ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* 仔魚が琵琶湖の発達した ヨシ帯岸边付近へ蟄集する要因

藤原 公一,^{1,2a*} 北田 修一²

(2010年12月13日受付, 2011年5月27日受理)

¹滋賀県水産試験場, ²東京海洋大学海洋科学部

Factors affecting the aggregation of larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis*
around the shoreline of the well-developed reed zone of Lake Biwa

KOH-ICHI FUJIWARA^{1,2a*} AND SHUICHI KITADA²

¹Shiga Prefecture Fisheries Experiment Station, Hikone, Shiga 522-0057, ²Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

Near the shoreline of the well-developed reed zone of Lake Biwa, the dissolved oxygen concentration is remarkably low, but the water temperature is high and microcrustaceans which are preyed on by larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* are abundant. Larval nigorobuna aggregate actively around this water area. Factors affecting this aggregation behavior were examined using two kinds of avoidance/preference test apparatus. Our examinations proved that larval nigorobuna do not avoid hypoxic water, but prefer high-temperature water, avoid heavily shaded environments, are strongly attracted to microcrustacean, and prefers the shoreline water containing an abundance of microcrustaceans in the reed zone over the outer-edge water with few microcrustaceans. It is important to take account of the ecological and environmental factors for developing breeding grounds of nigorobuna and selecting effective release sites for its stock enhancement in Lake Biwa.

キーワード：行動実験, 種苗放流, ニゴロブナ, 繁殖場造成, 微小甲殻類, 琵琶湖, 貧酸素, ヨシ帯

ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* は、コイ科フナ属に属する琵琶湖の固有亜種¹⁻³⁾で、滋賀県の食文化を代表するフナズシ^{4,5)}の材料に用いられる。このため、本種は琵琶湖漁業にとって非常に重要な漁獲対象となっており、琵琶湖ではニゴロブナ資源を増殖するために、琵琶湖栽培漁業センターが中心となって種苗放流事業が行われている。⁶⁾ また、滋賀県によって琵琶湖の沿岸にヨシ *Phragmites australis* を植栽した本種の繁殖場の造成事業が行われている。⁷⁾

著者らは、本種の種苗放流の適地や繁殖場の造成条件を明らかにするため、その初期生態を調査し、仔魚期の本種は琵琶湖沿岸に自生するヨシ帯のなかでも、奥行きがあり、よく発達したヨシ帯の岸边付近（奥部）に能動的に蟄集し、その水域を発育の場として利用することを明らかにした。⁸⁾ また、ヨシ帯奥部は本種をはじめとするフナ属仔魚が好んで摂餌する微小甲殻類（ミジンコ亜

綱）⁹⁻¹¹⁾ が多いが、溶存酸素濃度（DO）が著しく低く、一般に魚類が生息するうえで大変厳しい環境にあると考えられた。⁸⁾ 一方、本種仔魚は生理的にそのような貧酸素環境に適応していることが明らかになった。⁸⁾ それでは、本種仔魚をヨシ帯奥部へ積極的に蟄集させる要因は何であろうか。本種の種苗放流の適地や繁殖場の造成条件を検討するうえで、この要因を明らかにすることは不可欠である。そこで著者らは、これまでに天然のヨシ帯で観察されているこれらの環境条件に対して、ニゴロブナ仔魚が忌避行動をとるのか、あるいは選好行動をとるのか（以下、忌避/選好性）を室内において行動実験により検討し、本種仔魚のヨシ帯奥部への蟄集要因を明らかにしたので報告する。

材料および方法

供試魚 滋賀県水産試験場（以下、滋賀水試）のニゴ

* Tel : 81-749-28-1611. Fax : 81-749-25-2461. Email : fujiwara-koichi@pref.shiga.lg.jp

^a 現所属：滋賀県水産課（Shiga Prefecture Fisheries Management Division, Otsu, Shiga 520-8577, Japan）

Fig. 1 Illustration of the apparatus used for the avoidance/preference test of larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* to water with different properties. Test cistern made of transparent acrylics boards: width 160×length 300×height 50 mm (water depth 25 mm). Test chamber portion: width 160×length 100×height 50 mm. L-side: the left half of the test chamber. R-side: the right half of the test chamber. Solid arrows indicate the directions of water currents.

ロブナ親魚池に人工産卵藻（キンラン，川島商事）を設置し，自然産卵した卵を琵琶湖水（以下，湖水）を取り込んだ池中で管理し，1996年6月3日にふ化仔魚を得た。これらふ化仔魚を1m³のFRP水槽に収容し，少量の湖水を掛け流しながらツボワムシ *Brachionus caliciflorus* やタマミジンコ *Moina macrocopa* などの餌料を与えて飼育し，ふ化8～12日後（8～12日齢）に実験に供した。これら供試魚の標準体長（以下，体長）は7.9～11.1 mm，発育段階は脊索の末端の上屈が始まった上屈仔魚期から上屈が完了した直後の上屈後仔魚期¹²⁾であった。

