

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

誌名	日本水産学会誌
ISSN	00215392
著者名	金尾, 滋史 大塚, 泰介 前畑, 政善 鈴木, 規慈 沢田, 裕一
発行元	日本水産学会
巻/号	75巻2号
掲載ページ	p. 191-197
発行年月	2009年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



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

金尾 滋史,^{1,2*} 大塚 泰介,³ 前畑 政善,³ 鈴木 規慈,⁴ 沢田 裕 —⁵

(2008年4月1日受付, 2008年10月8日受理)

¹多賀町立博物館・多賀の自然と文化の館, ²滋賀県立大学大学院環境科学研究科,
³滋賀県立琵琶湖博物館, ⁴三重大学大学院生物資源学研究科, ⁵滋賀県立大学環境科学部

Effectiveness of Paddy Fields as an Initial Growth Environment for Larval and
Juvenile Nigorobuna *Carassius auratus grandoculis*

SHIGEFUMI KANAO,^{1,2*} TAISUKE OHTSUKA,³ MASAYOSHI MAEHATA,³
NORIYASU SUZUKI⁴ AND HIROICHI SAWADA⁵

¹Taga Town Museum, Inukami, Shiga 522-0314, ²Graduate School of Environmental Science, The University
of Shiga Prefecture, Hikone Shiga 522-8311, ³Lake Biwa Museum, Kusatsu, Shiga 525-0001, ⁴Graduate
School of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, ⁵School of Environmental Science, The University of
Shiga Prefecture, Hikone, Shiga 522-8311, Japan

Carassius auratus grandoculis larvae and juveniles were released in paddy fields near Lake Biwa. Later, they were periodically collected and subject to growth analysis of total length (TL) and body weight (BW). As a result, daily growth rates in both TL and BW reared in paddy fields were high in comparison to those of fish reared in fishery ponds and raised naturally in reed zones of Lake Biwa. The survival rate of *C. a. grandoculis* in paddy fields increased with lower population density. Meanwhile, daily growth increments shifted from an increase to a decrease at 11-24 days of age in TL, and at 15-44 days of age in BW. Therefore, paddy fields are considered to be highly effective as an initial growth (until about 40 days of age) environment for *C. a. grandoculis*.

キーワード : Richards の成長式, 初期成長, 水田, ニゴロブナ

ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* はコイ科 Cyprinidae フナ属 *Carassius* に属し, 琵琶湖水系にのみ生息する琵琶湖の固有亜種である。¹⁻³⁾ 本亜種は滋賀県の伝統的食品であるフナズシの材料として古くから利用されているため, 県内の水産業において非常に重要な魚種である。^{4,5)}

しかし近年, ニゴロブナの資源量は急激に減少し, 1990年頃までは年間100t以上あった漁獲量は, 2004年には31tにまで減少した。そのため, 滋賀県レッドデータブックでは, 本亜種は, 県内において存続基盤が脆弱な希少種として位置づけられている。⁶⁾ また, 環境省が2007年8月に発表した最新のレッドリストでは, 絶滅危惧IB類に位置づけられた。

ニゴロブナ資源が減少した主な原因は生活史初期の個

体数減耗が大きいためであると考えられており, 具体的な要因として以下の3点が指摘されている。⁶⁾ その一つは, 産卵繁殖場となるヨシ帯の減少である。琵琶湖沿岸や内湖等に発達したヨシ帯には, ニゴロブナ仔稚魚の餌となる微小甲殻類が豊富に生息しており,⁷⁻¹¹⁾ 仔稚魚の好適な生息場所であるとされている。¹²⁾ しかしそうしたヨシ帯は, 琵琶湖総合開発など湖岸の人為的改変によって著しく減少してきた。¹³⁻¹⁵⁾ 内湖についても, 1940年には2,902haであった総面積が, 干拓事業などによって1995年には425haにまで減少し, そこに発達したヨシ帯の面積も急激に減少した。¹¹⁾ 二つ目の要因は外来魚による食害である。琵琶湖では1980年代以降, オオクチバス *Micropterus salmoides* とブルーギル *Lepomis macrochirus* が著しく増加した。¹⁶⁾ オオクチバスの当歳

魚は、コイ科魚類の仔稚魚をよく捕食することが知られている。¹⁷⁾ また、ブルーギルも、フナ属魚類をはじめとするコイ科魚類の卵や仔魚を捕食することが観察されている(金尾, 前畑 未発表)。ニゴロブナの仔稚魚から未成魚期にかけての生息域はオオクチバス、ブルーギルの生息域と重複することから、これらの2種による食害を受けている可能性は高いと考えられる。そして最後の要因は水位の人工的な急変である。1992年より、治水・利水を目的とした琵琶湖の水位操作規則が定められた結果、6月15日から8月31日の間、琵琶湖の水位を琵琶湖基準水位より-20 cmに維持するよう定められた。これにより、降水によって湖の水位が上昇した際には、琵琶湖流出河川の瀬田川にある南郷洗堰を開くことで速やかに水位を低下させることになった。しかし、この水位操作はニゴロブナの産卵繁殖場となる一時的水域の面積を大きく減少させるため、ニゴロブナの繁殖に悪影響を及ぼすことが報告されている。^{18,19)}

