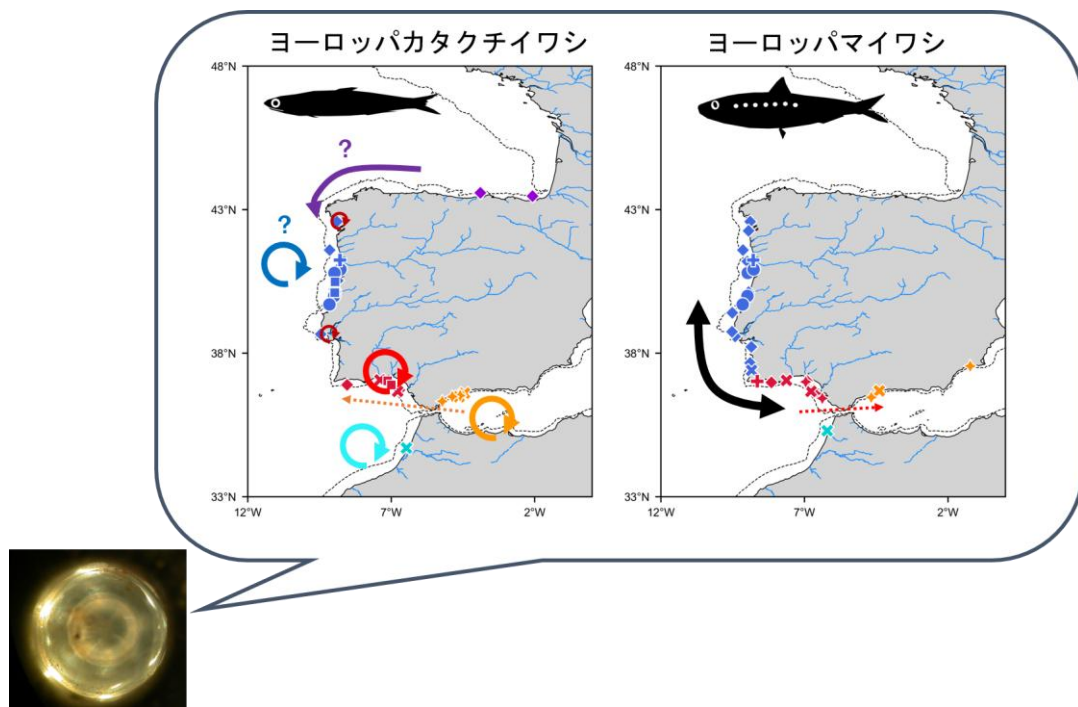


水晶体が解き明かす魚の集団構造

—欧州イワシ類の資源管理に貢献—

概要

海の中で魚はどこから来て、どこへ向かうのか。この一見単純な問いは、水産資源を守りながら利用するうえで欠かせない一方、広い海を移動する魚を多数追跡することは容易ではありません。京都大学白眉センターの坂本達也特定助教（兼：ポルトガル海洋大気研究所客員研究員）と同研究所の Susana Garrido 主席研究員は、魚の目の水晶体に着目し、イベリア半島周辺に生息するヨーロッパカタクチイワシとヨーロッパマイワシの集団構造を明らかにしました。水晶体中心部の化学組成には魚が発生した海域の特徴が記録され、迅速で低コストな分析が可能です。本研究では、各種 500 個体超の炭素・窒素安定同位体比を分析し、大規模な由来推定を実現しました。その結果、カタクチイワシでは年や大きさに関わらず半島西岸・南岸・地中海西部の個体間で同位体値が明瞭に異なり、各海域に独立した集団が存在することが示されました。一方、マイワシでは若齢魚でのみ西岸と南岸で異なる特徴を示し、成長に伴って差が小さくなったため、両海域間で頻繁な往来があることが示唆されました。これらの成果は、カタクチイワシ資源の区分見直しを支える根拠の一つとして実際の資源管理にも貢献しており、水晶体分析が資源管理を改善する実践的手法となることを示しています。本研究成果は、2026年6月13日に英国の国際学術誌「*Progress in Oceanography*」にオンライン掲載されました。



図：水晶体中心部の化学組成から推定された、ヨーロッパカタクチイワシとマイワシの海域間移動の模式図。シンボル（四角、丸等）はサンプル採集地点を示し、矢印は魚の移動を示す。点線は稀な移動。

