

## 河川基金助成事業

「耳石ストロンチウム同位体比で暴く  
アユの流域内生息場所利用の履歴」

助成番号：2023 - 5211 - 006

岐阜大学 地域環境変動適応研究センター  
特任助教 永山滋也

2023 年度

## 1. はじめに

アユは日本全国の河川において地域の産業や文化に深く関わっており、河川管理上、特段の配慮を要する重要魚種である。アユは秋に河川中下流部で産卵し、孵化後ただちに海へ下り、仔稚魚の期間を沿岸域で過ごし、翌春河川へ遡上する生活史を持つ。そのため、扇頂部付近に建設される頭首工や、山地区間に建設されるダムによって遡上が妨げられる場合、自然状態でアユが享受していた生息域は大幅に失われ、場合によっては天然遡上の個体群は危機に瀕する。実際、多くの河川では、こうした遡上阻害があり、天然遡上が見られなくなった上流区間では放流することで漁業や遊漁を支えているという実態がある。一方で、漁業法のもとで漁業協同組合に課せられた「増殖義務」の一履行手段として行われる放流が、どの程度、アユの再生産に寄与し、翌年の天然アユ個体群を支えているのかということは、今のところ断片的な情報しかない。今後、アユの資源管理を行う上で、こうした基礎的な情報の積み上げが必要である。

アユの資源管理を考えると、再生産に寄与するアユ親魚が流域のどこで成長したのかという「生息場利用履歴」を把握することも重要である。なぜなら、それによって、アユ個体群の存続に関わる重要な生息区間が見出され、河川管理上配慮すべき河川区間や河川連続性・ネットワークが明確になるからである。同時に、これまで「上流で育ったアユが“落ちアユ”として降河してきて下流で産卵する」と曖昧に捉えられていた時空間動態が明確になり、資源管理上の貴重な基礎情報となる。

以上に述べた、再生産（産卵）に寄与する①アユ親魚の由来（天然遡上、放流）と、②アユ親魚の生息場利用履歴は、これまで分析技術上の課題や、そもそも上流域にまで達する天然遡上の見られる河川が少なくなっていることなどから、詳しい知見が得られていなかった。本研究では、本川にダムがなく、河口から140km以上天然アユが遡上する長良川において、その主要な産卵場（河口から40～50km）に集まってきたアユ親魚の耳石を分析することで、これら2つのテーマに迫る。①では、分析に用いたアユ親魚について、天然遡上と放流由来の割合を明らかにする。②では、アユ親魚の各個体について、セグメントスケールにおける生息場利用履歴を明らかにしパターン化する。これにより、アユ親魚の由来とともに、支川を含む流域全体を俯瞰したアユの重要な生息空間を明らかにし、アユ資源管理と河川管理に貢献する。また、これらの検討に対する、耳石ストロンチウム（Sr）安定同位体解析の有効性を示す。

キーワード：アユ、生息場所利用履歴、耳石ストロンチウム安定同位体解析、河川管理、資源管理

## 2. 方法

### 2.1 調査地概要

調査地は長良川流域の本支川である（図1a）。図1では、長良川の主要な産卵場であり、本研究で用いたすべてのアユ親魚を捕獲した岐阜市の鏡島（河口から48km）から上流域を示している。本川沿いに大ダムはなく、河口から143km地点の砂防堰堤までは、少なくともアユの遡上が確認されている（図1a）。主要な支川は上流から吉田川、亀尾島川、板取川、津保川、武儀川の5支川がある。これらの支川におけるアユの遡上は、大きな堰堤のない津保川では最上流まで、吉田川では3/4ほどまで、武儀川と板取川では約半分まで、亀尾島川では本川から僅かな区間だけ可能とみられる。なお、白鳥（河口

