

水田生態系の変質と保全のための研究・技術開発*

森 淳

1. はじめに

農業農村整備事業は農地整備などを通じてわが国の農業生産性の向上に寄与してきた。農業農村整備事業とは、農地の改良、開発、保全および集団化を行い、農業生産の基盤である水利条件、土地条件などの整備、開発、保全ならびに農村の生活環境基盤の整備を行う事業である¹⁾。具体的には、農業用水の安定的補給を目的として頭首工（河川の取水堰）や幹線水路を整備する灌漑排水事業、労働時間の短縮と土地生産性の向上を目的として狭小な水田をまとめる区画の整理、水路、水路の整備などを総合的に行う圃場整備事業、農村地域における小規模分散型の下水処理施設である農業集落排水事業など多岐にわたる。

農業農村整備事業は農業の近代化に貢献した一方、施工に伴って水田や水路の環境が改変されたことから、これらをハビタットとする生物や生態系へのインパクトが無視できない状況となった^{2~3)}。このため2001年に農業農村整備事業の実施に関して必要な事項を定めた土地改良法が改正され、環境との調和に配慮して事業が実施されることとなった。

本稿では水田生態系の変質について概説した後、農業農村整備事業、特に圃場整備が生態系に対して与える影響を総括し、対策と課題を述べる。

なお、本稿では、稲作に供される水田以外の空間、たとえば水路や溜池などの水域および畦畔や水田近くの里山・草地、人家などの陸域も含めて水田生態系ととらえる。魚類は水田と水路を行き来し、水路に接する里山などの陸域もカエル類などの生息地として利用されているように、水田周辺の生物は水田以外の土地を一体的に利用しているからである。この定義によれば、水田生態系はかなり広い空間スケールになる。

2. 水田生態系の変質

2.1 水田生態系の特性

わが国に水稻作が伝えられて以降、先人達は後背湿地など水を得やすい土地を水田に変えて水稻作の拡大に努

めてきた。江戸時代になると農業土木技術の発達によって大規模な水利施設が開発され、各藩は新田開発に熱心に取り組んだ。明治初期の水田面積は江戸時代初期のほぼ倍に増えている。生物の視点からとらえれば、水田の拡大は生息域の広がりともみなすことができる。

水田生態系は、人が水田や農業水路・溜池などの水利施設を作り、管理・維持してきた二次的自然である。水生生物はこの人工的な環境をうまく利用してきた。

水田は営農という周年的な攪乱を受けている⁴⁾が、長い時間軸でとらえれば人為的管理によって安定的に維持されてきた。しかし近年、後述する水田生態系の急激な環境変化により、時間軸上の不連続点が生じたと考えられる。

水田生態系は、水域である水田、水路、溜池などと陸域である人家、水田近くの畑、里山、草地など多様な土地がモザイク状に集まり、相互に影響し合っている特徴を持つ。

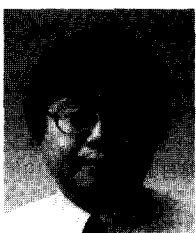
水田生態系には多様な土地利用が内在されており、植生、水域環境・土壌水分量、日照条件など環境条件が複雑である。そして環境条件の違いに応じて多様な生物が生息している。水田生態系は微小生態系が複雑に関連し合っている集合体である。

水田生態系の生物の多くは以上のような空間的多様性を利用した生活史を持っている。たとえば、タガメ (*Lethocerus deyrollei*) が生活環を完結させ世代交代するには、繁殖の場である水田だけでなく水路、池、河川、里山も必要である⁵⁾。

水路のネットワーク機能によって河川、溜池、水田など多様な水域が連続していることも水田生態系の特徴であり、水田を中心とするモザイク構造はこのネットワークによって連結されているとみることができる。ネットワーク機能の維持および産卵や生育のための環境を維持することは、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⁶⁾。水田など一時的な水域と河川などの恒久的な水域を連結する農業水路の存在は、魚類の種多様性の維持に貢献している⁷⁾。

