

I-13 水域の分断要因による水生生物への影響の把握と

水域のエコロジカルネットワークの保全・復元手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 14～平 17

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：天野 邦彦、村岡 敬子

大石 哲也

【要旨】

本研究は河川・水田地域における水環境の変化が魚類等の生息環境に与えた影響を把握するとともに、これらの水域環境・水域ネットワークの保全・復元のための方策を提案することを目的に実施したものである。本研究の成果により、水田の近代化は魚類の移動経路上に物理的な落差を生じさせただけでなく、水田地域が有していたさまざまな水環境を喪失させると共に、稲作の暦の変化などもまた魚類の利用に影響を与えていることが明らかとなり、これを踏まえた目標設定のあり方について整理を行った。さらに、魚類遡上環境の改善を簡易に行うための隅角部魚道の開発、水域ネットワークの改善事業計画の比較検討等を行うための水域ネットワークモデルの提案を行った。

キーワード：エコロジカルネットワーク、水田、農業水路、魚類、魚道、保全、復元、自然再生

1. はじめに

河川周辺に分布する水田や農業水路、ため池など水田地域に存在する水環境の多くは、人為的な水域であるにも関わらず、魚類は生活史の中で水田地域の水域を利用してきた。近代に入って急速に進められた農村の近代化政策は、農業労働の負担を大幅に軽減させた反面、魚類の生息環境の悪化をもたらし、メダカやタナゴなど水田地域を生活の中心とする魚類が急速に姿を減らしつつあるといわれる。このような我々にとって身近な水田地域の生態系が失われつつある中、「里山」や「湧水源」の環境を保存する活動が日本各地で行われるなど、水田地域の生態系への関心は高まりつつある。

一方、河川に生息する生物にとっても、水田地域とエコロジカルネットワークが維持され、生活史の中で必要なときに利用できることが重要である。例えば、河川に生息するナマズやアユモドキは産卵の場として水田地域を利用する。近代までは稲作のための水田・農業用水路・ため池と近隣の河川や湖沼との間は生物の移動が可能であり、魚類等は面的に広がるこれらの水環境をその生活史に応じて利用することができた。しかし、昭和初期以降になると、大規模な河川改修や圃場整備等が行われ、河川と水

田地域における水環境が大きく変化しただけでなく水域間の移動が困難となった。そこで、国土交通省と農林水産省は連携して河川と水田地域の環境を保全するために、平成 14, 15 年度の 2 年間にわたり連携モデル事業を実施し、平成 18 年度には河川局の重点施策のひとつとなるなど、行政的な動きも活発になりつつある。

本研究は、このような行政的な動きとも連動しつつ、河川と水田地域を行き来する魚類を中心に、近年の農村整備による水田の近代化に関わる人間活動が魚類等生物の生息場にどのような影響を与え、どのような機能が失われたかを明らかにするとともに、これらの水環境や水域ネットワークを保全・復元するための方策を提案することを目的として、平成 14 年度から 4 ヶ年にわたって実施したものである。それぞれの年度における主な実施項目は以下の通りである。

平成 14 年度

霞ヶ浦流域の河川につながる水田地域 2 箇所において物理環境および魚類調査を実施し、水田の近代化によって谷津田に生息する魚類の生息環境がどのように変化したのか調査した。

平成 15 年度

荒川に接する水田地域において物理環境および魚類調査を実施し、魚類がどのように水田地域を利用しているのか明らかにした。また、農耕形態と魚類の利用、水田開発と魚類生息場の関係について整理した。2ヵ年の成果を反映させ、国土交通省・農林水産省と共に「身近な水域における魚類等の生息環境改善のための連携方策の手引き」を策定した。

平成16年度

河川と水田地域の物理的な分断要因を整理し、これを改善するために簡易的な魚道を開発した。また、霞ヶ浦周辺の水田地域におけるメダカ個体群の基礎情報として遺伝子の基礎情報を調査した。平成17年度

水田地域に局所的に残るメダカの生息地間のネットワークを復元することを想定し、地点間の移

動のしやすさをコスト距離として表現するモデルを作成した。また、那珂川中流域を主な生息場とするウグイに着目し、これらの稚魚と那珂川に接続する水路構造との関係を現地調査等により明らかにした。

2. 水域ネットワークの分断機構に関する研究

2.1 河川と水田地域における魚類生息場となる水域の特徴とその移り変わり

まず、本研究で対象とする河川周辺の水域を抽出し、その特徴をとりまとめた(表-1)。さらに、文献整理によりこれらの水域が魚類の利用の視点からみてどのように変遷してきたのかを整理した(図-1)。河川周辺の水域の多くは農耕の開始と共に人為的に改変されたものであり、魚類などの生物は原始河川での湿地的環境やクリーク・小河川などの水域から

