

地球生命の寿命は水、CO₂と栄養塩供給で決まる Life limit of Earth's life as functions of water, CO₂ and nutrients

丸山 茂徳^{1*}

MARUYAMA, Shigenori^{1*}

¹ 東京工業大学

¹Tokyo Institute of Technology

To understand the ecosystem to drive life continuously from its birth to the present, and its future, the reaction to synthesize life is critical. The three components, water, CO₂, and nutrients are combined all to bear life by the help of Sun energy on the surface of the Earth. In the Phanerozoic, this system began to work effectively by the nutrient supply due to emergence of huge TTG mass (continents).

On the contrary, the ecosystem was extremely poor because of minor nutrients in most Precambrian time. Minor amounts of nutrients with sufficient water and CO₂ constrained the reaction to produce life in the Archean and basically same in the Proterozoic, although increased considerable amounts later. After the emergence of huge landmass at 600Ma, the ecosystem has suddenly changed, 106 times bigger than before to open the door of Cambrian explosion. Through the Phanerozoic, the Earth has spent most of CO₂ which remains now only 400ppm in atmosphere. When we will lose CO₂ in atmosphere, the reaction above will stop to change the ecosystem. The oxygen-rich atmosphere will also be changed. Instead, the world of anoxic bacteria will appear again on the surface of the Earth, and the world of metazoan will end.

1.5Ga afterward, the Earth will lose the Ocean on the surface, which will be the time of ending life.

堆積有機分子から考察するオーストラリア・東部キンバレーにおけるマリノアン氷河期周辺の海洋環境変動

Organic geochemical approach to the paleomarine environment around the Marinoan glaciation

静谷 あてな^{1*}, 海保 邦夫¹, 大庭 雅寛¹, チェン・ツォンチャン², トン・ジンナン², 高橋 聡³, ポール・ゴージャン⁴
SHIZUYA, Atena^{1*}, KAIHO, Kunio¹, OBA, Masahiro¹, Zhong-Qiang CHEN², Jinnan TONG², TAKAHASHI, Satoshi³, Paul GORJAN⁴

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 中国地質大学, ³ 東京大学理学研究科地球惑星科学専攻, ⁴ ワシントン大学 (セントルイス)

¹Dept. of Earth Science, Tohoku Univ., ²China University of Geosciences, ³Dept. of Earth and Planetary Science, the Univ. of Tokyo, ⁴Washington University in St. Louis

The Marinoan glaciation, from ~665 Ma to ~635 Ma, is hypothesized to be a "snowball earth" period. The nature of the deposition of post-Marinoan sediments, and the role of living organisms, is still being debated. We conducted organic geochemical analyses of the sediments around the Marinoan glaciation in the Moonlight Valley type section, the East Kimberley region, northwestern Australia. Our results show: (1) the biomass of photosynthetic organisms was relatively small after the ice age, but rapidly increased just before the precipitation of "cap carbonate" unit (CCU) and was large during the CCU precipitation, according to pristane + phytane quantities; (2) the biomass of green sulfur bacteria was relatively large around the start of the CCU precipitation, according to the quantity of aryl isoprenoids; (3) anoxic water developed both just before and during the last of the CCU precipitation, evidenced by the pristane/phytane ratio and the quantity ratio of aryl isoprenoids and dibenzothiophene. These situations suggest the possibility that the CCU was precipitated by a medium of sulfate-reducing bacteria which existed in the remaining glacial euxinic water. A blooming of photosynthetic organisms during the deglaciation provided abundant organic matter to the sulfate reducers, that then produced the carbonate that precipitated to form the CCU.

キーワード: 有機地球化学, 新原生代, 全球凍結, 古海洋環境, キャップ・カーボネート

Keywords: organic geochemistry, Neoproterozoic, snowball earth, paleoenvironment, cap carbonate

エディアカラ紀とカンブリア紀の動物の台頭と同時に起きた浅海酸素濃度の2段階上昇

A two-step rise of oxygen concentration in shallow seas coinciding with the rise of animal life in Ediacaran-Cambrian

海保 邦夫^{1*}, 菊池 みのり¹, 千馬 直登¹, 静谷 あてな¹, 大庭 雅寛¹, チェン・ツォン チアン², 童金南², 高橋 聡³, ポール・ゴージャン⁴

