

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05748

研究課題名（和文）海洋における炭素隔離機構解明の鍵を握る陸起源有機物パラドックス問題への挑戦

研究課題名（英文）Elucidating the contribution of terrestrially derived organic matter to organic carbon sequestration in the coastal ocean

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）・准教授

研究者番号：00774803

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：陸域起源溶存態有機炭素の分解性を評価する目的で有明海の海水を用いた培養実験を行い、培養前後における溶存態有機炭素の炭素安定同位体比を測定した。その結果、培養期間中において細菌に分解された溶存態有機炭素は主に陸域起源溶存態有機炭素であることが示唆された。さらに、陸域起源溶存態有機物を海水に添加し、植物プランクトンの増殖速度を評価する実験を行った。その結果、細菌の有機物分解を阻害した場合としない場合の両方において、大型の植物プランクトンの増殖が促進されることが示唆された。これらの結果は、陸域起源溶存態有機物の一部が、細菌や植物プランクトンによって速やかに除去されることを示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陸域起源有機物が沿岸域において速やかに分解される場合は、海域における二酸化炭素放出量の増加につながり、一方で分解されない場合は、沿岸域における炭素貯留量の増加につながる。このように、陸域起源有機物の分解性は、海洋の炭素貯留量を左右し、ひいては気候変動に影響を及ぼし得る。そのため、陸域起源溶存態有機物の運命を明らかにすることは、海洋の炭素隔離機構の解明にとどまらず、将来的な気候変動予測においても極めて重要である。本研究は、不明な点が多い陸域起源有機物の分解性やその除去プロセスの一端を明らかにしたものであり、気候変動予測に資する情報である。

研究成果の概要（英文）：We compared the natural carbon stable isotope ratio (^{13}C) values of DOC at the beginning and end of an incubation experiment to evaluate the bioavailability of riverine DOC from the northern Ariake Sea. The ^{13}C values of DOC at the beginning and end of an incubation experiment implied that the decomposed DOC in incubation bottles must be mainly derived from terrestrial sources. In addition, DOM enrichment bioassays were conducted to test whether the growth of phytoplankton in Isahaya Bay can be stimulated through the addition of terrestrial DOM. Microsized phytoplankton ($> 10 \mu\text{m}$) growth rates in both the presence and absence of antibiotics, a bacterial inhibitor, were stimulated by DOM addition. The results suggest that terrestrial DOM is partly removed by bacteria and phytoplankton in coastal waters.

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 炭素貯留

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、溶存態有機物を炭素固定媒体とした、海洋の二酸化炭素隔離能力の強化が、大気中二酸化炭素濃度の上昇を緩和する有効な手段として世界的に大きな注目を集めている¹⁾。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、難分解性を示す溶存態有機物の起源とその分解性を把握することは必須であるが、依然として不明な点が多いのが現状である。

海洋において沿岸域は、海域全体の1%に満たないものの、海洋中の炭素貯蔵量の73-79%を占めていると推定されており^{2,3)}、炭素隔離のホットスポットに位置付けられる。沿岸域における溶存態有機物の起源は、海水中の植物プランクトン(光合成生物)が大気中二酸化炭素を吸収して生産したものと、陸上植物が生産した有機物が河川を通じて流入したものの二つに大別される。陸起源有機物は、主に腐植物質のような複雑な化学形の物質により構成されているため、海洋における難分解性溶存態有機物の主要な起源と考えられている。一方で、その流入量や化学形から得られる推測とは対照的に、海水中からは陸起源有機物に由来するシグナルはあまり検出されず、陸起源有機物の行方は不明な点が多い。いわば陸起源有機物の“パラドックス”とも呼べるこの問題は、海洋の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。

陸起源有機物が沿岸域において速やかに分解される場合は、海域における二酸化炭素放出量の増加につながり、一方で分解されない場合は、沿岸域における炭素貯留量の増加につながる。このように、陸起源有機物の分解性は、海洋の炭素貯留量を左右し、ひいては気候変動に影響を及ぼし得る。そのため、陸起源溶存態有機物の運命を明らかにすることは、海洋の炭素隔離機構の解明にとどまらず、将来的な気候変動予測においても極めて重要である。

