



科学技術振興機構（JST）

神戸大学
北海道大学
統計数理研究所
京都大学
龍谷大学
千葉県立中央博物館

海水中のDNA情報で魚群の居場所と規模を明らかに ～魚類の量・分布・変動を把握し、漁業へ生かす～

ポイント

- 魚などの生息分布の把握には、これまで多くの時間や費用がかかっていた。
- わずか1リットルの海水でDNAを分析する環境DNA分析手法を発展させ、DNAの量を測定することで、その海域における魚の分布を定量的に明らかにする技術を開発し、舞鶴湾のどこにどれだけのマアジが生息しているかを明らかにした。
- 簡便で低コストなため、長期的な観測手法として有望である。魚類の資源量分布の観測や年ごと、季節ごとの変動の把握などへの応用が期待される。

JST 戦略的創造研究推進事業において、神戸大学の山本 哲史 学術推進研究員、北海道大学の南 憲吏 特任助教、統計数理研究所の深谷 肇一 特任助教らは、海水中に含まれる魚類のDNA量が周辺に生息する魚群規模を反映していることを明らかにしました。

海洋の魚などの水産有用種の調査には、従来は網を用いた捕獲や魚群探知機による計測が用いられてきました。しかし、いずれも調査に多大な時間やコストがかかることや、調査結果にばらつきが大きいなどの問題があり、より簡単に正確な測定法の開発が望まれていました。

本研究グループでは、これまでに環境中のDNA情報を利用して、魚の種類を判定する技術を開発しました。今回新たに、海洋中のDNA量を測定することにより、この技術が採水箇所周辺の魚群規模を定量的に推定するのに有効であることを明らかにしました。つまり、DNAの濃度によって、どのような生物種がいるかだけでなく、量も把握できるようになりました。

これまで、このような「環境DNA^{注1)}」を定量する手法は水槽実験や池といった閉鎖的な水域や、河川の短い区間のような水の流れが単純な水域でしか検証されていませんでした。今後、開放系である海洋でもこの手法が用いられるようになれば、有用種の資源量推定や分布推定、またそれらの時間的変動を明らかにすることができ、持続可能な漁業の推進に役に立つと考えられます。

本研究は、神戸大学、北海道大学、統計数理研究所、京都大学、龍谷大学、千葉県立中央博物館が共同で行ったものです。

本研究成果は、2016年3月2日（米国東部時間）発行のオンライン科学誌「PLOS ONE」に掲載されました。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究（CREST）

研究領域：「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」

小池 勲夫（東京大学 名誉教授）

研究課題名：「環境DNA分析に基づく魚類群集の定量モニタリングと生態系評価手法の開発」

研究代表者：近藤倫生（龍谷大学 教授）

研究期間：平成25年10月～平成31年3月

JSTはこの領域で、海洋の生物多様性および生態系を把握するための先進的な計測技術と将来予測に資するモデルの研究開発を行っており、上記研究課題では、海水中に含まれる魚由来のDNA（環境DNA）の分析に基づき、迅速かつ定量的に魚類の生物量や種構成、遺伝的特徴を把握する新しいモニタリング手法の開発を行っています。

＜研究の背景と経緯＞

海域における生物種の分布を把握するには、網などによる捕獲調査や魚群探知機による計測調査などが行われてきました。しかし、捕獲調査には時間や費用がかかることに加え、魚群探知機などの計測では生物種の決定が難しく、専門的な知識が必要でした。そのため、これまでの海洋資源調査は、限られた海域や特に有用な魚種のみに限定されています。そこで調査時に低コストで誰でも簡単に行うことのできる観測方法を開発する必要性がありました。

