

— 原著論文 —

熱水噴出域のメイオファウナの定量的研究における サンプラーバイアスについて： 内径の異なる2種類のハンドコアラによる堆積物の比較

北橋 倫^{1*}, 嶋永 元裕², 井上 広滋³, 渡部 裕美⁴

八丈島の南南西沖約150kmに位置する明神海丘におけるROVハイパードルフィンのDive#820～822において、内径の異なる2種類のハンドコアラ（MBARI式コアラ[MC]；内径7cm，北里式コアラ[KC]；内径8cm）により採集された堆積物を用いて、メイオファウナの採集効率と鉛直分布について調査した。採集効率はコアラの種類によらず、堆積物直上の表層海水が抜けると低くなることが示唆された。また、KCで採集された堆積物ではメイオファウナが堆積物の表層に集中する一般的な鉛直分布パターンと一致したが、MCにより採集された堆積物中ではメイオファウナは表層から深層まで一様に分布し、さらに、高次分類群の群集構造もKCと異なった。これら2種類のコアラの差異の原因は、コアラの内径や堆積物サンプルの周縁部や表面に与える攪乱の大きさの違いによると考えられた。熱水噴出域におけるメイオファウナの研究のためには、ROVなどを用いた堆積物コアの採集が不可欠であるが、本研究の結果は、異なる種類のコアラで採集されたサンプルの比較には、注意が必要であることを示唆している。

キーワード：熱水噴出域，サンプラーバイアス，メイオファウナ，採集効率，鉛直分布

2009年10月21日受領；2009年12月25日受理

- 1 熊本大学大学院自然科学研究科
- 2 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター
- 3 東京大学海洋研究所
- 4 独立行政法人海洋研究開発機構・極限環境生物圏研究センター

*代表執筆者：

北橋 倫

熊本大学大学院自然科学研究科

〒861-6102 熊本県上天草市松島町合津6061

0969-56-0277

089d8081@gsst.stud.kumamoto-u.ac.jp

著作権：独立行政法人海洋研究開発機構

— Original Paper —

Sampler Bias in the Quantitative Study on Meiofauna around Hydrothermal Vents: Comparisons of Sediments Collected Using Two Types of Handcorers with Different Diameters

Tomo Kitahashi^{1*}, Motohiro Shimanaga², Koji Inoue³, and Hiromi Watanabe⁴

Two types of handcorers with different internal diameters (MBARI type corer [MC] ; 7cm, KITAZATO type corer [KC] ; 8cm) were evaluated for their sampling efficiency and sampler bias on meiofauna, based on the samples collected with these corers during dives #820 ~ 822 of ROV "Hyper Dolphin" at Myojin Knoll, which is about 150km south-southwest of Hachijo Island. It was suggested that the sampling efficiency became worse when overlying water above sediment is leaked from the core samples, regardless of corer type. Meiofauna in the sediments collected with KC showed the "general" vertical distribution pattern; meiofauna were concentrated in the surface layer of the sediments. On the other hand, in the sediments collected with MC, the vertical profiles of meiofauna were rather "uniform". Furthermore, the community compositions at higher taxonomic level were different from those in the sediments collected with KC. These differences between the corers would be attributed to the differences in core diameter and the degree of disturbance to the edge and surface of the sediment samples. Handcorer-sampling with ROVs or submersibles is essential to the studies on meiofauna around hydrothermal vents. These results of this study, however, suggest that comparing meiofaunal data based on samples collected with different types of handcorers should be done carefully.

Keywords: hydrothermal vent, sampler bias, meiofauna, sampling efficiency, vertical distribution

Received 21 October 2009 ; Accepted 25 December 2009

- 1 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
- 2 Center for Marine Environment Studies, Kumamoto University
- 3 Ocean Research Institute, University of Tokyo
- 4 Institute of Biogeosciences, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

*Corresponding author:

Tomo Kitahashi
Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
6061 Aitsu, Matsushima, Kami-Amakusa, Kumamoto 861-6102, Japan
Tel. +81-969-56-0277
089d8081@gsst.stud.kumamoto-u.ac.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