一方、琵琶湖周辺の水田もニゴロブナの産卵繁殖場となる。かつては琵琶湖周辺の水田地帯にもニゴロブナが遡上し、そこで産卵を行っていたことが報告されている。^{20,21)} 水田ではヨシ帯と同様の機能をもつ一方で、外来魚や琵琶湖の人為的水位調整の影響はほとんどないと考えられるため、現在でもニゴロブナ仔稚魚の生育に好適な環境であると考えられる。しかし近年では、圃場整備事業の結果として魚が遡上できないほどの落差が水路と水田の間に生じてしまい、ニゴロブナが水田内で産卵を行なう機会はほとんどない。それでも、ニゴロブナが水田内へ遡上して産卵する機会が得られた場合には、水田内で孵化した仔魚が成長し、中干し時に多くの稚魚が流下することが明らかになっている。²²⁻²⁴⁾ そこで琵琶湖周辺のいくつかの地域では、農業排水路の水位を嵩上げすることにより、ニゴロブナなどの魚類を水田に誘導する試みが始められている。^{23,25)}

水田におけるニゴロブナ仔稚魚の成長がたいへん速いことは、しばしば指摘されている。^{23,25,26)} しかしこれまでに示された成長データはほとんどが断片的なものであり、経時的な成長パターンについてはほとんど明らかになっていない。また、ニゴロブナの初期生活史における

成長に関しては、これまで形態の変化²⁷⁾や飼育下における餌量に対する成長量²⁸⁻³⁰⁾が報告されているものの、野外における成長の経時変化に関してはほとんど知見がない。そこで本研究では、水田内で成長するニゴロブナを定期的に採集し、成長解析を行なうとともに、水田内における生残率を調査し、ニゴロブナの初期生活期における有効な生育場所として水田の可能性を検討した。

試料および方法

供試魚の採集 本研究では2003年および2006年に滋賀県内の2つの地域(彦根市, 守山市)の水田で育てられたニゴロブナの仔魚~稚魚を対象とした。

2003年の実験では、滋賀県彦根市の3つの水田(A, B, C; いずれも2000 m²)に、滋賀県水産試験場で飼養されていた、抱卵状態にあるニゴロブナ親魚を各水田にメス3~10個体, オス5~15個体を放流し、生まれた仔稚魚を解析対象とした。親魚の放流は、田植え終了7日後の2003年6月3日に実施した。親魚は6月3~4日の夜間に産卵を行ない、6月5~6日に仔魚が孵化した。また、雌親魚の標準体長-体重の関係から各個体の推定産卵数を求め、³¹⁾ 各水田における産卵数を推定した(Table 1)。以後、A, B, Cにおける日齢は6月6日を0日齢とする。魚類の採集は6月8日, 20日, 26日, 28日, 30日, 7月3日の8回実施した。ただし水田によってニゴロブナ仔稚魚が採集されなかった日や、少数の個体しか得られなかった日がある。

2006年の実験では、滋賀県守山市の水田に孵化仔魚を放流した。放流した仔魚は、西ノ湖(滋賀県近江八幡市)で採獲された抱卵状態にある親魚(メス5個体, オス5個体)にhCG(ヒト絨毛性性腺刺激ホルモン: 三共製薬社製)を腹腔内注射し、琵琶湖博物館(滋賀県草津市)の屋外水槽にて自然産卵させた卵、および琵琶湖栽培漁業センター(滋賀県草津市)において屋外の水槽にて経年飼育している親魚、雌雄それぞれ数10個体から得られた卵を孵化させたものである。卵は5月11日から13日の間に孵化した。以降、5月13日を0日齢とする。田植えが終了してから7~14日後の5月17日にニゴロブナ仔魚(30個体の平均体重1.19 mg, 10個

Table 1 Estimated number of eggs laid, number of stocked larvae, and population density of *Carassius auratus grandoculis* in each paddy field

Paddy field	Hikone			Moriyama			
	A	B	C	H1	H2	L1	L2
Paddy area (m ²)	2000	2000	2000	2190	3410	3000	3000
Estimated number of eggs laid	62000	162000	300000				
Number of stocked larvae				44000	68000	6000	6000
Population density (/m ²)	31	81	150	20	20	2	2

体の平均全長 5.75 mm) を放流した。仔魚の放流個体数を、田面 1 m² につき 20 個体 (H 区; 高密度区) および 2 個体 (L 区; 低密度区) として、それぞれ 2 筆の水田 (H1, H2, L1, L2) で調査を行なった (Table 1)。調査水田の給水口および排水口には、フナが水田外に出ないように網を張った柵を設けた。仔稚魚は、5 月 27 日、6 月 5 日、14 日、20 日の 4 回採集した。

