

食糧問題

—水産資源管理—

松 林 順

1 はじめに

世界規模で生じている様々な環境問題・社会問題を解決し、持続可能な社会を目指す国際的な枠組みであるSDGs (sustainable development goals) が、近年^{にわか}に注目を浴びている。SDGsでは17の大目標を掲げており、その一つとして14番目に挙げられているテーマが「海の豊かさを守ろう」である。これが意味することは、現時点において海洋資源の持続可能な利用が危ぶまれる状況にあるということである。実際に、FAO (The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 : Sustainability in action)¹⁾によると、2017年において世界の水産資源のうち約34%が過剰漁獲状態にあるとされており、この割合は1974年の10%から年々増加傾向にある。日本においても近年ウナギやサンマの不漁が毎年のように報じられていることからわかるように、水産資源に恵まれた日本にとって、これは極めて身近な問題である。SDGsでは、これを解決するために“科学的な情報に基づいて”生息地の保全や資源管理計画を実施することとしている。それでは、水産資源を守るために分析化学の手法を用いてどのような科学的知見が提供できるだろうか。

海洋生物の資源管理に直結する科学的知見として、回遊経路に関する情報が挙げられる。生物がどこで産まれて、どこを泳いで成長し、どこで性成熟して次の世代を産むのか。これらが生物の資源量を把握するうえで最も基本的な情報であることは自明である。特に、複数の国が漁獲にかかわるような広域を回遊する種においては、その回遊経路の全貌を把握しない限り、国際社会が協力して資源管理を実施することは不可能だろう。しかし、こと海洋になるとこうした回遊に関する情報を把握する難易度は極めて高くなる。これまで、海洋生物の回遊経路を調べる方法としては、海上で捕獲した多数の個体に電子タグなどの標識をつけて放流し、そのうちの一部の個体が漁業などで再捕獲された際に、その間の回遊データを得るというバイオロギングの手法が主流であった。

バイオロギングでは比較的正確な位置情報を細かい時間解像度で得られるというメリットがあるが、調査にかかる労力や電子標識のコストが大きいこと、採捕率は極めて低い場合が多くデータの回収効率が悪いこと、小型の魚種や稚魚には標識を装着できないことなどのデメリットがある。そこで、こうしたデメリットを克服する新たな回遊経路推定手法として近年注目されているのが、同位体分析という化学分析手法を用いた海洋生物の回遊経路推定手法である。

本稿では、世界的に重要な食糧となっているサケを題材として、同位体分析によりその回遊履歴を復元する手法について概説し、本手法を水産資源管理にどう活かすことができるかについて議論する。

2 同位体分析

2.1 同位体とは

同位体とは、同じ原子番号の原子のうち、中性子数が異なるものを示しており、その概念は今から1世紀ほど前にイギリスの化学者であるソディによって提唱された。同位体同士は質量数がわずかに異なっており、そのため化学反応や状態変化の進行速度に違いがある。同位体のうち、時間経過に伴う放射壊変が見られるものを放射性同位体、見られないものを安定同位体と呼ぶ。生物の体を構成する主な元素である水素 (H)、炭素 (C)、窒素 (N)、酸素 (O)、イオウ (S) にも複数の同位体が存在している。こうした元素の同位体の構成比率は同位体比と呼ばれており、生物の体を構成する軽元素の同位体比は、その栄養源や代謝過程によって大きく異なる場合がある。

2.2 同位体比の表記法

同位体比とは各同位体の存在比である。窒素を例にすると、窒素には質量数14と15の安定同位体（それぞれ ^{14}N 、 ^{15}N ）が存在し、 ^{14}N に対する ^{15}N の存在比 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) が窒素の安定同位体の存在比として用いられる。ただし、天然における重い同位体の存在量は軽い同位体に比べて極めて小さい場合が多いことから、同位体の単純な存在比で表すと桁が小さくなりすぎてその変動

