

長良川中流域の農業水路改修における 生物種の組成変化と生息場の連続性

和田 清¹・寺町 茂²・西村 美信³・岡井 貴洋⁴・熊崎 文菜⁵

¹正会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

²非会員 水圏域環境研究会 代表 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:oc93161@fc4.so-net.ne.jp

³非会員 株式会社ホクコン 岐阜営業所 所長 (〒500-8268 岐阜県岐阜市茜部菱野1-54)

E-mail:M_Nishimura@mail.hokukon.co.jp

⁴非会員 株式会社ホクコン 本社設計技術チーム (〒918-8152 福井県福井市今市町66-20-2)

E-mail:t_okai@mail.hokukon.co.jp

⁵学生会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:2011k06@edu.gifu-nct.ac.jp

本研究は、小河川や農業水路における環境配慮型水路等のネットワーク工法が魚類などに与える影響に着目し、水路改修の事前調査と改修後のフォローアップ調査から各種の生活史や種組成の変化について水路改修に伴う生息場の連続性を評価し、さらに、出水時における魚類の避難場所の機能を粒子法による数値モデルから検討したものである。その結果、同一農業水路において、人工ワンド部などを有する環境配慮型水路の導入により、改修前の17種から改修後の23種の生物種となり、改修後も同等以上の生態系を維持していること、流水部に比べてワンド部では3-15倍の生息密度の差異が確認されワンド部の有効性が示された。さらに、数値モデル(粒子法)を水路流れに適用し、増水時におけるワンド部や水中構造物の遮蔽による緩流域の形成や避難場所の影響範囲が定量的に示された。

Key Words : *irrigation system, artificial creek, habitat continuity, particle method simulation*

1. はじめに

近年、二次的自然といわれる里地・里山などの生物多様性を保全するために、河川、水路、水田などの質の異なる水域に繋がった生息場のネットワークに着目した調査研究が進められている。たとえば、淡水魚のDNA解析を用いて、ドジョウの遺伝的集団構造、ホトケドジョウの遺伝的多様性と遺伝的分化などが議論されている¹⁾。また、窒素・炭素安定同位体比をツールとして、水路と水田に生息・生育する動植物の食物連鎖構造が解き明かされ、淡水魚の保全のための遺伝子交流の必要性や淡水魚を含む水田まわりの動植物の餌料環境の関係など、保全に関する生態学上の基礎的知見を提供している²⁾。これらの研究成果をもとに、代表的な淡水魚の生活環を明らかにしながら、産卵・繁殖の環境条件および水路から

水田への移入、水田から水路への移出過程、さらに、水路と小河川間の移動・分散範囲の把握などを通じて生活環が成立する生息場とその環境を把握し、生息場を保全する留意点などが明らかにされている³⁾。

一方、水田地帯の水路ネットワークはきわめて複雑、錯綜しており、どの地点で観察するのが妥当かを定めるだけでも一苦労であり、複雑な流水の管理方法、攪乱が様々に発生するために、その傾向を把握するだけでもかなりの労力を要するのが現状である。また、農業水路は機能面で「用水路」と「排水路」に分けられる。用水路は水田に水を供給し、排水路は水田から排水された水を下流に流す働きをしている。かつて、農業水路の多くは「用排兼用」であったが、農業の効率化をめざした圃場整備により、両者の分離が進められている。また、通年で流水する恒久的なもの、灌漑期のみ利用される一

時的なものがある。

このような農業水路を含めた小河川の生態環境を維持・強化するために、環境配慮型水路やブロック等の生態系保全工法、ネットワーク工法が設置されている。その場合、生態系の回復状況、環境に配慮した工法の効果、改善策を検討するためには、現状把握にとどまらず、ある一定期間のモニタリングが必要不可欠である。さらに、増水時の避難場所の確保などの観点から、その工法がもつ機能を魚類の遊泳力に直結する流れ場と関連づけて検討することが重要である。

