

琵琶湖周辺水田の小水路におけるニゴロブナの産卵繁殖

藤岡康弘・片岡佳孝*・大植伸之・米田一紀・根本守仁・亀甲武志

Spawning of Nigorobuna, *Carassius buergeri grandoculis*, in a small drainage ditch of paddy field around Lake Biwa

Yasuhiro Fujioka・Yositaka Kataoka・Nobuyuki Ooue・Kazuki Yoneda
・Morihiro Nemoto and Takeshi Kikko

キーワード：ニゴロブナ、水路、水田、琵琶湖、産卵、繁殖

Temporary waters such as paddy fields and ditches are important habitats for many freshwater fishes, which use for breeding or foraging. Although various fishes in Lake Biwa utilize for spawning and nursery in reed zone and paddy fields around the lake, recently the fish can hardly migrate to rice fields by the rearrangement of the fields. We investigated spawning and growth of juveniles of nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis* in a small drainage ditch of paddy field around Lake Biwa among three consecutive years. A lot of matured nigorobuna were caught in daytime between April and May and the spawned eggs were observed in the ditch during spawning season. Sex ratios of matured fish showed male-bias. Many larvae and juveniles of nigorobuna were caught from April in 2015 or June in 2016, and 2017 to June or July and these fish grew rapidly. Afterward the fish scarcely captured in autumn in the ditch. These results indicate that a small drainage ditch of paddy field around Lake Biwa plays as an important nursery for nigorobuna, but such a ditch is unstable environments for spawning sites of the fish probably because of changes in the water depth affected by the water levels of Lake Biwa.

水田周辺の一時的水域へ多くの淡水魚が侵入し生息場所あるいは繁殖場所として利用することが報告されて以降、^{1,2)} 水田地帯と魚類の関係がさまざまな分野で研究されてきた。³⁾ 河川や湖など1年を通して水を湛える水域(恒久的水域)に対して、一時的水域である水田や周辺水路は、一般に灌漑期には水が存在するがたびたび干上るといった魚類にとって厳しい環境を形成しているが、恒久的水域よりもむしろ豊富な魚類相を示すことが知られている。^{1,4)} 淡水魚が水田や水路へ侵入する目的はおもに繁殖や摂餌であり、湛水後に仔稚魚の餌となる動物プランクトンなどが一時的に大発生するなどの生産性の高さがその要因として指摘されている。^{5,7)} 水田や周辺水路を繁殖場所として利用している魚類は、ナマズ *Silurus asotus*、ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*、アユモドキ *Parabotia curta*、ギンブナ *Carassius sp.* などであり、摂餌場所

としての利用は、オイカワ *Opsariichthys platypus* やタナゴ類 *Acheilognathus spp.* などが知られている。⁴⁾

琵琶湖には多くの淡水魚が生息し、在来種は60種を超えている。⁸⁾ これらの魚類にとっても水田とその周辺水域は繁殖や生息にとって重要な水域となっている。^{9,10)} 特に、フナ類 *Carassius spp.* やコイ *Cyprinus carpio*、タモロコ *Gnathopogon elongates elongatus*、アユモドキなどは琵琶湖と水田あるいは内湖と水田間を移動し水田周辺水域が生活史の中で重要な役割を果たしていると指摘されている。¹⁰⁾ 琵琶湖周辺の水田水域や小河川への魚類の遡上や産卵繁殖については、これまでにナマズ やホンモロコ *Gnathopogon caerulescens* で観察され、これら魚類の河川等への遡上が3月から6月に見られ卵が多数確認されたことから、産卵を目的にした河川への侵入であると考えられ

*現所属：滋賀県立琵琶湖博物館 〒522-0001 滋賀県草津市下物町 1091

ている。11, 12)

ニゴロブナ *Carassius buergeri grandoculis* は琵琶湖の固有亜種で、産卵期は4月から7月(5月が盛期)である。13) 産卵は琵琶湖南湖や周辺内湖の水草や浮遊物に行われ、仔稚魚は内湾のヨシ帯や沈水植物帯で多く外湾部のヨシ帯では少ないことが知られている。14) 仔稚魚の餌は、動物プランクトンや付着藻類で、15, 16) 体長4~5cmで水生植物帯から離れ、17) 冬季には沖合の深湖底で越冬する。13) また、ニゴロブナは水田まで侵入して産卵することが指摘されており、9, 18) 水野ら19, 20) はニゴロブナの水田水路への遡上が5・6月にみられることを明らかにし、遡上行動の誘因要因を検討しているが、水路遡上後の行動については不明のままに残されている。そこで著者らは、ニゴロブナの遡上が見られる琵琶湖周辺水田の小水路を3年間にわたり調査し、水路におけるニゴロブナの産卵や仔稚魚の成育状況および生息環境を明らかにする目的で本研究を行った。

材料および方法

調査水路 調査は、琵琶湖周辺に位置する滋賀県彦根市南三ツ谷町の水田にある農業用排水路で実施した。本水路はほぼ直線で北西方向に流下しており、その総延長は1430mである。上流端は行き止まりとなっており、下流端は同規模の別排水路と合流した後90度曲がって幹線排水路に合流している。幹線排水路はその下流200mで琵琶湖に流入し、周年流れがある(Fig.1)。調査水路には途中で合流する水路はなく、流れる水は周辺水田からの排水または漏水だけである。水路の側面は、コンクリートパネルを一定間隔のコンクリートアームで固定する柵渠と呼ばれる構造で、21) 底は泥である。水路幅は上流部530mが1.0m、下流部900mは1.6mで、上流から下流に向かって緩い勾配があり、稲作期にはわずかな水の流れがある。琵琶湖から水路までの間に落差はなく、魚類は幹線排水路を通過して琵琶湖の水位に直接影響を受けて変動している。水路には5月以降になると上流から下流まで水草のヤナギモ *Potamogeton oxyphyllus* が繁茂しており、調査を行った3年間の6月中旬における目視による水路の表面積に対する被覆割合はほぼ同様で、上流部530m区間は約20%、中流部の上流530mから860

