

修士論文内容の要旨

ふりがな	いしはら みなみ	
氏名	石原 南未	
専攻名	海洋生物資源科学学専攻	
入学年度	令和4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	太平洋側北極海における海氷衰退が動物プランクトン群集へ与える影響の評価 および優占カイアシ類 <i>Calanus glacialis/marshallae</i> の生態に関する研究	

北極海の中でも太平洋側北極海は近年、特に著しい海氷衰退が観測されており、海洋生態系への様々な影響が懸念されている。気候変動に敏感に応答する生物として、動物プランクトンが挙げられ、個体数や種多様度の変化、太平洋種の増加などが既に報告されている。しかし、統一的な手法により、地理的に広い範囲をカバーした研究例はまだ少なく、海氷衰退が動物プランクトン群集に与える影響は十分に理解されていない。また、当該海域の動物プランクトンバイオマスにおいて優占するカイアシ類 *Calanus glacialis/marshallae* は、遺伝的に異なる2個体群（太平洋個体群と北極海個体群）の存在が判明しているが、両個体群の個体群構造や生態の違いについては、ほとんど報告がない。これらをふまえ、本研究の1章では、2019–2022年秋季に、太平洋側北極海において、統一的な手法を用いて動物プランクトン群集の経年変化を調査した。その結果を基に、海域毎に動物プランクトン群集に影響を与える環境要因を特定し、最終的に海氷衰退による影響について評価することを目的として行った。2章では、太平洋側北極海に生息する *C. glacialis/marshallae* の生態の地理変化を評価することを目的として、遺伝子分析を行い、遺伝的に異なる2個体群を明らかにし、個体群構造、安定同位体比および脂肪酸組成によって、海域毎の生態学的な特徴を明らかにした。

2019年10月、2020年10月、2021年9月、2022年8–9月に太平洋側北極海の計75観測点において調査を行った。動物プランクトン試料は、NORPAC ネット（目合い150 μm ）を用いて、海底直上または150 m から海面までの鉛直曳きにより採集した。また、2021年の19観測点において、動物プランクトン生鮮試料をNORPAC ネット（目合い63 μm ）を海底直上または150 m から海面まで、リングネット（目合い335 μm ）を海底直上または300–500 m から海面までの鉛直曳きにより採集した。採集された試料の内、目合い150 μm で採集された試料は、5%中性ホルマリン海水によって固定後、動物プランクトン群集の経年変化（1章）と個体群構造の解析（2章）に用いた。生鮮試料は、*C. glacialis/marshallae* のC5について体サイズの測定後、安定同位体比、脂肪酸組成および遺伝子分析に用いた（2章）。また、CTDにより水温、塩分およびクロロフィル蛍光値の測定を行い、各観測点の水温と塩分から水塊の厚みを算出した。海氷データは、Arctic Data archive System から海氷融解日、海氷融解日から観測日までの日数（Time since melt: TSM）を取得した。1章では、動物プランクトンの個体数データに基づくクラスター解析を行い、IndVal の算出およびSIMPER 解析により各群集での特徴種を特定した。また、区分された群集と環境要因および各水塊との関係を明らかにするために、DistLM (distance-based linear modelling) および冗長性分析 (dbRDA: distance-based redundancy analysis) を行った。2章では、*C. glacialis/marshallae* の個体数

データと環境データおよび各水塊の厚みとの関係を決定木により解析した。C5 期の個体について、遺伝子分析を行い、出現した個体群に基づき海域を区分した。それぞれの海域間での脂肪酸組成や安定同位体比の比較を行うために、Wilcoxon の順位検定および Max-t + HC3 test により評価した。さらに、脂肪酸組成と体サイズの関係性を評価するために、回帰分析を行った。

