

# 那珂川における魚類群集の多様性を支える 物理環境と流域特性の関係

竹下邦明\* 傳田正利\*\* 村岡敬子\*\*\* 天野邦彦\*\*\*\*

## 1. はじめに

魚類は、種や成長段階によって水深、流速等の物理環境が異なる水域を利用している<sup>1)</sup>。様々な魚種で構成される魚類群集が維持されるためには、河道内に多様な物理環境が分布することが重要である。河道内の物理環境を多様な状態で維持管理するためには、物理環境が成立するメカニズムを理解する必要がある。その際「流域特性との関係」という観点が重要となる。流域特性（面積、形状、地質等）が流況（流量、出水継続時間等）に影響を与えることは一般的に知られており、これらの流域特性の違いによって河道内の微地形を変化させるポテンシャルも異なると考えられる。つまり、ある地点における物理環境の分布は、より大きなスケール、その背後に広がる流域特性に影響を受けて形成される。また、平地が多い流域では土地利用の人工化が進みやすく<sup>2)</sup>、水利施設等の整備に伴い水域間の連続性が低下する傾向がみられる。

このような背景を踏まえると、河川において魚類群集の多様性保全を目的とした環境整備を実施する場合には、地先の物理環境や連続性に着目するだけでは不十分で、対象地域が属する流域の地形学的特性や土地利用等も理解しておく必要があると考えられる。

本研究は、流域特性、物理環境、魚類群集の関係を把握することで、魚類群集を多様にかつ持続

的に維持管理するための方法論を検討することを目的として実施した。

## 2. 調査地の概要

調査は図-1に示す栃木県那珂川町及び那須烏山市を流れる那珂川水系那珂川で行った（以下、調査地という）。調査地は河口から59~82km上流に位置しており、この区間に流入する13本の一次支流を調査対象とした（以下、対象支流という）。対象支流の概要は表-1に示すとおりである。流域面積が最も大きい支流Eは、瀬淵構造が比較的発達している。一方、流域面積が最も小さい支流Gは、瀬淵構造が見られず単調な環境である。支流Aは流域面積が比較的大きく、兩岸にはコンクリート護岸が設置されている。支流Bの下流部付近には圃場整備が進んでいない水田があり、ここを流れる土羽の農業用水路は支流Bと落差なく

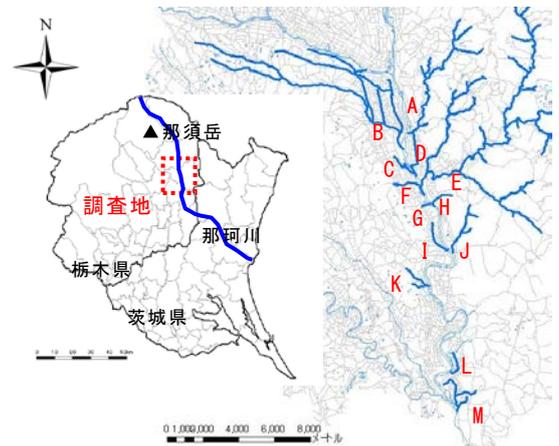


図-1 調査地及び対象支流の位置

表-1 対象支流の概要

支流名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
流域面積 (km <sup>2</sup> )	17.5	36.5	2.0	2.1	146.2	3.6	1.0	1.0	2.3	3.8	3.6	1.6	3.8
下流部の土地利用	水田	水田	空地	水田	空地	本流の砂州	グラント	本流の砂州	空地	水田	空地水田	水田	空地
下流部の河床材料	砂、礫	礫	泥	岩盤	礫	礫	礫	礫	岩盤、礫	礫	礫	砂、礫	砂、礫
他水域との連続性の有無	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

接続している。支流Cは、水田の排水路として機能しており、流量は年間を通して小さいが非灌漑期にも表流水が枯渇することはない。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 魚類調査

