

平成22年6月30日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20740302
 研究課題名(和文) 還元系発色試薬を用いた有孔虫呼吸量の生息現場測定と堆積物中の化学環境との関連
 研究課題名(英文) Relationships between benthic foraminiferal metabolism and chemical environments in the sediments estimated by incubation experiments
 研究代表者
 野牧 秀隆 (NOMAKI HIDETAKA)
 独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・研究員
 研究者番号：90435834

研究成果の概要(和文)：

底生有孔虫の堆積物中での分布および呼吸活性が、堆積物中の化学組成、特に溶存酸素量および硝酸塩、亜硝酸塩などの栄養塩類とどのように関連しているのかを、実験的な手法を用いて明らかにした。還元系発色試薬の有用性が示されるとともに、底生有孔虫の代謝が、間隙水の化学組成により支配される鉛直分布と密接に関連していることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：

I examined how the benthic foraminiferal distribution in the sediments and their metabolic activities relate to the environmental factors in the pore water by operating some laboratory and in situ incubation experiments. The results showed that the new methods we tested are applicable to wider ranges of foraminiferal studies. Results further suggest that foraminiferal metabolism well explain the vertical distributions in the sediments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：古生態、底生有孔虫、堆積物—水境界、化学環境

1. 研究開始当初の背景

底生有孔虫は海底に広く分布し、深海底の有機物循環に非常に重要な役割を果たしているほか、その殻が古環境復元にもよく用いられる重要な分類群である。底生有孔虫は、堆積物中で表層から深部に向かい鉛直方向

に種が棲み分けていることが報告され、その棲み分けは堆積物表層への沈降有機物供給量と、堆積物中の溶存酸素量により決まるとされている。特に、実験室内で有機物量や堆積物中の溶存酸素量を変化させて分布との関連を見ると、底生有孔虫の鉛直分布は間隙水中の溶存酸素量に大きく依存している。こ

れは、間隙水中の溶存酸素量が底生有孔虫の代謝に非常に重要であり、それにより深度分布が決まることを示唆している。

底生有孔虫の堆積物中での棲み分けがなぜ存在するのかという問題は、堆積物表層における mm 単位での物理・化学環境勾配とそれに対する生物応答という、生態学的、生物学的な興味にとどまらず、底生有孔虫を古環境指標として用いる古海洋学にも重要な情報を提供する。溶存酸素量、pH、溶存無機炭酸の炭素同位体比、有機物組成、などさまざまな環境情報は、堆積物の深度に応じて大きく変化する。底生有孔虫は間隙水中のどんな物理化学条件に依存して分布を変化させ、その殻に情報を記録しているのだろうか。生息深度を正確に知ること、そしてその支配要因を知ることがそれらの環境情報の精密な還元につながる。

研究代表者は、底生有孔虫の呼吸活性が種ごとに異なり、生息できる溶存酸素量の深度範囲が制限され、鉛直方向への棲み分けが見られるのだと仮説を立て、実験室内で底生有孔虫を微小チャンパーに入れ、酸素消費量を測定し、呼吸量を見積もった。しかし、測定時に実際の堆積物中の生息環境、特に溶存酸素量をコントロールして再現することは非常に困難であり、鉛直分布と呼吸量との関連性に明確な評価は下せなかった。現場の再現が難しければ、現場の生息環境下で呼吸量を測定するのがシンプルな解決法であるが、堆積物中という環境で有孔虫 1 個体による”酸素消費量”を測定することは不可能であり、従来の方法では呼吸量を測定することはできない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、堆積物中で生息している環境を保持したまま底生有孔虫の呼吸活性を測定することを目的とした。いくつかの船上実験を行い、有孔虫の分布と間隙水の化学組成との関連を明らかにした。同時に、還元系発色試薬による呼吸量測定法を、実験室内におけるいくつかの予備実験を行った後に海底堆積物を用いて実験を行い、実際に底生有孔虫が生息している微小環境下での呼吸活性を評価した。

