魚類学雑誌
48(1): 19–25

千曲川流域の３タイプの水田間での魚類相の比較

片野　修[1]・細谷和海[1,2]・井口恵一朗[1]・青沼佳方[1]

[1]〒386–0031 長野県上田市小牧1088　水産総合研究センター中央水産研究所
[2]現住所: 〒631–8505 奈良県奈良市中町3327–204　近畿大学農学部水産学科

(2000年11月23日受付；2001年2月9日改訂；2001年2月19日受理)

キーワード：水田，生物多様性，淡水魚，千曲川，農業水路

魚類学雑誌
Japanese Journal of Ichthyology
© The Ichthyological Society of Japan 2001

Osamu Katano, Kazumi Hosoya, Kei'ichiroh Iguchi and Yoshimasa Aonuma. 2001. Comparison of fish fauna among three types of rice fields in the Chikuma River basin. Japan. J. Ichthyol., 48(1): 19–25.

Abstract Freshwater fish in rice fields near the Chikuma River, Nagano Prefecture, were investigated by visual census and net sampling. The rice fields were classified into three types. Type 1–terraced and supplied with water from an upper pond; type 2–supplied with water from drainage ditches; and type 3–supplied and drained by separate irrigation ditches. *Rhinogobius* sp. OR (sensu Kawanabe and Mizuno, 1989), *Misgurnus anguillicaudatus* and *Pseudorasbora parva* were abundant in type 1 fields, whereas *Tribolodon hakonensis*, *Carassius* spp., *M. anguillicaudatus* and *Gnathopogon elongatus elongatus* were recorded in type 2 fields. Only *M. anguillicaudatus* was found in type 3 fields. The fish abundance and diversity did not differ significantly between type 1 and 2, but was extremely poor in type 3. The recent rearrangement of rice fields from types 1 and 2 to type 3 evidently reduced fish abundance and diversity.

[1]*Corresponding auther: Osamu Katano, National Research Institute of Fisheries Science, 1088 Komaki, Ueda 386-0031, Japan (e-mail: katano@nrifs-u.affrc.go.jp)*

現在その多くが消失してしまった河川周辺の一時的水域（増水時など一年の一時期にだけ冠水する水域）を生息場所や繁殖場所として利用してきた淡水魚にとって，水田及びその周辺の農業水路がその重要な代替地となっていることは広く知られている（Saitoh, 1990; 片野，1998a; 田中，1999）．卵をばらまいたり水草に産みつけたりするだけで，産卵行動後に卵を保護することのないドジョウ，アユモドキ，ナマズ，コイ，フナ類，タモロコなどの魚にとっては，捕食者の少ない水田やその周辺の一時的水域は繁殖を行ううえで不可欠である（中村，1969; 斉藤ほか，1988; 湯浅・土肥，1989; 片野，1998b）．また水田ではプランクトンやその他の微小な無脊椎動物が豊富に発生する（Ichimura, 1954; 倉沢，1955, 1956; 山元，1987）．これらは多くの仔稚魚の餌として重要であり，水田は淡水魚の生育場としても役立っている．水田において魚の産卵が活発に行われ，多くの種類の仔稚魚が出現することについては数多くの報告がある（中村・元信，1971; 斉藤，1984; 斉藤ほか，1988; 湯浅・土肥，1989; 端，2000）．

しかし，近年では農業水路の改修やほ場整備によって，水田地帯の改変が進められた結果，淡水魚が水田から消えてしまうことが危惧されている（日本生態系協会，1995; 片野，1998a; 田中，1999）．とくに，水田周辺の水路がコンクリートで固められ，水路と水田との段差が著しく大きくなると，淡水魚は水田へ侵入できなくなったり，繁殖や摂食活動を行ううえで不利になると考えられる．実際，藤岡 (1997) および Lane and Fujioka (1998) は茨城県での調査から，水田をとりまく水路の両側がコンクリートで固められ，水路と水田

