

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23685

研究課題名(和文) 貧酸素水塊への酸素供給は化学合成独立栄養細菌による有機化合物合成を促進するか？

研究課題名(英文) Effect of oxygenation of coastal hypoxia on sediment microbial community composition and activity

研究代表者

森 郁晃 (MORI, Fumiaki)

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(高知コア研究所)・特別研究員(PD)

研究者番号：60849537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：貧酸素海域への一時的な酸素供給が海底堆積物表層の微生物群集の構造および活性に与える影響評価を目的として、長崎県大村湾で堆積物の培養実験を実施した。堆積物を好氣的に培養した際の酸素消費過程は、微生物の好気呼吸による影響が大きく、特に直上水が無酸素化した堆積物コアでは全酸素消費の約75%を占めた。また、硫酸酸化機能を有する化学合成独立栄養細菌の著しい増殖が観測された。これらの結果から貧酸素海域への一時的な酸素供給は、化学合成独立栄養細菌の好気呼吸に由来する高い酸素消費活性を促し、海域の再貧酸素化へ寄与する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかになった貧酸素海域への一時的な酸素供給時における堆積物酸素消費速度および微生物群集構造の変化は、沿岸域で頻発する貧酸素水塊が改善されない原因の一部を明らかにする成果である。今後、これらのプロセスを海洋生態系モデルに取り入れていくことにより、将来の地球環境変動に対する沿岸生態系の応答について、予測精度を向上させることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We evaluated the effects of temporal oxygen supply to coastal hypoxia on oxygen consumption processes and microbial community structure in the surface layer of sediments. When sediments were exposed to oxygen saturated sea water, the sediment oxygen consumption process was mainly driven by aerobic respiration of microorganisms, which accounted for about 75% of the total oxygen consumption of anoxic sediment core. In addition, significant growth of chemolithoautotrophic bacteria with sulfur oxidation function was observed. These results suggest that the temporal supply of oxygen to hypoxia may stimulate the high sediment oxygen consumption derived from aerobic respiration of chemolithoautotrophic bacteria and contribute to the reformation of hypoxia.

研究分野：微生物生態学

キーワード：貧酸素水塊 化学合成独立栄養細菌 堆積物 大村湾 閉鎖性内湾

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

「悪天候時の強風等を原因とした水塊攪拌による一時的な酸素供給」や「貧酸素水塊の解消を目的とした大規模なエアレーション実験」は、貧酸素水塊の規模縮小に貢献するが、根本的な貧酸素水塊の解消や沿岸域の富栄養化の改善には貢献しない。その理由は、貧酸素海域への酸素供給によって、海底堆積物表層で活発化した化学合成独立栄養細菌が、好気呼吸によって水塊の再貧酸素化を促し、CO₂固定による有機化合物合成を行って、海域の有機物量の減少を妨げるためである、と仮説を立てた。実際、申請者は、閉鎖性内湾(大村湾)で夏季に貧酸素化した海域から採取した堆積物コアに酸素を供給すると、好気性細菌による酸素消費速度が上昇するとともに化学合成独立栄養細菌が劇的に増加することを明らかにしている。本研究では先行研究の結果をふまえ、貧酸素海域への酸素供給がもたらす、有機化合物合成速度、細菌群集の数、種類、呼吸代謝等の変化を解明し、上記の仮説解明を試みる。

2. 研究の目的

本研究では、貧酸素海域への酸素供給によって誘発された化学合成独立栄養細菌の活性の上昇に伴う酸素消費が、再貧酸素化を促し、新たな有機化合物の合成が促進するという仮説を検証する。そこで季節的な貧酸素水塊が形成する長崎県大村湾で、海洋観測および試料採取を実施し、一時的な酸素供給が発生した際の以下2点について着目し、検証することを目指した。

- (1) 好気呼吸を要因とする生物学的酸素消費速度の影響評価
- (2) 堆積物表層の微生物群集構造の変化と生物学的酸素消費との関連

3. 研究の方法

貧酸素水塊の発達が顕著な夏季、解消後の秋季に長崎県大村湾の中央部に於て、2019年に海洋観測を実施し、柱状採泥器によって未攪拌堆積物コアを採取した。一時的な酸素供給時を測定して、酸素飽和した海水と共に堆積物コアを培養し、酸素消費速度を測定した。堆積物表層由来 DNA を用いて、微生物群集構造解析を実施し、培養中の微生物群集構造の変化を評価した。

