

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440246

研究課題名(和文) 近接する海底火山の熱水噴出域間には共通の小型底生生物相が存在するか？

研究課題名(英文) similarities in meiofaunal composition among hydrothermal vents in neighboring seamounts

研究代表者

嶋永 元裕 (Shimanaga, Motohiro)

熊本大学・沿岸域環境科学教育研究センター・准教授

研究者番号：70345057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：伊豆小笠原海域の近接する海底火山内の熱水噴出域と、周辺の非熱水域のメイオベントス群集構造を調査した。非熱水域の海底で最も優占するのは線虫類だったが、一部の熱水噴出孔周辺では熱水固有カイアシ類 *Stygiopontius* が優占した。遺伝子解析の結果、本属個体は同一種であり、海底火山間で遺伝的交流が起きていることが示された。同じカイアシ類でも、ソコミジンコ目の場合、熱水域群集組成は火山間で異なった。炭素安定 放射性同位体比分析の結果、*Stygiopontius* の仲間は熱水域特有の化学合成有機物への依存度が高いのに対し、ソコミジンコ類は、光合成由来有機物への依存度も高いことが示された。

研究成果の概要(英文)：We studied the variations in meiofaunal composition and their nutrition sources around hydrothermal vents and in the adjacent non-vent fields in the calderas of three neighboring seamounts in Izu-Ogasawara Arc, NW Pacific. Nematodes were the most abundant in the sediments on seafloor in the non-vent fields. Around some vents, *Stygiopontius* (Dirivultidae, Siphonostomatoida), a typical vent copepod group, was predominant. Genetic analyses on *Stygiopontius* from different seamounts showed they are the same species, and population-level analyses based on partial mitochondrial DNA sequence suggested the gene flow occurs between seamounts, even though they are separated from each other at 30 km scale. Stable carbon isotopic ratios and natural-radiocarbon abundances of meiofauna revealed the dirivultid copepods utilized mainly chemolithoautotrophic microbes. The other copepods (mainly harpacticoids) at the same habitats rely on them to a certain degree.

研究分野：海洋生態学

キーワード：深海熱水噴出域 メイオベントス 群集構造

1. 研究開始当初の背景

海底の熱水噴出孔周辺には、熱水中の還元物質の酸化エネルギーを利用して、有機物を化学合成する細菌を一次生産者とする生態系が形成される。熱水域の大型底生生物相（ハオリムシなど）は、その辺縁の非熱水域と大きく異なるが、数 100km 以上離れた他地域の熱水域の生物相とは類似している。一方、メイオベントス（海産線虫類、カイアシ類などサイズが 0.032-1mm の底生生物）は、個体密度・生物量で大型底生生物を凌駕する、深海底生態系の重要な構成員であるが、熱水域のメイオベントス群集は、辺縁部の非熱水域群集の近縁種で構成され、他地域の熱水域とは類似しないことが報告されていた。これは、大型底生生物と異なり、プランクトン幼生期がなく分散能力の低いメイオベントスでは、地域特異的に熱水生態系への分布拡大・適応分化がおきたためと解釈されているが、海域間の比較だけでは熱水域群集の成立過程は解明できたとは言えず、より近距離ではメイオベントスが海流に乗って生きてまゝ熱水域を移動し、類似した群集構造を形成している可能性については明らかにされていなかった。また、熱水で生産される有機物へのメイオベントスの依存度などの知見も乏しい状態であった。

我が国の伊豆諸島海域には多数の熱水域生態系が存在する。このうち明神海丘、明神礁カルデラ、ベヨネース海丘は、同程度の水深のカルデラ内に熱水域を伴う海底火山で、互いの熱水域間の距離が 20-30km という、上記の仮説を検証するには格好の海底火山群であった。すでに我々は平成 20 年に海洋研究開発機構の無人探査機を用いて採取した堆積物サンプルを元に、明神海丘カルデラ内熱水域の海底堆積物中の線虫類群集は、北フィジーや沖縄トラフの熱水域よりも、同カルデラ周辺の非熱水域と類似性が高いという解析結果を得た（文献）。さらに、平成 24、25 年には、明神海丘、明神礁カルデラ内の複数の熱水噴出孔を形成する熱水噴出孔（チムニー）表面から、メイオベントスの直接採集に初めて成功したほか、両カルデラ直上のプランクトン採集も行っていた。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究は、知見のほとんどない以下の疑問の解明に取り組んだ。

