

環境 DNA によるホッキョクダラ分布域の推定

～生態系にやさしい手法で、北極海生態系に対する地球温暖化の影響のモニタリングに貢献～

ポイント

- ・ 種特異的な環境 DNA 解析手法により、北極海生態系の鍵種であるホッキョクダラの分布を推定。
- ・ 北極海におけるホッキョクダラの分布が低水温の水塊と密接に関係していることを実証。
- ・ 温暖化と海氷減少に伴う北極海生態系の変化の解明に貢献。

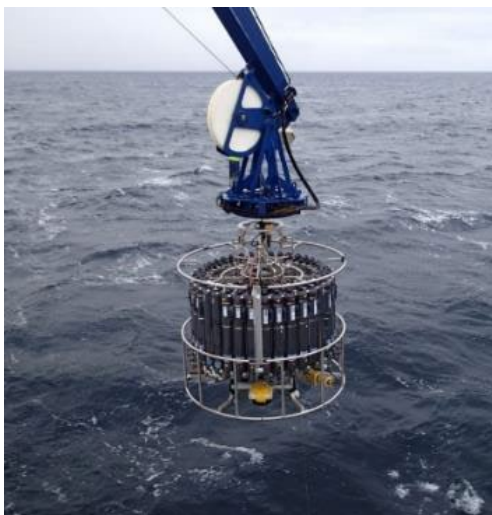
概要

北海道大学大学院水産科学研究院の川上達也研究員、笠井亮秀教授、海洋研究開発機構の山崎 彩氏らの研究グループは、ベーリング海から北極海に至る広範囲にわたって、北極海の生態系の鍵種*¹となっているホッキョクダラの分布を調べました。本研究では、生物を直接捕獲せずに分布や生物量を推定することのできる、生態系にやさしい手法である環境 DNA*²解析手法を用いました。

解析の結果、ホッキョクダラの環境 DNA は、北緯 75° の海氷縁辺部から北緯 70° 付近の表層から多く検出されましたが、ベーリング海峡以南ではほとんど検出されませんでした。また、環境要因との関連を調べたところ、ホッキョクダラの環境 DNA は水温 -1°C~5°C の場所から検出されていたことが分かりました。海氷が溶けた低水温・低塩分の海域と、太平洋側の底層からベーリング海峡を通過して北極海に流入する海水に覆われる海域における環境 DNA の検出確率と濃度が高いことから、ホッキョクダラは北極海の特に低水温の水塊付近に生息していることが分かりました。これらの結果は、これまでに知られているホッキョクダラの生態とも整合しています。

従来の研究手法では、魚を直接捕獲するため、短期間のうちに広範囲にわたる多地点の調査をすることは不可能でしたが、本研究で用いた環境 DNA は、調査の現場では採水と濾過だけを行うため、調査範囲や調査期間が限られる北極海の調査に極めて有用です。また、地球温暖化に伴う海氷の減少により、北極海の環境は急速に変化しているため、北極海生態系のモニタリングは重要です。本研究の成果は、北極域生態系における鍵種の分布の効率的なモニタリング手法を示すだけでなく、地球温暖化のインパクトを解明する上で大きく貢献することが期待されます。

なお、本研究の成果は、2023 年 8 月 30 日（水）公開の *Frontiers in Marine Science* 誌にオンライン掲載されました。



ロゼットサンプラーで海水を採集している様子

【背景】

ホッキョクダラは北極海とその周辺海域に広く分布し、北極海で最も豊富に存在する魚です。またホッキョクダラは、ホッキョクグマやクジラ類、海鳥、肉食性の魚類など、多くの生物の餌となっており、北極海の生態系を支える重要な生物でもあります。しかし北極域では、地球温暖化によるホッキョクダラの生息に適した海域の減少や、それに伴う生物量の減少が危惧されています。北極海生態系に対する地球温暖化のインパクトを評価したり、今後の生態系の変化を予測したりするためには、まず生物の分布や量の現況を理解することが必要です。しかし、これまでに複数の海域にわたる広範囲でホッキョクダラの分布や生物量を調べた研究はありませんでした。それは、北極海は多くの国から遠い上に冬には海氷に覆われるため、広範囲にわたる調査を行うことが困難だったからです。北極海の生態系をより効率的かつ高解像度でモニタリングできる手法の確立が求められています。

【研究手法】

本研究では、環境 DNA 手法を用いて、ベーリング海から北極海南部におけるホッキョクダラの分布及び生息場所と水温などの環境要因との関連を調べました。近年の DNA 分析技術の進歩により、海水に含まれる微量な DNA を調べることで、調査地点の周辺にどのような生物がどのくらい生息しているのかを推定することができるようになりました。環境 DNA 調査は、現場では海水の採集と濾過のみを行えばよいと、調査に必要な時間と労力を大幅に減らすことができます。また、漁撈設備のない船でも調査を実施することができます。

