

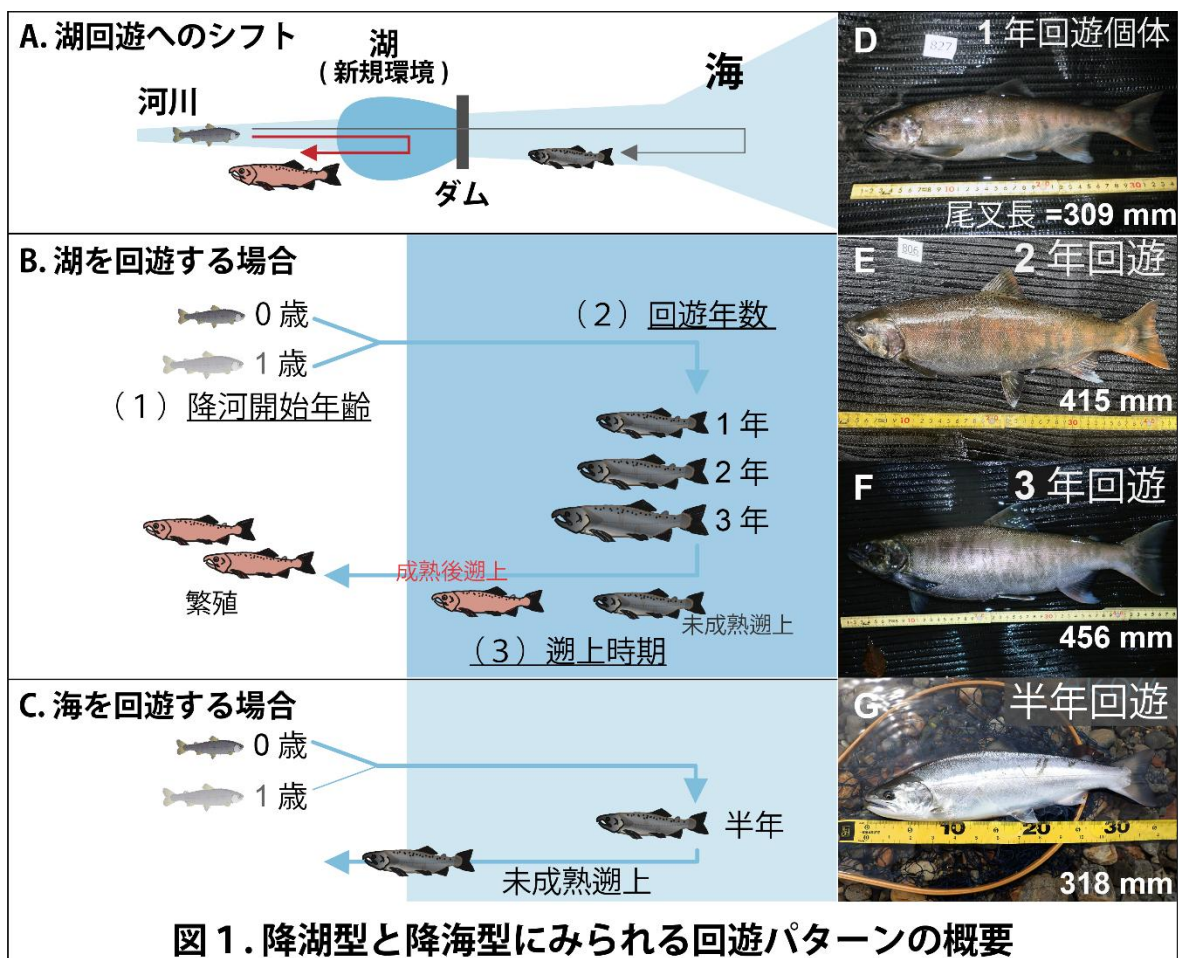
新規環境への進出に際して生じる生き方の多様化

～「湖」へ回遊したサケ科魚類における回遊パターンの多様化と大型化～

概要

京都大学大学院理学研究科の中西勇太 修士課程学生（研究当時）、富山大学の太田民久 講師、東京大学大学院理学系研究科の飯塚毅 准教授、岐阜県水産研究所の岸大弼 博士、京都大学生態学研究センターの佐藤拓哉 准教授らからなる研究グループは、サケ科魚類のアマゴ・サツキマスにおいて、「湖」という新規環境へ回遊した場合に、本来の海へ回遊した場合に比べて、回遊年数の多様化や遡上季節の変化、およびそれらに伴う顕著な大型化がみられることを定量的に示しました。本成果は、新規環境の創出や環境の大きな変化に際して、野生動物が柔軟に移住パターン、ひいては生活史を変化させながら暮らしている可能性を示す重要な知見です。

