特集：水田・水路生態系における魚類研究の現状と課題

総説 Review

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

永山 滋也^{1)*}・森 照貴¹⁾・小出水 規行²⁾・萱場 祐一¹⁾

1) 独立行政法人 土木研究所 自然共生研究センター 〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地

2) 農村工学研究所 〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6

Shigeya NAGAYAMA^{1)*}, Terutaka MORI¹⁾, Noriyuki KOIZUMI²⁾,
Yuichi KAYABA¹⁾: Importance and perspective of study on fish in paddy
fields and canals. *Ecol. Civil Eng.* 15(2), 273-280, 2012.

1) Aqua Restoration Research Center, Public Works Research Institute, Kasada,
Kawashima, Kakamigahara, Gifu 501-6021, Japan2) NARO Institute for Rural Engineering, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki
305-8609, Japan

Abstract: This study provides basic information to increase understanding of study on fish ecology in a paddy field (including agricultural canal) and proposes future issues of the study field based on a short review. First, we identify fish species that spawn in paddy fields in the Kiso River system and emphasize the importance of paddy fields for fish communities and populations. Second, we describe features of irrigation and river networks, structures of paddy field and canal, and irrigation methods. Finally, we review and classify previous studies on fish ecology in paddy fields and propose future issues.

Key words: agroecosystem, fish community and population, irrigation and drainage canal, floodplain, fish ecology

はじめに

水田地帯は、主に河川氾濫原を改変して造成された人工的な土地であるが、そこは二次的自然として多様な生物の生息場となっている (Washitani 2007)。もともと河川氾濫原に依存した生活史を持つ多くの魚類は、現在、生活段階に応じて、あるいは生活史全般を通して、水田や水路を氾濫原に代わる生息場として利用している (Nagata & Nakata 1988; 斉藤ほか 1988; 片野ほか 2001; 岩田 2006; Suzuki et al. 2008; Onikura et al. 2009)。こうした数多くの研究から、水田と水路は魚類群集にとって重要な環境要素であるとの認識が、現在では広く定着している。

しかし、昭和 24 年の土地改良法制定以降、圃場整備や農業用水の管理形態の変化に伴い、魚類群集を含む水田・水路の生態系は急速に劣化しており (端 1987; Hata 2002)、その保全および再生は生態学的にも社会的にも大きな課題となっている (Washitani 2007)。こうした状況を背景として、これまで特に国内において、水田と水路における魚類生態に関する研究が多数行われてきた (小出水ほか 2012)。しかし、その生息環境や群集の劣化には十分な歯止めがかかっているとは言えない。今後、水田や水路における魚類群集の効率的な保全、再生を図るためには、これらの知見を集約し、研究の現状と課題を把握することが欠かせない。

本論は、小特集「水田・水路生態系における魚類研究の現状と課題」における議論に先立ち、その理解を補助する基礎情報と、既存研究の内容の整理ならびに今後の

2012 年 1 月 23 日受付, 2012 年 8 月 5 日受理

*e-mail: s-naga77@pwri.go.jp

課題を提示するものである。最初に、木曽川水系の魚類群集を例として、水田や水路を産卵場として利用する魚種についてまとめた。これは、流域を単位とした魚類群集の形成や維持に対し、水田と水路が果たす役割の一端を示すために行った。こうした広い空間スケールに水田や水路を位置付け、魚類群集や個体群を議論することは重要である。なぜなら、水田と水路は河川を含む水域ネットワークの構成要素の1つであり、魚類は季節や生活段階に応じて要素間を移動し、利用場所を変化させているからである（中村・尾田 2003；Suzuki et al. 2008；Uchida and Inoue 2010）。

続いて、研究対象地の特性や連結性に関する理解を助けるために、水田地帯における灌漑手法を紹介するとともに、水田、水路、ならびに水域ネットワークの構造をまとめた。最後に、水田地帯における魚類研究が対象としてきた研究内容を分類し、今後求められる研究課題について議論した。

