

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 14 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14511

研究課題名（和文）沿岸域における有機炭素隔離能力を決定付けるキープロセスの解明

研究課題名（英文）Elucidation of the key processes of carbon sequestration in coastal sea

研究代表者

高巢 裕之（TAKASU, Hiroyuki）

長崎大学・水産・環境科学総合研究科（環境）・助教

研究者番号：00774803

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：沿岸海水に栄養塩を添加することで、難分解性溶存態有機炭素の細菌分解が促進されるのかを実験的に検証した。有明海の海水に栄養塩を添加して150日間の培養を行った結果、栄養塩添加による溶存態有機炭素の分解量の増加はみられなかった。一方で、栄養塩添加系でのみタンパク質（様物質）の顕著な分解がみられた。本実験において有機炭素分解量に有意な増加が見られなかったのは、無添加系においてタンパク質以外の有機物が添加系におけるタンパク質分解量と炭素量として同じくらい分解されたためであると考えられる。これらの結果より、溶存態有機物を構成する成分によって、栄養塩添加による細菌分解への影響が異なることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋生物を介して海域に貯留される炭素は、「ブルーカーボン」と呼ばれ、陸上植物の貯留する炭素に匹敵するかそれ以上であると試算されており、COP21で合意されたパリ協定においてもブルーカーボンは温室効果ガスの吸収、貯蔵庫の候補として位置付けられている。本研究では、沿岸域の溶存態有機炭素の細菌分解・生成に対する栄養塩添加の影響の一端を明らかにすることができた。これは、海洋細菌群集によるブルーカーボンの生成メカニズムの解明に資する成果であり、ブルーカーボンの生成による炭素隔離能力の強化を図る上で重要な情報であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Nutrients amendment incubation experiments using coastal seawater were conducted to confirm whether nutrients are limiting factors for microbial decomposition of refractory dissolved organic carbon (RDOC). Amount of RDOC was not significantly different between nutrients amended and non-amended bottles. However, concentrations of dissolved protein in nutrients amended bottles were significantly lower than those in non-amended bottles at the end of experiments, suggesting that nutrients addition promoted bacterial decomposition of protein in refractory fraction. In nutrients non-amended bottles, other organic compounds with same carbon equivalent with decomposed protein in the nutrients amendment bottles may be decomposed, and thus, significant differences of RDOC between nutrients amended and non-amended bottles may be not found. Thus, influences of nutrients amendment on microbial decomposition of organic matter may differ among types of organic compounds.

研究分野：生物地球化学、海洋生物環境学

キーワード：溶存態有機物 炭素隔離 栄養塩

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

大気中二酸化炭素濃度の上昇の抑止が喫緊の課題として挙げられる中、海洋の溶存態有機物を炭素固定媒体とした、二酸化炭素隔離機構の解明、およびその隔離能力の強化が、大気中二酸化炭素濃度の上昇を緩和しうる有効な手段として大きな注目を集めている<sup>1)</sup>。溶存態有機物による二酸化炭素隔離能力の強化を図る上で、溶存態有機物の生成と分解を制御している要因を把握することは必須である。溶存態有機物の起源は、光合成生物が大気中二酸化炭素を吸収して生産した有機物が、化学的あるいは生物学的に分解・変質したものが主であると考えられている。難分解性を示す溶存態有機物の生成機構に関しては、比較的多くの知見が集積しつつある。一方で、溶存態有機物の分解を制御する要因に関しては不明な点が多く、二酸化炭素隔離機構の解明、および隔離能力の強化を図る上でのボトルネックとなっている。

