoka<sup>6</sup>, Takashi Miyazaki<sup>2</sup>, Akira Miyahigashi<sup>4</sup>, Stefano Lugli<sup>7</sup>

1. 東京大学 大気海洋研究所、2. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、3. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター、4. 福岡大学 理学部 地球圏科学科、5. Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University、6. 筑波大学 生命環境科学研究科、7. Dipartimento di Scienze Ghimiche e Geologiche, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 4. Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 5. Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 6. Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 7. Dipartimento di Scienze Ghimiche e Geologiche, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

タイ中央部のナコンサワン北東に分布する硫酸塩鉱物岩体の岩石学的・地球化学的研究を行い、その年代や成因を検討した。この硫酸塩岩体は層状硬石膏と、その上位の変形した石膏からなり、安山岩質ダイクに貫入される。ジルコンU-Pb年代は中期三畳紀の貫入年代を示し、三畳紀のスコタイ弧の広域的マグマ活動に関連したものと思われる。硫酸塩鉱物の硫黄同位体比とストロンチウム同位体比を顕生代の海水の同位体進化曲線と比較した結果、石炭紀ミシシピアン期のサープコピアン期の海水の値に一致した(Kuroda *et al.*, 2017)。この年代は、周辺の石灰岩に産する石灰質化石の年代とも整合的である(Ueno and Charoentitirat, 2011)。この硫酸塩岩体の履歴は以下ようになる。まず、石炭紀サープコピアン期に浅海域で高塩海水から初生的石膏が晶出し、その後、埋没続成で硬石膏に再結晶した(層状硬石膏)。この硬石膏は中期三畳紀に安山岩質ダイクの貫入を受け、最近になって再び地表近くにもたらされ、上部が水和して石膏が再晶出した。石膏の変形構造は、水和の際の膨張によるものと考えられる。タイ北東部に分布する硫酸塩岩体(Surakotra *et al.*, 2017)との比較を行い、その発達史について考察する。

Kuroda, J., Hara, H., Ueno, K. et al. (2017) Characterization of sulfate mineral deposits in central Thailand. *Island Arc*, in press. doi: 10.1111/iar.12175.

Surakotra, N., Pisutha-Arnond, V., and Warren, J.K. (2005) Some Characteristics of Gypsum-Anhydrite Deposit in the Loei-Wang Saphung, Northeastern Thailand. In L. Wannakao, W. Youngme, K. Srisuk, and R. Lertsirivorakul (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of INDOCHINA (GEOINDO 2005)*, pp. 421-430.

Ueno, K., and Charoentitirat, T. (2011) Carboniferous and Permian. In M.F. Ridd, A.J. Barber, and M.J. Crow (Eds.), *The Geology of Thailand*, pp. 71-136, Geol. Soc. London.

キーワード：石炭紀、硫酸塩蒸発岩、ストロンチウム同位体、硫黄同位体

Keywords: Carboniferous, sulfate evaporite, strontium isotope, sulfur isotope

# 浮遊性有孔虫飼育実験を基にした白亜紀無酸素事変時の海洋酸素環境推定 Implications for paleo-oceanographic oxygen conditions during the Cretaceous OAEs: Results from laboratory culture experiments

\*黒柳 あずみ<sup>1,4</sup>、豊福 高志<sup>2</sup>、長井 裕季子<sup>2,3</sup>、木元 克典<sup>2</sup>、西 弘嗣<sup>1</sup>、高嶋 礼詩<sup>1</sup>、川幡 穂高<sup>4</sup>

\*Azumi Kuroyanagi<sup>1,4</sup>, Takashi Toyofuku<sup>2</sup>, Yukiko Nagai<sup>2,3</sup>, Katsunori Kimoto<sup>2</sup>, Hiroshi Nishi<sup>1</sup>,  
Reishi Takashima<sup>1</sup>, Hodaka Kawahata<sup>4</sup>

1. 東北大学学術資源研究公開センター東北大学総合学術博物館、2. 独立行政法人海洋研究開発機構、3. 横浜国立大学、4. 東京大学大気海洋研究所

1. Tohoku University Museum, The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 3. Yokohama National University, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The university of Tokyo

The oceanic redox state is a critical determinant of the evolutionary history of life on Earth, and “anoxic events” have been proposed as one of the causal mechanisms for mass extinctions. During the mid-Cretaceous, oceanic anoxic events (OAEs) occurred several times with substantial turnover of planktonic foraminiferal species. However, the direct effects of the anoxic condition on planktonic foraminifera remain obscure. In this study, we cultured 6 species ( $n = 31$ ) in all at three treatments:  $\sim 2$  mg hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ )  $\text{L}^{-1}$  (H1 treatments),  $\sim 9$  mg  $\text{H}_2\text{S}$   $\text{L}^{-1}$  (H2 treatments), and control (without  $\text{H}_2\text{S}$ ). All planktonic foraminifera could not survive more than 48 hours. Furthermore, gametogenesis ratio of each  $\text{H}_2\text{S}$  treatments showed considerable low value (8% and 17%), and time to gametogenesis was also very short (less than one day) under  $\text{H}_2\text{S}$  occurrence. It revealed that foraminiferal biological response of anoxic with the presence of  $\text{H}_2\text{S}$  should be fundamentally different from that of the dysoxic (i.e., low dissolved oxygen;  $\sim 0.7$  mg  $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$  or  $\sim 22$   $\mu\text{mol}$   $\text{O}_2$   $\text{L}^{-1}$ ). Our results also proposed the species-specific tolerance for  $\text{H}_2\text{S}$  and that if harmful influence of  $\text{H}_2\text{S}$  restricted in relatively short time (i.e., less than 24 hours) such as tidal cycle, some foraminifera (e.g., *Neoglobobadrina dutertrei*) might have the potential to survive even under the episodic/temporary occurrence of  $\text{H}_2\text{S}$ . Complete disappearance of planktonic foraminifera at Cretaceous OAE2 could result from the photic-zone euxinia (free  $\text{H}_2\text{S}$ ), and presence/absence record of planktonic foraminifera could contribute to examine the detailed oceanic redox state in the photic zone around anoxic events.

キーワード：無酸素事変、硫化水素、浮遊性有孔虫

Keywords: oceanic anoxic events, hydrogen sulfide, Planktonic foraminifera

## 海洋無酸素イベントにおける基礎生産者の挙動

### Behaviors of marine primary producers during ocean anoxic events

\*田近 英一<sup>1</sup>、小林 貴大<sup>2</sup>、尾崎 和海<sup>3</sup>

\*Eiichi Tajiki<sup>1</sup>, Takahiro Kobayashi<sup>2</sup>, Kazumi Ozaki<sup>3</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻、3. ジョージア工科大学 地球・大気科学部

1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. Department of Complexity Science and Engineering, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 3. School of Earth & Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology

海洋無酸素イベントにおいては、シアノバクテリアや緑色硫黄細菌のバイオマーカーが発見されている。このことから、海洋が貧酸素化する過程において、海洋の生態系、とりわけ基礎生産を担う光合成生物種が入れ替わったことが示唆されている。シアノバクテリアの活動は海洋の有光層が窒素に枯渇したことを示唆し、緑色硫黄細菌の活動は有光層が硫化水素に富む状態（ユーキシニック）になったことを示唆する。しかし、そのような状況が生じる定量的な条件はまだよく分かっていない。

そこで、炭素・リン・窒素・硫黄循環を考慮した海洋表層生物化学循環モデルを用いて、有光層における必須元素（リン、窒素）の鉛直プロファイルの変化と、基礎生産者の挙動について調べた。その際、リンと窒素が十分にある好気的条件下では真核藻類が基礎生産を担うが、窒素に枯渇した状況においては藻類は窒素制限となり窒素固定を行うことのできるシアノバクテリアが基礎生産を担うようになり、硫化水素に富む条件下では硫化水素による成長阻害によって緑色硫黄細菌が基礎生産を担うものとした。また、海洋中深層水のリン酸濃度は、大陸の化学風化作用によって河川を通じて海洋に供給されるリン酸フラックスによって決まるものとし、全球平均気温の関数として与えた。基礎生産者の成長速度の温度依存性なども考慮した。

多数のパラメータスタディの結果、温暖化に伴って海洋は貧酸素化が急激に進行するとともに、脱窒が卓越して窒素に枯渇するようになり、シアノバクテリアの活動が顕著となる。さらに湧昇域においては、温暖化に伴ってユーキシニックな水塊が発生し有光層まで上昇することで、緑色硫黄細菌が活動することが示された。条件によっては藻類、シアノバクテリア、緑色硫黄細菌が有光層内で共存するなど、基礎生産者の興味深い挙動も明らかになった。

キーワード：海洋無酸素イベント、有光層ユーキシニア、バイオマーカー、海洋生物化学循環モデル

Keywords: Ocean anoxic events, euphotic euxinia, biomarkers, marine biogeochemical cycle modeling

## 海洋表層環境が浮遊性有孔虫 (*G. bulloides*) の殻形成に与える影響の評価

### Impact on planktic foraminiferal test (*G. bulloides*) calcification caused by sea-surface condition

\*岩崎 晋弥<sup>1</sup>、木元 克典<sup>2</sup>、佐々木 理<sup>3</sup>、鹿納 晴尚<sup>3</sup>

\*Shinya Iwasaki<sup>1</sup>, Katsunori Kimoto<sup>2</sup>, Osamu Sasaki<sup>3</sup>, Harumasa Kano<sup>3</sup>

1. 産業技術総合研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 東北大学総合学術博物館

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. The Tohoku University Museum

海洋酸性化は炭酸塩生物の石灰化を阻害し、炭酸塩生物を代表する浮遊性有孔虫の殻形成にも影響する。酸性化による有孔虫殻への影響の理解は、現在だけでなく過去の酸性化イベントで炭酸塩生物に生じた影響を復元する上で重要である。従来の研究では、酸性化が有孔虫の殻状態に与える影響を評価する指標としてサイズ標準化殻重量が利用されてきた。しかし、この手法では殻の厚さや房室数、殻密度などの情報が得られないため、酸性化が有孔虫に及ぼす影響について断片的な理解にとどまってきた。本研究は北太平洋亜寒帯域を東西に横断する6地点で鉛直多層引きプランクトンネット観測（採取水深：0-50, 50-100, 100-150, 150-200 m）を実施し、この海域で主に産出する浮遊性有孔虫*G. bulloides*を採集した。また有孔虫の殻状態を定量的かつ多角的に評価する手法としてマイクロフォーカスX線CTスキャナ（MXCT）による殻内部構造の観察および殻密度の測定を導入し、*G. bulloides*の殻状態と現場海水環境との比較を初めて実施した。

測定の結果、*G. bulloides*の殻は生息環境に応じて異なるタイプの殻を形成すること、従来利用されてきたサイズ標準化殻重量指標は殻の厚さを表現しており、殻密度変動を表現していないこと、そして現場海水の炭酸塩飽和度と殻密度が相関することが示された。これらの結果は、過去から現在を通して海洋酸性化が浮遊性有孔虫の殻形成に与える影響を評価するにはMXCTによる殻密度測定が有効であることを示唆している。

キーワード：浮遊性有孔虫、海洋酸性化、殻密度

Keywords: Planktic foraminifera, Ocean acidification, test density

## 微量炭酸塩分析システムを活用した新規国際標準試料IAEA-603と NBS19の炭素・酸素同位体比の比較

### Grain-scale stable carbon and oxygen isotopic variations of the international reference materials IAEA-603 (newly released) and NBS 19

\*西田 梢<sup>1</sup>、石村 豊穂<sup>1</sup>

\*Kozue Nishida<sup>1</sup>, Toyoho Ishimura<sup>1</sup>

1. 茨城工業高等専門学校

1. National Institute of Technology, Ibaraki College

The international reference material IAEA-603 prepared from Carrara marble (calcite) was newly released on 2016 to replace the reference material NBS19 (exhausted). From the reference sheet of IAEA-603 (Fajgelj and Assonov, 2016), assigned carbon and oxygen isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) values are  $+2.46\pm 0.01\text{‰}$  and  $-2.37\pm 0.04\text{‰}$ , respectively at a sample size of about 120  $\mu\text{g}$ . For sub-microgram scale isotopic analysis, we examined the grain-scale stable carbon and oxygen isotopic variations of IAEA-603. The individual grains of IAEA-603 (grain size: 200 to 760  $\mu\text{m}$ ) were measured with an IsoPrime100 isotope ratio mass spectrometer with customized continuous-flow gas preparation system (MICAL3c, Ishimura et al., 2004, 2008) at National Institute of Technology, Ibaraki College, Japan, and the individual weight of each grain estimated from the reacted  $\text{CO}_2$  gas volume was 4-90  $\mu\text{g}$ . The standard deviations ( $1\sigma$  uncertainties) of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of the individual grains of IAEA-603 are  $\pm 0.07\text{‰}$  and  $\pm 0.16\text{‰}$ , respectively ( $N = 16$ ), and the grain-scale analytical results also indicated homogeneous values as same as stable isotopes of the single grains of NBS19 (the standard deviation:  $\pm 0.10\text{‰}$  in  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\pm 0.16\text{‰}$  in  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $N = 16$ , Ishimura et al., 2008). In IAEA-603,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  ranged within 0.2‰ and 0.4‰, respectively. Both  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of the individual grains showed non-significant grain-size dependencies. From the scanning electron microscope observations, the individual grains of IAEA-603 were dominantly polycrystalline with translucent grains composed of coarse crystals, and contained a certain amount of white opaque grains containing fine crystals. On the other hand, NBS19 showed single-crystal-like grains. Thus, as the reference sheet of IAEA-603 (Fajgelj and Assonov, 2016) mentioned, the storage in sealed ampules is important for avoiding exchange with atmospheric moisture and atmospheric  $\text{CO}_2$ , especially in polycrystalline IAEA-603.