表-1 魚類生息場となる水域の種類と特徴

水域の種類	流況	水域の特徴	水域の定義等
用排水源との連続性が保たれた農業水路	流水性	恒久的・一時的	・恒久的な農業水路は、谷底平野や湧水地帯に立地し湧水を用水源とするものや、氾濫原のうち特に河川沿いに立地し地下水位が高いもの、小河川を農業水路としているもの等である。これらは、1年を通して水枯れが無く恒久的な流水域となる。 ・一時的な農業水路は、後背湿地などの地下水位が低い場所に立地し、河川や湖沼・ため池などを水源とする。非灌漑期には揚水を停止するため、灌漑期のみ流水域となる。
クリーク	流水性	恒久的	・高水敷にある幅数十cm～数cm程度の細流。ある程度流速があるが水深は小さく、水際は植生帯や河畔林で覆われていることがある ¹⁾
湛水域	止水性	恒久的	・堰の上流などの背水区間。通常流れが緩やかで水深が大きい ・水面勾配はほとんど無い ¹⁾
後背水域	止水性	一時的(降雨時)	・河道内にある池状の水域で、本川の位況により本川との接続状況が変化する ¹⁾
ため池	止水性	恒久的	・河川や湖から直接水を引くことが出来ない場所で、農業用水確保を目的として人工的に築かれた池 ・平地にあつて全体的に浅い皿池、丘陵地・山間部にあつて谷を堰き止めた谷池、丘陵の麓にある麓池などがある ²⁾
氾濫原	止水性	一時的(降雨時)	・最も広義には、河川が氾濫する範囲を指す ・定義によっては自然堤防帯のうち自然堤防と旧河道を除いた部分を氾濫原と呼ぶ場合があり、この場合、後背湿地と同義 ³⁾
湧水地帯	止水性	恒久的	・湧水とは、地下水が地表水となって湧きだしたものである。一般に扇状地の扇端部には湧水地帯が存在する ・地形・地層等の状況により、扇端部のあちこちに天然湧水が湧きだす場合や、扇端部に全域に湧水が浸み出し、湿地状になっている場合などがある ⁴⁾
谷底平野	止水性	一時的(降雨時)	・谷底にある平坦面で現在、河流の沖積作用が及ぶ地域 ⁵⁾
湿田	止水性	通年湿潤	・地下水位が地表面から40cm以内の水田 ・一年を通じて地表が常に最大容水量以上の含水状態にある水田 ⁶⁾
半湿田	止水性	通年湿潤	・地下水位が地表面から70cm～40cm以内の水田 ・一年の或期間湿田状態となる水田。或は表土が常に野外容水量以上の含水状態にある水田 ⁶⁾
谷地田(谷津田)	止水性	通年湿潤	・谷あい水田。高台からの浸透水または湧出水を用水源とするが、一般に地下水位が高いために湿田状態になっている ⁶⁾
湛水田(乾田)	止水性	一時的(灌漑期)	・水稻の生育期間中、最高分けつ期の中干し約一週間のをぞいて、糊熟期の終わりに落水するまで水を保つ田 ⁶⁾

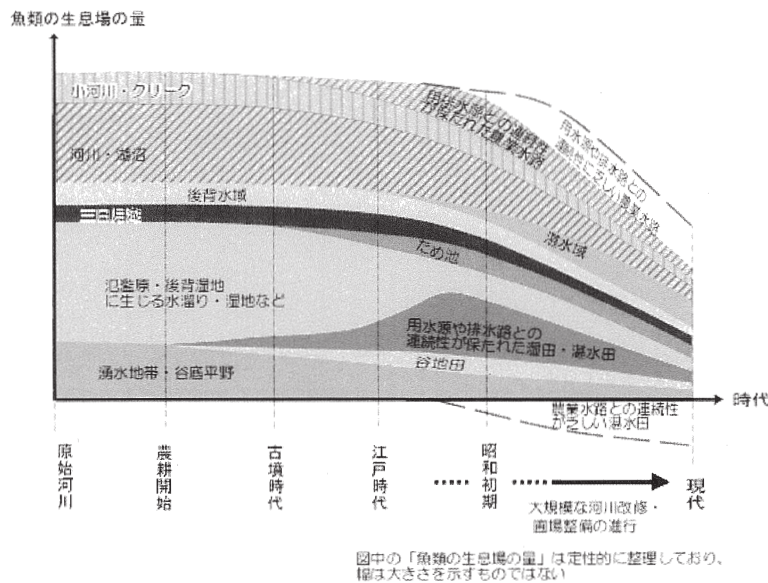


図-1 魚類の生息場となる水域の変遷 (イメージ)

