

海洋有機物プールのダイナミクスと地球表層物質循環の長期変動との関わり

Long-term interaction between dynamics of marine organic pools and earth's surface bioelemental cycles

田上 英一郎 (Tanoue Eiichiro)
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授



研究の概要

海水中には、陸上の植生や土壌有機物と同程度の有機物が存在する。その存在量は、炭素換算で大気圏の二酸化炭素全量にも匹敵するが、その生成・分解・維持機構等、他の有機物プールに比べて最も理解が遅れている。本研究において、海洋有機物の組成や構成成分の分子レベルでの同定、溶存有機物の生成と分解の時間スケール等の検討を行った結果、地球表層の炭素循環を理解する上で、海洋有機物プール動態への理解が必須であることがわかった。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

理学／地球科学・地球化学／海洋有機物プール、物質循環、動態、炭素循環、地球環境

1. 研究開始当初の背景・動機

- (1) 海水中には膨大な量の非生物有機物が存在 (海洋有機物プール)。
- (2) この有機物は、海洋細菌のエネルギー源として重要な事が既知。
- (3) 海洋有機物プールと海洋生態系との関わりは短い時間スケール。
- (4) 海洋有機物プールの量は地球表層の炭素循環に影響出来るほど巨大。
- (5) 海洋大循環の時間スケールは、生態系のそれよりもはるかに長い。
- (6) 地球表層の炭素循環への影響は長い時間スケールで考える必要。
- (7) 長い時間スケールでの海洋有機物プールの動態は不明。

2. 研究の目的

- (1) 海洋有機物プールの動態と地球表層炭素循環との関連の解明。
- (2) 海洋有機物プール中の有機物組成決定。
- (3) 海洋有機物プール構成成分の分子レベルでの同定。
- (4) 有機成分の起源の同定。
- (5) 有機成分の生成・変質・分解過程の解析。
- (6) 海洋有機物プール変動の時間スケール解明。

3. 研究の方法

- (1) 他分野の分子レベル分析技術の地球科学分野への導入
- (2) 電気泳動法とその周辺技術の海洋有機物への適用
- (3) 核磁気共鳴法 (NMR spectroscopy) の海洋有機物への適用
- (4) 各種クロマトグラフィ法の開発
- (5) 各種質量分析計の利用

4. 研究の主な成果

本研究方向は世界的に見てもユニークであり、いわば発見の科学とも言えるべきものであった。主な成果としては世界で初めての報告のみを挙げる。その中で既に論文として発表された成果については記述のみに止め、論文として発表されていない成果の一部について、図表を添えて記述する。

(1) 懸濁有機物中からのタンパク質分子の検出・識別と分子シャペロンの発見 (世界初)

- ・ 懸濁有機物に対して世界で初めて二次元電気泳動法を適用し、計23種の非生物懸濁タンパク質を分離・識別した。
- ・ 懸濁タンパク質の一つが植物プランクトン起源の70kDa熱ショックタンパク質 (HSP70) と同定され、それが生物により合成されたときのまま、N末端から恐らくC末端まで、ほとんど同じ状態で存在すると考えられた。
- ・ 懸濁有機物を加水分解すると遊離するアミノ酸の大部分は、生体に含まれる状態でのタンパク質ではないことがわかった。

(2) 溶存タンパク質のインベントリーと酵素タンパク質の同定 (世界初)

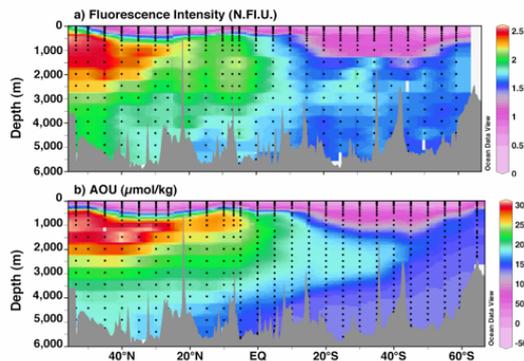
- ・ 二次元電気泳動法の適用により、溶存タンパク質を少なくとも412個のスポットとして分離・識別した。
- ・ 412個のスポットの多くが、分子量が同じで等電点が異なるスポット群としてされ、溶存タンパク質の多くがポリペプチド鎖が同一で糖鎖特性が異なる糖タンパク質であることがわかった。
- ・ 本研究代表者が報告したポリタンパク質以外に海洋細菌由来の外膜タンパク質A (OmpA)-likeタンパク質及び低分子-アルカリフォスファターゼが新たに同定された。

