

河川汽水域における ミナミアカヒレタビラの稚魚の分布と微生物環境

鴛海智佳^{1,2,3*}・諸澤崇裕⁴・古林敏彦³・山口啓子⁵

Distribution and habitat of *Acheilognathus tabira jordani* (Cyprinidae, Acheilognathinae) juveniles in brackish waters

Chika Oshiumi^{1,2,3*}, Takahiro Morosawa⁴, Toshihiko Kobayashi³ and Keiko Yamaguchi⁵

Abstract: Bitterlings (Cyprinidae, Acheilognathinae) exhibit an unusual spawning symbiosis with unionid mussels. The southern red tabira bitterling *Acheilognathus tabira jordani* is a critically endangered freshwater fish endemic to Japan. The distribution and habitat of four species of bitterling juveniles were investigated on June 15 and 16, 2017 in a tidal river connected to an area of brackish water in Shimane Prefecture, western Honshu, Japan. Environmental variables such as salinity, dissolved oxygen, current velocity, water depth, vegetation of artificial cover, and the type of embankment were measured at 27 points along the river. Additionally, the density of unionid mussels was surveyed by divers on July 3 and 4, 2017. To reveal the habitat requirements of juvenile bitterlings, we analyzed the relationship between the number of observed juvenile individuals and habitat variables using a generalized linear mixed model. The most abundant and widely distributed bitterling was an alien species, *Rhodeus ocellatus ocellatus*, followed by *A. tabira jordani*. The model showed that the density of *A. tabira jordani* juveniles is affected by two major factors: vegetation or artificial cover and population of *R. ocellatus ocellatus*. The density of *R. ocellatus ocellatus* juveniles is affected by three major factors: hypoxia, vegetation or artificial cover and the type of floating plants presence.

Key words: bitterling, fry, habitat, cover, conservation

¹ 鳥取大学大学院連合農学研究科・The United Graduate School of Agricultural Science, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama-cho, Tottori 680-8553, Japan.

² 日本シジミ研究所・Japan Corbicula Research Institute, 1280-1 Hayashi, Tamayu-cho, Matsue, Shimane 699-0204, Japan.

³ ミナミアカヒレタビラ研究会・Acheilognathus tabira jordani Study Group, 165-1 Omisaki-cho, Matsue, Shimane 690-0831, Japan.

⁴ 一般財団法人自然環境研究センター・Japan Wildlife Research Center, 3-3-7, Kotobashi, Sumidaku, Tokyo 130-8606, Japan.

⁵ 島根大学生物資源科学部・Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Matsue, Shimane 690-8504, Japan.

受付日：2017年11月7日，受理日：2018年6月1日，WEB掲載日：2018年8月31日

はじめに

潟湖や低湿地帯などの氾濫原は、生物多様性が高く保全上の価値が高い場所である (Tockner and Stanford, 2002). しかし、このような低湿地帯は、多くが干拓などの人間の利用によって失われてきた (鷺谷, 2007). このため、低湿地帯に生息する多くの種が絶滅危惧種となっている. そのような低湿地帯に生息する魚類の中でも、コイ科タナゴ亜科魚類 (以下タナゴ類と記す) は、生きたイシガイ科二枚貝類の鰓内に卵を産み込むという独特な繁殖生態を持っている (長田, 1985; Aldridge, 1999). タナゴ類の卵は二枚貝の鰓内で孵化し、卵黄を吸収し終えるまで鰓内で過ごし、後期仔魚まで成長したのち、二枚貝の出水管から泳出する (Kitamura et al., 2012). したがって、タナゴ類の生活史を完結させるためには、イシガイ科二枚貝類の存在が欠かせない. 近年タナゴ類の生息地や生息数は激減しており、日本に生息するタナゴ類 16 種ないし亜種のうち、1 種を除くすべてが環境省のレッドリストに選定されている (環境省, 2015). 減少要因のひとつとして、共生関係にあるイシガイ科二枚貝類の減少が指摘されており、そのイシガイ科二枚貝類も多くの種が生息地や生息数を減らしている (根岸ほか, 2008).

島根県には、在来 3 種、外来 2 種 (国外外来 1 種、国内外来 1 種) の計 5 種のタナゴ類が生息している (建設省中国地方建設局出雲工事事務所, 2000; 島根県, 2014). そのうち在来種であるミナミアカヒレタビラ *Acheilognathus tabira jordani* (以下本種と記す) は、2012 年 3 月に島根県の「希少指定野生動物植物」に指定され (島根県, 2012), 島根県のレッドデータブックでは、絶滅危惧 I 類に指定されている (島根県, 2014). 2004 年頃まで島根県内の 4-5 地域に存在していた本種の生息地は減少し、現在は 2 地域となっている (島根県, 2004; 鴛海ほか, 2018). そのうちの 1 地域の河川では、1943 年までは潟湖やその周辺の湿地帯に生息していたと考えられており (島根県古代文化センター, 2015), その後潟湖が農地転用のために干拓され (島根大学汽水域研究センター, 1997), 生息域が縮小し、現在は河川の一部の区間で生息が確認されている. また、残り 1 地域 (本研究の生息地) は、17 世紀後半までは汽水湖や低湿地であったが (島根県古代文化センター, 2015), その後新田開発により大部分が陸地化され、現在本種はその地域を流れる河川に生息している.

このように、生息地が 2 地域と極めて少なく、島根県内の個体群の存続が危ぶまれている本種を保全す

るためには、まず野外での生活史の解明と生息環境の把握が必要であり、それらに基づいて保全策を検討する必要がある. 本種の生活史で要求される生息場所は、成魚が生息する場所、卵や仔魚が生息する場所、稚魚や幼魚が生息する場所の成長段階ごとに 3 つに分けられる. そのうち、本種の成魚は、季節によって主要分布域が異なり、繁殖期には下流域に集中、その後上流方向へ分散し、流程約 6km の広範囲を利用することが分かっている (鴛海ほか, 2018). 一方で、本種の卵・仔魚期と稚・幼魚期の生態や生息環境については知見が得られていない. 魚類は一般的に生活史の初期段階に死亡率が高いが (高木, 2007), タナゴ類は二枚貝類に産卵する繁殖戦略を採っているため、卵や仔魚期は貝内で守られている. しかし、二枚貝から泳出後の遊泳力が十分に備わっていない稚魚期においては、他の魚種からの捕食などによる個体群の減耗が最も大きいと考えられる. そこで本研究では、本種の個体群、特に稚魚期における保全策へとつなげる情報を得るため、本種の稚魚の河川内での分布を調査するとともに、稚魚期の確認個体数と環境要因 (物理環境、他種のタナゴ類の個体数、産卵母貝であるイシガイ科二枚貝類の生息密度) との関係性を解析した.