本研究では、揖斐川と長良川に挟まれた宝江川と犀川を対象にして実施された6年間のモニタリングデータを用いる。まず、環境配慮型水路工法が施工された前後のワンド部などの緩流域の創出が魚類などの生物相の回復にどの程度寄与したのかを、同一流路の区間（宝江川）および同じ合流河川（犀川）の改修区と未改修区間を比較しながら考察する。また、農業用水の一時的な断流（川干し）によるリスクをどのように回避するか、環境配慮型水路工法の構造形式を検討する。さらに、ワンド部などの機能が増水時においても持続的に発揮されるかについて、流れの数値モデル（粒子法）により解析し、簡易的な緩流域の創出方法について考察する。

2. 現地調査の概要

(1) 宝江川の現地調査

対象河川（宝江川と犀川）は、揖斐川と長良川に挟まれた平野部を流下し、宝江川は犀川に合流して長良川に注ぐ小河川である。川幅は約2~4m、季節によって変化するが、平均水深は0.2m~1m程度である。底質は流速によって変化しているが、多くの場所では砂泥であり、一部に砂礫がみられる。調査区間内には、岐阜県河川事業における自然共生工法認定製品の護岸工が整備され、一部の場所には沈水性の植物が繁茂している。この小河川から農業水路が分岐し、用排兼用水路（土水路）と排水路（コンクリート水路）となる。図-1は、対象水路の改修前後の状況を示したものである。

土水路は人工護岸を施していない水路区間であり、抽水植物が生育したり、洗掘などが生じる場合には河岸形状が多様になるために魚類の好適な生息場として機能する場合が多い。しかしながら、土水路区間では生育する植物が流下する土砂や有機物を捕捉するために堆積が起りやすく、また河岸の崩落などが発生する。したがって、定期的な泥浚いと河岸の修復などの維持管理が必要となる。一方、板柵工は、河岸に板を張り木杭で固定したものである。自然素材からコンクリート製品に移行しており、隙間を設けずに施工すると有効な魚類の生息場が形成されにくい。そのため、材と材の間に隙間を設け



(a) 改修前（土水路） (b) 改修後（板柵工）

図-1 対象農業水路の状況（宝江川）



図-2 人工ワンドの設置（宝江川）

て、隙間が水流に浸食されたり、植物の生育を促進する方法がとられている。

宝江川（岐阜県安八町地内の区間約0.1km）では、ほぼ直線水路の土水路に対して改修前に生物調査（2006年11月）が行われ、メダカや稚魚等の遊泳力に乏しい魚類が多く確認された（4科17種）。また、環境省絶滅危惧種IB類カワバタモロコ、スジシマドジョウ、準絶滅危惧種ヤリタナゴ、アブラボテなどが確認されている。これらの魚種を改修後も維持可能なように橋梁下の両岸に人工ワンド工法（長さ1.5m×奥行き1m）が2箇所施工されている（図-2参照）。施工後5年間（2007~2012年、年に4回調査）に生物調査を実施した。

調査方法は、タモ網を使用したキックアンドスウィープ法を採用した。採取した水生生物（魚類・両生類・貝類・爬虫類・甲殻類・水生昆虫など）は、種、成体・幼体ごとに個体数を記録後放流し、移入種は駆除した。また、底生生物はコドラート法を採用し、単位面積当たりの出現種、現存量を把握した。植生調査は、盛土部・護岸部・水中の出現種を記録した。なお、水生生物指数による生物判定では α_m ：汚れた水（ α 中腐水性）、汚濁指数では O_3 ：きれいな水（貧腐水性）と判定された。

(2) 犀川の現地調査

犀川の上流部：糸貫5号水路（岐阜県本巣市七五三地内の区間約0.3km）では、改修前（2004年10月）に生物調査が行われており、魚種は21種、貝類や水生昆虫を含めると計40種と多くの生物種が確認されている。なお、岐阜県の準絶滅危惧種：ヌマムツ、カワヒガイ、ヤリタナゴ、アブラボテなどが存在した。これらの生態系が改修後も維持できるような生態系に配慮した工法（人工ワンドなど）が導入された（図-3(a)参照）。また、年に一度水を止めて水路の清掃を行う川干し期がある（図



