



海中粒子研究の現状と展望

総論：シンポジウム 「海中粒子研究の 現状と展望」概要

本 多 牧 生¹⁾
三 野 義 尚²⁾
乙 坂 重 嘉³⁾

Outline of symposium on the current status
and future vision of the study of marine
particles

Makio Honda, Yoshihisa Mino, Shigeyoshi
Otosaka

- 1) 海洋研究開発機構
2) 名古屋大学
3) 東京大学

2022年9月7日、名古屋大学で開催された日本海洋学会2022年秋季大会においてシンポジウム「海中粒子研究の現状と展望」を開催した。本特集号はその講演内容をまとめたものである。

1. 開催趣旨

海中粒子は、海洋生物の餌として重要であるとともに、炭素循環にとって極めて重要な役割をもつ。その代表が、生物炭素ポンプと呼ばれるメカニズムで、大気中の二酸化炭素が海洋植物プランクトンの光合成を皮切りに海洋内部へ、主に沈降粒子として輸送されるメカニズムである。IPCC AR6では、2010年代の人為起源二酸化炭素の年間放出量（炭素換算で約11ギガトン：11GT-C/yr）と同等量の二酸化炭素が生物炭素ポンプで海洋内部へ輸送されている、と報告されている。ただしその推定値は±50%の不確定さを含んでいる。しかも現在、人類活動による地球環境の変化に伴う、海洋の温暖化、酸性化、貧酸素化という“複合ストレス”が進行中であり、生物炭素ポンプ機能の低下が懸念されている。したがって生物炭素ポンプの現状を把握するとともに、その変化の将来予測と地球環境へのフィードバックについて考察するためにも、さらなる研究が必要である。1980年代後半から2000年代において、生物炭素ポンプ研究の中心は、海底設置型のセジメントトラップ実験であり、世界中に時系列式セジメントトラップが設置された。しかし沈降粒子の捕集効率変化や“スイマー”混入により、実際の生物炭素ポンプの再現性が問題視されるとともに、セジメントトラップ係留系の維持費ならびに係留系回収再設置のための運航費の確保も困難となり、現在では国内外のセジメントトラップ観測数はかなり限定的となっている。一方では、光センシング技術の発達、画像解析技術が進歩し、係留系やグライダー、漂流ブイによる濁度、後方散乱測定、レーザによる粒径分布観測および水中カメラ、水中ビデオカメラの画像解析を元にした光学的海中粒子観測手法など新たな研究・分析手法も行われるようになってきた。また、新しい研究重点項目

(細粒子化 : fragmentation, 小粒子物理ポンプ : Physical Injection Pump, 物理学的・生物学的凝集化 : physical / biological aggregation) も提唱されている。本シンポジウムでは生物炭素ポンプに関わる海中粒子についての最新の研究動向(理論, 観測技法)について, 各分野の専門家が紹介し, 顕在的/潜在的な課題を明確にするとともに, 情報の共有化を図る。加えて, 今後日本のコミュニティーでどのような連携関係を持って同研究を実施するのが効率的か?についての意見交換も行う。

2. 講演内容

本多牧生 (JAMSTEC) による開催趣旨が説明された後に 9 名の研究者が講演を行い, 「海中粒子研究」に関する様々な観測手法, 成果, 最新情報を紹介した。なお (*) のついた講演の詳細は本特集号の各論を参照されたい。

1. 安定同位体比を利用した粒子状有機物の挙動と物質循環の研究 (*)

三野義尚 (名古屋大学)

沈降粒子, 懸濁粒子そして溶存態の炭素, 窒素の安定同位体比を測定することで, 粒子の生成・分解過程, 利用される栄養塩種 (硝酸, 亜硝酸, アンモニア) 等を明らかにすることができる。特に最近話題の粒子の細粒子化 (fragmentation) というメカニズムが観測でき, 細粒子による炭素輸送量の見積りが可能になる。さらに粒子が形成された時の海洋環境 (基礎生産力や二酸化炭素分圧, 冬季モンスーンの強度) の時系列変化の再現も可能になる。

2. 海中の粒子状物質の沈降過程 (*)

鋤柄千穂 (東京海洋大学)

水簸 (すいひ) 法 (Elutriation system) により, 粒子の沈降速度を測定した。その結果, 西部北太平洋亜熱帯観測地点 S1 における沈降粒子速度が, 亜寒帯観測地点 K2 のものより高かった。これはセジメントトラップ実験で得られた結果と調和的であった。また炭酸カルシウム濃度と沈降速度に正の相関関係が見られた。BGC-Argo 観測によ

り, 混合層の深化や中規模渦で発生する下降流で表層付近の懸濁粒子が海洋内部へ輸送されている様子が観測できた。

3. 天然放射性核種で紐解く海洋粒子の地球化学 (*)

乙坂重嘉 (東京大学)

沈降粒子, 懸濁粒子, 海底堆積物の天然放射性核種を測定することで, 粒子の沈降フラックスや海中での滞留時間, 沈降速度, 堆積速度など時間軸を入れた各メカニズムを解明することが可能となる。中でも親核種と娘・孫核種の粒子への吸着性の違いから発生する放射線非平衡を測定することで沈降粒子フラックスを測定する方法が, セジメントトラップによる沈降粒子フラックス観測と平行して行われてきた。さらに同研究手法は粒子の水平輸送メカニズム解明の研究にも有効である。

4. 光学的観測で捉える粒径分布の時空間変動 (*)