(1) 堆積物の酸素消費速度の測定

採取した堆積物コアは直上水を酸素飽和した濾過海水と入れ替え、暗所で24時間培養し、直上水中の酸素濃度をモニタリングして堆積物の酸素消費速度を測定した。堆積物の酸素消費速度は「全酸素消費」、硫化物等の還元物質の酸化によって起きる「化学的酸素消費」、好気性微生物の呼吸による「生物学的酸素消費」に分類して測定した。なお、化学的酸素消費速度は塩化水銀によって生物活動を停止したコアを用いて測定し、全酸素消費と化学的酸素消費の差から生物学的酸素消費速度を測定した。2019年8月の中央部底層に貧酸素水塊が形成されていたが(81.4 μM)、酸素濃度の低下は、例年に比べ穏やかであったため、前培養を実施し、無酸素化した堆積物コアを作成した(以下、無酸素コア)。作成したコアは、採取後すぐに培養を開始したコア(以下、現場コア)と同条件で培養実験を実施した。また酸素濃度が回復した11月(236 μM)においても、同様の方法で貧酸素化したコアを作成し(以下、貧酸素コア)、培養実験を実施した。

(2) 微生物群集構造解析

酸素供給時を想定し、採取した堆積物コアの直上水をエアレーションしながら培養を実施した(暗所、現場温度)。0-5、5-10、10-20 mm 層の堆積物層を0時間、24時間、72時間のタイミングで採取した。採取した堆積物から DNA を抽出し、16S rRNA 遺伝子を対象としたアンプリコンシーケンス解析によって微生物群集構造を解析した。

(3) 補助的データの活用

補助的データとして、2012年にINT還元法(森ら2015)によって酸素消費速度を測定した凍結堆積物表層試料から DNA を抽出し、微生物群集構造解析を実施した。この堆積物試料についても、好気条件での培養を実施しており、酸素供給時の微生物群集構造の応答評価が可能である。

以上の観測並びに実験結果について、一時的な酸素供給が起きた際の堆積物表層の生物学的酸素消費および微生物群集構造の変化について取りまとめる。

4. 研究成果

(1) 好気呼吸を要因とする生物学的酸素消費速度の影響評価

2019年8月の貧酸素期において、現場コアと比較して無酸素コアの全酸素消費速度は、約1.9倍増加した(図1)。無酸素コアの酸素消費速度に占める生物学的酸素消費の割合は高く、全酸素消費の約75%が生物学的酸素消費に由来した。培養開始時の堆積物中(0-5 mm 層)揮発性硫化物量は、現場コアに対して無酸素コアで約1.7倍高く、硫酸化細菌による硫化物を利用した好

