

化学合成生態系で発達するマイクロバイアライト Microbialites in chemosynthetic ecosystems

*奥村 知世¹

*Tomoyo Okumura¹

1. 独立行政法人海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology

マイクロバイアライトは、底生微生物の活動と環境要因の相互作用によって形成される堆積物で(1)、肉眼で確認できる初期生命の痕跡である。多くのマイクロバイアライトは主に炭酸塩から構成されるが、シリカ、リン酸塩、鉄・マンガン酸化物、硫化鉄(2)、水酸化マグネシウム(3)を主成分とするものもある。これまでにマイクロバイアライトの成因は、陸上の河川や湖、温泉、そして浅海の堆積場を中心に調べられ、そのほとんどでシアノバクテリアや藻類などの光合成を行う微生物の関与することが知られている(2)。しかし、化学合成生態系が広がる暗黒環境でもマイクロバイアライトが発達することが知られている。そのような環境へのアクセスは容易でなく、報告例は限られるとともに記載的な内容にとどまっている。本発表では、現在までに知られている化学合成生態系のマイクロバイアライトの事例を紹介するとともに、2013年に新たに発見された南部マリアナしんかい湧水域のマイクロバイアライトの特徴を報告する。

深海のメタン冷湧水サイト(4, 5)や、廃棄物埋立地の排水パイプライン(6, 7)で沈殿する炭酸塩の中にはマイクロバイアライト組織を発達させるものがある。炭酸塩やバイオマーカーの炭素同位体比から、これらの試料では、メタン生成もしくはメタン酸化を行う微生物の存在が示唆され、組織の形成に寄与していると推測されている。また、熱水湧出口周辺の硫化鉄沈殿物中からもマイクロバイアライトの発達が発見されており(8, 9, 10)、分布する化学合成微生物が組織の形成に関与すると推測されている。しんかい湧水域で発見されたチムニーは、水酸化マグネシウムと炭酸カルシウムから構成され、大西洋中央海嶺のLost City 熱水域と同様に低温の蛇紋岩反応に関連したアルカリ性流体から沈殿していると考えられる。チムニー内部では、水酸化マグネシウムから構成されるマイクロバイアライトが局所的に分布することを確認した。

以上の化学合成生態系で認められるマイクロバイアライトは、cmからmmスケールの限られた範囲で発達し、中には二枚貝やチューブワーム等とともに産するものもある。一方、表層の光合成圏のマイクロバイアライトは最大で数kmスケールで発達する(2)。今後の研究で化学合成生態系のマイクロバイアライトの成因や特性が明らかにされれば、太古のマイクロバイアライトからより詳しい初期微生物生態系の姿を復元することが可能になると期待される。

謝辞：しんかい湧水域の科学調査においては、「よこすか」船長、乗組員およびしんかい6500運航チーム、海洋研究開発機構の関係者の皆様のご支援のもと執り行われた。また、小原泰彦博士およびYK13-08・YK14-13・YK15-11乗船研究者にはサンプルの提供および調査協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

引用文献：[1] Brune and Moore (1987) *Palaios* 2, 241-245. [2] Riding (2011) *Encyclopedia of Geobiology* pp. 635-654. [3] Nothdurft et al. (2005) *Geology* 33, 169-172. [4] Greinert et al. (2002) *International Journal of Earth Sciences* 91, 698-711. [5] Reitner et al. (2005) *Facies* 51, 66-79. [6] Maliva et al. (2000) *Geology* 28, 931-934. [7] Feng & Chen (2015) *Environmental Earth Sciences* 74, 4839-4851. [8] Georgieva et al. (2015) *Geobiology* 13, 152-169. [9] Li and Kusky (2007) *Gondwana Research* 12 84-100.

キーワード：マイクロバイアライト、化学合成生態系

Keywords: microbialite, chemosynthetic ecosystems

後期白亜紀の海洋における植物の分解

—北海道中川町に分布する上部白亜系蝦夷層群を対象に—

Decomposition of the plant in the ocean of the Late Cretaceous

-Focused on the Upper Cretaceous Yezo Group distributed in Nakagawa Town, Hokkaido, Japan-