方法

調査地

本研究の調査地は、島根県東部に位置する一河川である (生息地の保全の観点から詳細な位置と河川名は表記しないこととする). 本河川は、汽水湖に注ぐ勾配の緩やかな感潮河川で、純淡水魚、通し回遊魚に加え、下流域ではクルマサヨリ *Hyporhamphus intermedius*, スズキ *Lateolabrax japonicus*, マハゼ *Acanthogobius flavimanus* などの汽水に生息する魚類の生息も確認されている (鴛海ほか, 2018). タナゴ類では、在来種として本種およびヤリタナゴ *Tanakia lanceolata*, 外来種としてタイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus*, カネヒラ *Acheilognathus rhombeus* の計 4 種が生息している (鴛海ほか, 2018).

稚魚の分布調査

二枚貝から泳出後のタナゴ類の稚魚の種および個体数を調査した. 本河川では、事前に春産卵型のタナゴ類の稚魚が 5 月中旬から 7 月初旬まで確認されていたことから (鴛海, 個人観察), 調査時期はその中間にあたる 2017 年 6 月 15 日および 16 日とした. 調査

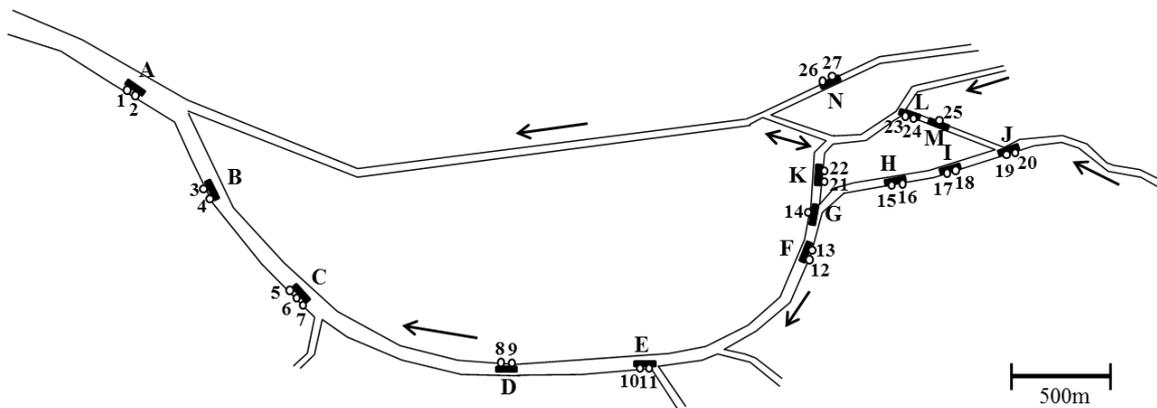


図1 河川における調査地点の模式図。○はタナゴ亜科魚類稚魚の調査地点，■はイシガイ科二枚貝類の調査地点を示す。矢印は流向を示す。

Fig. 1 Schematic illustration of study sites. Circle plots indicate sampling sites of bitterling juveniles and black squares indicate sampling sites of unionid mussels. Arrows show the direction of river current.

地点は、本河川の下流域から中流域に合計 27 地点設定し (図 1: 1-27)、各地点の調査範囲は、河川縦断方向に 10 m、岸 (抽水植物が河岸に繁茂する場合は植物帯の水際側) から 1.5 m (約 15 m²) とした。タナゴ類の稚魚を陸上から目視で探し、稚魚が確認された場合はその個体数を記録した。群れの規模が大きい場合は、個体数は概数とした。抽水植物が繁茂し、その陰で稚魚が陸上から目視観察できない調査地点においては、胴長を着用して河川内に入り、観察と記録を行った。いずれの調査地点においても、種の同定および種ごとの個体数を計数するために稚魚の群れの一部を金魚網 (目合 0.5 mm, 13 cm×10 cm) で捕獲し、透明プラケースに河川水とともに移した後、プラケース内の稚魚を真横から撮影した。種ごとの個体数の計数と、捕獲個体のうち、最大および最小と思われる個体の全長を計測し、捕獲地点にて放流した。タナゴ類稚魚の陸上からの目視概数と、捕獲個体の割合から、各調査地点における種ごとの推定個体数を算出した。稚魚の同定は、背鰭に出現する黒斑の有無とその位置により行った (ヤリタナゴには背鰭に黒斑がなく、ミナミアカヒレタビラとタイリクバラタナゴ、カネヒラの稚魚には背鰭に黒斑が発現するが、その位置が異なる、中村, 1969; 川那部ほか, 1989; Arai et al., 2007)。

イシガイ科二枚貝類の分布と生息密度の調査

イシガイ科二枚貝類の生息状況を明らかにするため、潜水による二枚貝類の捕獲調査を行った。調査

は 2017 年 7 月 3 日および 4 日に、本河川の下流域から中流域の 14 地点 (図 1: A-N) で実施した。捕獲には、0.5 m×1 m の長方形枠と 0.5 mm 目合のネットが張られたサーバーネットを用いた。まず、潜士が調査地点の任意の場所に長方形枠を置き、徒手にて枠内の大型の貝類を捕獲した。その後、枠内の表層から約 5 cm までの底質を全てサーバーネットで採取し、水上で細かい土砂をふるい落とし、サーバーネット上の残渣から貝類を拾い出した。その作業を 1 地点あたり 4 か所で行い、計 2 m² の範囲の貝類を採取した。捕獲されたイシガイ科二枚貝類は、陸上にて種の同定を行い、各個体の殻長を 1 mm 単位で計測後、捕獲地点において放流した。イシガイ科二枚貝類の種の同定は、近藤 (2008) の分類に基づくこととした。

物理環境調査

各調査地点の物理的な環境要素を把握するため、水深、水質 (水温、塩分、溶存酸素濃度)、流速を測定した。水深は、稚魚の観察を行った調査範囲の最も深い場所で測定し、水質は、多項目水質計 (Hydrolabo 社, Quonta) を用い、流速は、流速・風速温度計 (FUSO, FS-HG9000) を用いて、どちらも調査範囲内の表層 (水面から約 10 cm 下) において測定した。また、各調査地点においてヨシ、ガマ等の抽水植物または水没した陸上植物の有無、ヒシ等の浮葉植物の有無、観察面積の 25% 以上を占める樹木等日陰 (樹木または橋梁などによる水上カバー) の有無、護岸のうち、河川水に接している水際部分の形状 (素

表 1 タナゴ類 3 種の稚魚の個体数および全長.

