

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540504

研究課題名(和文) 深海底炭素固定量の現場観測と深海生態系への貢献度のモデル統合

研究課題名(英文) In situ measurement of dark carbon fixation at the deep-sea floor and its importances in the deep-sea benthic ecosystem

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・生物地球化学研究分野・主任研究員

研究者番号：90435834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：「光合成に依存していると考えられていた深海生態系に、化学合成の貢献はどの程度あるのか」を、さまざまな環境の深海底で炭酸固定量を現場測定することで明らかにした。添加した無機炭酸からの有機物生産量は海域ごとに大きく異なり、相模湾漸深海帯で最も高く、深海平原ではほとんど検出されなかった。また、炭酸固定を行うと期待される微生物の存在量と炭酸固定量との間には明確な相関は見られなかった。相模湾における海底での有機物生産量を定量化すると、沈降有機物供給量の1-2%を占める。沈降有機物が難分解性の有機物で占められることを考えると、海底で微生物により生産される有機物の役割は無視できない量であろう。

研究成果の概要(英文)：We investigated on the importance of chemolithoautotrophic carbon production at the deep-sea floor by performing in situ incubation experiments. The measured carbon fixation rates varied greatly among experimental sites. The carbon fixation rates were not correlated with the abundances of some prokaryotes which are expected to contribute carbon fixation at the deep-sea floor. The highest carbon fixation rate measured at bathyal Sagami Bay corresponded to 1 to 2 % of phytodetritus input rate to the seafloor. Considering the fact that sinking organic matters in the deep-sea mostly consist of refractory organic matter, the organic matter produced by chemolithoautotrophic microbes plays substantial roles in the deep-sea benthic ecosystems at Sagami Bay.

研究分野：深海生態学

キーワード：深海生態系 物質循環 炭酸固定 現場培養実験 同位体トレーサー

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 深海底の重要性とマリンスノーによる有機物供給

地球の表面積の半分以上は深海底であり、深海底の海水-堆積物間での物質の挙動は全球の物質循環に非常に重要な役割を果たしている。深海底には、海洋表層で植物プランクトンにより生産された有機物のうちの約1%以下が沈降有機物の形で供給される。このうちの大部分が無機化され、二酸化炭素や栄養塩として海水に放出され、再び海洋循環に戻り、残りの難分解性有機物や鉱物粒子が堆積物深部へと埋没されていく。

### (2) 光合成由来有機物と化学合成由来有機物

このように、一般的な深海生態系は光合成由来の有機物に支えられており、一部の例外として熱水噴出孔や冷湧水の付近に発達する化学合成生物群集が知られてきた。熱水噴出孔や冷湧水帯における面積当たりの生物生産量は非常に大きいものの、広大な深海底に点々と存在するために、深海底の有機物源全体としては、沈降有機物が優占している。

### (3) 独立栄養細菌遺伝子の広範な存在：化学合成は普遍的？

しかし、近年の研究で、有光層以深の水柱で化学合成性の独立栄養細菌による一次生産が、従属栄養生物による有機物の消費とほぼバランスしていることが報告され、化学合成による有機物生産が水柱において一般的、かつ重要であることが示唆された。さらに、化学合成性の独立栄養細菌であるアンモニア酸化菌のDNAが、通常の深海堆積物中に広く存在していることも報告されている。しかし、環境勾配が大きくさまざまなプロセスが起こり得ると考えられる海底面での炭素固定量は、依然として明らかにされていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、「光合成に依存していると考えられていた深海生態系に、はたして化学合成の貢献はどの程度あるのか」を、さまざまな環境の深海底で炭素固定量を現場測定することで明らかにする。海底での一次生産量とそのプロセスを明らかにし、海底面における炭素固定とその生態系への重要性について新たな知見をもたらすことを目的とした。

## 3. 研究の方法

深海底において、アンモニア酸化などに伴い固定される有機物量を定量化するため、海底に<sup>13</sup>Cで標識した重炭酸を散布し、一定期間後に回収した堆積物の有機物の炭素同位体比を測定した。この手法では、その炭素がどのようなプロセスで固定されたのかを明らかにすることはできないが、海域、深度ごとの定量化を行うことができる。そして、そこに栄養塩濃度のような環境因子と、微生物相、機能遺伝子などの周辺情報をあわせることで、海底での炭素固定量とともに、そのプ

