

南部マリアナ前弧しんかい湧水域の地質と生物 Geology and biology of the Shinkai Seep Field in the Southern Mariana Forearc

小原 泰彦^{1*}; 高井 研²; 渡部 裕美²; 今野 祐多²; 石井 輝秋³; ブルーマー シャーマン⁴; 小澤 元希⁵; 大西 雄二⁶; 藤井 昌和⁷

OHARA, Yasuhiko^{1*}; TAKAI, Ken²; WATANABE, Hiromi²; KONNO, Uta²; ISHII, Teruaki³; BLOOMER, Sherman⁴; OZAWA, Genki⁵; ONISHI, Yuji⁶; FUJII, Masakazu⁷

¹ 海上保安庁海洋情報部, ² 海洋研究開発機構, ³ 深田地質研究所, ⁴ オレゴン州立大学, ⁵ 北里大学, ⁶ 岡山大学, ⁷ 東京大学大気海洋研究所

¹Hydrographic and Oceanographic Department of Japan, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Fukuda Geological Institute, ⁴Oregon State University, ⁵Kitasato University, ⁶Okayama University, ⁷Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

世界最深部マリアナ海溝チャレンジャー海淵北東 80 km に位置する「しんかい湧水域 (Shinkai Seep Field; SSF)」は、マントルかんらん岩に伴う、シロウリガイを中心とする化学合成生態系である。これまでにシロウリガイ類は、堆積物の分解に起因するメタンの湧水系に生息するもの (日本海溝・南海トラフ・相模トラフなど) と、高温の海底熱水系に生息するもの (ガラパゴスリフト・沖縄トラフなど) の大きく 2 種類が知られていたが、SSF においてマントル物質の冷湧水系に生息するシロウリガイ類が初めて発見されたこととなった。

SSF は、2010 年 9 月の YK10-12 航海における「しんかい 6500」による南部マリアナ前弧のマントルかんらん岩のマッピング調査の際に幸運にも発見された。しかし、発見時には、マントルかんらん岩とシロウリガイ類の採取には成功したものの、海水や堆積物の採取は行えなかった。その後、2012 年 1 月の R/V Thomas G. Thompson による TN273 航海において、深海曳航式サイドスキャンソナー (IMI-30) による SSF の反射強度マッピングを実施し、高解像度の反射強度イメージを取得した。その結果、SSF はローカルな堆積性のマウンドに存在している可能性が示されたと同時に、そのようなマウンドが南部マリアナ前弧に多数存在している可能性が示された。

この新しい化学合成生態系の地質・地球化学・生物学・微生物学を理解するため、次の科学目的を掲げて 2013 年 9 月に YK13-08 航海において「しんかい 6500」による調査を実施した: (1) SSF において、「しんかい 6500」の潜航により冷湧水ベントの発見・探査・湧水の採取を行うこと (2) 反射強度マップで示されるマウンドに SSF と同様な湧水系が発達している、という仮説が提示できるのでその検証を行うこと (3) 年代学を含め、南部マリアナ前弧の地質学的背景の理解、すなわち SSF という蛇紋岩生命圏の存在するセッティングの理解を完全なものとする。

YK13-08 航海では、第 1362 潜航、第 1365 潜航および第 1366 潜航において、SSF を再訪し、堆積物コア試料採取、生物採取、ニスキンおよび保圧採水器による採水、溶存酸素および温度測定を実施すると共に、炭酸塩チムニーを発見し、サンプリングに成功した。また、第 1363 潜航と第 1364 潜航においては、SSF の西方約 7 km の斜面の地質調査を実施し、その部分がすべて蛇紋岩化したかんらん岩から構成されていることを確認した。一方、今回の潜航調査の限りでは、SSF 以外に新たな湧水系を発見することができず、また、反射強度イメージで示されるすべてのローカルな堆積性のマウンドが湧水系に対応している訳ではないことが確認された。本講演では、YK13-08 航海における成果を紹介し、SSF の地質と生物の議論を行う。

キーワード: 化学合成生態系, 蛇紋岩, しんかい湧水域

Keywords: chemosynthetic community, serpentinite, Shinkai Seep Field

中央インド洋海嶺熱水噴出域の生物相 Deep-sea hydrothermal vent fauna on the Central Indian Ridge

渡部 裕美^{1*}; Beedessee Girish²
WATANABE, Hiromi^{1*}; BEEDESSEE, Girish²

¹ 海洋研究開発機構, ² モーリシャス海洋研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Mauritius Oceanography Institute

深海熱水噴出域では、熱水噴出によって形成される地球化学的環境に応じて生物が分布している。この講演では、中央インド洋海嶺に分布する4つの熱水噴出域の生物群集で観察された生物種の見直しと更新を行い、中央インド洋海嶺に分布する熱水噴出域における生物分布の帯状構造、およびインド洋熱水生物地理区内外における生物群集の関連性について報告する。インド洋熱水噴出域における生物群集の知見は非常に限られているが、インド洋熱水噴出域生物群集の調査によって明らかになる知見は、世界中の海底に分布する熱水噴出域生物群集の歴史的および短期的な生物分散の一般化にとって、非常に重要なものとなるだろう。

キーワード: 化学合成生物群集, 生物地理, 群集類似度

Keywords: chemosynthetic biological community, biogeography, faunal similarity

地球年代学と生物多様性解析の融合による熱水系進化解析の試み A trial on evaluating hydrothermal system evolution using geochronological dating and biological diversity analyses

