

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04376

研究課題名（和文）ウロコの同位体比を利用した、魚類の生活史推定手法の開発とその応用

研究課題名（英文）Development and application of a life history estimation method for fishes using isotopic ratios of scales

研究代表者

太田 民久（Ohta, Tamihisa）

富山大学・学術研究部理学系・助教

研究者番号：60747591

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：生物の移動を把握することは、対象種を保全し資源の持続性を高める上で基礎データとなる。ストロンチウム同位体比は水域間で値が変化することが多く、水域の値が生物体組織に直接反映されるため、対象魚が生息していた水域を推定することができる。本研究は年輪状に成長し、対象魚を殺さずとも採集できるウロコのストロンチウム同位体比が魚の行動履歴推定に有用であるかを評価した。その結果、ボラのようにウロコの硬い魚類はウロコの同位体比から生活史を推定できる可能性が示唆された。また、魚の生活史を推定するうえで非常に有用であるにも関わらず、これまで日本国で作成されてこなかった河川のストロンチウム同位体地図の作成を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

魚のウロコの同位体比から、対象魚の移動履歴を推定することが可能であることを示唆した今回の結果は、多くの魚種に応用が難しいといった課題もあったが一定の意義はあった。また、生物の移動やハビタット選択は、摂餌や繁殖および成長といった重要なイベントと深く関わっている。つまり、そのような生物の生活史（移動やハビタットの利用状況）を把握することは、対象種の効果的な保全対策を提案する上で必須である。ストロンチウム同位体比データを用いて淡水魚や両側回遊魚の生活史の推定する試みが国内外で広く実施されており、河川水の大規模なストロンチウム同位体比マップの作成は貴重な基礎データとなる。

研究成果の概要（英文）：Understanding the movement of organisms is fundamental data for conserving target species and enhancing the sustainability of resources. Strontium isotope ratios often vary between water bodies, and the values of the water bodies are directly reflected in the biological tissues, allowing the estimation of the water area where the target fish inhabited. This study evaluated the usefulness of strontium isotope ratios in scales, which grow in an annular pattern and can be collected without killing the target fish, for estimating the behavioral history of fish. The results suggest that for fish with hard scales, such as mullet, it may be possible to estimate their life history from the isotope ratios of their scales. Furthermore, despite being useful for estimating the life history of fish, strontium isotope maps of rivers have not been created in Japan. This study also carried out the construction of isoscape of strontium isotope ratio.

研究分野：河川生態学

キーワード：ストロンチウム同位体比 Isoscape 状態空間モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生物の移動は、摂餌や成長、および繁殖に影響するため、生物の個体数維持や変動に深く関わっている。つまり、魚類の移動履歴を把握することは、対象種の効果的な保全対策を提案する上で必須である。近年、多くの水産有用魚種の資源量減少が叫ばれ、漁獲規制が進められている。加えて、河川生態系に生息する淡水魚の多くは絶滅が危惧され、2013 年度に環境省が発表したレッドリスト(絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト)には、167 種もの汽水・淡水魚類が絶滅危惧種として記載されている。こうした魚の移動履歴を把握する効果的な手法の開発およびその応用は、学術的にも社会的にも強く求められている。

既存の手法である、魚にタグやロガーを装着させるバイオロギング法は、再捕率が低いことや、ロガーが高価であるなど問題点が指摘されている。そのような問題点を解決するため、近年、同位体比を用いて、淡水魚や両側回遊魚の移動履歴の推定を試みた研究が発表されつつある

淡水域のストロンチウム同位体比は水域毎に値が異なることが多く、生物体のストロンチウム同位体比は水塊の値が直接反映されることが知られている。その特性を用いて、年輪状に発達する魚の耳石のストロンチウム同位体比を成長層毎に分析し、移動履歴をトレースする研究が行われている(Brennan et al. 2019)。しかし、耳石を取り出すには対象魚を殺す必要があり、希少種も多い河川性魚類の移動様式を調べるには適当な手法とは言いにくい。また、耳石を研磨・掘削するには非常に繊細な作業が求められるうえに、高価な装置が必要となってくる。つまり、多個体を分析する場合、非常に労力と時間が必要となる。

2. 研究の目的

魚のウロコは、耳石と同様に年輪状に発達するため、過去の生息域の情報を記録していると考えられる。しかも、ウロコの採取は非常に容易であるとともに、対象魚を殺す必要がない。しかし、ウロコのストロンチウム同位体比を用いて移動履歴を推定する手法の妥当性はこれまで検討されてこなかった。そこで、耳石のストロンチウム同位体比の変化パターンとウロコの変化パターンを比較し、本手法の妥当性を検証することを目的とした。

