La mer 62 : 1–11, 2024, https://doi.org/10.32211/lamer.62.1-2_1
Société franco-japonaise d'Océanographie, Tokyo

涸沼とその流入河川における絶滅危惧種ジュズカケハゼの底生期稚魚の生息場所利用

小熊進之介[1), 3)]＊・金子誠也[1)]・木村将士[1)]・神成田優花[1)]・原田慈雄[2)]・加納光樹[1)]

Habitat use by benthic juveniles of the threatened goby *Gymnogobius castaneus* in Lake Hinuma and inflowing rivers, eastern Japan

Shinnosuke OGUMA[1)3)]＊, Seiya KANEKO[1)], Masashi KIMURA[1)], Yuka KAMINARITA[1)], Shigeo HARADA[2)] and Kouki KANOU[1)]

Abstract: Habitat use by benthic juveniles of the threatened goby *Gymnogobius castaneus* was investigated at 94 sites in a brackish water body, Lake Hinuma, and eight inflowing rivers from June to July 2021, following the recruitment period of the species. During the study period, the goby occurred in the lower river reaches and around the river mouths, but rarely in the lake. A generalized linear mixed model based on presence/absence data of benthic juveniles with seven environmental variables at each site revealed that lower salinity, higher reed density and muddy to sandy substrate were the most significant determinants for the presence of benthic juveniles. Such environmental features should be maintained for the conservation of juvenile habitat for the species.

Keywords: *Brackish water lake, Conservation, Emergent vegetation, Juvenile goby*

1. はじめに

ジュズカケハゼ *Gymnogobius castaneus*（O'SHAUGHNESSY, 1875）は北海道，青森県から兵庫県の日本海側，青森県から神奈川県の太平洋側，サハリン，ウルップ島に分布し，平野部の自然湖沼やその周辺の水路，ため池，濠，河川下流域，

1）〒 311–2402　茨城県潮来市大生 1375　茨城大学地球・地域環境共創機構水圏環境フィールドステーション
Water Environmental Field Station, Global and Local Environment Co-creation Institute, Ibaraki University, 1375 Ohu, Itako, Ibaraki 311–2402, Japan
2）〒 649–3503　和歌山県東牟婁郡串本町串本 1557–20　和歌山県水産試験場
Wakayama Prefectural Fisheries Experimental Station, 1557–20 Kushimoto, Kushimoto-cho, Higashimuro, Wakayama 649–3503, Japan
3）〒 311–1203　茨城県ひたちなか市平磯町三ツ塚 3551–8　茨城県水産試験場
Ibaraki Prefectural Fisheries Research Institute, 3551–8 Mitsuzuka, Hiraiso, Hitachinaka, Ibaraki 311–1203, Japan
＊Corresponding author:
Email: oguma0306@gmail.com

塩性湿地などに生息する小型のハゼ科魚類である（向井ほか，2010；明仁ほか，2013；KANEKO *et al.*, 2019a, 2020；OGUMA *et al.*, 2022）。近年，霞ヶ浦や八郎潟，伊豆沼・内沼などでは本種の個体数が減少傾向にあり（藤本ほか, 2008；冨永ほか, 2013；杉山，2016），これにはオオクチバス *Micropterus nigricans* やチャネルキャットフィッシュ *Ictalurus punctatus* といった魚食性外来種の侵入のほか（環境省自然環境局野生生物課，2004；中井，2004；藤本ほか，2008；向井ほか，2010；MATSUZAKI *et al.*, 2011；YASUNO *et al.*, 2012；冨永ほか，2013），埋立て・干拓，護岸整備などによる生息環境の劣化が関わっている可能性もある（向井，2015；金子・加納，2016）。そのため，環境省や青森県・宮城県のレッドリストで準絶滅危惧に（青森県環境生活部自然保護課，2020；環境省自然環境局野生生物課，2020；宮城県環境生活部自然保護課，2023），福島県のレッドリストで絶滅危惧IB類に（福島県生活環境部自然保護課，2023），茨城県のレッドリストで絶滅危惧Ⅱ類に（茨城県生活環境部環境政策課，2016），千葉県のレッドリストで重要保護生物に選定されている（千葉県環境生活部自然保護課，2019）。このような危機的状況にも関わらず，本種の保全に関わる活動としては魚食性外来種の防除事例しか認められず（中井，2004），適切な生息環境の保全方策の検討が急務となっている。

ジュズカケハゼの生態・生活史については，これまでに霞ヶ浦および飼育下での産卵生態（水資源開発公団・資源科学研究所，1971；中村，1986），諏訪湖での性成熟（熊川，2001），霞ヶ浦や涸沼における季節的出現や成長および食性（水資源開発公団・資源科学研究所，1971；KANEKO *et al.*, 2016, 2019a, 2020；USUI *et al.*, 2018；OGUMA *et al.*, 2022），達古武沼とその周辺河川での分布特性（針生ほか，2007）が報告されている。しかしながら，本種の発育初期の生態については未解明な点が多く，自然環境下では涸沼の塩性湿地において稚魚が湿地前縁よりも相対的に塩分が低いクリーク内部で多く出現することや，初夏までに浮遊生活から底生生活への移行（以下，「着底」と記す）を終え，着底後はユスリカ類幼虫などを主に摂餌することが明らかにされているのみである（OGUMA *et al.*, 2022）。本種は低塩分水域から淡水域までの塩分環境に生息することが知られているが（原田，2008，2016；OGUMA *et al.*, 2022），これまでに本種の稚魚について多様な塩分環境を有する汽水湖やその流入河川において広域的に生息状況調査を実施し，どのような環境によく出現するのかを把握した事例はない。そのため，優先的に保全すべき生息環境もよくわかっていない。

