

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04246

研究課題名(和文)暗黒の海の生物生産が海洋炭素循環に与える影響の解明：観測とモデルによるアプローチ

研究課題名(英文)Clarification of effect of dark dissolved inorganic carbon (DIC) fixation on oceanic carbon cycle

研究代表者

重光 雅仁 (Masahito, Shigemitsu)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・研究員

研究者番号：20511695

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：インド洋・南大洋、太平洋における観測によりこれまでデータのなかったDIC固定速度を明らかにした。太平洋において同時に測定した従属栄養細菌の活性速度との比較から、太平洋の中深層においてはDIC固定速度のほうが高く、DIC固定が従属栄養細菌の重要な有機物源になっていることを明らかにした。太平洋における微生物群集解析結果から、表層由来の有機物供給が少ない中深層において、有機物分解産物であるアンモニア、それを利用するDIC固定微生物、それが合成した有機物の分解が循環する、有機物の内部循環が起きている可能性を示唆した。全球のボックスモデル解析から、DIC固定速度の全球積算を算出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでインド洋、南大洋と太平洋ではDIC固定速度の観測結果がなかった。そこで、本研究は世界で初めてDIC固定速度の観測結果を得た。従属栄養細菌活性速度の観測が同時に実施できた太平洋において、ほとんどの地点においてDIC固定速度が従属栄養細菌活性速度を上回った。これは、海洋中深層における従属栄養細菌の炭素源を供給することを意味し、今後気候モデルでも考慮していく必要があることを示した。

研究成果の概要(英文)：Chemoautotrophic DIC fixation rates in the meso- and bathypelagic water column of the Indian Ocean, Southern Ocean, and Pacific were measured. In the Pacific where prokaryotic production rates were measured in addition to DIC fixation rates, our results suggested that DIC fixation was an important microbial process in the dark ocean potentially supplying a fresh carbon source to the heterotrophic microbial communities. Analyzing microbial community composition in the Pacific revealed that heterotrophic and autotrophic prokaryotes formed the consortium to recycle organic matter in the mesopelagic waters. Global box model analysis based on the observations estimated the DIC fixation to be about 0.3 PgC/yr.

研究分野：海洋生物地球化学

キーワード：DIC固定生物 従属栄養微生物 微生物群集 全球ボックスモデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋に蓄積している溶存有機炭素量(約 700PgC)は、大気中二酸化炭素量(約 730PgC)とほぼ同等である。そのため、地球温暖化の影響により、海洋微生物生態系が影響を受け、海洋中の溶存有機炭素(DOC)の生成・消費速度が変わると、大気中CO₂量が劇的に影響を受ける可能性がある。近年、暗黒の深海で化学合成独立栄養細菌がDIC固定をしていることが分かってきた。DIC固定は、同じく近年提唱された「海洋微生物の関与によって生成される難分解性DOCによる炭素隔離機構(微生物炭素ポンプ)」と密接に関わっていると考えられ、DOCへの温暖化影響を評価する上で重要である。しかし、その詳細を定量的に研究した例はない。特に、インド洋・南大洋、太平洋においては、DIC固定速度の観測結果がない。

2. 研究の目的

DIC固定速度の観測空白域であるインド洋・南大洋、太平洋においてDIC固定の速度を観測により明らかにする。次に、その結果を再現できる「海洋物質循環モデル」を開発する。当該モデル解析によって「DIC固定と微生物炭素ポンプの連関」を定量化し、海洋炭素循環の高精度な将来予測に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

実施した研究の方法は以下のとおりである。

- (1) これまで観測例のないインド洋・南大洋、太平洋におけるDIC固定速度の観測
- (2) 太平洋におけるゲノム解析によるDIC固定微生物の同定
- (3) 観測データを説明できる微生物を陽に表現した海洋物質循環モデルの開発と当該モデルによる全球積算DIC固定速度の定量化
- (4) 開発した海洋物質循環モデルによる簡易温暖化実験

4. 研究成果

(1) インド洋・南大洋におけるDIC固定速度の観測

図1に示すインド洋・南大洋、太平洋においてDIC固定速度の観測を実施した。その結果は図2に示すとおりである。深海においても有意なDIC固定速度が観測された。また、DIC固定速度と従属栄養細菌活性の観測結果が同時に得られた太平洋においては、DIC固定速度が従属栄養細菌活性を上まわる測点が多くみられた。このことから、海洋表層からの沈降粒子起源の有機物供給が少ない中深層において、DIC固定が従属栄養細菌の重要な炭素源となることが明らかとなった。また、DIC固定と溶存有機物を同時に測定した観測結果から、海底から溶存有機物とアンモニウム塩等が供給されることによって、DIC固定速度が海底近傍で高くなることも明らかにした。