3. 研究の方法

相模湾深海底における堆積物表層の化学環境勾配と底生有孔虫類の代謝活性、それに付随する有機物消費過程を明らかにするため、手法の検討と、現場及び室内における培養実験を行った。

(1) 実験室内で、用いる試薬の手法的検討、また、有孔虫細胞内の硝酸/亜硝酸濃度における試料処理、測定手法検討を行った。

(2) 硝酸塩濃度測定のための有孔虫試料処

理について、エタノール、ホルマリン固定、温度を変化させた冷凍固定、また、その後の処理方法などについて多くの手法を検討し、最適な方法を見出した。

(3) これらの手法を用い、相模湾において MTT を用いた船上培養実験を行い、有孔虫のミトコンドリア活性と細胞内の硝酸塩濃度、堆積物中の酸素、硝酸塩/亜硝酸塩濃度との関連を検討した。

(4) 堆積物中の異なる化学環境に生息する底生有孔虫の有機物消費量と代謝活性を調べるために、2009 年 5 月の青鷹丸航海で相模湾から採取した深海堆積物と有孔虫を用いて、室内培養実験を行い、さまざまな種がどのような炭素源を持つかを明らかにした。

4. 研究成果

(1) 室内で試薬の濃度および処理時間をさまざまに変えて検討を重ねた結果、還元試薬の MTT、INT について最適な培養期間を得ることができた。CTC については、自家蛍光との重なりが大きく、正確な評価を下すことが難しかった。

(2) 液体窒素中での急速冷凍と、その後の凍結乾燥による処理のみが、実際の濃度と差のない細胞内硝酸塩/亜硝酸塩濃度を示すことが明らかになった。多数の有孔虫試料の正確な濃度を調べる際に不可欠な手法である。

(3) これまで考えられていた有孔虫の深度分布と、実際に活性を示す分布との差異が明らかになった。これまでの手法では、底生有孔虫の鉛直分布は、種により差はあるものの数センチの比較的広い範囲に分布することが示されていたが、その中で MTT による活性を示した個体のみを調べると、1-2cm の狭い幅に分布していた。また、その分布は溶存酸素量や栄養塩濃度によく対応していた。深度分布を明らかにする際、細胞質の有無だけでなく、その活性を調べるのが重要であることを示す。*Globobulimina affinis* に関しては、浅部と深部でバイモーダルな分布を示し、同じ種内で、酸素呼吸に依存する個体と硝酸塩呼吸に依存する個体が共在することが示唆された。

(4) 酸素濃度の低い堆積物深部に生息する特定の有孔虫種が、その他の種とは異なる代謝経路をもっている可能性があることが示唆された。これは、堆積物深部の貧酸素、もしくは貧栄養状態への適応と思われ、堆積物中の化学環境が底生有孔虫の代謝経路やその活性に影響を与えていることを、定量的に明らかにした。

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 8 件)

- ① Nomaki H, Ogawa NO, Ohkouchi N, Toyofuku T, Kitazato H (in press) The role of meiofauna in deep-sea benthic food webs revealed by carbon and nitrogen stable isotope analyses. *In Earth, Life, and Isotopes* (Eds: Ohkouchi N, Tayasu I, and Koba K) Kyoto University Press, 2010, 査読あり
- ② Nomaki H, Ohkouchi N, Heinz P, Suga H, Chikaraishi Y, Ogawa NO, Matsumoto K, and Kitazato H. (2009). Degradation of algal lipids by deep-sea benthic foraminifera: an in situ tracer experiment. *Deep-Sea Research Part I* **56**: 1488–1503, 査読あり
- ③ Glud RN, Thamdrup B, Stahl H, Wenzhoefer F, Glud AN, Nomaki H, Oguri K, Revsbech NP, and Kitazato H. (2009) Nitrogen cycling in a deep ocean margin sediment (Sagami Bay, Japan) *Limnology and Oceanography* **54**: 723–734, 査読あり
- ④ De Nooijer LJ, Toyofuku T, Oguri K, Nomaki H, and Kitazato H. (2008) Intracellular pH-distribution in foraminifera determined by the fluorescent probe HPTS. *Limnology and Oceanography Method* **6**: 610–618, 査読あり
- ⑤ Nomaki H, Ogawa N O, Ohkouchi N, Suga H, Toyofuku T, Shimanaga M, Nakatsuka T, and Kitazato H. (2008) Benthic foraminifera as trophic links between phytodetritus and benthic metazoans: carbon and nitrogen isotopic evidence. *Marine Ecology Progress Series* **357**: 153–164, 査読あり
- ⑥ Shimanaga M, Nomaki H, and Iijima K (2008) Spatial changes in the distributions of deep-sea "Cerviniidae" (Harpacticoida, Copepoda) and their associations with environmental factors in the bathyal zone