対象支流の魚類群集を把握する目的で魚類調査を実施した。調査は2005年8月、9月及び10月に対象支流の下流部に設けた調査地点で実施した。各調査地点で電気ショッカーとタモ網を用いて魚類を採捕し、種別に標準体長を計測した。

#### 3.2 魚類群集の解析

魚類群集から対象支流を分類する目的で、類似度指数として知られるJaccardの共通係数<sup>3)</sup>をもとにクラスター分析を行った。Jaccardの共通係数は以下の(1)式から求めた。

$$CC = \frac{a}{a+b-c} \quad (1)$$

ここで、CCはJaccardの共通係数、a及びbは、比較する各支流における確認種数、cは比較する各支流の共通種数である。

#### 3.3 流域特性の把握

対象支流の流域特性として各支流の流域面積、流域形状係数、流域内起伏度及び流域内の土地利用を整理した。流域面積は流量の指標として、数値地図からGISで算定した。流域形状係数は、出水による攪乱継続時間の指標とした。流域形状係数が小さな横長形状の流域は、出水継続時間が短く最大流量が大きい流出パターンをもつ。逆に、流域形状係数が大きな縦長形状の流域は、出水継続時間が長く最大流量は抑えられる流出パターンをもつ<sup>4)</sup>。ハイドログラフの縦軸に河床の物理的攪乱が生じる閾値流量を想定すると、それ以上の流量が継続する時間は、流域形状係数が大きな流域ほど長い。流域形状係数は(2)式よりGISで算定した。

$$S_f = L^2/A \quad (2)$$

ここで、Sfは流域形状係数、Aは流域面積(km<sup>2</sup>)、Lは幹川流路長(km)である。

流域内起伏度は、流域内の平地面積の指標とした。流域内起伏度は、数値地図からGISで10m間

隔の標高データを作成し、各標高データを中心とする100m×100m範囲の標高の標準偏差とした。流域内の土地利用は、国土数値情報の土地利用区分データをもとにGISで流域別に田、畑、建物用地等の区分が流域面積に占める割合とした。

上記の流域特性の4指標を変数として、クラスター分析によって支流を分類した。

#### 3.4 代表支流の選定

魚類群集構造から得られた分類と流域特性から得られた分類を一覧表にまとめ、特徴的な5本の支流を、物理環境との関係性を分析する代表支流として選定した。

#### 3.5 物理環境調査

代表支流の物理環境の特徴を把握する目的で、水深、流速、河床材料、水際構造を調査した。調査は2007年2月に代表支流で実施した。水深、流速は、目視で判断された河床勾配の変化点毎に横断測線を設定し、右岸(水際より1mの位置)、流心部、左岸(水際より1mの位置)の3箇所、流速は電磁流速計(アレック電子社製、Model: AEM1-D)を用い、水深はスタッフを用いて計測した。また、各測線における河道幅を計測した。河床材料は、流速・水深測定地点で優占する粒径区分(粘土・シルト、砂、礫、石)を記録した。水際構造は、河川内を踏査し水際を自然河岸(植生有り)、自然河岸(植生無し)、人工河岸(植生有り)、人工河岸(植生無し)の4区分に分け、各区分の延長を計測した。

#### 3.6 物理環境の解析

水深と流速の平均値、標準偏差及び多様度指数(以下H' という)を算出した。H' は以下の(3)式から求めた。

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log(p_i) \quad (3)$$

ここで、H' は多様度指数、Sは階級の総数、Piは第i番目の相対度数である。また、各支流の河道幅の平均値と標準偏差を求めた。

#### 3.7 魚類群集、物理環境、流域特性の関係性の解析

以上の各物理環境について、魚類群集との関係、流域特性との関係をPearsonの相関分析により調

べた。

## 4. 結果

### 4.1 魚類群集の特徴

魚類群集の類似度指数 (CC) から支流を分類した結果を図-2に示す。全支流の総当りで算出したCCの最頻値である0.55の位置で対象支流を分類すると、13本の支流が3つのグループに分けられた。各グループの平均種数は、グループ1が13種、グループ2が10種、グループ3が5種であった。

