

ペルム紀／三畳紀境界の完全連続深海層序の復元と黄鉄鉱を用いた海洋深層環境の解明

Reconstruction of Permian-Triassic ocean redox conditions based on laminae preservation and pyrite framboids from the pelagic Panthalassic Ocean

水谷 茜¹、*高橋 聡¹、石田 潤¹、山本 信治¹、池田 昌之²、尾崎 和海³、齋藤 めぐみ⁴、鈴木 希実⁴、多田 隆治¹

Akane Mizutani¹, *Satoshi Takahashi¹, Jun Ishida¹, Shinji Yamamoto¹, Masayuki Ikeda², Kazumi Ozaki³, Megumi Saitoh⁴, Nozomi Suzuki⁴, Ryuji Tada¹

1.東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻、2.静岡大学、3.東京大学大気海洋研究所、4.国立科学博物館地学研究部

1.Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, 2.Shizuoka University, 3.Atmosphere and Ocean Research Institute.University of Tokyo, 4.Division of Paleoenvironment and Paleoecology Department of Geology and Paleontology National Museum of Nature and Science

Widespread oceanic anoxia has been implicated as an important factor in the Permian -Triassic mass extinction and the delayed recovery of Early Triassic marine ecosystems. This study investigates the composite columnar section of the deep-sea Permian-Triassic boundary section preserved in the accretionary complex in Northeast Japan. This columnar section consists of the Upper Permian bedded chert and siliceous claystone, and overlying the end-Permian to earliest Triassic black claystone. The mass extinction horizon places in the base of the black claystone, and top of the reconstructed black claystone corresponds to 226.7 kilo year after the extinction event based on sedimentation rate estimated by Takahashi et al. (2014). The careful observation of polished cross sections identified thinly laminated structures in the end-Permian to earliest Triassic claystone interval. Our observation on the polished specimen revealed small and well sorted framboids (average diameters are 4 μm and their standard deviations are 1.1 μm) suggesting that sulfidic water column prevailed during the end Permian mass extinction and subsequent time interval corresponding to the overlying 30 cm. Well preserved laminae occur within the same stratigraphic interval, suggesting stagnant benthos activity due to anoxic bottom water condition under sulfidic water column. On the other hand, well preserved laminae appear again in the overlying earliest Triassic horizon, but size of pyrite framboids are not so small (average diameters are more than 7 μm), suggesting anoxic but non-sulfidic water column condition. These facts indicate water column sulfidic episodes sustained for less than 50 kilo years in the pelagic Panthalassa.

キーワード：ペルム紀、三畳紀、大量絶滅、遠洋域深海相、フランボイダル黄鉄鉱

Keywords: Permian, Triassic, Mass extinction, Pelagic deep sea, Pyrite Framboids

三疊紀古世後期における南部北上古陸周辺海域の酸化還元環境

Redox conditions of late Early Triassic oceanic region around the South Kitakami Microcontinent

*吉澤 和子¹、高橋 聡¹、永広 昌之²、對比地 孝亘¹、武藤 俊¹、田代 貴志¹、飯塚 毅¹、田中 雅人¹、高橋 嘉夫¹

*Kazuko Yoshizawa¹, Satoshi Takahashi¹, Masayuki Ehiro², Takanobu Tsuihiji¹, Shun Muto¹, Takayuki Tashiro¹, Tsuyoshi Iizuka¹, Masato Tanaka¹, Yoshio Takahashi¹

1.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2.東北大学総合学術博物館

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

2.The Tohoku University Museum, Tohoku University

After the end-Permian mass extinction (EPME), biotic recovery required more than 5 million years during the Early Triassic. Evidence of recovery such as the emergence of complex ecosystems and high biodiversity appeared in the late Early Triassic to Middle Triassic (Chen and Benton, 2012). The fossil evidence of a complex food chain was reported from shallow-marine strata of late Olenekian (Spathian), late Early Triassic age, in the South Kitakami Microcontinent that was located in the low-latitude Tethys-Panthalassa border (Ehiro, 2001). These strata belong to the Osawa Formation in the South Kitakami Belt, now distributed in Northeast Japan, and are characterized by well-preserved parallel laminae and the occurrence of the oldest ichthyosaurs (Shikama et al., 1978; Yamanaka and Yoshida, 2007). However, the depositional environment of these strata has been poorly understood. The present study aims to reveal detailed redox conditions in the Spathian shallow marine region around the South Kitakami Microcontinent based on observation of the sedimentary structure (laminae preservation), mode of occurrence of pyrite, and geochemical proxies (redox-sensitive elements). Referring to the type columnar sections described by Kamata and Takizawa (1992), four lithologic sections corresponding to the lower, middle, and upper parts of the Osawa Formation were identified. From these sections, 49 rock samples were collected for thin sections, polished specimens, and geochemical analyses (ICP-AES and ICP-MS). Observation of polished rock specimens indicates that laminae were well-preserved in mudstone from the middle part of the Osawa Formation whereas laminae were not visible in the lowermost and uppermost parts. These trends indicate that the middle part of the Osawa Formation was deposited under conditions of lower benthos activity than the lowermost and uppermost parts. Mode of occurrence of pyrite in the studied sections is divided into euhedral pyrite and aggregations of framboidal pyrite, of which the latter are formed around organic matter. These types of pyrite were observed in almost all the horizons. These modes of occurrence indicate that pyrite formed within the sediment, suggesting a reductive condition during their diagenesis (Wignall et al., 2010; Bond and Wignall, 2010; Gallego-Torres et al., 2013; Wang et al., 2013). Measured concentrations of redox-sensitive elements from bulk samples provide further information on the redox condition. V and U show values close to average upper continental crust (AUC) value (Taylor and McLennan, 1985) throughout the study sections. Mo values are lower than AUC in most horizons, but slightly high in the middle part of the Osawa Formation, which is consistent with laminae preservation. Among the modern examples of various redox conditions (Algeo et al., 2009; Tribovillard et al., 2012), the combination of U and Mo concentrations in the Osawa Formation is in agreement with those from the dysoxic condition (not sufficiently oxic but not reaching a strong reductive condition). Accordingly, the depositional environment of the Spathian shallow marine region around the South Kitakami Microcontinent is regarded as possibly reductive, as suggested by low benthic activity, and remaining at the level of a dysoxic condition. It is implied that, after the EPME, recovery of