の段差が1m以上大きくなり，水田をめぐる水の出し入れが揚水ポンプや排水パイプに依存するようになると，水田で確認される魚類の個体数や現存量が著しく減少することを報告している．しかし，異なるタイプの水田間での魚類の種組成，種数，種多様度の比較は行われていない．どのタイプの水田で魚類の多様性や個体数が多いのかを明らかにすることは，魚がすみやすい水田づくりを考えるうえで極めて重要である．

そこで私たちは，長野県の千曲川流域の46カ所で水田環境とそこに生息する魚類を調査した．その結果，水田を形態から大きく3タイプに分けた場合，3タイプ間で魚類の種組成や多様性が著しく異なることが明らかになったので，ここに報告する．

調査場所の概況および調査方法

調査は1996年から2000年の8月24日–26日のうち毎年1–2日，長野県の長野市から小諸市までの千曲川流域の48地点（標高360–760 m）で行った（なお，後述の通り，そのうちの2地点は解析から除外した）．昼間に水田の畦に沿って歩きながら，目視もしくは長さ1.3 mの柄のついた，口径が35 cm×25 cm，深さが28 cm，網目が2 mmのたも網による採捕によって魚類の確認を行ったが，水田の中央部では調査しなかった．水田の水深及び一辺の長さについては調査を行った1～3筆（区画）の平均値を計測した．このほか，水田の配列様式，水田への水の供給方法や用排水システムについても記録した．1地点での調査は2–4名で行い，それぞれが別の畦を歩くこととし，全員の調査時間を合計して30分となったところで終了した．一つの調査区域の広さは，魚の豊富さや土地利用（水田以外の畑や宅地の有無）によって異なったが，200 m×200 mの範囲内であった．採集した魚類のうち，同定が困難なものについては，10%に希釈したホルマリン溶液で固定した後，研究室へもち帰って詳査した．このほか，確認された魚類については，その標準体長が4 cm以上か4 cm未満かを記録した．4 cm以上の個体の割合を大型魚率として，個体数が30以上の場合に計算した．

水田およびその周辺の水路の形態から，水田を以下の3タイプに分類した (Table 1)．

タイプ1：段差のある棚田で，その1筆の大きさは多くの場合50 m×50 mよりも小さい．ため池から水を供給されるために水路はなく，田から田へ落差を利用して水が移動する田越し灌漑が行われる．

タイプ2：平地にあり，水源は河川である．用排兼用水路から水が供給されており，水田から排出される水は同じ水路へ戻る．排水は，水田の一部から水が水路へ流出することによって行われる．水路の側面や底部は土掘りのままのものもあれば，コンクリートや石垣護岸で固められているものもある．

タイプ3：タイプ2と同じく平地にあり，水源は河川である．用水路と排水路が分離されており，排水路は3面ともコンクリートで固められている．排水は水田の地中に埋めこまれた直径7–18 cmのパイプ管が排水路の上部に突出し，その先から水が排水路に流れ落ちることによって行われる．水は用水路から水田へ連続的に流入するので，魚が用水路から水田へ侵入することは可能であるが，用水路では非灌漑期には水の供給が止められる．

調査を行った48地点のうち，タイプ1は16，タイプ2は13，タイプ3は17を占め，いずれも千曲川流域に広く散在していた (Fig. 1)．また，棚田の形状を有しながら，排水路とも直結した水田が2ヶ所あり，これらは上記の3タイプのいずれともきめられないので，今回の解析からは除くこととした．地図上で求めたタイプ1–3の水田調査地点の平均標高（±標準偏差, m）は，それぞれ563 (±95), 405 (±36), 504 (±92) であり，3タイプ間で有意差が認められた (ANOVA, $F_{2,43}=16.5$,

Table 1. Criteria of the three types of rice fields

Type	Arrangement	Source of water	Method of water supply	Irrigation ditches to supply and discharge water
1	Terraced	Irrigation pond	From the upper rice field	—
2	Flat	River	From an irrigation ditch	Same
3	Flat	River	From an irrigation ditch	Separated

—: no irrigation ditch.

