

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K20040

研究課題名(和文)難分解性溶存態有機物の消失経路-泡による粒子化-

研究課題名(英文) Fate of Refractory Dissolved Organic Matter: Aggregation with bubbling

研究代表者

和田 茂樹 (Wada, Shigeki)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：60512720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、海水中の溶存態有機物(DOM)の行方の一つとして、泡による粒子化を検証する。特に、分解に数千年を要する難分解性DOMが粒子化するのかを、有機物の組成や放射性炭素年代から評価することとした。

複数の海域の海水をろ過してろ液を純空気曝気したところ、DOMからの粒子化を確認することに成功した。さらに、泡によって粒子化した有機物を野外で採取し、その放射性炭素同位体を測定したところ、有機物はほぼ現世のものであることがしめされた。これは、植物プランクトンの生産物など、現世の有機物を多く含む懸濁態有機物(POM)画分と、凝集体の有機物の組成(脂肪酸組成)がほぼ一致していたことと矛盾がない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

予想された結果(難分解性DOMの粒子化)とは異なる結果が得られたものの、易分解性有機物が泡によって選択的に粒子化されることが明らかとなり、植物プランクトンを由来とする有機物が短時間の間に粒子化するプロセスの存在が示された。有機物の凝集は、海中における粒子の生成過程として重要である一方、凝集過程は多くが未解明である。特に研究例がほとんど無い、泡が介在する有機物粒子の動態が明らかになったことは、荒天時など特に泡が生じやすい条件が炭素循環に及ぼす影響を解明する上で重要な情報となりうる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to verify the aggregation of dissolved organic matter (DOM) in seawater by bubbling as one of its fates. Specifically, we evaluated whether refractory DOM, which takes thousands of years to decompose, undergoes aggregation based on the composition of organic matter and radiocarbon age.

By filtering seawater from multiple marine areas and aerating the filtrate with pure air, we successfully confirmed the aggregation of DOM. Furthermore, we collected the aggregates with foam in the field and measured their radiocarbon isotopes, which indicated that the organic matter was mostly modern. This finding is not contradictory, as the fatty acid composition of the aggregated organic matter aligns closely with the suspended particulate organic matter (POM) fraction, which contains a significant amount of present-day organic matter such as phytoplanktonic organic matter.

研究分野：生物地球化学

キーワード：泡 溶存態有機物 凝集 難分解性 放射性炭素年代 脂肪酸組成

1. 研究開始当初の背景

難分解性溶存態有機物(RDOM: Refractory Dissolved Organic Matter)は、海洋に約 650 Pg C (650×10^{15} g C)存在し、数千年の期間にわたり分解されずに残存することから、炭素リザーバーとしての役割を有することが知られている。気候変動が進行する中で、海洋への炭素の吸収過程に寄与する RDOM の動態を知ることは喫緊の課題であるが、その生成および消失過程の多くは未解明である。

荒天時などには強い風などにより、海洋表面に断続的に泡が生成する(Deane and Stokes 2002; Czerski et al 2011)。泡は海水中の有機物を吸着・凝集させることが知られており(Johnson and Cook 1980)、DOM の行方になりうることが指摘されている(Monahan and Dam 2001)。しかしこれまでに行われた実験的研究は、海水中における特定の有機物やバクテリア細胞が泡の存在下で凝集する過程を解析したものであり、自然海水中の有機物を定量・定性的に評価した例は無い。



図 1. 荒天後に観察される海表面の泡と有機物凝集体の混合物

2. 研究の目的

本研究では、海水中の RDOM の行方として泡に伴う凝集の可能性を着想し、泡によって生じる有機物の量および組成の解析に取り組む。この際、ろ過海水に対する曝気実験と荒天時に海面に発生する泡の採取の 2 つのアプローチを実施することとした。

3. 研究の方法

(1) ろ過海水の曝気実験による DOM からの凝集の評価

曝気試験

静岡県下田市沿岸および東京湾沿岸から表層海水をバケツ採水し、あらかじめ焼却処理したガラス繊維ろ紙(GF/F フィルター, Whatman)でろ過した後にろ液を純空気で曝気した。この際、超純水に対して同様の試験を行うことで、作業中のコンタミネーションの影響を評価した。曝気したろ液を GF/F フィルターで再度ろ過を行い、ろ紙上に捕集された懸濁態有機炭素(POC: Particulate Organic Carbon)を元素分析で測定した。また、ろ液に含まれる溶存態有機炭素(DOC: Dissolved Organic Carbon)は全有機炭素計で測定した。