水田は、水路と連結されることにより、生物・物質の供給源としての機能も発揮している。すなわち、農業水路の魚類相が豊かなのは、一時的な水域でプランクトンや仔稚魚が生産され恒久的な水域に供給され、主に恒久的な水域を利用している種も含めて農業水路系の生態系が支えられているからである⁷⁾。

水田と水路は陸水界の一部であり、河川や地下水を水源とし、排水は河川に合流している。水田生態系は河川生態系や森林生態系などと相補しながら、上位階層である流域生態系の一部として機能していると考えられるが、流域において水田生態系が果たしている機能の評価は進んでいない。



Atsushi Mori
昭和59年 北海道大学農学部卒業
同年 農林水産省
平成15年 農業工学研究所（現農村工学研究所）
19年 御農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農村環境部生態工学研究室長
博士（農学）

* The Deterioration of the Paddy Ecosystem and Reserch Development for Conservation

2.2 農業の近代化と水田生態系の変質

戦後の経済成長とともに広がった農工間格差の是正などを政策目的とした旧農業基本法農政の下で、わが国の農業は近代化の一途をたどった。生産基盤としての水田および水路は、1963年に制度化された圃場整備事業などによって整備が本格的し、区画の大型化、道路や農業水路、暗渠（地下排水管）の整備が進められた。

圃場整備など生産基盤の整備は、肥料や農薬を多投入する農法、品種改良、普及活動の浸透などとともに、農業生産性の向上の原動力となった。

圃場整備が行われる前、農家は小さな不整形の水田をあちこちに所有していたので農作業が非効率的であった。地下水位が高いと大型機械が走行できず、また水稲作以外の栽培に不適な場合がある。経営規模の拡大を目指す農家や集団がいても水田がバラバラの状態では借りにくい。圃場整備によってこれらの問題は解決され、農業生産性の向上と水田の高度利用が進んだ。なお、2003年、担い手の育成を促進するために、圃場整備事業は土地改良総合整備事業とともに経営体育成基盤整備事業に再編されている。

生産基盤の整備や農業改良普及など多方面からの施策により農業生産は近代化した一方で、農業や農村を取り巻く社会経済的条件が変化したこともあり、水田生態系は大きく変質した。この原因は以下のように考えられる。

① 都市化の進展に伴う農村空間の縮小

都市近郊を中心とした水田の宅地化など農地の潰廃、里山のゴルフ場開発などが含まれる。無秩序な開発によって農地が蚕食される、いわゆるスプロール化現象は、農地の生息空間としての機能を低下させた。

② 伝統的農法から近代農法への変化

農薬や化学肥料を多投入することによって多収量を目指した近代農法が普及した。

近年、低農薬化が進み毒物・劇物に該当する農薬の使用量は減少しているが、農薬が生態系に影響を与えている可能性は否定されていない⁸⁾。

③ 生産基盤の整備に伴う生息環境の変化

水田・水路など農業生産基盤の整備により生息環境が変貌したことが生態系に影響を与えた。本章では主としてこの影響について論じる。

④ 水稲作付面積の減少と耕作放棄地の増加

生産調整、過疎化・高齢化により、水稲の作付面積が減少し水生動物の生息適地が縮小した。また離農や経営規模の縮小にもなって耕作放棄が発生しやすく、水生生物の生息への影響が懸念される。

⑤ 里山環境の変質

里山は薪炭林、堆肥原料の生産の場として利用されてきたが、石油や天然ガス、化学肥料への転換が進み、管理が粗放化した。溪流に生息する昆虫には河畔林や森林を生活史の一部に利用している種が多い⁹⁾。里山の荒廃は里山に生息する生物のみならず隣接する水田・水路の生物にも影響を与えているかもしれない。