水田と水路で産卵する魚類：木曽川水系の事例

木曽川水系は木曽川、長良川、揖斐川の3河川からなり、9100 km²の流域面積を持つ。幹線流路延長は木曽川が229 km、長良川が166 km、揖斐川が121 kmであり、いずれも一級河川である。各河川ともに、山地溪流から峡谷を経て濃尾平野に至り、広大な扇状地と沖積低地を発達させ伊勢湾に注ぐ。このような流程に沿った典型的な環境傾度とそれに対応した多様な魚類相を有することから、木曽川水系は流域全体の魚類群集の中で、氾濫原（水田と水路）依存の魚類の特徴を理解するのに適している。

駒田・小椋（1995）、水辺の国勢調査（ダム版 2001、河川版 2004）、岸・徳原（2012）、環境省レッドリスト（環境省自然環境局野生生物課、http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html）を用いて木曽川水系に出現する魚種を整理し、中村（1969）と川那部・水野（1995）を参考にし、繁殖特性についてまとめた。まとめた内容の一部は森（2012）で紹介されているが、ここでは、それに一部修正を加えて用いた。その結果、木曽川水系の淡水域で産卵する在来種は12科34属52種であり、そのうち氾濫原依存の繁殖特性は5科17属23種と約半数の魚種に認められた（Table 1）。また、23種中17種は水田や水路を産卵場として利用可能な種であり（宮地ほか 1976；斉藤ほか 1988；川那部・水野 1995；金尾 2005；Maehata 2007）、23種中11種は環境省レッドリストの絶

滅危惧種（絶滅危惧 IA 類：CR、絶滅危惧 IB 類：EN、絶滅危惧 II 類：VU）もしくは準絶滅危惧種（NT）に指定されていた（Table 1）。木曽川水系の淡水域で繁殖する全52種には、絶滅危惧 I 類（IA 類と IB 類）が9種含まれている。そのうち7種はTable 1に記載されており、氾濫原依存の繁殖特性を持っている（他の2種はハリヨ *Gasterosteus aculeatus leiurus* とネコギギ *Pseudobagrus ichikawai*）。さらに、その7種中5種は水田や水路を産卵場として利用可能である（Table 1）。以上の事実は、氾濫原に再生産の場を依存する魚種の生存が国内において脅かされていることを示すとともに、氾濫原が堤防間の狭い範囲（堤外地）に限定される現在において、水田や水路が代替の産卵場として重要な役割を持つことを示唆する。

氾濫原依存の繁殖特性を持つ23魚種の内訳は、コイ科（Cyprinidae）16種、ドジョウ科（Cobitidae）4種、ナマズ科（Siluridae）、メダカ科（Adrianichthyidae）、ハゼ科（Gobiidae）が各1種であり、コイ科が大半を占める（Table 1）。また、コイ科タナゴ属のイタセンパラ（*Acheilognathus longipinnis*）を除く22種の産卵期は春から夏（3月～8月）であり、氾濫原で産卵する多くの魚類がアジアモンスーン気候下の多雨期に産卵期を持つことを端的に示している。つまり、氾濫原で産卵する魚類は、増水により移動し易くなった水域や一時的に創出された水域を産卵に利用するという特性を進化的に獲得していると考えられる。一方、この時期は稲作の灌漑期であり、水田と水路には豊富に水が存在する。つまり、産卵が行われる多雨期と、水田および水路に水が引き入れられる灌漑期が合致しており、これが水田と水路を魚類が産卵場として利用できる根本的な理由であると考えられる。さらに、発達した水路網は、多数の魚種が狭い堤外地から広い堤内地へ産卵場を求めて移動することを可能にし、広範囲に亘って次世代を残すことに貢献していると考えられる。

水田・水路と水域ネットワークの構造と変遷

水田に取り入れるための水を“用水”、水田で利用し終えた水を“排水”という。水田と水路を構成要素とする水域ネットワークは、用水源の違いから3つの典型的なパターンに区分可能である（Fig. 1）。そして、実際のフィールドでは、これらのパターンが混在して、地域の水域ネットワークを形成していることが多い。例えば、岐阜県関市の市街地を中心とした地域では、長良川と津