・10km スケールなら、異なる熱水域間の群集構造は類似するか？

各海底火山カルデラ周辺の熱水域・非熱水域のメイオベントス優占分類群（線虫類、カイアシ類）を形態分類し、群集構造の空間変異を解析し、熱水域間、非熱水域間の類似度を数値化（%）する。

・異なる海底火山の熱水域間で遺伝的交流はあるか？

熱水域共通種、同属近縁種に関しては、遺伝情報を元に共通ハプロタイプの出現頻度や系統関係を調べる。さらにプランクトンサンプル中に熱水域共通のメイオベントスの存在が確認できれば、熱水域間を受動的に水中輸送される有力な証拠となる。

・熱水域に生息するメイオベントスは熱水がないと生きられないのか？

熱水域メイオベントスの化学合成に対する依存度（熱水域でないと生きられないのか？/生産性が高いので住んでいるだけなのか？）に関する情報は、ほぼ皆無である。熱水域生息種の熱水性有機物依存度を定量化すれば、「熱水固有」のメイオベントスの存在に関する有力な証拠となるだろう。

3. 研究の方法

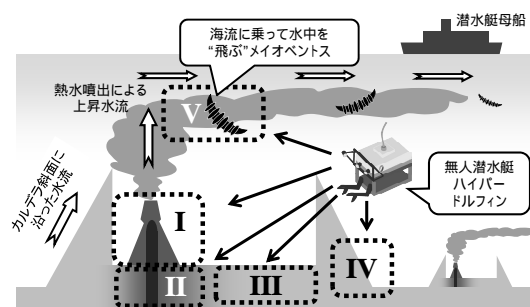


図 1. 本研究が対象とする海底火山カルデラ周辺の生息環境。

研究申請の段階で存在した明神海丘・明神礁カルデラの熱水域・非熱水域サンプルに加え、本研究初年度（平成 26 年度）4 月に、予定通りベヨネース海丘の熱水域・非熱水域のサンプル採集にも成功し、各海山カルデラ内のチムニー表面（図 1-I）、チムニー麓の海底（図 1-II）、カルデラ内外の非熱水域（それぞれ III と IV）、チムニー直上の海中（V）から採集された合計 100 を超えるサンプルセットを元に研究を進めた。

まずホルマリン固定サンプルを元にメイオベントスの高次分類群レベルの同定を行い、優占分類群であるカイアシ類に関しては属・種レベルまでの同定を、本科研費で初年度に購入した微分干渉顕微鏡下で行い、形態レベルの群集組成リストを作成した（嶋永研究室担当）。

形態レベルの同定の結果、複数の海山カルデラ内のチムニー壁面に生息する共通種と判定された個体群に関しては、COI 遺伝子の解析を行い、同一種であることを確かめる他、集団遺伝的解析も行った（渡部担当）。

さらにチムニー表面と周辺の非熱水域の海底堆積物や、そこに生息していたメイオベントス生体内の炭素の安定同位体比、放射性同位体比を測定し、各生息地におけるメイオベントスの化学合成由来有機物への依存度の違いを分析した（野牧担当）。

4. 研究成果

すべての海底火山カルデラ周辺において、海底ではカルデラ外部からチムニー麓に至るまで、線虫類が優占する一方、チムニー表面では底生カイアシ類とその幼生であるノープリウス幼生が優占した。このメイオベントス高次分類群レベルの群集構造の空間変異と最も関連が高かった環境要因は炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)であった。これは熱水噴出直近部から海底火山カルデラ外に至るまでのメイオベントス群集の組成分類群の変化は化学合成細菌への依存度の相違であることを強く示唆している(投稿中)。

すべてのカルデラ内熱水域のチムニー表面から、数少ない熱水域固有のメイオベントスであり、本海域周辺からは初記録となるウオジラミ目 Dirivultidae 科カイアシ類成体を多数発見した。本科はチムニー表面でも高温域に生息するイトエラゴカイの棲管マット上で優占する一方、チムニー表面のより低温域に分布する蔓脚類ネッスイハナカゴのコロニーやバクテリアマットでは、通常で線虫に次いで数の多いソコミジンコ目カイアシ類が優占していた。Dirivultidae 科カイアシ類のうち、最も優占した *Stygiopontius* sp. は形態・遺伝子分析の結果、同属の新種であり、約 30km 離れたカルデラ間で遺伝的交流があることが分かった(投稿準備中)。

