特集 田んぼのいきものをどうやって守っていくか?—水田水域における多様な生物の保全と再生—

総説 REVIEW

伝統的な水田水域と整備済みの水田水域における魚類の繁殖と保全

皆川 明子*

滋賀県立大学環境科学部 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500

Akiko MINAGAWA*: Fish breeding and conservation in traditional and land consolidated paddy water areas. *Ecol. Civil Eng.* 24(1), 111-126, 2021*School of Environment, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone, Shiga 522-8533, Japan*

Abstract: This paper reviews fish breeding in paddy field water areas and discusses the relationship between the development level of paddy field water areas and fish breeding in floodplains and compares the frequency of flooding. Traditional paddy field water areas include water bodies with diverse environments and hierarchies. Owing to their low drainage capacities, widespread flooding occurs in paddy fields when it rains. Accordingly, fish have several opportunities to move from rivers and other sources to paddy field water areas to breed. Conversely, the characteristics of consolidated paddy field water areas as a floodplain water area are likely to be significantly altered by the reduction in channel density, the fragmentation of water areas owing to enhanced drainage capacity and drop-offs, and the associated simplification of the hierarchical structure and channel environment. Most paddy fields are privately owned, are primarily maintained by farmers, and used as a place of livelihood. This makes it difficult to conserve organisms, including fish, in these fields. Therefore, here in, a case study of the three types of fish conservation measures is presented: 1) the installation of fishways after the project is completed, 2) focusing on waterlogging in fallow fields and creation of biotopes, and 3) the conservation of traditional paddy fields in suburban areas. Finally, the method used in the conservation of fish in paddy field water areas is discussed on the basis of recent changes in social conditions.

Key words: floodplain, hierarchy of paddy water area, maintenance and management, biotope, suburban area

はじめに

日本において河川の氾濫原の後背湿地は多くが水田として開発されてきた。水田および用排水路やため池などを含む、いわゆる「水田水域」と呼ばれる水域は、後背湿地の代償湿地として、氾濫原の水環境に依存した生態をもつ魚類にとって重要であることが知られている（斉藤ほか 1988 など）。概ね梅雨の時期になると河川等の水源から農業用水が取水されて水田を灌漑し、排水は河

川ないし海域へと流出する。流量は一般に灌漑期に多く非灌漑期に減少し、大部分の水田は非灌漑期に水を落としている。こうした水路の流量、水域の広がりの変化は、雨季に河川本流の流量が増加して一時的な水域が湛水し、その後の流量の減少に応じて一時的な水域が乾燥するサイクルと類似している（守山 1997）。また、耕起や草刈り、水路の藻刈り、泥上げなどによって定期的なく乱が繰り返され、遷移が進むことなく一定の浅い湿地と畦畔の植物群落とが維持されてきた。そのため、日本において河川本流の氾濫原環境が失われる中で、氾濫原環境に依存した生活史をもつ魚類の一部が氾濫原に類似した環境

2020年9月29日受付, 2020年12月29日受理

*e-mail: minagawa.a@ses.usp.ac.jp

を残す水田水域で生き残ってきたと指摘されている（岩田 2006；西尾ほか 2012）。

アジアの主要な氾濫原も、広く水田等に耕作されている（Tockner & Stanford 2002）。メコン川中流部に位置するラオスの氾濫原水域では、コイ目、ナマズ目、スズキ目を中心として 10 目 31 科 158 種もの魚類が確認されている（岩田ほか 2003）。ラオスの氾濫原水域には、恒久的水域のみに出現する種から、耐久卵を持ち水たまりで繁殖する種まで、水田を含む多様な水域に適応した生態を持つ魚類が生息している。また、こうした氾濫原水域に生息する魚類は日本を含むアジア地域において貴重な食料源となり、水域の特徴に応じた多様な漁撈が行われてきた（岩田ほか 2003；安室 2005）。しかし、日本では特に 1960 年代以降、水田水域が大きく改変されたことに伴い、こうした水域に依存した生態を持つ魚類が減少し続けている。さらに近年は農地が遊休・耕作放棄地化したり、あるいは宅地等として開発されたりして水田水域そのものの減少が生じている。歴史的に水田として維持されてきた場所への宅地のスプロール化が止まらず、浸水区域人口は 1995 年から 2015 年までに約 150 万人増加している（秦 2019）。

多くの魚類は、成長段階や生活ステージに応じて異なる環境を使い分けることが明らかにされている（Onikura et al. 2009；永山ほか 2012；門脇ほか 2017 など）。したがって保全を考える上では、成長の各段階において要求される環境に配慮することが必要となるが、本報では特に繁殖に注目して既往の知見の整理を試みた。なお、農業水路における魚類の成長段階・期別の利用環境は中野（2017）に詳しい。また、ため池に関してはカワバタモロコ *Hemigrammocypsis rasborella*、タナゴ類、シナイモツゴ *Pseudorasbora pumila*、ウシモツゴ *Pseudorasbora pugnax* をはじめ希少な淡水魚の生息地、保全地として重要であるが、紙面の制約から整理の対象外とした。ため池を利用する魚類については、満尾ほか（2010）、角田（2017）に詳しいのでこちらをご覧ください。ただし、近年ため池をめぐる制度面に大きな変化があった。地震や豪雨によりため池が被災する事例が相次いだことを背景に、2019 年に「農業用ため池の管理及び保全に関する法律」が、2020 年に「防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法」が制定された。希少な魚類の生息するため池には、権利者等の世代交代に不安があるため池、管理者不明の小規模ため池なども存在すると思われる。立地条件によってはこれまで以上に改廃の可能性が高まる。どのような対応をすべきか、

関係者での議論が始まっている。

氾濫原水域としての水田水域の変化

一般に近代的圃場整備が行われると、水田水域、特に水田内で確認される魚類の種類数や個体数が減少することはよく知られている（Lane & Fujioka 1998；片野ほか 2001；Katano et al. 2003；Fujimoto et al. 2008；Katayama et al. 2011；高取ほか 2020）。氾濫原に依存した繁殖生態を持つ魚類にとって、一時的水域が冠水・干出するタイミング、本流との接続度合い、水没した一時的水域そのものの環境等が原生的氾濫原（Ward & Stanford 1995；永山ほか 2015）と水田水域とでどのように共通し、異なるのか、ということが水田水域への適応の可否を左右するだろう。原生的氾濫原と水田水域を対比すると、洪水時に一時的に冠水する後背湿地が水田と一時的水路に相当し、水位低下後も長期的に安定して水域を保つ河跡湖、沼沢地、クリーク、分流、湧水を起源とする細流が水田水域に存在する恒久的水路や池のような水域に相当すると考えられる。

水田水域は、構造、灌漑排水方式、水利など様々な面において変化してきた。水田水域における魚類の減少は、例えば農薬の使用などそれ以外の要因も含む複合的な作用によるもので、単独の影響を分離することはできない。ただし、概ねこれらは連動して変化してきているため、「伝統的」、「整備済み」という大まかな捉え方の中にそれぞれの変化が内包されると考えられる。以下、本報においては、本来の意味で使用する場合を除き、圃場整備事業という用語を用いず、圃場整備事業や水路護岸の改修工事などを含めた近代的整備が行われた水田水域の状態を「整備済み」と表現する。表 1 は、水田水域における在来種の繁殖に関する報告の中で、水路の構造、灌漑排水方式などの記載があったものを「伝統的」、「整備済み」、「休耕田を再湛水した湿地や水田ビオトープなど」に大まかに分け、繁殖が確認された水域の特徴を整理したものである。なお、地域ごとに具体的な魚類の保全を考える上では、中島ほか（2010）のように、必要とする環境条件を項目として整理することが有用と考える。

水路の構造的な変化と魚類の繁殖

水路の護岸構造は調査対象地の諸元として記載のある論文が多く、土水路、石積みや「伝統的」、三面コンクリートを「整備済み」と区分した。二面コンクリート護岸は、底質が存在すること、植生が生育できることから比較的多くの魚類の繁殖の報告が存在するため、便宜的

に伝統的水域に区分した（表1）。特に護岸よりも灌漑期の水位が高くなる場合には法面の植生が水に浸かって氾濫原の一時的水域らしい良好な繁殖・成育環境が形成されることが指摘されている（鬼倉ほか 2007）。

表1から、伝統的水田水域においてしか繁殖が確認されていない魚類が18種挙げられた。特に土水路は、多様な水深、水際部、抽水・沈水植物、それらが生み出す緩流域、底質および次節で述べる伝統的な灌漑排水方式との相乗効果により、土水路を含む環境で繁殖が見られた種が21種に上った。伝統的水田水域に分類した二面コンクリート護岸の水路では、底質の存在によって産卵母貝の生息が可能であり、タナゴ類の繁殖が多く確認された。コイ *Cyprinus carpio*、ニゴロブナ *Carassius buergeri grandoculis*、ギンブナ *Carassius* sp. に関しては二面コンクリート護岸かつ植生のある水路での繁殖の確認であったが、藤岡ほか（2020）ではコンクリートの側壁にも産着卵が確認されている。