いずれの調査地においても仔稚魚の採集には市販の熱帯魚用ネット (縦 15 cm, 横 20 cm, 網目 0.5 mm) を使い、畦および水田内に入りすくい取りを行なった。採集した仔稚魚は直ちに 10% ホルマリンで固定した。水田各筆、各日の標本から 20~25 個体をランダムに選んで (ただし標本数がそれ以下の場合には全標本を) 測定対象とした。各標本はペーパータオルで水分を充分拭き去った後、科学天秤で体重を測定し、併せて、ノギスで全長と標準体長を測定した。体重は 0.1 mg 単位で、全長と標準体長は 0.01 mm 単位で測定した。

また、いずれの調査地においても、水田の中干し時において排水口に網を設置し、水田から排水路へ流下した稚魚をすべて採集し、個体数を計測した。また、落水後の水田に取り残された稚魚の回収も行なった。落水は A, B, C の水田では 6 月 30 日と 7 月 3 日の 2 回実施し、H1, H2, L1, L2 では 6 月 20 日に実施した。各水田の推定産卵数及び放流個体数、水田に取り残された個体数、流下個体数から、水田内におけるニゴロブナ稚魚の生残率、および水田からの流下率を算出し、水田における生産性を検討した。

解析方法 2 つの調査地点におけるニゴロブナ仔稚魚の成長解析は、以下に示す Richards³²⁾ の成長式への近似により行なった。

$$\mu_t = \mu_\infty [1 + r \cdot \exp\{-K(t - t_0)\}]^{-1/r}$$

ただし、 μ_t : 日齢 t におけるサイズ (全長, 体重) のモデル推定値、 μ_∞ : 理論的最大のサイズ、 K : 増加係数、 t_0 : 成長の変曲点である。 r は成長式モデルの型を決定するパラメータで、 $r = -1$ のとき Bertalanffy の成長式³³⁾ $r = -1/3$ のとき Bertalanffy の 3 乗式、 $r \rightarrow 0$ の極限をとれば Gompertz の成長式³⁴⁾ $r = 1$ で logistic 成長式になる。³⁵⁾ 通常、魚類の成長解析では同化速度は体長の 2 乗に比例し、異化速度は体長の 3 乗に比例すると仮定される Bertalanffy の成長式が用いられることが多い。Bertalanffy の成長式はこのように内的要因により決定される成長パターンの解析には有効であるが、成長に伴って成長を抑制する外的要因が強くなっていくとすれば、成長率の減衰がより急な成長曲線が得られ、Bertalanffy の成長式では成長をよく近似できないことになる。Richards の成長式ではこの成長率の減衰パターンについてのパラメータが r として与えられているため、 r の値によって成長率の減衰に及ぼす外的要因の変化を

示唆することができる。

日齢 t における各個体サイズの実測値が平均値 μ_t 、標準偏差 σ_t の正規分布に従うことを仮定して、最尤法によるパラメータセット μ_∞, K, t_0, r および標準偏差 σ の推定を行なった。³⁶⁾ パラメータ r の推定には Microsoft Excel のソルバーを用いた。ただしソルバーによる推定では、与える初期値によって妥当な結果を得られない場合があるので、パラメータの初期値を変えながら何度か推定を行ない、その結果のうちで対数尤度が最大になったものを、実測データへの適合を確認した上で採用した。また、 $r = 0$ では Richards の成長式は定義されず、その近傍でも十分によい近似が得られない可能性がある。そこで r の絶対値が 1/3 以下となった場合には、Richards の成長式で $r \rightarrow 0$ とした場合の極限值として定義される Gompertz の成長式³³⁾

$$\mu_t = \mu_\infty \exp[-\exp\{-K(t - t_0)\}]$$

への近似も行つて、AIC³⁷⁾ がより小さい方のモデルを採用した。なお、10 日齢以前のデータが欠測になった場合には、近隣の水田で得られた 4 日齢のサイズの平均値を 1 個体分として外挿した。

また、過去の知見^{1,28)} との成長の比較を行なうため、守山市の調査地 H1, H2, L1, L2 で採集された後期仔魚期以降のニゴロブナ試料の体重と全長および体重と標準体長の関係についてそれぞれの測定値を底が 10 の常用対数に対数変換した後、最小二乗法により回帰直線式を求めた。また、全長と標準体長の関係については最小二乗法により回帰直線式を求め、過去の知見において標準体長が示されている場合にはこの回帰式から全長を推定した。