KAIHO, Kunio^{1*}, KIKUCHI Minori¹, SENBA Naoto¹, SHIZUYA Atena¹, OBA Masahiro¹, CHEN Zhong-Qiang², TONG Jinnan², TAKAHASHI Satoshi³, GORJAN Paul⁴

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 中国地質大学, ³ 東京大学大学院理学系研究科, ⁴ ワシントン大学

¹Tohoku University, ²China University of Geosciences, ³University of Tokyo, ⁴Washington University

Two of the most significant events in Earth biotic evolution occurred in the Ediacaran and the early Cambrian periods. The first event is characterized by the appearance of primitive marine animals such as sponges and cnidarians in the Ediacaran, and the second step is the appearance of diverse marine animals in the early Cambrian. However, the cause of these macroevolutionary steps has not been clarified. Here we show that a two-step rise of oxygen level in shallow seas coincided with the rise of animal life in the Ediacaran and Cambrian. The changes in dissolved oxygen, marked by an organic molecular index, the pristane/phytane ratio, are detected from shallow marine sedimentary rocks from northwestern Australia and southern China. Low dissolved-oxygen conditions above storm wave base developed frequently in the early Ediacaran before and during the Gaskiers glaciation and end-Ediacaran to earliest Cambrian, before the Cambrian Explosion. High dissolved-oxygen conditions above storm wave base continued in late Ediacaran and into the time of the Cambrian Explosion. The high dissolved-oxygen conditions coincided with the Ediacaran biota and the early Cambrian fauna. Additionally, sporadic data from below storm wave base show low dissolved-oxygen conditions in the late Ediacaran, and high dissolved-oxygen conditions during and after the Cambrian Explosion horizon. We hypothesize that the two-step rise in dissolved oxygen is related to the two-step evolution of metazoans in the mid-Ediacaran and the Cambrian.

キーワード: エディアカラ紀, カンブリア紀, 酸素濃度, 浅海, 動物

Keywords: Ediacaran, Cambrian, oxygen concentration, shallow sea, animal life

南東フランス・ボコンチアン堆積盆における中期白亜紀海洋無酸素事変 1b 時の海洋基礎生産の増大と有光層ユーキシニアの発達 Occurrence of PZE and intensification of marine primary production during the Cretaceous OAE1b in the Vocontian Basin.

安藤 卓人^{1*}, 沢田 健¹, 岡野 和貴¹, 西 弘嗣², 高嶋 礼詩²

ANDO, Takuto^{1*}, SAWADA, Ken¹, Kazuki Okano¹, NISHI, Hiroshi², TAKASHIMA, Reishi²

¹ 北海道大学大学院理学研究院・自然史科学部門, ² 東北大学学術資源研究公開センター・東北大学総合博物館

¹Faculty of Science, Hokkaido University, ²Tohoku University Museum, Tohoku University

白亜系の地層中において、酸素に乏しい海洋環境で堆積する葉理が明瞭で有機物に富む黒色頁岩が幾層も挟まれている。このようなイベントは海洋無酸素事変 (OAE) と呼ばれ、海洋の成層化や海洋表層の生産性の増大によって引き起こされたと考えられている。OAE1b における無酸素水塊の形成は、海洋生産性の急増に伴った広範囲での酸素極小域 (OMZ) の拡大で説明されてきた。しかしながら、古生態系の復元のような基礎生産を総合的に議論した研究は今まであまり行われて来なかった。本研究では南東フランス・ボコンチアン堆積盆における OAE1b の Paquier 層準を対象に、複数のバイオマーカーを用いて、ラミナレベルでの高分解能の古生態系復元を行った。