(a) 糸貫5号水路 (b) 寺川水路

図-3 対象農業水路の状況（犀川上流）



(a) 川干し期の断流 (b) 深みと人工ワンド

図-4 糸貫5号水路の断流と生態系保全策

4(a)参照)。この時期には多くの魚類が死滅することが知られており、その影響を軽減するために、水路内に深み（30cm）を設けた部分に人工ワンド工法を併用し、その対岸には間伐材と中詰め栗石を充填したパネルが施工されている（図-4(b)参照）。また、対照区とした寺川水路は、糸貫5号水路と同じ一級河川根尾川から取水し犀川へ流出し、生態系への配慮がない通常の三面張り水路（コンクリート板柵工）である（図-3(b)参照）。これらの水路を対象にして、施工後4年間（2007～2010年、年に4回調査）、生物調査を実施した。調査方法は、宝江川と同様である。

(3) 生活史ごとの水路の利用パターン

採捕された魚類の利用状況から⁴⁾、以下のパターンに大別して整理・分析した。

① 通年型

これらの種群は産卵、成長、成熟など一連の生活史を調査地点周辺で完結することができる。メダカ、シマドジョウ類、カワバタモロコなどが該当し、ドジョウのように季節ごとに生息場所を変化させ、河川～水路～水田を移動する種も含まれる。

② 冬期流下型

産卵および稚仔魚期～成魚までの成長の場所として利用しているが、冬期には下流域の深みへ移動している種が含まれ、オイカワ、タモロコなどが該当する。これらの種群の成魚は、春～夏期にかけて下流域から遡上し産卵を行い、孵化した稚魚はそのまま成長し、冬期以外は成魚の生息場所としても利用している。

③ 産卵・稚仔魚期型

産卵および稚仔魚期の成長にのみ利用している種が含まれ、フナ類、コイ、ナマズが該当する。これらの種群

は春期～夏期にかけて成魚が産卵のために下流域から遡上し産卵、孵化した稚魚は調査地点周辺を成長の場として利用している。一定サイズ以上に成長した幼魚は、下流域へ流下していると考えられる。この種群は、水域ネットワークの連結性が産卵場への移動のために重要な役割を果たす。

④ 幼魚遡上型

産卵は調査地点周辺より下流域で行うものの、幼魚期に遡上して周辺水域を利用している種が含まれ、ゼゼラ、カマツカ、ニゴイ、カワヒガイなどが該当する。これらの種群は夏期に幼魚が下流域から遡上し、成長の場として利用した幼魚は、夏期を過ぎると下流域へ移動する。

⑤ 二枚貝依存型

産卵を二枚貝に依存しているタナゴ類であり、タイリクバラタナゴ、ヤリタナゴ、カネヒラなどが該当する。これらの種群は調査地点周辺に生息する二枚貝に産卵し、その後の成長、成熟など一連の生活史を調査地点周辺で完結する種群である。

⑥ 両側回遊型

稚仔魚期を海域で過ごし、その後河川に遡上する種群であり、トウヨシノボリ、アユなどが該当する。トウヨシノボリは、調査地点周辺に遡上後、成長、成熟、産卵、孵化までを過ごし、その後は流下している。

3. 生態系保全策の機能評価

(1) 宝江川における施工前後の変化

施工前の調査は、2006年11月の秋期調査のみであるため、その後の5年間同時期で確認された魚類種の変化を比較検討した。施工前の確認種は17種であり、施工後1～5年後において21～23種、施工前に確認された魚種はすべて回復した。

表-1は、ある一定以上の個体数が採捕された魚種の増減から4つのグループに分類し整理したものである。同表から、施工後新たに、環境省絶滅危惧種IB類スジシマドジョウ、準絶滅危惧種カワヒガイ、ヤリタナゴ、メダカ、岐阜県準絶滅危惧種ヌマムツ、スゴモロコなど

表-1 施工前後における出現魚種（宝江川）

分類	該当する魚類
1. 施工前後で共通の優占種	オイカワ、モツゴ、ニゴイ コイ、フナ類、タイリクバラタナゴ*
2. 施工後に増加	タモロコ、カマツカ、ゼゼラ、 ドジョウ、カワヒガイ*、ヤリタナゴ* メダカ*、スジシマドジョウ東海小型*
3. 施工後に減少	ヨシノボリ類
4. 傾向つかめず	その他の魚種