自然プランクトン群集由来 DOM の曝気による粒子化

静岡県下田市沿岸海水に栄養塩を加え、自然光下で培養した。40 日間にわたり定期的に海水を回収してろ過を行った後、ろ液に純空気を曝気して凝集体生成量を測定した。

(2) 海表面に発生する泡の採取と組成解析

下田、青森、能登など異なる海域の沿岸において、荒天時に発生した泡の回収を行った。得られた泡は、長時間にわたり維持されるため溶液化することが難しく、そのままでは処理することが難しい。そこで、泡を容器に入れた後に微量のヘキサンを添加して消泡し、有機物が懸濁した溶液にしたのち、GF/F フィルターで捕集を行った。

捕集された凝集体の一部は、加速器質量分析計で放射性炭素同位体測定を行い、残りは脂肪酸組成解析に供した。また、比較試料として、分解が進行していると考えられる堆積物試料の測定も行った。

4. 研究成果

(1) ろ過海水の曝気実験

下田市沿岸と東京湾沿岸の表層水から、1 - 1.5 時間程度の曝気によって POC の増加が認められた(0.188-0.619 μMC)。曝気せずに放置したろ過海水ではほとんど POC の増加は見られず、作業中のコンタミネーションを検証するために実施した超純水を曝気した試料においても、POC の増加は 0.136 μMC と十分に低かったことから、曝気によって生じた泡が凝集体形成に寄与していることが明らかとなった。また、下田市は中栄養の沿岸水であるが、東京湾は富栄養海域として知られている。このような異なる海域の海水で共通して、曝気による凝集体形成が認められたことから、幅広い海域において泡が誘発する凝集体形成が生じることが示唆された。

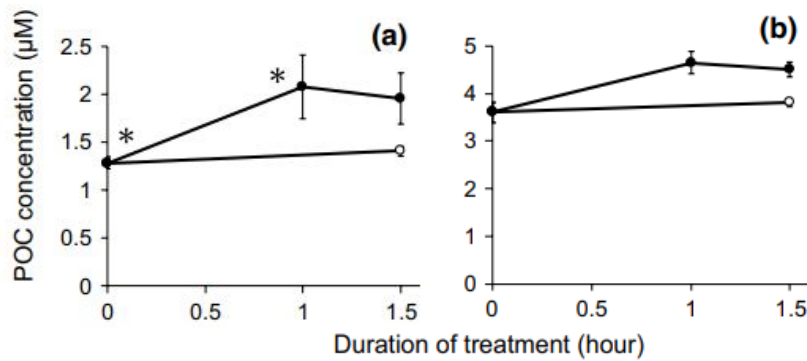


図 2. GF/F ろ液に対するバブリング処理と POC 濃度の経時変化

(a)下田および(b)東京湾の海水に対する、(●)曝気処理と(○)非曝気処理(対照区)を示す。縦軸は POC 濃度(μM)、横軸は処理の時間(hour)を示す。

さらに、下田市の自然海水に栄養塩を添加して培養した結果、13 日目には栄養塩の枯渇が観察された。定期的に回収したサブサンプルをろ過したのちに曝気し、泡で凝集する有機物の量を定量したところ、栄養塩の枯渇に呼応するように泡による凝集体生成量が増大した。また、DOC に対する凝集した有機物の量は、栄養塩枯渇後に最大となり、その後低下した。すなわち、泡によって凝集する有機物量は、プランクトン群集の栄養状態によって大きく変動することが明らかとなり、生産直後の易分解な有機物の関与も十分に考えられる。