### 4.2 各支流の流域特性

各支流の流域面積を図-3に示す。流域面積は支流Eの146.2km<sup>2</sup>が最も大きく、流量も相対的に大きいと考えられる。

各支流の流域形状係数を図-4に示す。流域形状係数は支流Eの8.4が最も大きく、支流Gの0.2が最も小さかった。支流Eは、同規模の面積をもつ流域と比較すると出水継続時間が長い支流といえる。

各支流の流域内起伏度の分布を図-5に示す。クラスター分析の結果、流域内起伏度は0~4mが卓越する「平地が多い流域」と、4~8mが卓越する「傾斜地が多い流域」の2つに分類された。判別分析の結果、流域内起伏度0~4mは「平地が多い流域」への判別に寄与する変数であった。本研究では、0~4mの流域起伏度を流域に占める割合を平地率と定義する。

各支流の土地利用状況を図-6に示す。平地率が高い流域 (C、I、B等) ほど、水田や建物用地等の人工的土地利用が発達する傾向が示された。

以上のような流域面積、流域形状係数、平地率及び土地利用をもとにクラスター分析で支流を分類すると、図-7に示すように13本の支流が2つのグループに分類された。グループ1は、平地が多く人工的土地利用が発達した支流で構成され、グループ2は、平地が少なく人工的土地利用が発達していない支流であった。

