

オホーツク海の高い生物生産は海氷の融解によることを解明

～フロート観測による初の融解期の正味生物生産量の推定～

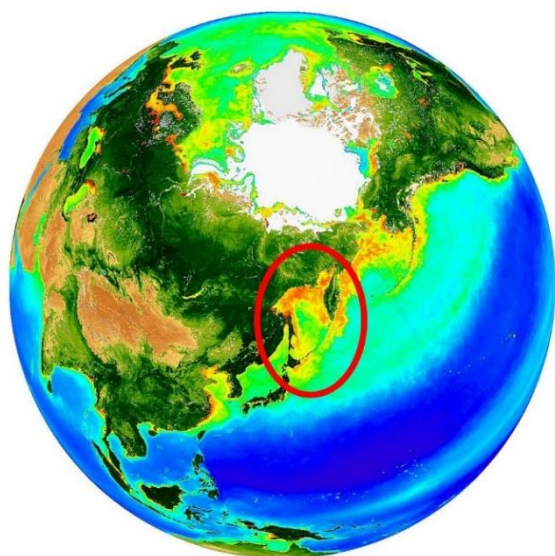
ポイント

- ・自動昇降フロートによる酸素計測により、オホーツク海で初めて正味の生物生産量の測定に成功。
- ・春の植物プランクトン増殖による生物生産は、海氷が融解した海域で圧倒的に大きいことが判明。
- ・オホーツク海の高い生物生産とそれに伴う CO² 吸収の解明や将来予測に繋がる研究。

概要

北海道大学大学院環境科学院修士課程 2 年の岸紗智子氏と、同低温科学研究所の大島慶一郎教授・西岡 純准教授らの研究グループは、自動昇降する酸素センサー付きプロファイリングフロート*¹により、オホーツク海の広範囲を 13 年間にわたって連続観測を行い、海水中に溶けている酸素量の変動から、初めて正味の生物生産量（純群集生産量*²）を見積もることに成功しました。その見積もりによると、純群集生産量は春、直前に海氷が存在していた海域で圧倒的に大きい値になることが示され、春の植物プランクトンの顕著な大增殖（春季ブルーム）は海氷融解によってもたらされていることを初めて定量的指標をもって明らかにしました。この原因として、密度(塩分)の低い海氷融解水によって作られる強い成層（密度差）の他に、海氷が融解することで放出される物質（鉄分であることが有力）が重要であることも示唆されました。今回見積もられた海氷融解域での純群集生産量の値は、世界で最も顕著な春季ブルームが起こる南大洋氷縁域にも匹敵するもので、オホーツク海の高い生物生産を定量的な指標で示した結果でもあります。

本研究は科学研究費補助金・基盤研究 S（課題番号 17H01157; 20H05707）の助成を受けて実施されました。なお、本研究成果は、2021 年 3 月 26 日（金）公開の *Geophysical Research Letters* 誌にオンライン掲載されました。



北半球の春の海面クロロフィル a 濃度分布。暖色になるほどクロロフィル a 濃度が高い。SeaWiFS (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>)より。

【背景】

豊かな水産資源を生み出すオホーツク海の高い生物生産は、植物プランクトンによって支えられています。特に、春季の植物プランクトンの大增殖（春季ブルーム）は、大きな生物生産を生む起点になっていると考えられています。人工衛星による海の色（表層でのクロロフィル量が推定できる）からもオホーツク海は北半球で最も顕著な春季ブルームを起こす海域の一つであることが示されます（p.1 図）。このような春季ブルームは、オホーツク海と同様に季節海水域である南大洋でも大規模に生じており、海氷の融解が関連しているのではないかと推定されています。

しかし、人工衛星からはごく表層の情報しか得られず、表層下でどんなことが起こっているかはわかりません。また、オホーツク海は海氷があることに加え、大部分がロシアの排他的経済水域であるため、これまで観測は著しく制限されており、春季ブルームによる生物生産量がどの程度に高いのかなど、定量的なことはほとんどわかっていませんでした。今までの船舶によるスナップショット的な観測は数も限られ、特に海氷域内での観測はほとんどなく、本当に海氷の融解がブルームに関連しているのかもよくわかってはいませんでした。また、ブルーム期を時間的に連続して捉えたデータがないために、ブルーム発生メカニズムの理解やそれによる生物生産量の定量化は難しい状況にありました。