試験装置 1. 特性が異なる水の忌避/選好試験装置

Fig. 1 に示した装置を用いて Table 1 に示した特性の異なる4通りの水と明暗条件に対するニゴロブナ仔魚の忌避/選好性を評価した。この装置は，試験水と対照水を入れた500 L貯水槽から，水中ポンプでそれらの水を上方に設置した定水頭槽へ揚げ，試験槽の左右へ370 mL/min ずつ定量注入できる仕組みになっている。試験槽は日高¹³⁾の考案した装置を参考にして製作したもので，水の注入側に3枚，排出側に3枚の整流板を備える。各整流板には，直径2 mmの穴を規則正しく80箇所開けてある。整流板を通過した水は，試験槽中央部のテスト・チャンバー（以下，TC）内を，観察方向（波線矢印）からみて左，右（以下，それぞれ左サイド，右

Table 1 The results of avoidance/preference test of larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* to water with different properties

Experiment	Object of avoidance/preference test	Property		F_L and F_Q of each experiment* ¹		Evaluation	Significance level (p) between blank test* ²
		Test water side (L-side in blank test)	Control water side (R-side in blank test)	Mean $\pm$ SD	N		
Blank test	—	Lake Biwa water DO* ³ : 8.98 mg/L WT* ⁴ : 19.2°C	Lake Biwa water DO: 8.98 mg/L WT: 19.2°C	50.0 $\pm$ 4.0	6	—	—
Exp. 1	Lake Biwa water of low DO	Lake Biwa water DO: 2.08 mg/L WT: 20.5°C	Lake Biwa water DO: 8.76 mg/L WT: 20.5°C	52.1 $\pm$ 10.8	6	Non-avoidance Non-preference	0.668
Exp. 2	Shoreline-water in reed zone	Shoreline-water in reed zone Zooplankton-rich* ⁵ DO: 5.92 mg/L WT: 21.0°C	Outer edge-water of reed zone Zooplankton-scarce* ⁵ DO: 7.57 mg/L WT: 21.0°C	61.1 $\pm$ 12.8	6	Preference	0.045
Exp. 3	Filtered shoreline-water in reed zone	Shoreline-water in reed zone Zooplankton-free DO: 7.69 mg/L WT: 22.9°C	Outer edge-water of reed zone Zooplankton-free DO: 7.90 mg/L WT: 22.9°C	45.5 $\pm$ 2.0	4	Non-avoidance Non-preference	0.070
Exp. 4	Lake Biwa water with cultured zooplankton added	Lake Biwa water with cultured zooplankton added* ⁶ DO: 7.96 mg/L WT: 21.0°C	Lake Biwa water without cultured zooplankton added* ⁶ DO: 8.13 mg/L WT: 21.0°C	59.7 $\pm$ 12.6 (64.5 $\pm$ 4.9)	6 5	Non-avoidance Non-preference Preference	0.062 0.000)* ⁷
Exp. 5	Light shielding	Lake Biwa water Shaded with black cover DO: 8.84 mg/L WT: 20.0°C	Lake Biwa water Not shaded DO: 8.84 mg/L WT: 20.0°C	24.5 $\pm$ 5.5	6	Avoidance	0.000

*¹ F_L : distribution frequency of larval nigorobuna on the left side of the test chamber at every one minute from 5 to 15 minutes later in the blank test. F_Q : the same frequency at the test water side in Experiment 1 to 5.

*² By Student's t -test or Welch's t -test.

*³ DO: dissolved oxygen concentration.

*⁴ WT: water temperature.

*⁵ Test water: *Brachionus* sp. 180 ind./L, *Mytilina* sp. 60 ind./L, *Scapholeberis* sp. 30 ind./L, *Cyclops* sp. 30 ind./L, nauplius 1110 ind./L. Control water: *Brachionus* sp. 390 ind./L, *Mytilina* sp. 60 ind./L, nauplius 330 ind./L.

*⁶ Test water: *Brachionus caliciflorus* 120 ind./L, *Moina macrocopa* 240 ind./L, *Daphnia* sp. 600 ind./L, Control water: Zooplankton-free.

*⁷ Rejected the extreme value: 35.5% ($p < 0.05$ by Thompson's outlier test).

サイド)で完全に分離して平行に流れる。このことは水溶性色素ボンソー R (赤色 503 号)を一方のサイドに流して確認した。試験槽の水容量は 1,200 mL, 流速は約 18.5 cm/min で、注入された水は 1 分間に約 0.6 回転する。

2. 水温が異なる水の忌避/選好試験装置 異なる水温の水は、比重差があるため Fig. 1 の装置では TC 内を平行に流れず、忌避/選好試験はできない。そのため Fig. 2 に示した装置を用いて、水温が異なる水に対するニゴロブナ仔魚の忌避/選好性を評価した。この装置の TC へは供試魚を入れた水を 100 mL 注入し、試験槽両端の A チャンバー (以下、AC) または B チャンバー

(以下、BC) へ温水 (36.5°C) あるいは冷水 (2.0°C) を、後述する実験条件に応じて 200 mL 注入することで TC 内の水に水温勾配を持たせた。

供試魚の行動観察 供試魚から外部の観察者などがみえないように、両忌避/選好試験装置の TC を含む本体部分は、ともに、内面を黒く塗装した観察方向のみを開放にしたカバーの内部に設置した。これらカバーの内側上面には、Fig. 1 の装置では TC の左サイドと右サイドへ、Fig. 2 の装置では TC の A サイドと B サイドへ均等に光が当たるように蛍光灯を設置した。また、これら装置は暗室内に設置した。供試魚へ与える観察者などの影響を完全に排除するため、観察はそれぞれの TC から

Fig. 2 Illustration of the test cistern used to examine the avoidance/preference of larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* to a different water temperature from that before the experiment. Test cistern made of transparent acrylics boards: width 110×length 430×height 50 mm. Test chamber portion: width 110×length 230×height 50 mm.