### 4.3 代表支流の選定

魚類群集から分類された3グループと、流域特性から分類された2グループを一覧表として表-2に示す。本表から代表支流として支流A、B、C、E、Gを選定した。

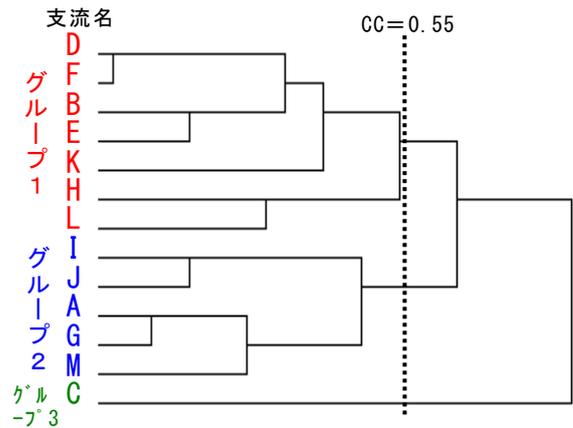


図-2 魚類群集の類似度 (CC) に基づく支流の分類

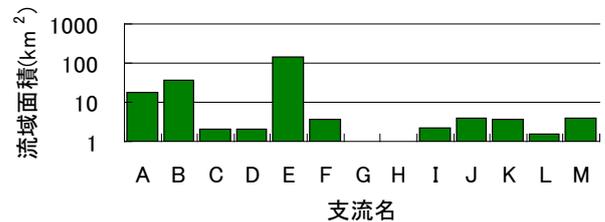


図-3 対象支流の流域面積

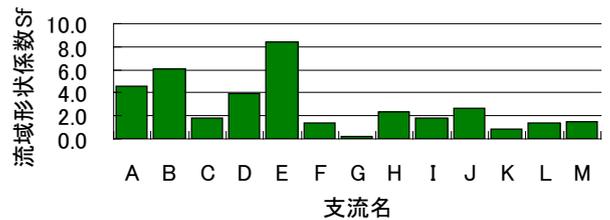


図-4 対象支流の流域形状係数

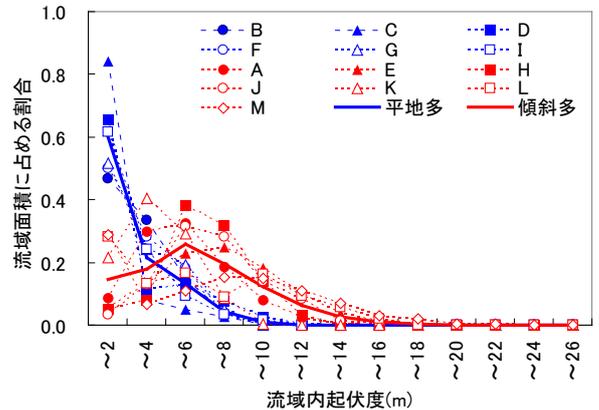


図-5 対象支流の流域内起伏度

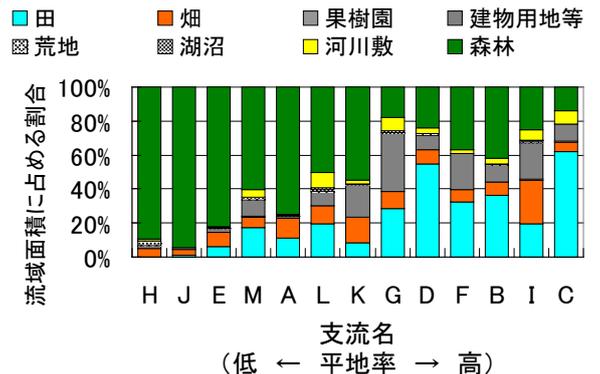


図-6 対象支流の流域内の土地利用状況

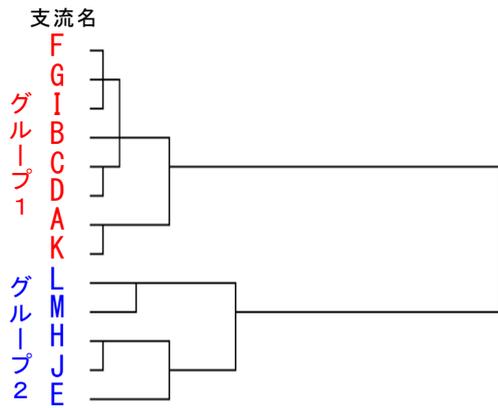


図-7 流域特性の指標に基づく支流の分類

表-2 対象支流の分類結果

	魚類群集に基づく分類		
	グループ1	グループ2	グループ3
流域特性に基づく分類	グループ1	B, D, F, K	A, G, I
	グループ2	E, H, L	J, M
			C

注) 赤字の支流は代表支流を示す

#### 4.4 代表支流の物理環境の特徴

代表支流の物理環境調査の結果を表-3に示す。水深の $H'$ 、流速の $H'$ は、ともに支流Eが最も高かった。支流Bでは流速の $H'$ が高い反面、水深の $H'$ は低かった。平均河道幅は、支流Eが最も広くかつばらつきが大きく、5支流の中で最も水面形状が複雑であることが示された。

#### 4.5 流域特性、物理環境、魚類群集の関係

流域特性、物理環境、魚類群集構造の関係の中から特徴的なもの抜粋して図-8に示す。

有意な関係ではないものの、流域面積が大きいと平均河道幅が広がる傾向もみられた。また、流域形状係数が大きいほど平均河道幅が広がる有意な関係が得られた。ただし、本研究で扱った支流の流域面積と流域形状係数との間には正の相関関係が認められたため、流域形状係数と平均河道幅との関係は直接説明し難い。流域スケールでの指標選定には更なる検討が必要であり、今後の課題として残される。

平均河道幅が広いほど流速の $H'$ が高い有意な関係が得られた。また、有意な関係ではないものの、平均河道幅が広いほど水深の $H'$ が高い傾向がみられた。ただし、支流Bはこの関係に従わず、平均河道幅に対して水深の $H'$ が低い結果が得られた。

有意な関係ではないものの、水深の $H'$ が大きいと魚類群集の種数、総個体数が多い傾向がみられた。ただし、支流Bはこれらの関係に従わず、水深 $H'$ が低いにも関わらず種数、総個体数が多い結果が得られた。また、流速の $H'$ が大きいほど魚類群集の総個体数が多い有意な関係が得られた。

