

## 4. 魚のゆりかご水田による在来魚増殖方法の効率化

### 4.1 遡上の可能性を高める水田魚道の構造と水田側の準備

#### (1) はじめに —「魚のゆりかご水田」の現状—

滋賀県では、2001年から農村地域の水質および生態系の保全を目的とした「みずすまし構想」の一環として、琵琶湖周辺の水田において、昔のように琵琶湖から排水路を通して魚が水田まで遡上して産卵繁殖できる環境を取り戻す「魚のゆりかご水田プロジェクト」が進められている（堀・菅原，2013）。「魚のゆりかご水田」（以下、ゆりかご水田）とは、魚が排水路から遡上できる水田魚道を取り付けられた水田とその取り組みの総称である。その水田魚道のタイプには、支線排水路の水位を階段状に田面近くまで堰上げることにより、堰上げた排水路区間に面する全ての水田への遡上が可能となる「排水路堰上式魚道」（以下、堰上式魚道）と、水田一筆ごとに階段状の魚道を設置する「一筆型魚道」がある。この取り組みは、主に農村地域の活動組織による自主的な活動として行われ、その取り組み地区と水田面積は、2006年度の12地区40haから、2018年度には28地区148haにまで拡大している（滋賀県農政水産部農村振興課，2018，速報値）。

このゆりかご水田と関りの深い魚類の一種に琵琶湖の固有亜種であり、漁業対象種としても重要なニゴロブナがある。ニゴロブナはもともと圃場整備される以前には琵琶湖周辺の水田地帯を産卵繁殖場所としてよく利用しており（前畑，2001）、また、現代においても水田はニゴロブナ仔稚魚の成育場所として有効に機能することがわかっている（上野ら，2001；金尾ら，2009）。そのため、ゆりかご水田の取り組みは、減少したニゴロブナ資源の回復に寄与する効果も期待され、実際に水田へのニゴロブナ親魚の遡上も確認されている（上野，2004；磯田，2005）。筆者はこのニゴロブナがどれだけゆりかご水田で繁殖しているかを知るために、2011～2017年にかけて毎年県内のゆりかご水田を巡回し、排水路へ遡上する魚類の種類や魚道への遡上状況、フナ類の稚魚（以下、フナ稚魚）の発生状況などを調査してきた。その結果、排水路には多くのニゴロブナ親魚が遡上していたが、魚道と接続した水田内でのフナ稚魚の発生率（取り組み水田中の稚魚発生が確認できた水田の面積比）は1～35%の範囲であり、平均では11%と必ずしも高いと言える状況ではなかった（筆者の調査による見解）。それは他魚種（ナマズ）の稚魚を含めても大きく変わらない状況であった。この要因としては、遡上の盛期となる5月の降水量が大きく影響していたが、それ以外にも遡上の妨げとなる魚道の構造的な問題や、魚を受け入れる水田の準備に係る問題があることがわかってきた。一方で、積極的に魚を迎え入れる視点に立ち、魚道と水田の両面で適切な準備を行えば、高い確率で魚は水田に遡上することもわかった。

本稿では、これまでに筆者らが行った農業排水路での魚類採捕調査や、ゆりかご水田でのフナ稚魚発生状況調査、魚道への遡上状況調査の結果をもとにして、水田への遡上の可能性を高めると考えられる堰上式魚道と一筆型魚道の構造、およびそれらを設置した水田側の受け入れ準備について述べる。

#### (2) 琵琶湖型水田魚道の対象種

ゆりかご水田への親魚の遡上成功率を高めるためには、実際によく遡上する魚種に適應した魚道、すなわち琵琶湖型の水田魚道を設置する必要がある。特に一筆型魚道では、対象とする魚種とその体サイズによって適した魚道の規模が異なるため、ある程度対象種の体型を想定して作製する必要がある。そこで、まずは琵琶湖周辺の農業排水路で行ってきた遡上魚類の採捕調査より、あらためて魚道の構造を検討する上で想定する主な対

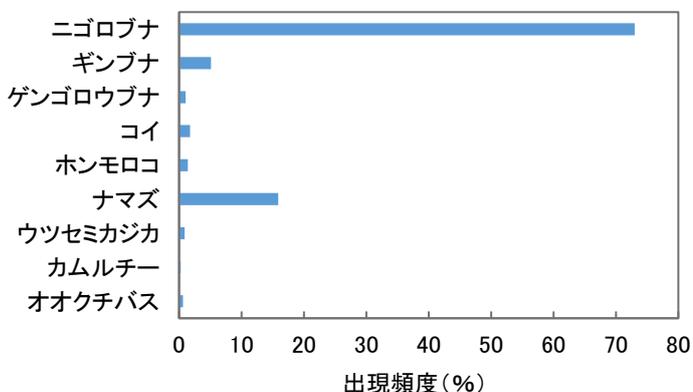


図 4.1.1 6地区の「魚のゆりかご水田」取り組み排水路で採捕した魚類の出現頻度

象種と、その体サイズについて考えた。

2013～2018年の4月下旬～5月上旬にかけて、ゆりかご水田取り組み地区である野洲市須原(2013年)、東近江市栗見出在家(2016年)、彦根市田附(2018年)、高島市四津川、大沼、知内地区(2016年)の農業排水路(魚道の下流域)において、目合12～18mmのかご網を用いて排水路に遡上する魚類を採捕した(特別採捕許可による採捕)。各地区の採捕尾数は26～151尾、総採捕尾数は585尾であったが、ここでは地区ごとの採捕尾数を揃えるため、各地区の採捕尾数を50尾、総採捕尾数を300尾として魚種の内訳を換算した(図4.1.1)。その結果、最も多く採捕された魚種はニゴロブナ(73%)であり、以下ナマズ(16%)、ギンブナ(5%)と続いた。その他6魚種が採捕されたが、比率はいずれも低い水準であった。この内、須原と田附地区で採捕したニゴロブナについて体長を測定した。また、この他に高島市針江(2013年)、長浜市岩熊地区(2016年)の農業排水路において、同様に4～5月にかけて採捕したニゴロブナの体長測定データを示した(図4.1.2)。この体長組成より、体長20cmを境界として見ると、体長20cm未満の個体の出現頻度は、針江では99%、須原では85%、岩熊では95%、田附では92%であった。

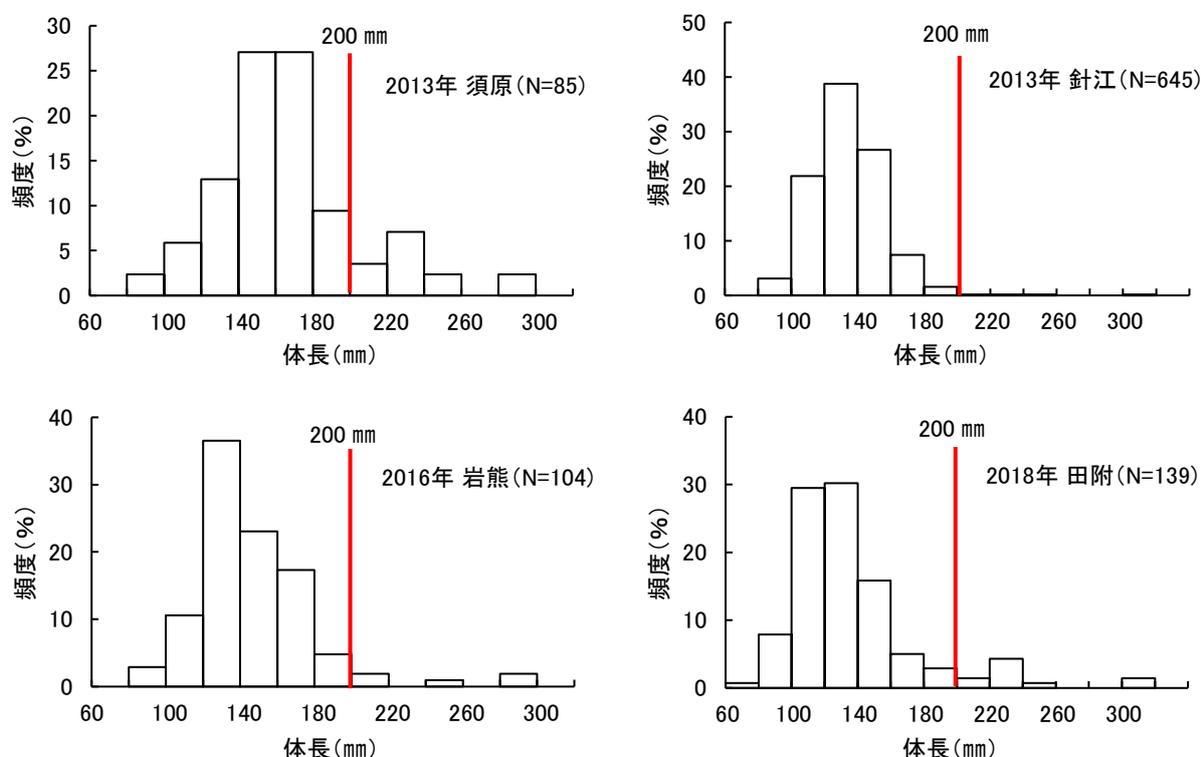


図 4.1.2 琵琶湖沿岸の農業排水路で採捕したニゴロブナの体長組成

これらの結果より、まず魚種に関して、出現頻度の上位3魚種であるニゴロブナ、ナマズ、ギンブナについては、これまでにゆりかご水田の現場で幾度も遡上が確認されており、もともと琵琶湖周辺の水田地帯を産卵繁殖に利用していた在来魚(前畑, 2001)であることから、自ずと主な対象種になると考えられる。特に、出現頻度が極めて高いニゴロブナは、ゆりかご水田においてもシンボリックな魚と捉えられていることから(田中, 2006)、対象種の筆頭であると言えよう。次に体サイズに関して、本調査で採捕したニゴロブナでは、体長6cm以上20cm未満の個体が概ね全体の90%を占めていた。筆者が調査した他地区の農業排水路でも同様の傾向が見られることから、体長20cmの個体が遡上(通過)できる広さが確保されている魚道であれば、排水路へ遡上する大半のニゴロブナが遡上できると考えられた。一筆型魚道では、魚道のプール幅(隔壁幅)等の規模を大きくすれば、より大型の個体に対応できるが、その場合、勾配などの設計条件がかなり限定される。また、体長25cmを超える大型のギンブナが水田に進入した様子を観察した際には、体高が水田の水深よりも高いために定位できず、遊泳が困難に見られた(図4.1.3)。

さらに水田内で体の一部が露出したり、体が倒れたりすることで目立つため、頻繁にカラスやトビに襲われる様子も見られた。したがって、フナ類の大型個体については、出現頻度が低い上に、水田に遡上させることが繁殖する上で必ずしも効率的ではない可能性が考えられたため、魚道を設計する上での必須対象とは考えないものとした。また、本調査において低頻度で出現した魚種の内、水田でも繁殖することが知られているコイ（前畑，2001）についても、遡上魚の多くが大型魚であることから必須対象種からは外した。一方、ナマズについては詳細な体型の測定は行っていないが、採捕魚の全てが体長 30 cm を超えると見られる個体であった。しかし、これまでに一筆型魚道でのナマズの遡上を観察した限りでは、魚道のプール幅より明らかに大型の個体であっても、体を折り曲げながら容易に遡上していた。また、そのようなナマズが水田に進入した際にも、体高が低いために正常に遊泳し、問題なく産卵行動を行っていた。したがって、ナマズについては、前述のニゴロブナが遡上できる魚道であれば、よほどの大型個体でないかぎり遡上できると考え、特にサイズを指定しないものとした。

以上のことより、後述する魚道の構造を検討する上での対象種はニゴロブナ、ギンブナ、ナマズの3種とし、特にニゴロブナを中心とするフナ類については体長 20 cm の個体が遡上できることを必須条件とした。なお、体長 20 cm のニゴロブナは、過去の成魚の計測実績から算出した全長/体長比 1.3（竹岡ら，1996 未発表）より、全長約 26 cm に相当すると考えられ、体高は体長/体高比 2.6~3.4（宮地ら，1976）より、6~8 cm に相当すると考えられる（図 4.1.4）。



図 4.1.3 水田に進入した大型のギンブナ

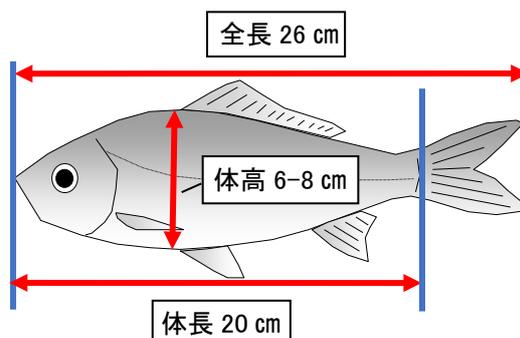


図 4.1.4 魚道設計の基準とするニゴロブナの体型

### (3) 遡上の可能性を高める堰上式魚道

堰上式魚道の構造は、すでに詳細なマニュアルが作成されているため（環境省近畿地方環境事務所・滋賀県農政水産部農村振興課にぎわう農村推進室，2008）、基本的にはそれに従う。ただし、フナ稚魚の発生状況調査の結果より、堰上式のゆりかご水田の現況を見ると、堰上げた排水路（以下、堰上排水路）内では、遡上期間中の降水量に関わらず、毎年多くの排水路でフナ稚魚が発生しているが、水田内での発生率は、降水量が極めて多かった 2011 年を除いては低い傾向が見られる（図 4.1.5）。すなわちこの現象は、堰上排水路まではフナ類の親魚が毎年のように遡上して産卵もしているが、水田まではかなりの大雨によって排水路が増水しない限り遡

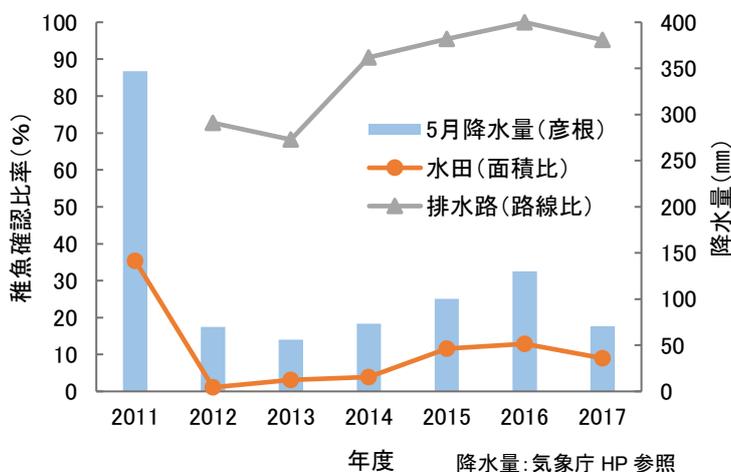


図 4.1.5 排水路堰上式「魚のゆりかご水田」におけるフナ稚魚の発生状況（目視とタモ網による簡易調査）

上しにくい状況を示唆していると思われる。気象庁による彦根市のデータより、近年の5月の降水量の傾向を見ると、1日に40mmを超えるような大雨が降る機会は極めて稀である。しかし、少雨と呼ばれるような月間降水量の年でも、1日20mm程の雨はほぼ毎年1回以上降っており、排水路までの魚の遡上も見られる。したがって、堰上式魚道での水田への遡上可能性を高めるためには、そのような20mm程の雨でも魚が水田へ進入できるようにすればよいと考える。それには、マニュアル通りに魚道を作製することに加えて、幾つかの配慮が必要である。実際に、取り組み地区の中には、降水量に関わらず毎年50%前後の水田でフナ稚魚が発生している地区もある。そこで、ここではそのような稚魚の発生率が高い地区の魚道の状態および水田の管理方法を手本として、遡上の可能性を高めると考えられる手法を以下に示した。

### ① 堰上げ階段部の状態を良好に保つ

堰上排水路の階段部分は魚が遡上する上で最初に遭遇する関門であり、この部分が適切な水位差で堰上げられていることが、後に水田まで遡上させる上での前提条件となる。具体的には階段の水位差（落差）を10cm以内とすること、階段部のプールの水位を常時満水に近い状態に保つこと（水漏れがないようにすること）が必要である（図4.1.6）。特に最下段の階段部は、排水路の水位が低下した場合に設置時よりも落差が拡大することがあるため、あらかじめ排水路の最低水位時を想定して堰上げる必要がある。



図4.1.6 10cmずつ階段状に堰上げた排水路

### ② 堰上排水路の水位を高く設定する

堰上排水路の水位は、水田への進入口となる排水柵堰板からの落差を決定するため、水田への遡上しやすさに直結する。水田での稚魚発生率が高い地区の平常時（増水していない時）における堰上排水路の水位は総じて高く、排水路と水田水面の水位差（排水柵堰板天端からの落差）は概ね5cm前後であった（図4.1.7）。中には完全に水位差がなくなっている場合も見られた。これは、田面との差に置き換えるとはほぼ0cmか、もしくは田面よりも排水路の水位の方が高い状態を指している。一方、水田での稚魚発生率が低い地区では、水田水面との水位差が10~20cm程ある場合が多く見られた。十分な遊泳スペースのない排水柵内では、当然ながら堰板天端からの落差は小さい方が魚は遡上しやすい。この落差が10cm以上ある状態では、かなり的大雨によって排水路の水位が上昇しない限り遡上しにくい状態となっている可能性が考えられる。したがって、排水路の増水が大きくは見込めない雨の時でも魚が水田へ遡上できるようにするには、排水路と水田水面の水位差が約5cm以内となる高さにまで堰上げることが望ましいと考える。さらに排水路上流の標高が高い場合には、それに応じて排水路途中に堰板を追加し、水位差を調整する必要がある。また、このように水位を高くすることは親魚を水田に遡上させるだけでなく、排水路で発生した稚魚をより広い成育空間となる水田へ進入させる上でも有効と考えられる。



図4.1.7 水田水面との水位差5cmまで堰上げた排水路

### ③ 水田の排水柵を魚が通れる広さにする

一般的に既設の一筆排水柵の奥行きは13 cmであることが多い。さらに通常は排水柵の溝に堰板を差し込むため、その場合の奥行きは約5 cmとなる(図4.1.8 左)。対象魚とした体長20 cmのニゴロブナの体高を考えた場合、この排水柵の奥行きでは、体を倒さない限り通過することができない。その上、ほぼ垂直な体勢で堰板を越えることから、かなり遡上しにくいことが想像できる。したがって、排水柵の奥行きはマニュアルに記載されているとおり、18 cm以上は確保されている必要がある。また、隔壁型の一筆型魚道では、隔壁の間隔は遡上に必要な遊泳力を発揮するためには対象魚の体長の1.5倍以上が必要とされている(農林水産省農村振興局整備部設計課, 2011)。これと同様に考えるならば、ここでも体長20 cmの個体が排水柵を通過するには、奥行きは30 cm以上ある方がより遡上しやすいと思われる。実際のゆりかご水田における排水柵の拡大例を見ると、奥行き18 cmの排水柵を用いているタイプと、木枠等を用いて拡大しているタイプがある(図4.1.9)。しかし、全体的には通常の排水柵のままとなっている水田もまだ多く見られる。もし、どうしてもこの排水柵の拡大が困難な場合は、少しでも魚が遡上しやすいように既設の排水柵の外側に堰板を設置する指導の徹底が必要である(図4.1.8 右)。