around Sagami Bay, Japan. *Marine Biology*, **153**: 493–506, 査読あり

[学会発表] (計 30 件)

- ① 野牧秀隆、豊福高志、Christophe Fontanier、北里 洋. 深海底での有機物生産と有孔虫との関係. 2009 年度 MRC 研究発表会 (松江・島根大学、2010 年 3 月 18 日)
- ② 野牧秀隆、豊福高志、小山純弘、坂井三郎、井上健太郎. 日本海隠岐堆における深海生物群集と物質循環への貢献. *Blue Earth 2010* (品川・東京海洋大学、2010 年 3 月 3 日)
- ③ 野牧秀隆、豊福高志、Christophe Fontanier、北里 洋. 有孔虫による有機/無機炭素の利用-相模湾での観測結果から-. 2009 年度古海洋シンポジウム (中野区・東大海洋研、2010 年 1 月 7 日)
- ④ Nomaki H, Ohkouchi N, Chikaraishi Y, Suga H, and Kitazato H. Benthic foraminiferal lipid compositions and their isotopic compositions: are they clues to foraminiferal feeding habits? The Micropalaeontological Society's Foraminifera and Nannofossil Groups Joint Spring Meeting (チューリッヒ・スイス、2009 年 6 月 17 日)
- ⑤ 野牧秀隆、菅寿美、井上健太郎、小栗一将、北里洋. アラビア海酸素極小層の底生生物群集による有機物消費過程. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 (幕張、2009 年 5 月 19 日)
- ⑥ 野牧秀隆、菅寿美、井上健太郎、小栗一将、北里洋、岡田聡、YK08-11 乗船研究者一同. アラビア海酸素極小層の底生有孔虫類による有機物消費過程. ブルーアースシンポジウム 2009 (池袋・立教大学、2009 年 3 月 13 日)

- ⑦ 育実験のこれまでとこれから. MRC 研究
野牧秀隆、山岡明雄、大鋸朋生、北里 洋.
深海生底生有孔虫類の現場実験・室内飼
発表会 2009 (新宿国立科学博物館分館、
2009 年 3 月 3 日)
- ⑧ Nomaki H, Ohkouchi N, Ogawa NO, Suga H,
Oguri K, and Kitazato H. Benthic Activities
and Organic Carbon Consumption at the
Sediment-Water Interface Revealed by *in
situ* ¹³C-Tracer Experiments. 7th
International Symposium for Subsurface
Microbiology (静岡・日本、2008 年 11 月
18 日)
- ⑨ 野牧秀隆・豊福高志・Lennart de Nooijer・
菅 寿美・小栗一将・北里 洋. 堆積物間
隙水の化学組成に応じた底生有孔虫の深
度分布と代謝活性の関連. 日本古生物学
会 2008 年年会 (東北大学、2008 年 7 月 6
日)
- ⑩ Nomaki H, Ogawa NO, Suga H, Ohkouchi
N, Kitazato H. Particulate versus dissolved
organic matter uptake by deep-sea benthic
foraminifera revealed by *in situ* ¹³C-labeling
experiments. The Micropalaeontological
Society's Foraminifera and Nannofossil
Groups Joint Spring Meeting (チュービン
ゲン・ドイツ、2008 年 5 月 15 日)

[その他]

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/seika/pub-j/res/ress/nomakih/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野牧 秀隆 (NOMAKI HIDETAKA)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極
限環境生物圏領域・研究員

研究者番号：90435834