キーワード：安定同位体、国際標準試料、炭酸塩、IAEA-603、SEM

Keywords: stable isotopes, international reference material, carbonate, IAEA-603, SEM

## 加熱による石筍中の流体包有物の酸素同位体再平衡

## Isotopic re-equilibration of fluid inclusions in natural speleothem by artificial heating

\*植村 立<sup>1</sup>、喜納 悠大<sup>1</sup>、大嶺 佳菜子<sup>2</sup>

\*Ryu Uemura<sup>1</sup>, Yudai Kina<sup>1</sup>, Kanako Omine<sup>2</sup>

1. 琉球大学 理学部、2. 琉球大学 理工学研究科

1. Department of Chemistry, Bioogy, and Marine Science, University of the Ryukyus, 2. University of the Ryukyus

石筍中に含まれる流体包有物中の水の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$ ) は、過去の気温変動を直接推定できる点で重要である。理論的には、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$  は、周囲の $\text{CaCO}_3$ の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{ca}}$ ) との間で同位体交換平衡の影響を受けている可能性があり、同位体交換反応の大きさと速度を定量化することは、定量的な気候復元の評価を行うために必須である。しかし、流体包有物は微量であるため、実験的に同位体交換の影響を評価することは極めて困難であった。そこで本研究では、本研究室で開発した分析手法と沖縄の石筍試料を用いて、同位体交換平衡の影響を評価した。

測定前に石筍試料を加熱することによって、同位体交換の影響を評価した。同一深度から切り出した3-5個の試料を、ターボ分子ポンプで真空引きしながら、0-80時間加熱した。この操作を異なる温度 (25, 105°C) で行った。流体包有物の $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$ と $\delta\text{D}_{\text{f}}$ は、流体包有物抽出装置 (Uemura et al., 2016) を改良した装置を用いて測定した。

室温 (25°C) での実験においては、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$  は一定値であり、有意な傾向はなかった。105°C加熱において、同じ層における流体包有物の $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$  は、非加熱の状態から約30時間までの間にわずかに増加し、その後は一定値を示した。これは石筍の流体包有物と $\text{CaCO}_3$ との間で同位体交換が起こることを示した初めての実験結果である。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{f}}$ の変化量は、105°Cにおける全量再平衡反応で予測される変化よりもはるかに小さく、 $\text{CaCO}_3$ が水と反応する量は限られている事を示唆している。モデル計算の結果は、約5%の流体包有物中の水が、周囲の $\text{CaCO}_3$ と再平衡に達していることを示唆している。この結果は、仮に数万年間で石筍周囲の気温が変動し、同位体交換が起こっても、過去の気温の推定には、ほとんど影響しないことを示唆している。

キーワード：鍾乳石、流体包有物、安定同位体、氷期間氷期サイクル

Keywords: speleothem, fluid inclusion, stable isotope, glacial interglacial cycle

## 沖縄県南大東島の石筍に記録された完新世中期における気候変動と太陽活動の関係

### Relationship between climate changes and solar activity in a mid-Holocene stalagmite from Minami Daito, Okinawa

\*大嶺 佳菜子<sup>1</sup>、植村 立<sup>1</sup>、眞坂 昂佑<sup>1</sup>、浅海 竜司<sup>1</sup>、Chuan-Chou Shen<sup>2</sup>、Mahjoor Ahmad Lone<sup>2</sup>  
\*Kanakano Omine<sup>1</sup>, Ryu Uemura<sup>1</sup>, Kosuke Masaka<sup>1</sup>, Ryuji Asami<sup>1</sup>, Chuan-Chou Shen<sup>2</sup>, Mahjoor Ahmad Lone<sup>2</sup>

1. 琉球大学 理学部、2. 国立台湾大学

1. University of the Ryukyus, 2. Dept. of Geosci., National Taiwan University

高精度なU-Th年代法を適用できる石筍は、高時間分解能を必要とする古気候研究に適している。完新世におけるインド、アジアモンスーン地域では、降水量の指標である石筍の炭酸カルシウムの酸素同位体比が、太陽活動の指標である大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ と相関していることが示されてきた (Neff et al., 2001; Wang et al., 2005; Duan et al., 2014)。このことから、モンスーン変動が部分的に太陽活動の影響を受けていると考えられている。本研究では太陽活動とモンスーンの結びつきを評価するために、沖縄県南大東島で採取された石筍の炭酸カルシウムと流体包有物の同位体比測定を行った。

試料は、沖縄県南大東島星野洞において工事の際に折られた石筍 (HSN1、全長246 mm) を用いた。炭酸カルシウムの酸素同位体比は、試料を成長軸に沿って1 mm間隔でミリングし、Gas-bench IRMS (Delta V advantage) で測定した。流体包有物の同位体比は、試料を1.5–4.0 mm間隔で切断し、本研究室で作成した流体包有物抽出装置 (Uemura et al., 2016) を改良・自動化した手法で測定した。試料のU-Th年代は、国立台湾大学で測定した。

HSN1の年代は約6,000–8,000年前であった。成長速度 (ca. 130  $\mu\text{m}/\text{yr}$ ) が早く、高時間分解能での気候復元が可能である。炭酸カルシウムの酸素同位体比変動は大気中の $\Delta^{14}\text{C}$ 変動と変動パターンが~80年周期で類似していたことから、沖縄地域の気候変動も太陽活動の影響を受けることが示唆された。

#### 参考文献:

Neff et al., *Nature*, 411, 290–293, 2001

Wang et al., *Science*, 308, 854–857, 2005

Duan et al., *Scientific Reports*, 4, 5159, 2014

Uemura et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 172, 159–176, 2016

キーワード：石筍、同位体、太陽活動

Keywords: stalagmite, isotope, solar activity

## Paleoclimate records in stalagmites from Okinoerabu-jima, Ryukyu Islands, Japan

\*浅海 竜司<sup>1</sup>、赤嶺 裕二<sup>1</sup>、源河 秀尚<sup>1</sup>、松本 涼太郎<sup>1</sup>、植村 立<sup>1</sup>、井龍 康文<sup>2</sup>、Shen Chuan-Chou<sup>3</sup>  
\*Ryuji Asami<sup>1</sup>, Yuji Akamine<sup>1</sup>, Hidetaka Genka<sup>1</sup>, Ryotaro Matsumoto<sup>1</sup>, Ryu Uemura<sup>1</sup>, Yasufumi Iryu<sup>2</sup>, Chuan-Chou Shen<sup>3</sup>

1. 琉球大学理学部、2. 東北大学大学院理学研究科、3. 台湾国立大学

1. Faculty of Science, University of the Ryukyus, 2. Graduate School of Science, Tohoku University, 3. HISPEC, National Taiwan University

Stalagmites can have continuous deposition of calcium carbonate over long periods of time and well-selected stalagmites are accurately datable with high-precision U-Th dating methods (e.g., Shen et al., 2002). Stable oxygen isotope signatures in stalagmites have been used as a paleoclimate proxy (e.g., McDermott, 2004) because the isotopic values can be controlled by oxygen isotopes of the drip water and the cave temperature (e.g., Hendy, 1971). Since 2000, stalagmite-derived oxygen isotope time series have been widely used to reconstruct hydroclimate variations in East Asian monsoon regions during the Quaternary (e.g., Wang et al., 2001).

Here, we present oxygen and carbon isotope time series of 17 stalagmites collected at 4 caves in Okinoerabu-jima, the Ryukyu Islands, Japan. The Hendy Test performed in this study suggests that the isotope profiles along the center of stalagmite growth appear to be primarily of environmental origin with little effects of kinetic fractionation. Since 2014, we have observed cave environments using loggers and collected water samples to establish relationship between oxygen isotope composition of drip waters and stalagmites. We generate a well-dated time series of the oxygen and carbon isotope ratios in stalagmites using a high-precision U-Th dating method to reconstruct hydroclimate changes around the Ryukyus during the Quaternary, especially Holocene. Coupled with previously published stalagmite records from China (e.g., Wang et al., 2001) and Japan (Shen et al., 2010; Sone et al., 2013; Uemura et al., 2016), our study can allow a better understanding of past spatial climate changes associated with the East Asian Monsoon.

*Hendy et al. (1971) Geochim. Cosmochim. Acta, 35, 801-824.*

*McDermott (2004) Quat. Sci. Rev., 23, 901-918.*

*Shen et al. (2002) Chem. Geol., 185, 165-178.*

*Shen et al. (2010) Quat. Sci. Rev., 29, 3327-3335.*

*Sone et al. (2013) Quat. Sci. Rev., 75, 150-160.*

*Uemura et al. (2016) Geochim. Cosmochim. Acta, 172, 159-176.*

*Wang et al. (2001) Science, 294, 2345-2348.*

キーワード：石筍、古気候、酸素同位体組成、炭素同位体組成、完新世、琉球列島

Keywords: stalagmite, paleoclimate, oxygen isotope composition, carbon isotope composition, Holocene, Ryukyu Islands

## 西表島産鍾乳石の記載

### 一縞の観察・計測一

## Mention of a speleothem collected at Iriomote Island

### –Observation of laminae and laminae counting–

\*渡邊 達彦<sup>1</sup>、渡邊 裕美子<sup>1</sup>、松岡 廣繁<sup>1</sup>、田上 高広<sup>1</sup>

\*Tatsuhiko Watanabe<sup>1</sup>, Yumiko Watanabe<sup>1</sup>, Hiroshige Matsuoka<sup>1</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate School of science, Kyoto University

古気候の復元は、将来の気候変動予測などで重要な役割を担っている。世界中では様々な媒体を用いて古気候の復元が行われている。その中でも鍾乳石を用いた古気候復元は陸域の気候復元のために広く行われているものの、日本での研究例はまだ多いとは言えない。

鍾乳石は、母岩の石灰岩を溶出させた酸性の雨水や地下水が洞窟の中にしみ出る際に炭酸カルシウムを析出することにより天井や地面に成長する。鍾乳石には様々な種類があり、そのうちの石筍は古気候復元によく用いられている。石筍は成長縞を持ち、年ごとの成長縞である年縞を持つものもある。また、U-Th年代測定法により、高精度に年代決定を行うことが可能であるという利点もある。年縞をもつ試料には年ごとの古気候・古環境情報が保存されているため、高時間分解能な古気候復元に用いることが可能である。

本研究では、沖縄県西表島高那洞で採取された石筍（TK04）を用いた古気候の復元を目指して、成長縞の観察と記載、縞数の計測を実施した。縞の確認には通常の透過型顕微鏡及び蛍光顕微鏡を用いた。

本研究の結果、TK04には縞の黒色部分が透明部分より少なく間隔の広い（100  $\mu\text{m}$ 以上）縞（タイプa）、縞の黒色部分が透明部分より多く間隔の狭い縞（50  $\mu\text{m}$ 程度）（タイプb）、均質で縞があまり見られない部分（タイプc）が観察された。大部分の縞はタイプbの縞であり、タイプaの縞は石筍の先端部にのみ見られた。タイプcの構造は穴付近に見られた。また、タイプaの縞が見られる石筍の先端部の縞の数を3ヶ所で計測して比較したところ、15-18枚の縞があることが判明した。

キーワード：古気候、石筍

Keywords: Paleoclimatology, Stalagmite

## 中部日本で採集した2つの石筍記録に見られる1000年スケール変動 Millennium-scale changes recorded in oxygen isotopes of two stalagmites from central Japan

\*森 大器<sup>2</sup>、狩野 彰宏<sup>1</sup>、柏木 健司<sup>3</sup>

\*Taiki Mori<sup>2</sup>, Akihiro Kano<sup>1</sup>, Kenji Kashiwagi<sup>3</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科、2. 九州大学大学院地球社会統合科学府、3. 富山大学大学院理工学研究部

1. Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University, 3. Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama

日本国内で採集された石筍からは最後期更新世～完新世の東アジア夏期・冬期モンスーン変動が記録されてきた。本研究では、新たに2本の石筍（三重県霧穴のKA03および岐阜県大滝鍾乳洞のOT02）の酸素同位体記録を報告する。2つの石筍はいずれもMIS3の期間を示し、より古いKA03は80kaまで時代をさかのぼれる。

KA03の石筍記録は中国石筍やグリーンランド氷床と同様に、B/A温暖期の急激な変化とハインリッヒイベントに対比できる明瞭なインターバルを示した。ただし、D-Oサイクルに対応する1000年変動は、OT02には認められるもののKA03には明瞭に現れない。また、KA03の変化は37から20kaにかけて直線的に酸素同位体比が増加する傾向を示す。