熱水噴出域は、深海において地質活動が活発な場所に生じる。このような場所は、硫化水素などの還元物質に富んだ熱水が噴出し、生物にとって極限的な環境である。1977年のガラパゴス諸島沖の大洋底拡大軸付近での熱水噴出域の発見以来、このような地域でのメガ・マクロファウナ、もしくは細菌の群集構造については多くの研究がある(Grassle, 1986)。しかしメイオファウナについては、深海生物の重要な要素の1つであるにも関わらず、よく知られていない(Giere, 2008)。

深海底のメイオファウナの採集には通常、マルチプルコアラーやボックスコアラーが用いられる(Gage & Tyler, 1991)。しかし、熱水噴出域は局所的に分布していることに加え、堆積物は岩盤の上に薄く堆積しているため、船上から海中に投下するこれらの測器での採集は困難である場合が多い。そのため熱水噴出域での堆積物採集は、潜水艇により海底に近づき、マニピュレータでハンドコアラーを操作して行うことが望ましいと考えられる。ただし、研究の遂行にあたって、用いるコアラーの種類によるメイオファウナの採集効率の違いを考慮する必要がある。異なる測器によるメイオファウナの採集効率の違いについてBett et al. (1994) は、ボックスコアラーによる採集ではマルチプルコアラーによる採集と比較して、メイオファウナの採集効率が低いこと、また、測器による採集効率の違いが分類群により異なることを示した。また、Shirayama & Fukushima (1995) は、この分類群によって異なる測器の採集効率の違いは、コアが堆積物に挿入される前にコアによ

り生じる波(bow wave)と関係があることを示唆した。しかし、ハンドコアラーで使用するコアの種類による採集効率の違いについての研究はほとんどない。そこで、本研究は、内径の異なる2種類のコアラーのメイオファウナの採集効率を比較することを目的とした。また、メイオファウナの堆積物中での鉛直分布についても比較した。

2. 材料と方法

サンプリングは、2008年4月にJAMSTECの海洋調査船「なつしま」NT08-07 leg2航海において、八丈島の南南西沖約150kmに位置する明神海丘で行われた(Fig. 1)。ROVハイパードルフィン(Dive#820~#822で堆積物を採集し、各潜航地点は、カルデラ内非熱水域(Dive#820)、カルデラ斜面非熱水域(Dive#821)、カルデラ内熱水域(Dive#822)に位置するようにした(Fig. 1)。各潜航において約100mの間隔をあけて3か所で、JAMSTECで使用されている2種類のコアラー、MBARI式コアラー[MC](Fig. 2a, 内径; 7cm)と北里式コアラー[KC](Fig. 2b, 内径; 8cm)で1~2mの間隔をあけて1本ずつ、計2本のコアラーを用いて堆積物のコアサンプルの採集を行った。なお、Dive#820の潜航地点は堆積物表層を礫が覆っていたため、KCサンプル3つの内2つは、堆積物の採集を断念、もしくは採集に失敗した。得られた堆積物サンプルを船上で直ちに、堆積物直上の表層海水と、表層から0-1cm、1-3cm、3-5cm、5-7cm、7-10cmの堆積物に分割した。なお、深さ10cm以上得られなかったサンプルは、分割を途中で止めた。また、コアによっては、揚

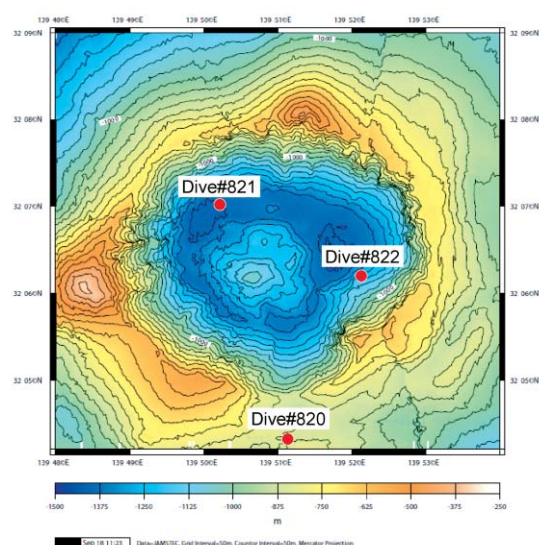


Fig. 1. Sampling points at Myojin Knoll

図1. 明神海丘におけるサンプリングポイント

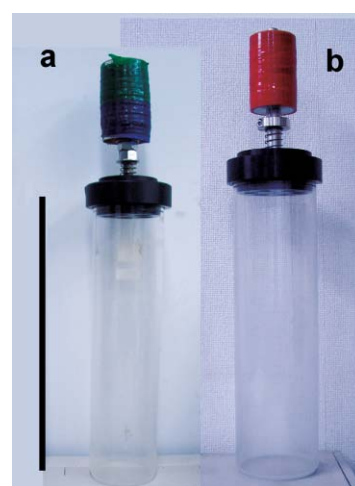


Fig. 2. (a) MBARI type corer (MC) and (b) KITAZATO type corer (KC) Scale bar indicates 30cm.

