

## 魚道付き水田における魚類の自然再生産に寄与する要因

\* 佐川志朗<sup>1</sup>**Contributing factors to natural fish reproduction in the rice paddy with fish pass**\* Shiro Sagawa<sup>1</sup><sup>1</sup> Division of Rural Ecology and Wildlife Conservation, Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo/Division of Research, Hyogo Park of the Oriental White Stork, Shounji 128, Toyooka, Hyogo Pref. 668-0814, Japan

\* E-mail: sagawa@stork.u-hyogo.ac.jp

**Abstract** Natural fish reproduction in three rice paddies with fish pass was investigated in Roppo rice field in Toyooka City, Japan. Re-introduction project of endangered Oriental White Stork has been promoted in Roppo rice field since 2007. These paddies mainly served as habitat for fishes such as loach, catfish and *Carassius* sp. Tadpoles and aquatic insects, which may preyed on fertilized eggs and fish larvae, were also present in the paddies. Based on histogram, 99% of the captured fishes were observed at larval stage. Two spawning groups of catfish also existed in the paddies. The fish density in the rice paddies were greatly affected by water depth in the rice paddy, distance from the main ditch which functioned as fish source, and density of tadpole and aquatic insect. Further research focusing on critical factors, which contribute to natural reproduction in the paddy with fish pass, particularly biological relationship should be conducted.

**Key words** Connectivity, Environmental restoration, Fish way, Maruyama River Basin, *Misgurnus anguillicaudatus*, *Silurus asotus*

## はじめに

水田は両生類、鳥類および魚類の生活史の全体あるいは主要なステージにおいて重要な機能を果たす (Fujioka

and Lane 1997; Lane and Fujioka 1998; Katano et al. 2003). 特に魚類では生活史の繁殖ステージを水田に依存している種が多く、ギンブナ *Carassius auratus langsdorffii*, ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*, スジマドジョウ *Cobitis* sp., およびナマズ *Silurus asotus* 等の産卵行動および稚魚の生育が報告されている (友田 1962; 斎藤ほか 1988; Naruse and Oishi 1996). 水田および周辺の一時的な水域は、灌漑初期にはプランクトンが大量発生するために好適な採餌環境となること、捕食者が少ないことがこれに対する要因として指摘されている (斎藤 1984).

このように水田は生産性が高く、魚類の再生産の場として重要であるため、圃場整備等によって改変された水田では魚類再生産機能を回復させるために、水田魚道を敷設する対策が行われている (端 2000; 水谷 2000). これらの魚道の開発および遡上特性の解明については多くの研究事例があり、様々なタイプにおいてカワムツ *Nipponocypris temminckii*, ホトケドジョウ *Lefua echigonia*, ウグイ *Tribolodon hakonensis*, フナ属 *Carassius* sp., メダカ *Oryzias latipes*, タモロコ *Gnathopogon elongatus* およびドジョウの遡上が確認されている (鈴木ほか 2000, 2001; 田中ほか 2009) しかし魚道付き水田において、遡上親魚が放卵した受精卵および稚仔魚のその後の生育状況を調査した研究は少なく、生活史を全うするためには稚魚が成長して水田から降下するまでの期間の生息状況およびそれに関係する物理的要因、生物的要因 (種間、種内競争や生物間相互作用) についても研究を推進する必要がある. 豊岡盆地でもコウノトリ野生復帰のための環境整備の一対策として水田魚道の設置が進められており (高林・横川 2005), 敷設箇所は平成19年度で累積103に達している (田和 2009). しかしこれらに対する評価は十分ではなく (内藤ほか 2011), 今後の野生復帰を効果・効率的に推進するためにも再生産に寄与する要因を魚類の生活史特性や水域のネットワークを加味して明らかにする必要がある (佐川 2012).

本論ではコウノトリ野生復帰の先駆けとなった豊岡市百合地地区の六方水田において、魚道付き水田の魚類生息状況に寄与する要因を物理的および生物的側面から検討・考察したのでここに報告する.

