

魚類群集の多様性を支える物理環境と流域特性の関係

RELATIONSHIPS BETWEEN CATCHMENT PROPERTIES AND RIVERINE PHYSICAL FACTORS CONTROLLING DIVERSITY OF FISH COMMUNITY

竹下邦明¹・傳田正利¹・村岡敬子¹・天野邦彦²

Kuniaki TAKESHITA, Masatoshi DENDA, Keiko MURAOKA and Kunihiko AMANO

¹正会員 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

²正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

The heterogeneous distribution of physical environment is significant to maintain the diversity of fish community. Additionally, it is known that local physical factors are regulated with the broad scale factors. Here, we tried to evaluate the basin potential on physical environmental diversity by combining the results of field surveys and the analysis techniques of GIS. Local physical factors such as water depth and water velocity were regulated with catchment properties: the area and the elongation ratio of the catchment. The rate of flat area in the watershed dominantly regulates the landuse, and anthropogenic landuse (e.g. paddy fields) influences the formation of canal network and the connectivity. It was suggested that the diversity of physical environmental factors and connectivity among water areas are significant to the diversity of fish community. We pointed out that it is important to understand the basin properties to carry out the physical river restoration maintaining the diversity of fish community.

Key Words : Fish community diversity, Microscale physical habitat, basin property, GIS, River management

1. はじめに

魚類は、種や成長段階に応じて物理環境(水深、流速、河床材料等; 以下物理環境という)が異なる水域を利用している¹⁾。流量等によって河道内の物理環境は常に変化しており、魚類はこの変化に対応しながら生息している。このような魚類と物理環境との関係を踏まえると、魚類群集の多様性を保全するためには、時空間的に物理環境の多様性が維持されていることが重要である。

従来の河川改修では、特定区間の物理環境の多様性を整備する取り組みが積極的に行われてきた。更に発展的に物理環境の多様性を維持管理するための観点のひとつとして「流域特性と物理環境との関係性」が挙げられる。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。

同時に、流域特性は土地利用にも影響を与えている。平地が多い流域では人間活動が活発になるため²⁾、人工

的土地利用が発達し、治水・水利施設の設置に伴い水域の分断化が生じやすいと考えられる。

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を保全する場合には、特定地域の物理環境や連続性だけに着目するのではなく、対象地域が属する流域特性との関係性も理解しつつ、特定地域の物理環境の特性、魚類生息状況との関係性を理解し、保全・維持管理を進める必要があると考えられる。そこで本研究では、流域特性、物理環境、魚類群集の関係を把握することによって、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する。

2. 方法

(1) 調査地の概要

調査は、栃木県那珂川町およ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)。那珂川は那須岳(標高1,917m)を源とし、茨城県ひたちなか市と大洗町の境で太平洋に注ぐ幹線流路延長150km、流域面積3,270km²の一級水系で、調査地は河口から59~82km上流に位置する。調査地に存在する一次支流の中から本流との合流部で落差工等による生息地の分断がみられない13本を調査対象とした(以下、対象支流という)。

表-1 対象支流の概要

支流名	A	B	D	E	F	G	H	I	M	N	Q	W	AA
景観	河川	河川	水路	水路	河川	河川	河川	河川	水路	河川	河川	水路	水路
流域面積 (km ²)	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 州の形成	有	有	無	無	有	無	無	無	無	無	無	無	無
下流部の 土地利用	水田	水田	空地	水田	空地	本流の 砂州	グラブ	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	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
現地写真													

対象支流の概要を表-1および図-1に示す。流域面積が最も大きい支流F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Hは、瀬淵構造が発達しておらず単調な環境である。支流A, Bは流域面積が大きく、両岸にはコンクリート護岸が設置されている。支流Bの下流部には圃場整備が進んでいない水田が存在しており、ここを流れる土羽の農業用水路が支流Bと連続している。支流D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。

(2) 研究のながれ

本研究は2段階で進めた。まず、魚類群集構造の特徴および流域特性から対象支流を分類し、各分類から代表的な支流を選定した（以下、代表支流という）。次に、代表支流を対象として物理環境調査（水深、流速、河床材料、河岸形状、地形測量）を実施し、これらの調査結果をもとに①流域特性との関係、②魚類群集構造との関係を解析した。

(3) 代表支流の選定

a) 魚類調査

魚類群集構造のデータを得る目的で、採捕による魚類調査を実施した。魚類調査は2005年8月6～8日、9月2～3日および10月4～6日に対象支流の下流部に2地点ずつ設けた調査地点で実施した。採捕区間は30mとし、下流端に定置網を設置したうえで上流側からエレクトロフィッシャー（スミスルート社製、Model LR-24、出力電圧50～999V、最大出力電流40A）とタモ網を用いて魚類を採捕した。採捕した魚類は、種を同定し全個体を対象として標準体長と湿重量を計測した。

