特集：生物学的侵入と人間活動

短 報 [Note]

ため池の管理形態が水棲外来動物の分布に及ぼす影響

西川 潮^{1),2)}・今田美穂¹⁾・赤坂宗光¹⁾・高村典子¹⁾

Effects of pond management on the distributions of aquatic invaders
in Japanese farm ponds

N. USIO^{1),2)}, Miho IMADA¹⁾, Munemitsu AKASAKA¹⁾ and Noriko TAKAMURA¹⁾

Abstract

Biological invasion is one of the major threats to farm pond biodiversity. Farm ponds may serve as biodiversity hot spots because they provide refuge sites for a variety of animals and plants inhabiting floodplain marshes. Developing effective management methods with regard to the multifunctionality of farm ponds is one of the major concerns among environmental managers. Here, we investigated through a field survey and interviews the effects of pond management on the presence/absence of alien species in 64 farm ponds in Hyogo Prefecture, Japan. The result of the field survey indicated that bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*) and red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) are the most widespread and abundant aquatic invaders in the study region. Although it is generally believed that pond draining is effective in eradicating alien fish, pond draining showed no effect on the presence/absence of bluegill sunfish, but influenced the occurrence of red swamp crayfish, with crayfish generally found in drained ponds. The presence/absence of bluegill sunfish was generally high where dam water or agriculture draining is used as the major water supply. Thus, the alien bluegill sunfish probably immigrate into farm ponds from dams or irrigation systems even though they may temporarily disappear following pond draining. If the (mutually exclusive) distributions of bluegill sunfish and red swamp crayfish are determined at least in part by interspecific interactions between the two species, eradication of one species may lead to an increased density of the other.

Key words: pond draining, dam water, alien species, bluegill sunfish, red swamp crayfish

摘 要

外来種はため池生態系の生物多様性を大きく減少させる主要なストレス要因である。ため池は、氾濫原湿地を棲み場とする生物の避難場所を提供することから、生物多様性の宝庫となっており、従来の灌

¹⁾ 独立行政法人国立環境研究所 環境リスク研究センター 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 Research Center for Environmental Risk, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 305-8506, Japan

²⁾ 現在の所属：新潟大学超域研究機構 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地 Center for Transdisciplinary Research, Niigata University, Ikarashi-Ninocho 8050, Nishi-Ku, Niigata 950-2181, Japan
(連絡先 西川 潮 E-mail: usio@nies.go.jp)

漑用途だけでなく、生物多様性を含む多面的機能に配慮した管理法が問われている存在である。本研究では、兵庫県の64のため池を対象として社会調査と野外調査を行い、ため池の管理形態が水棲外来動物の出現に及ぼす影響を考察した。野外調査の結果、外来動物では、ブルーギル (*Lepomis macrochirus*) とアメリカザリガニ (*Procambarus clarkii*) が出現率およびバイオマスの面でもっとも優占していた。一般に外来魚の駆除対策として池干しが行われるが、予想に反し、ブルーギルの出現は池干しの有無には左右されなかった。一方、アメリカザリガニは池干しをする池に多く出現することが明らかになった。ブルーギルは、ダム水および農業排水を主要な水源とするため池で多く出現することから、ダム湖や用排水路などから再移住してくるものと考えられる。ブルーギルとアメリカザリガニの(排他的)分布が種間関係によって決まっている場合には、一方を駆除すると他方の個体数が増える危険性がある。

キーワード：池干し、ダム水、外来種、ブルーギル、アメリカザリガニ

(2009年4月23日受付；2009年6月2日受理)

