原著論文 Original Paper

# 沖縄島南部におけるイズミハゼ Mugilogobius sp. と ナミハゼ M. chulae の生活史特性

## 國島大河<sup>1,2</sup>·立原一憲<sup>3</sup>

1〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地 琉球大学大学院理工学研究科海洋環境学専攻

<sup>2</sup> 〒 642–0001 和歌山県海南市船尾 370–1 和歌山県立自然博物館

<sup>3</sup> 〒 903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地 琉球大学理学部

(2018年10月12日受付; 2019年3月11日改訂; 2019年3月20日受理; 2019年6月26日 J-STAGE 早期公開)

キーワード:アベハゼ属,生息環境,繁殖,保全,定量調査,日齢解析



Taiga Kunishima\* and Katsunori Tachihara. 2019. Life history traits of *Mugilogobius* sp. and *M. chulae* on southern Okinawa-jima Island, Japan. Japan. J. Ichthyol., 66(2): 161–170. DOI: 10.11369/jji.18-041.

Abstract The species of Mugilogobius sp. (Japanese name: Izumi-haze) and M. chulae are both common species, sympatrically inhabiting the estuaries and tidal flats of Okinawajima Island. Some species of Mugilogobius has a urea cycle, and their processing ability is higher, especially in northern distributed species, such as M. abei and Mugilogobius sp. It is possible to differentiate their life history traits and habitats on the basis of urea processing ability. However, because little is known in detail of their life history and habitat, Mugilogobius sp. and M. chulae were investigated through monthly sampling conducted on the southern part of the Sashiki Tidal flat and Manko Wetland on Okinawa-jima Island, from January 2012 to January 2013. The spawning seasons of Mugilogobius sp. and M. chulae are from January to October and April to October, respectively, with peaks in the summer period (April to October), indicating that maturity in both species is closely related to changes in water temperature. A comparison with the spawning season of *M. abei*, a temperate region species, revealed the subtropical species to spawn over a longer period. Estimates of daily age from otolith analyses indicated the possibility of recruitment from other areas, since histological observations revealed mismatches of gonads and birthmonths between different spawning seasons, as estimated by back-calculations of daily age. The longevity of Mugilogobius species was about six months. The study also revealed the growth rate of Mugilogobius sp. to be similar to that of M. chulae. Mugilogobius chulae locally inhabited mangrove habitats, whereas Mugilogobius sp. showed wide habitat use and was less susceptible to decreasing habitat than the former. Accordingly, future conservation of *M. chulae* is dependent upon suitable mud habitat associated with mangroves.

\*Corresponding author: Wakayama Prefectural Museum of Natural History, 370–1 Funo, Kainan, Wakayama 642–0001, Japan (e-mail: taigakunishima@gmail.com)

アベハゼ属 Mugilogobius は、インド・西太平 洋の温帯から熱帯の汽水域に広く分布する ハゼ科魚類であり、世界で約25種、日本で7種 が確認されている(Larson, 2001;鈴木ほか、 2004).本属魚類は、日本では琉球列島に多く、 温帯域にあたる日本本土ではアベハゼ M. abei の みが分布する、イズミハゼ Mugilogobius sp. は、

長年アベハゼと同種だと考えられていたが、明仁 (1969)によって標準和名が提唱され、その後、 Mukai et al. (2000)により遺伝的にも分化してい ることが明らかにされた.両種は、尾柄の模様が 縦縞か、複数の横縞かで判別されるが、種子島や 上甑島、宮崎県では、中間的な模様を示す交雑個 体が記録されており(向井、2001、2010;村瀬ほ か. 2015)、きわめて近縁であると考えられている、 アベハゼ属の中には、体内のアンモニアを尿素 にして排出する尿素回路を持つ種が知られる (Mukai et al., 2000). 尿素回路の処理能力は、温帯 種のアベハゼと琉球列島固有種のイズミハゼで高 く,東南アジアを含む琉球列島以南に広く分布す る他種で低いことから、本属魚類が北方へ進出す る中で、干潟や河口域の高アンモニア条件下に適 応するために獲得したと考えられている(Mukai et al., 2000). イズミハゼとナミハゼ M. chulae は, 沖縄島で普通にみられ、同所的に生息するが、両 種の尿素処理能力は異なる (Mukai et al., 2000). 一般的に魚類の生活史特性は、環境によって変異 することが知られており(例えば, Goto, 1998), 両種間でも尿素回路の能力によって差異が生じる かもしれない. また、両種は、河川河口域で同所 的に生息するが、イズミハゼが石やカキ殻の間、 ナミハゼがマングローブ林や汽水性湿地に多いと されており(鈴木ほか, 2004)、微細生息場所は 異なる可能性がある.しかし、イズミハゼとナミ ハゼの繁殖生態や、成長、生息環境に関する知見 は極めて乏しく、その生活史には不明な点が多い. そこで本研究では,沖縄島南部の干潟域で同所的 に生息するイズミハゼとナミハゼについて、成熟 と日齢,成長,生息環境といった生活史特性の解 明を目的とした.