動物プランクトン各種の出現個体数に基づくクラスター解析の結果、動物プランクトン群集は7つの群集 (ベーリング海域、南部陸棚域、北部陸棚域、2021 年北部陸棚域、斜面域、ポーフォート海域、海盆域) に区分された。チャクチ海南部では、ベーリング海域群集と南部陸棚域群集が出現し、太平洋産カイアシ類の個体数が多いことが特徴的であり、また両群集の水塊から warm Coastal Water (wCW)、cool Shelf Water (cSW)、および一部では Anadyr Water (AnW) が見られたことから、太平洋水の流入によると考えられた。また、2 群集間で比較したところ、ベーリング海域群集の方が有意に太平洋産カイアシ類の個体数が多く、太平洋水の影響をより強く受けていると考えられた。一方で、チャクチ海北部では、ベーリング海から移流してきた個体と海盆域から南下してきた個体が混在し、個体数および出現種数が多い北部陸棚域群集が出現していた。しかし 2021 年の 2 観測点では、個体数および出現種数が非常に少ない 2021 年北部陸棚域群集が出現した。これは通常、時計回りのポーフォート循環が観測前年の冬季に逆転したことで、古くかつ厚い海氷が融け残り、植物プランクトンブルームの開始が遅延し、動物プランクトン出現個体数が少ない群集が出現したと考えられた。海域の重複していた斜面域および海盆域群集を比較すると、海盆域群集の方が、深海性カイアシ類、有核翼足類、そして浅い海域に多いはずの二枚貝幼生が多いことが特徴的であった。これは、陸棚域由来の海流による輸送の影響であると考えられ、陸棚起源水の流入量および深海性種の分布の違いにより、両群集が分離したと考えられた。ポーフォート海群集は、ポーフォート海斜面域に、同海域の既報研究と比較して、個体数が少ない群集が出現していた。これは他群集と比較して海氷融解が遅く、低水温かつ餌を十分に利用できなかったことが、個体数の減少に繋がったと考えられた。このように、チャクチ海南部と斜面域や海盆域では海流の変化が、動物プランクトン群集の経年変化として現れやすいが、チャクチ海北部では海氷融解の変化が、動物プランクトン群集の経年変化に影響していたと考えられる。

C. glacialis/marshallae の出現個体数は、斜面域で多く、陸棚域および海盆域で少なかった。発育段階毎では、後期発育段階 (C4–C5) は斜面域および陸棚域で多く、初期発育段階 (C1–C3) は斜面域に多かった。既報の知見から判断し、後期発育段階はベーリング海から移流してきた個体であると考えられた。一方で、初期発育段階は水塊の Modified Winter Water (MWW) および Winter Water (WW) と関係が見られ、MWW および WW が多いほど初期発育段階の割合が高くなることから、*C. glacialis* の北極海個体群である可能性が考えられる。しかし本研究では、初期発育段階について遺伝子分析を行っていないため、全個体群を通して *C. glacialis* の北極海個体群であったと特定することは出来なかった。2021 年の 7 観測点にて C5 個体の遺伝子分析を行い、出現した個体群に基づいて、ベーリング海域 (*C. glacialis* の太平洋集団と *Calanus marshallae* の混合)、チャクチ海域 (*C. glacialis* の太平洋集団のみ) および斜面・海盆海域 (*C. glacialis* の太平洋集団と北極海集団の混合) の 3 海域に区分された。これらの海域間で脂肪酸組成の比較を行うと、各脂肪酸パラメータに有意差は見られなかった。一方で、安定同位体比は、斜面・海盆海域にて $\delta^{15}\text{N}$ が高いことから、栄養段階数が高く、生産性の低い海域であることが示唆された。さらに、斜面・海盆域内にて、脂肪酸組成と体サイズを比較したところ、体サイズが大型なほど脂肪酸含有量が高く、珪藻類を多く摂餌していることが示された。斜面・海盆域内におけるこれらの体サイズや食性の違いは、*C. glacialis* の 2 個体群による違いである可能性が考えられるが、遺伝子分析を行わなければ区別ができない。今後は、各観測点における *C. glacialis/marshallae* について、体サイズの測定、脂肪酸分析および遺伝子分析を並行して行うことにより、これらの個体群の生態の違いをより詳細に評価することが可能になると考えられる。