そこで本研究では，絶滅危惧種ジュズカケハゼの生息地保全に関する基礎情報を得るため，関東地方において本種の個体群が存続している涸沼とその流入河川下流域において本種の底生期稚魚の生息分布状況と環境変量や餌生物量との関係について調査を行い，本種の底生期稚魚がどのような生息環境をよく利用しているのかについて明らかにした。

2. 材料と方法

2.1 調査地点の設定

茨城県中東部に位置する涸沼（Fig. 1）は，関東地方に唯一残された天然の汽水湖（面積約 9.35 km^2，平均水深 2.1 m，最大水深約 6.5 m）である。近年では生物多様性保全の観点から重要な水域として認識されており，2014 年に国指定の涸沼鳥獣保護区涸沼特別保護地区に指定され，2015 年にラムサール条約湿地に登録された。これまでに国内では霞ヶ浦や八郎潟といった汽水湖が下流側への水門や河口堰の設置に伴って淡水化されてきたが（二平，2006；杉山，2016），涸沼については東側の出口から下涸沼川と那珂川を経て太平洋に注ぐまでの約 10 km 区間にそのような河川横断工作物が設置されておらず，現在も潮汐作用に伴う沿岸海域との自由な水交換が維持されている（猿渡ほか，2006）。涸沼本湖の潮位差は，平均で約 30 cm，最大で約 50 cm である（今村・堀，1964；宇多ほか，2007）。涸沼本湖の塩分は東西方向に異なる傾向があり，東側は相対的に海域に近いため塩分が高いのに対し，西側では河川水の影響で塩分が低い傾向にある（阿須間ほか，1998）。涸沼に

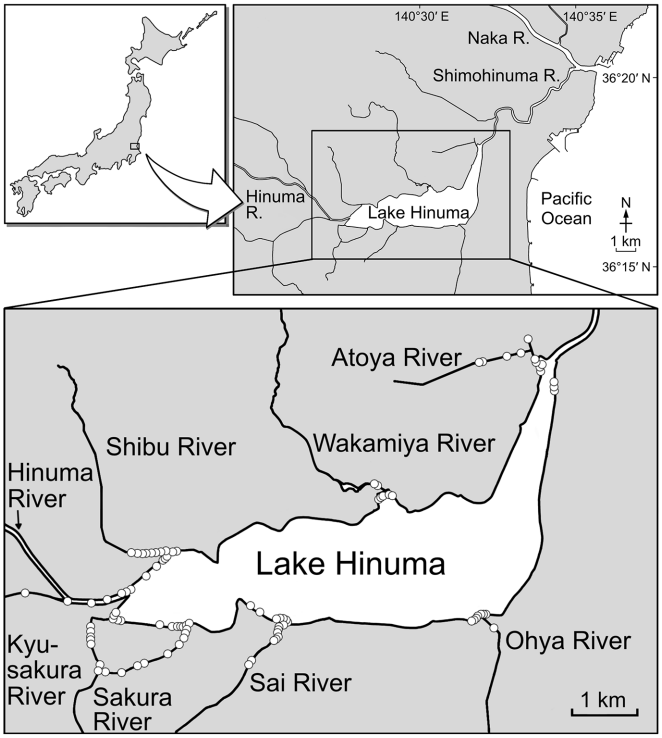

Fig. 1　Map showing 94 sampling sites (*open circles*) in Lake Hinuma and adjacent rivers, Ibaraki Prefecture, eastern Japan.

は後谷川，大谷川，若宮川，渋川，涸沼川，旧桜川，桜川，才川の 8 本の河川が流入している（Fig. 1）。これらの河川のうち後谷川と涸沼川の河口付近で 2011–2015 年に（Kaneko *et al*., 2019a, 2020；Oguma *et al*., 2022），また，大谷川，若宮川，渋川，涸沼川，旧桜川，桜川の下流域で 2019–2020 年にジュズカケハゼの生息が確認されている（木村将士，未発表）。本研究では流入河川とその周辺水域での広域的な本種の生息分布状況を把握するため，涸沼のすべての流入河川計 8 河川の下流域に 64 地点，流入河川河口周辺の本湖湖岸の浅所に 30 地点の計 94 地点を調査地点に設定した（Fig. 1）。各河川の下流域から本湖にかけての調査地点では，岸際に抽水植物のヨシ *Phragmites australis* が繁茂していることが多く，底質は主に泥質から砂質であった。

2.2　稚魚の生息分布調査

ジュズカケハゼの底生期稚魚の生息分布状況を調べるために，2021 年 6 月 5 日から 7 月 15 日にかけての日中の満潮時の前後 2 時間に採集調査を行った。なお，調査期間を 6 月上旬以降に設定したのは，涸沼の塩性湿地において 5 月中に本種の着底が終了すること（Oguma *et al*., 2022）が把握されていたためである。各地点の岸沿い 20 m の区画において，2 名がタモ網（開口部の幅 35 cm × 高さ 35 cm，深さ 45 cm，目合 1 mm）を用いて約 20 分間の採集を実施した。調査区画を踏査しながら，主に植物の根元付近，泥底，砂底といった基質域を足で攪拌し，設置したタモ網に足で流し入れるようにして採集した。採集された本種の稚魚については，原則として現地で塩垣・道津（2014）と小熊ほか（2020）に従って種同定を行い，デジタルノギスを用いて体長を 0.1 mm の精度で

計測した後，採集地点に放流した。本種稚魚の発育段階区分については KANOU *et al.*（2004）を参考とし，採集直後の観察で水底への定位が認められ，体側の鞍状斑紋や第 1 背鰭，第 2 背鰭および臀鰭の黒色素胞の分布が成魚とほぼ同様になる体長 14.3 mm 以上の稚魚（小熊ほか，2020）を底生期稚魚として扱った。なお，これまでに涸沼では，ジュズカケハゼの近縁種で形態も類似しているビリンゴ *Gymnogobius breunigii* の生息も確認されていることから（猿渡ほか, 2006；金子ほか, 2011），現地での同定が困難な個体については，氷冷後に 10% ホルマリン溶液で固定し，研究室に持ち帰り実体顕微鏡下で明仁ほか（2013）と小熊ほか（2020）に従って頭部感覚管の開孔パターンを確認し同定した。