complex marine ecosystems during Early Triassic proceeded under such mildly reducing oceanic environment.

キーワード：三疊紀古世後期、南部北上、酸化還元環境、大沢層

Keywords: late Early Triassic, South Kitakami, redox condition, Osawa Formation

北米および犬山地域の三畳系-ジュラ系の高熟成度堆積岩の有機物分析による古環境解析
Paleoenvironmental reconstruction by organic matter analyses of Triassic-Jurassic highly mature sediments from North America and Inuyama, Japan.

*舘下 雄輝¹、沢田 健¹、池田 昌之²

*Yuki Tateshita¹, Ken Sawada¹, Masayuki Ikeda²

1.北海道大学・理学院、2.静岡大学・理学研究科

1.Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Faculty of Science, Shizuoka University

古環境解析の手法の一つとして堆積岩中の有機物を用いた研究が広く行われているが、高い熟成を受けた古代堆積物において堆積時の環境・生物情報がほとんど失われていて、古環境復元は難しい。しかし、そのような高熟成度の古代堆積物から、わずかにでも残存している記録を読み取ることができれば、地球史レベルの環境変動・生態系進化などの知見がより深まるであろう。古代堆積物において、微量の遊離態成分（ピチュメン）からバイオマーカー分子を見出して研究がなされている。また、遊離態成分は堆積岩中に含まれる有機物のわずか数%であるが、95%以上を占める不溶性高分子有機物のケロジェンも有用な情報源である。しかし、その成因や化学構造は未だよく分かっておらず、分析手法も確立段階であるといえる。本研究では北米および犬山地域の三畳系-ジュラ系の高熟成度堆積岩中の遊離態成分とケロジェンの分析を行い、古環境解析を試みた。本研究では、北米の三畳紀-ジュラ紀境界時の湖成層黒色頁岩および赤色砂岩と、犬山地域の中期三畳紀 AnisianおよびT-OAE2時にパンサラッサの遠洋域で堆積した付加体堆積物（黒色頁岩・黒色チャート）を用いた。各試料を粉碎後有機溶媒で抽出を行い、遊離態成分は、シリカゲルクロマトグラフィーによりカラム分けを行った後、GC-MS分析を行った。抽出残渣からは、HCl・HF処理によりケロジェンを分離し、蛍光顕微鏡観察、熱分解GC-MS分析、熱化学分解GC-MS分析を行った。

北米および犬山試料ともに石油生成帯に至るまでに高い熟成度であることが確認され、遊離態のバイオマーカー分子はn-アルカン等の石油性炭化水素に変化し、生体に直接由来するようなデータはほとんど得られなかった。しかし、北米の試料からは、湖生の藻類由来であると考えられるβ-カロタンが検出され、堆積年代毎のβ-カロタン量の違いから、当時の湖における堆積環境の変動が示唆される。犬山地域の試料からはシアノバクテリアに由来すると考えられる2-メチルホパンが検出された。シアノバクテリアは海洋における生態系の荒廃時に繁茂すると考えられており、当時のパンサラッサ遠洋域での環境擾乱が示唆される。ケロジェンの蛍光顕微鏡観察では、通常弱い蛍光を示すとされている海生藻類由来の不定形物質が蛍光を示さなかった。また、犬山のケロジェンを熱分解GC-MS分析を行ったところ、主生成物がPAH化合物であった。以上から、熟成と共に芳香環化が進行していることが示される。北米の試料では、n-アルカン/n-アルケンが主成分として検出された。興味深いことに、Hartford盆地East Berlin層の試料において、フェノール類が主成分として検出された。陸上植物起源有機物の関与が大きいことが示唆され、環境変化による陸上植物起源有機物の大量流入・堆積の可能性が推察される。

キーワード：三畳紀-ジュラ紀境界、バイオマーカー、ケロジェン、熱化学分解分析、高熟成度堆積岩

Keywords: Triassic-Jurassic boundary, biomarker, kerogen, thermochemistry, highly matured sediment