霧穴付近で採集した雨水の酸素同位体比は夏に軽いという明瞭な季節変化と量的効果を示した。この地点での冬の降水量は小さいため、滴下水の酸素同位体比は主に梅雨時～秋の降水様式に関係すると思われる。降水量は37kaからLGMまで漸進的に現象し、B/A温暖期に急激に増加したと思われる。また、ハインリッヒイベント時の三重県中央部の降水量は小さかったと考えられる。2つの石筍記録は最終氷期における夏期モンスーン強度を反映する貴重な記録になると思われる。

キーワード：石筍、最終氷期、酸素同位体

Keywords: Stalagmite, Last glacial, Oxygen isotopes

## トゥファに記録される炭酸凝集同位体の年変化

### Seasonal change recorded in carbonate clumped isotope of tufa deposits

\*雨川 翔太<sup>1</sup>、加藤 大和<sup>1</sup>、狩野 彰宏<sup>1</sup>

\*Shota Amekawa<sup>1</sup>, Hirokazu Kato<sup>1</sup>, Akihiro Kano<sup>1</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科

1. Graduate School of Science, The University of Tokyo

炭酸塩鉱物とリン酸の反応で生じた二酸化炭素の炭酸凝集同位体は、母液の同位体組成とは無関係に、鉱物沈殿時の温度のみに依存するとされる (Ghosh et al. 2006)。しかし、動的効果などの影響により、酸素同位体比などと同様に理論的平衡値からずれるやすいことも知られている。炭酸凝集同位体の非平衡は、例えば石筍上の滴水水のようにCO<sub>2</sub>脱ガスが鉱物沈殿を誘発するようなケースで起こりやすく、酸素・炭素同位体比の非平衡を伴う。本研究では、酸素・炭素同位体比が同位体平衡にあるトゥファ堆積物の炭酸凝集同位体を測定した。測定対象は愛媛県西予市城川町および岡山県新見市下位田の同一地点で1999年12月から2000年12月までの期間に毎月採集した試料である。各々の採集時には水温・水質観測も行っている (Kano et al., 2003; Kawai et al., 2006)。分析に用いたのは、各々のサンプルの表面0.5mmの部分を削ったものであり、トゥファの典型的な成長速度 (4 mm/year) を考慮すると、約1.5ヶ月の期間をカバーすると思われる。

分析は70°Cでのリン酸反応で生じた二酸化炭素を液体窒素と-10°Cに冷却しカラムを用いて生成し、九州大学に配備されているMAT253を用いて測定した。なお、測定にはHe et al. (2012) のバックグラウンド補正を適用し、値はDennis et al. (2011) のabsolute reference frameに投影したものをを用いた。測定誤差は0.015パーミルであり、温度に換算すると約3°Cに相当する。また、合成方解石試料の測定結果をもとに作成した温度換算式はGuo et al. (2009) が提示した式に極めて近かった。

愛媛県の結果は3.7~20.9°Cの幅を示し、明確な年変化を示した。これは、試料採集地点での水温変化幅 (5~19°C) と極めて整合的であった。岡山県の測定結果も同様に水温観測記録と整合的であり、トゥファの炭酸凝集同位体は温度計として利用できることがわかった。トゥファ堆積場でもCO<sub>2</sub>脱ガスが起きているが、それが凝集同位体の非平衡につながらないようである。おそらく水のpHが8.3付近であることから、動的効果が起こりにくいものと考えられる。

キーワード：凝集同位体、トゥファ、温度計

Keywords: Clumped isotope, tufa, thermometer

## タイ産チーク木棺の年輪酸素同位体比による300年間のフローティングクロノロジーの構築

### A 300-year floating chronology of tree-ring oxygen isotope derived from teak log coffins in northwestern Thailand

\*佐野 雅規<sup>1</sup>、對馬 あかね<sup>1</sup>、Pumijumnong Nathsuda<sup>2</sup>、Li Zhen<sup>1</sup>、中塚 武<sup>1</sup>

\*Masaki Sano<sup>1</sup>, Akane Tsushima<sup>1</sup>, Nathsuda Pumijumnong<sup>2</sup>, Zhen Li<sup>1</sup>, Takeshi Nakatsuka<sup>1</sup>

1. 総合地球環境学研究所、2. Mahidol University

1. Research Institute for Humanity and Nature, 2. Mahidol University

近年、モンスーンアジアの各地域において、樹木年輪セルロースの酸素同位体比から降水量や相対湿度を復元する取り組みが活発化している。現時点では、現生木を対象とした研究が主体であるが、より過去に遡って気候変動の実態を把握し、その変動要因を探るためには、古建築材や考古材を分析対象とする必要がある。本研究では、タイ北西部のBan Rai遺跡に残存する木棺（チーク材）から複数のコアサンプルを採取し、その年輪の酸素同位体比を測定して300年間のフローティングクロノロジーを構築した。放射性炭素同位体のウィグルマッチングによって、このクロノロジーの末端が西暦345-390年（ $2\sigma$ ）に該当することが分かった。紀元1~4世紀をカバーする300年間のクロノロジーを詳しく見ると、27.0年と9.3年の卓越周期が確認できたほか、ENSOに対応する周期成分も保持させていることが分かった。タイを含む東南アジアの山岳域では、チークで木棺を作成する文化が長期にわたって維持されてきたため、他の遺跡も対象として木棺からサンプルを採取し、その酸素同位体比を測定することで、より長期にわたって気候変動を復元することが可能となる。

キーワード：年輪気候学、酸素同位体比、炭素14年代測定

Keywords: dendroclimatology, oxygen isotope, radiocarbon dating

# インドネシア産チークを用いた年輪気候学における年輪幅測定法の比較

## The Comparison of the method to measure tree-ring width in dendroclimatology using Teak annual rings in Indonesia

\*新井 貴之<sup>1</sup>、渡邊 裕美子<sup>1</sup>、久持 亮<sup>1</sup>、杉山 淳司<sup>2</sup>、松尾 美幸<sup>3</sup>、山本 浩之<sup>3</sup>、津田 敏隆<sup>2</sup>、田上 高広<sup>1</sup>  
 \*Takayuki Arai<sup>1</sup>, Yumiko Watanabe<sup>1</sup>, Ryo Hisamochi<sup>1</sup>, Junji Sugiyama<sup>2</sup>, Miyuki Matsuo<sup>3</sup>, Hiroyuki Yamamoto<sup>3</sup>, Toshitaka Tsuda<sup>2</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学生存圏研究所、3. 名古屋大学大学院生命農学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, 3. Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

樹木年輪は、樹木生長量と気候の関係性を議論する際に用いられてきた (Fritts 1976)。しかしながら、熱帯域では年輪を形成する樹種が少なく、熱帯域の樹木による古気候復元の例は多くない。その中でもチーク (*Tectona grandis* Linn. f.) は熱帯域で年輪を形成する数少ない樹種であるので、チークを用いた古気候復元の研究が進められてきた (例えば D' Arrigo et al. 1994)。しかし、チークは必ずしも同心円状に年輪を形成するとは限らないので、測定する場所および方法によって年輪幅が異なる。そのため、年輪生長量と気候の関係の議論に、年輪幅の測定方法が影響を及ぼす可能性がある。

本研究では、インドネシアジャワ島東部 Cepu 産チーク3個体のディスクを使用し、チーク年輪に含まれる情報を用いた古気候復元の際に、年輪幅の測定方法の違いによって現れる影響を比較・検討した。今回は3種類の 방법으로年輪幅を測定または計算した。3種類の年輪幅測定法とは、「面積逆算法」、「曲線測線法」、および「直線測線法」である。「面積逆算法」は、1年分の年輪の外周および内周で囲まれた領域と同じ面積の円を考えたとき、前者の円の半径と後者の円の半径の差を年輪幅とみなす方法である。また「曲線測線法」は、樹木ディスク上の髄線 (生長線) を測線として、その曲線に沿った各年輪の年輪幅を測定する方法である。さらに「直線測線法」は、ディスクの中心部から外側に直線を引き、その測線に沿った各年輪の年輪幅を測定する方法である。

まず、「面積逆算法」で年輪幅を計算し、その年輪幅を用いて比較年代測定 (cross dating) をして各年輪の年代を決定した。次に「曲線測線法」で年輪幅を16本測定し、得られた各ディスク16通りの年輪幅経年変化データを指数化して、それぞれの年輪指数を作成した。その後、3個体の「曲線測線法」の年輪指数を用いて、年輪曲線を作成した。年輪曲線は、3個体それぞれの16通りの年輪指数から任意に1つ選び出し、それらを平均化したもの (16<sup>3</sup>通り: 以下「1測線」) と、任意に2つ選び出してそれらを平均化したもの ( ${}_{16}C_2$ )<sup>3</sup>通り: 以下「2測線」) を作成した。「直線測線法」でも同様の方法で、年輪幅・年輪指数・年輪曲線を求めた。なお Poussart et al. (2004) では、チーク2個体それぞれで樹木の外側から中心へ1本コアをくり抜き、それを用いて年輪幅を測定している。これは、本研究では「直線測線法」の「1測線」に該当する。また Schollaen et al. (2013) では、チーク16個体それぞれで樹木の外側から中心へ2本コアをくり抜き、それを用いて測定した2つの年輪幅を平均化したものを年輪幅としている。これは、本研究では「直線測線法」の「2測線」に該当する。

「面積逆算法」で求めた年輪幅は、二次元的な樹木生長量から求めた年輪幅であることから、一次元的な樹木生長量を求めた「曲線測線法」・「直線測線法」より、より樹木生長量を反映したものであると言える。すなわち、「面積逆算法」の年輪曲線と各種気象データの相関解析結果に、「曲線測線法」・「直線測線法」の年輪曲線を用いた時の結果がどれだけ近づくのかを確認する必要がある。そこで、複数の方法で得られた多数の年輪曲線と、各種気象データ (降水量・SOI・DMI) との相関解析をそれぞれの場合で行い、それらの結果を比較した。また、先行研究において示されているチーク年輪幅と気象現象の関係性 (例えば Schollaen et al. (2013) など) と整合的結果の再現度合いも確認した。

Jacoby and D' Arrigo (1990) では、年輪曲線と生長期直前乾季降水量との間で正相関が示されている。本研究でも「面積逆算法」で正相関 ( $p < 0.001$ ) が確認された。「曲線測線法」では、「1測線」では全

16<sup>3</sup>通り中96.3%で、「2測線」では全( ${}_{16}C_2$ )<sup>3</sup>通り中99.9%で $p < 0.05$ の正相関が確認された。一方「直線測線法」では、「1測線」では44.0%のみで、「2測線」では57.8%のみで $p < 0.05$ の正相関が確認された。

また、本研究では「面積逆算法」の年輪曲線と生長期直前乾季DMIとの間で負相関 ( $p < 0.01$ ) が確認された。「曲線測線法」では、「1測線」では84.8%で、「2測線」では95.5%で $p < 0.05$ の正相関が確認された。一方「直線測線法」では、「1測線」では13.0%でしか、「2測線」では10.2%でしか $p < 0.05$ の正相関が確認されなかった。

以上より、「直線測線法」の「1測線」や「2測線」の年輪幅測定法では、年輪幅に含まれる情報を十分に読み取れない可能性があること、「面積逆算法」の年輪幅が3つの方法のうちで古気候復元に最も有効であること、および「直線測線法」の年輪幅より「曲線測線法」の年輪幅のほうが古気候復元のための情報が大きいことが確認された。今後は、より個体数を増やした測線法の更なる分析が求められるだろう。

キーワード：年輪、古気候、年輪気候学、年輪年代学

Keywords: tree ring, paleoclimate, dendroclimatology, dendrochronology

# インドネシア・ジョグジャカルタ産スンカイの年輪幅計測

## Measurement of sungkai tree-ring width from Jogjakarta, Indonesia

\*飯塚 成紀<sup>1</sup>、渡邊 裕美子<sup>1</sup>、田上 高広<sup>1</sup>

\*Shigenori Iitsuka<sup>1</sup>, Yumiko Watanabe<sup>1</sup>, Takahiro Tagami<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Kyoto University

インドネシア地域は赤道モンスーンやエルニーニョ南方振動の影響を強く受けており、これらの気候システムを理解するのに重要な場所であるといえる。しかしながら、インドネシアにおける近代的な気象観測記録には、観測期間の短さや観測点の不足などの問題が存在する。そのため、何らかの代替指標を用いて長期間の気候変動を復元する必要がある。代替指標として鍾乳石や氷床コア、樹木年輪などが挙げられ、この中でも樹木年輪には高時間分解能で気候データが保存されていることが知られる。

本研究地であるインドネシアでは、従来から年輪を用いた古気候学的研究が行われてきた。熱帯では年輪を作らない樹木が多いが、チークとスンカイという樹種は例外的に年輪を作ることが知られている。しかし、これまで行われてきた研究はほとんどがチークを用いたものであり、スンカイを用いた研究はあまり例がない。スンカイとチークの気候に対する応答性の違いが分かれば、樹種間での比較が可能になり、古気候の復元に役立つことが予想される。

そこで本研究では、スンカイに関する研究例を増やすために、インドネシアのジョグジャカルタ産スンカイ3試料(samiga1, samiga2, samiga3)を観察し、年輪幅の計測を行った。最外部の年輪は2014年に形成されたことが確認できた。また、年輪幅の値や試料の形状からsamiga2とsamiga3は同一の樹木から採取した試料であると推測された。samiga1には偽年輪は観察されず、samiga2にはいくつか疑わしい年輪が存在した。そこでsamiga2とsamiga1, sungkaiNAN7(田村,2008)をcross datingすると、samiga2は偽年輪を有すると判断できた。これにより年輪数は、samiga1が28、samiga2が37となった。