2.3 環境調査

稚魚の採集調査の後に，各地点で水温，塩分，溶存酸素量，流速，水深，泥分，ヨシの生育密度，および底生期稚魚の主要な餌生物であるユスリカ類幼虫（OGUMA *et al.*, 2022）の個体数密度を調べた。水温，塩分，溶存酸素量についてはマルチ水質チェッカー U-52（HORIBA 社製）で，流速については電磁流速計 VE20（KENEK 社製）で，調査区画中央付近の流心部の 7 割水深において測定した。水深については各地点内で 4 m 程度の距離をあけた 5 か所で測量用スタッフを用いて測定し，その平均値を求めた。泥分については，各地点の底土の表層約 2 cm から採集した約 50 g の試料を山本ほか（2023）に従ってステンレスふるいでふるい分けし，試料全体の乾燥重量に占める泥（粒径 63 μm 未満）の重量の割合を求めた。

ヨシの生育密度については，各区画内のヨシ帯前縁に少なくとも 5 m の距離をあけて 3 か所に設置した方形枠（0.5 × 0.5 m）のなかにあるヨシの茎の本数を計数し，その平均値を求めた。ユスリカ類幼虫については，直径 5.5 cm の円筒形コアサンプラーを岸沿いの底土の表面から深さ 10 cm まで挿入し採取した底質を，現場で目合 0.25 mm のステンレスふるいでふるうことで採集し，5% 中性ホルマリン溶液で固定してから持ち帰った。研究室では実体顕微鏡下でユスリカ類幼虫の個体数を計数し，200 cm^3あたりの個体数を算出した。

2.4 統計解析

調査地点間で岸際の形状や水深，底質などが異なり，底生期稚魚の採集努力量は必ずしも均一とはいえないことから，稚魚の個体数密度ではなく，出現の有無を統計解析の対象とした。本種の底生期稚魚の分布に影響を及ぼす環境要因を明らかにするために，統計パッケージ R ver. 4.0.3（R CORE TEAM, 2020）を用いて，一般化線形混合モデル（GLMM）による解析を実施した。大畑ほか（2012）と林ほか（2013）を参考にして，各調査地点における底生期稚魚の出現または非出現（1/0）を目的変数とし，各環境変量を説明変数とした。空間自己相関の影響を考慮し，各河川と本湖を変量効果とした。目的変数が 1/0 であることから，分布族には二項分布を，link 関数には logit を用いた。説明変数間の強い相関によって多重共線性の問題が生じるのを避けるため，GLMM 解析を行う前に各環境変量間でスピアマンの順位相関係数を算出したところ，流速と水深もしくは流速と水温で相関係数の絶対値が 0.5 以上の強い相関がみられた。流速については，本種が河川だけでなく湖沼やため池，濠といった止水的な環境にも生息することから（中井，2004；向井ほか，2010；明仁ほか，2013），説明変数から除外し，本種の分布により影響を及ぼす可能性がある水温と水深を説明変数に残した。底質はカテゴリカル変数として扱い，泥分に基づいて 3 段階［a：砂質（泥分 5% 未満，残りは砂分），b：砂泥質（泥分 5–35%，残りは砂分），c：泥質（泥分 35% 以上，残りは砂分）］に区分し，a を基準とした場合の b，c の選択性を調べた。R パッケージ MuMIn の dredge 関数を用いて，Null モデルから Full モデルまでの全モデルにおいて赤池情報量基準（AIC）を算出し，AIC の最も低いモデルをベストモデルとした。GLMM 解析で底生期稚魚の出現・非出現に影響を及ぼすとみなされた各環境変量については，稚魚の出現・非出現地点間での差異を Mann-

Table 1. Mean value ± standard error of environmental variables at each sampling site in Lake Hinuma and adjacent rivers

Site	Water temperature (℃)	Salinity	Dissolved oxygen (mg/L)	Current velocity (cm/s)	Water depth (cm)	Mud content (%)	Reed density (/0.25 m^2)	Chironomid larvae (Individuals /200 cm^3)
Atoya River	23.5 ± 0.5	2.8 ± 0.9	6.7 ± 0.8	5.4 ± 1.5	47.8 ± 8.0	26.2 ± 6.9	41.0 ± 12.4	0.5 ± 0.4
Ohya River	21.8 ± 0.9	1.6 ± 1.0	8.8 ± 0.7	3.8 ± 1.9	59.1 ± 7.4	4.5 ± 2.0	19.6 ± 8.0	0.2 ± 0.2
Wakamiya River	23.1 ± 1.1	0.4 ± 0.2	9.4 ± 0.5	0.1 ± 0.0	50.4 ± 11.2	11.1 ± 6.9	35.4 ± 17.7	0.1 ± 0.1
Shibu River	25.4 ± 0.4	0.6 ± 0.3	10.4 ± 0.5	8.7 ± 3.9	29.9 ± 3.6	7.4 ± 3.0	13.9 ± 7.4	0.6 ± 0.4
Hinuma River	26.8 ± 1.2	0.2 ± 0.0	8.5 ± 1.1	0.4 ± 0.2	58.5 ± 10.7	19.1 ± 7.0	22.3 ± 9.7	1.1 ± 0.4
Kyusakura River	22.8 ± 0.6	0.4 ± 0.1	7.4 ± 1.0	1.0 ± 0.7	63.1 ± 6.0	46.9 ± 9.2	44.2 ± 14.1	0.8 ± 0.3
Sakura River	22.5 ± 0.7	1.2 ± 0.6	11.7 ± 0.6	9.6 ± 2.5	30.7 ± 3.3	9.3 ± 2.0	12.3 ± 3.9	3.7 ± 1.1
Sai River	20.6 ± 0.3	0.8 ± 0.4	10.7 ± 0.4	9.8 ± 2.7	37.2 ± 6.6	8.3 ± 2.6	15.8 ± 4.6	2.8 ± 1.0
Lake Hinuma	27.4 ± 0.6	2.9 ± 0.7	10.7 ± 0.3	0.1 ± 0.0	60.0 ± 2.9	10.7 ± 2.8	24.5 ± 6.1	0.0 ± 0.0