近年、外洋域(西部太平洋)において、栄養塩(窒素・リン)の添加によって、溶存態有機物の分解が最大で30%も進行したという報告がなされた<sup>2)</sup>。このことが、全球レベルで普遍的な現象だとすると、海洋への栄養塩流入量が増加すれば、溶存態有機物の大規模な分解が生じること、そしてそれは海洋からの二酸化炭素の大規模放出を通じて、気候変動に大きな影響を与えることを示している。これまでに、主に外洋域では、細菌群集の増殖速度が窒素やリン濃度によって制限されていることがしばしば報告されてきた。よって、上述の現象は、栄養塩添加が細菌群集の有機物分解活性を高め、増殖を促進し、その結果、溶存態有機物の大規模な分解が進行したものと解釈できる。つまり、「栄養塩濃度の増減」が「海洋の有機炭素隔離能力を決定付けるキーププロセス」のひとつである可能性が高い。しかしながら、現時点では、栄養塩添加による溶存態有機物の分解の促進が、広範な海域において普遍的な現象なのかは、明らかではない。沿岸域は、人為的な栄養塩負荷の影響を強く受ける海域である。つまり、栄養塩負荷量の適切な管理を行うことで、炭素隔離能力の強化が見込める海域とも考えられる。

## 2. 研究の目的

上述のような背景を受け、本研究では、「沿岸域における栄養塩負荷が細菌群集の増殖および溶存態有機物の残存率へ及ぼす影響」を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

有明海奥西部海域の St. C3 (図1) において2018年8月に予備実験、2019年8月に本実験用の採水を行った。採取した海水は、0.7 $\mu$ m 孔径のガラス繊維濾紙による濾過を行い、細菌以外の生物を除いた濾過海水(溶存態有機物はいずれの海水にも十分存在している)を実験に供試した。濾過海水を用いて、(1) 対象区(濾過海水のみ)、(2) 窒素添加区、(3) 窒素+リン添加区の4種類の実験区(500 mL 系, 反復数 3) を設置し、現場温度・暗条件下で150日間培養を行った(既往研究<sup>3)</sup>より、150日以降は溶存態有機物濃度の減少がほぼ見られなくなることが分かっているため、150日目に残存している有機物を難分解性有機物と定義する)。培養開始時、培養10日目、150日目にサブサンプリングを行い、各実験区内での細菌数、溶存態有機炭素濃度、三次元励起蛍光スペクトル解析による溶存態有機物の質的な変化を調査した。また、2019年6月に調査地点図(図1)のline1の側線に沿って、10月に調査地点図のline2の側線に沿って鉛直採水を行い、難分解性溶存態有機物の指標とされるフミン様物質の有明海奥部海域における分布を調査した。

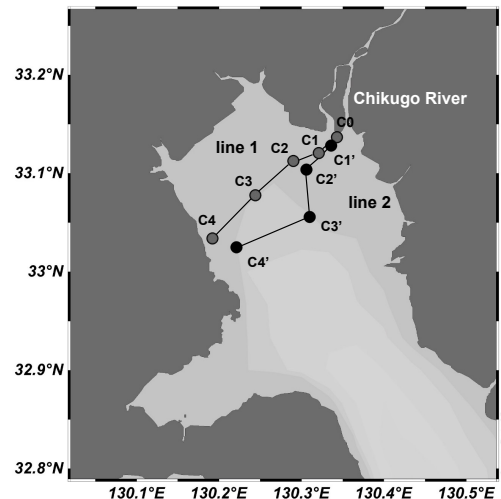


図1 調査地点図

## 4. 研究成果

細菌数は培養開始時に比べて、培養10日目にはいずれの系においても60%程度まで減少し、培養150日目には40%程度となった。各実験系における細菌数に有意な違いはみられなかった(one-way anova,  $p>0.05$ )。溶存態有機炭素は培養初期の濃度に対して、培養10日目に約9%、150日目に約20%がいずれの系においても減少し、難分解性有機炭素濃度は25-26  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>の範囲で(図2)、各系で有意な違いはみられなかった(one-way anova,  $p>0.05$ )。一方で、栄養塩添加系