<sup>1</sup> 兵庫県立大学自然・環境科学研究所/兵庫県立コウノトリの郷公園

668-0814 兵庫県豊岡市祥雲寺字二ヶ谷128番地

\* E-mail: sagawa@stork.u-hyogo.ac.jp

材料と方法

1. 調査地

調査地は兵庫県豊岡市の円山川と六方川に挟まれた田園地帯（六方田んぼ）内の魚道付き水田3箇所である (Fig. 1, 2 (a), (b), (c)). 当該地域の河谷地区では、野生復帰の先駆けとして2006年に放鳥のための拠点（ピオトープを整備し、ケージを設置した場所, Fig. 1) においてコウノトリの放鳥が行われており、それらの個体の雌雄が、百合地地区の田園内に設置された人工巣塔において2007年から毎年営巣を継続している (Fig. 1). したがって調査地は営巣個体の縄張りに含まれる。当該地域では住民によりコウノトリ育む農法等による環境整備が進められているが、圃場整備により田園環境は改変され

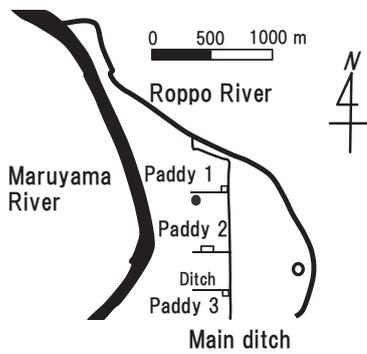


Fig. 1. Location of the experimental site showing the three rice paddies (squares), artificial nest tower (solid circle) and experimental released base with cage of Oriental White Stork (open circle). Fish pass was installed between the ditch and paddy.

ている。水路と水田の比高差は1.5 mに及び、用水路はパイプラインで水田への給水は給水栓によるため、用水から水田への生物の侵入は困難である。なお、圃場整備される前の円山川周辺の田園は、後背湿地を利用して開拓した湿田であり、魚類の再生産の場所として、そしてコウノトリの採餌環境として有効に機能していた (国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所 2012)。

円山川河口から六方川合流点までの距離は約12 kmであり、本川および六方川は潮位の影響を受ける範囲にあたる。なお六方川に流入する幹線排水路 (Main ditch) とそこに流入する水路 (ditch) は潮位の影響を受けない (Fig. 1, 佐川 私信)。3つの水田は、魚道によって、幹線排水路に注ぐ幅0.5-0.8 m、高さ0.5-0.7 mの三面コンクリート製の水路と連結されており、円山川河口から魚道までの区間において、魚類の移動を遮断する河川工作物は存在しない。いずれの水路にも泥、砂が優占する河床材料が薄く堆積している。水田1の面積は0.35 ha、魚類調査時の水深は0.11 m、敷設魚道の長さは9.7 m、幅0.2 m、勾配は11.6°である。水田2の面積は0.39 ha、魚類調査時の水深は0.26 m、敷設魚道の長さは10.5 m、幅0.2 m、勾配は9.3°である。水田3の面積は0.32 ha、魚類調査時の水深は0.06 m、敷設魚道の長さは9.8 m、幅0.24 m、勾配は11.3°である。魚道のタイプは水田1、2のものがプラスチック製、水田3のものが木製と素材は異なるが、すべて千鳥X型魚道であり (鈴木ほか 2000, 2001)、魚道自体の構造上の大きな差異はみられない (Fig. 2 (d))。なお、2012年の5月から7