福田秀樹 (東京大学)

粒子フラックスは, 様々な粒径, 濃度, 沈降速度を持った粒子フラックスの積算から算出可能であり, これを, 観測と理論を融合し研究をおこなってきた。粒径分布は理論物理的に, 粒度観測はレーザー回折を利用した現場型粒度分析装置 LISSTで行ってきた。また凝集化における TEP の役割についても考察してきた。黒潮域での観測から平均粒径が大きいと, 鉛直輸送効率 (T100) が高い (=鉛直変化が小さい) ことが明らかになってきた。

5. 乱流による凝集態の形成と分解 (*)

竹内茉莉香 (National Oceanography Centre (英国))

凝集態, 通称マリンスノーの形成・分解に乱流がどのような働きをもつか現場観測した。乱流は乱流計で, 海中粒子 (凝集態) の鉛直分布は水中カメラで観測した。その結果, ある乱流強度までは凝集態サイズと正の相関があり, 乱流が凝集態形成に関わることがわかったが, ある強度以上は凝集態サイズが変化せず, 逆に乱流が凝集態を分解する効果が高いことが窺えた。今後は乱流と凝集態形成・分解の関係に, 基礎生産力や植物プランクトンの種類 (TEP の多少) などの影響について観測することが重要と考えられた。

6. 原核生物と生物ポンプ

横川太一 (JAMSTEC)

物質循環過程において粒状態有機物循環のみならず溶存態有機物循環における微生物の役割の重要性について指摘され、細菌は生物炭素ポンプの調整機構として働いていると考えられている。過去の太平洋南北横断航海において測定した原核生物呼吸速度と酸素消費速度、炭素分解速度を比較した結果、不確定要素はあるものの、深層の酸素消費はほぼバクテリアの呼吸のみで説明できることが明らかになった。一方、独立栄養の機能を持つ中深層の古細菌の炭素同化能力についても今後は検討する必要がある。

7. 動物プランクトン・魚類マイクロネクトンによる生物炭素ポンプ (*)

高橋一生 (東京大学)

生きた動物プランクトンの能動的な日周鉛直移動、季節的鉛直移動による呼吸、排泄、死亡等による炭素の鉛直輸送 (Mesopelagic Migrate Pump と Seasonal Lipid Pump) も生物炭素ポンプに貢献しており、季節によっては主要な生物炭素ポンプになっている可能性が指摘されている。一方では貧栄養化や貧酸素化によるこれらの働きの弱化も指摘され始めている。動物プランクトンの調査方法として近年では音響的、光学的観測が行われてきている。魚類を含むマイクロネクトンによる生物炭素ポンプの定量化が課題である。

8. 全球海洋炭素循環モデルにおける海洋生物ポンプ (*)

岡頭 (東京大学)

全球的な溶存態炭素とアルカリ度の分布・時空間変動から全球的な炭素ポンプ (生物ポンプ: 有機物ポンプ、炭酸カルシウムポンプ、ガス交換ポンプ、淡水ポンプで構成される)、および海域毎の炭素ポンプ要素を定量化してきた。一方、海洋炭素循環モデルにより最終氷期最寒期の大気中二酸化炭素濃度の低下 (90ppm) の再現を試みてきた。従来の要素に加え、南大洋の海洋物理を変化させることでかなり良い精度で再現できるようになった。今後は、これらの知見、技術で将来の海洋生

物生産、生物炭素ポンプの変化予測を実施することが重要課題である。

9. 海洋粒子による物質輸送と海洋乱流に関する数値モデル研究 (*)

吉川裕 (京都大学)・西野圭佑 (電力中央研究所)・鬼塚剛 (水産研究・教育機構)

海洋物理数値モデル研究の観点から、小規模流 (乱流) が粒子の形成・分解・沈降速度にどのように作用するかを検討した。乱流は、混合層中で沈降を開始する粒子に対して、乱流速度と粒子の自重による沈降速度が同程度の場合に、粒子の平均沈降速度を低下させることが分かった。また乱流は粒子の接触の機会を増加させることで凝集化を促進する一方、大きな粒子の細粒子化も引き起こすことで、沈降速度を増大も減少もさせる。外洋を想定した単純化実験を行った結果、風による乱流は、沈降速度を増大させる効果が大きいことが判明した。さらに混合層深度変化、前線での鉛直循環による物質輸送も重要である。

3. 最後に

参加者は、会場、オンライン併せて、50名程度であった。各講演の質疑応答、総合討論の時間が十分にとれなかったのは残念であったが、参加者からは、「海中粒子研究」の様々なアプローチを知り、各分野の最新情報をまとめて収集することができて大変勉強になった、同研究に興味を湧いた、との感想をいただいた。米国では EXPORTS (<https://oceanexports.org/>)、英国では COMICS (<https://www.comics.ac.uk/>) など生物炭素ポンプ研究に関わる大型プロジェクトが進行中である。本シンポジウムそしてこの特集号を契機に、様々な分野の多くの研究者が興味を持ち、日本における「海中粒子研究」「生物炭素ポンプ研究」がより活性化することを期待したい。

参考文献

- [1] 本多牧生 (2022) AGU OSM2022 に学ぶイマドキの海中粒子研究. JOSニュースレター 12 (1) 7-9.
- [2] 岡頭ほか (2021) -総説-海洋学の10年展望 2021: 深層. 海の研究 30 (5), 179-198, 2021, doi: 10.5928/kaiyou.30.5_179