*山本 悠真¹、ジェンキンス ロバート²*Yuma Yamamoto¹, Robert Jenkins²

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

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

陸上植物は、地球上での重要な炭素貯蔵庫であるが、その構成成分であるセルロースやリグニンは難分解性の有機物であり、光合成によって固定された炭素がそのまま地層中に埋没しやすい。海洋に流出した材はフナクイムシをはじめとした木材穿孔性二枚貝などの材食者によって分解されることが知られている。木材穿孔性二枚貝はヤスリ状の殻で材を小片化し、また、共生微生物を利用してセルロースを分解する。特に深海性の穿孔貝であるキクイガイ類の場合は海底で材を分解する。木材穿孔性二枚貝は木の周囲に分解産物をまき散らすため、材周囲に沈木群集と呼ばれる生態系が形成されることがある。沈木群集には有機物の分解によって生成される硫化水素をエネルギー源とした化学合成生態系が含まれることもある。木材穿孔性二枚貝は前期ジュラ紀に出現し、当時は木を住処として利用しており、ジュラ紀末に木を餌資源として利用するようになった。また、穿孔性二枚貝は白亜紀に多様化した。しかし、白亜紀の海での穿孔性二枚貝の穿孔による木の分解過程は明らかにされていない。そこで本研究では日本の北海道中川町に分布する白亜系蝦夷層群から産出する化石を用い、海での木の分解過程を復元することを目的とした。

計67個の炭酸塩コンクリーションを中川町の白亜系露出域から採集し、実験室に持ち帰って表面の観察、切断研磨面および薄片の観察、X線CT撮影、含有無脊椎動物化石のクリーニングなどを実施した採集したサンプルの内約70%に材化石が含まれていた。そのうちの約34%に材への穿孔痕が認められた。穿孔痕壁面の詳細観察により穿孔痕形成者はキクイガイ類などの深海種の木材穿孔性二枚貝だと推定できた。穿孔痕内に硫酸還元菌の活動を示すフランボイド状パイライトの密集が多く見つかった。材化石中や材化石の周囲にパイライトの密集が見つかった。木の周囲にペレットが密集して存在し、その一部には小片化した材が含まれていた。以上の観察事実を総合すると、白亜紀の蝦夷海盆の深海帯においては、少なくとも3割程度の材が深海性穿孔貝と硫酸還元菌による分解を被っていたことが明らかとなった。

キーワード：木材穿孔性二枚貝、硫酸還元菌、白亜紀

Keywords: Wood-boring bivalves, Sulfate reducing bacteria, Cretaceous

棘皮動物の骨格形成に及ぼす冷湧水メタンの影響

Influence of cold seep methane on the forming of echinoderm skeletons

*加藤 萌¹、大路 樹生²、白井 厚太郎³、鶴沼 辰哉⁴*Moe Kato¹, Tatsuo Oji², Kotaro Shirai³, Tatsuya Unuma⁴

1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.名古屋大学博物館、3.東京大学大気海洋研究所、4.国立研究開発法人水産総合研究センター北海道区水産研究所

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Nagoya University Museum, 3.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 4.Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency

近年、化学合成生態系に属すると考えられる現生、化石棘皮動物が報告されるようになってきた (Pawson and Vance, 2004; Gaillard *et al.*, 2011; Landman *et al.*, 2012) ことを受け、冷湧水域における棘皮動物の古生態を明らかにする目的で、アメリカ・サウスダコタ州および北海道の上部白亜系冷湧水炭酸塩岩露頭にて、棘皮動物化石の産状・形態の観察、採集を行った。また、冷湧水メタンと化石棘皮動物の代謝的な関わりを調べる為に、化石棘皮動物の骨格中の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を測定した。その結果、サウスダコタの化石ウミユリ、北海道の化石ウミユリ共に、通常環境の棘皮動物化石骨格中の $\delta^{13}\text{C}$ 値よりも明らかに低い値を示し、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の低い冷湧水メタンの影響を受けている可能性が強く示唆された (Kato and Oji, 2015)。しかし冷湧水環境で棘皮動物の骨格の $\delta^{13}\text{C}$ 値が低くなるメカニズムについては分かっておらず、各棘皮動物がどのような形で冷湧水メタンの影響を受けていたのかは解明できていない。

殻を持つ多くの海洋生物が、海水中から二酸化炭素 (炭酸イオン) とカルシウムを取り込み、海水と概ね同位体平衡に殻を形成する (Epstein *et al.*, 1951)。冷湧水域においても、化学合成生態系に属する二枚貝類の殻の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $\pm 5\%$ 前後の値を示すものが多い (e.g. Mae *et al.*, 2007)。棘皮動物の骨格 (殻) は、高Mgカルサイトで形成されているが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は海水と同位体平衡にはならないことが知られており、また分類群や種によって値が異なることも報告されている (e.g. Weber, 1968)。その原因として、バイタルエフェクトによる同位体分別が起こっている可能性、骨格形成の際の炭素源が海水からだけではない可能性等が考えられるが、はっきりとした理由は判っていない。

