

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：32641

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20495

研究課題名（和文）多元素同位体アイソスケープを利用した、海洋における魚類の回遊経路推定手法の開発

研究課題名（英文）Isotope tracking of migration in marine fish

研究代表者

松林 順（Matsubayashi, Jun）

中央大学・理工学部・助教

研究者番号：30756052

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、窒素安定同位体比および放射性炭素同位体比の空間分布（アイソスケープ）を用いた魚類の回遊経路追跡手法の開発を行った。窒素安定同位体比を用いた研究では、北太平洋の広域を対象としたアイソスケープを作成し、これを用いて北日本の複数河川で採捕されたサケの回遊経路推定を実施した。解析の結果、これまで知られていたサケの回遊経路を再現したのみならず、過去の調査では認識されていなかった新たな回遊域の存在を示唆する結果が得られた。放射性炭素同位体比については、アーカイブデータを集積して太平洋・大西洋・インド洋を網羅するアイソスケープの作成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した回遊経路推定手法は、電子タグなどを用いずに魚類の回遊経路推定を可能とする。これは水産物の資源状況の把握やトレーサビリティを改善するうえで極めて有用な手法であり、今後より簡便に分析を実施する環境を整えることで、水産資源に関する研究を大きく発展させることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study developed new methods to infer the ocean migration of highly migratory marine fish using spatial distributions of isotope ratios (isoscaples) of stable nitrogen and radiocarbon. We generated an isoscape of nitrogen stable isotope ratios in the northern north Pacific, and estimated migration histories of spawning chum salmon caught in several rivers in northern Japan. The isotope tracking successfully reproduced known migration pattern of chum salmon. Furthermore, our analysis suggested that the chum salmon migrate into the continental shelf of eastern Bering Sea just before they come back to Japanese coast, which was not recognized as an important habitat of this species in previous researches. We also generated isoscape of radiocarbon using existing data in global ocean, which can be a useful tool to estimate latitudinal migration of marine animals.

研究分野：同位体生態学

キーワード：アイソスケープ 回遊推定 炭素安定同位体比 放射性炭素同位体比 窒素安定同位体比

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

魚類の回遊経路は、その資源状況を把握するうえで極めて重要なパラメーターである。ほとんどの動物種において、回遊経路の研究は電子タグを用いた研究に支えられている。しかし、電子タグは海上において多数の個体に装着し、さらにそれらの個体が漁獲等により採捕されなければデータを回収できない。緯度経度を推定することができる電子タグは高価であるうえに回収率が低いため、海洋生物の回遊に関するデータは現在でも限られている。さらに、こうした電子タグは内蔵されたバッテリーによって稼働期間が制限されることから、追跡可能な機関が1年以内に制限される場合が多い。魚類の適切な資源評価を実施するうえでは、より低コストな手法で回遊生態を明らかにする手法を構築する必要があると言えるだろう。

2. 研究の目的

本研究では、上述した課題を克服する新しい手法として、多元素アイソスケープを用いた魚類の回遊経路推定手法の確立を目的とする。アイソスケープとは、環境中における各種元素の同位体比の空間分布を指し、地図における緯度経度のように、生物の生息場所の指標となる。本研究では、広域で高精度な回遊経路の予測を可能にするために、複数元素同位体比のアイソスケープを作成する。さらに、サケやカツオなど長距離回遊を行なう水産有用魚種を対象に同位体比の時系列情報を復元し、これをアイソスケープと比較して解析することで、魚類の長期の回遊経路を個体レベルで復元する技術を確立する。

3. 研究の方法

アイソスケープを動物の移動履歴推定に応用するうえで重要な点は、どの種でも一律に比較可能な同位体核種を用いることである。例えば、一般的な窒素安定同位体比 (^{15}N) や炭素安定同位体比 (^{13}C) は、生物の栄養段階の上昇に伴って濃縮する性質がある。さらに、この時の濃縮係数が種によって大きくばらつくため、異なる生物種間で同位体比を直接比較することができない。本研究では、この問題点を克服する同位体各種として、アミノ酸別 ^{15}N および放射性炭素同位体比 (^{14}C) を使用することで、海洋生物の回遊履歴復元に有効なアイソスケープの作成を目指す。従来までのタンパク質全体の分析と異なり、特定のアミノ酸に着目すると ^{15}N 値は栄養段階ごとに一定の割合で濃縮することが分かっている。したがって、アミノ酸の ^{15}N 値を比較することで栄養段階による ^{15}N の濃縮をキャンセルでき、場所による ^{15}N 値の違いのみを検出することができる。放射性炭素同位体比は過去に固定された炭素の年代推定によく用いられている元素だが、生物の代謝に起因する同位体比の濃縮を ^{13}C 値で補正することで、キャンセルできるという特徴がある。このため、 ^{14}C 値も生物の移動履歴推定に有効な元素だと考えられる。以上より、本研究では太平洋全域における窒素安定同位体比 (^{15}N) および放射性炭素同位体比 (^{14}C) のアイソスケープ、異なる海域を移動する回遊魚を対象とした、 ^{15}N および ^{14}C 値の時系列情報、回遊魚の移動履歴推定モデルの3つの情報から、魚類の回遊経路復元を行なう。