(※：(準)絶滅危惧種，*：移入種)

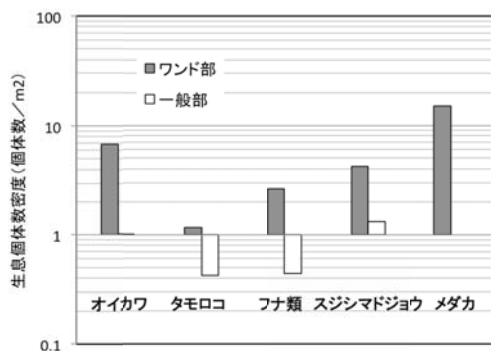


図-5 優占魚種の生息場所における個体数密度（宝江川）

が確認され、魚類を捕食するナマズも毎年生息していた。このことは、人工ワンド部を含めた生態系保全策が施された空間が、稚魚や成魚の生息場所、産卵場として機能していることを示唆している。一方、礫質河床などに産卵するヨシノボリ類は減少傾向にあり、底質環境を改善する余地がある。

(2) 施工後の生息場所の選択性

5年間のモニタリング調査結果において、個体数が最も多く確認された5種（オイカワ、タモロコ、フナ類、スジシマドジョウ小型種東海型、メダカ）の魚類について経年変化を求めた。調査区間を人工ワンド部と一般部（ワンド部以外）に分けて、構成比は、ワンド部と一般部の種毎の年間確認数を全体の確認数で除した値、種毎の年間確認数をワンド部（67.0m²）と一般部（198.75m²）の水面積で除した個体数密度（個体数/m²）などを算定した。それら優占種の5年間の個体数密度の平均値を対数表示したものが図-5である。

同図から、5種全体について、ワンド部における生息個体密度が一般部に比べて大きいことがわかる。オイカワは95%が稚魚であるために緩流域創出の効果が大きく、一般部に比べて2.6～12.9（平均6.8倍）の生息密度となっている。メダカ（成魚）については80%以上がワンド内で確認され、8.7～59.0（15.1倍）の高い生息密度となっている。タモロコ（3.0倍）、フナ類（6.5倍）やスジシマドジョウ小型種東海型（3.2倍）においてもワンド部の個体数密度で高い値を示しており、人工ワンドの導入によって遊泳力の低い成魚や稚魚の生息ポテンシャルを維持・向上する機能が発現していることが明らかにされた。なお、紙面の関係で詳細は割愛するが、イシガイやマツカサガイなどの二枚貝が確認されており、タナゴ類の生息場所としても機能している。