気呼吸が酸素消費速度を増加させたと推察された。11月の貧酸素コアの培養実験においても、同様の現象が観測されている。

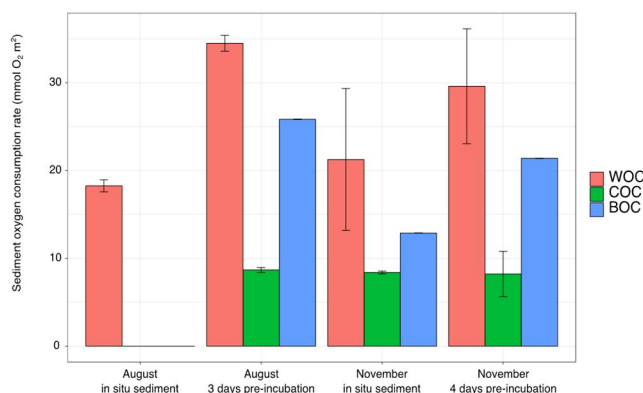


図1 大村湾中央部における堆積物の酸素消費速度。WOC:全酸素消費速度、COC:化学的酸素消費速度、BOC:生物学的酸素消費速度。8月のCOCは未測定。

(2) 微生物群集構造解析

8月の現場および無酸素コアの細菌群集構造解析では、好氣的培養開始後24時間で化学合成独立栄養細菌を含む細菌グループの顕著な存在割合の増加が認められた。Campylobacteriales目の増加が著しく、8月の現場コアでSulfurimonadaceae科が0.4%から3%に増加(図2A)、無酸素コアでArcobacteraceae科が0%から17%まで増加した(図2B)。8月の無酸素コア内の堆積物中硫化物濃度は、好氣的培養開始後24時間で58%減少しており(図3)化学合成独立栄養細菌の呼吸に利用されたと推測された。さらに11月の貧酸素コアについても同様のArcobacteraceae科の増加が確認されている(図2D)。Arcobacteraceae科は、硫黄酸化機能を持つ化学合成独立栄養細菌を含んでおり(Sivert et al., 2007)、これらのグループが堆積物中に蓄積していた硫化物を利用して、好気環境下で増加したことを示唆している。

