

極域海洋における生物地球化学研究 —北極海の成果と南大洋への挑戦—

○原田尚美¹、塩崎拓平¹、渡邊英嗣²、小野寺丈尚太郎²、
佐藤都²、木元克典²、広瀬侑³、高塚進⁴

(¹ 東京大学、² 海洋研究開発機構、³ 豊橋技術科学大学、⁴ ソニー
グループ株式会社)

北極海は、北半球平均の約 2.7 倍 (IPCC1.5°C 特別報告書, 2018) と地球温暖化の影響を最も大きく被っている場所である。観測以来、海氷密度・被覆面積は年々低下し続け、今世紀半ばには、夏季に海氷のない海となっているかもしれない。温度のみならず、「もう一つの二酸化炭素問題」と称される海洋酸性化の進行も全球で最も深刻な状況にある (川合・張, 2019, 地球化学 53, 173–182)。このように劇的に変化する環境下で、生物生産や物質循環は如何に応答し変化してきているのか? それを明らかにするために、筆者らは、西部北極海ノースウインド深海平原にて 2010 年よりセジメントトラップ係留系や pH/pCO₂ 等の各種センサーを設置し、時系列に生物起源粒子の捕集やデータの取得を行ない、既存研究と比較しながら現場で生じている生物地球化学過程の変化について記述してきた (Harada, 2016, GPC 136, 1–17)。このような生物地球化学過程の変化は特に沿岸域で顕著に生じている。北極海沿岸域に広がる深さ数十メートルの陸だな域では、早い時期に海氷がなくなることによって海底付近にまで光が降り注ぐ期間が長期化し、海底に堆積する休眠胞子を発芽させ大増殖させる潜在性を見出した (Shiozaki et al., 2022, GCB, doi:10.1111/gcb.16421)。この結果は、北極海沿岸域の生物ポンプ (生物による二酸化炭素吸収のしくみ) が将来、強まる可能性があることを示す上、季節によっては、優占する植物プランクトン群集がアイスアルジーという海氷に生息する群集から遠洋性種に変わることによって生態系構造全体が遠洋性の生態系に変化していくことを示唆する。また、これら観測結果を利用し、海氷—海洋物理—海洋生態系をカップリングした数値モデルにより、海氷がしっかり形成されていた 1990 年代と比較しながら、海氷減少に起因する物理—化学—生物の間を結ぶ過程の理解とその結果もたらされる生物起源粒子量変化の定量的評価を行なった (Watanabe et al., 2014, Nat.Comm., doi:10.1038/ncomms4950)。その結果、1990 年代に比較して海氷減少が顕著になってきた 2005 年以降、北極海の沿岸域では中規模渦の発生が顕著になり、ボリュームにして 8 割ほど増加することがわかった。さらに、この渦が促進する水塊の鉛直混合により渦の内部では光環境の良い表層に栄養塩が供給されることで、生物生産が促されること、陸だな域から北極海の中央部へ水平輸送される物質が増加するなどの効果で、北極海全体として沈降粒子の量が 1990 年代に比べて 2005 年以降で約 2 倍に増加していた。この増加量は驚くべき量であり、別の研究例で先に紹介した将来の生物ポンプ強化は、沿岸域ではすでに生じていることが示唆される。

また、これまでは窒素源の栄養塩が微量な熱帯・亜熱帯におけるローカルな生物地球化学過程として考えられてきた窒素固定（ガス状の窒素を栄養として取り込む。アンモニアや硝酸塩を取り込んで有機物生産をするよりもエネルギーが必要。）が、硝酸塩やアンモニアなどがしっかり存在する極域海洋でも起きている過程であることも明らかにしてきた。2015 年海洋地球研究船「みらい」による北極海の観測航海、並びに 2018 年の第 60 次南極地域観測隊「しらせ」による海洋観測にて海氷域で海水を採取し、培養実験を行なった結果、北極海ならびに東南極周辺の南大洋においても広範囲に窒素固定が行われていることを明らかにした（Shiozaki et al., 2018 LO, doi:10.1002/lno.10933; Shiozaki et al., 2020, Nat.Geosci., doi:10.1038/s41561-020-00651-7）。また、亜熱帯種と考えられている種が南大洋においても主要な窒素固定生物であることがわかった。この成果は窒素固定は熱帯・亜熱帯限定のローカルな生物地球化学過程であるという従来の固定概念を覆し、極域を含む全球海洋で生じている過程であることを証明した画期的成果となった。

筆者は、博士課程 1 年次に第 33 次南極地域観測隊に参加する機会を得て、東南極南大洋外洋でセジメントトラップ係留系による観測を 2 ヶ月ほど実施し、得られる沈降粒子から新しい生物地球化学過程の一端を明らかにする観測を計画していた。しかし、残念ながら係留系は回収できず当該海域の生物地球化学研究から離れてしまった。その後 30 年が経過し、今年度から、再び東南極南大洋の生物地球化学研究に挑戦する機会を得た。この間センサーは進化し、海水中の粒子の定性・定量評価を行うことができるものが開発されてきた。筆者らの研究では、ソニーが開発したイベントベースビジョンセンサー（EVS）を用い、1/10000 秒の超ハイスピード撮影により、粒子のサイズおよび頻度分布と時空間分布、生物・非生物の分類推定を行い、世界に類を見ない粒子の定性・定量調査観測を実現させる。このセンサーによりこれまで未測定のサイズの粒子を捉え、セジメントトラップ観測によって補集される巨大粒子の結果と併せて海洋生物由来の粒子全体量の推定に挑戦しようと計画している。また、数値シミュレーションも進歩を遂げており、全球の地球システムモデル MIROC の渦許容解像度モデル（1/4 解像度）と南大洋高解像度の領域モデルとを併せて新しい海洋物理—海洋生態系—生物地球化学循環モデルを開発し、CO₂ 排出シナリオに沿った極域海洋の海洋生態系—生物地球化学循環の将来像を提示したいと考えている。

本講演では、以上述べてきた生物地球化学過程に関わる北極海での研究成果を紹介するとともに、30 年ぶりに機会を得た南大洋観測を通じた新しい挑戦的研究について紹介する。

Biogeochemical Studies in the Polar Oceans: Achievements in the Arctic Ocean and Challenges in the Southern Ocean

*N. Harada¹, T. Shiozaki¹, E. Watanabe², J. Onodera², M. Sato², K. Kimoto², Y. Hirose³ and S. Takatsuka⁴ (¹The Univ. of Tokyo, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Toyohashi Univ. of Technology, ⁴Sony Group Corporation.)