

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03305

研究課題名(和文) 高感度14C分析で解明する熱水域ベントスの栄養生態とその成立プロセス

研究課題名(英文) Highly sensitive 14C analysis elucidating trophic ecology of endemic benthic fauna on hydrothermal vents

研究代表者

嶋永 元裕 (Shimanaga, Motohiro)

熊本大学・くまもと水循環・減災研究教育センター・教授

研究者番号：70345057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：伊豆海域の海底火山カルデラや沖縄トラフの熱水域の熱水噴出孔表面や非熱水域海底から定量採集した底生生物の栄養生態を、炭素・窒素安定同位体比、および放射性炭素同位体比を用いて評価した。その結果、生息場ごとに熱水に由来する二酸化炭素と底層水の二酸化炭素への依存度が異なるほか、メタン由来炭素への依存度も明瞭に識別でき、熱水噴出孔周辺の環境勾配が生物の栄養生態に大きな影響を与えることが、従来の炭素窒素安定同位体比だけでなく放射性炭素同位体比を測定することにより明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、従来の安定同位体比分析だけでは細分化が困難だった、熱水固有底生生物の共生細菌を含んだ、熱水熱水域の主たる一次消費者である化学合成細菌の無機炭素源を放射性炭素同位体比分析によってより明確に分析可能であることを示し、これらの手法を用いて、熱水域底生生物群集の重要な構成要素でありながら、微小なため分類・生態学研究がすすんでいなかったメイオベントスの栄養生態の一端を明らかにしたことは、今後の熱水域生物群集の栄養生態および全貌解明の全貌解明の前進に大いに寄与すると自負する。

研究成果の概要(英文)：The trophic ecology of meio-macro and megafauna on hydrothermal vents (chimneys) and adjacent non-vent seafloor in seamounts along the Izu island arc and in the Okinawa Trough was analyzed using carbon and nitrogen stable isotope ratios and natural-abundance radiocarbon isotope ratios. The results showed that the dependences on hydrothermal-derived carbon dioxide and bottom-water carbon dioxide was different from habitats, indicating that hydrothermal fluid-derived environmental gradients around hydrothermal vents have a significant impact on the trophic ecology of the benthic organisms. Dependences on chemosynthetic organic matter are different even between closely related taxa inhabiting on the same chimney surfaces, and the dependence would not change with growth at least among juveniles settling on the chimneys.

研究分野：海洋生態学

キーワード：熱水噴出孔 炭素同位体比 ベントス 群集 栄養生態

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学合成細菌が生産する豊富な有機物を基盤とする深海熱水噴出域(熱水域)では、消化管のないハオリムシなど、光合成由来有機物に依存しない特異な大型底生生物(マクロ・メガベントス)の存在や栄養生態が知られている。しかし、細菌と大型生物の中間サイズであるメイオベントス(31-1000 μm サイズの微小底生生物:線虫類・カイアシ類など)に関しては、近縁種間の食性の違いや大型種による摂食を示唆する報告はあるものの、栄養生態の多様性や栄養段階(大型種との被食捕食関係)を網羅した研究はなかった。また、近年の研究などにより、熱水域にはメイオベントスがマクロベントスを凌駕する密度で生息する一方で、通常の深海底と異なり、熱水噴出直近部でメイオベントスの多様性が低くなるが、これは、彼らが小型で移動能力が低く、熱水噴出直近部の高温・高硫化物濃度に耐えられないためであると考えられている。

このように明らかになりつつある深海熱水域の食物網を含めた生態系の全容に迫るには、メイオベントスの栄養生態の解明が不可欠であるという認識があった。しかし、メイオベントスはほぼ未記載種で、大型既知種でも成長過程が不明で幼生・幼体の分類が困難、という問題があった。

2. 研究の目的

本研究では「メイオ・マクロ・メガベントスを網羅した熱水域底生生物各種の成長に伴う生息場所と栄養源の変化の定量評価」をターゲットとし、熱水域の化学合成細菌からメイオベントス、マクロベントスまで含めた真の栄養生態の多様性の評価と、栄養生態からみた熱水種の熱水進入過程の理解を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、伊豆海域の三つの海底火山カルデラや沖縄トラフの熱水域のチムニー表面や非熱水域海底から定量採集した生物サンプル(日本近海では最大規模)を用いた。