未配慮の整備済みの水田水域において三面コンクリート水路での繁殖が記録されたのはナマズ *Silurus asotus* のみであり、他の5種は全て底質もしくは底質および植生の存在する水路での繁殖であった。三面コンクリート水路であっても、老朽化による粗度の上昇、分土工などの構造物の上流側、A型柵渠のアーム部分などに底質が堆積する状況になると魚類の繁殖場となり得る場合がある（北村 2011）。しかし例示した環境はいずれも水路の

更新事業の際になくなってしまう（より粗度が小さく、通水性能のよい違う構造に変えられてしまう）可能性が高い。ただし、整備済みの水路における魚類の繁殖に関しては研究自体が少ないことも報告数に影響している可能性はある。

灌漑排水方式の変化と魚類の繁殖

表1から、伝統的水田水域において水田での繁殖が確認もしくは推定されている魚類のうち6種（キンブナ *Carassius buergeri* subsp.2, ヒナモロコ *Aphyocypris chinensis*, ヒガシシマドジョウ *Cobitis* sp. BIWAE type C, サンヨウコガタスジシマドジョウ *Cobitis minamorii minamorii*, トウカイコガタスジシマドジョウ *Cobitis minamorii tokaiensis*, アリアケスジシマドジョウ *Cobitis kai-barai*）については、整備済み水田水域では水田での繁殖の報告がなかった。この状況は、ビオトープ等の代替環境においても同様であった。ただし、これらの魚類の生息域で水田への進入を可能にする環境配慮策やビオトープ等の設置が行われていない可能性、事例はあっても研究が行われていないことが原因の可能性もある。

水田での繁殖は、水田と水路との接続状況に大きく依存し、灌漑排水方式の影響を強く受ける。灌漑排水方式は、永山ほか（2012）のように「田越し灌漑」（図1a）, 「用排兼用」（図1b）, 「用排分離」の3つに分類でき、前2つを伝統的と区分した（表1）。「田越し灌漑」は、中山間地だけでなく、かつては低平地でも広く見られた

Fig. 1. Changes in irrigation and drainage systems.
灌漑排水方式の変化.

Table 1. Fishes that have been found to breed in traditional/consolidated paddy field water area and those environments. Threatened II (VU), Near Threatened (NT), Information Deficient (DD).

伝統的／整備済みの水田水域で繁殖が確認された魚類とその利用環境。保全状況は環境省（2020）を参照：絶滅

No.	Species	Traditional paddy water area		Consolidated paddy	
		Permanent water area	Temporal water area	No consideration	
				Permanent water area	Temporal water area
1	<i>Cyprinus carpio</i>	2 + V	M/E + V, 2 + V		
2	<i>Carassius buergeri grandoculis</i>	2 + V			
3	<i>Carassius buergeri</i> subsp.2		P		
4	<i>Carassius</i> sp.	2 + V	E + V, P		
	<i>Carassius</i> spp.				
5	<i>Hemigrammocypripis rasborella</i>	E + V		3 + Substrate + V	
6	<i>Tanakia tanago</i>	E			
7	<i>Tanakia lanceolata</i>	2			
8	<i>Tanakia limbata</i>	E, 2			
9	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	2			
10	<i>Acheilognathus melanogaster</i>	E, 2 + Widening			
11	<i>Acheilognathus longipinnis</i>	E + Dual purpose channel + Rising/Declining water level			
12	<i>Acheilognathus tabira nakamurae</i>	2			
13	<i>Acheilognathus tabira erythropterus</i>	2			
14	<i>Rhodeus smithii</i> subsp.	E?			
15	<i>Rhodeus atremius suigensis</i>	2 + Dual purpose channel			
16	<i>Rhodeus atremius atremius</i>	2			
17	<i>Aphyocypris chinensis</i>		Connectivity between E, P, and Fallow paddy field		
18	<i>Pseudorasbora parva</i>	E + V		3 + Substrate + V	
19	<i>Sarcocheilichthys variegatus variegatus</i>	E		3 + Substrate	
20	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>		P		
21	<i>Abbottina rivularis</i>	E			
22	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		P, M/E + V		3 + Substrate
23	<i>Cobitis</i> sp. BIWAE type C	E	E + P		
24	<i>Cobitis minamorii minamorii</i>		M/E + V, P, Marsh		
25	<i>Cobitis minamorii tokaiensis</i>		E + P		3 + Substrate
26	<i>Cobitis minamorii oumiensis</i>		P		
27	<i>Cobitis striata striata</i>		E + V		
28	<i>Cobitis kaibarai</i>		P		
29	<i>Cobitis magnostrata</i>	E			
30	<i>Lefua echigonia</i>	Spring water + E			
31	<i>Parabotia curtus</i>		M/E + V + Rising water level		
32	<i>Tachysurus tokiensis</i>				
33	<i>Silurus asotus</i>		P, E, M/E + V	3	3 + Substrate
34	<i>Pungitius</i> spp.		Spring water + E + V		
35	<i>Oryzias</i> spp.		P		

3: Concrete revetment with concrete bottom, 2: Two-side concrete revetment, E: Earth ditch, M: Masonry, P: Paddy field, F: Paddy fields with

Conservation status was based on the Ministry of the Environment, Japan (2020): Critically Endangered IA (CR), Extinct
 危惧 IA 類 (CR), 絶滅危惧 II 類 (VU), 準絶滅危惧 (NT), 情報不足 (DD).

water area		Wetlands re-flooded from fallow paddy fields/Biotope etc.	Conservation status	References
With consideration				
Permanent water area	Temporal water area	Permanent water area	Temporal water area	
	F			Tanaka 2006; Abe et al. 2007b; Suzuki et al. 2008; Fujioka et al. 2020
	F		EN	Tanaka 2006; Suzuki et al. 2008; Fujioka et al. 2020
			VU	Implication (Nishida and Senga 2004)
	F			Saitoh et al. 1988; Minagawa et al. 2006; Tanaka 2006; Suzuki et al. 2008
		B		Tawa et al. 2019
			EN	Implication (Onikura et al. 2009)
			CR	Tsunakawa et al. 2012
			NT	Nagata & Nakata 1988; Satoh et al. 2012
			NT	Nagata & Nakata 1988
				Nagata & Nakata 1988
			EN	Yoshida et al. 2014
			CR	Nishio et al. 2012; Nishio et al. 2015; Nishio et al. 2016
			CR	Nagata & Nakata 1988
			EN	Nagata & Nakata 1988; Kitamura & Morosawa 2010
			CR	Nagata & Nakata 1988
			CR	Implication (Nakata et al. 2017)
			EN	Nagata & Nakata 1988
			CR	Nakajima & Onikura 2009
		B		Nishida et al. 2014; Implication (Onikura & Nakajima 2013)
			NT	Kitamura 2011
	F	B		Minagawa et al. 2006; Tanaka 2006; Tawa et al. 2019
			EN	Hayashi et al. 2013a; Hayashi et al. 2013b
	F	B	NT	Saitoh et al. 1988; Tanaka 1999; Tanaka 2001; Suzuki et al. 2004; Tanaka 2006; Abe et al. 2007b; Sagawa 2012; Nishida et al. 2014
				Nishida et al. 2006; Yoshida et al. 2013
			CR	Saitoh 1990; Abe et al. 2007b
			EN	Minagawa et al. 2017; Kawamura et al. 2015
		B	EN	Saitoh & Matsuda 1990; Nakano et al. 2015; Morii & Takakura 2018
			VU	Saitoh et al. 1988; Saitoh 1990
			EN	Implication (Nakahara et al. 2014)
		B	EN	Saitoh & Matsuda 1990; Nakano et al. 2015; Morii & Takakura 2018
Spring water + M + Substrate + V		Spring water + B	EN	Suguro 2005; Yoshida et al. 2013; Nishida et al. 2014; Nishida et al. 2016
		B	CR	Iwata 2006; Abe et al. 2007a; Abe et al. 2007b; Ao 2004; Ao and Abe 2009
E			VU	Suzuki et al. 2004
	F			Saitoh et al. 1988; Tanaka 2006; Abe et al. 2007b; Sagawa 2012; Yoshida et al. 2013; Funao & Sawada 2013; Mori et al. 2014
Spring water + V			CR	Jinguji et al. 2003; Satoh 2003
	P	B	VU	Minagawa et al. 2009; Hirota et al. 2010; Tawa et al. 2019

fishway, V: Vegetation, B: Biotope, ?: No reliable information is provided.

