

## 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<sup>1</sup>

\*Tomoyo Okumura<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、ジェンキンス ロバート<sup>2</sup>\*Yuma Yamamoto<sup>1</sup>, Robert Jenkins<sup>2</sup>

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<sup>1</sup>、大路 樹生<sup>2</sup>、白井 厚太郎<sup>3</sup>、鶴沼 辰哉<sup>4</sup>\*Moe Kato<sup>1</sup>, Tatsuo Oji<sup>2</sup>, Kotaro Shirai<sup>3</sup>, Tatsuya Unuma<sup>4</sup>

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 $\delta^{13}\text{C}$ 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<sup>1</sup>、恩田 大学<sup>1</sup>、佐藤 拓弥<sup>1</sup>、青澤 秀実<sup>1</sup>、石村 豊穂<sup>2</sup>、井尻 暁<sup>3</sup>、角皆 潤<sup>4</sup>、菊池 直樹<sup>5</sup>、近藤 康生<sup>6</sup>、Kiel Steffen<sup>7</sup>

\*Takami Nobuhara<sup>1</sup>, Daigaku Onda<sup>1</sup>, Takuya Sato<sup>1</sup>, Hidemi Aosawa<sup>1</sup>, Toyoho Ishimura<sup>2</sup>, Akira Ijiri<sup>3</sup>, Urumu Tsunogai<sup>4</sup>, Naoki Kikuchi<sup>5</sup>, Yasuo Kondo<sup>6</sup>, Kiel Steffen<sup>7</sup>

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 <sup>13</sup>C (δ<sup>13</sup>C 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ア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<sup>1,2</sup>、瀬之口 れいな<sup>1</sup>、上島 優貴<sup>1</sup>、野牧 秀隆<sup>2</sup>、渡部 裕美<sup>2</sup>、北橋 倫<sup>2</sup>\*Motohiro Shimanaga<sup>1,2</sup>, Reina Senokuchi<sup>1</sup>, Yuki Uejima<sup>1</sup>, Hidetaka Nomaki<sup>2</sup>, Hiromi Kayama WATANABE<sup>2</sup>, Tomo Kitahashi<sup>2</sup>

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、メイオフアウナ、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ァ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<sup>1</sup>、上島 優貴<sup>2</sup>、小川 奈々子<sup>1</sup>、山根 雅子<sup>1</sup>、渡部 裕美<sup>1</sup>、瀬之口 れいな<sup>2</sup>、北橋 倫<sup>1</sup>、横山 祐典<sup>3,1</sup>、大河内 直彦<sup>1</sup>、嶋永 元裕<sup>2,1</sup>

\*Hidetaka Nomaki<sup>1</sup>, Yuki Uejima<sup>2</sup>, Nanako O Ogawa<sup>1</sup>, Masako Yamane<sup>1</sup>, Hiromi Kayama WATANABE<sup>1</sup>, Reina Senokuchi<sup>2</sup>, Tomo Kitahashi<sup>1</sup>, Yusuke Yokoyama<sup>3,1</sup>, Naohiko Ohkouchi<sup>1</sup>, Motohiro Shimanaga<sup>2,1</sup>

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、メイオファウナ、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