Whitney's *U*-test で調べた。

3. 結果

3.1 各調査地の環境変量

調査期間中の各河川および涸沼本湖における水温，塩分，溶存酸素量，流速，水深，泥分，ヨシの生育密度，ユスリカ類幼虫の個体数密度の平均値 ± 標準誤差を Table 1 に示した。水温の平均値は渋川，涸沼川，本湖では 25℃以上であったが，他の河川では 20.6–23.5℃とやや低かった。塩分の平均値は涸沼の東側にある後谷川と大谷川および本湖では 1.6–2.9 と比較的高かったが，他の河川では 0.2–1.2 と低かった。溶存酸素量の平均値は 6.7–11.7 mg/L で推移した。流速の平均値は渋川，桜川，才川では 8.7–9.8 cm/s とやや速かったが，涸沼川と旧桜川では 0.4–1.0 cm/s と遅かった。水深の平均値は渋川，桜川，才川では 29.9–37.2 cm と浅かったが，旧桜川と本湖では 60.0–63.1 cm と深かった。底質については，河川と本湖ともに砂泥質から泥質の地点が概ね半数程度を占めていた。ヨシの生育密度の平均値は後谷川，若宮川，旧桜川で 35.4–44.2 本 /0.25 m^2と高く，他の河川と本湖では 25 本 /0.25 m^2未満であった。ユスリカ類幼虫の個体数密度の平均値は，桜川と才川で 2.8–3.7 個体 /200 cm^3とやや高く，若宮川と本湖では 0.0–0.1 個体 /200 cm^3と低かった。

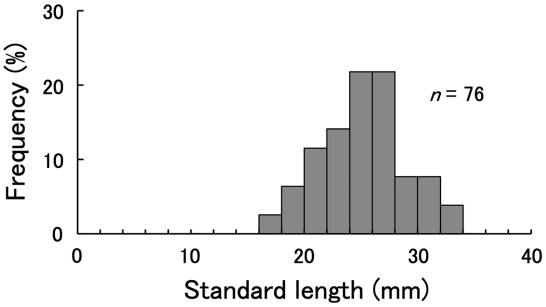

Fig. 2 Size-frequency distribution of benthic juvenile *Gymnogobius castaneus* collected in Lake Hinuma and adjacent rivers from 5th June to 15th July 2021.

3.2 底生期稚魚の生息分布状況

採集されたジュズカケハゼの底生期稚魚は計 76 個体（体長 16.6–33.8 mm）で，体長のモードは 24–28 mm に認められた（Fig. 2）。底生期稚魚は 94 地点のうち 26 地点（27.7%）で確認され，流入河川の河口付近からその上流約 500 m までの区間でよくみられた（Fig. 3）。ヨシが生育している地点では，稚魚は常にヨシの根元付近で採集された。涸沼の西側に流入する渋川，旧桜川，桜川では出現地点が多かった。その一方で，東側に流入する後谷川や本湖では出現地点が少なく，大谷川と若宮川では全く採集されなかった。

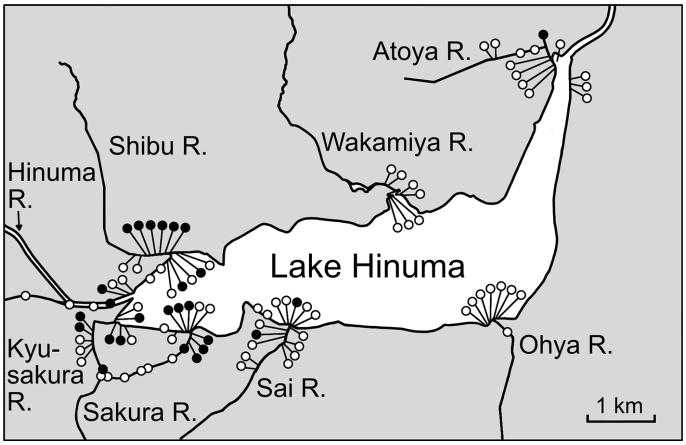

Fig. 3 Map showing all sites where benthic juvenile *Gymnogobius castaneus* were present (*solid circles*) or absent (*open circles*) in Lake Hinuma and adjacent rivers.

Table 2. Information-theory statistics and coefficients for the top five models explaining presence/absence of benthic juvenile *Gymnogobius castaneus*

Model	AIC	ΔAIC	Weight	Estimate (*Z* value)							
				Intercept	Water temperature	Salinity	Dissolved oxygen	Water depth	Sediment type	Reed density	Chironomid larvae
1	106.48	0.00	0.057	−1.799 (−2.647)	—	−0.320 (−1.706)	—	—	b, c	0.017 (1.777)	—
2	107.14	0.66	0.041	−1.065 (−2.182)	—	−0.321 (−1.763)	—	—	—	0.015 (1.643)	—
3	107.21	0.73	0.039	−1.018 (−1.122)	—	−0.310 (−1.675)	—	−0.017 (−1.138)	b, c	0.016 (1.766)	—
4	107.76	1.28	0.030	−1.380 (−2.365)	—	−0.228 (−1.452)	—	—	b, c	—	—
5	107.91	1.43	0.028	−0.746 (−1.779)	—	−0.250 (−1.520)	—	—	—	—	—
Null	109.10	2.62	0.015	−1.035 (−2.409)	—	—	—	—	—	—	—
Total number of selections by top five models; *n*					0	5	0	1	3	3	0

Sediment types: a, sandy bottom; b, sandy mud bottom; c, muddy bottom.