2. 研究の目的

これまで、陸起源の溶存態有機物はその複雑な化合物組成から、植物プランクトン由来の有機物と比較して、海水中の微生物に分解されにくいと考えられてきた。しかし近年、陸起源の溶存態有機物も海水中の微生物によって分解されていることが明らかとなり⁴⁾、微生物分解が、陸起源有機物の除去過程として無視できないことが指摘され始めた。そこで本研究では、「陸起源溶存態有機物は海洋由来の溶存態有機物よりも海水中において微生物による分解を受けやすい」という仮説を検証することで、「陸起源有機物のパラドックス」を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 有明海およびその支湾の諫早湾において、陸起源溶存態有機物と海洋起源溶存態有機物の分布状況に関する調査とその分解性を評価する実験を実施した。有明海奥部海域を、筑後川河口から諫早湾湾口まで横断するライン観測により、表層水と底層水を採取し、溶存態有機物の炭素安定同位体比を測定した。また、流入河川から距離の異なる5地点より採取した海水を用いた培養実験により、海域起源と陸域起源の溶存態有機物の分解量を、培養前後の溶存態有機炭素の濃度の変化と炭素安定同位体比の変化から評価した。

(2) 陸域起源溶存態有機物の植物プランクトンによる利用を評価する目的で、培養実験を行った。具体的には、有明海の支湾である諫早湾の海水に、同湾への陸域起源有機物の流入源である干拓調整池から限外濾過法により抽出・濃縮した陸域起源溶存態有機物を添加し、培養前後の植物プランクトンの生物量の変化から陸域起源溶存態有機物の植物プランクトンによる利用を評価した。

4. 研究成果

(1) 有明海奥部海域を、筑後川河口から諫早湾湾口まで横断するライン観測により採取した試料について、溶存態有機物の炭素安定同位体比率を測定したところ、河川水の影響をより強く受けられていると考えられる筑後川河口と諫早湾湾口の観測点において、他の観測点よりもやや低い炭素安定同位体比が見られた。しかし、いずれの試料の溶存態有機物の炭素安定同位体比も、海洋起源有機物に近い値であり、現場の溶存態有機物は海洋起源の寄与が総じて大きいことが示唆された。調査対象とした有明海奥部海域には、河川由来の溶存態有機物が大量に流入していることを考えると、この観測結果は、陸起源溶存態有機物が沿岸海水中において分解された結果であると解釈できる。この解釈の妥当性を確認するために、有明海において、流入河川から距離の異なる5地点より採取した海水を用いた培養実験により、海域起源と陸域起源の溶存態有機物の分解量を、培養前後の溶存態有機炭素の濃度の変化と炭素安定同位体比の変化から評価したところ、3地点において陸域起源の溶存態有機物の分解量の方が海域起源のそれを上回っていた(Fig.1)。このことから、現場観測と合わせて、実験系においても「陸起源溶存態有機物が従来考えられているよりも、沿岸海水中において分解を受けやすいという」仮説を支持する結果が得られた。本研究の成果の一部は国際学術誌および国内学術誌に公表した^{5,6)}。

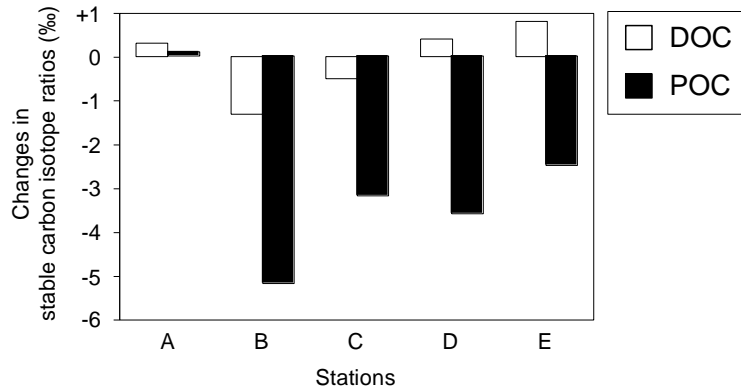


Fig. 1 培養前後の炭素安定同位体比の変化.