そこで、棘皮動物の骨格形成の際に、餌と海水の炭素同位体比がどのように影響するか、また、どの程度同位体分別が起こるかを調べる目的で、現生ウニを用いた飼育実験を行った。体重25~1200mgのエゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius*)を用い、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が異なる餌料を与えた場合、溶存無機炭素 (DIC) の $\delta^{13}\text{C}$ 値が異なる海水中で飼育した場合のそれぞれについて、約1ヵ月間の飼育後に殻の $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定した。

その結果、餌料および海水のいずれの $\delta^{13}\text{C}$ を調節した場合においても、殻の $\delta^{13}\text{C}$ 値の変化が確認された。従って、棘皮動物は骨格形成の際に海水と餌の炭素同位体比の両方から影響を受けることが初めて示唆された。棘皮動物の骨格形成過程は、他の二枚貝類等の殻を持つ海洋生物とは異なる可能性が高い。また、冷湧水域に生息していた棘皮動物は、その環境に豊富にある $\delta^{13}\text{C}$ 値の低いバクテリアマットやデトリタス等を摂餌していたか、あるいは体内に細菌を共生させ、細菌が固定した炭素を取り込み、骨格を形成していた可能性が考えられる。

キーワード：冷湧水、棘皮動物、化学合成群集、バイオミネラリゼーション

Keywords: cold seep, echinoderms, chemosynthetic community, biomineralization

高知県の後期白亜紀の冷湧水性石灰岩（佐田石灰岩）より巻貝類 *Elmira* の大量産出
 Mass occurrence of the enigmatic gastropod *Elmira* in the Late Cretaceous Sada Limestone
 seep deposit in southwestern Shikoku, Japa

*延原 尊美¹、恩田 大学¹、佐藤 拓弥¹、青澤 秀実¹、石村 豊穂²、井尻 暁³、角皆 潤⁴、菊池 直樹⁵、近藤 康生⁶、Kiel Steffen⁷
 *Takami Nobuhara¹, Daigaku Onda¹, Takuya Sato¹, Hidemi Aosawa¹, Toyoho Ishimura², Akira Ijiri³, Urumu Tsunogai⁴, Naoki Kikuchi⁵, Yasuo Kondo⁶, Kiel Steffen⁷

1.静岡大学教育学部理科教育講座地学教室、2.茨城高等専門学校 物質工学科、3.海洋研究開発機構 高知コア研究所 地下生命圏研究グループ、4.名古屋大学大学院環境学研究科、5.兵庫県立人と自然の博物館、6.高知大学自然科学系、7.ストックホルム自然史博物館

1.Science Education (Geology), Faculty of Education, Shizuoka University, 2.Department of Chemistry and Material Engineering, National Institute of Technology, Ibaraki College, 3.Kochi Institute for Cores Sample Research, JAMSTEC, 4.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 5.Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, 6.Sciences Unit, Natural Sciences Cluster, Kochi University, 7.Department of Palaeobiology, Naturhistoriska riksmuseet, Stockholm

Elmira is a medium- to large-sized gastropod genus, which has so far been recorded only from a presumably Eocene methane-seep deposit in Cuba, and its systematic affinity and paleoecology are unknown. We report a mass occurrence of *Elmira* sp. from a Late Cretaceous seep deposit in Shikoku, Japan, called Sada Limestone, with its mode of fossil occurrence, carbonate petrology, and stable carbon isotope analyses. Sada Limestone is characterized by the dominant occurrence of a large-sized thyasirid bivalve "*Thyasira*" *hataii* and serpulid worm tubes. The mass occurrence of *Elmira* sp. occurs as a lens-shaped carbonate body, 6.5 m in length and less than 2 m in thickness, intercalated in the thyasirids-rich limestone. The *Elmira*-rich lens body has a flat top and a concave base, and consists of multiple shell accumulation layers, which were formed by winnowing and filling of a depression in slope mud. The rare occurrence of *Elmira* sp. elsewhere in the Sada Limestone suggests that it lived in local aggregations in the vicinity of the depression. The matrix of the *Elmira* mass occurrence is rich in dolomite and ankerite and is less depleted in ¹³C (δ¹³C values of calcite: -5.3 to -2.4‰; of dolomite: -8.3‰) than the calcitic matrix of the surrounding limestones. This suggests that the *Elmira* mass occurrence was cemented below the sulfate reduction zone and thus with little influence of anaerobic methane oxidation. It is, therefore, difficult to consider that *Elmira* sp. harbor chemosymbiotic bacteria. As some trochiform gastropods do in seep sites, *Elmira* sp. was maybe a bacteria grazer gregarious on bacteria mats and/or hard bottoms.