### 材料と方法

標本の採集と処理 2012年1月-2013年1月に 沖縄島南部(漫湖,佐敷干潟;Fig.1)で,手網 によってイズミハゼとナミハゼを採集し,これら の個体を生殖腺の観察と,日齢および孵化日の推 定に用いた.冷蔵で採集個体を研究室に持ち帰り, 全長と標準体長(Standard length: SL;以下,体長)



**Fig. 1.** Maps showing the study sites at Manko Wetland and Sashiki tidal flat in Okinawa-jima Island, Japan.

を計測した.ハゼ科魚類では,生殖突起の形状の 違いから雌雄判別が可能であることが多い(例え ば,マサゴハゼ:道津,1958).本種においても, 雌の生殖突起は太く丸みを帯び,雄は平たく先端 が尖っていたことから,生殖突起の形状から雌雄 を判別した.なお,本研究では,生殖腺の組織学 的観察も行った上で,生殖突起の形態の差異が雌 雄の判別に活用できることを確認した.その後, 頭部と尾部を切断し,胴体ごと生殖腺を10%ホ ルマリンで固定した.加えて,頭部から耳石(扁 平石)を取り出した.また,漫湖では毎月1回, アルコール水温計を用いて水温を測定した.

生殖腺の観察 固定した胴体をアルコール系列 で脱水し、パラフィンで包埋後、ミクロトームに より厚さ 6-15 µm の組織切片を作成した.マイ ヤーのヘマトキシリンとエオシンによる2重染色 を薄切切片に施した後, スライドガラスに封入し た. 光学顕微鏡下で切片を 40-400 倍で観察した. また,卵巣卵の発達段階は,Kuno and Takita (1997) および北野ほか(2003)を参考にして,8段階(周 辺仁期,卵黄胞期,第1次卵黄球期,第2次卵黄 球期, 第3次卵黄球期, 核移動期, 前成熟期, 成 熟期)に区分した.本研究では,第3次卵黄球期 以降の卵母細胞を持つ個体を成熟個体、それ以外 の成熟段階の個体を未成熟個体とした.なお、本 研究では卵巣の部位によって卵巣卵の発達に差異 はないことが確認されたため、部位にかかわらず 発達段階の判別を行った.また、体長階級(1 mm 単位) ごとの成熟割合をロジスティック曲線 に当てはめ、成熟個体の出現頻度が 50% となる 50% 成熟体長を求めた. ロジスティック曲線のパ ラメーターは最尤法により推定した.

**耳石微細輪紋の日周性** イズミハゼにおいては, 2006年4月9日と2007年9月26日に孵化した仔 稚魚を用いて(水槽孵化個体),耳石微細輪紋の 日周性を確認した.飼育条件は,水温22.0-26.2 (平均24.0)°C,塩分20であった.アルコール固 定された孵化後0,5,10,15,20,25,30,35, 40日の標本,それぞれ2個体から,採集個体と 同様の手順で,耳石の微細輪紋数を計数した.

ナミハゼにおいては,2012 年 9 月に漫湖干潟 と佐敷干潟で採集した野生個体を用いて,耳石微 細輪紋の日周性の確認を行った.採集されたナミ ハゼ (*N* = 6) については,生かしたまま研究室 に持ち帰った.その後,プラスチック製の容器(幅 × 奥行 × 高さ : 26.0×16.5×7.5 cm)に移し,エアレー ションを施した状態で,水温 22.4-26.3 (平均 24.3) °C,塩分23の条件下で飼育した.飼育環 境に採集個体を2日間馴致させた後,飼育水2L に対しアリザリンコンプレキソン(関東化学製)0.2 gを溶かした水溶液中で,24時間飼育した.その 後,10日間汽水に戻してから,再び水溶液中で 24時間飼育した.なお,アリザリンコンプレキ ソン濃度はHernaman et al.(2000)を参考に決定 した.蛍光染色した耳石は,蛍光顕微鏡下で観察 し,アリザリンコンプレキソンで蛍光染色された 輪紋間に形成された輪紋数を計数した.