3.3 稚魚の出現・非出現と環境変量との関係

AIC が最も低かったベストモデルでは，塩分，ヨシの生育密度，底質が選択された（Table 2）。上位 5 モデル中での選択回数は，塩分が 5 回，ヨシの生育密度が 3 回，底質が 3 回であった。回帰係数については塩分で負の値，ヨシの生育密度で正の値，底質は砂泥質と泥質で正の値であり，*Z* 値はいずれも比較的大きい値を示した（Tables 1, 3）。一方，水温，溶存酸素量，ユスリカ類幼虫の個体数密度は上位モデルの中では全く選択されず，水深は選択回数が 1 回のみであった。

GLMM 解析での選択回数が多かった 3 変量のそれぞれについて底生期稚魚の出現地点と非出現

Table 3. Information-theory statistics and coefficients for the top five models explaining presence/absence of benthic juvenile *Gymnogobius castaneus* among sediment types

Model	Estimate（*Z* value）		
	Sandy bottom	Sandy mud bottom	Muddy bottom
1	−1.799 (−2.647)	0.757 (1.240)	1.701 (2.048)
2	–	–	–
3	−1.018 (−1.122)	0.715 (1.169)	1.806 (2.184)
4	−1.380 (−2.365)	0.732 (1.235)	1.529 (1.943)
5	–	–	–

See text for the classification of sediment types.

地点の間で比較した（Fig. 4）。塩分については出現地点で 0.1–5.9（中央値は 0.2），非出現地点で 0.2–13.1（0.3）で変動し，中央値は出現地点の方がわずかに低く（Mann-Whitney's *U*-test, $Z = -2.23$, $P < 0.05$），また，底質についても出現地点（砂底が約 31%，砂泥底が約 42%，泥底が約 27%）で非出現地点（砂底が約 51%，砂泥底が約 37%，泥底が約 12%）よりも泥底から砂泥底の地点の頻度が高かった（Mann-Whitney's *U*-test, $Z = 2.04$, $P < 0.05$）。ヨシの生育密度については出現地点で 0–124.0 本 /0.25 m^2（中央値は 25.2 本 /0.25 m^2），非出現地点で 0–126.0 本 /0.25 m^2（4.3 本 /0.25 m^2）であり，中央値は出現地点で高い傾向にあるものの，出現地点と非出現地点で有意な差は検出されなかった（Mann-Whitney's *U*-test, $Z = 1.46$, $P = 0.14$）。

4. 考察

ジュズカケハゼの底生期稚魚の出現・非出現と 7 つの環境変量に基づいて GLMM 解析を実施したところ，塩分，ヨシの生育密度，底質がベストモデルで選択された。これらのうち，ΔAIC が 2 未満の上位 5 モデルでの選択回数は，塩分が 5 回と最も多く，次いでヨシの生育密度と底質が 3 回で，回帰係数については塩分で負の値，ヨシの生育密度で正の値，底質で砂泥質と泥質が正の値であった。したがって，本種の底生期稚魚は塩分が低く，ヨシが繁茂し，泥底から砂泥底の場所によく出現すると考えられる。これら 3 要因のうち，本種の底生期稚魚が低塩分環境でよく出現することについては，低塩分を選好する，もしくは，高塩分では生残できない可能性が考えられる。調査期間中の涸沼とその流入河川において，底生期稚魚は低塩分の流入河川の河口付近から上流約 500 m までの区間に主に出現し（出現地点の塩分の範囲は 0.1–5.9 だが，中央値は 0.2 とわずかに塩分を含む程度），相対的に塩分が高い本湖や一部の流入河川の河口付近にはほとんど出現しなかった。本種は霞ヶ浦を含む利根川下流域一帯では淡水域から塩分 2 未満の低塩分環境に主に生息するとされ（資源科学研究所，1968；中村，1986），涸沼の塩性湿地では低塩分のクリーク内に多いことが報告されているが（Oguma *et al.*, 2022），本研究においても低塩分（最大でも 6 程度）が本種の底生期稚魚の生息に影響を及ぼす環境要因であるとみなされた。涸沼本湖では塩分が東側よりも西側で相対的に低いとされており（阿須間ほか，1998），本調査期間中にも涸沼本湖で同様な塩分傾斜が認められたことに加えて，涸沼の西側の流入河川とその河口付近の低塩分水域において本種の底生期稚魚がよく出現する傾向がみられた。このように生息範囲が低塩分の水域に限定される傾向については，少なくとも国内の汽水性ウキゴリ属 10 種では本種とシンジコハゼ *G. taranetzi* 以外には知