図2. (a)MBARI式コアラー(MC)と(b)北里式コアラー(KC) スケールバーは30cmを表す。

収時にすでに表層海水が抜けているものもあった (Table 1). 分割されたサンプルを, さらにローズベンガル入り (最終濃度0.1g/l) の5%中和ホルマリン海水で染色・固定した.

本研究の目的は, 内径の異なる2種類のコアラーのメイオファウナの採集効率と鉛直分布を比較することである. そこで, 同じ地点で2種類のコアによるサンプルがあり, さらに, どちらのサンプルも深さ5cm以上あるDive#822-M01~04のサンプルを解析に使用した. 以下, 単にM01, M02, M03, M04と表記し, M01とM02の採集地点を地点A, M03とM04の採集地点を地点Bとする. これらの堆積物サンプルは下船後, 目合い1mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m, 38 μ mの篩を用いて分画し, 分画ごとに実体顕微鏡下でメイオファウナを高次分類レベルで分類・計数した. なお, 解析には深さ5cmまでのサンプルを用いた.

3. 結果

今回解析に使用した堆積物はすべて細粒砂であり, M03には少量の礫も混ざっていた. M01~M04の堆積物0-5cm内のメイオファウナの個体数密度をTable 2に, 堆積物中の鉛直分布をFig. 3に示す. メイオファウナ全体の密度は, M01で最も低く41.6ind./10cm²であったが, その他は100ind./10cm²前後であり, 大きな違いはなかった (Table 2). また, M03以外は何の層でも線虫類 (Nematoda) が優占した (Fig. 3).

地点AのM01 (MC) とM02 (KC) を比較すると, メイ

オファウナ全体の密度が大きく異なり, M01の密度は, M02の約半分であった (Table 2). 線虫類に対するカイアシ類の割合は, M01では約0.029, M02では約0.19であり, 大きな違いがあった. また, 鉛直分布パターンに関しても違いがあり, M01では, 表層0-1cmに全体の35%のメイオファウナが存在し, その密度は堆積物深度と共にほとんど変化しないが, M02では, 表層0-1cmに全体の約57%のメイオファウナが集中し, 密度はより下層で急激に減少した (Fig. 3).

一方, 地点BのM03 (MC) とM04 (KC) を比較すると, メイオファウナ全体の密度に大きな違いはないが, 高次分類群レベルでの群集組成が大きく異なり, 線虫類に対するカイアシ類の割合は, M03では約2.6, M04では約0.21であった. また, 両者は鉛直分布のパターンも異なりM03では, 表層0-1cmに全体の約20%のメイオファウナが存在し, 全ての層でほぼ同じ密度であったが, M04では, 表層0-1cmに全体の約55%のメイオファウナが集中し, 下層では急激に減少し, 3-5cmではメイオファウナは確認されなかった (Fig. 3).

Table 2. Meiofauna density (ind./cm²) at Myojin Knoll
Others include nauplius, polychaetes, etc.

表2. 明神海丘におけるメイオファウナの密度 (ind./cm²)
Others にはノープリウス幼生や多毛類などを含む.

