

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

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 鹿児島大学総合研究博物館 公開日: 2023-09-07 キーワード: 作成者: 大戸, 夢木 メールアドレス: 所属: 水産研究・教育機構
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2000002



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¹

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

Received 08 July 2023
Revised 21 July 2023
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(Zydwski 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; 松崎ほか, 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.

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150 mm; 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

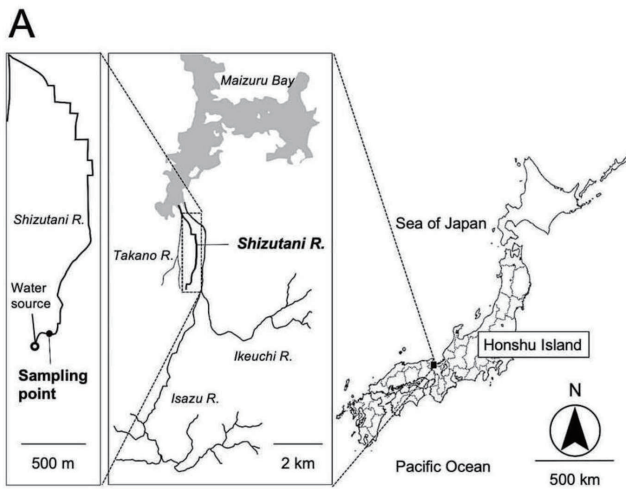


Fig. 1. Location (A) and photograph (B) of the sampling point in the Shizutani River in Maizuru, Kyoto Prefecture.

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.

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, 静溪川の河口から約4 km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

をしながら, 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°C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 μ m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.

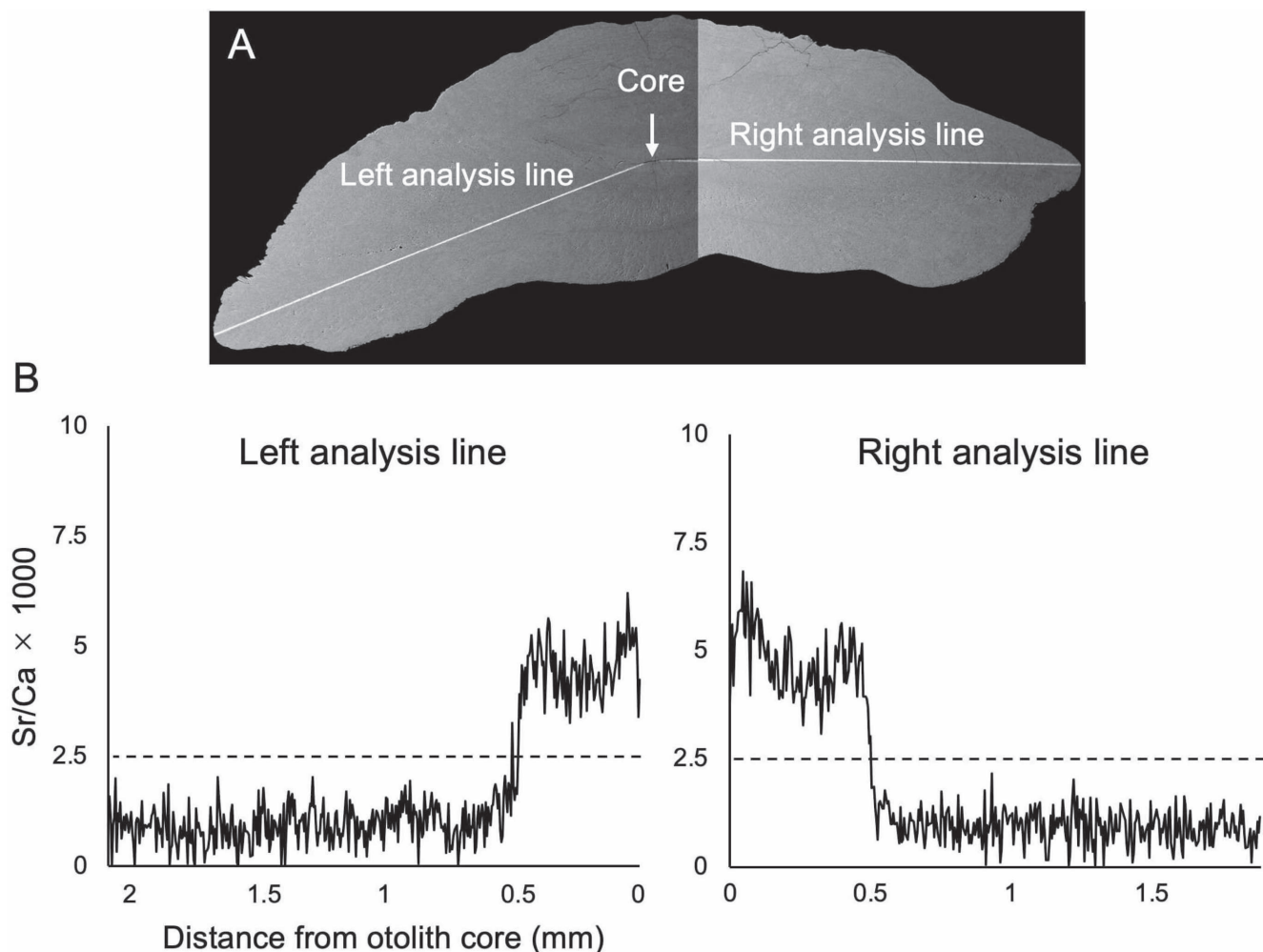


Fig. 3. Scanning electron microscope image showing the left and right analysis lines (A) and graphs indicating changes in otolith strontium/calcium (Sr/Ca) ratios in *Acanthogobius flavimanus* (B). The dashed line in the graph indicates the cutoff value of the otolith Sr/Ca ratios when individuals were 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 1.2×10^{-8} A, 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 SrTiO_3 および CaSiO_3 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、松崎ほか (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、エビ類とトンボ垂目の幼虫 (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°C, 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 \pm 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 を上回することはなかった。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。調査を行った静溪川は、河口から約 1 km 遡ると幅約 2 m, 水深 1 m 以下の三面護岸の流路となり、さらに約 0.5 km 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 2 km 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 100 mm 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 100 mm であるのに対し、1 歳魚の体長は平均で約 150 mm 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 歳魚であると考えするのが自然である。

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 (松崎ほか, 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およそ 4–5 を推移していたことは、孵化後に体長 20 mm 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 30 mm 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、松崎ほか (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°C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)山溪カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 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. [URL](#)
- 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. 北海道大学水産学部研究彙報, 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. [URL](#) (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)山溪カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 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. [URL](#)
- 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)山溪カラー名鑑. 改訂版. 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 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.
- Zydlowski, 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.