

修士論文内容の要旨

ふりがな	えんどう わかな	
氏名	遠藤 和可奈	
専攻名	海洋生物資源科学専攻	
入学年度	令和3年4月	
指導教員名	主査 今村 央 教授	副査 山口 篤 准教授 副査 松野孝平 助教
論文題目	2021年秋季の太平洋側北極海における植物プランクトン光合成活性の鉛直変化と海氷融解の影響に関する研究	

太平洋側北極海は、水深によって陸棚域と海盆域に区分される。水深の浅い陸棚域であるチャクチ海は、太平洋と北極海を繋ぐ海域であり、栄養塩豊富な太平洋水が流入することにより北極海の中でも特に一次生産が高い。当該海域では、この数十年の間に海水域が急速に減少している。その結果、開放水面域の面積と期間が増加し、植物プランクトンの増殖期間の長期化に伴った一次生産の増加が衛星観測によって示唆されている。当該海域の植物プランクトン群集には、主に珪藻類が優占する。その組成については散発的に調査されており、春季から秋季にかけて優占種が変化することが知られている。一方で、植物プランクトンが行う光合成については、一次生産量に関する報告が多いが、細胞の生理的状態についてはほとんど報告がない。光合成活性の代表的なパラメーターとして、最大量子収率 (F_v/F_m) がある。これは、光障害の指標や、温度によるストレス耐性の指標として多くの研究で活用されている。当該海域の光合成活性に関しては、極域に分布する優占種の光合成活性が環境変化に対応することがモデルによって示されているが、現場海域での情報はほとんどないのが現状である。さらに、調査を行った2021年は、例年よりも古くかつ厚い海氷が多く残っていたため、分布する植物プランクトンの組成や光合成活性に影響が及んでいたと考えられるが、詳細は不明なままである。本研究は、海氷の多く残っていた2021年秋季の太平洋側北極海において、船舶観測による植物プランクトンの光合成活性の時空間変動を調査し、水理環境と比較した。さらに、海氷が融解する影響を評価するために、海氷が多く残っていた観測点にて海氷と海水を採集し、化学パラメーター（栄養塩など）、光合成活性および植物プランクトン種組成を海氷と海水間で比較した。

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、太平洋側北極海のチャクチ海で行った。45観測点において、海表面、クロロフィル a (Chl. a) 蛍光極大層 (以降、SCM と呼称)、底層の3層からバケツまたはニスキンボトルによって採水を行い、栄養塩分析および Chl. a 濃度分析用の海水試料を得た。CTDにより水温、塩分、および Chl. a 蛍光値の鉛直プロファイルを測定し、海表面での光強度は、JAMSTEC 藤原周博士よりデータを提供して頂いた。植物プランクトンの光合成活性を測定するために、上記の45観測点の3層の生鮮海水試料 (4

mL) について、Water-PAM クロロフィル蛍光光度計を用いて最大量子収率 (F_v/F_m), 最大電子伝達速度 (ETR_m , $\text{mol e}^- \text{s}^{-1}$), 光-電子伝達速度曲線の初期の傾き (α , $(\text{mol e}^- \text{s}^{-1}) \cdot (\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$) を測定した。最大量子収率 F_v/F_m について、環境要因との関係を明らかにするために一般化加法モデル (GAM: Generalized Additive Model) による解析を行った。 F_v/F_m を応答変数, 環境要因 (水温, 塩分および DIN) を説明変数とするフルモデルを構築した。

また、海氷の多く残っていた3観測点において、海氷の採取および海水の採水を行なった。海氷は採取したものを4°Cの暗条件下で融かし、海水は表層, Chl. *a* 極大層, 海底-5 および海底堆積物の直上の4層からバケツ, ニスキンボトルおよびアシュラ採泥器により採水した。得られた固定試料は、静沈濃縮し、倒立顕微鏡下にて植物プランクトンの種同定および計数を行なった。珪藻類, 珪質鞭毛藻類に関しては種または属レベルまで行い、絨毛虫類, 渦鞭毛藻類は分類群レベルで計数した。

観測期間を通して水温は-1.7-6.6°C, 塩分は25.8-35.0, Chl. *a* 濃度は0.1-23.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲であった。海氷縁に近い71°N以北で、水温と塩分が共に低かった。栄養塩について、DINは検出下限値-29.6 μM , リン酸塩は0.4-2.7 μM , ケイ酸塩は1.5-57.5 μM の範囲であった。いずれも底層で高く、海表面で低かった。 F_v/F_m は0.334-0.749, α は0.035-0.2.05, ETR_m は6.1-1.6 $\times 10^4$ の範囲であった。全海域では F_v/F_m は底層で有意に低く、海表面とSCMで高く、底層の植物プランクトン群集の光化学活性が低いことが示された。これは、躍層上層の低栄養塩によって死滅した細胞や休眠期細胞が沈降していたためと考えられる。 F_v/F_m について、本研究では平均で116.8 (最大で454.8) $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ と光が弱い環境であったため、光阻害はほとんど起きていなかったと推察される。光以外の環境要因について、層別に行ったGAM解析の結果から、 F_v/F_m に有意な影響が見られた環境要因は、海表面では水温, SCMでは塩分とDIN, 底層ではDINであった。このことから、秋季の太平洋側北極海の植物プランクトンは、強光による光阻害よりも、低水温や低塩分などの水理環境によって光合成活性が変化していたと考えられる。氷縁域の3観測点において、植物プランクトン総細胞密度は1.2-2.6 $\times 10^5$ cells L^{-1} の範囲で検出された。出現種は、珪藻類15属46種 (中心目7属26種, 羽状目8属20種) が認められた。海氷試料と海水試料の種組成を比較すると、海水試料では観測点により *Chaetoceros* spp. や *Cylindrotheca closterium* が多いのに対し、海氷試料では *Nitzschia* spp. が全ての観測点で多く見られた。アイスアルジー種は、体外にゼラチン状細胞外高分子物質を排出し、粘着性が高いことで凝集態となり、速やかに海底へ沈降していることが知られている。このため、海水中の植物プランクトン組成が海氷中と大きく異なっていると考えられる。

本研究により、秋季の太平洋側北極海の植物プランクトンは、強光による光阻害よりも、海表面の低水温や低塩分によってストレスや細胞損傷を受け、光合成活性が低下していたと考えられる。さらに、海氷中と海水中で植物プランクトン組成が大きく異なり、これは海氷融解により水中に放出された植物プランクトンが速やかに海底へ沈降していたためと考えられる。他の季節で観測されているのと同様に、秋季の海氷融解は水柱の植物プランクトン組成へほとんど影響を及ぼさないことが示唆された。