熊谷 英憲^{1*}; 渡部 裕美²; 矢萩 拓也³; 小島 茂明⁴; 中井 俊一⁵; 豊田 新⁶; 石橋 純一郎⁷

KUMAGAI, Hidenori^{1*}; WATANABE, Hiromi²; YAHAGI, Takuya³; KOJIMA, Shigeaki⁴; NAKAI, Shun'ichi⁵; TOYODA, Shin⁶; ISHIBASHI, Jun-ichiro⁷

¹ 海洋研究開発機構海底資源研究プロジェクト, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ⁴ 東京大学大気海洋研究所, ⁵ 東京大学地震研究所, ⁶ 岡山理科大学理学部応用物理学科, ⁷ 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Submarine Resources Research Project, JAMSTEC, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, ⁴Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ⁵Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ⁶Department of Applied Physics, Faculty of Science, Okayama University of Science, ⁷Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University

To elucidate the evolution of hydrothermal activities, we conducted an interdisciplinary study including geochemistry and biology to develop a method of obtaining reliable age information. Because there was a small amount of constraint on the lifetime of activity at hydrothermal sites, this study is one of the principal goals of the TAIGA-project, "Trans-crustal Advection and In-situ biogeochemical processes of Global sub-seafloor Aquifer" funded by a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas. As geochemical dating techniques, two methods applicable for hydrothermal ore minerals were developed and improved to fill the gap of the time-ranges in the conventional dating methods: electron spin resonance method and uranium-thorium disequilibrium method. Cross checks between the two methods generally showed good agreement for the range of hundreds to thousands of years. Except for the extreme values for each hydrothermal site, geochemical ages exceed 9ka for the southern Mariana Trough and for 16ka for the Okinawa Trough, respectively. As biological analysis, the biodiversity among faunal communities in the targeted areas was analyzed at the species and DNA levels. In the southern Mariana Trough, *Alviniconcha* gastropods and *Neoverruca* barnacles clearly show the greater genetic diversity with greater distances from the ridge axis, which fairly corresponds to the geochemical ages for ore minerals. In the Okinawa Trough, *Bathymacrea* limpet showed greater genetic diversity at the Hakurei site in the Izena Hole where the ore minerals show oldest ages among the studied sites (Fig.).

Species and genetic diversity of the local fauna were not always correlated to geochemical dating, either in the southern Mariana Trough region or in the Okinawa Trough region. Although the results are not simple, comparison of age information obtained from analyses of these two disciplines potentially provides important constraints for discussion of the history and evolution of hydrothermal activities.

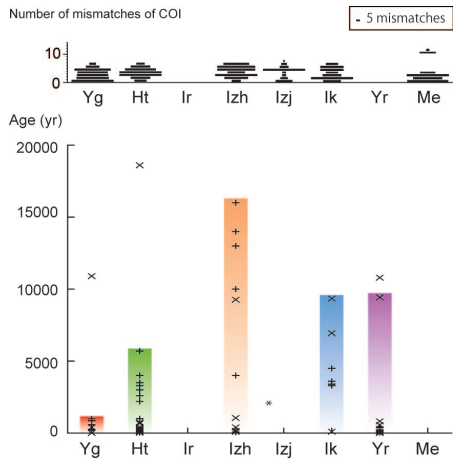
Figure caption (upper): Genetic divergence of COI gene indicated as mismatches in base sequences of *Bathymacrea secunda* limpet of the Okinawa Trough. Scale bars are shown as five mismatches of partial COI sequences. (lower) Geochemical age range determined from the sulfide and sulfate deposits in Okinawa Trough. Active sites are shown from approximately SW to NE. The left-hand side is the southwestern end. Colored bars represent reliable age ranges for respective sites. The localities are denoted as follows: Yg, Daiyon-Yonaguni Knoll; Ht, Hatoma Knoll; Ir, Irabu Knoll; Izh, Hakurei-site in Izena Hole; Izj, JADE-site in Izena Hole; Ik, Iheya North Knoll; Yr, Yoron Hole; Me, Minami-Ensei Knoll.

キーワード: 地球年代学, 生物多様性解析, 海底下の大河, 電子スピン共鳴, ウラン-トリウム非平衡, 塩基置換解析
Keywords: geochronology, biodiversity, TAIGA-project, ESR, U-Th disequilibrium, mitochondrial mismatch analysis

BPT24-03

会場:213

時間:4月29日 09:45-10:00



白亜紀のウミガメ化石から発見した化学合成群集：竜骨群集と鯨骨群集をつなぐもの Chemosynthesis-based ecosystem discovered on a Cretaceous sea turtles from Japan

ジェンキンス ロバート^{1*}; Kaim Andrzej²; 森谷 和浩⁴; 平山 廉³; 疋田 吉識⁵
JENKINS, Robert^{1*}; KAIM, Andrzej²; MORIYA, Kazuhiro⁴; HIRAYAMA, Ren³; HIKIDA, Yoshinori⁵

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系, ²American Museum of Natural History; Instytut Paleobiologii PAN, ³ 早稲田大学国際学術院, ⁴ 金沢大学大学院自然科学研究科, ⁵ 中川町エコミュージアムセンター中川町自然誌博物館

¹School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, ²American Museum of Natural History; Instytut Paleobiologii PAN, ³Faculty of International Research and Education, Waseda University, ⁴Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ⁵Nakagawa Museum of Natural History