キーワード：化学合成、冷湧水、巻貝類、白亜紀、四国

Keywords: chemosynthesis, cold seep, Gastropods, Cretaceous, Shikoku

北西太平洋三海山カルデラ内熱水噴出域のメイオファウナ群集組成の空間変異

- 熱水カイアシ類は熱水ゴカイと一緒に好き? -

Meiofaunal community compositions around hydrothermal vents in three seamounts in NW Pacific - Vent copepods want to stay with vent polychaetes?

*嶋永 元裕^{1,2}、瀬之口 れいな¹、上島 優貴¹、野牧 秀隆²、渡部 裕美²、北橋 倫²*Motohiro Shimanaga^{1,2}, Reina Senokuchi¹, Yuki Uejima¹, Hidetaka Nomaki², Hiromi Kayama WATANABE², Tomo Kitahashi²

1.熊本大学、2. 海洋研究開発機構

1.Kumamoto University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

In contrast to specific large benthic invertebrates in chemosynthetic ecosystems around deep-sea hydrothermal vents, meiofaunal communities in such habitats have only recently been investigated. This is especially true in the Northwest Pacific Ocean, even though there are many seamounts with active hydrothermal vents in their calderas. We studied the variations in meiofaunal composition around hydrothermal vents on chimney structures (vent chimneys) and in the adjacent non-vent fields in the calderas of three neighboring seamounts (Bayonnaise Knoll, Myojin Knoll, and Myojin-sho Caldera), in Izu-Ogasawara Arc, NW Pacific. A typical meiofaunal composition (nematodes as the most abundant taxon; harpacticoid copepods as the second) was observed in the sediments on sea-floor in the non-vent (control) fields, and even in the sediment at the base of chimneys. On the surfaces of vent chimneys, on the other hand, copepods and their nauplii were the most abundant. There were significant differences in copepod compositions on vent chimneys between the three seamounts, and even between different substrates on the same chimneys. *Stygiopontius* (Dirivultidae, Siphonostomatoida), a typical vent copepod group, was abundant and often predominant on the dense mats of tubes of *Paralvinella* polychaetes living in the closest proximity to vent fluids among vent metazoan macrofauna. These copepods, however, showed the lower density on the beds of *Neoverruca* barnacles although their beds were adjacent to *Paralvinella* mats at cm scales. No significant genetic difference was observed among local populations of *Stygiopontius*, suggesting they are the same species. Furthermore, stable carbon and nitrogen stable isotopic ratios and radiocarbon abundances in meiofaunal soft tissues revealed the dirivultids utilized mainly chemolithoautotrophic microbes at vents. These results show that *Stygiopontius* copepods prefer *Paralvinella* mats as their habitats or have similar environmental preferences (such as higher water temperature or existence of chemolithoautotrophic microbes) to *Paralvinella*.

キーワード：熱水噴出孔、メイオファウナ、群集組成

Keywords: hydrothermal vent, meiofauna, community compositions

炭素窒素安定同位体、放射性炭素同位体から明らかにした熱水噴出域のメイオフアウナの食性と熱水域での分布パターンとの関連

Nutrition sources of meiofauna revealed by stable carbon and nitrogen isotope ratios and natural radiocarbon abundances explain meiofaunal distribution patterns at hydrothermal vent fields

*野牧 秀隆¹、上島 優貴²、小川 奈々子¹、山根 雅子¹、渡部 裕美¹、瀬之口 れいな²、北橋 倫¹、横山 祐典^{3,1}、大河内 直彦¹、嶋永 元裕^{2,1}

*Hidetaka Nomaki¹, Yuki Uejima², Nanako O Ogawa¹, Masako Yamane¹, Hiromi Kayama WATANABE¹, Reina Senokuchi², Tomo Kitahashi¹, Yusuke Yokoyama^{3,1}, Naohiko Ohkouchi¹, Motohiro Shimanaga^{2,1}

1.国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2.熊本大学、3.東京大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Kumamoto University, 3.The University of Tokyo

