

Natural History of Fishes of Japan



ISSN 2435-7715

京都府舞鶴市の湧水地帯から採集されたマハゼによる淡水域での越冬の示唆

大戸夢木

Author & Article Info

1国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校生物生産学科 otoy@fish-u.ac.jp

08 July 2023 Received 21 July 2023 Revised Accepted 21 July 2023 Published 22 July 2023 DOI 10.34583/ichthy.34.0_23

Yumeki Oto. 2023. Suggestions for overwintering of the Yellowfin Goby in a freshwater spring in Maizuru City, Kyoto Prefecture, Japan. Ichthy, Natural History of Fishes of Japan, 34: 23-27.

Abstract

The Yellowfin Goby, Acanthogobius flavimanus, is a typical peripheral freshwater fish that has been thought to inhabit freshwater habitats from spring to autumn, followed by downstream migration to the sea or an estuary for overwintering. On November 19, 2016, a large individual of this species (148.8 mm in standard length) was collected from a spring freshwater environment near the sea in Kyoto, Japan. Based on the body size and the sampling season, this individual was assumed to have been collected at the age of one year, after undergoing one overwintering period. Then, this study investigated the migratory history of the individual to determine the possibility of overwintering in the freshwater area. Analysis of the otolith strontium and calcium concentrations estimated that this fish entered freshwater from the sea or brackish water only once, and that the entry occurred when the fish was a juvenile or young adult (-30 mm in length). These results suggest that the individual of the Yellowfin Goby overwintered near the sampling site, which is the first evidence of overwintering by the peripheral freshwater fish in a freshwater environment in a temperate area.

汽水域や沿岸域を主な生息場所とする周縁性淡水魚が 淡水域へ進入するタイミングは、温帯域を中心とした日本 において、春から秋の比較的水温の高い時期に限られるこ とが多い(四宮・池, 1992;赤崎, 2005;河村, 2005;間野, 2021). このように、周縁性淡水魚が低水温期に淡水域か ら汽水域や海へ戻る現象を引き起こす主要因としては,低 張環境における浸透圧調節能力が低水温時に低下すること が挙げられる (Zydlewski and Wilkie, 2013; Nakamura et al., 2016).

日本列島を含む東アジアに広く分布するマハゼ Acanthogobius flavimanus (Temminck and Schlegel, 1845) は、河川 汽水域や内湾を生息場所の中心としつつ、日和見的に淡水 域へ進入する周縁性淡水魚である(明仁ほか, 2013;松 崎ほか, 2014). 本種の繁殖期は緯度によって 1-5 月の幅 をもち、オスが汽水域の水深数メートルの砂泥底に巣穴 を掘り、その中で繁殖を行う(宮崎、1940;道津・水戸、 1955; 辻, 2005). 孵化後は産卵場所付近で1ヶ月ほどの 浮遊仔魚期を過ごしたのちに稚魚へ変態し、春から初秋に かけて河川汽水域や淡水域へ進入し, 成長することがわ かっている (宮崎, 1940;松﨑ほか, 2014). 一方,低水 温期である冬には、他の周縁性淡水魚と同様に淡水域から 姿を消し、海水の影響が強い河口域や沿岸域の深みへ移動 すると考えられている(宮崎, 1940;辻, 2005).しかし, 本種の越冬場所に関する明確な証拠は存在せず、果たして 淡水域が越冬場所として全く機能しえないのかということ は分かっていない. 冬の間も水温の低下が緩やかな淡水環 境では, 越冬に伴う生理的な問題を解決できる可能性もあ る.