Table 1 Number of individuals and size of bitterling juveniles.

稚魚 調査地点	稚魚の 目視概数	採集個体数			採集個体のうち最小全長と最大全長(mm)			推定個体数		
		ミナミアカ ヒレタビラ	タイリク バラタナゴ	ヤリタナゴ	ミナミアカ ヒレタビラ	タイリク バラタナゴ	ヤリタナゴ	ミナミアカ ヒレタビラ	タイリク バラタナゴ	ヤリタナゴ
		<i>A. tabira jordani</i>	<i>R. ocellatus ocellatus</i>	<i>T. lanceolata</i>	<i>A. tabira jordani</i>	<i>R. ocellatus ocellatus</i>	<i>T. lanceolata</i>	<i>A. tabira jordani</i>	<i>R. ocellatus ocellatus</i>	<i>T. lanceolata</i>
1	16	2	10	-	9-10	6-9	-	3	13	-
2	1	-	1	-	-	7	-	-	1	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	800	15	70	-	9-12	7-10	-	141	659	-
5	1130	45	5	-	8-12	7-9	-	1017	113	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	780	13	80	-	8-13	6-10	-	109	671	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2037	4	55	-	9-11	7-10	-	138	1899	-
11	780	10	40	-	9-14	7-13	-	156	624	-
12	350	15	15	-	9-12	7-9	-	175	175	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	38	3	15	-	11-13	7-11	-	6	32	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	20	2	18	-	9-10	6-13	-	2	18	-
17	10	-	10	-	-	6-12	-	-	10	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	48	1	45	-	10	6-9	-	1	47	-
20	65	-	50	-	-	6-9	-	-	65	-
21	82	9	25	-	9-11	7-11	-	22	60	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	58	1	12	-	9	7-11	-	4	54	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	32	1	30	-	9	7-11	-	1	31	-
26	5	-	1	2	-	7	9	-	2	3
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

掘り、植生、石積み、袋詰玉石工、コンクリート)を記録した。さらに後日、汽水湖と接続する河口からの距離、川幅、河床の標高を地図上で計測した。河口からの距離および川幅については google map を用い、河床の標高については国土地理院の地図を用いた。

統計解析

タナゴ類の稚魚の個体数と環境要因との関係を明らかにするため、確認されたタナゴ類のうち、捕獲個体数の多かった本種とタイリクバラタナゴについて一般化線形混合モデル (GLMM) を用いて解析した。目的変数にタナゴ類稚魚の推定個体数、説明変数として、イシガイ科二枚貝類の生息密度、溶存酸素濃度 (mg/l)、護岸の形状、抽水植物または水没した陸上植物の有無、浮葉植物の有無、樹木もしくは人工物による日陰の有無を使用した。護岸の形状については素掘り、植生、石積み、袋詰玉石工、コンクリートの 5 タイプを、抽水植物または水没した陸上植物、浮葉植物、樹木等日陰 (カバー) については、それぞれの有無をカテゴリカルデータとして解析に使用した。その他の環境要因については、調査の結果、調査地点間のばらつきが少なく、本種との関係において、どのような生物学的な意味があるのかについての考

察が難しいと考えられたため、解析には使用しなかった。解析においては、目的変数にポアソン分布、リンク関数に log リンク関数、ランダム効果に二枚貝調査地点を使用した。構築したモデルについて、 ΔAIC に基づきモデル選択を行い、 ΔAIC が 2 以下のモデルについて、妥当性が高いモデルとし、採用した。解析には統計環境 R ver.3.3.2 (R Core Team, 2016) を用い、GLMM 解析には Package (lme4)、モデル選択には、Package (MuMIn) を用いた。

結果

稚魚およびイシガイ科二枚貝類の分布状況

稚魚調査では、本種、タイリクバラタナゴ、ヤリタナゴ、カネヒラの 4 種が確認された。そのうち前 3 種の稚魚は表層で遊泳しており、カネヒラは底層付近で観察された。捕獲された稚魚の全長は、本種では約 8-14 mm、タイリクバラタナゴでは 6-13 mm、ヤリタナゴでは 9 mm (2 個体のみが捕獲され、共に同じ大きさ) であった。カネヒラは地点 24 のみで約 100 個体確認され、全長は約 3 cm であった。調査地点 27 地点のうち、本種は 13 地点、タイリクバラタナゴは 17 地点、ヤリタナゴは地点 26 の 1 地点のみで捕獲さ