しかし、比較対象の数が少ないこと、sungkaiNAN7はセラン産のスンカイであり、本研究の試料と産地が異なることが問題点として挙げられる。スンカイの気候に対する応答性をチークと比較するためには、同一地域の多くの個体の分析が今後必要である。

キーワード：年輪、年輪幅、古気候

Keywords: tree-ring, ring width, paleoclimate

## 別寒辺牛湿原泥炭コアのミズゴケセルロース酸素同位体比を用いた過去2000年間の古気候復元

### Cellulose oxygen isotopes in Sphagnum from the Bekanbeushi mire, eastern Hokkaido and its application to paleoclimate reconstruction during the last 2000 years

\*櫻井 弘道<sup>1</sup>、山本 正伸<sup>1</sup>、関 宰<sup>2</sup>、大森 貴之<sup>3</sup>

\*Hiromichi Sakurai<sup>1</sup>, Masanobu Yamamoto<sup>1</sup>, Osamu Seki<sup>2</sup>, Takayuki Omori<sup>3</sup>

1. 北海道大学大学院地球環境科学研究院、2. 北海道大学低温科学研究所、3. 東京大学総合研究博物館

1. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, 2. Low Temperature Research Institute, Hokkaido University, 3. The University Museum, The University of Tokyo, Japan

降水の酸素同位体比は気温や降水量といった気候情報を含んでおり、過去の酸素同位体比を保存する植物のセルロースの酸素同位体比を測定することで古気候復元が可能となる。中国北西部のHani湿地では、泥炭コアのセルロースの酸素同位体比を用いて古気候復元が試みられ、酸素同位体比の変動が気温の変動を反映していると解釈された (Hong et al., 2009)。しかし、同じ層の泥炭サンプルであっても、植物種によって酸素同位体比は異なり、特にミズゴケは他の植物に比べてセルロースの酸素同位体比は低く、その泥炭サンプルの植物種の割合によっても酸素同位体比は変化する (山本・関, 未公表データ)。したがって、降水同位体比の変動を見たい場合には、泥炭サンプルを植物種によって仕分け、植物種ごとに酸素同位体比を測定する必要がある。

本研究では、泥炭コアに含まれるミズゴケの遺骸からセルロースを抽出し、その酸素同位体比を分析し、古気候復元を試みた。また、ミズゴケと他の植物の酸素同位体比の差から過去の相対湿度の評価を試みた。別寒辺牛湿原にて泥炭コアを採取し、得られた約4 mの泥炭コアからミズゴケ及び、チシマノガリヤス、ツルコケモモを選別し、セルロース抽出を行い、酸素同位体比を測定した。また、ミズゴケを用いて<sup>14</sup>C年代測定を行った。ミズゴケのセルロース酸素同位体比と<sup>14</sup>C年代測定の結果から、約1500年前に寒冷期、約1100年前に温暖期があったことが示された。また、チシマノガリヤス、ツルコケモモとミズゴケの酸素同位体比の差とミズゴケの酸素同位体は負の相関関係を示し、温暖期に相対湿度が高く、寒冷期に相対湿度が低い傾向があったことが示唆された。

キーワード：泥炭、セルロース、酸素同位体

Keywords: peat, cellulose, oxygen isotopes

# 大雪山地域の高層湿原泥炭の鉱物組成に基づく完新世における黄砂供給量の変動

## Variation of Asian dust during Holocene based on the mineral composition of peat sequence in Mt. Daisetsuzan area, northern Japan

\*入野 智久<sup>1</sup>、平井 啓介<sup>2</sup>、関 宰<sup>3</sup>、Hooper James<sup>4</sup>、Marx Samuel<sup>4</sup>

\*Tomohisa Irino<sup>1</sup>、Keisuke Hirai<sup>2</sup>、Osamu Seki<sup>3</sup>、James Hooper<sup>4</sup>、Samuel K. Marx<sup>4</sup>

1. 北海道大学 大学院地球環境科学研究所、2. 北海道大学 理学部、3. 北海道大学 低温科学研究所、4. ウーロンゴン大学

1. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, 4. University of Wollongong

黄砂の大気輸送に関しては、西南日本を中心として輸送される場合と、北日本に輸送される場合とでは、その供給源が異なっている可能性が従来指摘されている。しかしながら、研究は本州以南の地域に集中しており、北日本における黄砂の研究は未だ不十分である。黄砂の北側輸送経路にある大雪山地域には、毎年春になると雪を茶色に染めるほどの黄砂が降下することが知られており、露岩地域には火山岩や火山灰物質が分布している。これまでの研究により、大雪山高層湿原は約4000 - 7500年前に形成され、現在に至るまでの環境変化が連続的に記録されていることがわかっている。また、大雪山高層湿原を作っている泥炭は、過去の植物遺骸の集積であるため、炭素14法による精密な年代決定が容易であるばかりでなく、そこに含まれる無機成分は黄砂および大雪山起源火山灰のみからなると考えられる。そのため、高緯度域を大気輸送されて地上に堆積する物質供給を評価しようとしたとき、大雪山地域は最適な研究サイトである。

そこで本研究では、大雪山高層湿原に分布する泥炭を採取し、そこに含まれる鉱物組成を分析することにより、過去数千年間の北日本における黄砂供給パターンの変動を復元することを目的とする。大雪山泥炭コアを粉末X線回折法で鉱物組成の半定量をしたところ、石英、イライト、クロライトは正相関し、長石類のピークはそれらとは独立に互いに正相関した。ガラス質物質の変動はさらに石英や長石の変動パターンとは異なっていた。そして、灰分率がスパイク的に高いところは比較的長石、或いはガラスが多かった。これらの結果と、大雪山に降下した黄砂、及び現地の河床砂を鉱物組成の比較から、泥炭コアの鉱物組成は、黄砂由来のもの、地域の火山岩物質由来の鉱物質のもの、および非晶質のもの3つの端成分の混合で近似できることが分かった。

灰分率と各泥炭コアサンプルへの黄砂由来物質の寄与率から、泥炭1 g中の黄砂重量の平均は89.7 mgと求められた。また、先行研究(高橋・五十嵐, 1985)の通り採取した泥炭の最下部が7500年前程度であり、かつ泥炭の乾燥かさ密度を約0.1 g/cm<sup>3</sup>と仮定して求められた黄砂フラックスは、平均で0.14 mg/cm<sup>2</sup>/yrとなった。この値は、これまでの観測などから得られた現世日本付近の黄砂フラックス0.2 - 4.5 mg/cm<sup>2</sup>/yrと比較して概ね適当な値である。黄砂フラックスの時代変化は、済州島で推定されている黄砂フラックス(Li and Matsumoto, 2007)の変化とは逆相関を示しているように見え、これは、黄砂を運ぶ偏西風ジェットの蛇行パターンに応じて、南に運搬されやすい時期と北に運搬されやすい時期が交代するからかもしれない。

キーワード：風成塵、泥炭、完新世、大雪山

Keywords: aeolian dust, peat, Holocene, Mt. Daisetsuzan

## 福島県猪苗代湖のイベント堆積物

### Event sediments in Lake Inawashiro, Fukushima, Japan

\*井内 美郎<sup>1</sup>

\*Yoshio Inouchi<sup>1</sup>

1. 早稲田大学人間科学学術院

1. Faculty of Human Sciences, Waseda University

福島県中央部に位置する猪苗代湖湖底には、厚さ数ミリメートルの明暗の縞からなるバーコード状の堆積物が分布している。そして、その中に数種類のイベント堆積物を多数挟在している。一つ目は降下火山灰層であり、始良Tn火山灰や沼沢一沼沢湖テフラなどが確認されている（廣瀬ほか；2014）。二つ目は地震活動に起因する混濁流堆積物で東北地方太平洋沖地震によるものや大正関東地震によるものが確認されている（行木ほか；2015）。三つ目は下部が白色で上部が暗褐色を示す厚さ数センチメートルの層である。四つ目は色調的には特徴を示さないが、他の層準と比べてやや粗粒な層準である。今回、検討対象とした層準は三番目のイベント層で、一般に下部の白色の部分で逆級化を示し、上部の暗褐色の部分で正級化を示す洪水堆積物に特徴的な構造を示す。この層準について、メタリックファインフィルターを用いて粒子をふるい分け、それぞれの構成粒子を調べた。その結果、白色の部分は石英・長石を主体とし、火山ガラスを含むものであった。一方、暗褐色の部分には白色層と同様の粒子のほか、特徴的に暗褐色の菱鉄鉱を含んでいることが明らかになった。この層準のうち暗褐色の部分は、軟X線写真で黒く映る部分であるが、軟X線の透過が悪い原因は菱鉄鉱の存在によると考えられる。このイベント層の堆積メカニズムとして、以下のモデルを提案する。安達太良山頂北西にある沼の平旧火口にはかつて層厚数十メートルの湖沼堆積物が存在したとされている（阪口；1995）。ここに菱鉄鉱を含む火山噴出物が堆積し、湖沼堆積物を形成していた。猪苗代湖周辺域は豪雪地域として有名であるが、寒冷期には現在よりさらに多くの降雪があったと想定される。そのような時期にも春の雪解け期があったと想定され、大量の雪解け水が流入することによって、火口壁が決壊し、湖沼堆積物を形成していた土砂が猪苗代湖に洪水堆積物として流れ込んだと考えられる。

キーワード：猪苗代湖、イベント堆積物、洪水

Keywords: Lake Inawashiro, event sediment, Flood

# 琵琶湖愛知川河口沖コアの珪藻化石群集に基づく湖水位変動の予察的な復元

## Preliminary reconstruction of Lake-level changes based on fossil diatom assemblages in Lake Biwa

\*鈴木 勇志<sup>1</sup>、井内 美郎<sup>2</sup>、大塚 佳祐<sup>1</sup>

\*Takashi Suzuki<sup>1</sup>, Yoshio Inouchi<sup>2</sup>, Keisuke Otsuka<sup>1</sup>

1. 早稲田大学大学院人間科学研究科、2. 早稲田大学人間科学学術院

1. Graduate School of Human Science, Waseda University, 2. Faculty of Human Sciences, Waseda University

琵琶湖愛知川河口沖の水深5~30 mの湖底から水深5 m毎に採取された湖底表層試料の珪藻分析結果に基づき、珪藻群集中の浮遊性種の割合から水深を導く変換式を作成した。その変換式を、愛知川河口から北東約5 km沖の水深23.5 mの湖底から採取されたボーリングコア試料中の珪藻化石群集に適用して、予察的な湖水位の変動の復元をおこなった。

その結果、水深と珪藻群集中の浮遊性種の割合との間には負の相関関係がみられ、ボーリングコア試料の珪藻化石群集中の浮遊性種の割合は、琵琶湖における過去のおおまかな湖水位の変動を反映していると考えられる。その一方で、一部の層準については、水深を反映しない洪水堆積物の存在が示唆される。

変換式に基づく湖水位の変動と、グリーンランドのNGRIPの酸素同位体比、琵琶湖の高島沖コアの生物源シリカ濃度とBWK12-2コアの有機炭素濃度の3つの古気候データを比較すると、琵琶湖における湖水位の変動と気候の寒暖の変化との間には対応関係がみられる。また、1.5万年を境として、それ以前では寒冷な時期に水深が深い一方で、それ以降では温暖な時期に水深が深いというような逆の対応がみられる。このような違いは、夏季の降雨量と冬季の降雪量のバランスの変化によるものと考えられ、東アジアの夏季モンスーンおよび冬季モンスーンの消長が琵琶湖の水収支に影響を与えていることを示唆している。

キーワード：琵琶湖、愛知川河口沖、ボーリングコア、浮遊性珪藻、変換式、湖水位変動

Keywords: Lake Biwa, off estuary of Echi River, drilling core, planktonic diatom, transfer function, lake-level change

# グリーンリバー湖成堆積物から始新世の古気候指標の抽出

## Extraction of paleoclimatic signal from the Eocene Green River Formation Lake Sediments in Utah, USA

\*隈 隆成<sup>1</sup>、長谷川 精<sup>1</sup>、山本 鋼志<sup>1</sup>、Whiteside J.<sup>2</sup>、池田 昌之<sup>3</sup>

\*Ryusei Kuma<sup>1</sup>, Hitoshi Hasegawa<sup>1</sup>, Koshi Yamamoto<sup>1</sup>, Jessica Whiteside<sup>2</sup>, Masayuki Ikeda<sup>3</sup>

1. 名古屋大学、2. サウサンプトン大学、3. 静岡大学

1. Nagoya University, 2. Southampton University, 3. Shizuoka University

始新世前期はEECO (Early Eocene Climatic Optimum)と呼ばれ、新生代において最も温暖な時期である。本研究では、アメリカのユタ州・コロラド州・ワイオミング州に分布するグリーンリバー層という湖成層を研究対象とし、このEECO時の陸域気候変動の解明を試みている。グリーンリバー層はオイルシェールを産出することから、石油地質や有機地球化学の研究は多数存在するが、本研究の手法とする堆積学的・無機地球化学的分析による古環境復元はこれまでほとんどなされていない。したがって、堆積学的手法と無機地球化学的手法を組み合わせ高精度に古環境変動（降水量・気温）の復元を行うことを目的とする。