作成者：坂本達也

1. 背景

海には様々な種類の魚が生息しており、それらを漁獲し食料とすることで、人類は大きな恩恵を受けています。海の水産資源を持続的に利用するには、魚の存在量を正しく評価し、資源を枯渇させない範囲で漁獲量を管理することが重要です。そのためには、魚がどこで生まれ、成長に伴ってどの海域へ移動し、どの海域の集団同士がつながっているのかを理解する必要があります。

しかし、広い海の中を泳ぎ回る魚の移動を直接観測することは容易ではありません。これまでも、魚に電子タグを装着する方法、遺伝子を解析する方法、耳石と呼ばれる硬組織の化学成分を調べる方法など、魚の移動や海域間の交流を推定するための様々な手法が用いられてきました。一方で、これらの方法には高度な専門技術や大きなコストが必要となる場合が多く、多数の個体を対象とした網羅的な解析には課題がありました。近年、魚の眼球内にある「水晶体」に注目が集まっています。水晶体は、古い層の外側に新しい層が少しずつ重なるように成長するタンパク質の組織です。いったん形成された層はほとんど入れ替わらないため、水晶体には魚が過去にどのような環境で餌を食べていたのかを示す化学的な情報が、成長の記録として保存されます。特に、炭素や窒素の安定同位体比は、海域や餌環境の違いを反映するため、魚が利用してきた生息場所を推定する手がかりになります。

水晶体を用いた分析は、従来の耳石分析に比べて試料の準備が比較的容易であり、専門的な装置も必要としないことから、多数の個体を解析する上で有望な手法です。また、遺伝子解析が長い進化的な時間スケールでの集団の違いを捉えるのに対し、水晶体の安定同位体分析は、資源管理に直接関わる比較的短い時間スケールでの移動や海域間の混合を推定できるという利点があります。

本研究では、ヨーロッパカタクチイワシとヨーロッパマイワシを対象に、スペイン・ポルトガルのあるイベリア半島周辺における移動パターンと海域間のつながりを明らかにすることを目指しました。これらの小型浮魚類は、北東大西洋や地中海の生態系において、プランクトンから大型魚類・海鳥・海生哺乳類などの高次捕食者へとエネルギーをつなぐ重要な存在です。同時に、沿岸漁業にとっても重要な水産資源であり、その持続的な利用には、適切な資源単位の設定と管理が欠かせません。イベリア半島周辺の海域は、湧昇、河川水の流入、海流、水温などの海洋環境が大きく異なる地域から構成されています。このような環境の違いは、魚の餌環境や安定同位体比にも反映されるため、魚の移動を追跡する上で有効な自然の目印となります。本研究は、水晶体に残された化学的な「成長の記録」を読み解くことで、これまで直接捉えることが難しかった魚の移動履歴を明らかにし、より科学的な水産資源管理に貢献することを目指すものです。

2. 研究手法・成果

本研究では、イベリア半島周辺に生息するヨーロッパカタクチイワシとヨーロッパマイワシを対象に、水晶体中心部および筋肉の炭素・窒素安定同位体比を分析し、個体ごとの初期生活史や成長に伴う移動パターンを調べました。試料は、2016年から2023年にかけて実施された複数の音響調査およびトロール調査により、イベリア半島西岸・南岸・北岸、地中海西部、北西アフリカ沿岸などから採集されました。解析には、ヨーロッパカタクチイワシ 627 個体、ヨーロッパマイワシ 579 個体を用いました。

2種は似た生態的地位を持つ小型浮魚類であるにもかかわらず、イベリア半島周辺で大きく異なる移動パターンを示すことが明らかになりました。ヨーロッパカタクチイワシでは、イベリア半島南岸、地中海西部、北西アフリカ沿岸、西岸・北岸の間で水晶体中心部の安定同位体比が明瞭に異なり、これらの海域間の大規模な移動は限定的であることが示されました（参考図表参照）。特に、南岸と西岸の分離は、年齢別資源量を用い

た年級群追跡解析でも支持され、南岸のカタクチイワシが独立性の高い集団として維持されている可能性が示されました。一方で、イベリア半島西岸と北岸のカタクチイワシでは、水晶体中心部の同位体比が小型個体の段階から重なっていました。さらに、両海域の年齢別資源量には有意な相関が見られ、北岸で仔魚期を過ごした個体が、その後イベリア半島西岸へ移動している可能性が示唆されました。これは、現在は別々の資源単位として扱われている西岸と北部海域の関係について、管理上の境界を再検討する必要性を示す結果です。

