

三浦半島, 鮮新-更新統三浦-上総層群におけるシロウリガイ類化石産出層の年代層序 Chronostratigraphy of the *Calypptogena*-bearing, Plio-Pleistocene Miura and Kazusa Groups, central Japan

宇都宮 正志^{1*}, 田中 裕一郎², 楠 稚枝¹, 小林 青葉¹, 中村 章子⁵, 岡田 誠³, 和田 秀樹⁴, 間嶋 隆一¹

UTSUNOMIYA, Masayuki^{1*}, TANAKA, Yuichiro², KUSU, Chie¹, Aoba Kobayashi¹, NAKAMURA, Ayako⁵, OKADA, Makoto³, WADA, Hideki⁴, MAJIMA, Ryuichi¹

¹ 横浜国大・環境情報, ² 産総研・地質情報, ³ 茨城大・理, ⁴ 静岡大・理, ⁵ 株式会社リコー

¹Environment and Information Sciences, Yokohama National University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, ⁴Department of Science, Faculty of Geosciences, Shizuoka University, ⁵Ricoh Company, Ltd.

三浦半島北部には鮮新-更新統の前弧海盆堆積物が露出し, この時代の化学合成化石群集が世界でもっとも多産する地域の一つである。本地域には下位から三浦層群池子層, 上総層群浦郷層および野島層が重なり, 多様な産状のシロウリガイ類化石が産出する。例えば, シロウリガイ類化石が大規模な海底地すべりによって形成された異地性の砂岩層ブロックから産出する産状(池子層鷹取山火砕岩部層), シロウリガイ類が当時その場所に生息していたと考えられる産状(浦郷層), 堆積物重力流で堆積したと考えられる砂岩層から産出する産状(野島層今泉砂礫岩部層)が認められる。こうしたシロウリガイ類化石層の産状の時空変化と堆積環境の関係を調べるため, 石灰質ナノ化石に基づく年代決定を含め, シロウリガイ類化石産出層の層序関係を詳細に検討した。

堆積物試料を池子層の12層準, 浦郷層の5層準および野島層の6層準から採取し, 石灰質ナノ化石の生層序区分であるCN帯の認定を行った。CN帯の境界の年代値は Raffi et al. (2006) による。その結果, 池子層中にCN11帯(4.50から3.79Ma)に初めて出現する *Pseudoemiliana lacunosa* の初産出層準とCN11b亜帯とCN12a亜帯の境界(3.79Ma)である *Reticulofenestra pseudoumbilicus* の終産出層準が, 浦郷層中にCN12a亜帯とCN12b亜帯の境界(2.87Ma)である *Discoaster tamalis* の終産出層準とCN12b亜帯とCN12c亜帯の境界(2.52Ma)である *Discoaster surculus* の終産出層準が, 野島層最下部にCN12c亜帯とCN12d亜帯の境界(2.39Ma)を定義づける *Discoaster pentaradiatus* の終産出層準がそれぞれ認定された。Gauss 正磁極期と Matuyama 逆磁極期の境界(2.58Ma)は *Discoaster pentaradiatus* の終産出層準から30から60m下位に位置する。

以上の結果から, 池子層の含シロウリガイ類化石層の堆積年代は約4.50から3.79Ma, 浦郷層の含シロウリガイ類化石層の堆積年代は2.52-2.50Maと見積もられる。

キーワード: 化学合成化石群集, 三浦半島, 三浦層群, 上総層群, 石灰質ナノ化石層序

Keywords: chemosynthetic fossil assemblage, Miura Peninsula, Miura Group, Kazusa Group, calcareous nanno fossil stratigraphy

日本周辺化学合成生物群集におけるシロウリガイ類の分布勾配 Distributional gradient of sister species of vesicomid bivalves in chemosynthetic fauna in Japan

渡部 裕美^{1*}, 瀬尾 絵理子², 高橋 幸愛¹, 吉田 尊雄¹, 小島 茂明², 藤倉 克則¹, 三宅 裕志³
WATANABE, Hiromi^{1*}, SEO, Eriko², TAKAHASHI, Yoshimi¹, YOSHIDA, Takao¹, KOJIMA, Shigeaki², FUJIKURA, Katsunori¹, MIYAKE, Hiroshi³

