

日本海側信越地域の中新統に見られる3タイプの冷湧水炭酸塩 Three types of cold-seep carbonates from Miocene sediments in the Shin'etsu basin of the Japan Sea region

宮嶋 佑典^{1*}; 渡邊 裕美子¹; ジェンキンズ ロバート²; 長谷川 卓²
MIYAJIMA, Yusuke^{1*}; WATANABE, Yumiko¹; JENKINS, Robert²; HASEGAWA, Takashi²

¹ 京都大学理学研究科, ² 金沢大学理工研究域

¹ Graduate School of Science, Kyoto University, ² College of Science and Engineering, Kanazawa University

前期～中期中新世の日本海拡大に伴い、急速な沈降によって堆積盆が形成された。これらの堆積盆に堆積し現在の日本海側陸域に露出している新生代の海成層からは、シロウリガイ類化石を伴う炭酸塩岩が産出し、日本海の形成以降各地で冷湧水が起っていたことが示唆されている。それらの一部はメタン湧水炭酸塩とされているものの（石村ほか, 2005; Amano et al., 2010）、当地域のシロウリガイ類化石を伴う炭酸塩岩の多くは地球化学的に研究されていない。太平洋側の沈み込み帯とは異なるテクトニクス背景の下での、日本海における冷湧水システムの理解のためには、当地域における冷湧水の地球化学的・物理的な特徴や進化を明らかにすることが必要である。

本研究では、信越堆積盆の3カ所に露出する新第三系より産する、シロウリガイ類化石を含む炭酸塩コンクリーションの組織や炭素・酸素安定同位体比、バイオマーカー組成を調査した。その結果、それらは当堆積盆における以下の3つの異なるタイプの冷湧水を示唆することが明らかになった。

Loc. 1（松本市反町）では、保福寺川に露出する中部中新統別所層の暗灰色シルト岩中に、中～大礫サイズの小コンクリーションが合併のシロウリガイ類化石 *Adulomya* sp. A と共に散在する。コンクリーションは主にミクライト質な低 Mg カルサイトからなる。ミクライトの低い炭素同位体比（ $-34.6 \sim -23.6 \text{ ‰}$ ）とそこから抽出されたバイオマーカー pentamethylicosane (PMI) の存在から、これらのコンクリーションは嫌氣的メタン酸化起源の炭酸塩であり、拡散的なメタン湧水を示唆する。

Loc. 2（上越市中ノ俣）では、上部中新統能生谷層の細粒砂岩シルト岩互層が露出する中ノ俣川で、離弁で断片化したシロウリガイ類化石 *Adulomya* sp. C とシンカイヒバリガイ類化石 *Bathymodiolus akanudaensis* を含む巨礫サイズのコンクリーションが演者により発見された。コンクリーションは珪藻化石群集から能生谷層由来であり、針状のアラゴナイト結晶で縁取られた多数の脈状の空隙をもつミクライト質アラゴナイトからなる。それらの低い炭素同位体比（ $-41.1 \sim -23.8 \text{ ‰}$ ）およびミクライト中の PMI と crocetane の存在から、コンクリーションは嫌氣的メタン酸化起源の炭酸塩であり、活発で速いメタン湧水により形成されたと考えられる。

Loc. 2 に近接した Loc. 3 では、上部中新統能生谷層の含油砂岩直下の暗灰色シルト岩中に、中礫サイズの小コンクリーションおよびパイプ状コンクリーションが合併または離弁のシロウリガイ類化石 *Calypptogena pacifica* と共に含まれる。コンクリーションはミクライトと空隙を縁取る刃状または繊維状カルサイトからなる。それらの炭素同位体比は $-24.8 \sim -13.2 \text{ ‰}$ であり、ミクライト中には PMI や crocetane のように嫌氣的メタン酸化古細菌に典型的なバイオマーカーが含まれていない。これらのコンクリーションは硫酸還元または石油起源の炭酸塩と考えられ、湧水場外の硫化水素に富む環境または石油湧出場を示唆するのかもしれない。これに関してはバイオマーカーの炭素同位体分析による検討が必要である。

信越堆積盆新第三系に見られる以上の3タイプの炭酸塩コンクリーションは、当地域における冷湧水の速度や強さ、起源の違いを表していると考えられる。そのような環境の違いは冷湧水に伴う生物相の違いにも表れている。中期～後期中新世の間、日本海地域は引張応力場にあったことをふまえると（Sato, 1994; Takano, 2002）、中期～後期中新世の引張応力場の日本海地域において、地球化学的・物理的に異なる冷湧水が空間的・時間的に近接して起こっていたことが本研究から示唆される。