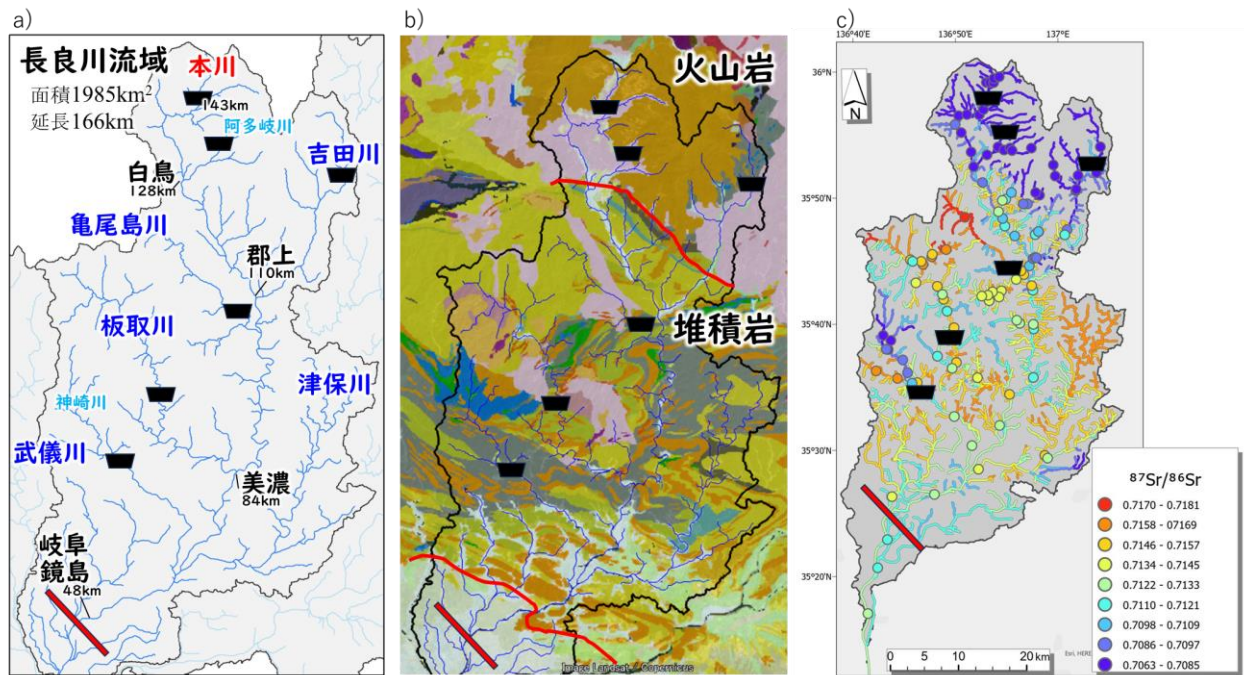


図 1. 長良川流域における (a) 本支川および主な地域とアユの遡上を阻害する横断構造物の位置, (b) 20 万分の 1 表層地質図, (c) ストロンチウム安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) マップ。

から128km) で合流する支川の牛道川の支川・阿多岐川には大ダムが存在する。

## 2.2 同位体地図

耳石のSr安定同位体から生息場所利用履歴を検討する上で必要となる同位体地図 (isoscape) と、それに深く関わる地質図を図1b, cに示した。同位体地図は、井田 (2023) が作成したSr安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) マップである (図1c)。長良川流域を俯瞰すると、岐阜市街地が濃尾平野の北端となっており、そこから本川沿いの白鳥および吉田川の下流部にかけては美濃帯の堆積岩類を中心とした地質となっており、それより上流側の表層は火山岩で覆われている (図1b)。

