水田生態系に生息する魚類の生物多様性と保全

Biodiversity and Conservation of Fish Living in Paddy Field Ecosystem

森 淳*

Atsushi MORI

1 はじめに

我が国の農村に生息する魚類は、人が作り出し管理している水路、溜池、水田などを主な生息地としている。本稿では水田と水利施設における生態系を水田生態系とする。水田生態系の魚類に関する研究は、主として1980年後半に魚類学の研究者¹⁾によって基礎的な生態が、農業農村工学（当時の名称は農業土木学）においては農業水利施設と魚類の生息環境の関係²⁾に関して進められた。その後水田魚道の開発³⁾など水田生態系の特性を活かした研究が進められる中、土地改良事業は環境との調和に配慮して実施することとされた2001年の土地改良法改正を契機として行政でも生態系に配慮する気運が高まり、農業農村工学の分野でも淡水魚に関する研究が加速された。

本稿では水田生態系における魚類研究を①生息環境、②移動、③生態特性、④生物間相互作用、⑤その他に分類し⁴⁾、魚類の生態に関する研究の他、魚類の生物多様性保全にむけた生態系配慮対策に関する研究も紹介する。

2 生息環境

(1) 農業水路の利用形態

水田はイネ (*Oryza sativa*) の栽培を目的として造成されたいわば人工の湿地であり、河川水、地下水、ため池などを水源として灌漑される。水田生態系の水域環境は、人が作り、管理することによって保全されている二次的自然である。この点が水田生態系の特性である。

水田生態系の水域は、流速によって流水域（農業用排水路）と止水域（水田、溜池）に区分される。また、水が存在する時期の継続性によって一時的水域と恒久的水域に区分される。淡水魚を一時的水域の利用状況から分類すると、①恒久的水域に多く生息し、一時的水域に盛んに侵入するもの、②恒久的水域に多く生息し、一時

的水域にはほとんど侵入しないもの、③双方の水域に少ないものに分けられ、魚類の水田生態系の利用方法が一樣でない¹⁾。さらに、一部の生物種は水田と、溜池・水路、河川などの間を移動しながら生活環を全うし、一時的水域と恒久的水域を連結する農業水路の存在が、魚類の種多様性の維持に貢献している¹⁾。

農業水路に生息する魚類は、農業水路を移動分散、繁殖、摂餌、越冬に利用している^{1), 5)}。コイ (*Cyprinus carpio*)、フナ類 (*Carassius* spp)、ナマズ (*Silurus asotus*) のように産卵時期になると河川から水路、水田に遡上する種にとって、河川と農業水路は補完的な関係にある⁶⁾。

農業水路などに生息する魚類は、環境条件や群集組成によって水路利用様式が異なると考えられるので、保全計画の策定にあたっては魚種ごとの利用様式を把握することが必要である⁷⁾。

(2) 水田の利用形態

農業水路を移動分散に用いる種の一部は水田へ移動し、ここを繁殖の場として利用している。恒久的水域で越冬したドジョウの成魚・未成魚は、通水開始後一時的水域に移動し、入水後の水田に侵入し⁸⁾、水田を繁殖・生育の場として利用している^{1), 5), 9)}。水田取水後20～40日にかけて当歳魚が脱出し、中干し時の水田水深の低下に対しタモロコ、フナ属等が先に脱出し、ドジョウは遅れて脱出した。この理由は、良好な生育環境と不安定さを併せ持つ一時的水域に対する利用方法が種によって異なるためと考えられる¹⁰⁾。水田魚道を設置した水田から中干し時に降下するドジョウは、落水直後は体長の大きな個体が、次第に体調の小さな当歳魚が流下し、2歳魚以上の個体は水位変動に反応して能動的に降下した可能性がある¹¹⁾。中干しは江戸時代の書物に記述が残されているが、急速に普及したのは戦後のことである¹²⁾。水田を繁殖・生育の場としてきた魚類の生態に対して、中干しがどのように作用しているか、知見はほとんど見