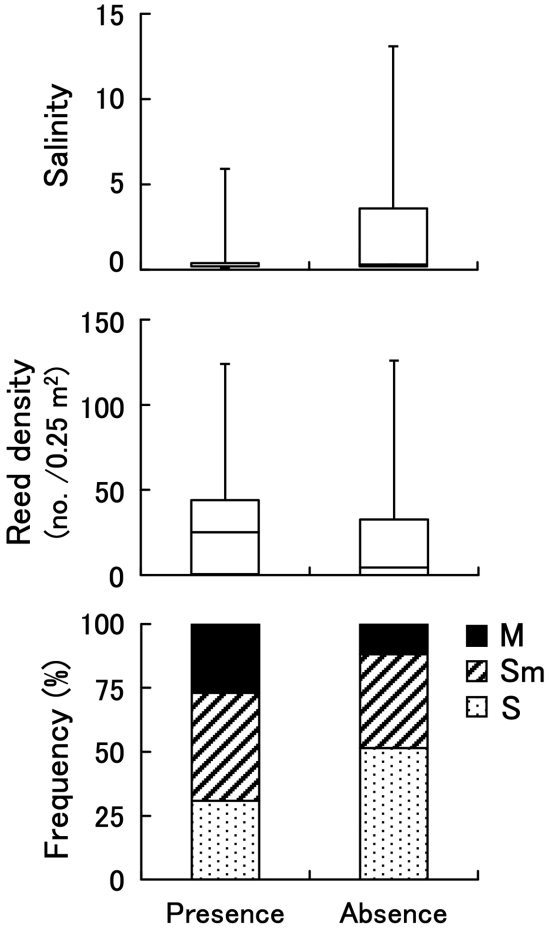

Fig. 4 Comparison of each environmental variable (salinity, reed density and frequency of main sediment types) between presence/absence of juvenile *Gymnogobius castaneus* collected at all sampling sites during the study. Box plots of salinity and reed density represent 25%, median and 75% values; vertical lines indicate minimum and maximum values. Sediment types: M, mud substrate; Sm, sandy mud substrate; S, sand substrate.

られていない（横尾ほか，2009；原田，2016）。那珂川水系に分布するジュズカケハゼの近縁種２種のうち，ムサシノジュズカケハゼ *Gymnogobius* sp. 1 については純淡水魚であり，淡水域でしか採集記録はない（Shinozaki *et al.*, 2006）。また，ビリンゴについては汽水魚で，涸沼では過去に採集記録はあるものの（猿渡ほか，2006；金子ほか，2011），近年の調査では生息が確認されていないため（Kaneko *et al.*, 2020），同じ水系内での比較は困難だが，東京湾やその流入河川の河口域浅所ではより高塩分の水域（平均塩分 8.9–18.3）で優占的に出現することが報告されている（例えば，村井ほか, 2016；Kanou *et al.*, 2018）。したがって，これまでに指摘されてきたように（原田，2008, 2016），本研究においてもジュズカケハゼの塩分の選好性は，純淡水魚のムサシノジュズカケハゼと汽水魚のビリンゴの間に位置するといえる。なお，河川中流域から内湾にかけての塩分傾斜については，ウキゴリ属魚類の初期生活史の差異や生息空間の資源分割などに部分的に関与している可能性が示唆されている（原田，2016；Inui *et al.*, 2018）。

ヨシの生育密度が高い場所で稚魚がよく出現したことについては，ヨシの茎や根などによって形成される複雑な立体構造と関係している可能性がある。本研究の出現地点のうちヨシが生育している場所では，本種の底生期稚魚が常にヨシの根元付近で採集された。ヨシの茎や根などの植物体構造やヨシが生育することで形成される微地形は，一部の小型魚類にとって隠れ家や捕食者からの避難場として機能している可能性が示唆されている（碓井ほか, 2014, 2015；百成ほか, 2016；Whitfield, 2017；Kaneko *et al.*, 2019b）。魚食魚による影響を受けやすいジュズカケハゼ（中井，2004；向井ほか，2010；冨永ほか，2013；小粥ほか，2023）についても，ヨシ帯の複雑な構造が避難場として役立っている可能性がある。さらに，ヨシなどの抽水植物があることによって流れが緩やかになるため（鈴木，1998），そのような場所を本種の底生期稚魚が利用している可能性もある。

泥底や砂泥底の地点で本種の底生期稚魚がよく出現したことについては，本種の産卵生態から部分的に説明することができる。本種については雄が泥底に堀った巣穴で雌が産卵する習性が確認されており（水資源開発公団・資源科学研究所，1971；中村，1986），涸沼の塩性湿地では冬季（産

卵期）に本種の成魚が泥分の高いクリーク内のみに出現し，そこで産卵している可能性が示唆されている（Oguma *et al.*, 2022）。したがって，泥底の産卵場所で孵化した後，浮遊生活を経て着底するまでにあまり分散しなかった可能性がある。これとは別に，泥分が高い場所は，先述したように流れがゆるやかな場所でもあるため，そのような場所を選好していた可能性もある。さらに，涸沼の塩性湿地クリークでは，低塩分の泥底で本種の主要な餌生物であるユスリカ類幼虫が多く（Kaneko *et al.*, 2019a），そのような場所が本種の好適な餌場となっている可能性もある（Oguma *et al.*, 2022）。しかしながら，本研究の GLMM 解析の結果からは，涸沼本湖とその流入河川での広域的な本種の底生期稚魚の出現・非出現とユスリカ類幼虫の生息密度との間には明瞭な関係性は見出せなかった。ただし，餌生物量の多寡については，より狭い範囲での本種の生息密度の多寡や成長に影響を及ぼしている可能性が否定されたわけではなく，今後ともさらなる調査が必要である。

本研究の調査地である涸沼はラムサール条約湿地に登録されており，鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律に基づいて，涸沼本湖および湖岸の一部のヨシ原は特別保護地区に指定され，埋立てや干拓といった人為的な環境改変が規制されている。しかしながら，2015 年には涸沼の特別保護地区内のヨシ原において，太陽光発電事業者によるヨシ刈りが行われた事例もあり（会田・石井，2016），行政や地域団体による監視が強化されている。一方で，流入河川については，本湖に面するヨシ原と異なり特別保護地区と同等の規制を受けないことから，生物の生息環境を保全するために必要な措置を講じにくい実状がある。したがって，今後，治水や利水のために流入河川の改修や護岸化などを計画する場合には，本種の生息環境に悪影響を及ぼさない方法について，専門家とも事前に協議し，十分に検討することが求められる。とくに，底生期稚魚の生息地保全の観点からは，流入河川内に位置する低塩分で泥底や砂泥底の場所の抽水植物帯の保全について十分に留意することが望まれる。

謝辞

本研究の野外調査は，大涸沼漁業協同組合の方々に同意していただいたうえで，関係法令を遵守して実施した。採集調査時には，茨城大学地球・地域環境共創機構水圏環境フィールドステーションの浅野泰輝氏，柏谷翔大氏，水木裕翼氏，渡邊美如々氏にご協力していただいた。本稿の英文については，Graham S. Hardy 氏に校閲していただいた。ここに記して心より御礼申し上げる。

引用文献

会田　済，石井和浩（2016）：関東唯一の汽水湖「涸沼（ひぬま）」．湿地研究，**6**，93–95.

