

● 坂本 達也 特定助教

Tatsuya SAKAMOTO (Assistant Professor)

研究課題：地球温暖化とイワシ類の魚種交替：化石分析を通じた過去からの洞察

(Global warming and species alternation in small pelagic fish: insights from fossil analysis)

専門分野：海洋生態学 (Marine ecology)

受入先部局：人間・環境研究科 (Graduate School of Human and Environmental Studies)

前職の機関名：ポルトガル海洋大気研究所 (Instituto Português do Mar e da Atmosfera)



世界の中緯度海域に広く生息しているイワシ類は、プランクトンを捕集して成長し、大群を形成しつつも様々な生物に捕食されることで、海洋生態系のエネルギー循環の肝を担っています。しかしその個体数は、各海域で共通して、数十年規模で100倍を超える激しい変動を見せることが知られており、その原因はよくわかっていません。私はこの現象に世界の仕組みの一端の存在を感じ、その詳細なメカニズムを明らかにすべく、研究者になりました。

白眉プロジェクトでは、化石の化学分析によって、現在と地球環境が大きく異なった時代のイワシ類の生活様式を復元することで、地球環境の変化がイワシ類に与える影響を理解することを目指します。魚類は個体ごとの生き様を、体組織の中に化学組成という言葉で記録しています。世界各地からも標本を収集し、化学分析によって生態の履歴を読み取る技術を駆使することで、時空間を横断する比較からイワシ類の本質に迫ります。

Sardines and anchovies, which are widely distributed in the mid-latitude oceans, play an important role in the energy cycle of marine ecosystems as they forage for plankton and grow into large schools, but are preyed upon by a variety of organisms. The population of these fish fluctuates drastically by several orders of magnitude over several decades, which is a common phenomenon in all global habitats, although the cause of these fluctuations is far from clear. I sensed a beauty of natural world system in this phenomenon, and started my research to find out the exact mechanism.

In the Hakubi project, I am trying to understand the impact of global environmental change on sardines and anchovies by reconstructing their lives based on chemical analyses of fossils from a time when the environment was very different from today. Each individual fish records its way of life in the form of the chemical composition of its body tissues. By collecting specimens from around the world and making full use of techniques for reading ecological history, I will approach the essence of the fishes through comparisons across time and space.

気候変動とイワシ類の魚種交替

マイワシ (*Sardinops*, *Sardina* spp.) とカタクチイワシ (*Engraulis* spp.) というイワシ類は、世界の温帯域に広く分布し、海洋生態系のエネルギー転送において重要な役割を果たすとともに、莫大な生物量を持つ漁業資源となっています。このマイワシ・カタクチイワシの個体数は40年程度の周期で、交互に激しく増減する「魚種交替」現象が世界各地で共通して観察されており、海洋学・水産学分野で多くの関心を集めてきました。しかし、環境の異なる海域で共通して起こるこの現象を包括的に説明できるメカニズムはまだ提唱されていません。例えば20世紀の日本近海では、比較的温暖期にカタクチイワシが、寒冷期にマイワシが増加

したことから、水温変動やそれに伴う餌料環境の変化が両種の成長や生残に与える影響が重要視されてきました。しかし、最近年は高水温年代が続いているにも関わらずマイワシが顕著に増加しており、メカニズム理解への道はさらに困難になりつつあります。

また、魚種交替現象は、物質循環の観点からも重要です。巨大な生物量を持つイワシ類の移動は、莫大なエネルギーや栄養の運搬作用でもあり、泳ぐのが得意で長距離移動が可能なマイワシと、広い環境耐性を持ち激しい環境勾配上を移動できるカタクチイワシでは、回遊の範囲やパターンが恐らく異なります。そのため、優占種の交替は海域間の物質循環や各海域の生態系構造も改変してしまう可能性があります。脆弱で標識