白い四角は溶存態有機炭素、黒い四角は粒子態有機炭素の変化を示す.

正の値は陸域起源有機炭素の分解量は海域起源有機炭素の分解量を上回っていることを意味する.

(2) 有明海の支湾である諫早湾の海水に、同湾への陸域起源有機物の流入源である干拓調整池から抽出・濃縮した陸起源溶存態有機物を添加する実験を行った。その結果、陸起源溶存態有機物の添加により、植物プランクトンの増殖が促進されることが明らかとなった (Fig. 2)。細菌による有機物分解を阻害した場合でも、植物プランクトンの増殖が促進されたことから、細菌だけでなく、植物プランクトンによる取り込みも、陸起源溶存態有機物の除去過程のひとつである可能性が示唆された。本研究の成果の一部は国内学術誌に公表した^{6,7)}。

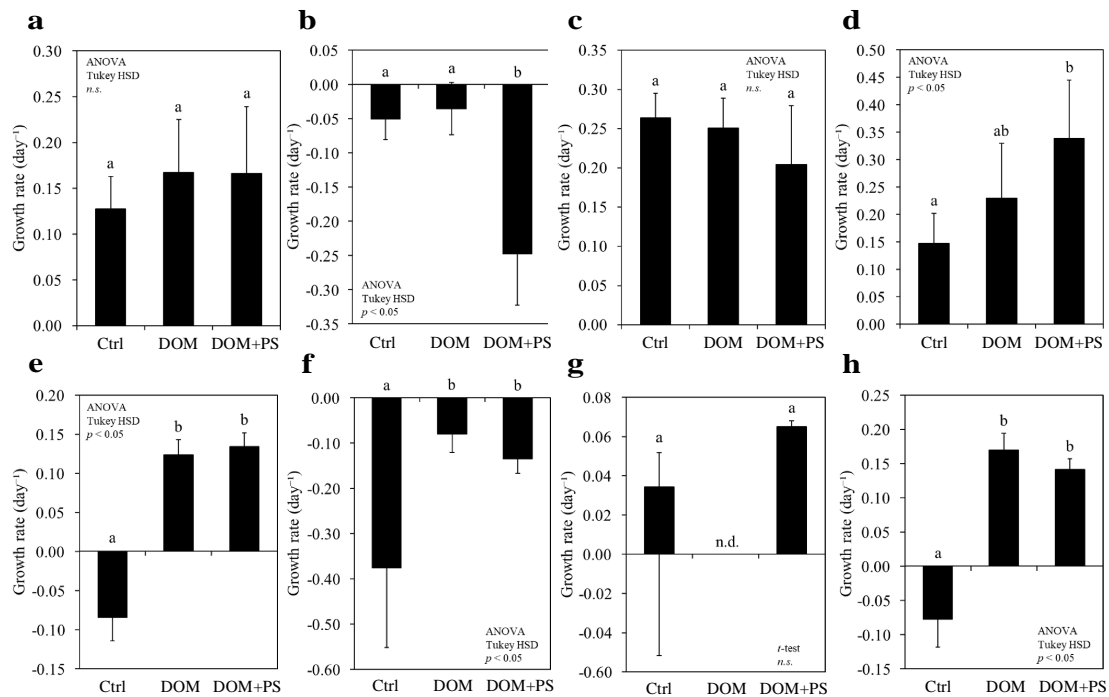


Fig.2. 7月の実験時における植物プランクトン全体 (a) と、ピコ (b)、ナノ (c)、マイクロ (d) サイズ画分の植物プランクトンの成長速度 .11月の実験時における植物プランクトン全体 (e) と、ピコ (f)、ナノ (g)、マイクロ (h) サイズ画分の植物プランクトンの成長速度 . Ctrl, DOM, DOM+PS はそれぞれ無添加系, 溶存態有機物添加系, 溶存態有機物とペニシリン/ストレプトマイシン (抗生物質) 添加系を表す . エラーバーは標準偏差を表す . 同じアルファベット間には統計的に有意差が無いことを示す ($p < 0.05$) .