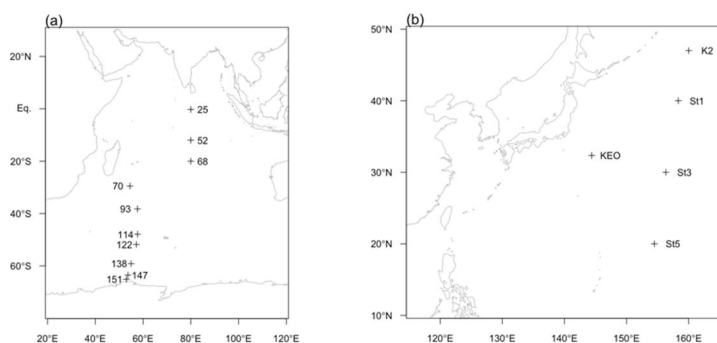


図1 DIC固定速度観測地点。(a)インド洋・南大洋、(b)太平洋

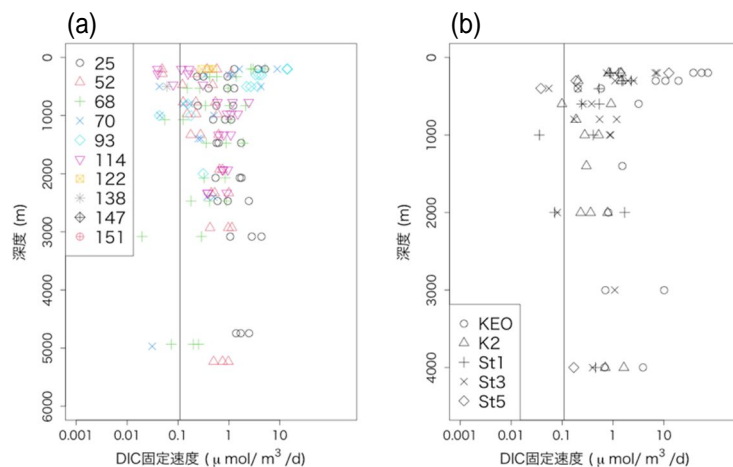


図2 DIC固定速度の観測結果。(a)インド洋・南大洋、(b)太平洋。縦線は検出限界を示す。

(2) 太平洋におけるゲノム解析によるDIC固定微生物の同定

微生物群集をターゲットにした観測結果から、太平洋の亜寒帯域、亜熱帯域、南大洋セクションの中深層において、化学合成細菌（DIC固定、アンモニア酸化古細菌）と従属栄養細菌が特異的に共出現する細菌群集組成が遍在することが確認された。これらの群集が存在する環境では、従属栄養細菌による有機物分解と化学合成細菌によるアンモニア酸化が同所的に起きている可能性が高い。アンモニア酸化古細菌による有機炭素の取り込みはアンモニア酸化古細菌生物量の0.5-11%と低く、無機炭素由来の炭素が有機物合成に用いられていることが明らかになっている。表層由来の有機物供給が少ない中深層において、アンモニア酸化古細菌が優占する特異的な細菌群集構造の遍在は、この環境で、有機物分解産物であるアンモニア、それを利用する化学合成細菌、それが合成した有機物の分解が循環する、有機物の内部循環が起きている可能性が示唆された。

(3) 観測データを説明できる微生物を陽に表現した海洋物質循環モデルの開発と当該モデルによる全球積算DIC固定速度の定量化

DIC固定能を有するアンモニア酸化微生物、従属栄養微生物、溶存有機物（易分解性溶存有機物、難分解性溶存有機物）、アンモニウム塩、硝酸塩、溶存無機炭素を陽に表現した物質循環モデルを開発し、全球のマルチ box モデル上（全球を14boxに分けたものでインド・太平洋、南大洋、大西洋を解像し、インド・太平洋では貧酸素水塊ボックスも考慮している。）で時間積分を実施した。溶存有機物の各ボックスにおける供給量は、衛星から見積もった正味の基礎生産、またそれから見積もった輸出生産から処方した値を与えた。溶存有機物の再現結果は図3に示すとおりであり、全球の溶存有機物の分布をうまく再現できている。当該モデルから、全球のDIC固定速度の積算値は約0.3PgC/yrとなった。Baltar and Herndl (2019)は大西洋におけるDIC固定速度の観測結果を外挿し、全球積算で1-10PgC/yrと見積もっているが、彼らの結果が正しいならば、本研究における見積りと彼らの結果の差は、アンモニア酸化以外の代謝（例えば硫酸酸化）によるDIC固定が海洋に存在している可能性があり、今後これらを明らかにしていく必要がある。