【研究手法】

海中の温度・塩分等を連続的にモニターする手法として、自動昇降して水温や塩分の鉛直プロファイルを測定するプロファイリングフロートを用いた観測（図 1）があります。研究グループは、ワシントン大学と協力して、オホーツク海でのプロファイリングフロートの観測を 2000 年から行っており、2007 年からは、溶存酸素センサーが装備された 7 基のプロファイリングフロートも用いて観測を行ってきました。フロートにはワシントン大学で開発された海氷検知機能が装備され、海氷域でも継続した観測が可能になりました。フロートはそれぞれが 2-5 年間漂流し、2007 年から 2019 年の 13 年間、オホーツク海域（一部親潮海域）で、5-10 日ごとの鉛直プロファイルを連続して計測してきました。

植物プランクトンは増殖すると、光合成によって酸素を排出するため、酸素の鉛直プロファイルを連続的に測定し、その増加量を有機炭素量に換算することで、植物プランクトン増殖に伴う正味の生物生産量を推定することが可能となります。本研究では、春季ブルーム期を 3 月下旬から 5 月中旬までと定義し、正味の生物生産量の定量的な指標として用いられる純群集生産量（Net Community Production: NCP）を、海氷域を含む合計 33 ケースに対してフロートで計測された酸素増加率から見積もりました。

【研究成果】

全 33 ケースに対して、有光層（光が届き光合成が行われる層で今回は表層から 50m まで）内で積分した総 NCP を求めると、ブルーム直前に海氷が存在した（以下、海氷有）場合の NCP は平均で 31.3[mmolC/m²day] となり、海氷が存在しなかった場合（以下、海氷無）の平均に比べて約 3 倍も高いことがわかりました（図 2）。50m までの NCP の鉛直プロファイル（図 3）を見ると、全層にわたって、海氷有の場合は海氷無の場合に比べて高い NCP を示し、その差は表層に近い程大きいことがわかります。これらの結果は、海氷融解が大きな春季ブルームを生むことを、初めて定量的指標をもって明らかにしたものとと言えます。また、海氷融解域での NCP の平均値 31.3[mmolC/m²day]は、世界で最も顕著な春季ブルームが起こる南大洋氷縁域にも匹敵するもので、オホーツク海の高い生物

生産が定量的な指標で示された結果でもあります。

それでは、海氷融解の何が大きな春季ブルームをもたらすのでしょうか？ 春季ブルームが生ずるのは、春季に日射量・水温がともに上昇し、植物プランクトンの増殖に適した光・温度環境が整うことがベースにあります。特に、表層が暖まると軽くなりその下の層との密度差（成層）が大きくなり、植物プランクトンが光の多い表層に留まりやすくなり、それが表層でブルームが生ずる要因として知られています。海氷が融解すると、表層に低塩の軽い水が作られるので密度差（成層）が大きくなります。本研究でも成層が強い程、NCPが大きくなるという結果が得られました。一方で、同程度の成層強度では、海氷有の場合の方が、海氷無の場合より顕著に NCP が大きくなる、という結果も得られました。これは成層の強さだけでなく、他の理由、おそらくは海氷が融解するときに放出される物質が大きなブルームをもたらしていることを示唆する結果と言えます。

海氷の有無での NCP の違いが特に大きいのはオホーツク海南西部です（図 4）。この海域は、北部のサハリン陸棚域から海氷が運ばれる海域です。サハリン陸棚域では、鉄分を含む海底堆積物が海氷に取り込まれうることが先行研究 (Ito et al., 2017) より示唆されています。さらに、オホーツク海南西部では、海氷が融解するときに植物プランクトンに不可欠の鉄分が放出され使われることが先行研究 (Kanna et al., 2018) から示されています。これらの研究と今回の研究を合わせると、北部より鉄分を含む海底堆積物が取り込まれた海氷が東樺太海流（図 4）と風で南へ運ばれ、融解した際に鉄分が放出され、融解による成層強化も手伝って、非常に大きな春季ブルームが生ずる、というシナリオが提案されます。

【今後への期待】

本研究から、フロートによる連続観測が生物生産過程の研究に極めて有効であることがわかりました。これを受けて、科学研究費補助金基盤研究 S によるプロジェクトでは、酸素だけでなく、硝酸塩やクロロフィル・pH 等のセンサーを搭載した生物地球化学フロートをオホーツク海に投下することを計画しており、春季ブルームのメカニズムの理解がさらに深まることが期待されます。さらに、このような観測から年間の NCP を見積もることが出来れば、オホーツク海における正味の大気中の二酸化炭素吸収量がわかり、地球温暖化抑制への貢献度や将来の海氷変動による吸収量予測などの評価につながることを期待されます。