図4.1.8 通常の排水柵(左, 奥行5 cm; 右, 奥行13 cm)



図4.1.9 拡大した排水柵(左, 奥行18 cm; 右, 奥行30 cm)

これと同様に考えるならば、ここでも体長20 cmの個体が排水柵を通過するには、奥行きは30 cm以上ある方がより遡上しやすいと思われる。実際のゆりかご水田における排水柵の拡大例を見ると、奥行き18 cmの排水柵を用いているタイプと、木枠等を用いて拡大しているタイプがある(図4.1.9)。しかし、全体的には通常の排水柵のままとなっている水田もまだ多く見られる。もし、どうしてもこの排水柵の拡大が困難な場合は、少しでも魚が遡上しやすいように既設の排水柵の外側に堰板を設置する指導の徹底が必要である(図4.1.8 右)。

### ④ 排水柵の堰板を必要以上に高くしない

排水柵の堰板が、遡上期間中を通して水田の基準水位以上に高く据え付けられている事例を時々見かける(図4.1.10 左)。これでは、雨の降り始めから越流するまでに相当の時間を要することになり、長時間にわたるような大雨が降らない限り越流しない。また、この状態では、たとえ堰上排水路の水位を高くしても、堰板天端からの落差が大きくなるために遡上しにくい。したがって、排水柵の堰板は水田の基準水位となる高さ(水面すれすれ)に設置し、降雨時には速やかに越流するように準備しておく必要がある(図4.1.10 右)。



図4.1.10 排水柵の堰板(左, 基準水位以上に高い; 右, 最適な高さ)

### ⑤ 排水路の堰上げ湛水は5月10日頃までに行う

魚が水田に遡上するためには水田から越流している必要があり、それは、注水がないことを前提とすると雨が降る必要があることを意味する。またニゴロブナやナマズも、降雨による水路からの出水や琵琶湖の水位変動等が引き金となって、琵琶湖から湖岸の排水路へ遡上してくることが知られている (Maehata, 2007; 水野ら, 2010)。そして、魚がゆりかご水田へ遡上できる期間は、代掻きによる湛水時期を除くと田植え後から中干し時期までの概ね30~40日間程に限られる。さらに、ふ化した仔魚が成長する期間を仮に2週間は必要とすると、実質的に魚を迎え入れる期間は20日間程になる。したがって、この期間中に魚が遡上できるような雨が降らなければ、ゆりかご水田での産卵繁殖は期待できない。これまでの観察より、魚の遡上が期待できる降雨量は概ね1日20mm以上と考えられることから、水田への遡上の可能性を高めるためには、そのような雨の機会を逃さないように準備することが重要である。気象庁のデータより、2012~2018年までの彦根における5月の日毎の降雨状況を見ると、この7年間では、1日20mm以上の雨は比較的5月の前半に降っている傾向が見られる (図4.1.11)。実際に、5月中旬以降に排水路を堰上げた地区では、前述の条件が全て揃っていても、その後まとまった雨が降らなかったために水田への遡上が事実上不可能となることがあった。また、水田での稚魚発生率が高い地区または水田では、例外なく排水路の堰上げ湛水と田植えが5月上旬までに行われている。したがって、排水路の堰上げ湛水、およびその排水路に面する水田の田植えは極力5月10日頃までに行うことが望ましい。米の品種によっては田植え時期の調整が難しい場合もあると思われるが、ゆりかご水田に取り組む水田では早期に植えられる品種にするなどの配慮も必要であろう。

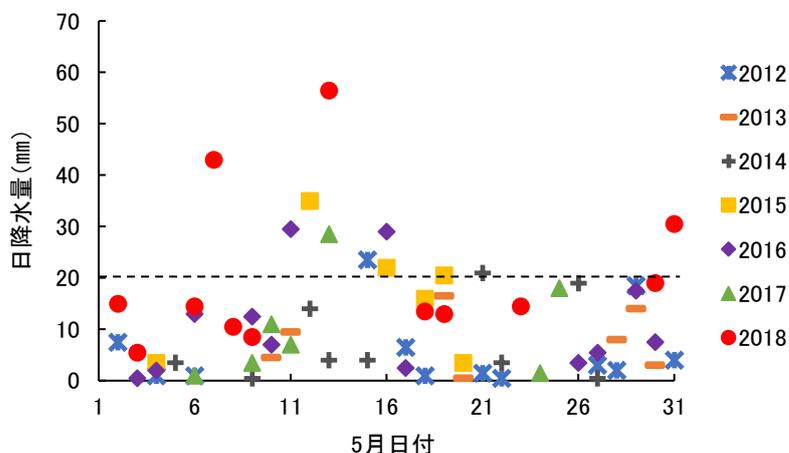


図4.1.11 2012-2018年 彦根の5月の降水量 (気象庁 HP 参照)

### ⑥ その他の工夫

堰上式魚道において、実際に一部の地区で用いられている水田に入りやすくするための工夫事例を紹介する。

堰上式魚道では、水田に進入する際に既設の一筆排水工 (横断管から排水柵に至る経路) を利用するため、その進入経路自体が魚にとって幾らかの障壁となっている可能性も考えられる。そこで、一筆排水工を利用せずに水田へ進入させる方法として、畦に水田と排水路を繋ぐU字溝やコルゲート管を埋設する手法がとられている (図4.1.12)。この方法では、排水柵のスペースが問題とならないため、大型のフナ類やコイも積極的に遡上させたい場合には特に有効と思われる。



図4.1.12 U字溝 (左) やコルゲート管 (右) による進入口の増設

また、排水路では左岸と右岸側で田面の標高が異なる場合もよく見られる。このような排水路で堰上げを行う場合、必然的に標高が低い側の田に合わせて堰上げ水位を決定するため、そのままでは標高の高い水田への溯上が困難となる。そのような場合の対策として、標高が高い側の畦（排水路法面）に一筆型の魚道を設置する方法がとられている（図 4.1.13）。これと類似した方法は、滋賀県において堰上式魚道が開発される以前に「水田魚道排水柵」という名称で試験的に実施されており、魚類遡上の実績が報告されている（上野ら，2003）。このような堰上式魚道と一筆型魚道の併用方は、堰上げに伴う排水路法面の軟弱化が懸念されることで、排水路の水位を高く設定しにくい場合にも有効と考えられる。



図 4.1.13 一筆型魚道の併用

#### （４）遡上の可能性を高める一筆型魚道

一筆型の水田魚道は全国的にも様々なタイプが普及しているが（社団法人地域環境資源センター，2010）、本稿では滋賀県で最も多く使用されており、遊泳魚と底生魚の両方に適応する千鳥 X 型魚道について述べる。千鳥 X 型魚道とは、内部に上端が斜めの堰板（隔壁）を長辺と短辺が左右交互に並ぶように設置されたタイプの魚道である（図 4.1.14）。その特徴は、堰板上部が斜めになっていることで、堰板の越流速が多様になり、低流量時でも越流水深を確保できること、堰板の短辺が交互に配列されているため、魚道本体の設置勾配に対して魚の遡上経路の勾配が緩くなり、堰板間の緩流帯が魚の待機・休憩場となることにある（社団法人地域環境資源センター，2010）。



図 4.1.14 千鳥 X 型魚道

一筆型魚道のゆりかご水田において遡上の妨げとなる要因は、魚道の構造的な問題であることが多い。特に千鳥 X 型魚道では、堰板で仕切られたプールの水深を、対象魚が遡上できる水深にすることが最も重要と考えるが、現状ではそのようになっていない魚道がしばしば見られる。遡上時のプールの水深を確保することを念頭に設計する場合、その水深は越流時の水深となるため、設計の基準となる越流量についても想定しておく必要がある。そこで、2016年5月10日～6月13日に、4地区（東近江市栗見出在家、高島市四津川、饗庭、大沼）の一筆型魚道において、降雨時の越流量とフナ類の遡上反応との関係を調べた。調査期間中、0.5～2.8L/sまでの越流があった延べ37台の魚道の内、フナ類の遡上が見られた魚道（魚道の途中までの遡上も含む）の割合を遡上率として、越流量の範囲別に示した（図 4.1.15）。その結果、

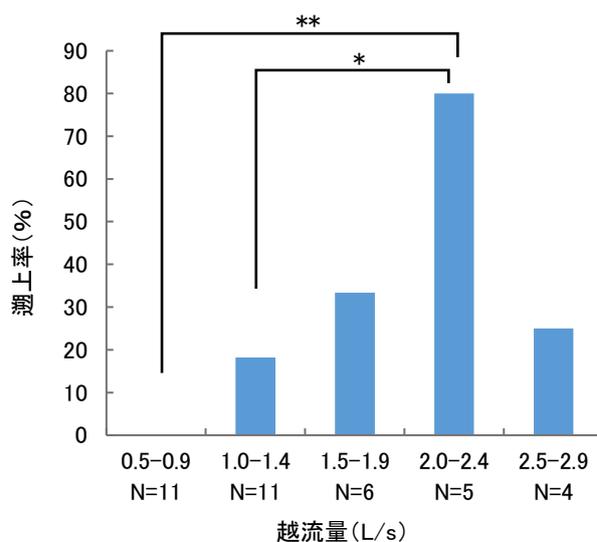


図 4.1.15 越流量範囲別のフナ類の遡上が見られた魚道の割合（遡上率）

\* p<0.05, \*\* p<0.01 (Fisher's exact test)

遡上率で示される遡上の反応は、越流量が毎秒 0.5～0.9L では全く見られず、1.0～1.4L では 18%、1.5～1.9L では 33%、2.0～2.4L では 80%の水田で見られた。また、2.5～2.9L では逆に 25%と減少した。遡上反応のピークとしては 2.0～2.4L の範囲と見られたが、同流量の遡上率と、他の流量の遡上率を Fisher の正確確率検定により比較した所、1.5～1.9L および 2.5～2.9L との間には有意差は見られなかった。また、本調査において 2.0L/s 以上の越流があった魚道の多くは、降雨中に水田からの注水または落水があったことを確認しており、調査期間中の降雨 (1.5～29.5 mm/日、気象庁の彦根と今津のデータ) のみによる自然越流としては、ほぼ 1.5～1.9L/s までの範囲であったと考えられた。したがって、想定する越流量としては、遡上が活発になり始める越流量であり、1日 30 mm までの雨で自然越流すると考えられる 1.5L/s とした。

以下に、体長 20 cm までのニゴロブナが最低限遡上できること、約 1.5L/s の越流量があることを前提条件として、遡上の可能性を高めるための魚道の構造および越流に係る水田の管理手法を提案した。本文中で使用する千鳥 X 型魚道の各部および諸元の名称は、下図のとおりとした (図 4.1.16)。取付け部については水平な場合と勾配がある場合が見られるが、ここでは一般的な水平タイプについて述べる。各部の材質は、木製または合成樹脂製を想定した。なお、この提案の根拠となる一連のデータは、筆者が滋賀県の委託調査業務 (一部は滋賀県立大学との共同研究) により、2016 年に県内 5 地区の一筆型魚道のゆりかご水田を対象に実施した「魚のゆりかご水田遡上生物調査業務」の報告書に基づいた。

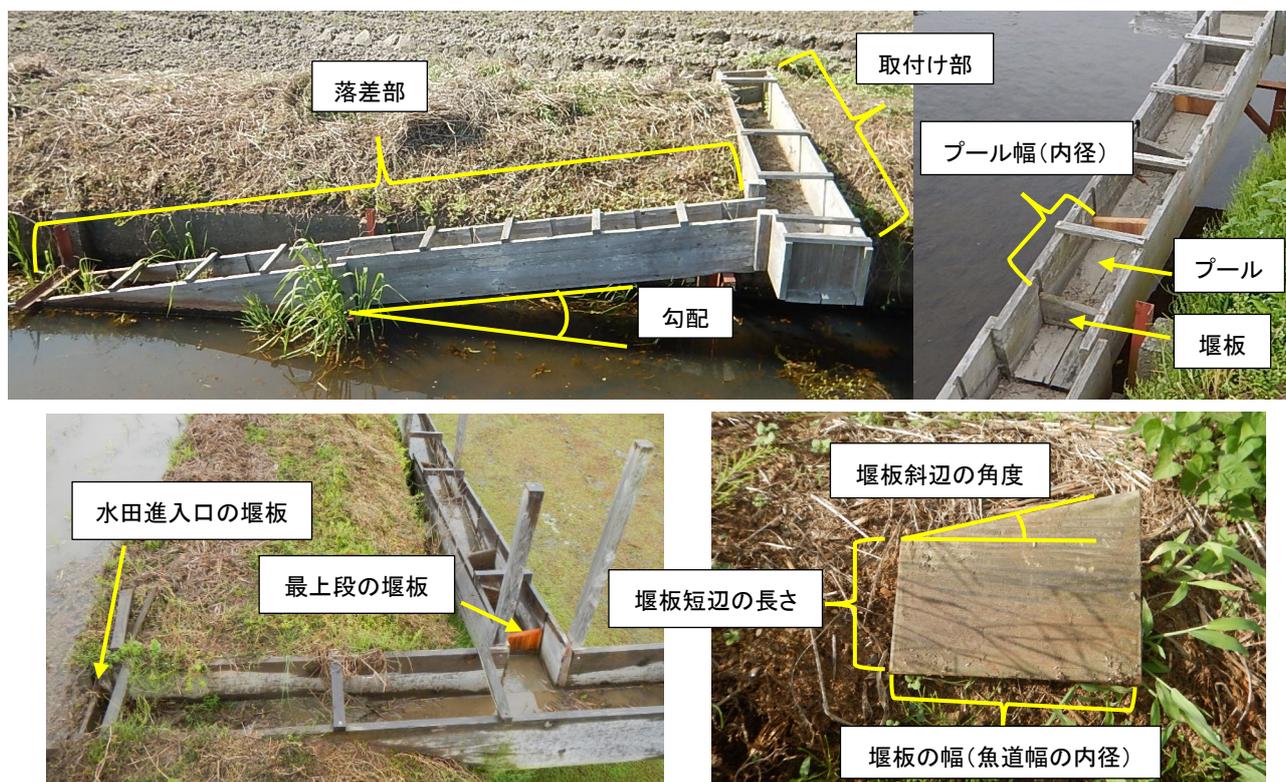


図 4.1.16 千鳥 X 型魚道の各部および諸元の名称

#### ① 魚道のプール内で魚が定位できる水深と幅を保つ

対象とした体長 20 cm のニゴロブナの体高は約 6～8 cm と推定され、また同サイズのギンブナの体高は約 7～9 cm と推定される (宮地ら, 1976)。したがって、越流時のプール内の水深を 8 cm 以上確保すれば、概ね両種ともプール内で転倒せずに定位できると考えられる。また、魚が突進遊泳により遡上するためには、越流時の堰板上の水深も確保される必要がある。ただし、実際に観察した際には、堰板上の水深が体長の半分程度となっていた場合にも、フナ類の多くは跳躍もしながら遡上できていたため、ここではプール内の水深を重視した。

プール内で最も水深が浅くなる場所は、魚道自体に勾配があるため、プールの最上流部となる。そしてその水深は、魚道の勾配、プール幅および堰板短辺の長さの組合せによって決まる。したがって、魚道設計の際には、プール上部の水深が 8 cm となるように各諸元の値を算出することになる。この時、8 cm は越流時の水深であるため、越流による水位上昇の結果 8 cm になればよいと考える。そこで、前述の越流量の調査時に各魚道のプール上部の水深を測り、越流時には止水時（プールに満水の水を張った状態）の水深から何 cm 上昇していたかを調べた（図 4.1.17）。また、この上昇幅と魚道の勾配やプール幅などの各構造諸元との関連性についても調べた。その結果、プール内の水位上昇幅は越流量とのみ相関が見られ、他の構造諸元との相関は見られなかった。この関係式より、越流量が 1.5 L/s の時の水位上昇幅を求めると、約 5.1 cm となる。ここでは、測定値の誤差を考慮して、1.5 L/s の越流時には、魚道内のプールは一様に 4 cm 水位が上昇するものと考えた。したがって、魚道の構造としては、止水時のプール上部水深が 4 cm 以上となるように設計すれば、越流時の同水深は 8 cm 以上保たれると考えられる（図 4.1.18）。

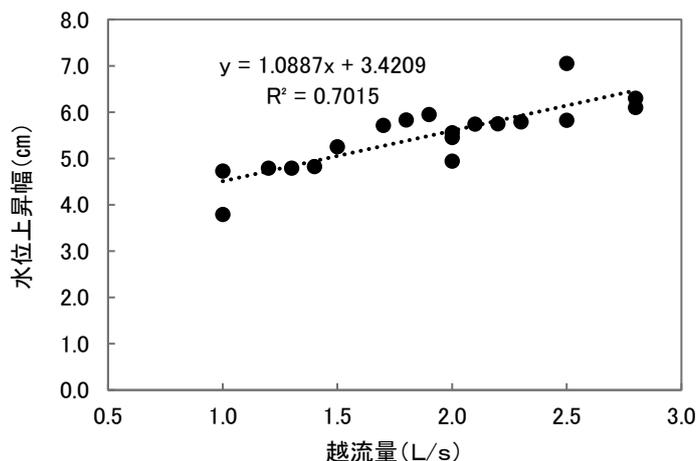


図 4.1.17 越流時の魚道プール上部の水位上昇幅

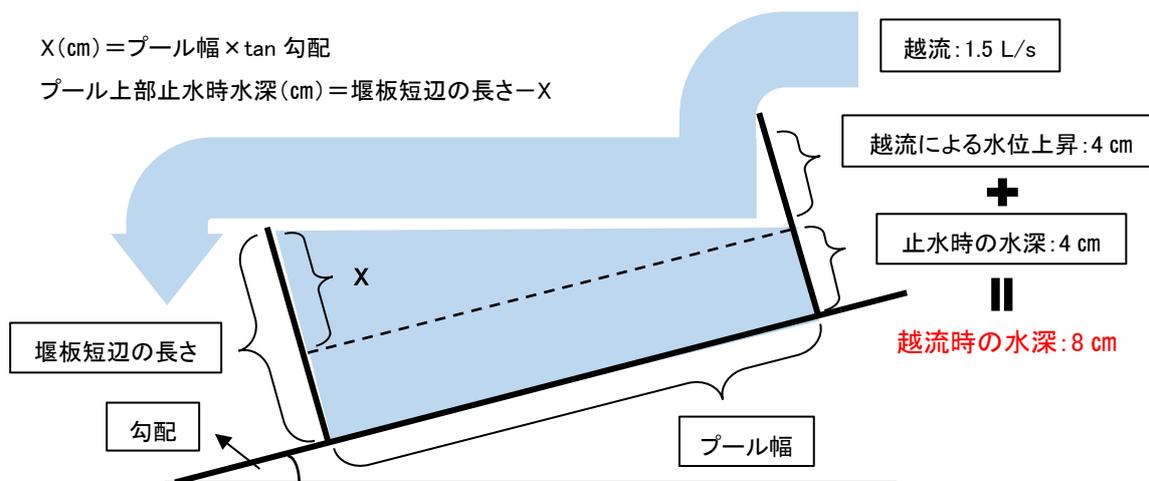


図 4.1.18 越流時の魚道プール側面図（プール上部止水時水深の算出式）

上図に示した計算の結果求められる止水時のプール上部水深を、プール幅、堰板短辺の長さ、勾配の組合せ別に示した（表 4.1.1）。ここで、プール幅は体長（20 cm）の 1.5 倍以上とすることが推奨されているため（農林水産省農村振興局整備部設計課，2011）、最低でも 30 cm 確保することを条件に、30～45 cm（5 cm 刻み）までの範囲とした。また、堰板短辺の長さは、滋賀県で実際に使われている魚道の堰板に則して 8～11 cm、勾配は 6～14°（2° 刻み）までとした。この条件でプール上部水深が 4 cm 以上となる組合せを堰板短辺の長さを基準に見てみる。すると、堰板短辺 8 cm の時は、プール幅を 30 cm とするには勾配 8° まで、35～40 cm とするには勾配 6° までに抑える必要があり、45 cm にすることは不可能であった。一方、堰板短辺を 11 cm とすれば、プール幅を 30 cm とするには勾配 14° まで、45 cm でも勾配 8° までに