(3) 犀川における水路改修の有無による魚類相

取水と排水源が同じ河川である糸貫5号水路と寺川水路の生物調査結果を比較した。生態系に配慮した工法が

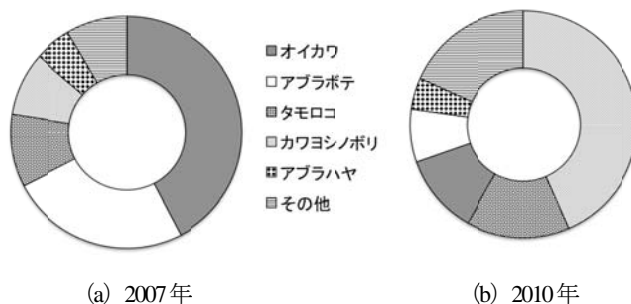


図-6 川干し期におけるワンド部に避難した魚類相（犀川）

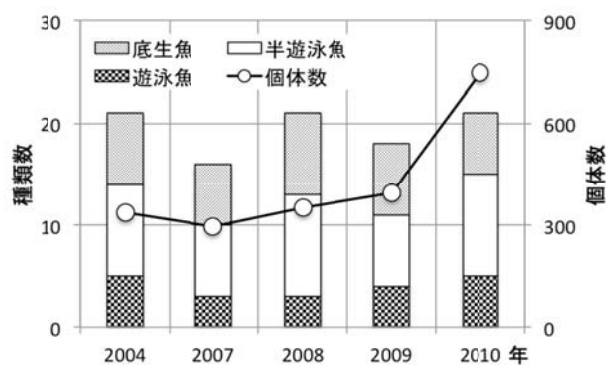


図-7 施工前後における魚類相の変化（犀川）

採用されている糸貫5号水路の種類数は、2010年において21種類、寺川水路では8種類となり、種類数や個体数ともに明確な差異が生じている。特に、カワヒガイ、ゼゼラ、イトモロコ、ヤリタナゴなどの遊泳力が比較的乏しいとされる魚種は、寺川水路では全く確認できなかった。以上のことから、水路改修の際に生態配慮工の有無が生態系保全に大きく影響を及ぼすことが確認された。

(4) 犀川における川干し期の一時避難場所

糸貫5号水路では年に一度止水して水路の清掃を行う川干し期がある。この時期に集中的な調査を実施した結果によると、施工前の2004年に8種120個体確認された魚種が、施工後の2007年には、ワンド部で18種2370個体、一般部で3種14個体、2010年では、ワンド部21種3250個体、一般部で2種3個体の逃げ遅れた魚種を確認した。その魚種相の内訳を示したものが図-6である。調査年によって変動はあるものの、オイカワ、アブラハヤなどの遊泳魚、アブラボテ、タモロコなどの遊泳力の乏しい半遊泳魚、カワヨシノボリなどの底生魚が深みとワンド部に滞留し、通水までの一時避難場所としてリスクを回避していることがわかった。人工ワンド部と水路の深みを一体化することによって、渇水期や断流の水無区間に対応する方法の有効性が示された。

(5) 糸貫5号水路における施工前後の変化

図-7は、糸貫5号水路において、施工前に確認された魚種が、施工後4年間でどのように推移したかを示し

表-2 施工前後における出現魚種（犀川）

年	2004	2007	2008	2009	2010
第1 優占種 (%)	カワヨシ ノボリ 46.9	オイカワ 42.5	オイカワ 27.8	ドジョウ 30.2	カワヨシ ノボリ 37.8
第2 優占種 (%)	アブラ ボテ 22.8	アブラ ボテ 25.2	カワヨシ ノボリ 23.3	カワヨシ ノボリ 20.6	タモロコ 12.7
計(%)	69.7	67.7	51.1	50.8	50.5

たものである。便宜上、魚種の生息状況から遊泳魚（水路内をよく遊泳する魚類）、半遊泳魚（あまり遊泳しないが水路底に腹をつけずに生息する魚類）、底生魚（腹を水路底につけて生息する魚類）の3タイプに分けた。なお、採捕された全個体数の変化も併記されている。同図から、構成比に変動があるものの回復傾向にあるものと考えられる。また、表-2は、採捕された魚種の個体数の内50%を超えた優占種を示したものである。施工前の2004年にはカワヨシノボリ（底生魚）やアブラボテ（半遊泳魚）が約70%を占めており、改修後はオイカワ（遊泳魚）などの優占を経て、現在では、カワヨシノボリ（底生魚）やタモロコ（半遊泳魚）で50%以上となっている。施工前には確認されなかったゼゼラ、イトモロコなどの流れの緩やかな水域に生息する魚種が採捕されたり、底生生物の組成などからも、施工前と同等にまで生物種が回復したと判断できる。

4. 環境配慮型水路の流れ場の解析

(1) 粒子法による数値モデル

環境配慮型水路のワンドなどの凹凸形状が、流速分布の時空間的变化にどのように関わっているかを明らかにするために、数値モデルによる流れの場を解析した。

粒子法は、連続体を自由に動く計算点（粒子）の集まりによって表し、連続体の挙動を粒子の運動によってLagrange的に計算する方法である。差分法や有限要素法では格子を用いて計算を行うが、粒子法では格子を用いない。MPS法（Moving Particle Simulation Method）は粒子法の一つであり、粒子間相互作用モデルを用いて離散化するという特徴もっている。