広域をカバーするアイソスケープの作成：北太平洋全域から動物プランクトンを採取し、アミノ酸別の ^{15}N を測定することで ^{15}N のアイソスケープを作成する。 ^{14}C 値については、World Ocean Circulation Experiment (WOCE) 等のデータベースで公開されている溶存無機炭素 (DIC) のアーカイブデータを集積し、衛星データとあわせて解析することで全大洋をカバーするアイソスケープを作成する。

魚類の時系列同位体分析：北太平洋を回遊するサケおよびカツオを対象として、複数個体の脊椎骨をサンプリングする。得られた脊椎骨を任意の数の切片に分割して、アミノ酸別 ^{15}N 値および ^{14}C 値を測定する。魚類では骨が形成された後は二次代謝による影響が小さいと考えられることから、脊椎骨切片の分析により異なる成長段階ごとの同位体比の履歴を復元できる。

回遊魚の移動履歴推定モデル：のアイソスケープと の同位体比データを比較することで、対象生物の回遊ルートを推定する。捕獲地点や脊椎骨の前後関係、魚類の移動能力などのデータを組み込んだうえで、各脊椎骨切片の同位体比を説明する回遊ルートを推定する状態空間モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 北太平洋における ^{15}N アイソスケープ

北太平洋の広範囲で採取された動物プランクトン試料を対象に、生息海域による同位体の違いを特異的に反映するアミノ酸 (フェニルアラニン) の窒素安定同位体比を測定し、それに基づいて北太平洋における窒素安定同位体比のアイソスケープを作成した。北太平洋では、ベーリング海東部の大陸棚で特に高い ^{15}N となることが明らかになった。海底堆積物中では、微生物の作用で脱窒が起こり、間隙水中の栄養塩に含まれる ^{15}N が上昇するが、当該大陸棚は浅海域であることからこの間隙水中の栄養塩が植物プランクトンに取り込まれることで、特徴的なアイソ

スケープを形成すると考えられる。

(2) 15Nを用いたサケの回遊経路復元
稚魚期から産卵までの期間にサケが経験した 15N の履歴を復元するため、北海道の貫気別川及び岩手県の大槌川で採取したサケ2個体を対象に脊椎骨切片のアミノ酸窒素同位体比分析を実施した(図2上)。

得られたサケの窒素同位体比の履歴とアイソスケープを組み合わせて、サケの回遊経路を個体ごとに推定する統計モデルを構築した。このモデルを使ってサケの回遊経路を推定した結果、日本近海から成長に伴ってベーリング海に移動する、既知の回遊経路を再現した(図2下)。さらに、サケが成長の最後の時期にベーリング海東部の大陸棚へ回遊するという新たな経路の存在が示された。この時期は、サケが性成熟する時期に相当するとみられ、サケは栄養塩に富み生物生産が非常に盛んなベーリング海大陸棚で甲殻類などの餌を食べて性成熟している可能性がある。

これまでの野外調査に基づく研究では、ベーリング海大陸棚は浅海域で調査が難しいことから、十分な調査が実施されていなかった。しかし、本研究の結果から、ベーリング海大陸棚がサケの海での回遊のゴールとして機能していることが示唆された(Matsubayashi et al. 2020)。