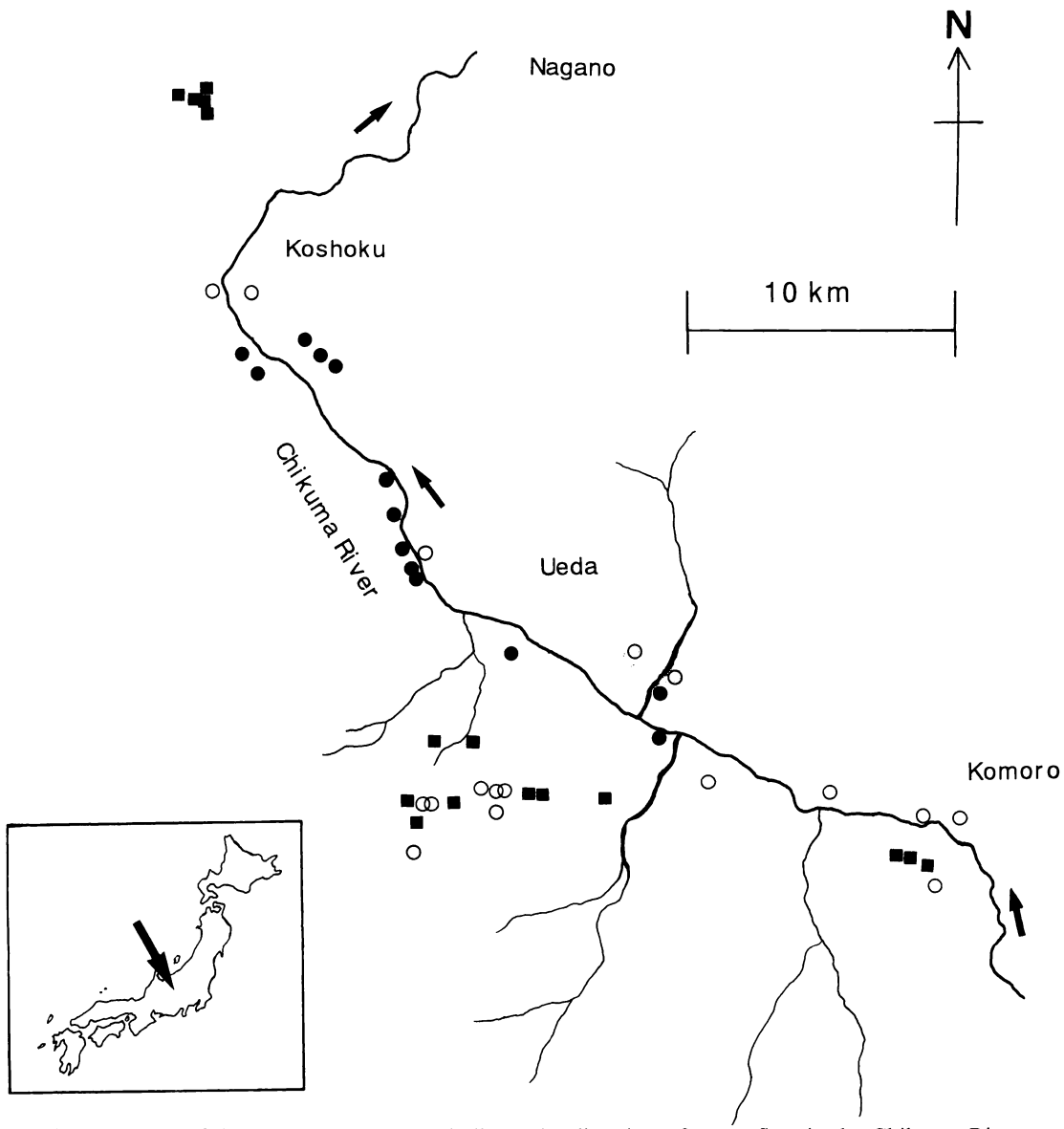

Fig. 1. Map of the study area. Arrows indicate the direction of water flow in the Chikuma River. Three types of rice fields are shown using the different following symbols (■: type 1, ●: type 2, ○: type 3).