すれば可能であった。プール幅は長いほど魚にとっては遡上のための遊泳力を発揮しやすく、さらに水深も深くすれば、より余裕をもって遡上できるが、その場合は勾配を緩く抑える必要がある。また、堰板短辺の長さをさらに長くすれば、14°以上の勾配でも可能となるが、その場合堰板からの越流落差が大きくなり、遡上が困難になる恐れがある。勾配を何度にするかは、魚道を設置する水田の田面から排水路底までの落差と、使える資材の長さによりある程度制限される。したがって、設計時に各諸元の組合せを考える際には、まず現場の状況から何度の勾配にできるかを考え、それに応じて最もバランスの良い組合せとする。例えば、もし勾配を10°にできる環境であれば、より遡上しやすくするため、水深が5 cmとなる堰板短辺11 cm、プール幅35 cmとすることが望ましいと考える。

表 4.1.1 堰板短辺 8~11 cm, 勾配 6~14°, プール幅 30~45 cmとした場合のプール上部水深 (色付きの箇所が4 cm以上となる組合せ)

堰板短辺長 (cm)	落差部勾配 (°)	プール幅 (cm)				堰板短辺長 (cm)	落差部勾配 (°)	プール幅 (cm)			
		30	35	40	45			30	35	40	45
		プール上部水深 (cm)						プール上部水深 (cm)			
8	6	5	4	4	3	10	6	7	6	6	5
8	8	4	3	2	2	10	8	6	5	4	4
8	10	3	2	1	0	10	10	5	4	3	2
8	12	2	1	-1	-2	10	12	4	3	1	0
8	14	1	-1	-2	-3	10	14	3	1	0	-1
9	6	6	5	5	4	11	6	8	7	7	6
9	8	5	4	3	3	11	8	7	6	5	5
9	10	4	3	2	1	11	10	6	5	4	3
9	12	3	2	0	-1	11	12	5	4	2	1
9	14	2	0	-1	-2	11	14	4	2	1	0

## ② 取付け部の水深に注意する

魚道の取付け部 (畦に埋設する部分) についても、前述のプールと同様に体高 8 cm のフナ類を対象とする場合には、越流時に 8 cm 以上の水深を確保する必要がある。なおかつ、この水深は水田進入口 (取付け部の水田側末端) の堰板天端からの落差も決定するため注意が必要である。この堰板から取付け部水面までの落差は、筆者の観察では概ね 5 cm 程度であればフナ類、ナマズとも容易に遡上できていたことから、5 cm 以内を基準と考えた。したがって、取付け部の水深は、水深 8 cm 以上と水田進入口堰板からの落差 5 cm 以内の両条件を満たす位置とする。

取付け部が水平な場合、その水深は落差部の勾配、最上段の堰板の位置および堰板短辺の長さの組合せによって決まる。そのため、落差部の堰板の位置を決める際には、必ず最上段から決めていくことになる。そして、ここでも水深 8 cm は越流時の水深となるため、越流による水位上昇を考慮する。前述の調査と同様に、1.5L/s 程の越流時における取付け部の水位上昇幅を測定した所、取付け部の幅が 24 cm の場合は 4 cm、16 cm の場合は 5 cm 上昇していた。水位の上昇は取付け部の幅により若干変動する可能性が考えられたため、ここでは 3 cm の上昇を想定した。したがって、取付け部の水深が止水時 (取付け部に満水の水を張った状態) に 5 cm 以上となるように設計すれば、1.5L/s 以上の越流時には水深 8 cm 以上が確保できるものと考えられる。そのため、最上段堰板の設置位置、すなわち落差部上端からの距離は以下のように求められる (図 4.1.19)。そして、前項と同じ堰板短辺の長さ (8~11 cm) および落差部の勾配 (6~14°) の組合せの下で、取付け部の水深が 5 cm となる堰板の落差部上端からの距離は下表のとおりとなる (表 4.1.2)。すなわち、この距離以下となる位置に最上段の堰板を設置すれば、取付け部の水深 5 cm 以上が保たれる。ただし、落差部を取付け部の底板上に乗せて接合する場合は、落差部の底板分の高さが水深に加算されることを考慮する。

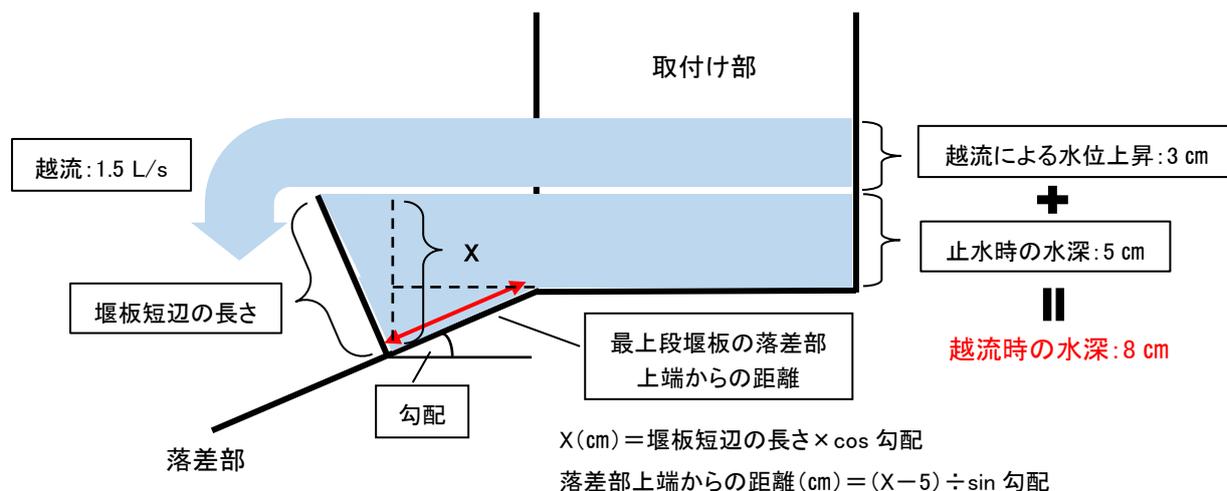


図 4.1.19 越流時の落差部上端の側面図（取付け部止水時水深 5 cm となる堰板設置位置の算出式）

水田進入口堰板からの落差については、取付け部の据付け位置と水田の水深が関係する。取付け部は、基本的に底板上面が田面より -5 cm となる位置に埋設するとされており（社団法人地域環境資源センター，2010）、この通り設置されていれば、取付け部の止水時水深が 5 cm の時、ちょうど取付け部水面と田面は同じ高さとなる。したがって、この時水田の水深が 8 cm 以下であれば、自ずと越流時の水田進入口堰板からの落差は 5 cm 以内に抑えられる（堰板の高さが水面と同等の時）。しかし、もし取付け部を -5 cm よりも深く埋めている場合や、水田の水深が 8 cm よりも深い場合には、取付け部の水深が 5 cm のままでは進入口堰板からの落差が大きくなりすぎる。その場合には、取付け部の水深をさらに深くして落差を調節する必要がある。

表 4.1.2 取付け部止水時水深が 5 cm となる堰板の落差部上端からの距離（設置可能諸元のみ）

堰板短辺長 (cm)	落差部勾配(°)				
	6	8	10	12	14
8	28	21	-	-	-
9	38	28	22	-	-
10	47	35	28	23	-
11	57	42	34	28	23

### ③ 魚道の堰板上に非越流部ができるようにする

千鳥 X 型魚道は、堰板（隔壁）を全面越流させると越流速の多様性および堰板間の緩流帯を失って機能が低下するため、非越流部ができるように設定する必要があるとされている（社団法人地域環境資源センター，2010）。越流速の多様性は魚が遡上可能な流速域に関係し、堰板間の緩流帯は遡上中の魚の休息場所になると考えられる。上野ら（2001）も魚道プール内の非越流部の存在が遡上成績の向上につながっている可能性を指摘している。この堰板上の非越流部の範囲は、堰板斜辺の角度と堰板の幅（魚道幅の内径）寸法によって決まる（図 4.1.16, 20）。すなわち、角度が大きく、幅が広いほど非越流部の範囲は広くなる。また、同範囲は越流量の増加と共に減少し、堰板の幅に対して限界を超えると消滅する。したがって、堰板斜辺の角度と堰板の幅を検討する際には、まず、どの程度の越流量まで非越流部ができるようになるかを考える必要がある。先の越流量とフナ類の遡上状況の調査時に非越流部の範囲を観察した際には、越流量 2.5 L/s までの範囲であれば、非越流部がない（全面越流している）場合でも、水田までの遡上に成功する個体が見られた。しかし、同流量で確実に非越流部ができるようにすれば、より遡上の成功率が上がり、さらにより大流量時でも遡上できる可能性が考えられるため、ここでは 2.5 L/s の越流時に非越流部ができる堰板斜辺の角度と堰板の幅を考えた。

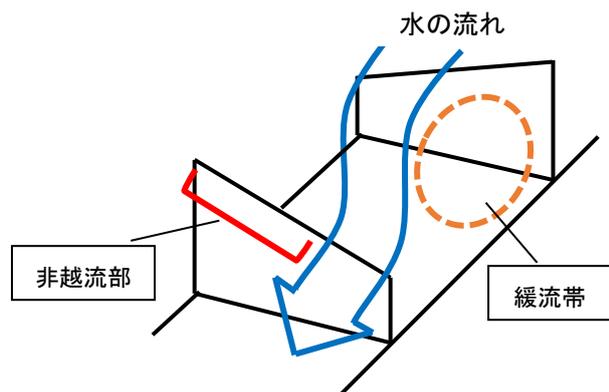


図 4.1.20 堰板上の非越流部と水の流れ



図 4.1.21 堰板斜辺角度 11°，堰板幅 30 cm の魚道の越流状況（越流量 2.5L/s）

堰板斜辺の角度は 15° 以下であれば遡上可能な流速域が必ず存在すると言われているため（社団法人地域環境資源センター，2010；農林水産省農村振興局整備部設計課，2011）、これは 15° 以下を前提とする。一方、堰板の幅は、魚道幅の内径と等しいため、広くすれば非越流部が増えることの他にも大型の魚が遡上しやすいこと、一度に複数の魚が遡上した場合でもスペースに余裕があることなどの利点がある。しかし、広くすればそれだけ材料が増え、重量も重くなるため、設置や維持管理がより大掛かりとなる問題も生じる。そのため、幅については、滋賀県で使われている現状の魚道の最大幅であった 30 cm までとした。この条件下で実際に 2.5L/s の越流量時に非越流部が少しでも（堰板幅の約 25%）できていた、またはできると考えられた堰板斜辺の角度と堰板幅の組合せは、筆者が調査した範囲では、15°・25 cm と、11°・30 cm のみであった（図 4.1.21, 22）。詳細な条件設定には更なる調査が必要であるが、2.5L/s の越流量時に非越流部をつくる両諸元の組合せとして、少なくとも、上図に示した堰板幅 25 cm、斜辺の角度 15° から、幅 30 cm、角度 11~15° までの範囲は有効であると考えられた（図 4.1.22）。

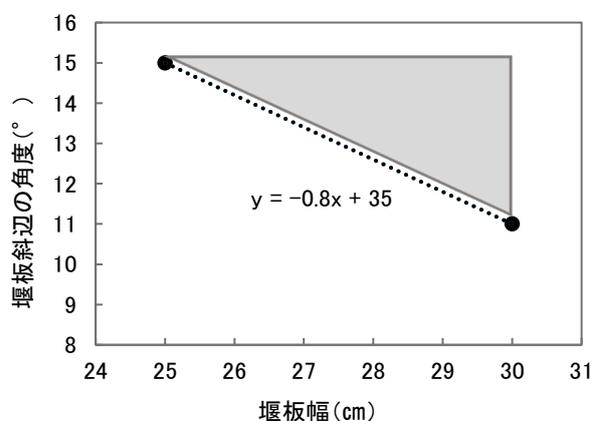


図 4.1.22 2.5L/s の越流時に非越流部ができると考えられた諸元の組合せ範囲（斜辺角度 15°，幅 30 cm を上限とする）

#### ④ 魚道の遡上口を常時水面下とする

一般的に魚道の遡上口の高さは排水路底とし、千鳥 X 型魚道の場合は、最下段の堰板の短辺までが水に浸かる必要があるとされている（社団法人地域環境資源センター，2010）。しかし、実際の現場では排水路の水位が低下した時に、遡上口が完全に水面上に出ているいたり、または最下段の堰板が水に浸かっていない状態になったりしている事例をよく見る（図 4.1.23）。このような状態では、よほどの大雨により排水路の水位が上昇しない限り魚の遡上は期待できない。したがって、魚道在设计、設置する際には、遡上口が排水路底に接するか、もしくは排水路の最低水位時に最下段の堰板が確実に水に浸かる位置まで遡上口を延長する必要がある（図 4.1.24）。この遡上口の延長距離（魚道落差部の全長）は、設置する水田の田面と排水路底の落差、および設置勾配より、事前に算出できる。もし、すでに設置されている魚道で延長が不足している場合には、遡上口に延長部分を継ぎ足すか、排水路を少し堰上げて、遡上口が水面下となる高さまで水位を上げるなどの対応が必要である。



図 4.1.23 排水路水位の低下により遡上口が干出した魚道



図 4.1.24 排水路水位の低下時にも最下段の堰板までが水に浸かっている魚道

### ⑤ 降雨時に早く確実に魚道から越流させる

堰上式魚道と同様に、一筆型魚道においても降雨時に速やかに越流させる配慮が必要となる。ただし、一筆型魚道の場合は堰上式魚道とは異なり、一筆排水柵ではなく魚道から越流させる必要があるため、排水柵の堰板は魚道（水田進入口）の堰板よりも必ず高くしておく必要がある（図 4.1.25）。すなわち、魚の遡上期間中は魚道が水田の排水口となる。その上で、魚道の堰板は水田の基準水位となる高さ（水面すれすれ）に据付け、降雨時にはすばやく越流するよう準備しておく（図 4.1.26）。また、物理的に越流を阻害する要因を取り除くことも重要である。例えば、魚道のプール内に生えた雑草や、前年の越流時に溜まった泥を取り除くこと、老朽化により魚道の接合部等から水漏れしていたり、魚道に傾きが生じたりしている場合に適宜補修することは、基本的な管理として必須と言える。さらに、魚道の設置と田植えの時期においても堰上式魚道と同様に、極力 5 月 10 日頃までに行い、雨の機会を逃さないようにすることが重要となる。



図 4.1.25 排水柵からの越流防止の堰板



図 4.1.26 水田進入口堰板の高さ調整

### ⑥ その他の注意点

#### ・魚道の連結部分

魚道の落差部の全長が長くなる場合、多くは 2 台の魚道を連結して設置することになる。連結方法としては、重ねる場合（切り食やし）と外部補強により突き合わせる場合が考えられる。ここで重ねる場合、上段を下段に乗せて連結すると、連結部のプール上部水深は設定した水深よりも浅くなるため、注意が必要である。特に連結部のプール幅が広がった場合には、完全に遡上困難な水深になる場合がある（図 4.1.27）。そのため、重ねる場合には、あらかじめ連結部の水深が浅くなることを考慮して設計するか、水深が浅くならないように下段を上段に乗せて連結する方がよいと考えられる。

### ・魚道固定用垂木の位置

多くの魚道には、落差部、取付け部とも、固定とたわみ防止用の垂木が付けられている。この垂木が落差部の堰板の真上にある場合に、フナ類が跳躍遡上した際に垂木に激突して落下する現象が見られたため（図 4.1.28）、垂木の位置は、堰板上を避けてプールの中央付近とする方がよいと考えられる。また、取付け部の水田進入口上（末端）に垂木が付けられている場合も見られるが、これも魚が水田へ進入する際にぶつかる恐れがあるため、付ける位置は水路側へずらした方がよい。



図 4.1.27 連結により水深が浅くなったプール



図 4.1.28 遡上時に垂木にぶつかるギンブナ

### (5) おわりに

これまでのゆりかご水田における調査より、堰上式魚道および一筆型魚道とも、適切な構造で設置し、排水路にニゴロブナやナマズなどが多数遡上している状況で、一定量の水田からの越流があれば、高い確率で水田への遡上が見られると考えられた。しかし、このゆりかご水田が、かつて魚が水田と排水路を自由に往来できた時代の水田を完全再現するまでには至らないと思われる点は、やはりある程度の魚道への越流がないと水田までの遡上が難しい点にあると思われる。それは、一筆型魚道においてより顕著に表れる。近年の気象状況を見ると、注水のない自然条件下でそのような越流が見られる機会は非常に少ない。実際に、一筆型魚道での遡上状況を観察した際には、降雨により水路へフナが遡上し、魚道の周辺にも集まっているが、魚道への越流が 1L/s 程であったために遡上しなくてもできないような状態になっている光景を見ることがあった。そして、この時に水田進入口の堰板を 1 段外し、越流量を 2L/s に増やした所、フナは直ちに魚道へ溯上し始めた。このような人為的な落水や注水による越流量の補填は、本来のゆりかご水田の仕様からは外れると思われるが、あと少しで遡上できる状態の魚を助ける手段としては確実に有効である。堰上式魚道でも、排水路への注水がない状態では、前述のような高い水位を保つことが難しい場合もある。また、注水によって越流時間を長く保つことは、水田に遡上し、産卵を終えた親魚に水田から降下できる機会を与えることにもつながる。もちろん、このような遡上や降下のための注水行為は、濁水の流出を拡散させない範囲で限定的に行われることが前提であるが、かつての水田地帯のような環境により近づける目的においては、選択し得る手段の一つと考えたい。