Paquier 層準において、レテンのような陸起源バイオマーカーの濃度変化と海生藻類の生産を示すステロイドの濃度変化がよく一致していることから、高い生物生産は陸域からの栄養塩となりうる物質の大量供給によってもたらされたと考えられる。OAE1b における無酸素水塊の発生・拡大機構は、陸域からの物質輸送の増大と密接に関連している可能性が高い。また、メタン菌由来のバイオマーカーである 2,6,15,19-テトラメチルイコサン (TMI) と 2,6,10,15,19-ペンタメチルイコサン (PMI) が検出された。これらのバイオマーカーは、ラミナがほとんどない塊状泥灰岩層中에서도検出されたことから、Paquier 層準堆積時における海洋底層環境は定常的に貧酸素から無酸素であったことがいえる。また、ラミナが明瞭な黒色頁岩層でこれらが急激に増加することから、黒色頁岩形成時には底層の無酸素環境が拡大していたといえる。加えて、緑色硫黄細菌に由来するクロロバクタンが検出された。緑色硫黄細菌は硫化水素を利用する嫌気性光合成細菌であるので、「有光層ユーキシニア (PZE)」が OAE1b において起こっていたことが示された。なお、同層準または OAE1b でのクロロバクタンの検出は本研究が初である。クロロバクタンは、特にラミナが明瞭な層やアンモナイト多産層において高濃度で検出された。さらに、より高濃度で検出された層においては、三芳香環ジノステランを用いた渦鞭毛藻の基礎生産への寄与を示す指標 (TDSI') が高い値を取った。これは有光層の無酸素水域の拡大と海洋表層における渦鞭毛藻の生産との関連性を示唆しているかもしれない。

キーワード: 海洋無酸素事変 (OAEs), 有光層ユーキシニア, バイオマーカー, 緑色硫黄細菌, 渦鞭毛藻, 陸源物質供給

Keywords: Oceanic Anoxic Events (OAEs), photic zone euxinia (PZE), biomarker, green sulfur bacteria, dinoflagellate, supply of terrigenous material

北海道白亜系堆積物中の陸上植物由来ケロジェンの結合態分子組成：陸域古環境指標の検討

Compositions of molecules bound in terrestrial plant-derived kerogens from Cretaceous sediments, Hokkaido, Japan

宮田 遊磨^{1*}, 沢田 健¹, 中村 英人¹, 池田 慧¹

MIYATA, Yuma^{1*}, SAWADA, Ken¹, NAKAMURA, Hideto¹, IKEDA, Kei¹

¹ 北海道大学理学院

¹ Faculty of Science, Hokkaido University

白亜紀などの古代堆積物には、陸上高等植物に由来する有機物片が普遍的に含まれている。それらは主に植物体の抵抗性高分子から構成され、生体情報を比較的よく保存している。演者らの研究グループは、陸上植物化石の抵抗性高分子を構成する分子ユニットの組成データを基にして、陸上植物の化学分類指標を提案している (Ikeda et al., submitted)。本研究では、その化学分類指標を実際の連続した白亜系堆積層中の陸上植物由来有機物 (ケロジェン) に応用し、古植生、さらには陸域古環境変動の復元に適用できるかを検討した。

分析試料は、北海道大夕張地域天狗ノ沢の露頭から白亜紀前期 Albian の蝦夷層群シューパロ川層、丸山層、日陰の沢層から採取した泥岩・砂岩を用いた。それらの堆積岩は炭質の植物片を多く含むタービダイト相である。泥岩試料を粉碎し、Sawada(2006, Island Arc 15, 517-536) の方法でケロジェンを分離した。ケロジェンをメタノール・ジクロロメタンで溶媒抽出、高温でリフラックス抽出後に、KOH/MeOH によりけん化し、エステル結合態成分を得た。それを GC-MS で同定・定量した。また、ケロジェンの蛍光顕微鏡観察も行った。

堆積岩試料から分離したケロジェンの蛍光顕微鏡観察から、すべての試料において木質 (wood)、無蛍光アモルファス有機物 (NFA) が主要な構成物で、わずかに植物表皮 (cuticle) が含まれることがわかった。これはすべてのケロジェンが陸上植物に由来することを示す。それらケロジェンのけん化生成物 (エステル結合態成分) では脂肪酸 (C14 - C18) が卓越し、C10 - C24 の n-アルカノールも検出された。これらの化合物はクチンやスベリンなどを構成する抵抗性高分子の一部であるポリエステル構造のモノマーと考えられ、偶数炭素優位性がよく保存されている。Ikeda et al. では、けん化後に得られた結合態脂肪酸の C18/C16 比はおもに木質/草本質比を示す化学分類指標であることが提案されている。この結合態脂肪酸 C18/C16 比を天狗ノ沢試料に応用したところ、シューパロ川層～日陰の沢層において有意に変動し、その変動パターンは、陸上植物バイオマーカーの被子/裸子植物比の変動パターン (Nakamura et al., submitted) とよく同調することがわかった。白亜紀において、被子植物は草本タイプが多く、一方、裸子植物は木本タイプが主要であったと推定される。結合態脂肪酸 C18/C16 比 (木質/草本質) が被子/裸子植物比と同調することは、白亜紀における被子植物草原/裸子植物森林の植生比の変動を示すものと推察される。このことから、結合態脂肪酸 C18/C16 比が古植生指標として応用できることを提案する。また、結合態 n-アルカノールでも同様に C18 相対比が古植生指標に応用できる可能性が示唆された。