深海の熱水やメタン湧水に成立する化学合成生態系は、鯨類などの大型脊椎動物遺骸にも成立する。シンカイヒバリガイやチューブワームなどの化学合成動物の遺伝子解析結果によると、これらの分類群は脊椎動物遺骸環境への適応を経て、深海の熱水・メタン湧水環境への適応を果たしたとされる（「進化の飛び石仮説」Distel et al., 2000）。新生代では鯨類が、中生代には長頸竜類（首長竜類）の遺骸に化学合成生態系が成立していたことが知られている（鯨骨群集、竜骨群集と呼ばれている）。中生代には首長竜以外にも多数の海生爬虫類が繁栄していたが、首長竜以外の海生爬虫類遺骸にも化学合成生態系が成立していたのか不明であった。

今回、北海道中川町仁尾川の上白亜系カンパニアン階から産出したオサガメ科のウミガメ類（*Mesodermochelys* sp.）の背甲からハイカブリナ科腹足類、ハナシガイ類（二枚貝）が共産した。いずれもメタン湧水群集や鯨骨、竜骨群集などの主要な分類群であり（Jenkins et al., 2007; Kaim et al., 2008, 2009 など）、ウミガメ類の遺骸にも化学合成生態系が成立していた可能性が高い。

今回の発見は海生爬虫類が繁栄した白亜紀において、首長竜以外の海生爬虫類にも化学合成生態系が成立していたことを意味する。ウミガメ類は白亜紀末の大量絶滅を逃れた稀な海生爬虫類の一つである。したがって K-Pg 境界を生き延びたウミガメ類の遺骸に成立する化学合成生態系が、中生代の竜骨群集と新生代の鯨骨群集をつないでいた可能性がある。

キーワード: ウミガメ, 化学合成群集, 竜骨群集, 鯨骨群集

首長竜類遺骸に成立する化学合成生態系—共産化石、生物浸食の分布に着目して— A chemosynthetic community on plesiosaurid carcass: with focus on distributions of microbes and invertebrate fossils

森谷 和浩^{1*}; ジェンキンズ ロバート²; Kaim Andrzej³; 小林 快次⁴; 越前谷 宏紀⁴
MORIYA, Kazuhiro^{1*}; JENKINS, Robert²; KAIM, Andrzej³; KOBAYASHI, Yoshitsugu⁴; ECHIZENYA, Hiroki⁴

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 American Museum of Natural History; Instytut Paleobiologii PAN, ⁴ 北海道大学総合博物館

¹ Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ² School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, ³ American Museum of Natural History; Instytut Paleobiologii PAN, ⁴ Hokkaido University Museum

はじめに

化学合成生態系はメタン湧水や熱水噴出孔など点在する環境に成立するが、どのようにたどり着くのだろうか。ここで重要なのが、鯨骨群集と呼ばれる鯨類などの大型脊椎動物の遺骸がつくる生態系である。

海底に沈んだ鯨類遺骸の腐敗過程で生じる硫化水素を基にしてメタン湧水や熱水噴出孔と類似の生態系が形成される。この生態系は鯨骨群集と呼ばれ、点在する湧水・熱水への生物分布の「飛び石」として機能すると考えられている (Smith et al. 1989)。この事象を検証する上でも地質時代の大型脊椎動物遺骸に成立する生態系の変遷が重要である。ところが、地質時代の大型脊椎動物遺骸に成立する生態系の詳細な復元がこれまで行われてこなかった。

本研究では、化学合成生態系が成立していた中生代白亜紀の首長竜遺骸 (Kaim et al., 2008a) を対象に、1) 首長竜遺骸に共産する化石の詳細な分類を行い、周囲の湧水生態系から産出する化石と比較し、首長竜遺骸が化学合成動物の分布の「飛び石」として機能していたかを明らかにし、2) 骨、微生物、共産大型生物の空間分布を明らかにして首長竜遺骸に成立する生態系を復元した。

対象の標本と研究手法

・本研究では Kaim et al. (2008a) によって報告された首長竜化石 (北海道大学総合博物館収蔵 UHR33109; 北海道羽幌町白地畝沢沿いの上部白亜系チューロニアン階~コニアシアン階から産出) を使用した。関節した椎骨、肋骨、腹肋骨、左腸骨から成る。

・産地周辺の地質調査を実施し、産出層の堆積環境を調べた。標本の外表面観察、X線CT撮影像の観察を行い、層理面の推定や大型化石の分布、骨表面の保存状態を調べた。外表面の観察終了後、層理面に垂直に、また、複数の骨部位、異なる骨表面の保存状態を含むようにダイヤモンドワイヤーソーで切断し、研磨した。切断面は実体顕微鏡と偏光顕微鏡 (反射)、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察し、生物活動に伴う穿孔痕などを記載した。

・共産化石を剖出し、実体顕微鏡や SEM による観察を行い、可能な限り詳細に分類した。産出化石を北海道各地の白亜紀メタン湧水産の化石 (Kaim et al., 2008b; Kaim et al., 2009) と比較した。

・以上の情報を統合して首長竜遺骸に成立する化学合成生態系の復元と地理的分布への寄与の有無を検討した。

結果

【骨表面の保存状態】元の表面組織が残っている箇所、骨表面が破壊され内部組織が露出している箇所、その中間の3段階に分けて記載した結果、上部の骨表面はほとんど破壊されていたのに対し、下部ではほぼ元の表面組織が保存されていた。断面においても、上部の骨ほど海綿骨がより露出していた。