等を装着できないイワシ類の回遊の実態に関する知見は極めて少なく、生涯の移動経路も断片的な調査や漁獲状況から推測されているに過ぎません。

さて、今後地球温暖化の進行に伴ってより極端に環境が変化したとき、海洋生態系の基盤となるイワシ類の個体数や分布・回遊はどう変化するのでしょうか？

魚のことを魚に聞く

人間は陸に住み、海は広く、魚自体は小さくしかし大きく移動するため、海の魚の生涯にわたる生態を野外調査によって調べ上げることには現実的な困難が伴います。そこで私が着目してきたのは、魚の体に化学組成として残された個体の生活の歴史を復元するというアプローチです。例えば、魚には内耳の中で代謝されずに成長する「耳石」という硬組織があります。耳石には年齢が輪紋として刻まれるとともに、その化学組成（安定同位体比）は周囲の物理環境、魚の生理状態等を反映・保存することが知られています。従来、分析解像度の限界からイワシ類のような小型魚では耳石から生態情報を取り出すことは困難でした。しかし、私たちの取り組んできた様々な技術開発により、成長速度・代謝速度・経験した水温などの生活の特性の履歴を、数日～1か月程度の高い分解能で復元することが可能になりました。この技術の応用で、捕まえた生後半年の稚魚の回遊履歴（Sakamoto et al., 2019）、また大洋の西側と東側に生息するイワシでは生活環境が大きく異なり（Sakamoto et al., 2020）、水温変化に対する成長速度の応答も反転すること（Sakamoto et al., 2022）など、履歴という独自の視点から新しい生態情報が得られるようになりました。

化石をたずねて未来を知る？

そこで白眉プロジェクトでは、遙か昔、現在より地球が温暖だった時代の魚類の成長・回遊等の生活様式を復元し、現代との違いを明らかにすることで、地球環境の変動、特に地球温暖化がイワシ類に与える影響を理解することを目指します。最近年、特に平均気温が現在より数度高かったとされる約12万年前と数十万年前の間氷期の地層から、イワシ類を含む多様な魚種の耳石の化石を発見されました。現在の関東平野は当

時の海水準上昇によって海底に沈んでいたのですが、そのときに積もったイワシの耳石が今は陸上にあるのです（図1）。この貴重な化石標本と、世界中から収集した現代の標本も併せてその生態の履歴を復元することで、海洋環境が大きく異なる中でイワシ類は暮らしぶりをどう変えてきたのか、見てみたいと思います。

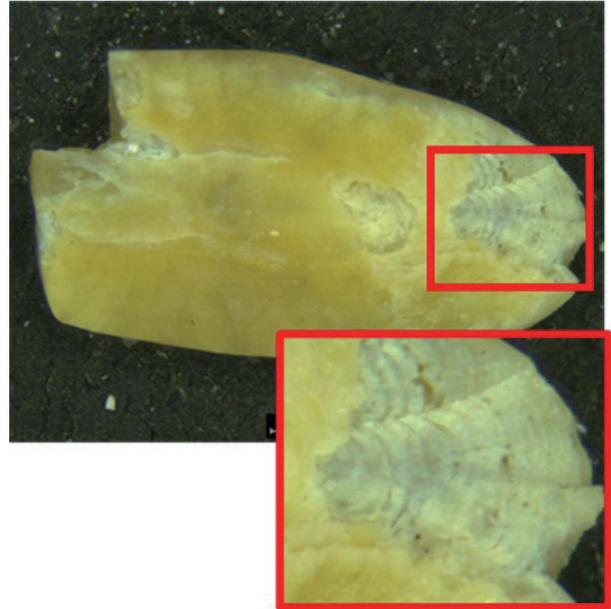


図1：40万年前のカタクチイワシの耳石の化石。
輪紋（日周輪）が保存されている。

参考文献

- Sakamoto, T. *et al.* Combining microvolume isotope analysis and numerical simulation to reproduce fish migration history. *Methods Ecol Evol* **10**, 59-69 (2019).
- Sakamoto, T. *et al.* Otolith $\delta^{18}\text{O}$ and microstructure analyses provide further evidence of population structure in sardine *Sardinops sagax* around South Africa. *ICES J. Mar. Sci.* **77**, 2669-2680 (2020).
- Sakamoto, T. *et al.* Contrasting life-history responses to climate variability in eastern and western North Pacific sardine populations. *Nature Communications* **13**, 5298 (2022).