ヨーロッパマイワシでは、カタクチイワシよりも広い範囲で移動する傾向が示されました。小型個体ではイベリア半島西岸と南岸の間に同位体比の違いが見られましたが、中型・大型個体では分布が重なり、成長に伴って両海域の個体が混合することが示されました。この結果は、西岸と南岸の加入場がともに資源変動や近年の資源回復に寄与している可能性を示しています。一方、地中海西部と大西洋側の海域との間では違いが比較的明瞭であり、ジブラルタル海峡を越えた移動は起こるとしても少数に限られると考えられました。

これらの結果は、現行の資源管理に対して具体的な示唆を与えるものです。カタクチイワシについては、イベリア半島南岸を西岸から分けて管理する近年の方針を支持する一方で、西岸と北岸の間には想定以上のつながりがある可能性を示しました。マイワシについては、イベリア半島北部・西岸・南岸をまたぐ単一のメタ個体群として扱う現行の考え方を支持しつつ、地中海西部やアフリカ沿岸とは分けて考える必要性を示しました。

また、魚種によって移動生態が異なることが、海洋生態系全体の物質・エネルギーの流れにも影響しうること示しています。より広範囲に移動するマイワシが多い時期には、ある海域で生産された生物量が隣接海域へ運ばれ、エネルギーの水平的な移送が強まる可能性があります。一方、移動範囲が比較的限られるカタクチイワシが多い時期には、高次捕食者の分布や生産もより局所的になりやすいと考えられます。

3. 波及効果、今後の予定

本研究の成果は、水晶体の安定同位体分析と調査船データに基づく年級群追跡を組み合わせることで、魚の移動・混合過程を個体レベルと集団レベルの両面から検証できることを示しました。このような情報は、気候変動などにより魚の分布が急速に変化する中で、実際の移動実態に即した資源評価や、海域ごとの環境特性を考慮した空間明示的な資源管理を進める上で重要な基盤となります。

一方で、本研究には、採集年や季節が海域間で完全には揃っていないこと、また炭素・窒素の2種類の安定同位体だけではすべての成育場を完全に識別できない可能性があるという限界があります。今後は、より高密度な空間サンプリングに加え、ゲノム解析、耳石の同位体・微量元素分析、長期的な資源量データとの統合により、移動経路や集団構造をさらに精密に検証する必要があります。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、ポルトガルの Programa Operacional MAR 2030 によるプロジェクト SARDINHA2030 (MAR-111.4.1-FEAMPA-10005)、日本学術振興会 科学研究費助成事業 (JSPS KAKENHI: 22H05028, 23K26981)、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ (JST PRESTO: JPMJPR23G6)、および京都大学 白眉プロジェクトの支援を受けて実施されました。

<用語解説>

水晶体

魚を含む多くの動物の眼球内にある透明な組織。成長に伴って層状に形成され、内部に古い層が保存されるため、魚が過去に利用した環境の情報を調べる手がかりになる。

安定同位体比

同じ元素のうち、重さがわずかに異なる原子の存在比。本研究では、炭素と窒素の安定同位体比を分析した。これらの値は、海域ごとの餌環境や栄養段階の違いを反映するため、魚がどのような環境で成長したかを推定する指標となる。

炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$)

炭素や窒素の安定同位体比を標準物質との差として表した値。 $\delta^{13}\text{C}$ は海域の水温や植物プランクトンの成長速度、 $\delta^{15}\text{N}$ は当該海域の植物プランクトンが栄養として利用した窒素の量やソースを反映しやすい。

資源管理単位

漁獲量の設定や資源評価を行う際に、一つのまとまりとして扱う魚の集団。実際の魚の移動や海域間の混合と管理単位がずれていると、資源量の評価や漁獲管理に誤差が生じる可能性がある。

年級群追跡解析

同じ年に生まれた魚の集団を、年齢を追って調べる解析方法。本研究では、ある海域で多く見られた世代が翌年以降に隣接海域で多く見られるかを調べることで、海域間の移動の可能性を検討した。

<研究者のコメント>

単身ポルトガルにわたり、機材を何も持たない中で魚の生態を調べるためにできることは、眼の中から水晶体を取り出し、ピンセットを使ってそれを剥くことだけでした。誰でも魚の回遊や由来を調べられる時代になりつつありそうです（坂本達也）。