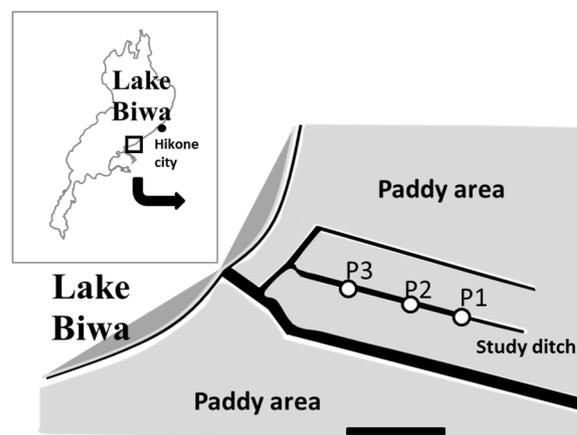


Fig.1. Map of the study drainage ditch in paddy field around Lake Biwa. P1, P2 and P3 show sampling points of fishes. Water temperature (°C), water depth (cm), and water current (cm/sec) were measured at P2. Bar indicates 500 m.

m区間は約40%、下流部は約60%であった。

調査方法 調査水路の上流端から500m、650mおよび850mの地点に長さ30mの調査区間を設け、それぞれP1、P2およびP3とした(Fig.1)。調査は、基本的に13時から15時の間に実施し、P2において水温、水深、流速を測定した後、各調査区間でタモ網(大きさ30×30cm、目合い1.3mm)を用いて20分間にわたり魚類の採捕を行った。漁獲努力量を一定にするため、同一の調査者がこれを行った。また、同時に水草や側壁を見て産着卵の有無を観察した。採捕された魚類のうち体長5cm以上のフナ類は、中坊[®]に基づき種の判定を行った後、ニゴロブナはその場で体長(標準体長; 1mm単位)を測定するとともに、性別(成熟個体のみ)および成熟の有無を確認した。また、雌の場合は、腹部の大きさや腹部を軽く押さえて熟卵の排出を確認して産卵の有無を判別した。雄は、腹部を押さえて精液が出るのを確認した。調査終了後、採捕魚を同一調査区間内に再放流した。採捕された満1歳以下である5cm未満²²⁾の未成魚のフナ類は持ち帰り体重および全長、体長等を測定した。また、産着卵は一部を持ち帰り孵化させて孵化仔魚を観察し、卵サイズや色等もあわせて種を同定した。フナ類とコイのふ化直後の仔魚は、フナ類では胸鰭基底直前から下方に向かう黒色胞帯があるが、コイではこれを欠いている点で、また、これ以降の仔稚魚では、側中線上の黒色素胞が1

列に並んで細い縦帯を形成し口ひげを欠く点で区別できる。²³⁾ また、琵琶湖にはニゴロブナ、ゲンゴロウブナ *Carassius cuvieri* およびギンブナが生息するが、⁸⁾ これらはそれぞれ体長 1.6 cm, 1.3 cm および 2.0 cm で鱗数と鱗が定数となり稚魚期に達して外部形態の特徴が現れるため、^{13, 24, 25)}、体長 2 cm 以上の個体について種を判別した。なお、平井¹⁴⁾ は体長 1.3 cm 以上のフナ類は相互に種判別ができるとしている。2015 年の 4 月から 5 月の 3 回の調査では、P1 から P3 の調査区間に生息するニゴロブナを網羅的に採捕するため背負式のエレクトロフィッシャー (スミス・ルート社, モデル LR-24) を用いて採捕を行った。その際、捕獲されたニゴロブナには番号の付したナイロン製のカラーリボンタグ (幅 3mm、長さ 50mm; 株式会社田中三次郎商店, 福岡県) を背鰭の前縁から約 1cm の基部に装着して標識し、採捕された調査区間に再放流して移動の有無などを調査した。なお、事前に本カラーリボンタグを飼育中のニゴロブナ 20 個体 (標準体長 16.7~25.7cm) に同様に装着し、容積 2t の水槽で飼育して着脱状況を観察したところ、2 か月以内であれば離脱しないことを確認している (藤岡, 未発表)。

調査は、ニゴロブナの産卵期である 4 月から 6 月を中心に 2015 年から 3 年間にわたり実施した。調査回数は、2015 年は 4 月から 12 月の間に 10 回、2016 年は 3 月から 6 月の間に 8 回、2017 年は 4 月から 6 月の間に 7 回であった。また、2016 年には産卵期前の 3 月から行い、産卵遡上時期を観察した。日降雨量および琵琶湖の水位については、それぞれ気象庁彦根地方気象台²⁶⁾ および国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所²⁷⁾ のホームページからデータを取得した。

結果

水路の環境 調査区間 P2 における水温、水深および流速の変化をまとめて Fig.2 に示した。水温は、3 年間とも 4 月には 20℃以下であったが、その後徐々に上昇して 5 月には 20℃を越え、6 月には 25℃から 31℃に達した。なお、3 年間の 4~6 月の平均水温に有意差は認められなかった (ANOVA, $F=0.25$, $p>0.05$)。水深は、2015 年には 4 月中旬から 6 月上旬まで 40 cm 以上で、その後 6 月下旬にかけて低下していった。しかし、2016 年と 2017 年は 40 cm 以上の時期が 4 月下旬の一時期に限られ、その後は低下して 25 cm 以下で推移した。