また、同時に研究フィールドである長良川や琵琶湖流域の大規模なストロンチウム同位体比マップを作成することも本研究の目的である。

3. 研究の方法

(ウロコの同位体比の変化パターン)分析試料として同位体比が異なる水域を遊泳している可能性が高いボラおよびスズキを採集し、ウロコおよび耳石をサンプリングした。そして、ウロコの成長線の入り方を観察するために、チオグリコール酢酸でウロコを脱灰後、垂直方向に薄切し、HE 染色をすることで断面を観察した。耳石は東京大学理学部に導入されているレーザーアブレーション MC-ICP-MS を用いてストロンチウム同位体比を成長層ごとに分析した。一方、ウロコは、液体窒素およびドライアイスで凍結後、上層の組織を成長層ごとにマイクロドリルで削り取った。削り取った組織は、超高純度硝酸により酸分解した後、カラム処理により Sr を単離させ、表面電離型質量分析計(TIMS)によりストロンチウム同位体比を成長層ごとに分析した。

(長良川、琵琶湖) 長良川において降海型サツキマスの遡上・産卵 報告のある支流河川を中心に 108 地点で河川水を採集した。また、琵琶湖に流入する河川においても、167ヶ所で採水を行い、同位体分析を実施した。河川水のストロンチウム同位体比は、主に集水域の母岩組成によって変化するため、サンプリング地点は 20 万分の 1 日本シームレス 地質図 V2(産総研地質調査総合センター)を参考にして選定を行った。採水した河川水はカラム処理を行い、ストロンチウムを単離したのち、マルチコレクタ-ICP-MS を用いてストロンチウム同位体比を分析した。その後、Brennan et al.(2016)を参考に ArcGIS の STARS ツールボックス(Spatial Tools for the Analysis; Peterson & Ver Hoef 2014)および R の SSN パッケージ(Ver Hoef et al. 2014)を用いて長良川流域のストロンチウム同位体比のアイソスケープの作成を行った。

また、下記の通り今回対象種として選択したサツキマスはウロコが薄く、ウロコのストロンチウム同位体比から生活史を推定することは難しかったため、耳石の中心核から縁にかけてのストロンチウム同位体比も同時に測定した。

4. 研究成果

(魚のウロコ)魚のウロコは垂直に成長線が入るわけではなく、中心に向かって斜めに成長していることがわかった。つまり、ウロコから他の成長層がコンタミすることなくサンプリングするためには、上層の一部を分けてサンプリングする必要がある。

ウロコのストロンチウム同位体比の変化は、耳石と非常に似ており、ウロコが耳石と同様に過去の履歴を保存していることがわかった。つまり、ウロコのストロンチウム同位体比は魚の移動履歴を推定できる有用なツールとなる可能性がある。しかし、ウロコを直接削る作業を要する本分析は、ボラやスズキといった比較的ウロコが大きく硬い魚類でないとなし難い。サケ科魚類のようにウロコが薄い魚には適応が難しいという課題が残った。

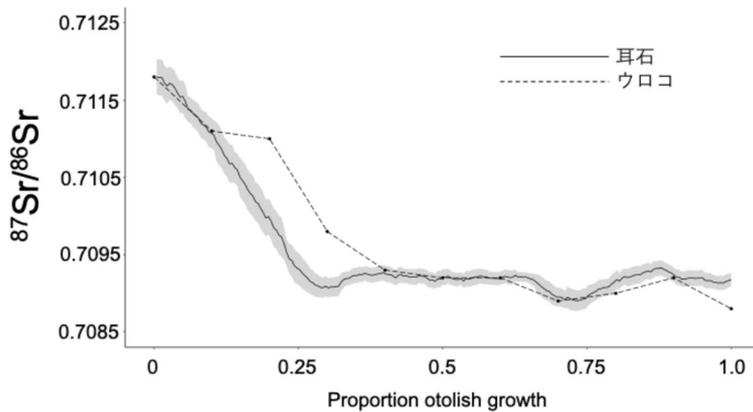


図 1. ボラのウロコと耳石の中心核から縁にかけてのストロンチウム同位体比の変化

また、今回調査地とした長良川や琵琶湖流入河川のストロンチウム同位体比のアイソスケープも作成した。その結果、支川間で値が大きく変化し、内水面漁業が盛んな同流域内で、魚の移動履歴を推定する際に非常に有用なデータとなることが期待される。