Deep-sea hydrothermal vents host unique marine ecosystems which mainly rely on organic matters produced by chemolithoautotrophic microbes. Although there are abundant meiofauna at the hydrothermal vent field, studies on their distributional patterns and nutritional sources are still limited due to their small body sizes. In this study, we investigated dietary sources of meiofauna at hydrothermal vent fields in the western Pacific using stable carbon and nitrogen isotope ratios ($d^{13}C$, $d^{15}N$) and natural radiocarbon abundances ($D^{14}C$). Based on these data, we evaluated how much do the hydrothermal vent meiofauna gain their nutrition from the chemolithoautotrophic microbes and how does it related to their distributional patterns around hydrothermal vent fields. Bacterial mats of the hydrothermal vent chimney typically exhibited heavy $d^{13}C$ values (up to -10‰) and depleted $D^{14}C$ values (~600‰). The $d^{13}C$ and $D^{14}C$ values of Dirivultidae, an endemic copepod family inhabiting hydrothermal vent chimney, exhibited similar values to the bacterial mat but distinct from those of sediments at surrounding area or water column plankton, suggesting that they exclusively rely on bacterial mat at the vent chimney. Other copepods at the vent chimneys may also rely on bacterial mat to some extent. To the contrary, $d^{13}C$ values of nematodes at vent chimneys were -26.6 and 23.2‰, which were similar ranges to those at non-vent sites, suggesting vent nematodes did not gain their nutrition from the chemolithoautotrophic microbes. Those nutritional facts obtained from isotopic compositions explain well about distributional patterns of these meiofauna; while dirivultid copepods exclusively distribute at vent chimneys and other copepods are more abundant at vent chimneys than in non-vent sediments, nematodes showed similar abundances between vent chimney and non-vent sediments.

キーワード：熱水生態系、メイオフアウナ、食性、安定同位体比、放射性炭素同位体

Keywords: Hydrothermal vent ecosystem, meiofauna, feeding habit, stable isotope ratios, natural radiocarbon abundance

長野県中部中新統別所層の冷湧水炭酸塩岩より産出するシロウリガイ類の種多様性

Species diversity of vesicomid bivalves from the middle Miocene seep carbonates in the Bessho Formation, Nagano Prefecture, Japan

*宮嶋 佑典¹、延原 尊美²、小池 伯一³

*Yusuke Miyajima¹, Takami Nobuhara², Hakuichi Koike³

1.京都大学大学院理学研究科、2.静岡大学教育学部、3.信州新町化石博物館

1.Graduate school of Science, Kyoto University, 2.Faculty of Education, Shizuoka University,

3.Shinshushinmachi Fossil Museum

シロウリガイ類は新生代を通じて冷湧水域における主要な動物として進化・繁栄を遂げてきた。同一湧水域内での現生シロウリガイ類の複数種の共存は、硫化水素濃度や塩度、水温への嗜好性の違いによると考えられているが (Barry et al., 1997; Watanabe et al., 2013), 化石シロウリガイ類の複数種の共存とその要因についてはあまり議論されていない。長野県に分布する中部中新統別所層は背弧海盆内の陸棚斜面に堆積した泥岩からなり、多様なサイズの冷湧水成炭酸塩岩を包含する。別所層からはこれまで *Adulomya uchimuraensis* および "*Calyptogena*" *akanudaensis* が知られていたが、本発表では "*C.* *akanudaensis*" の属の帰属を再検討し、さらに *Pliocardia* sp., *Adulomya* sp. の2種のシロウリガイ類化石を新たに報告する。これら計4種のシロウリガイ類の産出頻度は炭酸塩岩のサイズによって異なる。すなわち、直径20 m以上の大規模な炭酸塩岩体からは、多数の *A. uchimuraensis* のほかに、"*C.* *akanudaensis*" と *Pliocardia* sp. がまれに産出する。直径1 mほどのより小さな岩体では "*C.* *akanudaensis*" が相対的に豊富に産出し、*A. uchimuraensis* を伴う。数cmサイズの炭酸塩コンクリーションを含むシルト岩からは、*Adulomya* sp. が散在的に多数産出する。これらの炭酸塩のサイズの違いは湧水のフラックスや持続期間の違いを示唆しており、別所層内でのシロウリガイ類の種多様性は湧水場間での湧水活動の違いを反映している可能性がある。

キーワード: *Pliocardia*, *Adulomya*, オトヒメハマグリ科、中期中新世、冷湧水

Keywords: *Pliocardia*, *Adulomya*, Vesicomidae, Middle Miocene, Cold seep

北海道の始新統幌内層における湧水活動履歴の復元の試み

Reconstruction of seepage history in the Eocene Poronai Formation, Hokkaido, Japan

*延原 尊美¹、白鳥 百合子¹、人見 進太郎¹、石村 豊穂²、井尻 暁³*Takami Nobuhara¹, Yuriko Shirotori¹, Shintaro Hitomi¹, Toyoho Ishimura², Akira Ijiri³