ロセスを推定した。

### (1) 現場培養実験

深海底での実際の炭素固定量を見積もるために、現場培養装置を用いた現場培養実験を行い、いくつかの海域の深海底での炭素固定量を実測した。平成25年度に、貧栄養の赤道太平洋深海平原で、平成26年度に西部北太平洋深海平原において、潜水船を用いて実験を行うと同時に、堆積物や生物試料の採取、化学分析も行った。実験では、<sup>13</sup>C-標識重炭酸を海底に散布し、数日-2か月の培養後に堆積物を回収し、深度ごとに有機物として固定された<sup>13</sup>C量を定量化した。また、これら深海平原の実験データに加え、これまでに行った、生物活性の高い大陸斜面域での堆積物試料も同時に解析し、海域ごとの炭素固定量と、環境・生物相との関連を明らかにした。

### (2) 炭素固定量の実測と、堆積物の環境データ取得

実験後に回収した堆積物試料は、深度ごとに切り分け、一部を間隙水の採取用に、一部を微生物相分析用に、残りを堆積物の有機物の同位体比分析用に分取した。間隙水は遠心分離器により抽出し、フィルターでろ過した後、オートアナライザーで分析を行った。堆積物の有機物の同位体比は、脱炭酸処理を行ったのちに元素分析計/質量分析計で測定した。また、天然の堆積物試料についても同様の分析を行い、実験試料との比較を行った。

### (3) 堆積物中の微生物相解析

冷凍した堆積物試料から遺伝子を抽出し、アーキア、バクテリアを含む全原核生物、アンモニア酸化菌、亜硝酸酸化菌、嫌氣的アンモニア酸化細菌の定量PCRによる評価を行った。

## 4. 研究成果

添加した無機炭酸からの有機物生産量は海域ごとに大きく異なった。相模湾の水深1430mで最も高く、次いで日本海水深915m、インド洋の水深530mとなり、深海平原の2地点ではどちらもほとんど検出されなかった。また、日本海では、炭酸固定量に複数の堆積物深度でのピークが見られた。

炭酸固定を行うと期待される微生物のうち、特に窒素系の代謝を行う微生物について、酸素濃度、栄養塩濃度などの環境要因と分布との関連性を解析した。その結果、直上水の酸素濃度に応じて、アンモニア酸化菌や嫌氣的アンモニア酸化細菌の存在量が大きく変化することが明らかになった。しかし、それらの存在量と炭酸固定量の間には関連性が見られず、本研究での実験海域における炭酸固定は、今回解析されなかった代謝系を持つ微生物群集により行われている可能性が示唆された。

最も炭酸固定量の大きかった相模湾において、沈降有機物量の海底への供給量と、海底での有機物生産量を定量化し、海底での生

態系物質循環モデルに組み込んだ。海底で生産される有機物量は、沈降有機物に由来する有機物供給量の1-2%を占めるが、沈降有機物が難分解性の有機物で占められることを考えると、相模湾深海生態系の有機物源としての役割は無視できない量であると言える。

#### 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 5 件)

Nomaki H, Chikaraishi Y, Tsuchiya M, Toyofuku T, Ohkouchi N, Uematsu K, Tame A, Kitazato H (2014) Nitrate uptake by foraminifera and use in conjunction with endobionts under anoxic conditions. *Limnology and Oceanography* **59**: 1879–1888. 査読有  
DOI: 10.4319/lo.2014.59.6.1879

Setoguchi Y, Nomaki H, Kitahashi T, Watanabe H, Inoue K, Ogawa NO, Shimanaga M (2014) 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. *Marine Biology* **161**: 1775–1785. 査読有  
DOI: 10.1007/s00227-014-2460-4

Tsuchiya M, Gooday AJ, Nomaki H, Oguri K, Kitazato H (2013) Genetic diversity and environmental preferences of monothalamous foraminifers revealed through clone analysis of environmental small-subunit ribosomal DNA sequences. *Journal of Foraminiferal Research*, **43**: 3–13. 査読有  
DOI: 10.2113/gsjfr.43.1.3

Akoumianaki I, Nomaki H, Pachiadaki M, Kormas KA, Kitazato H, Tokuyama H

(2012) Low bacterial diversity and high labile organic matter concentrations in the sediments of the Medee deep-sea hypersaline anoxic basin. *Microbes and Environments*, **27**: 504–508. 査読有