キーワード: 日本海, 信越堆積盆, 中新世, 冷湧水

Keywords: Japan Sea, Shin'etsu basin, Miocene, cold seep

四万十帯漸新統 - 中新統のメタン湧水：深海泥底環境におけるメタン湧水の形成過程

Oligocene-Miocene cold-seep from Shimanto accretionary complex: Focused on formation process of the cold-seep

木村 健太^{1*}; ジェンキンズ ロバート¹; 長谷川 卓¹; 白井 孝明²
KIMURA, Kenta^{1*}; JENKINS, Robert¹; HASEGAWA, Takashi¹; SHIRAI, Takaaki²

¹ 金沢大学理工研究域自然システム学系, ² 室戸ジオパーク推進協議会

¹School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University, ²Muroto Geopark Promotion Committee

日本からは数多くのメタン湧水性の化学合成化石群集の報告がなされているが (Majima et al., 2005), 湧水堆積物や化学合成化石群集の形成過程を含めた海底断面の復元を行った研究例は少ない (Shibasaki and Majima, 1997; Tate and Majima, 1998; 延原ほか, 2008; Utsunomiya et al., 2015). 特に化学合成群集の主要構成分類群であるシロウリガイ類が出現した新生代以降の深海泥底環境におけるメタン湧水の海底断面の研究例はほとんどない. 本研究では, 付加体堆積物である高知県四万十体南部の日沖コンプレクス中から報告された漸新統~中新統 (平ほか, 1980) のシロウリガイ類群集 (Matsumoto and Hirata, 1972) を産する岩体と岩体中の大型化石群集を対象に, その形成過程の復元を試みた.

岩体下部は泥岩と炭酸塩岩が混在し, 炭酸塩岩はマイクロスパークライトから成る. 中部から上部には泥岩がほぼなく, ほとんどが炭酸塩岩である. 上部はミクライト, 放射状カルサイト, マイクロスパークライト, スパークライトが入り乱れた構造 (ここではカオティック構造と呼ぶ) が見られる. 各炭酸塩鉱物組織の晶出順序はミクライト, 放射状カルサイト, マイクロスパーク, スパークライトの順であった. 炭酸塩鉱物の炭素同位体比は $-38.5 \sim -10.6 \text{ ‰}$ (vs. VPDB) であった. 大型化石は上部から産出し, ほとんどがシロウリガイ類, キヌタレガイ類, ハナシガイ類, ツキガイ類といった化学合成細菌を共生させた二枚貝類に分類された. 岩体に貝化石が密集していること, 現生・地質時代のメタン湧水堆積物で頻繁に見られるカオティック構造があること, 炭酸塩鉱物の低い炭素同位体比, 化学合成二枚貝類が豊富に産出することから岩体はメタン湧水性炭酸塩岩であることが明らかである. さらに, 観測事実から岩体の形成過程を以下の通りに復元した. ①メタン湧水活動がはじまり, それに伴う炭酸イオン・硫化水素が発生しはじめた. 海底面には硫化水素を利用するシロウリガイ類をはじめとした化学合成群集の形成がはじまった. ②メタンの湧出量増加に伴って炭酸イオンの供給量が増加し, 海底面直下~2 mではミクライトが晶出した. ミクライトは未固結状態の時に湧水やガスによって変形・破壊を受け, カオティック構造が形成された. 次いで放射状カルサイトがミクライトを縁取るように晶出し固結した. ③メタン湧水の湧出が弱まり炭酸イオン供給量が低下, 岩体全体にマイクロスパークが沈殿した. ④残された空隙にスパークが晶出した.

下部更新統上総層群野島層に挟在する今泉砂礫岩部層から産出するシロウリガイ類化石

Vesicomyid fossils from the Lower Pleistocene Imaizumi Sandstone and Conglomerate Member

市村 俊樹^{1*}; 間嶋 隆一¹

ICHIMURA, Toshiki^{1*}; MAJIMA, Ryuichi¹

¹ 横浜国立大学

¹Yokohama National University

三浦半島北部には下部更新統野島層今泉砂礫岩部層が露出し(江藤, 1986), シロウリガイ類化石が産出することが知られている(Shikama and Masujima, 1969; 宇都宮ほか, 2014; 神保ほか, 2015)。今泉砂礫岩部層から, 宇都宮ほか(2014)は重力流堆積物にシロウリガイ類化石が産出することを報告し, 産出する貝化石の貝殻の配列とインプリケーションの傾向から, 北方向への古流向を推定し, 神保ほか(2015)はチャネル充填堆積物と解釈される層厚9mに達する礫質砂岩単層の底部付近からシロウリガイ類化石の破片を報告した。本研究では宇都宮ほか(2014)(loc. 2)と神保ほか(2015)(loc. 1)の産地を含めた計4ヶ所の産地のシロウリガイ類化石の産状を記載し, 今泉砂礫岩部層で産出する全てのシロウリガイ類化石は堆積物重力流により生息場から運搬されて堆積したことを示す。