環境DNA解析に必要な現場調査は、わずか1リットルの水を汲むだけなので、特別な専門技術を必要とせず誰でも簡単に、素早く調査することができます。また短時間で多数の地点を調査することができるため、捕獲調査など従来の方法に比べて効率的な調査が可能となります。本研究チームではこれまでも、環境DNAを用いて、生物種がいるかどうかを明らかにできることを報告してきました。環境DNAの量がそのDNAの由来となった生物の生息数に応じて増加することは実験的に知られていました。しかし、環境DNA量と生物の数との関係は、実験的に用意された水槽や小さな池、河川の短い区間など、比較的小さな水の流れが単純な水域でしか検証されていませんでした。今回対象とした海洋などの広い水域では、魚から放出された環境DNAは広い範囲に分散してしまう可能性があるため、水槽などで得られた知見がそのまま適用できるかどうかはわかりませんでした。したがって、環境DNA解析法を海洋資源の把握に利用するためには、海洋において環境DNA量が生物量と相関するかどうかを明らかにする必要がありました。

＜研究の内容＞

神戸大学を中心とした6つの研究機関が共同し、環境DNA解析法とリアルタイムPCR法^{注2)}による環境DNA定量と、魚群探知機^{注3)}による定量的な分布調査の組み合わせによって、広い水域において特定の魚種の分布が把握できることを世界で初めて明らかにしました。

本研究では、海洋のような広い水域において環境DNA解析により採水地点周辺の魚群規模を推定できるか、できるとすれば採水地点からどれくらいの範囲の魚群を観測できるかを明らかにするため、環境DNA計測と魚群探知機による調査を同時に行いました。また、魚種の区別が困難という魚群探知機の欠点を補うため単一の魚種が優占する海域で調査を行いました。

京都府北部の日本海に面する舞鶴湾では、毎年6月ごろに回遊によって湾内にやってくるマアジが増加し、他の魚種の数倍から数百倍の生物量となることが知られています。そ

こで、2014年6月に舞鶴湾の47のポイントにおいて表層と底層からそれぞれ1リットルの海水を汲みとり、そこに含まれるマアジの環境DNA量をリアルタイムPCR法によって測定しました。魚群探知機によって測定した採水地点周辺のマアジの生物量と比較したところ、マアジの環境DNA濃度は採水地点から数10～150メートル以内のマアジの生物量を最もよく反映していることが明らかになりました。このことから、海洋においても環境DNAは観測対象種の生物量を反映していることが裏付けられ、環境DNA解析法によって魚群の分布やその規模を定量的に明らかにできることがわかりました。ただし、漁港付近では水揚げされたマアジに由来すると考えられる環境DNAも検出され、環境DNAの放出源が生きているマアジだけではないことも示唆されました。

環境DNA解析法に必要な水サンプルはわずか1リットルであり、現場での調査手順は極めて簡便です。今回調査した舞鶴湾西湾の面積は11平方キロメートルとおおよそ東京ドームの235倍の規模であり、網による捕獲や潜水による目視調査では数日必要な範囲を、本研究ではわずか6時間で調査を終えることができました。つまり、環境DNA解析法は、広い範囲における魚類資源の分布をスナップショット写真のように記録することができ、これまで把握できなかった短時間の分布の変化を把握することも可能であることが示唆されました。また魚群探知機とは異なり、環境DNA解析法は特定の生物種に限定した調査も可能であり、海洋のような広い水域でも特定の生物の量や分布を推定することができます。

＜今後の展開＞

本手法は、世界で最も利用されている資源計測機器である魚群探知機と同様に広範囲を短時間で調査できます。しかも、作業が簡便で専門技術が不要なことから調査を長期にわたって継続し易いという利点があります。このことから、本手法は海洋水産資源の量や分布、その時間的変動の調査効率を飛躍的に向上させることが期待されます。

現時点では、本研究で示した生物量推定の方法は1種ずつ個別に解析する必要があります。しかし同研究チームは、環境DNA分析によってその海域に生息する魚種をまとめて検出する手法の開発にも既に成功しており（JSTプレスリリース）、その技術と組み合わせることで、多数の魚種の分布や量をまとめて明らかにすることができるかもしれません。