が分かりにくい。このため、同位体比の変化が分かりやすいように、元素ごとに定められた国際的な標準物質（例えば、窒素では大気中窒素）の同位体比に対する測定試料の同位体比の千分偏差（ δ 値：デルタ値と読む）として表されることが多い。窒素を例にすると、その安定同位体の存在比である $\delta^{15}\text{N}$ は以下の式によって算出される。

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{sample}} (\text{‰}) = \left(\frac{{}^{15}\text{N}_{\text{sample}}/{}^{14}\text{N}_{\text{sample}}}{{}^{15}\text{N}_{\text{STD}}/{}^{14}\text{N}_{\text{STD}}} - 1 \right) \times 1000$$

${}^{15}\text{N}_{\text{sample}}/{}^{14}\text{N}_{\text{sample}}$ はサンプルの窒素安定同位体比、 ${}^{15}\text{N}_{\text{STD}}/{}^{14}\text{N}_{\text{STD}}$ は標準物質の窒素安定同位体比を意味している。

2.3 同位体比で何が分かるのか

生態学において、同位体分析は生物の栄養源を推定する目的で使われることが多かった。生物の体を構成するタンパク質全体に含まれる炭素や窒素などの安定同位体比（バルクの同位体比と呼ばれる）は、生物の食う一食われるの関係によって一定程度の割合で上昇することが知られている。この被食者-捕食者間での同位体比の上昇度合いは、trophic enrichment factor (TDF) と呼ばれている。つまり、捕食者の体組織中の同位体比は、被食者の同位体比+TDF で決まる。餌資源とその捕食者間の同位体比の TDF は、 $\delta^{13}\text{C}$ で約 0.8 ‰、 $\delta^{15}\text{N}$ で約 3.4 ‰程度となる場合が多いが、分析対象となる生物種または組織によって異なる。このため、給餌試験などで対象種・組織ごとに正確な TDF を求めることで、生物のバルクの同位体比からその生物が食べた餌の情報を得ることができる。

一方で、海水や降水などの環境水中に含まれる無機物や栄養塩の同位体比は、空間的にもしばしば大きく変動する。こうした同位体比の空間変化を正しく理解し、その分布地図を描くことができれば、ある生物が過去にどこを利用していたかを復元することが可能になる。このような同位体比の空間的な分布地図はアイソスケープと呼ばれており、その参照値となる栄養塩や一次生産者の同位体比はベースラインと呼ばれる。近年、陸域では水温や標高の指標となる酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) のアイソスケープを用いて、鳥や昆虫がどこから来たかを予測する研究が行われている。しかし、海洋においては $\delta^{18}\text{O}$ が緯度・経度方向のみではなく深度方向でも大きく値が変動することや、生息に適した水温幅が狭い魚種が多いため、海洋生物にこの手法が適用された事例は限られている。

3 海洋におけるアイソスケープ作成

3.1 アミノ酸の同位体比分析について

$\delta^{18}\text{O}$ 以外で海洋アイソスケープに適した元素として窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) が挙げられる。海洋表層に

おける一次生産者は植物プランクトンであり、硝酸やアンモニアなどの栄養塩を利用している。こうした分子の窒素安定同位体比は、海洋環境によって大きく変動するため、適切なアイソスケープを作成することができれば、生物の回遊履歴復元に応用できるだろう。ただし、硝酸などの栄養塩や植物プランクトンの同位体比は短時間で大きく変動するため、これを広範囲においてモニタリングすることは現実的ではない。一方で、植物プランクトンを捕食する動物プランクトンでは1年程度の長寿の種も存在することから、ある場所における同位体比の代表値を得るうえで適している。このため、動物プランクトンをその海域の同位体比の指標として海洋アイソスケープを作成する方法を考案した。