約 2 m 離れた位置から行った。

試験装置のプランクテスト 1. 特性が異なる水の忌避/選好試験装置のプランクテスト 試験装置 (Fig. 1) の左右の貯水槽にステンレス製ボウル (直径 33 cm) を浮かべ、その中に供試魚を約 60 分間収容して、水温などに馴致させた。TC の左サイドと右サイドへは同じ湖水 (水温 19.2°C, DO 8.98 mg/L) を予め流しておき、同ボウルからピーカーで供試魚を 10 尾すくいとり、ピーカーの水をサイフォンで吸い出して 30 mL に調整した後、TC の中央部に静かに注ぎ入れた。その後 1~15 分の間に 1 分毎に 15 回、左サイドに分布する供試魚の尾数 N_L を計数し、左サイドにおける供試魚の分布頻度 (F_L , %) を次式により算出した。

$$F_L = (N_L/10) \times 100 \quad (1)$$

このプランクテストは、毎回、供試魚を新しいものと入れ替えて 6 回行った。

2. 水温が異なる水の忌避/選好試験装置のプランクテスト 供試魚を飼育水槽から水とともに 10 L パンライト水槽に移し、その中からピーカーで 10 尾すくいとり、ピーカーの水をサイフォンで吸い出して 100 mL に調整した後、TC (Fig. 2) の中央部へ静かに注ぎ入れた。この時の水温は 20.6°C であった。その後 1~5 分の間に 1 分毎に 5 回、TC 内の A サイドに分布する供試魚の尾数 N_A を計数し、A サイドにおける供試魚の分布頻度 (F_A , %) を次式により算出した。

$$F_A = (N_A/10) \times 100 \quad (2)$$

このプランクテストは、毎回、供試魚を新しいものと

入れ替えて 6 回行った。

忌避/選好試験 1. 特性が異なる水の忌避/選好試験 TC (Fig. 1) の一方のサイドへ Table 1 に示した 4 通りの試験水を、その反対サイドへは同表に示した対照水を流した試験を、試験水を流すサイドを交互に入れ替えて 4 回または 6 回行った (試験 1~4)。また、両サイドへ同じ湖水を流し、一方のサイドのみ上面を黒い板で覆って遮光した試験を、遮光サイドを交互に入れ替えて 6 回行った (試験 5)。試験 1, 試験 4 および試験 5 の供試水には滋賀水試に導いている湖水を用いた。試験 1 では、Fig. 1 の貯水槽内の試験水には窒素ガスを、対照水には空気を注入して DO を調整した。他の試験を含めて DO と水温は、試験槽の上端でハンディー溶存酸素計 (D-25, 堀場製作所) を用いて測定した。試験 4 では、湖水に滋賀水試内のコンクリート池で粗放培養している動物プランクトン (Table 1, 脚注参照) を添加して試験水とした。この動物プランクトンを添加しなかった湖水を対照水とした。試験 2 と試験 3 の供試水は、著者らが行ったニゴロブナの初期生態調査⁸⁾のフィールドであった滋賀県近江八幡市牧町沿岸に自生するヨシ帯 (幅約 150~160 m, 奥行き約 45~50 m) の奥部と外縁部から採水したものを用いた。採水は投げ込み型水中ポンプを用いて行った。採水した水は活魚輸送車で滋賀水試まで搬入し、試験 2 ではそのまま、試験 3 ではプランクトンネット (NXX17, 目合い 72 μ m) でろ過し、いずれも緩やかに通気し、水温が一定になった翌日に供試した。忌避/選好試験は、TC に通水した数分後に、その中央部にプランクテストと同様にして 10 尾の供試魚を静かに注ぎ込んで行った。供試魚を入れた後、5~15 分までの間に 1 分毎に 11 回、TC 内の試験水サイドあるいは遮光サイドに分布する供試魚の尾数 N_Q を計数し、それらサイドにおける供試魚の分布頻度 (F_Q , %) を次式により算出した。

$$F_Q = (N_Q/10) \times 100 \quad (3)$$

この忌避/選好試験は、毎回、供試魚を新しいものと入れ替えて、試験水を流すサイドを交互に入れ替えて、試験 3 では 4 回、それ以外の試験では 6 回行った。なお、遮光サイドに分布した供試魚の尾数は、観察できる非遮光サイドの尾数を 10 尾から差し引いて求めた。