灌漑排水方式である。例えば新潟県の新津郷においては、昭和 20 年代に耕地整理が完了するまで、水田の圃場レベルでの灌漑はすべて田越し灌漑であったとされている(川尻 1993)。また、「用排兼用」の灌漑排水方式のうち、筑紫平野や琵琶湖周辺の低平地では用排兼用のクリークから水田に揚水し、普段はクリークと水田とが独立していた(安室 2005)。しかし佐賀平野の事例では、大きな降雨の際には一面の水田が冠水し、その面積が数千 ha に及ぶこともあったという(正木 1997)。琵琶湖に面した低湿地では毎年 2～3 回は水田が冠水していた(安室 2005)。つまり、ダムによる治水が行われ、河川に連続堤が築造され、機械排水ができるようになるまでは、河川の中下流域に立地する水田は頻度高く河川水や内水の氾濫により冠水し(和田ほか 2005; 大熊 2007; 永山ほか 2015)、氾濫水とともに魚類をはじめとする水生生物が水田水域へと移動、繁殖する状況であったと予想される。ただし、この頻繁に冠水する水田は琵琶湖に面した低湿地では水害という側面のみならず灌漑用水確保の面、あるいは漁撈の面では好ましいものとして受け止められていたことも重要な視点であろう(宮本・牧野 2002; 安室 2005)。クリークを含む用排兼用水路では、灌漑開始に伴うゲート等の操作と水位の上昇とともに緩流域あるいは止水域(鬼倉 2015)が形成され、氾濫原依存の魚類の繁殖・成育に好適な環境となる。また、用排兼用水路では、水尻側からの遡上と降雨による畦畔の水没時に限らず、水田で取水が行われる際にも多数の魚類が水口から水田に進入して繁殖する(皆川ほか 2006; 皆川ほか 2008; 皆川ほか 2009)。

整備済みの水田水域では水路密度が低下し、地域的に違いはあるものの、末端の圃場レベルで見ると基本的に用水と排水が分離され(図 1c, d)、排水機能が強化される。土地改良事業計画設計基準では、水稲単作の場合、自然排水可能な水田では 10 年確率降雨を 24 時間以内に、自然排水ができない水田では許容湛水深が 30 cm、やむを得ず超える場合は許容湛水深以上の湛水時間が 24 時間を超えないように排水計画を立てなければならない(農林水産省 2019)。排水路と河川との間に落差がある場合も多く、降雨によって河川の水位が上昇し、魚類が排水路に遡上可能な水位差になるまで水田水域に進入することができない。また、水路内にも多数の落差が存在する。さらに、用排水が分離されると排水路側だけでなく用水路側からも水田への魚類の供給がほとんどなくなる(鈴木ほか 2004; 森ほか 2016)。したがって、魚類が繁殖可能な水域の広がりと同様性という点が伝統的

水田水域と比べて著しく低下する。この状況は、ダムによる流量調節を受けた河川-氾濫原システムにおいて見られる氾濫原水域の縮小と劣化(Ward & Stanford 1995)に類似している。

さらに近年では、農地を集約し、少数の担い手により耕作を行うための水利システムの改変が進んでいる。大型機械による作業効率を上げるため、一筆の面積が 1～5 ha 以上の大区画圃場、10 ha 以上の巨大区画圃場も見られるようになった。一つの経営体が数十～百数十 ha を耕作することから水管理においても省力化が求められ、排水路も暗渠化して用水路と同じ側に敷設することなどが実施されている(図 2)。また、末端の用水路も開水路であったものを、自然圧パイプラインに変える事例が見られる(谷本 2003)。

水利面の変化と魚類の繁殖

氾濫原が冠水・干出するタイミングは、水源から農業用水を取水する灌漑開始と取水を停止もしくは流量を絞る灌漑終了のタイミングが相当するだろう。水路の灌漑期間と水田の湛水期間は、地域と栽培品種によって数日から数ヶ月程度ずれる可能性がある。地域によるが、日本では梅雨の雨を当てにして稲作が行われてきたと考えられ、6 月頃に田植えを行うのが伝統的な作期であった。また、近世までは多様な品種が栽培されて作期にはばらつきがあったと考えられる。しかしながら、十分な用水を確保することが難しい時期には、必然的に水稻栽培が困難であった可能性が高く、気温の低い時期に育苗する技術もなかったことから、概ね田植えは梅雨時期を中心としたものであったと推察される。また、小麦のような裏作を行うと田植えは遅くならざるを得なかった。1950 年代から、西南暖地では台風被害の回避、増収効果、退化(秋落)防止を目的とした早期栽培が行われるようになり(大田 1958; 佐本 1966)、その後は兼業化に伴う 5 月の連休への集中(川口 2011; 谷口 2013)、更に新米の経済的優位性など社会的理由(皆川 未発表)から 4 月上旬に田植えを行う地域も生じた。伝統的な作期に依存するとされるアユモドキ *Parabotia curtus* では、灌漑開始に伴って水路の水位が上昇するタイミングが梅雨の時期に合致する条件が雌の最終成熟を促すとされている(岩田 2006)。さらに、水路で繁殖するイタセンパラ *Acheilognathus longipinnis* では非灌漑期の水位低下の重要性も明らかにされた。灌漑期に水路の水位を維持していた水門が非灌漑期に開放されて水位が低下すると、イタセンパラは 9 月から 10 月にかけて水深 25～33 cm の比較的浅い水域で二枚貝に産卵する(Nishio et al. 2015)。

Fig. 2. The case for new irrigation and drainage systems in a 2 ha plot.
2 ha 区画における新しい灌漑排水方式の例.

また、灌漑期の止水環境から非灌漑期に流水環境となり、降雨時などに底泥がかく乱されて粒径が粗大化し、産卵母貝となる二枚貝の成育に好適な底質が維持されていることが明らかにされた (Nishio et al. 2016). 伝統的な作期から早期栽培に変化した水田では、6月に田植えを行う水田と比較して中干し時のドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus* のサイズが有意に小さい報告があるものの (皆川ほか 2009), 作期の変化と魚類の繁殖に関してはまだほとんど明らかにされていない。

氾濫原水域における本流との接続度あるいは恒久的水域の残存度に相当するであろう水路の通水期間については、永山ほか (2012) も整理したように上下水道の整備等に伴い農業用水が灌漑用の水利権に特化したことで、通年通水であった農業水路が季節通水化してきた。そのような中で湧水が流入する水路は、湧水性の魚類にとって重要であるだけでなく、非灌漑期の水利権がない水路であっても一時的な水域から移動可能な範囲に越冬場を保障してくれる点で貴重である。工事に伴い一時的に季節通水化した水路区間では、湧水により通年通水だった区間と比較して翌灌漑期のドジョウ、タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus* の生息密度が低下した (皆川ほか 2014)。氾濫原水域において、本流との接続度が低いほど魚類の種数が減少すること (Tockner et al. 1998),

本流から遠く比高の高い網状流の河跡湖では全く魚類が確認されないか、低酸素条件に耐えるコイ科の *Tinca tinca* しか確認されない水域があったこと (Copp 1989) が報告されている。また、氾濫原水域における本流から孤立した水域のうち平坦な地形のものは減水期に干出しやすいこと (Lasne et al. 2007), 冬季減水期に干出する河道内氾濫原のタマリでは乾燥に耐えるドジョウが優占した魚類群集が形成されること (傳田ほか 2002) が報告されている。こうした結果を踏まえると、季節通水化した水田水域は比高が高く恒久的水域の残らない環境に相当すると考えられた。そして、氾濫原環境に見られる移動性の低い種 (西田ほか 2006; Stoffels et al. 2016) では、移動可能な範囲に恒久的水域がなければ局所個体群が頻度高く消失する可能性を示している。また、排水路ならば常に通水が見られるわけではなく、用排水分離した後、水源が水田排水のみになると、降雨時と落水時以外は通水が見られなくなる場合もある。転作田の配置も用排水路の通水に影響する。こうなると、かなり意図的に通水や環境配慮施設を計画しない限り、排水路においてすら魚類が繁殖することはできなくなる。