明仁，坂本勝一，池田祐二，藍澤正宏（2013）：ハゼ亜目．日本産魚類検索全種の同定　第 3 版（中坊徹次編），東海大学出版会，秦野，p. 1347–1553.

青森県環境生活部自然保護課（2020）：青森県の希少な野生生物　青森県レッドデータブック（2020 年版）．青森県，青森，397 pp.

阿須間幸男，堀江美紀，石井　亮，三浦啓吾，大嶋和雄（1998）：茨城県涸沼の環境資源．茨城大学地域総合研究所年報，（31），1–21.

千葉県環境生活部自然保護課（2019）：千葉県の保護上重要な野生生物　千葉県レッドリスト動物編 2019 年改訂版．千葉県環境生活部自然保護課，千葉，40 pp.

藤本泰文，川岸基能，進東健太郎（2008）：伊豆沼・内沼集水域の魚類相：在来魚と外来魚の分布．伊豆沼・内沼研究報告，（2），13–25.

福島県生活環境部自然保護課（2023）：ふくしまレッドリスト　2022 年版．福島県生活環境部自然保護課，福島，61 pp.

原田慈雄（2008）：ハゼ類―ウキゴリ属の多様な生活史と個体発生の進化．稚魚学―多様な生理生態を探る（田中　克，田川正朋，中山耕至編），生物研究社，東京，p. 43–51.

原田慈雄（2016）：ハゼ亜目魚類の両側回遊　ウキゴリ属魚類の生活史進化．海洋と生物，（38），356–362.

針生　勤，仲島広嗣，高村典子（2007）：達古武沼と周辺河川における魚類の分布特性と生息状況．陸水学雑誌，**68**，157–167.

林　浩介，小山彰彦，鬼倉徳雄（2013）：牛津川近隣の農業用水路におけるツチフキの産卵環境．魚類

学雑誌，**60**，141–147.

百成　渉，柴田真生，加納光樹，碓井星二，金子誠也，佐野光彦（2016）：茨城県北浦の沖帯から沿岸帯におけるヌマチチブ仔稚魚の生息場所利用と食性．日本水産学会誌，**82**，2–11.

茨城県生活環境部環境政策課（2016）：茨城における絶滅のおそれのある野生生物　動物編 2016 年改訂版（茨城県版レッドデータブック）．茨城県生活環境部環境政策課，水戸，327 pp.

今村泰二，堀　義彦（1964）：茨城県涸沼の湖沼学的観測とプランクトンの季節的消長．茨城大学文理学部紀要（自然科学），（15），43–59.

Inui, R., A. Koyama and Y. Akamatsu（2018）: Abiotic and biotic factors influence the habitat use of four species of *Gymnogobius*（Gobiidae）in riverine estuaries in the Seto Inland Sea. Ichthyol. Res., **65**, 1–11.

金子誠也，加納光樹（2016）：ジュズカケハゼ．茨城県における絶滅のおそれのある野生生物　動物編 2016 年改訂版（茨城県版レッドデータブック）（茨城県生活環境部環境政策課編），茨城県生活環境部環境政策課，水戸，p. 109.

Kaneko, S., K. Kanou and M. Sano（2016）: Food habits of salt marsh fishes in Lake Hinuma, Ibaraki Prefecture, central Japan. Fish. Sci., **82**, 631–637.

Kaneko, S., K. Kanou and M. Sano（2019a）: Comparison of fish assemblage structures among microhabitats in a salt marsh in Lake Hinuma, eastern Japan. Fish. Sci., **85**, 113–125.

Kaneko, S., K. Kanou and M. Sano（2019b）: Comparison of predation risks for small fishes in salt marsh microhabitats in Lake Hinuma, eastern Japan, using tethering experiments. Fish. Sci., **85**, 457–463.

Kaneko, S., K. Kanou and M. Sano（2020）: Differences in fish assemblage structures between tidal marsh and bare sandy littoral habitats in a brackish water lake, eastern Japan. Ichthyol. Res., **67**, 439–450.

金子誠也，碓井星二，百成　渉，加納光樹，増子勝男，鎌田洸一（2011）：標本記録に基づく 1960 年代の茨城県涸沼の魚類相．日本生物地理学会会報，**66**，173–182.

環境省自然環境局野生生物課（2020）：環境省レッドリスト 2020．環境省ホームページ：https://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf

環境省自然環境局野生生物課（2004）：ブラックバス・ブルーギルが在来生物群集及び生態系に与える影響と対策調査．自然環境研究センター，東京，226 pp.

Kanou, K., H. Kohno and M. Sano（2004）: Morphological and functional development of characters associated with settlement in the yellowfin goby, *Acanthogobius flavimanus*. Ichthyol. Res., **51**, 213–221.

Kanou, K., T. Yokoo and H. Kohno（2018）: Spatial variations in tidepool fish assemblages related to environmental variables in the Tama River estuary, Japan. La mer, **56**, 1–10.

小粥淳史，八柳　哲，神戸　崇，井上頌子，荒木仁志（2023）：環境 DNA メタバーコーディングを用いた北日本の溜池における外来魚の影響評価．保全生態学研究，J-STAGE 早期公開.