今泉砂礫岩部層は, 下部は砂岩層と泥質砂岩層の互層からなり, 上部にいくと次第に砂岩層が卓越し(locs. 2-4), 最上部は海底扇状地上に形成されたチャネル充填堆積物からなる(loc. 1)。全体として上方粗粒化する傾向を示すことから, 今泉砂礫岩部層は海底扇状地堆積物であると解釈できる。

Loc. 1はチャネル充填堆積物基底の礫質砂岩層の底部付近にシロウリガイ類化石の破片が浅海の軟体動物化石と共産することから(神保ほか, 2015), シロウリガイ類化石は浅海で発生した堆積物重力流に取り込まれて運搬されたと解釈できる。Locs. 2-4は海底扇状地のmid-fanと解釈される砂岩層と泥質砂岩層の互層部からシロウリガイ類化石が産出する。これらの産地では礫質砂岩から細粒砂岩へ級化する単層(loc. 2; 宇都宮ほか, 2014), または粗粒砂岩から中粒砂岩へと級化する単層(loc. 3), および粗粒砂岩から中粒砂岩へと級化する3枚の砂岩層(loc. 4)からシロウリガイ類化石が産出し, その多くは破片化しており, すべてが離弁殻であった。また, 殻の多くは層理面に対して平行に配列し, 殻の凸面の向きが下向きと上向きのものはほぼ同数であった。冷湧水場を示唆する自生炭酸塩はいずれの産地でも見られなかった。これらの産状から, 産出するシロウリガイ類化石は生息場から運搬されて堆積したと考えられる。

上記に示したシロウリガイ類化石の産状から, 今泉砂礫岩部層から産出するシロウリガイ類化石は, 生息していた冷湧水場から堆積物重力流により運搬されたもので, 今泉砂礫岩部層堆積当時, 少なくとも現在の同部層露出域において湧水環境は存在しなかったと推定される。

キーワード: 上総層群, 更新世, シロウリガイ類, 三浦半島

Keywords: Kazusa Group, Pleistocene, Vesicomyid, Miura Peninsula

三浦半島北部に露出する鮮新統三浦層群池子層鷹取山火砕岩部層から産出する化学合成化石群集の産状

The mode of occurrence of a fossil chemosynthetic assemblage from the Pliocene Takatoriyama Pyroclastics Member

菅野 健^{1*}; 間嶋 隆一¹

KANNO, Ken^{1*}; MAJIMA, Ryuichi¹

¹ 横浜国立大学

¹Yokohama National University

三浦半島北部に位置する鷹取山の北西約 350m の沢から、シロウリガイ類、ツキガイ類およびオウナガイ類が豊富に産出する露頭を発見した。露頭は高さ約 5.5 m、幅約 9.5 m からなり、鮮新統三浦層群池子層鷹取山火砕岩部層の凝灰質中粒砂岩層、粗粒砂岩層および礫岩層から主になり、凝灰質泥質砂岩層および粗粒火山灰層を一部に挟在する。露頭には層理に沿って自生炭酸塩が強弱を繰り返しながら発達する。

二枚貝化石は 7 層準に散在あるいは密集して産出する。化石密集部には以下の 2 つの産状が認められた。(1) 離弁個体が卓越し、少量の破片を伴うもの。(2) 合弁個体と離弁個体がほぼ同数産出するもの。貝化石の配列傾向を調べるため、露頭面において殻の接合面の方向を測定した。合弁個体の接合面方向にはばらつきがあるが、層理面に対してほぼ平行に配列した個体および垂直に近い配列をした個体が卓越する傾向が認められた。離弁個体は convex-up と convex-down のいずれについても接合面が層理面に対してほぼ平行に配列する個体が卓越する。

