

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	笹野 祥愛
論文題目	環境DNAを用いたクロダイの分布特性の解明		
(論文内容の要旨)			
<p>クロダイは沿岸や河口域に生息し、漁業や遊漁の対象としてなじみ深い魚種である。日本の沿岸漁業の漁獲量が大幅な減少傾向にある中、本種の漁獲量は例外的に安定している。スズキなど他の沿岸性魚類においては、汽水・淡水域の利用が沿岸域での繁栄に有利であることが示唆されてきた。クロダイも強い低塩分耐性をもち、河口域で稚魚や成魚が採集されるが、自然環境下での本種の汽水・淡水域利用を環境条件と合わせて具体的に調べた例はない。本研究では、海域や河川における本種の分布特性を環境DNA手法を用いて解明し、海域における沿岸や淡水流入への依存性、および河川における淡水域への進入実態に迫ることを目的とした。また、環境DNA研究の多くは陸水域の生物を対象に進められてきたが、海洋生物の時空間的な分布変化を評価した例はほとんどない。そこで、本研究における一連の調査を通して、水産資源生物の生態調査への環境DNAの有用性を提示することをもう一つの目的とした。</p> <p>第1章では、クロダイの生態に関する既往の知見を整理し、本研究の背景と目的を述べた。第2章では、海域の環境DNA検出に必要な基礎特性を明らかにした。そのうち第1節では、飼育実験により受精卵や仔魚からの環境DNA放出を確認するとともに、成長に伴う個体あたりの環境DNA放出量の推移を分析した。クロダイを受精卵から生後6ヶ月まで飼育し、飼育水中の環境DNA濃度と水槽内の個体密度から個体あたりの環境DNA放出量を推定した結果、本種の環境DNAは受精卵や卵の段階でも検出され、また個体あたりの環境DNA放出量は全長の約2乗に比例し、体表面積に依存することが示された。第2節では、ミトコンドリア由来と核由来の環境DNAの検出特性の違いを海域において検証した。核環境DNAはミトコンドリア環境DNAより数十倍多く検出されることが示され、また核環境DNAとミトコンドリア環境DNAでは、産卵期における放出・分解などの動態が異なる可能性が示唆された。</p> <p>第3章では、海域における本種環境DNAの分布特性の解明を目的とした。まず第1節では、沿岸から沖合にかけての本種環境DNAの分布を調査した。丹後海沿岸から沖合の12地点の定点で、2017年5月から原則毎月1回、1年間にわたり採水を行った。本種の環境DNAは離岸距離3 km以内からは通年検出されるとともに、産卵期には卵や仔魚に由来すると考えられる環境DNAが沖合からも検出された。これにより、本種の卵や仔魚は沖合に分散し、稚魚期以降は沿岸3 km以内に加齢するという分布の変化を捉えた。稚魚期以降の本種は沿岸に限定的に分布するという前節の結果を受け、第2節では本種が沿岸の中でもどのような場所に多いのかを、特に沿岸域の淡水流入との関係に着目して検討した。房総半島南部の沿岸11定点で2年間にわたり隔週で採水された試料について、クロダイの環境DNA量を定量し、一般化線形モデルを用いて水温、</p>			

塩分、淡水流入の影響との関係性を評価した。なお、各採水定点が周囲の河川から受ける淡水流入の影響は、河川の規模と定点 - 河口間の距離をもとに算出した。房総半島南部の沿岸における環境DNA量は、水温が高いほど多くなり、また塩分が低く淡水流入の影響が大きいほど多くなると推定された。クロダイは沿岸の中でも比較的塩分が低く淡水流入の影響を受ける場所に多いことが示された。第3章を通して、稚魚期以降の本種が沿岸域や淡水流入に強く依存することが明らかとなった。

第4章では、河川進入の実態の解明を目的とした。まず第1節では、京都府の二級河川伊佐津川において、河口から3.3 km上流までに6地点の定点を設け、2017年から毎月1回、1年間にわたる採水を行った。クロダイの環境DNAは基本的に河口から550 m上流までの範囲で通年検出され、水温が約25 °Cを超える5月から9月には最大で河口から1.5 km上流の淡水域でも検出されることが示された。伊佐津川での結果を受け、第2節では河川の規模および潮汐環境の異なる河川として、京都府の一級河川由良川、広島県の一級河川太田川、および二級河川二河川において調査を実施した。全河川の結果に共通して、下流汽水域にはクロダイは通年生息し、水温が一定以上のときに上流淡水域にも進入することが示された。加えて太田川ではより幅広い水温条件で淡水域に進入し、塩分フロント付近に集まるという、河川進入の地域差を捉えた。

第5章では総合考察として、海産魚であるクロダイの柔軟な汽水・淡水域利用の意義、および環境DNA手法の有用性について論じた。本種の汽水・淡水域利用には、沿岸河口域の高い生産力の恩恵を受けるだけでなく、食性の広い本種が多岐にわたる場所で採餌できるという大きなメリットがあると考えられる。また、濁度の高い河口域は捕食者からの逃避に役立つほか、河川中流域は海域よりも本種にとって漁獲圧や釣獲圧が低い場所であると推測される。強い低塩分耐性をもつ本種の汽水域・淡水域利用は、沿岸で繁栄する上で非常に有利であり、資源量の安定化を駆動してきた可能性が高い。また、これまで本種の分布生態については、複数の採集知見などを組み合わせることで推察されてきた。本研究では環境DNA手法によって時空間的に大規模な情報を統合することで、その解像度を上げることに貢献できた。本種の生態を追った一連の研究はまた、水槽実験による基礎的知見と合わせて、水産資源生物の生態調査ツールとして環境DNA手法が極めて有用であることを示した。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

漁業や遊漁の対象である海産魚クロダイは、高い低塩分耐性をもつことが知られていたものの、自然環境における本種の生息場所については主に釣り人による採集知見が散見される程度で、塩分条件等と合わせて具体的に調査された例はなかった。本研究は、クロダイの汽水域・淡水域の利用に焦点を当てその分布特性を詳細にするとともに、特に海域の環境DNA手法に関する知見を集積したものである。評価すべき点は以下の通りである。

1. クロダイを受精卵から6ヶ月間飼育することで、本種の環境DNAが卵や仔魚からも検出でき、放出される環境DNAが体表面積に比例することを明らかにした。また、海域における野外調査で初めて核環境DNAの検出を試み、ミトコンドリア環境DNAとの検出量や検出頻度の違いを確認した。

2. 丹後海で1年間にわたる採水調査を行い、クロダイが産卵期と仔魚期には少なくとも19 km沖合に分散し、稚魚期以降には沿岸3 km以内に限定的に分布することを明らかにした。また、房総半島沿岸の採水試料についても分析することで、本種は比較的低塩分の環境や、淡水流入の影響のある場所を好むことを示した。

3. 京都府および広島県の各2河川で季節ごとの採水調査を実施し、クロダイは河川汽水域に通年分布し、高水温期には淡水域にも進入するという普遍的な河川進入の特徴を捉えた。加えて広島県太田川では塩分フロントに多く集まり、より幅広い水温条件で淡水域に進入することが示され、潮汐や餌生物などの条件に合わせた河川進入の地域差が認められた。

以上のように、本論文はクロダイの生態への理解を深めたとともに、環境DNA手法を用いた生態調査手法を確立する上での有用な知見を提供しており、水産学、魚類生態学および環境DNA学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和4年2月10日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)