白亜紀中期セノマニアン期の浮遊性有孔虫 (*Muricohedbergella delrioensis*) の成長と古海洋環境変動

Environmental change and morphological variability in mid-Cretaceous planktic foraminifer, *Muricohedbergella delrioensis*

*高橋 恵里¹、守屋 和佳¹

*Eri Takahashi¹, Kazuyoshi Moriya¹

1.早稲田大学 教育学部 地球科学専修

1.Dep. Earth Sciences, Waseda University

白亜紀、特にその中期は典型的な温室地球時代として知られており、氷質地球である現代とは異なる地球システムにおける生命進化を議論する格好の対象となってきた。温室地球時代には、多くの超温暖化イベントが起きたことが知られており、白亜紀においては無酸素水塊の発達を伴う海洋無酸素事変として知られている。多くの海洋無酸素事変は浮遊性の原生生物の20~70%程度の分類群が滅びる程の絶滅を伴うイベントとして知られているが、海洋無酸素事変にまでは至らなかった小規模なイベントも幾つか知られている (Leckie et al., 2002)。その一つがMid-Cenomanian Event (MCE) であり、このイベントは、セノマニアン期/チューロニアン期境界のOceanic Anoxic Event 2の前兆イベントであったと考えられている。しかし、このイベントにおける地球表層環境変動と生物の応答の詳細については未だに明らかになっていない。

そこで、本研究では、白亜紀セノマニアン期中期に発生したMCE時における浮遊性有孔虫、*Muricohedbergella delrioensis*の殻形態の経時変化を解析した。対象とした試料は国際深海掘削計画第207次航海において、赤道大西洋のDemerara Riseより得られたものである。本地域においては、セノマニアン期の*M. delrioensis*の殻の炭素・酸素同位体比がすでに測定されており (Moriya et al., 2007)、本研究で得られた形態変化と同位体比変動との対比を試みた。サイズの層位学的分布の解析からは、MCE周辺を境として、より上位(若い年代)ではサイズが小型化していることが示された。また、このサイズの小型化に伴い、1個体の総チャンパー数も減少しており、チャンパー数が減ることで小型化する、逆に増えることで大型化する関係にあることが明らかになった。現生の浮遊性有孔虫の飼育実験からは、採餌頻度の上昇にともない性成熟時のサイズが大きくなり、かつ形成するチャンパー数も多くなることが知られている (Bé et al., 1981)。さらに、採餌頻度の高い個体は性成熟に到達する日数も短くなることが明らかになっている (Bé et al., 1981)。このことから、MCE以前の集団は、より採餌頻度が高く、MCE以降に採餌頻度が減少した、すなわち貧栄養な状態に変化したことが推測される。サイズとチャンパー数の相対成長解析からは、セノマニアン期中期の*M. delrioensis*の形態進化は幼生成熟/過形成の関係にあるように見受けられるが、おそらくは、採餌頻度に起因する幼形成熟/促進的な関係にあると推測される。また、本研究では*M. delrioensis*の右巻き/左巻き比についても解析を行ったところ、巻の方向と酸素同位体比との間に有意な相関が得られた。本研究では、左巻きの比率が高いほど、酸素同位体比が高く、すなわち低温になることが示された。この結果は、Desmares et al. (2016) で得られた結果と同じであり、*M. delrioensis*の巻方向が新しい古水温プロキシとして利用できる可能性を追認した。現生種(例えば*Neogloboquadrina pachyderma*)における巻の方向の異なる形態群は、異なる遺伝型、あるいは種に区分できることが明らかになっており (Darling et al., 2006)、*M. delrioensis*に見られた巻方向の異なる形態群も遺伝的に異なる集団である可能性がある。

Bé et al., 1981. Jour. Marine Biol. Ass. UK, v. 61, p. 257-277.

Darling et al., 2006. Paleoclimatology, v. 21.

Desmares et al., 2016. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., v. 445, p. 8-17.

Leckie et al., 2002. Paleoclimatology, v. 17, 10.1029/2001PA000623.

Moriya et al., 2007. Geology, v. 35, p. 615-618.

キーワード：白亜紀、浮遊性有孔虫、形態進化

Keywords: Cretaceous, Planktic foraminifer, Morphological evolution

中期白亜紀海洋無酸素事変OAE2における渦鞭毛藻による赤潮発生の検討

Evaluation of 'paleo' red-tide during the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Event (OAE) 2.

*安藤 卓人¹、沢田 健¹、高嶋 礼詩²、西 弘嗣²*Takuto Ando¹, Ken Sawada¹, Reishi Takashima², Hiroshi Nishi²

1.北海道大学・理学院、2.東北大学・総合博物館

1.Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Tohoku University Museum, Tohoku University