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

https://www.museum.kagoshima-u.ac.jp/ichthy/articles.html https://www.jstage.jst.go.jp/browse/ichthy/-char/ja

2016年11月に、京都府舞鶴市にある真名井の清水と呼 ばれる湧水地帯 (Fig. 1A, B) において, マハゼの大型個 体 (標準体長 148.8 mm; Fig. 2A) が採集された.本個体の 体長は、先行研究が報告した11月における本種1歳魚の 平均体長(約150mm;星野ほか,1993)と類似すること から、本個体は越冬を一度経験し、孵化後1年半ほど経過 した時点で採集されたと推測された.この生息場所は、年 間を通して水温が安定する湧水地帯に位置することから, 本個体は汽水域や沿岸域で越冬する他個体とは異なり、越 冬時にも淡水域にとどまっていた可能性があると考えた. そこで本研究は、上記のマハゼ大型個体の成長に伴う塩分 環境利用の履歴を、耳石微量元素分析によって推定するこ とを試みた.本分析は、環境水からマハゼを含む魚類の耳 石に取り込まれた元素の濃度に基づき、個体の成長に伴う 利用塩分環境の変化を検出する手法であり、海や汽水域と 淡水域との間で行われた移動の有無や回数、さらにその移 動時の体サイズを推定することができる(大竹, 2010;松



В



Fig. 1. Location (A) and photograph (B) of the sampling point in the Shizutani River in Maizuru, Kyoto Prefecture.

崎ほか,2014). これにより,本研究では,対象個体が1 歳になるまでに経験した越冬時に湧水地帯の淡水環境にと どまっていたのかを検証した.

材料と方法

サンプル採集 本研究で用いたマハゼのサンプルは, 京都府舞鶴市七日市,静渓川の河口から約4kmの距離に 位置する地点(35°25′45.5″N 135°19′47.3″E; Fig. 1A)にお いて,2016年11月19日の22:00–23:30に手網で採集され た.本地点は,真名井の清水と呼ばれる,隣接して流れ る伊佐津川水系の伏流水を由来とする湧水地帯(京都府, 2023)の中にある.真名井の清水の水温は,年間を通じて 14–16°Cの範囲にあることが知られており(島野,1999), その湧水量は1日あたり約11,500 tと周囲の湧水と比較し てかなり多い(環境省,2020).採集地点は,この湧水の 水源から150 mほど下流に位置し(Fig. 1A),平均水深約 50 cmの止水域で,周囲は自然護岸に囲まれ,底質の大半 を砂泥が占めている(Fig. 1B).

採集地点における塩分は、温度補正機能付きの手持ち 屈折計(Master-S/Mill α,株式会社アタゴ)で計測した. 採集された個体は、採集地点の水とともにエアレーション





Fig. 2. Photograph of the whole body (A) and pre-ground otolith (B) of the targeted individual of *Acanthogobius flavimanus*. The head was detached from the body because the fish was photographed after removing the otolith.

を施しながら,京都大学吉田キャンパス内の研究室まで約 3時間かけて自動車にて輸送した.研究室へ到着後,2-フェ ノキシエタノール(和光純薬工業株式会社)にて麻酔した 後,体長,湿重量を計測し,耳石の摘出まで-30℃にて 冷凍保存した.

回遊履歴の推定 孵化から採集時までに対象個体が経 験した塩分環境を推定するため、成長とともに耳石の核か ら縁辺に向かって蓄積されたストロンチウム(Sr)とカル シウム(Ca)の濃度比(Sr/Ca比)を求めた. 微量元素分 析に供する標本を作製するため、解凍したサンプルから耳 石を摘出し(Fig. 2B)、エポキシ樹脂(エポフィックス、 ストルアス株式会社)に埋め込んだ. この時、耳石サンプ ルは、同じエポキシ樹脂を固めて作製した台座へ、水平方 向から約30°傾くように立てかけられた. 続いて、樹脂に 埋め込んだ耳石を#600-4000の研磨フィルム(ラッピング フィルムシート、3M社)で研磨し、直径1 µm のダイヤ モンド粒子(DPペースト、ストルアス株式会社)によっ て鏡面研磨したのち、耳石核を露出させた. 最後に、研磨 した表面を蒸留水で洗浄し、完全に乾燥させた.