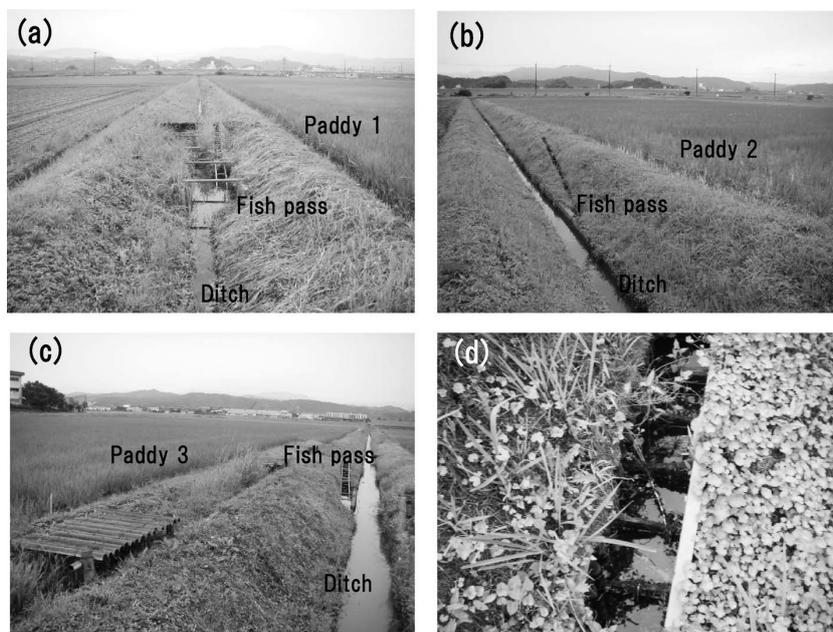


Fig. 2. Photograph of three study sites (a, b, c) and fish pass type (d). These fish passes were patterned with Chidori-X type (Suzuki et al. 2000, 2001).

月にかけては調査水田の畦畔を越水するほどの降雨は確認されておらず、この時期の魚類の移動経路は魚道に限定された。

## 2. 魚類捕獲調査

2012年7月5日に3つの調査水田において魚類を含む水生生物の捕獲調査を実施した。1調査水田について畦畔に沿って5–10 mの調査ラインを8箇所無作為に選定し、各箇所において柄付のタモ網（口径35 cm、目合い2 mmの半円形）を用いて、畦畔に一番近い稲株から畦畔までの水田内水域（延長20–35 cm）の泥と水を対象に、ライン上を静かに歩きながら5回素早く掬いとる方法によった。捕獲された魚類は種同定および全長の計測を行った。また、1 cm以上の大きさの水生生物を対象に分類群ごとの個体数とサイズを記録した。捕獲された水生生物は生かしてその場に放流した。

## 3. 物理環境調査

魚類捕獲調査と連動させ、捕獲のすぐ後に、水田の各調査ラインにつき1地点（8地点/水田）において、計測棒を用いて最小単位1 cmで水深の計測を行った。続いて水路および魚道の各部位を測定した。前者は水深、水路幅および高さを、後者はa：長さ、幅、b：比高（水路河床から法面も含めた水田上端までの鉛直距離）を最小単位1 cmで計測した。以上から魚道の勾配（°）をエクセルの関数=ATAN(b/SQRT(a^2-b^2))\*180/PI()により求めた。GPSおよびカシミアール3Dを利用し、主なソース（魚類の親魚が恒常的に生息しており水量が豊富で深い水深を有する水域）である円山川、六方川および幹線排水路から魚道入口までの距離を最小単位1 mで求めた。

## 4. データ解析

前述の通り、水田での捕獲および水深については1水田につき8回の繰り返しをとっている。魚類（全魚種および魚種ごと）、カエル類幼生および水生昆虫の捕獲数、および水田の水深について3水田間で一元配置分散分析を行った。有意差が確認された場合にはTukey-Kramer法による多重比較検定を行った。解析に際しては、データの正規性、等分散性を確保するために対数変換を行った。解析の有意確率は5%とした。

本研究では調査水田数が少なく、魚類現存量の相違に寄与する要因を統計的に推定することは好ましくない。しかし、水田魚道の機能および水田での魚類再生産の評価について、今後の調査・研究への着眼点を示すことは