富栄養化などに伴った海洋植物プランクトンによる赤潮 (red-tide) は水産資源へ甚大な影響を与えるために注目されてきた。近年の急激な温暖化に伴い赤潮が発生する懸念がなされていると同時に、現在でも主要な赤潮種である渦鞭毛藻の過去の温暖化に伴った挙動も注目されている。急激な温暖化が報告されているPETM期には渦鞭毛藻 *Apectodinium* が大量発生したことが報告されているが (Sluijs et al., 2007), 白亜紀最温暖期に相当する海洋無酸素事変 (OAE) 2期についてはむしろ渦鞭毛藻シストの減少が報告されている (Pearce et al., 2009)。このOAE2期には炭素同位体比層序と TEX_{86} などの古水温指標から少なくとも2回の温暖化と1回の寒冷化で特徴づけられることが分かってきており、環境変動に対する基礎生産者の応答に関して詳細な検討が可能になってきた。本研究では、渦鞭毛藻バイオマーカー (三芳香環ジノステロイド) と極微小な渦鞭毛藻様のアクリタークに着目して、北海道蝦夷層群佐久層と南東フランス・ボコンチアン堆積盆のOAE2層準堆積岩で詳細な比較を行なった。

北海道蝦夷層群と南東フランス・ボコンチアン堆積盆とOAE2層準試料を炭素同位体層序による詳細な対比によって比較した結果、両試料において渦鞭毛藻バイオマーカー指標 (TADS) の値が炭素同位体Phaseの1st build-up開始期とTroughから2nd build-up開始期の間で増加した。これらの時期は TEX_{86} などの古水温指標から推測される温暖化の時期とほぼ対応しているため、全球的な温暖化に対応して北太平洋とテチス海の離れた二地点で基礎生産への渦鞭毛藻の寄与が増大したと推察される。特にOAE 2期は温暖化に伴った水塊の「密度差崩壊」が示されているため (Huber et al., 1999), 海洋中層や底層からの栄養塩供給によって渦鞭毛藻が好む富栄養な海洋表層環境が全球規模で広がった可能性がある。また、TADSが高い値を示す試料では北海道と南東フランスの試料ともに突起物を持った直径20 μ m未満のアクリターク (*Microhystridium*) が多産した。これらのアクリタークが渦鞭毛藻に起源をもつかは分かっていないが、先行研究ではこれらを濃集した画分において渦鞭毛藻バイオマーカーが多量に検出されている (Talyzina et al., 2000)。これらは渦鞭毛藻シストでも特に独立栄養型のGonyaulacoidと形状が類似しており、さらにそれらよりも小型であることから、このアクリタークを形成した種は現在の赤潮種のようにr戦略をとっていたと推測できる。もしかすると、OAE2期の温暖化のタイミングで富栄養化に伴った小型の渦鞭毛藻による赤潮の頻度が高まった可能性があり、その結果として効率的に有機物が海底に埋積し、海洋の無酸素化が促進されたかもしれない。

キーワード：白亜紀、渦鞭毛藻、赤潮、海洋無酸素事変、アクリターク

Keywords: Cretaceous, Dinoflagellate, red-tide, Oceanic Anoxic Events, acritarch

グローバルすすエアロゾルによる低緯度干ばつと寒冷化が起こした白亜紀-古第三紀境界大量絶滅
Draught in the low latitudes and cooling by global soot aerosols led to the mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary

*海保 邦夫¹、大島 長²、足立 光司²、足立 恭将²、水上 拓也¹、藤林 恵³、齊藤 諒介¹

*Kunio Kaiho¹, Naga Oshima², Kouji Adachi², Yukimasa Adachi², Takuya Mizukami¹, Megumu Fujibayashi³, Ryosuke Saito¹

1.東北大学大学院理学研究科、2.気象研究所、3.東北大学大学院工学研究科

1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan, 3.Ecological Engineering Laboratory, Tohoku University

The extinction of the dinosaurs at the Cretaceous/Paleogene boundary led to the macroevolution of mammals and appearance of humans. The current hypothesis for the extinction of the dinosaurs is that an asteroid impact at Chicxulub, present-day Mexico, formed condensed aerosols in the stratosphere, which caused the cessation of photosynthesis and global near-freezing conditions. Here, we propose a new hypothesis that latitude-dependent climate changes caused by the soot aerosols in the stratosphere could consistently explain both the extinction of the dinosaurs and the survival of the crocodylians. Our geochemical data show that stratospheric soot aerosols were ejected from the oil-rich area by the asteroid impact and spread globally, coinciding with the devastation of land plants. Our model calculation and biological interpretation indicate that the soot aerosols caused sufficiently colder climates at the mid-high latitudes for several years, inducing the extinction of the dinosaurs and crocodylians in those areas. However, the climate still remained warm enough for their survival and the weak sunlight was still sufficient for plant photosynthesis at low latitudes, but the substantial decreases in precipitation occurred at low latitudes over several years resulting in draught, which may have affected their eventual extinction or survival.

More than 90% species of planktonic foraminifera, which inhabited the global seas, became extinct coinciding with the asteroid impact at the Cretaceous/Paleogene boundary. Our model calculation indicates that the soot aerosols caused 7-11°C, 4-8°C, and 3-6°C cooling at most in the 2 m, 50 m, and 100 m water depths in the low-middle latitude ocean. The rapid global cooling may have caused the marine extinctions.