従来まで用いられてきたバルクの $\delta^{15}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$) では、種ごとに TDF が異なるため、単一の動物プランクトン種のみでの分析値に基づいてアイソスケープを作成し、かつ対象魚種との TDF の差を補正するため給餌試験を実施する必要がある。しかし、サケの回遊範囲である北太平洋全体から単一種のプランクトンのみを収集することは現実的ではない。また、一般的に給餌試験には多大な時間と労力を要することから、関連するすべての種を対象に給餌試験を行うことは現実的ではない。そこで、Matsubayashi *et al.*²⁾では、浮遊性のカイアシ類を対象に複数のアミノ酸の分子レベル $\delta^{15}\text{N}$ 分析という手法を適用した。この手法では、特定のアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ を

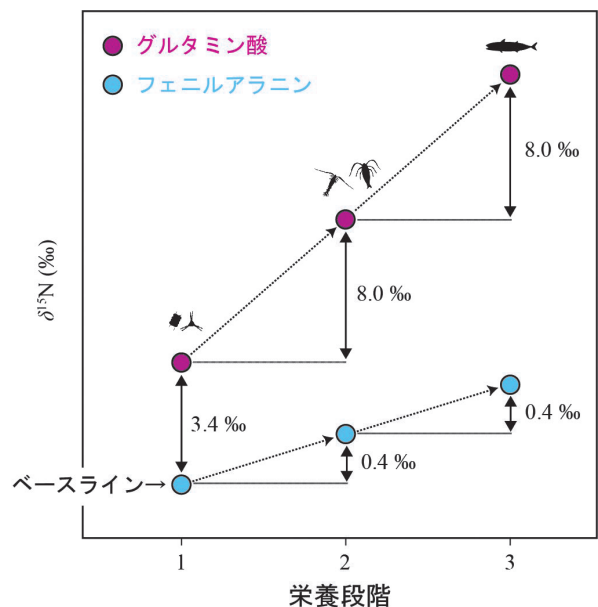


図1 栄養段階とアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係

栄養段階（横軸）が上昇するごとに、 $\delta^{15}\text{N}$ 値がフェニルアラニンでは約 0.4 ‰、グルタミン酸では約 8.0 ‰ 上昇する。栄養段階 1 の植物プランクトンでは、フェニルアラニンとグルタミン酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値の差が約 3.4 ‰ であることから、これらのアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定することでより上位の動物でも栄養段階を推定できる。上位の動物の場合、それぞれの栄養段階が 1 になるようにフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ 値を補正することで得られるのが $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ である。

比較することで、栄養段階による同位体比の変動をキャンセルできるという利点がある。栄養段階とは、生物の食物網における位置を示す概念であり、一次生産者（例：植物プランクトン）の栄養段階は1、一次生産者を捕食する一次消費者（例：植物プランクトンを捕食する動物プランクトン）は栄養段階2、一次消費者を捕食する二次消費者（例：動物プランクトンを捕食する小魚）は栄養段階3となる。

タンパク質を構成するアミノ酸のうち、フェニルアラニンなどの特定のアミノ酸では、栄養段階ごとの $\delta^{15}\text{N}$ の変化が極めて小さいことが知られている³⁾。対照的に、グルタミン酸では栄養段階ごとの $\delta^{15}\text{N}$ の上昇が極めて大きく、この二つのアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ を比較することで、対象生物の栄養段階を推定することが可能である（図1）。したがって、アミノ酸の同位体分析により対象生物のフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ と栄養段階を推定し、栄養段階=1となるようにフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ を補正すれば、以下の式により生物種や組織を問わず同位体比を一律に比較できるベースラインの窒素安定同位体比（ $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ ：図1）を算出できる。

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} - 0.4 \times (TDF_{\text{Glu-Phe}} - 1)$$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}}$ は対象生物のフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ 、 $TDF_{\text{Glu-Phe}}$ はグルタミン酸とフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ から推定した対象生物の栄養段階を示す。

3.2 アミノ酸の窒素安定同位体比分析

アミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 分析では、アミノ酸の揮発性を高めるために誘導体化処理を行ったうえで、ガスクロマトグラフ/燃焼/質量分析計（GC/C/IRMS）を用いて窒素安定同位体比を測定する手法が一般的である。本研究では、ピバロイル/イソプロピルエステルを用いた誘導体