キーワード: 陸上植物由来ケロジェン, 結合態分子, 古植生指標, 陸域古環境, 蝦夷層群, 白亜紀

Keywords: terrestrial plant-derived kerogen, bound molecule, paleovegetation indicator, terrestrial paleoenvironment, Yezo Group, Cretaceous

ブラジル・バーイア州のキオゲニアン炭酸塩岩中のスロンボライトと有殻生物 Thrombolites and shelly fossils from the Cryogenian carbonate in Bahia, Brazil

狩野 彰宏^{1*}, 高島千鶴², 白石史人³
KANO, Akihiro^{1*}, Chizuru Takashima², Fumito Shiraishi³

¹九州大学, ²佐賀大学, ³広島大学

¹Kyushu University, ²Saga University, ³Hiroshima University

過去 20 年間の新原生代堆積岩の研究は、少なくとも 2 度起こった全球凍結に象徴される気候激変と特異な物質循環を提示するとともに、生命の痕跡を数多く見いだした。多細胞動物はマリノアン氷期 (635 Ma) 直後には出現しており、最も原始的な海綿動物はこの氷期以前に存在していたとする見方もある。また、生物の殻と思われる化石のレンジもスターチアン氷期 (720 Ma) があつたキオゲニアン (850-635 Ma) まで遡ることになった。すなわち、新原生代は生物進化の時代であるとも言える。新原生代の気候激変と生物進化を結びつける物として、層状化した海水で大量に懸濁した有機物が考えられる。低酸素の海水中で効率的に有機物を摂取するために、濾過栄養動物は単体・可動性の生態から群体・固着性の戦略に転換し、動物の多細胞化を引き起こしたのかもしれない (Kano et al., 2011)。

私たちはキオゲニアンの生命の痕跡を求め、ブラジル国バーイア州中部に分布するウナ層群・サリトレ層の炭酸塩岩を調査した。有機物に富む炭酸塩岩中には、直径約 5mm の指状構造による出来たスロンボライトが認められる。この構造は密集し、全体として厚さ数 m 幅、幅 20m 超のレンズを形成している。指状構造はペロイドの集合体として認識され、その間には碎屑物はほとんど含まれていない。この構造は微生物による構造とも取れるが、外形が極めて均一であることから多細胞動植物体が石化したものであるという可能性も捨て切れない。また、この炭酸塩岩からは直径 2mm に達する円形の有殻化石も認められた。殻は 0.2mm の厚さであり、突起や穴の様な特徴的な構造を持たない。炭酸塩骨格を持つキオゲニアンの化石としてはカリフォルニアから報告された藻類があるが、この化石は全く別の形態的特徴を持つ。生物の有殻化はより大型の動物による捕食に対する適応であると考えられる。すなわち、スターチアン氷期後のキオゲニアン後期には直径 2mm の生物が捕食圧にさらされていた事を意味する。

現時点において、バーイア州で発見した指状構造と円形有殻生物の起源は不明である。今後、顕微鏡観察や各種の分析により、それを解明していきたい。

キーワード: 新原生代, スロンボライト

Keywords: Neoproterozoic, thrombolite

中国湖南省エディアカラ系 Doushantuo 層から産出した有殻微化石 Shelly microfossils from the Ediacaran Doushantuo Formation in Hunan province, China

古山 精史朗^{1*}, 国光陽子¹, 王 偉², 狩野彰宏¹
FURUYAMA, Seishiro^{1*}, Yoko Kunimitsu¹, Wei Wang², Akihiro Kano¹