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 北里大学

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

³ Kitasato University

シロウリガイ類は、細胞内に化学合成細菌を共生させており、深海化学合成生物群集の中でも高いバイオマスを有する分類群である。堆積物中の硫化水素濃度などによってシロウリガイ類の分布が制限されることは、これまでも明らかにされてきたが、生息水深、水温、塩分濃度、溶存酸素量などの環境因子との関連については、はっきりしていない。本研究では、相模湾のメタン湧水域に共存する2種のシロウリガイ類、シロウリガイとシマイシロウリガイを簡単に区別するための手法を開発し、環境因子とシロウリガイ類の種組成の変化を比較した。その結果、相模湾ではシロウリガイ類の種組成は水深、水温、塩分濃度とよく相関したが、溶存酸素量とは相関関係を確認することはできなかった。さらに、沖縄トラフに分布するシマイシロウリガイの分布環境を加えて検討すると、2種のシロウリガイ類の分布に生息水深が影響しないことが示唆された。本研究の結果は、共生細菌に大きく依存するシロウリガイ類でも、水温や塩分濃度といった一般的な海洋生物の分布を決める環境要因に大きな影響を受けていることを示している。

キーワード: シロウリガイ, 化学合成生物群集, 相模湾, 沖縄トラフ, mPCR

Keywords: vesicomid, chemosynthetic fauna, Sagami Bay, Okinawa Trough, mPCR

初島沖シロウリガイ類コロニーにおける動物行動学的観察

Ethological observation in a *Calyptogena* colony off Hatsushima Island in Sagami Bay, central Japan

早瀬 磨菜^{1*}, 延原 尊美¹, 鈴木 貴大¹, 岩瀬 良一²

HAYASE, Mana^{1*}, NOBUHARA, Takami¹, SUZUKI, Takahiro¹, IWASE, Ryoichi²

¹ 静岡大学教育学部, ² 海洋研究開発機構

¹Shizuoka University (Faculty of Education), ²JAMSTEC

Ethology of *Calyptogena* clams is analyzed on the basis of a serial video-capture images with three-minutes interval from 14th March to 19th June, 1988 on the Long-term Deep Sea Floor Observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay. The video camera was fixed to observe the *Calyptogena* colony (yellow bacteria mat and its surroundings of *Calyptogena* gregarious zone).

During the video-capture working time, more than three mud-flows stroke the colony, but the thickness of mud-flow sediments were maybe not over 10 cm. The *Calyptogena* clams pushed up their shells and escaped from the burial by pushing their foot against underground firm bottom. After the mud-flow blanketed the colony, some *Calyptogena* clams randomly moved and disturbed the reducing bottom breaking the bacteria mat, but its significance is unknown.

It is noteworthy that this serial-images record a complete account of prey/predation processes on a *Calyptogena* clam from beginning to end. *Calyptogena* clams were attacked by large buccinid and small turrid gastropods, which wandered in and around the living *Calyptogena* colony and rode on some clams. *Calyptogena* clams escape or protect from their predation by the following three methods: 1) closing the valves; 2) burrowing into sulphide-rich bottom where is not preferable condition for aerobic animals; and 3) hiding behind large dead shells.

Small gastropod-attacks did not cause dynamic escape activity of *Calyptogena* bivalves. Gregarious small gastropods had swarmed on some living *Calyptogena* clams during over 20 days, but the *Calyptogena* clam only once crawled into the reducing bottom and mainly resists the small-gastropod attacks by closing their valves.

On the other hand, attacks by large buccinid gastropods promptly cause escape actions of *Calyptogena* bivalves. We confirm that a *Calyptogena* clam instantly burrowed into the bottom just after large buccinid-attacks. The *Calyptogena* clam stayed in the black reducing sediments over nine hours. During the burrowing time, buccinid gastropods also burrowed into the sediments with their long siphon above the sediment surface, and struggled and tried to prey the clam. After all some buccinid gastropods gave up and leaved the clam burrowing point although others retained around the point. The *Calyptogena* clam once succeeded in escaping from the predation, but unfortunately the clam received next attack by another buccinid gastropod after the clam rose to the surface. The clam maybe had little reserve of energy to burrow again, and alternatively hid behind a large dead *Calyptogena* shell. This way was not efficient for the protect from their predation. After the hiding, the living *Calyptogena* received intensive attacks by many large and small gastropods. It took about 4 days and a half from the start of intensive attacks to completion of the predation. This predation time suggests that old-aged *Calyptogena* colony has enough potential to attract the high-density gastropod population.