化法を用いた。本誘導体化手法およびGC/MSによる同位体比測定については石石ら⁴⁾に詳述されているため、本稿では割愛する。

3.3 ベースラインの $\delta^{15}\text{N}$ によるアイソスケープ

本研究で対象とするサケは、北海道沿岸からベーリング海におよぶ北太平洋の広域を回遊することが知られている。サケの回遊範囲全体をカバーするアイソスケープを作成するために、北太平洋の広範囲で採取されたカイアシ類のサンプルを収集した。大型で長寿命のカイアシ類6種に分析対象を絞り、合計360の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ データを得た。続いて、カイアシ類の種ごとの $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ の範囲を網羅するような個体をいくつか選び、アミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定した。アミノ酸の同位体分析は難易度が高いため、分析するサンプル数をなるべく抑える狙いがある。カイアシ類では栄養段階の個体差が小さいため、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ と $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ が強く相関しており、種ごとに $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ を $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ に変換する補正式を構築することができる（図2）。

得られた補正式を用いて、すべてのカイアシ類のサンプルの $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ を $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ に変換した。続いて、同一地点の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ を平均し、空間データの補完（空間外挿）を行って、北太平洋における $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ のアイソスケープが得られた（図3）。北太平洋における $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ の勾配は、窒素利用効率によってその多くが説明できる。窒素利用効率とは、深層から表層に供給される硝酸塩に対する、植物プランクトンに利用された硝酸塩の割合である。北太平洋中央部では、海水の鉛直混合により深層から豊富な栄養塩が供給されるため、植物プランクトンの生産量は硝酸以外の微量栄養素（鉄など）によって制限されている。このため窒素利用効率が低く、 ^{14}N を含む硝酸塩が優先的に植物プランクトンに取り込まれること

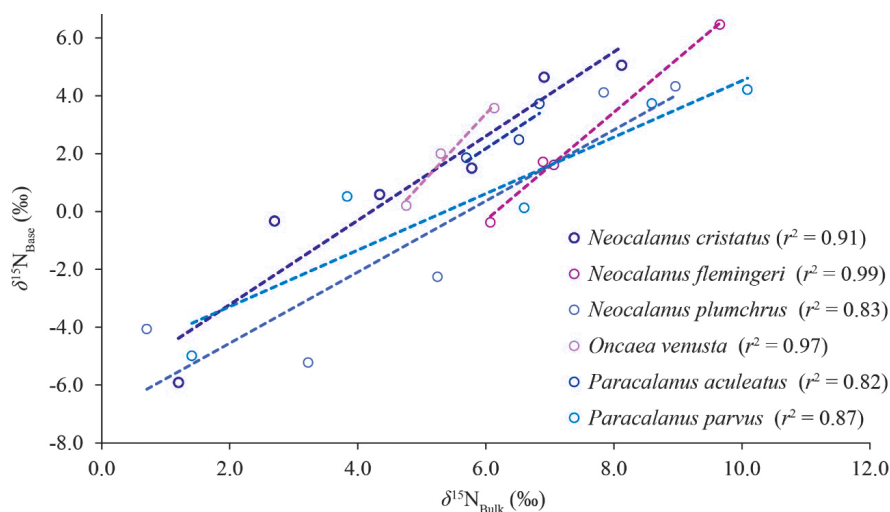


図2 カイアシ類6種の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ と $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ の相関
すべての種で相関係数（ r^2 ）が0.8を超えており、高い相関がみられる。このため、この補正式で $\delta^{15}\text{N}_{\text{Bulk}}$ を $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ に変換する際の誤差も比較的小さいことが予想される。