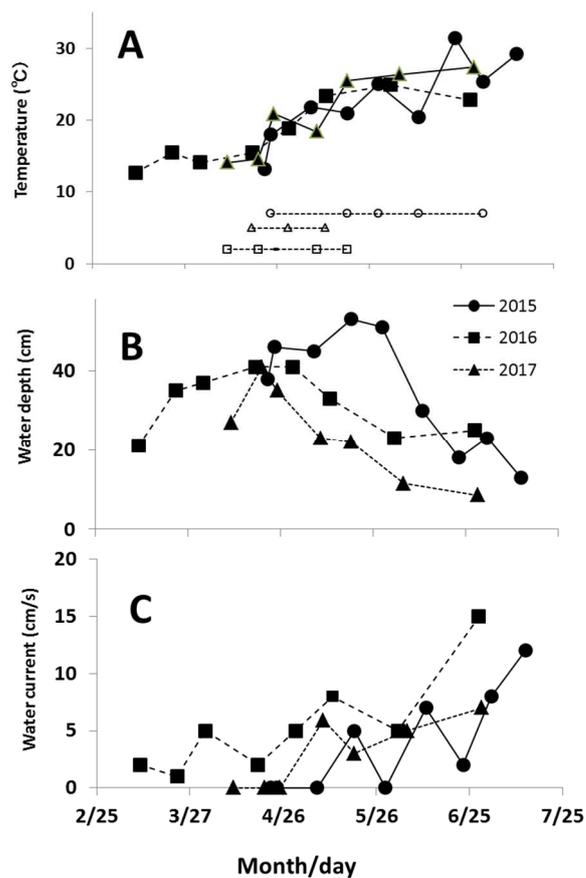


Fig.2. Changes in water temperature (A), water depth (B), and water current (C) among three consecutive years from 2015 to 2017. ●; 2015, ■; 2016, ▲; 2017. ○, □, and △ show the day observed spawned eggs in the drainage ditch in 2015, 2016, and 2017, respectively.

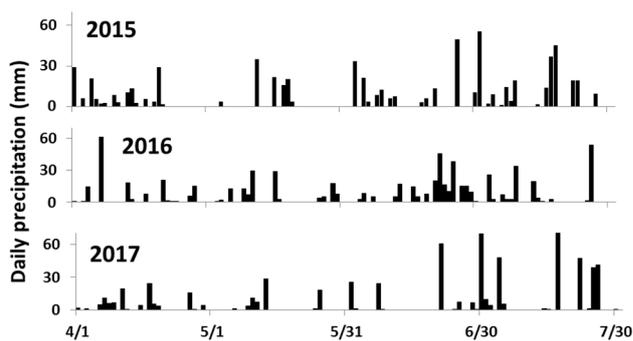


Fig.3. Daily precipitation in Hikone City during the spawning season among three consecutive years from 2015 to 2017.

水深が 25 cm 以下になると P1 より上流はほとんど水深がなくなり、わずかな流れのある状態となった。3 年間の 4~6 月の平均水深に 2015 年と 2017 年の間で有

意差が認められた(Scheffe test, $p < 0.05$)。流速は、3年間とも4月にはほとんどないが、5月から6月には3~15 cm/sの流れが認められた。3年間の4月から6月の平均流速に有意差は認められなかった(Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$)。調査水路の流れや水深に影響すると考えられる日降雨量について見ると(Fig.3)、3年間の同月の平均日降雨量に有意差は認められなかった(Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$)。しかし、琵琶湖の水位には3年間で顕著な差が見られ、2015年には4月4日から5月27日の53日間にわたり+10 cm以上で維持されたが、2016年では、+10 cm以上の期間がなく、また、2017年ではその期間が15日間と短く(Fig.4)、2016年と2017年は2015年との間で各月の平均水位に有意差が認められた(Scheffe's test, $p < 0.01$)。

本水路の3年間の調査で捕獲されたニゴロブナ以外の魚類は、ゲンゴロウブナ1個体、コイ14個体、ドンコ *Odontobutis obscura* 3個体、ナマズ3個体、ドジョウ28個体およびミナミメダカ *Oryzia latipes* 2個体であった。

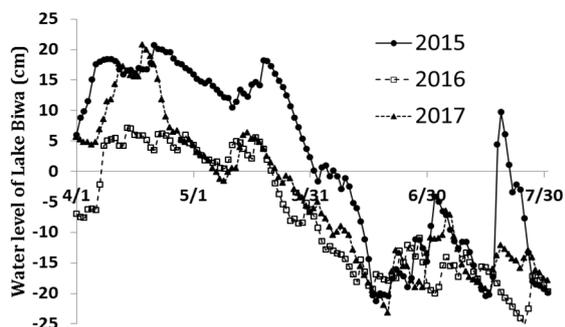


Fig.4. Changes in the water levels of Lake Biwa (B.S.L.) during the spawning season among three consecutive years from 2015 to 2017.

成魚の捕獲 エレクトロフィシャーおよびタモ網を用いた調査によりニゴロブナの成熟個体が、2015年は197個体が4月22日から5月29日の間に、2016年は17個体が4月1日から5月12日の間に、2017年は24個体が4月10日から5月9日の間に捕獲され、2015年10・12月と2016年3月、3年間の6月には捕獲できなかった(Fig.5)。2015年にはP1で合計33個体、P2で76個体、P3で93個体が、2016年にはP1で5個体、P2で1個体、P3で11個体が、また、2017年にはP1で3個体、P2で2個体、P3では19個体が採捕され、採捕数に調査地点間で有意差が認められ($\chi^2 = 14.5$, $p < 0.01$)、P3で多く採捕された。採捕された

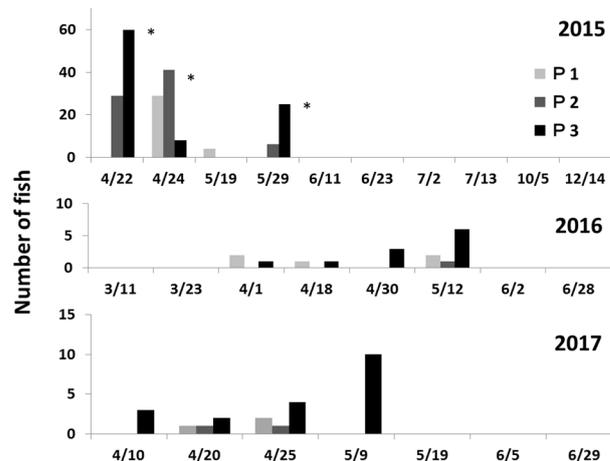


Fig.5. Changes in number of matured nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis* caught at each sampling point among three consecutive years from 2015 to 2017. * Fish were caught by electrofishing gear.