論文情報

論文名	The prominent spring bloom and its relation to sea-ice melt in the Sea of Okhotsk, revealed by profiling floats. (プロファイリングフロートによって明らかになった、オホーツク海での顕著な春季ブルームとその海氷融解との関係)
著者名	岸紗智子 ¹ , 大島慶一郎 ^{1,2} , 西岡 純 ^{1,2} , 一色倫聡 ^{1,3} , 二橋創平 ⁴ , Stephen C. Riser ⁵ (1北海道大学大学院環境科学院, 2北海道大学低温科学研究所, 3広尾役場, 4苫小牧工業高等専門学校, 5ワシントン大学)
雑誌名	Geophysical Research Letters (地球物理学の専門誌)
DOI	10.1029/2020GL091394
公表日	2021年3月26日(金)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 教授 大島慶一郎 (おおしまけいいちろう)

T E L 011-706-5481 F A X 011-706-7362 メール ohshima@lowtem.hokudai.ac.jp

U R L <http://wwwod.lowtem.hokudai.ac.jp/~ohshima/>

北海道大学低温科学研究所 環オホーツク観測研究センター 准教授 西岡 純 (にしおかじゅん)

T E L 011-706-7655 F A X 011-706-7655 メール nishioka@lowtem.hokudai.ac.jp

U R L <https://nishioka48.wixsite.com/nishioka>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】