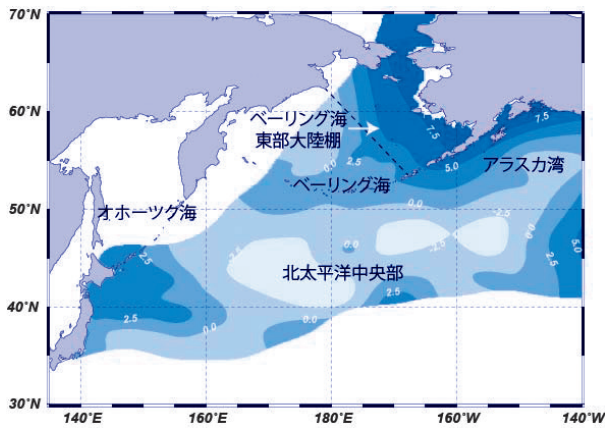


図3 北太平洋の多地点から採取された動物プランクトンのアミノ酸の同位体分析により作成した、北太平洋における $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ のアイソスケープ

で、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ も低い値を示す。一方で、北太平洋中央部から離れた海域では、硝酸塩の供給が少ないため窒素利用効率が上昇し、 ^{14}N が枯渇した硝酸の割合が増加するため、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ が上昇する。このように、硝酸の $\delta^{15}\text{N}$ は窒素利用効率と負の相関を持っており、窒素利用効率の差は様々な海域においてアイソスケープの空間的異質性を産み出す要因となっている。

北太平洋のアイソスケープにおいて特徴的なのが、ベーリング海東部の大陸棚における高い $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ である。これは、50 m未満という極めて浅い大陸棚が広範囲に広がる独特な地形が要因になっていると考えられる。通常、海底の堆積物中では、微生物の脱窒作用により軽い窒素の同位体 (^{14}N) を多く含む窒素分子が選択的に排除される。このため、海底付近の間隙水中に残存する硝酸塩は重い同位体 (^{15}N) の割合が大きくなる。外洋であれば、海底は有光層よりもはるか深部に存在するため、脱窒の影響を受けた間隙水が植物プランクトンに影響することはほとんどない。しかし、ベーリング海東部のような広くて浅い大陸棚では、脱窒により $\delta^{15}\text{N}$ 値が上昇した間隙水が植物プランクトンに取り込まれ、高い $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ を示していると考えられる。

4 サケの回遊経路復元

4.1 脊椎骨椎体

同位体比からサケの回遊経路を復元するためには、サケが経験した同位体比の時系列変化(稚魚期から成魚期にかけての $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ の変化)を復元する必要がある。同位体比の時系列変化を復元するには、木の年輪のように付加的に形成される組織を用いる必要がある。なおかつ、窒素はタンパク質に多く含まれているため、タンパク質が豊富な組織である必要がある。こうした条件を満たす組織のひとつが、脊椎骨椎体である(図4)。魚類の脊椎骨椎体は、一度形成された後はほとんど二次代謝されず、中心部から辺縁部にかけて付加的に成長してい

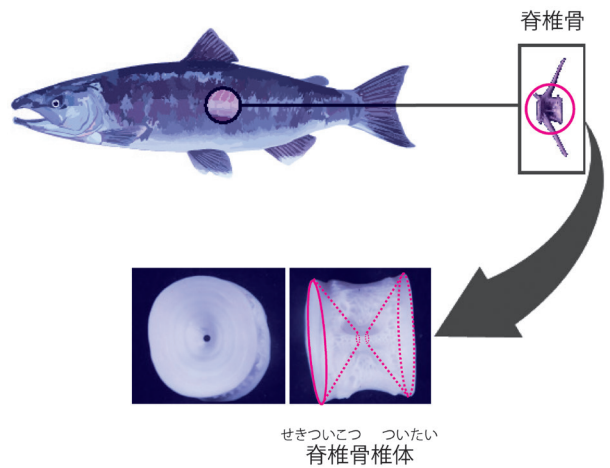


図4 脊椎骨椎体の模式図と写真

下の写真中の赤で示した円錐状に窪んでいる部分が脊椎骨椎体である。

く。このため、脊椎骨椎体を成長方向に分割して同位体比を測定すれば、過去の同位体比の履歴を復元することが可能となる⁵⁾。

4.2 サケの時系列同位体分析

本研究では、北日本の二つの河川に遡上したサケ2個体を対象に、脊椎骨椎体の切片分析により $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ の時系列変化を復元した(図5)。アミノ酸の窒素安定同位体比から推定したサケの栄養段階は、全ての切片において3前後だったことから、サケは主に動物プランク