本研究成果は、2024年12月10日にスウェーデンの国際学術誌「*Oikos*」にオンライン掲載されました。



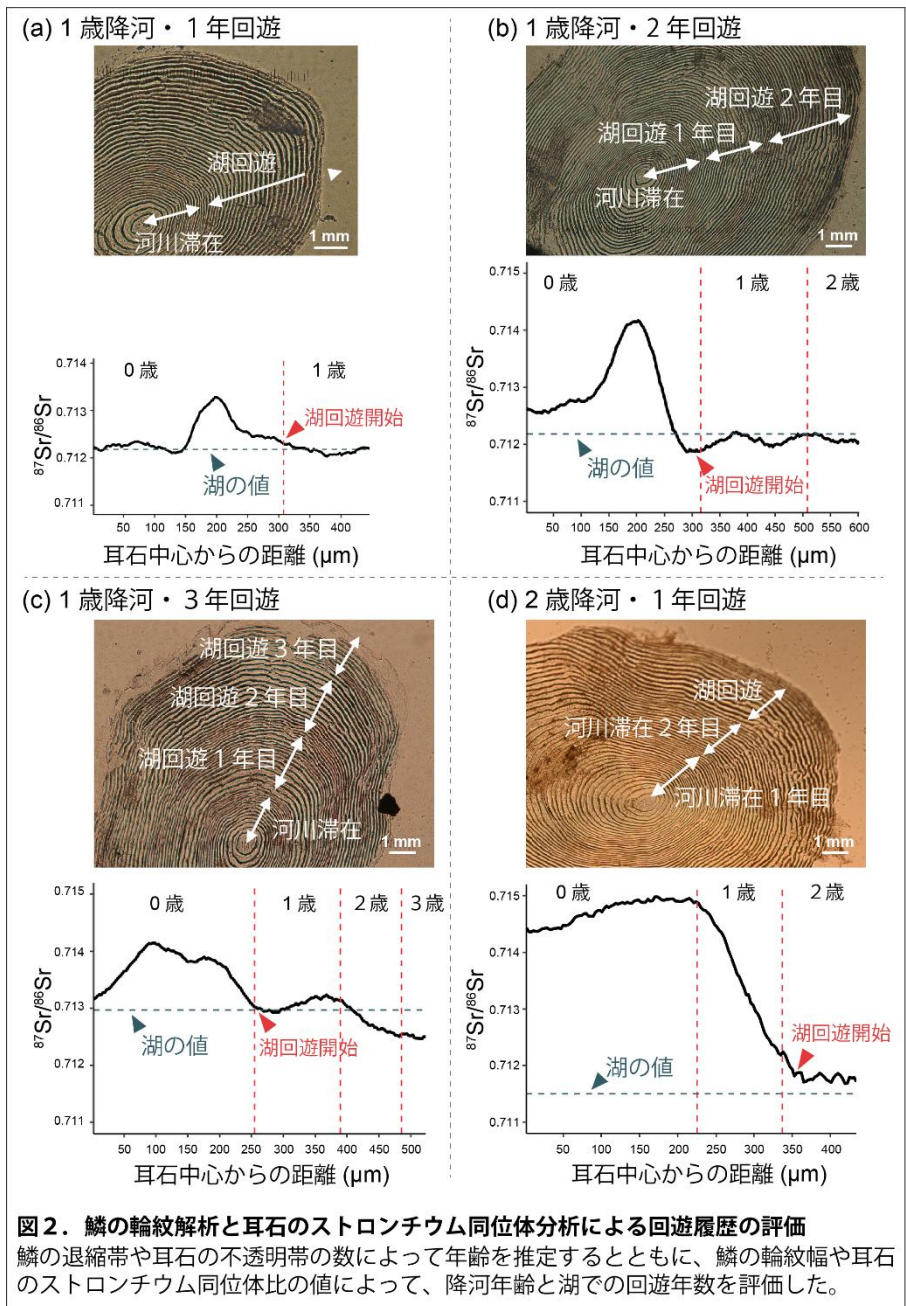
1. 背景

鳥の渡りや魚類の回遊など、生息地間の「移住」は、多くの野生動物にみられ、それらの生活史（成長・繁殖・寿命等、生き方に関わる諸形質；以下、生き方という）と密接にかかわっています。では、野生動物は、新たな生息環境へ移住するに当たり、どのように移住パターンを調整し、多様な生き方を維持しているのでしょうか？この疑問に答えることは、野生動物の環境適応力を深く知るだけでなく、保全や生物資源の持続的な利用においても非常に重要です。先行研究では、新規環境へ移住する際に、野生動物の移住パターンや生き方の特徴（成長や繁殖開始年齢）が集団全体として平均的に変化する例が報告されてきました。しかし、新規環境への移住に際して、移住パターンや生き方の多様性が低下するのか、増大するのかを調べた研究はほとんどありませんでした。

西日本に広く生息するサケ科魚類のアマゴ (*Oncorhynchus masou ishikawae*) では、河川で一生活を過ごす河川残留型のアマゴに加えて、秋から翌年の春まで海で回遊して帰ってくる降海型のサツキマスがいます