		Nematoda ind./10cm ²	Copepoda ind./10cm ³	Others ind./10cm ²	Total ind./10cm ²
Site A	M01 (MC)	35.4	1.0	5.2	41.6
	M02 (KC)	84.4	15.9	10.4	110.7
Site B	M03 (MC)	8.3	21.8	61.4	91.5
	M04 (KC)	48.2	10.4	36.2	94.7

Table 1. Sampling sites at Myojin Knoll and the sediment samples

表1. 明神海丘におけるサンプリングサイト及び得られた堆積物サンプル

	date	latitude	longitude	water depth (m)	sample name	corer type	description of collected sediment
Non-hydrothermal area in caldera	13 Apr. 2008	32°04.544'N	139°51.072'E	870	Dive#820-M01	MC	rock (overlying water)
						KC	abandoned for sampling
		32°04.535'N	139°51.127'E	859	Dive#820-M02	MC	rock and 4cm sediment (overlying water)
					Dive#820-M03	KC	rock and 4cm sediment (no overlying water)
		32°04.535'N	139°51.136'E	860	Dive#820-M04	MC	only overlying water
						KC	failed to collect
Non-hydrothermal area on caldera edge	23 Apr. 2008	32°06.887'N	139°50.500'E	1391	Dive#821-M01	MC	10cm sediment (no overlying water)
					Dive#821-M02	KC	6cm sediment (no overlying water)
		32°06.934'N	139°50.501'E	1395	Dive#821-M03	MC	1cm sediment (overlying water)
					Dive#821-M04	KC	1cm sediment (no overlying water)
		32°06.994'N	139°50.498'E	1393	Dive#821-M05	MC	failed to divide the sediment
					Dive#821-M06	KC	10cm sediment (overlying water)
Hydrothermal vent field in caldera	14 Apr. 2008	32°06.249'N	139°52.040'E	1305	Dive#822-M01	MC	10cm sediment (no overlying water)
					Dive#822-M02	KC	10cm sediment (overlying water)
		32°06.219'N	139°52.115'E	1253	Dive#822-M03	MC	10cm sediment (overlying water)
					Dive#822-M04	KC	10cm sediment (overlying water)
		32°06.213'N	139°52.167'E	1224	Dive#822-M05	MC	10cm sediment (overlying water)
					Dive#822-M06	KC	3cm sediment (overlying water)

4. 考察

メイオファウナの採集効率について、2種類のコアラーのメイオファウナの密度を比較すると、地点Bにおいては、2種類のコアのメイオファウナの密度に大きな違いはなかったが、地点Aでは、表層海水が抜けていたM01の密度が、抜けていないM02と比べて低かった (Table 2)。観測例が少なく、地点Aでの2つのコアの密度の差が実際のメイオファウナの局所的な空間変異を反映している可能性を否定できないものの、この結果は、採集された堆積物全体ではMCとKCにメイオファウナの採集効率に大きな違いはないが、採集もしくは揚収の過程で表層海水が抜けると採集効率が落ちることを示唆する。

メイオファウナは一般に、堆積物の表層に集中して分布する傾向がある (Shirayama, 1984)。本研究でもA, B両地点のKCサンプル (M02とM04) ではメイオファウナが表層0-1cmに集中しており、一般的な傾向と一致した (Fig. 3)。一方、MCサンプル (M01とM03) ではKCと同じ地点で採集したにも関わらず、全ての堆積物深度で同じような密度になった (Fig. 3)。このことから、MCによる採集では、表層海水がコアから抜けるか抜けないかに関わらず、メイオファウナが堆積物のより下方に流れ、鉛直分布が乱れてし

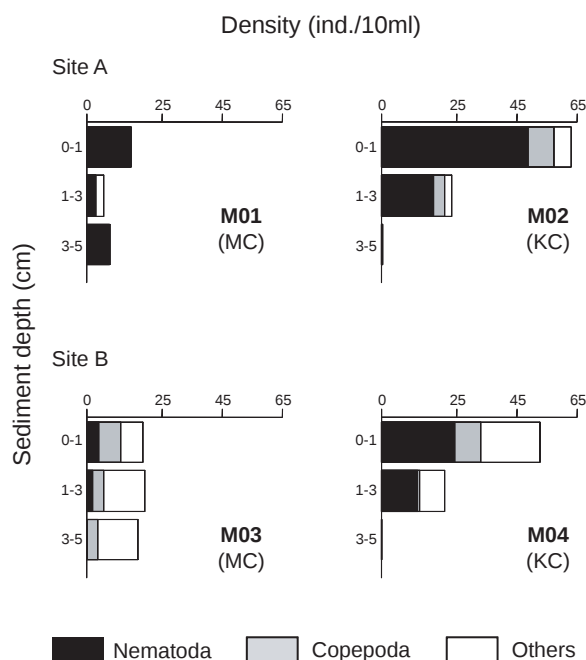


Fig. 3. Vertical distribution of meiofauna in sediments
Vertical axes indicate the depth from surface of sediment and horizontal axes indicate Nematoda, Copepoda or other meiofauna density.