結果と考察

水田内におけるニゴロブナ仔稚魚の全長と体重の成長量 モデル式へのあてはめにより得られたニゴロブナ仔稚魚の全長は、10 日齢で 9.3~13.8 mm, 20 日齢で 17.5~26.0 mm, 30 日齢で 24.9~27.9 mm, 40 日齢で 26.8~35.3 mm であった (Table 2)。また体重は 10 日齢で 8.8~30.6 mg, 20 日齢で 81.2~259.1 mg, 30 日齢で 225.7~331.5 mg, 40 日齢で 295.3~690.1 mg であった (Table 3)。これらのモデル式を実測値と比較すると、ほぼ同様の傾向を示した。H1 の水田における全長と体重のモデル式と実測値を Fig. 1, Fig. 2 に示す。

また、H1, H2, L1, L2 で採集された後期仔魚期以降のニゴロブナの全長 TL (mm) と体重 W (mg) の間には、

$$\log W = 3.239 \cdot \log TL - 2.169; r = 0.995$$

の関係が見られた。ただし、 \log は底が 10 の常用対数である。同様に、標準体長 SL (mm) と体重 W (mg) の間には、

Table 2 Estimated total length (mm), daily growth increment (mm/day), and daily growth rate (%/day) of larval and juvenile *Carassius auratus grandoculis* in each paddy field by approximation to Richards' growth function

Sampling site	Model parameters				Estimated total length (mm)					Daily growth increment (mm/day)					Daily growth rate (%/day)				
	μ_{∞} (mm)	K	t_0 (day)	r	(day) 5	10	20	30	40	5	10	20	30	40	5	10	20	30	40
Hikone																			
A	27.9	0.31	12.1	2.52	7.9	13.8	25.8	27.8	27.9	0.93	1.41	0.57	0.03	0.00	11.8	10.2	2.2	0.1	0.0
B	28.2	0.22	11.4	1.64	8.0	13.7	24.8	27.8	28.2	0.95	1.30	0.66	0.09	0.01	12.0	9.5	2.6	0.3	0.0
C	27.9	0.38	13.4	3.45	7.7	13.1	26.0	27.9	27.9	0.84	1.35	0.62	0.02	0.00	11.0	10.3	2.4	0.1	0.0
Moriyama																			
H1	27.2	0.18	17.4	2.06	6.3	9.4	18.2	24.9	26.8	0.53	0.74	0.91	0.38	0.08	8.4	7.8	5.0	1.5	0.3
H2	30.2	0.13	17.2	1.25	6.3	9.6	18.4	25.6	28.8	0.56	0.76	0.89	0.51	0.18	9.0	7.9	4.8	2.0	0.6
L1	30.5	0.16	19.0	1.77	6.2	9.3	18.1	26.0	29.4	0.51	0.72	0.96	0.55	0.16	8.2	7.7	5.3	2.1	0.6
L2	47.3	0.07	24.4	0.62	6.3	9.3	17.5	27.1	35.3	0.52	0.69	0.94	0.92	0.69	8.3	7.4	5.3	3.4	1.9

 μ_{∞} : theoretical maximum total length K : growth coefficient t_0 : growth inflection point (point at which daily growth increment changes from an increase to a decrease) r : model parameter; $r = -1$: Bertalanffy function, $r = 0$: Gompertz function, $r = 1$: Logistic function, r increases as growth decreases more rapidly.**Table 3** Estimated body weight (mg), daily growth increment (mg/day), and daily growth rate (%/day) of larval and juvenile *Carassius auratus grandoculis* in each paddy field by approximation to Richards' growth function

Sampling site	Model parameters				Estimated body weight (mg)					Daily growth increment (mg/day)					Daily growth rate (%/day)				
	μ_{∞} (mg)	K	t_0 (day)	r	(day) 5	10	20	30	40	5	10	20	30	40	5	10	20	30	40
Hikone																			
A	321	0.30	15.1	0.52	2.8	30.6	259.1	317.2	320.6	1.48	12.5	15.8	1.1	0.1	52.9	40.8	6.1	0.3	0.0
B	397	0.13	16.6	0	4.5	37.7	207.1	331.5	377.5	2.59	11.4	17.3	7.7	2.4	57.7	30.3	8.4	2.3	0.6
C	302	0.27	15.5	0.46	2.7	27.7	229.8	296.5	301.9	1.42	10.8	16.0	1.6	0.1	51.8	39.1	7.0	0.5	0.0
Moriyama																			
H1	328	0.13	22.8	0.23	1.8	10.5	95.3	225.7	295.3	0.71	3.3	13.3	10.5	4.0	39.6	31.0	14.0	4.7	1.4
H2	616	0.07	29.4	0	1.8	10.7	86.0	236.5	386.9	0.77	3.1	12.2	16.3	13.0	41.9	29.2	14.2	6.9	3.4
L1	493	0.12	26.3	0.25	1.7	9.0	90.4	269.6	405.0	0.62	2.7	14.7	17.7	9.1	36.0	30.0	16.3	6.6	2.2
L2	2310	0.05	43.7	0	1.7	8.8	81.2	309.1	690.1	0.64	2.5	13.9	31.7	42.5	36.7	28.4	17.1	10.3	6.2