水田水域の持つ階層構造と魚類の繁殖との関係

田越し灌漑から水路で灌漑される段階になると、伝統的、整備済みいずれのシステムであっても永山ほか(2012)が示すように、水源に近い方から圃場に近い方にかけて、流量の規模に応じた「幹線水路」、「支線水路」、「末端(小)水路」および「水田」により階層構造を持ったネットワークが構成される。また、伝統的水田水域では中山間地の湿田に見られる承水路、温水路のような、水田でも水路でもない水域が存在する場合もある(柳澤 2009; 田和ほか 2013)。このような規模や環境の異なる水域が形成する複雑な水路網が、多様な魚類の生息を可能にしているとされる(鬼倉 2015)。また、アユモドキでは水田よりも一時的水域である水路において繁殖することが報告されている(青 2004; 岩田 2006; Abe et al. 2007a; Abe et al. 2007b)。従って、末端の用排水路の管路化・暗渠化は、水田水域に生息する魚類の多様性を低下させる恐れがある。斉藤ほか(1988)を代表として、従来からこの階層構造は言及されてきたが、恒久的水域、一時的水域という枠組みでの捉え方がクローズアップされ、階層ごとの機能の違いについて十分な検討が行われてこなかった。そのような中で、一時的水域としては水田があればよく、排水路と水田を魚道でつなぐことができれば対象水域の氾濫原依存の魚類相は保全することができる、という設計思想に集約されてしまうことが危惧される(皆川ほか 2013)。本当に一時的水域としては水田のみで事足りるのであればそれでよいが、水田は水温、溶存酸素濃度が1日の中で非常に大きく変動する厳しい環境であり、湛水深は農家の水管理に依存するため、水がなくなるリスクも存在する。多くの魚類の生息が報告されている階層構造の多い水田水域における、階層ごとの水理特性、環境条件の違い、魚類の繁殖・成育に対する意義を明らかにすることが、整備時における保全策を考える上で重要である。

水田水域における魚類の繁殖環境の保全事例

水田水域における魚類の保全が難しいとされるのは、水田、水路、ため池といった水域の多くが農家の私有財産であり、生業の場であること、これらの維持管理を基本的に農家が担っていることに原因があると考えられる。

2001年に土地改良法が改正され、環境との調和への配慮が事業実施の原則となった。こうした背景もあり、栃木県西鬼怒川地区(鈴木ほか 2004)、岩手県一関市門

崎地区(広田ほか 2010)など、水田を含む水田水域での魚類の繁殖を保障するべく生態系配慮型の圃場整備事業が行われるようになっている。しかし、2001年以降に実施された圃場整備事業においても、必ずしもきめ細やかな環境配慮がなされているわけではない。また、整備年代が古い地域では、環境配慮は行われて来なかった。通常の整備済みの水田水域において魚類の繁殖を保障するために後からできる取り組みとして成功している(実際の繁殖が確認されている)のが、「水田魚道の設置」と「湿地造成」である(Nishida 2018)。これらの具体的事例を紹介する。

なお、環境配慮施設のうち、水路までは個人の農家の意識と関係なく通水を確保するような設計が可能であるが、水田は一筆ごとに独立して個別の農家の意図による水管理がなされる点が水路と大きく異なる。水田を魚類の繁殖場と想定して行われた整備や取り組みでは、いずれの事例においても共通して、魚類が水田を利用できるかどうかはひとえに農家の水管理にかかっている。具体的には、通常の水口からではなく魚類の供給源として整備された箇所から取水を行ってくれるか、あるいは魚道に水が流れやすいように水尻の堰板の高さを調節してくれるか、排水時に魚道を通じて排水してくれるか、といったことである。伝統的な水田水域では、特に農家が意識しなくても取水すれば用水とともに魚類が水田に進入でき、降雨があれば水路の水位が上がって特別な操作をせずとも水尻からあるいは畦越しに魚類が水田に進入できていた。農業の生産性を向上させるために水田水域を整備し、そこに付帯的に環境の要素を入れ込もうとすると、環境のための特別な配慮や操作がその後も継続的に必要になるということだと理解される。これはビオトープをはじめとする環境配慮施設の維持管理と全く同じで、それまでは農業水利施設としての土水路等を維持管理する中でおのずと魚類の生息環境が維持されてきたものが、水理機能に特化した施設の中に部分的に環境配慮施設を入れる形にすると両者の維持管理は切り離され、後者の作業に強い負担感が生じる構図になっていると考えられる。

田代・森(2016)は、農業農村整備事業における環境配慮の難しさの構造を分析し、「技術解」と「社会解」という解決の枠組みを紹介している。アユモドキの事例における保全団体と農家や地元町内会との関係が30年を経て変わってきたという記述(青 2005)、環境配慮の導入の容易さは「農家と現場技術者が、雑談を含めよく話をする」という現場技術者の実感(田代・森

2016) からは、対話を積み重ねることの意義が強く実感される。Nishio et al. (2017) は、伝統的な用排兼用の土水路におけるイタセンバラの稚魚の分布が、産卵母貝の分布ではなく、水田排水に起因する高水温と動物プランクトンの供給に規定されることを明らかにした。さらに、農家がカメシ対策として行う水路沿いの草刈りが水面のカバーをなくし、イタセンバラの稚魚に好適な環境を形成していることを指摘している。水田稲作の営みがこれほど密接にイタセンバラの生息をささえているという知見が農家や地域住民と共有され、地域の自然に対する理解と保全意識が醸成されることを期待したい。また、岩手大学では、広田ほか (2010) の報告以前から現在に至るまで 17 年にわたり学生が地元に入り、継続的にミナミメダカ *Oryzias latipes* の保全を支援している (東淳樹氏 私信)。このように地元の大学等が継続して保全活動に携わっている事例は各地に存在する。長期にわたる関わりの中での関係性の変化、保全対象種の生息状況の推移などが、例えば本誌の事例研究などとして関係者に共有されることを期待したい。

水田魚道により水田を繁殖場として利用可能にする事例 一滋賀県「魚のゆりかご水田プロジェクト」一

整備済みの水田水域に後から行える保全策の一例として、水田魚道の設置がある。滋賀県では整備済みの水田に魚類を遡上させ繁殖・成育できる環境を復元する取り組みを「魚のゆりかご水田プロジェクト」と名付け、2001 年度から取り組んでいる (田中 2006; 西田・皆川 2020)。一定の営農上の基準を満たした上で、琵琶湖に生息する魚類が水田に遡上し繁殖・成育したことが確認できると「魚のゆりかご水田米」として認証を受けられる。滋賀県では、二面柵渠の排水路のアーム部に堰板を設置し、排水路そのものを全断面魚道化する「排水路堰上げ式水田魚道」を中心に取り組まれてきたが (田中 2006, 図 3)、近年では水田一筆一筆の水尻に設置する「一筆型魚道」も増えてきている。コイ、フナ属 *Carassius* spp., タモロコ、ナマズの遡上が確認されているが (田中 2006)、最もよく水田に遡上するのはニゴロブナとナマズである (中新井 2019)。中干し時の降下調査では、水田 10 a 当たり約 14,000 個体の稚魚が降下している (中新井 未発表)。「排水路堰上げ式水田魚道」の場合、排水路の水位は二面柵渠の護岸を超えて法面の植生が水に浸かり、まさに鬼倉ほか (2007) が指摘するような状態になっており、おびただしい数のニゴロブナの産着卵が観察されている (皆川 未発表)。しかし長期間、法面が水没することで護岸の崩れが多く発生し、取り組みの

Fig. 3. The full cross-sectional fishway for Sakana-no-yurikago-suiden.

魚のゆりかご水田のための排水路堰上げ式魚道。

阻害要因となっている。また、水田内部の餌資源の評価は行われていても (Yamazaki et al. 2010; Ohtsuka 2014)、堰上げ水路部分の環境については研究例がほとんどない。「魚のゆりかご水田」の内部や畦畔にはずらりとサギ類、トビ *Milvus migrans* が並び、水田に遡上したニゴロブナやナマズの親魚は捕食され、食べ残した体の一部が水田内や畦畔、農道で散見される (皆川 未発表)。従って、魚類の繁殖場としての水田の優位性、先述の階層構造とも関連した堰上げ水路部の繁殖場としての評価、水産有用種以外の魚類の繁殖状況、水没する法面部の保護手法については引き続き明らかにすべき課題となっている。

ニゴロブナは成育した水田周辺の水域に産卵回遊することが明らかにされた (井出ほか 2014)。サケ科魚類における母川回帰のような行動は人に共感の思いを抱かせやすく、県が農家に「魚のゆりかご水田」の取り組みを促す際に「ニゴロブナが産卵のために帰って来られるようにゆりかご水田を続けて下さい」という説明が加えられるようになった。また、農家の中には、自分たちの取り組みが琵琶湖の資源回復にどれだけ寄与しているのか効果を知りたいという思いもある。「魚のゆりかご水田」とは別事業であるが、水田で育成したニゴロブナの稚魚を水田の中干し時に降下させ、琵琶湖での漁獲物中の混獲率を調べると 0 歳魚の 6.3~22.1% が水田で育成された種苗であることが報告されている (根本 2016)。従って、「魚のゆりかご水田」も一定程度、資源回復に寄与しているものと推察される。雨が降れば堰上げた排水路の水位が上昇し、次々と魚が水路へ、そして水田へと遡上してくる様子は、水田稲作の楽しみ、魚類との関係の