環境 DNA には様々な生物の DNA が含まれています。その中から研究対象とする生物の情報を得るには、対象生物の DNA だけを検出する必要があります。そこで研究グループはまず、ホッキョクダラの既存の DNA 情報とホッキョクダラに近縁なタラ科魚類の標本から抽出した DNA を利用し、ホッキョクダラの DNA のみを増幅できるプライマー^{*3}を新たに開発しました。

環境 DNA 分析用のサンプルは、2020 年 9~11 月に実施された海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」の MR20-05C 航海において、ベーリング海から北極海南部にかけての 38 地点で海水を採り (p1 図)、船上で濾過をすることで採取しました。同時に、水温、塩分、クロロフィル蛍光^{*4}値を測定しました。また同時期の海氷の分布をもとに、海氷から観測点までの最短距離を計測しました。

サンプルを研究室に持ち帰った後、開発したプライマーを用いて、定量 PCR 法^{*5}によりホッキョクダラの環境 DNA 濃度を分析し、ホッキョクダラの分布を推定しました。また、環境 DNA 濃度と環境要因との関連性について解析しました。

【研究成果】

海洋の表層水に含まれるホッキョクダラの環境 DNA は、主に北極海南部の大陸棚と、大陸棚斜面、そして海氷の縁辺域 (図 1) で多く検出されました (図 2)。一方、ベーリング海ではまったくといっていいほど検出されませんでした。このパターンは、環境要因に基づいて分類された水塊の分布とよく対応していました。すなわち、低水温のベーリング海底層からベーリング海峡を通過して北極海に流入した海水に覆われた海域及び海氷の溶けた水の影響が強い海域で、ホッキョクダラの環境 DNA が多く検出されました。また、ホッキョクダラ環境 DNA の検出結果と水温や塩分との関係を調べたところ、環境 DNA の分布は水温が 5°C 以下の冷たい海域に限られていました (図 3)。一方で、環境 DNA は幅広い塩分帯から検出されていました。ホッキョクダラ環境 DNA の検出結果と各環境要因との関係をロジスティック回帰^{*6}により調べたところ、水温が高くなるほど環境 DNA が検出される確率が低くなるという関係が認められました。しかし、塩分や海域の生産性の指標であるクロロフィル蛍光値とは、有意な関係性は見られませんでした。生物量が多いほど環境 DNA の濃度が高まるという一般的な関係を

仮定すると、ホッキョクダラは低水温の環境を生息場所として好んでいると考えられます。これらの結果は、ホッキョクダラの分布と生態に関するこれまでの知見とよく一致しています。

【今後への期待】

本研究により、環境 DNA は、北極海の生態系の鍵種であるホッキョクダラの分布を、従来の手法よりも低い労力で、広範囲かつ詳細に調べることができるということが示されました。これは、北極海の生態系変動をモニタリングする上で大変貴重な成果と言えます。本手法を用いれば、ホッキョクダラだけでなく、様々な生物の DNA を解析することができます。タラ類、カレイ類、サケマス類といった水産上重要な種の資源量や来遊時期を調べることで、北極圏の水産資源の保全や管理に関する基礎情報を提供することも可能です。これは、北極域の気候変動が人間社会に及ぼす影響の予測にも繋がります。

2027 年には砕氷機能を持った北極研究船の運用が予定されています。砕氷船で北極海中央部の海氷域に分け入り、海氷下の海水をサンプリングし環境 DNA を分析することで、これまで報告が皆無であった海氷下の魚類について新しい知見を得ることができると期待されます。

【謝辞】

本研究は、文部科学省の「北極域研究加速プロジェクト (ArCS II: Arctic Challenge for Sustainability II(JPMXD1420318865))」及び科研費基盤研究(B)「環境 DNA で北極海の海氷下の魚を探る(22H02415)」の助成を受けて行われました。

論文情報

論文名	Distribution and habitat preference of polar cod (<i>Boreogadus saida</i>) in the Bering and Chukchi Seas inferred from species-specific detection of environmental DNA (種特異的な環境 DNA 検出によって推定された、ベーリング海とチュクチ海におけるホッキョクダラの分布と生息場所選好性)
著者名	川上達也 ¹ 、山崎 彩 ^{1,2} 、江 海潮 ³ 、上野洋路 ¹ 、笠井亮秀 ¹ (¹ 北海道大学大学院水産科学研究院、 ² 海洋研究開発機構、 ³ 北海道大学水産学部)
雑誌名	Frontiers in Marine Science (海洋科学の専門誌)
DOI	10.3389/fmars.2023.1193083
公表日	2023 年 8 月 30 日 (水) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院水産科学研究院 教授 笠井亮秀 (かさいあきひで)

T E L 0138-40-8807 メール akihide@fish.hokudai.ac.jp

U R L <https://www2.fish.hokudai.ac.jp/faculty-member/kasai-akihide/?key=jp>
<https://lab-kasai-jp.jimdosite.com/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部報道室 (〒236-0001 横浜市金沢区昭和町 3173-25)

