

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：84202

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21580243

研究課題名(和文) 水田におけるニゴロブナ仔稚魚の成長と微生物群集との相互作用の解明

研究課題名(英文) Interactions between crucian carp larva/fry growth and small organism community in paddy fields.

研究代表者

大塚 泰介 (OHTSUKA TAISUKE)

滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・専門学芸員

研究者番号：60344347

研究成果の概要(和文)：水田に放流されたニゴロブナ仔稚魚は、たいへん速い成長を示した。標準体長は、後期仔魚期に餌不足によると思われる成長遅滞が起こった他は、ほぼ直線的に増加した。このことから同化速度が異化速度に対して十分に大きく、かつほとんどの時期に十分な量の餌があったことが推察された。ニゴロブナ仔稚魚放流区では、ミジンコ目はほぼ全滅し、カイミジンコ目も大幅に減少した。そして、ミジンコの濾過サイズに相当する微生物が対照区に比べて多くなる「トップダウン栄養カスケード」が観測された。

研究成果の概要(英文)：Crucian carp larvae showed rapid growth in paddy fields. The standard body length increased linearly except for the post-larva stages after they consumed cladocerans. This pattern suggests that the assimilation rate was usually much higher than the catabolic rate, and the food availability was usually sufficient. Cladocerans were almost extinguished and ostracods were much decreased in experimental plots with fish. A top-down trophic cascade was observed, that is, microorganisms whose sizes correspond to the filtering mesh size of cladocerans became more abundant in the plots with fish than those without fish.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：水田の群集生態学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：ニゴロブナ・タマミジンコ・ユスリカ・成長モデル・水田・初期成長・トップダウン栄養カスケード

1. 研究開始当初の背景

ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* は、琵琶湖およびその周辺域にのみ生息する琵琶湖の固有亜種であり、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。

ニゴロブナ資源は1980年代から21世紀初頭にかけて急激に減少してきた。1990年頃ま

では年間100t以上あったと考えられる漁獲量は、1997年以降は30tに届かない年もあるほどに減少した。また環境省は2007年、ニゴロブナを絶滅危惧IB類に指定した。ニゴロブナが減少した主な原因は初期減耗であると考えられている。具体的な要因として、①産卵繁殖場となるヨシ帯の減少②外来魚による食害③水位の人工的急変の3点が指摘

されている。

琵琶湖周辺の水田も、かつてはニゴロブナの主要な産卵繁殖場となっていた。水田では上述の3要因による初期減耗はほとんどないため、ニゴロブナの産卵繁殖場所としての有効性が期待される。しかし圃場整備が進んだ近年の水田にニゴロブナが遡上することはたいへん困難である。そこで琵琶湖周辺のいくつかの地域で、農業排水路の水位を嵩上げすることにより、ニゴロブナを水田に誘導する試みが数年前から始められている。

ニゴロブナ仔稚魚を育成しながらの水田耕作は、滋賀県では生物多様性保全型の農業として位置付けられ、収穫されたコメを「ゆりかご米」として認証し売り出している。しかしニゴロブナの生育が、水田の生態系にどのような影響を及ぼすかについて、実証的なデータはほとんどない。

私たちは、水田におけるニゴロブナ仔稚魚の初期成長が一般に速いものの、30日齢までには成長量が減少し始めることが多いことを明らかにしてきた。しかし水田におけるニゴロブナの初期成長には水田によってばらつきがあり、速い初期成長がどのような条件下で生じるのか明らかになっていない。ニゴロブナの捕食によって枝角類が減少すると、ニゴロブナの成長も停滞し始めることから、餌条件が重要であることが示唆される。

2. 研究の目的

- (1) ニゴロブナ仔稚魚が、水田の生物群集にどのような影響を及ぼすのかを調べる。
- (2) 水田におけるニゴロブナの成長パターンが、水田における餌生物の状態にどのように規定されるのかを調べ、成長パターンのモデル化を行う。

3. 研究の方法

滋賀県安土町大中にある、農業技術振興センターの実験水田で、2007年から2009年までの3年間の連用試験を行った。水田内の側に6つのエンクロージャーを設置し、それぞれ2区画ずつを稲藁春施用、秋施用、施用なしとした。湛水の13日後、田植えの7日後に、それぞれの一方にニゴロブナの孵化後3日の仔魚を20個体 m^{-2} になるように放流し、もう一方には放流せず対照区として実験を行った。