深さを実感させてくれるものである。しかし、取り組みの意義は十分に理解できたとしても、農業経営の中で一定の労力が割かれる取り組みを継続していくためには、農家にとって経営が成り立つ付加価値価格で「魚のゆりかご水田米」が販売できること、そのための流通面のサポートなどが必要である。

また、本事例に限らない水田魚道全体の課題として、例えばスジシマドジョウ類（斉藤 2005）のように、水田で産卵する生態を持ちながら、遡上能力が低く既存の水田魚道を遡上することができない魚類の存在が挙げられる。表 1 で伝統的水田水域では水田での繁殖が確認もしくは推定されている一方で水田魚道を設置した水田やビオトープでは繁殖が確認されていない魚種にはこうした魚類が含まれる可能性がある。こうした魚類に対しては、用排水路と水田とが大きな水位差なく接続する水田水域を保全することが重要である。一方で、遊泳力の小さな魚類が遡上可能な可搬魚道システムも開発されつつある（高橋ほか 印刷中）。水路内の落差の解消、これまで整備済み水田への遡上が難しかった魚類についても水田への遡上を可能にすることが期待される。

休耕田を再湛水した湿地や水田ビオトープにおける魚類の繁殖

魚類（を含む水生生物）を保全するために休耕田を再湛水して造成した湿地、あるいは整備前から存在した湿地をビオトープ化した事例では、9 種の繁殖が報告されている（表 1）。このうち、アユモドキ、ビワコガタスジシマドジョウ *Cobitis minamorii oumiensis*、オオガタスジシマドジョウ *Cobitis magnostriata* を保全する湿地は、冬季に落水して一時的な水域として維持されている。一方、恒久的な水域として維持されているビオトープでは、フナ属、モツゴ *Pseudorasbora parva*、タモロコ、ドジョウ、ホトケドジョウ *Lefua echigonia*、キタノメダカ *Oryzias sakaizumii* の繁殖が報告されている。また、魚類の保全を目的としてはいないものの、灌漑期のみ湛水管理された休耕田では、フナ属、タモロコ、モツゴ、ドジョウの繁殖が報告されている（皆川ほか 2008）。

東京都国立市では、伝統的水田水域において土地区画整理事業が行われた際、水田の代替環境として位置づけた湿地を含む公園が整備された。従来の水田は河川水を水源とする農業用水によって灌漑されていたが、区画整理後は湿地の水源を農業用水に求めることができなかったため、隣接して流れる湧水を水源とする恒久的な水域として維持されることとなった。土地を提供した農家にとって、農道や水路沿いは常に草刈りされた状態が好まし

Fig. 4. The Case of artificial wetland created at the expense of paddy fields.

水田の代替湿地として造成された湿地。

く映り、湿地に多様な植生が繁茂する状態を「多様性が増した」と受け止めることは難しく、「管理が行き届かず草ボーボーにしている」と受け取られた（図 4）。市役所、管理団体とも苦情を受け続けながらも、月 1 回の頻度で湿地・湧水水路を含む公園の草刈り、浚渫などの維持管理を 10 年以上継続している。この湿地では、ドジョウとホトケドジョウの繁殖が継続的に確認されている（Nishida et al. 2014；西田ほか 2016）。しかし、周辺の水田とも水路網がつながっているにもかかわらず、湧水を水源とする湿地の低水温や餌資源量の違いなどが影響してか、周辺の水田で繁殖しているフナ属、タモロコの利用は見られず、水田とは異なる魚類相が形成された。また、トンボ類の幼虫など周辺の水田では見られた水生昆虫類も見られなかった（西田 未発表）。湛水条件や水源によっては水田の代替環境とはならない可能性があることが示唆される。農業農村整備を行う際の残地や条件不利地の処理方法として、こうしたビオトープの整備は今後も多数行われていくことが予想される。その地域の魚類相（あるいは魚類を含む生物相）を見た時に、保全すべき対象種が必要とする、あるいは多様性を向上させるためにはどのような構造、湛水条件のビオトープが必要なのかを考慮することが重要だろう。また、多くの場合、人工的な湿地やビオトープでは維持管理が必要である。対象種の保全のためにはどのような管理を行えばよいかということも重要な研究課題である。

なお、ビオトープは関係者の合意があれば研究のための人為的な操作を行いやすい環境であり、新たな知見を提供してくれる可能性もある。ビワコガタスジシマドジ

ヨウは、これまで水田水域の構造の変化により繁殖場所が減少あるいは移動経路が絶たれたために個体数が減少したとされてきた（斉藤 1993）。本種は琵琶湖流域においてオオガタスジシマドジョウと同所的に生息し、以前は繁殖時期と環境による生殖隔離が存在していたとされる（斉藤・松田 1990）。Morii & Takakura (2018) は、両種の繁殖場として保全されているビオトープを対象とした研究から、圃場整備等によりビワコガタスジシマドジョウの主要な繁殖場であったと考えられる遡上可能な水田がなくなり、オオガタスジシマドジョウと同じようにビオトープ内の水路で繁殖せざるを得なくなったことで、オオガタスジシマドジョウによる繁殖干渉を受けるようになった結果、経年的にビワコガタスジシマドジョウの稚魚数が減少していることを明らかにしている。こうした知見をもとに、有効な保全策が採られることが期待される。

伝統的な水田水域の保全事例—東京都多摩地域における都市近郊水田地帯の保全—

大都市近郊には、不整形で小区画の水田がまとまって残存している場所がある。三大都市圏では都市計画法の下、農地は開発を行うための土地の担保と位置付けられてきた経緯があり、農業生産のための積極的な投資が行われてこなかったことが未整備の背景にあるものと推察される。中でも東京都多摩地域の場合には、灌漑排水方式が用排兼用で、幹線水路は通年通水であり、幹線水路が土羽もしくは石積み、末端水路は土水路という条件の水路が多数残されている。そのため、水路ではもちろんのこと、水田内部でも魚類の繁殖を見ることができる（皆川ほか 2006；西田ほか 2006；皆川・千賀 2007）。しかし生産緑地制度があるとはいえ、農家の相続事案の発生に伴い、相続税の支払いのために農地が切り売りされていく現状が依然として続いている。

日野市では、伝統的な水田水域で計画された土地区画整理事業に対し、公共減歩による公園造成のしくみを用いて、用排兼用で木製矢板護岸の農業水路と水田を含む公園が整備されている（国立市では同様の手法により前述の湿地が造成された）。農林水産省が「田んぼの生きもの調査」をやめた後も東京都は独自で農業水路の魚類・両生類の調査を平成 30 年度まで継続し、この公園内の水路でキンブナの生息が継続的に確認されている（東京都産業労働局 2020a）。しかし水路を保全することは行政の裁量で比較的取り組みやすい一方、水田を維持することの難しさが課題として指摘されている。将来の宅地化をにらみ、区画整理事業時に農地の地盤を嵩上げして

おかなければ次世代への財産の継承に不安が大きいことが影響している（西田 2016）。都市部は、農的な環境に関心を持つ人、維持管理に参画したい人の母数が圧倒的に多い点が強みになり得、草の根レベルでは少しずつ貴重な水田水域の保全に携わる活動が行われているものの、相続発生に伴う水田の消滅に対する決定打は未だ出て来ていない。

新たな動きとしては、平成 27 年に「都市農業振興基本法」が施行され、各自治体が「都市農業振興基本計画」を策定する中、新たに水田を含む農業公園を整備する動きが見られる（府中市 2016）。また、西田（2016）の報告の時点では活用できなかった「多面的機能支払交付金制度」（「農地・水保全管理支払交付金制度」を前身とする）が、平成 27 年に施行された「農業の有する多面的機能の発揮の促進に関する法律」に基づく事業制度として位置付けられ、平成 29 年度から都単独事業「水土里保全活動支援事業」として農業振興地域以外の資源向上活動支援等に活用できるようになっている（東京都産業労働局 2020b）。国立市では水田稲作を対象とした体験型農園の試みも始まった（国立市 2017）。例えばこうした取り組みを通じて稲作と維持管理を継続することが、魚類の繁殖する伝統的な水田水域の保全につながるだろう。

おわりに

現在、近代的圃場整備が行われていない水田水域は少ないが、既に一度圃場整備が行われた水田水域が施設の老朽化と営農を取り巻く状況の変化に応じて再整備を行う時期を迎えている。今後再整備が行われる水田水域においては、これまで明らかにされてきた水路網の階層性や環境の多様性をできる限り内包した設計・施工を行うことが求められる。生活史および成長段階ごとに必要とされる環境条件が未解明の種はまだ多く存在することから、これらを明らかにしていくことが急務である。一方、既に整備が完了して当面新たな整備が行われる計画のない水田水域においては、後から実施可能な環境修復技術が求められる。近年注目を集める「小さな自然再生」の取り組みは、水田水域においても参考になる事例が豊富である。

