

魚の骨の鉛同位体から魚の生息海域を特定できるか？

西村 日向子
(富山大学)

1, 気候変動と魚の分布域の変動

豊かな海に囲まれている日本は昔から四季を通して様々な水産物が採れます。例えば、^{サワラ}鱈は瀬戸内海に春に産卵のために来遊することから「春告げ魚」といわれ親しまれてきました。カツオは江戸時代の俳人山口素堂が「目には青葉 山ほととぎす 初鰹」とも詠ったように、初夏の訪れを告げるものとして、江戸から重宝されていました。秋の味覚の代表格秋刀魚は「秋に採れる刀の様な魚」として、^{ブリ}鰯は冬に脂のりがよく美味しいことから「師走の魚」として私達日本人に非常に馴染み深い魚です。紹介したこれらの四季の旬の魚は、分布適水温に従い季節的に回遊する「回遊性魚類」であり、日本の沖合域における主要な水産資源となっています。

しかし近年の海水温の上昇などによる海洋環境の変動で、分布域の移動などが起こり、魚が採れる場所が変化し、水産業へ影響を及ぼしています。例えば、ブリは北海道での来遊量が増え、既存の産地では漁獲量が減ってきています。また、サワラについても、東シナ海に主に分布していましたが1999年以降の海水温の上昇傾向に伴って日本海に北上し、日本海での漁獲量が増えました。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書では、このまま海水温の上昇が続いていけば何十年か先には世界中の漁場で水産物の漁獲量が減っていくと警鐘をならしています。

こうした海洋環境変動に対して、持続的に水産資源を利用していくためには、水産物の資源量や生育場・回遊場などの把握が重要になっており、これらの研究が様々な研究機関で精力的に行われています。

2, 生育場や回遊場所を把握する方法

魚の生育場所や回遊場所の解析手法の始まりは標識放流だとされています。これは個体に標識票を取り付けるなどして魚に目印を付け、再び捕獲した際に放流地点の情報と紐づけをし、回遊経路を推定する方法です。科学技術の発達に伴い、データロガーなどの魚の移動経路や経験水温・水深などの情報を時系列に得られる計測機器を魚に取り付けるバイオリギング手法が行われるようになってきました。ただ、これらの計測機器は価格が高く、またロガーの回収率が低いなどの難点があり、ある程度回収率の見込める場合にしか適用できないなどの問題があります。一方で、ロガーの回収を必要としない方法としては、魚の耳石を用いた解析方法が知られています。耳石は魚の内耳部分にある硬組織で、一定間隔で輪紋状に形成される組織です。耳石は、筋肉組織などと違って、代謝回転速度が極めて遅く、取り込んだ元素が一生にわたって保存されるため、その個体が被った環境履歴を時系列的に解析するのに有用です。例えば、耳石のSr/Ca比（カルシウムに対するストロンチウムの濃度比）や酸素同位体比を用いることで、稚魚期から捕獲時に至るまでの移動履歴の復元が行えます。また近年では、海洋の水塊トレーサーとして知られるネオジムの同位体を用いた回遊履歴の推定なども行われています。

本研究では、代謝速度が遅く、2価の重金属元素（鉛や亜鉛など）が比較的高濃度に含まれている脊椎骨部位に着目し、今まであまり分析に用いてこられなかった鉛同位体比の分析を行いました。鉛同位体比が生育場推定の指標になるかを検討するために、まずは様々な産地で水揚げされた

魚を集め、魚の脊椎骨を分析し、全生育期間（稚魚期から捕獲時まで）にあたる同位体比情報を明らかにしました。次に、産地ごとに魚の鉛同位体比を比較し、生育場の推定に利用できる化学指標であるかを検討しました。

3、三大洋の海水中的鉛はそれぞれ異なる値を持つ

環境試料に含まれる鉛（Pb）には質量数の異なる4つの安定同位体（ ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb ）があります。 ^{204}Pb は、安定同位体で、時間の経過とともに濃度が変化しませんが、それ以外の同位体（ ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb ）は ^{238}U （ウラン）、 ^{235}U 、 ^{232}Th （トリウム）が放射壊変を経て生成する同位体です。

石油・石炭、Pb 鉱石中のウランやトリウムの含有量は産地ごとに異なるため、それらの鉛同位体比も産地ごとに固有の値を取ります。現在、各国で使用している化石燃料や鉱石は、その使用の過程で Pb を大気に放出します。放出された Pb は近傍の海洋に供給され、海水の鉛同位体比を変化させます。インド洋・太平洋・大西洋の三大洋の海洋表層水の鉛同位体比を見ると、それぞれ異なる同位体比を持つことがわかっています（図1）。