層理面に対して平行に配列した離弁個体と合弁個体は洗い出しを被ったと推定される。鷹取山火砕岩部層の堆積深度は 500-1000 m とされていることから(江藤ほか, 1987)、貝化石を洗い出した流れは底層流か堆積物重力流であると考えられる。また、層理面に対して垂直に近い姿勢をとる合弁個体は、粗粒な底質から想定される高エネルギーな堆積環境において自生状態を保持して保存された可能性がある。Utsunomiya et al. (2015) は池子層に整合に重なる(宇都宮ほか, 2012)、上総層群浦郷層から、*Calyptogena (Archivesica) Kawamurai* (Kuroda) を主とする現地性の冷湧水性化学合成群集の産出を報告した。浦郷層の群集は、無構造および斜交葉理の発達した砂岩層から、 $\delta^{13}\text{C}$ が著しく低い自生炭酸塩を伴って産出し、二枚貝は離弁個体が卓越し、一部の合弁個体の殻の接合面は層理面にほぼ垂直に産出する。Utsunomiya et al. (2015) は、層理面に垂直に産出する合弁二枚貝が生息姿勢を保持して化石化したと考えた。本報告における貝化石の産状は、浦郷層の産状に類似する。

キーワード: 化学合成化石群集, 三浦層群, 鮮新世, 池子層, 鷹取山火砕岩部層

Keywords: fossil chemosynthetic assemblage, Miura Group, Pliocene, Ikego Formation, Takatoriyama Pyroclastics Member

白亜紀後期冷湧水環境における棘皮動物の適応 Comparison of fossil echinoderms from Upper Cretaceous cold seep environments between Japan and central United States

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

棘皮動物は海洋無脊椎動物の中でも主要なグループであり、特に深海域では生物量でみてもかなりの割合を占めている。しかし熱水噴出孔やメタン湧水域といった化学合成生態系が発達するような場所では、棘皮動物がその生態系の一部として報告されることはほとんど無かった (Grassle 1985; Laubier 1989; Desbruyères et al. 2006)。しかし近年では、熱水噴出口およびメタン湧水の周囲から固有種と考えられるクモヒトデやナマコなどの生息が確認されており (Pawson and Vance, 2004; Stöhr and Segonzac, 2005)、化学合成生態系に含まれる棘皮動物の存在が少しずつ知られるようになって来ている。しかしその詳しい生態や、どのようにして棘皮動物が熱水噴出孔やメタン湧水環境に進出していったかはわかっていない。そこで本研究では、棘皮動物のメタン湧水環境へ進出過程を、また当時の棘皮動物がどのような生態をしていたのかを、古生物学的研究から明らかにすることを目的としている。

メタン湧水跡を示す炭酸塩岩露頭からの棘皮動物化石の産出は、現在数か所報告されている (Gaillard et al., 2011; Landman et al., 2012)。このうち、アメリカ・サウスダコタ州と日本・北海道の2地点においてフィールド調査を行い、採取した化石を用いた。本発表ではその2地点を比較し、メタン湧水域に生息していたと考えられる棘皮動物の地域差と、そのような差が生じた原因を議論する。

サウスダコタの上部白亜系の露頭からは、少なくとも4綱5種の棘皮動物化石が得られた。棘皮動物のうちで最も多く産出するのはウミユリ、次いでウニである。特にウミユリに関しては、他で見られない特異な形態を持つことから、メタン湧水という特殊な環境に適応進化した可能性が考えられる。一方北海道の同じく上部白亜系では、メタン湧水に関わる炭酸塩岩は転石としてのみ見つかり、チューブワームの密集する転石にウミユリの茎の化石が共産する。北海道のウミユリは周囲の堆積物から産出する通常のゴカクウミユリとほぼ変わらない形態をしており、形態観察だけではメタン湧水との関わりを推察することは困難である。

そこで、棘皮動物の骨格の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を計測し、周囲の堆積物、炭酸塩、化石と比較することで、棘皮動物の殻形成にメタン湧水のメタンはどの程度関わっていたのかを考察した。その結果、サウスダコタ・北海道共に、ウミユリに関しては基質であるメタン湧水の炭酸塩と同程度かそれ以下の値を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ 値から、サウスダコタ・北海道共に、ウミユリはメタン湧水とある程度の関わりをもって生活していたことが示唆される。以上より、少なくともウミユリに関しては、メタン湧水に関連した生活をしていたものの、形態変化を伴うものと伴わないものがあったことが考えられる。これらのウミユリが化学合成生態系の中でどのような振舞いをしていたのか、 $\delta^{13}\text{C}$ 値以外の手法で探っていく必要がある。

キーワード: 化学合成生態系, 冷湧水, 棘皮動物, 古生態, 炭素安定同位体比

Keywords: chemosynthesis community, cold seep, echinoderms, paleoecology, stable carbon isotope

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た！ Confirmation of chemosynthetic activities of *Bathymodiolus septemdierum* through laboratory culture