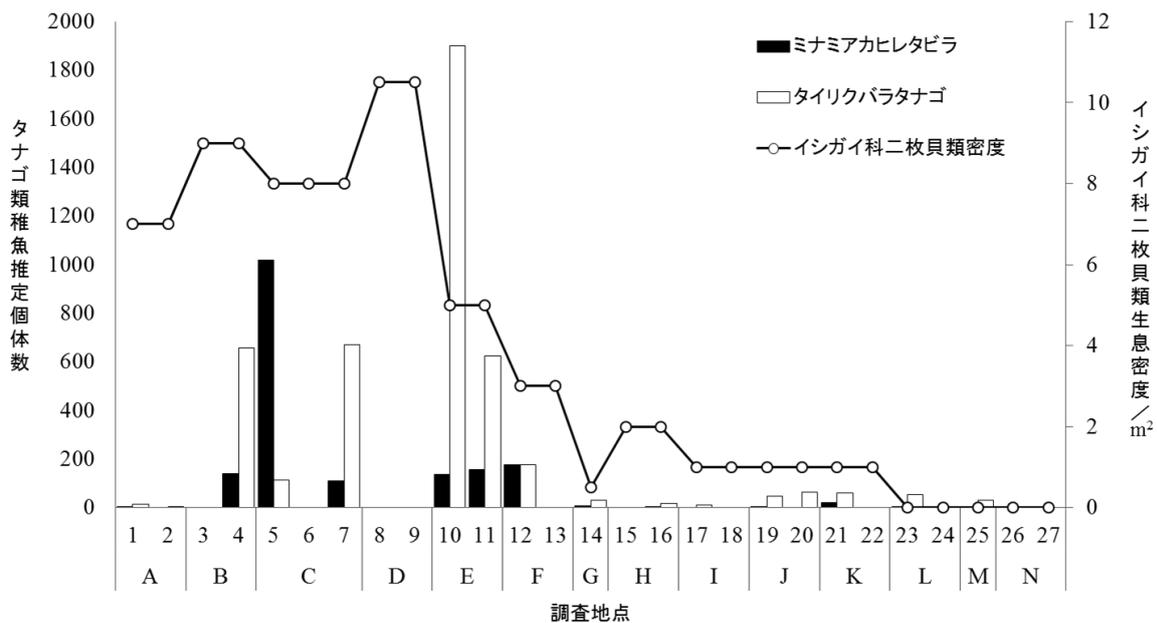


図2 調査地点ごとのイシガイ科二枚貝類の生息密度およびタナゴ類2種の稚魚の推定個体数。
 Fig. 2 Density of unionid mussels and estimated population number of bitterling juveniles at each sampling sites.

れた(表1)。タナゴ類の稚魚の目視個体数は、最も多い地点(地点10)で約2000個体であった。複数種が捕獲された調査地点では、稚魚は数十から数百個体の規模の群れを形成し、混泳していた。群れの一部を捕獲し観察した結果、本種よりもタイリクバラタナゴの個体数が多かった(Mann-Whitney U-test, $P < 0.05$)。また、各地点における目視個体数に対する捕獲された個体数から推定した個体数は、本種は最も多い地点で約1000個体、タイリクバラタナゴは最も多い地点で約1900個体であった(表1)。個体数は両種ともに、地点4-12の下流側に多い傾向がみられた(図2)。

二枚貝類調査では、イシガイ科二枚貝類としてイシガイ *Nodularia douglasiae nipponensis*、ドブガイ属の一種 *Sinanodonta* sp.、カラスガイ *Cristaria plicata*、フネドブガイ *Anemina arcaeiformis* の4種が採取された(表2)。イシガイ科二枚貝類は、14地点のうち、A-K(11ヶ所)、河口からの距離が835-5530 mまでの区間にて採取され、そのうちA-E(河口からの距離835-4090 m)での密度が高かった(10個体/m²以上)。カラスガイはA-E(河口からの距離835-4090 m)、フネドブガイはA-D(河口からの距離835-3350 m)の下流寄りにて採取され、イシガイとドブガイ属の一種はそれらよりも広い範囲で採取された。

調査地点の物理環境

稚魚調査を実施した地点の物理環境は、河口からの距離は835-6190 m、川幅は4-104 m、標高は-0.2-1.4 m、水深30-170 cm、水温は22.9-27.7°C、塩分は0.06-0.12、溶存酸素量は6.60-13.34 mg/lであった(表3)。なお、流速は全ての地点で10 cm/秒以下であった。底質は大部分が泥で、一部粘土と泥、砂泥の地点があった。護岸の形状は、全27地点のうち、10地点がコンクリート、6地点が植生、5地点が素掘り、石積みと袋詰玉石工がそれぞれ3地点であった。下流側はコンクリート護岸が多く、調査範囲の上流側は、素掘りまたは植生の地点が多かった。抽水植物または水没した陸上植物がみられたのは7地点で、上流側に多く、浮葉植物(ヒシ等)が見られたのは下流側の3地点、樹木等日陰(カバー)が観察面積の25%以上であった地点は6地点であった。

稚魚の生息環境

GLMMによるモデル選択の結果、本種およびタイリクバラタナゴの両種で ΔAIC が2以下のモデルはひとつのみであった。選択された説明変数は、本種の稚魚の推定個体数においては、抽水植物の有無、樹木等日陰(カバー)の有無、タイリクバラタナゴ個体数であった。タイリクバラタナゴの稚魚の推定個体数においては、溶存酸素濃度、護岸の水際の形状、浮

表 2 調査地点ごとのイシガイ科二枚貝類の捕獲個体数.

Table 2 Captured number of unionid mussel individuals.

イシガイ科 二枚貝類 調査地点	稚魚 調査地点	採集個体数				
		イシガイ科 二枚貝類 合計	イシガイ <i>N. douglasiae</i> <i>nipponensis</i>	カラスガイ <i>C. plicata</i>	フネドブガイ <i>A. arcaeformis</i>	ドブガイ属 <i>Sinanodonta</i> sp.
A	1,2	14	5	4	3	2
B	3,4	18	3	12	1	2
C	5,6,7	16	11	4	-	1
D	8,9	21	15	-	2	4
E	10,11	10	3	2	-	5
F	12,13	6	5	-	-	1
G	14	1	1	-	-	-
H	15,16	4	3	-	-	1
I	17,18	2	2	-	-	-
J	19,20	2	1	-	-	1
K	21,22	2	1	-	-	1
L	23,24	-	-	-	-	-
M	25	-	-	-	-	-
N	26,27	-	-	-	-	-

表 3 調査地点ごとの物理環境と植物の有無.

Table 3 Environmental characteristics of habitat at the study site of juveniles.