4. 研究成果

研究期間内に論文を出版することができた、2007年の実験、およびその検証のためにより詳細なデータをとった2009年の実験について、その結果と解釈を述べる。

(1) 2007年の実験

ニゴロブナ仔稚魚は甲殻類をよく食べて

いた。稚魚の消化管内からは底生ワムシの *Lecane* やミカヅキモ *Closterium* なども数多く見出されたが、量的には甲殻類に比べてはるかに少なかった。10日齢の後期仔魚の消化管は、主にミジンコ目に占められていた。16日齢からはケンミジンコ目、カイミジンコ目、ユスリカ科幼虫を多く食うようになり、31日齢になるとユスリカ科幼虫が主な餌となった。

ニゴロブナ仔魚放流の13日後(16日齢)から、水中あるいは土壌表面の甲殻類が放流区と対照区で大きく異なってきた。対照区・放流区ともに、ミジンコ目のうちゾウミジンコ *Bosmina* およびタマミジンコ *Moina* は先駆種として出現し、実験の後半には減少した。しかし放流区では、両属とも対照区よりも先に減少し、ニゴロブナが16日齢の時点でほぼ全滅した。また、この頃から対照区ではミジンコ *Daphnia*、ケブカミジンコ科、ネコゼミジンコ *Ceriodaphnia* などが増えてきたが、放流区ではほぼ完全に発生が抑えられた。これに対して、水面付近で生活するアオムキミジンコ *Scapholeberis* およびカイミジンコ目は、やはり減少したものの全滅には至らなかった。さらにケンミジンコ目では、対照区では実験後半にやや減少したのに対して、放流区では逆にやや増加した。こうした変化は、ミジンコ目 > カイミジンコ目 > ケンミジンコ目の順に選択性が高い、ニゴロブナ稚魚の餌選択性とほぼ対応したものである(ただし後期仔魚はケンミジンコ目のノープリウス幼生をやや多く捕食し、カイミジンコ目を全く捕食できないため、餌選択性がミジンコ目 > ケンミジンコ目 > カイミジンコ目の順になる)。一方、ユスリカ科幼虫の数は、放流区でも最後まで減少することがなかった。その理由として、ユスリカは主に実験水田の外からやってきて産卵するために捕食の影響が一代限りだったこと、そして主として底泥中に生息するユスリカ科幼虫はミジンコ目ほど効率的に捕食されなかったことが考えられる。

一方、原生動物には放流区でより多くなるものが多かった。シオカメウズムシ目(主に *Coleps*)は、放流区でのみ大きく増加した。また、ミドリムシ目(主に *Euglena* と *Tracheromonas*)、ハルテリア目(主に *Halteria*)は、放流区で対照区よりも有意に多くなった。以上の種は比較的小型で、この水田で多く発生したタイリクミジンコ *Daphnia similis* やタマミジンコ *Moina macrocopa* などが捕食できるサイズなので、ミジンコによる捕食圧の減少が増加の一因と考えられる。なお *Halteria* は、捕食者から「跳躍」して逃げるができるため、他の繊毛虫よりもミジンコの捕食を免れやすいことが知られている。しかしミジンコには *Hal-*