2. 水温が異なる水の忌避/選好試験 ニゴロブナ仔魚は、それまでの生息水温 (前歴水温) よりも高い水温と低い水温が存在した場合、どちらを忌避/選好するかを知るため、次の試験を行った (試験 6)。まず、プランクテストと同様にして、予め TC (Fig. 2) の中央部へ 100 mL の飼育水 (20.6°C) とともに供試魚を 10 尾静かに注ぎ入れた。その後、試験槽 (Fig. 2) の AC または BC へ温水を、反対側へ冷水を注入した。その後 1~4 分の間に 1 分毎に 4 回、TC 内の温水注入側のサイ

ドに分布する供試魚の尾数 (N_T) を計数し、そのサイドにおける供試魚の分布頻度 (F_T , %) を次式により算出した。

$$F_T = (N_T/10) \times 100 \quad (4)$$

この忌避/選好試験は、毎回、供試魚を新しいものと入れ替えて、温水または冷水を AC, BC へ交互に注入して4回行った。

さらに、ニゴロブナ仔魚の前歴水温よりも高い水温の水の忌避/選好性 (試験7) または低い水温の水の忌避/選好性 (試験8) を知るため、予め TC (Fig. 2) の中央部へ 100 mL の飼育水 (試験7では 21.9°C, 試験8では 22.4°C) とともに供試魚を 10 尾静かに注ぎ入れた。その後、速やかに AC または BC へ試験7では温水を、試験8では冷水を注入し、反対側のチャンバーへは何も注入せずに、温水または冷水を注入するサイドを交互に入れ替えて6回行い、TC 内の温水側あるいは冷水側のサイドに分布する供試魚の F_T を式(4)より求めた。なお、この試験でも、毎回、供試魚は新しいものと入れ替えた。

さらに、試験6~8実施時の TC 内における水温を把握するため、水銀水温計を A サイド中央、A サイドと B サイドの境界線上中央および B サイド中央に設置し、試験6~8と同じ条件で TC 内に供試魚の飼育水を入れ、AC と BC にそれぞれ温水と冷水を入れた場合 (試験9)、AC にのみ温水を入れた場合 (試験10) および AC にのみ冷水を入れた場合 (試験11) の1分毎の水温を読み取った。

統計処理 Fig. 1 に示した装置の各ブランクテストにおいて、仮説 H_0 : 「TC の左サイドと右サイドの供試魚の分布頻度 (以下、「供試魚の分布頻度」は「分布頻度」) に偏りはない」を二項検定により検定した。また、Fig. 2 に示した装置の各ブランクテストにおいても、仮説 H_0 : 「TC の A サイドと B サイドの分布頻度に偏りはない」を同様に検定した。また、Fig. 1 に示した装置のブランクテストおよび試験1~5において、仮説 H_0 : 「各試験の試験開始5分後から15分後までの1分毎の分布頻度の平均値に差がない」を一元配置分散分析法で検定した。Fig. 2 に示した装置のブランクテストおよび試験6~8においても、仮説 H_0 : 「各試験の試験開始1分後から4分後までの1分毎の分布頻度の平均値に差がない」を同様に検定した。その上で、試験1~5では試験開始5分後から15分後までの分布頻度の試験毎の平均値を、試験6~8では試験開始1分後から4分後までの分布頻度の試験毎の平均値を、トンプソンの棄却検定法で $p < 0.05$ で棄却されるものを除いてデータとして採用した。ブランクテストと試験1~8との間での分布頻度 (各試験のデータの平均値) の平均値差は、それらの分散を F 検定で検定し、 $p < 0.05$ で等分散と判

定された場合は、スチューデントの t 検定、不等分散と判定された場合はウェルチの t 検定で、次の仮説のもとで検定した。

試験1~5

仮説 H_0 : 「ブランクテストにおける TC の L サイドと試験1~5における TC の試験水を流したサイドの分布頻度の平均値は等しい」。

試験6~8

仮説 H_0 : 「ブランクテストにおける TC の A サイドと試験6~8における TC の水温を変化させたサイドの分布頻度の平均値は等しい」。

結 果

試験装置のブランクテスト 1. 特性が異なる水の忌避/選好試験装置のブランクテスト 各ブランクテストにおける TC (Fig. 1) の左サイドと右サイドの供試魚の分布頻度には偏りはみられなかった ($p > 0.05$)。Fig. 3A には時間経過に伴う F_L (6回の試行の平均値) の推移を、Fig. 3B にはその変動係数 (CV) を示した。 F_L は、試験を開始して1分後には 41.2% であったが、それ以降はほぼ 50% で安定した。 F_L の CV は、試験開始当初は 40% を超えることもあったが、時間の経過とともに小さくなり、5分後以降は 10~20% の範囲内で安定した。また、5分以降の1分毎の F_L の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。

2. 水温が異なる水の忌避/選好試験装置のブランク

Fig. 3 Temporal changes in distribution frequency of experimental fish on the left side of the test chamber (see Fig. 1) in the blank test: F_L (A) and its coefficient of variation (B). Solid circles in A refer to the average values of six measurements, and vertical bars to the standard deviations.

Fig. 4 Temporal changes in distribution frequency of experimental fish on side A of the test chamber (see Fig. 2) in the blank test: F_A (A) and its coefficient of variation (B). Solid circles in A refer to the average values of six measurements, and vertical bars to the standard deviations.