2.3 生産基盤整備の影響

2.3.1 工事の特性と施工時のインパクト

農業農村整備事業の工事の特性そのものが生態系に影響することについて議論されてこなかった。

流水であることなどの共通点がある河川の改修と比較

すれば、このことが明らかになる。河川改修は、都市部の暗渠化など例外はあるもの、多くの場合現位置で施工される。つまり河川生態系の空間的位置は変わらない。

これに対して圃場整備など水田の改良工事と一体的に農業水路が整備される場合、区画の統合・整理にもなってルートを変更することが多いから、現況水路は改廃されて水田の一部になり、水路は従前と別位置に造成されることが少なくない。現位置に施工される場合であっても水替えや重機による掘削工事が行われるため、現況のハビタットはほとんど原型をとどめない。

生態系の視点からみれば、圃場整備における水路工事は生息空間の潰廃と創出をともなうため、代償ミティゲーションと同質であるといつて差し支えない。代償ミティゲーションはミティゲーションの中で最も優先度の低い手段である。

生産基盤整備の工事は、多くの場合非灌漑期に行われる。圃場整備ではブルドーザーなどを使って区画を変更する前にイネの生育にとって重要な作土をいったん剥いで仮置きし、区画整理後元に戻す。これを表土扱いという。表土扱いや灌漑排水事業における掘削工事は、冬眠中の両生類などの小動物を攪乱する。畦畔の土は植物のシードバンクとして重要であるが、保存・復元されることはほとんどない。

圃場整備は、大規模な土工をともなうから降雨後に濁水が発生することがあり、また工事区域と鳥類の巣が近接していると騒音などが営巣に影響を与える恐れがある。

2.3.2 恒久的なインパクト

工事による環境要素の改変は恒久的に継続し、従前の状態どおりに復帰することはない。圃場整備による生態系保全上の問題は、①区画の拡大整理に伴うビオトープの喪失、②湿田の乾田化に伴う生物生息空間の悪化、③用・排水路のコンクリート化に伴う問題に分類できる¹⁰⁾。

(1) 生息空間の縮小

①は、農村地域における土地利用の改変に伴う生息空間の縮小・変質と言い換えることができる。複雑に入り乱れていた水路が圃場整備によって整理・統合されるため、結果的に流水面積および水際面積の総量が減少することも水生生物の生息に影響するだろう。用水源の統合にもない溜池の潰廃や管理放棄が起きる場合もある。

水田生態系を構成しているモザイク状の土地利用には、農業生産に直接的には関係のない、しかし生物が頻繁に利用している湿地、雑木林、草地などが含まれている。農地以外の周辺地と一体的に整備される事業（たとえば中山間地域総合整備事業の中で農地開発事業が実施される場合）では、これらの土地が開発されることがある。

用水温の上昇や排水機能の補強などを目的として水田の畦畔沿いに設けられる、地方名でテビヤヌルメなどと呼ばれる副次的な小水路・小溝は、水生生物のハビタットや越冬場所として重要であるが¹¹⁾、圃場整備後消失する。土地利用間あるいは内部に存在していた相互補完的な関係の弱体化は生態系の健全さを低下させる。

(2) 暗渠と乾田化

大型機械による労働生産性の向上は旧基本法農政の政

表1 土水路とコンクリート水路の環境の違い

項目	土水路	コンクリート水路(三面張り)
流速	中～小。勾配・水深が一定でないため多様。射流もみられる	流速は大きく、同一断面・狭い区間でみれば一定である。
水深と断面	水深は浸食・堆積作用により多様。断面は一様でなく、エグレは動物の隠れ場所になる。	水深はほぼ一定。断面は矩形または台形の標準断面がとられる。
流量	立地条件によって異なるが、流域からの排水量を通過させる能力を持つ。	圃場整備による流出係数の変化などにより、従前に比べて大きくなることが多い。比流量が大きくなることが多い。
底質	礫質から粘土質まで様々である。小排水路ではシルトまたは粘土が多い。	コンクリート。土砂が堆積している箇所もある。
植物など	抽水植物や沈水植物などが生育している。礫床では付着藻類が見られる。水路際には植物のカバーが生育している所もある。	土砂の堆積などに植物が生えることがあるが、土水路に比べて少ない。
水際域とのつながり	地下水や土壌水とつながっており、栄養塩類が吸収される。	遮断されている。