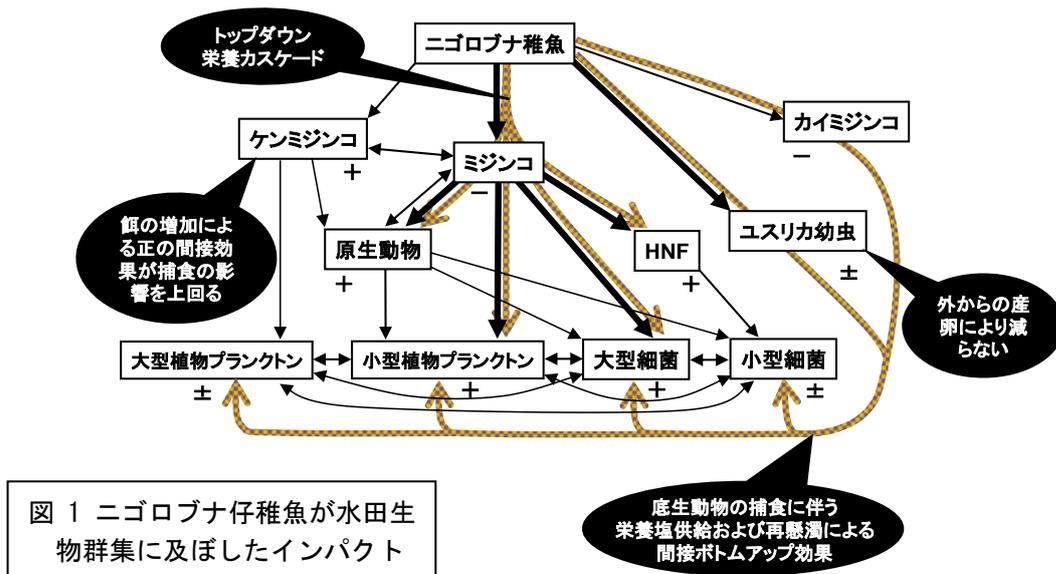


図 1 ニゴロブナ仔稚魚が水田生物群集に及ぼしたインパクト

teria を十分に捕食できるものがある。また *Halteria* がろ過捕食する餌サイズ (0.5~5 μm) は多くのミジンコの餌サイズの範疇にあるために、餌をめぐる競争があったと考えられる。すなわち、ミジンコの *Halteria* に対するギルド内捕食の結果として、このような明瞭な影響が表れたものと思われる。

出現した動物プランクトン (原生動物を含む) の分類群数を概ね目レベルで見ると、対照区では湛水後 20 日目あたりから徐々に分類群数が減る傾向が見られた。一方、放流区では逆に、分類群数がやや増える傾向が見られた。すなわち、フナを放流した水田の方が動物群集の多様性がより大きくなる傾向が見られた。これは小型の分類群に対するミジンコの捕食圧が低下しただけでなく、競争力が強いミジンコの減少によって競争排除が起こりにくくなったためと考えられる。

湖沼では動物プランクトン食魚類が大型のミジンコを捕食して減少させると、大型のミジンコによる餌の独占が起こらなくなるため、搾取型競争には弱い魚には捕食されにくい小型の動物プランクトンが増加することが多い。一方でケンミジンコ目などのカイアシ類は魚による捕食の影響を比較的受けにくいいため、餌となる小型の動物プランクトンの増加が有利に働いてむしろ増加することがある。ニゴロブナ仔稚魚が水田の動物プランクトン群集に及ぼした影響も、こうした湖沼における観察結果と概ね一致している。

水中のクロロフィル a 量 (植物プランクトン量の指標) は、実験後半になると放流区でやや多くなった。この傾向を顕著なものにしたのは 15 μm 以下の小さな分画の植物プランクトンで、大型のものはあまりはっきりとした違いを示さなかった。

属レベルでの組成で見た場合、放流区では実験の後半に *Chodatella* (ほとんどが *Scenedesmus* の単細胞型と思われる)、*Kirchneriella*、*Merismopedia*、*Nostoc*、*Monoraphidium*、*Tracheromonas*、緑藻の遊走子などが多くなった。以上のうち *Nostoc* 以外はいずれも小型で、ミジンコの濾過捕食を受けやすいと考えられる。これに対して *Nostoc* は本来、底泥上で生育しているので、稚魚の採食活動によって水中に巻き上げられたと考えられる。すなわち、ニゴロブナ→ミジンコ→小型藻類というトップダウン栄養カスケードとともに、捕食活動による底生藻類の水中への懸濁も、クロロフィル a の増加に寄与したと考えられる。さらに全リン濃度も、放流区で対照区よりも高くなる傾向があった。全リンの挙動がクロロフィル a 量の挙動とよく似ていたこと、溶存反応性リンの濃度には顕著な違いが見られなかったことから、稚魚の摂食活動で水中に汲み上げられたリンは、速やかに植物プランクトンなどに利用されたと考えられる。

水中に浮遊している糸状細菌も放流区でより多くなる傾向が見られた。また、湛水初期に多く見られた従属栄養性ナノ鞭毛虫 (HNF) は、対照区では時間とともにほぼ一方的に減っていったのに対して、放流区では実験後半にやや回復した。こうした藻類以外の微小生物に対しても、ミジンコを介したトップダウン栄養カスケードが働いていたことが示唆される。一方で、ミジンコのろ過サイズの範疇にある 0.8~3 μm の分画にあるバクテリアに対する量的な影響は小さかった。これはミジンコが減った際に、このサイズの餌を効率的に捕食する *Halteria* などの繊毛虫が増加して、ミジンコによる捕食圧の減少を補償したためかもしれない。