孵化日の推定 耳石微細輪紋を計数するため, 西丸ほか(2018)に従って耳石切片を作成した. まず、光学顕微鏡下で核の位置を確認した後、ス ライドグラスの端に耳石を置き、クリスタルボン ド (クリスタルボンド 509,株式会社オーデック製) で固定した.この時,耳石の一部がスライドグラ スの端から外側へ突き出し、かつ耳石の核がスラ イドグラス上に残るようにした。紙やすり(タイ スイペーパーSC1500 および 2000, KOVAX 製) を用いて, スライドグラスから突き出た部分の耳 石を外側から核付近まで研削および研磨した. ホットプレートで加熱してクリスタルボンドを溶 かし,一度スライドグラスから耳石を取りはずし た後、耳石の研磨面を下にして、スライドグラス 上面部に接するよう,再度クリスタルボンドで固 定した. 上記と同じ紙やすりを用いて, 研磨面に 対して平行方向に耳石の核付近まで研削および研 磨した後、塗装用研磨剤(3000液体コンパウンド、 SOFT99 コーポレーション製)で、耳石表面の微 小な凹凸を研磨した.以上の手順で作成した耳石 切片を透明なマニキュア(Dトップコート MA, 株式会社大創産業製)で包埋した.ただし、10 mm SL 以下の個体の耳石は、透明なマニキュア でスライドグラスに包埋し, 紙やすりと塗装用研 磨剤で表面を研磨した.片面研磨標本を観察して も輪紋が不明瞭であった場合、クリスタルボンド は再加熱、マニキュアはマニキュア除去液(ネイ ルリムーバー,株式会社大創産業製)で包埋材を 溶かし、もう一方の耳石面を上にして再包埋した 後,再び上記の方法で両面研磨を行った.いずれ の耳石研磨標本も、光学顕微鏡下(倍率:40-400 倍) で微細輪紋の観察と計数を行った. 解析には, 原則的に右側の耳石を使用した.核から耳石の縁 辺までの微細輪紋数を日齢と仮定し、輪紋の計数 は少なくとも2回行った.以上の手順によって推 定された日齢と採集日から,孵化日を推定した.

定量調査 両種の生息環境と個体数密度を調べ



**Fig. 2.** Location of 42 quadrats (black dots) on Sashiki tidal flat, Nakagusuku Bay, Okinawa-jima Island, Japan. Mangrove forests indicated by gray shading, water at low tide by dark shading; drains indicated by \*.

るため、佐敷干潟において、2012年10月31日 -12月12日に定量的な魚類採集を行った.若潮か ら大潮において、昼間の干潮時刻前後4時間以内 に42個のコドラート(St.1-42;1m<sup>2</sup>)を潮だまり もしくは澪の中に設置し、調査を行なった(Fig.2). Meager et al. (2005)とKunishima and Tachihara (2018) を参考に、目合1.0 mm以下の手網を用いて、コ ドラート内に存在する全ての魚類を5分間採集し、 イズミハゼとナミハゼの個体数を計数した.調査 地である佐敷干潟西部の水路内、築島内、北東部 の水路周辺にはマングローブ植物(メヒルギ Kandelia candel)、築島外縁部には転石がみられ、 それ以外は泥底か砂泥底であった(Fig.2).

#### 結 果

水温の経月変化 調査期間中の漫湖における水 温は,8月に最高値(28.5℃)を示し,2,3月に 最低(21.0℃)であった(Fig.3).また,水温は, 4月から上昇し始め,9月以降に下降した.

体長組成 調査期間中にイズミハゼ計 410 個体 (6.2-36.7 mm SL), ナミハゼ計 354 個体 (6.3-32.4 mm SL)を採集した. 採集場所別にみると, イズ ミハゼは, 漫湖で 113 個体, 佐敷で 297 個体, ナ ミハゼは, 漫湖で 165 個体, 佐敷で 181 個体であっ た. 雌雄別にみると, イズミハゼは, 雄 99 個体 (12.4-34.9 mm SL), 雌 235 個体 (6.4-36.7 mm SL), 性別不明個体 76 個体 (6.2-20.5 mm SL) であり, 雌の個体数が雄の約 2 倍に達した. 一方, ナミハ ゼでは, 雄 59 個体 (9.1-32.4 mm SL), 雌 205 個 体 (7.0-25.9 mm SL), 性別不明個体 90 個体 (6.3-



**Fig. 3.** Monthly changes in water temperature at Manko Wetland, Okinawa-jima Island, Japan.



**Fig. 4.** Monthly changes in size frequency of *Mugilogobius* sp. (A) and *M. chulae* (B) from Okinawajima Island from January 2012 to January 2013. \* Birth months estimated from otolith daily increments.

17.8 mm SL)であり、イズミハゼと同様に雌が多かった. イズミハゼは、4-7、10 月に 6-8 mm SL の小型個体が出現した(Fig. 4A). ナミハゼは、7-11 月に 7-8 mm SL の小型個体が出現した(Fig. 4B).