また、ゆりかご水田の対象種について、本稿では琵琶湖から農業排水路へ繁殖のために溯上する魚種の内、相対的に出現頻度が高い魚種と体サイズの個体を主な対象としたが、これはそれ以外の魚種や体サイズの個体の遡上を一切否定するものではない。特に水田を繁殖地として利用する魚種や、ゆりかご水田への遡上実績がある魚種は、このような比較的大型のコイ科魚類やナマズだけでなく、メダカやドジョウ、タモロコなどの小型魚も存在する（前畑，2001；上野，2004）。そのような対象種は、地域の実情や魚道を設置する目的に応じて変更してよいものとする。特にメダカ（ミナミメダカ）は、滋賀県版レッドリストでは絶滅危機増大種に指定されている（滋賀県自然環境保全課，2016）。生態系の保全を目的としたゆりかご水田の趣旨に立てば、そのような小型魚種の遡上を優先した水田魚道の構造、設置についても、今後検討していく必要があると言えよう。

## 引用文献

- 堀昭人, 菅原芳明 (2013) 滋賀県における「魚のゆりかご水田プロジェクト」の過程とこれからの展望. 海洋と生物, 206, 227-232.
- 磯田能年 (2017) 魚のゆりかご水田再生研究. 平成 17 年度滋賀県水産試験場事業報告, 41.
- 金尾滋史, 大塚泰介, 前畑政善, 鈴木規慈, 沢田裕一 (2009) ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の初期成長の場としての水田の有効性. 日本水産学会誌, 75(2), 191-197.
- 環境省近畿地方環境事務所, 滋賀県農政水産部農村振興課にぎわう農村推進室 (2008) 魚のゆりかご水田ガイドブック 湖魚が産卵・成育できる水田環境を取り戻そう!.
- 前畑政善 (2001) 魚類. 滋賀の田園の生き物 (滋賀自然環境研究会編), サンライズ出版, 彦根, pp.116-129.
- Masayoshi Maehata (2007) Reproductive ecology of the Far Eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan. Environ Biol Fish, 78, 135-146.
- 宮地傳三郎, 川那部浩哉, 水野信彦 (1976) フナ属. 原色日本淡水魚類図鑑 全改定新版, 保育社, 大阪. pp. 201-209.
- 水野敏明, 大塚泰介, 小川雅広, 舟尾俊範, 金尾滋史, 前畑政善 (2010) 琵琶湖の水位変動とニゴロブナ *Carassius auratus glandoculis* の水田地帯への産卵溯上行動の誘発要因. 保全生態学研究, 15, 211-217.
- 農林水産省農村振興局整備部設計課 (2011) 水田生態系の保全に視点をのこした整備技術の解説書. 57-63.
- 社団法人 地域環境資源センター (2010) 水域ネットワークの再生をめざして 水田魚道づくりの指針.
- 滋賀県農村振興課 (2018) 地域資源活用推進室「魚のゆりかご水田プロジェクト」のページ ; <http://www.pref.shiga.lg.jp/g/noson/fish-cradle/index.html> (参照 2019-03-4) .
- 滋賀県自然環境保全課 (2016) 魚類. 滋賀県で大切にすべき野生生物-滋賀県レッドデータブック 2015 年版- (滋賀県生きもの総合調査委員会編), サンライズ出版, 彦根, pp. 547-570.
- 田中茂穂 (2006) 魚のゆりかご水田プロジェクト. 地域と環境が蘇る 水田再生 (鷺谷いずみ編), 家の光協会, 東京, pp.104-124.
- 上野世司, 遠藤誠, 黒橋典夫, 田附雅弘, 端憲二 (2001) 「水田魚道排水柵」の試作とその機能の確認 I ~試作排水柵の型毎の成績~. 平成 13 年度滋賀県水産試験場事業報告, 88-89.
- 上野世司, 遠藤誠, 大谷博実, 中川淳也, 黒橋典夫, 田附雅弘, 端憲二 (2001) 魚類の産卵繁殖の場としての水田の機能の確認. 平成 13 年度滋賀県水産試験場事業報告, 92-93.
- 上野世司, 田中茂穂, 数野幾久, 端憲二 (2003) 「排水路階段堰上げ工」と「水田魚道排水柵」とによる排水路と水田の接続 (I) -'03 年田附地区・調査の概要-. 平成 15 年度滋賀県水産試験場事業報告, 62-63.
- 上野世司 (2004) 魚が湧く水田の新たなかたち (排水路-水田間の落差の一時的解消). 平成 16 年度滋賀県水産試験場事業報告, 29.

## 執筆者

中新井隆 公益財団法人 滋賀県水産振興協会 fishlake(at)ex.bw.dream.jp

#### 4.2 ニゴロブナの流下率を高める溝切り・水管理方法

魚のゆりかご水田で育成した魚類は、主に中干し時の排水とともに排水路へと降下し琵琶湖へと移動する。これまでの研究例から、8～30aの水田にニゴロブナ親魚を放流して産卵させた水田におけるニゴロブナ稚魚（体長15～30mm程度）の流下率は50.9～59.2%と報告されている（中干し前日に水田内で採捕された個体数は除いて再計算。飼養期間中に他の区画に稚魚が移出した水田も除外。）（上野ほか、2003a；上野ほか、2003b）。また、滋賀県立大学の9.4aおよび6.8aの水田に孵化仔魚を放流して飼養し、溝切りを行った上で、中干し時の流下個体数および残留数を計数して求めた流下率は、9.4aの水田が51.3～65.5%、6.8aの水田が48.6～62.2%であった（供試魚の標準体長は20～36mm程度）。これらの知見から、水田における中干し時のニゴロブナ稚魚の流下率は概ね5～6割程度と考えられる。

滋賀県の「魚のゆりかご水田米の認証に関する要綱」では、認証要件の一つに「中干し時に水田から排水路への稚魚流下促進に取り組まれていること」が挙げられており、対策として①溝切りの実施、②水田に取り残された稚魚の排水路への移動、③中干し期の水抜きを複数回実施、④その他、のいずれかを行うこととされている。

溝切りについて滋賀県立大学の6.8aの同一水田で2013～2017年にかけて行った調査の結果、溝の有無および本数と降下率の間には一定の傾向は認められなかった（図4.2.1）。なお、2017年には溝切りなしの状態であったん降下調査を行ったのちに田面を乾燥させて残留個体を死滅させ、その後に再び湛水して溝切りを行い供試魚を放流して2度目の降下調査を実施している。2017年に行った溝切りなし（0本）の場合の降下率は20.7%と著しく低かったが、この年は対象水田に大量の藻類が繁茂していた。2013年には田面標高の測量を行っていないものの、その他の年に行った田面標高の測量結果から均平度（田面標高の標準偏差）はいずれ

の年もほとんど変わりなく、供試魚の標準体長も大きな差はなかったため（表4.2.1）、藻類の繁茂がフナの降下を妨げたと考えられる。よって、2017年の溝無し（0本）の結果を除いて考えると、6.8aの水田に対しては溝の本数が増えるほど降下率が上昇する傾向は認められず、むしろ逆の傾向が見られる（図4.2.1）。現状では「魚のゆりかご水田」において実施すべき溝切りの形状や本数に関する指針は示されていないものの、滋賀県が「環境保全型農業直接支払交付金」の交付対象の営農活動一つである「長期中干し+畦畔の人手除草」に示している「10aに1本以上」という数値を参考に、10aに1本程度の溝切りを行うことが妥当と考えられる。

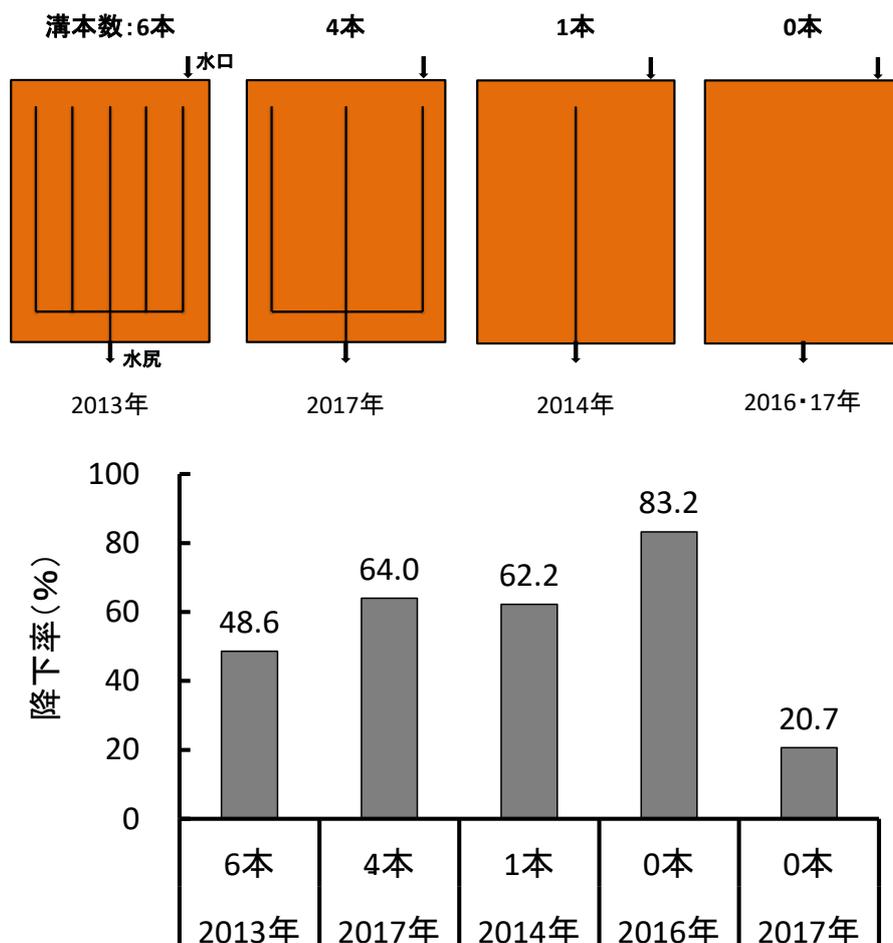


図4.2.1 溝本数とニゴロブナ稚魚の降下率

表 4.2.1 調査年ごとの溝本数、均平度、降下率および供試魚の標準体長

溝本数(本)	6	4	1	0	0
調査年	2013年	2017年	2014年	2016年	2017年
降下率(%)	48.6	64.0	62.2	83.2	20.7
均平度(cm)	-	1.252	1.147	1.400	1.252
標準体長±SD(mm)	31.3±3.9	36.8±7.7	35.9±2.0	26.7±4.3	31.0±5.6

落水方法に関する流下促進技術としては、上記③として挙げられている複数回の落水、湛水深管理、排水流量の調節が挙げられる。複数回の落水については、上島・小関（2013）では、3回の落水によって排水性の良い水田で約95%のフナが降下し、排水性の悪い水田で約50%のフナが降下している。また、堀田（2014）では、3回の落水によるキタノメダカの降下数は1回のみの場合の約1.3倍～1.5倍となっており、実施しないよりは降下率を高めると考えられる。

湛水深管理については、落水開始前の湛水深を大きくすると魚類の降下率が向上することが知られている（端、2005）。また、飼育期間中の湛水深を慣行田の5cmから、より深水の10cmにすることで生残率が高まること、併せて玄米品質が向上することが報告されている（根本、2016）。よって、魚のゆりかご水田においては、中干し時の排水で効率的に魚類を流下させるために可能な範囲で湛水深を高く設定した状態から落水することが有効と考えられる。

排水流量の調節については、初期の排水流量を大きくするほどニゴロブナ稚魚の降下率が高くなる傾向が認められた（山本、2018；原田、2018；坂口、2019）。6.8aに対して水尻が一つの圃場で、初期湛水深を約7cmとし、ニゴロブナ稚魚を供試魚として落水を行った調査では、水尻の堰板を全開にした場合と1枚残して排水流量を抑えた場合とで、前者の方が降下個体数がピークになるタイミングが早くなり、降下率も高くなった（図4.2.2、4.2.3）。1aに対して水尻が一つ、初期湛水深を約10cmにした圃場でキ

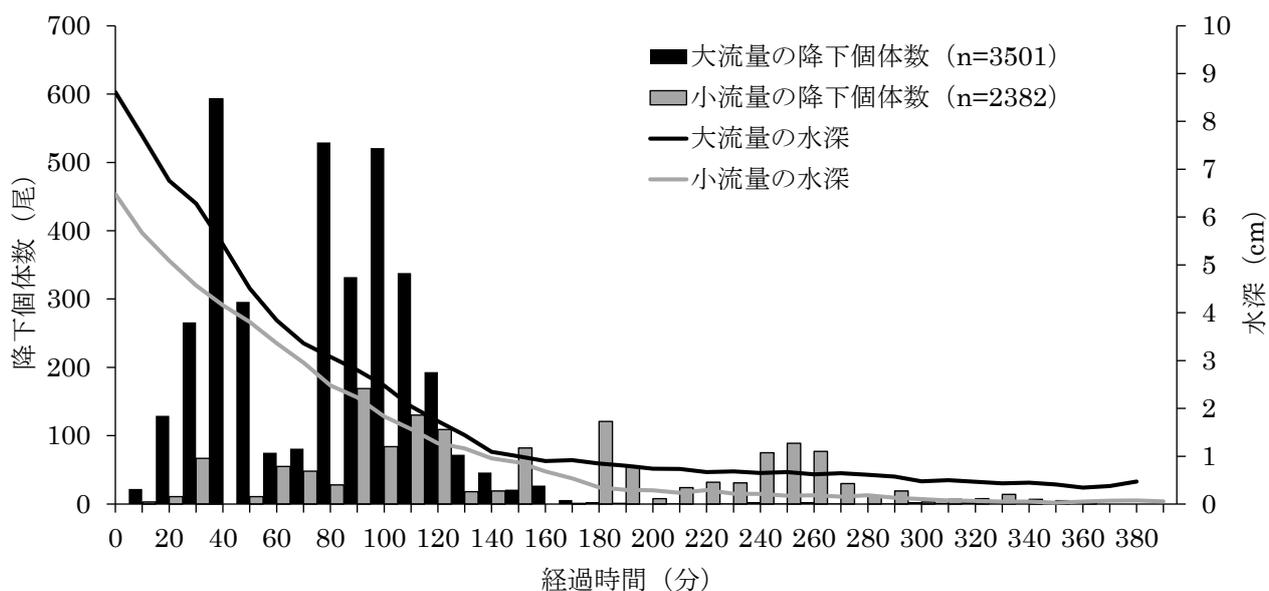


図 4.2.2 落水開始からの降下個体数と水田の平均水深

ンギョを供試魚として落水を行った調査でも同様に排水流量が大きいほど降下率が高くなった。ただし1aの圃場で排水流量を最大にして行った調査では供試魚が全く降下しなかった（降下する前に水がなくなり全て取り残された）。また、6.8aの圃場では降下のピーク時までに降下した個体数が最終的に降下した全個体に占める割合が30%弱であったのに対し、1aの圃場では55～80%に達した。これらの結果から、落水にかかる時間（＝降下できる時間）の長さが降下率に影響する可能性が示唆され、特に面積の小さい圃場においては排水流量を大きくし過ぎないことが降下率を上げると考えられる。

落水方法によって流下を促進する上では、田面の均平度が流下率に大きく影響することが示唆される。上島・小関（2013）では均平の良否（排水性の良否）によって流下率に約45%の差が生じている。均平度を高めることは稲の生育にとっても望ましいことから、代かき時に田面が水平もしくは緩やかに水尻側に向かって傾斜するように均平を行うことが重要である。

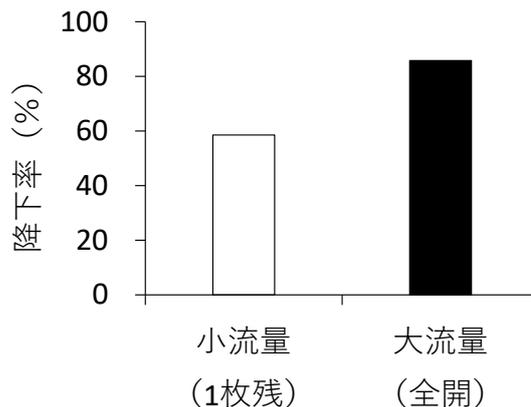


図 4.2.3 流量とニゴロブナ稚魚の降下率の関係

## 引用文献

- 原田一毅（2018）魚のゆりかご水田におけるニゴロブナの遡上・降下の促進方法に関する研究、2017年度滋賀県立大学環境動態学専攻修士論文。
- 端 憲二（2005）メダカはどのように危機を乗り越えるか、農文協、東京。
- 堀田裕史（2014）中干し時におけるキタノメダカ (*Oryzias sakaizumii*) の降下調査、2013年度滋賀県立大学環境科学部生物資源管理学科卒業論文。
- 前畑政善、大塚泰介、水野敏明、金尾滋史（2010）水田で育ったニゴロブナ幼魚の水田内残存と脱出場所の選択性、農業農村工学会論文集、78(3)、183-188。
- 根本守仁（2016）水田を活用したニゴロブナの種苗生産と放流、アクアネット、5、32-35。
- 坂口有佳（2019）中干し時における魚類の降下を促す水管理手法の開発、2018年度滋賀県立大学環境科学部生物資源管理学科卒業論文。
- 滋賀県農村振興課 HP：魚のゆりかご水田米の認証に関する要綱  
<http://www.pref.shiga.lg.jp/g/noson/fish-cradle/yurikagosuidennmai.html>（2019年2月21日確認）
- 上島 剛、小関右介（2013）水田におけるフナおよびドジョウの無給餌による種苗生産、長野県水産試験場研究報告、14、11-16。
- 上野世司、遠藤 誠、大谷博実、中川淳也、黒橋典夫、田附雅広、端 憲二（2003a）魚類の産卵繁殖の場としての水田の機能の確認（Ⅱ）、平成14年度滋賀県水産試験場事業報告、94-95。
- 上野世司、吉澤 清、中川淳也、田附雅広、田中茂穂、黒橋典夫、端 憲二（2003b）魚類の産卵繁殖の場としての水田の機能の確認（Ⅲ）、平成14年度滋賀県水産試験場事業報告、96-97。
- 山本貴大（2018）水田における溝切りの有無が中干し時のニゴロブナの降下率に与える影響、2017年度滋賀県立大学環境科学部生物資源管理学科卒業論文。

## 執筆者

皆川明子 滋賀県立大学 環境科学部 minagawa.a(at)ses.usp.ac.jp

### 4.3 人工産卵床による在来魚の増殖方法

#### 4.3.1 はじめに

ニゴロブナ等の在来魚減少に対する対策の一つとして、水田（沿岸湿地）に遡上する生活史を持つ在来魚が水田に遡上できるように水田魚道を設置する方法がある。これは、降雨時に魚類が水田に遡上して産卵ができるように排水路と田面の間の段差に魚道を設置する方法である。しかし、魚道設置には人手と費用がかかり広域的に普及させることは現実的に難しい状況にある。そこで本研究では、農業排水路に安価で簡易に設置できる「人工産卵床」を開発し、その人工産卵床に産卵・付着した在来魚の卵を人間が水田に投入することによって、魚道設置の代替対策にならないか検討した。