テスト 各ブランクテストにおける TC (Fig. 2) の A サイドと B サイドの供試魚の分布頻度には偏りはみられなかった ($p > 0.05$)。Fig. 4A には時間経過に伴う F_A (6 回の試行の平均値) の推移を, Fig. 4B にはその CV を示した。 F_A は試験開始の 1 分後から 4 分後まではほぼ 50% で安定していたが, 5 分後には 55% とそれまでよりも大きくなった。 F_A の CV は, 試験開始の 1 分後から 4 分後まではほぼ 30% 以内で安定していたが, 5 分後には 38% とそれまでよりも大きくなった。また, 試験開始 1~4 分後の 1 分毎の F_A の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。

水温が異なる水の忌避/選好試験装置の TC 内の水温分布 試験 9~11 における TC 内の各点での時間の経過に伴う水温の変化を Fig. 5 に示した。試験 9 においては, 時間の経過に伴い水温は TC の A サイドでは次第に上昇 (5 分後に 2.1°C 上昇) し, B サイドでは次第に下降 (5 分後に 2.6°C 下降) したが, A サイドと B サイドの境界では大きな水温変動はみられなかった。試験 10 においては, 5 分後には水温は A サイドで 3.0°C 上昇したが, A サイドと B サイドの境界および B サイドでは 1.2~1.4°C の上昇であった。試験 11 においては, 5 分後には水温は A サイドで 2.2°C 下降し, A サイドと B サイドの境界および B サイドではともに 0.6°C 上昇した。

忌避/選好試験 特性が異なる 4 通りの試験水および遮光サイドへのニゴロブナ仔魚の忌避/選好試験の結果

Fig. 5 Temporal changes in water temperature in the test chamber (see Fig. 2) in Experiments 9 to 11.

を Table 1 に示した。いずれの試験においても, 試験開始後 5~15 分の間の 1 分毎の F_Q の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。試験 1 では, DO が 2.08 mg/L と低い潮水を流したサイドにおける分布頻度は, $52.1 \pm 10.8\%$ (平均値 $\pm$ SD) で, DO が低い水に対する本種仔魚の忌避/選好性はみられなかった ($p = 0.668$)。試験 2 では, ヨシ帯奥部とヨシ帯外縁部の水を供試した。ヨシ帯奥部の水にはツボウムシ属 *Brachionus* sp. が 180 ind./L, サヤガタムシ属 *Mytilina* sp. が 60 ind./L みられた他, アオムキミジンコ属 *Scapholeberis* sp. やケンミジンコ属 *Cyclops* sp. といった微小甲殻類とともに 30 ind./L, ノープリウス幼生が 1110 ind./L みられ, DO は 5.92 mg/L であった。それに対して, ヨシ帯外縁部の水には *Brachionus* sp. が 390 ind./L, *Mytilina* sp. が 60 ind./L, ノープリウス幼生が 330 ind./L みられたが, 微小甲殻類がみられず, DO は 7.57 mg/L とヨシ帯奥部の水よりも若干高かった。ヨシ帯奥部の水を流したサイドにおける分布頻度は $61.1 \pm 12.8\%$ で, 本種仔魚はヨシ帯奥部の水を有意に選好した ($p = 0.045$)。しか

Table 2 Results of avoidance/preference test of larval nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* to a different water temperature from that before the experiment

Experiment	Object of avoidance/preference test	Water temperature* ¹		F_A and F_T of each experiment* ²			Evaluation	Significance level (p) between blank test* ²
		Side A	Side B	Mean $\pm$ SD	N			
%								
Blank test	—	The same as antecedent	The same as antecedent	49.6 $\pm$ 3.7	6	—	—	
Exp. 6	Higher or lower water temperature than antecedent	Higher than antecedent	Lower than antecedent	66.3 $\pm$ 8.3	4	Preference	0.001	
Exp. 7	Higher water temperature than antecedent	Higher than antecedent	The same as antecedent	65.0 $\pm$ 12.5	6	Preference	0.014	
Exp. 8	Lower water temperature than antecedent	Lower than antecedent	The same as antecedent	44.6 $\pm$ 7.7	6	Non-avoidance Non-preference	0.090	

*¹ See Fig. 5 for water temperature in the test chamber.

*² F_A : distribution frequency of larval nigorobuna on side A of the test chamber at every one minute from 1 to 4 minutes later in the blank test. F_T : the same frequency on the high (in Experiment 6 and 7) or low (in Experiment 8) temperature water side.

*³ By Student's t -test or Welch's t -test.