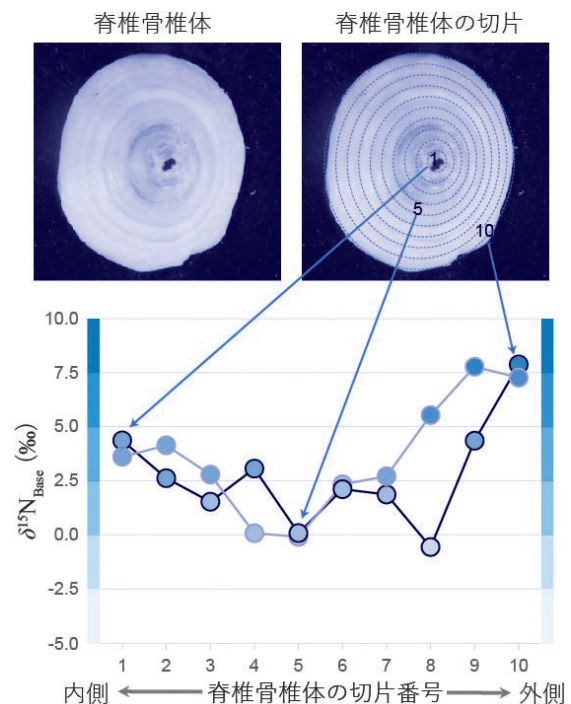


図5 サケ2個体の $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ の時系列変化

上部の写真は脊椎骨椎体であり、中心部から外側にかけて脊椎骨椎体の切片に1~10の番号を割り当て、それぞれの $\delta^{15}\text{N}_{\text{Basic}}$ をプロットしている。

トンを捕食していることが示唆された。サケの $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ は、最も古い稚魚期に形成された脊椎骨切片では4~5%前後の値であり、図3におけるオホーツク海周辺の値と一致していた。その後、サケの5番目の脊椎骨切片にかけて0~1%程度まで値が低下し、図3における北太平洋中央部に近い値となった。最終的に、成長段階の後半にあたる8~10番目の脊椎骨切片では急激に値が上昇し、ベーリング海東部大陸棚の値と一致する8~9%前後となった。

4.3 状態空間モデルによる回遊履歴推定

サケの $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ の時系列変化を最もうまく説明する移動経路を推定するために、状態空間モデルによる回遊経路推定とデータ同化を行った。このモデルでは、①サケは遡上した場所と同一の河川で産まれており、②体サイズが増加するにつれて移動距離が増加するという二つの仮定を置いている。モデルの結果、サケは北日本の沿岸域を出発して、成長に伴って北東へ移動し、最終的にベーリング海東部の大陸棚に到達することが推定された(図6)。

サケの回遊経路は、これまで大規模な野外調査により調査されてきた。それによると、サケは河川で孵化し降海した後すぐにオホーツク海へ進み、成長に伴って西部北太平洋を経てベーリング海へ移動する。その後、夏はベーリング海の沖合で索餌し、冬はアラスカ湾で越冬というサイクルを数年繰り返し、最終的にベーリング海から生まれた河川に戻るということが明らかになっている⁶⁾。したがって、同位体分析により復元されたサケの回遊経路は、大規模な野外調査によって明らかにされていた回遊経路とおおむね一致していた。一方、同位体分析では、従来知られていた越冬地であるアラスカ湾やベーリング海から日本沿岸へと戻るときの回遊の情報が含まれてい