#### 4.3.2 各種人工産卵床の魚卵付着量の比較

各種人工産卵床の農業排水路への設置を2017年および2018年の4月から7月にかけて行った。調査地点は、滋賀県彦根市日夏町の農業排水路1地点、同市南三ツ谷町の農業排水路3地点、東近江市栗見出在家町の農業排水路1地点とした。

人工産卵床をして用いた材料は、キンラン(柊キョーリン)、寒冷紗(柊双日九州)、ヨシズ(ヨシの茎)、ワラコモ、日よけ用のプラスチック製ツタのリーフ・ラティス(柊山善)、農地周辺に生息する植物のヨシ、メドハギ、ナギナタガヤ、オギ、セイタカアワダチソウ、ヤナギである(図4.3.1、図4.3.2)。



図 4.3.1 人工産卵床に用いた材料（その1：人工物）



図 4.3.2 人工産卵床に用いた材料（その2：植物）

調査の結果、各素材の付着魚卵数は、人工物の中ではキンラン（図 4.3.3）および寒冷紗（図 4.3.4）が多かった。寒冷紗は新しいものには魚卵が付きにくく、太陽光線で劣化した寒冷紗には多くの魚卵が付くことがわかった。この寒冷紗の魚卵付着特性は、滋賀県水産試験場ではすでに経験的に知られたことである。野外で採取した植物の中では葉の付いたヨシ(1900 個/m)が最も多く魚卵が付着していた（図 4.3.5）。

付着魚卵の孵化率は、キンランが平均 57.3% (n=8)、寒冷紗は平均 5.5% (n=2)であり、寒冷紗の孵化率は顕著に小さかった。これは、寒冷紗では、付着魚卵の密度が高いためと考えられた。一方、葉の付いたヨシは 48.0% (n=1)であった。孵化した魚類はコイ科のフナ類、モロコ類、コイであった。



図 4.3.3 人工産卵床（キンラン）に付着したフナ魚卵



図 4.3.4 人工産卵床（寒冷紗）に付着したフナ魚卵



図 4.3.5 ヨシの葉に付着したフナ魚卵

#### 4.3.3 魚卵付着人工産卵床を水田に投入した場合の稚魚の生育状況

2017年5月14日と6月22日に、農業排水路から魚卵が付着したキンランを回収し、それを滋賀県立大学の実験圃場5号田(9.4a)に投入した。水田は中干しをせずに常に水が張った状態に維持し、約2ヶ月経過後に落水し、降下してきた稚魚数および水田内に残留した稚魚数を計数した。水田内に残留した稚魚数はコドラート法で推定した。

調査の結果、投入総魚卵数54,000個、飼育期間71~112日間で、生残率は5.7%であった(表4.3.1)。また、流下時の魚の体長は平均 $3.4 \pm \text{SD} 0.55\text{cm}$ で、大部分はフナ類の稚魚、一部はコイの稚魚であった。外来魚の稚魚は見られなかった。生残率は、過去の文献値(10~70%：金尾ら, 2009; 大友ら, 2015)と比較すると低かったが、これは本実験では飼育期間が長かったためと考えられた。

表 4.3.1 大学の試験水田に投入した魚卵数と生残率

投入日	投入場所(m <sup>2</sup> )	総魚卵数 (千個)	調査日	稚魚数 (千尾)	生残率(%)
2017/5/12	5号田(9.4a)	54	8/19~8/30	3.1	5.7
2017/6/22					

#### 4.3.4 実水田での効果の検証

東近江市栗見出在家町の水田3筆に、魚卵の付着した人工産卵床(キンラン)を投入して、その効果を検証した。魚卵を付着させるために人工産卵床を設置した場所は、各水田に接した農業排水路である。水田での飼育期間は2018年5月18日から6月15日である。フナが生残数は、水田から流下したフナの数+水田の溝に残留した稚魚数+溝以外の田面に残留した稚魚数で求めた。なお、本調査は滋賀県農政水産部農村振興課と滋賀県水産試験場との共同研究として実施した。

調査した結果、各水田において魚卵から稚魚になるまでの生残率とフナ稚魚の平均体長は表4.3.2に

示すとおりであった。本調査結果から、排水路にキンランを設置し、その後、魚卵が付いたキンランを水田に投入することによって、水田で在来魚稚魚を育成できることが実水田で確認できた。上島ら(2013)は、フナの養殖用種苗の入手は比較的容易だが、地域ごとの遺伝的特性を反映した放流種苗の入手は困難であると述べている。各水田の近隣の農業排水路に人工産卵床を設置する方法は、各地域の在来魚の魚卵を採取することから、在来魚の遺伝的多様性を考慮した方法として有用であると考えられる。

表 4.3.2 栗見出在家町の実水田 3 筆での調査結果

水田	投入魚卵数 (千個/a)	稚魚数 (千尾)	生残率(%)	平均体長 ±SD(cm)
水田1 (28.0a)	0.93	12.1	46.4%	2.3±0.15
水田2 (16.7a)	0.94	2.48	15.8%	2.6±0.36
水田3 (22.7a)	13.6	46.3	15.0%	1.6±0.39

#### 4.3.5 まとめ

農業排水路にキンラン等の人工産卵床を設置し、在来魚がその人工産卵床に産卵したことを確認後、人間が人工産卵床を回収し、水田に投入する方法は、魚道を設置することなくニゴロブナ等を水田で増殖できる簡易な方法として有望である。今後、この方法が広く普及していくことが望まれる。

#### 引用文献

- 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(1), 19-25.
- 徳田眞孝, 佐野二郎(2014) コイ, フナ類人工産卵巣の効果的設置方法と産卵基質, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 24, 7-12.
- 大友芳成, 渡辺俊朗, 来間明子(2015) 水田を利用したフナ, タモロコ, モツゴの稚魚の増殖方法, 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 14, 51-56.
- 金尾滋史, 大塚泰介, 前畑政善, 鈴木規慈, 沢田裕一 (2009) ニゴロブナ *Carassius auratus grandoculis* の初期成長の場としての水田の有効性, 日本水産学会誌, 75(2), 191-197.
- 上島剛・小関右介(2013) 水田におけるフナおよびドジョウの無給餌による種苗生産, 長野県水産試験場研究報告, 14, 11-16.

#### 執筆者

大久保卓也 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科

#### 備考

本研究は、古田晋一郎君(2017年度)、山口晟司君(2018年度)の卒業論文研究、伊藤弘太君の修士論文研究(2017-18年度)として実施した。栗見出在家町水田での調査は、滋賀県水産試験場(大植伸之氏)と滋賀県農政水産部農村振興課(黒橋典夫氏、坂井喜一郎氏)との共同研究として実施した。

## 4.4 人工魚礁による外来魚からの捕食防御方法

### 4.4.1 はじめに

琵琶湖では在来魚減少の一要因として、オオクチバス、ブルーギルによる在来魚捕食の影響が指摘されている（藤岡，2013）。本研究は、農業排水路や内湖において魚礁の設置が外来魚による在来魚の捕食防御に役立つのか、また、どのような形状・構造の魚礁が在来魚捕食防御に効果的なのかを調べることを目的に実験を行った。

### 4.4.2 オオクチバスを用いた水槽実験

#### (1) 実験方法

FRP製の水槽（内寸：幅150cm、奥行90cm、水深50cm）に、次項に示す各種構造の魚礁を設置した。また、魚礁を入れない水槽を設け対象区とした。次に各水槽にオオクチバス2尾（体長19.5～28.0cm）とフナ稚魚20尾（体長2.5～4.0cm）またはワキン20尾（体長2.5～4.0cm）を入れ、3～4日経過後、残留するフナ稚魚またはワキンの数と体長を測定した。この実験をオオクチバス2尾と魚礁の組み合わせを変えて4～10回繰り返して、各魚礁の捕食防御効果を、フナ稚魚または金魚の生残率（生残数/20尾）から検討した。

#### (2) 各種構造魚礁の捕食防御効果の比較

##### 実験 1-1

縦並び金網魚礁、ヨシ魚礁、包囲金網魚礁の3種類の魚礁（図4.4.1）を入れた水槽と対照区（魚礁なし水槽）でフナ稚魚または金魚の生残率を測定した。その結果、対象区と比較してヨシ魚礁と縦並び金網魚礁（網間隔5cm）で有意差が見られた（図4.4.2）（コントロール群とのSteel検定、危険率0.05）。包囲金網魚礁の生残率は観測値のばらつきが大きく、対象区に対して有意な差は見られなかった。



図 4.4.1 金網魚礁、ヨシ魚礁、包囲金網魚礁、対象水槽の外観

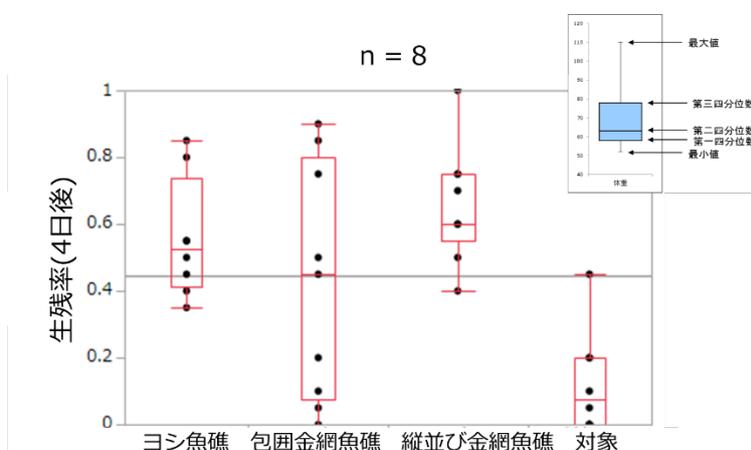


図 4.4.2 実験 1-1 におけるフナ稚魚の生残率の比較

実験 1-2

縦並び金網魚礁、横並び金網魚礁の2種類の魚礁(図 4.4.3)で比較した。その結果、縦並び金網魚礁と横並び金網魚礁との間にフナの生残率の有意な差はみられなかった(Steel-Dwass 検定、危険率 0.05)。つまり、金網の垂直、水平の向きはフナ稚魚の生残率に影響を及ぼさないと考えられた。

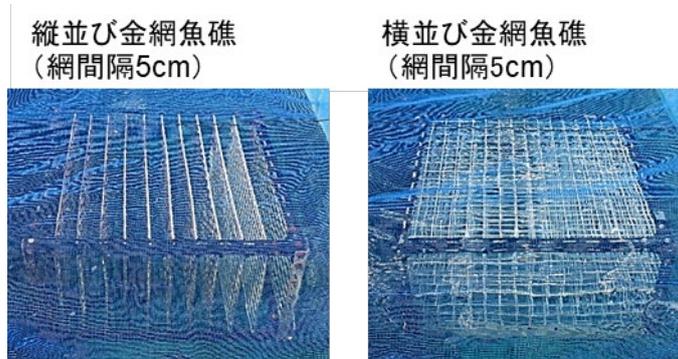


図 4.4.3 縦並び金網魚礁と横並び金網魚礁の外観

実験 1-3

縦並び金網魚礁(網間隔 5cm)、縦並び金網魚礁(網間隔 10cm)、③縦並び金網魚礁(網間隔 20cm)の3種類の魚礁(図 4.4.4)と対象区で調査した。対象区と比較すると縦並び金網魚礁(網間隔 5cm)で有意差が見られた(コントロール群との Steel 検定、危険率 0.05)(図 4.4.5)。傾向的には、金網の間隔が狭くなるほど、生残率は高くなる傾向がみられた。

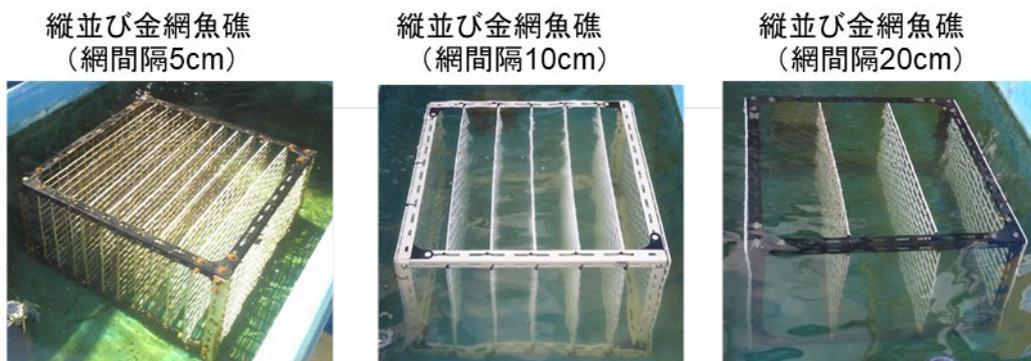


図 4.4.4 縦並び金網魚礁(網間隔 5cm)、②同魚礁(網間隔 10cm)、③同魚礁(網間隔 20cm)の外観

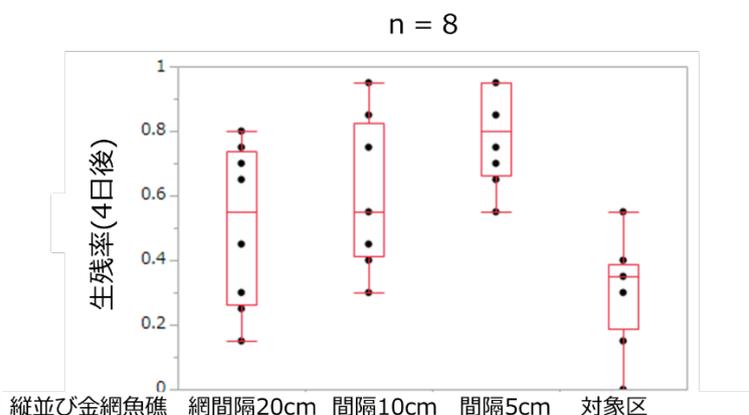


図 4.4.5 実験 1-3 におけるフナ稚魚の生残率の比較

### 実験 1-4

ヨシ魚礁(高密度)、ヨシ魚礁(中密度)、ヨシ魚礁(低密度)の3種類の魚礁(図 4.4.6)と対照区でワキンの生残率を測定した。フナ稚魚のストックがなくなったため、ワキンを用いて実験を行った。

各魚礁における1時間経過後のワキンの生残率を対象区と比較した結果、ヨシ魚礁(高密度)とヨシ魚礁(中密度)で有意差が見られた(コントロール群との Steel 検定、危険率 0.05)(図 4.4.7)。しかし、3時間経過後では、高密度、中密度のヨシ魚礁でも生残率が低下し、対象区と魚礁区で生残率に有意差はみられなくなった。



図 4.4.6 ヨシ魚礁(高密度、中密度、低密度)の外観

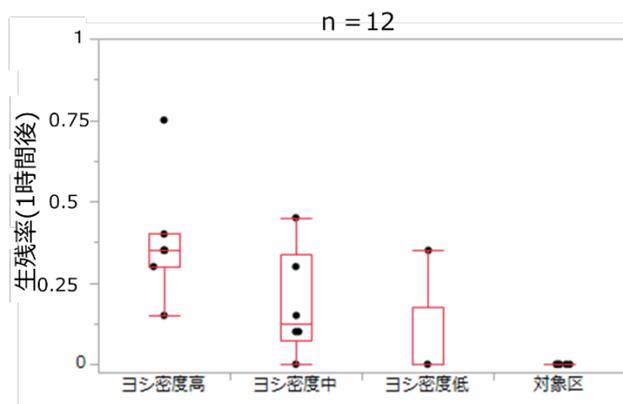


図 4.4.7 実験 1-4 におけるワキンの生残率の比較

### 実験 1-5

屋根の効果を見るため、①包囲金網魚礁(屋根なし)、②包囲金網魚礁(屋根あり:包囲金網魚礁(屋根なし)にベニヤ板で屋根を付けたもの)の2種類で比較した。その結果、包囲型金網魚礁(屋根あり)と包囲型金網魚礁(屋根なし)との間でワキンの生残率に有意な差はみられなかった(Steel-Dwass 検定、危険率 0.05)。つまり、屋根で隠すことは、捕食率を低下することにはならなかった。



図 4.4.8 包囲金網魚礁(屋根なし、屋根あり)の外観

#### 4.4.3 ブルーギルを用いた水槽実験

##### (1) 実験方法

オオクチバスの実験と同じ FRP 製水槽にブルーギルを入れ、次に示す各種構造の魚礁を入れ捕食防御効果をみた。また、魚礁を入れない水槽を対象区として設けた。実験 2-1 では各水槽にブルーギル 3 尾（体長 10.0～13.3cm）とヒメダカ 20 尾（体長 1.6～2.6cm）、実験 2-2 ではブルーギル 2 尾（体長 10.0～11.7cm）とヒメダカ 20 尾（体長 2.1～2.8cm）を入れ、一定時間経過後、残留するヒメダカの数測定した。この実験をブルーギルと魚礁の組み合わせを変えて 4～8 回繰り返し、各種魚礁の捕食防御効果を、ヒメダカの生残率（生残数/20 尾）から検討した。

##### (2) 各種構造魚礁の捕食防御効果の比較

##### 実験 2-1

オオクチバスの実験で用いた魚礁セットと同じ縦並び金網魚礁（網間隔 5cm）、縦並び金網魚礁（網間隔 10cm）、縦並び金網魚礁（網間隔 20cm）の 3 種類（図 4.4.4）と対象区で実験した。

3 時間後のヒメダカの生残率は、対象区と比較すると縦並び金網魚礁（網間隔 5cm）と縦並び金網魚礁（網間隔 10cm）で有意差が見られた（図 4.4.9）。また、6 時間後、24 時間後の生残率を比較すると、対象区に対してすべての魚礁区で有意差がみられた。

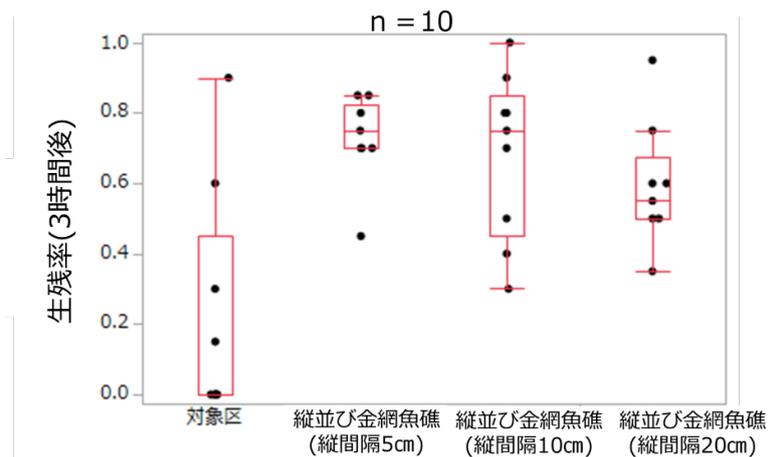


図 4.4.9 実験 2-1 におけるヒメダカの生残率の比較

##### 実験 2-2

市販の人工芝マット（図 4.4.10）を用いた魚礁、寒冷紗を用いた魚礁、キンランを用いた魚礁（図 4.4.11）と対照区で調査した。3 時間後、6 時間後のメダカの生残率では、対象区と全ての魚礁区で有意差が見られた（図 4.4.12）（コントロール群との Steel 検定、危険率 0.05）。