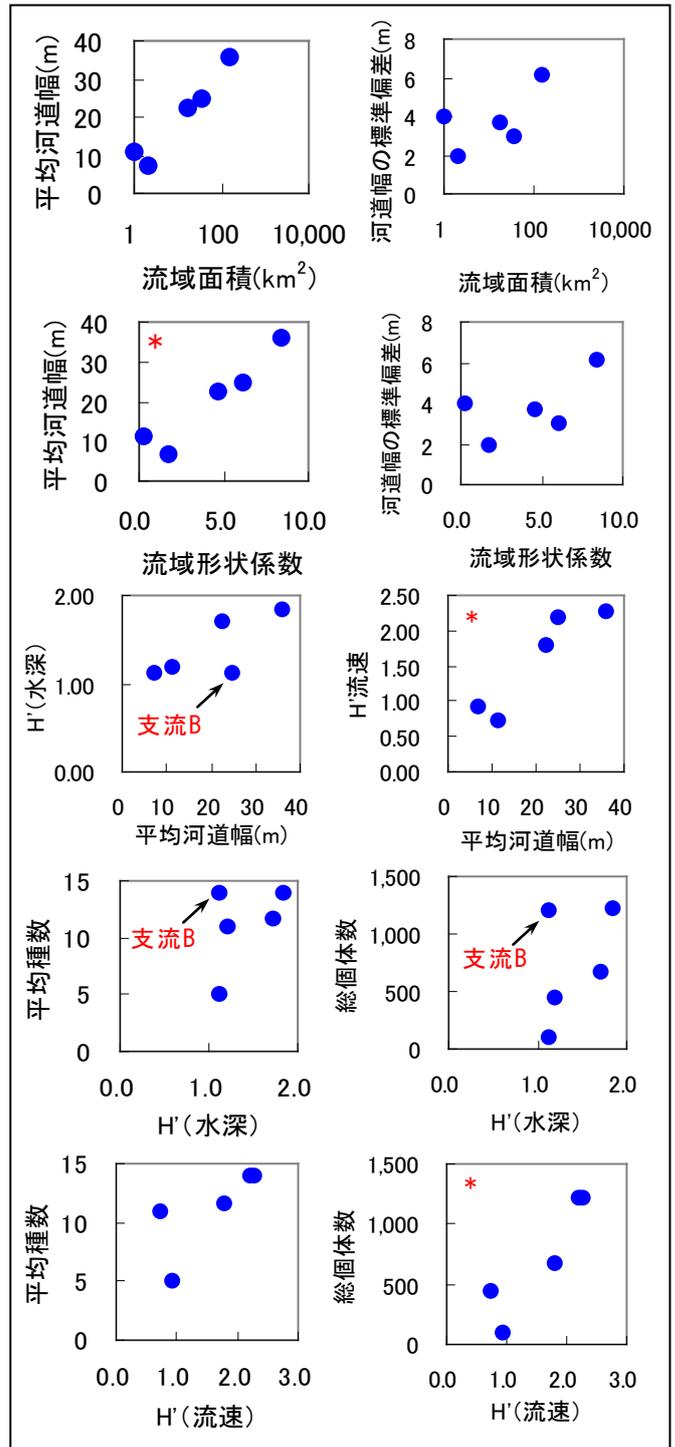


図-8 流域特性、河道内の物理環境、魚類群集の関係  
注) 図中の\*印は有意な相関関係 ( $p < 0.05$ ) を示す

表-3 代表支流の物理環境調査結果

項目	支流A	支流B	支流C	支流E	支流G	
平均水深±標準偏差(m)	0.25 ± 0.16	0.16 ± 0.07	0.13 ± 0.12	0.31 ± 0.19	0.16 ± 0.12	
水深のH'	1.71	1.11	1.12	1.84	1.20	
平均流速±標準偏差(m/s)	0.24 ± 0.17	0.44 ± 0.25	0.08 ± 0.11	0.40 ± 0.38	0.08 ± 0.08	
流速のH'	1.79	2.19	0.94	2.27	0.72	
河床材料(%)	泥	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00
	砂	0.11	0.00	0.15	0.02	0.17
	細礫	0.06	0.00	0.08	0.06	0.00
	中礫	0.06	0.05	0.00	0.12	0.08
	粗礫	0.32	0.22	0.15	0.29	0.33
	小石	0.25	0.54	0.08	0.27	0.08
	中石	0.05	0.07	0.00	0.09	0.25
岩盤	0.14	0.12	0.15	0.15	0.08	
河床材料のH'	1.73	1.26	1.63	1.71	1.63	
自然河岸(カバー有)	0.58	0.59	0.55	0.26	0.37	
自然河岸(カバー無)	0.16	0.22	0.43	0.49	0.59	
人工河岸(カバー有)	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	
人工河岸(カバー無)	0.22	0.19	0.01	0.24	0.04	
平均河道幅±標準偏差(m)	22.5 ± 3.7	24.8 ± 3.0	7.0 ± 1.9	35.8 ± 6.1	11.2 ± 4.0	

## 5. 考察

### 5.1 今後の河川計画に対する提案

以上の結果から、流域特性、物理環境、魚類群集の関係をまとめると図-9のようになる。