Fig. 3. Scanning electron microscope image showing the left and right analysis lines (A) and graphs indicating changes in otolith strontium/calcium (Sr/Ca) ratios in *Acanthogobius flavimanus* (B). The dashed line in the graph indicates the cutoff value of the otolith Sr/Ca ratios when individuals were in marine/estuarine (>2.5) or freshwater environments (<2.5) (Matsuzaki et al., 2014).

作製した耳石標本について,表面に白金パラジウム(Pt-Pd)蒸着を施し、東京海洋大学産学・地域連携推進機構 が保有する電子プローブマイクロアナライザー(EPMA: JXA-8230,日本電子株式会社)を用いて、耳石のSrとCa の濃度を計測した.この計測の方法として、耳石の研磨面 上において核から左右方向に向かって縁辺まで最長軸とな るように2本の分析ラインをとり、線分析を行った(Fig. 3A).計測の設定として、加速電圧15 kV、ビーム電流1.2 × 10⁸A、ビーム径5 mm、測点間隔5 mm、照射時間は Sr を 10 秒、Caを6 秒とした.Sr および CaのX 線強度の濃 度変換を行うための標準試料には SrTiO₃ および CaSiO₃ を 用い、Ca に対する Sr 濃度比を 1,000 倍して Sr/Ca 比とした.

淡水進入時の体サイズの推定 対象個体が成長するに あたり,淡水域での越冬を経験していたかを検証するため, 淡水域へ進入した際の体サイズを,耳石の径と Sr/Ca 比の 推移パターンから推定した. 松崎ほか (2014) は,河川汽 水域から淡水域で採集された 144 個体のマハゼを対象に して,耳石中心から縁辺までの距離である耳石径 (x) と 体長 (y) について, y = 18.47e^{0.90x} という関係式を求めた. 本研究は,松﨑ほか (2014) と同様に Sr/Ca 比が安定的に 2.5 以下である場合を淡水生活期とみなし,耳石核から Sr/Ca 比が 2.5 以下にまで低下する点までの長さを求め,この値 を前述の関係式に代入することで,淡水域への進入時の体 長を推定した.なお,松崎ほか (2014)と同様に,Sr/Ca 比の低下時点の耳石中心からの距離は,研磨前に計測した 耳石径と分析ライン長の割合に基づいて補正された.

結 果

対象個体の標準体長,湿重量はそれぞれ148.8 mm, 51.3 gであった.本個体の性別は,宮崎(1940)に基づき, 生殖腺および頭部の形態からメスと判断された.また,胃 内容物として,ハゼ科に属すると考えられた小型魚類が 2 個体,エビ類とトンボ亜目の幼虫(ヤゴ)がそれぞれ1 個体ずつ認められた.採集地点の水温は16.1℃,塩分は0 であった.

耳石における Sr/Ca 比は,左および右の縁辺に向かっ て設定した EPMA 分析ライン上のそれぞれ核から 0.480, 0.500 mm までの点において 4.5±0.6,4.7±0.8 (平均±標準 偏差)であり,2.5を下回る点はなかった (Fig. 3B). 一 方,それらの点よりも縁辺側では Sr/Ca 比が急激に 2.5 以 下へ低下し,平均と標準偏差は左右の分析ラインでそれぞ れ1.0±0.5,0.9±0.4 であった.一度 Sr/Ca 比が 2.5 を下回っ た後は,左分析ラインにおける前述の変動点に近傍の1点 (核から 0.505 mm の距離)を除き,全ての点で再び 2.5 を 上回ることはなかった.なお,淡水進入時における体長の 過小評価を避けるため,左分析ラインについては,Sr/Ca 比が再度 2.5 を上回った,核から 0.505 mm の点までの距 離を推定に用いた.

研磨前の耳石径から,採集時の体長を松崎ほか(2014) の耳石径と体長の関係式によって推定したところ,146.8 mmという値が得られ,実際の体長(148.8 mm)と類似した. 耳石核から Sr/Ca比が低下する点までの距離と上記の式に 基づき,淡水域へ進入した際の体長は,核から左,右への 分析ラインでそれぞれ 30.4 mm,32.0 mmと推定された.