Table 1. List and spawning site of native fish that oviposit in floodplain in the Kiso River system, and category in the red data book by the Ministry of the Environment of Japan (JRDB). The abbreviations are as follows in order of higher extinction risk: CR, critically endangered; EN, endangered; VU, vulnerable; NT, near threatened. 木曾川水系において氾濫原で産卵する在来種のリストと農地内での産卵場および環境省レッドリストにおけるカテゴリー。略語は、絶滅リスクの高い順に、絶滅危惧 IA 類 (CR), 絶滅危惧 IB 類 (EN), 絶滅危惧 II 類 (VU), 準絶滅危惧種 (NT)。

Family	Species	Japanese name	Spawning site		Category of JRDB
			Paddy	Canal	
Cyprinidae	<i>Nipponocypris temminckii</i>	Kawamutsu		○ ^{*1}	
	<i>Nipponocypris sieboldii</i>	Numamutsu		○ ^{*1}	
	<i>Hemigrammocypripis rasborella</i>	Kawabatamoroko	○		EN
	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	Tamoroko	○	○	
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Motsugo			
	<i>Pseudorasbora parva pumila</i> subsp.	Ushimotsugo			CR
	<i>Sarcocheilichthys variegatus variegatus</i>	Kawahigai		○	NT
	<i>Biwia zezera</i>	Zezera			
	<i>Hemibarbus barbus</i>	Nigoi			
	<i>Cyprinus carpio</i>	Koi	○	○	
	<i>Carassius auratus langsdorffii</i>	Ginbuna	○	○	
	<i>Tanakia lanceolata</i>	Yaritanago		○	NT
	<i>Tanakia limbata</i>	Aburabote		○	NT
	<i>Acheilognathus longipinnis</i>	Itasenpara		○	CR
	<i>Acheilognathus cyanostigma</i>	Ichimonjitanago		○	CR
	<i>Acheilognathus tabira tabira</i>	Shirohiretabira		○	EN
Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Dojo	○	○	
	<i>Cobitis</i> sp. 2	Kogatasujishimadojo		○	EN ^{*2}
	<i>Cobitis biwae</i>	Shimadojo		○	
	<i>Lefua echigonia</i>	Hotokedojo			EN
Gobiidae	<i>Silurus asotus</i>	Namazu	○	○	
Adrianichthyidae	<i>Oryzias latipes</i>	Medaka	○	○	VU
Siluridae	<i>Gymnogobius urotaenia</i>	Ukigori			

^{*1} Based on Nakamura (1969) when the two species of *Nipponocypris* were considered as the same species.

^{*2} *Cobitis* sp.2 subsp.2 (Tokaikogatasujishimadojo), a predominant species of *Cobitis* sp.2 in the Kiso River system, is categorized as EN.

保川を用水源とする 2 つの経路と、ため池やパイプラインを用水源とするいくつかの経路が組み合わさって、1 つのネットワークを形成している (Fig. 2)。

用水源の違いによる水域ネットワークのパターンの 1 つは、用水源が河川水のもので、取り入れられた水は用水路を通して水田に達し、排水路を通して再び河川に戻る (Fig. 1a)。取水量を多く確保できるため、広いエリアに適用されている (Fig. 2)。2 つ目は、ため池を用水源とするパターンであるが、用水源が違うというだけで基本的には河川用水のパターンと同じネットワーク構造を持つ (Fig. 1b)。ただし、一般に河川用水ほど広範囲をカバーする水量は持ち得ないため、1 つのため池から発するネットワークはその下流の狭い地域に限定さ

Fig. 1. Pattern diagrams of irrigation network that the source of irrigation water is a) river, b) pond, and c) faucet.

