

## 魚の眼球に記録された稚魚期からの生活史を解読する方法を開発

### 1. 発表のポイント

- ◆ 魚の眼球中の水晶体は、木の年輪と同じく、魚の生活史を記録している。
- ◆ 水晶体の主成分であるアミノ酸の窒素同位体比分析を用いて、対象の魚の分布海域や採餌履歴を解析する方法を開発した。本手法は、世界で最も高時間解像度で魚の生活史「いつ、どの海にいたのか」を復元するツールとなる。
- ◆ また、本手法はほぼ全ての海洋生物に適用可能であることから、今後、海洋生態学的研究や産地判別など水産資源管理において重要な役割を果たすと期待される。

### 2. 概要

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 松永 是、以下「JAMSTEC」という。）海洋機能利用部門生物地球化学センターの原田洋太研究員及び大河内直彦センター長らは、東京大学大気海洋研究所の伊藤進一教授や水産研究・教育機構米田道夫主任研究員と共同で、水晶体から魚の生態を解析する方法を開発しました。

人類が持続可能な海洋資源の利用を目指す上で、海洋生物の生態を深く理解する事は不可欠ですが、陸上生物に比べその知見はまだ十分ではありません。魚のような海洋生物は、広大な海洋空間を三次元に長距離で移動することから観察が難しく、近年、GPS などの記録装置を魚に装着する方法であるバイオロギングが使われるようになりましたが、これらの方法は機器を装着できる魚のサイズやバッテリーの寿命などに制限があります。

そこで本研究では、魚の眼球の水晶体を用いて魚の生態を解析する方法の開発を試みました。水晶体は、魚が卵の中にいる頃から既に形成が始まり、付加的に成長することで木の年輪のように層を形成し、それが一生を通して保持されることから、玉ねぎの皮を剥くように成長層を時系列で採取する事が可能です（[動画 1](https://www.youtube.com/watch?v=RX8M77crZlY) : <https://www.youtube.com/watch?v=RX8M77crZlY>）。水晶体には摂餌でしか得ることのできないフェニルアラニンというアミノ酸が含まれており、その窒素同位体比を分析することにより、分布海域や採餌履歴を推定できると考えられます。

今回、マサバを対象として同手法により解析した結果、仔稚魚期を窒素同位体比の低い亜熱帯海域（伊豆半島沖付近）で過ごし、成長と共に同位体比の高い亜寒帯海域（三陸沖方面）へ移動すると考えられてきたマサバの典型的な回遊を確認する事ができました（図 1、2）。

本研究で開発した手法は、水晶体を持つほぼ全ての海洋生物に適用可能であり、海洋生態学的研究や水産資源管理において重要な役割を果たすことが今後期待されます。

本成果は、「Frontiers in Marine science」に2月3日付けで掲載されました。

タイトル：Compound-specific nitrogen isotope analysis of amino acids in eye lenses as a new tool to reconstruct the geographic and trophic histories of fish

著者：原田洋太<sup>1</sup>、伊藤進一<sup>2</sup>、小川奈々子<sup>1</sup>、吉川知里<sup>1</sup>、石川尚人<sup>1</sup>、米田道夫<sup>3</sup>、大河内直彦<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、2. 東京大学大気海洋研究所、3. 国立研究開発法人水産研究・教育機構

doi: 10.3389/fmars.2021.796532

### 3. 背景

地球温暖化によって魚の回遊経路が変化し、水産資源管理がより困難になることが予想される中、回遊ルートなどの魚の生活史を正確に調べる技術が現在強く求められています。しかし、広大な海洋空間を長距離で三次元的に移動する魚の生態を観測などの手段で把握することは難しく、その知見はまだ十分ではありません。