キーワード: シロウリガイ類, メタン湧水, 動物行動学, 相模湾

Keywords: *Calyptogena*, methane seepage, ethology, Sagami Bay

三陸沖（水深123m）から発見した *Nucinella* 類を含む化学合成群集 *Nucinella* found in a chemosynthetic community off the Sanriku coast, northeastern Japan at 123 m depth

ジェンキンス ロバート^{1*}, 北村 晃寿², 天野 和孝³
JENKINS, Robert^{1*}, KITAMURA, Akihisa², AMANO, Kazutaka³

¹ 横浜国立大学環境情報研究院, ² 静岡大学理学部地球科学教室, ³ 上越教育大学学校教育研究科地学教室
¹Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, ²Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University, ³Department of Geosciences, Joetsu University of Education

Nucinellids are very small bivalves, generally less than 5 mm in length, related to the Solemyidae, which are typical chemosymbiotic bivalves. Reid (1990) and Amano et al. (2007) hypothesized, on the basis of the *Nucinellidae*'s gutless state and their occurrence in Cretaceous cold-seep deposits, that they have chemosynthetic bacteria in their body. This hypothesis has been partially confirmed by Oliver and Taylor (2012). They found bacteria-like microstructures in their gills. But it has still not yet been fully confirmed that the *Nucinellidae* have chemosynthetic bacteria or not.

We recovered many dead shells of *Nucinella* sp. with living chemosynthetic lucinid and thyasirid bivalves from the sea off the Sanriku coast at a depth of 123 m during the Tansei-maru (JAMSTEC) cruise KT-11-17 in the summer of 2011. The finding indicates that the *Nucinellidae* might be a member of chemosynthetic communities even in the Recent, not only in the Cretaceous. Our finding supports the hypothesis that the *Nucinellidae* have chemosymbiotic bacteria.

キーワード: クルミガイモドキ類, 原鰓類, メタン湧水, 冷湧水, 共生, 三陸沖
Keywords: *Nucinellidae*, methane seep, cold seep, symbiosis

沖縄トラフの海底熱水系周辺に生息する海綿動物の栄養源の推定 Evaluation of nutrient sources for the sponges inhabited around seafloor hydrothermal areas in the Okinawa Trough

長塩 皓美^{1*}, 山中 寿朗¹, 渡部 裕美², 山上 翔世¹, 伊勢 優史³, 牧田 寛子²

NAGASHIO, hiromi^{1*}, YAMANAKA, Toshiro¹, WATANABE, Hiromi², YAMAGAMI, Shosei¹, Yuji Ise³, MAKITA, Hiroko²

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 東京大学

¹Graduate school of Natural Science and Technology, ²JAMSTEC, ³The University of Tokyo

深海底に熱水噴出孔が発見された際、最も目を惹く特徴はその場に高密度で生息する特殊な生物群であった。これらは、今日では化学合成依存動物群集として多くの研究が行われている。一方で、海綿動物やヤギ類など、深海底で普通に見られる生物でありながら、熱水活動域に隣接する海底で個体密度が上がる様子が度々観察され、熱水系において化学合成による一次生産物に依存する動物相が予想以上に広がりをもち、多様性に富むことが最近理解されつつある。そこで、実際にこれら生物が化学合成による一次生産によって支えられているか否か、熱水活動域近隣の場所で生息する生物の栄養源についての研究が不可欠である。よって本研究では今まで海底熱水域で最も広範囲で密集した様子が確認されている海綿動物の栄養源の推定を目的とした。

海底熱水系周辺に生息する海綿動物の栄養源の推定を行うために、沖縄トラフの熱水湧出が疑われる多良間海丘に密集して生息する海綿動物と、沖縄トラフの既知の熱水域、また、近くに熱水活動がないと考えられている場所に生息する海綿動物の炭素、窒素、硫黄同位体組成の測定を行った。

試料には沖縄トラフでの潜航調査中に採取された生物(主に海綿動物)を用いた。生物試料は採取後、船上にて冷凍し研究室へと持ち帰り、硫酸イオンの除去などの前処理を行った後、EA-IRMS (GV社製のIsoPrime-EA)にて炭素、窒素、及び硫黄の安定同位体比組成の分析を行った。堆積物試料は無機炭素の除去などの前処理を行ったのちEA-IRMSにて炭素、窒素の安定同位体比組成の分析を行った。

