

実績報告書

研究課題名：函館湾における植物プランクトン群集の季節変動とモデルによる予測

北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 准教授 松野孝平

【背景】

植物プランクトンは海洋の基礎生産を担う重要な生物である。植物プランクトンは環境の変化に種ごとに異なる応答を示し、その種組成は環境変化の指標となる。函館湾には、年間通して津軽暖流が流入し、秋季から冬季にかけて稀に沿岸親潮が流入する。また、久根別川および大野川からの河川流入があり、栄養塩が豊富に供給されている。当該海域の植物プランクトン群集は、明確な季節変化を示すだけでなく、秋季に曇天が続くと暖水性渦鞭毛藻類の *Karenia mikimotoi* が赤潮を形成することがある (Hamao et al. 2024)。当該海域周辺の気温は、2020 年以降温暖化傾向が顕著であり、2024 年および 2025 年の年平均気温は特に上昇している (図 1)。しかし、2024 年以降の急激な温暖化が植物プランクトン群集に与える影響は未だ詳細に明らかになっていない。以上のことから、本課題は温暖化傾向が顕著に見られた 2024 年 7 月から 2025 年 6 月にかけて、函館湾七重浜における植物プランクトン群集の季節変化を高頻度観察で明らかにすることを目的とした。さらに、過去のデータと統合することで、植物プランクトン群集と環境要因とのモデル構築を試みた。

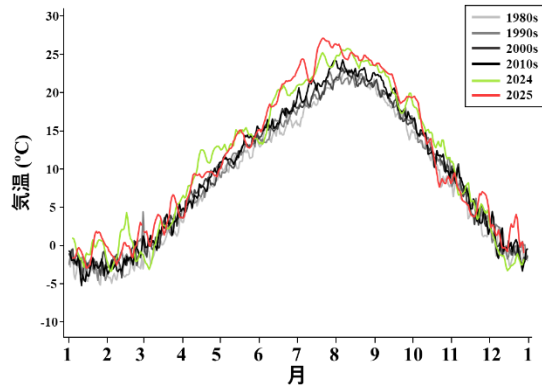


図1. 函館の気温の長期変化。1980-2010年代の平均と比べて、2024年と2025年は夏も冬も暑いこと、気温の乱高下が発生していたことが分かる。

【材料と方法】

七重浜の第3防砂堤にて、2025年4月から12月末まで週1回の頻度で調査を行った。なお、本報告では、試料分析が終わっている2024年7月から2025年6月の結果を使用する。

調査では、プラスチックバケツにより海表面水2Lを採取した。試料を濁度によって濾過量を0.5-2Lの範囲で変え、200 μm のメッシュフィルターでプレフィルター後に、20 μm フィルターを用いて逆濾過を行った。濃縮試料はグルタルアルデヒド (終濃度 1%) で固定し、最終的に約 10 mL とした。植物プランクトン固定試料を目盛り付きスライドグラスに 500 μL 取り、倒立顕微鏡を用いて、種同定および計数を行った。珪藻およびユーグレナ藻類は種レベル、その他植物プランクトンは属レベルで同定し、繊毛虫類は少毛類および有鐘類に区分して計数した。環境データとしてセンサーによって水温、塩分、濁度、光合成光子束密度 (PPFD: photosynthetic photon flux density)、別途採水した海水によってクロロフィル *a* 濃度および栄養塩濃度を測定した。また、観測点の日平均気温、全天日射量、日合計降水

量、日平均風速および最多風向を気象庁ホームページから取得した。

植物プランクトンのデータ解析には出現頻度 1%以上の種または属のみを用いた。群集の区分を行うために、Bray-Curtis 類似度を用いたクラスター解析をしてデンドログラムを作成し、任意の類似度で群集区分を行った。群集区分の要因となっている種を特定するために SIMPER 解析を行い、群集の指標種を特定するために Indval を算出した。環境要因と各群集との関係を明らかにするために、DistLM (distance based liner modeling) および冗長性分析 (dbRDA: redundancy analysis) を行った。さらに各群集間で水理環境の差の有無を明らかにするために、Max-t 検定を行った。

