

太平洋側北極海における海氷融解遅延による動物プランクトン群集への影響：

Generalized Dissimilarity Modelling による評価

(卒業論文発表)

太平洋側北極海では近年、夏季の海氷面積が急速に減少している。アラスカ沿岸域においては、ベーリング海から流入する温暖な太平洋水が海氷融解に影響しており、その流入量が近年増加している。この太平洋水は、太平洋産の動物プランクトンを北極海内に輸送するため、海洋環境の変化だけではなく、海洋生態系にも影響を及ぼす。太平洋側北極海において、海氷変動と動物プランクトンに関する研究は数多く行われているが、特定の種に焦点を当てて解析しており、動物プランクトン群集全体がどのように変化するかは依然として不明である。広範囲における生物群集分布を予測する解析手法として、一般化非類似度モデル (Generalized Dissimilarity Modelling: GDM) がある。これはフィールド調査に基づく生物群集データと、衛星による環境変数を統計的に結び付け、群集の類似度を広範囲で推定し、環境変動による群集変化も予測可能である。一方、2020年冬季にポーフォート高気圧が消失したことにより、ポーフォート循環の逆転が観測されている。これにより、チャクチ海からポーフォート海へ海氷が輸送され、2021年は海氷密度が増加した。このような海氷融解遅延によって、動物プランクトンが変化したと考えられるが、その詳細な研究は未だ報告されていない。本研究では、2008–2017年を海氷衰退年と定義し、海氷衰退年における一般的な動物プランクトン分布をGDMによって推定し、2021年の動物プランクトン群集と比較することで、海氷融解遅延の影響を評価することを目的として行った。

海氷融解期間、海氷融解日、年間水温中央値、年間クロロフィル *a* 中央値、年間一次生産量の衛星データはJAMSTECの藤原周博士から提供して頂いた。Arctic Data archive SystemのVISHOPにより2021年調査期間の海氷縁データを得た。現場データとして、2008年8–10月、2010年9–10月、2012年9–10月、2013年8–10月、2014年9月、2015年9月、2016年8–9月、2017年8–9月、2021年8–10月に、太平洋側北極海の64–79°N、174°E–133°Wで囲まれた海域の全385観測点において、海洋研究開発機構海洋地球研究船みらいまたはカナダ沿岸警備砕氷船Amundsenにより調査を行った。動物プランクトン試料は、NORPACネット(口径45 cm、目合い335 μm)を水深150 mまたは海底直上7 mから海面までの鉛直曳きにより採集し、5%中性ホルマリンで固定した。CTDにより水温、塩分、クロロフィル *a* を測定した。2021年の試料は、実体顕微鏡下で分類群ごとに同定、計数を行った。なお、2021年の動物プランクトン試料のデータの一部は、同研究室所属の細田七海氏に提供して頂き、2008–2017年における動物プランクトン出現個体数は、Abe et al. (2020) から提供して頂いた。2021年の出現個体数は、クラスター解析を用いていくつかの群集に分け、IndValおよびSIMPERにより各群集の指標種を求めた。2008–2017年の出現個体数、5つの現場水理環境データ(積算平均水温、積算平均塩分、積算クロロフィル *a*、海表面水温、海表面クロロフィル *a*)、5つの衛星データ(海氷融解期間、海氷融解日、年間水温中央値、年間クロロフィル *a* 中央値、年間一次生産量)を用いてGDM解析を行い、有意な関係が認められた変数をモデルに導入し、主成分分析を行った。得られたPC1–3の成分をRGB値に変換し、そのRGB値に基づくクラスター解析を行うことで、2008–2017年における一般的な動物プランクトン分布を求めた。その後、各クラスターに対応する動物プランクトンデータを抽出し、IndVal、SIMPERを行い、水理環境のボックスプロットを作成した。