【共産化石】共産化石の81%は *Abyssochrysoidea* 超科の化学合成腹足類 (巻貝) であった。この巻貝の分類を詳細に検討した結果2科3属が含まれることが明らかになった。共産化石は上部に多く分布していた。

【骨表面の穿孔痕】骨の表面には数10 μm から数mmの大型穿孔痕と最大直径約8 μm以下でフィラメント状の微小穿孔痕が見られた。大型穿孔痕は次の3タイプに区分できた。タイプA: 開口部をもたないか開口部が小さいような中に空間のある穴、タイプB: 開口部の大きな穴、タイプC: 直径50 μmでトンネル状の穴。大型穿孔痕は骨上部に密集していた。また微小穿孔痕を、密集部の厚さに応じて0.1 mm以上、0.1 mm未満で区分したところ、骨上部ほど微小穿孔痕の密集部が厚かった。微小穿孔痕付近にはパイライトが存在していた。

考察

首長竜遺骸から産出した化学合成巻貝の3属はすべて白亜紀メタン湧水から産出していた。つまり、首長竜遺骸が分布の「飛び石」として機能していた可能性が高い。

微小穿孔痕は、そのサイズと形態、硫化水素の存在を示すパイライトが穿孔痕近傍にあったことなどから硫酸化細菌が形成者だったと推定した。大型穿孔痕のうち、開口部の小さな穿孔痕 (タイプA) は鯨骨内の有機物を摂取するホネク

イハナムシと同様の生活様式を持つ生物の痕跡だと考えられる。Abyssochrysoidea 超科の化学合成巻貝はバクテリアマットを摂食することが知られている。これらの情報を統合すると、骨には硫黄酸化細菌が繁茂し、それを Abyssochrysoidea 超科巻貝が接触し、同時にホネクイハナムシ状の生物が骨内有機物を摂取するため穿孔痕を作っていたという生態系像が描ける。また、上部に微少・大型穿孔痕や化学合成腹足類が多く分布していたことは、上部ほど埋没までに要する時間が長く、その時間の積分効果で説明できる。

まとめ

- ・白亜紀では首長竜遺骸が化学合成動物の分布の「飛び石」として機能していたことを明らかにした。
- ・骨、微生物、共産大型生物の空間分布を明らかにして首長竜遺骸に成立する生態系を復元することができた。

キーワード: 竜骨群集, 首長竜, 空間分布, 穿孔痕, 化学合成腹足類, 分布の「飛び石」

Keywords: Reptile fall, Plesiosauridae, distribution patterns, borings, chemosynthetic molluscs

サウスダコタ州南西部の上部白亜系冷湧水炭酸塩岩から産出する化石棘皮動物の古生態学的研究 Paleoecology of the Upper Cretaceous echinoderms from cold seep carbonates in South Dakota, USA

加藤 萌^{1*}; 大路 樹生²
KATO, Moe^{1*}; OJI, Tatsuo²

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²名古屋大学博物館

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Nagoya University Museum

冷湧水域は「化学合成群集」と呼ばれる特殊な生物群が分布する場所として知られており、その群集には多様な分類群が含まれているが、従来、棘皮動物はほとんど報告されていなかった。しかし近年、化学合成群集としての棘皮動物の例が現生・化石共に報告され始めている。だがこれらに関する研究は未着手のものが多く、特に化石においては、冷湧水炭酸塩岩マウンドからの棘皮動物化石の報告のみで、各棘皮動物と冷湧水の関係は定かではない。

冷湧水炭酸塩岩より産出する化石棘皮動物の冷湧水メタンとの関わりの程度を、その分類や化学分析を通じて明らかにすること、そしてこの特殊な環境に棘皮動物類がどのように進化適応したのかを明らかにすることを目的とし、北米 South Dakota 州南西部に分布するカンパニアン階 Pierre 頁岩中に多く存在する冷湧水炭酸塩岩マウンド群のフィールド調査を行った。冷湧水炭酸塩岩マウンドを計 21 ヶ所調査し、マウンドと、そこに付随する化石の採集・産状の観察を行った。さらに化石骨格の続成作用を把握したうえで、化石棘皮動物の骨格中の $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定し、その値を冷湧水域外より産出する棘皮動物化石の値と比較することで、これら化石棘皮動物が湧出するメタンと実際にどの程度関連した生活をしてきたのかを調べた。

フィールド調査の結果、産出する化石種の多様度が隣接する炭酸塩岩同士でも異なることがわかった。この種の多様度の差は、炭酸塩岩の形成環境の差によるものであると考えられる。化石種の多様度が高い場所では、炭酸塩岩が長期間海中露出していたと考えられ、棘皮動物を含む表在性の生物が生活するのに適した環境を提供していたと推測される。

$\delta^{13}\text{C}$ 値を測定した結果、続成作用の影響が弱いと考えられる冷湧水の化石ウミユリは -25 ‰前後のものが多く、冷湧水外に棲む現生のウミユリ (-10 ‰) や他の棘皮動物 (-10 ‰) よりもかなり低い結果となった。また、冷湧水のウミユリは他のウミユリには見られない特異的な形態をしており、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の結果と合わせて考えると、ウミユリは冷湧水環境に適応進化し、化学合成に関与した生活をしてきた可能性が高いと推測される。一方冷湧水のウニの $\delta^{13}\text{C}$ 値は約 -12 ‰と比較的低いが、冷湧水のウミユリと比べると高い値を示した。しかしこれらのウニ類に関しては、骨格内の微細構造の観察や Mg 濃度の計測の結果から続成作用の影響が強いと考えられるため、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は初生値から変化している可能性もある。ウニ類は冷湧水以外の環境から産出するものと比較してもウミユリほどの大きな形態の差は認められないため、これらのウニ類は化学合成には関与しておらず、冷湧水に付随する炭酸塩岩を住処として移住してきた可能性も考えられる。