でのみ、培養 10 日目および 150 日目にタンパク質 (様物質) の顕著な分解がみられた (図 3, one-way anova,  $p < 0.05$ )。本実験において有機炭素分解量に有意な差が見られなかったのは、無添加系においてタンパク質以外の有機物が添加系におけるタンパク質分解量と炭素量として同じくらい分解されたためであると考えられる。これらの結果より、溶存態有機物を構成する成分によって、栄養塩添加による細菌分解への影響が異なることが示唆された。一方で、いずれの系においても、培養 10 日目および 150 日目に難分解性有機物とされるフミン様物質の濃度が顕著に増加しており、培養中に細菌群集によるフミン様物質の生成が生じていたものと考えられる。実験系におけるフミン様物質の増加量に有意な差は見られなかったため (one-way anova,  $p > 0.05$ )、細菌による難分解性有機物の生成は栄養塩濃度に影響を受けないことが示唆された。本研究において、沿岸域の溶存態有機炭素の細菌分解に対する栄養塩添加の影響の一端が明らかとなり、沿岸域における有機炭素隔離機構の解明に資する成果が得られた。

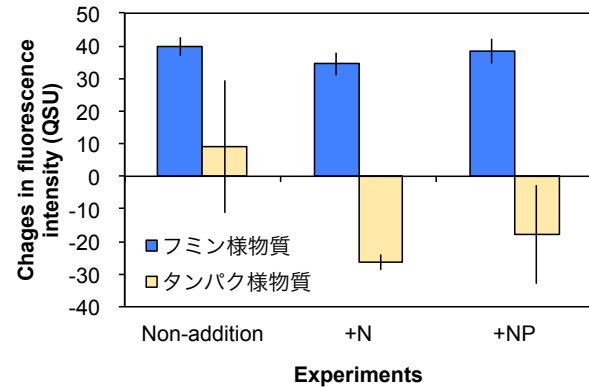
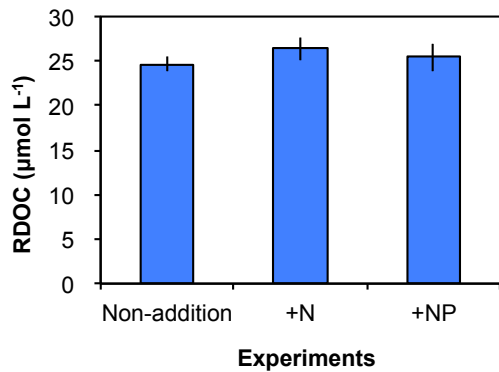


図 2 難分解性有機炭素濃度. Non-addition, +N, +NP はそれぞれ無添加、窒素添加、窒素+リン添加系。

図 3 150 日目の溶存態有機物の質的变化

次に、有明海奥部海域における難分解性溶存態有機物の分布を明らかにするため、溶存態フミン様物質の分布調査を行った。溶存態フミン様物質は筑後川河口域において著しく濃度が高く (図 4)、いずれの月においても塩分と有意な負の相関が見られた (6 月,  $r = -0.82$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 16$ ; 10 月,  $r = -0.92$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 16$ )。このことから、有明海奥部海域において、難分解性溶存態有機物の分布は、河川流入の影響を強く受けていることが示唆された。