(図1A)。このサツキマスは、降海性を維持する世界南限のサケ科魚類です。冷水性のサケ科魚類にとって、温暖な気候の日本では長期間海で生活するのは容易ではなく、すべてのサツキマスは、海で約半年しか過ごせず、夏前に未成熟のまま、産まれた河川へ戻るための遡上を開始します(図1C)。この回遊パターンの多様性の低さは、北半球に広く生息する降海性サケ科魚類の中でも特異的です。

一方、アマゴ・サツキマスでは、他のサケ科魚類同様に、河川に自然の湖やダム湖 (= 新規環境) が形成されると、湖を回遊する個体が速やかに出現します(図1B)。興味深いことに、夏の避難場所になる冷水帯のある湖の降湖型マスはしばしば、1年以上湖で回遊して非常に大型化し、また秋の産卵期直前まで湖で過ごして成熟した後に、産まれた川へ遡上しているようでした(図1B)。これら

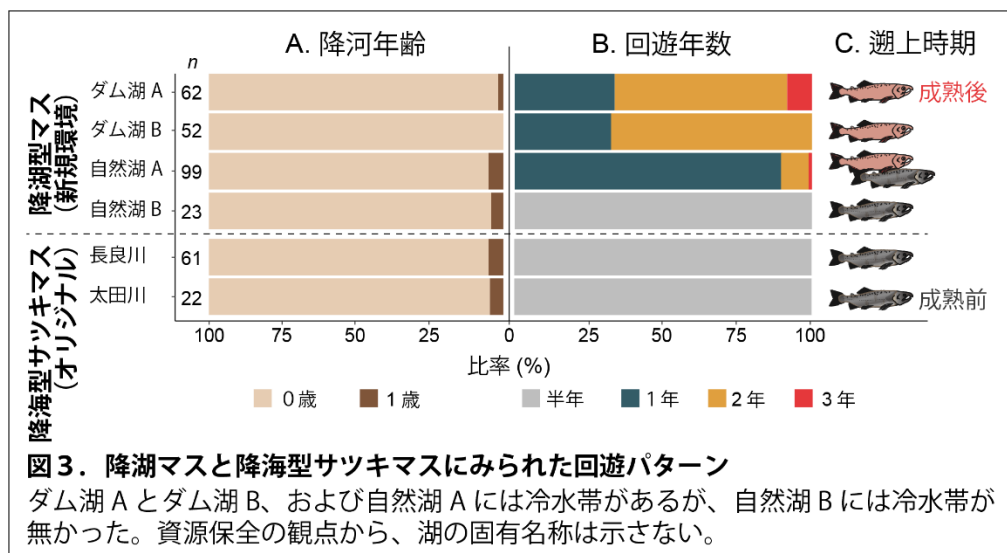


のことは、アマゴ・サツキマスにおいて、湖という新規環境への移住に際して、オリジナルの降海型にはみられないような回遊パターンの変化や多様化が生じている可能性を想起させます。

2. 研究手法・成果

そこで本研究では、冷水帯がある3つの湖と、冷水帯がない1つの湖の流入河川において、降湖型マスの大規模なサンプリングを行い、鱗の輪紋解析や耳石のストロンチウム同位体分析に基づく回遊履歴の推定を実施することで、(1) 降河開始年齢、(2) 回遊年数、および(3) 遡上時期を調べ(図2)、湖間やオリジナルの降海型と比較しました。