水田や農業水路などの人為的な水域に環境を一部移していたと考えられる。また、農耕に關与して河川周辺の水域が大きく変化した時期としては、①大規模な水田開発が行われた江戸時代～明治初期、②水田の近代化が行われた昭和初期以降の二つの時代が上げられ、魚類の利用の面からみると水田地域の近代化は河川周辺の水域を質的にも量的にも変化させてきたと考えられる。

2. 2 水田地域の近代化と水環境の変化

本研究における調査により、稲作の暦と連動して行われる水田地域の水管理と魚類の動向には密接な関係があることが明らかとなった。また、用水源などによって水田地域の水環境が異なり、出現する魚種や利用形態もまた異なることが示されてきた⁷⁾。そこで農耕開始以降人間のかかわりによって水域の環境が作られてきた水田地域において、もともとどのような水環境が存在していたのか、地理学、歴史学、民俗学の文献を中心に整理を行うとともに、近代化による魚類への影響について考察をおこなった。

用水の確保が大きな課題であった近代以前の水田地域の物理環境は、もともとの水環境だけでなく、水田面の排水性や高低差、用水と水田の規模との関係

が深いことが推察され、河川周辺の水田地域の水環境が地形面によって大別できることがわかった^{6),8)}。さらに、近代以前の水田では、水を効率的に使う工夫がなされ、その地域によっても異なる水環境が存在した⁹⁾。明治以降、ポンプによる灌漑が可能となり、大型農業機械を用いた農作業が主流となってくると、水田適地の条件が変化し、地域に応じて異なっていた水田地域の物理環境は均質化しつつある¹⁰⁾。

この水田地域の均質化は、水田や周辺に存在した水域の消滅につながり、水田地域における魚類の動向にも影響を与えたと考えられた。例えば、平成15年度に実施した荒川における調査では、河川に生息する魚類が水田の水管理にあわせて水田地域を利用し、水

の供給が終了すると水田地域で生まれた稚魚などが大量に荒川へ降下することが確認されている。当該地区ではかつて稲刈り前に排水目的で掘られた濠が水田周りにあり、ナカボシや稲刈り時にドジョウ等一部の魚種を除いて利用が困難となった水田から降下する魚たちの受け皿としても機能したと考えられる。同様に、ため池（谷津田や水が不足する水田地域）やクレーク（デルタ地帯）、掘や沼田などとして水田地域やその近傍に存在し、人為的な水管理を行う水田の受け皿として機能していたことが、民俗学の記録などから推察することができた。

近代化される以前の水田地域には、地形面や用の水管理形態に応じたさまざまな水環境が存在しており、人間活動や自然災害などによるさまざまなリスクを軽減させてきたことができたと考えられる。

	水田における作業	3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
白鳥(昭和初期) 1950年頃	田起し																		
	苗代																		
	田植																		
	草とり																		
	稲刈り																		
水田の状態		湿潤						やや湿潤						湿潤					
網戸(昭和初期) 1950年頃	田起し																		
	苗代																		
	田植																		
	草とり																		
	土用干し																		
稲刈り																			
水田の状態		乾燥						湿潤						乾燥					
荒川地区A(2003)	田起し																		
	田植																		
	中干し																		
	稲刈り																		
	水田の状態		乾燥						湿潤						乾燥				

図-2 稲作の暦と水田の水環境

3. 水域ネットワークの分断が魚類の生活史に与える影響に関する研究

3.1 水田地域における水域ネットワーク

水田地域内の水域と魚類との関係について明らかにするために、霞ヶ浦流域の谷津田において調査を行った¹¹⁾。

調査対象地域として、湧水を利用した昔ながらの谷津田の環境が残り、生物が容易に水田・用水路間を行き来できるK川、水田構造・用水管理共に近代化がなされ、生物が農業水路と水田の間を移動することが困難なF川の二つの流域を選択し、それぞれタモ網・定置網による魚類調査、分断状況や水路の勾配などの物理環境調査を実施した。尚、両地点共に農業水路と霞ヶ浦は通年分断されている。

農業水路では、両水域ともにモツゴ、ドジョウ、ヨシノボリの3種が出現した。このうちK川・F川における未成魚・成魚の個体数にいずれも魚種においても有意な差は見られないものの、稚魚ではF川のほうが著しく少ない結果となった。K川ではこの3種が農業水路の上下流を通じて出現する上、メダカやキンブナなどを含む10種が確認されており、これらの分布を縦断方向にみるとメダカやキンブナが湧水源近くの山裾で、ギンブナやタイリクバラタナゴが下流域でのみ確認されるなど、上下流で魚種構成が異なる結果を得た(図-3)。周辺に谷地田が広がるK川地区では、湧水を水源とする農業水路に恒常的な様々な水域が存在し、多くの魚類がそれらをハビタットとして利用するものと考えられる。