**卵母細胞の成熟段階**本研究で観察された卵母 細胞の発達段階は、周辺仁期、卵黄胞期、第1次 卵黄球期,第3次卵黄球期,核移動期,成熟期の 6段階であった.また、両種間で卵母細胞の発達 に大きな差異はなかった.以下に各段階の詳細を 示す. (1) 周辺仁期 (peri-nucleus stage): 細胞質 はヘマトキシリンに強く染色され、核内に仁がみ られた (Fig. 5A). 卵径は, イズミハゼ 53.7±22.4 μm(平均値±標準偏差),ナミハゼ 67.1±24.7 μm であった. (2) 卵黄胞期 (yolk vesicle stage):細 胞質はヘマトキシリンに染色されるが、染色性は 不均一であった(Fig. 5B). 卵径は, イズミハゼ 83.8±14.1 µm, ナミハゼ 101.7±15.0 µm であった. (3) 第1次卵黄球期 (primary yolk globule stage): エオシンに好染する卵黄球が細胞質に確認され始 めた (Fig. 5C). 卵径は、イズミハゼ 118.7 ± 21.3 μm, ナミハゼ 168.2±31.8 μm であった. (4) 第3 次卵黄球期(tertiary yolk globule stage):卵黄球の 蓄積が進み、ヘマトキシリンに好染する細胞質が 核周辺のみに出現したか, または確認されなくなっ た (Fig. 5D). 卵径は、イズミハゼ 281.7 ± 49.3 μm, ナミハゼ 283.8 ± 46.2 μm であった. (5) 核 移動期 (migratory nucleus stage): 卵母細胞の中心 にあった核が動物極に移動した.また、油球は、 核の移動方向と反対側で癒合した(Fig. 5E).本 発達段階の卵母細胞は、ナミハゼの1個体のみで みられ, 卵径が 214.0 μm であった. (6) 成熟期 (maturation stage): 核膜が消失し, 卵黄球が癒合 した (Fig. 5F). 卵径は, イズミハゼ 344.9 ± 27.6 μm, ナミハゼ 362.2 ± 28.5 μm であった.

成熟段階の経月変化 各月での成熟段階をみる と、イズミハゼでは、第3次卵黄球以降の成熟個 体が1–10月に出現した(Fig. 6A). 成熟個体の出 現頻度は、4、8月に高く(75–80%)、その他の月 は16–44%であった. 一方、ナミハゼは、成熟個 体が4–10月に出現し、5、7、8月に70–91%と高 い割合を示した後、9、10月には5–11%と低い値 をとった(Fig. 6B).

成熟体長 イズミハゼ雌の成熟個体は,体長範囲が19.0-36.7 mm SL であり,8月に出現した19.0 mm SL が最小であった(Fig. 7A).また,ナミハゼ雌の成熟個体は,体長範囲が15.6-25.9 mm SL であり,8月に出現した15.6 mm が最小であっ

た (Fig. 7B). ロジスティック曲線は,イズミハ ゼが  $P_{SL} = 1 / (1 + e^{(-9.2959 - 0.3669SL)})$ ,ナミハゼが  $P_{SL} = 1 / (1 + e^{(-11.5492 - 0.6473SL)})$ の関係式で表され,推定された 50% 成熟体長は、イズミハゼで 25.3 mm SL, ナミハゼで 17.8 mm SL であった (Fig. 7).

微細輪紋の日周性 イズミハゼの孵化仔魚の飼 育日数と微細輪紋数は,ほぼ一致した(Fig.8; 近似直線:Y=0.93X+1.23, R<sup>2</sup>=0.99).孵化仔魚 の耳石を観察したところ,すでに微細輪紋が1本 形成されていた.次にアリザリン水溶液下での飼育によって蛍光染色されたナミハゼの耳石微細輪紋を Fig. 9A に示す.ナミハゼは,6 個体(15.1-21.8 mm SL)で,アリザリン染色された輪紋間の平均輪紋数が 9.5 本であり,体長にかかわらず,10 日間の飼育によって本来形成される輪紋数 10 本とほぼ一致した(Fig. 9B).

**孵化日の推定** 耳石微細輪紋数を確認できた個体は、イズミハゼが日齢 20-150(6.4-32.4 mm



**Fig. 5.** Photographs in of maturation stages in *Mugilogoius chulae*. A: Perinucleolus stage, B: Yolk vesicle stage, C: Early yolk stage, D: Late yolk stage, E : Migratory nucleus stage, F: Maturation stage. Black bars show 50 μm.



**Fig. 6.** Monthly frequency of maturation stages in *Mugilogobius* sp. (A) and *M. chulae* (B) on Okinawa-jima Island from January 2012 to January 2013. Developmental stages indicated as follows: white, peri-nucleus stage; weak dots, yolk vesicle stage; grey, primary yolk globule stage; slashed line, tertiary yolk globule stage; strong dots, migratory nucleus stage; black, maturation stage. \* : Birth months estimated from otolith day increments.



Fig. 8. Relationship between day after hatching and number of daily increments in *Mugilogobius* sp. Dotted line is approximation curve (y = x+1). Triangles indicate average points.