重要であり、それが本論の「予報」としての目的である。したがって本論では、今回取得した要因（数値として取得し易い要因）を魚類密度傾向（魚類密度の平均値を曲線表示したもの）と照らし合わせ、同調 isotone もしくは逆同調性 inverse isotone を確認することにより寄与要因の抽出を試みた。要因は、(i) 魚道（長さ、幅、傾斜）、(ii) 水田（面積、水深）、(iii) 水路（幅、高さ、水深）、(iv) ソースからの距離（円山川からの距離、六方川からの距離、幹線水路からの距離）の計11要因とした。

## 結果と考察

### 1. 魚道付き水田の再生産魚類とナマズの複数産卵集団

捕獲調査の結果、魚類が計70個体（ドジョウ：17個体、ナマズ：32個体、フナ属：21個体）確認された（Fig. 3）。捕獲された魚類のサイズは、全体の99%（1個体を除いて）は全長55 mm以下に収まった。それらの全長分布に着目すると、ドジョウおよびフナ属は単峰型であったことから、それらは当年生まれの当歳魚であると判断される。前述の通り、本調査地の取水形態は、水路はパイプラインで水田への給水は給水栓のため、そこからの水生生物の侵入は困難である。また、前述したように2012年の5月から7月にかけては調査水田の畦畔を越水するほどの降雨は確認されていない。したがって確

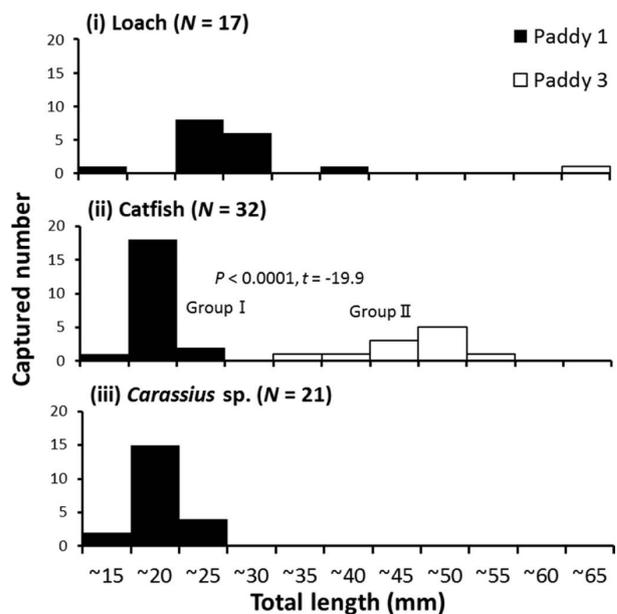


Fig. 3. Histograms for the size (total length) of loach (i), catfish (ii) and *Carassius* sp. (iii) caught in the rice paddies. Loach and *Carassius* sp. were distributed in unimodal-peaked pattern. Catfish exhibited bimodal-peaked pattern. Significant differences indicated Group I and II of catfish. No fish were captured in Paddy 2.

認された魚類の当歳魚（後述のナマズ含む）は、魚道を遡上してきた遡上親魚が産卵したものと考えられる。

ナマズは二峰型の全長分布を示し、両者は有意に異なった ( $t = -19.9, P < 0.0001$ )。さらに、全長 20-25 mm にピークを持つグループ (グループ I) はすべて水田 1 において、全長 45-50 mm にピークを持つグループ (グループ II) はすべて水田 3 で捕獲された。孵化後のナマズ当歳年級群の時間的な成長程度については飼育池での知見が知られている (来間・野村 1998)。本報告によると池床が泥底の調査区において、孵化後 15 日目で全長が 13-26 mm、29 日目で 32-62 mm に達したことが報告されており、これらはグループ I および II のサイズとそれぞれ近似する。飼育池での知見を本研究結果へ適用してナマズの成長を議論することは適当ではない。しかし、両グループとも当歳年級群であることは間違いない。餌資源の質と量は生物の成長に影響を与える。しかし、両水田とも立地環境や取水の水源、生息する水生生物の量が同一である (有意差はない、後述) ことから、稚魚の成長に影響を及ぼすほど水環境条件や餌条件が違うとは考えられない。一方で、ナマズの産卵時期は 5 月から 6 月と幅があり (友田 1962)、京都府の水田地帯ではナマズの産卵集団が 6 月中旬の灌漑開始後複数回観察されたことが報告されている (片野ほか 1988)。したがってグループ I および II は異なる時期に遡上出現した、つまり産卵個体群が異なることが考えられ、当該地域においてはナマズの遡上時期が複数あったことが示唆される。