はじめに

日本には、河川や湖沼、湿地などの天然水域以外にもため池と呼ばれる小水域がある。ため池は、古くから稲作等の灌漑用水として利用され、日本人の生活と密接なかわりを持ってきた。低湿地の開発や改変、そして天然水域の水質の悪化が著しく進む中、全国で20万個以上あるといわれるため池は、現在では、様々な氾濫原湿地の希少動植物の避難場所を提供することで、生物多様性の宝庫となっている(高村, 2007)。しかしながら、近年、ため池の管理形態の変化、近代化に伴う物流や人間の移動能力の増加、外来種の侵入などの影響を受けて、ため池の生物相ならびに生態系は大きく変わりつつある(高村, 2007)。ため池は、従来の灌漑用途だけでなく、生態系サービスを含む多様な機能(多面的機能)に配慮した管理法が問われている存在である(内田, 2008)。

本報では、ため池の池干しや水の供給の仕方などの管理形態が、ため池生態系の生物多様性を脅かす主要なリスク要因である水棲外来動物の出現に与える影響を考察する。

調査地と方法

兵庫県南西部の64のため池において社会調査および野外調査を行った。調査を実施したため池の表面積は平均1.1 ha ± 1.4 (標準偏差) (幅0.075-11.4 ha)で、周辺の主な土地利用は広葉樹や水田、市街地である。

2006年～2007年にかけて、ため池の管理集落、もしくは水利組合の代表者・役員を対象とした社会調査を行った。各人に対して電話、もしくは面談を通じて、池

干しの程度とため池の水源についての聞き取りを行った。一般に池干しを実施するため池では10月頃から落水し、翌年3月から5月頃にかけて水を入れ始める。したがって、これらのため池では10月末頃から2月末頃までは水位が低い(もしくは水がない)。池干しは、「完全干し」、「減水」、および「池干しなし」の3段階に分けた。「完全干し」は池の底泥がひび割れるくらいまで乾燥した状態、そして「減水」は満水時と比べて水の量が1/2以下に減水した状態である。一方、ため池の主要な水源は、「天然水」、「農業排水」ならびに「ダム水」の3段階に分けた。天然水とは、湧き水や天水、井戸水をいう。一方、農業排水とは、水田や用排水路から流入する水をいう。ダム水は、導水管を通じて直接ため池に供給される場合と、上流のため池に流入したダム水が水路を介して流入する場合とがあるが、ここではこれらは区別しない。

2006年9～10月、および2007年9～10月に、各ため池において野外調査を行った。ため池の表層および中層に生息する動物を捕獲するため、各池に定置網(裾網片側300 cm, 胴+袋網304 cm, 間口69 cm, 網目4 mm)2組を設置した。定置網は、抽水植物帯など多数の動物の生息が見込める場所に設置し、片袖を岸に、もう一方の片袖を池中央寄りに固定した。また、底棲性の動物を捕獲するため、スルメと魚肉ソーセージを餌として、各池にカゴ網(長さ40 cm, 高さ25 cm, 間口6 cm, 網目2 mm)5基を設置した。その際、各ため池の最長横断面上に、兩岸直下を含めて等間隔の縦断線を5本引き、縦断線と横断線の交点にカゴ網を設置した。定置網とカゴ網は一晩設置した後、捕獲物を翌朝回収した。ため池の管理形態が外来動物の在・不在に及ぼす影響

は、統計パッケージ SAS v9.1 (SAS, 2004) の FREQ プロシージャの χ^2 検定を行って検討した。その際、サンプル数が比較的少ないことから、漸近的な P 値ではなく、「exact」オプションを指定して正確な P 値を求めた。処理区間において、5 % 水準で有意差が認められた場合には事後比較を行った。事後比較の際は、検定の多重性による第一種過誤率の上昇を抑えるため、ボンフェローニの方法 ($0.05/n$; n : 比較する組み合わせの数) を用いて有意水準の補正を行った。