* 農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

Keywords: 1) 水田生態系, 2) 淡水魚, 3) 水域ネットワーク, 4) 農業農村整備事業, 5) 環境配慮

あたらないが、水田生態系における生物多様性保全に影響を与えていると考えられる。

(3) 水域ネットワークの重要性

水田や水路自体が生物の生息に良好な環境であるとしても、地理的に孤立していたり、移動の双方向性が確保されていないかたたりすれば、水生生物の生息地としての価値と生物多様性は低下する。農業水路と他の水路、水田、溜池への移動経路を含めた全体的なネットワークを維持することは、産卵や生育のための環境の維持とともに平野部における魚類群集の種多様性の保全に重要である⁷⁾。

栃木県西鬼怒川地区の谷川などにおいてウグイ (*Ribolodon hakonensis*) の移動実態から、農業水路における魚類の保全には、水域ネットワークの構築と定住的な個体の保全が重要である¹³⁾。水路や水田の整備後みられる生態系の劣化は、摂餌、産卵、生育適地の減少など生息環境が激変することとともに、水路内、水田－水路間、水路－河川間などにおけるネットワークの断点が発生するために起きる。生息環境としての場の質、ネットワークの保全の両方が、施工後の水田生態系を一定のレベルに留める必要条件である。

(4) 魚類が選好する環境要因の解明

水田生態系を適切に管理するには、生物多様性に配慮して実施された施策の効果を定量的に把握することが必要であるが¹⁴⁾、これには環境要因と生物の生息状況の関係を解明し、水田生態系の生息場としての価値を定量的に評価する必要がある。

トミヨ属 (*Pungitius* sp.) は、湧水を水源とする河川や池沼に生息する。圃場整備によって湧水が消滅したり用水源として利用されなくなったため生息空間が急激に縮小し、各地で保全の対象になっている。ミナミトミヨ (*Pungitius kaibarae*) の保全を目的として旧水路を拡張して造成された池には、本種の保全効果がある¹⁵⁾。一方で生息に欠かせない湧泉の維持管理が低下すると、ヨシの繁茂、生育面積の縮小などにより個体数が減少する¹⁶⁾。水草の植被率が高くなると近縁種であるトミヨ属淡水型 (*Pungitius sinensis*) の生息密度が高まる¹⁷⁾。

栃木県市貝町の小貝川上流の谷津において、生息する魚種数の多い谷津は谷底面積が大きく水路水深が深いことが明らかにされた¹⁸⁾。またこの谷津地域ではホトケドジョウ (*Lefua echigonia*) は谷頭 (上流) で生息密度が高く水温と有意な負の相関があったこと、ヌマムツ (*Zacco sieboldii*)、シマドジョウ (*Cobitis biwae*) は谷尻 (末端) で生息密度が高く、前者は水温と正の相関が、後者は堰などによる落差高の積算値と負の相関がみられた¹⁹⁾。

3 移動

水田生態に生息する代表的な魚種の移動分散に関する研究も進められている。タモロコ (*Gnathopogon elongatus*) を水田生態系における魚類の生息数の豊富さを示す指標種として位置づけられる²¹⁾。タモロコの移動分散範囲については、谷津田における調査結果から平均 100m、最大で 294m との報告²²⁾、上流 200m、下流 500m 以内でとの報告²³⁾ がある。

農地再編整備事業いさわ南部地区 (岩手県奥州市) の原川排水路の 6 地点およびため池 2 箇所において、2014～2016 年にアブラハヤ (*Rhynchocypris lagowskii*)・ギバチ (*Pseudobagrus tokiensis*)・タナゴ類 (*Acheilognathus* spp.)・モツゴ (*Pseudorasbora parva*) を標識放流した。2014～2015 年の再捕獲データを整理したところ、ギバチは再捕獲個体の 53% が放流地点と異なる地点で再捕獲され、移動個体の割合が高かった一方、アブラハヤ (33%) やタナゴ類 (0%) は同じ地点に留まる個体の割合が高かった。移動距離について、ギバチは下流 1500m～上流 800m、アブラハヤは下流 200m～上流 400m であり、ギバチは移動距離も大きい傾向があった。各魚種の移動距離はこれまでの知見と整合した値であり、生息環境を保全すべき区間の最小区間長と示唆された (渡部、未発表)。

紙面の都合により掲げなかったが、他の魚種の移動分散範囲の研究結果も、概ねこの空間スケールの中に含まれている。このように、水田周辺に生息する魚類が移動する水路におけるスケールは、農業水路の大生息場所 (102～103m)²⁴⁾ に相当する。この範囲の移動が妨げられれば個体群が分断される恐れがあると考えられる。もちろん、当該空間内の生息場所の確保とネットワークの保全は、必要条件であるとしても十分条件ではない。