計算には、MPS法を用いたソフトウェアParticleworksを適用した。このソフトウェアは、流体解析においてプリ処理である粒子生成や計算条件設定、ポスト処理である解析結果の可視化を容易にするものである。解析手順は、構造物のCADデータの作成、Particleworksへの入力、境界条件の設定、解析結果の可視化などである。

図-8は、数値計算の対象とした水路形状を示したものである。長さ20m、幅3.5mの水路に、緩傾斜勾配約

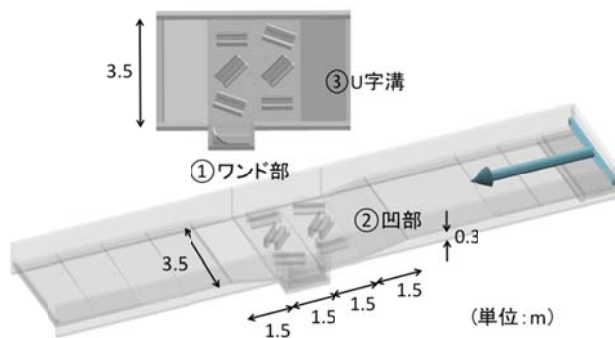


図-8 対象とした水路形状

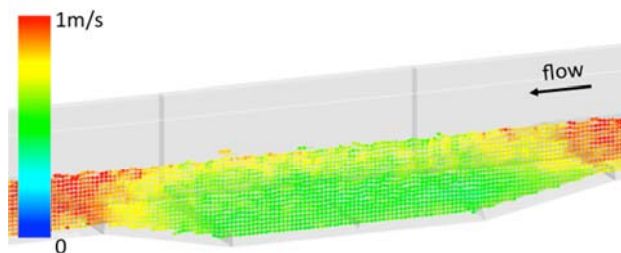


図-9 流速ベクトルの縦断方向(ワンド部・凹部あり)

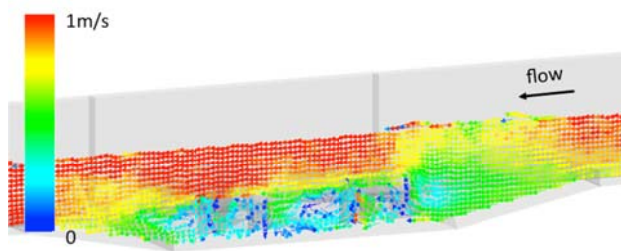


図-10 流速ベクトルの縦断方向(ワンド部・U字溝あり)

11°の凹部（全長6m）が配置されている。左岸側に人工ワンド部（長さ1.5m、奥行き0.8m）、凹部には、U字溝（長さ1m、高さ0.24m）を6個配置した。このU字溝を逆に設置して暗渠状の内部や背後に微小な緩流域の創出を意図したものである。また、流入条件は、平水時の流量 $Q: 0.5\text{m}^3/\text{s}$ （上流端流速 $v: 0.36\text{m/s}$ 、水深 $h: 0.4\text{m}$ ）、増水時 $1.7\text{m}^3/\text{s}$ （ 0.81m/s 、 0.6m ）を設定した。なお、初期粒子間距離は5cmとした。

図-9は、洪水時における水路中央部の縦断方向の流速ベクトルを示したものである。同図から、上流0.8m/s程度で流入した流速が、凹部の表層では速いものの緩傾斜から減衰し、凹部下部では0.4~0.5m/s程度に低下している。また、U字溝を設置した場合の同条件の縦断面流速ベクトルを示したものが図-10である。図-9と比較すればわかるように、U字溝を設置した凹部では複雑な流れ場が形成されている。詳細にみれば、U字溝周辺では0.1~0.2m/sの緩やかな流速の形成、緩傾斜部からの流速がU字溝上流端において減勢され、上昇流の形成と水面擾乱の発生、U字溝が流れの遮蔽域となったこ