SL), ナミハゼが日齢 22–137 (7.0–21.2 mm SL) であった (Fig. 10). また,日齢から推定された 孵化月は,イズミハゼが 1, 3, 4, 7, 9, 10 月 (3–11 月採集),ナミハゼが 1–11 月 (3, 4, 6–12 月採集)



**Fig. 7.** Cumulative histograms of size (standard length) of *Mugilogobius* sp. (A: 25.3 mm at 50 % of maturity size) and *M. chulae* (B: 17.8 mm). Values indicate size at which 50% of sampled fish were mature. Black and white points indicate frequency of mature individuals in each size class (at 1 mm standard length intervals).

であった(Figs. 4, 6).

**定量調査** 両種は,42 コドラート中,中央部 から東部にかけた14 コドラートで採集された(Fig. 11).また,イズミハゼは12 コドラートから合計 35 個体,0.8±1.6 個体(全コドラートでの平均個 体数±標準偏差),ナミハゼは7 コドラートから 合計81 個体,1.9±5.6 個体が採集された.イズ ミハゼは中央部から東部にかけて泥干潟で広くみ られた一方,ナミハゼはマングローブ林周辺の泥 底のみに出現した.

#### 考察

成熟と産卵期 イズミハゼとナミハゼの産卵期 は、成熟個体と小型個体の出現時期から、イズミ ハゼが 1–10 月、ナミハゼが 4–10 月と考えられた (Figs. 4, 6).ナミハゼでは、水温の上昇する 4 月 から成熟個体が出現し、下降した 9,10 月に成熟 個体の割合が減少したことから、本種の成熟には



**Fig. 9.** Otolith rings stained with Alizarin Complexone (A), and relationship between number of rings between two stained rings of otolith and standard length. (B) in *Mugilogobius chulae*. White bars indicate 50 µm. Arrows indicate treatment marks.

水温が重要な役割を持つと考えられる.一方,イ ズミハゼでは、年間で水温が最も低い2.3月にも 成熟個体が確認された. イズミハゼの産卵期はナ ミハゼよりも長かったが、成熟割合が 50% を超 えた月は、4、8月のみであった。特に本種の成 熟割合は、水温の低かった 1-3 月には 20% 以下 と低かったことから、水温の上昇する夏季(4-8月) が産卵盛期だと考えられる. 両種の分布は. イズ ミハゼが種子島から西表島、ナミハゼが奄美大島 以南である (明仁ほか, 2013). さらに, アベハ ゼ属は南方に祖先種がおり、イズミハゼとアベハ ゼは、オルニチン回路を獲得することで、分布を 北上することができたという (Mukai et al., 2000). 以上のことから、ナミハゼの分布域の中心はイズ ミハゼのそれよりも南方にあり、沖縄島は分布の 北限に近いため、ナミハゼは水温低下の影響をイ ズミハゼよりも受けやすいのかもしれない.

両種と同属であるアベハゼの産卵期は,東京都 高浜運河において5,6月が盛期の4-8月 (Kanabashira et al., 1980),福岡県多々良川におい



**Fig. 10.** Relationships between standard length and daily age of *Mugilogobius* sp. and *M. chulae* collected at Manko Wetland and Sashiki tidal flat, Okinawa-jima Island.



**Fig. 11.** Number of individuals of *Mugilogobius* sp. (solid) and *M. chulae* (open) at 14 stations on Sashiki tidal flat. Quadrat numbers as in Fig. 1. Broken lines indicate quadrats in mangrove areas.

て 5-8 月(道津, 2010)であり,イズミハゼやナ ミハゼと比べると顕著に短い.先行研究において, アベハゼ属魚類の産卵期と水温の関係を解析した ものはないが,温帯域の干潟に生息するハゼ科魚 類の中には,高水温期に産卵する例が知られる(例 えば,マサゴハゼ:道津,1958;伊藤・向井, 2007).また,前述の通りアベハゼ属は南方域に 祖先種が分布しており,最も北上した種がアベハ ゼだと考えられている(Mukai et al., 2000).した がって,アベハゼは,日本本土で水温が低くなる 秋・冬季に産卵できず,イズミハゼやナミハゼと 比べて産卵期が短くなった可能性がある.

イズミハゼとアベハゼは,アベハゼ属の中で遺 伝学的に最も近縁な種であり,分布の隣接地周辺 である種子島や上甑島,宮崎県で交雑個体が報告 されている(向井,2001,2010;村瀬ほか, 2015).一般的に黒潮が魚類の卵や仔稚魚を南方 より運搬することがあり,宮崎県では,その結果 イズミハゼが流れ着いて交雑を生じた可能性が指 摘されており(村瀬ほか,2015),黒潮の影響を 受ける他地域でも,同様の現象が生じると考えら れる.両種の産卵期が高水温期に重複することを 併せて考えると,人為的な温排水や地球規模の温 暖化によって,黒潮に運搬されたイズミハゼの産 卵可能な期間が長くなることで,交雑個体が増え る可能性もある.このような,両種間での交雑種 について出現頻度や出現地域の動向を継続的に調 査することで,水温上昇が魚類へ与える影響の一 端を明らかにできる可能性がある.