 μ_{∞} : theoretical maximum body weight K : growth coefficient t_0 : growth inflection point (point at which daily growth increment changes from an increase to a decrease) r : model parameter; $r = -1$: Bertalanffy function, $r = 0$: Gompertz function, $r = 1$: Logistic function, r increases as growth decreases more rapidly. $r = 0$ indicates that the Gompertz function was selected as a result of model selection.

$$\log W = 3.732 \cdot \log SL - 2.458; r = 0.991$$

の関係が, 全長と標準体長との間には,

$$TL = 1.421 \cdot SL - 2.705; r = 0.996$$

の関係が, それぞれ見られた。水田でのニゴロブナ仔稚魚の初期成長に関するこれまでの報告では, 平均標準体長が10~12日齢で9~15 mm, 20~21日齢で11~21 mm, 27~40日齢で14~29 mm という結果が示されている。^{23,25,26)} この値を本研究で得られた回帰式で全長に換算すると, それぞれ10~19 mm, 13~27 mm, 17~39 mm となる。したがって本研究で観察された成長パターンは, 10日齢ではやや小さめであるものの, 琵琶湖周

辺の水田における一般的な成長パターンの範疇にあったと言える。一方, 本研究で得られたニゴロブナ仔稚魚の標準体長と体重との関係を飼育下における従来の知見^{1,28)}と比較すると, 体長が同じならば体重がおよそ2倍になっている。すなわち, 本研究で得られたニゴロブナ仔魚は著しく肥満度が大きかったことになる。また, 飼育条件下の個体は, 10~13日齢で平均全長5~9 mm, 20日齢で8~20 mm, 30~33日齢で10~26 mm の範囲にあると報告されており,^{28,29,38)} 最も成長が良い場合でも本研究の最低の値と同程度である。また, 仔魚段階でヨシ帯に放流された個体では, 15日齢で体長10

mm,³⁸⁾ 30日齢で16mm,³⁸⁾ 40日齢で18mm³⁹⁾ (それぞれ全長12mm, 20mm, 23mm相当)と報告されており、やはり本研究の結果よりも成長が遅い傾向が認められた。したがって、水田におけるニゴロブナ仔稚魚の成長は体長、体重などと比較すると飼育下やヨシ帯における成長よりも早いと考えられた。

日数の増加に伴う成長量の減少 日成長量は全長では

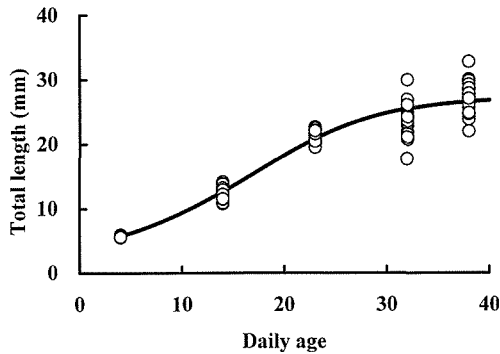


Fig. 1 Total length growth curve of larval and juvenile *Carassius auratus grandoculis* calculated by Richards' growth function in paddy field H1. Each white dot represents the total length measured at each sampling date.

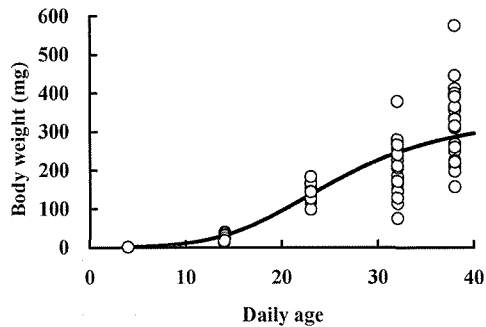


Fig. 2 Body weight growth curve of larval and juvenile *Carassius auratus grandoculis* calculated by Richards' growth function in paddy field H1. Each white dot represents the body weight measured at each sampling date.

11~24日齢、体重では15~44日齢で増加から減少に転じたと推定された。全長における r の値は0.62~3.45の範囲にあり、ほぼlogistic成長式に従った。また体重における r の値は0~0.52の範囲にあり、Gompertz成長式あるいはこれに近いパターンを示した。Richardsの成長式において示されたパラメータ r の値は全長では-1、体重では-1/3というBertalanffyの成長式として示されたそれと比べて大きかった。このように大きな r の値は、ニゴロブナの成長に伴い成長を抑制する外的要因が強くなっていったことを示唆する。

さらに、モデル式による理論的最大全長は27.2~47.3mm、理論的最大体重は302~2310mgと推定された (Table 2, Table 3)。これは琵琶湖におけるニゴロブナの最大全長400mmはもちろん、一般的な成魚の全長250~350mm²⁾をも大きく下回る。