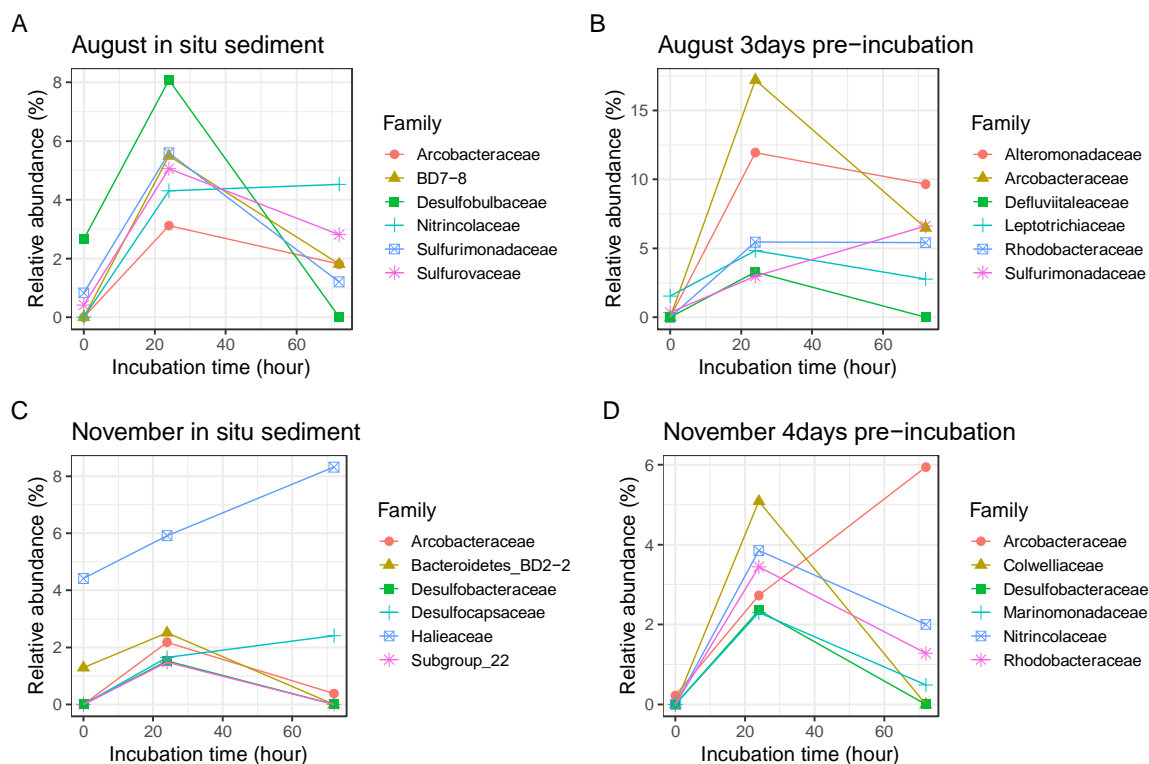


図2 堆積物表層(0-5 mm層)中の培養開始24時間後に増加率が高い上位6科。

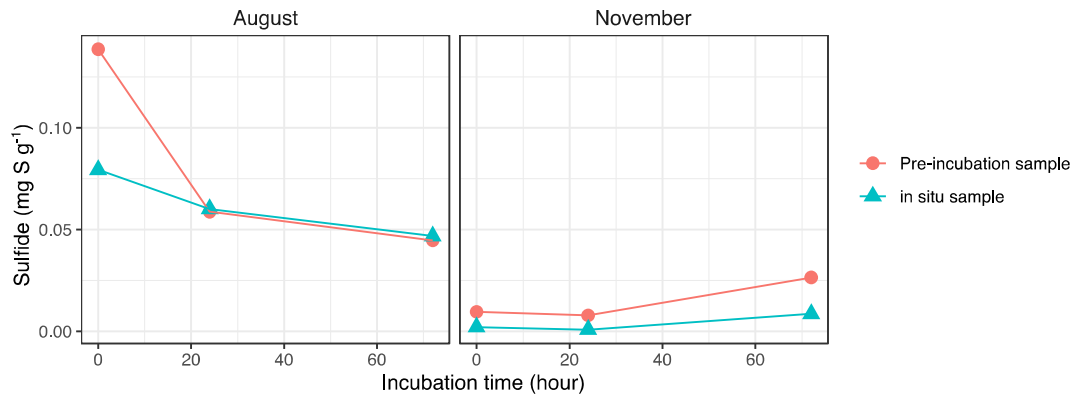


図3 堆積物表層(0-5 mm 層)中の硫化物量の変化。

2012年に実施したINT還元法(森ら, 2015)によって酸素消費速度を測定した凍結堆積物表層試料についても、硫化物の蓄積量が増加する8月に同様の Arcobacteraceae 科の増加が確認された。2019年、2012年の Arcobacteraceae 科を含む化学合成独立栄養細菌の増加パターンは、生物学的酸素消費速度の増加するタイミングと一致していた。これらの結果から、貧酸素海域へ酸素が供給されると Arcobacteraceae 科などの化学合成独立栄養細菌グループの活性が上昇し、堆積物表層で活発に酸素を消費して再貧酸素化を促す可能性が示唆された。

引用文献

森 郁晃, 近藤 竜二, 梅澤 有, 松岡 数充, 須崎 寛和, 中田 英昭, 和田 実西九州・大村湾の貧酸素水塊形成期における堆積物微生物群集呼吸の動態、沿岸海洋研究、53、2015、87-95
 Sievert SM, Wieringa EBA, Wirsén CO, Taylor CD, Growth and mechanism of filamentous-sulfur formation by *Candidatus Arcobacter sulfidicus* in opposing oxygen-sulfide gradients, Environmental Microbiology 9, 2007, 271–276

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Mori Fumiaki, Nishimura Tomoya, Wakamatsu Taisuke, Terada Takeshi, Morono Yuki | 4. 巻 36 |
| 2. 論文標題 Simple In-liquid Staining of Microbial Cells for Flow Cytometry Quantification of the Microbial Population in Marine Subseafloor Sediments | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Microbes and Environments | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1264/j sme2.ME21031 | 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 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Mori Fumiaki, Umezawa Yu, Kondo Ryuji, Nishihara Gregory N., Wada Minoru | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Potential oxygen consumption and community composition of sediment bacteria in a seasonally hypoxic enclosed bay | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 PeerJ | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7717/peerj.11836 | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Fumiaki Mori and Minoru Wada | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Evaluation of sulfate-reducing bacteria community composition in surface sediment of a seasonally hypoxic enclosed bay as assessed using dsrA and 16S rRNA genes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of 2019 International Conference on climate change, disaster management and environmental sustainability | 6. 最初と最後の頁 702-708 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 森 郁晃、西村知泰、若松泰介、寺田武志、諸野 祐樹 |
| 2. 発表標題 簡易的染色手法とフローサイトメトリーによる海底下微生物の細胞カウント手法 |
| 3. 学会等名 日本微生物生態学会第34回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Fumiaki Mori and Minoru Wada |
| 2. 発表標題 Evaluation of sulfate-reducing bacteria community composition in surface sediment of a seasonally hypoxic enclosed bay as assessed using dsrA and 16S rRNA genes |
| 3. 学会等名 2019 International conference on climate change, disaster management and environmental sustainability (国際学会) |
| 4. 発表年 2019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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|