結果と考察

野外調査の結果、ブルーギル (*Lepomis macrochirus*)、オオクチバス (*Micropterus salmoides*)、タイワンドジョウ (*Channa argus*)、コイ (*Cyprinus carpio*)、タイリクバラタナゴ (*Rhodeus ocellatus ocellatus*)、ウシガエル (*Rana catesbeiana*)、アメリカザリガニ (*Procambarus clarkii*)、ミシシippiaアカミミガメ (*Trachemys scripta elegans*) などの外来種 (国外外来種) が確認された (Table 1)。なお、日本には飼育型のコイと古代ゴイの両方のタイプが分布するが、これらのうち、飼育型ゴイは、ユーラシア大陸の様々な地域が原産地となっていることが遺伝解析により明らかになっている (Mabuchi et al., 2008)。

捕獲された外来動物のうち、ブルーギルとアメリカザ

リガニが、出現率、バイオマス、ならびに生息個体数の面でもっとも優占していた (Table 1)。次に、これら優占種を対象として、ため池の池干しが二種の分布に及ぼす影響、ならびに生態系管理についての見解を述べる。

ため池の池干しが外来動物の分布に及ぼす影響

ため池の池干しを慣行する主要な理由として、樋の点検、泥吐け (池の底にたまった泥を流すこと)、雑魚とり (現地では、じゃことり、魚つかみ、掻い堀りと呼ばれる)、外来魚の駆除、水質保全などが挙げられる。しかしながら、本研究では、池干しの有無や程度によって、外来魚ブルーギルの出現状況に違いは認められなかった ($\chi^2=1.94$, $df=2$, 正確な $P=0.38$; Fig. 1a)。一方、ため池の水の供給源の違いによって、ブルーギルの出現の有無に僅かな差が認められた ($\chi^2=5.91$, $df=2$, 正確な $P=0.05$; Fig. 1b)。ダム水を主要な水源とするため池、ならびに農業排水を主要な水源とするため池では、ブルーギルが出現する池が多い傾向にあった。池干しは、一時的にはブルーギルなどの外来魚の駆除に効果はあるかもしれないが、取水の仕方によっては、水源から再移住してくるため、池干しの効果が相殺されている可能性がある。また、一般に、農地では用排水路を通じて水域が連結しているため、ブルーギルはこれらを通じて拡散している可能性がある。

Table 1. Prevalence, mean biomass (of all animals) and mean abundance of alien aquatic animals in 64 farm ponds in Hyogo Prefecture, Japan. In September-October 2006 and September-October 2007, two fixed fishing nets (sleeve 300 cm, fyke 304 cm, opening 69 cm, mesh 4 mm) and five cubic minnow traps (length 40 cm, height 25 cm, funnel opening 6 cm, mesh 2 mm) were deployed overnight in each pond. The numbers of netted and trapped animals were combined to indicate the catch per unit effort. Each pond was sampled once. Prevalence was defined as the percentage occurrence of each alien species in 64 ponds. Percentage mean biomass or abundance of each alien species was calculated from combining both native and alien species.

表 1. 兵庫県の 64 のため池で捕獲された外来動物の出現率、平均バイオマス、ならびに平均生息個体数。2006 年 9 ~ 10 月ならびに 2007 年 9 ~ 10 月にかけて、各ため池において 1 回、2 組の定置網 (裾網片側 300 cm, 胴 + 袋網 304 cm, 間口 69 cm, 網目 4 mm) と 5 基のかご網 (長さ 40 cm, 高さ 25 cm, 間口 6 cm, 網目 2 mm) を設置し、水棲動物の捕獲を行った。外来動物の平均バイオマスと平均生息個体数は全動物中 (在来種と外来種) の 100 分率である。