¹九州大学, ²中国科学院南京古生物学研究所

¹Kyushu University, ²Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

南中国で多産するエディアカラ紀から初期カンブリア紀の化石は、初期多細胞動物の進化を解明するのに重要な役割を果たすと考えられている (Xiao et al., 1998; Hong et al., 2010)。これらの研究の多くは比較的大きな動物化石や胚化石を対象としているが、エディアカラ紀からカンブリア紀の海洋生態系を理解するためには、アクリタークなどの微化石に関する情報もまた重要である。微化石の中には殻を持つものもあり、最初期カンブリア紀の small shelly fossils や後期新原生代の vase-shaped microfossils が含まれる。このうち、壺型の形状を示す vase-shaped microfossils は近年報告例が増えており、agglutinated foraminifella (Hong et al., 2007), tintinnids (Bosak et al., 2011), testate amoebae (Poter and Knoll, 2003) などの動物に対比されている。しかし、南中国のエディアカラ系では、殻を持つ生物は最上部エディアカラ系の Dengying 層から産出する Cloudina 類が最も古い。本研究では、その下位層である Doushantuo 層から新たに発見した、有殻化石について報告する。

化石が産出したのは、湖南省の Fengtan セクションであり、ここには揚子地塊の海盆環境で堆積したエディアカラ系が (Jiang et al., 2011)、マリノアン氷期の氷礫岩である Nantuo 層の上位に露出する。本セクションにおけるエディアカラ系は、炭酸塩岩・黒色頁岩を主体とする下位の Doushantuo 層 (80m)、黒色チャートからなる上位の Liuchapo 層 (20 m) からなる。化石は Doushantuo 層基底から約 20 m の上位の塊状ドロマイトから産出した。それらは概して円盤状から楕円状を呈し、上から見ると外縁部にはフリルのような構造を伴う。化石の大きさには幅が有り、長軸が 80-1000 μ m (median = 435, N = 127)、短軸が 80-800 μ m (median = 347, N = 127) である。また、化石を横から見ると、中心がふくらみ、いくつかの試料では、一方の端が先端に向かって細くなっていた。また殻は一層で、厚さは 10 μ m 以下であった。

これらの化石は揚子プラットフォームの海盆セクションにおける初めての報告である。本研究で得られた化石の帰属は現段階ではよく分からないが、この化石から動物の多様化はこれまで考えられていたよりも進んでおり、また当時の海洋生態系も随分と発達していたことが示唆される。

キーワード: エディアカラ紀, 有殻微化石, ドウシャントオ層, 中国

Keywords: Ediacaran, Shelly microfossils, Doushantuo Formation, China

南ドイツのトアルシアン期黒色頁岩から産出する生痕化石 Phymatoderma の形成生物の古生態

Palaeoecology of the producers of trace fossil Phymatoderma from the Toarcian black shale in southern Germany

泉 賢太郎^{1*}

IZUMI, Kentaro^{1*}

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ School of Science, the University of Tokyo

There are a few black shale horizons which are characterized by the dense occurrence of the trace fossil Phymatoderma in the lower Toarcian Posidonia Shale in southern Germany. Phymatoderma is interpreted as a burrow system constructed by deposit feeders because of the presence of the fecal pellets. Because pellet fillings consist of a material different from the surrounding sediments, the detailed palaeoecology of the Phymatoderma producers is still vexing; whether fecal pellets are altered from the matrix by digestion (the work of substrate deposit feeders) or are imported from a food source at the sediment surface (the work of surface deposit feeders). In this study, carbon-isotope values and elemental compositions of filling materials, their surrounding black shale, and overlying mudstone are analyzed in order to identify the origin of the fillings of Phymatoderma and to clarify the detailed feeding strategy of producers. Carbon-isotope ratio of the filling materials showed little difference from that of the overlying mudstone, and instead had significantly heavier value than that of the ambient black shale. This fact means that the infillings of Phymatoderma were substantially derived from their overlying mudstone as a result of surface sediment feeding by their producers. Then, comparison between elemental compositional values of the fillings and those of the overlying mudstone showed no significant difference. This fact strongly suggests that the Phymatoderma producers non-selectively ingested surface sediments.

大型有孔虫 *Amphistegina radiata* は、石川県の日本海沿岸まで生息域を拡げたのか？ Has the distribution of larger foraminifera *Amphistegina radiata* expanded to the Japan Sea Coast of Ishikawa Prefecture?