体長頻度分布から両種の加入時期を推定する と、イズミハゼは 4–10 月頃、ナミハゼは 7–11 月 頃であり、前者の方が長かった (Fig. 4). これは、 両種の産卵期の長さを反映した結果なのかもしれ ない.一方、推定された日齢から誕生月を推定し た結果、耳石微細輪紋の日周性が確認された体長 範囲の個体であっても、両種ともに本研究での産 卵期からはずれた個体が現れた (Fig. 4). Maeda and Tachihara (2005) は、沖縄島のカワアナゴ科 魚類 3 種で同様の事例を報告し、より南方から黒 潮によって加入が生じた可能性を論じている.イ ズミハゼとナミハゼも、より南方、もしくは沖縄 島内でも採集地周辺以外では産卵が行なわれ、そ こから加入している可能性がある.

日齢と成長 耳石微細輪紋の日周性は、ミナミヒ メハゼ Favonigobius reichei やサラサハゼ Amblygobius phalaena など、他のハゼ科魚類でも確認されている (Hernaman et al., 2000).同様に本研究では、野外個 体を用いた飼育実験より、ナミハゼの耳石に刻まれ る微細輪紋の日周性を確認できた.また、イズミハ ゼでは、卵から飼育した個体から、少なくとも日齢 40 まで日周性を確認できた.

日齢査定の結果,両種は,イズミハゼは150日, ナミハゼでは137日と,少なくとも半年近く生き ることがわかった(Fig. 10).一方,本研究では, 両種とも大型個体では耳石の微細輪紋が不明瞭で あり,計数が困難であったため,その最高齢を明 らかにできなかった.ホシカザリハゼ*Istigobius decoratus*の大型個体でも,輪紋の計数が困難に なり,過小評価になりうることが指摘されている (Kritzer, 2002).加えて,イズミハゼでは,日齢 40までしか耳石微細輪紋の日周性を確認できな かったため,それ以上の日齢では,日齢査定に不 確実性が残る.しかし,本研究では,両種の体長 頻度分布で,冬から春季に大型個体が減少したこ とから,長くても1年以上生存することはないと 考えられた.同属他種の詳細な寿命は明らかにさ れていないが,日本本土に広く分布するアベハゼ は,約1年と言われており(道津,2010),イズ ミハゼとナミハゼはそれと比べると短命だと考え られる.

また、亜熱帯から熱帯域に生息し、本種と同等、 もしくはより小型のハゼ科魚類(最大 40 mm SL 以下) と日齢を比較すると、主にサンゴ礁で生息するベニ ハゼ属のメガネベニハゼ Trimma benjamini (最大 20 mm SL 未満, 日齢 140) や T. nasa (最大 18 mm SL 未満, 87)、イソハゼ属の Eviota sigillata (最大 20 mm TL 未満, 59), 日本の干潟タイドプールで優占的 に生息するマサゴハゼ Pseudogobius masago (最大 30 mm SL 未満, 1 年未満)は、イズミハゼやナミハ ゼと同様に1年未満であった (Depczynski and Bellwood, 2005; 伊藤 · 向井, 2007; Winterbottom and Southcott, 2008; Winterbottom et al., 2011; 西丸ほか, 2018). 一方, 本種より大型になる種では, ホシカザ リハゼ(最大約85 mm TL, 日齢266)のような例外 もいるが、サンゴ礁性ハゼ科魚類(ホシハゼ:最大 69 mm TL, 457; ヒメカザリハゼ Istigobius goldmanni: 最大 64 mm TL, 375; Amblygobius bynoensis: 最大 98 mm TL, 377; サラサハゼ: 最大 102 mm TL, 400; Valenciennea muralis: 最大 116 mm TL, 345) や汽水 性ハゼ科魚類(ミナミアシシロハゼ:最大 54.5 mm SL、約1年)で知られるように、多くが1年から1年 半近く生存する (Kritzer, 2002; Hernaman and Mundy, 2005; Kunishima et al., 2019). 小型のハゼ科魚類では、 高い被食リスクにさらされるために高い死亡率を示 すことが報告されており(Hernaman and Mundy, 2005; Winterbottom et al., 2011), そうした環境下では, 短命 化かつ成熟体長の矮小化が生じるという (Privitera, 2002). 先行研究と合わせて考えると、小型種が多 いハゼ科魚類の中でも、より小型種の方が短命にな る傾向があるのかもしれない.