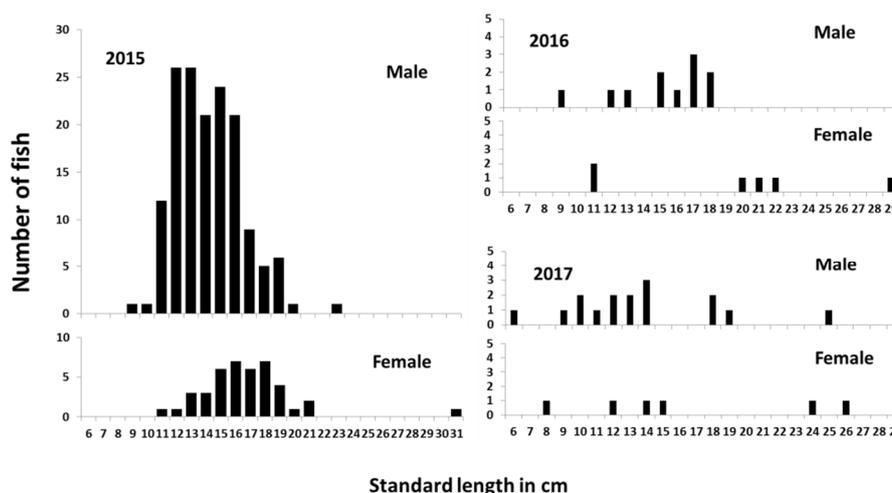
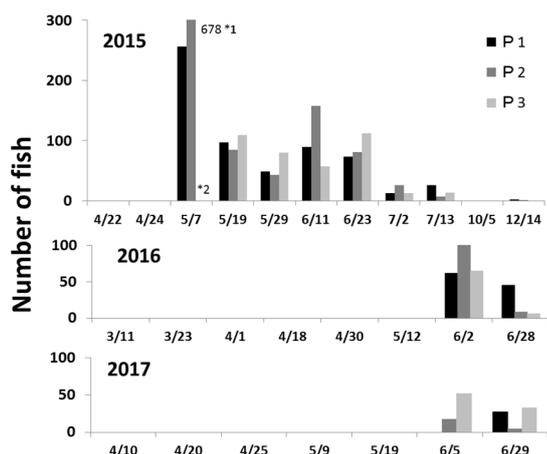
ニゴロブナ成熟個体の性比は、3年間とも雄に偏っていた(Table 1)。また、捕獲した雌のうち産卵後の個体が2015年では43個体のうち12個体、2016年では6個体のうち2個体であったが、2017年に捕獲した5個体に産卵後の個体はなかった。採捕されたニゴロブナ成熟個体の体長範囲は、2015年は雄が9.0-23.3 cm、雌が11.0-31.5 cm、2016年は雄が9.1-17.5 cm、雌が11.2-29.0 cm、2017年は雄が6.6-25.0 cm、雌が8.2-26.0 cmであった。また、体長の平均値は、2015年では雄が 13.8 ± 2.31 cm (平均値 \pm SD)、雌が 16.3 ± 3.29 cm、2016年では雄が 15.6 ± 2.90 cm、雌が 19.4 ± 6.78 cm、2017年では雄が 14.0 ± 4.50 cm、雌が 16.8 ± 6.88 cmで、雌雄の平均体長に2015年と2017年の間に有意差が認められた(Welch test, $p < 0.01$) (Fig.6)。

2015年4月22日に捕獲されたニゴロブナ85個体および4月24日の74個体にリボンタグを装着して捕獲場所に再放流したところ、4月22日の標識魚4個体(雌雄各2個体)が4月24日にすべて同じ調査区間で捕獲された。しかし、その後は1個体も捕獲できなかった。なお、4月24日に再捕獲された産卵後の雌(体長15.7 cm)1個体は、4月22日に捕獲した時点では産卵前であった。ニゴロブナ以外のフナ類の捕獲は、2015年4月24日にP3で成熟した雌のゲンゴロウブナ1個体のみであった。

産卵状況 調査時に産着卵が見られた日を Fig.2-A

Table 1. Sex ratios of nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis* caught in the drainage ditch of paddy field around Lake Biwa

Year	Date	methods	Sex ratio				
			Male	Female	Male/Female	χ^2	P
2015	22-Apr	Electric fishing	66	19	3.47	14.00	0.0001
	24-Apr	Electric fishing	62	15	4.13	15.74	0.00007
	19-May	Hand net	4	0	-	-	-
	29-May	Electric fishing	22	9	2.44	2.89	0.089
	Total	Electric fishing	154	43	3.58	34.84	0.00001
2016	Total	Hand net	11	6	1.83	0.73	0.393
2017	Total	Hand net	16	5	3.20	3.03	0.082

Fig.6. Standard length distribution of matured nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis* caught in the study drainage ditch among three consecutive years from 2015 to 2017.Fig.7. Changes in number of larvae and juveniles of crucian carps *Carassius* spp. caught at each sampling point among three consecutive years from 2015 to 2017.

*1 Number shows the number of larvae caught at P2.

*2 No fish capture was done at P3 in May 7.