柏原由実¹, 加藤 道雄^{2*}

Yumi Kashihara¹, KATO, Michio^{2*}

¹ 金沢大・理工・地球, ² 金沢大・自然・地球

¹Dept. Earth Sci. Kanazawa Univ., ²Nat. Sci. Tech. Kanazawa Univ.

日本列島周辺海域における大型有孔虫の生息域は南西諸島が中心であるが、1970年代以降、日本海沿岸から大型有孔虫 *Amphistegina* 属の産出が報告されている。石川県能登半島九十九湾で採取された柱状試料を用いて、*A. radiata* が1900年代初頭から現在まで継続的に産出することが報告されている。*A. radiata* の保存状態が良好であることから、*A. radiata* が九十九湾にまで生息域を拡大していることが考えられる。しかしながら、九十九湾の水温は冬季には大型有孔虫の生息可能水温よりも低いため、無効分散の可能性も考えられる。

沖縄県瀬底島周辺では、*A. radiata* の殻サイズに基づいて Agamont, Schizont, Gamont の存在が確認され、三形性生活環が報告されている。このことから、瀬底島周辺と名護市の海岸で採取した試料を用いて、各世代の初室サイズを明らかにしたうえで、九十九湾から得られた *A. radiata* の初室サイズがどの世代に該当するかを調査した。無効分散であれば Schizont や Gamont の世代が欠如していると考えられる。

沖縄の *A. radiata* の初室径の分布は、35 - 42 μm と 77 - 84 μm にピークをもつ二峰性を示した。しかし、これらのピークがどの世代に該当するかは不明である。Florida Keys の *Amphistegina gibbosa* に関して、顕球型のうち Schizont よりも Gamont の初室が大きいこと、顕球型と微球型とでは第2室の大きさが異なることが報告されている。沖縄の *A. radiata* の第2室は丸型と三日月型の二つの異なる形態をしており、丸型は個体数が少なく初室が小さい。一方、三日月型は初室が大きく初室径の分布は二峰性を示す。このことから、丸型が Agamont、三日月型のうち小さい初室を持つものが Schizont、大きな初室を持つものが Gamont と考えられる。九十九湾の初室径の分布は 35 - 42 μm のピークしか認められず、丸型の初室を持つ2個体が含まれていた。

以上の結果から、九十九湾に産出する *Amphistegina radiata* の世代は Agamont と Schizont であり、生殖活動を行っているが三形性生活環は完結していないと判断される。

キーワード: *Amphistegina*, 生活環, 初室, 無効分散, 九十九湾, 日本海

Keywords: *Amphistegina*, life cycle, proloculus, abortive migration, Tsukumo Bay, Japan Sea

浮遊性有孔虫の光共生進化史解明に向けた個体発生に伴う殻体安定同位体比記録 Ontogenetic stable isotope records for disclosing evolutionary history of algal symbiosis in planktonic foraminifers

高木 悠花^{1*}, 守屋和佳², 石村豊穂³, 鈴木 淳³, 川幡穂高⁴, 平野弘道²

TAKAGI, Haruka^{1*}, Kazuyoshi MORIYA², Toyoho ISHIMURA³, Atsushi SUZUKI³, Hodaka KAWAHATA⁴, Hiromichi HIRANO²

¹ 早稲田大学・院・創造理工, ² 早稲田大学・教育・地球科学, ³ 産総研・地質情報, ⁴ 東大・大気海洋研

¹CSE Grad. School, Waseda University, ²Dep. Earth Sci., Sch. Edu., Waseda University, ³Geological Survey of Japan, AIST,

⁴AORI, The University of Tokyo

In modern planktonic foraminifers, symbiont-bearing species have successfully adapted to oligotrophic environment, because of nutritional advantage from photosynthesis of symbiotic algae. Through the evolutionary history of planktonic foraminifers, the establishment of photosymbiotic system allowed them to radiate into a new ecological niche in oligotrophic open ocean. Therefore, disclosing the evolutionary history of algal photosymbiosis is crucial for understanding the dynamics of paleobiodiversity in planktonic foraminifers.