長井 裕季子^{1*}; 豊福 高志¹; 野牧 秀隆¹; 力石 嘉人¹; 和辻 智郎¹; 生田 哲郎¹; 高木 善弘¹;
吉田 尊雄¹; 滋野 修一¹; 井上 広滋²; 小西 正朗¹
NAGAI, Yukiko^{1*}; TOYOFUKU, Takashi¹; NOMAKI, Hidetaka¹; CHIKARAISHI, Yoshito¹; WATSUJI, Tomoo¹;
IKUTA, Tetsuro¹; TAKAKI, Yoshihiro¹; YOSHIDA, Takao¹; SHIGENO, Shuichi¹; INOUE, Koji²;
KONISHI, Masaaki¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学, ³ 北見工業大学

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), ² University of Tokyo, ³ KITAMI Institute of Technology

熱水噴出域では、海底面に染み込んだ海水が熱源であるマグマによって加熱され上昇する。熱水には火山ガスの形で放出されるマグマ由来の二酸化炭素、メタン、二酸化硫黄、硫化水素(H₂S)などが溶解して噴出される。日本列島周辺にも多くの熱水噴出域が発見されており、これに伴う深海化学合成生態系の成立や、その構成生物の生理・生態に関する研究を推進する上で、絶好のフィールドを提供している。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H₂S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と考えられている。しかし、このような共生関係の構築、維持機構は実験室での再構成が困難であるため、十分解明されていない。これらの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、環境パラメーターに対する宿主や共生細菌の応答を詳細に観察することが極めて重要である。そこで本研究ではH₂S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、同位体実験により、共生細菌を介した無機炭素の取り込み量を指標として、飼育環境の適性を検証した。

飼育に用いた個体は2012年4月及び2013年3月、2014年4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海丘水深1224-1285mからシチヨウシンカイヒバリガイを採取し、現場の水温(約4℃)に保ったまま陸上実験室に持ち帰った。実験室では、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ヶ月間飼育した。コントロール実験として、採取直後の個体ならびにH₂Sを添加しない条件で3ヶ月飼育した個体を用いた。過去の知見から、H₂S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(Inoue et al., 2012)。そこで、飼育中の共生細菌と宿主の代謝能力を評価する為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、シチヨウシンカイヒバリガイを1個入れた。逐次的に硫化水素を添加しながら同位体存在下で14日間飼育後、共生細菌が存在するエラ組織を用いたエラ及び、共生細菌が存在しないとされるアシ組織を用いた同位体分析、エラ組織を用いた菌叢解析並びにFluorescence *in situ* hybridization(FISH)法による組織切片の観察を行なった。菌叢解析は16SrRNAをPCR増幅し、クローニングした後、クローンを網羅的にシーケンス解析した。FISH法を用いた組織観察には共生細菌の16SrRNAに特異的なプローブを使用した。

採取直後の個体、硫化水素存在下で飼育した個体から同種と判断できる共生細菌のみが検出され、宿主特異的な化学合成独立栄養細菌を維持していた。一方H₂Sを添加せず飼育した個体のエラからは細菌のDNAは検出されなかった。FISH法においても共生細菌の増減があるものの、菌叢解析を支持する結果が得られた。また全ての個体のエラ組織とアシ組織について、有機物の炭素同位体比を分析したその結果、H₂S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。以上のことから生息現場から採取されて14ヶ月以上経っていても、硫化水素添加水槽で飼育することによって共生細菌が保持され炭素固定能が維持されることがわかった。H₂Sにより無機炭素取り込みが促進されることが示唆された。その上、シチヨウシンカイヒバリガイ共生細菌が固定した炭素を宿主へ受け渡し、宿主がそれを利用し、体を構成していることがわかった。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機能的な状態で保持することができることができ、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できることが示めされた。また、組織に取り込まれた¹³Cを化合物ごとに分析したところ、脂肪酸の中に含まれていた。この結果はシチヨウシンカイヒバリガイの共生細菌が固定した炭素を宿主へ受け渡し、宿主がそれを利用し体を構成していることを示唆している。

これらの結果から、硫化水素添加水槽で飼育することにより、実験室内でシチヨウシンカイヒバリガイ並びに共生細菌の機能を維持再現できることが実証された。

キーワード: 深海生物, 化学合成生態系

Keywords: deep-sea biology, chemosynthetic ecosystem

室戸半島四万十帯に分布するノジュールの産状と内部構造 Distridution and internal structure of the nodules occuring in Shimanto sedimentary rocks,Muroto Peninsula,Shikoku

山本 亮太^{1*}; 大原 亮佑²; 柴田 伊廣³; 乾 睦子²

YAMAMOTO, Ryouta^{1*}; OHARA, Ryousuke²; SHIBATA, Tadahiro³; INUI, Mutuko²

¹ 国土館大学大学院, ² 国土館大学理工学部, ³ 文化庁

¹ Kokushikan University, ² School of Science and Engineering, Kokushikan University, ³ Agency for Cultural Affairs