## 2. 水田間の魚類生息状況の相違とそれに寄与する物理的要因

水田 1 ではドジョウ、ナマズおよびフナ属の 3 種類が、水田 3 ではドジョウおよびナマズが確認された (Fig. 3)。一方で、水田 2 では魚類の生息は確認されなかった。水田ごとの魚類の生息密度は有意に異なり、水田 1 が平均 16.6 個体/m<sup>2</sup> と水田 3 (平均 3.5 個体/m<sup>2</sup>) および水田 2 (0 個体/m<sup>2</sup>) より多かった (Fig. 4)。魚種ごとの生息密度にも有意な差があり、ドジョウおよびフナ属は水田 1 が水田 2 および 3 より、ナマズは水田 1 および 3 が水田 2 より有意に多かった。このように本研究では、同様のタイプの魚道が付いているのにも関わらず (「1. 調査地」参照)、水田ごとの魚類の生息状況は大きく異なることが示された。

魚道および水路の各要因については 3 つの水田とも大きな相違はなく、魚類密度傾向 (Fig. 4) との同調もしくは逆同調性はみられない (Fig. 5 (i), (iii))。水田では水

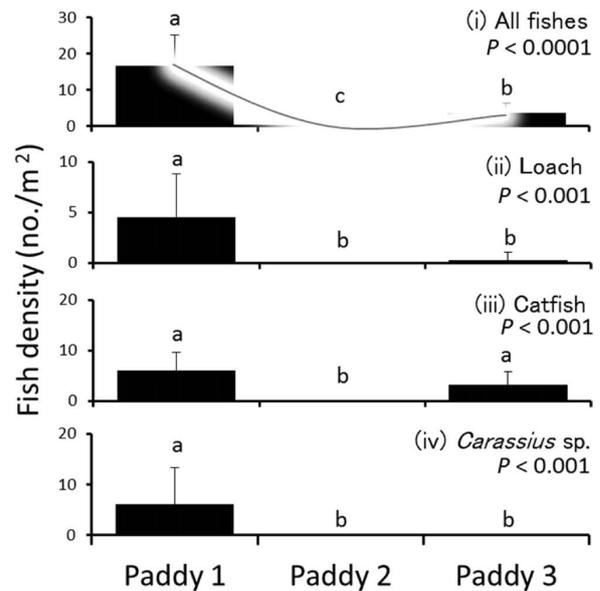


Fig. 4. Mean fish density (+ 1SD) observed in rice paddies. Larvae were not present in Paddy 2. Bars with the same letter do not differ significantly (Tukey-Kramer test,  $P > 0.05$ ). The curved line indicates the pattern of fish density in the rice paddies.

田 2 の水深が有意に深いといった傾向がみられ (Fig. 5 (ii))、魚類密度曲線との非同調性がみられる。また、ソースから魚道までの距離については円山川および六方川からの距離には水田間で大きな違いはみられないが、幹線排水路からの距離は、水田 2 が顕著に大きく魚類密度曲線との非同調性がみられる (Fig. 5 (iv))、最近傍に存在するソースからの距離が長いほど魚類の移動を制限している可能性がある。以上より魚道付き水田内の稚魚の現存量に寄与しそうな要因としては、水田の水深、幹線排水路 (ソース) からの距離が該当した。