策目的を実現する有力な手段だった。

水はけの悪い水田では、稲刈り前に水を切ってもぬかるんで稲刈りの大型機械が沈み込んでしまうことがある。大型機械を利用するには地下水を排除し地耐力を増さなければならない。また湿田はコムギやダイズなどの生産に適していないから、水田を畑として用いるには地下水排除が必要である。排水路に余剰な地下水を排除し土壌水分量を適正にコントロールすること(乾田化)を目的として、水田の地下にパイプ(暗渠)を敷設する暗渠工は、圃場整備時に一工種として施工されることが多い。

乾田化は農業生産性を向上させるうえで必要であるが、一方で生物の生息環境が変化する。ニホンアカガエル(*Rana japonica*)などは早春水田の水溜まりなどに産卵する生態を持つ。乾田化にともない水溜まりが消失すると、産卵適地が消失する(②)。乾田化は水田生態系の水辺環境としての変遷¹²⁾である。

さらに、暗渠の出口は排水路の水面より上になればならないから、水田と排水路の標高差が大きくなる。この段差のために水田に遡上して産卵するドジョウなどの魚類が遡上できず、ピオトープネットワークの断点となる。

(3) 水路構造の改変

土水路がコンクリート化されると、流速、水深、底質植生など生物の生息に関与する物理的条件が悪化する(③;表1)。流速を例にすれば、経済的な最小断面が基本であるから、流速は従前より大きくなり、コンクリート水路で生活史をまっとうすることは困難である。

さらに、コンクリート水路に多く施工される落差工は、魚類の遡上だけでなく、水路に落下したカエル類など小動物の脱出を阻害する。つまりコンクリート水路は水路の縦断方向のみならず、横断方向の断点ともなる。

水路構造の変化は生物の移動分散だけでなく、魚類の生活史にも影響を与える。

メダカのように水草や抽水植物などに卵を産み付ける魚類にとって、水域内の植生は繁殖の絶対条件である。他方、ウグイのように砂礫に産卵する種もいる。多様な底質は多様な種の再生産の必要条件である。しかし、コンクリート水路の底質は、土砂の堆積によりコンクリ

ト以外の底質も経年的に出現するものの、従来の土水路と比べれば極めて単純である。

また、遊泳力の弱い稚魚は流速の小さな水域を必要とするが、改修後の水路は流速が大きいため、稚魚にとって過酷な環境である。

メダカのように水田や農業水路で一生を送る種にとって、水路のコンクリート化は水田・水路の断絶とともに生息環境の消失を意味する。環境省が、それまで普通に生息していると思われていたメダカを絶滅のおそれがあるとしてレッドリストに掲載した¹³⁾背景には、このような環境の改変が強く影響している。

餌資源の面からもコンクリート水路は問題が多い。コンクリート水路は、礫床水路と比べて付着藻類の成育に適しておらず、流速が大きいため陸起源のデトリタスは堆積しにくい。これらは水路内の食物連鎖の原点である。さらに、水路底質の画一化は、様々な生活型を持つ水生昆虫などの生息を直接的に制限する。たとえばヒゲナガカワトビケラ(*Stenopsyche marmorata*)のような造網性種はコンクリート水路では生息できない。従前の食物連鎖において造網種が餌資源として重要な役割を担っていたならば、新たな環境における餌の賦存量は減少する。

3. 生態系保全工法の開発と課題

農業農村整備事業では、河川工学分野における生態工学技術などを適用して、頭首工に設置される魚道や魚類の遡上を阻害しない水路落差工などを施工してきた。この他にもワンドやピオトープ池など河川工学の事例を参考にしたものが多い。

農業水路と河川を比較すると、農業水路は一般的に小規模であること、流量に大きな季節変化があることなどの点で違いがある。また幹線水路など基幹施設を除き、管理が受益農家の団体(土地改良区)に委ねられていることも特徴である。

他の生態系で用いられていた技術をそのまま水田生態系に導入することは適当でないことがある。水路に転落した小動物を脱出させるためにU字型水路にスロープをつけた水路が開発されている。この施設は、降雨時以外は水が流れていないことが多い林道側溝などに用いられる場合はカエル類の脱出を促す効果があるが、灌漑期の