ニゴロブナ稚魚の成長が急激に鈍った原因としては、水田の環境が成長したニゴロブナ稚魚の生育に適さなくなったことが考えられる。ニゴロブナ稚魚は体長13.8~16.7mm (全長16.9~21.0mmに相当) で主な餌をプランクトンから底生動物へと変化させ、さらに体長18.4mm (全長23.4mmに相当) 以上になると岸近くでは殆ど見出されなくなることが知られている。²⁷⁾したがって、ニゴロブナ稚魚にとって水田が好適な生息環境であるのは、概ね全長25mmに達するまでと推察された。本研究では調査された全ての水田で、ほぼ30日齢までにこの平均全長に達していた。一方で、水田内におけるニゴロブナ稚魚の密度によっても日成長量が異なる傾向がみられた (Table 2)。これらは主要な餌と考えられるミジンコ類がニゴロブナ稚魚に捕食されることからニゴロブナ稚魚が高密度ほど餌の枯渇が早くなると考えられた。このため、低密度であれば、水田内の日成長量の減少は遅くなると推察された。

ニゴロブナ仔稚魚の水田からの流下 落水時における各水田のニゴロブナ稚魚の流下個体数、水田に取り残された個体数、生残率、水田からの流下率をTable 4に示した。推定産卵数、放流数より (Table 1)、生残率、流下率は彦根市の水田A, B, Cでは個体数密度の低かった水田Aで最も高く、これにB, Cと続いた。また守山市

Table 4 Survival and leaning from paddy fields of *Carassius auratus grandoculis*

Paddy field	Hikone			Moriyama			
	A	B	C	H1	H2	L1	L2
Number of juveniles leaning	44400	32830	52489	9466	11949	4084	5445
Number of juveniles remaining in paddy	1600	18560	16640	1357	3192	64	0
Survived population	46000	51390	69129	10823	15141	4148	5445
Survival rate (%)	74.2	31.7	23.0	24.6	22.3	69.1	90.8
Leaning-out rate (%)	71.6	20.3	17.5	21.5	17.6	68.1	90.8

の水田においても個体数密度が高い H1, H2 は共に生残率, 流下率は低く, 個体数密度が低い L1, L2 では生残率, 流下率が高かった。2つの調査地では水田の状態が異なると考えられるため, 地域による個体数には差がみられるが, いずれの地域においても個体数密度が高い水田では, 生残率, 流下率が低かった。また, 水田に残された個体の流下個体数に対する割合は 17.5%~71.6% であった。成長率の減少と同様に, 高密度であった場合は生残率, 流下率が共に低くなる傾向が見られた。

ニゴロブナの初期生活場所としての水田の有効性 摂餌開始後まもない 5 日齢における日成長量は, 全長で $0.51 \sim 0.95 \text{ mm day}^{-1}$ (Table 2), 体重で $0.64 \sim 2.59 \text{ mg day}^{-1}$ と推定された (Table 3)。これを日成長率に直すと, 全長で $8 \sim 12\% \text{ day}^{-1}$ (Table 2), 体重で $36 \sim 58\% \text{ day}^{-1}$ となった (Table 3)。全長, 体重ともに 10 日齢, 20 日齢, 30 日齢, 40 日齢における日成長率と比較すると 5 日齢が最も高い値を示した。

水田でニゴロブナの初期成長が速かった理由として, 水温が高いことが考えられる。ニゴロブナは, 水温 30°C でも水温 24°C とほとんど同じ成長を示したとする報告⁴⁰⁾がある。今回, 実験を行なった守山市内の水田では, 2006 年 5 月 20 日から 6 月 20 日までの昼夜を通した平均水温は 22.4°C であった。これは同時期の琵琶湖沖合表層の平均水温 18.5°C よりも約 4°C 高かった。特に晴天時の日中には, 水田内の水温はしばしば 30°C 以上を記録した。この高水温が, 水田におけるニゴロブナ仔稚魚の成長を, 同時期の養殖池やヨシ帯よりも速いものにした可能性は高い。

また, 水田内におけるニゴロブナの水田内生残率が高かった理由および初期成長が速かったもう 1 つの理由として, 餌条件の良さが考えられる。守山市の水田で観察された仔稚魚の高い肥満度は, 餌条件が良かったことの 1 つの証拠となる。餌としては枝角類 (ミジンコ類) が重要であったと思われる。飼育条件におけるニゴロブナの成長および生残率は, 初期の餌料としてツボウムシ *Brachionus*, 5~10 日齢以後はミジンコ類を与えたときに最も良くなることが知られている。^{28,29)} 一方, 湛水時の水田には多くの浮遊性あるいは付着性の微小動物が生息しており,⁴¹⁾ 特に田植え後 10~30 日後からミジンコ類が優占することが多い。⁴²⁻⁴⁴⁾ 守山市水田での実験でも, 5 月にはタマミジンコ *Moina* が, 6 月にはミジンコ *Daphnia* あるいはアオムキミジンコ *Scapholeberis* が優占的な動物プランクトンであったことを観察している。これらの種はニゴロブナ仔稚魚が琵琶湖の内湖の水生植物帯で選択的に捕食している *Chydorus*⁷⁾ とは形態及び生態が大きく異なる。しかしこれら 3 種のプランクトン性ミジンコ類は, 底生性の *Chydorus* とともにニゴロブナ仔稚魚の消化管内容物としてしばしば見出されたこと