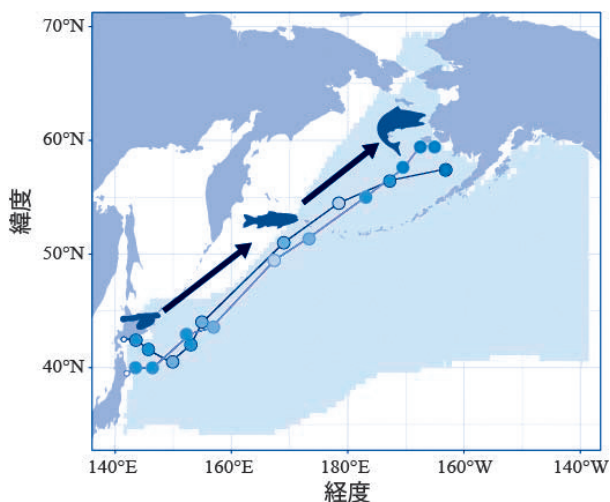


図6 同位体分析から推定したサケ2個体の回遊経路。点および実線の色は、図3および図5の配色と一致しており、それぞれ $\delta^{15}\text{N}_{\text{Base}}$ の大きさと個体を示している。

なかった。これは、これらの海域ではサケがほとんど餌を食べず、骨の成長が極めて小さいことが影響していると考えられる。

一方、同位体分析では、これまで知られていなかった、成長段階の最後にベーリング海東部の大陸棚に到達するという新しい回遊経路の存在が示唆された。サケは成長段階の最後に性成熟し、その際に尾叉長が急速に成長することが分かっている。このため、同位体分析により予測された成長段階の最後におけるベーリング海東部大陸棚への回遊は、サケの性成熟に関連している可能性が高い。この海域は甲殻類などの餌資源が非常に豊富であり、サケが性成熟に必要な栄養を摂取する「回遊のゴール」となっているのかもしれない。ベーリング海東部の大陸棚は、極めて浅い海域であるため、大型の船舶による野外調査では避けられる傾向にある。このため、これまでの野外調査では見過ごされていた新たな回遊経路の存在が、今回同位体分析により初めて明らかとなった可能性がある。

5 魚類の回遊経路と水産資源管理

今回紹介した研究では、ベーリング海東部大陸棚がサケの性成熟に重要な海域となっていることを示唆した。もしこれが正しい結果であれば、サケの水産資源管理を考えるうえで、ベーリング海東部の環境を保全することが重要となってくる。このように、調査地点に含まれていない海域であっても回遊経路となっているかどうかを調べることができるのは、同位体分析の強みだといえる。それでは、他の魚種においては同位体分析による回遊経路推定をどのように資源管理に役立てることができるだろうか。

筆者が現在研究対象としているカツオは、西部太平洋の熱帯域から日本沿岸までを広く回遊する。このため、日本以外にも韓国や台湾、インドネシアなど多数の国が漁獲対象としている。このように、複数の国が漁獲に関わるような魚種は shared fish stocks と呼ばれており、その資源管理には関係諸国の協力のもと、乱獲とならないよう漁獲量を調整しなければならない。西部太平洋においてカツオの漁獲量が多い国は、直近ではインドネシア、韓国、台湾、日本の順となっている。そして、これらの国の多くが熱帯もしくは亜熱帯域で漁業を実施している。現在、西部太平洋におけるカツオの資源量は中位~横ばいとされているが、日本のみ漁獲量が年々減少しつつある⁷⁾。このような傾向にある原因として、カツオの産卵海域である熱帯域での漁獲により、日本周辺に来遊するカツオの資源量が影響を受けているのではないかという議論がなされている⁷⁾。この議論に決着をつけるためには、日本周辺に来遊するカツオがどこからきているのかを明らかにする必要がある。しかし、従来行われている電子タグなどの標識を用いた回遊調査手法では、