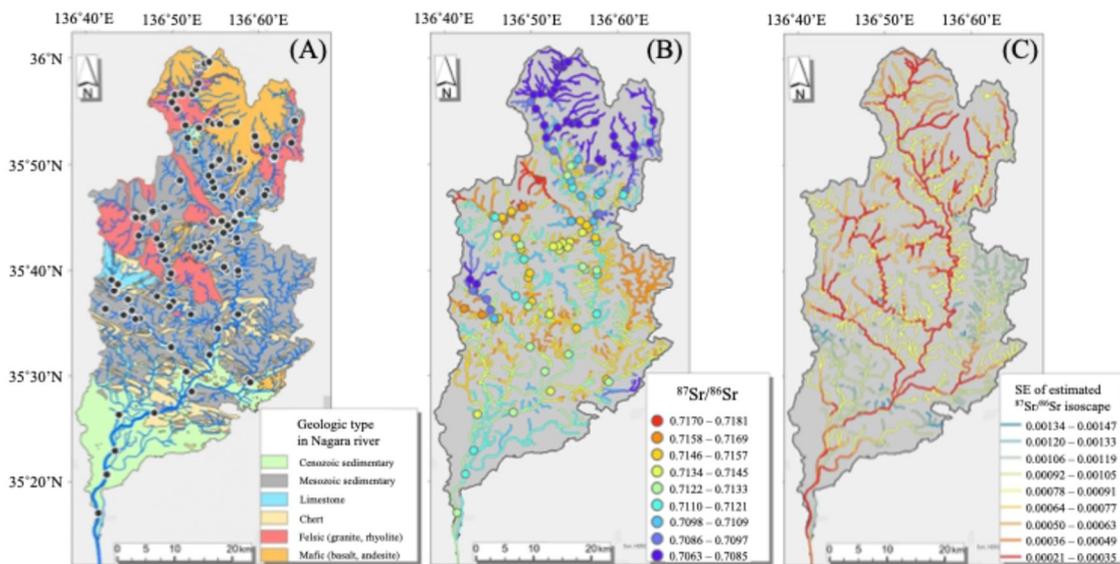


図 2. 長良川のストロンチウム同位体比マップ(B)とその推定制度(C)

また、耳石のストロンチウム同位体比と上記のアイソスケープの結果から長良川サツキマス¹の出生場所や移動履歴の推定も実施した。その結果、上流部の複数の支川がサツキマスを生産していることが分かった。また長良川における遡上サツキマスの主要な出生支川は、年によって変動するという推定結果が得られた。サツキマスの生活史を通じた移動に関しては、降海時期や降海様式(例 Noda et al. 2021)、遡上動態(徳原ら 2016)などがこれまでに研究されてきた。しかし出生から降海までを網羅的に調べた研究は存在しない。したがって、本研究はサツキマスの生活史を網羅的かつ時空間的に大規模なスケールで初めて明らかにした研究であると言える。また個体群が有する生息地の多様性と、個体の体サイズの多様性との関係を示した貴重な研究事例でもある。

< 引用文献 >

Brennan SR, Schidler DE, Cline TJ, Walsworth TE, Buck G, Fernandez DP (2019) Shifting habitat mosaics and production across river basins. *Science* 364: 783-786.

Brennan SR, Torgersen CE, Hollenbeck JP, Fernandez DP, Jensen CK, Shindler DE (2016) Dendritic network models: Improving isoscapes and quantifying influence of landscape and in-stream processes on strontium isotopes in rivers. *Geophys Res Lett* 43(10): 5043-5051

Noda S, Ueda R, Tanaka T, Shirai K, Kishi D, Sato T (2021) Anadromous red-spotted masu salmon (*Oncorhynchus masou ishikawae*), a southernmost sea-migration form of salmonid, displays low variation in both age at seaward migration and sea age. *J Fish Bio* 99:

1497- 1502

Peterson EE, Ver Hoef JM (2014), STARS: An ArcGIS toolset used to calculate the spatial information needed to fit spatial statistical models to stream network data. J Stat Software 56(2): 1-17

徳原哲也・桑田知宣・藤井亮吏・原 徹・苅谷哲治・岸 大弼 (2016) 長良川におけるサ ツキマスの遡上動態. 魚類学雑誌. 63: 5-10.

Ver Hoef JM, EE Peterson, D Clifford, R Shah (2014) SSN: An R package for spatial statistical modeling on stream networks. J Stat Software 56(3): 1-45

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 井田慎一郎, 太田民久, 佐藤拓哉, 飯塚毅, 上田るい, 岸大弼
2. 発表標題 ストロンチウム同位体比を用いたサツキマスの出生河川および移動履歴の評価
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tamihisa Ohta, Shinichiro Ida, Takuya Sato, Yutaka Osada, Tsuyoshi Iizuka
2. 発表標題 An estimation of the inter-habitat network structure and life history diversity of salmonids through the utilization of geochemistry analysis
3. 学会等名 Freshwater Science2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 拓哉 (Sato Takuya) (30456743)	京都大学・生態学研究センター・准教授 (14301)	
研究分担者	飯塚 毅 (Iizuka Tsuyoshi) (70614569)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	末吉 正尚 (Sueyoshi Masanao) (70792927)	国立研究開発法人国立環境研究所・生物多様性領域・研究員 (82101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関