調査 地点	河口からの 距離(km)	川幅 (m)	標高 (m)	水深 (cm)	水質			底質	護岸の形状	抽水植物または 水没した陸 上植物の有無	浮葉植物 (ヒシ)の有無	樹木等日陰 (カバー)の 有無 ^{※1}
					水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (mg/l)					
1	835	104	0.2	170	25.3	0.08	7.96	泥	石積み		○	
2	850	102	0.2	170	24.9	0.07	8.47	泥	植生	○	○	
3	1360	85	0.3	140	24.4	0.10	8.37	泥	コンクリート			
4	1390	87	0.3	110	24.6	0.10	8.31	泥	コンクリート		○	○
5	2180	85	0.2	95	24.5	0.10	9.82	泥	コンクリート			○
6	2210	85	0.2	95	24.6	0.10	9.64	泥	コンクリート			
7	2260	85	0.2	95	24.5	0.10	9.18	泥	コンクリート			
8	3320	63	0.1	60	25.4	0.10	8.73	泥	袋詰玉石工			
9	3350	64	0.1	70	25.3	0.11	9.17	泥	コンクリート			○
10	4060	69	0.1	40	25.3	0.12	6.87	泥	植生	○		
11	4090	70	0.1	40	25.7	0.12	6.60	泥	コンクリート			
12	5180	31	0.8	50	25.0	0.09	8.61	泥	コンクリート			○
13	5200	30	0.8	50	25.2	0.09	9.52	泥	コンクリート			
14	5300	40	-0.2	80	25.2	0.08	8.73	泥	袋詰玉石工			
15	5690	13	0.2	30	24.8	0.10	8.11	粘土・泥	素掘り			
16	5720	13	0.2	70	24.9	0.10	7.85	粘土・泥	石積み			
17	5900	11	0.4	80	23.9	0.10	7.47	粘土・泥	石積み			
18	5920	15	0.4	50	23.8	0.10	7.45	粘土・泥	素掘り			
19	6310	15	0.5	50	27.7	0.09	8.44	泥	袋詰玉石工	○		
20	6330	15	0.5	40	27.3	0.09	7.63	泥	素掘り	○		
21	5510	14	0.7	40	24.9	0.09	13.25	泥	素掘り			
22	5530	14	0.7	30	24.7	0.09	13.34	泥	素掘り			
23	6100	13	1.2	30	23.2	0.09	7.61	泥	抽水植物	○		
24	6110	13	1.2	30	22.9	0.09	7.37	泥	植生			○
25	6190	4	1.4	50	23.3	0.09	8.72	砂泥	植生	○		
26	4320	18	0.7	60	23.3	0.06	8.21	泥	植生	○		
27	4350	19	0.7	30	22.9	0.06	7.68	泥	コンクリート			○

※1 観察面積のうち、樹木等日陰（カバー）が25%以上を占めた場合は○

表4 一般化線形混合モデルによるタナゴ類2種の個体数への要因影響解析の結果.

Table 4 Results of GLMMs for the factors influencing the number of two bitterling species.

	回帰係数	
	ミナミアカヒレ タビラ	タイリク バラタナゴ
	<i>A. tabira jordani</i>	<i>R. ocellatus ocellatus</i>
切片	0.021	53.180***
タイリクバラタナゴ個体数	0.003***	NA
二枚貝密度	—	—
溶存酸素	—	-5.901***
護岸の水際		
素掘り	—	-4.672*
植生	—	0.000
石積み	—	-0.407
玉石工	—	-0.22
コンクリート	—	-2.778***
観察範囲内		
抽水植物・水没した陸上植物		
なし	—	—
あり	-4.506***	—
浮葉植物		
なし	—	0.000
あり	—	6.645*
樹木等日陰 (カバー)		
なし	0.000	0.000
あり	4.238***	1.670***

— : モデル選択の結果選択されなかったことを示す。

NA : モデルに使用していない変数

* : P < 0.05, ** : P < 0.01, *** : P < 0.001

葉植物および樹木等日陰(カバー)の有無が重要な要因として選択された(表4)。推定個体数と各要因との関係については、本種は抽水植物・水没した陸上植物がありの地点で相対的に個体数が少なく、樹木等日陰(カバー)がありの地点で個体数が多く、タイリクバラタナゴとは正の関係を示した。タイリクバラタナゴについては、溶存酸素と負の関係を示し、護岸の水際の形状では、コンクリートおよび素掘りで相対的に少なく、浮葉植物および樹木等日陰(カバー)がありの地点で多い傾向がみられた。また両種ともに、イシガイ科二枚貝類の生息密度は選択されなかった。

考 察

稚魚期における本種と他のタナゴ類との相互関係

本河川において、ヤリタナゴの稚魚は上流側の1地点で2個体のみ捕獲され、その地点では本種の稚魚は捕獲されなかった。ヤリタナゴは、比較的小規模な河川や農業用水路などでの生息が報告されており(福原ほか, 1998; Terui et al., 2011; 佐藤ほか, 2012),

本河川においても、ヤリタナゴの成魚は上流域や周辺の農業用水路での生息が確認されている(鴛海, 未発表)。また、ヤリタナゴが繁殖に利用するイシガイ科二枚貝種は、マツカサガイ *Pronodularia japonensis* やヨコハマシジラガイ *Inversiunio jokohamensis*, オバエボシガイ *Inversidens brandti*, カタハガイ *Obovalis omiensis* (Kitamura, 2007; 佐藤ほか, 2012) などの小型の種であり、本水系の農業用水路でも、小型のイシガイ科二枚貝類であるイシガイの鰓内でヤリタナゴの卵が確認されている(鴛海, 未発表)。一方、本種は繁殖にドブガイ属貝種を利用することが知られており(Oshiumi and Kitamura, 2009), ヤリタナゴとは選好する貝種が異なると考えられる。ヤリタナゴと本種はどちらも在来種であり、古くからこの地に生息していたと考えられ、その中で主要な生息場所や利用貝種の重複を避け、すみ分けを行うことで共存しているのかもしれない。しかし、地域によってはヤリタナゴがドブガイ属の一種を利用するという事例もあることから(Terui et al., 2011), 本水域において、繁殖に利用するイシガイ科二枚貝類が両種で重複するかどうか

については、今後詳細な調査が必要である。

一方タイリクバラタナゴの稚魚は、本種が捕獲された全ての地点で同時に捕獲され、分布が重複していた。さらに、分布域は本種よりタイリクバラタナゴの方が広く、確認個体数も本種よりタイリクバラタナゴの方が多かった (Mann - Whitney U - test, $P < 0.05$)。タイリクバラタナゴは 1940 年代に中国から日本に移入してきた外来種で、その後全国に分布域を拡げ、在来のタナゴ類との種間競争や近縁種との交雑により、在来タナゴ類の個体群の縮小を引き起こしている可能性が指摘されている (勝呂, 1995; Onikura et al., 2012; 河村, 2010; 河村, 2014)。タイリクバラタナゴは、繁殖にドブガイ亜科、イシガイ亜科を広く利用している (北村, 2008)。例えば霞ヶ浦流入水路では、アカヒレタビラがイシガイ、タイリクバラタナゴがドブガイ属を繁殖に利用しており、産卵する貝種が異なることで共存している可能性が指摘されている (北村・諸澤, 2010)。一方で、島根県に生息する本種は、前述したようにドブガイ属貝種を繁殖に利用すると考えられるため、タイリクバラタナゴと利用貝種をめぐる競争が懸念される。しかし、本河川の下流域に生息するイシガイ科二枚貝類は、 1 m^2 あたり 7-11 個と (図 2)、霞ヶ浦の水路におけるイシガイ科二枚貝類の密度 ($0.95 \text{ 個}/\text{m}^2$) (北村・諸澤, 2010) と比較すると非常に多かった。また、霞ヶ浦の水路では、捕獲されたイシガイ科二枚貝のうち 63% にタナゴ類の卵が産み込まれていたが、2012 年 6 月に、本河川においてイシガイ科二枚貝類の生息密度と、タナゴ類の産卵母貝利用が調査された結果では、地点 A および D 付近のイシガイ科二枚貝類の密度は $4.66 \text{ 個}/\text{m}^2$ (合計 120 m^2 に 556 個体) であり、そのうちタナゴ類の卵が産み込まれていた二枚貝類の個体数は 12 個であり、0.1% にも満たなかった (鴛海, 未発表)。これらのことから、本河川の下流域には、タナゴ類の産卵資源としての二枚貝類の生息量は現時点では豊富にあり、そのことが本種の再生産の制限要因となっていないと推測される。