## 3. 他の水田生物が魚類の再生産に与える影響

前項では再生産に寄与する要因として物理指標を用いた検討を行ったが、水田内の受精卵および稚魚の生存率には生物的要因 (捕食による消耗) も大きく寄与することが考えられる。農業用溜池における既存研究でも、外来魚種ブルーギルによるフナ類の受精卵の捕食影響は多大であり、個体群の維持にも影響を与える (山本 2005)。本研究の調査地は水田であり、湛水期間が限定され、水深も小さいためこのような大型の水生生物捕食者は侵入・定着し辛いと考えられる。しかし、捕獲調査では、魚類の他にカエル類の幼生が 61 個体 (平均全長: 43.4 mm, レンジ: 10-70 mm)、水生昆虫類が 22 個体 (平均全長: 15.9 mm, レンジ: 10-20 mm) 確認されている。カエル類の幼生はトノサマガエル *Rana nigromaculata*、ニホンアマガエル *Hyla japonica* および不明

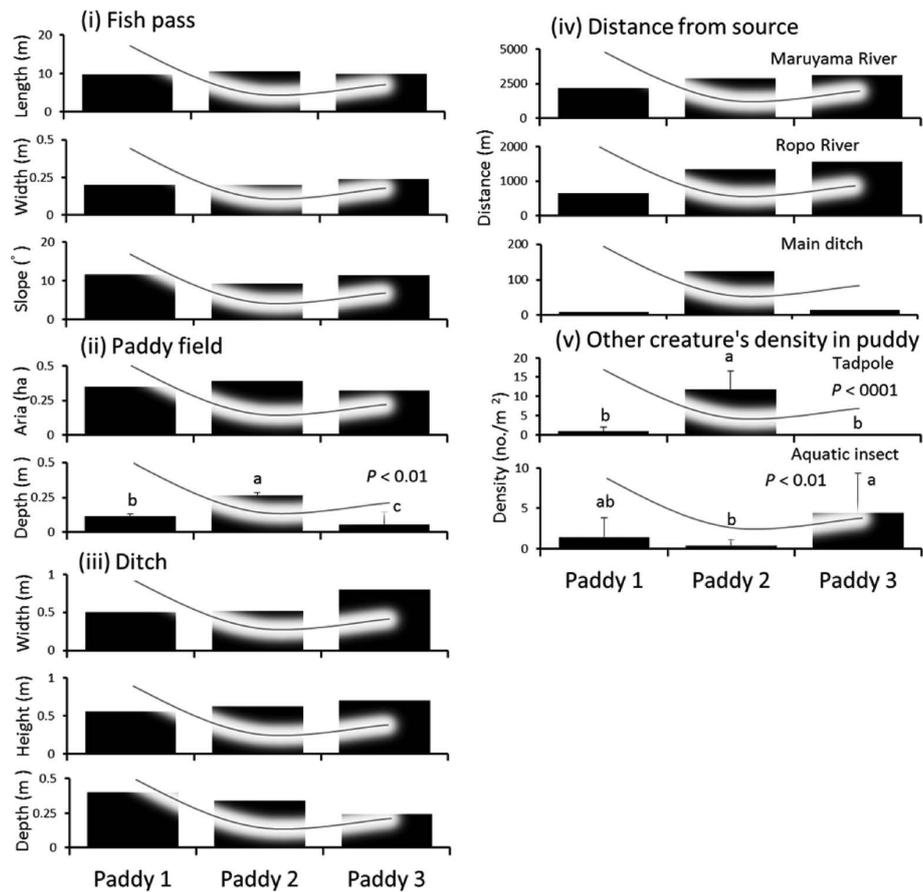


Fig. 5. Fish larval density in the rice paddies as affected by environmental factors (i, ii, iii, iv) and biological density (v). Bars with the same letter do not differ significantly (Tukey-Kramer test,  $P > 0.05$ ). The curved lines indicate the pattern of fish density in the rice paddies. Isotone (e.g. Aquatic insect) and inverse isotone (e.g. Tadpole) between potential factors and curved line were observed.