先行研究よりグリーンリバー層の堆積環境の変遷は、1. fresh lake, 2. transitional lake, 3. highly fluctuating lake, 4. rising lake, 5. high lake, 6. closing lakeの6つのステージに分けられている(Milkeviciene and Sarg, 2012)。ユタ州北部のIndian Canyonセクションで野外調査と堆積相解析を行った結果、ステージ3-5の堆積環境を認定することができた。また、岩相とラミナの発達度合からDepth Ranksを作成し、露頭観察の結果から湖水深の変動を復元した。また、各岩相やDepth rankを代表する試料を様々な層準で採取し、その試料を化学処理することによりXRFを用いた主要元素分析と、元素分析計を用いてCNS元素分析を行った。

主要元素分析の結果と岩相変化とを比較検討した結果、Ca/AlとMn/Alは岩相変化との相関が見られ、湖水位変化の指標としてみなすことが出来た。これは湖水位が低くなるとCaが無機的に沈殿する量が増えること、また湖水位変化に伴う水塊中の酸化還元度の違いによりMn量が増えるためであると解釈した。また化学風化度を指標すると考えられるK/AlはHigh lakeで高い値を示し、岩相変化から推定した湖水位変動と整合的な変動を示した。一方で、粒度変化や碎屑物流入量を反映すると予想したSi/Alは独自の変動をしており、Biogenic Silicaや火山灰など他の変動要因にも支配されていると考えられる。Ti/Alはセクションを通してほとんど変化しておらず、重鉍物含有量の変動は小さく、後背地変化の影響は大きくないと解釈した。

またCNS分析の結果を比較すると、High lakeステージの層準 (Mahogany zone) で高いTOCと優位に低いC/N値を示し、藻類起源の有機物の寄与が最も高くなるという傾向が明らかになった。このHigh lakeステージの層準 (Mahogany zone) は、EECOの中でも最も温暖湿潤な気候が卓越した時期 (hyperthermal) に相当すると考えられている (Milkeviciene and Sarg, 2012)。この時期にK/Alが高く化学風化度が增大していること、またC/N比が低く湖表層の藻類生産が増大していることから、EECOの温暖化ピーク時には北米中緯度域において著しい温暖湿潤気候が発達したことが示唆される。今後はグリーンリバー層で掘削されたコア試料の解析を行うことにより、EECOの前後期における同地域の気候変動を詳細に解明していく予定である。

## Winter monsoon intensification during the last geomagnetic reversal in the Chinese Loess Plateau

\*上野 友輔<sup>1</sup>、兵頭 政幸<sup>2</sup>、楊 天水<sup>3</sup>、加藤 茂弘<sup>4</sup>

\*Yusuke Ueno<sup>1</sup>, Masayuki Hyodo<sup>2</sup>, Tianshui Yang<sup>3</sup>, Shigehiro Katoh<sup>4</sup>

1. 神戸大学大学院惑星学専攻、2. 神戸大学内海域環境教育研究センター、3. 中国地質大学、4. 兵庫県立人と自然の博物館  
1. Department of planetology, Kobe University, 2. Research Center for Inland Seas, Kobe University, 3. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, 4. Museum of Nature and Human Activities, Hyogo

A link between geomagnetic field and climate is an unresolved long life research subject. Correlation between galactic cosmic rays (GCR) flux and low cloud cover can provide a theoretical rationale to this subject. Namely, the geomagnetic field intensity can change low cloud cover through GCR, and finally change the climate. The East Asian Monsoon (EAM) system significantly affects the climate in East Asia, including Japan. In order to clarify whether the EAM was influenced by geomagnetic field changes in the past, we analyzed loess paleosol deposits of the Chinese Loess Plateau (CLP) for the Marine Isotope Stage (MIS) 19 interglacial, during which the Matuyama-Brunhes magnetic polarity transition (MBT) accompanying a large field intensity decrease occurred.

For Chinese loess-paleosol deposits, magnetic susceptibility and frequency dependence are regarded as proxies of summer monsoon (SM) intensity, and grain size as a proxy of winter monsoon (WM) intensity. We collected samples from sections of about 7 m thick in Xifeng and 8 m thick in Lingtai, about 100 km south of Xifeng, in the CLP. Magnetic and grain size analyses were conducted at about 2.5~20-cm depth intervals. In both sites, the high-resolution paleomagnetic data reveal the detailed MBT with multiple polarity swings.

The SM and WM proxy curves, obtained from magnetic susceptibility and grain size data, show consistent variations well correlated the precessional sea level changes. The correlation shows that our data have an average resolution of about 120 yr. The SM intensity increases and WM intensity decreases during the MISs 19.3 and 19.1 sea-level highstands, and the opposite changes occur during the MIS 19.2 lowstand. This variation pattern is the same with the results of a number of previous studies. However, our high-resolution data reveal that the WM briefly strengthens around highstand MIS 19.3 which should be warm. The WM strengthening interval is partly overlapped with the MBT. According to the paleomagnetic intensity stack for the last 800 kyr (S-int 800), the WM strengthened when the geomagnetic field intensity decreased below one third of the present intensity, and also when the GCR flux increased to above 1.4 times, and about 2 times at maximum. The temporary WM strengthening occurred around highstand MIS 19.3 may be related to the climatic cooling observed in Osaka Bay, Lake Baikal, Israel, and Italy, probably caused by an increase in GCR due to the significant geomagnetic field decrease.

キーワード：冬季モンスーン、マツヤマーブリュンヌ境界、中国黄土高原

Keywords: Winter monsoon, Matuyama-Brunhes boundary, Chinese Loess Plateau

## インドネシア・セリブ島から採取されたサンゴ骨格中Sr/Ca比を用いた 50年以上にわたる海水温の復元

### Reconstruction of sea surface temperature over 50 years using coral Sr/Ca ratios from Seribu Island, Indonesia

\*源田 亜衣<sup>1</sup>、鈴木 淳<sup>2</sup>、井上 麻夕里<sup>1</sup>

\*Ai Genda<sup>1</sup>, Atsushi Suzuki<sup>2</sup>, Mayuri Inoue<sup>1</sup>

1. 岡山大学大学院自然科学研究科、2. 独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門

1. Graduate School of National Science and Technology, Okayama University, 2. Geological Survey of Japan National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

インドネシア多島海は太平洋とインド洋の間に位置しており、El Niño/南方振動 (ENSO) やアジアモンスーン、インド洋ダイポールといった気候変動の研究において重要な場所である。しかしながら、海水温や塩分の計器や観測による記録は、インドネシア多島海周辺の気候システムについて理解するには十分な報告がされていない。そこで、本研究では、インドネシア・セリブ島から採取されたサンゴコア中のSr/Ca比から50年以上の海水温の復元を行った。Sr/Ca比の測定はICP-OESを使用し月単位の時間分解能で測定を行い、その測定誤差は0.3%未満である。本発表では、サンゴのSr/Ca比から復元された海水温の記録とその時系列解析に基づき、インドネシア周辺の海水温と気候イベントとの関係について考察していく。

## Holocene environmental change of coastal lagoon inferred from diatom assemblage in Lake Hwajinpo, Korea

\*Cho Ara<sup>1</sup>, Deakyo Cheong<sup>3</sup>, JinCheul Kim<sup>2</sup>, DongYoon Yang<sup>2</sup>, JinYoung Lee<sup>2</sup>, Kaoru Kashima<sup>1</sup>, Kota Katsuki<sup>4</sup>

1. Kyushu University, 2. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 3. Kangwon National University, 4. Shimane University

Hwajinpo is the largest lagoon in Korea, and its bottom sediment preserves good the Holocene records. To reconstruct the evolution of the Hwajinpo inner lake, analysis of AMS radiocarbon dating, OSL dating, grain size, and diatom assemblage were performed to the 11 m core obtained from the small river mouth of the inner lake (HJ02). According to diatom assemblage and grain size analysis, the environments were divided into 6 periods, labeled unit 1 to 6. The Hwajinpo lagoon was an estuarine environment which was influenced by marine water about 8 ka (Unit 1). Unit 2 is dominated by bay indicator species, meaning that the estuary changed to open bay condition which is connected to ocean. After then, marine species gradually decreased and the open bay changed to semi-closed bay as developed the sand bar. In case of Unit 4, marine species didn't occur because sand barrier is completely developed and there was a hiatus between 5.5 and 1.7 ka in about 7m depth because of flooding and delta switching event. Then, the environment of this site changed to an Oligohaline lagoon (Unit5) because of climate change especially precipitation increase. Since 1ka, the environment changed to like modern lagoon condition based on diatom assemblage which has been similar to modern assemblages.

Keywords: lagoon, diatom, paleoenvironmental change

## 北東アラビア海の海洋コアから発見されたeolian-sand turbiditesの特徴と形成時期

### Timing and characteristics of eolian-sand turbidites collected from the northeastern Arabian Sea

\*村山 雅史<sup>1,3</sup>、山下 広大<sup>2</sup>、山本 裕二<sup>3</sup>、入野 智久<sup>4</sup>

\*Masafumi MURAYAMA<sup>1,3</sup>, Kodai YAMASHITA<sup>2</sup>, Yuhji YAMAMOTO<sup>3</sup>, Tomohisa Irino<sup>4</sup>

1. 高知大学農林海洋科学部海洋資源学科、2. 高知大学大学院総合人間自然科学研究科、3. 高知大学海洋コア総合研究センター、4. 北海道大学大学院地球環境科学研究科

1. Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University, 2. Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, 3. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 4. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

北東アラビア海から採取された過去11万年間をカバーしているER-4海洋コア（長さ14.5m、水深3,550m）は、主に石灰質泥からなりインドモンスーンの影響下にある。そのコアに、コアトップから205cm付近に層厚約2cmのfine sand、627cm付近に層厚約6cmのmedium sandが含まれていた。それらは、それぞれ約0.2mm、0.5mmの平均粒径を示し、主にmarbleで構成された非常に良く淘汰、円摩された灰色ペレット状の岩片が多量に含まれていた。酸素同位体層序や古地磁気層序などから、2層準の岩片が堆積した年代は、627cm付近の岩片はHeinrich event 5の直後、205cm付近の岩片はLGM直後にあたり、ともに寒冷期の直後に相当し、海水準の低下した時期から急激に上昇する温暖期へ移行した時期に形成したと考えられる。したがって、2層準のsand layerの特徴と堆積年代から、eolian-sand turbidites (Sarnthein and Diester-Haass, 1977)であると考えられる。これらの起源は、インド大陸北部に分布するタール砂漠であると考えられ、寒冷期の低海水準期に北東モンスーンの影響下においてsand duneが海側に漸進し、温暖期へ移行した高海水準期にそれらが海底斜面を流れ下り、本コアサイトに到達し堆積したと考えられる。本発表では、北東アラビア海から採取された海底コア（ER-4）に挟在するeolian-sand turbiditesについて記載し、形成時期と気候変動についても報告する。

キーワード：eolian-sand turbidite、北東アラビア海、海水準変動、海洋コア

Keywords: eolian-sand turbidite, northeastern Arabian Sea, sea-level change, marine core

# 石灰質ナノ化石に基づくインド洋，大西洋，および東部赤道太平洋における前期-中期中新世の表層海洋環境変遷

## Sea surface environmental changes during the early to middle Miocene in the Indian, Atlantic and eastern equatorial Pacific Oceans based calcareous nannofossil assemblages

\*井手 康太郎<sup>1</sup>、亀尾 浩司<sup>1</sup>

\*Kotaro Ide<sup>1</sup>, Koji Kameo<sup>1</sup>

1. 千葉大学・理学研究科

1. Dept. of Earth Sciences, Chiba Univ.

前期-中期中新世は、いくつかの氷床拡大イベント (Mi-events)を伴うものの、全球的に氷床量が少なく、海洋環境は温暖な時期であったとされる時代である(Zachos et al., 2001)。その温暖な傾向は、約17-15 Maの中期中新世最温暖期まで続いたが、それ以降は深層水温の低下 (Billups and Schrag, 2002)や、南大洋の熱塩循環と南極環流の強化 (Shevenell et al., 2008) などに伴って、段階的に氷河作用が進行していったことが知られている。本研究では、南大西洋、インド洋および東部赤道太平洋において実施された国際深海掘削計画 (ODP) によって得られた深海底コア中の石灰質ナノ化石群集の変化に基づき、表層海洋環境の推定を試みた。本研究で取り扱った深海底コアは、Okada and Bukry (1980)のCN 1帯 (*Triquetrorhabdulus carinatus* Zone) から、CN 5a帯 (*Coccolithus miopelagicus* Subzone) までの化石帯に相当し、その年代は約23 Maから約12 Maである。検討したコアから産出する分類群のうち、主要な分類群は *Reticulofenestra*属、*Cyclicargolithus*属、そして *Discoaster*属である。このうち、*Reticulofenestra* 属と *Discoaster* 属の相対産出頻度は逆相関を示すケースが多く見受けられた。*Reticulofenestra*属が多く、*Discoaster*属が少ない層準は、上部透光層における豊富な栄養塩量と強い表層循環を、その逆は乏しい栄養塩量と安定した成層構造の存在を示唆するものと考えられ(佐藤・千代延, 2009など)、それぞれ  $\delta^{18}\text{O}$ 値が高い層準と低い層準に対応するようである。各地点に共通した群集変化の傾向として、約21 Maおよび15 Maにおける *Reticulofenestra* 属の増加と *Discoaster* 属の減少、約16 Maにおける *Reticulofenestra* 属の減少と *Discoaster* 属の増加が確認された。これらの群集変化は、それぞれMi-1aの開始、中期中新世最温暖期の終了、Mi-2の終了 (Billups et al., 2002)とほぼ同時期であり、主として南極氷床の活動の影響を受けていると考えられる。また、それぞれの海域の石灰質ナノ化石群集は、地域的な表層環境変動、たとえば赤道太平洋およびインド洋西部では、湧昇流などの影響を受けていたと考えられる。

### 引用文献

Billups, K., Channell, J. E. T., and Zachos, J., 2002. *Paleoceanography*, **17**(1).