4 生態特性

本章では、生態特性のうち知見が集積されているメダカ (*Oryzias latipes*) の遊泳能力を取り上げる。本種は、かつては水田や農業水路の至る所でみられた種であるが、近年生息に適した水域が失われたことから生息地数、個体数が減少し、絶滅危惧Ⅱ類に分類されるに至った²⁵⁾。メダカはいわば環境配慮の象徴種として、保全にむけた生態と生息環境条件の解明が進められてきた。

メダカにとって安全な流速は 15cm/s 以下との研究²⁶⁾ があり、メダカの群れは 10～15cm/s 以下の流速に対して抵抗性を持ち、泥が堆積しかつ植生が存在する環境を選好する²⁷⁾。さらに、農業用水路に生息するメダカの環境要因の選好強度は、流速は 3.8cm/s、遮蔽率は

35%、水深は8cmで最大となった²⁸⁾。

このような環境を水路内に創出することはメダカを保護する上での整備目標となる。低流速区間を設けることは、土砂の堆積と植物群落の生育等を通じて他種の仔稚魚の生息場を創出することにもなる。むしろ、土砂の過度な堆積が通水断面の阻害と本来機能の低下を招いてはならない。

5 生物間相互作用

(1) 魚類と食物連鎖

餌資源は、個体の生命の維持だけでなく成長・繁殖を通じた再生産に欠くことはできない。魚類の摂餌を含めた生態全般については図鑑的な知見が蓄積されているが、水田生態系においても普遍性を持つとは限らない。また、食物連鎖の解析は餌資源のみならず生物群集および無生物界における相互作用を解明するうえからも重要である。

生物間相互作用を化学的に分析する手法として様々な元素の安定同位体比を用いる方法がある。これは動物の炭素安定同位体比は餌のそれに近く、窒素安定同位体比は餌より約3‰高いという性質を利用したものである。この性質を用いて水田生態系における食物網、動物の移動生態、個体群の分布状況などが明らかにされつつある。

谷津田域の魚類などで構成される食物連鎖は水田と水路で異なり、土水路では早春期に藻類から始まる食物連鎖が存在する²⁹⁾。国営農地再編整備事業いさわ南部地区の原川排水路に生息するトビケラ類(Trichoptera)とこれを餌としているアブラハヤ(*Phoxinus lagowskii steindachneri*)は藻類と陸起源有機物からなる付着物をよく利用していた³⁰⁾。谷津田域では陸起源有機物に依存する程度が高いことが報告されている³¹⁾ように、陸起源有機物は水田生態系に生息する多くの魚類にとって重要なエネルギー源である。

(2) 外来魚

水田生態系に生息する外来魚としては、特定外来生物に指定されたブラックバスに代表される肉食性の種が生物間の相互作用を攪乱し生態系を劣化させる要因となっており、各地で駆除が進められている。

意外に見過ごされがちなのが国内外来魚である。国内外来魚としては琵琶湖産稚アユとともに東日本に分布を広げてきたカワムツ(*Nipponocypris temminckii*)³²⁾が知られているが、我々に身近な存在であるコイによる生態系の攪乱問題は今後顕在化すると考えられる。コイの無秩序な放流が、単なる水質の改変だけではなく、「沈水植物が優占する透明度の高い系」から「植物プランクトンが優占する濁った系」への不可逆的な生態系全体の変

化(レジームシフト)を引き起こす可能性が指摘されている³³⁾。しかし、農業農村整備事業で整備された環境配慮型水路にコイが放流されている事例が散見されるのも事実である。我が国に生息するコイは、琵琶湖³⁴⁾などに生息しているわずかな在来のコイを除き、かなりは中国大陆から持ちこまれた個体の子孫である。仮に現時点で農業水路にコイが生息しているとしても、保全するメリットとデメリットを十分考慮すべきである。

メダカやゲンジボタルも農村の小河川や農業排水路など野外に放流され、生態系保全の象徴的ニュースとなることが多い生物である。しかし、筆者の知る限り、養殖業者から購入した個体が放流されていることが珍しくない。これは従前の個体群の遺伝子攪乱が強く懸念される行為である。貴誌の読者の中には集落で様々なワークショップを実施し、生物を利用した地域おこしに携わる機会がある方もいらっしゃるだろう。たとえ地元発意の放流イベントであっても、自然に良かれと思った行為が逆の結果を引き起こす恐れがあることを指摘しておきたい。