熊川真二（2001）：諏訪湖およびその周辺水域におけるハゼ科魚類の性成熟と諏訪湖における仔稚魚の浮遊行動．長野県水産試験場研究報告，（5），25–30.

Matsuzaki, S. S., N. Takamura, K. Arayama, A. Tominaga, J. Iwasaki and I. Washitani（2011）: Potential impacts of non-native channel catfish on commercially important species in a Japanese lake, as inferred from long-term monitoring data. Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst., **21**, 348–358.

宮城県環境生活部自然保護課（2023）：宮城県レッドリスト 2023（汽水・淡水魚類）．宮城県ホームページ：https://www.pref.miyagi.jp/documents/24174/kisuisansuikairui.pdf

水資源開発公団，資源科学研究所（1971）：霞ケ浦・北浦水産生物調査報告書．水資源開発公団，1–65.

向井貴彦，渋川浩一，篠崎敏彦，杉山秀樹，千葉　悟，半澤直人（2010）：ジュズカケハゼ種群：同胞種群とその現状．魚類学雑誌，**57**，173–176.

向井貴彦（2015）：ジュズカケハゼ広域分布種．レッドデータブック 2014―日本の絶滅のおそれのある野生生物―4 汽水・淡水魚類（環境省編），ぎょうせい，東京，p. 354.

村井俊太，村瀬敦宣，河野　博，竹山佳奈，中瀬浩太，岩上貴弘（2016）：東京湾の湾奥に再生された干

潟と人工海浜（大森ふるさとの浜辺公園）の魚類相．La mer，**54**，11–27.

中井克樹（2004）：ブラックバス等の外来魚による生態的影響．用水と廃水，**46**，48–56.

中村　誠（1986）：ジュズカケハゼの生態に関する研究―1　ジュズカケハゼの初期発生．茨城県内水面水産試験場研究報告，（23），13–17.

二平　章（2006）：霞ヶ浦漁業における物質循環機能の経済評価．茨城県内水面水産試験場研究報告，（40），69–77.

小熊進之介，金子誠也，原田慈雄，加納光樹（2020）：茨城県涸沼の塩性湿地で採集されたジュズカケハゼ仔稚魚の形態発育．日本生物地理学会会報，**75**，25–30.

Oguma, S., S. Kaneko and K. Kanou（2022）: Seasonal occurrence and food habits of larvae and juveniles of the threatened goby *Gymnogobius castaneus* in a salt marsh in Lake Hinuma, eastern Japan. Aquacult. Sci., **70**, 65–73.

大畑剛史，乾　隆帝，中島　淳，大浦晴彦，鬼倉徳雄（2012）：熊本県緑川水系におけるイチモンジタナゴ *Acheilognathus cyanostigma* の分布パターン．魚類学雑誌，**59**，1–9.

R Core Team（2020）: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. http://www.R-project.org

猿渡敏郎，小藤一弥，田中宏典，金高卓二，齋藤伸輔（2006）：魚類の生息環境としての汽水湖―茨城県涸沼を例に．魚類環境生態学入門―渓流から深海まで，魚と棲みかのインターアクション（猿渡敏郎編），東海大学出版会，秦野，p. 74–102.

資源科学研究所（1968）：利根川河口堰建設事業に伴う水産動物に及ぼす影響予測解析調査．水資源開発公団，1–231.

Shinozaki, T., M. Hatsumi, K. Wakahama and A. Goto（2006）: Genetic evidence supporting the existence of two diverged groups in the goby *Gymnogobius castaneus*. Ichthyol. Res., **53**, 82–86.

塩垣　優，道津喜衛（2014）：ハゼ亜目．日本産稚魚図鑑　第２版（沖山宗雄編），東海大学出版会，秦野，p. 1215–1218.

杉山秀樹（2016）：八郎潟の干拓にともなう漁業資源の変遷．水環境学会誌，**39**（A），234–237.

鈴木興道（1998）：魚の住みやすい川づくりに資する魚類の生息分布とその場の流速．土木学会論文集，（593），21–29.

冨永　敦，半澤浩美，野内孝則，荒山和則（2013）：霞ヶ浦における魚類および甲殻類の現存量の経年変化．陸水学雑誌，**74**，1–14.

宇多高明，見澤正勝，古川秀一，今村史子，城野裕介（2007）：湖岸植生帯の再生手法に関する検討．水工学論文集，**51**，1451–1456.

碓井星二，加納光樹，荒山和則，佐野光彦（2015）：茨城県北浦のヨシ帯における魚類群集構造の季節変化．日本水産学会誌，**81**，964–972.

碓井星二，加納光樹，佐野光彦（2014）：茨城県北浦のヨシ帯と護岸帯での魚類群集構造の比較．日本水産学会誌，**80**，741–752.

Usui, S., K. Kanou and M. Sano（2018）: Food habits of fishes in a freshwater reed belt in Lake Kitaura, eastern Japan, in summer. Fish. Sci., **84**, 469–476.

Whitfield, A. K.（2017）: The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries. Rev. Fish Biol. Fisheries, **27**, 75–110.

山本天誠，萩原富司，諸澤崇裕，加納光樹（2023）：霞ヶ浦の流入河川における外来種オオタナゴの仔魚の生息環境特性．魚類学雑誌，**70**，73–82.

Yasuno, N., Y. Chiba, K. Shindo, Y. Fujimoto, T. Shimada, S. Shikano and E. Kikuchi（2012）: Size-dependent ontogenetic diet shifts to piscivory documented from stable isotope analyses in an introduced population of largemouth bass. Environ. Biol. Fish., **93**, 255–266.

横尾俊博，堀之内正博，荒西太士（2009）：宍道湖および中海において春季に灯火トラップで採集された仔稚魚．LAGUNA，（16），47–52.

Received: November 8, 2023
Accepted: June 19, 2024