本種は Dirivultidae 科の他種で示唆されているように幼生時にカルデラ間を浮遊移動後、熱水域に進入すると考えられるが、脱皮により変態と体と脚の増節を繰り返すカイアシ類の幼生の形態からは種同定が困難な上、小型のため DNA 抽出に標本全体が必要となり、抽出後形態情報が消失する、という研究上の難点があった。だが我々は *Stygiopontius* sp. 遺伝子分析に際し、彼らの外部形態を保持したまま体内の DNA を抽出する方法を確立した(文献)。今後、この方法を初期幼生に応用すれば、極めて知見の乏しい熱水域メイオベントス各種の幼生の同定と形態変化をトレースすることが可能であるため、熱水性メイオベントス各種の生活史の特異性と類似性を明らかにすることが期待できる。

一方、チムニー表面でも比較的低温で優占したソコミジンコ群集は、海山カルデラごとに科レベルの組成が全く異なった。この結果は、一般に浮遊幼生期の無いソコミジンコ類の場合、本研究対象とした各カルデラ内の熱水生態系への進入、群集形成は、それぞれ独自に起きたこと、20-30km スケールでも、熱水域間の同種個体群間の移動の頻度は極めて少なく、ウオジラミ目カイアシ類群集で見られた、熱水に適応した種(本研究対象区では *Stygiopontius* sp.) による群集組成の均一化が起きていないことを示唆している。なお、プランクトンサンプル中に線虫類や底生カイアシ類の成体個体は今のところ確認されていない。

熱水域に生息する底生生物の化学合成細菌生産物への依存度の推定には、炭素安定同位体比分析が利用されてきた。この分析の結果、チムニー表面の Dirivultidae 科の成体の体の安定同位体比は高く($\delta^{13}\text{C} > -15\text{‰}$)、化学合成細菌が生成した有機物の主たる消費者であること、ソコミジンコ類は光合成由来物質と化学合成有機物双方に依存することが示唆された。これは、群集構造解析や遺伝子分析の結果から推察される Dirivultidae 科とソコミジンコ類の熱水域への進入、適応、進化プロセスの相違と一致し、非常に興味深い。

しかし化学合成生態系には炭酸固定経路の違いにより炭素安定同位体比が高いもの($\delta^{13}\text{C} > -15\text{‰}$)と低いもの($< -30\text{‰}$)があり、双方利用する生物の場合、光合成産物を摂取する生物と区別できない(共に-20‰前後)という欠点があった。一方、熱水域の化学合成有機物の放射性炭素同位体濃度($\Delta^{14}\text{C}$)は固定経路に関係なく光合成有機物よりはるかに低い値を示す。この原理を応用した予備分析で、我々はチムニー高温部に生息する Dirivultidae 科の成体は、同所的に生息するイトエラゴカイと同様、化学合成有機物を主たる餌資源として利用することを明らかにした(投稿準備中)。さらに、この微量分析方法の応用により、体サイズの小さいメイオベントスでも分類群による化学合成有機物依存度の差異が定量的に比較可能なことも確認できたのである。

このように、我々は本研究を通して、近接する海底火山カルデラ内の熱水域に生息するメイオベントス群集の一部の種は、化学合成有機物への依存性が極めて高く、またカルデラ間での遺伝的な交流を行っているのに対し、大多数の種は各カルデラ内熱水域に独立して侵入し、化学合成細菌への依存度(熱水環境への適応度)は比較的低く、生息しているカルデラ内以外の熱水域に海流などによって生きたまま移動し、分布を広げる頻度は低いことを示した。

今後は、本研究期間中に開発・検討した DNA 抽出法や同位体比分析法を応用して、Dirivultidae やソコミジンコ目のカイアシ類をはじめとするメイオベントス種間の化学合成由来有機物への依存度の違いや、同一種個体の成長に伴う食性の変化などを明らかにすれば、従来の方で研究が極めて難しかった深海熱水域メイオベントス種の生活史の共通性と多様性を明らかにできよう。

< 引用文献 >

Setoguchi, Y, H. Nomaki, T. Kitahashi, H. Watanabe, K. Inoue, N. O. Ogawa, M. Shimanaga. Nematode community composition in hydrothermal vent and adjacent non-vent fields around Myojin Knoll, a seamount on the Izu-Ogasawara Arc in the western North Pacific

Ocean. Mar. Biol. 2014. vol. 161. pp. 1775-1785

Watanabe KH, Senokuchi R, Shimanaga M, Yamamoto H. Comparison of the efficiency of three methods of DNA extraction for deep-sea benthic copepods. JAMSTEC Rep. Res. Dev. Vol.23, 2016, pp. 52-59.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Watanabe KH, Senokuchi R, Shimanaga M, Yamamoto H. Comparison of the efficiency of three methods of DNA extraction for deep-sea benthic copepods. JAMSTEC Rep. Res. Dev. vol. 23, 2016, pp. 52-59.