から (楠岡ら, 未発表), 水田内において主要な餌となっていたと考えられた。

これらのことから, 水田内におけるニゴロブナの個体数密度により, 日成長量, 生残率, 流下率は変化した。他の水域の結果と比較すると水田はニゴロブナの仔稚魚期における生育場所として十分に機能することが考えられた。なお, 琵琶湖周辺の慣行農法水田では, 田植えから約 40 日後に中干しが行われることが多い。ニゴロブナの産卵が田植えから数日のうちに行われた場合には, この中干しにおいて, 成長が停滞し始めたニゴロブナ稚魚を強制的に農業排水路から湖へと降下させることになる。したがってニゴロブナが水田で初期生活を終え, 河川や琵琶湖へ移動するには中干しは非常に好都合であると考えられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたって, 滋賀県水産試験場の上野世司氏, 滋賀県立琵琶湖博物館の水野敏明氏, 小川雅広氏, 滋賀県立大学環境科学部環境動物学研究室の皆様には本調査に協力して頂いたほか, 本研究を進めるにあたって有益な意見を頂いた。また滋賀県立琵琶湖博物館の楠岡泰氏には未公表のデータを見せていただき, 考察を進める上で大いに参考になった。彦根市南三ツ谷町在住の安居博司氏, および木浜農業組合 (守山市) の今井松雄氏, 浦谷隆征氏, 中野勇氏, 馬場幸子氏には調査地となる水田を提供していただいた。ここに深謝する。本研究の一部は平成 18 年度琵琶湖博物館総合研究「水田地帯における水域ネットワークの構造と生物群集の関係性に関する研究」により実施された。

文 献

- 1) 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. 1963.
- 2) 中村守純. 「日本のコイ科魚類」資源科学研究所, 東京. 1969.
- 3) 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.
- 4) 小島朝子, 北村真一, 堀越昌子. 「ふなずしの謎」(滋賀の食事文化研究会編) サンライズ出版, 滋賀. 1995.
- 5) 堀越昌子. 琵琶湖の食文化. 「知っていますかこの湖をーびわ湖を語る 50 章ー」(琵琶湖百科編集委員会編) サンライズ出版, 滋賀. 2001; 171-176.
- 6) 藤岡康弘. ニゴロブナ. 「滋賀県で大切にすべき野生生物ー滋賀県レッドデータブック 2005 年版ー」(滋賀県生き物総合調査委員会編) サンライズ出版, 滋賀. 2006; 468.
- 7) 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. 日生態会誌 1972; 22: 69-93.
- 8) Yamamoto T, Nozaki K. Microcrustacean abundance as potential food resources for larval and juvenile fishes in a reed zone of Lake Biwa. *Suisanzoshoku*. 2004; 52(2): 145-152.