の図中に示した。産着卵は2015年には4月24日に最初に見られ、その後7月2日まで確認され、いずれもフナ卵であった。2016年は、4月18日にフナの産着卵が初めて観察され、4月30日および5月12日にはフナとコイの卵が認められたが、それ以降に卵は見られなかった。2017年は、4月10日から5月19日までの間に産着卵があり、4月10日と5月19日はフナ卵のみであったが、他の2回はフナとコイの卵が認められた。卵はおもに水草と側壁に付着しており、側壁の卵は水位低下により干出している場合が多く見られた。

稚魚の捕獲 フナ類稚魚の捕獲結果を Fig.7 に示した。2015年は5月7日から7月13日までのすべての調査でフナ類の仔稚魚が捕獲された。しかし、2016年と2017年では4月と5月にはまったく稚魚が捕獲されず、6月に入って初めて捕獲された。捕獲数は、2015

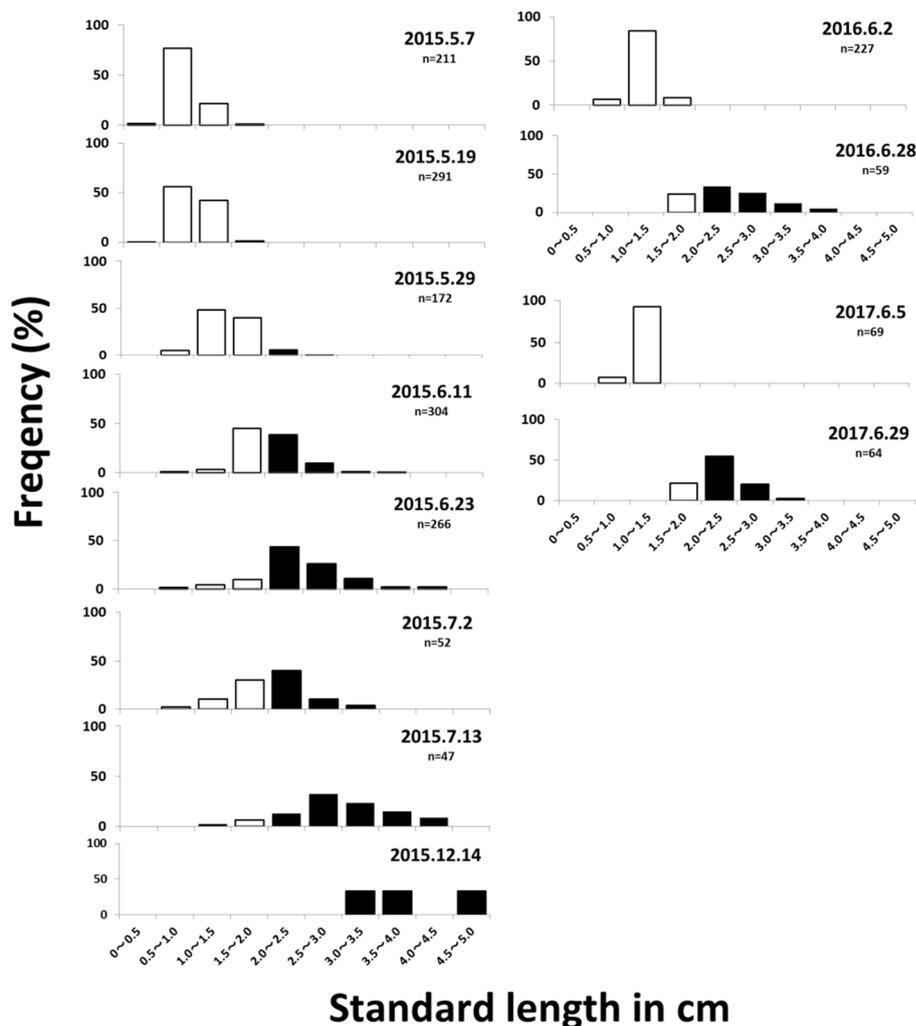


Fig.8. Changes in frequency distribution of standard length of larvae and juveniles in crucian carps *Carassius* spp. and nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis* caught at the study drainage ditch among three consecutive years from 2015 to 2017. White columns show crucian carps *Carassius* spp. and black columns indicate nigorobuna *Carassius buergeri grandoculis*.

年 5 月 7 日には 250 個体以上であったが、その後は 160 個体以下に減少し、7 月 2 日以降は 30 個体以下にさらに減少した。捕獲したフナ類の平均体長は、5 月 7 日の 0.85 ± 0.22 cm から 6 月 23 日の 2.45 ± 0.57 cm まで徐々に増加し、7 月 2 日には一旦減少するものの、7 月 13 日には 2.98 ± 0.68 cm に増加した。2016 年と 2017 年は、6 月の始めに体長 1.70 cm 以下の稚魚が捕獲されたが、6 月末には体長範囲が 1.50 cm から 3.75 cm に増加していた。なお、2015 年 12 月 14 日の調査でも P1 と P2 でそれぞれ 2 個体（体長 3.50 cm・4.60 cm）と 1 個体（体長 3.70 cm）が捕獲された。捕獲された体長 2.00 cm 以上のフナ類はすべてニゴロブナで

あった。また、2.00 cm 未満の仔稚魚にコイは含まれていなかった。

考 察

本研究によりニゴロブナが琵琶湖周辺水田の小水路に多数遡上し産卵していることが明らかになった。本種は一般に内湖や内湾のヨシ帯などで繁殖するが、^{13, 28)} 琵琶湖総合開発にともなう水田の圃場整備が行われる以前には琵琶湖周辺の水田地帯にも遡上し産卵していたことが知られている。^{9, 18)} 金尾ら²⁹⁾ は、ニゴロブナが水田内で産卵した場合に生残率が高く仔稚魚の