研究分担者(横山)が微量試料でも測定可能にした ^{14}C 分析による化学合成有機物への依存度の定量化と、炭素・窒素安定同位体情報を組み合わせた三次元プロット(^{13}C - ^{15}N + ^{14}C)により、各生物種の光合成/化学合成への依存度と栄養段階の定量的評価を試みた。

なお、メイオベントスは幼体を含め未記載種なので、分担者(渡部)が調整した同一標本で形態分類と DNA 抽出を可能にするプロトコルを活用し種の同定を行った。

4. 研究成果

4.1. メイオベントス

伊豆海域の海底火山カルデラ内の熱水域に林立する熱水噴出孔(チムニー)表面から、我が国初の熱水固有カイアシ類レンゴククダクチミジンコ類(Dirivultidae)として記載された *Stygiopontius senokuchiae* の成体標本のみが大量に得られたチムニーから採取され、形態の特徴から本種のコペポディド幼体であることが確認されていた標本のうち、3-5 齢幼体について DNA 分析を行った結果、本種成体と同一のハプロタイプを持ち本種の幼体であることを確定した。

コペポディド幼体の形態を精査した結果、メスの場合、4 齢から 5 齢幼体、さらに 5 齢から成体(6 齢)では、体サイズが大きく増加するのに対して、雄では、4 齢以降の各齢の体サイズの差は僅かであること、成体メスは成体オスより有意にサイズが大きいことが明らかになった。

複数のチムニー表面における *S. senokuchiae* の年齢構成の空間変異を調べたところ、成体の性比が若干オスに偏るのに対して、5 齢幼体ではメスに偏る事が分かった。また、本種の成体の性比と化学合成由来有機物の指標となるチムニー表面のデトリタス(チムニー表面の微生物も含まれると考えられる)の有機炭素安定同位体比との関係を調べたが、水深やチムニーの高度など他の環境要因を含め、性比との間には有意な関連性は見出されなかった。

本種の成体メスと成体オス、さらに DNA 分析の結果、本種幼体であることが確定したコペポディド幼体の炭素安定同位体比を測定したところ、両者の間に有意差はなく、いずれも化学合成細菌を主食としていることが示された。

レンゴククダクチミジンコ類は、主として熱水噴出部直近に生息し、熱水の影響の少ない海底ではほとんど見られないことから、メイオベントスでは稀な「熱水域固有種群」と考えられており、熱水域直上の海中から浮遊幼生が見つかることから、幼体の時期に熱水域間を移動すると考えられていた。したがって、本研究開始当初は、本種の幼体期には光合成由来のマリンスノーなどを捕食していると予想していたが、今回の研究は、少なくともコペポディド幼体の段階で、本種はすでに化学合成由来有機物を主たる栄養源としていることを示した。また本種の成長は顕著な雌雄差が見られたものの、両者の空間変異や同位体比に有意な差はなく、この体サイズの雌雄差は栄養生態の差によるものではないことが示された。このことは、熱水域に生息域を限定された本種の、繁殖に関する雄間競争など、興味深い仮説を新たに提起した(浅海域の底生カイアシ類と同様に、本種においても、オスは、体長の成長を抑えることにより、メスより早く成熟して繁殖可能な成体になる。おそらく生涯の繁殖機会を増やすため?)。

伊豆海域の海底火山カルデラ内の熱水域のチムニー表層で優占した、もう一つの小型甲殻類分類群であるソコミジンコ類の群集組成の空間変異と環境要因との関連性を解析した結果、群集組成変化と最も相関が高かったのは、チムニー表面のデトリタスの有機炭素量であった。一方、化学合成活性の指標であるデトリタスの炭素安定同位体比は、レンゴククダクチミジンコ類の空間分布と最も関連性が高かったのに対して、ソコミジンコ類の群集組成との関連性は非常に低かった。