図 4.4.10 用いた人工芝マット（マッサイズ：27cm×27cm，高さ：17cm，材質：ポリエチレン）



図 4.4.11 人工芝マット魚礁、②寒冷紗魚礁、③キンラン魚礁の外観

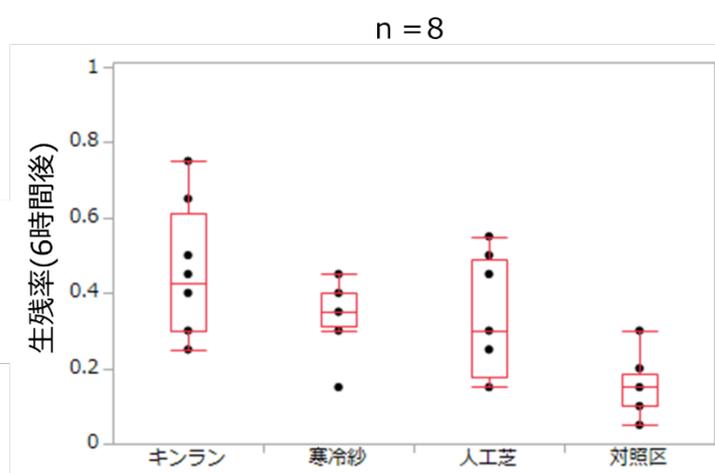


図 4.4.12 実験 2-2 におけるヒメダカの生残率の比較

#### 4.4.4 まとめ

オオクチバスを用いた水槽実験では、魚礁(金網魚礁、ヨシ魚礁)の設置によってフナ稚魚の捕食速度を低減することが可能であること、その効果は障害物と障害物の間の間隔を狭くすることによって大きくなることがわかった。また、魚礁に屋根を設置することによる遮光は、捕食抑制効果を上げることにはならなかった。

ブルーギルを用いた水槽実験においても、魚礁の設置によってヒメダカの捕食速度を低減できることがわかった。障害物と障害物の間の間隔はオオクチバスの場合と異なり、あまり影響しない可能性がうかがえた。また、水草状の魚礁(キンラン、寒冷紗、人工芝)も外来魚の捕食速度を低減する効果がみられた。魚礁が視覚的な障害となることでブルーギルによるメダカの捕食速度を低下させたものと考えられる。

このように、人工魚礁の設置は、外来魚による小型在来魚の捕食速度を低減させる効果があることが明らかになった。今後は、コスト面、維持管理面、耐久性等を考慮して構造を改良し、この技術を現場に活用していくことが望まれる。

#### 参考文献

片野修, 中村智幸, 山本祥一郎 (2003) 実験水槽におけるブルーギルによるモツゴ捕食, 日本水産学会誌 69(5), 733-737.

- 藤岡康弘 (2013) 琵琶湖固有(亜)種ホンモロコおよびニゴロブナ・ゲンゴロウブナ激減の現状と回復への課題, 魚類学雑誌, 60(1), 57-63.
- 藤本泰文, 星美幸, 神宮字寛 (2009) 侵入直後のオオクチバス *Micropterus salmoides* が短期間のうちに溜め池の生物群集に及ぼした影響, 伊豆沼・内沼研究報告, 3, 81-90.
- Savino, J. F., Stein, R. A. (1982) Predator-prey interaction between largemouth bass and bluegills as influenced by simulated submersed vegetation, Transactions of the American Fisheries Society, 111(3), 255-266.
- Schramm Jr, H. L., Zale, A. V. (1985) Effect of cover and pray size on preferences of juvenile largemouth bass for blue tilapias and bluegills in tanks, Transactions of the American Fisheries Society, 114(5), 725-731.

#### 執筆者

大久保卓也 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科

#### 備考

本研究は、境宏貴君の修士論文研究 (2017-18 年度) および古田裕也君の卒業論文研究 (2018 年度) として実施した。

## 5. 生態系に配慮した農地での水管理方法

### 5.1 水田の水管理方法

水田への取水時期、中干し開始時期（実施の有無）は、魚類が水田を利用できる期間を規定する。また、3.2 で述べたように、湛水深は魚類の生残率を規定する要因となる。さらに、水田魚道が整備されたとしても、そこに水が流れなければ魚類は水田に遡上することができない。従って、水田における魚類の生息に配慮する上で、水田の水管理は重要な項目である。

一般的な水田の水管理では、田植え後は分けつの促進と雑草抑制や保温のバランスを見ながら適当な水深を保つ（図 5.1.1）。大きな水位低下を生じさせずに安定した湛水深を維持することは、水稻栽培上のみならず水田内に生息する生物の保全にも有効である。その後は有効茎数を目安に、田植え後およそ 35 日から 50 日程度で中干しを始める（皆川、2017）。

排水路から水田に魚類が遡上できるよう水田魚道を設置した場合、水尻からの表面排水が生じた時のみ魚類は水田魚道を遡上することができる。一般的に、田植え直後の苗が活着するまでは水尻を閉じて湛水を維持するため表面排水は生じない。また、農薬を散布した直後は農薬成分が流出しないよう、施肥後は肥料成分を無駄にしないよう、表面排水の生じない水管理が行われる。それ以外の時期でも、滋賀県では琵琶湖への流出負荷を減らすため表面排水の生じない水管理が行われ、原則として水田魚道に水が流れるのは降雨時のみが想定されている。しかし、降雨は頻度、強度ともに年変動が大きく、近年では魚類が遡上できる機会が極めて限られる年も発生している。そのため、魚道に通水させるための水を生態系の保全のために必要な用水量として算定し、「魚道管理用水」や「生態系保全用水」等として新たに位置づける必要性も指摘されている（中村他、2009；中村他、2012）。なお、滋賀県が作成した「堰上げ式魚道の管理上の留意点」（滋賀県、2019）においては、降雨が予想される場合に、可能であれば用水を少し流して魚道の越流量を確保することが指導されている。水源に制約があり、魚道のための用水を確保することが困難な水田では、4.1 章において指摘されているように、少量の降雨でも表面排水が生じるよう、できるだけ水尻の堰板を田面水位ぎりぎりの高さに設定しておくことを徹底することが望ましい。

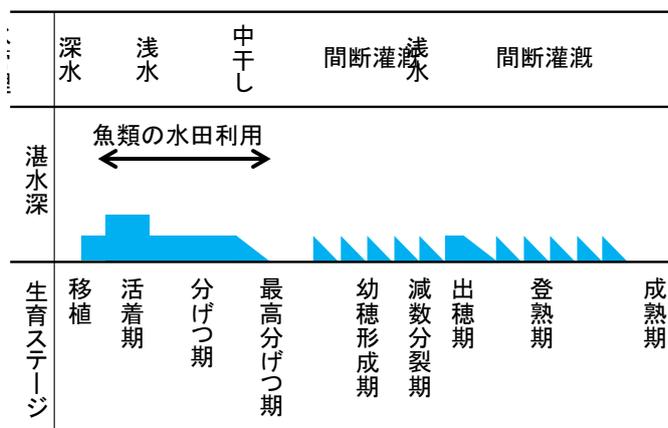


図 5.1.1 水田の水管理の一例  
※皆川（2017）に加筆

### 5.2 農業排水路の水管理方法

圃場整備済みで、水源が農地からの排水のみの農業排水路では、非灌漑期に全く通水が見られない場合がある。また、そのような農業排水路では、灌漑期であっても上流側を中心に降雨時以外に通水が見られない区間が存在する場合がある。同一水源をもつ農業水路において、非灌漑期に通水が見られない季節通水の区間と湧水による通年通水の区間とで魚類相を比較した事例では、河川から多く供給されるフナ類、オイカワ、モツゴでは生息密度に違いが見られなかったのに対し、主に水

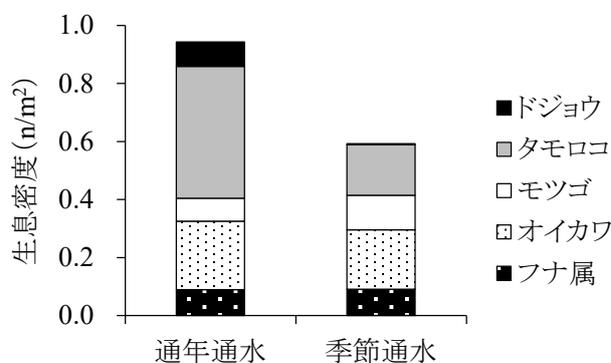


図 5.2.1 通水状況と魚類の生息密度  
皆川ほか（2014）を元に作成

田周辺で生活するタモロコやドジョウのような移動距離の短い魚類では季節通水区間において生息密度が大きく減少した（図 5.2.1）。よって、魚類の繁殖場となる水田周辺には、魚類の移動可能な範囲に越冬場となる恒久的水域を確保すること、河川や琵琶湖に移動した魚類が繁殖期に再び戻ることができる水域ネットワークを確保することが重要である。なお、水田水域に生息するタモロコおよびドジョウを対象とした研究から、こうした魚類の主な移動範囲は、概ね 1km 程度と考えられている（竹村、2004；西田、2006）。また、農業排水路の通水を確保するために、護岸は三面コンクリート張りにせず、できる限り二面張りまでとし、湧水や浸透水の確保、水生生物の生息環境として重要な底質および植生の定着を意図すべきである。

### 5.3 冬期湛水

滋賀県の「世代をつなぐ農村まるごと保全向上対策（滋賀らしい多面的機能支払交付金制度）」の生態系保全に関する実践活動のうち、「水田を活用した生息環境の提供」として、「B. 鳥類の餌場、ねぐらの確保又は両生類や昆虫類の産卵等のために、作物の収穫後の水田を湛水状態にする活動を行うこと。」が挙げられている（滋賀県 HP）。

冬期湛水は、ガン・カモ類などの保護を行う「ふゆみずたんぼ」の取り組みとしても知られ、ガン類、サギ類などの鳥類の保全に効果的であると報告されている（呉地、2016）。植物に対しては、深水にすることでイヌビエの抑制効果があるという報告（稲垣ほか、2009）がある一方で、非作付け期間の雑草の生長抑制に大きな効果があった反面、夏季には雑草の量が増大する傾向があったという報告もある（金子・中村、2009）。冬期湛水田はイトミミズ類の生息に適していることから（伊藤・原、2015）、イトミミズ類による抑草効果も期待されている。例えば栗原（1983）は、イトミミズ類を入れた土壌では土壌表面から深い位置にコナギ種子が埋没すること、この土壌の攪拌によりタマガヤツリの初期の芽生えに対して抑草効果があることを示している。ただしこれらの結果に対して伊藤・原（2015）は、実際の水田に多く生息するイトミミズ類は小型であること、稲苗の移植時期は地温が低くイトミミズ類の活性が低いことから室内実験ほどの抑草効果が得られない可能性があることを指摘している。

また、冬期湛水田では水生昆虫類の種多様性が高い一方で、アカネ属のトンボの幼虫が少ないこと（中西ほか、2009）、ニホンアマガエルの産卵場所として選好されない可能性があること（中西・田和、2016）、ドジョウについて、湛水する冬期湛水田では、慣行田よりも生息密度が低下することが報告されている（田和・中西、2016）。また、トンボ類を対象とした研究では、冬期湛水田ながら収穫前に落水期間を設けるために、冬期湛水を行っていても乾燥に強いトンボ種以外には保全効果が表れなかった事例もある（若杉、2011）。

冬期湛水田が生態系に与える影響についてはまだ十分明らかにされていないが、上記の研究結果からは、湛水開始時期、湛水前の圃場管理、湛水深などの条件により、異なる生物に対して保全効果が発現すると考えられる。よって、冬期湛水を含め水管理条件の異なる水田が地域に存在することは、地域全体の生物多様性を向上させる上で有効と考えられる。

### 引用文献

- 稲垣栄洋、高橋智紀、大石智広、松野和夫、外立ますみ（2009）伝統的冬期湛水田に見られるヒエ類の抑制効果、雑草研究、54(1)、31-32。
- 伊藤豊彰、原 宏太（2015）イトミミズ類の生態と水稻生産との関わり、農業および園芸、90(4)、464-472。
- 金子是久、中村俊彦（2009）冬期湛水が水田雑草に及ぼす影響、景観生態学、14、67-72。
- 呉地正行（2016）ふゆみずたんぼが鳥類の保全に及ぼす効果、農業および園芸、91(1)、87-97。
- 栗原 康（1983）イトミミズと雑草—水田生態系解析への試み(1)、化学と生物、21(4)、243-249。
- 皆川明子（2017）農業水利システムにおける生態系の保全、渡邊紹裕、堀野治彦、中村公人編著「地域環境水利学」、朝倉書店。

- 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(6)、93-99.
- 中村公人、深見 彩、堀野治彦、中桐貴生、坂田 賢（2009）小型魚道を付帯した水田の用排水諸元に関する考察、農業農村工学会論文集、77(6)、9-16.
- 中村公人、堀野治彦、中桐貴生（2012）排水路堰上げ型魚道の管理が水田用排水量の諸元に及ぼす影響、農業農村工学会論文集、80(2)、19-29.
- 中西康介、田和康太（2016）水田の冬期湛水農法が水生昆虫類およびカエル類にあたる影響、農業および園芸、91(1)、105-111.
- 中西康介、田和康太、蒲原 漠、野間直彦、沢田裕一（2009）栽培管理方法の異なる水田間における大型水生動物群集の比較、環動昆、20、103-114.
- 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、74(4)、553-565.
- 滋賀県（2018）堰上げ式魚道の管理上の留意点.
- 滋賀県 HP 環境こだわり農産物栽培基準 <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/1009806.pdf> (2019. 7. 18 確認)
- 滋賀県 HP 世代をつなぐ農村まるごと保全向上対策（滋賀らしい多面的機能支払交付金制度）、多面的機能支払の実施に関する基本方針（要綱基本方針）  
<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5121084.pdf> (2019. 7. 18 確認)
- 竹村武士、小出水規行、奥島修二、山本勝利（2004）農業水路におけるドジョウの行動範囲に関する基礎研究：未改修水路における標識個体の追跡調査、河川技術論文集、10、351-356.
- 田和康太・中西康介（2016）水田の冬期湛水農法が魚類にあたる影響—ドジョウを事例に—、農業および園芸、91(1)、98-104.
- 若杉晃介、嶺田拓也、石田憲治（2011）冬期湛水水田によるトンボ類保全効果、農業農村工学会論文集、79(1)、43-44.

#### 執筆者

皆川明子 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科 [minagawa.a\(at\)ses.usp.ac.jp](mailto:minagawa.a@ses.usp.ac.jp)

## 6. 生態系に配慮した農薬の施用・管理方法

### 6.1 農薬の選び方

水田には除草剤が雑草防除、殺菌剤・殺虫剤が病虫害防除のために散布される。水田の目的は水稻の収穫であり、農薬は収量の増加、労働力軽減に多大に貢献している。もし農薬を使用しない場合、水稻の平均減収率は24%、出荷金額の平均減益率は30%にも達する（日本植物防疫協会、2008）といわれている。また除草に費やす労働時間は近年では1.2時間/10a（農林水産省、2018）で、昭和60年代の約1/4程度である。これは、少量で効果が得られる新規農薬成分の開発だけでなく、ジャンボ剤やパック剤など農業製剤の進歩、農機具の改良による移植時同時散布の普及など、省力化にかかわる様々な技術が貢献した結果である。

農薬としての効果をもつ有効成分は「原体」あるいは「農薬成分」と呼ばれる。散布される農薬製剤は単一あるいは複数の農薬成分を混合したものであり、同じ農薬成分を含む農薬製剤でもメーカーが異なると、商品名も異なる。従って農薬の効果や環境中での動態、毒性などを議論する場合は、農薬成分名を用いる。農薬成分名と含有量は、農薬製剤のラベルに記載されている。

実際の現場で用いる農薬製剤の選択は、収量の確保、労力の軽減、価格をもとに行われる。これらに加えて、抵抗性病虫害の発生を防止するために同一成分を同一圃場に長期間散布しないこと、特別栽培農産物の認証を受ける場合は節減対象農薬の使用回数を50%以下にすること、水田を魚の孵化・育成の場として使用する場合は魚や餌となるプランクトンに対する毒性が配慮される。

しかし、上記した項目をもとに直ちに一つの製剤に絞るのではなく複数の候補を選抜し、それらの間に効果や効率に大きな差がなければ、より生態系保全を考慮した製剤を選択することが現実的な農薬の選び方と言える。生態系保全を考慮するためには、以下に示す農薬の流出濃度とそれを決める要因、および農薬の毒性評価の情報が必要である。

### 6.2 農薬の流出濃度とそれを決める要因

#### (1) 農薬の流出経路

水田に散布された農薬の一部は、排水路、河川を經由して湖沼に流出する。一筆の水田から排水路へは、表面流出と浸透流出で流出する。表面流出とは流路に繋がって地表面を流れる水の流れて、田面水が排水口を通過して排水路へ直接流出する経路である。過剰な入水や降雨などによって生じる堰板の越流、堰板による止水が不十分なために生じる堰板からの漏水、および堰板を人為的に取り去る落水によって表面流出は発生する。

一方浸透流出は、いったん土壌に浸透した後流路に流出する流れで、畦畔浸透と鉛直浸透に分けられる。前者は畦畔の下を浸透して排水路に流出する経路で、浸透流出の多くを占める。畦畔浸透する農薬成分は、畦畔土壌との吸着作用などを受けた後で排水路へ流出する。鉛直浸透は、文字通り水田の断面を鉛直方向に浸透して浅層地下水などに流出する経路であるため、排水路への流出に対する寄与は小さい。

この他、散布時に水路に直接飛散するドリフトも流出経路の一つである。農薬製剤として粉剤や液剤を用いた場合や、散布を動力散布機やラジコンなど無人ヘリで散布を行った場合は考慮する必要があるが、粒剤、パック剤などの手撒きでは、排水路への流出はほとんどない。

#### (2) 田面水中の農薬成分

田面水中の農薬濃度は、排水路や河川水中の生態系影響評価の視点ではその出発点として、水田を魚の産卵・育成の場として活用する場合は水質そのものとして重要である。移植後から中干しまでの常時湛水期間には、除草剤（初期剤、初中期一発剤、中期剤）と苗箱施用による殺菌剤・殺虫剤が散布される。田面水濃度は、農薬製剤に含まれている補助剤（界面活性剤、分解防止剤、増量剤、分散剤など）が溶解速度に影響するため、かならずしも散布直後に最も高くなるとは限らない。しかし多くの場合、