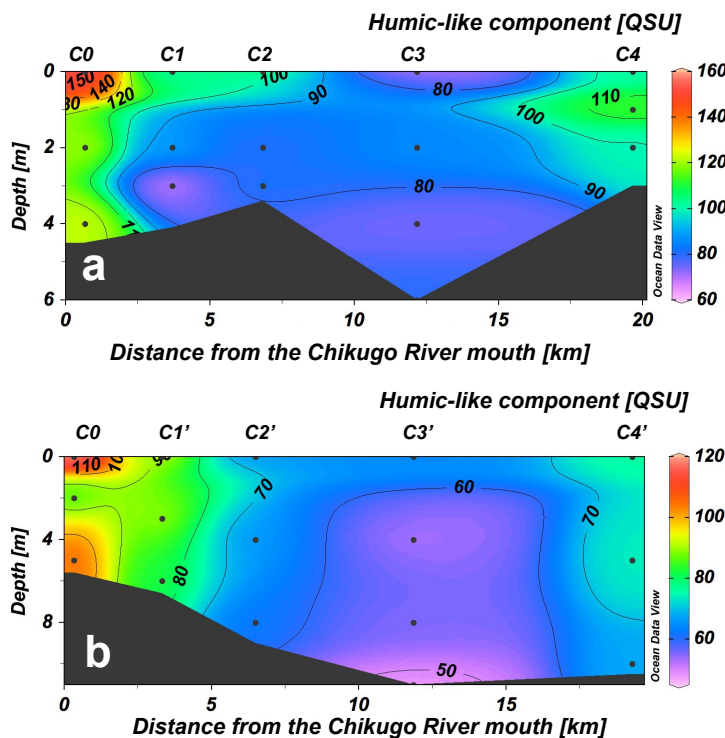


図 4 2019 年 6 月 (a) と 10 月 (b) の有明海奥部海域における溶存態フミン様物質の分布。

<引用文献>

- 1) Jiao *et al.* (2010) *Nature Rev Microbiol* 8:593–
- 2) Liu *et al.* (2014) *Biogeosciences* 11:5115–
- 3) Lønborg *et al.* (2009) *Mar Chem* 113:219–

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroyuki Takasu, Tomohiro Komorita, Takaya Okano, Miki Kuwahara, Keita Hoshimoto	4. 巻 75
2. 論文標題 Influence of water discharged from a reservoir on reclaimed land into Isahaya Bay (Kyushu, Japan) on the regeneration of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> in the water column	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 299-304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-018-0503-z	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 -

1. 著者名 内野宏治, 猪股はるか, 田原沙紀, 高巢裕之	4. 巻 14(4)
2. 論文標題 有明海奥部における酸素消費に対する水柱中の有機炭素分解の寄与	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 195-200
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takasu, H, Inomata, H, Uchino, K, Tahara, S, Mori, K, Hirano, Y, Harada, K, Yamaguchi, M, Nozoe, Y, Akiyama, H	4. 巻 14
2. 論文標題 Spatio-temporal distribution of environmental DNA derived from Japanese sea nettle jellyfish <i>Chrysaora pacifica</i> in Omura Bay, Kyushu, Japan.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	6. 最初と最後の頁 320 - 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.3800/pbr.14.320	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6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内野宏治, 岡村知海, 森康一郎, 高巢裕之
2. 発表標題 有明海奥部およびその流入河川における易分解性有機物の動態
3. 学会等名 2019年度 生物地球化学研究会現地セッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森康一郎, 内野宏治, 高巢裕之
2. 発表標題 筑後川感潮域における栄養塩および有機物動態
3. 学会等名 2019年度 生物地球化学研究会現地セッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡村知海, 内野宏治, 高巢裕之
2. 発表標題 有明海奥部海域において貧酸素水塊を引き起こす有機物の起源推定
3. 学会等名 2019年度 生物地球化学研究会現地セッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高巢裕之, 猪股はるか, 内野宏治, 田原沙紀, 森康一郎, 野添裕一, 秋山仁
2. 発表標題 大村湾におけるアカクラゲ ( <i>Chrysaora pacifica</i> ) 由来DNAの動態
3. 学会等名 第48回 長崎県生物学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高巢裕之, 岡野孝哉, 桑原未貴, 星本啓太, 小森田智大
2. 発表標題 諫早湾における調整池高濁度排水による有機物負荷が水柱のアンモニア態窒素再生産速度に及ぼす影響
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田秀樹, 伊知地稔, 高巢裕之, 楊燕輝, 佐藤菜央美, 永田俊
2. 発表標題 三陸沖における水塊の起源と原生生物の分布特性
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----