この表層地質と対応するように、最上流の火山岩エリアの河川区間におけるSr安定同位体比は流域内で最も低い値を示し、その影響を受けて、郡上に至るまでの本川と吉田川でも低い値となっている (0.7063~0.7109程度)。一方、堆積岩エリアに発する吉田川以外の4支川は全般にSr安定同位体比が高く、下流程低くなる傾向を示す。本川合流直前のSr安定同位体比は、亀尾島川と板取川で0.7146~、武儀川で0.7122~、津保川で0.7134~程度であった。武儀川の値がやや低いのは、Sr安定同位体比が非常に低い石灰岩帯に発する支川・神崎川の豊富な湧水の影響によるものとみられる。本川のSr安定同位体比は、これらの支川合流の影響を受けて下流ほど緩やかに値が大きくなっており、白鳥で0.7063~、郡上で0.7098~、美濃で0.711~、岐阜 (鏡島) の扇状地区間では0.7122~程度であった。

## 2.3 アユ親魚のサンプリング

2022年9月27日~12月17日にかけてのアユの産卵期に、長良川の主要なアユ産卵場である岐阜市鏡島において、川を下る“落ちアユ”を狙った瀬張り網漁によって捕獲された個体のうちランダムに88個体 (オス27尾、メス61尾) のアユ親魚を確保した。ただし、12月17日はガリ釣りで捕獲した。

## 2.4 アユの計測と耳石解析

捕獲したアユ親魚の体長、全長、湿重量等を計測した後、耳石を摘出し、99.5%エタノールで保存した。耳石は、マリノリサーチ株式会社（三重県）に依頼して、薄片サンプルに加工した（図2）。耳石を短軸方向に切断し（図2a），中心核（コア）が露出するように研磨処理して、スライドガラス上にエポキシ樹脂を用いて固定することで薄片サンプルとした（図2b）。

耳石薄片サンプルの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の測定は、レーザーアブレーション装置を接続させたマルチコレクター（MC-ICP-MS）を用いて行った。耳石の縁辺から中心核にかけてレーザーを走査し、気化サンプルをマルチコレクターに送って連続的な $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値を取得した（図2b）。

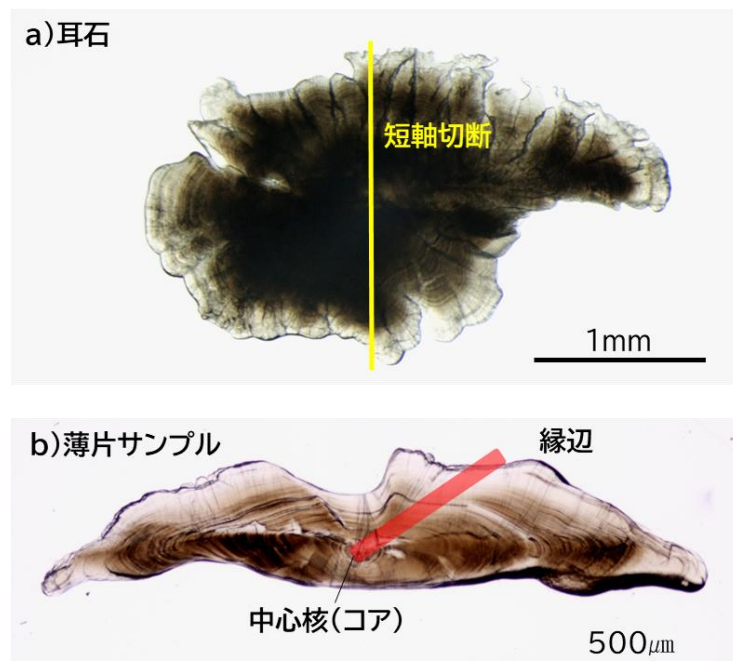


図 2. (a) 耳石の切断軸と，(b) 薄片サンプルおよびレーザー照射部位（赤色）。

## 2.5 アユ親魚の生息場所利用履歴の推定

個体ごとに得られた耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の変化からパターン分類を行った。そして、井田（2023）による長良川流域の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体地図ならびに長良川流域の遡上可能範囲と照合することで、各パターンの生息場所利用履歴を推定した。