考察

マハゼは内湾や汽水域を生息場所の中心とし(宮崎, 1940;明仁ほか,2013),本種の淡水域の利用に関する報 告は,これまで中規模から大規模河川の下流部に限られ ていた(金澤ほか,1997;向井・古屋,2010;松崎ほか, 2014).本研究のように,湧水が卓越する淡水環境におい てマハゼの成魚が採集されたという報告はなく,これ自体 が興味深い記録といえる.調査を行った静渓川は,河口か ら約1km 遡ると幅約2m,水深1m以下の三面護岸の流 路となり,さらに約0.5km上流付近から潮汐の影響が見 られなくなる(大戸,個人観察).このことから,採集さ れた個体は少なくとも2kmにわたって淡水域を遡上した 後,湧水環境を利用していたと考えられる.また,対象個 体の胃内容物から複数の動物が確認されたことから,この 湧水環境が本個体の摂餌場所として機能していたことも示 唆された.

本研究で用いた個体は、2015年から2016年にかけての 冬を経験していたと考えられる.マハゼには、1年で成熟 後に産卵して死亡する成長が早い群の他に, 成長が遅く, 成熟に2年以上を要する群が存在するとされている(星 野ほか, 1993;片山ほか, 2000;辻, 2005). 宮城県名取 川河口域における調査では、本研究の採集月と同じ11月 における当歳魚の体長は最大で約100mmと、本研究の 個体よりもかなり小さいことが報告されている(片山ほ か、2000). また、北海道函館湾においても同様に当歳魚 の11月における体長は最大でも約100mmであるのに対 し、1歳魚の体長は平均で約150mmと本研究で用いた個 体のサイズ(体長148.8 mm)とほぼ一致する(星野ほか, 1993). 本研究の調査地点とより緯度の近い茨城県涸沼に おける研究では、当歳魚と1歳魚を区別していなかったも のの、体長の頻度分布から、11月時点での当歳魚の体長 は平均で 90-100 mm, 最大でも約 120 mm であったと推定

される(中村,2002).以上を総合すると,本研究の個体は, 先行研究で確認された11月時点の当歳魚よりも十分に大 きく,1歳魚と同様のサイズを示していることから,一度 越冬を経験した1歳魚であると考えるのが自然である.

耳石微量元素分析の結果は、本研究の個体が一度だけ 海または汽水域から淡水域へ進入し、その後淡水域に留ま り続けたというシナリオを支持している.先行研究では、 淡水域で採集されたマハゼの耳石縁辺部のSr/Ca比は2.5 以下であるのに対し、汽水域(塩分2-29)で採集された 個体では5前後であることが報告されている(松﨑ほか、 2014).本研究の個体において、耳石のSr/Ca比が核から 縁辺に向かってしばらくはおよそ4-5を推移していたこと は、孵化後に体長20mm程度の稚魚期までは産卵場所で ある汽水域や内湾に留まるという本種の一般的な初期生 活史パターン(道津・水戸、1955; Kanou et al., 2005)を反 映していたと考えられる.一方、耳石縁辺部側においては Sr/Ca比が1前後で安定しており、一度だけ海または汽水 域から淡水域への進入を経験し、採集日まで淡水域に留ま り続けていた可能性が高い.

本個体が淡水域へ進入した際の体長が約30mmであっ たという耳石微量元素分析に基づく推定の信頼度は高いと いえる.この理由としてまず,採集時点の体長の観測値と, 松﨑ほか(2014)による体長と耳石径の関係式からの推定 値が類似し、この式が本個体においても有効らしかったこ とが挙げられる. さらに, 微量元素分析の左右の分析ライ ンで同様の推定値が算出されたことは、核から縁辺への方 向によって Sr の蓄積パターンに大きな偏りが生じていな いことを示している. 30 mm という体長の値は、松崎ほ か(2014)における本種の東京湾流入河川への遡河時の体 長(19.7-44.0 mm)と類似し、春の孵化から 2-3 ヶ月程度 しか経過していない時点での体サイズに相当する(鈴木ほ か、1989;中村、2002).また、越冬を経験した1歳魚の 体長は最低でも 70 mm であるため(宮崎, 1940;星野ほか, 1993;片山ほか, 2000),本研究の個体が,淡水進入時に は越冬を経験していない当歳魚であったことはほぼ確実で ある.また、その後に淡水域から汽水域または海に出た痕 跡は認められなかったことから、本個体が湧水地帯付近の 淡水域において越冬していたと考えるのが妥当である.

