

論文の内容の要旨

水圏生物科学 専攻
平成 20 年度博士課程 入学
氏 名 天野 洋典
指導教員名 大竹 二雄

論文題目

耳石の微量元素組成と安定同位体比を用いたビワマスの回遊生態に関する研究

ビワマス *Oncorhynchus masou subsp.* は、琵琶湖に生息するサクラマスの固有亜種である。その生活史は遡河回遊魚の湖沼陸封型であり、産卵場として河川を、生育場として琵琶湖を利用する。しかし、その生態学的知見の多くは稚魚期や産卵遡上期に限られ、湖内での生態や、サケ科魚類の回遊生態を特徴づける母川回帰性は明らかになっていない。また、ビワマスは水産重要種であり、資源の維持と種の保全を目的とした孵化放流事業が古くから行われているが、その効果は把握されていない。適切な資源管理法の策定には、回遊生態と放流効果に関する知見の蓄積が不可欠である。

近年、耳石の微量元素組成と安定同位体比が魚類の出生地判別に有用であることが明らかとなった。そこで本研究では、耳石の微量元素組成と Sr 安定同位体比による母川判別にに基づき、ビワマスの回遊生態を明らかにすることを目的とした。さらに、耳石の炭素・酸素安定同位体比を用いた放流魚の判別法から、放流効果を検討することも目的とした。

1. 耳石の微量元素組成と Sr 安定同位体比による母川判別

耳石の微量元素組成と Sr 安定同位体比を指標とした母川判別法の有用性を検討するため、2010年3月と2011年2月に琵琶湖水系河川である鶴川、安曇川、石田川、知内川、大川、天野川、犬上川とビワマスの養鱒場である滋賀県漁業協同組合連合会高島事業所(高島事業所)と滋賀県醒井養鱒場(醒井養鱒場)で計288個体のビワマス稚魚を採集し、その耳石を分析した。また、2009年11月、2010年3月、2011年3月に上記の9地点から河川水または飼育水(以下、両者を環境水と呼ぶ)を採取した。採集した稚魚の耳石の微量元素組成(Na/Ca, K/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca, Ba/Ca)はレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置(LA-ICP-MS)を用いて、Sr 安定同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)は表面電離型質量分析計(TIMMS)を用いて分析した。環境水の微量元素組成はICP-MS、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ はTIMMSを用いて分析した。その結果、稚魚の耳石のNa/Ca、K/Ca、Sr/Ca、Ba/Caと $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ に9地点間で有意な差がみられた(Kruskal-Wallis test, $p < 0.001$; Steel-Dwass test, $p < 0.05$)。同様に環境水の組成においても9地点間で違いがみられた。経年変化を調べるため、2010年と2011年に鶴川で採集した稚魚の耳石の組成を比較したところ、Na/CaとK/Caでは採集年の間に有意差がみられ(t-test, $p < 0.05$)、Sr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ では有意差はなかった(t-test, $p > 0.05$)。また耳石のSr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、環境水の値との間に有意な相関が認められた(Sr/Ca: $r^2 = 0.93$, $p < 0.001$; Ba/Ca: $r^2 = 0.66$, $p < 0.01$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: $r^2 = 0.95$, $p < 0.001$)。そこで、採集地点間の差が大きく、経年変化が小さく、環境水の値を反映するSr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が母川判別の指標として有用であると考えた。これらの値を用いて非線形判別分析を行ったところ、各採集地点の正判別率は57-100% (平均86%)と非常に高い値を得た。以上より、稚魚の耳石のSr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は母川判別の指標として有用であり、高い割合でビワマスの母川を判別できることがわかった。以下、Sr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を母川指標と呼ぶ。

2. 母川判別に基づいた湖内での回遊生態の検討

ビワマスの琵琶湖内での生態を明らかにするため、湖内回遊個体の生物学的基礎情報を調べるとともに、母川指標(Sr/Ca, Ba/Ca, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)を用いた母川判別を行った。2009年8月から2010年7月にかけて、琵琶湖北湖の鶴川沖、今津沖、長浜沖で引縄釣りによって計51個体の銀化したビワマスを採集した。同時に、釣具に装着したデータロガーでビワマスが針にかかった際の水深と水温を記録した。ビワマスが採集された水深は5-35 mで、水温はいずれも15°C以下(8-15°C)だっ