(3) Fluorophoric Dissolved Organic Matter (FDOM)の海盆スケール分布 (世界初)

- ・ 海洋存有機物の中で、化学的に同定できず生物学的難分解性と考えられている海洋性腐植植物由来の蛍光強度の海盆スケールでの分布を明らかにした。
- ・ 南極海から北部北太平洋まで表層から水深6,000mに至る分布において、FDOMに由来する蛍光強度の分布は、表層で深く深度に伴い増加する事、見かけの酸素消費量 (Apparent Oxygen Utilization: AOU) の分布と極めて一致する事が海盆スケールで明らかになった。この分布からFDOMは表層で光化学反応により分解し、中・深層では有機物の分解により生成することが実証された。
- ・ FDOMとAOUが正の直線関係を有し、同一海水の無機炭素の¹⁴C年齢から、生成したFDOMは微生物学的分解に対して抵抗性を有し、深層水中では900年にわたって安定して存在する事がわかった。

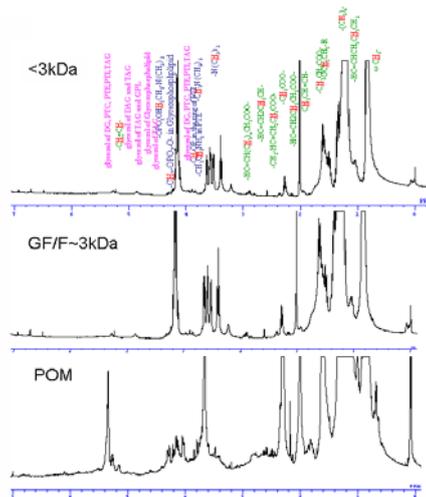
[4. 研究の主な成果 (続き)]

- 海洋内部での FDOM 生成量を炭素で評価した。FDOM-C 生成量 (0.14-0.57 PgC/yr) は、河川を通して海洋へ負荷される陸起源性溶解有機炭素量 (0.25 PgC/yr) や海洋堆積物への有機物の埋没量 (0.16 PgC/yr) と同様な値を示し、地球表層の炭素循環を考える上で無視できない事がわかった。



(4) 溶解脂質への¹H NMRの適用 (世界初)

- 溶解脂質の¹H NMRスペクトルから、南大洋、南および北太平洋において、共通してリン脂質、トリおよびジグリセリドの官能基が帰属され、溶解脂質は、生体有機物と同様の分子種により構成されていることが分かった。またその脂質分子は海水中に未分解で存在することが分かった。その脂肪酸組成は、ステアリン酸とパルミチン酸の和が脂肪酸全体の 60~80%を占める特徴的な脂肪酸組成を示し、生物体、懸濁および堆積物有機物中の脂質の脂肪酸組成と大きく異なることが分かった。
- 溶解脂質は、その 20~60%が高分子溶解有機物として海水中に存在し、40~80%単分子として海水に溶解していた。単分子は、海域・深度によらず、その濃度は約 2μMCであった。高分子および単分子の脂質は、同一の分子種、脂肪酸組成を示し、溶解脂質の存在状態が、海水中で単分子<=>ミセルコロイド平衡により説明できることを見いだした。
- 溶解脂質の存在量は、南大洋、南および北太平洋において炭素量にして溶解有機物全体の 4~8%を占め、海水中の懸濁有機物に匹敵する炭素リザーバーであることが分かった。