用水源の異なる水域ネットワークの模式図。a) 河川, b) ため池, c) 給水栓。

Fig. 2. River and irrigation network around urban area of the Seki City, Gifu Prefecture. A number of canals that drain irrigation water from rivers, ponds, and faucets are shown.

岐阜県関市の市街地付近における水域ネットワーク。河川、ため池、給水栓を用水源とする水路が混在する。

れる (Fig. 2). 3 つ目のパターンとして、用水路のパイプライン化があげられる (Fig. 1c). このパターンでは、水田脇に設置された給水栓が見かけ上の用水源であり、地表部に用水路を持たないネットワーク構造となる。水路や各水域間に段差などの断点がないと仮定すれば、河川用水パターン (Fig. 1a) は上下流双方向への魚類の移動に制限がないネットワーク構造であり、ため池と給水栓が用水であるパターン (Fig. 1b, c) では、それらが移動限界となる構造である。

水路は規模や位置に応じて、大きいほうから順に、幹線用 (排) 水路、支線用 (排) 水路、末端用 (排) 水路と呼び分けられることが多い。河川用水によるネットワーク (Fig. 1a) を例にすると、幹線用 (排) 水路は直接河川に接続する位置にあり、末端用 (排) 水路は水田脇、支線用 (排) 水路はその中間に位置する。

河川とため池を用水源とするネットワーク (Fig. 1a, b) には、“用排兼用水路”と“用排分離水路”を用いた 2 つの灌漑手法が見られる。明治時代から昭和 24 年の土地改良法制定に至るまで主流であったのが、用排兼用水路による灌漑である (端 1985)。この灌漑手法では、水田から出る排水は取水元の同じ水路に戻される。水路と

水田間の水の出し入れは、板などで水路の水位を調節することにより行う。そのため、水田と水路の高低差は小さく設定せねばならず、降雨による増水でも容易に水路から越流し、水田が冠水する。また、自然の地形勾配に従うため、多くの場合、河川と水路の間に大きな段差は生じず、水域の連続性は高い。現存する用排兼用水路でもよく観察されるが、水路は素掘りで緩やかに蛇行し、縦横段形状は不均質 (多様) である。また、水路底は泥や砂礫からなり、側岸地形は起伏に富み、水路内や側岸に草本植生が繁茂する (Fig. 3a)。このような特徴から、用排兼用水路とそれに接続する水田は魚類生息場として高い機能を有するが、次に述べるように、現在では用排分離水路への転換に伴い、その機能は著しく劣化している (片野ほか 2001; Katano et al. 2003)。

用水と排水を分離した用排分離型の灌漑は、現在、最も普及している手法である (端 1987; Hata 2002)。この灌漑手法は、河川やため池から水田に至る用水路と水田から河川に至る排水路の役割を明確に分け、排水機能を向上させ、水田の乾田化を可能にする。そのため、水田と水路の間に高低差を生じ、水域間の連続性を喪失させる (端 1987; Hata 2002)。また、用排分離型への整備と

Fig. 3. Typical types of canal: a) earth canal, b) concrete canal, and c) bank-lined canal with natural bed materials. 典型的な水路タイプ：a) 土水路, b) コンクリート水路, c) 柵渠（柵工）.

同時に、排水機能や維持管理の向上を目的として、水路の直線化や3面コンクリート化が進められた。そのため、用排兼用水路とは対照的に、土砂の堆積は稀もしくは少なく、側岸および水路の線形や縦横段形状は均質（一様）

で、水路内には植生がほとんど繁茂できない (Fig. 3b)。また、3面コンクリート張りにしないまでも、水路側面をコンクリート等のパネルで保護し、両側面のパネルを一定間隔のアームで固定する柵渠（サッキョ）または柵工（サッコウ）も広く用いられている (Fig. 3c)。これは、水路底の広範囲にわたって土砂が維持されるが、その他の構造は3面コンクリート水路とほぼ同様である。