し、試験 3 において、ヨシ帯奥部の水から動物プランクトンをろ過・除去すると、その水を流したサイドにおける分布頻度は $45.5 \pm 2.0\%$ に低下し、忌避/選好性に有意差はみられなくなった ($p=0.070$)。また、試験 4 において、湖水（動物プランクトンは含まれない。DO は 8.13 mg/L 、水温は 21.0°C ）と、その湖水に培養した動物プランクトンを添加した水（ツボワムシが 120 ind./L の他、タマミジンコやミジンコ属 *Daphnia* sp. といった微小甲殻類がそれぞれ 240 ind./L 、 600 ind./L 含まれる。DO は 7.96 mg/L 、水温は 21.0°C ）を供試したところ、後者を流したサイドにおける異常値 ($F_Q = 35.5\%$, $p < 0.05$) を除いた分布頻度は $64.5 \pm 4.9\%$ で、本種仔魚は有意に動物プランクトンを含む水を有意に選好した ($p=0.000$)。さらに試験 5 において TC へ左右同じ湖水を流し、一方を遮光すると、その遮光サイドにおける分布頻度は $24.5 \pm 5.5\%$ となり、本種仔魚は暗条件を著しく忌避した ($p=0.000$)。

ニゴロブナ仔魚の前歴よりも水温が高い、あるいは低い湖水の忌避/選好試験の結果を Table 2 に示した。いずれの試験においても、試験開始後 1~4 分の間の 1 分毎の F_T の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。試験 6 において、前歴よりも高い水温と低い水温の湖水の選択性を調べたところ、水温の高いサイドにおける分布頻度は $66.3 \pm 8.3\%$ で、本種仔魚は前歴に比べて低い水温よりも高い水温の湖水を有意に選好した ($p=0.001$)。また試験 7 において、前歴水温とそれよりも高い水温の湖水の選択性を調べたところ、水温の高いサイドにおける分布頻度は $65.0 \pm 12.5\%$ で、本種仔魚は前歴よりも高い水温の湖水を有意に選好した ($p=0.014$)。一方、試験 8 において、前歴水温とそれよりも

低い水温の湖水の選択性を調べたところ、水温の低いサイドにおける分布頻度 $44.6 \pm 7.7\%$ で、本種仔魚は前歴よりも低い水温の湖水に対しては、有意な忌避/選好性を示さなかった ($p=0.090$)。

考 察

本研究により、ニゴロブナ仔魚は、低い DO を特に忌避せず、遮光環境を忌避するが、高い水温を選好し、餌となる微小甲殻類に強く誘引される特性を有することが確認された。

Fig. 1 に示した忌避/選好試験装置のプランクテストでは、いずれの試験でも供試魚は TC の両サイドに偏りなく分布し ($p > 0.05$)、試験開始後 5~15 分の間の 1 分毎の F_L の平均値は 50% 、CV は $10 \sim 20\%$ で安定していた (Fig. 3)。また、いずれの試験においても、この間の 1 分毎の F_Q の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。このため、この装置を用いた、異なる特性の水や遮光条件に対するニゴロブナ仔魚の忌避/選好試験では、試験水は TC の左右どちらのサイドに流しても問題はなく、この研究ではサイドを左右交互に替えて流し、あるいは遮光し、精度を上げるために試験開始 5 分後から終了する 15 分後までの 1 分毎の N_Q を試験毎に平均してデータとして採用したことは適切であったと判断される。また、Fig. 2 に示した忌避/選好試験装置のプランクテストでも、いずれの試験でも供試魚は TC の両サイドに偏りなく分布し ($p > 0.05$)、試験開始後 1~4 分に間の 1 分毎の F_A の平均値はほぼ 50% 、CV は $9 \sim 31\%$ で比較的安定していた (Fig. 4)。また、いずれの試験においても、この間の 1 分毎の F_T の平均値には有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。このため、この

装置を用いた、水温の異なる水に対する本種仔魚の忌避/選好試験では、TCのA、Bどちらのサイドの水温を変化させても問題はなく、この研究では水温を変化させるサイドを交互に変更したことは適切と判断される。また、TC内の水温は、時間の経過とともに変化した(Fig. 5)が、安定してデータが得られた試験開始後1分から4分までの N_T をデータとして採用し、4回または6回の試験回数にわたるその平均値をデータとして採用したことは適切であったと判断される。以上の結果、上記したデータを用いて、特性が異なる水や明暗差、水温差に対するニゴロブナ仔魚の忌避/選好性の評価は可能であるといえよう。なお、試験4では、トンブソンの棄却検定を経て $F_0=35.5\%$ の一例の値を棄却した($p<0.05$)。この値を観測した試験のみ、全ての供試魚がTCの一方のサイドに集まる現象が観察された。また、この棄却データを除く試験4における分布頻度のCVは15.0~27.8%であったが、この棄却データのCVは54.1%と大きかったことから、異常値であったと判断される。