6 その他

(1) 新たな分析・計測技術の適用

農村生態系に生息する魚類について、DNAを用いた魚類の分布特性³⁵⁾や遺伝的特性³⁶⁾の解析が進められている。近年、環境DNAの導入により水等に含まれるDNAを検出することにより魚類の生息を知ることができるようになってきた。この方法によって、岩手県いさわ南部地区の原川排水路にアブラハヤが生息していることが、採水調査とその後のDNA分析によって確かめられた³⁷⁾。

電波テレメトリーを利用してナマズの生態を調査し、冬季の活動は水温と正の相関を示したことが、繁殖期は夜間に活動的であることが明らかにされている³⁸⁾。

新しい分析技術は新たな知見をもたらすだけでなく、生物調査やモニタリングに要する労力軽減にも寄与する。

(2) 生態系配慮工法の開発

高度成長時代以降、農村に生息する魚類の生息環境は急激に悪化した。農業農村整備事業は、農業生産性の向上に貢献した一方で、これら魚類の生息に負のインパクトを与えた複合的原因の一つである³⁹⁾。ここでは急速に悪化した水域環境における生物多様性を保全、修復する工法を、農業農村整備事業において施工される場合と既存地区において施工される場合に分けて述べる。

土地改良法の改正以来、農業農村整備事業の生態系配慮に関する技術的な指針⁴⁰⁾も整備されている。東北農政局農地再編整備事業いさわ南部地区は、初めて本格的に生態系配慮に取り組んだ国営事業であり、階段式落差

工など魚類の移動分散を阻害しないよう工夫されている⁴¹⁾。

さらに、排水路を土水路と暗渠に分離し、土水路と水田を連絡する二段式水路⁴²⁾が導入された事例もある。この工法によれば、魚類の水田への遡上が阻害されないだけでなく、土水路の持つ生態系保全効果も期待される。

農業農村整備事業の事業計画上コンクリート三面張り水路であっても、一回り大きな、幅が広く水深も深い部分を部分的に造成することにより、魚類の生息場所を確保することができる⁴³⁾。この方法は魚類の生活史を完結させるわけではなく、付近に繁殖、越冬などのための区間を別途必要とするという点で、十分な生態系配慮効果があるとはいえないが、上流からの土砂供給量、土質にもよるが、ほぼ維持管理は不要であるという点で受益者に提示する工法の選択肢となり得る。

既往地区には既に多くのネットワーク断点が形成されている。水田生態系の特性を活かして開発された工法として、圃場整備によって分断された水路と水田を連絡する魚道が挙げられる。鈴木ら（2000）は、農業排水路とドジョウなどの魚類が遡上・産卵する水田を連結させるために、カスケードM型魚道および千鳥X型と称する2つのタイプの水田魚道を開発した³⁾。この小規模魚道によって接続された水域ネットワーク内の水田におけるドジョウの再生産割合が2～3倍、フナ属で9倍に達することを明らかにした⁴⁴⁾。このタイプの魚道を設置した水田と設置しない水田でドジョウの個体数密度を比較したところ、水田魚道を設置した水田は、設置しなかった水田の約13倍に達した¹¹⁾。

河川で設置されている粗石付き斜路型魚道は、農業水路でも簡便、安価にネットワークの断点を修復する手法として施工事例は徐々に増えているが、効果の検証事例は見あたらない。農業排水路における施工例でモニタリングしたところ、底生魚を含めた複数種の遡上が確認され、特に、水深が上昇すると遡上個体数が増えた⁴⁵⁾。

このような既設水路における水域ネットワークの断点を修復する簡便な工法により、多面的機能支払交付金などを活用した取り組みの広まりが期待される。

(3) 維持管理

魚類と水生昆虫類の多様性指数は、溶存酸素量が高く植生が多いほど高くなった⁴⁶⁾。三面張り水路であっても土砂が堆積し植物群落が生育することにより、魚類の生息場所となっている水路も珍しくない。たとえば、前述の粗石付斜路型魚道が設置された農業排水路は三面張りであるが、生態系の遷移により多様な魚類の生息場所となっている。