上記以外の灌漑手法としては、より古くから実践されているものとして田越し灌漑があり、現在も各地で見られる。これは、小さな谷筋に階段状に水田（谷津田、谷地田など呼称は様々）を整備し、沢水を引き込んで、上流の水田から下流の水田へと水を落としていく方法である。この場合、水路がないため魚類の生息場はほぼ水田に限られるが、そこでの魚類の生息量や多様性は、用排兼用水路に接続する水田と同様に高いことが知られている（片野ほか 2001）。また、田越し灌漑では、谷筋の最下端の水田は排水路を介して河川とつながる水域ネットワークが形成される。

かつて、水路の水は生活用水など稲作以外の用途にも使われていたため（端 1985）、通年にわたり通水されるケースが多かった。しかし、上水設備の整った現在では、生活用水としての役割は多くの地域で喪失し、河川との水利権の調整もあって、非灌漑期には取水を止め水が涸れてしまう水路が多い。また、排水機能が低い用排兼用型の灌漑を行っていた時代は、水田は湿潤（湿田）であったが、現在は農業用機械を用いた生産性向上を目的に用排分離型の下で乾田化されており、灌漑期以外は乾いた状態となっている。

以上のような灌漑・水利方法の発展に伴い、水田・水路や水域ネットワークの構造が著しく変化するとともに、水田地帯が持つ魚類生息場としての機能は劣化してきた。例えば、直線化やコンクリート化された水路は、物理的な多様性の喪失により、魚類の生息が困難になっている（Katano et al. 2003；Kano et al. 2010；永山ほか 2012）。水路のコンクリート化や拡幅に伴う過度な底泥の堆積は、イシガイ科二枚貝（Unionoida）の生息を制限し（根岸ほか 2008；Akiyama & Maruyama 2010）、それを産卵基質とするタナゴ類にも間接的に悪影響を及ぼすことが懸念される（Terui et al. 2011；永山ほか 2012）。用水供給の効率化を目的とした用水路のコンクリート化や非灌漑期の取水制限は、魚類の生息可能性を排水系統に偏らせている（端 1985）。水田と水路、水路と河川の間に生じる落差は魚類の移動を制限し、分布の拡大、産卵や生育の機会を喪失させ、個体群の劣化を引き起こしていると

考えられる（片野ほか 2001；Kano et al. 2010；Katayama et al. 2011；Matsuzaki et al. 2011）．そして，こうした魚類への影響は，食物網を介して水生生物群集全体に及ぶだけでなく（Yamazaki et al. 2010；Nishimura et al. 2011），魚類を餌とする陸生生物にも波及し（Lane and Fujioka 1998），農地生態系を変化または劣化させていると考えられる．

水田，水路における魚類研究と今後の展望

生態学やその応用・保全本分野，農業土木や工学分野を含む査読付き論文 107 本を対象として，水田と水路における魚類研究を整理し，次のように分類した（Table 2）：①物理環境と魚類の生息量や多様性との関係（生息環境 habitat），②水域間移動や水域内での魚類の出現傾向（移動 migration），③特定の魚類の生態特性（生態特性 ecological characteristic），④魚類を含む生物間の相互関係（生物間相互作用 interaction），⑤その他（その他 others）．さらに，「①生息環境」と「②移動」については，検討対象とする空間スケールに応じて，点（point），線（line），ネットワーク（network），面（area）に分け

て捉えることができる（Table 2）．ここで，「点」の研究には，特定の場所を対象とした「①生息環境」に関する研究が主に該当し，「線」には特定水域内の「②移動」に関する研究が相当する．「ネットワーク」に関する研究は，水域間の連結性や魚類の移動に関するものであり，「面」の研究には，土地利用や景観を解析単位としたものが該当する．