キーワード: 冷湧水, 棘皮動物, 古生態, 化学合成群集

Keywords: cold seep, echinoderms, paleoecology, chemosynthetic community

分子系統解析から考える深海性二枚貝シロウリガイ類における化学合成共生細菌の
宿主転換の可能性
Molecular phylogenetic evidence for host switching in chemoautotrophic symbionts of
deep-sea *Calyptogena* clams

小澤 元希^{1*}; 金子 隆司³; 島村 繁²; 高木 善弘²; 輿石 武²; 加藤 千明²; 丸山 正²; 吉田 尊雄²
OZAWA, Genki^{1*}; KANEKO, Takashi³; SHIMAMURA, Shigeru²; TAKAKI, Yoshihiro²; KOSHIISHI, Takeshi²; KATO,
Chiaki²; MARUYAMA, Tadashi²; YOSHIDA, Takao²

¹ 北里大学大学院海洋生命科学研究所, ² 東京バイオテクノロジー専門学校, ³ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹Department of Marine Biosciences, School of Marine Biosciences, Kitasato university, ²Tokyo College of Biotechnology,

³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

Calyptogena clams are living in deep-sea chemosynthetic habitats and globally distributed in seeps and hydrothermal vents. They are nutritionally dependent on chemoautotrophic sulfur oxidizing bacteria, which are harbored within their gill epithelial cells. The *Calyptogena* symbionts are thought to be vertically transmitted via clam's egg to the next generation. Both host and symbiont are thought to coevolve, because topologies of the phylogenetic trees of them form a mirror image. However, their phylogenetic trees have not been robust enough for analyzing their coevolutional relationship, because of using partial gene sequences of host (mitochondrial *cox1* and *rrnL* genes) and symbiont (16S rRNA gene). The possibility of lateral acquisition of the symbiont has been reported in some *Calyptogena* lineages. To improve the phylogenetic trees of *Calyptogena* clams and of symbiont, we sequenced the mitochondrial genomes of *Calyptogena* clams, and several their symbiont genes, and analyzed the phylogenetic trees by using the concatenated sequences.

Mitochondrial genomes of *C. phaseoliformis*, *C. okutanii* and *C. fossajaponica* were sequenced. Based on these mitochondrial genome sequences, primer sets for PCR of mitochondrial genes of other *Calyptogena* clams were designed. Using them, 11 mitochondrial genes (*cox1*, *cox2*, *cox3*, *nad1*, *nad3*, *nad4*, *nad5*, *cytb*, *atp6*, *atp8* and *rrnL*) of other 8 *Calyptogena* species (*C. fausta*, *C. kawamurai*, *C. kilmeri*, *C. laubieri*, *C. nautilei*, *C. pacifica*, *C. soyoae*, *C. stearnsii*) were amplified by PCR and sequenced. Eight genes (16S rRNA, 23S rRNA, *uvrA*, *uvrD*, *mfd*, *groEL*, *groES* and *gyrB*) of symbionts of these *Calyptogena* clams were also sequenced. Phylogenetic trees of clams and symbionts were constructed by maximum likelihood and Bayesian analysis based on concatenated 11 mitochondrial and 8 symbiont genes, respectively.

The reliabilities of phylogenetic trees of the hosts and their symbionts were significantly improved by using the concatenated genes sequences (Fig.1). Bootstrap values and posterior probabilities of internal nodes were better supported than those of the previous phylogenetic trees using partial gene sequences. Topological congruence of host and symbiont that was supported by bootstrap value (100%) and posterior probabilities (1.0), was shown in *C. okutanii*, *C. soyoae*, *C. kilmeri*, *C. pacifica* and *C. fausta*. These results suggested that these symbionts were cospeciated with their host clams (green boxes in Fig.1). Although the topologies of host and symbiont were congruent with *C. fossajaponica* and *C. phaseoliformis*, there were the low bootstrap values and low posterior probabilities in the host clade.

Topological incongruence between host and symbiont trees was shown in *C. kawamurai* - *C. laubieri* clade and *C. nautilei* - *C. stearnsii* clades (Fig.1) Congruence of topologies was rejected by approximately unbiased test using sitewise log-likelihoods (red branches in Fig.1). This result suggested that these symbionts have not cospeciated with their host clams. Host switching of the symbionts in the clades of *C. kawamurai* - *C. laubieri* and *C. nautilei* - *C. stearnsii* were examined by coevolution software, which compared the topologies of host and symbiont. Host switching is the event that symbiont is transferred from a host to a new host in a different lineage during speciation. The host switching of symbiont between *C. kawamurai* and *C. laubieri* was suggested by this software. Moreover, both clams are living in different depths of the same area (blue box on Fig.1). However, this software did not suggest the host switching of symbionts between *C. nautilei* and *C. stearnsii*. They are living in different areas. In this study, we show the phylogenetic relationships of cospeciation and non-cospeciation species with the symbionts among examined 11 *Calyptogena* species. It was suggested that topological incongruence of host and symbiont trees in clade of *C. kawamurai* - *C. laubieri* may be due to the host switching