太平洋と大西洋で見られるような海水の鉛同位体比の違いが、魚類の骨格部にも反映される場合、鉛同位体比を魚の生育場の推定に利用できるのではないかと考えました。

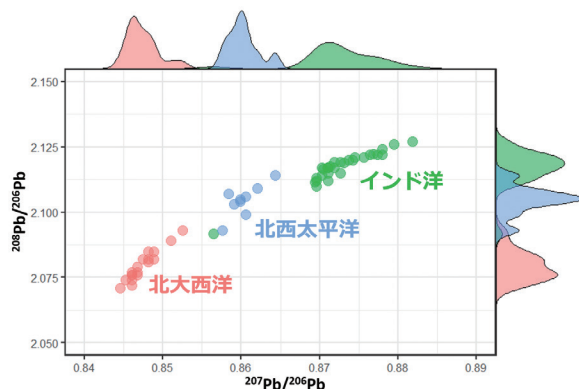


図1. インド洋・北西太平洋・北大西洋における海洋表層の鉛同位体比 (P. Pinedo-González et al., 2018; Zurbick et al., 2017)

4、魚の骨の鉛同位体比からわかったこと

日本海（富山）・東シナ海（長崎）・太平洋（宮城、静岡）・大西洋（フランス、ノルウェー）で水揚げされたサバ・アジから脊椎骨部位を取り出し、鉛同位体比の分析を行いました。すると、日本の近海に分布するサバ・アジ（太平洋系群、対馬暖流系群）と大西洋に分布するサバ・アジとでは、鉛同位体比が異なることがわかりました（図2）。

また、それぞれの海域で生育していたアジ・サバは、生育した海域の海水の鉛同位体比と類似した同位体比を持つこともわかりました。

また、北海道厚田川に遡上したシロサケの脊椎骨の鉛同位体比分析を行い、先行研究（Li et al., 2020）で報告されているカナダのブリティッシュコロンビアに遡上したサケの個体（筋肉組織）の鉛同位体比と比較したところ、両者は異なる値を持つことがわかりました（図3）。

シロサケは、系群ごとで回遊生態が異なっており、日本系のサケ（北海道遡上個体）はオホーツク海やベーリング海やアラスカ湾などの北太平洋沿岸全域を広く回遊するのに対し、北米系（カナダブリティッシュコロンビア州遡上個体）はアラスカ湾を中心に回遊します。

アラスカ湾の海水は、北米で工業的に用いられているオーストラリア型の鉱床の鉛同位体比（ $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ）と同じく、高い値を持つ傾向にあると報告されています。そのため、日