ほとんどの間水が流れている水田の小排水路では十分な効果が期待できない¹⁴⁾。なぜならカエル類は意外なほど泳ぎが得意ではなく、また視覚を高度な行動に結びつけることができないから、スロープを使って脱出できると認識しないからだ。カエル類の水路への転落に関しては、脱出を助けるのではなく、落ちないように蓋をすべきだ¹⁴⁾。全線にわたって蓋をする必要はない。この対応策は水路が小規模であるからこそできることである。

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。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が開発され¹⁵⁾、魚類の遡上に効果があることが確かめられている¹⁶⁾。これら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倍に達した¹⁷⁾。千鳥X型の水田直結型魚道が現地で施工された例を写真1に示す。

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2段式水路が導入されている²⁾(写真2)。この工法は土水路によって水路と水田のネットワーク機能を確保し、排水断面の不足分を暗渠で補うものである。この工法は魚類の水田への遡上を阻害しないだけでなく、土水路が持つ生態系保全効果も期待される。

ところで、農業水路系におけるネットワークの確保が魚類相の新たな攪乱を起こすおそれもある。魚道の設置が国内移入種の進入を助長したことが指摘されている¹⁸⁾。これは表面化していない、しかし大きな問題である。関東地方では近年まであまり生息していなかったカワムツ (*Zacco temminckii*) やヌマムツ (*Zacco sieboldi*) が生息域を拡大させている。魚道の設置がこれらの種の生息域拡大を助長させ、従来生息していた種の生息を脅かしているかもしれない。

農村地域に生態系保全工法を導入する上で最もネックになるのはコストと維持管理である。特に水路の維持管理は永年にわたって受益農家の負担となるため、生態系保全効果が大きい土水路の施工や、現況の土水路を整備せず保全することに賛意を得ることが困難な場合がある。また、地形勾配が急で流速が大きくなる地区では、施設の安全性を確保するためにコンクリート水路が不可欠である。

コンクリート水路は経済性のほか維持管理の効率性、安全性の点で優れている。水田生態系の特徴を考慮しつつ、ある程度生物の生息に適するようなコンクリート水路が開発されれば、農家が安心感を持って選択することができるはずだ。

面的広がりを持つ水田生態系の保全を図るには、たとえ生態学的な意義が多少劣っているとしても農家が受け入れやすい施設を開発し施工量を増やしていくことが現実的な対応であると筆者は考えている。

このためには材質としてのコンクリートの改良もひとつの方法だろう。表面を粗く加工することにより、水生昆虫の個体数、付着藻類が増加したことが報告されている¹⁹⁾。またポーラスコンクリートは、水際の植生や堆砂など水生昆虫に適した生息環境を創出する²⁰⁾。

水田生態系において魚巣ブロックの効果が長期間モニタリングされた事例は少なく、現場技術者は農業水路系



写真1 千鳥X型を用いた水田直結型魚道の例
(栃木県上三川町)



写真2 2段式水路;中央部の土水路が千鳥X型魚道によって支線排水路と連結している。右下に暗渠の出口が見える。(栃木県西鬼怒地区)

における効果的・経済的設計に苦慮している。河川改修などですでに普及している技術であっても、水田生態系においていかに適用すべきか、ひとつひとつ検証していくことが必要だ。

生態系保全上問題を起こしやすい水路は、流速が大きくしかも流速分布が均一的であること、水深が一定であること、底質が均質で多様な魚類の繁殖や餌となる水生昆虫の生息に適していないこと、水際のエグレのような隠れ場がないことなどである。

このなかで流速は水路設計によって自ずと決定され、施工後の修正が不可能な因子である。水路全区間にわたって流速を小さくすることは、水路の断面積が大きくなり経済性に劣ること、さらに土砂の堆積、用地の問題から困難である。しかし、縦断勾配に緩急をつけたり、拡幅部を設けたり²¹⁾することによって一部に流速の小さな区間を創り出すことは可能である。