最後に、伝統的な水田水域における魚類の保全については、今やわずかに残されている貴重な水田水域そのものを保全する枠組みが必要である。ただし、近代的圃場整備がされていない水田水域は、農業経営の面から見る

と労働生産性が低く、担い手への集積も進みづらい。生産面での不利性を補うだけの価値づけが必要である。立地条件によっては、洪水による氾濫の被害を受けやすい可能性もある。氾濫時の浸水リスクは、気候変動下において住民の生命・財産を左右する問題であり、生物多様性の保全だけを理由に水田水域の状態の保存を求めることはできない。しかし、令和元年東日本台風、令和2年7月豪雨をはじめ、近年大規模な水害が頻発する中、国土交通省は新たな減災・防災施策として全国で「流域治水」を進める方針へと舵を切った。これからは人命と国土を守る土地利用のあり方が真剣に議論されることだろう。河川における自然再生事業のように、水田や休耕田だった場所の土地利用を変えて氾濫原水域を復元する試みが加速するかもしれない（島谷ほか 2003；宮崎ほか 2013；鎌田 2019）。総合地球環境学研究所では、2018年度から「人口減少時代における気候変動適応としての生態系を活用した防災減災（Eco-DRR）の評価と社会実装」という研究プロジェクトを推進している。プロジェクトの滋賀サイトでは、浸水リスクの高い場所が水田として利用され、霞堤により流域全体で薄く広く洪水を引き受ける合理的な治水が行われてきたことに着目し、浸水リスクの高いエリアが生態系保全上も重要なエリアであることを可視化、定量化して土地利用的 Eco-DRR として保全・活用しようとしている（小笠原ほか 2020）。ただし、水田の浸水に対する河川側と農業側の認識には大きな開きがある。土地利用として眺めれば、確かにそこは「水田」であるが、その一筆一筆は農家個人の生業の場であり、営々と積み重ねられてきた地域の歴史も内包する場である。また、法制度上も農地の湛水許容には制約がある。今後も引き続き丁寧な議論を積み重ねる必要がある。

Ishiyama et al. (2014) は、移動性の高い魚類において流路網を介して多くの湿地と接続している湿地での種多様性が高いことを示し、流路網が魚類の移動分散を保障していることを指摘した。一方で、移動性の低い魚類については5 km より短い範囲でハビタットの分断化、個体群の孤立化の影響を評価する必要性を述べている。この視点に立てば、季節通水化した農業水路に非灌漑期にも通水を確保し、遺伝的多様性を保った地域個体群を維持できる恒久的な水域を水田水域内に取り戻すことが検討されてよいのではないかと。また、河川本流と農業水路との間の物理的な移動障害に対しても、これを解消する具体的な取り組みが必要である。円山川水系自然再生計画では、魚類が利用可能な水田が近接する地点において、

本流と農業水路の間に落差が生じている樋門樋管の落差を解消する取り組みを実施している（山村 2016）。岐阜県においても関連部局の連携により、河川、農業排水路、水田をむすぶ生態系ネットワークの再生事業が実施されている（横山ほか 2016；岐阜県水産研究所 2020）。水利権の問題も、移動障害の問題も、河川と農業水利の境界における問題であるがゆえに困難な点があるが、流域のあり方が議論されている今こそ困難な問題に向き合うチャンスだと考える。

謝 辞

自由集会「田んぼのいきものをどうやって守っていくか？」の企画者である佐川志朗氏、河口洋一氏、田和康太氏、ならびに参加者の皆様には、有益な議論の機会をいただいた。また、二名の匿名査読者からは本報の本質に関わる重要な指摘をいただいた。他にも多数の方々から貴重な情報の提供をいただいた。ここに記して深い感謝の意を表す。

摘 要

原生的氾濫原と水田水域との対比から、水田水域の整備水準と魚類の繁殖との関係を、後背湿地における冠水頻度と比較しながら論じた。伝統的な水田水域は多様な環境と階層性を持つ水域を内包し、かつ排水能力が低いために梅雨の降雨時に水田も広く冠水して魚類が河川等から繁殖のために進入する機会が多い。こうした特性が氾濫原水域に近く、多様な魚類の繁殖を支えていると考えられた。一方、整備済みの水田水域では水路密度の低下、排水機能の強化と落差による水域間の分断、これらに伴う階層構造の単純化、水路環境の単純化によって氾濫原水域としての特性が大きく変容していると考えられた。

水田水域は多くが個人の土地かつ生業の場であること、維持管理の主体が農家であることにより、魚類を含む生物の保全に取り組むことを難しくしていると考えられる。そうした中で、整備済みの水田水域に後から魚道を設置した事例、休耕田の湛水やビオトープの造成により魚類の保全を図った事例、都市近郊の伝統的な水田水域の保全事例を紹介した。最後に、近年の水田水域を取り巻く社会状況の変化を踏まえた水田水域における魚類の保全の在り方について筆者の考えを述べた。

引用文献

- Abe T., Kobayashi I., Kon M., Sakamoto T. (2007a) Spawning behavior of kissing loach (*Leptobotia curta*) in temporary waters. *Zoological Science* **24**: 850-853.
- Abe T., Kobayashi I., Kon M., Sakamoto T. (2007b) Spawning of kissing loach (*Leptobotia curta*) is limited after the formation of temporary waters. *Zoological Science* **24**: 922-926.
- 青雅一 (2004) 岡山淡水魚研究会の最近の活動と新知見. *ボテジャコ* **8**: 4-9.
- 青雅一 (2005) 岡山の淡水魚保護の現状と岡山淡水魚研究会の30年. *魚類学雑誌* **52**: 58-61.
- 青雅一・阿部司 (2009) 水田と水路の保全による在来魚の復元アユモドキ・休耕田を利用して、「田園の魚をとりもどせ！」(高橋清孝編), pp.81-86. 恒星社厚生閣, 東京.
- Copp, G. H. (1989) The habitat diversity and fish reproductive function of floodplain ecosystems. *Environmental Biology of Fishes* **26**: 1-27.
- 傳田正利・山下慎吾・尾澤卓思・島谷幸宏 (2002) ワンドと魚類群集～ワンドの魚類群集を特徴づける現象の考察～. *日本生態学会誌* **52**: 287-294.
- 府中市 (2016) 府中市農業公園の整備に係る基本方針～「市民の笑顔をつくりだす 新しい府中の農業」の実現に向けて～ (https://www.city.fuchu.tokyo.jp/gyosei/kekaku/kekaku/gyosei/nougyokouen/nougyokouen_kihonhoushin.files/nougyokouen_kihonhoushin.pdf, 2020年9月26日確認).
- Fujimoto Y., Ouchi Y., Hakuba T., Chiba H., Iwata M. (2008) Influence of modern irrigation, drainage system and water management on spawning migration of mud loach, *Misgurnus anguillicaudatus* C.. *Environmental Biology of Fishes* **81**: 185-194.
- 藤岡康弘・片岡佳孝・大植伸之・米田一紀・根本守仁・亀甲武志 (2020) 琵琶湖周辺水田の小水路におけるニゴロブナの産卵繁殖, 滋賀県水産試験場研究報告 **56**: 1-10.
- 舟尾俊範・沢田裕一 (2013) 水田地帯の小河川へのナマズ *Silurus asotus* の侵入および繁殖について. *魚類学雑誌* **60** (1): 43-48.
- 岐阜県水産研究所 (2020) 河川・農地における生態系ネットワーク解析技術の開発と事業効果の検証 (<http://www.fish.rd.pref.gifu.lg.jp/kadai/kenkyu-kadai/kasen-nochi.htm>, 2020年11月28日確認).
- 秦康範 (2019) 激甚化する気象災害に備える (前編) 構造ハザードマップの活用にあたって留意すべき事項. *監査研究* **45**(6): 8-15.
- Hayashi K., Kim E. J., Onikura N. (2013a) Growth and habitat use of the Chinese false gudgeon, *Abbottina rivularis*, in an irrigation channel near the Ushizu River, northern Kyushu Island, Japan. *Ichthyological Research* **60**: 218-226.
- 林浩介・小山彰彦・鬼倉徳雄 (2013b) 牛津川近隣の農業用水路におけるツチフキの産卵環境. *魚類学雑誌* **60**: 141-147.
- 広田純一・東淳樹・南雲稜・佐藤貴法・金田一彩乃 (2010) メダカの生息に配慮した圃場整備における順応的管理の実践—岩手県一関市門崎地区の事例—. *水土の知* **78**(2): 15-20.
- 井出充彦・亀甲武志・孝橋賢一・中新井隆・根本守仁 (2014) 水田を活用したニゴロブナ放流種苗の接岸状況. 平成25年度滋賀県水産試験場事業報告 **27**.
- Ishiyama N., Akasaka T., Nakamura F. (2014) Mobility-dependent response of aquatic animal species richness to a wetland network in an agricultural landscape. *Aquatic Sciences* **76**: 437-449.
- 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.
- 岩田明久・大西信弘・木口由香 (2003) 南部ラオスの平野部における魚類の生息場所利用と住民の漁労活動. *アジア・アフリカ地域研究* **3**: 51-86.
- 神宮字寛・森誠一・柴田直子 (2003) 維持管理作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**: 169-177.
- 門脇勇樹・久保田由香・佐貫方城・中田和義 (2017) 環境配慮工法が施工された農業水路における魚類の選好環境: 活動期と越冬期の比較. *農業農村工学会論文集* **85**: II_61-II_70.
- 鎌田磨人 (2019) グリーンインフラとしての水田とEco-DRR—生態系サービス間シナジーを活用するための道筋—. *農村計画学会誌* **37**: 358-361.
- 環境省 (2020) 環境省レッドリスト2020 (<http://www.env.go.jp/press/107905.html>, 2020年8月31日確認).
- 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.
- 川口祐男 (2011) 富山県の水稲品質向上にむけた田植時期繰り下げの取り組みについて. *農業および園芸* **864**: 420-425.
- 川尻裕一郎 (1993) 素朴な用水論. 公共事業通信社, 東京.
- 河村年広・鈴木正二・宇佐美公規・小室正人・河合成昭・渡部 勉・横井久善 (2015) 農業用排水路におけるトウカイコガタスジシマドジョウの生息環境. 愛知県農業総合試験場研究報告 **47**: 115-118.
- 北村淳一 (2011) 櫛田川水系の2つの小河川におけるカワヒガイの産卵母貝利用. *魚類学雑誌* **58**: 195-198.
- 北村淳一・諸澤崇裕 (2010) 霞ヶ浦流入河川におけるタナゴ亜科魚類の産卵母貝利用. *魚類学雑誌* **57**: 149-153.
- 国上市 (2017) 市報くにたち4月5日号, p.6
- Lane S. J. & Fujioka M. (1988) 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.
- Lasne E., Lek S., Laffaille P. (2007) Patterns in fish assemblages in the Loire floodplain: The role of hydrological connectivity and implications for conservation. *Biological Conservation* **139**: 258-268.
- 正木裕美 (1997) 佐賀平野における歴史的形態を留めるクランクの保全と活用. *農業土木学会誌* **65**: 1157-1163.
- 皆川明子・西田一也・藤井千晴・千賀裕太郎 (2006) 用排兼用型水路と接続する未整備水田の構造と水管理が魚類の生息に与える影響について. *農業土木学会論文集* **244**: 65-72.