稚魚期の生息場所を明らかにすることはできなかった。

この課題を解決しうる手法が、本稿で紹介した同位体分析による回遊経路追跡である。同位体分析では、稚魚期からの回遊履歴が同位体比として体組織中に記録されているため、標識を装着できないほど小さな時期であってもその生息域を復元できる。また、西部北太平洋では、日本近海と亜熱帯、熱帯海域で異なる $\delta^{15}\text{N}$ となることが予想されており⁸⁾⁹⁾、熱帯・亜熱帯からの資源加入量を見積もるうえで極めて好都合なアイソスケープとなっている可能性が高い。本手法によりカツオがどの海域からどの程度来遊しているのかを定量的に明らかにできれば、熱帯域における漁獲が日本周辺海域での漁業に及ぼす影響を正確に把握することができ、より良い国際協力による資源管理方策の立案につながることを期待できる。

このように、水産資源が生息地間をどのように移動しているかという情報は、資源管理を考えるうえでクリティカルな場合がある。それにもかかわらず、海洋という直接観察が極めて難しいフィールドにおいて、回遊経路が未だにはっきりとわかっていない魚種は数多く存在している。化学分析と水産資源管理は一見つながりが薄い分野のように思えるが、新たな分析手法の発展はこうした応用研究の場においても重要な役割を果たしている。同位体分析による魚類の回遊経路追跡手法は、今後の水産資源管理の研究において標準的な手法となるポテンシャルを持っていると考えている。

文 献

- 1) FAO: The State of World Fisheries and Aquaculture 2020, (Sustainability in action. FAO, Rome, Italy), (2020).
- 2) J. Matsubayashi, Y. Osada, K. Tadokoro, Y. Abe, A. Yamaguchi, K. Shirai, K. Honda, Y. Yoshikawa, N. O. Ogawa, N. Ohkouchi, N. F. Ishikawa, T. Nagata, H. Miyamoto, S. Nishino, I. Tayasu: *Ecol. Lett.*, **23**, 881 (2020).
- 3) Y. Chikaraishi, N. O. Ogawa, Y. Kashiyama, Y. Takano, H. Suga, A. Tomitani, H. Miyashita, H. Kitazono, N. Ohkouchi: *Limnol. Oceanogr. Meth.*, **7**, 740 (2009).
- 4) 力石嘉人, 高野淑識, 大河内直彦: *Res. Org. Geochem.*, **25**, 61 (2009).
- 5) Matsubayashi, J., Y. Saitoh, Y. Osada, Y. Uehara, J. Habu, T. Sasaki, I. Tayasu: *Meth. Ecol. E.*, **8**, 1755 (2017).
- 6) 浦和茂彦: 水研センター研報, **39**, 9 (2015).
- 7) 水産庁: 令和2年度 国際漁業資源の現況, (2020).
- 8) S. Ohshimo, D. J. Madigan, T. Kodama, H. Tanaka, K. Komoto, S. Suyama, T. Ono, T. Yamakawa: *Prog. Oceanogr.*, **175**, 124 (2019).
- 9) C. J. Somes, A. Schmittner, E. D. Galbraith, M. F. Lehmann, M. A. Altabet, J. P. Montoya, R. M. Letelier, A. C. Mix, A. Bourbonnais, M. Eby: *Global Biogeochem. Cycles.*, **24**, GB4019 (2010).



松林 順 (Jun MATSUBAYASHI)

水産研究・教育機構 水産資源研究所 (〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4). 京都大学大学院理学研究科生物科学専攻動物学系, 博士(理学).

《現在の研究テーマ》同位体分析による海洋生物の回遊履歴推定手法の開発。

原 稿 募 集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容: 読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意: 1) 1000字以内(図は1枚500字に換算)とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として2年以内のものとし, 出所を明記する。

なお, 執筆者自身の文献を主として紹介するこ

とは御遠慮ください。又, 二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2
五反田サンハイツ 304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会
[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]