堆積岩中に多く発見されているノジュールは、母岩から容易に分離できるコンクリーションである。ノジュールは、体化石や生痕化石が核となり、その周囲に鉱物が凝縮・沈殿して形成されると推測されているが、具体的な形成過程の解明に至っていない。ノジュールは、形成時の環境やそこで起きた現象を記憶していると考えられる。室戸半島の四国東部第三系四万十帯(23-56 Ma)には、地域住民に「鉄丸石」と呼ばれるノジュールが見つっている。これらのノジュールは、現在も進行している南海トラフの付加体形成プロセスを経て地上に露出したとされ、現在の深海底面で起きている現象を推測できる点で重要である。本研究は、室戸半島に産するノジュールの産状と内部構造の観察及び、現生のノジュールとの比較からノジュールの生成過程を推測したものである。

まず、厚さ約10cmの泥岩層と約2cmの砂岩層とからなる砂泥互層の露頭において、ノジュールの産状を観察した。主に泥岩層中に直径約3cmの球型に近いノジュールが産出していた。何枚もの異なる泥岩層中にノジュールは存在したが、多くの場合、いくつかのノジュールが近接して見られる傾向があった。ノジュールが産出しない泥岩層も見られた。一枚の泥岩層の中では同じ深さに並んで分布する傾向があった。同様な大きさのノジュールがいくつか集まって同じ深さに分布する様子は、何らかの生痕であることを示している可能性がある。

次に、ノジュールと周囲の母岩との関係を観察した。ノジュールは、大部分が泥岩層中にあり砂岩層に直接接していなかった。一般に、ノジュールと上位の砂岩層との間には一定の厚さの泥岩層が観察できた。一部違う産状のものもあった。ひとつは、上位の砂岩層と一部が接しており母岩とノジュールとの境が見つけにくいものが観察できた。次に、ノジュールの上の部分に沿って砂岩層や泥岩層が曲がっている様子のものが観察できた。これは、堆積中の圧密を受けている際にノジュールが既に形成されていたことにより砂岩層や泥岩層が曲がってしまった事を示しているのではないかと考えられる。最後に、露頭とノジュールとの間にくぼみや境目がわかりやすいものが観察できた。これは、転石で堆積中に転がってしまったものではないかと考えられる。ノジュールと砂岩層の間に泥岩層があるということはノジュールの核となる生物が海底面上ではなく海底面の堆積物中で生活していたのではないかと考えられる。

ノジュールと母岩の泥岩を切断し内部構造を観察したところ、ノジュールの大部分は、母岩とよく似た黒色又は褐色のマトリックスで構成されていた。ノジュールの内部構造に同心円状に成長した痕跡が見つからず、中にはTasseliaのような構造を持つノジュールも観察できた。母岩とノジュールに共通して、幅が約10 μ mの方解石の脈が観察できた。ノジュール内部のみ、細粒の一边の長さが50-450 μ mの角が丸みを帯びた三角形や四角形の黄鉄鉱を観察できた。またエネルギー分散型X線分光分析(EDS)を用いて化学分析を行った結果、ノジュールと母岩内にフランクフォルト構造の黄鉄鉱が分布していた。黄鉄鉱の一つ一粒の粒径は、1-2 μ mで集合体の直径は約10 μ mのものが観察できた。ノジュール内の黄鉄鉱は、基本的に不規則にノジュール全体に散在していたが一部、局所的に方解石の脈付近に存在する傾向も見られた。母岩内の黄鉄鉱は、方解石の脈の付近のみで観察できた。ノジュール内のみ粒径約3 μ mの方解石も観察できた。これらの方解石は、不定形であり鉱物と鉱物の隙間を埋めるように分布しており、ノジュール全体に面積比約5-10%含まれていた。

室戸のノジュールと現生のノジュールを比較した結果、マトリックスの色合いに違いがあり、室戸の方が黒色で現生の方が褐色であった。両方によく似た構造のフランクフォルト構造の黄鉄鉱と方解石が観察できた。両者の大きな違いは、現生のノジュールにのみ外縁部に外側に向かって伸びている様子の針状の直径約4mmの方解石が観察できた。