$p<0.0001$). タイプ2の水田の標高はタイプ1およびタイプ3の水田のそれに比べて低かった (Scheffe test, $p<0.01$). タイプ1–3の水田の平均水深（±標準偏差, cm）はそれぞれ 5.8 (±2.8), 5.8 (±3.1), 4.7 (±2.8) であり，3タイプ間に有意差は認められなかった (ANOVA, $p>0.2$). 水田のいずれかの一辺が50 m以上あるものの割合はタイプ1で31.3%, タイプ2で46.2%, タイプ3で70.6%であり，タイプ3の水田における割合が他の2タイプの水田における割合よりも高い傾向が認められた（カイ二乗検定, $\chi^2=4.57$, df=1, $p<0.05$）. 水田と排水路との水面差はタイプ2の水田ではすべて40 cm以下であったが，タイプ3の水田ではすべて50 cm以上あり，著しい水田では2.3 mに達していた. 歴史的にタイプ2の水田はタイプ3に比べて古いので（端, 1985），タイプ2を旧型の水田，タイプ3を新型の水田と呼ぶことにする.

種多様度の指数としては森下のβ（森下, 1967; 木元・武田, 1989）を用いたが，総個体数が1以下の場合には計算を行わなかった. また目視によ

るだけで種の同定ができなかった魚は，指数の計算に含めなかった．フナ類の仔稚魚は同定が難しいので1つのグループとして扱い，種多様度の計算に含めることにした．

3タイプの水田間での標高，水深，魚の種数，個体数，種多様度指数の比較にあたっては，これらの変数を正規分布化するために対数変換 ($\log(x+1)$) し，その後に分散分析 (ANOVA) を行った．統計検定の有意水準は5%までとした．

結　　果

調査の結果，合計で11種，989個体の魚が確認された (Table 2)．このうちオイカワは日本の他の地域からの，カラドジョウは朝鮮半島からの移入種である（川那部・水野, 1989; 中村, 1999）．1地点で確認された種数，個体数，種多様度の範囲は，それぞれ 0–6, 0–182, 1.00–15.00 であった．タイプ1と2の水田ではどの地点でも1尾以上の魚が確認されたが，タイプ3の水田では17地点のうち6地点で1尾の魚も確認されなかった．タイプ1の棚田では，トウヨシノボリがもっとも多く61%を占め，ついでドジョウ，モツゴ，フナ類がつづいた．タイプ2の旧型の水田では，ウグイ，フナ類，ドジョウ，タモロコなどが多く，このほかにオイカワ，アブラハヤ，ニゴイなど，合計で10種の魚が確認された．一方，タイプ3の水田で生息が確認されたのはドジョウだけであった．

ドジョウについて，標準体長が4 cm 以上の大型魚の割合を3タイプの水田間で比較すると，有意な違いが認められた（カイ二乗検定，$\chi^2=30.04$, df=2, $p<0.0001$）．ドジョウの大型魚率はタイプ3の水田で31.6%と高く ($n=57$)，ついでタイプ2の水田 (18.6%, $n=59$)，タイプ1の水田 (3.0%, $n=132$) の順であった．その他の魚種（タイプ1のトウヨシノボリ，タイプ2のオイカワ，ウグイ，タモロコ，フナ類）では，大型魚率は10%以下であった．また，これらはいずれかのタイプの水田でのみ数多く確認されたので，その大型魚率の違いを水田タイプ間で統計的に検討することはできなかった．