1. 静岡大学教育学部理科教育講座地学教室、2. 茨城高等専門学校 物質工学科、3. 海洋研究開発機構 高知コアセンター

1. Science Education (Geology), Faculty of Education, Shizuoka University, 2. Department of Chemistry and Material Engineering, National Institute of Technology, Ibaraki College, 3. Kochi Institute for Cores Sample Research, JAMSTEC

The Eocene Poronai Formation, central Hokkaido, is known to mark the oldest fossil records of vesicomid bivalves in Japan. This study made an outcrop mapping of lithology, mode of fossils occurrence, and stable isotopic analyses to make clear the seep-habitats in initial stages of vesicomid diversification through the Cenozoic age.

A series of irregular-shaped seep-carbonate rocks, about 1-2 m in diameter, vertically piled up in the outcrop section of massive siltstone. The carbonate rocks and the surroundings yield abundant shells of chemosynthetic bivalves, *Hubertschenkia ezoensis* and *Conchocele bisecta*. Their modes of fossil occurrences are divided into two types, 1) shell-concentrated lens and 2) sporadic patches and scattering, which alternate each other in the vertical section. The shell-concentrated lenses are mainly recognized in siltstone, whereas the scattering type is encompassed in the carbonate bodies.

It is noteworthy that all the shell-concentrated lenses were associated with calcitic concretions partly containing fluidized texture just below them. The fluidized part consists of mixture of 1) white-colored detrital micrite depleted in $\delta^{13}\text{C}$ (-38.05 to -22.91‰), 2) gray-colored micrite not depleted in $\delta^{13}\text{C}$ (4.87 to 9.01‰) and 3) black-colored sparitic cements with widely ranging values of $\delta^{13}\text{C}$ (-42.09 to 1.88‰). Detail lithological mapping show that such fluidized texture tends to be formed avoiding shell-rich part. These suggest that the alternating pattern of two modes of fossil occurrences was controlled by intermittent fluidizing events as follows. Sporadic biofacies was formed under the diffusive phase resulting in gradual rise of pore-water pressure. Over the critical point of pore-water pressure, fluidization was triggered in unconsolidated parts not rich in buried shell remains, which acted as a nucleus of precursor concretions. Such local fluidization caused a focused flow fostering shell-concentrated mode.

キーワード：化学合成、シロウリガイ類、メタン湧水、幌内層、始新世

Keywords: chemosynthetic, Vesicomiyidae, methane seepage, Poronai Formation, Eocene

浅海鯨骨生態系の変遷：九十九湾における水槽および天然環境における鯨骨群集形成実験

Succession of whale-fall ecosystems at shallow waters: mainly based on one year monitoring of deployed whale carcasses in aquarium tank and natural environments in Tsukumo Bay, Ishikawa, Japan

森谷 和浩²、*ジェンキンス ロバート¹、関口 俊男³、鈴木 信雄³

Kazuhiro Moriya², *Robert Jenkins¹, Toshio Sekiguchi³, Nobuo Suzuki³

1.金沢大学理工研究域自然システム学系、2.金沢大学大学院自然科学研究科、3.金沢大学環日本海域環境研究センター臨海実験施設

1.School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, 3.Noto Marine Laboratory, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

海底に沈んだ鯨類の遺骸の周囲には「鯨骨群集」と呼ばれる生物群集が形成される (Smith, 1989; Nature). 鯨骨群集は、遺骸の腐敗の進行などにもなって構成種が遷移することが知られている (Smith and Baco, 2003). しかし、群集の基礎をなす微生物と骨の関係を含めた生態系変遷の詳細は明らかになっていない。これは一般的な潜水艇を用いた海洋調査では、断片的な時間軸でしか観察できず、また、もろい微生物マットを乱さずに観察することが困難であることによる。これらの問題を解決すべく、本研究では天然環境に限りなく近い水槽をつくり、(1) 鯨骨群集形成実験系を確立する、(2) 確立した系で微生物マットに着目した生態系変遷を明らかにする、ことを目的とし研究を進めた。

また、鯨骨群集やそれに類する群集は化石においても報告されており、骨に残された微生物痕などから化石鯨類や、中生代の首長竜類の遺骸に形成された微生物マットについてたびたび議論されている (Danise et al., 2012など)。しかし、現生における骨に残された微生物痕の詳細は不明な点が多く、古生物学的に応用する基礎データが少ない。そこで、(3) 上記の実験系を利用して、化石への応用を目指し特に骨に残されうる生物活動痕がいつ、どこで形成されるか明らかにする、ことを第三の目的とした。