これまでの研究で、奥行きがあり、よく発達したヨシ帯は、その奥部ほど貧酸素状態にあり、ニゴロブナ仔魚はヨシ帯奥部に能動的に蟄集することが確かめられている。⁸⁾ 今回の忌避/選好試験では、本種仔魚はDOが8.76 mg/Lと2.08 mg/Lの水とでは、DOの低い水を忌避しないという結果が得られた。このため、貧酸素は本種仔魚のヨシ帯奥部への蟄集行動に対して、大きな障害にはならないと思われる。また、これまでに多くの魚種で、貧酸素に対する逃避行動がみられるDO(単位: mL/L)が報告されており、それらの閾値(単位: mg/Lへ変換)は、カマツカ *Pseudogobio esocinus* (全長74 mm)では4.83 mg/L,¹⁴⁾ ウグイ *Tribolodon hakonensis* (同84 mm),¹⁵⁾ イトモロコ *Squalidus gracilis* (同65 mm)¹⁵⁾ カワムツ *Zacco temminckii* (同6.2 g)¹⁶⁾ およびオイカワ *Z. platypus* (同7.2 g)¹⁶⁾ では3.0 mg/L以上、ウナギ *Anguilla japonica* (同187 mm)¹⁷⁾、タモロコ *Gnathopogon elongatus* (体重7.2 g)¹⁶⁾ およびギンブナ *C. auratus langsdorfii* (同39.0 g)¹⁶⁾ では2.75 mg/L、オオクチバス *Micropterus salmoides* (同23 g)では2.4 mg/L¹⁸⁾、ワタカ *Ischikauia steenackeri* (同15.4 g)とコイ *Cyprinus carpio* (同39.0 g)では1.95 mg/L,¹⁶⁾ である。ニゴロブナ仔魚はDO 2.08 mg/Lの水を忌避しないという今回の試験結果と、これらの値の比較からも、ニゴロブナ仔魚は貧酸素を忌避しにくい特性を有する魚種であることがうかがえる。なお、ヨシ帯の奥部は、昼間に比べて夜間はDOが一層低下する傾向にあり、明け方には無酸素になることもある。⁸⁾ しかし、本種仔魚は本来、貧酸素耐性が高い⁸⁾うえに、仔魚期には背部の膜鱗に毛細血管が密に分布し、¹²⁾ この時期は体比

重が環境水の比重よりも若干小さく、水面から酸素の溶け込みが見込める水面直下に浮上してこの膜鱗を介して呼吸ができると考えられている。⁸⁾ このように本種仔魚は貧酸素環境へ生理的に適応していることから、貧酸素は忌避の原因にならないものと思われる。

平井¹⁹⁾や鈴木ら²⁰⁾は、ヨシ帯奥部はその外縁部よりも水温が高い傾向にあることを報告している。著者らも、岸辺に樹木が繁茂して日陰になる場合を除くと、水温はヨシ帯奥部ほど高い傾向にあることを観察している。⁸⁾ 今回の忌避/選好試験で、本種仔魚は前歴よりも高い水温の水を選好するという結果が得られた。このため、本種仔魚がヨシ帯奥部へ蟄集する要因のひとつとして、水温の高い水域の選好が考えられる。金尾ら²¹⁾は水田ではニゴロブナの初期成長は速く、その原因として高水温の可能性を指摘している。ヨシ帯内では、本種仔魚は高水温水域に蟄集することで周辺水域よりも速く成長する可能性がある。

ニゴロブナの産卵期に当たる4、5月^{2,22)}には、ヨシ帯の奥部にカイアシ亜綱のノープリウス幼生が優占し、その成体やコペポディッド幼生、ミジンコ亜綱も多数出現する。^{8,23)} フナ属仔魚はこれらのうち、ミジンコ亜綱を好んで食べることが報告されている。⁹⁻¹¹⁾ また、ヨシ帯に放流されたニゴロブナ仔魚の消化管からは、カイアシ亜綱の成体やコペポディッド幼生、ミジンコ亜綱が多数確認され、分布密度の高いノープリウス幼生よりも、これらを選別的に捕食していることが報告されている。⁸⁾ 今回の忌避/選好試験では、本種仔魚はヨシ帯の奥部のアオムキミジンコ属やケンミジンコ属といった微小甲殻類を含む水を、それらを含まない外縁部の水よりも選好するが、プランクトンネットでろ過して動物プランクトンを取り除くと、ヨシ帯奥部の水への選好性が消失することが確認された。また、培養したタマミジンコやミジンコ属といったミジンコ亜綱の微小甲殻類を添加した水を選好することも確認された。これらの結果から、本種仔魚がヨシ帯奥部へ蟄集する要因のひとつとして、餌となる微小甲殻類を含む水の選好が考えられる。

ヨシ帯の岸辺付近にはヤナギ類 *Salix* spp. やハンノキ *Alnus japonica* が自生することが多く、著者らは、本種仔魚はヨシ帯奥部に蟄集するが、このような樹木の日陰となる部分には仔魚が少ないことを観察している。⁸⁾ 今回の明・暗条件への忌避/選好試験では、本種仔魚は明条件よりも暗条件を著しく忌避した。ヨシ帯の奥部において、また今回の忌避/選好試験の明・暗条件下において、ともに照度などの測定は行われておらず、今回の試験結果からは木陰はヨシ帯内での本種仔魚の蟄集を妨げる要因になっているとは言い切れない。しかし、その可能性を否定できるものではなく、今後、ニゴロブナの好適な繁殖場を造成するにあたり、光条件について更なる