その結果、降河開始年齢については、いずれの湖でも0歳の時に降河する個体がほとんどであり(94-100%)、これは降海型でみられたパターンと同様でした(図3A)。しかし、回遊年数については、降海型サツキマスが半年しか海で回遊しないのに対して、冷水帯のある湖の降湖型マスは1-3年間の回遊をしていました(図3B)。一方、冷水帯のない湖の降湖型マスは、降海型サツキマスと同様、すべての個体が半年で回遊を終えていると判定されました(図3B)。さらに、冷水帯のある湖の降湖型マスは、その多くが成熟した後、繁殖期直前の秋に河川へ遡上していることが明らかになりました(図3C)。一方、冷水帯のない湖の降湖型マスは、降海型と同様に、夏までに未成熟のまま河川へ遡上していました(図3C)。



サケ科魚類では一般に、回遊する利益がオスよりメスで大きいため、回遊する個体の性比がメスに偏る傾向があります。これに反して、冷水帯のある湖の一つでは、降湖型マスの性比がほぼ1:1になっていました(図4A)。この湖は、産卵場所が湖への流入部からわずか数百メートル上流にありました。このことは、回遊のコストが著しく低い場合には、オスも多くが回遊型を選択することを示唆しているのかもしれませんが。

最後に、降湖型マスの特筆すべき生態特性として、降海型のサツキマスでは見られない巨大な個体が頻繁にみられました。こうした大型個体の出現は、冷水帯のある湖で回遊年数が1年を超え、最大で3年に及ぶことと強く関係しています(図4B)。冷水帯のない湖では、こうした大型個体は見られませんでした。

これらの結果をまとめると、アマゴ・サツキマスでは、冷水帯のある湖が形成されると、速やかに降湖型マスが出現し、回遊年数の多様化と秋遡上へのシフトが顕著に生じていることが明らかになりました。こうした回遊年数の多様化と遡上時期の変化は、成熟体サイズの大型化と多様化、および繁殖年齢の多様化、すなわち生き方の多様化につながっていました。これは、新規環境が形成された際に、移住を行う動物が非常に柔軟に、移住の仕方をシフトしたり多様化したりすることで、多様な生き方の創出につながっていることを定量的に示した、世界的にも例の少ない研究成果です。