<参考図>

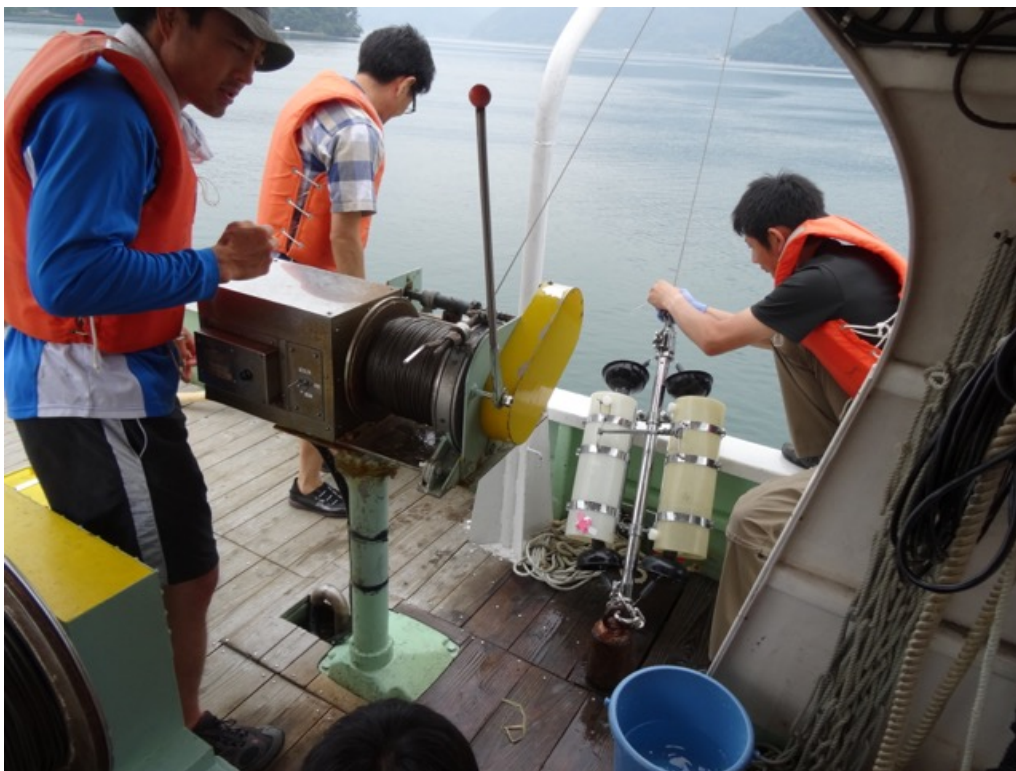


図1 採水調査の様子

現場での作業は船上から採水機器を用いて採水するだけである。



図2 調査地点の位置図

京都府北部の舞鶴湾で、魚群探知機による計測と同時に、47箇所の採水を行った。図中の点線は航跡を、丸は採水地点を表す。

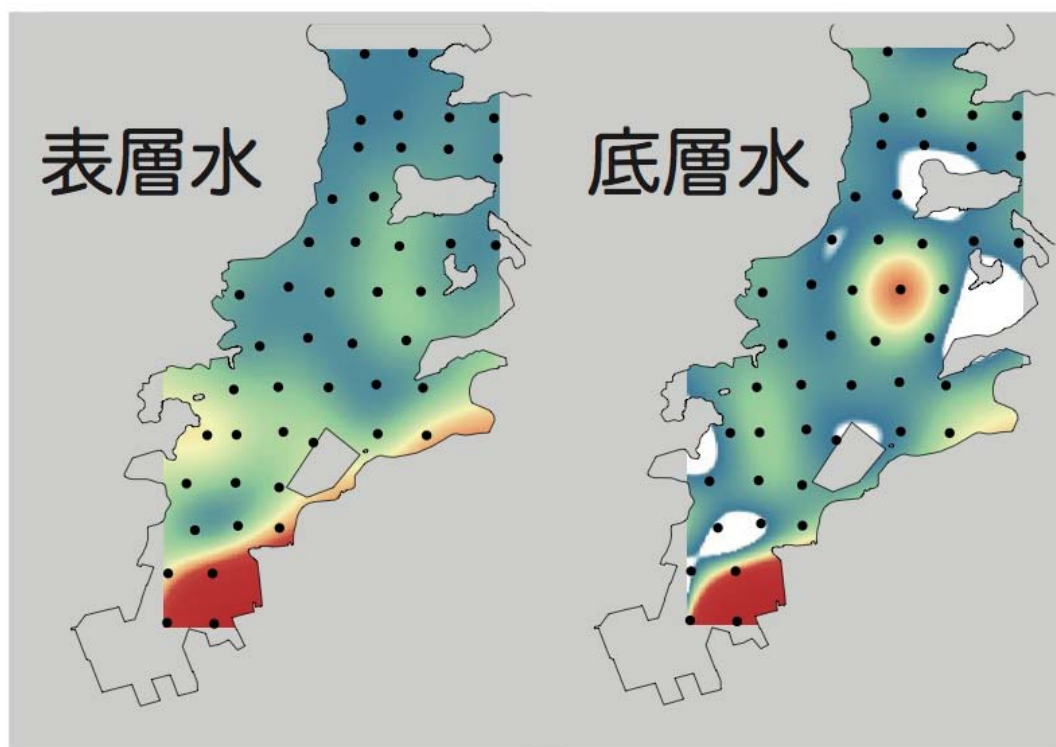


図3 47地点分のサンプルから推定したマアジ環境DNA量の分布

DNA量の分布と魚群探知機で検出した魚の分布を比較したところ、環境DNA量からマアジの分布を定量的に推定できることがわかった。赤い場所ほどマアジの環境DNA量が多く、青くなるにつれて少ないと推定される。白はマアジの環境DNA量が分布しないと推定された範囲。



図4 魚群探知機で検出された魚の分布

棒グラフが高いほど相対的に魚のバイオマスが多い。

<用語解説>

注1) 環境DNA

水や空気、土壌などのサンプル中に含まれるDNAのこと。水サンプルの場合には魚類をはじめとした水生生物のDNAが含まれることが知られている。魚類の環境DNAは排泄物や粘液、表皮などの細胞が水中に剥がれ落ちたものだと考えられている。

注2) リアルタイムPCR法

特定のDNA断片のみを増幅するPCR法的一种である。増幅する過程をリアルタイムにモニターすることによって、特定のDNAの量を測定することができる。