Class	Family	Species	和名	Prevalence (%)	Mean biomass (%)	Mean abundance (%)
Actinopterygii	Centrarchidae	<i>Lepomis macrochirus</i>	ブルーギル	61	12	30
Actinopterygii	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>	オオクチバス	19	4	2
Actinopterygii	Channidae	<i>Channa maculata</i>	タイワンドジョウ	11	2	1
Actinopterygii	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i>	コイ	8	0.3	0.7
Actinopterygii	Cyprinidae	<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	タイリクバラタナゴ	2	0.3	0
Amphibia	Ranidae	<i>Rana catesbeiana</i> (Adult)	ウシガエル (成体)	13	3	0.6
Amphibia	Ranidae	<i>Rana catesbeiana</i> (Juvenile)	ウシガエル (幼体)	30	2	5
Crustacea	Cambaridae	<i>Procambarus clarkii</i>	アメリカザリガニ	38	8	6
Reptilia	Emydidae	<i>Trachemys scripta elegans</i>	ミシシippiaアカミミガメ	19	8	0.4

一方、アメリカザリガニは、ブルーギルとは対照的に、完全干し、減水する池に出現する（池干しをしない池には出現しない）（ $\chi^2=17.02$, $df=2$, 正確な $P=0.00015$; Fig. 1c）が、水源の違いによって出現の有無に差は認められなかった（ $\chi^2=2.15$, $df=2$, 正確な $P=0.36$; Fig. 1d）。ヨーロッパの水田や貯水池、湿地での研究によると、アメリカザリガニは、深さ 30 ~ 60 cm ほど（最深 4 m）の穴を掘って乾燥や高温に耐えることが知られている（Correia and Ferreira, 1995）。また、ヨーロッパの水田におけるテレメトリーを用いた研究によると、アメリカザリガニは、個体によっては 4 日間で 17 km も移動することが示されている（Gherardi and Barbaresi, 2000）。そのため、池干しが行われても、アメリカザリガニ自身は水の湧き出る深さまで穴を掘るか、陸上を歩行して近くの水域に移動

することにより、池干しによる乾燥や冬の低温の影響を免れるものと考えられる。なお、アメリカザリガニは、プランクトン幼生期を欠くことから、ダム水などを通じて移住してくる確率は非常に低いと思われる。

生態系管理について

池干しは、一般に外来魚の駆除に効果的であると思われるが、本研究ではその効果は外来魚ブルーギルに対しては認められず、ダム水を利用することにより池干しの効果が再移住の効果と相殺されている可能性が示唆された。したがって、外来魚対策として、1) 水はできる限り天然水を大事に使い、天水だけで水が不足する場合には、井戸を掘り地下水を利用する、2) ダム水を使う場合には土などのフィルターを通す、3) 用排水路な

Fig. 1a-d. Effects of pond draining (left) and water supply (right) on the presence/absence of bluegill sunfish and red swamp crayfish in 64 farm ponds in Hyogo Prefecture, Japan. The level of pond draining was classified into three categories: "Undrained" = never drained, "Reduced" = water decreased to $\leq 1/2$ of the full volume and "Drained" = nearly or completely dried out. The water supply was classified into the following three categories: "Natural" = spring water, well water and/or rain water, "Agriculture" = drainage from paddy fields and/or canals and "Dam" = dam water.

図 1 a-d. 兵庫県の 64 のため池における、池干しと水の供給源の違いが外来種ブルーギルとアメリカザリガニの出現に及ぼす影響。池干しの程度は、干さない（Undrained）、減水（Reduced）（水量を 1/2 以下に減水）、完全干し（Drained）の 3 段階に区分した。一方、水の供給源は、天然水（Natural）（湧水、雨水、井戸水）、農業排水（Agriculture）（水田や用排水路からの供給）、およびダム水（Dam）の 3 段階に区分した。事後比較の星印（*）は、ボンフェローニの多重比較法に基づき、 $\alpha = 0.017$ (0.05/3) の有意水準において統計的に有意であることを示す。 $^\dagger P=0.05$, $***P<0.001$ 。

どでため池と他の水域が連結している場合には魚類が水路を行き来できないような仕組み（落差を作るなど）を作る、ことなどが有効であろう。取水の仕方を工夫した上で池干しを行えば、外来魚の駆除に効果的であると考えられる。