3タイプの水田間では，種数，個体数，種多様度のいずれについても有意な違いが認められた（ANOVA，種数: $F_{2,43}=27.47$, $p<0.0001$; 個体数: $F_{2,43}=19.76$, $p<0.0001$; 種多様度: $F_{2,34}=4.77$, $p<0.02$) (Fig. 2)．種数については，タイプ1とタイプ3 (Scheffe test, $p<0.0001$) およびタイプ2とタイプ3 ($p<0.0001$) の間で有意差があり，タイプ3の新型の水田で著しく低い傾向が認められた．個体数についても，同じくタイプ1とタイプ3 (Scheffe test, $p<0.0001$) およびタイプ2とタイプ3 ($p<0.0001$) の間で異なり，新しいタイプの水田で確認された魚

Table 2. Species composition and the mean number of fish captured in each site of three types of rice fields

Species	Rice field		
	Type 1 (terraced, $n=16$)	Type 2 (old, $n=13$)	Type 3 (new, $n=17$)
Zacco platypus	0.0±0.0(0.0)*	2.3±6.0(6.5)	0.0±0.0(0.0)
Tribolodon hakonensis	0.0±0.0(0.0)	15.7±20.2(44.6)	0.0±0.0(0.0)
Phoxinus lagowski steindachneri	0.0±0.0(0.0)	0.5±1.9(1.4)	0.0±0.0(0.0)
Gnathopogon elongatus elongatus	0.0±0.0(0.0)	2.5±4.2(7.1)	0.0±0.0(0.0)
Pseudorasbora parva	1.4±1.8(4.7)	0.0±0.0(0.0)	0.0±0.0(0.0)
Hemibarbus barbus	0.0±0.0(0.0)	0.2±0.4(0.6)	0.0±0.0(0.0)
Cyprinus carpio	0.0±0.0(0.0)	0.1±0.3(0.3)	0.0±0.0(0.0)
Carassius spp.	0.2±0.8(0.7)	9.1±29.2(25.9)	0.0±0.0(0.0)
Misgurnus anguillicaudatus	8.3±12.4(27.9)	4.5±8.5(12.8)	3.4±4.6(100.0)
Misgurnus mizolepis	0.0±0.0(0.0)	0.2±0.4(0.6)	0.0±0.0(0.0)
Rhinogobius sp. OR**	18.2±25.3(61.3)	0.1±0.3(0.3)	0.0±0.0(0.0)
Others	1.7±6.8(5.7)	0.0±0.0(0.0)	0.0±0.0(0.0)
Total	29.7±26.6	35.2±49.1	3.4±4.6

* Mean±SD (%).