また農業水路がつながるK川ではブルーギルが多数採捕され、また少数ではあるがチャネルキャットフィッシュも採捕されている。湛水区を含む取水堰上流ではこれらの生息は確認されておらず、取水堰が外来種の進入を防いできた可能性がある。

3.2 河川と水田地域の水域ネットワーク

河川-農業水路-水田の連続性の違いが魚類相に及ぼす影響、及び連続性が確保された水域に

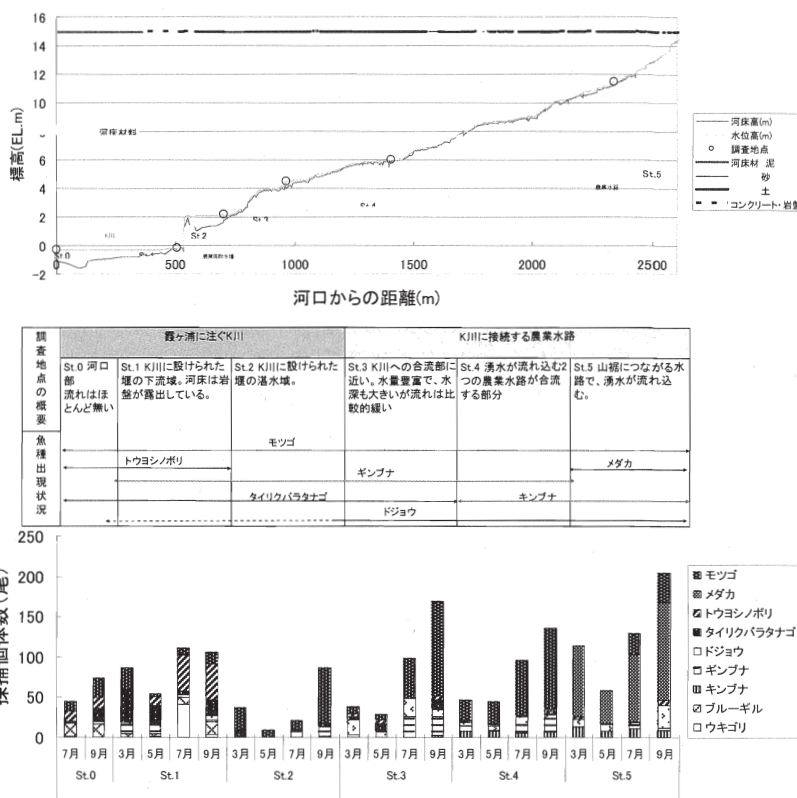


図-3 K川の流域における魚類の出現状況

における魚類の利用形態を把握するため、荒川において魚類調査を実施した。調査対象としたのは河川から水田までの連続性がことなる三つの水田地域で、それぞれの主要農業水路においてタモ網、定置網による魚類調査を行った。尚、いずれの地区も水田への灌漑はポンプを用いた河川からの揚水が行われている。

3地区のうち、連続性が確保された水田地域においては、タモロコ・フナ類・ナマズなどを中心とした魚類が水田地域の水管理に合わせて4月以降に荒川から水田地域に遡上し、農業水路・水田を利用して産卵・孵化・生育し、徐々に荒川に降下するという一時的な利用が確認された(図-4)。また稲刈りに備

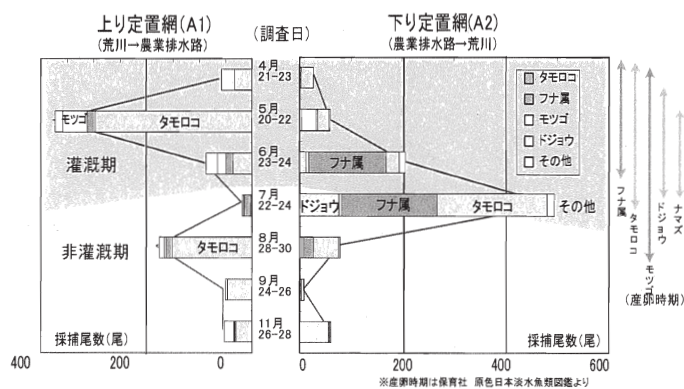


図-4 荒川と水田地域間における魚類の動向

えて水田への灌漑が行われなくなる7月下旬には、ドジョウもまた水田地域から河川へ降下しているのが観察された。尚、2年間の調査範囲では、水田地域を利用する魚種の移動と雨量・水温・水深との間に関係は見られなかった。一方、河川との連続性に乏しい水田地域では、これら河川に生息する魚類の一時的な利用は見られず、出現種数も少ないが、水路内に残るわずかな水域を利用できたモツゴやドジョウが多数採捕された。条件さえ整えば、一部の魚種にとって再生産が可能な水域となっていることが確認された。