- 9) 牧 岩男. 琵琶湖の内湾における魚類と餌生物の関係. 生理生態 1964; 12: 259-271.
- 10) 田中 晋, 大高明史, 西野麻知子. 琵琶湖沿岸帯および内湖のミジンコ相. 陸水学雑誌 2004; 65: 167-179.
- 11) 西野麻知子, 浜端悦治編「内湖からのメッセージ 琵琶湖周辺の湿地再生と生物多様性保全」サンライズ出版, 滋賀. 2005.
- 12) 藤原公一, 臼杵崇広, 小林 徹, 水谷英志. 琵琶湖の固有種ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* を育む場としてのヨシ等植物群落の重要性. 環境システム研究. 1995; 23: 414-419.
- 13) 大塚泰介, 岩崎敬二, 熊谷明生, 小西民人. 琵琶湖南湖東岸における抽水植物帯面積の減少について. 陸水学雑誌. 1996; 57: 261-266.
- 14) 今井紘一, 小谷博哉, 小林圭介. 「滋賀県琵琶湖のヨシ群落の保全に関する条例」の制定と運用について. 関西自然保護機構会報. 1999; 21(2): 227-233.
- 15) 尾藤 武, 柳田英俊, 小林圭介. 赤野井湾におけるヨシ群落の変遷. 関西自然保護機構会報. 1999; 21(2): 111-123.
- 16) 前畑政善. 琵琶湖文化館周辺水域(南湖)における魚類の動向. 滋賀県立琵琶湖文化館研究紀要. 1993; 11: 43-49.
- 17) 前畑政善, 桑原雅之, 松田征也, 秋山廣光. 琵琶湖におけるオオクチバス *Micropterus salmoides* (LACEPEDE) の食性. 滋賀県立琵琶湖文化館研究紀要. 1987; 5: 1-14.
- 18) 山本敏哉, 遊磨正秀. 琵琶湖におけるコイ科仔魚の初期生態—水位調節に翻弄された生息環境. 「淡水生物の保全生態学」(森誠一編) 信山社サイテック, 東京, 1999; 193-203.
- 19) Yamamoto T, Kohmatsu Y, Yuma M. Effects of summer drawdown on cyprinid fish larvae in Lake Biwa, Japan. *Limnology* 2006; 7: 75-82.
- 20) 友田淑郎. 「琵琶湖とナマス. 日本の野生動物 10」汐文社, 東京. 1978.
- 21) 遊磨正秀, 嘉田由紀子, 藤岡康弘. 「琵琶湖博物館研究調査報告 9 水辺の遊びにみる生物相の時代変遷と意識変化—住民参加による三世代調査報告書—」滋賀県立琵琶湖博物館, 滋賀. 1997.
- 22) 前畑政善. 琵琶湖の水辺移行帯一魚にとっての水田の役割— 月刊「水」2004; 46: 26-36.
- 23) 上野世司, 遠藤 誠, 大谷博美, 中川淳也, 黒橋典夫, 田附雅広, 端 憲二. 魚類の産卵繁殖の場としての水田の機能の確認. 平成 14 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 2003; 92-93.
- 24) 金尾滋史. 琵琶湖周辺の水田地帯における魚類群集について. 関西自然保護機構 2005; 27(2): 41-46.
- 25) 上野世司, 吉澤 清, 中川淳也, 田附雅広, 田中茂穂, 黒橋典夫, 端 憲二. 魚類の産卵繁殖の場としての水田の機能の確認(Ⅲ). 平成 14 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 2003; 96-97.
- 26) 上野世司, 孝橋賢一, 幡野真隆, 野田健志, 中島貞徳. 近江八幡市「田んぼの学校」におけるニゴロブナの繁殖状況. 平成 14 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 2003; 108-109.
- 27) 友田淑郎. びわ湖産フナの発育. I. ニゴロブナの発育について, およびゲンゴロウブナとニゴロブナの分化についての予察的研究. 大阪市立自然史博物館研究報告. 1965; 18: 3-30.
- 28) 八木久則. ニゴロブナの人工種苗生産に関する研究—II. 孕卵数・仔魚の有効餌料及び当才魚の飼育について. 滋賀県水産試験場研究報告 1977; 29: 9-15.
- 29) 八木久則. ニゴロブナの人工種苗生産に関する研究—IV. 初期餌料としての人工飼料の効果について. 滋賀県水産試験場研究報告 1980; 33: 7-11.
- 30) 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.
- 31) 藤原公一. 種苗の生産効率におよぼすニゴロブナ雌親魚サイズの影響. 平成 4 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 1994; 14-15.
- 32) Richards FJ. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 1959; 10: 290-300.
- 33) Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biol.* 1938; 10: 181-213.
- 34) Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philos. Trans. Roy. Soc. London* 1825; 115: 513-585.
- 35) 赤嶺達郎. 成長式の一般化. 「水産動物の成長解析」(赤嶺達郎, 麦谷泰男編). 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 52-61.
- 36) 田中英次. パラメータ推定法. 「水産動物の成長解析」(赤嶺達郎, 麦谷泰男編). 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 62-71.
- 37) Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 1974; 19: 716-23.
- 38) 氏家宗二, 水谷英志, 藤原公一, 臼杵崇広. ニゴロブナの池中および天然での成長. 平成 4 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 1993; 12-13.
- 39) 遠藤 誠, 太田滋規, 根本守仁, 藤岡康弘. 小河川の水生物群落に放流したニゴロブナ種苗の成長. 平成 10 年度滋賀県水産試験場事業報告, 滋賀県水産試験場, 彦根. 1999; 14-15.
- 40) Fujioka Y. Effects of hormone treatments and temperature on sex-reversal of Nigorobuna *Carassius carassius grandoculis*. *Fish. Sci.* 2002; 68: 889-893.
- 41) Yamasaki M, Hamada Y, Kamimoto N, Momii T, Kimura M. Habitats of aquatic organisms in a paddy field during flooding period. *Edaphologia* 2004; 74: 1-10.
- 42) 倉沢秀夫. 水田における Plankton の消長. 日本生物地理学会会報 1956; 16-19: 428-432.
- 43) 平 誠, 宝月欣二. 水田における施肥とプランクトン群集の種組成の関係. 陸水雑. 1987; 48: 77-83.
- 44) 山元憲一. 水田におけるプランクトンの消長. 水産増殖. 1987; 34: 261-268.