実験概要及び手法：能登半島九十九湾に面した金沢大学臨海実験施設内の“天然海水かけながし水槽”を利用し、その水槽内において鯨骨を設置して時系列観察を実施した。なお、九十九湾の天然環境にも鯨骨を設置して適宜引き上げと観察を行い、水槽実験が天然を模しているか確認した。設置した期間は水槽内実験では約1年間、天然環境では約1年11ヶ月である。また、水槽実験では断続的なサンプリングのために椎骨を切り分けた“チップサンプル”も用意して設置した。

水槽実験におけるチップサンプル、天然環境及び水槽内設置した椎骨は断続的に回収し、骨表面や内部の観察を行った。また一部の微生物についてはDAPI染色を施し蛍光顕微鏡で観察した。

結果・考察

【鯨骨の時系列変化】開始後数日の間に、硫化水素と思われるガスの発生、鯨骨の浮上が起きた。これは骨内有機物の硫酸還元菌による分解で硫化水素ガスが発生し、それにより鯨骨に浮力が生じたと考えられる。

開始後約1週間に、鯨骨周辺では複数のタイプの微生物マットを確認した。この中で白色マットは細胞内に顆粒を含む繊維状の原核生物からなり、緑色マットは緑藻類から構成されていた。繊維状原核生物内の顆粒はEDX分析により硫黄であることが明らかとなった。このことから白色の繊維状原核生物は硫黄酸化細菌であることが推定される。

骨周辺にはツリガネムシ類 (*Zoothamnium niveum*)、ガラスシタダミ科腹足類 (*Xenoskenea* sp.) などが見られた。*Z. niveum*は硫黄酸化細菌を外部共生する生物である (Kawato et al., 2010)。このことから*Z. niveum*の出現から化学合成生態系が成立したと考えられる。*X. sp.*は骨表面に繁茂する微生物マットを摂食し、さらに骨周辺で繁殖も行っていった。また天然環境に放置した鯨骨には固着性のフジツボ類が見られた。鯨骨が固着基盤として利用されていたと考えられる。さらにチップサンプルを観察すると鯨骨に元々存在する穴には線虫類や多毛類が見られた。これらの生物は鯨骨内の有機物を摂食していると思われる。

これらの結果から浅海域による鯨骨遺骸の遷移を検討する。まず骨の周りの肉が取り除かれ、骨内から硫酸還元により硫化水素が発生し鯨骨自体も浮上する。その後沈降し、速やか化学合成生態系が成立する。加えて緑

藻類も鯨骨にマット形成する。続いて鯨骨表面に繁茂したマットや、鯨骨内の有機物を摂食する生物が出現する。海水にさらされている箇所は穿孔痕が形成される。最終的に固着性基盤として利用される。

【骨に残された微生物活動痕】水槽内から10ヶ月以降に回収した骨の表面にはマイクロサイズの微小穿孔痕があった。これらの穿孔痕は海水にさらされていた鯨骨上部のみに認められ、堆積物に埋没していた鯨骨の下部には見られなかった。これは海水にさらされる比較的酸化的な環境にのみ生息する微生物によって形成されたと考えられる。森谷（2014, 金沢大学卒業論文）は首長竜の骨上部に顕著に観察された微小穿孔痕にもとづいて骨上部が海水に露出していたと推定したが、本研究結果はこの推定結果を支持する。

まとめ

水槽内において鯨骨群集の形成に成功し、この水槽実験を利用して微生物マットに着目した鯨骨生態系の変遷を明らかにすることができた。また骨化石に残された微生物痕が堆積物への埋没範囲の指標となることを明らかにした。

キーワード：鯨骨群集、生態系、還元環境

Keywords: Whale-fall community, ecosystem, reduced environment

深海化学合成生物群集に生息する底生性カイアシ類集団の遺伝的連結性

Population connectivity of benthic copepods in deep-sea chemosynthetic communities

*渡部 裕美¹、瀬之口 れいな²、上島 優貴²、野牧 秀隆¹、北橋 倫¹、嶋永 元裕²、山本 啓之¹

*Hiromi WATANABE¹, Reina Senokuchi², Yuki Uejima², Hidetaka Nomaki¹, Tomo Kitahashi¹, Motohiro Shimanaga², Hiroyuki Yamamoto¹