ただし、問題はある。外来魚を駆除すると、アメリカザリガニが増え、水棲植物や底棲動物などに壊滅的な影響を与える可能性がある（Maezono & Miyashita, 2004）。実際、野外調査においても二種は排他的な分布を示し、多くの場合、アメリカザリガニが多い池ではブルーギルが少なく、ブルーギルの多い池ではアメリカザリガニが少なかった（Fig. 2）。どちらか一方の外来種しか生息しなかった池も少なくない。アメリカ合州国のウィスコンシン州の湖沼では、アメリカザリガニ科の国内外来種ラストティーザリガニ（*Orconectes rusticus*）と在来魚ブルーギルは、それぞれ生態系の双安定状態の指標となることが知られる（Roth et al., 2007）。ラストティーザリガニは水草のない系を、ブルーギルは水草の豊富な系をそれぞれ代表する。ウィスコンシンの湖沼では、外来ザリガニが沈水植物を摂食・破壊することにより、ブルーギルの営巣場所を喪失させ、繁殖を阻害していると考えられている。また、ブルーギルは一般にプランクトン食が強

いが、底棲動物への依存度も高いことから（Yonekura et al., 2007）、二種は餌をめぐる競争関係にあることが推定される。さらに、体サイズに応じて、両種は互いの捕食者ともなるであろう（Dorn & Mittelbach, 1999 の総説参照）。筆者らが知る限りでは、ブルーギルの胃からザリガニが、ザリガニの腸管からブルーギルが出てきた事例はほとんどない（ただし、琵琶湖ではブルーギルの胃内容物から少量のアメリカザリガニが確認されている；寺島, 1980）。しかしながら、胃・腸管内容物は直近に食べた物しか反映しないことから、胃・腸管内容物にあまり出てこない餌生物に対する捕食の影響は低いと明言することはできない。非常に強い捕食圧を受ける餌生物は、初期の段階で即座に食べつくされてしまう可能性があるからである。また、アメリカ合州国では、ラストティーザリガニが魚卵を捕食することが報告されている（Dorn & Mittelbach, 1999）。したがって、アメリカザリガニがブルーギルの卵を捕食する可能性も十分に考えられる。一方、アメリカザリガニは、春から初冬にかけて抱卵するが（Suko, 1958）、稚ザリガニは雌親の腹部で孵化するため、ブルーギルによって卵が捕食される可能性は極めて低いと思われる。むしろ、稚ザリガニの孵化直後、秋から春にかけての時期に、池干しによって一時的にブルーギルなどの捕食魚が不在となることから、これらの生残や成長に正の効果をもたらしている可能性がある。

ただし、例外の池もある（Fig. 2 右上の調査池）。繰屋下池は、ブルーギルとアメリカザリガニ両方の生息個体数が多い。この池ではダム水を主要な水源としている上に、毎年、池干しを実施している。そのため、ブルーギルは毎年、再移住してくるものと考えられる。そのような状況下でアメリカザリガニの個体数が多い理由は、隠れ家や餌が豊富であるためであろう。池の周囲が広葉樹に覆われているため、落葉などの系外資源が隠れ家、ならびに餌資源を提供しているものと思われる。

例外はあるものの、多くの池では、ブルーギルとアメリカザリガニは、生息・産卵場所の改変を通じたエンジニア効果、餌をめぐる競争、捕食などを通じて排他的関係を示すものと考えられる。ただし、ブルーギルとアメリカザリガニの生息場所に対する選好性の違いが、このような、一見、排他的な関係を示している可能性も否定はできない。空間パタンの解析は、例えどんな解析手法を用いたとしても、相関関係に基づいて仮説を提示できるのみで、因果関係を明らかにすることはできない。今後、操作実験など（例えば、Usio & Townsend 2002）を行うことにより、二種の間関係を明らかにすることが可能

Fig. 2. Relationship between the abundances of bluegill sunfish and red swamp crayfish in 64 farm ponds in Hyogo Prefecture, Japan. The animal abundances were expressed as catch-per-unit-effort (see Table 1).