各研究項目の概要として，「①生息環境」では，水田，水路，ため池等における魚類の生息量や多様性に影響を与える物理環境，水域間の連結性，環境配慮型の施工事例，生息環境ポテンシャルが評価されている（Table 2）．「②移動」では，水路内や水域間の移動，季節や生活段階に応じた移動，水管理と移動との関係，魚道が検討されている（Table 2）．「③生態特性」では，生活史全般を水田や水路に依存する魚類の生活史，繁殖生態，食性，遺伝子に関して，「④生物間相互作用」では，魚類の採餌によるカスケード効果，食物網，外来生物，鳥類との関係が扱われている（Table 2）．「⑤その他」では，米の収量や農薬の使用と魚類との関係などについての取り組みが見られる（Table 2）．なお，研究内容の詳細や引用文献については，小特集内の小出水ほか（2012）を参

Table 2. Classification of studies on fish ecology in paddy field and canal, and spatial scale examined for each study subject.

水田・水路における魚類研究の分類と検討対象となる空間スケール．

Classification	Study subject	Spatial scale			
		Point	Line	Network	Area
①Habitat	Habitat characteristic	○			○
	Connectivity	○	○	○	
	Restoration	○			
	Habitat potential			○	○
②Migration	Migration pattern		○	○	
	Migration timing		○	○	
	Fish passage		○		
③Ecological characteristic	Life history				
	Reproductive ecology				
	Diet				
	Gene				
④Interaction	Cascade effect				
	Food web				
	Invasive species				
	Terrestrial organism				
⑤Others	Yield				
	Pesticide				

考にされたい。

このように、水田と水路における魚類研究は様々な展開を見せているが、得られた知見が個体群や群集の形成・維持に結び付かず、有効な保全策を講じるまでには至っていない。また、環境配慮型の施工事例や魚道（Table 2 の“restoration”，“fish passage”）の評価に関する報告も、施工箇所のみにおける魚類の生息量や遡上数の把握などに留まっている。今後については、例えば、「①生息環境」や「②移動」に関する「点」や「線」の情報を「ネットワーク」上に位置づけ、個体群や群集を維持するために必要な生息場の量や配置、連結性を検討することが必要である。そして、そのような視点から地域における水田水路のあり方が検討され、整備されることが望まれる。また、土地利用から生息環境ポテンシャルを評価する研究（「面」の研究）は、広域エリアから保全対象地を選定したり、再生対象地の優先性を検討したりする際に有効であるが、未だ検討例は少ないうえ、地域も限定されていることから、今後より一層の発展が望まれる分野と考えられる。

謝 辞

本論を執筆する機会と助言をいただいた本特集の関係各位に深謝いたします。査読者からは建設的かつ有意義な意見をいただいた。本論は環境省の公害防止等試験研究費の助成を受けて行った研究の一環である。

摘 要

本論は、小特集「水田・水路生態系における魚類研究の現状と課題」における議論に先立ち、その理解を補助する基礎情報と、既存研究の内容の分類ならびに今後の課題を提示した。まず、木曽川水系を例として、氾濫原および水田や水路を産卵場として利用する魚種を整理し、流域全体の魚類群集に果たす水田地帯の重要性を示した。次に、水田地帯における典型的な水域ネットワークの構造、水田と水路の構造、灌漑手法、ならびにそれらの変遷を整理し、水田地帯における水域特性に関する基礎情報を提供した。最後に、水田地帯の魚類に関する既存研究の内容を分類するとともに、既存研究が対象としてきた空間スケールに関連付けて、今後の課題を提示した。