なお、海水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は全球的に0.70918であることが知られている。一方、アユは孵化後直ちに降海し数カ月～6か月ほど海洋生活を送ったのち河川へ遡上する。このことから、耳石の中心核から縁辺に向けて、一定した $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値0.70918がある程度の距離にわたって観測されれば海洋生活を経験した天然遡上由来の個体であると判定した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 供試魚の基礎情報と由来

分析に用いたアユ親魚は全般にメスが多かったが、調査期間を通じて雌雄ともに捕獲されていた（図3）。個体ごとの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ のグラフを確認したところ、耳石の中心核から一定距離にわたって海水の値を示した天然遡上個体は88個体中81個体（92%）であり、再生産に寄与する天然遡上個体の割合の高さがうかがわれた（図4）。この結果は、90個体足らずのサンプルから得られたものであるが、長良川における天然遡上魚の再生産への寄与率の高さをよく表しているものと考えられる。たとえば、長良川の主要な産卵場における天然遡上魚の高い存在割合は、本研究のアユ捕獲場所の約1km下流においても確かめられており、1995～1998年9月下旬～11月下旬にかけて採捕した親魚のうち89%が天然遡上由来であった（Otake et al. 2002）。また、やや上流になるが美濃付近（河口から75km）で2009年10月22-23日に捕獲された72個体のうち86.1%が天然遡上由来であることも確かめられている（間野ほか 2014）。さらに、長良川では初夏から秋の産卵期に近づくほどに、天然遡上由来の個体の割合が高まることも報告されている（Aino et al. 2015）。

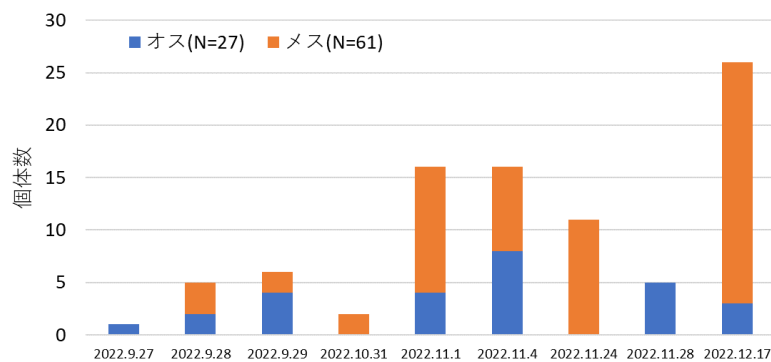


図 3. 岐阜市鏡島の漁場で捕獲され分析に用いられたアユ親魚の採捕日と雌雄別の個体数.

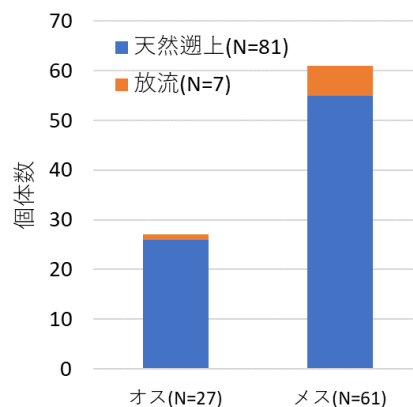


図 4. 岐阜市鏡島の漁場で捕獲され分析に用いられたアユ親魚の雌雄および由来別の個体数.

### 3.2 生息場所利用履歴の推定

天然遡上81個体の耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と同位体地図（図1c）との照合から、5パターンの生息場所利用履歴が見出された（図5, 6）。

- ①上流大移動型（28個体）：郡上（110km）より上流の本川または吉田川に遡上し成長した個体
- ②中流本川定住型（26個体）：主に美濃より下流の本川（50-84km）に留まり成長した個体
- ③中流本川移動型（11個体）：美濃より下流の本川（50-84km）と郡上より下流の本川（84-110km）を移動しながら成長した個体
- ④中流支川定住型（11個体）：板取川もしくは津保川に遡上し定住して成長した個体
- ⑤中流支川移動型（5個体）：板取川もしくは津保川および本川中流部を移動しながら成長した個体