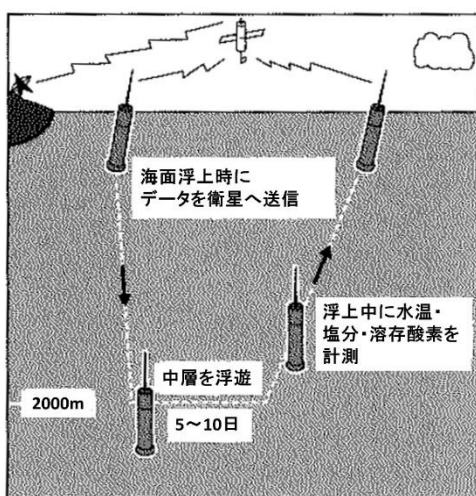


図1.プロファイリングフロートによる観測。

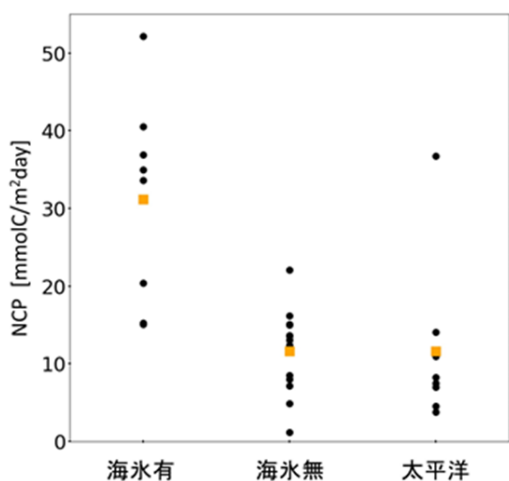


図2.春季ブルームにおける有光層内で積算した各事例の総NCP (正味の生物生産量の指標)。黒丸は各事例での値, 四角は各ケースにおける平均値。

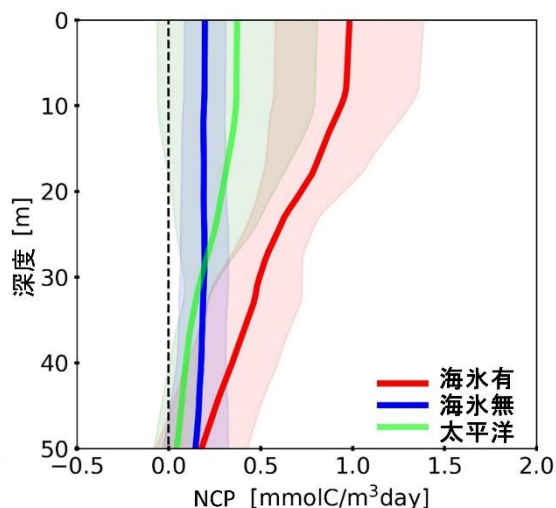


図3.春季ブルームにおける各ケースで平均したNCPの鉛直プロファイル。(赤)海水有, (青)海水無, (緑)太平洋。シェードは各ケースにおける標準偏差。

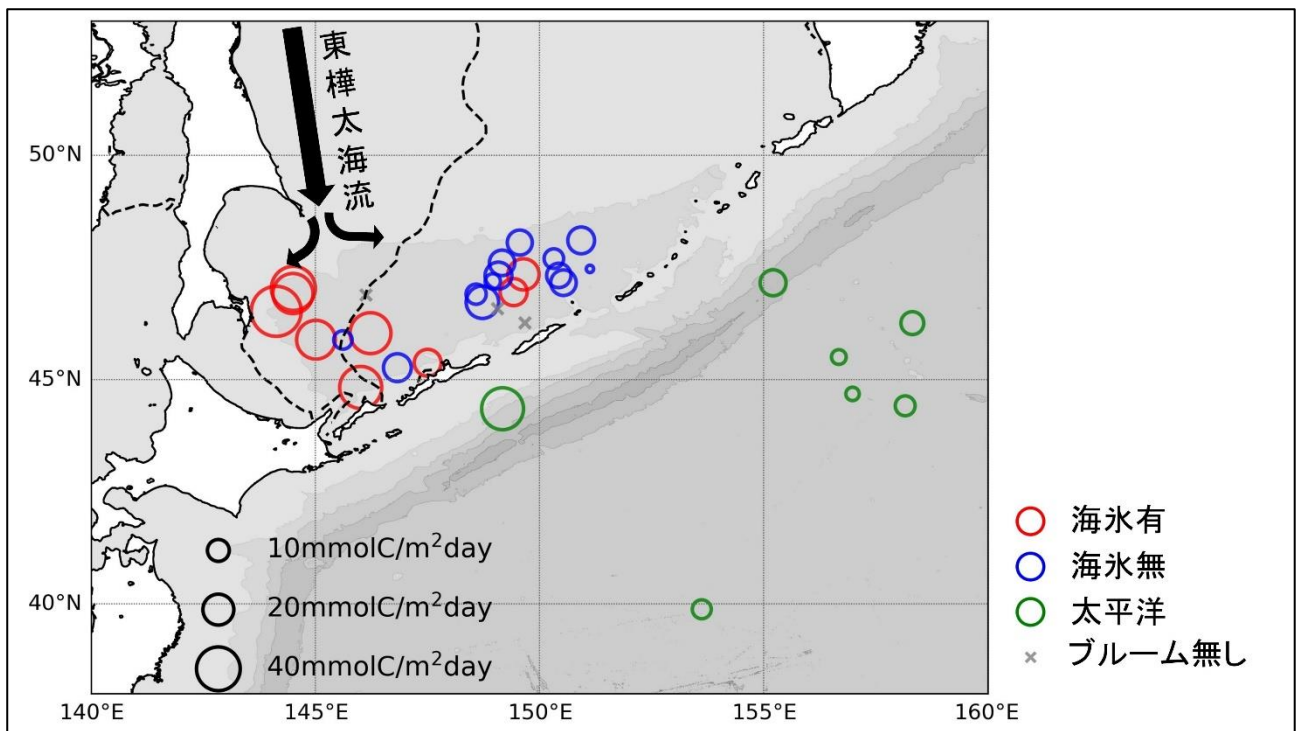


図 4.春季ブルームにおける NCP の大きさ(円の大きさで示す)の空間分布。赤円は海氷有，青円は海氷無，緑円は太平洋の各ケース，バツ印はブルームが起きなかった事例。背景の濃淡は海底深度，破線は3月の平均の氷縁位置を示す。

【用語解説】

- *1 プロファイリングフロート … 船舶から投下された後，中層（今回の場合は水深 1650m）を漂流し，5-10 日サイクルで海面まで自動昇降する漂流型計測器。浮上の際に，水温・塩分・酸素の鉛直プロファイルを計測し，浮上時に位置情報とともに衛星経由でデータを送信する。今回用いたフロートには海氷検知機能が装備され，表層近くの水温が結氷点に近い場合は海氷があると認識し，フロートが海面まで浮上せずに（海氷との衝突による破損を回避し）データを保持したまま再び降下し，次に海面まで浮上した際に保持していたデータをまとめて送信する。
- *2 純群集生産量 … 植物プランクトン増殖などに伴う正味の生物生産量を定量的に見積もる有用な指標。NCP は，総基礎生産量（植物プランクトンが光合成で生産した総有機炭素量）から植物プランクトンとそれ以外の生物（細菌，動物プランクトン等）の呼吸量を引いた「正味の生物生産量」。NCP は一般に有機炭素の増加率（もしくは増加量）[molC/m²day] で示され，酸素増加率から有機炭素の増加率へと変換を行って見積もっている。