引用文献

Akiyama Y.B., & Maruyama T. (2010) Habitat characteristics

- influencing distribution of the freshwater mussel *Pseudunio japonensis* and potential impact on the Tokyo bitterling, *Tanakaia tanaka*. *Zoological Science* **27**: 912–916.
- 端憲二 (1985) 農業水路の魚類保護について. *淡水魚* **11**: 64–72.
- 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**: 1067–1072.
- Hata K. (2002) Perspectives for fish protection in Japanese paddy field irrigation systems. *Japan Agricultural Research Quarterly* **36**: 211–218.
- 岩田明久 (2006) アユモドキの生存条件について水田農業の持つ意味. *保全生態学研究* **11**: 133–141.
- 金尾滋史 (2005) 琵琶湖周辺の水田地帯における魚類について. *関西自然保護機構会誌* **27**: 41–46.
- Kano Y., Kawaguchi Y., Yamashita T., & Shimatani Y. (2010) Distribution of the oriental weatherloach, *Misgurnus anguillicaudatus*, in paddy fields and its implications for conservation in Sado Island, Japan. *Ichthyological Research* **57**: 180–188.
- 片野修・細谷和海・井口恵一朗・青沼佳方 (2001) 千曲川流域の3タイプの水田間での魚類相の比較. *魚類学雑誌* **48**: 19–25.
- 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.
- Katayama N., Saitoh D., Amano T., & Miyashita T. (2011) Effects of modern drainage systems on the spatial distribution of loach in rice ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **21**: 146–154.
- 川那部浩哉・水野信彦 (1995) 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京.
- 岸大弼・徳原哲也 (2012) 飛騨地方南部の飛騨川支流群における魚類相. *岐阜県河川環境研究所研究報告* **57**: 1–10.
- 駒田格知・小椋郁夫 (1995) 揖斐川上流域、横山ダム湖周辺における魚類の分布について. *淡水魚類研究会会報* **1**: 1–42.
- 小出水規行・西田一也・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.
- Lane S.J., & 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.
- Maehata M. (2007) Reproductive ecology of the Far Eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan. *Environmental Biology of Fishes* **78**: 135–146.
- Matsuzaki S.S., Terui A., Kodama K., Tada M., Yoshida T., & Washitani I. (2011) Influence of connectivity, habitat quality and invasive species on egg and larval distributions and local abundance of crucian carp in Japanese agricultural landscapes. *Biological Conservation* **144**: 2081–2087.
- 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦 (1976) 原色日本淡水魚類図鑑. 全改定新版. 保育社, 大阪.
- 森照貴 (2012) 陸水での群集生態学 (4) —洪水パルス仮説 (下) —. *陸の水* **53**: 11–18.
- Nagata Y. & Nakata Y. (1988) Distribution of six species of bit-

- terlings in a creek in Fukuoka Prefecture, Japan. Japanese Journal of Ichthyology **35**: 320–331.
- 永山滋也・根岸淳二郎・久米学・佐川志朗・塚原幸治・三輪芳明・萱場祐一 (2012) 農業用の水路における季節と生活史段階に応じた魚類の生息場利用. 応用生態工学 **15**: 147–160.
- 中村守純 (1969) 日本のコイ科魚類. 財団法人資源科学研究所, 東京.
- 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**: 25–33.
- 根岸淳二郎・萱場祐一・塚原幸治・三輪芳明 (2008) 指標・危急生物としてのイシガイ目二枚貝: 生息環境の劣化プロセスと再生へのアプローチ. 応用生態工学 **11**: 195–211.
- 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.
- Onikura N., Nakajima J., Kouno H., Sugimoto Y. & Kaneto J. (2009) Habitat use in irrigation channels by the golden venus chub (*Hemigrammocypris rasborella*) at different growth stages. Zoological Science **26**: 375–381.
- 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.
- Suzuki T., Kobayashi T. & Ueno K. (2008) Genetic identification of larvae and juveniles reveals the difference in the spawning site among Cyprininae fish species/subspecies in Lake Biwa. Environmental Biology of Fishes **82**: 353–364.
- Terui A., Matsuzaki S.S., Kodama K., Tada M., & Washitani I. (2011) Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (*Tanakia lanceolata*) in agricultural canal networks: strong attachment to its potential host messels. Hydrobiologia **675**: 19–28.
- Uchida Y. & Inoue M. (2010) Fish species richness in spring-fed ponds: effects of habitat size versus isolation in temporally variable environments. Freshwater Biology **55**: 983–994.
- Washitani I. (2007) Restoration of biologically-diverse floodplain wetlands including paddy fields. Global Environmental Research **11**: 135–140.
- 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 Science **76**: 207–217.