成長が早いことを明らかにしたが、現在の琵琶湖では、圃場整備により琵琶湖周辺の水田が琵琶湖の水面よりかさ上げされ、構造的に魚類の水田への侵入が困難になっている。^{30,31)} 今回観察されたニゴロブナの小水路への遡上は、水田への侵入を目的に水路へ侵入したが、水田への遡上ができなかったために水路で産卵した可能性もあると考えられる。舟尾・沢田¹¹⁾ もナマズの琵琶湖周辺の小河川への遡上が水田への侵入を目指したものであったことを示唆している。

調査水路におけるフナの産着卵は、2015年では4月から7月上旬の間に見られたが、2016・2017年は6月以降の産卵が見られなかった。仔稚魚の体長分布 (Fig.8) から、2015年は6月以降も1 cm以下のフナ仔稚魚の新たな加入が認められるが、2016・2017年にはそれが全く見られないことも6月以降の産卵がなかったことを裏付けている。佐藤・西野³²⁾ は、琵琶湖のコイ・フナ類の産卵調査結果と環境要因を解析し、琵琶湖総合開発以降の琵琶湖において、ヨシ帯におけるコイ・フナ類は水温が概ね12~20℃の時期に、降雨(あるいはそれによる水位上昇)を引き金として水位が+10 cmから+20 cmを超えたときに産卵することを明らかにしている。今回調査した水路の4月から6月の環境は、水温や日降雨量に3年間に有意な差は認められなかった。しかし、琵琶湖水位は、2015年とは異なり、2016・2017年は5月以降の水位が+10 cm以下に維持されていた。この影響を直接受けて、5~6月の水路の水深は、2016・2017年には25 cm以下の浅い状態が続いた。琵琶湖における低い水位維持がコイやフナ類の産卵を抑制することがすでに知られているが、^{19,33)} 琵琶湖周辺の水路においても低い水位維持が6月以降のニゴロブナの水路への遡上と産卵に抑制的に働いた可能性があると考えられる。

ニゴロブナの産卵行動については、実験池において産卵が日没後から翌朝の間に行われることが観察されているが、³⁴⁾ 自然状態での産卵時刻について調査した例は見られない。本研究で、成熟したニゴロブナ親魚が産卵場所である水路内に4月から5月の昼間に留まっていることが明らかになった。2015年の標識調査では、標識再放流2日後も雌雄ともに同一箇所付近に留まっていた個体が確認され、この間に産卵した個体も認められた。これらの結果は、産卵のため水路へ侵入した個体には、少なくとも数日にわたり水路に留まる個体があることを示している。これとは対照的にナマ

ズでは、水路への侵入はほとんど夜間に限られその滞在時間も短い。^{1, 35, 36)} また、水路で捕獲されたニゴロブナ成熟魚の性比は、大きく雄に偏っていた。内湖の河川に産卵遡上するホンモロコも同様な雄への偏りが知られている。¹²⁾ 一方、琵琶湖から水路や水田へ産卵遡上するナマズでは雌に偏っていることが報告されており、^{11,37,38)} また、5月から8月に繁殖のため農業水路へ遡上するギバチも雌に偏っていることが分かっている。³⁹⁾ ふ化後ほぼ1年を経過したニゴロブナの性比は、雌に偏っていることが報告されていることから、⁴⁰⁾ 水路における性比の雄への偏りは、ニゴロブナの繁殖生態の特徴を示しているものと考えられる。すなわち、雄が産卵期を通して産卵場である水路で待機し、そこへ雌が一時的に産卵のために訪れるという産卵生態をもつと考えられる。

水路で捕獲されたニゴロブナ成熟魚の体長範囲は6.6-31.5 cmと広い範囲に及んだが、10-20 cmの個体が多くを占めた。本種の年齢と体長の関係については、鱗による年齢査定から1歳で 7.39 ± 0.215 cm (平均値 ± 99 %信頼限界)、2歳で 12.88 ± 0.339 cm、3歳で 17.08 ± 0.369 cm および4歳で 19.49 ± 0.660 cm とされている。⁴¹⁾ この報告から水路で捕獲された成熟個体は、多くが2-4歳魚であったものと推定される。また、成熟年齢については、満2歳であると考えられているが、⁴²⁾ 本研究で最小成熟個体は、雄で6.6 cm、雌では8.2 cmであり、成長の早い個体では1歳で成熟可能な体型にまで成長している可能性が示唆された。

本研究でニゴロブナ稚魚が小水路で生育していることが明らかになった。2015年の体長分布の変化から見て、4月の産卵に由来する稚魚の中で成長の早い個体が5月下旬には体長2 cmを超え、さらにその1か月後には体長4 cmに達していた。琵琶湖沿岸のヨシ帯におけるニゴロブナ稚魚の体長組成については、6月から7月に体長2~3 cmの個体が出現することを平井¹⁴⁾ が報告している。また、水田では40日齢で全長2.6~3.5 cm (体長2.0~2.8 cm) に達する。²⁹⁾ これらの値と比較しても今回の水路での成長はほぼ同等かそれらを上回る成長を示した。ニゴロブナ稚魚は体長13.8~16.7 mmで主な餌をプランクトンから底生動物へと変化させるが、²⁴⁾ 本調査水路にはニゴロブナ仔稚魚の成長を支える餌生物が存在したものと考えられる。

2015年のフナ稚魚の採捕数は7月に大幅に減少し、10月以降にはほとんど捕獲できなくなった。この結果

から、ニゴロブナ稚魚は少なくとも10月までには水路から琵琶湖へ移動するものと考えられる。一方、12月でもわずかながら5cm以下の個体が採捕され、秋以降も稚魚が水路に残存していることが判明した。稚魚の繁殖場所から琵琶湖への移動については、さらに知見を増やして検討する必要があると考えられる。