GLMM による解析の結果、本種の稚魚の個体数と、タイリクバラタナゴ稚魚の個体数には正の関係が見られた。本種とタイリクバラタナゴの 2 種が捕獲された調査地点では、調査時の目視観察では両種は混泳していた。両種は稚魚期には貝をめぐる競争は必要なく、また、河川などの開放的空間においては、生息場所や餌をめぐる競争は大きくないと考えられる。一方で、貝から泳出直後の遊泳力の十分でない稚魚にとっては、他の魚類による捕食が大きな脅威であるため、捕食回避の観点から両種の微小生息空間利用が

一致していた可能性もある。さらに、両種の稚魚が混泳することにより、本種の稚魚の捕食リスクが低下する効果も考えられる。

タナゴ類稚魚の生息にとって重要な環境要素

GLMM による解析の結果、本種とタイリクバラタナゴの稚魚の個体数に共に重要な要因として抽出されたのは、樹木等日陰 (カバー) であった。調査範囲内に日陰のある調査地点では、タナゴ類の稚魚の群れは日陰の部分で観察された。水上カバーによる日影については、農業用水路において、淡水魚類の生息量が樹木等の日影が存在している区間で多いことや (渡辺ら, 2008)、海域においても、アジ科の幼魚が、高照度を避け遮光物による日陰部分に誘引されて集合し群れを形成することなどが報告されている (小金ら, 1996)。また、日陰には魚類の隠れ場の提供や、水温上昇を防止する効果も指摘されている (長谷川ほか, 2002)。しかし、水温については、調査時は $22.9\text{--}27.7^\circ\text{C}$ と、過去の 6 月の水温と比較しても逸脱した値ではないため (鴛海ほか, 2018) 日陰を選好する大きな理由として考えにくい。本調査では、多くの場合、稚魚は日陰の中でも日向との境目に近い部分で観察された。このように、稚魚の生息に重要な要因として日陰が抽出されたのは、魚類が潜在的に有する日陰への選好の可能性や、日陰と日向の境目付近には他の魚類からの捕食を回避するための目くらましの効果があるためかもしれない。

本種との明瞭な関係が見られず、タイリクバラタナゴの稚魚との関係がみられた環境要因は、護岸の水際が植生であることと、浮葉植物があることであった。また、タイリクバラタナゴの稚魚のみ、溶存酸素濃度と負の相関を示した。水際の植物は、タナゴ類の稚魚の寄り付きや、捕食者からの逃避場所としての機能も考えられる。溶存酸素濃度については、最も低い地点でも $6 \text{ mg}/\text{l}$ 台であり、貧酸素状態とされる $3 \text{ mg}/\text{l}$ 以下ではなかった。しかし、タイリクバラタナゴが溶存酸素濃度の低い場所に移動するという報告もあり (Morosawa, 2017)、今回の結果もそれを支持する可能性がある。また、本調査で溶存酸素濃度が低かった場所は、抽水植物が繁茂し、河川水が停滞しやすく、底質は植物片などの有機堆積物が多かった。そのような要因によって、溶存酸素濃度が低かったと考えられ、そのような環境がタイリクバラタナゴの稚魚の個体数に影響したのかもしれない。琵琶湖において、タナゴ類の稚魚は水生植物帯の付近に多いが、カネヒラやシロヒレタビラ *Acheilognathus tabira tabira* など

の稚魚が必ずしも植物帯に依存していないのに対し、バラタナゴは水生植物帯と結びつきがあることが示唆されている(平井, 1970)。タイリクバラタナゴは止水性であり、本種は止水と流水のどちらの環境にも生息する(北村, 2008)。抽水植物などの植物帯付近は流速が極めて遅くなることから(鈴木, 1998; 皆川ほか, 2014)、このような種の特徴が、稚魚の生息場所の選好の違いとして現れたと考えられる。

また、GLMMによる解析結果では、稚魚の個体数と二枚貝類密度との関係は、樹木等日陰(カバー)などに比べると重要性が低かった。タナゴ類とイシガイ科二枚貝は共生関係にあるが、貝から泳出した稚魚は表層で生活し、二枚貝類の付近に留まる必要はないため、解析結果では他の環境要因の方の重要性が高くなったのかもしれない。タナゴ類の稚魚とその生息環境を評価した研究事例では、タナゴ類の稚魚の個体数とイシガイ科二枚貝類の個体数との関係が認められている(綱川ほか, 2012)。この研究は、小規模なハビタットである農業用水路において調査されており、稚魚が移動できる幅が限られ、かつ調査地点近辺にいる個体の確認が容易である。そのため、貝から泳出後の稚魚も必然的に貝との距離が近く、両者に関係が認められたと考えられる。一方、本研究の調査地は、河川幅が下流域では100 m以上あり、農業用水路とは環境が大きく異なる。イシガイ科二枚貝類は河川の横断方向全域に生息しているのに対し、タナゴ類の稚魚は、その場に留まることなく稚魚の育成に適した岸側に移動し、その結果、貝類と稚魚との距離が相対的に遠くなる。そのため、稚魚にとって二枚貝類の相対的重要性は高くなかったと考えられる。