種 *Anura* spp. からなり、水生昆虫類はトンボ目 *Odonata* spp. の幼生、ゲンゴロウ科 *Dytiscidea* spp. およびガムシ科 *Hydrophilidae* spp. の成虫からなる。カエル類の幼生は雑食性であるが、獐猛であり共食いも行う。また、カエル幼生はニゴロブナの卵や仔魚を捕食し、密度が高い圃場ではニゴロブナの卵および稚魚の歩留まりが著しく低いことが報告されている（上田ほか 2003）。またトンボ目の幼生およびゲンゴロウ科の成虫も肉食で、魚卵および稚魚はその餌となりえる。以上のカエル類幼生および水生昆虫類の現存量と魚類密度傾向（Fig. 4）との関係は、前者には非同調性、後者には同調性が確認された（Fig. 5 (v)）。特にカエル類幼生の生息密度は魚類の生息が確認されなかった水田 2 において  $11.8$  個体/ $m^2$  と高く、これらによる魚類の捕食が生じているのかもしれない。また、確認された魚類は受精卵を基質へ粘着、もしくはばらまく産卵形態を示し、受精卵は親による保護を全くうけない（片野ほか 1988）。したがって、小型で遊泳力の弱い捕食者でも捕食は容易である。一方、水生昆虫類についてはカエル類幼生の密度とのきれいな逆同調

性がみられた。以上については後者による前者若齢幼生期への捕食も含めて今後のさらなる研究が必要である。

#### おわりに

コウノトリの育雛前期の餌生物として水田に生息するカエル類幼生が非常に重要であることが報告されている（佐川 2012）。また一方で、魚類は周年を通じたコウノトリの餌生物となっており、水田、河川、水路、湿地等の水域に広く生息する。したがって、流域的視点に立ったコウノトリの餌環境整備を進める上で重要な動物群である。しかし本研究結果からは、カエル類の産卵の多い水田を魚類再生産の場所として機能させることは捕食により困難な可能性も示唆された。また、魚類の種間においてさえも捕食-被食の関係は存在する（例えばナマズ稚魚は他の魚種の稚魚を捕食する）。以上を鑑み、水田内におけるこれらの種内、種間関係に着目したさらなる研究を進める必要がある。さらに、既存の魚道付き水田に関する研究では、水域ソースとの連続性に着目した評価が

みられない。本研究からは幹線排水路という最近傍の魚類ソースからの距離が水田内の魚類現存量に寄与する可能性が示された。また、本研究では魚道部への通水状況に関しての調査は行わなかったが、これに寄与する水管理や降雨についても留意する必要がある。今後は以上の要因も含めた多要因、多地点における調査を実施し、魚道付き水田における魚類再生産に貢献することが望まれる。

## 謝 辞

University of the Philippines の Melissa Palacio 女士には英文の校閲をしていただいた。佐川溪太、佐川岳史の両氏には物理環境調査をお手伝いいただいた。ここに深謝する。有意義なご指摘をいただいた2名の匿名査読者にも謝意を表す。本研究は、日本学術振興会科研費基盤研究 (B) 課題番号24310033の補助を受けて行われた。

## 摘 要

7月の六方たんぼの魚道付き水田は、ドジョウ、ナマズおよびフナ属の産卵、生息場所として機能しており、それらを捕食する可能性が高いカエル類幼生、水生昆虫類も同所的に生息していた。捕獲された魚類は99%が当歳稚魚であり、ナマズは産卵週上群が複数存在することが示唆された。水田間の魚類現存量は大きく異なり、それに寄与すると考えられる4つの要因が抽出された。物理的要因としては、1:水田の水深、2:幹線排水路(ソース)からの距離があげられた。一方、生物的要因としては、3:カエル類幼生および4:水生昆虫の密度があげられた。特に魚類が確認されなかった水田のカエル類幼生の生息密度は11.8個体/m<sup>2</sup>と大きく、それらによる魚類受精卵や稚魚の捕食の影響は大きいことが考えられた。魚道付き水田における魚類再生産の成功程度に関しては、前述の生物的要因やソース(魚類の週上元)からの距離等を含めた多要因からの検討は行われていない。したがって今後は、それらに着目した研究を多地点で実施し魚類再生産に与える決定要因を明らかにする必要がある。

キーワード 連続性、環境修復、魚道、円山川流域、ドジョウ、ナマズ

## 引用文献

Fujioka M, Lane SJ (1997) The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan. *Ecological Research*, 12: 101-108.