3.3 河川を主な生息場とする魚種による周辺水域の利用

河川に生息する魚種であっても、遊泳力が不十分な仔稚魚期には流れの緩やかな水域を必要とする。また、河川本流で生活する成魚もまた、出水時などには一時的に流れの緩やかな水域を必要とする。河道内においては、流れの緩やかな空間は河岸や淵などにも存在するが、河道内のそのような場が不十分な場合や出水時のリスク回避の視点に立てば、本流の流れの影響を直接受けない河川に接続する支川や農業水路等もまた重要な水域であるといえる。

河川に接続する水路を考えたとき、その場の利用率には、そのハビタットだけでなく河川本流との行き来のしやすさもまた重要であると考えられる¹²⁾。そこで、河川周辺の12本の水路(図-5)を対象に3回の魚類調査を実施する共に、水路の接合部の構造および本川との関係について整理するために、魚類相、ハビタット、合流部付近の地形・流況について調査をおこなった。

調査の結果、水路内では3回の調査を通じて計26種の魚種が確認され、その中には、河川を主な生息域とされているものも数種含まれていた。全調査期間を通じ採捕された個体では、ウグイが28%、カワムツが26%、オイカワが7%を占め、その多くが稚魚であった。ウグイは河川の早瀬の砂礫底に産卵するとされ、また成魚の生活の場は流量が多く瀬淵構造が比較的発達した河川とされているが¹⁴⁾、今回ウグイの稚魚が確認された水路

は必ずしもそのような条件に合致するものばかりではなく、本川で生まれた稚魚¹⁵⁾が水路へ遡上したものと推察された。そこで、水路内にウグイの産卵場となる場が存在しないと考えられる水路を選定し、それぞれの水際におけるウグイ稚魚の出現状況と水路と河川の接続部周辺における物理環境との関係を求めた。

整理の結果、ハビタットに関する調査項目のうち、水際流速以外の項目(水際植生、河床材料、水深等)とウグイの出現状況の間に相関は見られなかった。一方、ウグイが産卵場として利用可能と思われる河川内の早瀬からの距離、接続部の流速、合流部の水路側の流速との相関がみられた(図-6)。河川本流で孵化した稚魚は、拡散しつつ流下し、入り口部付近に到達することができた支流に遡上しているものと考えられ、稚魚が利用する上では支流内のハビタットや支流への連続性だけではなく、そこに至る流況もまた重要であると考えられる。

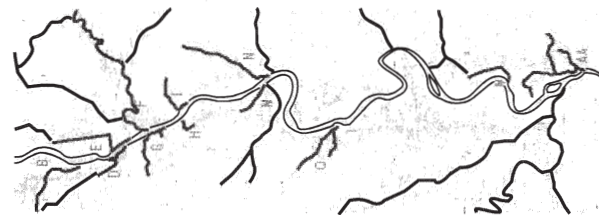


図-5 那珂川における調査水路位置

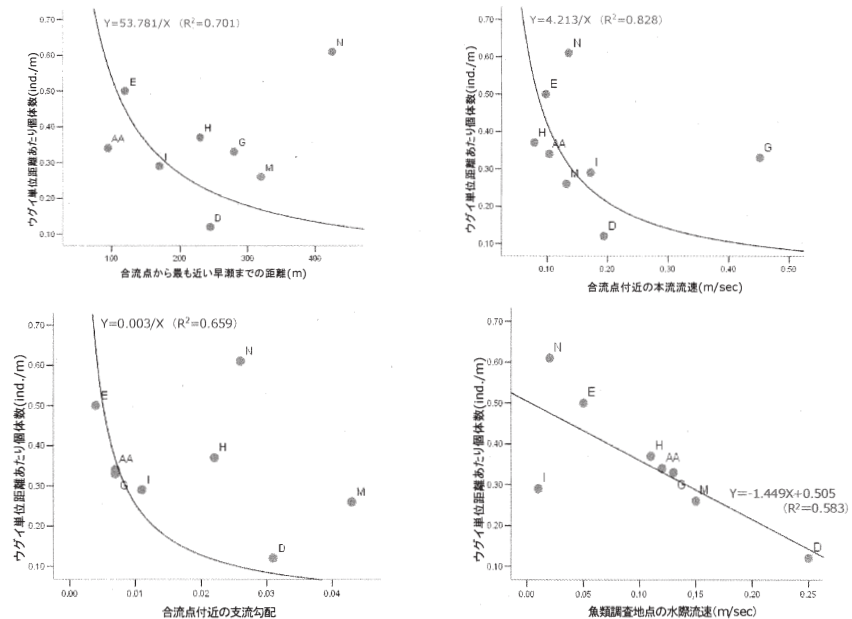


図-6 水路におけるウグイ稚魚の出現と水路接続構造の関係

4. 水域ネットワーク保全・復元手法に関する研究

4. 1 河川と水田地域を結ぶ簡易魚道の開発

水域ネットワークの物理的な改善策のひとつとして、落差の解消や魚道の設置などを通じて魚類の移動性を確保する必要がある。本研究では、河川と水田地域の分断要因のひとつである樋門を対象とした魚道の開発を行った。