キーワード: 共生, シロウリガイ, 共進化, 宿主転換

Keywords: symbiosis, deep-sea *Calyptogena* clams, coevolution, host switching

BPT24-07

会場:213

時間:4月29日 11:00-11:15

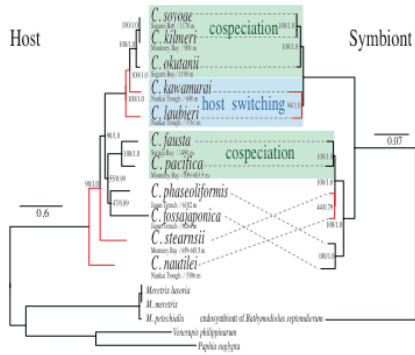


Fig1. cospeciation and host switching on *Calyptogenia* clam and symbiont trees.
 Numbers in the nodes correspond to maximum likelihood bootstrap values and posterior probabilities.
 Reg branches correspond to topological congruence rejected by approximately unbiased test using
 sitewise log-likelihoods.

殻形態から識別されたノチールシロウリガイの2形態型 Two forms of *Calyptogena (Ectenagena) nautilei* recognized in shell morphologies

諸隈 暁俊^{1*}; 中島 礼²; 藤倉 克則³; 安間 了⁴; 間嶋 隆一¹

MOROKUMA, Akitoshi^{1*}; NAKASHIMA, Rei²; FUJIKURA, Katsunori³; ANMA, Ryo⁴; MAJIMA, Ryuichi¹

¹ 横浜国立大学, ² 産業技術総合研究所, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 筑波大学

¹Yokohama National University, ²Geological Survey of Japan, ³JAMSTEC, ⁴University of Tsukuba

ノチールシロウリガイ *Calyptogena (Ectenagena) nautilei* Okutani and Métiévier, 1986 は、天竜海底谷の6個体を基に記載され、その後、熊野沖大陸斜面、第一南室戸海丘、銭洲海嶺及び潮岬海底谷から発見されている (Fujikura et al., 2000; Okutani et al., 2002; Kojima et al., 2004; Anma et al., 2010)。Okutani et al. (2002) は、天竜海底谷、熊野沖大陸斜面及び第一南室戸海丘の個体を観察した結果、本種の殻の外形に多様性があることを示した。本研究では、模式標本及び Okutani et al. (2002) で観察された個体を含む複数産地の個体を観察した。その結果、殻形態と貝殻内表面の特徴により、2つの形態型に区別することが出来たので報告する。

観察した標本は、天竜海底谷の完模式標本 MNHN 26983 (Nautile Dive KD-3)、副模式標本 MNHN 26984 (Nautile Dive KD-5)、副模式標本 MNHN 26985 (Nautile Dive KD-3) の3個体、熊野沖大陸斜面の4個体 (Shinkai 6500 Dive 615)、潮岬海底谷の5個体 (Shinkai 6500 Dive 889, 890, 891)、第一南室戸海丘の8個体 (KAIKO Dive 189, 192, 193) である。すべての個体について、光学顕微鏡及び肉眼で貝殻表面の観察を行った。潮岬海底谷の2個体については、SEMによる殻表面及び断面の観察も行った。

形態型1は、天竜海底谷の個体、形態型2は熊野沖大陸斜面、第一南室戸海丘及び潮岬海底谷の個体に認められた。両形態型は貝殻内表面の構造により区別することができる。形態型1の内表面は平滑であるが、形態型2の内表面は直径約 61-548 μm の穴状構造をもつ。さらに、形態型1は、左右殻の鉸板に殻頂下洞をもち、右殻の鉸歯に殻頂下主歯の前歯をもち、套線が湾入することからも、形態型2と区別することができる。

キーワード: オトヒメハマグリ科, ノチールシロウリガイ, 殻形態, 穴状構造

Keywords: Vesicomidae, *Calyptogena (Ectenagena) nautilei*, Shell morphology, Hole-like structure

相模湾初島沖化学合成生物群集域における深海底長期映像のアーカイブ Archives of long-term deep seafloor videos at chemo-synthetic biological community off Hatsushima Island in Sagami Bay

岩瀬 良一^{1*}; 高橋 一郎²

IWASE, Ryoichi^{1*}; TAKAHASHI, Ichiro²

¹(独) 海洋研究開発機構, ²(株) マリン・ワーク・ジャパン

¹JAMSTEC, ²Marine Works Japan, Ltd.

More than 20 years of multidisciplinary long-term observation, including visual observation, has been carried out with a cabled observatory on deep seafloor at a depth of 1175 m off Hatsushima Island in Sagami Bay since the first deployment in 1993, experiencing entire replacement for upgrade in 2000. The observatory was installed at a cold seepage site where large chemo-synthetic biological communities mainly consisted of vesicomyid clams exist. The observatory is composed of several kinds of sensors, including video cameras, a hydrophone, CTD sensor and seismometer in order to observe biological phenomena visually and also to investigate environmental fluctuation on deep seafloor.