キーワード：大量絶滅、恐竜、浮遊性有孔虫、白亜紀-古第三紀境界、すす、気候

Keywords: mass extinction, dinosaurs, planktonic foraminifera, Cretaceous-Paleogene boundary, soot, climate

始新世浮遊性有孔虫殻における安定同位体比の個体発生変化：現世光共生種との比較

Ontogenetic stable isotope records of Eocene planktic foraminifers: Comparison to modern symbiotic species observation

*高木 悠花¹、守屋 和佳²、石村 豊穂³

*Haruka TAKAGI¹, Kazuyoshi Moriya², Toyoho Ishimura³

1.早稲田大学 大学院、2.早稲田大学 地球科学専修、3.茨城工業高等専門学校

1.Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, 2.Department of Earth Sciences, Waseda University, 3.National Institute of Technology, Ibaraki College

Many planktic foraminiferal species in the Eocene epoch are thought to have symbiotic algae in their cytoplasm. Detection of photosymbiosis is achieved from ontogenetic isotopic signature; the $\delta^{13}\text{C}$ of symbiont-bearing species yields more ^{13}C -enriched values than the asymbiotic species, reflecting selective incorporation of ^{12}C by the symbiont photosynthesis. Because foraminiferal tests grow intermittently by adding a new chamber on the preformed test, each chamber holds information of the symbiont photosynthesis at the time of the chamber calcification. Recently, we have proposed chamber-by-chamber isotope analyses to investigate ontogenetic development of the photosymbiotic relationship. Here, we show the preliminary results of ontogenetic trends of isotopic values of Eocene species, and discuss the profiles from our observational results of cultured modern species.

Three Eocene species recovered by IODP Exp. 342 (U1407) were analyzed to examine ontogenetic isotopic profiles; *Morozovella*, *Acarinina* (symbiotic), and *Subbotina* (asymbiotic). Each individual test was dissected into chambers by using a micro-blade, then analyzed by the customized continuous-flow mass spectrometry system that can measure micro-volume carbonate as small as a single chamber.

The $\delta^{13}\text{C}$ values of *Morozovella* and *Acarinina* tended to show the ontogenetic positive shifts until the penultimate chamber. Then the final chamber showed more ^{13}C -depleted $\delta^{13}\text{C}$ value drastically by 0.5–1.0 ‰. In contrast to these species, *Subbotina* showed comparatively ^{13}C -depleted $\delta^{13}\text{C}$ values whole through its ontogeny. We can say that the progressive ^{13}C -enrichment of the chambers $\delta^{13}\text{C}$ with growth, excluding the last chamber, seen in *Morozovella* and *Acarinina* probably reflected the increase of the effect of symbiont photosynthesis. The contrasting relatively constant $\delta^{13}\text{C}$ values through ontogeny seen in *Subbotina* is in good agreement with the known asymbiotic nature of this species. The notable thing is that the last chamber of the two symbiotic species showed comparable $\delta^{13}\text{C}$ value to that of *Subbotina*. It indicates that the two symbiotic species had already lost their symbionts, or their photosynthesis was not active at the time of the last chamber calcification.

Our recent culture experiments of modern species (*Globigerinoides sacculifer* and *Globigerinella siphonifera*) to investigate symbiont photosynthesis through ontogeny showed that the chlorophyll content of the foraminifers, thus the symbiont content, drastically decreased to almost zero at the time or just before the gametogenesis. It sometimes occurred during the last chamber calcification. These modern observations indicate that the more ^{13}C -depleted $\delta^{13}\text{C}$ value in the final chamber in Eocene symbiotic species could reflect the digestion or lysis of symbionts. If so, it can be said that each individual had to acquire the symbionts from the environment at some time during the ontogeny as the modern obligate symbiotic species do.

キーワード：始新世、浮遊性有孔虫、炭酸塩安定同位体、光合成共生

Keywords: Eocene, Planktic foraminifer, Carbonate stable isotopes, Photosymbiosis

前期/中期中新世境界付近における東赤道太平洋の放散虫群集変遷

Radiolarian faunal turnover across the early/middle Miocene boundary in the eastern equatorial Pacific Ocean

*上栗 伸一¹

*Shin-ichi Kamikuri¹

1. 茨城大学教育学部

1. Faculty of Education, Ibaraki University

The lower to middle Miocene sequence was drilled at IODP Site U1335 (5°18.735'N, 126°17.002'W, water depth 4328 m) in the eastern equatorial Pacific Ocean. In the modern ocean, Site U1335 is located under the North Equatorial Current, and the biogenic silica fluxes to the sea-floor sediments are comparatively high in this area. The sediments recovered from Site U1335 are predominantly nannofossil ooze with siliceous microfossils such as diatoms and radiolarians.

230 morphotypes of radiolarians were identified at this site. Because the low latitude species commonly occurred at this site, the tropical Cenozoic zonation of radiolarians proposed by Sanfilippo and Nigrini (1998) was adopted. The studied sequence was divided into four zones, consisting of the RN2 (the *Stichocorys delmontensis* Interval Zone), RN3 (the *Stichocorys wolffii* Interval Zone), RN4 (the *Calocycletta costata* Interval Zone), and RN5 (the *Dorcadospyrus alata* Interval Zone) at Site 1335. In the standard zonal scheme, the early/middle Miocene boundary corresponds to the top of C5Cn.1n with an age estimate of 16.268 Ma (Pälike et al., 2010; Gradstein et al., 2012). Hence, this boundary was placed at 189.6 mcd at Site 1335.