** sensu Kawanabe and Mizuno (1989).

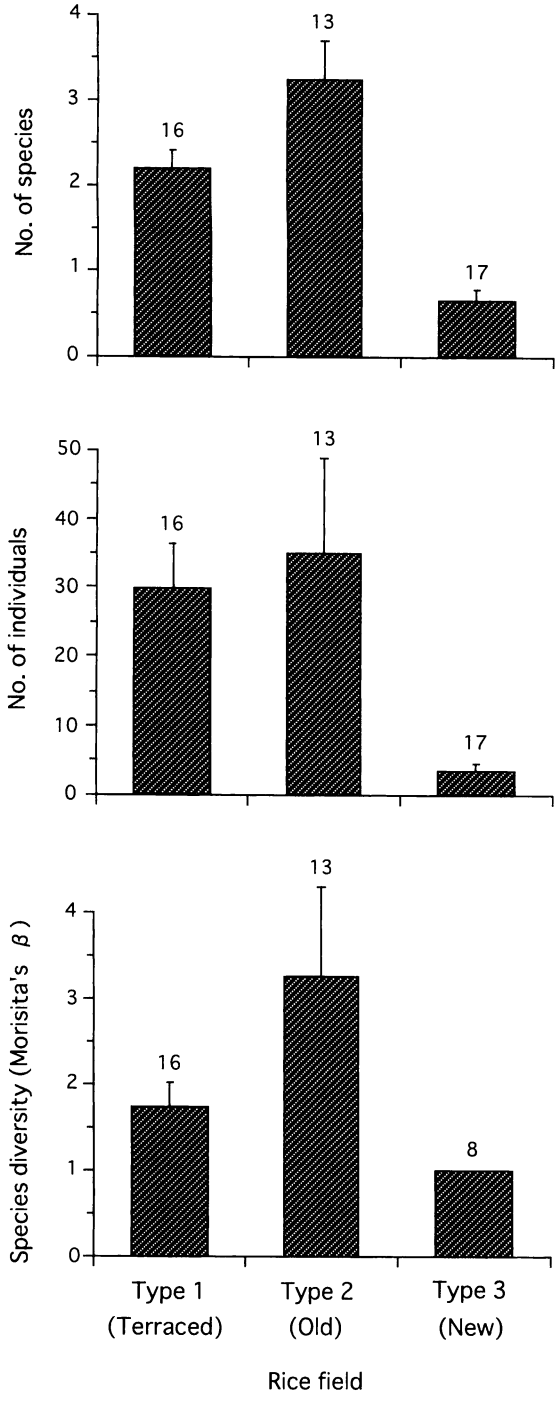

Fig. 2. Comparison of the number of species, number of individuals and species diversity of fish between three types of rice field. The mean values and standard errors among sampling sites are shown. Numerals on top of each bar indicate the number of locations.

が著しく少なかった．種数についても個体数についても，タイプ1とタイプ2の間では有意な差は検出されなかった．一方，種多様度はタイプ2の水田でタイプ3の水田よりも高い傾向が認められたが (Scheffe test, $p<0.01$)，その他の2タイプ間の比較では有意な違いは認められなかった．

考　　察

水田にはその配列様式，給水源，隣接する水路の形状などに関して様々なものがある（中川，1978; 内藤，1981; 地域水利問題研究会，1990）．近年では，給水のためにパイプ管やポンプを用いるので用水路がないタイプの水田や，魚道などの設備によって，水田と排水路との間に段差があっても魚が水田に侵入できるような環境配慮型の水田もつくられつつある．しかし，私たちが調査した長野県の水田では，このような新しいタイプの水田はなく，水田と水路の配列様式や給排水方式によって3タイプが容易に分けられた．水田への灌漑方法は，主に田越し灌漑，用排兼用型灌漑，用排分離型灌漑に分類され，この順に開発されている（端，1985）．本研究における3タイプの水田は，この灌漑方法の3タイプと対応している．

河川から農業水路を通して水が供給される水田では，魚類群集は河川や農業水路のそれに強く影響されるはずである．私たちが水田調査と並行して行った，長野県上田市周辺の農業水路における魚類調査では，ウグイ，タモロコ，ドジョウなどが多かった（片野ほか，未発表）．これらは今回の調査におけるタイプ2の水田でも多く確認されている．一方，ため池から田越し灌漑によって水を供給されるタイプ1の水田の魚類群集は，水田の水が非灌漑期には消失するので，ため池のそれに強く依存する．タイプ1の水田では，トウヨシノボリやモツゴなど，他のタイプの水田ではほとんど見られない魚種が多く確認されたが，これらは一般的にため池に多い（中村，1969; 宮地ほか，1976; 川那部・水野，1989）．また私たちの調査でも，タイプ1の水田に水を供給するため池の魚類群集において，モツゴやトウヨシノボリが優占することが確認されている（細谷ほか，未発表）．したがって，ため池に依存するタイプ1の水田において，平地の水田とは異なる魚種が分布していたのは当然と言えよう．ため池から水を供給される水田の魚類についてはほとんど報告がないが，本研究の結果，その1地点あたりの平均種数や個体数は平地の旧型の水田と比べても劣るわけではないことが確かめられた．水路はないものの，ため池とその周辺の棚田の保全は，その地域に生活する淡水魚を守るうえで不可欠であろう．