All those data obtained with the underwater unit are transmitted through a submarine cable to the shore station in Hatsushima Island. The video signal was recorded on S-VHS videotape before the replacement of the observatory in 2000 and mainly on DVCAM videotape after the replacement, both with acoustic signal obtained with a hydrophone on soundtrack as audible sound. The shore station is usually uninhabited, and daily visual monitoring of seafloor, 30 minutes a day before the replacement and 26 minutes a day after the replacement, has been performed automatically. The videotape has been replaced once a week on the day when manual observation is performed usually for 6 hours. As for lighting, six halogen lights were attached at first and two of them were turned on simultaneously by turn for usual observation considering lifetimes. However, most of those lights were broken by 2008 and since then an LED light is used which is darker but has longer lifetime than the halogen lights, resulting narrow view.

Although visual observation has been performed about ten hours a week, more than 20 year observation produced thousands of videotapes. Archiving those videotapes becomes important because they degrade over time and the devices to replay them are going out of production and the opportunities to utilize them are being lost.

Meanwhile, vocalizations of sperm whales were found in the acoustic signal recorded on the soundtrack of the videotapes and, in order to utilize them as one of the *in situ* data for the remote species identification, archiving the videotapes started under one of the research project in Core Researches for Evolutional Science and Technology (CREST) founded by Japan Science and Technology Agency (JST) since December 2011. At the end of the fiscal year 2013, more than half of those videotapes will be archived. Although the main target of the CREST project is acoustic data, video signals on the videotapes are converted to MPEG-2 files for S-VHS tapes and both AVI and MPEG-2 files for DVCAM tapes before extracting acoustic data.

In those video images, not only the long term change of the clam colony but also some episodic events, such as spawning of the clams, sudden increase of snails and other unidentified events have been recognized, which would be invaluable data for the investigation of chemo-synthetic ecosystems. Those archived video images will be able to supply researchers outside the project in near future. However, there still exists a problem that the number of hard disks in which the video images are stored is very large even though it is less than a thousand.

キーワード: 相模湾初島沖, 長期ビデオ観察, ビデオアーカイブ

Keywords: off Hatsushima Island in Sagami Bay, long-term visual observation, archives of videos

新潟県新第三系より産するシロウリガイ類化石の古生態と湧水場の地球化学的環境 Paleoecology of Neogene vesicomys from Niigata, Japan and their adaptations to geochemical environments of cold seeps

宮嶋 佑典^{1*}; 渡邊 裕美子¹; 小池 伯一²; 松岡 廣繁¹
MIYAJIMA, Yusuke^{1*}; WATANABE, Yumiko¹; KOIKE, Hakuichi²; MATSUOKA, Hiroshige¹

¹ 京都大学理学研究科, ² 信州新町化石博物館
¹ Graduate school of Science, Kyoto University, ² Shinshushinmachi Fossil Museum

現生シロウリガイ類は種によって異なる硫化水素濃度に適応し、またメタン湧水場や熱水噴出孔、鯨類遺骸、石油湧出場など様々な生息場に生息していることが知られている。化石シロウリガイ類は世界中の特に新第三系から報告されているが、それらの多様性や進化の背景を理解するうえで重要と考えられる湧水場の地球化学的環境に対する化石シロウリガイ類の適応は明らかでない。本研究では化石シロウリガイ類の古生態およびそれらが適応していた地球化学的環境を、新潟県の新第三系分布域の2か所より産する化石の産状、炭酸塩の同位体比や組織をもとに検討した。

下部鮮新統黒倉層は主に上部漸深海で堆積した灰色～暗灰色シルト岩からなる。十日町市松之山松口の越道川河岸の露頭では、60 cm 厚の塊状灰色シルト岩中に中礫サイズの炭酸塩コンクリーションが含まれる。これらのコンクリーションから化石シロウリガイ類 *Archivesica kannoi* が産する。コンクリーションとシルト岩との境界が漸移的な場合もある。*A. kannoi* の大型個体（殻長約 90 mm）の周囲に多数の小型個体（殻長平均約 20 mm）がその他の二枚貝類や巻貝類、ツノガイ類とともに同一のコンクリーション中に含まれる。周囲のシルト岩中からはツキガイ科二枚貝類が産し、また炭酸塩で充填された生痕も見られる。コンクリーションは主にミクライト質な Mg カルサイトからなり、黄鉄鉱結晶を多く含む。ミクライトの炭素同位体比は化石を含む含まないに関わらず -43.3~-27.1 ‰ (vs. PDB) と非常に低い値を示し、それらがメタン起源であることを示唆する。化石を含むコンクリーションにのみ岩片状炭酸塩（長径約 5 mm）が含まれ、それらは三角形から長円形の断面を示し Mg カルサイトのマトリクスと多数の細粒なドロマイト結晶からなる。ドロマイトの形成は硫酸還元による硫酸の除去と関連があり、それは硫化水素の活発な生成を示唆する。以上から、*A. kannoi* は周囲よりも活発な硫酸還元により硫化水素濃度が比較的高い場に生息していたか、あるいは *A. kannoi* による海水中からの硫酸の十分な供給が活発な硫酸還元を促していたことが考えられる。

