

太平洋側北極海の淡水供給と異常な海氷残存による植物プランクトン群集への影響 (修論中間発表)

【はじめに】

近年、太平洋側北極海では急速な海氷減少が進行しており、これに伴い開放水面域の面積と期間が拡大している。その結果、従来は春季に限られていた植物プランクトンブルームが、近年では秋季にも確認されるようになってきた。一方で、2021年には特異的に海氷の融解が遅れ、秋にも広範囲に海氷が残存するという異常な状況が観測された。こうした環境変化は、短い世代時間をもち応答の早い植物プランクトンに最も早く影響を及ぼすと考えられる。また、淡水化の進行も顕著であり、これは主に海氷融解水や河川水の流入増加によるものとされる。淡水の蓄積は表層の塩分成層を強化し、深層からの栄養塩供給を抑制する一方で、植物プランクトンの表層滞留時間を延ばし、光条件の改善をもたらす場合もある。北極海食物網は短いため、植物プランクトン群集の変化は高次栄養段階にも大きな影響を及ぼす可能性がある。しかし、太平洋側北極海における海氷と淡水供給の変動が植物プランクトン群集に与える影響に関する知見は限られている。本研究では、2021、2023、2024年秋季の植物プランクトン群集と水理環境を調査し、海氷残存と淡水増加が群集構造に及ぼす影響と、過去の海洋環境との比較による貧栄養化の影響を明らかにすることを目的とする。

【材料と方法】

調査は、太平洋側北極海において、2021年9月12日–10月1日、2023年9月7–30日および2024年9月5–26日に行った。2021年は41観測点、2023年は38観測点、2024年は36観測点で表層とSCM層(Sub-surface Chlorophyll Maximum layer)の2層からバケツおよびニスキンボトルにより海水を採取した。採水後、終濃度1%グルタルアルデヒドで固定した。固定試料を濃縮した後、倒立顕微鏡下にて同定・計数を行った。同定は珪藻類に関しては属レベルまで行い、渦鞭毛藻類・繊毛虫類・珪酸質鞭毛藻類は分類群レベルで計数した。得られた細胞密度を四乗根変換後、Bray-Curtisと群平均法によるクラスター解析を行い、SIMPER解析により各クラスターの優占種と寄与率を求めた。採水と同時に、CTDを用いて、水温・塩分・Chl. *a* 蛍光値の鉛直プロファイルを得た。また、同水深から栄養塩測定用試料を採水し、オートアナライザーを用いてDIN・リン酸塩・ケイ酸塩の濃度を測定した。全アルカリ度(TA)は分光光度計システムにより測定し、得られたTAと塩分の値から、河川水と海氷融解水のフラクション($f_{mw} \cdot f_{simw}$)を算出した。さらに衛星観測から取得した海氷密接度データを用い、各観測点の海氷密接度が20%以下に達した最後の日を海氷融解日として定義した。

【結果】

観測期間を通して水温は-1.6–7.9°C、塩分は24.2–32.8、Chl. *a* 濃度は0.1–71.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲であった。栄養塩に関しては、DINは0.01–16.84 μM 、リン酸塩は0.30–1.94 μM 、ケイ酸塩は0.57–34.86 μM の範囲であった。マイクロプランクトン総細胞密度では、2021年は741–

185×10⁵ cells L⁻¹、2023 年は 115–34×10⁵ cells L⁻¹、2024 年は 110–339×10⁵ cells L⁻¹の範囲で検出された。出現種は、両年を通して珪藻類 30 属 (中心目 17 属、羽状目 13 属) が認められた。マイクロプランクトン細胞密度に基づくクラスター解析により、6 つの群集 (群集 A–F) に区分された。2021 年の 72°N 付近には海水が多く残存しており、珪藻類の中でも海水関連種を主体とする高細胞密度の群集 D が集中して分布していた。氷縁付近で発生するブルーム (氷縁ブルーム) は、春季に栄養塩が豊富な水塊と、海水融解による光環境改善で生じる。一方、秋季には表層の栄養塩は枯渇していることが多く、群集 D の形成には春の氷縁ブルームとは異なるメカニズムが関与していた可能性が考えられる。氷縁域では、海水の存在が水柱構造の不安定化をもたらし水流変化が発生し、深層からの栄養塩の湧昇を引き起こす要因となる。また、72°N 付近は陸棚斜面域に近く、大陸棚縁辺に沿った湧昇も過去の研究により示されている。したがって、2021 年に観測された群集 D の形成は、海水の遅れた融解による光環境の改善に加え、氷縁および陸棚斜面域における湧昇による栄養塩の供給が重なったことで、秋季にも植物プランクトンブルームが発生した可能性が高いと考えられる。群集 E は珪藻類の *Detonula* spp. および *Chaetoceros* spp. を主要構成種とし、群集 D に次いで高い細胞密度を示し、 f_{mw} と栄養塩濃度が高く、ベーリング海峡周辺および 71°N 付近の沿岸域に分布した。同一群集であるが、分布域と海洋環境の違いから、出現要因は異なっていたと考えられる。ベーリング海峡では、太平洋から流入する高塩分かつ高栄養塩な Anadyr Water (AW) によって、本群集が出現していたと考えられる。一方で、71°N 沿岸域では、アラスカ北岸の中小規模河川の流入の影響を受け、 f_{mw} と栄養塩濃度がともに高く、それにより群集 E が出現したと考えられる。したがって、71°N 沿岸域では河川水、ベーリング海峡周辺では AW に由来する高栄養塩環境が栄養塩要求性の高い種の増殖を促進したと考えられる。群集 A と群集 C は 2021 年と 2023 年のいずれもチュクチ海に広く分布し、従属栄養性や混合栄養性の少毛類や渦鞭毛藻類が優占し、低い細胞密度を示した。両群集の栄養塩濃度が低かったことから、それら低栄養塩環境でも増殖可能な種が生存していたと考えられる。一方、2010 年の太平洋側北極海では、珪藻類を主体とする高栄養塩・高細胞密度の群集がチュクチ海全体に優占しており、本研究と比べると、過去 10 年間で貧栄養化が進行したと考えられる。この変化には、気候変動による淡水流入増加とそれによる塩分成層強化が関与している可能性が高い。主要淡水流入源であるユーコン川は鉄を豊富に含むが硝酸塩に乏しい上に、鉄は高濃度になると植物プランクトン有毒性を示す場合がある。本研究においても、鉄に富み栄養塩に乏しい河川水がチュクチ海の貧栄養化を促し、群集 A と群集 C を形成した可能性がある。実際に群集 C では f_{mw} が有意に高く、河川水の影響を受けていたことが示唆された。本研究により、秋季の太平洋側北極海における植物プランクトン群集構造は、海水分布、河川水や太平洋水の流入など物理化学的な環境要因に影響されることが示された。チュクチ海では貧栄養化が進行し、低栄養環境に適応した種への群集シフトが進んでいる可能性が高い。

今後は本内容を国内・国際学会で発表し、国際学術誌へ投稿する予定である。

住吉 大