Billups, K., and Schrag, D. P., 2002. *Paleoceanography*, **17**(1).

Okada, H. and Bukry, D., 1980. *Marine Micropaleontology*, **5**, 321-325.

佐藤時幸, 千代延俊(Sato, T. and Chiyonobu, S.), 2009. *化石(Fossils)*, **86**, 12-19.

Shevenell, A. E., Kennett, J. P. and Lea, D. W., 2008. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **9**, Q02006.

Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. and Billups, K., 2001. *Science*, **292**, 686-693.

キーワード：石灰質ナノ化石、中新世、湧昇、成層構造、ODP

Keywords: Calcareous nannofossils, Miocene, Upwelling, Stratification, ODP

## XRD decomposition法によるMIS104での氷床崩壊に関連した鉱物組成変動解析

### The variation in mineral fraction corresponding to Iceberg collapse obtained by X ray powdered diffraction method at MIS104

\*榎尾 雅人<sup>1</sup>、佐藤 雅彦<sup>2</sup>、林 辰弥<sup>3</sup>、大野 正夫<sup>4</sup>、桑原 義博<sup>4</sup>

\*Masato Makio<sup>1</sup>, Masahiko Sato<sup>2</sup>, Tatsuya Hayashi<sup>3</sup>, Masao Ohno<sup>4</sup>, Yoshihiro Kuwahara<sup>4</sup>

1. 九州大学 大学院 地球社会統合科学府、2. 産業技術総合研究所、3. 御船町恐竜博物館、4. 九州大学 大学院 比較社会文化研究院

1. Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3. Mifune Dinosaur Museum, 4. Division of Earth Sciences Faculty of Social and Cultural Studies

大陸氷床の発達・崩壊は気候変動と密接に関係していると考えられているが、北半球に氷床が出現し、その後、発達していった期間の詳細な気候変動については未解明な点が多い。我々は、北大西洋で掘削された海底堆積物コア試料について氷山起源の漂流岩屑 (IRD) カウント記録と岩石磁気測定記録を比較することで、氷床崩壊と深層水循環との数千年スケールでの関係が、氷床の発達に伴ってどのように変化したのかについて研究を行っている。既に同堆積物コア試料について、大陸氷床が初めて大規模に発達したとされる海洋酸素同位体ステージ (MIS) 100 付近 (2.50-2.55Ma) について報告されている(Ohno et al.,2016)。

本研究では、これまで、その直前に当たるMIS104付近 (2.58-2.62 Ma) を対象に、IRD粒子計測や岩石磁気分析を行い、それらの変動記録を明らかにしてきた(榎尾他、JpGU2015)。しかし、MIS104付近の堆積物を構成する鉱物については、これまで触れていなかった。

堆積物を構成する鉱物の中には、大陸氷床の起源を示唆する鉱物や海洋プランクトン殻を構成する炭酸塩など、有用な情報を提供してくれるものが含まれている。そのため、今回はX線回折測定法を用いて分析し、堆積物中に含まれる鉱物の相対量及び重量比を求めた。

測定に用いた試料は統合海洋掘削計画(IODP) Site U1314で掘削されたアイスランド南方の堆積物コア試料である。この海域はアイスランド北方で形成された北大西洋深層流の流路となっており、深層流がアイスランド周辺の玄武岩質の堆積物を輸送している。その堆積物を用いて、MIS104付近(2.58-2.62 Ma)に相当する堆積層を約4 cm間隔(約200-400年)毎に採取した。そして、堆積物中に含まれる鉱物種を同定しそれらの鉱物組成の変動を明らかにするために、X線粉末回折 (XRD) 測定を行った。XRD測定には、堆積物試料に5 wt%の標準試料(ZnO)を加え、瑪瑙乳鉢で均質化した試料を用いた。XRD 測定はRigaku RINT 2100V XRD装置を用いてステップスキャン法で行い、その際の測定条件はステップ間隔0.02°、計測時間3秒とした。XRDデータは、プログラムソフトMacDiff (Petschick, 2000) を用いて、XRD decomposition法 (プロファイルフィッティング法) により、XRD回折パターンから各鉱物の素成分 (素回折ピーク) に分解し、それらのピーク強度 (面積) を求めた。得られた各鉱物の回折ピーク強度を標準試料に対応する回折ピーク強度と比較することで、鉱物組成の変動を推定した。

その結果、各鉱物の相対的な変動記録が復元され、特に、石英、雲母、長石といった大陸起源を示唆する鉱物が、IRDイベントの際に、急激に増加する傾向を示した。一方、方解石は、氷期-間氷期にかけて、緩やかに増減した。しかし、北米の起源が示唆される苦灰石は、本研究区間からは、検出されなかった。本実験で得られた結果は、これまでのIRD粒子計測や岩石磁気分析の結果と矛盾なく、これらの結果を支持するものであった。

キーワード : IRD、岩石磁気、X線粉末回折法

Keywords: Ice Rafted Debris, Rock magnetism, X ray powdered diffraction method



## Variations in paleovegetation recorded by terrestrial plant biomarkers in the sediments from IODP Site U1385 off the SW Iberian Peninsula

\*矢能 冴紀<sup>1</sup>、風呂田 郷史<sup>1</sup>、沢田 健<sup>1</sup>

\*Saki Yano<sup>1</sup>, Satoshi Furota<sup>1</sup>, Ken Sawada<sup>1</sup>

1. 北海道大学大学院理学院

1. Faculty of Science Hokkaido University

Terrestrial plant-derived biomarkers such as long chain *n*-alkane, fatty acid and alcohol are prevalent in marine sediments, and are used as diagnostic tools for reconstructing terrestrial input, paleovegetation and atmospheric conditions. Plant terpenoids, another class of higher plant biomarkers, also occur in various types of marine sediments. Chemotaxonomic feature of plant terpenoids has been emphasized by dataset of recent plant natural product as well as geochemical analysis of geological samples (e.g. peat, plant fossils and coals). Hence, compositions of plant terpenoids in marine sediments may reflect paleovegetation and climate condition. However, occurrence and composition of these plant terpenoids in marine sediments are hardly known. In the present study, we analyzed the terrestrial plant-derived biomarkers in the sediment core recovered by IODP exp. 339 Site U1385 to reconstruct past variation of flux and composition of the plant terpenoids.

We used sediments samples from in the northeastern Atlantic off the SW Iberian Peninsula (IODP site U1385), so-called 'Shackleton Site'. The age ranges between Marine Isotope Stage (MIS) 12 and MIS 10 are analyzed, and especially, the paleoclimatic reconstruction of the MIS 11 is focused. Several studies have been examined the climatic variations of MIS 11 by a high-resolution direct land-ocean comparison from the Site U1385 (e.g. Oliveira et al., 2016, *Quat. Res.*). Lipids were extracted with dichloromethane / methanol, and separated to aliphatic, aromatic and polar fractions. Lipids were identified and quantified by GC/MS. In addition to the plant biomarker analyses, we estimated the paleotemperatures of sea surface layer using alkenone unsaturation index (UK' 37).

Diterpenoids such as dehydroabietic acid (gymnosperm origin) as well as triterpenoid such as  $\beta$ -amyrin, friedeline and lupeol (angiosperm origin) have been mainly identified as the plant terpenoids in almost samples. The dehydroabietic acids /  $\beta$ -amyrin ratios, which are representative of gymnosperm / angiosperm ratios, tend to decrease during the interglacial period of MIS 11. The dehydroabietic acid is typical biomarker as conifer woods. Thus, the decreasing of the relative abundances of the dehydroabietic acid in marine sediments during MIS 11 is assumed to decline the coniferous vegetation in hinterland areas around the Site U1385. The variations in the other gymnosperm / angiosperm ratios such as total diterpenoids / triterpenoids ratios are similar trends during MIS 12 -MIS 11. On the other hand, the lupeol /  $\beta$ -amyrin and lupeol / total triterpenoids ratios are lower during glacial periods including MIS 12 and MIS 10, but tend to increase during interglacial period MIS 11. The lupeol is known to be originated from various angiosperms, especially legume and aster families including lupines. The variations in lupeol ratios are concordant with those in  $\delta^{18}\text{O}$  values, alkenone-based temperatures, and pollen percentages of the Mediterranean forest species in the Site U1385 (Oliveira et al., 2016). Interestingly, increasing spikes are observed in the lupeol ratios during the cooling stages in MIS 11 (ca. 390 ka), and well correlated to the minimal values of the Mediterranean forest. Thus, the lupeol ratios can be an indicator of cooler vegetation. From these results, the indices using the plant terpenoids in marine sediments have potentials for reconstructing paleoclimatic variations via paleovegetation changes at the glacial/interglacial cycling during the Quaternary.

キーワード : 古植生、バイオマーカー、植物テルペノイド、MIS11、北大西洋

Keywords: paleovegetation, biomarker, plant terpenoid, MIS 11, northeastern Atlantic Ocean

## 珪質鞭毛藻群集に基づく最終氷期最盛期以降の日本海若狭沖における表層水温復元

### Sea-surface temperature changes in the Japan Sea off Wakasa since the Last Glacial Maximum based on silicoflagellate assemblages

谷崎 恭平<sup>1</sup>、\*岡崎 裕典<sup>1</sup>、佐川 拓也<sup>2</sup>、小野寺 丈尚太郎<sup>3</sup>

Kyohei Tanizaki<sup>1</sup>, \*Yusuke Okazaki<sup>1</sup>, Takuya Sagawa<sup>2</sup>, Jonaotaro Onodera<sup>3</sup>

1. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 金沢大学理工研究域自然システム学系、3. 海洋研究開発機構

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, 2. Faculty of Natural System, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

日本海は対馬海峡、津軽海峡、宗谷海峡、間宮海峡の4つの海峡によって外海とつながっている。いずれの海峡も水深が130 mより浅いため、現在よりも120 mほど海水準が低かった最終氷期最盛期（LGM, 19 ka - 26.5 ka）における日本海は半閉鎖的な環境であった。対馬暖流の著しい流入制限と大陸からの淡水流入の影響により、LGMにおける日本海表層水は低塩分であった。亜熱帯から日本海へ熱と塩を輸送する対馬暖流は、日本海の海洋環境のみならず日本列島の気候にも大きな影響を与えている。したがって、対馬暖流の流入が制限されたLGMの日本海表面水温は、顕著に低下したはずである。ところが、これまでの先行研究において最終氷期の水温は現在よりも高い値を示しており、信頼できるLGMの海表面水温復元結果が得られていない。これは最終氷期に日本海の低塩分環境の影響を受けたことに起因する。珪質鞭毛藻は生物源オパール骨格を持つ海生植物プランクトンで、水温に応じて鋭敏に群集組成を変化させることが知られている。また低塩分環境（24 - 26‰）で最も個体数が多くなることが報告されており、氷期日本海の特異な環境下でも群集解析に十分な個体数が海底堆積物から産出する。そこで本研究では、珪質鞭毛藻群集組成からLGMにおける日本海の水表面水温を復元することを目的とした。珪質鞭毛藻群集解析に用いた海底堆積物試料は、かきれいKR15-10航海において若狭湾沖（36°29.30' N, 135°25.62' E、水深845 m）で採取されたWB6ピストンコアである。コアの年代は浮遊性有孔虫殻の放射性炭素年代測定によって得られている。本研究では、暦年代で5 kaから30 kaの層準を研究対象とした。珪質鞭毛藻の産出状況は、最終氷期において、高緯度に生息する*Stephanocha*属が多産し、コア上部になるにしたがって中低緯度に生息する*Dictyocha*属が増加した。種レベルの観察によって、3属18種1変種1型の珪質鞭毛藻化石を同定した。氷期に卓越する寒冷種の*Stephanocha*属について、*S. octangulata*と*S. speculum*の入れ替わりがあった。特にLGMに*S. octangulata*が一時的に卓越する状況は、現在のベーリング海で見られる群集構成と類似する。その後16 kaで減少していた*S. octangulata*が再び増加し、さらに低緯度域に生息する*Dictyocha messanensis* f. *spinosa*が一時的に増加した。15 ka以降は温暖種の*D. epidon*や*D. messanensis*が増加した。*S. octangulata*は現在の分布で北方に限られていることから、16 kaの*S. octangulata*の増加は親潮の流入を示唆しており、これによって低塩分が解消された。定量的な水温変化を復元するため、ベストモダンアナログ法を適用した。表層水温の復元値は最終氷期に5°Cを示し、最終氷期の水温が低かった。また先行研究では8-11 kaに対馬暖流の流入が再開したとされていたが、本研究ではそれより早い15 kaに水温が上昇し始めたことを示唆した。12 kaの復元表層水温は14°Cで、現在の同海域における表層水温と同程度になるため、この時期には対馬暖流の流入は完全に再開していたことが示唆された。