一方、河川縦断方向にみると、下流から地点F(地点12, 13)までの区間において、イシガイ科二枚貝類の密度とタナゴ類稚魚の推定個体数が多い傾向がみられた(図2)。本河川は、地点G(地点14)を境に、現在は上流方向に2つに分岐しているが(図1)、以前は地点K, L, M, Lをつなぐ河川部分のみであった(旧河川部分)。2001年～2004年に、この地域の洪水対策のため地点GからH, I, Jにかけて河川が新たに建設された。河川建設後、数年間は旧河川部分においてイシガイ科二枚貝類が多数観察されていたため(篤海, 個人観察)、河川改修前は旧河川部分にはイシガイ科二枚貝類が多数生息していたと考えられる。しかし、河川建設後、旧河川部分の流量の減少から底泥の堆積物量が増加し、LからKの区間ではイシガイ科二枚貝類の生息数が減少し、加えて地点LからJの区間では河川水の停滞を解消するために覆砂や埋め

立てがなされ、それらによりイシガイ科二枚貝類の生息数が減少したと考えられる。よって、現在地点G(地点14)より上流部は、旧河川・新河川部分共に貝類の生息密度は低く、イシガイ科二枚貝類の生息に適している環境は、近年の人為的な環境改変が少ない、下流部であると考えられる。

微小生息空間内におけるタナゴ類稚魚と捕食者

本河川では、下流域において貝密度が高かったにも関わらず、最下流地点である1, 2では、タナゴ類の稚魚の捕獲数が少なかった。地点1, 2は石積み護岸で、石積みの上や隙間に、ヌマチチブ *Tridentiger brevispinis* やシモフリシマハゼ *Tridentiger bifasciatus* などのハゼ科魚類が生息していた。これらのハゼ科魚類は雑食性のため(川那部ほか, 1989; 百成ほか, 2016)、タナゴ類の稚魚の捕食者となりえる。これらの捕食者の生息状況が、タナゴ類の稚魚の生息数に関連している可能性も考えられる。

本種の生息環境の特性と保全への提言

本研究の結果、本種が繁殖に利用するイシガイ科二枚貝類は、河川下流域の勾配の緩やかな、汽水域との移行帯に多く生息しており、本種の稚魚も同様な場所を主に利用していることが明らかになった。本種の個体群を維持する上では、第一に本種の主な再生産と稚魚の生息場である、イシガイ科二枚貝類が多く生息する下流域の環境を維持することが必要である。具体的には、イシガイ科二枚貝類の宿主と推測されるヌマチチブ、ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia* などのハゼ科魚類は両側回遊性で河川と汽水域を行き来しているため、その移動を人工構造物等により阻害しないこと、宿主魚類となり得る在来魚の生息を阻害する外来魚を増加させないこと、何らかの環境変化によりイシガイ科二枚貝類や魚類の斃死が発生した場合に備え、河川ネットワークを維持しておくことなどが、本種の個体群を存続させるために、間接的に必要であると考えられる。

さらに、本種の稚魚は樹木等日陰(カバー)のある場所を選好する可能性が高いことが判明した。しかし、本河川の下流域は2面コンクリート護岸が大部分を占めており、樹木等の日陰が存在する場所は少ない。今後、本河川における河川改修や下流域周辺での都市開発が実施される際には、残された樹木等を維持することが、本種の個体群の維持につながる可能性がある。

本種は島根県のほかに鳥取県や北陸地方に分布し

ている(長田, 1981; 富山県, 2012; 石川県, 2009; 福井県, 2002). 鳥取県ではかつて, 鳥取砂丘に近い多鯰ヶ池に本種が生息していたが近年は確認されていない(安藤, 2002). 富山県では, 下流域に瀉が存在する万尾川など, 海に近い平地の河川(富山県, 2012), 石川県では能登半島や木場瀉周辺の河川など, どの生息場所も比較的海に近く, 河川勾配が緩やかな場所であること, また分布が局所的である(平井・田中, 1975; 平井, 1980).

このように本種は, 山陰地方から北陸地方にかけての汽水湖や汽水域の周辺, 汽水域が干拓された場所など, 海に近く勾配が緩やかな低平地に不連続に分布し, かつ生息している地域は各県に数ヶ所程度と極めて少ないのが現状である. 汽水域やその周辺は, 開発にともなう人工改変が最も進んだ水域でもあり, 第二次世界大戦後の食糧確保や高度成長時代の工業化により, 多くの汽水域が貴重な動植物とともに消滅していった(高安, 2001). 近年, 本種の生息場所の減少や個体群が縮小している要因として, 本種が低平地の汽水域の周辺や河川感潮域などを選好するという特性が影響していると考えられるため, 本種の個体群の存続のためには, このような水域の保全が必要であるとえられる.

謝 辞

本研究を行うにあたり, 日本シジミ研究所の尾島徹哉氏, 櫻内颯一朗氏には, 潜水によるイシガイ科二枚貝類の採集と調査を手伝って頂いた. 貝類の採集には細澤豪志氏が考案, 作成したネットを使用した. また, 中村幹雄日本シジミ研究所所長には調査の協力および方法についての助言を頂いた. 新部一太郎島根大学研究員には統計解析について一部ご指導いただいた. 以上の方々に厚くお礼を申し上げます. なお, 本研究は, 増進会自然環境保全研究活動助成基金からの助成金によって遂行された.

引用文献

Aldridge, D. C. (1999) Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels. *J. Fish Biol.*, 54: 138-151.
 安藤重敏(2002) アカヒレタビラ. 鳥取県自然環境調査研究会(編). レッドデータブックとっとり動物編, p. 90.
 Arai, R., Fujikawa, H. and Nagata, Y. (2007) Four New

Subspecies of *Acheilognathus Bitterlings* (Cyprinidae: Acheilognathinae) from Japan. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. A, Suppl.* 1: 1-28.