Radiolarian fauna was divided into three assemblages based on variations in the composition of dominant species: an early Miocene assemblage (20.0 to 16.8 Ma), a transitional assemblage (16.8 to 13.4 Ma) and a middle Miocene assemblage (13.4 to 12.0 Ma). The early Miocene assemblage is characterized by two dominant species of *S. delmontensis*, *S. wolffii*, and *Tholospyris anthophora*. The transitional assemblage consists of three dominant species of *S. delmontensis*, *Calocycletta robusta* group, and *T. anthophora*. The four dominant species of the middle Miocene assemblage present in this assemblage are *Stylodictya* sp. A, *Lophocyrtis aspera*, *Disolenia* spp. and *Collosphaera* spp. The most significant faunal turnover of radiolarians is marked at the boundary between the transitional/middle Miocene assemblages.

キーワード：放散虫、中新世、東赤道太平洋

Keywords: radiolaria, Miocene, eastern equatorial Pacific

北海道波恵川産含鯨類化石転石炭酸塩団塊の放散虫・珪藻化石年代

Geologic age of the whale fossil-bearing calcareous float concretion from the Hae River, Hokkaido, Japan, based on radiolarian and diatom analyses

*本山 功¹、丸山 俊明¹、西村 智弘²、櫻井 和彦²、粕川 茜¹、松崎 賢史³

*Isao Motoyama¹, Toshiaki Maruyama¹, Tomohiro Nishimura², Kazuhiko Sakurai², Akane Kasukawa¹, Kenji M. Matsuzaki³

1.山形大学理学部地球環境学科、2.むかわ町穂別博物館、3.産業技術総合研究所 地質情報研究部門

1.Department of Earth and Environmental Sciences, Yamagata University, 2.Hobetsu Museum,

3.Geological Survey of Japan, AIST

Radiolarian and diatom fossils have been used to constrain the age of calcareous concretion collected from the Hae River, Hidaka Town, southern central Hokkaido, Japan. The calcareous concretion contains whale fossils and was discovered as a float during the riparian works in 2005. Recovered radiolarian and diatom assemblages indicate the *Lipmanella redondoensis* Zone (9.0 to 7.4 Ma) and the *Rouxia californica* Zone (7.7 to 6.5 Ma), respectively. Thus the concretion can be dated as 7.7 to 7.4 Ma. This age is concordant with the age range of the Nina Formation which is distributed near the locality of the concretion and was previously dated as ca. 10.1 to 3.5 Ma based on the diatom stratigraphy in the surrounding area. We will examine some samples collected from the Nina Formation exposed along the Hae River to confirm the origin of the concretion.

キーワード：鯨類化石、放散虫、珪藻

Keywords: whale fossil, Radiolaria, Diatom

北海道の中新統から産出した*Allodesmus* (哺乳綱：食肉目)の系統的位置づけと体骨格の意義
 The extinct pinniped *Allodesmus* (Mammalia: Carnivora) from the Miocene of Hokkaido, northern Japan, and its implications for phylogeny and postcranial morphology

*主森 亘¹、澤村 寛²、佐藤 たまき³、甲能 直樹^{1,4}

*Wataru Tonomori¹, Hiroshi Sawamura², Tamaki Sato³, Naoki Kohno^{1,4}

1.筑波大学大学院 生命環境科学研究科、2.足寄動物化石博物館、3.東京学芸大学 自然科学系 宇宙地球科学分野、4.国立科学博物館 地学研究部

1.Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2.Ashoro Museum of Paleontology, 3.Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4.Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

*Allodesmus*は半水生の食肉目である鰭脚類(アザラシ・アシカ・セイウチの仲間)であり、後期中新世までに絶滅してしまったデスマトフォカ科に属する。また、*Allodesmus*は中期中新世に出現し、その分布は北太平洋沿岸(日本、アメリカ、メキシコ)に限定されている。先行研究によれば、主に頭蓋形態による系統解析に基づいて、*Allodesmus*属は少なくとも5種を含み、“Basal”、“Broad head”、“Long head”の3つのサブグループに分かれることが示唆されている。しかしながら、これまで*Allodesmus*属内の系統解析は一例のみとなり、最新のデータセットを用いた研究の更新が必要とされている。また、*Allodesmus*属の体骨格についてはとりわけ標本が乏しく、これまで全身骨格の報告はカリフォルニアからの*A. kernensis*の一例のみとなっている。

本研究では、1991年に北海道十勝郡浦幌町に分布する中部中新統オコッペ沢層から発見された、足寄動物化石博物館に収蔵されているAMP25を用いて、主に頭蓋形質を用いた系統推定と体骨格に基づいた比較形態学的検討を行った。AMP25は珪質ノジュール中に包含されていたが、頭蓋の特徴から*Allodesmus sp.*であると同定された。その後、長期にわたった剖出の結果、AMP25は83個という多くの骨格要素を含む標本であることが明らかとなった。これらを用いて、AMP25の系統上の位置づけを明らかにするため、系統解析ソフトPAUP4.0と形質解析ソフトMesquite 3.03を用いて、97の形態データと15の分類群を扱い、初期のイタチ類である*Potamotherium*、初期の鰭脚類である*Enaliarctos*と*Pteronarctos*を外群として、AMP25と*Allodesmus*の既知の5種に現生の3科(アザラシ科、アシカ科、セイウチ科)を加えて系統解析を行った。