そうした状況下で、有用な手法として取り組んだのが、魚の体内にある窒素同位体比を分析する方法です。フェニルアラニンというアミノ酸は魚の体内で合成する事ができない必須アミノ酸であり、植物プランクトンなどが生産した同物質は食物連鎖により高次の捕食者へと蓄積されることから、窒素同位体比の分析を通じて捕食者としての地位（栄養段階）を調べることが可能です。また、海域ごとに特有の窒素同位体比が存在するため、魚の分布海域を識別することも可能です。

JAMSTEC は世界で最も微量で窒素同位体比を測る装置を開発しており、また、アミノ酸などの特定の化合物の窒素同位体比を化合物レベルで測る技術を有することから、これまでもウナギの幼生の食性 ([2012年11月7日既報](#)) やサケの回遊ルート ([2020年3月25日既報](#)) など様々な魚の生態を明らかにしてきました。

今回、本研究では魚の眼球中の水晶体を新たに分析対象として解析を試みました。水晶体は「クリスタリン」と呼ばれる透明なタンパク質、つまり生物にとって最も重要な栄養素の一つであるアミノ酸によってできており、フェニルアラニンも蓄積しています。水晶体は付加的に層を形成しながら成長し、それが一生を通して保持されることから、木の年輪のように魚の成長に関する情報を蓄積しています (図1)。この水晶体は、玉ねぎの皮を剥くように成長層を時系列で採取する事が可能であり、また、魚が卵の中にいる頃から既に形成が始まるため、魚が孵化する前の履歴も得る事が可能なことから、対象となる魚の分布海域や採餌履歴などを時系列的に明らかにできると考えました。本研究では、三陸沖で採取されたマサバを対象として眼球の水晶体を分析することで、非常に高い時間解像度での生活史の復元を試みました。

#### 4. 成果

約1歳のマサバの水晶体を玉ねぎの皮のように剥いて、計34層のサンプルを採取しました。これは、最高で1層当たり数日レベルという高い時間解像度を有する試料が得られたことを意味しています。

微量分析技術を用いて試料全体の窒素同位体比を測定するとともに、一部の試料については個々のアミノ酸の窒素同位体比を測定し、時系列でマサバが回遊した海域の窒素同位体比を復元しました(図2)。さらに、グルタミン酸の窒素同位体比から、マサバの栄養段階の変化を解析しました。なお個体の日齢は、水晶体の成長とマサバの体長や日齢の関係式を用いて推定しています。

その結果、マサバは仔稚魚期を主にプランクトンを栄養源とする一次消費者として過ごし、成長と共に肉食である二次消費者へ変化する事が確認できました。これは、従来、胃内容物の解析や複数の成長段階の違う個体の同位体を分析しなければ得ることのできなかった生態学的情報を、水晶体の同位体分析のみで得る事ができ、体内で合成されないフェニルアラニンの同位体比からは採餌履歴や回遊ルートの情報を得る事ができたことを意味します。

また、今回研究対象としたマサバは仔稚魚期に、窒素固定の影響により同位体比の低い亜熱帯海域のプランクトンを栄養源とし、成長と共に北上し窒素同位体比のより高い亜寒帯海域へ移動する事もわかりました。

なお、今回は計2個体のマサバを分析していますが、仔魚期の同位体比は散乱していました。これは仔魚期の生息海域の分散によって全体の生存率を上げるマサバの生態が反映されていると考えられます。

以上の結果から、仔稚魚期を伊豆半島沖で過ごし、成長と共に三陸沖へ移動するとされるマサバの回遊行動の詳細は、水晶体の窒素同位体から復元可能であることを示しました。

#### 5. 今後の展望

本研究では、水晶体から高時間解像度で対象の魚の同位体比履歴を復元し、移動や採餌の履歴などの生態学的情報を得る画期的な手法を開発しましたが、引き続き、海洋における窒素同位体比の分布地図を作成し、マサバなどの広域回遊魚の回遊ルートを推定する方法を開発中です。また、今回はマサバの分布している海域において大きく空間的に変化する窒素同位体に焦点を当てましたが、魚の分布において空間的に変化する同位体は窒素のみならず、炭素や硫黄などもあげられます。例えば、多くの魚が仔稚魚期を過ごす汽水域ではそれらの同位体比が大きく変動します。そのため、今後は地域毎の様々な同位体分布の特性を上手く活かすことが重要となります。