キーワード：日本海、最終氷期、海表面水温、珪質鞭毛藻群集

Keywords: Japan Sea, Last Glacial Maximum, Sea-surface temperature, Silicoflagellate assemblage

# Estimation of past intermediate water temperatures in the northwestern Pacific based on radiolarians: it's suitability and constrains

\*Kenji Marc Raymond Matsuzaki<sup>1</sup>, Takuya Itaki<sup>2</sup>

1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, the University of Tokyo, 2. Geological Survey of Japan, AIST, Marine Geology Research Group

The use of siliceous microfossil assemblages, such as radiolarians for reconstruct past sea water temperature were developed since decades but all the studies only deal with reconstruction of Sea Surface Temperatures (SST). The most known reconstructions are those of the CLIMAP project, reconstructing worldwide SST during the Marine Isotopic Stage (MIS) 2. In this project, SST of Southern Ocean and Pacific Ocean, were reconstructed by the use of diatoms and radiolarians applying a Q-mode factor analysis following the statistical procedure of Imbrie and Kipp (1971). Following this method, numerous studies reconstructed past SST in the Southern Ocean and Pacific Ocean. In the North Pacific, the vertical distributions of radiolarian species have been well investigated and we know that several species are living at the intermediate water depths (200- 1000 m). Therefore, the establishment of a new data-set composed of intermediate water depth living taxa would potentially enable for the first time the estimation of the paleo intermediate water temperature. In this study, we propose a new data-set of radiolarian assemblages from the surface sediment of the Northwestern Pacific for reconstruct past intermediate water temperature.

In this context, we analyzed 87 surface sediment samples covering the northwestern Pacific Ocean from 1° to 50°N and 120° to 167°E. Among, 77 samples were collected by the Geological Survey of Japan and 10 samples were collected by the Japan Agency for Marine-Earth Science. Changes in radiolarian assemblages have been analyzed on these samples. When we try to reconstruct temperature of the intermediate water based on microfossil assemblages, two major issues constrain the reconstruction. Because intermediate water species represent a much lower portion of the total assemblage, the variation of their relative abundances are less significant than those recorded in the surface and would cause some biases in the reconstruction. The second issue is that the intermediate water temperature changes greatly between 200 and 1000 m. This also create biases. For try to minimize the effect of such biases, we proposed a normalization of the data-set and tied our normalized assemblage to the temperature at water depth of ca. 500 m. This water depth has been chosen because of the relative stability of temperatures between 500-1000m, and most of our selected species cover the water depth of ca. 500 m. This enable us to estimate past intermediate water temperature at ca. 500 m within an error margin of 1.2 °C ( $R^2=0.84$ ), which is promising. However, some concerns remain, particularly for temperature higher than 9°C, but for temperature lower than 9°C, it seem that our method is relatively suitable ( $R^2=0.89$ ).

Keywords: Northwest Pacific, Intermediate water temperature, Radiolarians

## 不可能を可能に！：バルト海の最も深い海盆から得られた膨張コアの後期更新世～完新世年代決定の誤差解明

### The undatables: Quantifying uncertainty in a highly expanded Late Glacial - Holocene sediment sequence recovered from the deepest Baltic Sea basin –IODP Site M0063

\*オブラクタ スティーブン<sup>1</sup>、Andrén Thomas<sup>2</sup>、Fazekas Szilárd<sup>3</sup>、Lougheed Bryan<sup>4</sup>、Snowball Ian<sup>4</sup>、横山 祐典<sup>5</sup>、宮入 陽介<sup>5</sup>、近藤 玲介<sup>6</sup>、Kotilainen Aarno<sup>7</sup>、Hyttinen Outi<sup>8</sup>、Fehr Annick<sup>9</sup>  
\*Stephen Obrochta<sup>1</sup>、Andrén Thomas<sup>2</sup>、Szilárd Zsolt Fazekas<sup>3</sup>、Bryan Lougheed<sup>4</sup>、Ian Snowball<sup>4</sup>、Yusuke Yokoyama<sup>5</sup>、Miyairi Yosuke<sup>5</sup>、Reisuke Kondo<sup>6</sup>、Aarno Kotilainen<sup>7</sup>、Outi Hyttinen<sup>8</sup>、Annick Fehr<sup>9</sup>

1. 秋田大学大学院国際資源学研究所、2. Södertörn University、3. 秋田大学大学院理工学研究科、4. Uppsala University、5. 東京大学大気海洋研究所、6. 皇學館大学教育開発センター、7. Geological Survey of Finland、8. University of Helsinki、9. Aachen University

1. Akita University、2. Södertörn University、3. Akita U.、4. Uppsala University、5. Tokyo University、6. Kogakkan University、7. Geological Survey of Finland、8. University of Helsinki、9. Aachen University

IODPサイトM0063 (459 mbsl) のコア試料は、バルト海の最も深い海盆から採取され、有機物とガスが多く含まれているラミナ層が特徴の堆積物である。掘削オペレーションでは、最初のホールで伸びた堆積物の欠損率が高かったため、それ以降は、3.3mのコアのストロークを約2mにし、1m以上の膨張量に対処できるよう、バッファーを設ける掘削作業を行った。ほとんどのコアは、コアバレル中に完全に堆積物が充填されており、体積膨張が1.5倍以上に達していたことを示した。コアの最上部1mのガンマ線密度の値は非常に低く、指数関数的に減少している傾向が全体的に認められたので、膨張は主に上端部に限られていると考えられる。また堆積物の磁化率も指数関数的な変化傾向を保持しているので、単純な線形補正による膨張補正は不適切であると提案する。本研究では新たに提唱した手法により、ホールM0063C、Dの平均ガンマ線密度のプロファイルを用いて、膨張関数を得た。それらをコア毎に適用し、深度スケールを実際に記録されているストローク深度までに戻す。本発表では、多数の<sup>14</sup>C年代と、平均ガンマ線密度のプロファイルの標準偏差から、深度スケールの誤差とリザーバ効果の誤差が堆積速度にもたらした影響を調べた結果について発表する。

キーワード：14C、IODP、年代モデル、堆積物の膨張、古地磁気

Keywords: 14C, IODP, Age modeling, Sediment expansion, Paleomagnetism

## ボナパルト湾の海洋堆積物と glacial isostatic adjustmentモデルによる海洋酸素同位体ステージ2の海水準変動復元

### Marine Isotope Stage 2 sea-level records deduced from sediment cores in the Bonaparte Gulf and glacial isostatic adjustment model

\*石輪 健樹<sup>1</sup>、横山 祐典<sup>1</sup>、奥野 淳一<sup>2</sup>、上原 克人<sup>3</sup>、池原 実<sup>4</sup>、オブラクタ スティーブン<sup>5</sup>

\*Takeshige Ishiwa<sup>1</sup>, Yusuke Yokoyama<sup>1</sup>, Jun'ichi Okuno<sup>2</sup>, Katsuto Uehara<sup>3</sup>, Minoru Ikehara<sup>4</sup>, Stephen Obrochta<sup>5</sup>

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 国立極地研究所、3. 九州大学応用力学研究所、4. 高知大学海洋コア総合研究所、5. 秋田大学

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. National Institute of Polar Research, 3. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 4. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 5. Akita University

Marine Isotope Stage 2 (MIS 2) is the latest glacial period (30,000–15,000 years ago), including the Last Glacial Maximum (LGM) characterized by the maximum of global ice volume. The comparison of various paleoclimatic records with sea-level change derives an understanding of the earth climate system. However, global sea-level change during MIS 2, especially the LGM, is less understood due to its paucity of data and its uncertainty. The Bonaparte Gulf, northwestern Australia, is a suitable region to reconstruct the global sea level change since the Gulf is far from the former ice sheet and tectonically stable. Here we present the new sea-level records from the Bonaparte Gulf and the revision of the global ice volume history during the MIS 2 using marine sediment cores, paleo-tidal model and glacial isostatic adjustment (GIA) model. To reconstruct relative sea level in the Bonaparte Gulf, we employed exceeding 250 radiocarbon dates of carbonates and bulk organic matters from cores with various depths, combined with the two-dimensional tidal model for the evaluation of paleo-tidal effects to the past sea level in the Bonaparte Gulf. We also propose the revised global ice volume history during the MIS 2 based on results from GIA model and the new relative sea-level records for the Bonaparte Gulf.

キーワード：海水準変動、GIA model、海洋酸素同位体ステージ2、放射性炭素年代測定

Keywords: Sea Level, GIA model, MIS2, radiocarbon dating

## 小惑星衝突による寒冷化—干ばつ事件の規模と頻度

# Scale and frequency of cooling-drought events by asteroid impact

\*海保 邦夫<sup>1</sup>、大島 長<sup>2</sup>

\*Kunio Kaiho<sup>1</sup>, Naga Oshima<sup>2</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科、2. 気象研究所

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Meteorological Research Institute

Asteroid impacts to the Earth can form global stratospheric soot and sulfate aerosols sourced from target rocks leading to global decreases in sunlight, temperature, and precipitation. Scale of the cooling-drought events is decided by amount of those aerosols. Their amounts vary widely depending on impact location and impact energy. However, impact site variation has not considered for calculation of probability of the cooling-drought events by asteroid impacts. We analyzed climate changes by different size of asteroids hitting various impact locations. Here we show that significant cooling in high-middle latitudes with drought in low and high latitudes occur in frequency of once/7 million years, which decreases to one eighth of previous thought. The cooling-drought events by bolide impacts become more rare events for humans, but can occur during the duration of anthroposphere. Cooling in high-middle latitudes by  $>5^{\circ}\text{C}$  on land and drought in low latitudes damage vegetation and agriculture globally, which can induce a significant decrease of number of animals including humans. In order to avoid the disasters, an asteroid orbit should be controlled to hit to the oceans when impacts cannot be avoided, because of low amount of stratospheric aerosol sources inducing cooling in the ocean areas, and a little amount of stratospheric sulfate aerosol formed by impacts.

キーワード：気候変動、小惑星衝突

Keywords: climate change, asteroid impact

## 地球の軌道要素の変化に対する気候の応答

### The response of the climate to changes in the orbital parameters

\*木野 佳音<sup>1</sup>、阿部 彩子<sup>1,2</sup>、齋藤 冬樹<sup>2</sup>、大石 龍太<sup>1</sup>

\*Kanon Kino<sup>1</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>1,2</sup>, Fuyuki SAITO<sup>2</sup>, Ryouta O'ishi<sup>1</sup>

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

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

多くの古気候記録でミランコビッチ仮説を支持する結果が得られている (Hays et al., 1976) 一方、地球の軌道要素 (離心率、歳差、地軸の傾き) それぞれの変化に対してどのように気候が応答するかについてはあまり理解されていない。Abe-Ouchi et al. (2013) ではIceES-MIROCを用いて、過去40万年間の氷期-間氷期サイクルについて、日射量変化に対して気候システムが応答することで、10万年周期が生じうることを示した。約2万年前の最終最大氷期 (LGM) から現在にかけての退氷期 (termination 1) や、約40万年前の海洋酸素同位体ステージ (MIS) 12からMIS11にかけての退氷期 (termination 5) は、比較的小さい離心率 (夏の日射量変化が比較的小さい) にも関わらず大きな気候変化を示し、離心率が大きいことで日射量が大きく変化するMIS6からMIS5 (termination 2) などの退氷期と同程度の振幅であることは不思議である (40万年問題)。そこで、退氷期における気候の応答について注目し、様々な組み合わせで詳しく軌道要素に対する気候の応答を調べ、退氷期の気候変化における軌道要素の役割を解析する。今回、MIROC-LPJ (O'ishi and Abe-Ouchi, 2011) を用いて、軌道要素の組み合わせを変えた感度実験を行うことにより、地上気温の変化は日射量変化に対して必ずしも線形ではなく、特に離心率が小さい場合には、たとえ夏至が遠日点にあっても地軸の傾きを大きくすることで、夏至が近日点にあっても地軸の傾きが小さい時よりも、北半球高緯度の夏の地上気温が高くなることわかった。このことから、termination 5で、日射量が小さくとも地軸の傾きが大きいことで、大気二酸化炭素濃度の上昇を考慮せずとも、比較的高い地上気温となることが示唆される。本発表では、上記の感度実験のより詳細な解析結果について議論する。また、termination 1とtermination 5のそれぞれについて、軌道要素のみ変化させる2,000年間隔のスナップショット実験をMIROC-LPJで行うことにより、軌道要素の変化が気候変動にもたらす影響について調べることも今後の課題である。

キーワード：軌道要素、氷期-間氷期、モデル

Keywords: orbital parameter, glacial-interglacial, model

## Impact of glacial ice sheets on the duration of the stadial climate: Role of surface wind and surface cooling

\*シェリフ多田野 サム<sup>1</sup>、阿部 彩子<sup>1</sup>

\*Sam Sherriff-Tadano<sup>1</sup>, Ayako Abe-Ouchi<sup>1</sup>

1. 東京大学大気海洋研究所

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

It has been shown from ice core reconstructions that glacial periods experienced climate shifts between warm interstadials and cold stadials. The duration of these climate modes varied during glacial periods, and that both the interstadials and stadials were shorter during Marine Isotope Stage 3 (MIS3) compare to MIS5. Recent studies showed that the duration of the interstadials is controlled by the Antarctic temperature through its impact on the stability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). However, similar relation could not be found for the stadials, suggesting that other climate factor (e.g. differences in ice sheet size, greenhouse gases and insolation) may play a role. Thus, for a better understanding of the stability of the climate, it is very important to evaluate the impact of these climate factors on the duration of the stadial climate. In this study, we investigate the role of glacial ice sheets. For this purpose, freshwater hosing experiments are conducted with an atmosphere-ocean general circulation model MIROC4m under several ice sheets configurations computed in an ice sheet model Icies (Abe-Ouchi et al. 2013). The impact of glacial ice sheets on the duration of the stadial climate is evaluated by comparing the behavior of the weak AMOC after the freshwater forcing is reduced. All experiments show a drastic weakening of the AMOC in response to the freshwater hosing, which accompanied a cooling over the North Atlantic, a southward shift of the tropical rain belt and a warming over the Antarctic. We find that experiments with smaller ice sheet takes more time to recover after the freshwater hosing is reduced. Sensitivity simulations show that differences in the surface wind is important in causing the shorter stadial under larger ice sheets, while differences in the surface cooling has an opposite effect. Thus our result suggests that differences in the surface wind induced by the ice sheets play an important role in causing shorter stadials during MIS3 compare to MIS5.