1.海洋研究開発機構、2.熊本大学

1.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2.Kumamoto University

Meiobenthos are small (<1mm) benthic animals living on seafloor. Although their considerable diversity in marine environment, only less attention is paid for meiobenthos than macro- and mega-benthos. Copepod is the most abundant crustacean in meiobenthos in deep-sea hydrothermal vent environment, and a copepod family Dirivultidae is one of the most successful vent taxa. However, only little is known about ecology and evolution of dirivultids. In the present study, we examined efficiencies of several DNA extraction methods available for copepods, and estimate population connectivity of dirivultid copepods of the genus *Stygiopontius* in the western Pacific hydrothermal vent fields. DNA extraction efficiency was increased when the morphology of copepod was destructed. However, even the DNA extraction with the lowest concentration (~5ng/μL) was sufficient to obtain sequence data by Sanger sequencer. Genetic diversities of *Stygiopontius* copepods were different among oceanographic regions, higher in back-arc basins in the southern Pacific than in volcanic arc. In both regions, local populations were not significantly separated genetically based on partial mtCOI sequence. The present result contributes to our knowledge of ecology of meiobenthos, and establishment of environmental assessment tool using meiobenthos in deep-sea hydrothermal vent fields.

キーワード：熱水噴出孔、環境影響評価、メイオベントス

Keywords: hydrothermal vent, environmental assessment, meiobenthos

南部マリアナ前弧しんかい湧水域における生物群集の炭素、窒素、硫黄
安定同位体組成による栄養源の評価

Evaluation of nutrient sources of the biological community in the Shinkai Seep Field,
Southern Mariana Forearc using C, N and S stable isotopes

*大西 雄二¹、山中 寿朗¹、渡部 裕美²、小原 泰彦^{2,3}

*Yuji Onishi¹, Toshiro Yamanaka¹, Hiromi WATANABE², Yasuhiko OHARA^{2,3}

1.岡山大学、2.海洋研究開発機構、3.海上保安庁海洋情報部

1.Okayama University, 2.JAMSTEC, 3.Hydrographic and Oceanographic Dept. of Japan

2010年に南部マリアナ前弧の水深約5600 mの海溝陸側斜面にシロウリガイを主とする化学合成生物群集が発見され、その一帯はShinkai Seep Field (SSF)と名付けられた。SSFは、これまでに化学合成生物群集が知られている熱水噴出孔やメタン湧出域とは全く異なるテクトニックな背景を持っており、マントルかんらん岩の蛇紋岩化反応に伴って発生するメタンによって微生物硫酸還元が行われ、そこで発生する硫化水素を利用して硫黄酸化細菌が一次生産を行っていると考えられている。しかし、実際にこの生物群集を支えているエネルギー源や栄養源に関する地球化学的研究は行われていなかった。そこで、本研究ではSSFにおける生物群集の栄養源をC,N,S安定同位体組成を用いて検討することを目的とした。

試料はJAMSTECの有人潜水調査船「しんかい16500」の潜航調査によってYK13-08航海で採取されたシロウリガイ (*Calymene mariana*) の他にシロウリガイコロニー周辺で採取された様々な生物と懸濁粒子、コロニー直下の堆積物を分析に用いた。生物試料は軟組織のC、N、S同位体組成を、懸濁物試料はC,N同位体を、堆積物は全有機炭素 (TOC)、全窒素 (TN)、酸揮発性硫化物 (AVS) 濃度およびそれらの同位体組成の測定を行った。堆積物中TOC、AVS濃度は深度の増加とともに増加し、それらの同位体比は減少する傾向が見られた。これはコロニー直下の堆積物中において、硫酸還元細菌の活動によって生じる硫化水素を用いた一次生産が行われている事を示している。懸濁粒子の同位体組成は植物プランクトンに見られる値の範囲内であることから、海洋表層で光合成によって生産された有機物であると考えられる。

シロウリガイ軟組織の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、以前に報告されている値とほぼ等しく、エラ内に硫黄酸化細菌を共生させているシロウリガイに典型的な値の範囲である。 $\delta^{34}\text{S}$ 値は堆積物中のAVSが持つ $\delta^{34}\text{S}$ 値とほぼ等しい結果であった。このことからシロウリガイの生育を支えるエネルギー源が堆積物中の硫酸還元細菌の活動に由来する硫化水素であることを示している。また、多毛類やヨコエビ、イソギンチャクは懸濁粒子と堆積有機物との中間的な同位体組成を持ち、光合成、化学合成両方に由来する有機物を摂食していると考えられる。ヒゲムシはそれらとは明らかに異なる同位体組成を持っており、シロウリガイとは異なる炭素固定回路を持つ硫黄酸化細菌やメタン酸化細菌に栄養源を依存している可能性が考えられる。

キーワード：同位体組成

Keywords: isotopic composition