図3. 堆積物中のメイオファウナの鉛直分布
縦軸は堆積物表層からの深さ、横軸は線虫類・カイアシ類及び、その他のメイオファウナの密度を表す。

まうと考えられる。さらに、2種類のコアラーとも表層海水が抜けておらず、群集組成に大きな違いはないだろうと考えられる地点Bにおいて、MCとKCの全体のメイオファウナの組成が大きく異なっていることから (Table 2)、MCサンプルでは、鉛直分布のパターンだけではなく、群集組成も変化することが示唆される。これらの違いを生じさせる要因は何だろうか？メイオファウナの鉛直分布パターンにおける2種類のコアサンプルの違いは、コアラーの内径の差異によるものであると考えられる。コアサンプルの側面付近は、コアとの摩擦によって、上位の層準の堆積物が下流しており、堆積物の層序が攪乱されている可能性がある (的場, 1978)。コアの内壁からどの程度まで攪乱されるかは明らかでないが、2種類のコアラーで攪乱の及ぶ範囲が同程度であると仮定しても、採集面積に対する攪乱される周縁部の割合は、コアラーの内径が小さいと増加するため (Fig. 4)、内径の小さなMCの方が採集時の堆積物の攪乱の程度が大きくなり、鉛直分布の変化が著しいのではないかと考えられる。さらにコアラーの上部にある逆流防止弁の強さは、KCよりもMCの方が強く、MCでは弁からの海水の抜けがよくない。このため堆積物にコアラーを挿入する速さは同じでも、コアラーの内壁と堆積物との摩擦がMCで大きく、MCによる採集では堆積物への攪乱が大きいのではないだろうか。また、弁から海水が一気に抜ける際に、堆積物表層を舞い上がらせることがあるため、MCでの採集時にはコアラー内で堆積物が一度舞い上がり再堆積し、鉛直分布が変化しているとも考えられる。また、2種類のコアラーによるメイオファウナの堆積物の層別での密度の違いは、表層0-1cmで最も顕著であった (Fig. 3)。これ

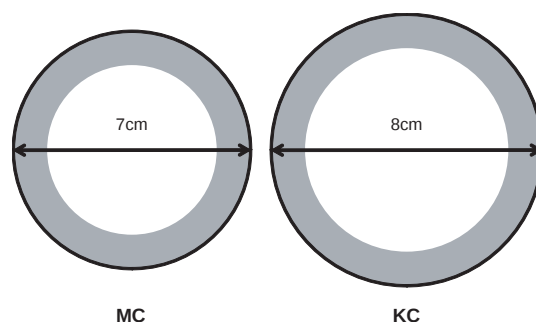


Fig. 4. Hypothetical disturbance of sediments by MBARI type (MC) and KITAZATO type (KC) corers
Gray zones indicate the margin areas disturbed by the inside of corer. The ratio of the margin area to the sampling area of MC is larger than that of KC.

図4. MBARI式コアラー (MC) 及び、北里式コアラー (KC) の堆積物の攪乱の仮想の様子
灰色部はコアラーの内壁により攪乱される周縁部を示す。KCよりMCの方が採集面積に対する周縁部の割合が大きい。

は、コアラが堆積物に挿入される前に生じるbow waveの影響の度合いが2種類のコアラで異なることが原因であるかもしれない。表層の堆積物は柔らかく、bow waveにより堆積物表層の生物が失われ易いと考えられる (Blomqvist, 1991)。本研究の場合、MCの方がKCよりも、堆積物表層に与えるbow waveの影響が大きかったため、MCでは、表層のメイオファウナの密度が低かった可能性がある。