圃場整備は現況地盤の切盛をとまなう。切盛土量を抑え現況地形をあまり変えないことで水路縦断勾配に緩急をつけることもできよう。勾配だけでなく現況の曲線を生かすことも重要である。

勾配や断面が単調でなければ底質など他の環境因子も多様化し、土砂の堆積、抽水植物群落の発生などにもなる様々な微小生態系の発生が期待される。これらの遷移は自然界の復元能力といってよく、環境因子の多様化は復元能力に決定的なダメージを与えないための必須条件である。

4. 今後の展望

これまで農業農村整備事業では生態系保全対策として水域ネットワークの確保に重点がおかれてきたが、今後は水路のハビタットとしての質を一定程度確保して、そこで生息している生物の生活史を確保する必要がある。その手段の一つである魚類の餌資源の確保にむけて、安定同位体比を用いた食物連鎖解析が行われている²²⁾。前述した環境因子の多様化は生物の生活史を循環させることにもつながる。

わが国には末端まで含めると40万 km もの農業水路が存在する。その中には耐用年数に近くなった施設もかなり含まれている。更新時には、かつて施工時に負のインパクトを与えた生態系を復元することが社会的に要請されよう。

農業生産性の向上という事業目的と生態系の復元をどう折り合いをつけるのか、事業主体、農家、財政当局のみならず国民全体の幅広い議論が必要であろう。

参考文献

- 1) 農業土木学会 (2003) 改訂 5 版農業土木標準用語事典, 241.
- 2) 水谷正一 (2000) ドジョウの水田への週上, 農村と環境, 16, 70-76.
- 3) 長利洋, 奥島修二 (2003) 生態系に配慮した圃場整備技術研究の現状と展開方向, 農業土木学会誌, 71(11), 981-984.
- 4) 日鷹一雅 (1998) 水田における生物多様性保全と環境修復型農法, 日本生態学会誌, 48, 167-178.
- 5) 日鷹一雅 (2001) 多様な生きもの達から観た水田生態系—残された生物多様性ホットスポットの村々のフィールドワークから—, 琵琶湖研究所報, 20, 90-101.
- 6) 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週上魚類の季節変化, 魚類学雑誌, 50(1), 25-33.
- 7) 斉藤憲治, 片野治, 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.
- 8) 環境省 (2002) 農薬生態影響評価検討会第 2 次中間報告.
- 9) 竹門康弘 (1997) 溪流における水生昆虫の棲み場所保全, 砂防学会誌, 50(1), 52-60.
- 10) 中川昭一郎 (2001) 農業農村整備とビオトープの保全・創出, 農業土木学会誌, 69(9), 927-932.
- 11) 柳澤祥子 (2006) 谷津田におけるテビの生物相とハビタットとしての特性, 宇都宮大学大学院修士論文.
- 12) 日鷹一雅 (1999) 水田における生物多様性とその修復, 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—, 129, 朝倉書店, 東京.
- 13) 環境省 (1999) 汽水・淡水魚類のレッドリストの見直しについて, <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=818>
- 14) 林光武, 高橋伸拓 (2007) カエル類の水路への転落対策とその効果, 水谷正一編著, 水田生態工学入門, 134-136, 農文協.
- 15) 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(2), 1263-1266.
- 16) 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證する小規模魚道の試作と実験, 応用生態工学, 4(2), 163-177.
- 17) 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, 72(6), 641-651.
- 18) 守山拓弥 (2004) 水田地帯の恒久的な水域における魚類の移動と再生産に関する研究, 宇都宮大学大学院修士論文.
- 19) 湯本宏紀, 大久保博, 前川勝朗 (2006) コンクリート表面の粗さと水生昆虫の定着, 平成18年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, 338-339.
- 20) 佐藤健司, 小野芳, 三輪式, 奥島修二 (2006) ポーラスコンクリート水路における生物生息環境の特性, 日本緑化化学会誌, 32, 26-31.
- 21) 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.
- 22) 森淳 (2004) 農業用排水路と溜池における生物を媒介とした物質循環, 農村計画学会誌, 23(3), 203-210.