【結果と考察】

クラスター解析の結果、植物プランクトン群集は A-F の 6 つの群集に区分された (図 2 a)。DistLM により、全天日射量、水温および濁度と有意な関係があり、全環境要因によって 39%を説明した。Max-t test の結果、群集間で有意差があった環境要因は水温、塩分、リン酸塩濃度、気温、南北方向の日平均風速、全天日射量であった。群集 C は通年出現し (図 2 b)、*Chaetoceros* spp. < 20 μ m の細胞密度が高く (図 2 c)、主に渦鞭毛藻類が特徴種であった。本群集は、リン酸塩制限を受けており、珪藻類の増殖が制限されていたため、鉛直移動によって夜間に底層で栄養塩を取り込むことができる渦鞭毛藻類が緩やかに増殖していたと考えられる。群集 B は 2025 年 6-7 月に出現し、主に *Synura* spp. が特徴種であった。*Synura* spp. は淡水産のみが存在するため、河川から流入したと考えられるが、2020 年から 2025 年の 6-7 月の降水量を調べても、2025 年が特段高いわけではなかった。実際の河川水流量は不明であったが、七重浜に流れ込む河川の上流にはダムや湖沼があり、そこで増殖した *Synura* spp. が流入した可能性が考えられた。群集 F は 2024 年 10-12 月に出現し、主に有害有毒渦鞭毛藻類の *K. mikimotoi* が特徴種であった。この群集が見られた時の栄養塩は、*K. mikimotoi* が増殖可能な濃度であり、全天日射量が他群集と比較して低く、曇天時に赤潮を発生しやすいという先行研究

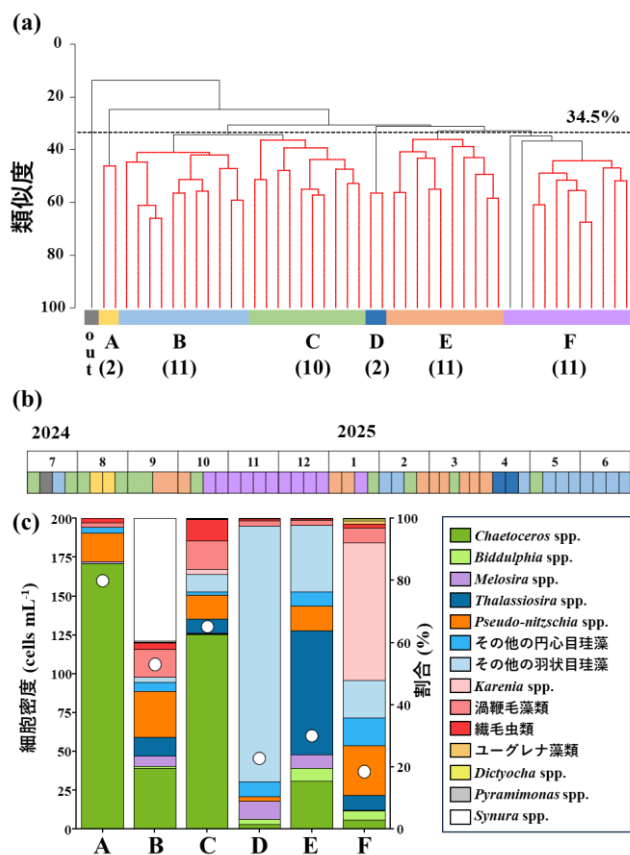


図2. 函館湾七重浜における2024年7月から2025年6月までの植物プランクトン群集のクラスター解析 (a)、区分された群集の季節変化 (b)、およびその組成 (c)。

(Hamao et al. 2024) と一致していた。一方で、2024 と 2025 年の冬季の水温が、*K. mikimotoi* の生存限界である 4°C 以下まで下がらなかったことから、本種の越冬が危惧された。

先行研究との比較から、季節ごとに経年変化が見られた。春季の細胞密度のピークについては本課題の期間では約 1 か月早かったことから、春季ブルームが早期化していると判断された。種組成について、先行研究では晩冬から初春にかけて *Thalassiosira* spp. から *Chaetoceros* spp. へ優占種が遷移していたが、本課題では優占種の明確な遷移が見られなかった。本課題では通年出現していた群集 C が存在していたが、先行研究ではそのような群集は見られなかった。これは、本課題で冬季の最低水温が 1.6°C 上昇しており、通年の水温変化の幅が小さくなることで、季節に左右されない通年出現する群集が形成されていたと考えられた。

2020 年 9 月から 2025 年 6 月までのデータを統合し、一般科化加法モデル (GAM) の構築を試みたが、分析者の交代によるヒューマンエラーや、5 年間の内に研究手法の改良 (画像分析機器導入に伴うプレフィルターの採用) の影響が大きく、単純なデータ統合が難しいことが明らかとなった。長期データ蓄積を安定的に可能にする手法の検討が求められる。

【謝辞】

本研究を実施するにあたりご協力頂いた北海道大学大学院水産科学研究院の笠井亮秀教授および JAMSTEC むつ研究所の脇田昌英博士に感謝致します。本研究のご支援を賜りました公益社団法人南北海道振興財団に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

Hamao, Y., K. Morimoto, S. Tatamisashi, M. Wakita, A. Kasai and K. Matsuno (2024) Seasonal changes in the protist communities of Hakodate Bay, southern Hokkaido, from 2020 to 2022. *Regional Studies in Marine Science*, 78, 103775. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103775>.