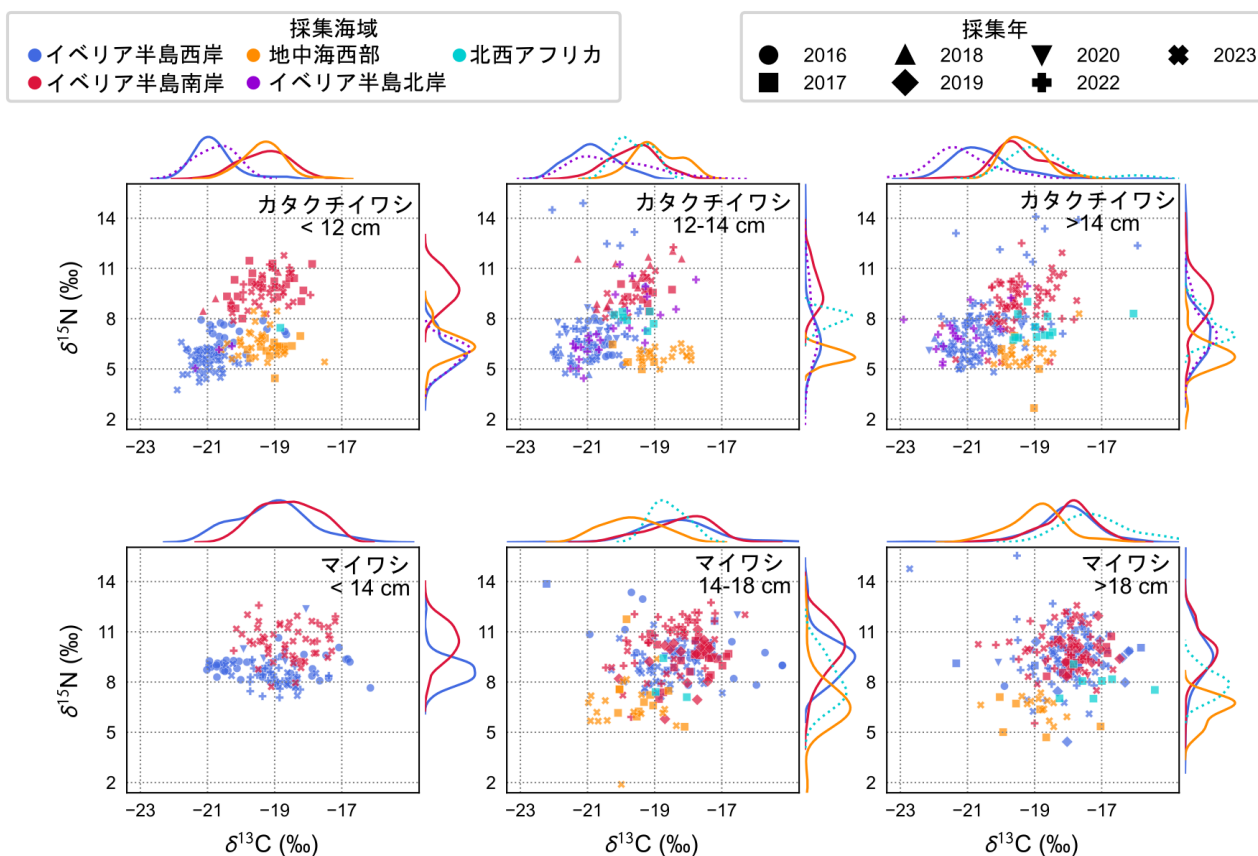
<論文タイトルと著者>

タイトル：Different migration patterns of European anchovy and sardine around Iberian Peninsula revealed by eye lens isotopes
(水晶体の同位体が解き明かすイベリア半島周辺のヨーロッパカタクチイワシとマイワシの異なる回遊パターン)

著者：Tatsuya Sakamoto & Susana Garrido

掲載誌：*Progress in Oceanography* DOI：10.1016/j.pocean.2026.103781

< 参考図表 >



図：発生海域を指標する、ヨーロッパカタクチイワシ・マイワシの水晶体中心部の炭素・窒素安定同位体分布。魚のサイズ別に表示。カタクチイワシでは、サイズや年によらず一貫して海域ごとに異なる値を示すため、海域間の交流はわずかと考えられる一方で、マイワシではサイズが大きくなるにつれて西岸と南岸の魚が交流していくと考えられる。