農業水路の本来機能は利水機能や防災機能であり、土

砂や植物群落は、これらに対してネガティブに作用する場合がある。従来、水路の維持管理は農家が行ってきた。事業の受益者は、事業申請するにあたっては、従来多大な労力を費やしてきた水路の維持管理労力の節減を望んだのである。生態系配慮型水路とすれば、従来の水路に比べて軽減効果が小さくなることが多い点を念頭に置くべきであろう。

整備済み用排水路系に生物保全対策を講じる際は選択的・段階的な対応が求められる⁴⁷⁾。一般的に用水路は魚類の生息に不適當であることが多く⁴⁸⁾、農業水路系において最小のコストと労力で一定の生態系保全・復元効果を上げるには用水路より排水路に生態系保全の重点を置くのが現実的である²⁶⁾。排水路において生態系の復元を図る場合、河川から魚類が供給されやすい排水路の下流側からネットワークの修復を進めていくことが基本となろう。一方用水路でも、通年通水しているケース、水路内に溜まり水がある場合、用排兼用として利用されている場合など、非灌漑期にも魚類が生息し、環境配慮が必要となることもある。

地形的な視点からみれば、流域の上流部にあり様々な土地利用のモザイクが凝縮される谷津田域の保全が重要だと考えられる。特に谷津田域の最上流部は圃場整備の地区外となることも多いから、生物資源のソースとして保全・利用することにより、生物の下流への移動が期待できるだろう。一方で、最上流部は早い時期から荒廃することが多く、ソースとしての質が早期から低下することが懸念される。谷津田域に注目すべき生息地が残っているならば、保全する優先度は高い場合が多いと考えられる。

7 おわりに

本稿では水田生態系の魚類に関する研究を①生息環境、②移動、③生態特性、④生物間相互作用、⑤その他に分けてレビューした。ところで、農村生態系に生息する魚類研究を社会実装の観点から整理すると図1に示すようになるだろう。上記の①から④はこの図における基礎的生態と位置付けられる。

モニタリングが低調なのは、予算や人員の不足の他、これらを解決するために有用な技術が開発されていないことも原因である。たとえば水田魚道を造成した時、そこを遡上・降下するドジョウの個体数を計測することはできるが、より広域な空間である排水路のドジョウがどの程度増えたかを知るには多大な労力と予算を必要とする。これを容易に実施する術を我々は持っていない。モニタリングを安価に、簡略化して行う技術は、生態系保全（修復）手法の開発とともに、社会還元を進めるうえ

図1 生態系配慮における研究テーマと技術者のニーズ

で不可欠である。

しかし事業実施地区における生態系配慮の状況を見る限り、これらのみで水田生態系における生態系配慮対策が円滑に進み、生物多様性が保全されるとは考えにくい。受益者に相対する技術者にとって、合意形成を円滑に進める手法と、合意形成のクリティカルパスとなっている維持管理を軽減する手法は、まさに必携装備なのである。受益者など地元の意見が短時間にまとまらなければ事業実施中の地元調整には、スピードが要求されることは言うまでもない。従来型に近い整備が進められることになり、生物多様性は保全できない。

また既往地区においては、多面的機能支払交付金による地域資源の質的向上を図る活動などによって水域ネットワーク断点の修復が期待されるが、全国的にみても低調である。地域資源管理は内発的な発意が重要であるが、ワークショップなどの場において、外部の眼によって、地元が気づかなかった生態系や生物種の価値が認識され、生態系配慮の取り組みの契機となることは自律の精神に反することではあるまい。

謝辞：いさわ南部地区原川排水路における魚類の移動生態に関しては、農研機構農村工学研究部門の渡部恵司主任研究員にデータを提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 齊藤憲治・片野治・小泉顕雄 (1988)：淡水魚尾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) 端憲二 (1987)：魚類の生息を考慮した水路の改良。農業土木学会誌, 55 (1), 1067-1072.
- 3) 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 (12), 1263-1266.
- 4) 永山滋也・森照貴・小出水規行・萱場祐一 (2012)：水田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 (2), 273-280.