本手法は水晶体を持つ多くの海洋生物に適用可能であり、海洋生態学的研究や産地判別などの水産資源管理における重要な基礎情報を得る手法として活用されることが今後期待されます。

**お問い合わせ先：**

(本研究について)

国立研究開発法人海洋研究開発機構

海洋機能利用部門 生物地球化学センター 生元素動態研究グループ

ポストドクトラル研究員 原田 洋太

E-mail : [y.harada@jamstec.go.jp](mailto:y.harada@jamstec.go.jp) ※海外出張中

海洋機能利用部門 生物地球化学センター

センター長 大河内 直彦

電話 : 046-867-9790 E-mail : [nohkouchi@jamstec.go.jp](mailto:nohkouchi@jamstec.go.jp)

(報道担当)

国立研究開発法人海洋研究開発機構

海洋科学技術戦略部 報道室 電話 : 045-778-5690 E-mail : [press@jamstec.go.jp](mailto:press@jamstec.go.jp)

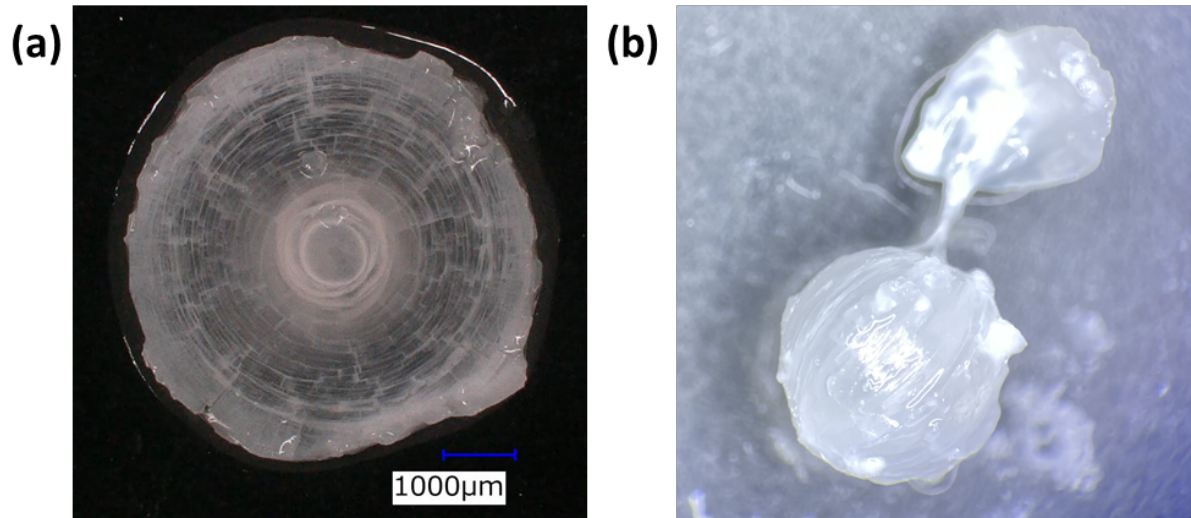


図 1 (a) マサバの水晶体の断面図。木の年輪のように、成長層を形成する。(b) 水晶体を成長層ごとに採取したサンプル。

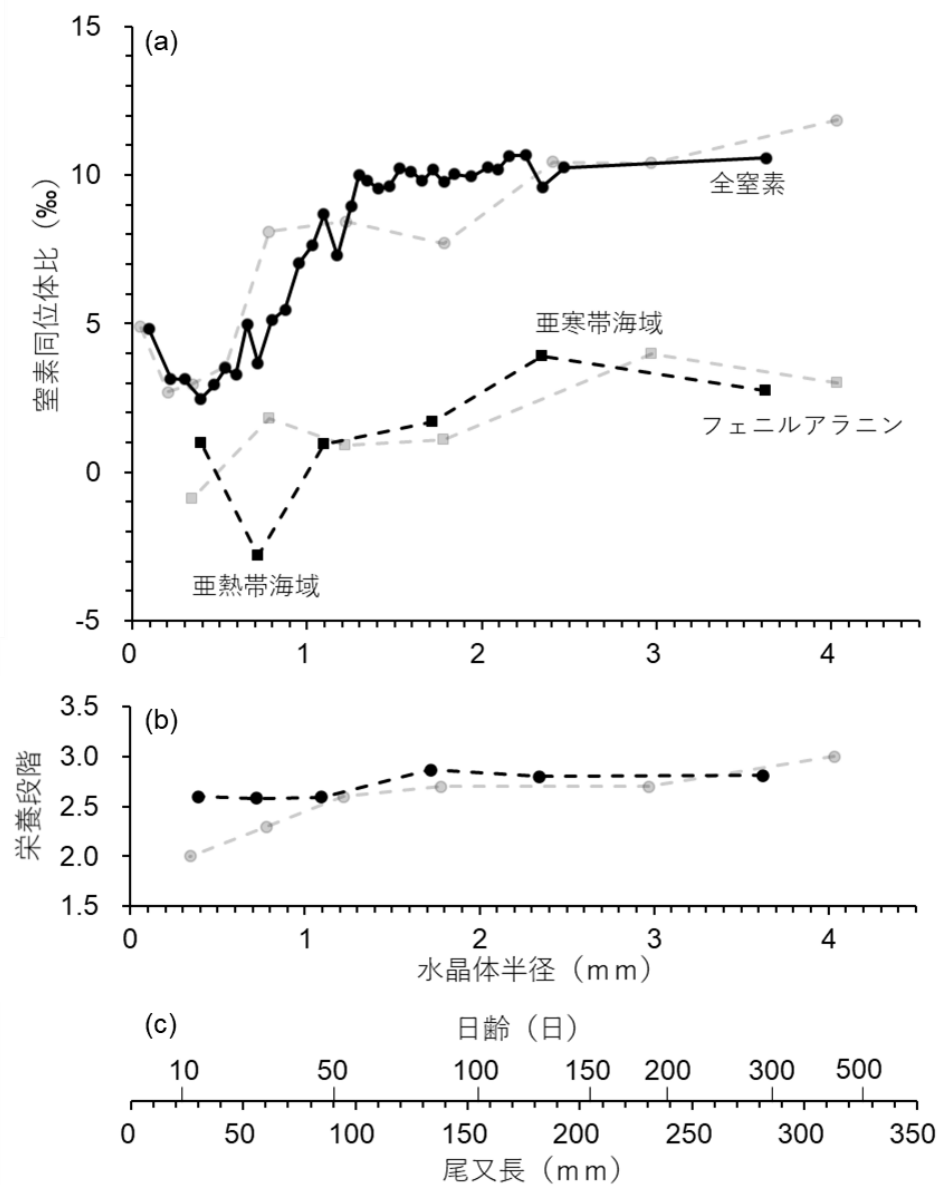


図2 マサバ2個体（黒、灰色で識別）の水晶体を成長層ごとに採取し時系列窒素同位体比分析を行った結果。(a) 全窒素同位体比、またはアミノの窒素同位体比。魚の体内で合成する事が最も難しいアミノ酸の一つであるフェニルアラニンの窒素同位体比は食べた餌の情報を示す。(b) アミノ酸の窒素同位体比から推定した栄養段階。(c) 水晶体の半径と体長と日齢の関係式から採取した層がどの成長段階であるかを推定できる。