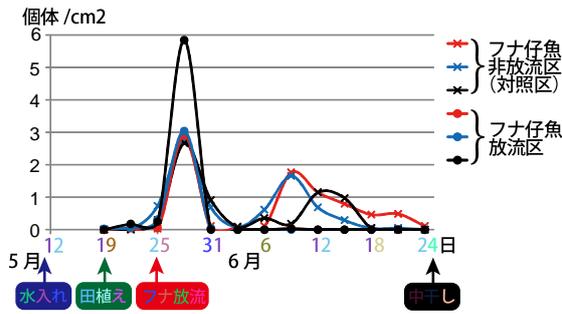


図 2 フナ仔魚放流区と非放流区における *Moina* の動態 (2009 年)

(2) 2009 年の実験

ミジンコ目で最も多く出現したタマミジンコ *Moina* は、田植えの約 1 週間後 (仔魚放流直後) から対照区、放流区ともに急増し、田植え 2 週間後には激減した。その後、対照区では *Moina* が再び増加し、続いてミジンコ *Daphnia* やケブカミジンコ *Macrothrix* に交代していった。一方、放流区ではミジンコ目の回復は見られなかった。カイミジンコ目では *Ilyocypris* が最も多く見られた。本属はフナが仔魚段階では放流区・対照区ともに少なかったが、フナが稚魚段階に達する頃に対照区では大きく増加したのに対して、放流区ではあまり増加せず、中干し時にはほとんどいなくなった。ソコムジンコ目も田植え 2 週間後くらいから増加したが、フナ放流区では中干しまでに減少して採集されなくなった。キクロプス目およびユスリカ科幼虫の消長に対するフナ放流の影響は小さかったが、キクロプス目は中干し直前になると放流区でより少なくなった。

成長ゼロ点を 5°C と仮定した有効積算温度を横軸にとり、ニゴロブナの全長、標準体長および体重の成長パターンをさまざまな方法でスムージングしたところ、ロバスト

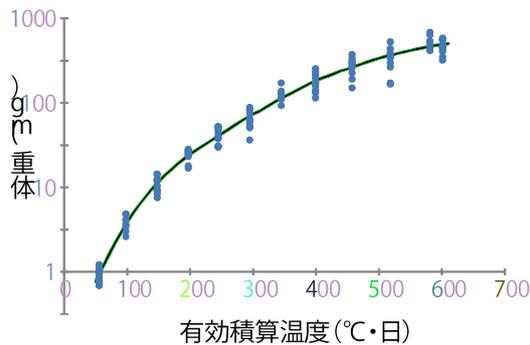


図 3 実験水田におけるニゴロブナ仔稚魚の体重の増加の例。 *Moina* を食い尽くしてから後 6 日間程度 (有効積算温度 $140\sim 260^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 付近) に、成長の一時的な遅滞が見られた。

LOWESS 回帰で良い結果が得られた。3 つの放流区でいずれも稚魚への変態直前に成長が鈍り、稚魚の形態が完成して底生動物を捕食できるようになると再び成長速度が大きくなる傾向が認められた。

後期仔魚期から初期稚魚期の成長遅滞を除けば、ニゴロブナの全長および標準体長はほぼ直線的に増加した。von Bertalanffy の成長式 (微分方程式表記) において、異化速度の項を無視すると、体長に関して直線的な成長曲線が得られる。すなわち、ニゴロブナの同化速度が概ね体長の二乗に比例するという von Bertalanffy 成長式の仮定が妥当なものである限りにおいて、本実験におけるニゴロブナの異化速度は同化速度に対して十分に小さく、また餌の手に入りやすさは、*Moina* を食い尽くしてから底生動物を捕食できるようになるまでの期間を除けば、成長段階を通じてあまり変化しなかったことになる。

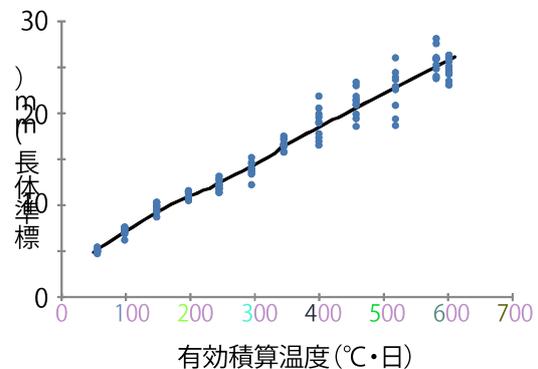


図 4 実験水田におけるニゴロブナ仔稚魚の標準体長の増加の例。 *Moina* を食い尽くしてから後 6 日間程度 (有効積算温度 $140\sim 260^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 付近) を除けば、ほぼ同じ傾きで直線的に増加した。