DOI: 10.1264/jsme2.ME12045

Seike K, Jenkins RG, Watanabe H, Nomaki H, Sato K (2012) Novel use of burrow casting as a research tool in deep-sea ecology. *Biology Letters* **8**: 648–651. 査読有  
DOI: 10.1098/rsbl.2011.1111

[学会発表](計 11 件)

野牧 秀隆、石田 章純、白井 厚太郎、力石 嘉人、植松 勝之、多米 晃裕、土屋 正史、豊福 高志、高畑 直人、佐野 有司、大河内 直彦. 有孔虫細胞軟組織の NanoSIMS による窒素同位体比マッピング. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市、2014 年 5 月 1 日

野牧 秀隆. 深海生態系における物質循環の同位体トレーサー実験による定量化. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市、2014 年 4 月 28 日

野牧 秀隆、布浦 拓郎、土屋 正史、宮本 教生、清家 弘治、上島 優貴、嶋永 元裕、Teresa Amaro, Eugenio Rastelli, Bruna Petani, Michael Tangherlini、陸上共同研究者一同. 深海平原は沈降有機物フラックスが支配する世界なのかを検証する西太平洋縦断調査 & 実験—YK13-09, YK13-12 航海概要—. ブルーアースシンポジウム 2014、東京海洋大学、東京都港区、2014 年 2 月 19 日

野牧 秀隆、力石 嘉人、土屋 正史、豊福 高志、大河内 直彦、植松 勝之、多米 晃裕、北里 洋. 嫌気環境下における底生有孔虫細胞内での脱窒と微生物の関与. 日本古生物学会 2013 年年会、熊本大学、熊本県熊本市、2013 年 6 月 30 日

野牧 秀隆、井上 健太郎、菅 寿美、布浦 拓郎、土屋 正史、豊福 高志、北里 洋. ささまざまな深海環境における化学合成一次生産量の現場測定と生態系での役割. 日本古生物学会第 162 回例会、横浜国立大学、神奈川県横浜市、2013 年 1 月 26 日

野牧 秀隆、力石 嘉人、土屋 正史、豊福 高志、大河内 直彦、北里 洋. 有孔虫による硝酸塩呼吸のアミノ酸窒素同位体比への記録. 2012 年度古海洋学シンポジウム、東京大学海洋研究所、千葉県柏市、2013 年 1 月 7 日

Nomaki H, Inoue K, Suga H, Nunoura N, Tsuchiya M, Toyofuku T, Kitazato H. *In situ* experimental measurements of carbon fixation on the deep-sea floor. 13th Deep-Sea Biology Symposium、ウェリントン、ニュージーランド、2012 年 12 月 7 日

野牧 秀隆、力石 嘉人、土屋 正史、豊福 高志、大河内 直彦、北里 洋. 底生有孔虫による硝酸態窒素利用の好気、嫌気飼育実験による解明. 2012 年度 MRC 研究集会、国立科学博物館、茨城県つくば市、2012 年 11 月 16 日

Nomaki H, Chikaraishi Y, Tsuchiya M, Toyofuku T, Ohkouchi N, Kitazato H. Nitrate utilization in shallow-water benthic

foraminiferal cells under anoxic environments revealed by  $^{15}\text{N}$ -labelling experiments. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting、びわ湖ホール、滋賀県大津市、2012 年 7 月 11 日

H Nomaki, Y Chikaraishi, M Tsuchiya, T Toyofuku, N Ohkouchi, and H Kitazato. Different utilization of nitrate nitrogen in shallow-water benthic foraminiferal cells under oxic/anoxic conditions. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会、幕張メッセ国際会議場、千葉県千葉市、2012 年 5 月 25 日

野牧 秀隆、井上 健太郎、菅 寿美、豊福 高志、土屋 正史、北里 洋. 深海底での炭素固定量の現場測定実験. Blue Earth 2012、東京海洋大学、東京都港区、2012 年 2 月 22 日

〔図書〕(計 1 件)

特別展 深海 THE DEEP. 国立科学博物館、海洋研究開発機構、読売新聞社、NHK、NHK プロモーション編、2013. 165 ページ(うち、分担執筆. 103-104 ページ)

## 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・生物地球化学研究分野・主任研究員

研究者番号：90435834