本研究において示唆されたマハゼによる淡水域での越 冬には、湧水環境の水温特性が寄与している可能性がある. 温帯域に生息する複数の周縁性淡水魚や河口偶来魚におい て、厳冬期の水温条件下では、体液より低張な環境にお ける死亡率が著しく高まることが知られている(Lankford and Targett, 2001; Nakamura et al., 2016).マハゼにおいて水 温と浸透圧調節能力の関係性を示した研究はないが、一 般的には本種が冬に淡水域を離れるという事実(宮崎、 1940;辻, 2005)は、同様の生理的問題が生じることを示 唆している.一般に,日本において,湧水地帯の冬季の水 温は,他の河川や湖沼におけるそれよりも高い(矢島ほか, 2015).本調査地では年間を通じた水温のモニタリングを 行なっておらず,年間の水温変動に関する直接的な証拠は ないが,調査地点の真名井の清水を含む若狭湾周辺の湧水 の多くの水温は年間を通じて14-16℃であることが知ら れている(島野,1999).また,真名井の清水における湧 水量は1日あたり約11,500 t と多く(環境省,2020),さ らに,採集地点が水源にごく近接していたことから,そこ での冬季の水温低下は緩やかである可能性が高いと考えら れる.湧水に起因する生息場所の水温変化の穏やかさは, 本研究の個体が越冬した際,淡水中で生じる生理的なスト レスを緩和させていた可能性がある.

本研究の問題点として,ごく短期間のみの塩分環境の 変化は今回の耳石微量元素分析では検出できない可能性が あり,本個体が汽水域を介して湧水地帯と隣接河川の淡水 域との間を行き来していた可能性を完全には否定できてい ない.また,対象としたのは1個体のみのため,マハゼに おける湧水環境の利用の普遍性は不明である.本種が恒常 的に湧水地帯で越冬していることや,湧水地帯の水温特性 がその淡水域での越冬に寄与していることを断言するに は,より詳細な野外調査と,冬季の低張環境に対する本種 の生理的順応性を明らかにする必要がある.

謝 辞

東京海洋大学産学・地域連携推進機構には,耳石の元 素分析において,電子マイクロアナライザーの借用を通じ て支援いただいた.東京海洋大学集団生物学研究室のスト ルスマンA.カルロス博士,須玉美奈子氏,塚田由貴氏には, 電子線マイクロアナライザーを使った元素分析において技 術的なご協力をいただいた.国立研究開発法人水産研究・ 教育機構水産技術研究所の中村政裕博士には,本文への助 言ならびに調査地点の写真撮影にご協力いただいた.査読 プロセスにおいては,Ichthy 担当編集委員の木村祐貴博士 および匿名の1名の査読者から,原稿に対する有益な助言 をいただいた.なお本研究は,日本学術振興会科学研究費 (22K20597)の助成を受けて行われた.