本研究におけるニゴロブナの成長パターンは、金尾ら (2009) が滋賀県内の他の水田で報告した、稚魚期の後半に成長が著しく鈍る成長パターンとは好対照をなした。本研究ではユスリカ幼虫が実験終了まで豊富に生息していたために、餌不足が生じなかったものと考えられる。

なお、本研究の当初の目標であった、ニゴロブナ仔稚魚の成長と小型生物群集の相互作用のモデル化は、稚魚期以降に実験水田で多くのユスリカ幼虫が発生し、ニゴロブナの捕食によってほとんど減少しなかったため、解析が難しくなった。今後、ユスリカの幼虫があまり発生しない水田、あるいは水田を模した人工的環境で追加調査を行い、比較検討をする必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 大塚泰介・山崎正嗣・西村洋子. 2012. 水田に魚を放すと、生物間の関係が見えてくる - 多面的機能を解き明かすための基礎として -. 日本生態学会誌 62(2) 印刷中.
- ② Nishimura, Y., Ohtsuka, T., Yoshiyama, K., Nakai, D., Shibahara, F. & Maehata, M. 2011. Cascading effects of larval Crucian carp introduction on phytoplankton and microbial communities in a paddy field: top-down and bottom-up controls. Ecological Research 26: 615-626. DOI: 10.1007/s11284-011-0820-9
- ③ Yamazaki, M., Ohtsuka, T., Kusuoka, Y., Maehata, M., Obayashi, H., Imai, K., Shibahara, F. & Kimura, M. 2010. The impact of nigorobuna (crucian carp) larvae/fry stocking and rice-straw application on the community structure of aquatic organisms in Japanese rice fields. Fisheries Sciences 76: 207-217. DOI: 10.1007/s12562-009-0200-3

[学会発表] (計3件)

- ① 大塚泰介. 2012年3月3日. 田んぼの中をのぞいて見れば. 滋賀大学環境総合研究センター第8回年次シンポジウム「水田の生態系と社会とのつながりを考える」, コラボしが21, 滋賀県大津市.
- ② 西村洋子・大塚泰介・吉山浩平・中井大介・柴原藤善・前畑政善. 2011年10月18日. 水田におけるニゴロブナ稚魚放流による微生物群集への栄養カスケード効果. 第27回日本微生物生態学会大会, 京都大学, 京都市左京区.
- ③ 前畑政善・金尾滋史・水野敏明・大塚泰介. 2010年3月18日. 琵琶湖周辺の農業用水路網が魚類群集の保全に果たす役割. 日本生態学会第57回大会企画集会「普通種がいなくなる時—水田地帯の生物多様性」, 東京大学教養部, 東京都目黒区.

[図書] (計1件)

- ① 大塚泰介 (編著). 2012. 滋賀県立琵琶湖博物館第20回企画展示 ニゴローの大冒険～フナから見た田んぼの生き物のにぎわい～. 78 pp. 滋賀県立琵琶湖博物館.

[その他]

- ① 滋賀県立琵琶湖博物館第20回企画展示「ニゴローの大冒険～フナから見た田んぼの生き物のにぎわい～」で研究成果を紹介予定. 2012年7月14日～11月25日.
- ② 記者レクチャー「“ニゴロブナの稚魚が水田の生き物に大きな影響を及ぼす”ことがわ

かりました」. 2010年2月10日(京都新聞, 中日新聞に記事掲載).

- ③ サイエンスチャンネル, 赤ちゃんがいっぱい (18) 行け! 悠久の湖へ ニゴロブナの巻, 出演. 2009年11月27日.
- ④ 記者レクチャー「“水田環境はニゴロブナの成長に有効である”ことがわかりました」. 2009年4月23日(朝日新聞, 京都新聞, 産経新聞, 中日新聞, 毎日新聞に記事掲載).

その他、水田の魚および微小生物の観察会を研究期間中に計14回行った。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚泰介 (OHTSUKA TAISUKE)

滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・専門学芸員

研究者番号: 60344347

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

藤田 裕子 (FUJITA YUKO)

京都大学・基礎物理学研究所・特別教育研究助教

研究者番号: 00324707

前畑 政善 (MAEHATA MASAYOSHI)

神戸学院大学・人文学部・教授

研究者番号: 30359260

楠岡 泰 (KUSUOKA YASUSHI)

滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・専門学芸員

研究者番号: 80359265