魚類群集の多様性は、河道内の物理環境の多様性（水深、流速）に影響を受けている結果が得られた。また、これらの物理環境の多様性は、平均河道幅や流域特性に影響を受けている結果が得られた。すなわち、流域特性は、より大きなスケールの指標として間接的に魚類群集の多様性を規定する可能性がある。

流域面積と流域形状係数は、河道内の物理環境の多様性を保全する際に考慮すべき重要な指標と考えられるが、これら以外にも流域スケールで重要な指標は存在する可能性がある。また、支流GやHのような流域面積が小さい支流では、河道が攪乱されるほどの出水が頻繁に発生しない可能性が考えられる。このようなことから、流域面積以外の流域スケールの指標は、流域面積との関係性を十分に吟味したうえで、下流の特定地域の物理環境に影響しうる指標を抽出すべきと考えられる。

対象支流のような中小河川では、流域内に流量観測データや雨量観測データが広く整備されて

いないことが多いため、流出解析等を実施しにくい。しかしながら、このような中小河川においても、数値地図や国土数値情報の広く一般に公開されている情報と簡単な現地調査を組み合わせることによって、魚類群集の多様性保全に必要な物理環境を評価できる可能性が示された。

### 5.2 他水域との連続性の重要性

支流Bは水深の多様性が低いにも関わらず、魚類群集（種数、個体数）が多様であった。支流Bは、対象支流の中で他水域（農業用水路）との連続性が確保された支流である。この農業用水路は、河岸植生が発達し、河床に沈水植物の生育も確認できるなど、魚類の生息環境が比較的良好である。表-4をもとに代表支流の魚類群集を比較してみると、支流Bではタモロコ、ホトケドジョウ、ナマズ、コイ科稚魚等の水田周辺の環境を利用する

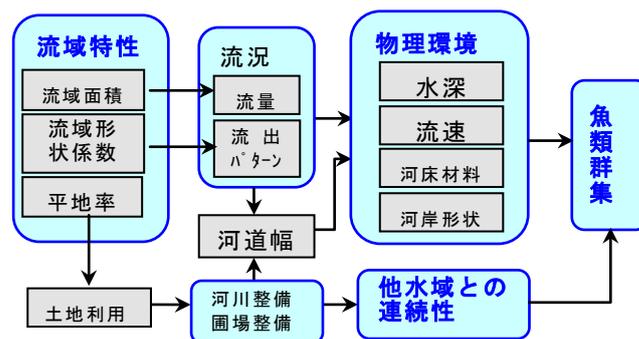


図-9 魚類群集に影響を及ぼす要因のシステム図

魚種<sup>5)</sup> <sup>6)</sup>の個体数が他の支流より多い、あるいは最も魚類群集が多様な支流Eと同定度である傾向がみられた。したがって、支流Bの魚類群集の多様性は、農業用水路と連続していることによって高く維持されていると推察される。