(5) 溶解脂質全量の¹⁴C年代測定 (世界初)

- 伊勢湾湾奥部及び相模湾湾口部の海水試料について、溶解有機炭素 (Dissolved Organic Carbon: DOC) 及び溶解全脂質の¹⁴C年代測定を行った。
- 伊勢湾湾奥部のDOCの¹⁴C年齢は 540 yrBP であったが、同一海水の溶解脂質は 2,600 yrBP であった。相模湾湾口部の¹⁴C年齢は 390 yrBP であったが、同一海水の溶解脂質は 7,100 yrBP であった。
- ¹H NMRの結果から、脂質には石油起源の成分が含まれており、補正した結果、伊勢湾湾奥部及び相模湾湾口部の溶解脂質の年齢は、それぞれ 1,560 年及び 2,100 年若くなった。有機物の¹⁴C年代測定の際は、対象化合物の化学的性質を把握したうえで測定する必要があることが示された。
- 石油起源の脂質の補正後も、溶解脂質はDOCに比べると¹⁴C年齢は古く、化合物により動態の時間スケールが異なっていることが示唆された。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

世界・日本における位置づけ: 海洋有機物プールの研究は、生物を対象とした比較的短い時間スケールでの研究が多く、その方面での重要性は十分に理解されている。一方、海洋有機物プールの現存量は大きく、その動態は地球表層炭素循環にも影響を与える可能性が考えられる。海水循環の時間スケールは長い (〜数千年)。従って、海洋有機物プールの動態と地球表層炭素循環との関わりを理解しようとすれば、長い時間スケールでの海洋有機物プールの動態を理解する必要がある。しかし、この方向の研究は日本では皆無であり、世界を見渡しても本研究代表者のグループがリードしている。

得られた成果のインパクト

地球表層炭素循環では、大気中の二酸化炭素、陸上の植生及び土壌有機物、海水中の無機炭素を中心に組み立てられている。海洋有機物プールは、陸上の植生及び土壌有機物と同程度の現存量を有することから、その動態を理解する必要があることは認識されてきた。しかし、地球表層の他の炭素プールに比べて、海洋有機物プールに関する情報は非常に初歩的段階にあり、その重要性に関して可能性が指摘されるに留まっていた。本研究により、海洋溶解有機物の一部ではあるが、化学的に同定され、その生成・変質・分解過程に関する理解が飛躍的に増加し、その量的側面及び時間スケールも明らかにすることができた。本研究の成果により、海洋有機物プールの研究は可能性を指摘する段階が終わり、その動態研究の必要性に関する理解が大きく進歩するものと確信している。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

Chromophoric dissolved organic matter in Pacific subarctic and subtropical surface waters. Yamashita, Y. and **E.Tanoue**, Res. Org. Geochem., 21, 13-22. Yamashita, Y. and **E.Tanoue** (2006)

The inventory and chemical characterization of dissolved proteins in oceanic waters. Yamada, N. and **E.Tanoue**, Progr. Oceanogr., 69, 1-18. (2006)

Chemical forms and dynamics of amino acid-containing particulate organic matter in Pacific surface waters. Saijo, S. and **E.Tanoue**, Deep-Sea Res., part 1, 52, 1865-1884. (2005)

Chemical characteristics of amino acid-containing dissolved organic matter in seawater. Yamashita, Y. and **E.Tanoue**, Org. Geochem., 35, 679-692. (2004)

In situ production of chromophoric dissolved organic matter in coastal environments. Yamashita, Y. and **E.Tanoue**, Geophysical Res. Lett., 31, L14302, doi: 10.1029/2004GL019734. (2004)

Distribution and alternation of amino acid in bulk DOM along the transect from bay to oceanic waters. Yamashita, Y. and **E.Tanoue**, Mar. Chem., 82, 145-160. (2003)

Detection and partial characterization of dissolved glycoproteins in oceanic waters. Yamada, N. and **E.Tanoue**, Limnol. Oceanogr., 48, 1037-1048. (2003)