

2021 年秋季の太平洋側北極海における植物プランクトンの水平分布

太平洋側北極海には、ベーリング海から温暖な太平洋水が流入し、複雑な海洋環境を呈する。最も海氷の減少する秋季では、溶けた海氷に由来する低温低塩分の IMW cCW (Ice Melt Water & cool Coastal Water)、高温低塩分の wCW (warm Coastal Water)、高温高塩分の wSW (warm Shelf Water)、低温高塩分の cSW (cool Shelf Water)、アナディル湾由来で高栄養塩の AnW (Anadyr Water) の 5 つの水塊が分布する。これらの水塊は物理化学的に異なる特徴を有するが、一次生産を担う植物プランクトン群集の水塊毎の特徴に関しての知見は乏しい。一方で、2021 年秋季は近年まれに見るほど海氷が多く残り、9-10 月においても陸棚域以北は海氷に覆われていた。このような例年と異なる状況における植物プランクトン群集の種組成や分布は、環境変動と植物プランクトンの関係を理解するうえで重要な知見となる。そこで本研究では、2021 年秋季の環境要因と植物プランクトン群集を水塊毎に比較し、その関係を明らかにすることを目的とした。

調査は、海洋開発研究機構 (JAMSTEC) 海洋地球研究船「みらい」航海中の 2021 年 8 月 31 日-10 月 22 日に、太平洋側北極海で行った。45 観測点で、海面からバケツにより採水を行い、海水試料 1 L を得た。得られた試料は、グルタルアルデヒド (終濃度 1%) で固定した。採水と同時に、水温と塩分を測定した。また、船上でオートアナライザー (QuAAtro 2HR, BLTEC) を用いて硝酸塩濃度、亜硝酸塩濃度、アンモニウム塩濃度、リン酸塩濃度およびケイ酸塩濃度を測定した。硝酸塩濃度、亜硝酸塩濃度およびアンモニウム塩濃度については、合算して溶存態無機窒素 (DIN) とし、DIN:P 比および Si:P 比を算出した。加えて、Welschmeyer (1994) による方法で、蛍光光度計 (10-AU, Turner Designs Inc.) を用いて Chl. *a* 濃度を測定した。また光合成活性について、生鮮海水試料を入れたセル (4 mL) を Water-PAM クロロフィル蛍光光度計にセットし、Ft 値を 200-300 内に調整し、15 分以上暗順応させた後、最大粒子収率 (F_v/F_m) を測定した。続いて陸上実験室において、固定試料を沈殿濃縮法により濃縮した。異なる水塊に属した 10 観測点を選出し、その地点の試料について倒立顕微鏡下で同定および計数を行った。種同定は、珪藻類および黄金色藻類に関しては属レベルまで行い、繊毛虫類は分類群レベルで計数した。データ解析については、得られた細胞密度 (cells L^{-1}) を四乗根し、Bray-Curtis 法と群平均法によるクラスター解析を行った。また、各群集における優占種および特徴種を特定するために、IndVal の算出および SIMPER 解析を行った。さらに、環境要因と植物プランクトン群集との関係を明らかにするために、測定したすべての環境要因 (水温、塩分、DIN、リン酸塩濃度、ケイ酸塩濃度、DIN:P 比および Si:P 比) について DistLM (distance based linear modeling) および冗長性分析 (dbRDA: redundancy analysis) を行った。

調査期間中、水温は -0.9 - 5.9 °C の範囲をとり、北緯 68 度付近のアラスカ沿岸で特に高く、海氷縁付近で低かった。塩分は 25.8-32.5 の範囲であり、北緯 68 度付近のアラスカ沿岸と海盆域の海氷縁付近で低かった。栄養塩について、DIN は 0.03 - 13.99 μM 、リン酸塩濃度は

0.36–1.38 μM 、ケイ酸塩濃度は 1.73–25.7 μM の範囲であった。いずれも北部ベーリング海で高いが、DIN とリン酸塩濃度はそれ以北で一様に低く、ケイ酸塩濃度は北緯 70 度付近を境に、それ以北で特に低くなった。DIN:P 比は 0.06–10.17 で、調査海域全体で 16 以下であり、窒素制限であった。Si:P 比は 2.93–18.68 の範囲で、北緯 70 度以北ではすべて 15 以下であり、ケイ酸塩制限であった。Chl. *a* 濃度は 0.1–7.6 mg m^{-3} の範囲であり、北部ベーリング海で最も高く、海氷縁付近で特に低かった。光合成活性の指標について、*Fv/Fm* は、0.363–0.749 の範囲であった。北部ベーリング海で最も高く、海氷縁付近の一部で低かった。検鏡の結果、19 属の珪藻類、1 属の黄金色藻類、少毛繊毛虫類、有鐘繊毛虫類、および休眠期細胞が出現した。それぞれの細胞密度に基づくクラスター解析の結果、類似度 49.5%により 3 つの群集 (群集 A–C) に区分することができた。これらの群集は dbRDA においても区分された。さらに DistLM により、水温および塩分と有意な関係があり、これら 2 つの変数で群集変化の 60.1%が説明され、それぞれの寄与は同程度であった。

群集ごとの出現水塊、細胞密度、種組成および水理環境との関係を見ていくと、群集 A は海氷縁付近の IMW cCW に出現し、平均細胞密度は $2.1 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$ で、最も低かった。さらに *Fv/Fm* も特に低く、低温低塩分により光合成活性が低下していると考えられる。また、黄金色藻類の *Dinobryon* spp. が特に優占していた。これは *Dinobryon* spp. が混合栄養性で低温低塩分にも耐性があり、貧栄養および低温低塩分の環境でも生存可能なためと考えられる。群集 B は北部ベーリング海の cSW および AnW に出現し、平均細胞密度は $2.4 \times 10^5 \text{ cells L}^{-1}$ で、最も高かった。また、中心目珪藻類の *Bacterosira* spp. が特に優占していた。Chl. *a* 濃度と *Fv/Fm* は特に高い値をとっており、*Bacterosira* spp. による秋季ブルームを形成していたと考えられる。*Bacterosira* spp. は主に極域の海氷縁に分布する植物プランクトンであるため、秋季ブルームを形成することは稀であり、海氷が溶け残っていたことと関係するかもしれない。群集 C はチャクチ海の広範囲に広がる wCW および wSW に出現し、平均細胞密度は $2.4 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$ で、群集 A と同程度であった。また、*Nitzschia* spp. および *Pseudo-nitzschia* spp. などの羽状目珪藻類が優占していた。この群集組成は先行研究とも一致しており、秋季の太平洋側北極海において一般的な群集であると考えられる。

本研究により、秋季の太平洋側北極海において、同一水塊内に異なる植物プランクトン群集が存在することはなく、それぞれ水塊毎に明確に異なることが明らかとなった。また、本研究では海表面のみを対象としたが、当海域は水深が浅く、海底の堆積物の影響を受けやすいとされている。よって、今後は海底の堆積物を含めた鉛直的な分布についての研究を行うことで、環境要因と植物プランクトン群集の関係や、海洋中での循環構造についての理解が深まると考えられる。

扇谷剛太