

# 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。

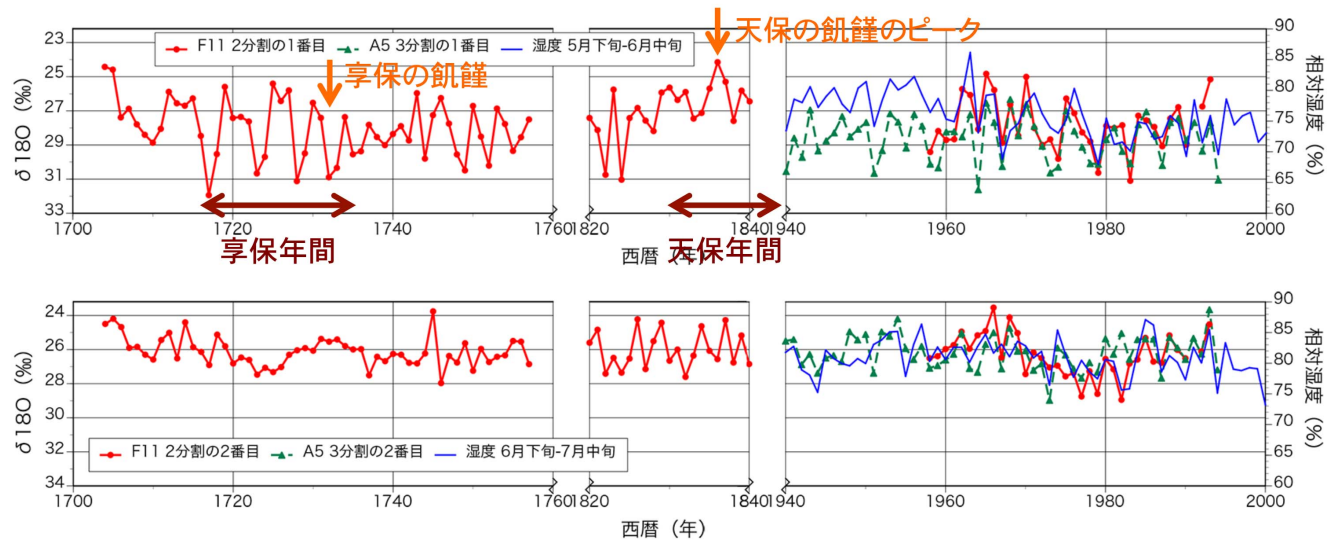
樹木年輪試料には、滋賀県太神山産のヒノキ2個体を用いた。一方は18世紀初頭まで遡る300近い年輪数を持つ個体（F11）、他方は樹齢約150年で最近数十年分の年輪幅が広い個体（A5）である。測定対象期間は、江戸時代の享保期（1716-1736年）、天明期（1781-1789年）、天保期（1831-1845年）前後の時期（F11）と、気象観測データと重なる20世紀中～後期（F11及びA5）とした。サンプルは「板ごと抽出法」により、厚さ約2mmの木口面の板からセルロースを抽出した後、双眼実体顕微鏡下で眼科用ナイフを用いて年層内を成長方向に細分割した。年層内の分割数は12を基本とし、幅が狭い年輪では6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‰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‰ PDB) reflecting a recharge area essentially devoid of plants and dominated by volcanic CO<sub>2</sub>, 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, Urahoru 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, Urahoru 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 Urahoru 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 tephra. 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 tephra and ignimbrites. Even different tephra 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 tephra, 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 tephra 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・サープコピアン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., *Neogloboquadrina 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