イズミハゼは、4、5月に多くの加入個体(10 mm SL 未満)がみられ、体長モードが7、8月に 20 mm SL 程度で停滞したため、約4ヵ月で10 mm ほど成長すると考えられた(Fig. 4A). イズミハ ゼと同様にナミハゼでも、1-5月の約4ヵ月間で 体長モードが10 mm 程度増加したため、両種の 成長速度には大きな差がないのかもしれない. た だし、イズミハゼと近縁で、尿素回路を持つアベ ハゼは、アンモニア濃度が高い環境で成長が促進 されることが知られており(Iwata et al., 2005)、イ ズミハゼもアンモニア濃度によって成長が異なる 可能性がある.本属内で、アンモニア分解能力の 異なる複数種の成長を比較することによって、魚 類が干潟環境へいかに適応したか,明らかになる 可能性があり,今後のより詳細な研究が望まれる.

**生息地と保全** 定量採集の結果, 佐敷干潟内で のハビタットや分布パターンは両種で異なってい た(Fig. 11). イズミハゼは密度が低いものの, 開けた泥干潟からマングローブ林内までの広いハ ビタットに見られた一方, ナミハゼはマングロー ブ林周辺の泥底のみに高密度かつ局所的に生息し ていた.沖縄島の干潟環境で同所的に生息するマ サゴハゼとスナゴハゼは, 水深や底質環境といっ た物理環境によって, 若干のすみわけを行ってい る可能性が示されており(國島ほか, 2014), イ ズミハゼとナミハゼでも同様に物理環境の違いに よって生息地が異なったのかもしれない.

ナミハゼは,秋から冬(10月末-12月末)のデー タでマングローブ近辺の環境に偏って出現したこ とに加えて、目視観察の結果、周年に亘ってマン グローブ域近辺の干潟域に出現していた(國島, 未発表).以上より、本種は、その生活史の中で マングローブ林が形成する環境を必要としている 可能性が高い、したがって、イズミハゼと比較す ると、マングローブ環境で局所的に生息するナミ ハゼは、マングローブ林の伐採や陸地化などの環 境変化に対して多大な影響を受けやすいと考えら れる. 合わせて, イズミハゼはナミハゼよりも産 卵期や加入期が長いこと,尿素回路の処理能力が 高いこと (Mukai et al., 2000) を考慮すると、今後、 マングローブ林の減少や水質悪化が生じることに よって, ナミハゼの生息地が減少する代わりにイ ズミハゼの生息地が増加する恐れがある. 局所的 な分布を示すナミハゼの生息地を保全するには, マングローブ林の伴う良好な泥干潟を維持するこ とが重要となる.加えて、佐敷干潟では、豚舎や 畑からの人工排水によって、干潟のアンモニア濃 度が上昇していると報告されており(古澤ほか、 2010)、こうした栄養塩濃度が高い人工排水の流 入を防ぐ必要がある.

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり, 蛍光顕微鏡をお貸し 頂いた廣瀬裕一博士(琉球大学理学部), 有益な 助言や,採集と飼育の協力を頂いた前田 健博士 (沖縄科学技術大学院大学),飯田 碧博士(新潟 大学佐渡自然共生科学センター臨海実験所),近 藤 正博士(島田樟誠高等学校),西丸裕敏氏(茨 城県水産課),琉球大学理学部立原研究室のメン バーに深く御礼を申し上げる. 漫湖水鳥・湿地セ ンター職員の池村浩明氏,上原行雄氏,戸倉 渉 氏には,調査の際に多大なる協力を頂いた. Rocktim Ramen Das 氏(琉球大学熱帯生物圏研究 センター)には英文を校閲して頂いた.また,編 集者と査読者には,大変有益なコメントを頂き, 原稿の改善につながった.心より深く感謝申し上 げる.

#### 引用文献

- 明仁, 1969. ハゼ科魚類の中翼状骨,後鎖骨,鰓 状骨,腹鰭,肩胛骨,眼下骨に基づく分類の検討. 魚類学雑誌, 16:93–114.
- 明仁・坂本勝一・池田祐二・藍澤正宏, 2013. ハ ゼ亜目. 中坊徹次(編), pp. 1347–1608. 日本産 魚類検索 – 全種の同定 第三版. 東海大学出版 会, 秦野.
- Depczynski, M. and D. R. Bellwood. 2005. Shortest recorded vertebrate lifespan found in a coral reef fish. Curr. Biol., 15: R288–R289.
- 道津喜衛, 1958. マサゴハゼの生活史. 九州大学 農学部学芸雑誌, 16:359-370.
- 道津喜衛, 2010. アベハゼ (ハゼ科魚類)の生活史. 長崎県生物学会誌, 67:22–35.
- 古澤広隆・赤松良久・仲座栄三,2010. 沖縄本島 佐敷干潟における水質環境に関する研究.水工 学論文集,54:1621–1626.
- Goto, A. 1998. Life-history variations in the fluvial sculpin, *Cottus nozawae* (Cottidae), along the course of a small mountain stream. Environ. Biol. Fish., 52: 203–212.
- Hernaman, V. and P. L. Mundy. 2005. Life-history characteristics of coral reef gobies. II. Mortality rate, mating system and timing of maturation. Mar. Ecol. Prog. Ser., 290: 223–237.
- Hernaman, V., P. L. Mundy and M. L. Schläppy. 2000. Validation of otolith growth-increment periodicity in tropical gobies. Mar. Biol., 137: 715–726.
- 伊藤 亮・向井貴彦, 2007. 三重県揖斐川下流域 におけるマサゴハゼの生活史. 南紀生物, 49: 103-107.
- Iwata, K., T. Sakamoto, E. Nishiguchi and M. Kajimura. 2005. High ambient ammonia promotes growth in a ureogenic goby, *Mugilogobius abei*. J. Comp. Physiol. B, 175: 395–404.
- Kanabashira, Y., H. Sakai and F. Yasuda. 1980. Early development and reproductive behavior of the Gobiid fish, *Mugilogobius abei*. Japan. J. Ichthyol., 27: 191– 198.
- 北野 忠・畠山 類・秋山信彦・上野信平, 2003. 駿河湾北部でのミミズハゼ雌の生殖周期. 水産 増殖, 51:41-48.
- Kritzer, J. P. 2002. Stock structure, mortality and growth of