このbow waveは、メイオベントスの群集組成にも影響するだろう。Shirayama & Fukushima (1995) は、堆積物表層のソコミジンコ類が、マルチプルコアラよりもボックスコアラで採集された堆積物で密度が低いことを示し、これは、ソコミジンコ類が表層に集中する傾向が高く、ボックスコアラの方がbow waveの影響が大きいためであると考察した。また、マルチプルコアラとボックスコアラのbow waveの大きさの違いや、性によるbow waveの影響の受けやすさの違いが、採集されたソコミジンコ類の性比に影響している可能性も指摘されている (Thistle & Eckman, 1990)。先ほどと同様に、MCの方が、堆積物に与えるbow waveの影響が大きいとすると、堆積物表層への集中度合いやbow waveの受けやすさが分類群により異なっていることから、MCサンプルの群集組成は、より強いサンプリングバイアスがかかっているとも考えられる。しかし、本研究では、群集組成に対するコアラの種類の影響は、鉛直分布に与える影響よりも明瞭ではない。地点Aでは、線虫類に対するカイアシ類の割合はKCサンプルの方がMCサンプルより高かったのに対し、地点Bでは、この割合はMCサンプルの方が高かった (Table 2)。これらの同じ地点における2つのコアラサンプルの組成の差は、コアラによる分類群により異なる採集効率の差ではなく、調査地点の群集構造のcmスケールの空間変異を反映している可能性は否定できない。ただし、2種類のコアラの群集組成の差の原因について、はっきりしたことは言えないが、2つの地点のMCサンプル同士、KCサンプル同士を比較すると、線虫類に対するカイアシ類の割合や、線虫類・カイアシ類以外のメイオファウナの割合は共に地点Bの方が高く (Table 2)、どちらの種類のコアラでも地点間の相対的な群集組成の差は保存されることが示唆された。このため、同一のコアラで採集されたサンプルを比較する場合、地点間の群集構造の違いはある程度評価できるようである。

メイオファウナが堆積物の表層に集中する傾向は、深海底に供給される有機物量が少ないことで説明される (Shirayama, 1984)。有光層以深の生物は、海底に供給される有機物に依存しているが、深海では有機物が不足するためメイオファウナは表層に集中する。このメイオファウナ密度の鉛直分布パターンと有機物量との関係は、アラビア海 (Sommer & Pfannkuche, 2000) やペルー沖 (Neira *et al.*,

2001) などでも報告されている。また、メイオベントスの鉛直分布パターンは、供給される有機物量だけでなく有機物の質 (Danovaro *et al.*, 1995)、マクロファウナによる堆積物攪乱の程度や、生物による酸素の消費量 (Shirayama, 1984) と関係があることが示唆されている。さらに、鉛直方向の群集構造の変化も重要な情報である。白山 (1987) は、初島沖冷水帯の線虫類では、表層と下層の群集の類似度が、シロウリガイ群集外よりも群集内の方で高いことを見出し、一般には深層で見られる還元的で貧酸素の環境が、シロウリガイ群集内では表層にも存在するためではないかと考察している。このように、メイオファウナの堆積物中の鉛直分布は、深海メイオファウナ群集に影響を与える要因の考察に有用な情報を含んでいるため、堆積物サンプルに鉛直分布が保存されていることが望まれる。

以上より、異なる研究のサンプルやデータを比較する際には、採集に用いられた測器の種類だけでなく、コアラの内径や種類も考慮する必要があることが示唆された。異なる種類のコアラで採集されたサンプルの比較の場合、群集構造の差が地点間の群集構造の差を表しているのか、コアラの種類によるバイアスの差なのかを判別することは難しい。そのため、比較には同一種類のコアラで採集されたサンプルを用いることが望ましく、異なるコアラで採集されたサンプルを比較する際には、この点に留意する必要があるだろう。また、メイオファウナの群集構造の定量的な解析には、メイオファウナの鉛直分布が保存されていると思われるKCで採集されたサンプルで、表層海水が残っているものを用いる方が望ましいことが示された。ただし、鉛直分布の再現性には疑問があるが、同じMCによるサンプル同士の比較ならば、MCの場合であっても、堆積物全体の高次分類群の割合の空間変異は、ある程度反映するようであり、解析に耐えうる可能性は十分ある。また、種レベルの群集構造を比較する場合、ある種が存在するかしないかの、定性的なデータならば、種類の異なるコアラで採集されたサンプルの比較は可能かどうか、検討する余地はまだあるだろう。いずれにせよ、熱水噴出域のメイオファウナについての研究は、数が少なく (Giere, 2008)、熱水噴出域の群集構造の解明のためには、本調査地での今後の調査や採集方法の改良が期待される。