GDM 解析において、動物プランクトン群集と関連が見られた衛星データは、海氷融解期間、年間一次生産量、年間平均水温の 3 つであった。海氷融解期間による多様度への影響は、チャクチ海より高緯度の海域で見られた一方、年間一次生産量、年間平均水温は、ベーリング海およびチャクチ海で見られた。これは栄養塩豊富な太平洋水の流入およびそれに伴う太平洋産カイアシ類が移流することに起因していると考えられる。

2021 年の出現個体数に基づくクラスターでは、6 群集 (21\_Bering Strait, 21\_Chukchi Sea, 21\_Coast, 21\_Hanna Shoal, 21\_off Barrow, 21\_Slope) に分かれた。一方で、GDM によって求めた海水衰退年の一般的な群集分布のクラスター解析では、8 群集 (Bering Strait, Southern Chukchi Sea, Chukchi and East Siberian Seas, Northwind Ridge, Barrow Canyon and Beaufort Sea, Canada Basin, Chukchi Abyssal Plain, Chukchi Plateau) に分かれた。GDM によって求められた海氷融解年の一般的な群集分布と、海氷融解が遅かった 2021 年とを比較したところ、2021 年の方が、全体的に個体数が少なかった。

ベーリング海峡以南において、一般的な群集では Bering Strait, Southern Chukchi Sea の 2 つのグループに分かれ、*C. glacialis/marshallae*, *Eucalanus bungii* が多く見られた。2021 年では 21\_Bering Strait が見られ、*Limacina helicina* の個体数が大幅に増加しており、そのサイズも小さいことが特徴であった。*L. helicina* は春から夏に植物プランクトンを摂餌し産卵を行うが、秋にも小規模産卵する。21\_Bering Strait は一般的な群集と比べて、積算平均水温が低く、年間一次生産量が高かったことから、低水温高栄養塩なアナディール水が流入していると考えられる。アナディール水の流入によって有光層内に栄養塩が供給され、植物プランクトンが増加した結果、*L. helicina* の再生産が引き起こされたと考えられる。

北部チャクチ海において、一般的な群集は Chukchi and East Siberian Seas であり *Pseudocalanus* spp. の平均個体数が多かった。一方、2021 年では平均個体数が少ない 21\_Chukchi Sea と 21\_Coast が出現し、氷縁付近では尾虫類が多く見られた 21\_Hanna Shoal が出現した。チャクチ海では 5 種の *Pseudocalanus* 属が出現し、陸棚域では *Pseudocalanus minutus* が優占する。また、同属別種である *Pseudocalanus newmani* と *Pseudocalanus mimus* は、北太平洋全域で見られる温帯種であり、チャクチ海へは移流してくると考えられている。2021 年の当該海域は水温、積算クロロフィル *a* が低く、餌となる植物プランクトンが少なかったため、再生産の規模が小さくなり *Pseudocalanus* spp. の個体数が減少したと考えられる。21\_Hanna Shoal における尾虫類増加について、2021 年におけるこの海域は海氷縁であり、海氷縁付近で尾虫類 *Oikopleura vanhoeffeni* の個体数が急速に増加することが知られている。つまり、21\_Hanna Shoal は、氷縁域であったために尾虫類が増加していたと考えられる。21\_off Barrow では、一般的な群集 Barrow Canyon and Beaufort Sea と比べて、*Neocalanus* 属の個体数が増加していた。2021 年は 2002–2020 年と比較して、太平洋水の平均流量が約 1.4 倍になっていることから、流入量の増加に起因していると考えられる。

本研究では一方的な海氷衰退傾向とは逆に、海氷が特異的に多いときの動物プランクトン群集の変化を明らかにした。ポーフォート循環の逆転に起因する海水量の増加は、海洋生態系に一時的な恩恵をもたらすことが過去の論文で示唆されている。しかし、本研究では、動物プランクトンの増加の効果は限られた海域、種のみであり、ほとんどの海域で動物プランクトン群集の個体数は減少していた。これは、海氷が増加したとしても、単純に過去の生態系に速やかに戻るわけではなく、生物固有の生活史、環境変化への耐性と柔軟性、再生産などによって緩やかに復元するものと考えられる。

日比野湧也