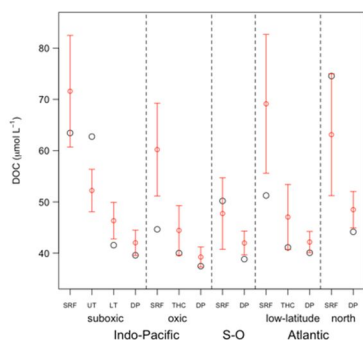


図3 ボックスモデルによる溶存有機炭素 (DOC) の計算結果。黒丸が各ボックスにおける計算結果を表し、赤丸・赤線が観測結果を表す。SRF:表層ボックス、UT:上部温度躍層ボックス、LT:下部温度躍層ボックス、DP:深層ボックス、THC:温度躍層ボックス

(4) 開発した海洋物質循環モデルによる簡易温暖化実験

JAMSTEC で開発されている気候モデル (MIROC-ESM) で、温暖化シナリオ (RCP8.5) のもと計算された 21 世紀末における海水温の上昇 (1980-1999 年と 2080-2099 年の差) を、各ボックスで計算し、3) のボックスモデルに水温情報を与え計算を実施した。その結果、全球積算で DIC 固定速度が約 0.02PgC/yr 増加するものの、全球積算の DOC 量は約 8PgC 減少した。つまり、水温上昇による正味の結果として、海洋に微生物炭素ポンプにより蓄えられる DOC 量は減少することがわかった。これは、従属栄養微生物による DOC 分解速度が増加するためである。水温上昇のみを考慮した簡易温暖化実験であるが、海洋微生物と溶存有機物を気候モデルでも考慮する必要があることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 M. Shigemitsu, H. Uchida, T. Yokokawa, K. Arulananthan, and A. Murata	4. 巻 11
2. 論文標題 Determining the distribution of fluorescent organic matter in the Indian Ocean using in situ fluorometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in microbiology	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmicb.2020.589262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigemitsu M., Yokokawa T., Uchida H., Kawagucci S., Murata A.	4. 巻 11
2. 論文標題 Sedimentary supply of humic-like fluorescent dissolved organic matter and its implication for chemoautotrophic microbial activity in the Izu-Ogasawara Trench	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-97774-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 K. Katsumata, Y. Kumamoto, H. Uchida, S. Kouketsu, M. Shigemitsu, K. Sasaoka, and M. Hamana
2. 発表標題 Hydrographic section along 57° E in the South Indian Ocean
3. 学会等名 The 11th symposium on polar science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 勝又勝郎、熊本雄一郎、内田裕、瀧澤慎也、重光雅仁、笹岡晃征、濱名 実
2. 発表標題 「みらい」インド洋・南大洋航海MR19-04
3. 学会等名 海と地球のシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光雅仁、横川太一、内田裕、川口慎介、村田昌彦
2. 発表標題 伊豆・小笠原海溝の蛍光性溶存有機物とDIC固定速度
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光雅仁
2. 発表標題 CDOMセンサーを用いた外洋域への応用について
3. 学会等名 令和2年度三官庁海洋業務連絡会海洋測器専門委員会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重光 雅仁, 山本 彬友, 岡 顕
2. 発表標題 インド洋北部における将来の溶存酸素濃度変動
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SHIGEMITSU MASAHITO, YOSHIKAWA CHISATO , WAKITA MASAHIDE, MURATA AKIHIKO
2. 発表標題 Dissolved organic carbon (DOC) in the Indian Ocean
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会 SCOR-GEOTRACESジョイントセッション(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重光雅仁、内田裕、横川太一、村田昌彦
2. 発表標題 現場型傾向センサーによるインド洋における蛍光性有機物の子午面分布
3. 学会等名 日本地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahito Shigemitsu
2. 発表標題 Performance of a neutral network model of marine dissolved organic carbon compounds and microbes
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chisato Yoshikawa, Masahito Shigemitsu, Akitomo Yamamoto, Akira Oka, Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Building a nitrogen isoscape of phytoplankton in the western North Pacific using a marine nitrogen isotope model
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021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	横川 太一 (Yokokawa Taichi) (00402751)	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)・研究員 (82706)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山本 彬友 (Akitomo Yamamoto) (30794680)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・特任研究員 (82706)	

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