水路網が発達している流域で魚類群集の多様性維持を目的とした河川整備を計画する場合には、対象地の物理環境の整備に加え、水路網との連続性を確保する整備も効果的なメニューであると考えられる。ただし、単に連続させるだけでは不十分であり、水域間が連続することによって向上する機能（産卵場、定着場、避難場等）を事前に検討しておく<sup>7)</sup>ことが重要と考えられる。

## 6. まとめ

魚類群集の多様性は、河道内の物理環境（特に水深、流速）に影響を受けており、これらの物理環境は流域特性に規定される関係が示された。また、良好な生息環境と連続した水域では魚類群集が多様になる可能性が示唆された。これらの結果は、簡易な現地調査と一般に公開されている数値地図データを組み合わせることで解析することによって得られたものである。

本研究では、流域特性の指標として流域面積、流域形状係数、平地率、土地利用を扱ったが、これら以外にも河道内の物理環境に影響を及ぼす指標が存在する可能性がある。今回扱った以外の流域特性の指標を加える等の検討を重ねることによって、流域スケールの視点から魚類群集の多様性を支える物理環境を評価する簡易手法が確立できると考えられる。

表-4 代表支流で確認された魚類の平均個体数

種名	支流A	支流B	支流C	支流E	支流G
スナヤツメ	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
ウナギ	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7
アユ	13.7	14.7	0.0	9.3	1.7
*カワムツ	141.7	136.3	5.7	141.7	53.0
*オイカワ	32.0	43.3	0.0	35.7	1.7
*ウグイ	11.0	134.0	12.7	135.7	45.0
*タモロコ	4.7	10.7	3.0	19.3	1.3
モツゴ	1.0	3.0	0.0	18.0	5.0
カマツカ	5.0	5.0	0.0	1.0	0.3
ニオイ	0.7	23.3	0.0	6.3	0.3
コイ	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
*フナ属	0.0	1.3	0.0	4.7	0.0
タイリクバラタナゴ	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3
*ドジョウ	3.0	4.7	4.7	7.3	5.7
*シマドジョウ	1.0	8.7	0.3	14.3	1.0
*ホトケドジョウ	1.0	6.0	0.0	0.0	0.0
*コイ科稚魚	8.7	29.7	2.3	11.7	10.0
*ギハチ	11.3	11.0	7.0	7.3	6.7
*ナマス	0.0	0.3	0.0	1.7	0.0
オオクチバス	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3
オヨソホリ	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
*トウヨソホリ	0.0	0.3	0.0	2.3	28.0
ガジカ	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0

注) \*印は水田周辺を利用する種であることを示す

## 参考文献

- 1) 砂田憲吾、川村和也：河道の物理的多様性と生息魚類の多様性に関する基礎的研究、河川技術論文集、第9巻、pp.415-420、2003
- 2) 阪口豊、高橋裕、大森博雄：日本の川〈日本の自然3〉、岩波書店、p.20、1986
- 3) 木元新作：動物群集研究法 I、共立出版、1976
- 4) 土木学会：土木工学ハンドブック、pp.1179-1803、1993
- 5) 中村智幸、尾田紀夫：栃木県那珂川水系の農業水路における遡上魚類の季節変化、魚類学雑誌別冊、第50巻1号、pp.25-33、2003
- 6) 宮地傳三郎、川那部浩哉、水野信彦：原色日本淡水魚類図鑑、保育社、1988
- 7) 辻本哲郎、田代喬、伊藤壮志：生活圏の連結性に着目した魚類生息環境評価法の提案と河道内微地形の役割評価、河川技術に関する論文集、第6巻、pp.167-172、2000

竹下邦明\*



復建調査設計㈱（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム交流研究員）  
Kuniaki TAKESHITA

傳田正利\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム研究員 工博  
Dr. Masatoshi DENDA

村岡敬子\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム主任研究員  
Keiko MURAOKA

天野邦彦\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム 首席研究員 工博  
Dr. Kunihiko AMANO