(1) および (2) の結果は、いずれも「陸起源溶存態有機物は海洋由来の溶存態有機物よりも海水中において微生物による分解を受けやすい」という仮説を支持するものであり、陸域起源有機物の一部は沿岸海水中の細菌や植物プランクトンに速やかに利用されることが示唆された。一方で、本研究では陸域起源有機物のうち、こういった成分が細菌や植物プランクトンに利用され除去されるのかは明らかにできなかった。陸域起源有機物の炭素貯留に果たす役割を評価する上では、今後この点を明らかにする必要がある。

引用文献

- ¹⁾Jiao *et al.* (2010) *Nature Rev Microbiol* 8:593–
²⁾Nellemann *et al.* (2009) *UNEP, GRID-Arendal*
³⁾Kuwaie *et al.* (2019) *Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation*
⁴⁾Wu *et al.* (2019) *Est Coast Shelf Sci* 231:106477
⁵⁾Takasu *et al.* (2023) *Aquat Sci* 85:17–
⁶⁾高巢 (2023) 陸水学雑誌 84:203–
⁷⁾小柳ら (2023) 水環境学会誌 46:123–

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Takasu H, Era T, Miyahara K, Ito M	4. 巻 106
2. 論文標題 Lability of sedimentary organic nitrogen estimated from amino acids in a reservoir on land reclaimed from Isahaya Bay, Kyushu, Japan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Limnologica	6. 最初と最後の頁 126174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.limno.2024.126174	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 Takasu H, Ikeda M, Miyahara K, Shiragaki T	4. 巻 184
2. 論文標題 High contribution of picophytoplankton to phytoplankton biomass in a shallow, eutrophic coastal sea	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Marine Environmental Research	6. 最初と最後の頁 105852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marenvres.2022.105852	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 Takasu H, Okamura T, Komorita T, Shiragaki T, Uchino K	4. 巻 85
2. 論文標題 Contribution of riverine dissolved organic carbon to organic carbon decomposition in the Ariake Sea, Japan, a coastal area suffering from summer hypoxia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Aquatic Sciences	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00027-022-00920-0	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 Hiroyuki Takasu, Koji Uchino	4. 巻 177
2. 論文標題 Nutrient regeneration from riverine high-molecular-weight dissolved organic matter through marine bacterial decomposition in a eutrophic coastal system: the Ariake Sea, Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Sea Research	6. 最初と最後の頁 102114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seares.2021.102114	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 Koji Uchino, Koichiro Mori, Natsu Fukushima, Hiroyuki Takasu	4. 巻 19
2. 論文標題 Influence of river inflow and microbial activity on distribution of dissolved organic carbon in the northern part of Ariake Sea, Kyushu, Japan.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 153-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2965/jwet.20-174	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 高巢裕之	4. 巻 84
2. 論文標題 陸域からの有機物負荷が諫早湾の赤潮と貧酸素水塊の発生に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 陸水学雑誌	6. 最初と最後の頁 203-217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3739/rikusui.84.203	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 小柳凜太郎, 白垣友寛, 高巢裕之	4. 巻 46
2. 論文標題 諫早湾の植物プランクトン群集の成長に及ぼす干拓調整池水中の溶存有機態窒素の影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 水環境学会誌	6. 最初と最後の頁 123-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2965/jswe.46.123	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4件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 白垣友寛, 岡村知海, 内野宏治, 田尻裕太郎, 高巢裕之
2. 発表標題 諫早湾調整池排水が湾内の水質と魚類相に与える影響
3. 学会等名 令和4年度 日本水産学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮原昂太郎、伊藤真依子、高巢裕之
2. 発表標題 アミノ酸指標を用いた諫早湾におけるアサリの餌料環境の評価
3. 学会等名 第57回 日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高巢裕之
2. 発表標題 陸水・沿岸海洋における炭素・窒素の生物地球化学的循環における微生物の役割に関する研究
3. 学会等名 日本陸水学会第85回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高巢裕之
2. 発表標題 諫早湾堆積物中のアミノ酸の分布
3. 学会等名 日本海洋学会 2023年度 秋季大会
4. 発表年 2023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
---------	---------