室戸半島の四万十帯では、ノジュールが泥岩層の中に多く分布していることが明らかとなり、海底面上ではなく堆積物中で生活していた生物の生痕が大きくノジュールに関わっていると考えられる。生痕化石などのノジュール化は圧密が始まってから起きていると予想でき、方解石の部分が空隙率と同等と仮定すれば、ノジュールはある程度圧密してから形成したと考えられる。ノジュールの大きさは核となる生痕に由来しているようであり、ノジュールの断面からは同心円状に成長していた痕跡が見当たらなかった。ノジュール化を促す方解石の供給は方解石の脈によって行われていたと推測できる。上越沖のノジュールの外縁部にある方解石が成長していたのは、静かな泥の中でノジュールが形成されているからであると思われる。

キーワード: ノジュール, 四万十帯, 泥岩層, 黄鉄鉱, 生痕化石

Keywords: nodule, Shimanto belt, mudstone layer, pyrite, trace fossil

上部漸深海帯の拡散的メタン湧水—新潟県下部鮮新統田麦川層の例— Diffuse methane seep in the upper bathyal zone from the lower Pliocene Tamugigawa Formation, Niigata Prefecture

宮嶋 佑典^{1*}

MIYAJIMA, Yusuke^{1*}

¹ 京都大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

小さな炭酸塩コンクリーションと冷湧水二枚貝類の化石が散在的に産する露頭の産状は「拡散的湧水 (diffuse seep)」と呼ばれ、短命で弱い湧水によって形成されたと解釈されている (Nesbitt et al., 2013). このような産状は炭酸塩にセメントされていない堆積物中に内生または半内生の生物化石をその場で保存し、また湧水がどのようにして透水性の低い堆積物中を拡散するのかを理解する上で重要であるにもかかわらず、大規模なメタン湧水炭酸塩岩体と比べてあまり研究されてこなかった。

日本海側地域では、新第三系の海成層よりシロウリガイ類化石が小さな炭酸塩コンクリーションを伴って産出する場合があり、これらは拡散的冷湧水の産状である可能性がある。本発表では新潟県の下部鮮新統田麦川層に見られる拡散的メタン湧水の産状を報告する。十日町市松之山松口では、越道川に露出する灰色シルト岩中に、多様な形状で中礫サイズの小コンクリーションがシロウリガイ類やツキガイ類、ハナシガイ類化石と共に散在する。コンクリーション及び化石の形状や分布を露頭スケッチによって記録し、またいくつかのコンクリーションの炭素・酸素安定同位体比を分析して露頭スケッチにプロットした。本露頭より産する軟体動物化石は極めて多様な分類群からなっており、シロウリガイ類のような冷湧水二枚貝類の他にも原鰓二枚貝類やタマガイ類、エゾバイ類といった小型腹足類およびツノガイ類からなる。内生のツキガイ類やハナシガイ類は露頭上部で合併かつ生息姿勢を保った状態で産する。シロウリガイ類は少なくとも *Archivesica kannoi* と *Calypptogena* cf. *pacifica* の2種からなるが、種構成の27% (n=54) にすぎない。シロウリガイ類が卓越せず、またタマガイ類による捕食痕が見られることは比較的浅い環境を示唆し (cf. Kiel, 2010; Amano et al., 2010), これは軟体動物化石から推定されている田麦川層の堆積環境 (上部漸深海帯 200-500 m: 天野ほか, 1991; 天野, 1994) と矛盾しない。コンクリーションは主に露頭中部より産し、不定形または球状、漏斗型、棲管型の形状のものが見られる。それらは明灰色か、露頭最下部では暗灰色をしており、ミクライト質低 Mg カルサイトからなる。炭素同位体比は -46.0‰ ~ -24.3‰ と低く、主に嫌氣的メタン酸化 (AOM) 起源であると考えられる。このことはミクライト中にバイオマーカー pentamethylicosane (PMI) が含まれることから示唆される。互いに近接して、または露頭の同一層より産するコンクリーションは差が6‰以内で近い炭素同位体比をもち、このことはそれらが同一の AOM 帯で形成されたことを示唆するのかもしれない。以上から、本露頭は前期鮮新世の比較的浅い環境 (上部漸深海帯) での拡散的メタン湧水場の露頭であり、湧水はシルト質堆積物中の棲管などの空隙を介して拡散していたと考えられる。本研究のように露頭に散在する各々のコンクリーションの同位体比を分析することで、拡散的湧水場の露頭中で過去の AOM 帯を認定することも可能かもしれない。

キーワード: 拡散的メタン湧水, 新潟県, 鮮新世, 上部漸深海帯

Keywords: diffuse methane seep, Niigata, Pliocene, upper bathyal zone

水温が化学合成生物群集の分布に与える影響 Thermal effect for distribution of deep-sea chemosynthetic faunas