研究が必要である。

ヨシ帯の奥部は、貧酸素、高水温に加え、微小甲殻類が豊富であり、本研究で確認されたようにニゴロブナ仔魚はこの環境特性を選好してヨシ帯奥部へ蜆集する。そして、このような水域を捕食者からの退避地として、また摂餌や成長の場として利用していると思われる。特に近年、侵略的外来種のおオクチバスによる在来魚への食害が大きな問題となっているが、²⁴⁾ おオクチバス稚魚に比べて本種仔魚の貧酸素耐性が大きく、²⁵⁾ また、おオクチバスは DO が低い水を忌避する¹⁸⁾ ため、貧酸素にあるヨシ帯奥部は、本種仔魚が生残するうえで極めて有効な水域である。

ニゴロブナ仔魚を対象とした種苗放流を進めるうえで、岸辺付近にこのような環境が形成される発達したヨシ帯への放流が重要である。また、ニゴロブナの繁殖の場としてヨシ帯を造成する場合も、このような環境が創成される奥行きのあるヨシ帯の設計が必要である。今後、ニゴロブナ仔魚が生残するうえでのこのようなヨシ帯の重要性を、天然水域での標識種苗放流調査などにより精査・実証していく予定である。

文 献

- 宮地傳三郎, 川那部浩哉, 水野信彦. 「原色日本淡水魚類図鑑」保育社, 大阪. 1992.
- 中村守純. 「日本のコイ科魚類」資源科学研究所, 東京. 1969.
- 川那部浩哉, 水野信彦, 細谷和海編. 「山溪カラー名鑑日本の淡水魚第3版」山と溪谷社, 東京. 2002.
- 小島朝子, 北村眞一, 堀越昌子. なぜ琵琶湖で育った. 「ふなずしの謎」(滋賀の食文化研究会編) サンライズ出版, 滋賀. 1995; 9-33.
- 藤井建夫. すしの先祖は魚の漬け物. 「魚の発酵食品」成山堂書店, 東京. 2000; 77-96.
- ニゴロブナ. 昭和 58 (1983) 年度~平成 17 (2005) 年度種苗生産放流事業結果概要. 財団法人滋賀県水産振興協会, 草津. 2007; 2-17.
- 滋賀県農政水産部水産課. 沿岸漁場整備開発事業. 滋賀の水産, 滋賀県, 大津. 2009; 41-43.
- 藤原公一, 臼杵崇広, 根本守仁, 北田修一. 琵琶湖沿岸のヨシ帯におけるニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の初期生態とその環境への適応. 日本誌 2011; 77: 387-401.
- 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態 II 水生植物帯にすむ仔稚魚の食性について. 金沢大学教育学部紀要自然科学編 1971; 20: 59-70.
- 平井賢一. びわ湖内湾の水生植物帯における仔稚魚の生態 III ニゴロブナ仔稚魚の食性と生息域の関係. 日本生態学会誌 1972; 22: 69-93.
- 山本敏哉. 微小甲殻類を摂餌したニゴロブナ仔魚の成長. 矢作川研究 2005; 9: 85-88.
- 藤原公一. ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の飼育仔稚魚の発育と成長. 日本誌 2010; 76: 894-904.
- 日高秀夫, 菅 麻也子, 立川 涼. メダカによる化学薬剤の忌避試験法. 日農化誌 1983; 57: 571-579.
- 山元憲一, 平野 修, 原 洋一, 吉川浩史. カマツカの低酸素下における呼吸および逃避反応. 魚類学雑誌 1987; 33: 399-404.
- 山元憲一, 平野 修. ウグイとイトモロコの低酸素下における鼻上げ, 窒息死および逃避反応. 日本誌 1987; 53: 1741-1744.
- 山元憲一. コイ科魚類 6 種の低酸素下における逃避反応. 水産増殖 1991; 39: 129-132.
- 山元憲一. ウナギの低酸素下における逃避反応. 水産増殖 1990; 38: 113-116.
- Burleson ML, Wilhelm DR, Smatresk NJ. The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass. *J. Fish Biol.* 2001; 59: 1336-1349.
- 平井賢一. 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自然科学編 1970; 19: 93-105.
- 鈴木紀雄, 川嶋宗継, 遠藤修一, 板倉安正, 木村保弘. 琵琶湖におけるヨシ群落に関する研究—ヨシ群落内の物理・化学・生態的性状—. 滋賀大学教育学部紀要 自然科学・教育科学 1993; 43: 19-41.
- 金尾滋史, 大塚泰介, 前畑政善, 鈴木規慈, 沢田裕一. ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の初期成長の場としての水田の有効性. 日本誌 2009; 75: 191-197.
- 松田尚一, 前畑政善, 秋山廣光. 「湖国びわ湖の魚たち」(滋賀県立琵琶湖文化館編) 第一法規出版, 東京. 1986.
- Yamamoto T, Nozaki K. Microcrustacean abundance as potential food resource for larval and juvenile fishes in a reed zone of Lake Biwa. *Suisanzoshoku* 2004; 52: 145-152.
- 淀 太我, 井口恵一郎. バス問題の経緯と背景. 水研センター研報 2004; 12: 10-24.
- Yamanaka H, Kohmatsu Y, Yuma M. Difference in the hypoxia tolerance of the round crucian carp and largemouth bass: implications for physiological refugia in the macrophyte zone. *Ichthyol. Res.* 2007; 54: 308-312.