

生物地球化学タグによる回遊履歴復元学の創成



領域代表者	東京大学・大気海洋研究所・准教授 白井 厚太郎（しらい こうたろう）	研究者番号:70463908
研究領域情報	領域番号：22B203 キーワード：同位体、生態履歴復元、回遊、行動モデル、地球化学	研究期間：2022年度～2024年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

海洋はその広大な面積とアクセスの制約ゆえ調査が困難なことから、海洋生物の回遊生態やその環境との関連性は理解が進んでおらず、全生活史を通じた回遊経路が特定できている海洋生物は皆無と言っても過言ではない。本研究の目的は、高度な地球化学的分析手法と数値モデリングを駆使することで、海洋生物が「いつ、どこにいて、どのような状態で、何を食べていたのか」という全生活史を通じた回遊履歴推定手法「生物地球化学タグ」を確立し、「回遊に伴う環境変化が成長や生存戦略にどのように影響を及ぼすか」という海洋生態学のもっとも基本的な謎を解明する手法の開発を目指す。生態学・地球化学・海洋物理学という異なる専門分野にまたがって相補的な融合をすすめ、欠点を補完し相互発展させることで回遊経路を超高時間・高空間解像度で復元し、環境履歴が成長や生存戦略に及ぼす影響を解明する手法を確立する。

生物地球化学タグによる回遊履歴復元

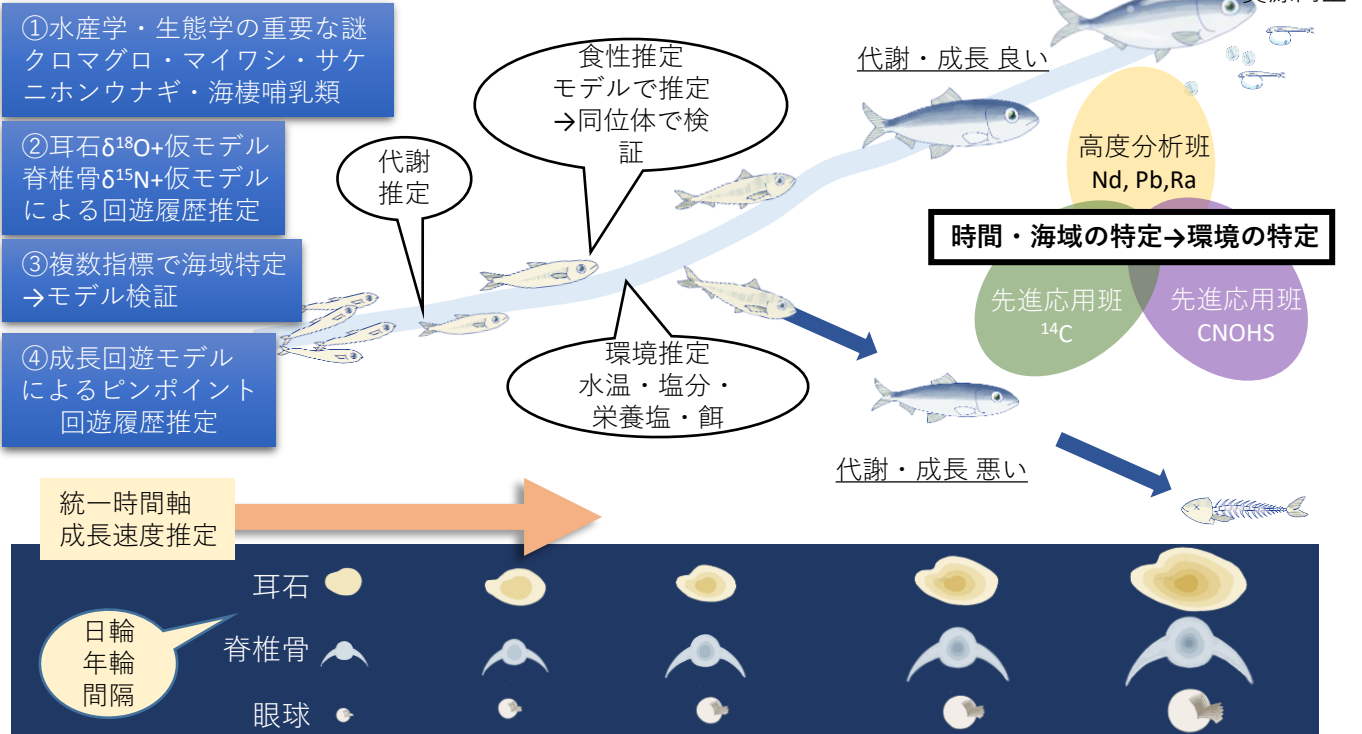


図1 研究計画の概念図

●専門分野が異なる4つの班の相補的な融合により新しい回遊履歴復元手法を開発する

①水産生態班が水産学・生態学の重要な謎を検証するのに適した試料を収集し、②高度分析班が耳石や脊椎骨などを分析し、モデル解析班の仮モデルと組合せることで回遊経路を推定する。③先進応用班が新規に開発する多元素同位体指標により回遊履歴を特定し、仮モデルが正しいかを検証することで、④成長回遊モデルを高時間・高空間解像度になるように進化させる。次は逆に、モデルを使った回遊履歴推定により多元素同位体指標の精度を向上させる。最終的にはこの多元素同位体指標とモデルの相互検証サイクルを繰り返すことで回遊履歴をピンポイントで推定する。加えて、地球化学分析とモデル解析による代謝・食性・環境推定と、日輪・年輪解析による時間軸・成長速度推定を組み合わせることで、海洋生物の回遊・環境・成長の関係性や未知なる生態について明らかにする手法（生物地球化学タグ）を開発していく。

