



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Winter-to-spring dynamics of phytoplankton in the southern Sea of Okhotsk : community structure, photosynthetic activity, and sinking characteristics
Author(s)	SUN, Yanxu
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16681号
Issue Date	2025-12-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16681
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98655
Type	doctoral thesis
File Information	SUN_Yanxu_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 孫 延旭

審査委員 主査 教授 鈴木 光次
副査 教授 西岡 純
副査 准教授 山下 洋平
副査 助教 豊田 威信
副査 教授 岡崎 裕典 (九州大学大学院理学研究院)

学 位 論 文 題 名

Winter-to-spring dynamics of phytoplankton in the southern Sea
of Okhotsk: community structure, photosynthetic activity, and sinking characteristics
(オホーツク海南部における植物プランクトンの冬季から春季への動態：
群集構造、光合成活性、および沈降特性)

オホーツク海南部は、北太平洋の半閉鎖性縁辺海であり、北半球最南端の季節海水域である。同海域では、冬季、東サハリン海流と北風により広い範囲で海水に覆われるが、春季の海水融解時には大規模な植物プランクトンの大増殖（ブルーム）が発生し、これが年間の一次生産に大きく寄与することが知られている。しかしながら、冬季から春季にかけての植物プランクトンの群集構造、光合成活性、生物炭素ポンプへの寄与の変化に関する知見は著しく乏しく、未だ不明な点が多い。

このため、オホーツク海南部における冬季から春季への植物プランクトンの動態とその環境要因を調査するため、顕微鏡観察、植物色素解析、18S rRNA遺伝子を用いたメタバーコーディング法を適用し、2022年の主要な植物プランクトン群集を同定し、これらのデータを環境要因と比較した。その結果、オホーツク海南部では珪藻類が一貫して優占していたが、植物色素解析から冬季の植物プランクトン現存量の約半分は他の藻類群集で占められていたことが明らかとなった。メタバーコーディングデータを用いた共発生ネットワーク解析では、中心目珪藻 *Thalassiosira* 属と *Chaetoceros* 属が冬季の融氷沿岸水域との共発生関係が高く、これら珪藻属が春季の植物プランクトンブルーム形成に関与していたことが示唆された。これまで春季ブルームの発生に対して、海氷中の珪藻類の重要性が指摘されてきたが、本研究により東サハリン海流の影響を受けた冬季沿岸域の植物プランクトンも春季ブルームに寄与することが解明された。この発見は、今後の温暖化による海氷減少環境下でより重要になると考えられた。

季節海水域において、冬季の氷に覆われた海域から春季の開放水域への移行は毎年繰り返し観察される環境的特徴である。しかしながら、この移行期間における植物プランクトン群集の光合成活性の差異に関する理解は極めて乏しい。このため、2022年冬季から春季にかけてオホーツク海南部で優占する珪藻類における光合成炭素固定酵素RuBisCOの大サブユニットをコードする *rbcL* 遺伝子の発現レベルを比較し、その結果を環境要因と関連づけた。mRNA (cDNA) /DNA コピー数比に基づく珪藻類の *rbcL* 転写効率は、冬季の沿岸域および春季の開放

水域においてより高く、海水中の光利用度が光合成活性の主要な環境要因であったことが示唆された。さらに、調査期間を通して、中心目珪藻類は羽状目珪藻類よりも有意に高い *rbcL* 転写効率を示した。植物プランクトン群集中で優占的な珪藻類であった *Chaetocerotaceae*、*Thalassiosiraceae*、*Bacillariaceae* の転写効率は、光合成光化学系Ⅱの光化学反応の最大量子収率 (F_v/F_m 比) およびクロロフィル *a* 濃度と高い正の相関を示したことから、これら珪藻類が春季植物プランクトンブルームに寄与していたことが示唆された。これらの知見は、春季ブルームにおける高い一次生産力に寄与する珪藻類の同定と、これら生物の季節的に海水で覆われる調査海域の環境変化に対する感受性を明らかにしている。

珪藻類の高い多様性は、形態学および生理学的特性に反映し、深海への有機炭素輸送能力 (生物炭素ポンプ) に直接影響を与えることが知られている。オホーツク海南部の結氷期前後における植物プランクトンの沈降過程を調査するため、同海域の大陸斜面550m深にセジメントトラップを設置し、2022年12月から2023年6月にかけて海水中の沈降粒子を採取した。顕微鏡観察と分子手法をもちいて、沈降粒子中の植物プランクトンの炭素フラックスと群集組成の変化を解析した。その結果、サンプリング期間中に植物プランクトンの炭素フラックスに2つの明確なピークが認められた。最初のピークは海水がセジメントトラップ設置点に流入した結氷期初期に、2つめのより顕著なピークは海水融解期に発生した。群集構造解析により、代表的な海水珪藻種と考えられている *Fragilariopsis cylindrus* と *Thalassiosira nordenskiöldii* が、海水融解ピーク時の生物炭素ポンプに最も寄与していたことが示された。本研究から得られた知見は、植物プランクトン沈降過程における群集組成の季節的遷移を浮き彫りにするとともに、珪藻類を介した深海への有機炭素フラックスを駆動する際、海水が果たす役割が大きいことを強調している。

審査委員一同は、これらの研究成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽、修得単位などもあわせ、申請者が博士 (環境科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。