本研究で、フナ類仔稚魚の出現時期に3年間で差が認められた、体長1cm前後のふ化後間もないと考えられるフナ類仔稚魚が2015年は5月上旬から捕獲されたが、その後の2年間は1か月遅れた6月以降しか確認できなかった。フナの産着卵は3年間とも4~5月に数回認められており、そのふ化日数は、水温18~22℃で8~4日で、体長1.2cmに14日ほどで達することから、^{27, 43)} 2016・2017年は5月中旬以降の産卵に由来する仔稚魚しか育たなかったことを示している。卵や仔稚魚の生残や生育に関係する要因としては、卵の干出⁴⁴⁾や初期餌料の発生状況や捕食者による食害、あるいは出水による仔稚魚の水路からの流出などが考えられる。これらの内、食害については、本調査水路では魚類の中で魚食性が強いと考えられる魚としてナマズやドンコが捕獲されたが、それらの生息密度は低く、孵化直後から仔稚魚が全く捕獲できないほどの捕食による減耗は考え難い。大雨による増水で仔稚魚が流失した可能性については、2016年は4月7日の日降雨量61mm以外に30mm以上の降雨はなく、また、2017年は30mm以上の降雨は記録されていない。これに対して2015年は30mm以上の降雨が5月から6月に3回あったが、仔稚魚が成育していることから、出水による仔稚魚の流出の可能性は低いものと考えられる。これらの他に琵琶湖の低い水位の維持が水路の水深を浅くしたことで、降雨時における雨水の流入や水路の流れが水路内の環境や初期餌料である動物プランクトンなどの発生に影響し、仔稚魚の生残に影響を及ぼした可能性が考えられるが、このことについては、今後さらに検証していく必要がある。

藤咲・水谷⁴⁵⁾は農業用河川を環境要因と魚類の生息条件から水田型区間、山際型区間およびそれらの中間型区間に大きく3つに分類し、水田型区間は解放された空間で日射量が多く、沈水植物等が繁茂して流れが緩く泥質で、仔稚魚の飼育場としての機能やドジョウやフナ類に良好な採餌場を提供するとしている。また、平井は、²⁸⁾ニゴロブナ仔稚魚が琵琶湖内湾の沈水植物が水面になびいているような場所に多く生息し、

このような場所は仔稚魚が好む種類の動物プランクトンが多く食物摂取には良好な場所であると報告している。本研究の水路は、側面がコンクリートパネルの柵渠と呼ばれる構造ではあるが、沈水植物が多く繁茂し底質が泥で、平時は流速が15cm/s以下の環境である。このような場所は上記の水田型区間と一致し、琵琶湖水位が高く維持された場合には水路の水深が深く保たれニゴロブナ仔稚魚の生育に適した環境が維持される可能性が高いものと考えられる。ニゴロブナ仔稚魚の成育と水位条件等の関係は、今後ニゴロブナの繁殖の場として琵琶湖周辺の水路を考える場合に、さらに検討する必要があると考えられる。

最後に、今回調査を行った琵琶湖周辺水田の小規模な水路であっても多数のニゴロブナが遡上して産卵繁殖に重要な役割を果たしていた。しかし、水路における仔稚魚の生育環境は不安定で、水路がニゴロブナ仔稚魚の成育場になるためには様々な環境条件が揃う必要があることが示唆された。琵琶湖周辺の水田が圃場整備される以前にはニゴロブナやナマズ・コイなど多くの魚類が琵琶湖から水路を通して魚類の成育環境として安定した水田まで侵入し繁殖していたものと考えられることから、激減した琵琶湖の多くの魚類個体群を回復させるためには、少なくとも琵琶湖周辺の水田には魚類の遡上が可能で環境整備と一定以上の高さに琵琶湖の水位を維持することが必要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、滋賀県水産試験場の鈴木隆夫氏をはじめ多くの職員に大変お世話になった。この場を借りて厚くお礼を申し上げる。

文 献

- 1) 斉藤憲治・片野 修・小泉顕雄 (1988): 淡水魚の水田周辺における一時的な水域への侵入と産卵. 日本生態学会誌, 38, 35-47.
- 2) 湯浅卓雄・土肥直樹 (1989): 岡山県における水田及び水田に類似した一時的な水域で産卵する淡水魚群—アユモドキを中心に—。淡水魚保護, 2, 120-125.
- 3) 小出水規行・西田一哉・水谷正一 (2012): 農業水路における魚類とその保全・管理に関する研究の