In several studies on extinct species of planktonic foraminifers, putative photosymbiotic ecology was estimated from specific morphology commonly observed in modern symbiotic taxa. However, since morphological variety in planktonic foraminifers is sometimes inconsistent with their general ecological segregation reasoned by analogy, independent and objective analyses are required. From this point of view, previous studies using cultured specimens proposed a possible geochemical signature of photosymbiotic ecology, i.e., stable isotopic compositions through ontogeny¹⁾. Those experimental results indicate that $d^{13}C$ value becomes ^{13}C -enriched chamber-by-chamber with growth, because the number of symbiotic algae, preferentially using ^{12}C for photosynthesis, increases in association with growth of the host foraminifers. This observation indicates that the successive increase of each chamber's $d^{13}C$ through individual ontogeny represents the characteristic signal of photosymbiosis. However, this technique has rarely been practically applied to analyses of fossil foraminifers, because the amount of carbonate of each fossil foraminiferal chamber is too small for conventional isotope analyses^{2, 3)}.

Here, we present ontogenetic stable isotopic records in a single foraminiferal test, obtained from newly developed stable isotope measurement for micro-volume carbonate samples; customized continuous-flow analytical system attached to IRMS (IsoPrime) at Geological Survey of Japan (AIST)⁴⁾. This device allows us to analyze a single foraminiferal chamber as small as 1.5 micro grams of carbonate. In this study, three species of Recent planktonic foraminifers recovered from IODP Exp. 330 were used for the isotopic analyses; *Globigerinoides conglobatus* (symbiotic), *Globigerinoides sacculifer* (symbiotic), and *Globorotalia truncatulinoides* (asymbiotic). Tests of each specimen were dissected into 5-7 pieces of chamber(s) with micro-scalpels.

Two symbiotic species, *Gs. conglobatus* and *Gs. sacculifer*, exhibit successive increase of $d^{13}C$ with growth by 1.2 permil and 2.1 permil, respectively, in contrast to relatively stable $d^{18}O$; -0.1 (+/-)0.3 permil and -0.9 (+/-)0.2 permil, respectively. On the other hand, $d^{13}C$ and $d^{18}O$ of asymbiotic species of *Gr. truncatulinoides* displays significant positive correlation. In addition, $d^{18}O$ of *Gr. truncatulinoides* is considerably higher than those of the other two symbiotic species.

In *Gs. conglobatus* and *Gs. sacculifer*, successive increases in $d^{13}C$ associated with ^{18}O -depleted and stable $d^{18}O$ represent the symbiotic nature of these species within a shallow euphotic zone. On the other hand, $d^{18}O$ of *Gr. truncatulinoides* indicates the deeper habitat, which is consistent with the modern plankton tow observations. These results suggest that the photosymbiotic signal has been successfully detected in this study. We then confirmed that the chamber-by-chamber increase of $d^{13}C$ in fossil planktonic foraminifers can be utilized as a proxy of algal photosymbiosis.

¹⁾ Spero and Lea, 1993, Marine Micropaleontology, DOI:10.1016/0377-8398(93)90045-Y.

²⁾ Houston and Huber, 1998, Marine Micropaleontology, DOI:10.1016/S0377-8398(99)00007-9.

³⁾ Bornemann and Norris, 2007, Marine Micropaleontology, DOI:10.1016/j.marmicro.2007.05.005.

⁴⁾ Ishimura et al., 2004, Rapid Comm. Mass Spectrom., DOI:10.1002/rcm.3571.

キーワード: 浮遊性有孔虫, 光合成共生, 炭素・酸素安定同位体比, 個体発生

Keywords: planktonic foraminifers, photosymbiosis, stable isotopes, ontogeny

定数アンカーポイント法による浮遊性有孔虫室房の三次元幾何形態解析 3-D Geometric Morphometric Analysis of Planktonic Foraminifera Chamber Form with a Fixed Number Anchorpoints Method

伊藤 光^{1*}, 佐々木 理², 長濱 裕幸¹

ITO, Hikaru^{1*}, SASAKI, Osamu², NAGAHAMA, Hiroyuki¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻, ² 東北大学総合学術博物館