- 皆川明子・西田一也・西川弘美 (2014) 通水状況の違いが農業水路の魚類相に及ぼす影響. 農業農村工学会論文集 **82**: 441-447.
- 皆川明子・西田一也・千賀裕太郎 (2008) 湛水した休耕田における魚類の繁殖および生育について—東京都国立市府中用水の受益水田を対象として—. 自然環境復元研究 **4**: 23-32.
- 皆川明子・長友里恵・北村淳一・原田一毅・山本達也 (2017) 三重県の水田水域におけるトウカイコガタスジシマドジョウの繁殖期と水稲作期との関係. 三重県総合博物館研究紀要 **4**: 1-7.
- 皆川明子・千賀裕太郎 (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**: 83-91.
- 皆川明子・高木強治・後藤眞宏・樽屋啓之 (2009) 早場米生産水田における魚類の移入と移出について. 農業農村工学会論文集 **77**: 325-323.
- 皆川明子・田和康太・北村淳一 (2013) 三重県の水田兼用水路における灌漑開始直後の魚類の分佈の変化. 魚類学雑誌 **60**: 163-170.
- 満尾世志人・角田裕志・千賀裕太郎 (2010) ため池の保全における現状と課題. 農業農村工学会誌 **78**: 571-574.
- 宮本真二・牧野厚史 (2002) 琵琶湖の水位・汀線変動と人間活動—過去と現在をつなぐ視点. 地球環境 **7**: 1-17.
- 宮崎佑介・照井慧・吉岡明良・海部健三・鷺谷いづみ (2013) 朱太川水系氾濫原の小規模な一時的水域の魚類相: 種多様性の要因と保全・再生への示唆. 保全生態学研究 **18**: 55-68.
- 森晃・水谷正一・後藤章 (2014) 圃場整備後の小排水路におけるナマズ *Silurus asotus* の繁殖と成育. 農業農村工学会論文集 **82**: 63-72.
- 森淳・栗原貴史・渡部恵司 (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. 水土の知 **84**: 35-38.
- Morii K. & Takakura K. (2018) Does simultaneous and sympatric reproduction between two native spined loaches lead to reproductive interference and local extinction?. Environmental Biology of Fishes **101**: 1407-1416.
- 守山弘 (1997) 水田を守るとはどういうことか—生物相の視点から—. 農山漁村文化協会, 東京.
- Nagata Y. & Nakata Y. (1988) Distribution of six species of bitterlings in a creek in Fukuoka Prefecture, Japan. Japanese Journal of Ichthyology **35**: 320-331.
- 永山滋也・原田守啓・萱場祐一 (2015) 高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か?—自然堤防帯を例として—. 応用生態工学 **17**: 67-77.
- 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.
- 中新井隆 (2019) 魚のゆりかご水田による在来魚増殖方法の効率化. 水田地域における生態系保全のための技術指針 (後半). 52-66. (<https://www.usp.ac.jp/info/v170/>, 2020年7月27日確認).
- 中原正登・矢川慎一郎・濱野大作 (2014) 佐賀県佐賀市鍋島町に生息するアリアケスジシマドジョウの生息状況調査と5月と8月の全長塑性—アリアケスジシマドジョウは春から夏の間に確かに繁殖している—. 佐賀自然史研究 **19**: 13-19.
- 中島淳・鬼倉徳雄 (2009) 野外におけるヒナモロコの成長と利用環境. 魚類学雑誌 **56**: 135-143.
- 中島淳・島谷幸宏・巖島怜・鬼倉徳雄 (2010) 魚類の生物学的指数を用いた河川環境の健全度評価法. 河川技術論文集 **16**: 449-454.
- 中野光議 (2017) 農業水路における魚類の保全生態学的研究: 現状と課題. 保全生態学研究 **22**: 135-149.
- 中野光議・上原和男・浦部美佐子 (2015) 琵琶湖北西部の沿岸域におけるスジシマドジョウ種群の繁殖期と繁殖場所. 保全生態学研究 **20**: 49-58.
- 中田和義・宮武優太・川井健太・小林蒼栄・咸成南・齋藤稔・青江洋 (2017) 岡山県南部の農業水路におけるスイゲンゼニタナゴの選好環境. 応用生態工学 **19**: 117-130.
- 根本守仁 (2016) 水田を活用したニゴロブナの種類生産と放流. アクアネット **5**: 32-35.
- 西田一也 (2016) 都市近郊水田地帯における生態系保全はなぜ難しいのか?. 水土の知 **84**: 407-410.
- Nishida K. (2018) Status and issues in ecological engineering techniques for conserving fish in the paddy field area of Japan. International Journal of Environmental and Rural Development **9**: 173-183.
- 西田一也・藤井千晴・皆川明子・千賀裕太郎 (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—東京都日野市の向島用水・国立市の府中用水を事例として—. 農業土木学会論文集 **244**: 553-565.
- 西田一也・皆川明子 (2020) 滋賀県の「魚のゆりかご水田プロジェクト」の趨勢と課題. 農業および園芸 **95**: 106-112.
- Nishida K., Ohira M., Senga Y. (2014) Movement and assemblage of fish in an artificial wetland and canal in a paddy fields area, in eastern Japan. Landscape and Ecological Engineering **10**: 309-321.
- 西田一也・大平充・千賀裕太郎 (2016) 湿地造成は水田地帯の魚類個体群の保全に貢献できるか. 水土の知 **83**: 15-18.
- 西田一也・千賀裕太郎 (2004) 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—東京都日野市の向島用水・国立市の府中用水を事例として—. 農業土木学会論文集 **233**: 29-39.
- Nishio M., Edo K., Yamazaki Y. (2017) Paddy management for potential conservation of endangered Itasenpara bitterling via zooplankton abundance. Agriculture, Ecosystems and Environment **247**: 166-171.
- Nishio M., Kawamoto T., Kawakami, Edo K., Yamazaki Y. (2015) Life history and reproductive ecology of endangered Itasenpara bitterling *Acheilognathus longipinnis* (Cyprinidae) in the Himi region, central Japan. Journal of Fish Biology **87**: 616-633.
- 西尾正輝・タハソリマン・山崎裕治 (2012) 富山県氷見市万尾川に生息するイタセンパラの出現パターンと産卵場所. 魚類学雑誌 **59**: 147-153.
- Nishio M., Tanaka H., Tanaka D., Kawakami R., Edo K., Yamazaki Y. (2016) Managing water levels in rice paddies to conserve the Itasenpara Host Mussel, *Unio douglasiae nipponensis*. Journal of Shellfish Research **35**: 857-863.
- 農林水産省農村振興局 (2019) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「排水」.
- 小笠原奨悟・幸福智・高橋栞・西田貴明・長谷川啓一・池田