〔学会発表〕(計10件)

嶋永元裕, 瀬之口れいな, 上島優貴, 渡部裕美, 野牧秀隆, 北橋倫. 伊豆諸島海域の近接する海底火山カルデラにおける熱水固有カイアシ類 Dirivultidae の群集組成の空間変異と栄養生態. 第54回日本甲殻類学会大会. 2016年10月22-23日. 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

嶋永元裕, 上島優貴, 瀬之口れいな, 北橋倫, 野牧秀隆, 渡部裕美. 近接する海底火山カルデラ内熱水域のメイオフアウナ群集組成と食生 - 熱水性カイアシ類はホットな場所でホットフードを食べるのが好き□. 2016年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会. 2016年9月7-10日. 熊本県立大学(熊本県熊本市)

渡部裕美, 瀬之口れいな, 上島優貴, 野牧秀隆, 北橋倫, 嶋永元裕, 山本啓之. 深海熱水噴出域に生息する *Stygiopontius* 属(ウオジラミ目: Dirivultidae) の系統地理. 2016年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会. 2016年9月9日7-10日. 熊本県立大学(熊本県熊本市)

Shimanaga M, Senokuchi R, Uejima Y, Nomaki H, Watanabe H, Kitahashi T. Meiofaunal community compositions and their food sources around hydrothermal vents in three seamounts in NW Pacific - Copepods like "hot" food, but nematodes do not?-. 16th International Meiofauna Conference. 2016年7月3-8日. Aquila Atlantis Hotel, Heraklion, Greece

嶋永元裕, 瀬之口れいな, 上島優貴, 野牧秀隆, 渡部裕美, 北橋倫. 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□. 日本地球惑星科学連合2016年大会. 2016年5月22-26日.

幕張メッセ 千葉県千葉市

野牧秀隆, 上島優貴, 小川奈々子, 山根雅子, 渡部裕美, 瀬之口れいな, 北橋倫, 横山祐典, 大河内直彦, 嶋永元裕. 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アウナの食性と熱水域での分布パターンとの関連. 日本地球惑星科学連合2016年大会. 2016年5月22-26日. 幕張メッセ 千葉県千葉市

渡部裕美, 瀬之口れいな, 上島優貴, 野牧秀隆, 北橋倫, 嶋永元裕, 山本啓之. 深海化学合成生物群集に生息する底生性カイアシ類集団の遺伝的連結性. 日本地球惑星科学連合2016年大会. 2016年5月22-26日. 幕張メッセ 千葉県千葉市

Nomaki H, Uejima Y, Ogawa NO, Yamane M, Watanabe HK, Senokuchi R, Kitahashi T, Yokoyama Y, Ohkouchi N, Shimanaga M. Nutrition sources of deep-sea meiofauna at hydrothermal vent and adjacent non-vent areas revealed by stable carbon and nitrogen isotope ratios and natural radiocarbon abundances. 10th International Conference on the Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies (IsoEcol 2016). 2016年4月4日. University of Tokyo, Japan.

上島優貴, 嶋永元裕, 野牧秀隆, 渡部裕美, 北橋倫. 明神海丘・明神礁カルデラ・ペオネース海丘の熱水域・非熱水域におけるメイオフアウナ群集構造の把握. ブルーアースシンポジウム2015. 2015年3月19-20日. 東京海洋大学(東京都品川区)

瀬之口れいな, 嶋永元裕, 北野健, 渡部裕美, 野牧秀隆, 北橋倫. 伊豆・小笠原海域から初めて発見された熱水性カイアシ類 *Stygiopontius* の形態と環境特異性の検討. ブルーアースシンポジウム2015. 2015年3月19-20日. 東京海洋大学(東京都品川区)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

嶋永元裕 (SHIMANAGA, Motohiro)

熊本大学・沿岸域環境科学教育研究センタ

一・准教授

研究者番号：70345057

(2)研究分担者

渡部 裕美 (WATANABE, Hiromi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・技術主任

研究者番号：50447380

野牧 秀隆 (NOMAKI, Hidetaka)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・主任研究員

研究者番号：90435834

(3)連携研究者

該当なし

(4)研究協力者

該当なし