¹Department of EARTH SCIENCE, Tohoku University, ²The Tohoku University Museum

これまでの浮遊性有孔虫の形態解析は、特定方向から撮影した二次元画像を用いて行われた研究 (e.g. Lohmann, 1983; Malmgren *et al.*, 1984; Hull and Norris, 2009; Scott *et al.*, 2007) が殆どであった。しかし、二次元画像は実際の三次元形態からの情報損失量が多い。更に、浮遊性有孔虫殻の主要な構成要素の一つであり、かつその個体成長においてしばしば特徴的な形態パターンを示す三次元室房形態の情報を客観的に計測した例は存在しない。そのため、三次元室房形態の類似度や形態的特徴を定量的に解析する手法が必要とされている。

そこで、近年の発達著しいX線コンピュータトモグラフィ (X線CT) と、標本の三次元モデルを用いた形態解析手法 (e.g. Brechbuhler *et al.*, 1995; Macleod, 1999; Wiley *et al.*, 2005; Mitterocker *et al.*, 2005; Shen and Makedon, 2006; Macleod, 2008; Polly, 2008; Polly and Macleod, 2008) の導入を考える。しかし、室房形態について最適な解析対象となる部位は初生の形態を保っている内壁部であるが、近年解像度が劇的に向上するまでは微化石の内部構造を走査可能なX線CTは存在しなかった。また、これまでの三次元モデルを用いた形態解析はミクロスケールかつ縁や口孔等の構造物を有した浮遊性有孔虫を対象としたものではない。本研究では工業用の十分な解像度を持つX線CTを用い、新たに浮遊性有孔虫の幾何形態解析手法を開発することでそれらの問題を解決した。

本研究では浮遊性有孔虫殻全体から任意の室房領域のみを抽出する分画手法と、三次元室房の定量的幾何形態解析手法を開発した。これらの手法にはパッチオブジェクトを用いた。パッチオブジェクトとは、物体の表面形状を無数の三角形 (パッチ) により表現したものである。分画手法は五工程で構成され、それぞれ『法線選択法』、『経路積分選択法』、『ポテンシャル選択法』、『隣接室房選択法』、『連結選択法』と名付けた。解析手法は一定数のアンカーポイントで室房形態を表現し、その配置について平均形状からの歪みを調べる形を取った。この過程は四つの工程で構成されており、それぞれの内訳は『重心サイズによるスケーリング』、『プロクラステス最小二乗法』、『アンカーポイント設定』、『相対歪み解析』である。『重心サイズによるスケーリング』では、ランドマークから算出した重心サイズ (Bookstain, 1991) 三次元モデルの座標値を除算し、スケーリングを行う。重心サイズとは一つの図形について固有の数値が定まる唯一のサイズ変数である。『プロクラステス最小二乗法』ではプロクラステス回転を利用して室房を解析に最適な配置まで回転させる (Rohlf, 1990, Rohlf and Slice, 1990)。最適な配置の基準は解析対象となる標本群のランドマークにプロクラステス回転と最小二乗法を用いた平均化を施すことで算出する。『アンカーポイント設定』ではスケーリングと回転により規格化された室房三次元モデルに一定数 (1000) のアンカーポイントを均等に設置する。『相対歪み解析』では三次元室房形態を表現するアンカーポイントの相対歪み (Bookstain, 1991; Rohlf, 1993, 1996) を解析し、その係数群の主成分を用いて形態比較を行う。

本手法を用いて浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina* 属の複数個体を解析した結果、同一個体の異なる室房間や同一種の別個体における相同室房間の主成分空間上の距離は明確に小さな値を示した。これは形態が近いものほど主成分空間上における距離が近いことを示すと考えられる。結果として、本研究の幾何形態解析手法は三次元室房形態の空間的あるいは時間的な変遷を視覚的に追跡できると評価でき、特に個体成長のパターンの発見や標本の成長段階の推定に有用であることが期待できる。この解析手法は本研究では室房形態に特徴の少ない *Neogloboquadrina* 属を対象として取り扱ったが、それ以外の様々な種の任意の室房に対して適用することができる応用性を持つ。

キーワード: 浮遊性有孔虫, 形態解析, 定量解析, 三次元標本, X線CT

Keywords: planktonic foraminifera, morphometric analysis, quantitative analysis, 3-D specimen, X-ray CT

BPT23-11

会場:301B

時間:5月23日 15:00-15:15