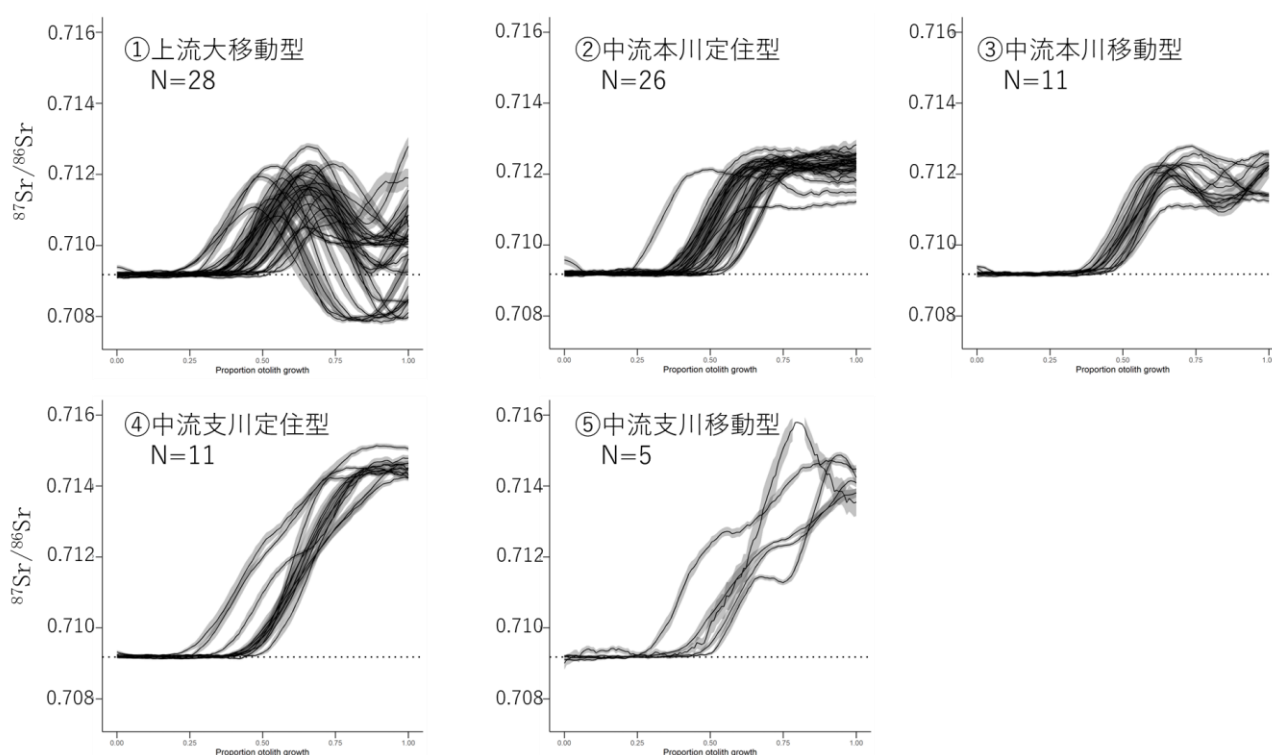


図 5. 耳石の中心核から縁辺にかけての相対距離と  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値の関係から見出された 5 つのパターンと生息場所利用履歴の推定. グラフ内の水平な点線は、海における  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の値 (0.70918) を示す.