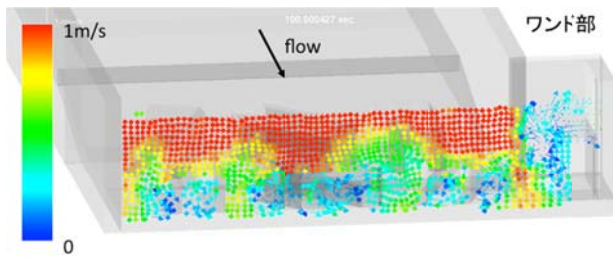


図-11 流速ベクトルの横断方向(ワンド部・U字溝あり)

とにより上部では速い流れ(1m/s程度)が発生していることなどがうかがえる。

図-11は、ワンド部中央の横断面の流速ベクトルを示したものである。同図から明らかなように、主流部上層(約1m/s)に比べてワンド部では流速が大きく減衰(0.1~0.2m/s)していること、U字溝の内部や背後などの流れの遮蔽域でも流速が同程度に減勢されていることがわかる。このような増水時の緩流域と渇水期の水域空間の確保が、遊泳力の小さな魚類にとって一時避難場所などとなり、きわめて有効であることが示唆された。

5. おわりに

以上、長良川中流域の小河川や農業水路における環境配慮型水路等のネットワーク工法が魚類などに与える影響に着目し、水路改修の事前調査と改修後のフォローアップ調査から各種の生活史や種組成の変化について水路改修に伴う生息場の連続性を評価した。その結果、同一農業水路において、人工ワンド部などを有する環境配慮型水路の導入により、改修前の17種から改修後の23種の生物種となり、改修後も同等以上の生態系を維持して

いること、流水部に比べてワンド部では3~15倍の魚類個体生息密度の差異が確認されワンド部の有効性が示された。さらに、数値モデル(粒子法)を水路流れに適用し、増水時におけるワンド部や凹部、U字溝の遮蔽域による緩流域の創出や生息場の連続性が、複雑な流水の管理方法による攪乱や増水・渇水などに対応するために重要であることが明らかにされた。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、現地調査のデータ解析では、白井康二氏(現岐阜市役所職員)、数値解析では浅野仁美さん(岐阜工業高等専門学校専攻科生)の協力を得た。最後に記して謝意を表します。なお、本研究の取り纏めは、科学研究費補助金(基盤研究(C)(2):課題番号24560630)(平成24年度)の一部を受けて行ったことを付記する。

参考文献

- 1) 小出水規行, 竹村武士, 奥島修二, 森淳, 蛭原周: DNA標識を利用した農業水路系における魚類個体群の交流実態の検討, 河川技術論文集, vol.12, pp.365-370, 2006.
- 2) 森淳, 柚山義人: 水田生態系における食物網構造と物質循環, 農業工学研究所技報, No.204, pp.105-112, 2006.
- 3) 水谷正一, 森淳編著: 春の小川の淡水魚(その生息場と保全), 学報社, 190p., 2009.
- 4) 大原健一, 望月聖子: 穂積市内の小河川および水路に出現する魚類の種組成と季節変化, 岐阜県河川環境研究所報告, No.55, pp.31-38, 2010.

(2012.8.31 受付)

RELATIONS OF FISH FAUNA TO ARTIFICIAL STRUCTURES OF SMALL STREAMS AND AGRICULTURAL DITCHES AT THE MIDDLE OF THE NAGARA RIVER BASIN

Kiyoshi WADA, Shigeru TERAMACHI, Minobu NISHIMURA, Takahiro OKAI
and Ayana KUMAZAKI

Environmental structures and fish fauna were compared between reaches of small streams which has been used for agricultural irrigation, a branch of the Nagara River in Gifu Prefecture. Measurement of the factors and fish sampling were carried out at several sections in each season of 2004 to 2012. The species composition of fishes were compared in relation to each environmental factor and the stream types including to artificial structures. As a result, to maintain the ecosystem of equal or higher after improvement, the effectiveness of the artificial structure has been shown differences in population density of 3 to 15 times in the artificial creek to comparison without it. Using numerical particle method to the channel flow, the range of influence of basic formation and shelter for fishes have been clarified quantitatively by the shielding of underwater structure and the artificial creek at the time of flooding.