一般海洋生物の炭素同位体組成は、植物プランクトンなどによって生成される有機物を栄養源としていることから、その有機物の炭素同位体組成 ($^{13}\text{C} = -25 \sim -20\%$ 程度)を反映している。しかし多良間海丘の海綿動物の炭素同位体組成は $^{13}\text{C} = -35\%$ 付近の値をとった。この ^{13}C 値は、硫酸化細菌が酵素 Rubisco を触媒として、海水に溶存している二酸化炭素を固定して生成する有機物の ^{13}C 値 ($-35 \pm 5\%$)の範囲に含まれる。潜航調査中にみられた、熱水ブルームと考えられる海水の濁りに、Rubisco を持った独立栄養性の硫酸化細菌が存在することが確認されており、海綿動物はピコプランクトンやナノプランクトンを濾過摂食する濾過食者であることから、ブルーム中の硫酸化細菌を栄養源にしている可能性が考えられる。海綿動物の硫黄同位体組成が、一般海洋生物がとりうる海水硫酸を反映した ^{34}S 値 ($+15 \sim +21\%$)の範囲ではなく、熱水・マグマ起源硫化水素の ^{34}S 値 ($-5 \sim +10\%$)の範囲にはいつていることも、硫酸化細菌が海綿動物の栄養源になっていることを支持している。このことは、また、硫酸化細菌が利用している硫化水素の起源が熱水起源であることを示唆している。

一方、多良間海丘の海綿動物とその付近で採取された棘皮動物以外の生物の炭素同位体組成からは一般海洋生物との栄養源の違いは見られなかった。しかし硫黄同位体組成は一般海洋生物のとりうる ^{34}S 値よりもやや低い値を示した。このことは、硫酸化細菌を栄養源の一部として利用していることに起因すると考えられる。

また、熱水湧出が確認されている沖縄トラフの別の熱水域に密集する海綿動物の炭素、窒素、硫黄の安定同位体組成の値も多良間海丘の海綿動物の値と類似した値を示した。

以上から、多良間海丘で見られる生物の栄養源として化学合成細菌である硫酸化細菌の寄与が明らかであり、このことはこの海域に硫化水素が熱水活動によって供給されていることを示唆している。よって沖縄トラフの海底熱水系周辺に生息する海綿動物の栄養源は、熱水活動と密接に関係していることが明らかとなった。

キーワード: 安定同位体, 海綿動物, 深海, 海底熱水系, 沖縄トラフ

Keywords: stable isotope, sponge, deep sea, seafloor hydrothermal system, Okinawa Trough

アミノ酸窒素同位体比分析による海洋生態系の栄養段階推定(1): 光合成生態系と化学合成生態系の構造

Estimation of trophic position in marine ecosystems based on nitrogen isotope of amino acids: prey-predator interaction

力石 嘉人^{1*}, 藤倉 克則¹, 土屋 正史¹, 吉田 尊雄¹, 藤原 義弘¹, 喜多村 稔¹, LINDSAY, Dhugal J.¹, 梅津 裕一², 永堀 淳志¹, 篠崎 鮎太², 小川 奈々子¹, 大河内 直彦¹

CHIKARAIISHI, Yoshito^{1*}, FUJIKURA, Katsunori¹, TSUCHIYA, Masashi¹, YOSHIDA, Takao¹, FUJIWARA, Yoshihiro¹, KITAMURA, Minoru¹, LINDSAY, Dhugal J.¹, UMEZU, Yuichi², NAGABORI, Atsushi¹, SHINOZAKI, Ayuta², OGAWA, Nanako O.¹, OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 広島大学・独立行政法人海洋研究開発機構

¹JAMSTEC, ²Hiroshima University, JAMSTEC

海洋生態系は様々な生物群集から構成され、複雑な捕食・被食の生物間の相互作用の上に成り立っている。その構造を明らかにすることは、環境変化に対する生物の応答様式や海洋生態系の構造の変化を追跡する上でも重要である。アミノ酸の窒素同位体比分析をはじめとする微量同位体分析法は、JAMSTECで開発された新たな分析法であり、この分析法を用いることで海洋生態系の食物網構造を正確に理解することができる。われわれは、この分析法を用い、1) 海洋生態系の構造の解明と、2) 海洋生物の共生系の仕組みの解明を中心に研究を遂行している。海洋生態系の構造と海洋環境への適応様式を理解し、資源(餌)などのエネルギーが表層から底層へ(生産者から高次捕食者へ)の梯子を段階的に連鎖する「梯子モデル」が、どのように成立しているのかを検証する。