- 正・吉原哲・渡邊敬史・長野紀章・瀧健太郎・西廣淳・吉田丈人 (2020) グリーンインフラ技術レポート総合地球環境学研究所 Eco-DRR プロジェクト, 29-30.
- 大田遼一郎 (1958) 水稲早期栽培と水一九州の状況を中心として一. 水利科学 **2**(2): 51-60.
- Ohtsuka T. (2014) Nursery Grounds for Round Crucian Carp, *Carassius auratus grandoculis*, in Rice Paddies Around Lake Biwa. In: Social-Ecological Restoration in Paddy-Dominated Landscapes. (ed. Nishikawa U. & Miyashita T.), pp. 139-164. Springer, Tokyo.
- 大熊孝 (2007) 増補洪水と治水の河川史. 平凡社, 東京. 153-154.
- 鬼倉徳雄 (2015) 有明海北部沿岸域のクリーク網：希少な湛水魚類が多く残される理由. 低平地研究 **24**: 15-18.
- Onikura N. & Nakajima J. (2013) Age, growth and habitat use of the topmouth gudgeon, *Pseudorasbora parva* in irrigation ditches on northern Kyushu Island, Japan. Journal of Applied Ichthyology **29**: 186-192.
- 鬼倉徳雄・中島淳・江口勝久・三宅琢也・西田高志・乾隆帝・剣持剛・杉本芳子・河村功一・及川信 (2007) 有明海沿岸域のクリークにおける湛水魚類の生息の有無・生息密度とクリークの護岸形状との関係. 水環境学会誌 **39**: 277-282.
- Onikura N., Nakajima J., Kouno H., Sugimoto Y., Kaneto J. (2009) Habitat use in irrigation channels by the golden venus chub (*Hemigrammocypripis rasborella*) at different growth stages. Zoological Science **26**: 375-381.
- 佐川志朗 (2012) 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. 野生復帰 **2**: 83-88.
- Saitoh, K. (1990) Reproductive and habitat isolation between two populations of the striated spined loach. Environmental Biology of Fishes **28**: 237-248.
- 斉藤憲治 (1993) スジシマドジョウ小型種と大型種の急減. 魚類学雑誌 **40**: 394-397.
- 斉藤憲治 (2005) スジシマドジョウ種群—高密度なのに、実は希少魚—. 「希少淡水魚の現在と未来—積極的保全のシナリオ」(片野修・森誠一編), pp.186-192. 信山社, 東京.
- 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.
- 斉藤憲治・松田征也 (1990) 琵琶湖水系に分布するシマドジョウ類. 滋賀県立琵琶湖文化館研究紀要 **8**: 19-23.
- 佐本啓智 (1966) 水稲早期, 早植栽培の生態に関する研究 とくに東海近畿地域における早期, 早植栽培の多収機構と栽培時期の移動について. 東海近畿農業試験場研究報告 **15**: 1-42.
- 佐藤美紀雄・熊谷雅之・東信行 (2012) 青森県岩木川左岸地区の農業用水路網におけるヤリタナゴの生活史. 農業農村工学会論文集 **279**: 1-11.
- 佐藤重孝 (2003) 秋田県駒場北地区における生態系保全対策手法(淡水魚)の実施例. 農業土木学会誌 **71**(11): 27-30.
- 島谷幸宏・今村正史・大塚健司・中山雅文・泊耕一 (2003) 松浦川におけるアザメの瀬自然再生計画. 河川技術論文集 **9**: 451-456.
- Stoffels R. J., Rehwinkel R. A., Price A. E., Fagan W. F. (2016) Dynamics of fish dispersal during river-floodplain connectivity and its implications for community assembly. Aquatic Sciences **78**: 355-365.
- 勝呂尚之 (2005) 谷戸の代表種ホトケドジョウ. 「希少淡水魚の現在と未来—積極的保全のシナリオ」(片野修・森誠一編), pp.50-60. 信山社, 東京.
- 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.
- 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.
- 高橋直己・三澤有輝・本津見桜・柳川竜一・多川正・中田和義 (印刷中) 農業水路に適用可能な可搬魚道システムの提案. 農業農村工学会論文集.
- 高取千佳・村瀬由伎・宮脇勝・北村淳一・清水裕之 (2020) 水田の歴史的類型による生態的環境と労働生産性の比較および維持管理シナリオの検討. ランドスケープ研究 **83**: 645-650.
- 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**: 75-81.
- 田中道明 (2001) 水田とその周辺水域に生息するドジョウ個体群の季節消長. 環動昆 **12**: 91-101.
- 田中茂穂 (2006) 魚のゆりかご水田プロジェクト. 環境技術 **35**: 3-8.
- 谷口智之 (2013) 兼業化稲作地域における用水配分と水田管理—茨城県福岡堰土地改良区を事例として—. 農業農村工学会論文集 **283**: 67-73.
- 谷本岳 (2003) 自然圧バイプラインシステムによるかんがい技術. 農業技術 **58**: 25-28.
- 田代優秋・森淳 (2016) 農業農村整備事業における環境配慮はなぜ難しいのか?. 水土の知 **84**: 365-370.
- 田和康太・中西康介・村上大介・西田隆義・沢田裕一 (2013) 中山間部の湿田とその側溝における大型水生動物の生息状況. 保全生態学研究 **18**: 77-89.
- 田和康太・佐川志朗・宮西萌・細谷和海 (2019) 河川域から水田域までのエコロジカルネットワーク形成による水田魚類群集の生息場所および再導入コウノトリ *Ciconia boyciana* の採餌環境の保全. 日本鳥学会誌 **68**: 193-208.
- Tockner K., Schiemer F., Ward J. V. (1998) Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater ecosystems **8**: 71-86.
- Tockner K. & Stanford J. A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. Environmental Conservation **29**: 308-330.
- 東京都産業労働局 (2020a) 田んぼの生きもの調査 (<https://www.sangyo-rodometro.metro.tokyo.lg.jp/nourin/nougyou/hozen/tanbo/>, 2020年9月26日確認).
- 東京都産業労働局 (2020b) 水土里保全活動支援事業(多面的機能支払交付金) (<https://www.sangyo-rodometro.metro.tokyo.lg.jp/nourin/nougyou/hozen/midori/>, 2020年9月26日確認).
- 網川孝俊・酒井忠幸・吉田豊・久保田仁志・佐川志朗 (2012) 栃木県南東部の自然生息地におけるミヤコタナゴ保全への取り組み—ミヤコタナゴ稚魚の生息環境評価と環境改善—. 応用生態工学 **15**: 249-255.
- 角田裕志 (2017) ため池の管理放棄と改廃による水域生態系

- への影響：人口減少で何が起きるか？. 野生生物と社会 **5**: 5-15.
- 和田一範・竹内邦良・有田茂・後藤知子（2005）歴史的な河川施設にみる水管理の教訓に関する考察—信玄堤と都江堤ならびに川除文書における流水制御を例として—. 土木学会論文集 **789** II-71: 105-123.
- Ward J. V. & Stanford J. A. (1995) Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management* **11**: 105-119.
- 山村達也（2016）円山川水系の自然再生（コウノトリ）について. リバーフロント **83**: 8-11.
- 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.
- 柳澤祥子（2009）テレビに生息する生き物. 「農村の生きものを大切にする—水田生態工学入門」（水谷正一編），pp.71-74. 農文協，東京.
- 安室知（2005）水田漁撈の研究 稲作と漁撈の複合生業論. 慶友社，東京.
- 横山哲也・米倉竜次・小松史弥・田畑克彦（2016）計数装置を用いた水田魚道を遡上する魚の計測（第3報）. 岐阜県情報技術研究所研究報告 **18**: 56-57.
- 吉田 豊・石嶋久男・水谷正一・後藤章（2013）栃木県那珂川水系箒川に流入する農業水路における魚類の産卵環境. 応用生態工学 **16**: 1-11.
- 吉田豊・網川孝俊・高木優也（2014）農業水路における魚類の産卵・生育環境の把握—タナゴの産卵・成育環境—（平成24年度）. 栃木県水産試験場研究報告 **57**: 15-16.