福原修一・前川渉・長田芳和(1998) 九州北西部の3河川におけるタナゴ類の産卵床利用の比較. 大阪教育大学紀要, 47: 27-37.
 福井県(2002) 福井県の絶滅のおそれのある野生動物. 福井県レッドデータブック(動物編). 福井県安全環境部自然環境課, p. 97.
 長谷川金二・樋川 満・佐々木幹夫・木内勝司(2002) 河川合流点における河川整備と河畔林の保全. 水工学論文集, 46: 959-964.
 平井賢一(1970) びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態 I 仔稚魚の生活場所について. 金沢大学教育学部紀要, 19: 93-105.
 平井賢一(1980) 石川県の淡水魚類: 1. 大聖寺川・動橋川・梯川. 日本海域研究所報告, 12: 19-31.
 平井賢一・田中 晋(1975) 能登半島における淡水魚の分布. 日本海域研究所報告, 7: 1-18.
 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植生. 日本水産学会誌, 82: 2-11.
 石川県(2009) 改訂・石川県の絶滅のおそれのある野生生物いしかわレッドデータブック<動物編>. 石川県環境部自然環境課, p. 133.
 環境省(2015) 環境省レッドリスト2015, 汽水・淡水魚類. 環境省ホームページ: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/28060.pdf> (参照 2017-11-19)
 河村功一(2010) タナゴ類. 野生生物保護学会(編)「野生動物保護の辞典」. pp. 628-633. 朝倉書店.
 河村功一(2014) ニッポンバラタナゴ. 環境省(編) レッドデータブック4 汽水・淡水魚. pp. 28-29.
 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海(1989) 改訂版日本の淡水魚. 山と溪谷社, 719p.
 建設省中国地方建設局出雲工事事務所(2000) 斐伊川水系の魚介類. 建設省中国地方建設局出雲工事事務所. 183p.
 Kitamura, J. (2007) Reproductive ecology and host utilization of four sympatric bitterling (*Acheilognathinae*, *Cyprinidae*) in a lowland reach of the Harai River in Mie, Japan. *Environ Biol Fish*, 78: 37-55.
 北村淳一(2008) タナゴ亜科魚類: 現状と保全. 魚類学雑誌, 55: 139-144.
 北村淳一・諸澤崇裕(2010) 霞ヶ浦流入河川における

- タナゴ亜科魚類の産卵母貝利用. 魚類学雑誌, 57: 149-153.
- Kitamura, J., Nagata, N., Nakajima, J and Sota, T. (2012) Divergence of ovipositor length and egg shape in a brood parasitic bitterling fish through the use of different mussel hosts. *J. Evol. Biol.*, 25: 566-573.
- 小金隆之・塩澤聡・有元操・水田洋之介・塚本勝巳(1996) 日陰に対するシマアジ幼魚の寄りつき行動. 日本水産学会誌, 62: 865-871.
- 近藤高貴(2008) 日本産イシガイ目貝類図譜. 国際文献印刷社, 69p.
- 皆川明子・西田一也・西川弘美(2014) 通水状況の違いが農業水路の魚類相に及ぼす影響. 農業農村工学会論文集, 294: 93-99.
- Morosawa, T. (2017) Interspecific comparison of movement patterns among bitterling species in an agricultural ditch system. *Ichthyol. Res.* 64: 169-178.
- 長田芳和(1981) 鳥取県多鯨ヶ池で採集されたアカヒレタビラについて. 生物地理学会報, 36: 48-53.
- 長田芳和(1985) バラタナゴの産卵数および貝内産卵の生態学的意義. 魚類学雑誌, 32: 324-334.
- 中村守純(1969) 日本のコイ科魚類. (財) 資源科学研究所, 306p.
- 根岸淳二郎・萱場祐一・塚原幸治・三輪芳明(2008) 指標・危急生物としてのイシガイ目二枚貝: 生息環境の劣化プロセスと再生へのアプローチ. 応用生態工学, 11: 195-211.
- Onikura, N., Nakajima, J., Miyake, T., Kawamura, K. and Fukuda, S. (2012) Predicting distribution of seven bitterling fishes in northern Kyushu, Japan. *Ichthyol. Res.* 59: 124-133.
- Oshiumi, C. and J. Kitamura (2009) The reproductive ecology of the southern red tabira bitterling *Acheilognathus tabira jordani* in Japan. *J. Fish Biol.*, 75: 655-667.
- 鴛海智佳・古林敏彦・國井秀伸(2018) 島根県の河川におけるミナミアカヒレタビラの生活史と季節移動. 魚類学雑誌, 65: 10-20.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. Accessed 24 May 2018.
- 佐藤美紀雄・熊谷雅之・東信行(2012) 青森県岩木川左岸地区の農業用水路網におけるヤリタナゴの生活史. 農業農村工学会論文集, 279: 1-11.
- 島根大学汽水域研究センター(1997) 波根湖の研究. 島根大学汽水域研究センター特別報告第3号. (有) 高浜印刷所, 68p.
- 島根県(2004) 改訂しまねレッドデータブック. ホシザキグリーン(財), p. 76.
- 島根県(2012) 島根県希少野生動植物の保護に関する条例. <http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/nature/shizen/yasei/hogojourei.html> (参照 2017-11-24).
- 島根県(2014) 改訂しまねレッドデータブック 2014 動物編. 島根県環境生活部自然環境課, p. 83.
- 島根県古代文化センター(2015) 日本海沿岸の潟湖における景観と生業の変遷の研究. 報光社, 296p.
- 勝呂尚之(1995) 横浜市におけるゼニタナゴの生息. 神奈川淡水試報, 31: 60-64.
- 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.
- 高木由臣(2007) 変わる寿命・変わらない寿命. 物性研究, 88: 448-457.
- 高安克己(2001) 汽水域の科学. たたら書房, 183 p.
- Terui, A., Matsuzaki, S., Kodama, K., Tada, M. and Washitani, I. (2011) Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (*Tanakia lanceolata*) in agricultural canal networks: strong attachment to its potential host mussels. *Hydrobiologia*, 675: 19-28.
- Tockner, K. and Stanford, J. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29: 308-330.
- 富山県(2012) 富山県の絶滅のおそれのある野生生物. 富山県生活環境文化部自然保護課, p. 92.
- 綱川孝俊・酒井忠幸・吉田 豊・久保田仁志・佐川志朗(2012) 栃木県南東部の自然生息地におけるミヤコタナゴ保全への取り組み—ミヤコタナゴ稚魚の生息環境評価と環境改善. 応用生態工学, 15: 249-255.
- 鷲谷いづみ(2007) 氾濫原湿地の喪失と再生: 水田を湿地として活かす取り組み. 地球環境, 12: 3-6.
- 渡辺亮一・山崎惟義・島谷幸宏・河口洋一・兼重俊介・神尾章記(2008) 裂田水路における水際および水路内植生が魚類の生息量に与える影響. 水工学論文集, 52: 1153-1158.