解析の結果、デスマトフォカ科は従来通り単系統を示した。また、*Allodesmus*属内において先行研究で示唆された“Long head”subgroupも支持された。しかしながら、“Broad head”subgroupは堅固な共有派生形質が認められず、支持されないという結果となった。AMP25については、Long head subgroupの共有派生形質を持たず、また*Allodesmus packardii*及び*A. naorai*と共に多分岐となった。一方、AMP25は前上眼窩突起が前方に位置しており、他の*Allodesmus*にはみられない形質状態を示していた。以上のことから、AMP25はこれまでに知られていない種である可能性が高い。また、1例目の全身骨格が報告されている*A. kernensis*と体骨格の形態学的な比較を行ったところ、後肢の形態に顕著な相違が認められた。特に、踵骨については骨のプロポーションや腓骨結節の発達程度など、多くの点で著しく異なっていた。したがって、鰭脚類において従来の系統解析では扱われることの少ない機能と関わりを持つ体骨格の形態にも、運動機能としてだけでなく系統関係を反映した情報が十分に含まれていることが示唆された。

キーワード：鰭脚類、*Allodesmus*、系統、体骨格

Keywords: pinnipeds, *Allodesmus*, phylogeny, postcranium

個別アミノ酸窒素同位体比を用いた栄養段階推定法は化石に応用できるのか？～初期続成が及ぼす殻体内アミノ酸の変質に着目して～

Evaluation of early diagenetic influence on nitrogen isotopes within fossil amino acids: Towards estimation of ancient food webs

*兀橋 大二郎¹、ジェンキンス ロバート²、後藤（桜井） 晶子²、力石 嘉人³、長谷川 卓²

*Daijiro Hagehashi¹, Robert Jenkins², Akiko S. Goto², Yoshito Chikaraishi³, Takashi Hasegawa²

1.金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻、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.Division of Environmental Science and Engineering, Graduate school of Natural Science and Technology, Kanazawa University, 2.School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

近年、生物の個別アミノ酸の安定窒素同位体比を利用した新しい栄養段階推定法が主として現生試料をもとに確立されてきた(Chikaraishi et al. 2009; *Limnol Oceanogr Meth*). 従来の全窒素同位体比では、生態系における一次生産者の安定窒素同位体比を測定する必要があったが、新手法では栄養段階を求めたい生物のアミノ酸のみから栄養段階を推定できる。このため、一次生産者が不明である化石においても栄養段階を推定できる可能性が高い。化石試料では硬組織中に含まれるアミノ酸が分析対象となり、実際にNaito et al. (2010; *Am J Phys Anthropol*)は縄文時代の考古試料に適用した。化石アミノ酸を用いて議論を行う際には、その続成（生物侵食、アミノ酸の分解、アミノ酸のラセミ化、熱熱成など）による変質について十分な検討が必要となる。そこで本研究では、特に生物の生存中から数千年の間におきる化石アミノ酸の初期続成作用に注目して、試料の選別方法および初期続成による個別アミノ酸の安定窒素同位体比への影響について調査した。

本研究では栄養段階が2.0と予想される藻類食の現生および化石サザエの殻とふたを研究対象にした。現生試料は、石川県羽咋沿岸産及び千葉県金田海岸産の試料を、化石試料は神奈川県由比ヶ浜遺跡（約800年前）産と福井県鳥浜貝塚（約4000年前）産の試料を利用した。一部の現生サザエは、熱による殻と殻体内アミノ酸の保存状態を評価するために200℃と400℃で加熱した（24時間、1気圧）。各サンプルは殻の部位ごとにわけ、SEM観察、XRD分析、殻体内アミノ酸の定性分析、光学異性体比分析によって保存状態を評価し、その後試料を選別してアミノ酸の窒素同位体比分析した。

サザエの殻は三層（外層、中層、内層）に分かれており、それぞれ混合稜柱構造、真珠構造、不規則稜柱構造であった。中層、内層はアラゴナイトの結晶相からなり、外層はアラゴナイトとカルサイトの結晶相であることが示された。一部のサザエには微生物侵食が見られ、アミノ酸組成がやや変化していた。200℃加熱試料は初生的な微細構造を保っていたが一部のアミノ酸は消失していた。400℃加熱試料においては、真珠構造を構成する各タブレットは溶解・再結晶しており、アミノ酸は完全になくなっていった。化石サザエはいずれも外層、内層の保存が悪かったが、中層は結晶構造及びアミノ酸組成が保存されており、時代が古いサンプルほどアミノ酸のラセミ化が進んでいた。

外層から検出されたカルサイトは付着生物由来である可能性が高く、生存時および地層に埋没するまでの付着生物由来の有機物が混入している可能性を排除できないため外層はアミノ酸の分析対象から除外すべきである。また、中層は有機物が最も豊富に含まれているが微生物侵食を受けており、微生物由来のアミノ酸が混入している可能性がある。