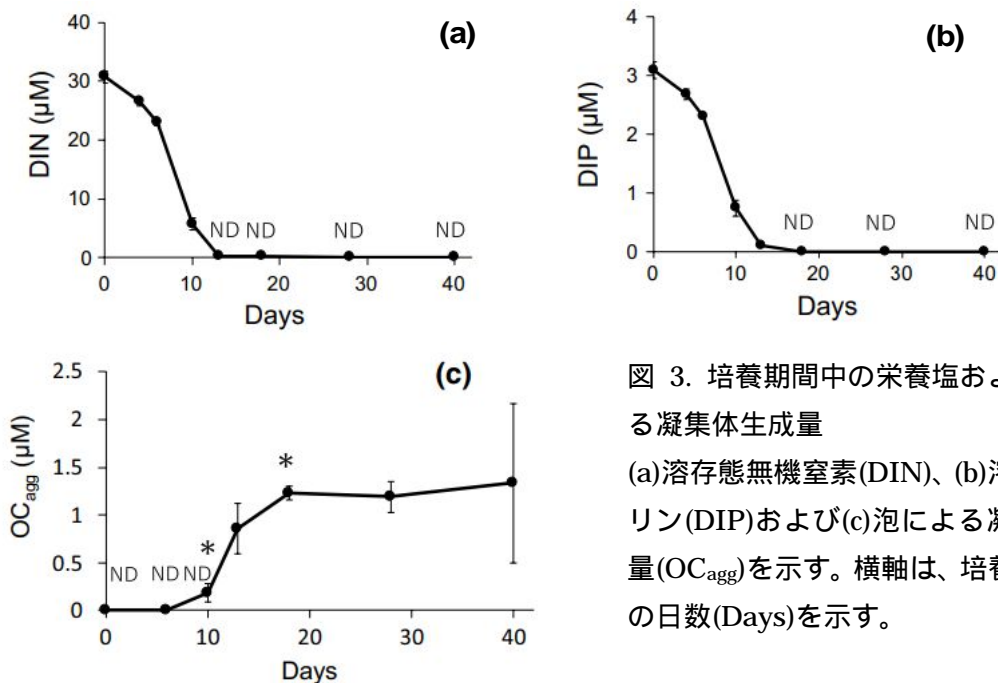


図 3. 培養期間中の栄養塩および泡による凝集体生成量

(a)溶存態無機窒素(DIN)、(b)溶存態無機リン(DIP)および(c)泡による凝集体生成量(OC_{agg})を示す。横軸は、培養開始からの日数(Days)を示す。

(2) 海表面に発生する泡に含まれる有機物

泡の採取

海表面に生成した泡は、巻き込まれた有機物の粘性などにより頑健な泡を形成する。そのため、野外から泡と有機物の混ざった凝集体を採取すると、泡が長時間にわたり維持されるため、ろ過などの作業に供することができない。そこで本研究では、疎水性の強い溶媒を消泡剤として微量に添加した。その結果、10分でほぼ泡は消泡し、溶液中の凝集体をろ過で回収することが可能となった。

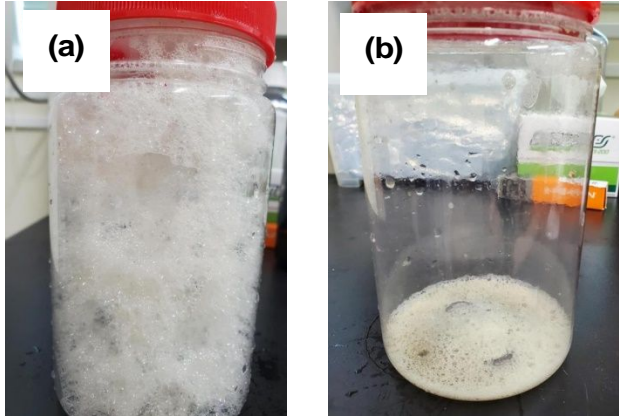


図 4. ヘキサンによる消泡効果
(a)ヘキサンの添加無しと(b)添加ありを示す。

放射性炭素同位体および脂肪酸組成

泡に含まれる放射性炭素同位体から推定された年代はほぼ現世のものであり、泡に含まれる有機物のほとんどは生産されて間もない有機物であることが示された。これは、対照試料として測定した堆積物試料と比較しても高く、泡が生じた際に易分解性の有機物が選択的に凝集することを示している。さらに、脂肪酸解析を実施し、主に植物プラクトンを多く含むと考えられる海水中の POM 画分の測定結果と比較した。泡と POM 画分の脂肪酸の組成は極めて類似しており、明確な差異は認められなかった。一般的に、植物プランクトン由来の有機物と比較して難分解性の有機物の脂肪酸組成は、飽和脂肪酸の割合が大きくなることなどが知られている。すなわち、海水中の POM 画分との脂肪酸組成の類似性は、生産されてからの時間経過が短い易分解性の有機物を多く含むことを示しており、放射性炭素同位体の測定結果と一致する。