- 5) 片野修 (1999)：水田・農業水路の魚類群集。江崎保男・田中哲夫 (編), 水辺環境の保全—生物群集の視点から—, 朝倉書店, 東京, 67-79.
- 6) 端憲二 (1998)：水田灌漑システムの魚類生息への影響と今後の展望。農業土木学会誌, 66 (2), 143-148.
- 7) 中村智幸・尾田紀夫 (2003)：栃木県那珂川水系の農業水路における遡上魚類の季節変化。魚類学雑誌, 50 (1), 25-33.
- 8) 田中道明 (1999)：水田周辺の水環境の違いがドジョウの分布と生息密度に及ぼす影響。魚類学雑誌, 46 (2), 75-81.
- 9) Naruse, M. and 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.
- 10) 皆川明子・千賀祐太郎 (2007)：水田を繁殖場とする魚類の水田からの脱出に関する研究。農業土木学会論文集, 247, 83-9.
- 11) 森淳・渡部恵司・小出水規行・竹村武士 (2016)：生息環境が共通する水田を用いた水田魚道による再生産効果。農業農村工学学会誌, 84 (8), 35-39.
- 12) 堀川直紀・吉田武郎・増本隆夫 (2011)：中干しが灌漑地区の取水パターンへ及ぼす影響の事例分析。農工研技報, 211, 109-119.
- 13) 守山拓弥・藤咲雅明・水谷正一・後藤章 (2006)：新設された魚道における魚類の遡上が上流の農業用小河川の魚類相におよぼす影響。農業土木学会論文集, 74 (5), 805-806.
- 14) 農林水産省 (2007)：農林水産省生物多様性戦略, 23.
- 15) 神宮宇寛・近藤正・沢田明彦・森誠一 (1999)：小規模湧泉におけるイバラトミヨの生息と保全。応用生態工学, 2 (2), 191-198.
- 16) 神宮宇寛・森誠一・柴田直子 (2003)：維持管理事業がイバラトミヨの営巣環境に与える影響。応用生態工学, 5 (2), 169-177.
- 17) 広瀬慎一・瀧本裕士・渡辺直美・樋口昌隆 (2006)：玄手川の生態系保護区におけるトミヨの生息状況。農業土木学会誌, 74 (9), 821-825.
- 18) 柿野亘・藤咲雅明・水谷正一・後藤章 (2006)：小貝川上流の谷津における魚類・両生類の生息と水域特性との関係。農業土木学会論文集, 241, 123-131.
- 19) 柿野亘・水谷正一・藤咲雅明・後藤章 (2006)：谷津内に生息する魚類の分布とそれを支配する要因の推定。農業土木学会論文集, 246, 1-8.
- 20) 柿野亘・水谷正一・藤咲雅明・後藤章 (2007)：利根川水系小貝川上流域の谷津内水路の魚類の生息密度に影響を与える環境因子の期別変化。農業土木学会論文集, 247, 19-29.
- 21) Katano, O., Hosoya, K., Iguchi, K. and Yamaguchi, M. (2003): Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rise field, Environmental Biology of Fishes, 66, 107-121.
- 22) 竹村武士・小出水規行・奥島修二・山本勝利・相賀啓尚 (2006)：谷津田域におけるタモロコの移動と分散—個体識別法による追跡調査—, 農業工学研究所技報, 204, 33-41.
- 23) 西田一也・藤井千晴・皆川明子・千賀祐太郎 (2006)：一