以上の観察および考察にもとづいて、殻体内の個別アミノ酸窒素同位体比を測定する試料を選別した。すなわち、現生試料では微生物侵食のある中層と侵食のない中層、ふた、200℃に加熱した中層を、化石試料では微細構造が保たれている鎌倉時代と縄文時代の中層とふたをそれぞれ分析した。なお、現生試料の微生物侵食が認められた試料についてはあらかじめ洗浄し、微生物の影響を除去するように努めた。これらの試料の分析の結果、すべての試料において栄養段階がほぼ予想通りの値である2となった。これにより、初期続成作用を被った化石試料においても、各種観察および分析による試料の選別および適切な前処理を行うことによって栄養段階を推定することが可能であることが示された。また、200℃程度の熱を被っても栄養段階の推定が可能であることが加熱実験から示された。ようするに本研究は個別アミノ酸窒素同位体比による栄養段階推定法が化石試料

においても利用可能であることを示し、地質時代の食物網復元への端緒をつかんだと言える。今後、後期続成過程によるアミノ酸の変質などを検討し、億年スケールでの古生態系復元の可能性を検討していく。

キーワード：栄養段階、化石、アミノ酸、安定窒素同位体比、初期続成

Keywords: Trophic level, fossil, amino acids, stable nitrogen isotope ratios, early diagenesis

軟体動物殻の同位体分別への酸性化影響：海水の炭酸系および代謝影響に注目して

Effects of carbonate chemistry and metabolism induced by ocean acidification on stable isotope fractionation in molluscan shell carbonate

*西田 梢^{1,2}、林 正裕³、名越 丹理⁴、川幡 穂高⁴、佐藤 瑞穂^{1,5}、鈴木 淳¹

*Kozue Nishida^{1,2}, Masahiro Hayashi³, Akari Nagoshi⁴, Hodaka Kawahata⁴, Mizuho Sato^{1,5}, Atsushi Suzuki¹

1.国立研究開発法人産業技術総合研究所、2.東京大学総合研究博物館、3.海洋生物環境研究所、4.東京大学大気海洋研究所、5.アサヒ地水探査株式会社

1.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.The University Museum, UTokyo, 3.Marine Ecology Research Institute, 4.AORI, UTokyo, 5.Asahi Geo-Survey Co. Ltd

Stable oxygen and carbon isotope compositions of biogenic carbonate have been widely used for many paleoclimate, paleoecological, and biomineralization studies. Oxygen isotope compositions of carbonate, a commonly used proxy of seawater temperature and oxygen isotope compositions of seawater, are also affected by seawater carbonate chemistry, but the knowledge of its dependency on stable isotope fractionation of both synthetic and biogenic aragonite is still limited. It has also been reported that carbon isotope compositions of molluscan shells are affected by carbon isotope compositions of seawater carbonate chemistry and metabolic carbon. Several studies reported effects of ocean acidification on metabolism of molluscs, and thus the metabolic changes could potentially influence the stable isotope compositions of metabolic carbon. Here, we have focused on stable oxygen and carbon isotopic responses of molluscan shells to CO₂-driven seawater acidification for understanding of the contribution of environmental and metabolic effects. Two species of clams (*Scapharca broughtonii*, *Pseudocardium sachalinense*) and two species of abalones (*Haliotis discus discus*, *Haliotis gigantea*) were cultured in seawater chemically manipulated to vary pCO₂ condition using CO₂ control system of the Demonstration Laboratory, Marine Ecology Research Institute (MERI), in Kashiwazaki City, Niigata Prefecture, Japan.

Stable oxygen isotope compositions of *S. broughtonii* had significant negative correlations with pH (-0.48‰ /pH, at 17°C; -0.61‰ / pH, at 25 °C). These of *P. sachalinense*, *H. discus discus*, and *H. gigantea* showed non-significant relationships with pH and small variations (within 1 per mil). The oxygen isotope fractionation in four species of our study are smaller than that of synthetic calcite (-1.42‰ / pH, Zeebe et al., 1999).

The significant negative correlations between stable carbon isotope compositions and pH appeared in *S. broughtonii*, *H. discus discus*, and *H. gigantea* which had non-significant pH effects on calcification, and the slopes of these relationships of shell carbonate were lower than these of dissolved inorganic carbon (DIC) of seawater. We estimated the equilibrium values of carbon isotope compositions at each pCO₂ treatment, and the difference between the carbon isotope compositions of shell carbonate and equilibrium values showed gradual increases of carbon isotope values with decreasing pH in *S. broughtonii*, *H. discus discus*, and *H. gigantea*. Thus, the pCO₂-induced change in metabolism might appear in carbon isotopes of shells of these species as the metabolic effect. On the other hand, in *P. sachalinense* which showed a decrease in calcification in our culture experiment of ocean acidification, the difference between the carbon isotope compositions of shell carbonate and equilibrium values did not indicate a significant pH dependency. This result might be attributable to differences in metabolic responses to acidified seawater.

The findings of our study will contribute to the correction of isotopic paleotemperature of biogenic carbonate and the understanding of acidification effects on metabolism of marine calcifiers.

キーワード：海洋酸性化、安定同位体、軟体動物、バイオミネラリゼーション、プロキシー、pH
Keywords: ocean acidification, stable isotopes, mollusca, biomineralization, proxy, pH