T E L 045-778-5690 メール press@jamstec.go.jp

【参考図】



図 1. 調査対象の北極海の海水縁辺域の様子。パンケーキアイスと呼ばれる平たい氷が海一面に広がる。このような海域でも採水はできるため、環境 DNA により生息生物を調べることができる。

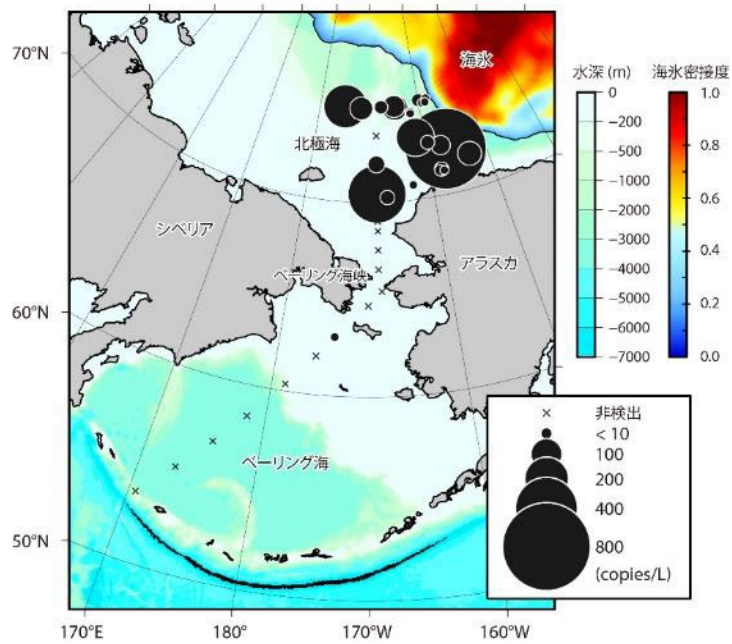


図 2. 表層海水から検出されたホッキョクダラ環境 DNA の分布。地図上の黒い円の大きさがホッキョクダラ環境 DNA の濃度 (1L あたりの DNA 断片数) を示す。

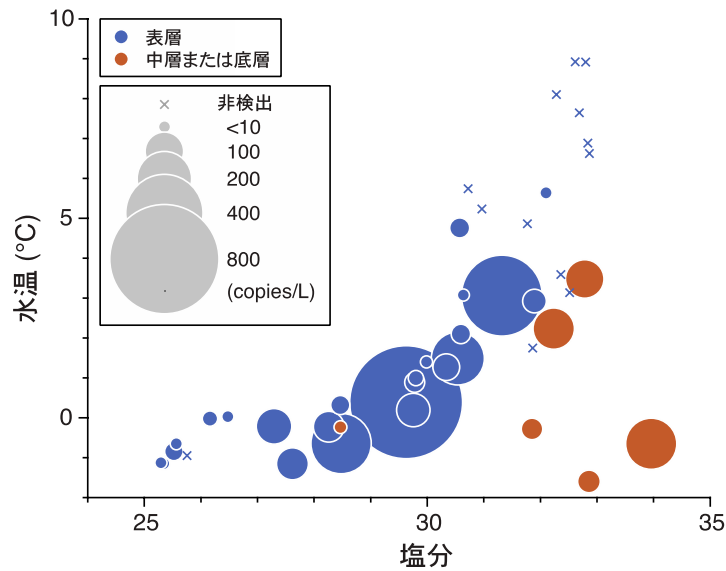


図 3. ホッキョクダラ環境 DNA の検出量と水温・塩分との関係。円の大きさがホッキョクダラ環境 DNA の濃度を示す。青い円は表層の海水、赤い円は中層または底層の海水からの検出結果を示す。

【用語解説】

- *1 鍵種 … 生態系において、その種が属する生態系に及ぼす影響が大きい種のこと。鍵種が減少することで、生態系を構成する他の種の個体数が大きく変化することがある。
- *2 環境 DNA … 海水や土壌、大気など環境中に含まれる生体外の DNA の総称。生物から放出された排泄物、粘液、表皮などに由来する。
- *3 プライマー … DNA の複製に必要な核酸の断片のこと。増幅したい配列の両端に結合するように作成する。
- *4 クロロフィル蛍光 … 植物が吸収した光エネルギーのうちで光合成に用いられず余った光エネルギーが植物から発せられるもの。植物プランクトンは光合成色素としてクロロフィルを持っているため、クロロフィル蛍光値は植物プランクトン濃度の指標として用いられる。
- *5 定量 PCR 法 … サンプル中に含まれる対象種の DNA を増幅させて、DNA の量を調べる手法。
- *6 ロジスティック回帰 … ある要因が変化するとき、ある結果が起きる確率を予測する統計学的手法。本研究では各環境要因の変化に伴ってホッキョクダラの環境 DNA が検出される確率がどのように変化するかを調べた。