渡部 裕美^{1*}; 矢萩 拓也²; 長井 裕季子¹; 徐 美恵²; 小島 茂明²; 石橋 純一郎³; 山本 啓之¹;
藤倉 克則¹; 御手洗 哲司⁴; 豊福 高志¹
WATANABE, Hiromi^{1*}; YAHAGI, Takuya²; NAGAI, Yukiko¹; SEO, Mihye²; KOJIMA, Shigeaki²;
ISHIBASHI, Jun-ichiro³; YAMAMOTO, Hiroyuki¹; FUJIKURA, Katsunori¹; MITARAI, Satoshi⁴;
TOYOFUKU, Takashi¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 九州大学, ⁴ 沖縄科学技術大学院大学

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo,

³ Kyushu University, ⁴ Okinawa Institute of Science and Technology

水温は、海洋生物の分布や生活史特性を特徴づける環境因子のひとつである。深海熱水噴出域は海洋環境の中でも幅広い水温環境を示すことから、水温が生物の分布や生態に与える影響を解明するのに適した環境である。本講演では、主に飼育実験の結果に基づき、深海熱水噴出環境において水温が生物の分布に与える影響について議論する。

水温が生物に与える影響を検討するために、沖縄トラフの深海熱水噴出域に生息する2種のオハラエビ類、熱水噴出孔近傍に分布するエンセイオハラエビ (*Shinkaicaris leurokolos*) と熱水縁辺域に分布するオハラエビ (*Alvinocaris longirostris*) の受精卵および浮遊幼生を5-30℃の環境下で200-280日間飼育した。受精卵の孵化までにかかる時間は、両種とも既往研究と同様に水温が上がれば上がるほど短くなったものの、孵化至適水温（本研究では孵化率が50%よりも高い場合とした）はエンセイオハラエビの方がオハラエビよりも高かった。したがって、抱卵期間はエンセイオハラエビの方がオハラエビ短くなるものと予想される。オハラエビ類の多くには繁殖の季節性は観察されていないため、抱卵期間が短いことは繁殖回数が多いことにつながる。これらの観察結果は、エンセイオハラエビでオハラエビよりも高い遺伝的多様性が観察されていること (Yahagi et al. submitted) とよく一致している。孵化幼生の生育に適した水温も、飼育実験の結果からは孵化至適水温同様エンセイオハラエビの方がオハラエビよりも高いと考えられる。これらのオハラエビ類が分布する沖縄トラフの熱水噴出域のうち、水深が浅い環境では海底の水温が比較的高温となることから、オハラエビの幼生の正常な成長が困難であると予想される。また、浮遊幼生の生育至適水温からは、エンセイオハラエビは表層流を利用した分散が可能であり、沖縄トラフ以外の海域にも分布することが予想されるが、これまでに沖縄トラフ以外の熱水噴出域からエンセイオハラエビの分布は報告されていない。

この飼育実験では、水温が2種のオハラエビ類の分布や生活史をコントロールする主要な環境因子であることを示すことができた。水温が生物の代謝速度に影響を与えることは広く知られている。また、上記飼育実験の他にも水温が化学合成生物群集の生態に影響を与える例が知られている。このような知見を蓄積することによって、化石化学合成生物群集においても水温を推定することにより、生態についての推測が可能となるかもしれない。

キーワード: 熱水噴出域, オハラエビ類, 飼育実験

Keywords: hydrothermal vent, Alvinocarididae, rearing experiment

化学合成化石群集研究の現状と課題 Current status and problems of studies on ancient fossil chemosynthetic communities

ジェンキンス ロバート^{1*}
JENKINS, Robert^{1*}

¹ 金沢大学
¹ Kanazawa University

Lonsdale (1977) が初めて熱水噴出口周辺から奇妙な深海生態系（のちに化学合成生態系だと発覚）を報告してから約40年が経とうとしている。この間、化学合成生態系は熱水噴出孔のみならず、メタン湧水や鯨骨、沈木などからも発見された。それぞれの化学合成生態系は化石記録でも認識され、地質時代を通じた化学合成生態系の変遷が理解されつつある。また、化学合成生態系が成立する極限環境への進化様式について現生・化石双方から様々な仮説が提唱されている。一方で化学合成化石群集を研究する上での課題も見えてきた。本発表ではこれまでの化学合成化石群集研究のまとめを行い、今後の進展へ向けた課題の整理を行う。特に化学合成化石群集の認定、時間軸と地域で見られる化石記録の偏在性、現生生物の分子生物学的解析から示される分岐年代と化石記録の整合性に着目した発表を行う。

キーワード: 化学合成生態系, 進化, 化石群集, 中生代, 新生代, 極限環境

Keywords: chemosynthesis-based ecosystem, evolution, fossil assemblage, Mesozoic, Cenozoic, Extreme environment