図 2. 兵庫県の 64 のため池におけるブルーギルの生息個体数とアメリカザリガニの生息個体数の関係。生息個体数は単位努力あたりの捕獲量で示した（Table 1 参照）。

となるであろう。

アメリカザリガニは自力拡散能力が高いため、短期的に個体数を減らしたり、駆除したりしてもすぐに周囲から再移住してくる可能性がある。今のところ、世界的に見ても、アメリカザリガニの効果的な駆除法は確立されていない。アメリカザリガニが付近に生息しないため池では、前述の外来魚の駆除は有効であるかもしれない。しかし、周囲にアメリカザリガニの生息域がある場合には、ため池の周囲に防護柵でも張り巡らせない限り、アメリカザリガニが次々と移住してくるであろう (Maezono & Miyashita, 2004)。その場合、在来生態系の保全にとって、外来魚の駆除はあまり効果がないと思われる。アメリカザリガニの効果的な管理法の開発が望まれる。

謝 辞

本研究は、国立環境研究所環境リスク研究センターのプロジェクト (PJ4) 経費を用いて実施した。調査に協力して下さった兵庫県農政環境部の皆様、ならびにため池の管理者の皆様、そして建設的なコメントを下さった匿名の校閲者に深く感謝いたします。

文 献

- Correia, A. M. and O. Ferreira (1995): Burrowing behavior of the introduced red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae) in Portugal. *Journal of Crustacean Biology*, 15: 248-257.
- Dorn, N. J. and G. G. Mittelbach (1999): More than predator and prey: a review of interactions between fish and crayfish. *Vie et Milieu*: 49: 229-237.
- Gherardi, F. and S. Barbaresi (2000): Invasive crayfish: activity patterns of *Procambarus clarkii* in the rice fields of the Lower Guadalquivir (Spain). *Archiv für Hydrobiologie*, 150: 153-168.
- Mabuchi, K., H. Senou and M. Nishida. (2008): Mitochondrial DNA analysis reveals cryptic large-scale invasion of non-native genotypes of common carp (*Cyprinus carpio*) in Japan. *Molecular Ecology*, 17: 796-809.
- Maezono, Y. and T. Miyashita (2004): Impact of exotic fish removal on native communities in farm ponds. *Ecological Research*, 19: 263-267.
- Roth, B. M., J. C. Tetzlaff, M. L. Alexander and J. F. Kitchell (2007): Reciprocal relationships between exotic rusty crayfish, macrophytes, and *Lepomis* species in northern Wisconsin lakes. *Ecosystems*, 10: 74-85.
- SAS (2004): SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Suko, T. (1958): Studies on the development of the crayfish VI. The reproductive cycle. *Science Reports of Saitama University (Japan)*, 3B: 79-91.
- 高村典子 (2007): ため池の生物多様性評価. 自然再生のための生物多様性モニタリング, 鷺谷いづみ・鬼頭秀一 (編著): 49-69. 東京大学出版会, 東京.
- 寺島彰 (1980): ブルーギルー琵琶湖にも空いていた生態的地位. 日本の淡水生物—侵略と攪乱の生態学, 川合禎次・川那辺浩哉・水野信彦 (編著): 63-70. 東海大学出版会, 東京.
- 内田和子 (2008): ため池—その多面的機能と活用—. 農林統計協会, 東京.
- Usio, N. and C. R. Townsend (2002): Functional significance of crayfish in stream food webs: roles of omnivory, substrate heterogeneity and sex. *Oikos*, 98: 512-522.
- Yonekura, R., K. Kawamura and K. Uchii (2007): A peculiar relationship between genetic diversity and adaptability in invasive exotic species: bluegill sunfish as a model species. *Ecological Research*, 22: 911-919.