- 現状と課題. 応用生態工学, 15, 281-286.
- 4) 片野 修 (1998): 水田・農業水路の魚類群集. 江崎保男・田中哲夫 (編), pp. 67-79. 水辺環境の保全. 朝倉書店, 東京.
 - 5) 倉沢秀夫 (1955): 水田における Plankton の消長. 日本生物地理学会会報, 16-19, 428-432.
 - 6) 倉沢秀夫 (1956): 水田における Plankton 及び Zoobenthos の組成並びに Standing crop の季節的变化(I). 資源科学研究所集報, 41-42, 86-98.
 - 7) 山元憲一 (1987): 水田におけるプランクトンの消長. 水産増殖, 34, 261-268.
 - 8) 中坊徹次 (2013): 日本産魚類検索 I, 第三版, 東海大学出版会, 神奈川. 864 pp.
 - 9) 友田淑郎 (1978): 琵琶湖とナマズ. pp. 1-326. 汐文社, 東京.
 - 10) 細谷和海 (2005): 琵琶湖周辺内湖における魚類および無脊椎動物の種多様性. 西野麻知子・浜端悦治 (編), pp.117-125. 内湖からのメッセージ. サンライズ出版, 彦根.
 - 11) 舟尾俊範・沢田裕一 (2013): 水田小河川へのナマズ *Silurus asotus* の侵入および繁殖について. 魚類学雑誌, 60, 43-48.
 - 12) 亀甲武志・岡本晴夫・氏家宗二・石崎大介・臼杵崇広・根本守仁・三枝 仁・甲斐嘉晃・藤岡康弘 (2014): 琵琶湖内湖の流入河川におけるホンモロコの産卵生態. 魚類学雑誌, 61, 1-8.
 - 13) 中村守純 (1969): 日本のコイ科魚類, 資源科学研究所, 東京. 455 pp.
 - 14) 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, 92-105.
 - 15) 牧 岩男 (1964): びわ湖の内湾における魚類と餌生物の関係. 生理生態, 12, 259-271.
 - 16) 平井賢一 (1971): 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, 20, 59-70.
 - 17) Miura, T. (1966): Ecological notes of the fishes and the interspecific relations among them in Lake Biwa. Japan J. Limnology, 27, 1-24.
 - 18) 前畑政善 (2004): 琵琶湖の水辺移行帯一魚にとっての水田の役割一. 水, 46, 26-36.
 - 19) 水野敏明・大塚泰介・小川雅広・舟尾俊範・金尾滋史・前畑政善 (2010a): 琵琶湖の水位変動とニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の水田地帯への産卵遡上行動の誘発要因. 保全生態学, 15, 211-217.
 - 20) 水野敏明・大塚泰介・小川雅広・舟尾俊範・金尾滋史・前畑政善 (2010b): 水田地帯へ遡上するニゴロブナの水路選択に関わる環境要因. 魚類学雑誌, 57, 135-142.
 - 21) 永山滋也・森 照貴・小出水規行・萱場祐一 (2012): 水田・水路における魚類研究の重要性と現状から見た課題. 応用生態工学, 15, 273-280.
 - 22) 藤原公一・臼杵崇広・根本守仁・松尾雅也・竹岡昇一郎・田中 満・中新井 隆・北田修一 (2014): 琵琶湖におけるニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* 放流種苗の成長および分布域の拡大と沖合への種苗放流技術の検討. 日本水産学会誌, 77, 1051-1064.
 - 23) 細谷和海 (1988): コイ科 Cyprinidae. 沖山宗雄 (編), pp.141-157. 日本産稚魚図鑑. 東海大学出版会.
 - 24) 友田淑郎 (1965): 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. 大阪自然史博研究報告, 18, 3-30.
 - 25) 気象庁彦根地方气象台 (2017): 彦根の日降水量: <http://www.jma-net.go.jp/hikone/> (参照 2017-12-11) .
 - 26) 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所 (2017): 琵琶湖の水位: <http://www.kkr.mlit.go.jp/biwako/index.php> (参照 2017-12-11) .
 - 27) 藤原公一 (2010): ニゴロブナの飼育仔稚魚の発育と成長. 日本水産学会誌, 76, 894-904.
 - 28) 平井賢一 (1972): 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, 22, 69-93.
 - 29) 金尾滋史・大塚泰介・前畑政善・鈴木規慈・沢田裕一 (2009): 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. 日本水産学会誌, 75, 191-197.
 - 30) 堀 明弘 (2009): 魚のゆりかご水田, とりもどせ! 琵琶湖・淀川原風景, 西野麻知子 (編), サンライズ出版, pp.248-253.
 - 31) 藤岡康弘 (2017): 魚類と湖岸環境の保全. 西野麻

- 知子・秋山道雄・中島拓男（編），pp.152-173. 琵琶湖岸からのメッセージ. サンライズ出版，彦根.
- 32) 佐藤祐一・西野麻知子（2010）：水位操作がコイ科魚類の産卵に与える影響のモデル解析と対策効果予測. 湿地研究, 1, 17-31.
- 33) 山本敏哉・遊磨正秀（1999）：琵琶湖におけるコイ科仔魚の初期生態，淡水生物の保全生態学，森誠一（編），信山社サイテック，東京，pp.193-203.
- 34) 上野世司・考橋賢一（2003）水田を模した実験池におけるニゴロブナの産卵行動と産卵場所選択性，ボテジャコ, 7, 25-34.
- 35) 片野 修・斉藤憲治・小泉顕雄（1988）：ナマズ *Silurus asotus* のばらまき型産卵行動. 魚類学雑誌, 35, 203-211.
- 36) 舟尾俊範・高倉耕一・西田隆義・沢田裕一（2014）：標識再捕獲調査とベイズモデルによるナマズ *Silurus asotus* の繁殖集団の動態の推定. 魚類学雑誌, 61, 15-26.
- 37) Maehata, M. (2002) : Stereotyped sequence of mating behavior in the far eastern catfish, *Silurus asotus*, from Lake Biwa. Ichthyol. Res., 49, 202-205.
- 38) Maehata, M. (2007) : Reproductive ecology of the far eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan. Environ. Biol. Fish., 78, 135-146.
- 39) 中村智幸・尾田紀夫（2003）：農業水路へのギバチの産卵遡上. 水産増殖, 51, 315-320.
- 40) Fujioka, Y., M. Nemoto and T. Kikko, T. Isoda (2014) : Sex ratios of nigorobuna *Carassius auratus grandoculis* reared in paddy fields with fluctuating temperatures during larval and juvenile growth stages. Fish. Sci., 80, 985-991.
- 41) 近畿地方建設局（1966）：びわ湖生物資源調査団中間報告（一般調査の部），709-906.
- 42) 友田淑郎（1969）：ニゴロブナ. pp. 276-277. 日本のコイ科魚類. 財団法人資源科学研究所，東京.
- 43) 木村忠亮（1976）：ニゴロブナの人工種苗生産に関する研究 I ニゴロブナの採卵およびふ化について，滋賀水試研報, 26, 30-41.
- 44) 亀甲武志・根本守仁・澤田宣雄・藤岡康弘（2012）：琵琶湖沿岸におけるフナ類およびコイ産着卵の大量干出. 魚類学雑誌, 59, 84-86.
- 45) 藤咲雅明・水谷正一（1999）：魚類の生息場所としての水田環境. 森 誠一(編), pp.76-85. 淡水生物の保全生態学, 信山社サイテック，東京.