## ●多元素同位体指標とは？成長回遊モデルとは？

同位体とは同じ元素だが重さの異なる原子のことであり、それぞれの同位体の割合は場所・環境・食物・部位ごとにわずかに異なる。海水に含まれている元素などの情報が魚の体内に残されており、同位体の組成を精密に分析することで、どの海のどのあたりにいたのか特定できる可能性がある。同位体から引き出すことができる情報は元素や部位ごとにそれぞれ異なるため、多くの元素・多くの部位の同位体からの情報を組み合わせるほど、信頼性の高い情報が得られる。

ただし、同位体を分析できる数や部位は限られるので、広大な海洋の多様な生物とその生態について、同位体を使うだけで完全に理解することはできない。そこで、同位体から得られた情報と海洋観測データを組み合わせ、数値モデルによりコンピュータ内の海洋で魚を回遊・成長させる成長回遊モデルを構築することで、より一般性の高い推定が可能になる。

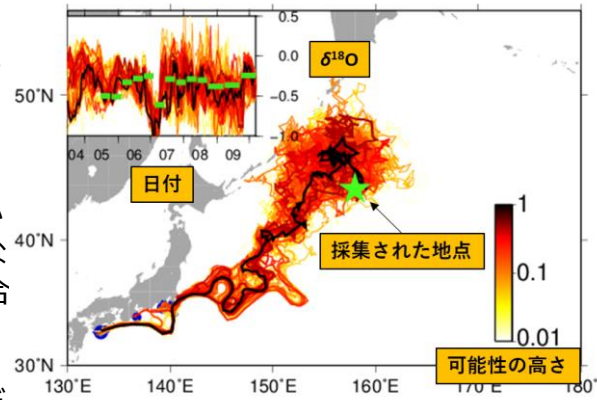


図2 同位体とモデルを組み合わせた例  
マイワシの耳石の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) からは一生を通じた水温と塩分の情報が得られる。数値モデルで耳石分析の結果と海洋環境が一致する海域を選び出すことで回遊経路が推定できる。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

## ●海洋生物の未知なる回遊生態を解明する新しい手法

海洋は水産資源など「生態系サービスの提供」という重要な役割を担っている。しかし、海洋生態系は温暖化、酸性化、海洋汚染などの人為的な環境変化により危機的な状況にある。海洋の広大な面積とアクセスの制約から「直接的な観測」が困難であり、馴染みの深いウナギやマグロでさえ、回遊経路が推定の域を脱していないのが現状である。海産魚類が回遊する理由として、生物学的特性が大きく異なる仔稚魚期と成魚でそれぞれに適した環境を利用することが最適な生存戦略であり、進化の過程でそのような回遊生態を獲得したからだと考えられている。しかし、「いつ・どこにいるのか」という成長に伴う回遊経路のみならず、なぜそのような回遊生態が最適なのか、環境変動や他の生物・生態系との関係性など、一歩踏み込んだ詳細なメカニズムについては理解が進んでいない。現状の回遊像は断片的な調査結果や漁場の推移から想像した経路でしかなく、東北沖で獲れる脂のついたマイワシがどんな海域を回遊し、どんな餌を食べて脂を蓄えたのか、そんな単純な問いにも人類は答えることができていない。

本研究では新たな生態履歴推定手法の確立という目的のため、大まかな回遊像が既知であるが詳細がまだわかっていない、マイワシ・ニホンウナギ・サケ・クロマグロ・鯨類等の生態解明に具体的に取り組む。本計画領域の先にある究極的なゴールは、「なぜ海洋生物は回遊するのか？」という長年にわたり多くの研究者を魅了してきた純粋な科学的興味と、「地球温暖化などの変わりゆく地球環境下における持続可能な海の利用の実現」という世界規模での重要課題の解決である。一見、対極的な問いであるが、生物地球化学タグによる海洋生物回遊履歴復元は両者の解決に直結すると期待できる。なぜなら、海洋生物が「いつ、どこにいて、どのような状態で、何を食べていたのか」という履歴情報は、生態を理解する上で最も基盤的な情報だからである。従来は「分布や量の変化」という断片的スナップショットの継ぎ接ぎで表現されてきた海洋生物の生活史が、この研究により映像のように連続する時系列として再現され、経験環境と対比した「生態」に基づいた議論が可能となる。例えば、回遊経路を決定する環境因子を特定し各海域間で比較することにより、「回遊に伴う環境変化が生活史や個体群特性にどのように影響を及ぼすか」等の、仮説の域に留まっていた生活史決定メカニズムを実証段階まで発展させることが可能となる。本研究では手法の確立までが期間内に達成する計画であるが、普遍的な生活史戦略の解明、地球温暖化後の海洋生物の回遊経路予測、水産資源変動予測など、高い汎用性を活かして多様な分野の課題の解決に貢献するだろう。

本研究で開発する手法は、生態系を守る、絶滅危惧種を守る、自然を守る、など環境や生態系を保全するために必要不可欠な情報が得られると期待できる。保全対象生物の生息域や行動などの生態のことがわからない状態では、どのように保全すべきかわからない。保全のためには、守る対象のことを知る必要がある。この研究手法は特に、見えていない（見ることができない）場所やタイミングの情報を引き出すことができるというのが強みである。例えば川と海を行き来する魚を保全するのに海だけを保全しても効果は低く、河口で大きな段差を作ってしまうたり、産卵場所を破壊してしまうたり、産卵直前の魚を採ってしまうと、魚は激減してしまう。実現可能性の高い保全策としては、効果の高い保全対象を重点的に保護することが重要となるため、本研究で得られる生物の生態情報は生態系保全にも大きく役に立つことが期待される。