平地の水田のうち，用排兼用水路から水を供給されるタイプ2の水田では，比較的多くの魚種が数多く確認された．その多くは体長が4cm未満であり，その大きさから考えてトウヨシノボリを除けば稚魚もしくは未成魚などの幼魚と考えられる（中村，1969; 宮地ほか，1976; 川那部・水野，1989）．水田はドジョウ，タモロコ，フナ類などにとっては産卵場および幼魚の生育場所として機能することが知られている（斉藤ほか，1988; 湯浅・土肥，1989; 端，2000）．本研究で確認されたこれらの幼魚は，水田やその周辺の一時的水域で生まれた後，水田で育ったものと考えられる．また，水田で生じるプランクトンや水生昆虫などの微小な無脊椎動物は，各種の幼魚にとって重要な餌資源となる．タイプ2の水田で，ウグイ，オイカワ，アブラハヤ，ニゴイなど，水田以外の河川や農業水路で産卵する魚（中村，1969; 川那部・水野，1989; Katano and Hakoyama, 1997）の幼魚が多く見られたのは，それらが水田で生じる餌を利用するために水田へ侵入したためであろう．実際，斉藤 (1984) および斉藤ほか (1988) も岡山県や京都府での調査から，オイカワ，ヤリタナゴなどのタナゴ類，カワムツなど，水田では産卵しない魚が水田へ侵入すること，その多くが未成魚であることを報告している．

タイプ1と2の水田では，魚類相こそ異なっていたが，1水田あたりの魚種数，個体数，種多様度に有意差は認められなかった．一方，タイプ3の水田では全く魚が確認されないか，ドジョウだけが少数確認されただけであり，その1水田あたりの魚種数，個体数，種多様度は他と比べて著しく小さな値を示した．タイプ3の水田の特徴は用水路と排水路が分離されており，水田と排水路の水位差が著しく大きなことにある．用水路では非灌漑期には水の供給が止まるので，魚の生息場所としては排水路が重要である．しかし，水田と排水路の水位差が大きく，水田からの排水が地中に埋めこまれたパイプ管による場合には，魚が排水路から水田へ侵入することは不可能であり，そのために水田の魚類も貧弱になっていると考えられる．これに対して，用排兼用水路では水田と水路との水位差が小さく，魚は水路から直接的に，またはさらに小溝を通って間接的に水田へ侵入することが容易である．タイプ2の旧型の水田でタイプ3に比べて多くの魚が認められたのは当然と言えよう．またこの結果は，茨城県の整備された新型の水田で魚類の個体密度やバイオマスが著しく小さかったという Lane and Fujioka (1998) の報告とも一致する．

近年行われているほ場整備は水田の大型化，用水路と排水路の分離，水田と排水路の水位差の増大，水路の三面コンクリート化などを含む一連の事業として行われてきた（中川，1978, 2000; 内藤，1981; 端，1987）．これらの特徴をもつ整備田は，私たちの分類によるタイプ3の水田とほぼ一致する．一方，タイプ1の水田は元来水路から水を供給されているわけではなく，水田の大きさも多くの場合小型のままであるので，未整備田であると言ってよいであろう．またタイプ2の水田は近年のほ場整備に関しては未整備田であると言えるが，隣接する水路が3面ともコンクリートでつくられていたり，水田の一辺が50m以上あったりするなど，必ずしも近年に人の手が加わっていないわけではなかった．

最近では，生物との共存をめざした水田づくりが模索されており，魚類に関しても生息場所の環境条件の改良や，水路から水田への魚の遡上を保証する魚道の設置などが試みられつつある（端，1987, 2000; 中川，2000; 水谷，2000; 仲村，2000）．今後水田の魚類を守るためには，魚類の豊富な未整備の水田はそのままの形で残すことが望ましい．また，ほ場整備によって魚類が生息できなくなった水田については，魚類が水路から水田へ侵入し，繁殖活動や摂食活動を行うことができるような改良が一層進められなければならない．そのためには，魚のすみやすい水田づくりについて様々な試みが行われ，そこで実際にどれほど多様な魚類群集が形成されるのかを調べていくことが必要であろう．

謝　辞

水田調査にあたっては，多くの水田の所有者の方々に御協力頂いた．また，魚類確認調査では松原尚人，西村俊明，高橋俊一，東条幸治，淀太我の各氏に協力頂いた．ここに記して深く謝意を表したい．本論文は中央水産研究所業績B-268として認定された．

引用文献

藤岡正博．1997．水田がはぐくむ水生動物とサギ類．遺伝別冊，9: 69–77.