①上流大移動型は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が海の値（0.70918）から0.711～0.713へ上昇してピークを打った後、一旦大きく低下し、終盤にかけて再びSr比が上昇するタイプ. これは、川へ遡上した後、同じ場所に長く留まることなく遡上を続け、上流域にまで達して成長し、その後また時間をかけて成長しながら、下流の産卵場に向けて下ってきた個体とみられる. 遡上可能区間に照らすと、ほとんどの個体はSr比が一旦0.71以下に低下していることから、ほぼすべての個体は郡上より上流の本川もしくは吉田川に遡上した個体である可能性が高い（図6）。

②中流本川定住型は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が海の値から一定のペースで上昇し、ある時点から0.712付近で一定となるタイプ. これは、川へ遡上した後、最初に留まった場所に定住し、成長を遂げ、最後は耳石

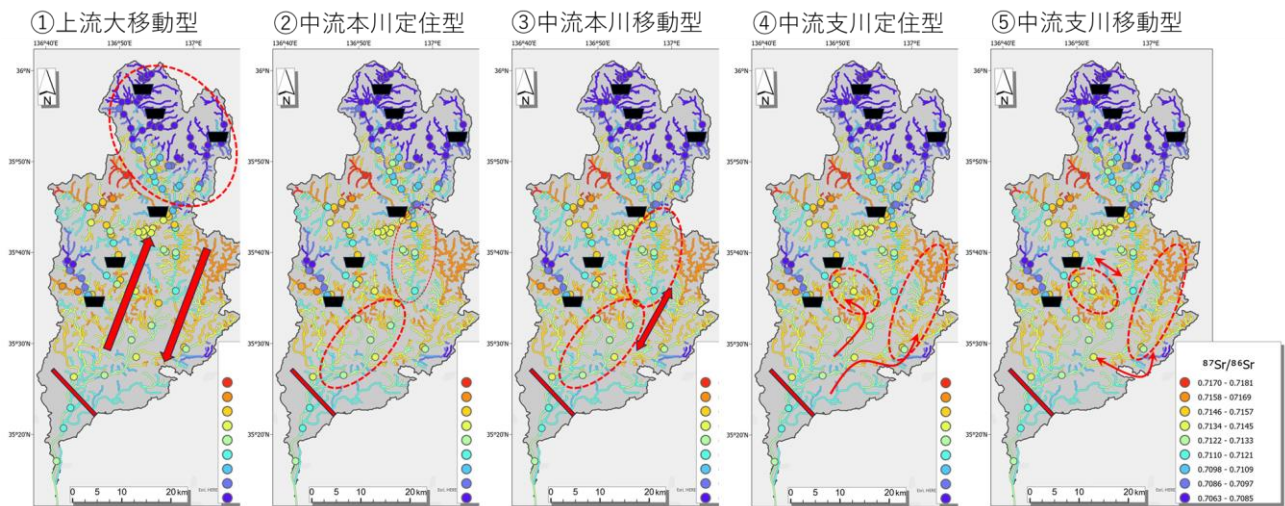


図 6. 耳石の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値の変化から見いだされた 5 パターンにおける、アユの流域内移動を推定した模式図.

に  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が反映されないほど短時間（半月）のうちに産卵場（鏡島）に降河した個体とみられる．多くの個体は Sr 比 0.712 付近で飽和していることから、遡上可能区間に照らすと、武儀川もしくは岐阜～美濃にかけた本川で定住生活を送った個体である可能性が高い（図 6）．Sr 比 0.712 よりも低い値で飽和している 2 個体は、美濃～郡上にかけた本川で定住したのかもしれない．

③中流本川移動型は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が海の値から上昇し、0.711～0.713 の間で上下するタイプ．中盤（遡上直後）と終盤（産卵期）にピークを 2 回打つグループが多いが、片方だけのグループも存在する．遡上可能区間に照らすと、ピークが 2 回ある主たるグループは、美濃より下流の本川（1 つ目のピーク）をゆっくり通過し、美濃～郡上にかけた本川（ピーク後の谷）で過ごしたのち、再びゆっくりと成長しながら産卵場（鏡島）に向けて降河（2 つ目のピークへの上り）した個体と考えられる（図 6）．