キーワード : AMOC、亜氷期、氷床

Keywords: AMOC, Stadial, Ice sheet

# 最終氷期最寒期における黒潮蛇行に関する数値実験

## Numerical simulation about meandering Kuroshio in LGM

\*杉山 禎実<sup>1</sup>、池原 実<sup>2</sup>、中村 啓彦<sup>3</sup>

\*Yoshimi Sugiyama<sup>1</sup>, Minoru Ikehara<sup>2</sup>, Hirohiko Nakamura<sup>3</sup>

1. 高知大学院総合人間自然科学研究科理学専攻、2. 高知大学海洋コア総合研究センター、3. 鹿児島大学水産学部海洋環境グループ

1. Kochi University, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, 2. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 3. Kagoshima University, Faculty of Fisheries, group of marine environment

黒潮は北太平洋亜熱帯循環の西岸境界流であり、熱帯から亜寒帯へ熱エネルギーを輸送する媒体として東アジアの気候に大きな影響を与えている。また黒潮の特徴として、世界の海流のなかでもその流量は大きく、輸送するのは熱量だけでなく栄養塩などの化学物質や魚の卵・稚仔魚やプランクトンなどの生物といった物質も多い。そのため黒潮は、流域周辺地域だけでなく北太平洋の気候変動や地球環境にも大きな影響を与えている。現在、氷期-間氷期サイクルでの黒潮の変動については、琉球列島周辺および日本列島南岸沖から採取された海底堆積物（コア）やセディメントトラップの有機地球化学的分析など、プロキシーを用いて海洋表層環境を復元する手法が主流である。しかし、海洋物理学的側面から再現する研究はほとんどない。また、有孔虫化石の群集解析や安定酸素同位体比分析から最終氷期最寒期（LGM）の黒潮流路の復元を行ったUjiie and Ujiie (1999), および, Ujiie et al. (2003)の研究と、沖縄トラフ北部のコアより花粉解析を行ったKawahata et al. (2003)では黒潮復元に関する解釈が異なる。そのため、プロキシーを用いた従来の地球科学的アプローチによる黒潮復元だけでは不十分だと言える。そこで本研究では、モデルを用いた数値実験における海洋物理学的アプローチをおこなう。海水準変動が黒潮にどのような影響を与えるのかモデルにより再現し、そのメカニズムを解明することを目的とした。

本研究の数値実験では三次元海洋大循環モデル（Princeton Ocean Model: POM）を用いた。海水準変動実験として、現在の海水準（0m）・-40m・-80m・-120m・-200mの5ケースを行った。計算範囲は北太平洋北西部（5°N-55°N, 120°E-170°E）とし、水平方向の最高解像度は1.3/10°、緯度方向で約14.5kmである。

計算結果より以下のことが示唆された。海水準が現在より120m低下した場合でも、沖縄トラフ周辺の黒潮流路は大きく変わらず、黒潮は台湾-与那国島間から沖縄トラフに流入し、トカラ海峡から太平洋側へと流出する流路を示した。一方、海水準が低下することで四国海盆内に大規模な暖水渦と冷水渦が頻りに形成され、かつ南下する傾向を示した。また実験結果の日経過を観察すると、比較的早い段階で黒潮が直進モードから大蛇行モードに移行する。これは、海水準が低下することで九州-パラオ海嶺と伊豆小笠原島弧に囲まれる四国海盆の地形的閉鎖性が強化され、通り道を制限された大量の海水が四国海盆内で循環するためと考えられる。また、四国沖暖水渦と冷水渦、黒潮大蛇行形成に影響を与えられている膠州海山と第二紀南海山（西村ほか,2001, 川辺,2003）の影響力も現在より強かったのではないかと考察できる。

以上の計算結果と考察より、海水準が現在よりも低下していたLGMには、四国海盆周辺では大規模渦が頻りに形成され、その影響で黒潮は現在よりも大蛇行流路をとりやすかったと解釈される。今後の課題として、この解釈（仮説）を地質学的に検証するために、大規模渦が形成されていた四国海盆を中心として採取された海洋コア（KT07-11 EOS1PC・KH04-2KPR-3PCなど）を用いて、LGMにおける水温の水平・鉛直分布を復元することが重要である。

キーワード：黒潮、古海洋、古気候

Keywords: Kuroshio, Paleoceanography, Paleoclimatology

# 東シナ海男女海盆における最終氷期以降の珪質鞭毛藻群集変動

## Silicoflagellates assemblages on the Danjyo Basin in the East China Sea since the last glacial maximum

\*西園 史彬<sup>1</sup>、岡崎 裕典<sup>1</sup>

\*fumiaki nishizono<sup>1</sup>, Yusuke Okazaki<sup>1</sup>

1. 九州大学 理学部 地球惑星科学科

1. Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Kyushu University

東シナ海は西部北太平洋に位置する縁辺海であり、黄海を含めると面積の70%以上が大陸棚を占める。南東には、最深部の水深が2000 m以上に達する背弧海盆である沖繩トラフが存在する。東シナ海の表層水塊は、主として長江の影響を受けた低塩分で低温かつ高栄養塩の大陸系混合水塊と黒潮の影響を受けた高塩分で高温かつ低栄養塩の黒潮系水塊の2つに大別される。珪質鞭毛藻は海生植物プランクトンで、生物源オパール骨格を持つ。現在の海洋では、主に*Dictyocha*属（主に熱帯・亜熱帯・温帯）と*Stephanocha*属（主に極域・亜寒帯）の2属が生息している。このことから、海底堆積物試料中の珪質鞭毛藻化石の2属の比を取ることによって、定性的な海表面水温指標となることが提案されている。

本研究では東シナ海男女海盆における堆積物コア試料中の珪質鞭毛藻群集から、最終氷期以降の東シナ海の表層水温変化を復元した。研究に用いたピストンコア（KY07-04 PC01コア, 31°38.35' N, 128°56.64' E, 水深758 m）は、沖繩トラフ北部の男女海盆で採取された。同コア試料の年代モデルは、13点の浮遊性有孔虫放射性炭素年代および鬼界アカホヤテフラにより構築されている（Kubota et al., 2010）。珪質鞭毛藻群集観察用のプレパラートを作成し、群集組成変化を調べた。出現した珪質鞭毛藻種は11種であった。KY07-04 PC01コアにおける*Dictyocha*/*Stephanocha*比から、最終氷期以降の男女海盆における、持続的な黒潮系水塊の勢力強化が示唆された。現在、黒潮続流域とアラスカ湾に多産する*Dictyocha epidon*の変動パターンは、最終氷期以降徐々に増加していた。代表的な亜寒帯種である*Stephanocha speculum*が最終氷期と退氷期の一次期に増加したことから、この時期の男女海盆に現在よりも低温・低塩分な表層水の影響があったことが伺える。ただし、熱帯から温帯まで広く分布している*Dictyocha messanensis*が、最終氷期から完新世後期まで、持続的に多く産出しているため、最終氷期や最終退氷期においても、男女海盆に黒潮系水塊が完全に流入しなくなるようなことは起こらなかった。

キーワード：珪質鞭毛藻、東シナ海、男女海盆、海表面水温

Keywords: silicoflagellate, East China Sea, Danjyo Basin, sea-surface temperature

## 海底地形とSBP探査結果をもとにした沖縄県宮古島周辺浅海域の地質学的特徴

### Geological Characteristics in shallow marine around Miyako-jima Island based on Sub-bottom profiles and bathymetric data

\*井上 卓彦<sup>1</sup>、荒井 晃作<sup>1</sup>、佐藤 雅彦<sup>1</sup>、三澤 文慶<sup>1</sup>、板木 拓也<sup>1</sup>

\*Takahiko Inoue<sup>1</sup>, Kohsaku Arai<sup>1</sup>, Masahiko Sato<sup>1</sup>, Ayanori Misawa<sup>1</sup>, Takuya Itaki<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質情報研究部門

1. Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

産総研では宮古島周辺海域にて、JOGMEC所有調査船「白嶺」による海洋地質調査航海を実施した。本調査航海では、調査の一環として海底表層部の堆積層を高分解能で把握するために、パラメトリック方式サブボトムプロファイラー（SBP）を用いた高分解能音波探査を実施している。本報告では航海で得られたSBP音波探査記録及び海底地形をもとに宮古島周辺浅海域の地質学的特徴について報告する。

宮古島周辺には、水深200 m以浅の比較的平坦な海底地形が広がっており、沿岸域にはサンゴ礁の発達知られている。水深200m以浅の表層部は、上位の成層した堆積層と下位の内部反射面を伴わない地層の大きく2層に区分された。上位層である堆積層は下位層を明瞭な不整合で覆っている。下位層は浅海部で広く海底面に露出しており、上面に強い反射を伴う。露出する下位層には、上方へ突起した地形を示すものと起伏がほとんどないものが認められ、宮古島近傍の100m以浅の浅海域では上方へ突起した地形が特に顕著に認められる。この突起は海底面から高さ8 mにも達する。この突起地形は宮古島の近傍でのみ認められること、水深100 m以浅の浅海域に限定的に発達していることから、氷期以降の海水準上昇期に形成され、急激な海水準上昇により沈水した炭酸塩の高まりである可能性が高い。

キーワード：サブボトムプロファイラー、海底地形、宮古島周辺、サンゴ礁、表層海洋地質、浅海域

Keywords: Sub-Bottom Profiler, Multi-Beam Echo Sounder bathymetric survey, Miyako-jima Island, coral reef, surface marine geology, shallow sea

# 宮古曽根プラットフォームの高分解能音波探査 High-resolution seismic reflection and SBP surveys on the Miyako-Sone platform, Ryukyu Island Arc, northwestern Pacific

\*荒井 晃作<sup>1</sup>、井上 卓彦<sup>1</sup>、三澤 文慶<sup>1</sup>、横山 心一郎<sup>1</sup>

\*Kohsaku Arai<sup>1</sup>, Takahiko Inoue<sup>1</sup>, Ayanori Misawa<sup>1</sup>, Shin-ichiro Yokoyama<sup>1</sup>

1. 産業技術総合研究所地質情報研究部門

1. Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial and Technology

後氷期の海水準変動に伴って形成されたと考えられる沈水サンゴ礁が見つかった (Arai et al., 2016) 宮古曽根において、高分解能音波探査を実施した。2016年に行われた調査によって、ブーマー (AA300 Boomer system) を音源とした24チャンネルの高分解能音波探査およびパラメトリックSBP記録を新たに取得した。高分解能音波探査の結果、海底面下表層の地層累重が明瞭になった。

沈水サンゴ礁と考えられる高まりの海底面下は、反射強度の強い不規則な面を形成しており、それ以下は急に反射強度が弱く無秩序な内部構造からなる。これは、良く固結した炭酸塩岩 (Arai et al., 2016) の強反射面と考えられる。一方で、高まりの縁においては、海底面下に明瞭な強反射面が認められ、一部で傾斜した下の地層を浸食する不整合面である。強反射面は120-160 ms (往復走時) で比較的平坦な面を形成しており、おそらく最終氷期の浸食面と考えられる。この強反射面を最大約25 ms (往復走時) の成層した堆積層が覆っていることが分かった。さらに、小さな高まりが強反射面を覆っている場合もある。最終氷期の最大海退期にはこの海域は陸化しており、明瞭な浸食面が強反射面を形成したと考えられる。その面を覆うように一部ではサンゴ礁が発達していったものと考えられる。

キーワード：琉球弧、海洋地質、反射法音波探査、第四紀

Keywords: Ryukyu Arc, marine geology, seismic reflection survey, Quaternary