チムニー表面のソコミジンコ類群集は、Miraciidae 科とフネガタソコミジンコ (Ectinosomatidae) 科が優占する非常に多様性の低い群集組成が観察された。フネガタソコミジンコ科に関しては、そのほとんどが *Ectinosoma* 属の未記載種 1 種 (*Ectinosoma* sp.1) で構成されていたが、本種の成体雌雄、幼体ともに炭素安定同位体比分析の結果、化学合成有機物と光合成由来有機物(おそらく海底火山直上の海洋表層から沈降してきた植物プランクトンの遺骸由来のマリンスノー)の混食を行っていることが示唆された。これらの同位体比分析結果は、透過型電子顕微鏡を用いた腸管内観察の結果とも整合的であった。*Ectinosoma* sp.1 はチムニー表面だけでなくチムニーふもとの海底堆積物にも生息していた。

これらの結果は、「同じメイオベントスサイズのカイアシ類の仲間でも、化学合成由来有機物への依存度の違いが分布域に多大な影響を与えるが、各種の栄養生態は成長段階や雌雄では大きく変わらない」という、熱水域メイオベントス群集の成立・維持プロセスの根幹にかかわる洞察につながるものであった。

4.2. マクロ メガベントス

深海熱水生態系の食物網と炭素循環を包括的に理解するために、複数のマクロ メガベントス種の放射性炭素同位体比分析を行った。その結果、生息場ごとに熱水に由来する二酸化炭素と底層水の二酸化炭素への依存度が異なるほか、メタン由来炭素への依存度も明瞭に識別でき、熱水噴出孔周辺の環境勾配が生物の栄養生態に大きな影響を与えることが、従来の炭素窒素安定同位体比だけでなく放射性炭素同位体比を測定することにより明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Senokuchi Reina, Nomaki Hidetaka, Uyeno Daisuke, Watanabe Hiromi Kayama, Kitahashi Tomo, Shimanaga Motohiro	4. 巻 76
2. 論文標題 Sex ratio of <i>Stygiopontius senokuchiae</i> (Dirivultidae, Copepoda), an endemic copepod species at deep hydrothermal vent sites, is biased to males	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 341 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-020-00548-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakasugi Futa, Shimanaga Motohiro, Nomaki Hidetaka, Watanabe Hiromi Kayama, Kitahashi Tomo, Motomura Yusuke, Iseda Koki	4. 巻 101
2. 論文標題 Simple harpacticoid composition observed at deep hydrothermal vent sites on sea knoll calderas in the North-west Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom	6. 最初と最後の頁 947 ~ 956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0025315421000874	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Hiromi Kayama, Senokuchi Reina, Nomaki Hidetaka, Kitahashi Tomo, Uyeno Daisuke, Shimanaga Motohiro	4. 巻 38
2. 論文標題 Distribution and Genetic Divergence of Deep-Sea Hydrothermal Vent Copepods (Dirivultidae: Siphonostomatoidea: Copepoda) in the Northwestern Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs200153	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川谷健人・嶋永元裕
2. 発表標題 熱水性カイアン類 <i>Stygiopontius senokuchiae</i> の成長にともなう形態変化と年齢構成の空間変異
3. 学会等名 日本甲殻類学会第57回大会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 川谷健人, 野牧秀隆, 渡部裕美, 上野大輔, 嶋永元裕
2. 発表標題 熱水性カイアシ類Stygiopontius senokuchiaeの 成長に伴う形態・食性変化と齡構成の空間変異
3. 学会等名 日本甲殻類学会第59回大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 元村優介・中杉富大・野牧秀隆・渡部裕美・北橋倫・嶋永元裕
2. 発表標題 伊豆諸島海域の近接する海底火山カルデラ内熱水噴出域に生息する フネガタソコミジンコ科(カイアシ類)の群集組成と優占種の形態の空間変異
3. 学会等名 2021年 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会
4. 発表年 2021年～2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	渡部 裕美 (Watanabe Hiromi) (50447380)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・准研究副主任 (82706)	
研究分担者	野牧 秀隆 (Nomaki Hidetaka) (90435834)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	横山 祐典 (Yokoyama Yusuke) (10359648)	東京大学・大気海洋研究所・教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Woods Hole Oceanographic Institution			