注3) 魚群探知機

水中に音波ビームを発射し魚体からの反射量を測定することによって魚がいる水深や生物量を計測する装置。

<書誌情報>

“Environmental DNA as a ‘snapshot’ of fish distribution: a case study of Japanese jack mackerel in Maizuru Bay, Sea of Japan”

(環境DNA解析は迅速な魚類分布調査を可能とする：舞鶴湾におけるマアジの事例)

DOI:10.1371/journal.pone.0149786

山本 哲史 (神戸大学)、南 憲吏 (北海道大学)、深谷 肇一 (統計数理研究所)、高橋 宏司 (京都大学)、澤田 英樹 (京都大学)、村上 弘章 (京都大学)、辻 冴月 (龍谷大学)、橋爪 裕宜 (神戸大学)、久保長 晶 (北海道大学)、堀内 智矢 (京都大学)、本郷 真理 (龍谷大学)、西田 穰 (龍谷大学)、奥川 雄太 (龍谷大学)、藤原 綾香 (神戸大学)、福田 向芳 (神戸大学)、日高 瞬介 (神戸大学)、鈴木 啓太 (京都大学)、宮 正樹 (千葉県立中央博物館)、荒木 仁志 (北海道大学)、山中 裕樹 (龍谷大学)、丸山 敦 (龍谷大学)、宮下 和士 (北海道大学)、益田 玲爾 (京都大学)、源 利文 (神戸大学)、近藤 倫生 (龍谷大学)