魚道の開発に先立って、現地調査を中心に設計上の課題を以下のように整理した¹⁶⁾。

- ① 樋門を流下する水量変動が大きいこと
- ② 人為管理が行われないこと
- ③ 設置費用や設置可能場所の面から、大掛かりな魚道の設置工事が困難であること
- ④ 田畑よりゴミ等の流下があること

これらのことから比較的急勾配であっても魚類の遡上が可能といわれるデニール式魚道を基本形状とし、樋門下流面の片側の壁面を利用した隅角部魚道を設計した。本魚道は、水路中央部に向かって伸びる阻流板にとこれを固定するL字型の板で構成される(図-7)。

魚道の開発にあたっては、長さ300cm・幅60cm・深さ50cm・勾配1/10の実物大模型を用いた水理実験を実施した。水理実験においては縦横断の流速分布ピトー管を用いて、水面形をポイントゲージで測定すると共に、流水中の気泡の混入状況をボイド計で測定した。

水理実験の結果、流速分布は阻流板の形状や水深によって異なるものの、流況の安定のために水路上部に波返しを設置した形状では、越流水深が40cmの時に、阻流板の中心部に流速20~40cm/s程度の連続した流れを形成させることができた。これは、ナマズやフナの成魚の遡上も十分可能な

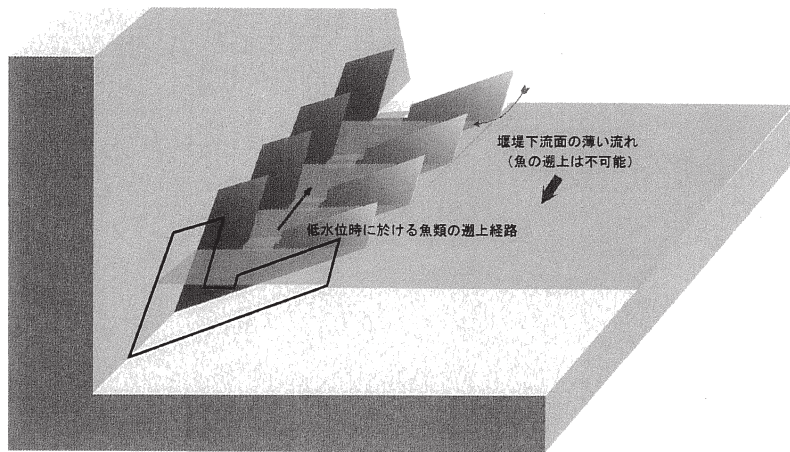


図-7 隅角部魚道の基本形状

規模であった。さらにこの波返しは魚類の遡上に悪影響を与えるといわれる気泡の混入の抑制にも効果的であった。

ドジョウやヨシノボリ等の底生魚の遡上経路として重要と考えられる水路底部には、粗度との組み合わせによって阻流板沿いに40cm/s以下の連続した流れを形成することができた。一方、流量が少ない場合にも、傾斜させた阻流板の中心部に流れを集中させ、小型の魚類の遡上経路を確保することも確認された。

4. 2 水域ネットワーク評価モデルの開発

霞ヶ浦に注ぐ大小河川の上流には谷津田が広がっており、水域ネットワークの上流域には分断された水域内においてもメダカの生息域が残っている。こ

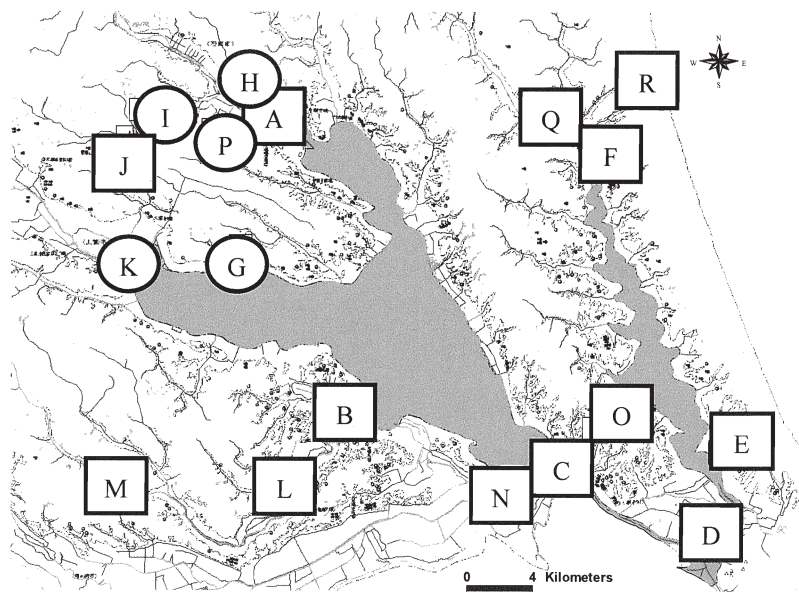


図-8 霞ヶ浦周辺水域におけるメダカの分布状況
関東タイプのみ(○)、西日本タイプが1個体でもいた場所(□)