た。採集個体の体長は 217-455 mm(平均±標準偏差: 333 ± 59 mm)で、その範囲はどの地域でもほぼ同様だった。採集個体のうち、雌が 21 個体、雄が 6 個体で、その他は性判別ができなかった。体長 300 mm 以上で GSI の上昇がみられた。胃内容物は魚類とヨコエビのみであった。次に、採集個体のうち 24 個体の耳石で、河川生活期にあたる部分(核周辺部)の Sr/Ca と Ba/Ca を LA-ICP-MS を用いて分析した。また、同様の部分を Micro-Drilling 法によって掘削し、得られた試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を TIMS で分析した。湖内回遊個体の耳石の母川指標は、どの採集地域においても湖内の広い範囲に亘る河川の母川指標との一致がみられた。非線形判別分析により湖内回遊個体の母川判別を試みたところ、西部の河川(鶴川、安曇川、石田川、高島事業所)に判別された個体が 15 個体と最も多く、北部(知内川、大川)は 5 個体、東部(天野川、犬上川、醒井養鱒場)は 4 個体だった。また、どの採集地域、時期においても、西部、北部、東部に母川があるとみられる個体が混在した。以上より、湖内では様々な河川を母川とする個体が混合して生活しており、その生息域は水温や餌生物の分布が関係していると考えられた。

3. 母川判別に基づいた母川回帰性の検討

ビワマスの母川回帰性を検討するため、産卵遡上個体に対して耳石の母川指標による母川判別を試みた。産卵のため河川に遡上したビワマスを、2006 年 10 月と 11 月に鶴川、安曇川、知内川、天野川、犬上川で計 43 個体、2009 年 10 月と 11 月に安曇川、石田川、知内川、天野川で計 37 個体採集した。これら遡上個体の耳石について、河川生活期にあたる部分の母川指標を第 2 項と同様の方法で分析した。遡上個体の耳石の母川指標は、遡上河川のものとは必ずしも一致しなかった。非線形判別分析により産卵遡上個体の母川判別を行ったところ、母川に遡上したと判断された個体は 2006 年、2009 年ともに少なく、各河川の母川回帰率は 0-50 % だった。第 2 項と同様に河川を西部、北部、東部にまとめ、母川が属する地域の河川に遡上した個体の割合を求めたところ、その割合は各河川の母川回帰率よりも高くなった(13-90 %)。以上より、ビワマスの母川回帰性は弱いものの、少なくとも母川に近い河川へ遡上する傾向が強いものと考えられた。

4. 耳石の炭素・酸素安定同位体比による放流魚の判別

放流魚の判別手法を確立するため、野生稚魚と放流稚魚の耳石の炭素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)と酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)を調べた。2010 年 3 月と 2011 年 2 月に鶴川、安曇川、知内川、天野川、犬上川で計 127 個体の野生稚魚を、高島事業所、醒井

養鱒場から計 59 個体の放流稚魚を採集した。稚魚の耳石全体を試料とし、安定同位体比質量分析計を用いて $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を分析した。また、環境水の $\delta^{18}\text{O}$ と、稚魚の筋肉および河川で採集した餌生物と飼育用人工餌料の $\delta^{13}\text{C}$ も同様に分析した。耳石の $\delta^{18}\text{O}$ は野生稚魚で $-6.3 \pm 0.29 \%$ (平均値 \pm 標準偏差)、放流稚魚で $-7.8 \pm 0.26 \%$ であり、両者の間に有意な差がみられ(Steel-Dwass test, $p < 0.05$)、 -7% を境に明瞭に区分された。耳石の $\delta^{13}\text{C}$ の値は両者に重なりがみられたものの、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を組み合わせることで放流稚魚を明瞭に分離することができた。また、耳石の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を用いて非線形判別分析を行ったところ、野生稚魚と放流稚魚の正判別率は 100 % となり、両者を正確に判別することができた。野生稚魚と放流稚魚の間では、環境水の $\delta^{18}\text{O}$ と餌の $\delta^{13}\text{C}$ に差がみられ、経験した環境や餌の違いが耳石の安定同位体比に影響を及ぼしたものと考えられた。

次に、2009 年 11 月に安曇川に遡上したビワマス 50 個体と、2011 年 10 月から 11 月に安曇川、石田川、天野川、犬上川に遡上したビワマス計 55 個体の放流魚判別をおこなった。耳石の河川生活期にあたる部分を Micro-Drilling 法によって掘削して得られた試料の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を測定し、非線形判別分析により放流魚を判別した。その結果、2009 年では 6 個体(12 %)、2011 年では 16 個体(29 %)、全体では 22 個体(16 %)が放流魚であると判別された。以上より、2009 年と 2011 年に産卵遡上したビワマスの大部分は野生魚であり、ビワマス資源は近年においても自然産卵からの加入が大きく貢献していると考えられた。

本研究は、耳石の Sr/Ca、Ba/Ca、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ がビワマスの母川判別の指標として有用であることを示した。さらに湖内回遊個体と産卵遡上個体にこれらの指標に基づく母川判別法を適用することで、ビワマスの回遊生態の一端を明らかにした。ビワマスは湖内において、母川の地理的位置によらず広い範囲に分散しており、産卵遡上においては、母川回帰性は弱いものの母川に近い河川に遡上する傾向を示すことがわかった。また、耳石の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ が放流魚の判別に有用であることを実証し、産卵遡上個体の大部分が野生魚であることを示した。本研究で得られた知見は、ビワマスの生態の理解を深め、ビワマス資源の増殖・保全策の立案のための基礎情報を提供するものと期待される。