アミノ酸の窒素同位体比に基づく栄養段階の推定法は、複雑な生態系の栄養段階を明瞭に示すことができる重要なツールである。この手法では、栄養段階に伴い食物連鎖の上位の生物ほど¹⁵Nの濃縮が見られるアミノ酸(グルタミン酸など)と、栄養段階によらず窒素同位体比がほぼ一定で、生産者の情報を保持する持つアミノ酸(フェニルアラニンなど)を用いることで、生物の栄養段階を正確に求めることを基盤技術としている。

これまで研究の結果、1) 化学合成生態系生物でもアミノ酸窒素同位体分析に基づく栄養段階推定が適用できた、2) 基本的に化学合成生物群集と光合成生態系を明瞭に区別することができた、3) 共生関係のもとに栄養摂取を行っている生物の場合、共生生物の代謝産物の宿主利用形態により、複雑な関係が見られた。

キーワード: アミノ酸窒素同位体比, 栄養段階, 化学合成生態系, 鯨骨蝸集群集, 光合成生態系

アミノ酸窒素同位体比分析による海洋生態系の栄養段階推定(2): 宿主・共生系の仕組みの解明

Estimation of trophic position in marine ecosystems based on nitrogen isotope of amino acids: host-symbiont relationship

土屋 正史^{1*}, 吉田 尊雄¹, 力石 嘉人¹, 藤原 義弘¹, 梅津 裕一², 永堀 淳志², 藤倉 克則¹, 大河内 直彦¹
TSUCHIYA, Masashi^{1*}, Takao Yoshida¹, CHIKARAIISHI, Yoshito¹, Yoshihiro Fujiwara¹, Yuichi Umezu², NAGAHORI, Atsushi², FUJIKURA, Katsunori¹, OHKOUCI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 広島大学大学院生物圏科学研究科環境循環系制御学専攻

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University

アミノ酸の窒素同位体比分析技術を用いて、海洋生態系を構成する海洋生物の進化や共生現象を介した環境への適応様式を理解し、海洋生物の共生系の仕組みを明らかにすることを目標に、化学合成生態系の二枚貝と化学合成微生物の共生系について、アミノ酸の窒素同位体比に基づく栄養段階の推定が共生系で適応できるか検討し、さらに共生系内での各組織における栄養段階を解析した。また、遺伝子からその代謝機能を推定するとともに、宿主の共生生物への依存度を明らかにし、共生を介した生態や進化を理解することは重要である。そこで本研究では、化学合成生態系で代表的な生物であるシロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類と鰓組織に共生する化学合成微生物(以後共生菌と呼ぶ)との共生系について共生系内の窒素の動きを始めとした物質の動きを捉えることを目的とした。これまでの解析の結果、1) 宿主?共生系でも栄養段階推定を適用できることを明らかにした、2) 共生菌の種類や共生の様式によらず、シンカイヒバリガイ類とシロウリガイ類の栄養摂取形態に明瞭な違いが見られた。

シンカイヒバリガイ類では、共生菌の種類がメタン酸化細菌あるいは硫黄酸化細菌であっても、共生の様式が外部共生と内部共生の違いがあっても、基本的には、鰓と筋肉、共生菌のそれぞれの部位で栄養段階が1を示し、同じ栄養段階を示した。また、共生細菌を除去した個体では、栄養段階は部位ごとに変化し、天然の濾過食者のムラサキガイと同様の値をとることが明らかになった。多くのシンカイヒバリガイ類は、共生菌を獲得することで、共生菌と宿主の間のアミノ酸のやり取りが可能となることを示すと同時に、共生菌によって産生されたアミノ酸が、分解をへずそのまま宿主で使われる可能性と、一部が共生菌に再利用されている可能性などが考えられた。

これに対してシロウリガイ類では、共生菌が存在する鰓と共生菌の存在しない組織で比較したところ、鰓に比べると共生菌の存在しない組織では、栄養段階が1上昇した。このことは、共生菌を保持し共生菌が産生するアミノ酸ごと消化するか、あるいは、共生菌が産生したアミノ酸を何らかの形で宿主が利用している可能性が考えられる。シマイシロウリガイ共生菌では、アミノ酸のトランスポーターが存在せず、細胞内の超微細構造の観察からも、共生菌自体の消化が検出されにくいことから、共生菌が宿主側に何らかの機能があるのかもしれない。

キーワード: アミノ酸窒素同位体比, 栄養段階, 宿主・共生系, 化学合成生態系, シロウリガイ類, シンカイヒバリガイ類
Keywords: nitrogen isotope of amino acids, trophic position, host-symbiont relationships, chemosynthetic ecosystem, Calyptogen species, Bathymodiolus species