上部中新統能生谷層は上部漸深海の深海扇状地のタービダイトとして堆積した灰色砂岩暗灰色シルト岩互層からなる。上越市中ノ俣の中ノ俣川河岸の露頭では、中礫サイズの炭酸塩コンクリーションが灰色含油砂岩直下の暗灰色シルト岩中に含まれる。これらのコンクリーションまたはシルト岩中より化石シロウリガイ類 *Calypptogena pacifica* が産し、一部は生息姿勢を保つ。化石とコンクリーションは幅 30 cm、層厚 5 cm の狭い範囲に産し、またその 50 cm 下位のシルト岩中にはパイプ状のコンクリーションが層理面と平行に含まれる。これらのコンクリーションは主にミクライト質のカルサイトからなる。ミクライトの炭素同位体比は -21.7~-13.2 ‰ と低い値を示し、それらが石油起源であることを示唆する。薄片下では化石を含むコンクリーションは多数のペロイドを含む。パイプ状のコンクリーションの空洞は刃状カルサイトで縁取られ、それは -22.6 ‰ と低い値を示すことから、これらのパイプが湧出の導管として作用していたと考えられる。*C. pacifica* は現世のメタン湧水場に生息しているが、本種は中新世には局所的な石油湧出場にも適応していたことが示唆される。

キーワード: シロウリガイ類, 新第三紀, 硫化水素濃度, 石油湧出
Keywords: vesicomys, Neogene, sulfide concentration, petroleum seep

シチヨウシンカイヒバリガイ共生系は実験室でも化学合成できるのか? Recent trials of laboratory culture with chemosynthetic organisms

長井 裕季子^{1*}; 豊福 高志¹; 野牧 秀隆¹; 和辻 智郎¹; 生田 哲朗¹; 高木 義弘¹; 吉田 尊雄¹; 滋野 修一¹; 井上 広滋³; 小西 正朗²

NAGAI, Yukiko^{1*}; TOYOFUKU, Takashi¹; NOMAKI, Hidetaka¹; WATSUJI, Tomoo¹; IKUTA, Tetsuro¹; TAKAKI, Yoshihiro¹; YOSHIDA, Takao¹; SHIGENO, Shuichi¹; INOUE, Kouji³; KONISHI, Masaaki²

¹JAMSTEC, ²Kitami Institute of Technology, ³The University of Tokyo

¹JAMSTEC, ²Kitami Institute of Technology, ³The University of Tokyo

深海化学合成生態系には化学合成独立栄養細菌と共生関係を持つ動物が生息していることが知られている。本研究で用いたシチヨウシンカイヒバリガイ (*Bathymodiolus septemdierum*) はエラ上皮細胞内に硫黄酸化細菌を共生させており、共生細菌は熱水に含まれる硫化水素 (H_2S) を利用しエネルギーを作り出し、二酸化炭素から有機物を合成している。このような共生関係の構築、維持機構は十分解明されていない。しかし、共生メカニズムを詳細に解明するためには共生関係を維持したまま飼育し、詳細な生態観察や実験を行うことが極めて重要であるにも関わらず、その飼育方法は未だ確立されていない。そこで本研究では H_2S を添加維持できる水槽 (小西&和辻, 特許 2011-219498) を用いて、シチヨウシンカイヒバリガイを飼育し、どのくらいの期間共生細菌が化学合成能を保持できるかを無機炭素取り込み量を指標として検証を行った。

飼育に用いた個体は 2012 年 4 月及び 2013 年 3 月に実施された研究船「なつしま」による航海で無人探査機「ハイパードルフィン」により採取した。本航海では伊豆小笠原弧明神礁のシチヨウシンカイヒバリガイを採取し、現場の水温 (約 4 °C) に保ったまま研究室に持ち帰った。研究室では、まず硫化水素を継続的に供給できる硫化水素添加水槽に個体を入れ 3 ヶ月及び 14 ヶ月飼育した。過去の知見から、 H_2S を添加しないで飼育した個体は 3 ヶ月で共生細菌がなくなることが知られている。今回、 H_2S 添加水槽での飼育個体の共生細菌が機能的であるかを確認するために無機炭素取り込み実験を行った。実験では、¹³C 標識重炭酸ナトリウムを添加した海水で満たしたガラス瓶に、上記飼育個体を 1 個体ずつ計 6 個体入れた。飼育水槽の H_2S を含む海水を添加するもの (H_2S 有) としないもの (H_2S 無) の 2 つに実験群を分け、14 日間の飼育を行った。ガラス瓶内の溶存酸素量の減少分を飼育個体の酸素呼吸量とみなし、 H_2S 添加の有無とヒバリガイの呼吸量との関連を検討したが、明確な関係性は認められなかった。また、エラ組織から抽出した DNA による菌叢解析を行ったところ、14 ヶ月の飼育を行っても生息域と同じ共生細菌のみが検出され、他の化学合成独立栄養細菌は獲得していないと考えられた。またすべての個体のエラ組織と共生細菌が認められないアシ組織について、有機物の炭素同位体比を分析した結果、 H_2S を添加した条件で、有意に高く同位体ラベルした炭素が有機炭素として取り込まれていることが確認された。このことから生息域から採取されて 14 ヶ月以上経っていても共生細菌が維持され炭素固定能が失われず、 H_2S により無機炭素取り込みが昂進されることが示唆された。本実験結果は硫化水素添加水槽で飼育した場合にシチヨウシンカイヒバリガイの共生細菌をかるうじてではあるものの、少なくとも機能的な状態で保持することができ、実験室内でもシチヨウシンカイヒバリガイを化学合成させることが可能であることが示唆された。

キーワード: laboratory culture, chemosynthetic organisms, *Bathymodiolus septemdierum*

Keywords: laboratory culture, chemosynthetic organisms, *Bathymodiolus septemdierum*