これらのメダカにとって水域のネットワークはお互いの生息域を結ぶ回廊でもあり、また生息空間がつながりお互いが行き来できることによって個体群の規模を大きくすることが可能であり、さまざまなリスクを回避するために効果的といわれる。しかし関東地方においては関東本来の遺伝形質を有しないメダカが人為的な移植により混入しているといわれており、水域ネットワークの整備が遺伝的な攪乱を促進する恐れもある。同様に、在来魚種の保全の観点に立てば、外来種や移入種などが存在している水域との交流の機会を小さくすることも必要である。

そこで本調査においては、水域ネットワーク事業計画の比較検討に資することを目的に、遺伝および地形情報を用いて地点間の移動性を移動に関わるコストの積分値として評価するモデルの提案を行った。

1) 遺伝情報を用いた水域ネットワーク改善のための基礎情報の収集

霞ヶ浦流域の水田地域で得られたサンプルから抽出したDNAのcyt. b領域(1141bp)の配列をInoueら^{17), 18)}の方法によって決定し、日本全国のメダカの配列情報¹⁹⁾と比較した。その結果、霞ヶ浦とその周辺水域のメダカ個体群において遺伝的多型が確認され、4タイプに区分された。この結果をTakehanaら(2003)の結果と重ね合わせてみると、霞ヶ浦周辺水域において確認された4タイプのうち2タイプは関東地方で多くみられる東日本型で、他の2タイプは西日本(瀬戸内地方や北部九州)に多くみられる地域型に分類されるものであった。本調査において、西日本タイプ(瀬戸内や北部九州)と判断される地域型が1個体でも確認された地点の分布状況は図-6に示すとおりである。近隣河川である利根川において西日本(瀬戸内や北部九州)個体群に分類さ

れるメダカが確認されていることから²⁰⁾、湖内や下流部では利根川からの小水域に沿った移動も考えられるが、湖内とは離れた水路(例えば地点J)においても西日本タイプの個体が発見することから、本流域での人為放流の可能性が高いと推定される。

外来種などのように注目生物と種が異なる場合は識別が容易であるが、種内地域型については外見からの識別は極めて困難であり、移入個体群(遺伝情報)の除去は不可能であるとともに、人為的放流の抑止も困難である。今回調査を行った霞ヶ浦周辺水域のように、種内地域型の異なるものが入り込んでいるような水域では、水域ネットワークの接続において場合によってはつながらない選択をするなどの配慮が必要となる場合も生じ得る。

2) 魚類の移動しやすさを指標とした水域ネットワークの評価モデルの作成

水域エコロジカルネットワーク修復経路の選択目標を「在来個体群生息地間の連続性を拡大し、かつ、遺伝的攪乱を促進しにくいこと」と想定すると、次のコスト距離指標(CIEN: Cost Index of Ecological Network)の値が小さければよいことになる(図-4, 式-1a, 1b)。

$$CIEN = a/b \quad (1a)$$

$$a = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} CDi, \quad b = CDe \quad (1b)$$

CDi: 在来個体群生息地間のコスト距離

CDe: 最近傍移入個体群生息地から在来個体群生息地間最小コストパスへの移動コスト距離

n: 検討対象とする在来個体群生息地数

4. 5 メダカ生息域におけるケーススタディ

コスト距離を用いたケーススタディとして、メダカの在来個体群のみ生息する水域と移入種が混在する水域を取り上げ、CIENを求めた(図-5)。本指標を想定される復元計画ごとに求めることにより、事業計画案のネットワーク効果を比較検証することが可能となる。また、このモデルは外来種の進入を最小限に留めるための地点選びや水田地域の開発などによる影響評価などにも適用が可能と考えられる。尚、この手法の予測精度を高めるためには、今後地点間の通過コスト値に妥当性を持たせていくことが重要である。