- 時的水域で繁殖する魚類の移動・分散範囲に関する研究, 農業土木学会論文集, 244, 553-565.
- 24) 森淳 (2007): 水田生態系の特徴, 水田生態工学入門, 水谷正一編著, 農文協, 23-24.
- 25) 環境省 (2003): 改訂 日本の絶滅のおそれのある野生生物 4 汽水・淡水魚類編, 財団法人 自然環境研究センター
- 26) 端憲二・竹村武士・本間新哉・佐藤政良 (2001): 流れにおけるメダカの遊泳行動に関する実験的考察, 農業土木学会誌, 69 (6), 987-992.
- 27) 竹村武士・小出水規行・奥島修二・山本勝利・加藤敬 (2004): メダカの群泳を可能とする小水路の物理環境を探索, 農業技術, 59 (7), 316-321.
- 28) 阿部勝一郎・福田信二・平松和昭・森牧人・四ヶ所四男美 (2005): 農業用水路におけるメダカの環境選好性の定量化, 九大農芸誌, 60 (2), 173-178.
- 29) 松澤真一・水谷正一・森淳・後藤章一 (2008): 谷津内水路を中心とした環境に生息する生物群集の安定同位体比, 農業農村工学会論文集, 254, 11-21.
- 30) Mori, A. (2007): Behavior of Stable Isotope Ratios of Attached Matter in a Drainage Canal, Japan Agricultural Research Quarterly, 41(2), 133-138.
- 31) 松澤真一 (2005): 安定同位体比法の谷津内食物網への適用, 宇都宮大学大学院修士論文
- 32) 片野修・馬場吉弘・大原均・河村功一・佐藤正人・熊谷雅之・竹内基・伊藤正一・富樫繁春・井上信夫 (2014): 国内外来魚カワムツ *Nipponocypris temminckii* の分布拡大魚類学雑誌 61 (2): 97-103
- 33) 松崎慎一郎 (2013): 湖沼におけるコイの水質や生物群集に与える生態学的影響, 見えない脅威“国内外来魚”どう守る地域の生物の多様性, 日本魚類学会自然保護委員会編, 東海大学出版会, pp39-50.
- 34) 馬淵浩司・瀬能宏・武島弘彦・中井克樹・西田睦 (2010) 琵琶湖におけるコイの日本在来 mtDNA ハプロタイプの分布, 魚類学雑誌, 57 (1), 1-12.
- 35) Nishida, K., Koizumi, N., Satoh, T., Senga, Y., Takemura, T., Watabe, K. and Mori, A. (2014): Influence of the domestic alien fish *Rhynchocypris oxycephalus* invasion on the distribution of the closely related native fish *R. lagowski* in the Tama River Basin. Japan Landscape and Ecological Engineering. Published online.
- 36) 小出水規行・渡部恵司・高振麗・水谷正一・森淳・竹村武士 (2008): マイクロサテライト DNA を用いた栃木県小貝川上流域のホトケドジョウ集団の予備遺伝解析, 農業農村工学会論文集, 256, 55-61.
- 37) Koizumi, N., Takahara, T., Minamoto, T., Dpi, H., Mori, A., Watabe, K. and Takemura, T. (2015): Preliminary experiment for detection method of fish inhabiting. Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal. 297: IV_7-IV_8.
- 38) 森晃 (2013): 小河川における超音波テレメトリーを用いたナマズの行動解析, 応用生態工学, 16 (1), 23-35.
- 39) 森淳・水谷正一・高橋順二 (2008): 水田生態系の特徴と変質—水田生態工学の視点から—, 農業農村工学会論文集, 254, 127-137.
- 40) 農林水産省農村振興局 (2015): 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針, http://www.maff.go.jp/j/nousin/keityo/kankyo/pdf/shishin_all.pdf
- 41) 森淳 (2001): 生態系に配慮したほ場整備の設計事例とその背景, 水と土, 127, 90-97.
- 42) 水谷正一 (2000): ドジョウの水田への遡上, 農村と環境, 16, 70-76.
- 43) 森淳・渡部恵司・小出水規行・竹村武士 (2016): タイムラプス・赤外線機能付きカメラを用いた生息環境モニタリング, 農業農村工学会誌, 84 (6), 57-62.
- 44) 鈴木正貴・水谷正一・後藤章 (2004): 小規模魚道による水田, 農業水路および河川の接続が魚類の生息に及ぼす効果の検証, 農業土木学会論文集, 234, 59-69.
- 45) 森淳・渡部恵司・小出水規行・竹村武士 (2016): 農業水路に設置した粗石付き斜路式魚道の効果, 農業農村工学会誌, 84 (9), 787-790.
- 46) 西村圭市・武田育郎・福島晟・宗村広昭 (2006): 農業排水路における水生動物の多様性と環境因子との関係, 農業土木学会論文集, 242, 99-105.
- 47) 松井明・佐藤政良 (2005): 整備済み水田用排水路系における水生生物の選択的保全対策, 農業土木学会誌, 73 (4), 277-280.
- 48) 斉藤憲治 (1997): 淡水魚の繁殖場所としての一時的水域, (監修) 日本魚類学会, 日本の希少淡水魚の現状と系統保存—よみがえれ日本産淡水魚—, 緑書房, 201.

Keywords: 1) paddy ecosystem, 2) freshwater fish, 3) aquatic networks, 4) agricultural infrastructure improvement and rural development Project, 5) environment consideration