the decorated goby, *Istigobius decoratus* (Gobiidae), at Lizard Island, Great Barrier Reef. Environ. Biol. Fish., 63: 211–216.

- Kunishima, T. and K. Tachihara. 2018. Improved quadrat method for fish survey in tide-pools of tidal flats. Plank. Benth. Res., 18: 21–24.
- 國島大河・西丸裕敏・立原一憲, 2014. 沖縄島佐 敷干潟におけるスナゴハゼ Pseudogobius javanicus とマサゴハゼ P. masago の生息環境. 魚類学雑誌, 61: 59–67.
- Kunishima, T., R. Iwamoto, M. Iida and K. Tachihara. 2019. Life history and instream distribution of the endangered estuarine goby *Acanthogobius insularis* from Okinawa-jima Island, Japan. J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 99: 229–237.
- Kuno, Y. and T. Takita. 1997. The growth, maturation and feeding habits of the Gobiid fish *Acanthogobius hasta* distributed in Ariake Sound, Kyushu, Japan. Fish. Sci., 63: 242–248.
- Larson, H. K. 2001. A revision of the gobiid fish genus Mugilogobius (Teleostei: Gobioidei), and its systematic placement. Record. West. Aust. Mus. Suppl., 62: 1–233.
- Maeda, K. and K. Tachihara. 2005. Recruitment of amphidromous sleepers *Eleotris acanthopoma, Eleotris melanosoma*, and *Eleotris fusca* into the Teima River, Okinawa Island. Ichthyol. Res., 52: 325–335.
- Meager, J. J., I. Williamson and C. R. King. 2005. Factors affecting the distribution, abundance and diversity of fishes of small, soft-substrata tidal pools within Moreton Bay, Australia. Hydrobiologia, 537: 71–80.

- 向井貴彦,2001. 鹿児島県上甑島産イズミハゼの 色斑多型. 南紀生物,43:143–146.
- 向井貴彦,2010. 比較系統地理学からみた琉球列 島の淡水魚類相の成立. 渡辺勝敏・髙橋 洋(編 著),pp.169–183. 淡水魚類地理の自然史. 北海 道大学出版会,札幌.
- Mukai, T., M. Kajimura and K. Iwata. 2000. Evolution of a ureagenic ability of Japanese *Mugilogobius* species (Pisces: Gobiidae). Zool. Sci., 17: 549–557.
- 村瀬敦宣・宮崎佑介・三木涼平・向井貴彦, 2015. 宮崎県延岡市の河口干潟域で採集されたアベハ ゼとイズミハゼの交雑個体.日本生物地理学会 会報, 70:181–187.
- 西丸裕敏・國島大河・立原一憲, 2018. 沖縄島漫 湖におけるマサゴハゼ *Pseudogobius masago* の生 活史. 魚類学雑誌, 65: 59–66.
- 鈴木寿之・渋川浩一・矢野維幾, 2004. アベハゼ属. 瀬能 宏(編). pp. 407–408. 決定版 日本のハゼ. 平凡社,東京.
- Privitera, L. A. 2002. Reproductive biology of the coralreef goby, *Asterropteryx semipunctata*, in Kaneohe Bay, Hawaii. Environ. Biol. Fish., 65: 289–310.
- Winterbottom, R., K. F. Alofs and A. Marseu. 2011. Life span, growth and mortality in the western Pacific goby *Trimma benjamini*, and comparisons with *T. nasa*. Environ. Biol. Fish., 91: 295–301.
- Winterbottom, R. and L. Southcott. 2008. Short lifespan and high mortality in the western Pacific coral reef goby *Trimma nasa*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 366: 203–208.