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(11): 47–52.

端　憲二．2000．水田への魚類の遡上．農村と環境，16: 61–69.
Ichimura, S. 1954. Ecological studies on the plankton in paddy fields. I. Seasonal fluctuations in the standing crop and productivity of plankton. Jap. J. Bot., 14: 269–279.
Katano, O. and H. Hakoyama. 1997. Spawning behavior of *Hemibarbus barbus* (Cyprinidae). Copeia, 1997: 620–622.
片野　修．1998a．水田・農業水路の魚類群集．江崎保男・田中哲夫（編），pp. 67–79．水辺環境の保全．朝倉書店，東京．
片野　修．1998b．ナマズはどこで卵を産むのか．創樹社，東京．ii+225 pp.
川那部浩哉・水野信彦．1989．日本の淡水魚．山と渓谷社，東京．719 pp.
木元新作・武田博清．1989．群集生態学入門．共立出版，東京．vi+198 pp.
倉沢秀夫．1955．水田におけるPlanktonの消長．日本生物地理学会会報，16–19: 428–432.
倉沢秀夫．1956．水田における Plankton 及び Zoobenthos の組成並びに Standing crop の季節的変化 (I)．資源科学研究所彙報，41–42: 86–98.
Lane, S.J. and M. Fujioka. 1998. The impact of changes in irrigation practices on the distribution of foraging egrets and herons (Ardeidae) in the rice fields of central Japan. Biol. Conserv., 83: 221–230.
宮地伝三郎・川那部浩哉・水野信彦．1976．原色日本淡水魚類図鑑．保育社，東京．462 pp.
水谷正一．2000．ドジョウの水田への遡上．農村と環境，16: 70–76.
森下正明．1967．京都付近における蝶の季節分布．森下正明・吉良竜夫（編），pp. 95–132. 自然－生態学的研究．中央公論社，東京．
内藤克美．1981．水田パイプラインの発展とその背景．水と土，44: 2–5.
中川昭一郎．1978．水田を主体とした農業水利と水の動き．科学，48: 605–613.
中川昭一郎．2000．ほ場整備における生態系への配慮．農村と環境，16: 48–53.
中村浩志（編著）．1999．千曲川の自然．信濃毎日新聞社，長野．213 pp.
中村守純．1969．日本のコイ科魚類．資源科学研究所，東京．ii+455 pp., 149 pls.
中村守純・元信　堯．1971．アユモドキの生活史．資源科学研究所彙報，75: 8–15.
仲村則夫．2000．ほ場整備と生態系の調和に向けて．農村と環境，16: 112–117.
日本生態系協会．1995．ビオトープネットワークII—環境の世紀を担う農業への挑戦—．ぎょうせい，東京，127 pp.
斉藤憲治．1984．農業用水路の改修工事の影響を少なくするために（私案）．淡水魚，10: 47–51.
Saitoh, K. 1990. Reproductive and habitat isolation between the two populations of the striated spined loach. Env. Biol. Fish., 28: 237–248.
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水域への侵入と産卵．日本生態学会誌，38: 35–47.
田中正彦．1999．水田・水路の魚類—淡水魚類からみた土水路の重要性．遺伝，53: 36–40.
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.
地域水利問題研究会（編）．1990．農業水利秩序再編の課題．農林統計協会，東京．314 pp.
山元憲一．1987．水田におけるプランクトンの消長．水産増殖，34: 261–268.
湯浅卓雄・土肥直樹．1989．岡山県における水田及び水田に類似した一時的水域で産卵する淡水魚群—アユモドキを中心として—．淡水魚保護，2: 120–125.