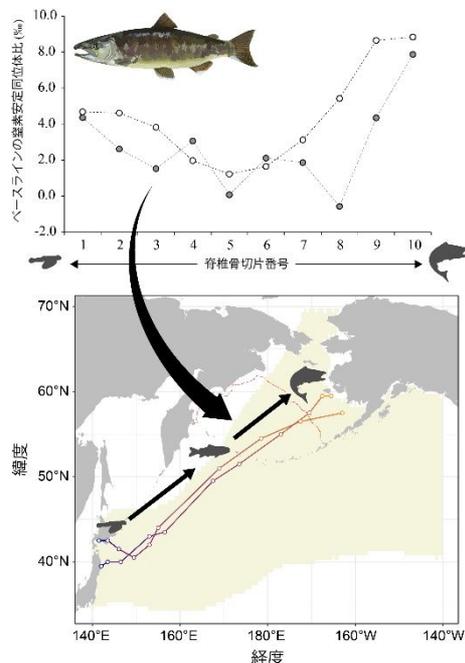


図1. サケの窒素安定同位体比の履歴(上図)と、そこから推定した回遊経路(下図)。

(3) 14Cのアイソスケープ

世界各地の海域で実施された水質調査(GLODAP, WOCEなど)のアーカイブデータや既存の論文等から、水深100m以内の溶存無機炭素(DIC)の

14Cデータを収集した。一方で、得られたデータは採取年代が1972年から2018年までと大きくばらついている。一方で、大気中の14Cは、20世紀半ばにかけて複数回実施された大気核実験によって大きく変動しており、海洋表層においてもこのボムカーボンが海面から徐々に吸収することで、現在においても同位体比の大きな時間的変動がある。そこで、機械学習を使ったモデルにより海洋表層の14Cの時間的変化を場所ごとにモデル化して2018年の値に統一し、全球をカバーするアイソスケープを作成した(図1)。

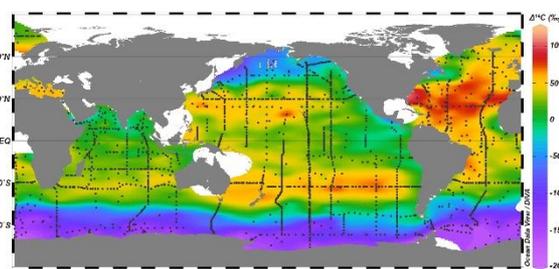


図2. 14Cのアイソスケープ

(4)サケおよびカツオの14Cの時系列変化

14C値が魚類の回遊経路推定に応用できるかどうかを確かめるため、異なる海域を回遊するサケおよびカツオの14Cの時系列分析を実施した。分析の結果、低い14Cを持つ親潮域を回遊するサケは低い14C、高い14Cを持つ黒潮域を回遊するカツオでは高い14C値を示すことが明らかになった(図3)。これらの結果から、魚類の14Cはその回遊域の情報を正しく反映しており、同位体比の時系列変化を復元することで、緯度方向の回遊履歴を復元することが可能であることが示された。

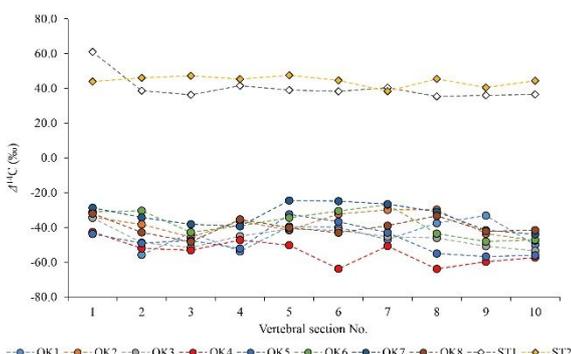


図3. サケ(OK1-OK8)およびカツオ(ST1-ST2)の放射性炭素同位体比の時系列変化

<引用文献>

Matsubayashi, J., Osada, Y., Tadokoro, K., Abe, Y., Yamaguchi, A., Shirai, K., Honda, K., Yoshikawa, C., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N., Ishikawa, N.F., Nagata, T., Miyamoto, H., Nishino, S. & Tayasu, I. (2020). Tracking long distance migration of marine fishes using compound specific stable isotope analysis of amino acids. Ecology Letters, 23(5), 881-890.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsubayashi Jun, Osada Yutaka, Tadokoro Kazuaki, Abe Yoshiyuki, Yamaguchi Atsushi, Shirai Kotaro, Honda Kentaro, Yoshikawa Chisato, Ogawa Nanako O., Ohkouchi Naohiko, Ishikawa Naoto F., Nagata Toshi, Miyamoto Hiroomi, Nishino Shigeto, Tayasu Ichiro	4. 巻 23
2. 論文標題 Tracking long distance migration of marine fishes using compound specific stable isotope analysis of amino acids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecology Letters	6. 最初と最後の頁 881 ~ 890
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/ele.13496	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松林 順
2. 発表標題 アインスケープを用いたサケおよびカツオの回遊履歴推定
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------