引用文献

間野静雄. 2021. 愛知県庄内川における魚類の流程分布. 豊橋市自 然史博物館研究報告, 31: 57–71. URL

- 赤崎正人. 2005. クロダイ, pp. 530-531. 川那部浩哉・水野信彦・ 細谷和海(編)山渓カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と渓 谷社, 東京.
- 明仁・坂本勝一・池田祐二・藍澤正宏. 2013. マハゼ, p. 1404. 中 坊徹次(編)日本産魚類検索 全種の同定. 第3版. 東海大学出 版会, 秦野.
- 道津喜衛・水戸 敏. 1955. マハゼの産卵習性および仔, 稚魚について. 魚類学雑誌, 4: 153–161. <u>URL</u>
- 星野 昇・木下哲一郎・菅野泰次. 1993. 北海道函館湾におけるマ ハゼの年齢と成長および生態的特性. 北海道大學水産學部研究彙 報,44:147–157. URL
- 金澤 光・田中繁雄・山口光太郎. 1997. 埼玉県の生息魚類の分布 について. 埼玉県水産試験場研究報告, 55: 62–97. URL
- 環境省. 2020. 平成の名水百選.環境省ホームページ 水環境総合 情報サイト 公開情報 2020 年 12 月 1 日. <u>URL</u> (29 June 2023)
- Kanou, K., M. Sano and H. Kohno. 2005. Larval and juvenile fishes occurring with flood tides on an intertidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Ichthyological Research, 52: 158–164. URL
- 片山知史・酒井敬一・岩田剛・本多 仁. 2000. 名取川河口・広浦 におけるマハゼの生活史. 宮城県水産研究開発センター研究報告, 16: 93–97. URL
- 河村功一. 2005. スズキ, p. 485. 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 (編)山渓カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と渓谷社,東京.
- 京都府. 2023. 京都の自然 200 選 真名井の清水. 京都府ホームページ 暮らし・環境・人権 2023 年 6 月 8 日. URL (29 June 2023)
- Lankford, T. E., Jr. and T. E. Targett. 2001. Low-temperature tolerance of age-0 Atlantic croakers: recruitment implications for U.S. mid-Atlantic estuaries. Transactions of the American Fisheries Society, 130: 236–249.
- 松崎圭佑・加納光樹・河野 博. 2014. 耳石微量元素分析によって 明らかにされた東京湾産マハゼの稚魚期での河川遡上履歴. 日本 水産学会誌, 80: 928–933. URL
- 宮崎一老. 1940. マハゼに就て. 日本水産学会誌, 9:159-180. URL
- 向井貴彦,古屋康則. 2010. 長良川河口堰による魚類群集の変化 汽水域生態系の消滅 –. 長良川下流域生物相調査報告書 2010, 4: 38–53. URL
- 中村 誠. 2002. マハゼの成長と成熟について. 茨城県内水面水産 試験場調査研究報告, 37: 29–34. URL
- Nakamura, M., R. Masuda, K. Tsukamoto and T. Otake. 2016. Narrowed temperature adaptability in non-natal osmotic environments of two euryhaline wanderers, dace and black porgy: implications for seasonal habitat changes. Fisheries Science, 82: 261–268. URL
- 大竹二雄. 2010. 耳石解析, pp. 100–109. 塚本勝巳(編)魚類生態 学の基礎. 恒星社厚生閣, 東京.
- 島野安雄. 1999. 京都府・福井県の名水, pp. 107–117. 日本地下水 学会(編)続 名水を科学する. 技報堂出版, 東京.
- 四宮明彦・池 俊人. 1992. 奄美大島における陸水域の魚類相. 鹿 児島大学水産学部紀要, 41: 77-86. <u>URL</u>
- 鈴木伸洋・柵瀬信夫・杉原拓郎. 1989. 人工ふ化飼育によるマハゼの卵発生と仔稚魚の発育過程.水産増殖,36:277-289. URL
- 辻 幸一. 2005. マハゼ, p. 624. 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 (編)山渓カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と渓谷社,東京.
- 矢島 啓・新谷哲也・宮本仁志. 2015. 熱・塩分の動態, pp. 55–99. 土木学会水工学委員会環境水理部会(編)環境水理学. 土木学会, 東京.
- Zydlewski, J. and M. P. Wilkie. 2013. Freshwater to seawater transitions in migratory fishes, pp. 253–326. In McCormick, S. D., A. P. Farrell and C. J. Brauner (eds.) Euryhaline fishes. Academic Press, New York.