5. まとめ

明神海丘において、内径の異なる2種類のコアラ (MBARI式コアラ [MC]; 内径7cm, 北里式コアラ [KC]; 内径8cm) を用いて、堆積物が採集された。堆積物全体では、メイオファウナの採集効率はコアラ

の種類により変化しないが、表層海水が抜けると、採集効率が落ちることが示唆された。また、KCによる採集ではメイオファウナが堆積物の表層に集中する一般的な鉛直分布パターンを示したが、MCで採集された堆積物ではメイオファウナの密度は堆積物深度と共に大きく変化しなかった。さらに、MCによる採集ではメイオファウナの群集組成が変化することも示唆された。これらの差は、2種類のコアラーの内径と、堆積物サンプルの周縁部や表層に与える攪乱の大きさの違いによると考えられる。以上の結果から、種類の異なるコアラーで採集されたサンプルの比較には注意が必要であり、メイオファウナの定量的解析には、メイオファウナの鉛直分布が保存されていると思われるKCで採集され、表層海水が残っている堆積物サンプルの使用が望ましいことが示された。ただしKCを用いた場合でも、現場での堆積物採集に失敗したり、甲板に揚げた時点で海水がコアサンプルから抜けている場合が多かったことから、コア内の機密性を向上させるなどの改良が今後必要であろう。化学合成生物群集の群集構造の解明の重要性から、定量的解析に耐えられるサンプリングと、それを可能にするサンプリング方法の開発が望まれる。

謝辞

調査航海における「なつしま」の乗組員のみなさんと、「ハイパードルフィン」の運航チームのみなさんの多大なる尽力に感謝申し上げます。また、測器について多大な助言を頂いた、日本海洋事業株式会社、観測技術員の岡田聡氏、及び船上でのサンプル処理に協力して下さった、伊藤希氏、長谷川優氏、池田周平氏、石田貴之氏にも感謝申し上げます。

引用文献

- Bett, B.J. , Vanreusel, A. , Vincx, M. , Soltwedel, T. , Phannkuche, O. , Lambshead, P.J.D. , Gooday, A.J. , Ferrero, T. , Dinert, A. (1994), Sampler bias in the quantitative study of deep-sea meiobenthos, *Marine Ecology Progress Series*, 104, 197-203.
- Blomqvist, S., Quantitative sampling of soft-bottom sediments: problems and solutions, *Marine Ecology Progress Series*, 72, 295-304.
- Danovaro, R. , Fabiano, M. , Albertelli, G. , Croce, N.D. (1995), Vertical distribution of meiobenthos in bathyal sediments of the Eastern Mediterranean Sea: relationship with labile organic matter and bacterial biomasses, *Marine Ecology*, 16, 103-116.
- Gage, J.D. , Tyler, P.A. (1991), Deep-sea biology: A natural history of organism at the deep-sea floor, Cambridge University Press.
- Giere, O. (2008), Meiobenthology: The microscopic motile fauna of aquatic sediments (second edition), Springer.
- Grassle, J.F. (1986), The ecology of deep-sea hydrothermal vent communities, *Advanced Marine Biology*, 23, 301-363.
- 的場保望 (1978) , 1.資料採集 II.海底の資料, 高柳洋吉 (編)「微化石研究マニュアル」, 朝倉書店, 12-31.
- Neira, C. , Sellanes, J. , Levin, L.A. , Arntz, W.E. (2001), Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability, *Deep-Sea Research I*, 48, 2453-2472.
- Shirayama, Y. (1984), Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal, hadal deep sea systems of the Western Pacific, *Oceanologica Acta*, 7, 123-129.
- 白山義久 (1987) , 初島南東沖シロウリガイ群集内のメイオベントスの生態について, *JAMSTECR Deep-Sea Research*, No.1987, 69-73.
- Shirayama, Y. , Fukushima, T. (1995), Comparisons of deep-sea sediments and overlying water collected using multiple corer and box corer, *Journal of Oceanography*, 51, 75-82.
- Sommer, S. , Pfannkuche, O. (2000), Metazoan meiofauna of the deep Arabian Sea: standing stocks, size spectra and regional variability in relation to monsoon induced enhanced sedimentation regimes of particulate organic matter, *Deep-Sea Research II*, 47, 2957-2977.
- Thistle, D. , Eckman, J.E. (1990), What is sex ratio of harpacticoid copepods in the deep sea?, *Marine Ecology*, 107, 443-447.