散布日か散布翌日にはピーク濃度になる。

田面水濃度の日変動の一例を図 6.2.1 に示した。田面水濃度はピーク後、土壌への吸着作用や光分解、化学的分解、微生物分解など作用を受けて指数関数的に減少する。土壌の性質や分解に関連する環境要因は散布地によって異なるほか、田面水位が低下すると相対的に濃度は上昇し、灌漑水や雨水の流入により濃度が低下するため、同じ農薬成分でもピーク濃度や減少速度は同じにはならない。しかし(1)式で示した田面水濃度(C)と経過日数(t)は、片対数グラフ上で直線回帰できる。回帰式の傾き(減少速度定数、k)は、散布数日から10日程度の傾きが大きい前半と、それ以降の傾きが小さい後半に分けられることが多い。

$$C = C_0 \times e^{-kt} \dots (1)$$

一方、苗箱施用された殺菌剤・殺虫剤の田面水濃度は、除草剤とは異なる。図 6.2.2 に一例を示した。苗箱施用剤は移植時に稚苗と同時に水田に投入されるため、比較的浅い深度の土壤中に残留し、田面水へは土壌から徐々に溶出する。そのため、除草剤のように明確な濃度ピークは示さないが、低い濃度で継続して検出されることが多い。

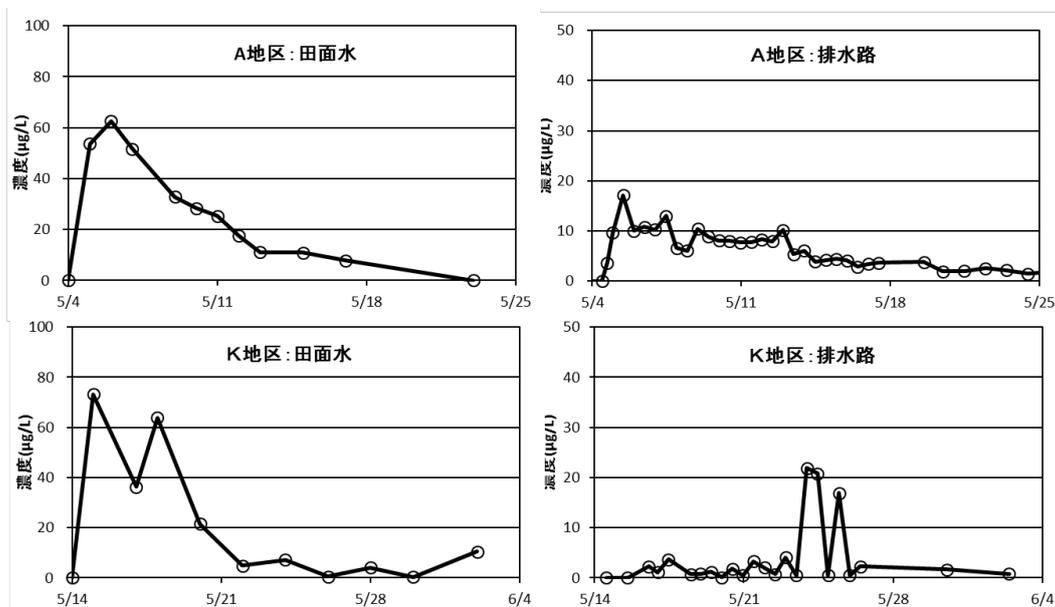


図 6.2.1 滋賀県 A 地区、K 地区水田の田面水および排水路の濃度変動 (イプフェンカルバゾン、2017 年)

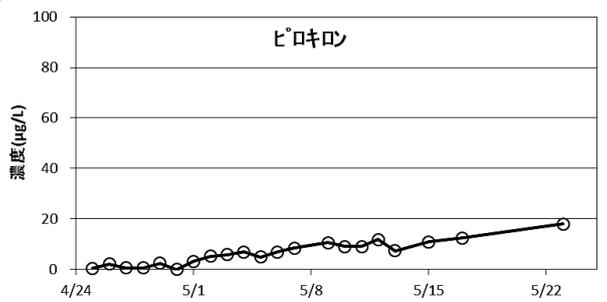


図 6.2.2 苗箱施用された殺菌剤の田面水濃度の変動 (ピロキロン、滋賀県 A 地区、2017 年)

農薬製剤の原体含有量と散布量から、田面水における理論上の最大濃度（推定最大濃度）を推定することができる。例えば図 6.2.1 の A 地区の場合、散布された農薬製剤中の標準散布量は 300g/10 a、成分含有率は 8.3% である。この農薬製剤が水深 5 cm の水田に散布され、全量が溶解したと仮定すると、推定最大濃度は 500 $\mu$ g/L となる。図 6.2.1 の実測最大濃度は 60 $\mu$ g/L であったので、推定濃度と実測濃度の比（推定／実測比）は 0.12 となる。図 6.2.3 に、滋賀県立大学の実験圃場水田で 2001 年から 2018 年まで散布された 22 種類（複数年で散布された成分は平均値）の除草剤成分について、推定／実測比のヒストグラムを示した。農薬成分ごとに溶解速度や土壌への吸着性が異なるほか、湛水深や水温などにも影響を受けるが、ほぼすべての農薬成分の田面水濃度は推定最大濃度の 60% 以下、約半数は 20% 以下の濃度であることがわかる。

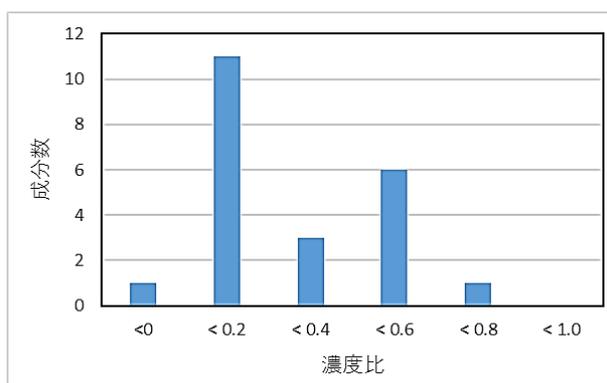


図 6.2.3 推定最大濃度に対する実測最大濃度の比（22 成分、滋賀県立大学圃場（2001~2018 年））

田面水濃度の半減期（ $t_{0.5}$ ）は、(1) 式から計算される消失速度定数  $k$  より (2) 式で計算することができる。

$$t_{0.5} = \ln 2 / k \quad \dots(2)$$

図 6.2.3 の解析に用いた 22 種類、延べ 50 成分の除草剤成分について、散布後 7 日間前後の実測濃度から計算した田面水中の半減期のヒストグラムを図 6.2.4 に示した。約半数の農薬成分は半減期が 1.5 日以下、約 7 割は 2 日以下であることがわかる。半減期が 2 日の場合、3 日後は初期濃度の約 1/3、1 週間には約 1/10 の濃度に減少する。なお、分解産物が農薬成分としての活性を持っている場合（例：製剤にはピラゾレートとして含まれているが、殺草成分は加水分解によって生じるデストシルピラゾレート）は、農薬製剤に含まれていた農薬成分（親化合物）は散布後ただちに消失する。このような場合、農薬成分の挙動は親化合物ではなく、分解産物の挙動で評価する必要があるため注意を要する。

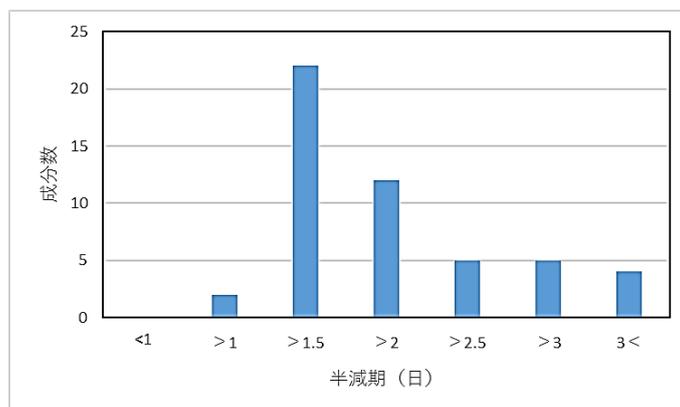


図 6.2.4 田面水における除草剤成分の半減期 (延べ 50 成分、滋賀県立大学圃場(2001~2018 年))

### (3) 畦畔浸透水中の農薬成分

浸透流出水は畦畔の下を通過して排水路へ流出するため、直接目で確かめることはできない。灌がい用水や降雨による流入のない場合、蒸発散 (Ep)、鉛直浸透 (Pv) および畦畔浸透 (Ps) の和が減水深 (Wr) となる。蒸発散は蒸発パンやペンマン法を基にして (農業農村工学ハンドブック、2010) 求める。鉛直浸透量は、耕盤層よりも深い深度まで直径 10cm 程度のパイプを打ち込んで、パイプ内の減水量を測定することで簡易的に求めることができる。これらのデータが揃うと、畦畔浸透量を (3) 式で計算することができる。

$$Ps = Wr - Ep - Pv \dots (3)$$

水田が湛水状態であれば、多かれ少なかれ浸透流出は発生し、農薬は浸透流出水とともに排水路に流出する。1筆水田で浸透流出水量と農薬の浸透流出量を5年間した結果では、農薬の浸透流出量は浸透流出水量に比例して増加 (Sudo, 2012) することが示されている。畦畔浸透水中の農薬成分の測定は、畦畔にパイプを打ち込んで浸透水を採取することで可能になる。図 6.2.5 に、畦畔浸透水を採水するために打ち込んだパイプの例と、パイプより採取した畦畔浸透水の濃度変動の一例を示した。

水田から近い位置に打ち込んだパイプ (パイプA) では、浸透水の濃度は散布後最も濃度が高く、その後徐々に減少し、田面水と同様に変動した。排水路側のパイプ (パイプB) では、農薬成分は散布後から検出されるが、濃度が最も高くなったのは散布6日後であった。パイプBでは、現場透水試験 (地下水ハンドブック、1998) より求めた透水係数とパイプ間の水頭差より、田面水がパイプBに到達するために必要な日数は4日と計算されたが、畦畔浸透水の濃度ピークは水の移動よりやや遅れて検出された。

ピーク時の畦畔浸透水濃度と田面水濃度を比較すると、パイプAでは約 1/5、パイプBでは約 1/6 に減少した。畦畔浸透水は、大きなひび割れやクラックに由来する速い流れ、小さい孔隙を移動する遅い流れ、それらの中間の孔隙を移動する流れで構成されるが、いずれの流れで移流する場合でも農薬成分は土壌に接触して吸着・脱着作用を受ける。

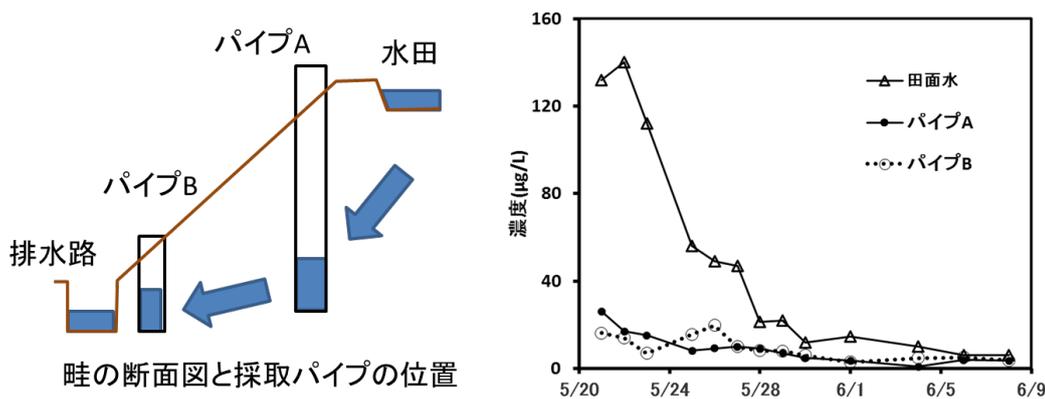


図 6.2.5 畦畔浸透水の採取位置と濃度変動 (2018 年滋賀県 A 地区)

土壌への吸着性を表す係数として、一般的には土壌吸着定数 (Koc) が用いられる。Koc は、試験土壌に既知量の農薬を含む水溶液を加えて平衡に達する時間まで浸透し、上澄み中の農薬濃度を測定して求めた土壌・水分配係数 (Kd、4 式) と、土壌の有機炭素含有率 (OC) より (5) 式で求められる。

$$Kd = \text{土壌への吸着量} (\mu\text{g/g}) / \text{水相中の量} (\mu\text{g/mL}) \dots (4)$$

$$Koc = Kd / OC \times 100 \dots (5)$$

図 6.2.6 は、2018 年に県立大学圃場および A 地区圃場で行われた調査より、田面水ピーク濃度に対する畦畔浸透ピーク濃度の比と、畦畔土壌の土壌吸着定数 (Koc) の関係を求めた結果で、logKoc と濃度比は反比例の関係にある。このように、畦畔浸透水のピーク濃度は、土壌への吸着性が大きい農薬ほど低下する傾向にある。

農薬の Koc は水産動植物の評価書※（環境省ホームページ1）から入手することができるが、記載されている値には幅がある。農薬の土壌への吸着性は、土壌の有機物含量だけではなく有機物の質にも強く影響されるためである。図 5.2.7 に 3 種類の除草剤成分について、評価書に記載されている Koc と琵琶湖流域の水田 5～7 か所より採取した土壌を用いて実測した Koc (川寄、2008) を比較した。同じ農薬成分でも土壌によって Koc は大きく異なるので、文献値を用いる場合には注意する必要がある。  
※正式には「水産動植物の被害防止に係る農薬登録基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料」

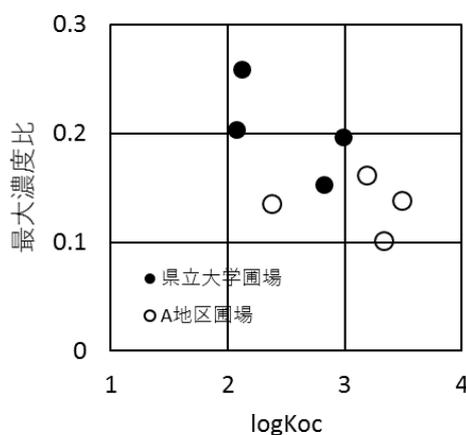


図 6.2.6 畦畔土壌の土壌吸着定数と実測最大濃度／推定最大濃度の関係（2018 年）

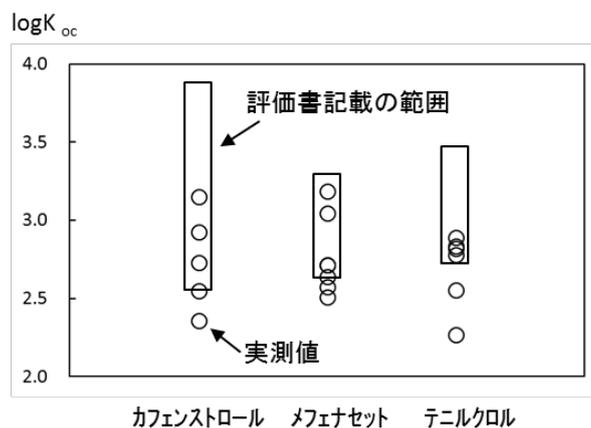


図 6.2.7 評価書※に記載された Koc と琵琶湖流域水田土壌で実測した Koc の比較  
※水産動植物の被害防止に係る農薬登録基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料

#### (4) 水田排水路中の農薬成分

排水路の流域は、数筆から数百筆の水田群で構成される。一筆水田から排水路への流出は、畦畔浸透によって数日から数週間継続する。そのため農薬散布が数日に分けて行われると、排水路では比較的長い期間農薬が検出される。ある農薬成分の濃度に注目した場合、散布されていない水田からの流出水は

希釈効果を持つ。経営形態が大規模農家あるいは集落営農などの場合は散布される製剤も絞られるが、個人経営の場合は様々な種類の製剤が散布されるため、散布された水田の流域内での面積比率を知ることが重要である。

40haの水田群排水路の最下流で、流出する農薬成分を浸透流出と表面流出に分離した研究(Sudo, 2018)では、排水路で検出される農薬の90%以上が浸透流出由来であることが示されている。一方、田面水濃度の高い時期に表面流出が発生している水田がある場合、たとえそれが1筆であっても排水路の全流出量の半分近くにも達することが明らかになっている。これらのことから、適正な水管理が行われている水田群では農薬の流出要因は主として浸透流出であるが、表面流出がある場合は1筆の表面流出が水田群全体の流出濃度を上昇させる要因になりうる。

図 6.2.1 に滋賀県内のA、K地区の排水路と、同じ流域内にある一筆水田の田面水の濃度変動を示した。排水路のピーク濃度を田面水と比較すると、A地区、K地区ともほぼ1/3であった。流域の10筆すべてに同じ日に同じ成分が散布されたA地区では、排水路の濃度は散布2日後にピークとなった後、徐々に減少した。一方、15筆の水田で数回にわたって散布されたK地区では、濃度が一時的に上昇した。濃度の上昇は、流域内の多くの水田で散布されたか、表面流出が発生した水田があったためと考えられる。

### (5) 河川水中の農薬成分

河川の流域は水田や畑地のほか、森林、市街地などで構成されている。晴天時の単位面積当たりの流出水量は市街地、畑地ではそれほど多くないが、ダムや頭首工からかんがい用水を取水し、その一部が表面流出あるいは浸透流出する水田は比較的多い。図 6.2.8 に琵琶湖流入河川である宇曾川（流域面積84km<sup>2</sup>、水田面積44km<sup>2</sup>）の河口で1日1回、除草剤濃度を調査した結果を示した。多くの水田から排水が流入するため、検出される期間は流域時期である5月上旬から6月上旬で、図 6.2.1 の田面水や排水路よりも長かった。濃度レベルは田面水より3オーダー、排水路より2オーダー低い濃度であった。河川を流下する間に一部は分解・吸着作用を受ける可能性があるが、流達時間が1～数日程度であることを考慮すると、散布されなかった水田からの流出水や、他の土地利用からの流出水による希釈効果が大きいと考えられる。

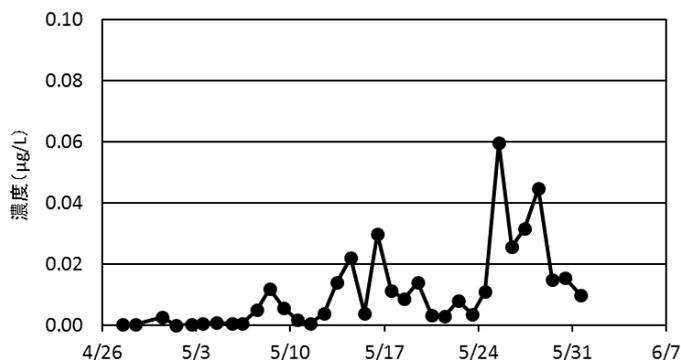


図 6.2.8 宇曾川におけるイプフェンカルバゾン濃度の変動（2018年）

図 6.2.9 に、降雨時の農薬成分の濃度変動を示した。降雨により湛水深が堰板を超えると、田面水が越流して河川への流入量が増加する。しかし雨水の浸透性が小さく、側溝などの排水施設が整っている市街地などからは雨水が短時間で排水されるため、河川の流量ピーク時には希釈効果が大きくなる。そのため、農薬成分の濃度はほとんど増加しない（図 6.2.9 では5月7日と5月13日の流量ピーク時）か、低下する場合（図 6.2.9 の5月7日の流量ピーク時）もある。市街地などからの流入が減少して希釈効果が小さくなる流量ピーク後、水田からの流入水量の比率が大きくなるため、農薬成分のピーク濃度は流量ピークにやや遅れて見られることが多い。