- 端 憲二 (2000) 田圃につける小さな魚道. *応用生態工学*, 3: 231-234.
- 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.
- Katano O, Hosoya K, Iguchi K, Yamaguchi M, Aonuma Y, Kitano S (2003) Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. *Environmental Biology of Fishes*, 66: 107-121.
- 国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所 (2012) 円山川にもどろう, 円山川の自然再生事業. [[http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/16sizen\\_saisei/index.html](http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/16sizen_saisei/index.html)]
- Lane SJ, Fujioka M (1998) The impact of changes in irrigation practices on the distribution of foraging egrets and herons (Ardeidae) in the rice fields of central Japan. *Biological Conservation*, 83: 221-230.
- 水谷正一 (2000) ドジョウの水田への週上. *農村と環境*, 16: 70-76.
- 内藤和明・菊地直樹・池田 哲 (2011) コウノトリの再導入— IUCN ガイドラインに基づく放鳥の準備と環境修復— 保全生態学研究, 16: 181-193.
- Naruse M, Oishi T (1996) Annual and daily activity rhythms of loaches in an irrigation creek and ditches around paddy fields. *Environmental Biology of Fishes*, 47: 93-99.
- 来間明子・野村 博 (1998) 飼育池の形状の違いによる餌付初期のナマズの生残と成長について. *埼玉県水産試験場研究報告*, 56: 8-12.
- 佐川志朗 (2012) コウノトリ育む環境整備の進め方. *野生復帰*, 2: 27-31.
- 斎藤憲治 (1984) 農業用水路の改修工事を少なくするために(私案). *淡水魚*, 10: 47-51.
- 斎藤憲治・片野 修・小泉顕雄 (1988) 淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵. *日本生態学会誌*, 38: 35-47.
- 鈴木正貴・水谷正一・後藤 章 (2000) 水田生態系保全のための小規模水田魚道の開発. *農業土木学会誌*, 68: 1263-1266.
- 鈴木正貴・水谷正一・後藤 章 (2001) 水田水域における淡水魚の双方向移動を保障する小規模魚道の試作と実験. *応用生態工学*, 4: 163-177.
- 高林主佳・横川信行 (2005) コウノトリとの共生に向けた水田魚道の技術展開. *農業土木学会誌*, 73: 577-580.
- 田中雄一・加藤宏明・渡部 勉・宮本 晃 (2009) 水田生態系ネットワークを再生する魚道の開発及び週上特性の解明. *愛知農総試研報*, 41: 47-54.
- 田和 豊 (2009) 農業関係者の取り組み, コウノトリ〜共生をめざして〜, 水田と水路の保全による在来魚の復元, 高橋清孝(編) 田圃の魚をとりもどせ. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 89-92.
- 友田淑郎 (1962) びわ湖産魚類の研究-I. びわ湖産3種のナマズの形態の比較およびその生活との関連. *魚類学雑誌*, 8: 126-146.
- 上田世司・田附雅広・黒橋典夫・端 憲二 (2003) 水田におけるドジョウおよびカエル幼生によるニゴロブナ卵とふ化仔魚の捕食の可能性. 平成14年度滋賀県水産試験場事業報告書, pp. 104-105.
- 山本 聡 (2005) ブルーギルによる卵の捕食がコイ・フナの再生産に及ぼす影響. *長野県水産試験場研究報告*, 7: 16-20.

(2012年12月15日受理)