④中流支川定住型は、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が海の値から上昇を続け、ある時点からとても高い  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.714～0.715 で一定となるタイプ．これは、②中流本川定住型と同様に、川へ遡上した後、最初に留まった場所に定住し、成長を遂げ、最後は短時間（半月）のうちに産卵場（鏡島）に降河した個体とみられる．②と異なるのは、際立って高い  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の場所に定住したことであり、遡上可能区間に照らすと、津保川もしくは板取川に遡上して定住生活を送った個体である可能性が高い（図 6）．

⑤中流支川移動型は、一度は  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.714 付近へと高くなるタイプ．これは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の高い板取川もしくは津保川に一度は遡上するが、その前に本川に留まる期間があったり、支川からゆっくり下ったりした個体と考えられる（図 6）．中盤に、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.712 付近で飽和を示す個体は美濃より下流の本川、0.711 付近で飽和を示す個体は美濃～郡上の間の本川で少しの間定住生活をしたのかもしれない．

①～③のパターンに相当する個体数は 65 個体と、天然遡上個体（81 個体）の約 80% を占めていた．よって、長良川流域において再生産に寄与するアユ親魚は、上流域（①）および本川中流域（②③）で成長した履歴を持つ個体の割合が多いことが示唆される．これは、本川中上流域がアユの生息場として重要であることを示すとともに、そこまで遡上可能な河川連続性の重要性を強調する．見方を変

えると、頭首工やダムなどによって遡上が妨げられている多くの河川では、こうした河川中上流域におけるアユの生息環境が、これまでに著しく損なわれてきたことが理解される。

支川を利用して成長し（④，⑤），産卵場に降河してきた個体も一定数（16個体）存在した。この結果は、支川を含む水系の連続性・ネットワークが、アユ生息場の多様性を生み出し、個体群の存続に貢献していることを示唆する。ただし、支川には遡上を妨げる堰堤が存在していた（津保川以外）。もしこれらの堰堤がなければ、支川の中上流域を利用できる個体が増え、再生産に貢献する支川生活経験個体が増えるものと考えられる。長良川流域では、特に板取川と亀尾島川において、そのポテンシャルが高いと推察される。

以上から、本川中上流域での河川改修、河道掘削等では、アユの採餌場として重要な大礫・巨礫、生息空間として重要な瀬淵の連続性等を喪失させない特段の配慮が必要である。また、そこまで遡上可能な河川連続性の維持は、今後も最重要な河川管理上の留意点である。

### 3.3 今後の課題

①上流大移動型について、現状では本川上流域の利用個体と吉田川の利用個体を分離できていない。同様に、④と⑤の中流支川を利用した個体についても、板取川と津保川のどちらに遡上し成長したのか分離できていない。これらの課題は、今後、移動履歴を推定する状態空間モデルの適用（井田 2023）により解決していく予定である。このモデルでは、耳石と同位体地図で得られる $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の一致や時空間的な前後関係、さらには遡上を阻害する構造物などの諸条件を考慮して、確率論的に供試魚の生息した可能性の高い箇所を繋ぎ、移動履歴を推定する。これによって、より高解像度の生息場利用履歴を把握する。また、日齢査定を組み合わせる孵化や河川遡上のタイミングと、流域内生息場利用ならびに再生産との関係についても検討する。

### 引用文献

Aino S, Yodo T, Yoshioka M. (2015) Changes in the composition of stock origin and standard length of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* during the Tomozuri angling season in the Nagara River, central Japan. Fisheries Science 81:37–42.

間野静雄・淀太我・石崎大介・吉岡基（2014）長良川におけるアユの由来別の成長特性。水産増殖 62:89-97.

井田慎一郎（2023）耳石ストロンチウム同位体比から推定するサツキマス我的生活史。富山大学大学院理工学教育部，修士論文。

Otake T, Yamada C, Uchida K. (2002) Contribution of stocked ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) to reproduction in the Nagara River, Japan. Fisheries Science 68: 948–950.

## 研究体制

### 研究代表者

東海国立大学機構岐阜大学

高等研究院地域環境変動適応研究センター

永山滋也

### 共同研究者

富山大学学術研究部理学系

太田民久