5. まとめ

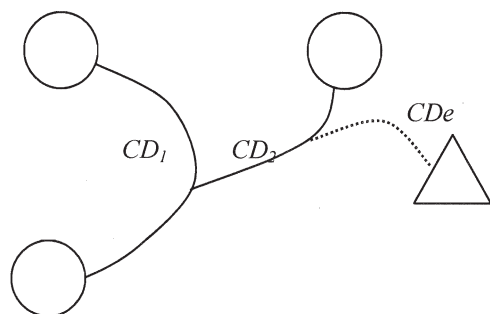


図-9 エコロジカルネットワーク計画比較のための概念図

○: 在来個体群生息地 △: 最近傍移入個体群生息地
CD₁, CD₂, CDe: 最小コスト距離

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- ① 水田の近代化は魚類の移動経路上に物理的な落差を生じさせただけでなく、水田地域が有していたさまざまな水環境を喪失させると共に、稲作の暦の変化などによる時間軸上の分断を生じさせている。このような変化による影響は地域や魚種によっても異なっている。
- ② 水域ネットワークを利用する魚種や必要とする水環境は画一的ではなく、水域ネットワークの改善に当たっては、当該地域の現況把握はもちろん、もともとの環境や生態系を考慮した上で、ネットワークを連続させることだけでなく、農業水路自体の環境改善や保全、あるいは水資源となる湧水の保全などまで視野を広げて目標を設定することが必要である。
- ③ 既存設備の一部を利用して遡上経路を確保する隅角部魚道を開発した。これにより、魚類遡上環境の簡易的な改善が可能となる。
- ④ 地点間の移動のしやすさを指標とした水域ネットワークモデルを提案した。本モデルの考え方は、水域ネットワークの改善事業計画の比較検討に活用できる。

参考文献

- 1) 萱場祐一・島谷幸宏、河川におけるバグットの概念とその分類、土木技術資料、vol. 41, NO. 7, pp32-37、1999
- 2) 滋賀自然環境研究会、滋賀の田園の生き物、サンライズ出版 2001
- 3) 高橋学、平野の環境考古学、古今書院、2003
- 4) 榎根勇 山本莊毅、扇状地の水循環、古今書院、1971
- 5) 地形調査作業規程準則、総理府令第 50 号、1954 年 7 月 2 日
- 6) 籠瀬良明、低湿地、古今書院、1972
- 7) 有菌正一郎、1997、在来農耕の地域研究、古今書院、東京、pp. 1-36.
- 8) 大橋欣治、1997、農村整備工学、創造書房、東京、pp38-50, pp522-543.
- 9) 鈴木隆弘、1998、建設技術者のための地形読図入門第 2 巻 低地、古今書院、東京、pp203-402.
- 10) 安室知、水田をめぐる民俗学的研究、慶友社、1998
- 11) 野間優子、村岡敬子、大石哲也、天野邦彦：河川・水田地域の形態や歴史の変遷からみた魚類生息場の評価 土木技術資料 Vol. 46 No. 5 2004. 5
- 12) 平野卓男、村岡敬子、山下慎吾、天野邦彦 水田構造の違いが魚類の遡上に及ぼす影響、応用生態工学研究会第 8 回研究発表会講演集 2004. 10
- 13) 石島久男、沢田守伸、大森勝夫 栃木県水産試験場研究報告 VOL39 PP82-85(1996)
- 14) 手塚清、大森勝夫、栃木県水産試験場研究報告 Vol. 41 PP85-86(1998), Vol. 42 PP95-97(1999)
- 15) 梶野健、浅見和弘、中嶋和彦、松雄俊治、林貞行、高橋陽一 裏山ダム下流に投入した土砂がウグイの産卵にもたらす効果について-ダム下流河川における土砂投入の効果、応用生体工学 Vol. 6(1) PP51-58, 2003
- 16) 村岡敬子 魚類生息環境の視点からみた河川と水田地域における連続性 全国魚道実践研究会

議 2004in 岐阜論文集 2003. 10

- 17) Inoue J.G., Miya M., Tsukamoto K., and Nishida M. 2001. A mitogenomic perspective on the basal teleostean phylogeny: resolving higher-level relationships with longer DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 20: 275-285.
- 18) Miya M., Takeshima H., Endo H., Ishiguro N.B., Inoue J.G., Mukai T., Satoh T.P., Yamaguchi M., Kawaguchi A., Mabuchi K., Shirai S.M., and Nishida M. 2003. Major patterns of higher teleostean phylogenies: a new perspective based on 100 complete mitochondrial DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 26: 121-138.
- 19) Takehana T., Nagai N., Matsuda M., Tsuchiya K. and Sakaizumi M. 2003. Geographic variation and diversity of the cytochrome b gene in Japanese wild populations of Medaka, *Oryzias latipes*. *Zoological Science* 20: 1279-1291.
- 20) Sakaizumi M., Moriwaki K. and Egami N. 1983. Allozymic variation and regional differentiation in wild populations of fish *Oryzias latipes*. *Copeia* 1983: 311-318.