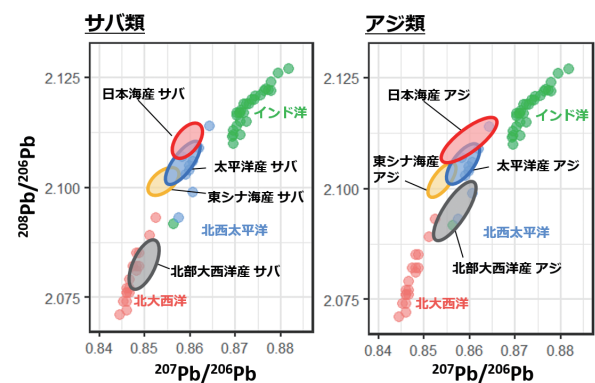


図2. 日本の近海（太平洋系群、東シナ系群・対馬暖流系群）と大西洋に分布するサバ・アジの鉛同位体比

本系と北米系を比較すると、日本系よりも長期間アラスカ湾を回遊する北米系のシロサケはより図の右上に位置するような同位体比をとったのだと考えられます。

続いて、本研究の日本産のサバと、先行研究で報告されているニシンの鉛同位体比の値を比較し、太平洋の西側、東側とでどう異なるかを調べ

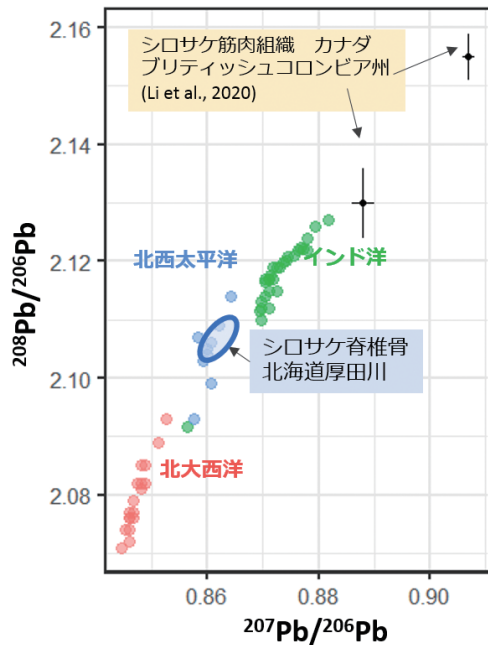


図 3. 北海道に遡上したシロサケと、カナダブリティッシュコロンビア州に遡上したシロサケ (Li et al., 2020) の鉛同位体比

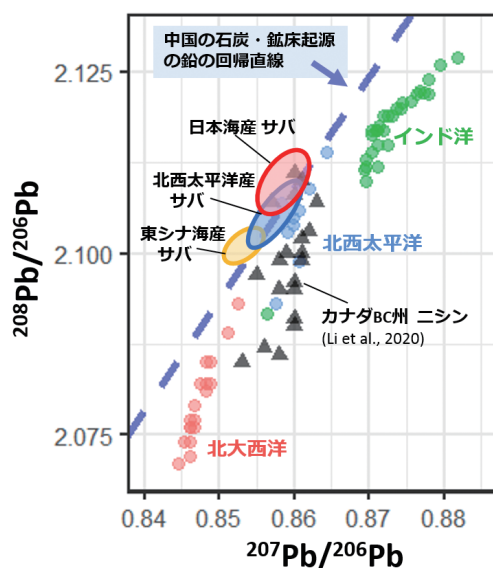


図 4. 日本近海に生息するサバ（本研究）と、カナダブリティッシュコロンビア州沿岸域に生息するニシン (Li et al., 2020) の鉛同位体比

ました（図 4）。カナダ沿岸域で採取されたニシンに比べ、日本近海のサバは $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比がより高い値を示しており、中国の石炭・鉱床起源の鉛の回帰直線に近づく傾向がありました。

中国やアジアで発生するエアロゾルは $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ が高くなる傾向にあります。北太平洋の表層海水は、アジアからの大気の影響による Pb 汚染の影響が全域的にあります。距離的に近い太平洋西側（日本近海）と、遠い太平洋東側（カナダ沿岸域）とでは、アジア大陸由来のダストの沈積量が違うために、太平洋西側に生息する魚種の方がより高い $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ を持つような値を持ったと考えられます。

5. 今後どんなことに応用できそうか？

これまで行ってきた研究から、①太平洋と大西洋に生息する魚、②太平洋の西側と東側に生息する魚とで脊椎骨の鉛同位体比が有意に異なることが分かり、両者の間で生育場の推定や産地判別ができる可能性があることが分かりました。

産地判別の用途で鉛同位体を用いるにはコストがかかり実用化は難しいため、今後の展開としては市場価値が高く、国際的に資源管理の求められている魚種（特にマグロなど）の生育場推定や回遊履歴の復元等に応用したいと考えています。具体的には、成魚の大型のマグロの椎体を成長縞毎にサンプリングし、Pb 同位体比の変化を分析することで、回遊・移動履歴の成長段階に応じた解析ができると考えています。また成魚だけでなく、データロガー（記録型標識）の取り付けが難しい 0 歳魚（尾差長 20 cm 程度のマグロ）を対象とすることで、従来得ることが難しいとされている幼魚期の回遊生態情報の収集が可能になると考えています。

文献

Li M., Weis D., Smith E. K., Shiel E. A., Smith D. W., Hunt P.V. B., Torchinsky A., Pakhomov A. E. (2020) Assessing lead sources in fishes

of the northeast Pacific Ocean, Anthropocene, 29:

<https://doi.org/10.1016/j.ancene.2019.100234>

Pinedo-González P., West J. A., Tovar-Sanchez A., Duarte M. C., Sañudo-Wilhelmy A. S. (2018) Concentration and isotopic composition of dissolved Pb in surface waters of the modern global ocean, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 235: 41-54

Zurbrick M. C., Gallon, C. and Flegal R. A. (2017) Historic and Industrial Lead within the

Northwest Pacific Ocean Evidenced by Lead Isotopes in Seawater, *Environmental Science & Technology*, 51: 1203-1212

著者情報



西村日向子（富山大学理工学教育部生物圏環境科学専攻修士2年）
環境化学計測第Ⅱ講座 堀川研究室所属。

（2021 年 3 月 31 日掲載）