3. 波及効果、今後の予定

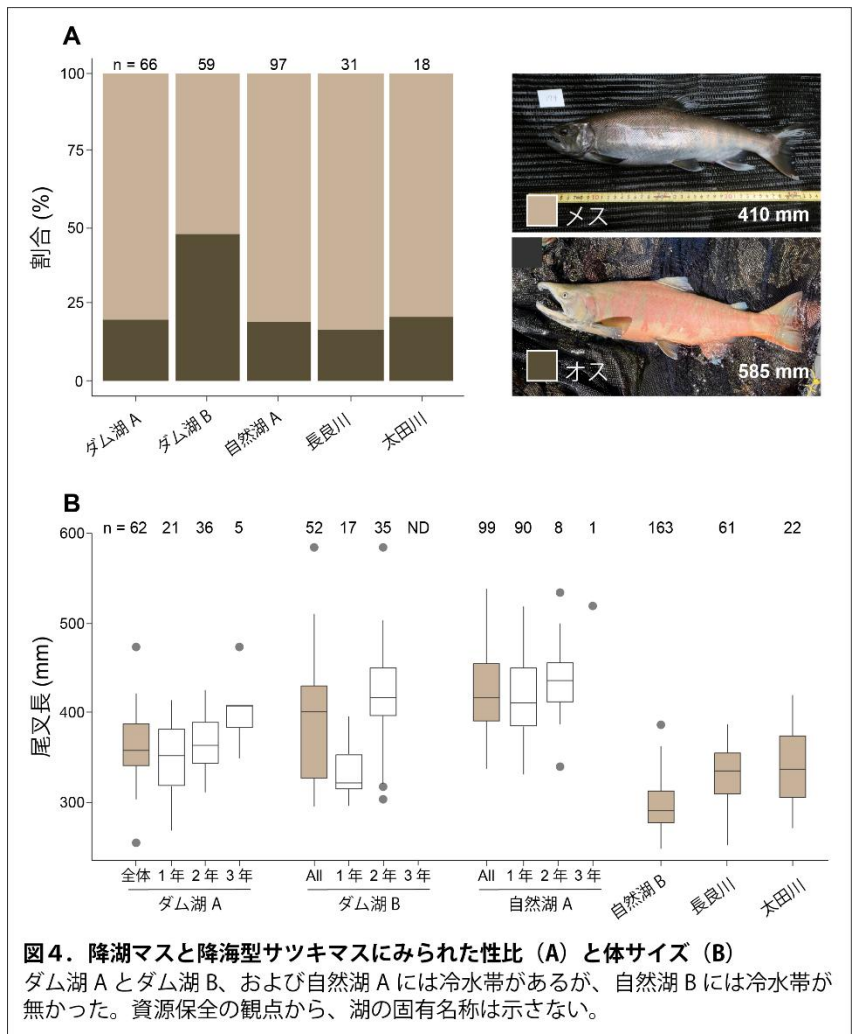
今日、さまざまな人間活動によって、海と川の連続性が失われ、世界

中で降海性サケ科魚類が減少しています。そうした中、ダム湖には、サケ科魚類が回遊に至る遺伝基盤を失わせない緩和効果があると指摘する研究例もあります。しかし、本研究で明らかになったように、我々がダム湖を造成すると、サケ科魚類はその柔軟さゆえに、これまでとは異なる回遊パターンでそれら湖を利用し、それに伴って生活史自体も大きく変化させる可能性があります。その結果、ダム湖は、サケ科魚類が長い時間をかけて培ってきた進化の道筋を大きく変えてしまうかもしれません。

「サツキマス」の名前の由来は、海へ降った魚たちが暑い夏を海で過ごせないために、皐月の花の咲く頃に未成熟のまま、生まれた川へ向けて遡上を始めることに由来します。湖で秋まで回遊し、成熟してから遡上してくる鱒は、サツキマスとは大きく生態が異なり、かつ名前の由来にもあわない、「もみじ鱒」などと呼ぶべき存在です。私たちは今後、降湖型マスの起源を探るとともに、それらの回遊パターン・生き方の多様性の創出・維持メカニズムを明らかにしたいと考えています。その上で、降湖型マスを進化的・生態的・経済的にどのように捉え、見つめていくのかを考えていると思っています。

4. 研究プロジェクトについて

- 佐藤拓哉：WEC 応用生態助成「ダムはサケ科魚類の降海関連 DNA 変異の維持機能を有するか？」2023
- 太田民久：日本学術振興会 科学研究費助成事業「回遊魚の森-川-海ネットワーク構造推定のための大規模な



同位体地図の作成とその応用」24K01778（基盤研究（B））

- 太田民久：日本学術振興会 科学研究費助成事業「河川魚の流域ネットワーク構造を最新の地球化学分析・遺伝子解析から明らかにする」23K18539（挑戦的研究（萌芽））
- 中西勇太：笹川科学研究助成「降湖型サツキマスにおける多様な生活史維持機構の解明：なぜ降湖型で見られない生活史が出現し維持されるか」2023-5052

<研究者のコメント>

「降湖型マスを探して訪ねた複数の湖で、多くの有益な情報をくださった各地の方々にとっても感謝しています。紅葉の時期の冷たい川を遡上しながらのサンプリングは大変でしたが、その甲斐あって、サケ科魚類が深い湖で回遊パターンを多様化させている例を定量的に示すことができました。この研究結果が生物の新規環境への適応に関するこれからの研究の一助となることを願っています」（中西勇太；写真1）

「釣り人や漁協の方の大きな協力を得て、湖を回遊するマスの実態を少し明らかにすることができました。一人のサケ科魚類好きとしては、特に降湖型オスの勇猛な姿には調査の度に魅了されています。一方で、彼らがダム湖造成後に出現するという背景を考えると、複雑な気持ちにもなります。「勇ましさに 憂いつもりし もみじ鱒」（佐藤拓哉）

<論文タイトルと著者>

タイトル：Divergence and shift in the migratory life history of a salmonid fish during the transition to a new environment

（「湖」へ回遊したサケ科魚類における回遊パターンの多様化と大型化）

著者：Yuta Nakanishi, Tamihisa Ohta, Tsuyoshi Iizuka, Daisuke Kishi, Shohei Noda, Takeya Shida, Rui Ueda, Takuya Sato

掲載誌：*Oikos* DOI：10.1111/oik.10981