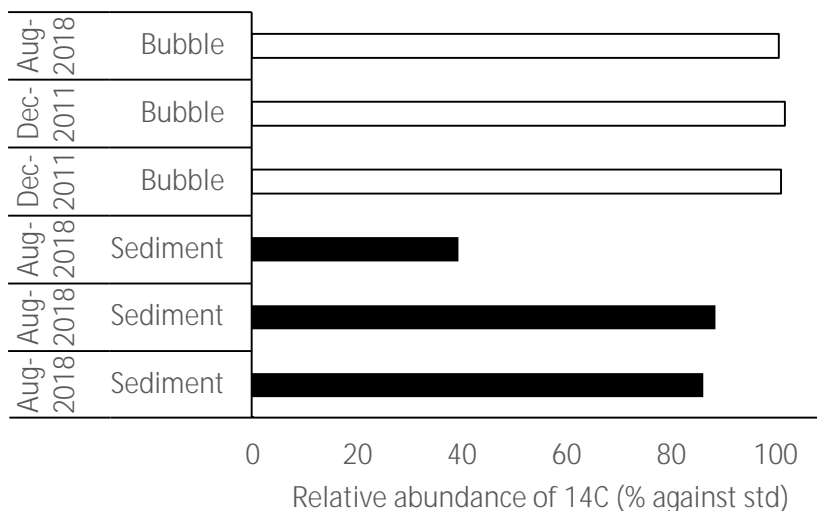


図 5. 泡に吸着した凝集体と堆積物の放射性炭素同位体

横軸は現世の標準物質の同位体比に対する放射性炭素同位体の相対量(%)を示す。

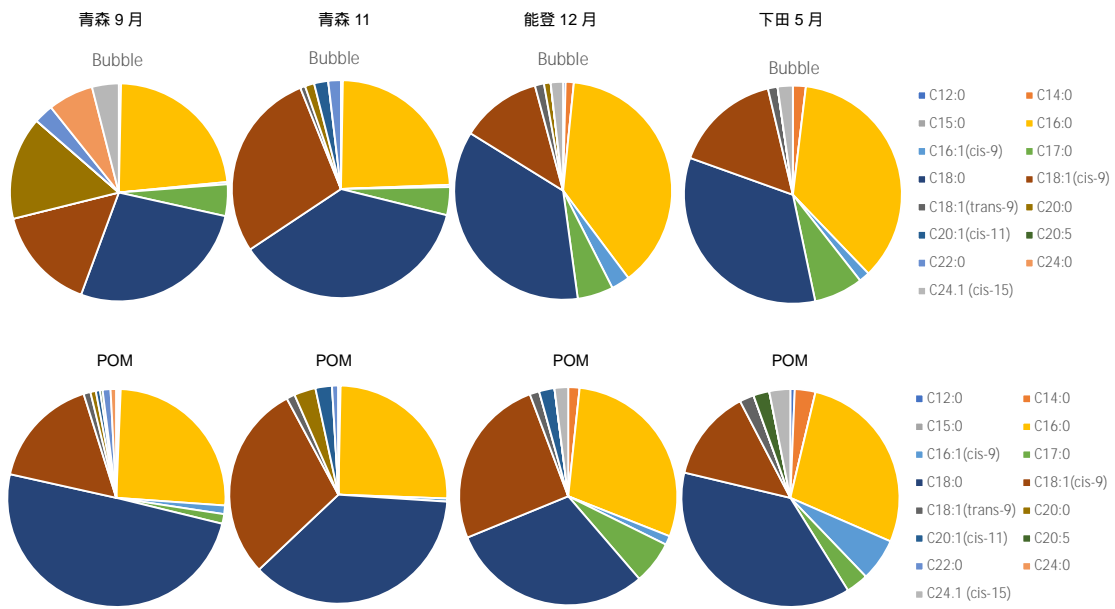


図 6. 各海域における泡に吸着した凝集体と POM の脂肪酸組成
 青森県沿岸の 9 月及び 11 月、能登沿岸の 12 月、下田沿岸の 5 月に採取した試料を示す。
 上段は泡に吸着した凝集体を示し、下段は POM を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wada Shigeki, Omori Yuko, Yamashita Saki, Hayashi Yasuhito, Hama Takeo, Adachi Yasuhisa	4. 巻 76
2. 論文標題 Aggregation of marine organic matter by bubbling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 317 ~ 326
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10872-019-00538-1	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 和田茂樹
2. 発表標題 プランクトン群集の変化と泡による溶存態有機物の粒子化の関係
3. 学会等名 海洋生物学研究会シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田茂樹
2. 発表標題 Selective aggregation with bubbles on sea surface
3. 学会等名 ISBEC 2023 (国際学会)
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
研究分担者	佐藤 雄飛 (Satoh Yuhi) (50708120)	公益財団法人環境科学技術研究所・環境影響研究部・研究員 (81103)	

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
---------	---------