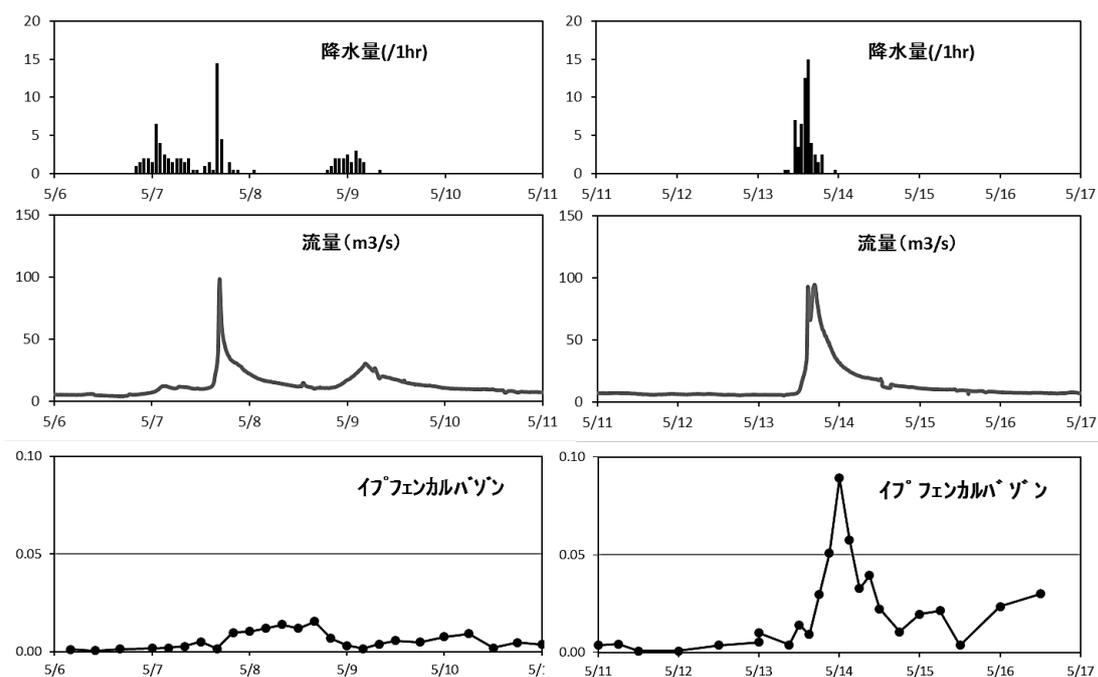


図 6.2.9 宇曾川における降雨時のイプフェンカルバゾン濃度の変動（2018 年）

### 6.3 農薬の毒性評価（農薬登録基準値）

生態系に配慮することを目的にする場合、「生態系」をどのように定義すればよいであろうか。大辞泉には、「ある地域に生息するすべての生物群集とそれを取り巻く環境とを包括した全体」（大辞泉、）とあり、水環境中では生物群集として植物プランクトンや水草などの一次生産者から大型魚類、場合によっては魚類を捕食する鳥類に至る一連の食物連鎖網として捉えられることが多い。

農薬の生態系への影響を明らかにする手法としては、マイクロコズムやメソコズムなどの疑似生態系や、生物群レベルでの実験がある。しかし、生物群集自身が農薬以外のさまざまな要因で変動することや、一部の生物種が影響を受けた場合でもそれにかわる生物種が出現するため、結果として試験を行った生物群集全体では影響が検出できないことが多い。

過去に散布された農薬成分には、魚毒性が高く湖沼などで魚の斃死を引き起こすなど、目に見える毒性影響のあった事例もあるが、現在使用されている多くの農薬成分では、生物群集に与える影響を科学的に明らかにすることは容易ではない。そこで、決められた実験条件で実施された単一生物種に対する毒性評価を基にして、生態系への影響が議論される。さまざまな生物種に対する毒性評価が多く文献で公表されているが、ここでは農薬登録基準を設定している農薬取締法による毒性試験について述べる。農薬取締法では、農薬に関わる多くの事項が定められている。農薬取締法に基づき農薬として登録されている原体数は 450 種類前後、農薬製剤は 4000 種類程度である。農薬の登録時には、ヒトに対する毒性試験の他、動植物体内での代謝に関する試験、環境中での影響試験、農作物や土壌などへの残留性試験などの成績提出が義務付けられている。

水環境に関わる基準の一つは「水質汚濁に係る農薬登録基準」（環境省ホームページ 2）である。これは、公共用水域の水質汚濁が原因となり、人畜に被害が生じることを防止するための基準で、基準値は無毒性量、安全係数から算出された ADI（許容一日摂取量）、および飲料水として摂取した場合の曝露量より算出される（以下水濁基準値と表記）。

水環境に関わるもう一つの基準は、「生活環境動植物に係る農薬登録基準」（環境省ホームページ 3）である。農薬の動植物に対する影響評価の対象は、それまでは水産動植物であったが、平成 30 年 6 月の

改正（環境省ホームページ4）により陸域を含む生活環境動植物（その生息又は生育に支障を生ずる場合には人の生活環境の保全上支障を生ずる恐れがある動植物）に拡大された。平成17年度以降、水産動植物に対する基準値は魚類（魚類急性毒性試験（コイ））、甲殻類（ミジンコ類急性遊泳阻害試験）、藻類（藻類生長阻害試験）に対する毒性値の最小値を基にして算出されてきた。平成29年度からは、甲殻類などの種によって感受性が大きく異なることから、新規登録殺虫剤にはユスリカ幼虫試験が追加されている。（以下水産基準値と表記）なお、各生物種の毒性データはホームページ上で公開されている（環境省ホームページ3）。

平成30年の改正を受けて、上記の水産動植物に対する影響に加えて、鳥類などの陸域における生態影響、一次生産者に対する影響として維管束植物である水草などを評価対象とすることが検討されている。また、従来の急性影響だけではなく、慢性影響評価も検討される方向にあることから、これらの動向には常に注意を払う必要がある。

実際に農地で使用された農薬が河川などに流出し、仮に生態系に影響を与えるような事例が発生すれば、基準値を設定しただけでは被害を防止することはできない。そこで農薬取締法では、農薬が散布された場合の環境水中における農薬濃度を予測し、その濃度が基準値を下回ることを確認できないと登録できない。

環境水中の濃度予測（PEC、Predicted Environmental Concentration）は水濁基準値、水産基準値それぞれについて行われる（それぞれ水濁 PEC、水産 PEC）。評価はいずれも第一段階は数値計算、第二段階は水質汚濁性試験、第三段階は水田圃場試験の方法で行われ、低次の段階で要件を満たした場合は高次の段階試験は行われぬ。また、第一段階の数値計算では、仮想のモデル流域に散布された場合を想定して濃度計算が行われる。計算に使われるモデル流域は共通であるが、影響を評価地点と平均濃度の計算方法が異なる。

人の健康の保護を目的とする水濁基準値の場合は水田排水路が本川に合流する地点における年間平均濃度、水生生物の影響評価を目的とする水産基準値はモデル流域の最下流における毒性試験期間の平均濃度となる。毒性試験期間とは、基準値算出のために用いた生物の毒性影響を試験した期間（コイ4日、ミジンコ類2日、藻類3日）のうち、PECが最大になる期間が用いられる。

#### 6.4 水環境中で検出される農薬のリスク評価の方法

田面水、排水路、河川水で検出される農薬成分のリスク評価を行う場合、リスクの対象を明確にする必要がある。河川の生態系リスクを評価する場合、農薬の水産基準値が参考になる。水産基準値の設定時に用いられる標準シナリオは、10km<sup>2</sup>の流域に含まれる50haの水田に散布された農薬成分が2日間で15.6%、3日間で22.4%、4日間で29.1%が河川に流出し、3.0m<sup>3</sup>/sの水で希釈されるとしている（環境省ホームページ3）。

水産基準値設定の時には、水産基準値が水産 PEC を下回っていることを確認するが、環境省では水産 PEC と水産基準値が近接している農薬を対象にして国内のさまざまな河川でモニタリング調査（農薬残留対総合調査）を行っている（環境省ホームページ5）。稀にモニタリング調査で水産基準値を超えることがあるが、標準シナリオよりも散布された水田面積が多い、河川の平均流量が少ないことなどが原因と考えられる。また毒性影響は2～4日間で評価されているが、モニタリング調査の値は瞬時の値であることも考慮した評価が必要である。一方で、これらの農薬成分は河川への流出性が高く、実際の河川水中でも毒性値と近接した濃度で検出される可能性がある農薬成分として、配慮の必要性を議論する材料とすることもできる。

田面水、排水路の残留濃度は、河川よりも数オーダー高いことがあり、水生生物の毒性値をしばしば超過する。水田の第一の目的はイネの生産の場であり、農薬の登録基準値でも河川に流出した後の濃度で評価している。しかし、水田排水路や水田内を魚類の孵化・育成の場として考慮する必要がある場合、魚そのものに対する毒性と、餌資源としての甲殻類や藻類に対する影響を把握する必要がある。魚類で

はコイのほかにニジマス、ブルーギル、ヒメダカなど、甲殻類ではオオミジンコの他にスジエビなど、藻類ではムレミカヅキモ、イカダモなどの毒性値を得られることは多いが、感受性は種によって異なることもある（永井、2017）ので、対象となる生物の毒性値に関する文献調査が必要である。

魚類を育成するために水田に魚卵または仔魚を投入する場合は、農薬の散布と生物の投入のタイミングが重要となる。田面水中の農薬濃度は指数関数的に減少するので、例えば全量がすべて溶解したと仮定した濃度を初期値、半減期を3日に設定して、比較的高いレベルでの推移をもとに、残留濃度が毒性値以下になる日数を予測することができる。実際の圃場では、前述したように初期値は全量が溶解した場合よりも小さく、半減期はより短い場合が多い。

## 6.5 農薬の流出抑制技術

水田に散布された農薬成分が排水路や河川へ流出する経路は、ドリフト以外の要因では水の動きに伴う移流である。従って、水の流出を抑制することが農薬の流出を抑制することにほかならない。移植後から中干しまでの湛水期間は、表面流出と浸透流出をともに抑制する対策をとる必要がある（環境省ホームページ6）。

多くの農薬製剤のラベルには、「農薬散布後7日間は落水やかけ流しをしないこと」を遵守するように求められている。これは、田面水濃度が十分低下するまで1週間は必要であり、その間表面流出による田面水の流出を抑える必要があるとの認識による。表面流出を抑制するもっとも簡単な方法は、排水口の堰板の高さを高く設定することである。堰板には、側面だけでなく全体に土壌を塗り付け、堰板の隙間からの漏水の防止を図る必要がある。

堰板の高さは、田面水が越流しないようにするだけでは不十分で、田面水位と堰板の高さにある程度の余裕を持たせる必要がある。たとえば10mmの余裕があれば、10mmの降水量までは越流を防止する効果が期待できる。また、水口から水尻に強風が吹く場合、風の吹き寄せで発生する水位上昇による越流を防止することも可能になる。堰板の高さの調整と同時に、用水量の管理が重要になる。過剰な灌がい用水の流入を防止するためにはこまめな用水管理が必要であるが、自動給水栓の利用も一つの方法である。前年の収穫から代かきまでの間に生じた土壌の乾燥により生じるクラックやひび割れ、小動物による穴、枯死した畦畔雑草の根痕などを放置すると作付け期の畦畔浸透が増加するため、農薬成分の流出を増加させるだけでなく、水田の保水力を低下させる。これらの原因を排除するために、代かき前に畦塗が行われる。近年では、畦塗り機を用いた作業で省力化が図られている。また、畦波板を畦に沿って地中深く差し込み、つなぎ目に盛り土をして漏水を防ぐことも有効な手段である。

## 引用文献

- 日本植物防疫協会、「病害虫と雑草による農作物の損失」20年6月  
 農林水産省ホームページ <http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/index.html>  
 農業土木ハンドブック（2010）農業農村工学会  
 Miki Sudo, Yuko Goto, Takahiro Okajima, Rieko Horiuchi and Hiromichi Odani (2012) Effect of percolation flow on herbicide loss from rice paddies. J. Pest. Sci 37(2),140-147  
 地下水ハンドブック（1998）建設産業調査会  
 川寄悦子, 須戸幹, 三木俊和, 柴原藤善（2008）除草剤流出率予測簡易モデルの琵琶湖集水域7水田群に対する適用. 水環境学会誌, 31(11)677-683  
 環境省ホームページ1 <http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun.html>  
 Miki Sudo, Yuko Goto, Kenji Iwama, Yoshifumi Hida (2018) Herbicide discharge from rice paddy fields by surface runoff and percolation flow: A case study in paddy fields in the Lake Biwa Basin, Japan. Journal of Pesticide Science 43(1), 24-32  
 大辞泉、小学館

## 水田地域における生態系保全のための技術指針

環境省ホームページ2 [http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/odaku\\_ki\\_jun/ki\\_jun.html](http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/odaku_ki_jun/ki_jun.html)

環境省ホームページ3 <https://www.env.go.jp/council/10dojo/y104-69/siryous8-2.pdf>

環境省ホームページ4 [http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/ki\\_jun/suisan-hyoka.pdf](http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/ki_jun/suisan-hyoka.pdf)

環境省ホームページ5 <http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/zanryutaisaku.html>

永井孝志（2017）種の感受性分布を用いた農薬の生態リスク評価に関する研究、日本農薬学会誌  
42(2)291-299

環境省ホームページ6 <http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/sppt.html>

### 執筆者

須戸幹 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科 [sudo\(at\)ses.usp.ac.jp](mailto:sudo(at)ses.usp.ac.jp)

## 7. まとめ

本技術指針は、水田生態系の中で特に魚類に注目して、これまで琵琶湖周辺で実施されてきた調査・研究および実際の現場での保全の取り組み経験に基づき、生態系保全技術についてまとめた。要点は下記の通りである。

### 7.1 在来魚の保全対策・技術の方向性（1章、2章、3章）

在来魚を保全していくためには、河川・水路で次のような対策が必要と考えられる。

①河川・水路における流量の確保。河川においては、在来魚の遡上期（3～12月）に瀬涸れしないようにすることが大事である。また、農業排水路においては、非灌漑期にも魚類が生息、避難できる水域の確保が必要である。

②農業濁水の流出防止。農業濁水は、付着藻類、沈水植物の上に堆積し光合成を抑制する、水中溶存酸素濃度を低下させる、アユの忌避行動を起こさせるなど、魚介類にとってマイナスに影響することが多い。そのため、極力流さないようにすることが大事である。

③在来魚の行動範囲、産卵場、生育場を広げるための移動障害物（堰、樋門、段差等）の撤去・構造の改良。農業用排水路網と河川、内湖、琵琶湖のつながりの確保。ただし、下流から外来魚が入らないように注意することも必要である。

④河川・水路の垂直護岸の緩斜面化、水辺植生回復による産卵場、生息場、隠れ家の面積拡大。3面コンクリート張りの排水路の底面をコンクリートでなく土砂にする。排水路の改修の際には可能な限り3面コンクリート張りを避ける。

⑤魚介類の餌となる藻類や動物プランクトン等の生産の基盤となる集水域からの適度な栄養塩供給を維持する。ただし、魚種によって適した栄養塩濃度が異なり、栄養塩濃度が高い場合は、溶存酸素濃度が低下しやすいことを注意する必要がある。

⑥山からの適度な土砂供給。砂礫に産卵する魚種が多いため定常的な土砂供給が必要である。

⑦フナ類、ホンモロコが産卵・孵化する時期（4～6月）は琵琶湖水位を高めに保ち、水位が急速に下がらないように琵琶湖水位を管理する。

⑧外来魚の撲滅。特にオオクチバス、ブルーギル等の魚食性外来魚を撲滅する技術の開発・普及が大事である。

### 7.2 魚のゆりかご水田の技術指針（4章、5章）

排水路から水田にニゴロブナが遡上できる魚道の構造・条件としては、次のことが大事である。

①堰上式魚道では、各階段の水位差を10cm以内とすること、階段部のプールの水位を常時満水に近い状態に保つこと（水漏れがないようにすること）が必要である。堰上部の排水路の水位と田面との水位差は約5cm以内とすることが望ましい。また、水田の排水柵を魚が通れる広さにする、排水柵の堰板を必要以上に高くしない、排水路の堰上げ湛水は5月10日頃までに行うなどの留意が必要である。

②一筆型魚道では、魚道のプール内で魚が定位できる水深と幅を保つ、魚道の水田への取り付け部で魚道側の水深を8cm以上に保ち落差を5cm以内とする、魚道の堰板上に非越流部ができるようにする、魚道の遡上口を常時水面下とする、降雨時に早く確実に魚道から越流させるなどの留意が必要である。

また、中干しの落水時に、水田で成長したニゴロブナ稚魚を水田に残らないように流下させるためには、複数回の落水を行う、落水開始前の湛水深を大きくする、初期の排水流量を大きくするなどの工夫が有効と考えられる。水田に稚魚が残らないようにするためには、田面の均平度を高めておくことも大事である。

### 7.3 魚のゆりかご水田の効果を補強する技術（4章）

魚のゆりかご水田の取り組みによるニゴロブナ等の在来魚の増殖・保全効果を補強する技術として、人工産卵床と人工魚礁の利用がある。人工産卵床は、キンラン、寒冷紗、ヨシなどを産卵床として利用する技術で、人工産卵床を農業排水路に設置し、それにニゴロブナ等が産卵した後、魚卵の付着した人工産卵床を水田に投入することにより、魚道設置と同じ効果が得られる。人工魚礁は、排水路に流下したニゴロブナ等の稚魚がブルーギルやオオクチバスに捕食されるのを抑制する機能を持っている。これらの技術を現場に応用していくことが望まれる。

#### 7.4 農薬の施用・管理方法 (6章)

農薬の生態系への影響を最小限にするためには次のような対策が必要である。これらの対策は、窒素・リン等の肥料成分の流出防止や濁水の防止にも有効である。

- ・適正な施用方法、施用量、施用時期を守る。
- ・水田からの水の流出・漏水を抑制する。堰板の高さを高めに調整する。用水量のこまめな管理を行い余分な水を入れない。また、畦塗、畦波板の設置などによる漏水防止を行う。
- ・農薬散布後7日間は落水やかけ流しをしない。排水口の堰板の高さを高く設定する。

#### 執筆者

大久保卓也 滋賀県立大学 環境科学部 生物資源管理学科 okubo.t(at)ses.usp.ac.jp