b) 魚類群集の解析

魚類群集構造の特徴を把握する目的で、各支流の確認種数と個体数を整理した。また、各支流の種数の差をBonferroniの多重比較³⁾によって検定した。

魚類群集構造から各支流を分類する目的で、類似度指数として用いられるJaccardの共通係数を算出した。

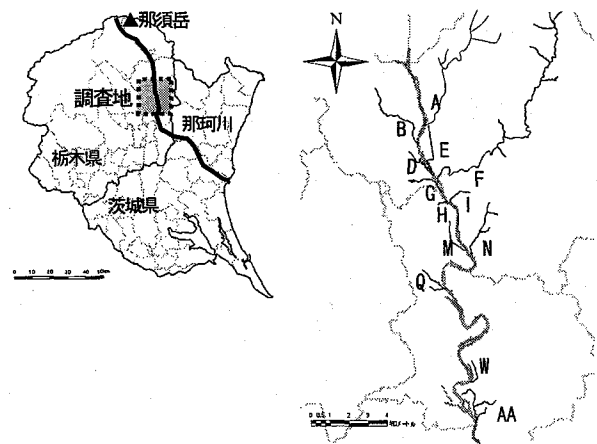


図-1 調査地の概要

Jaccardの共通係数は以下の(1)式から求めた⁴⁾。

$$CC = c / (a + b - c) \quad (1)$$

ここで、CCはJaccardの共通係数、aおよびbは、比較する各支流における確認種数、cはそのうちの共通種数である。魚類調査で得られた種数を変数として、CCをもとに最遠隔法によるクラスター分析によって支流を分類した。

c) 流域特性の解析

流域特性から各支流を分類する目的で、各支流の流域面積、流域形状係数、流域内起伏度およ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採用した。流域面積は、国土地理院発行の数値地図25000〔空間データ基盤〕（以下、数値地図という）に格納されている50mメッシュ標高をデータとしてGISで特定した。

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⁵⁾。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。河道内の微地形もより多様になる可能性が考えられる。流域形状係数は、流域面積と幹線流路長を用いて(2)式より求めた。幹線流路長は、数値地図に格納されている河川中心線をデータとしてGISで算定した。

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

ここで、 S_f は流域形状係数、 A は流域面積、 L は幹線流路長である。

流域内起伏度は、流域内に存在する平地の量の指標として定義した。流域内起伏度が小さければ(平地が多ければ)人工的土地利用が進展しやすい。河川は河川改修等による直接的な影響を受けやすいと考えられる。流域内起伏度は、数値地図の50mメッシュ標高をGISで10m間隔のポイントデータとして内挿し、各ポイントデータを中心とする100×100mの範囲に含まれる標高データの標準偏差とした。

流域内の土地利用は、国土数値情報(国土地理院発行)に格納されている土地利用区分データ(50m間隔のポイントデータ)をGISで流域別に抽出した。土地利用は田、畑、果樹園、建物用地等、荒地、湖沼、河川敷、森林に細分し、それぞれが流域に占める割合として整理した。

上記のように求められた各支流の流域面積、流域形状係数、流域内起伏度および土地利用状況を変数として、Ward法によるクラスター分析によって支流を分類した。

d) 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二元表としてまとめ、これらの中から特徴的な5本の支流を代表支流として選定した。

(4) 物理環境と魚類群集構造との関係、物理環境と流域特性の関係

a) 物理環境調査

水中および河岸の物理環境の特徴を把握する目的で、水深、流速、河床材料および河岸形状を調査した。調査は2007年2月12～16日に代表支流で実施した。なお、物理環境調査と魚類調査の時期は異なっているが、この期間中に地形が大きく改変されるような出水が存在しなかったこと、流量が大きく変化しないことから、物理環境の時間的な変化は小さいと判断した。水深、流速および河床材料は、現地で目視により判断し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点において計測・記録した。流速は電磁流速計(アレック電子社製、Model: AEM1-D)を用いて20%水深、80%水深の10秒平均値を記録した。水深はスタッフを用いて計測した。河床材料は、河床に0.5×0.5mのコドラートを設置し、代表的な河床材料を粒径によって泥、砂、細礫等9区分に分

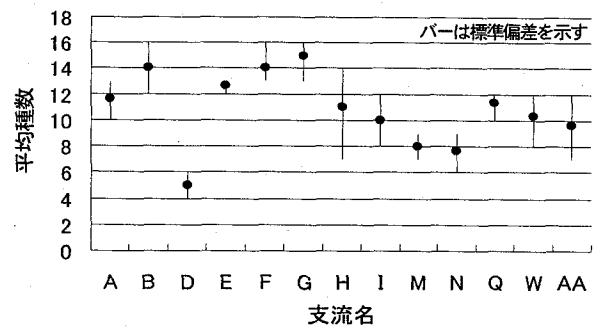


図-2 各支流の平均種数

けて記録した⁶⁾。河岸形状は、「自然河岸(植生・カバー有)」、「自然河岸(植生・カバー無)」、「人工河岸(植生・カバー有)」、「人工河岸(植生・カバー無)」の4個の状態に分類しながら左右岸について区分の変化位置をGPSで記録した。河床地形データを得る目的で、河道内の地形測量を実施した。地形測量は物理環境調査と同時にを行った。上述の横断測線上の河床高の変化点でトータルステーション(TOPCON社製、Model GTS-312、FC-1000)を用いX座標、Y座標および標高を記録した(世界測地系平面直角座標系第9系)。

b) データ解析

各支流の流況を比較する目的で水深と流速の平均値、標準偏差および多様度指数(以下 H' という)を算出した。 H' は以下の(3)式から求めた⁴⁾。

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

ここで、 H' は多様度指数、 S は階級の総数、 P_i は第*i*番目の相対度数である。各支流の河床材料の多様性を比較する目的で H' を上記の(3)式から求めた。河岸形状は、4個の各分類が全区間を占める割合として整理した。微地形の変化が生じ得る空間を比較する目的で、横断測量成果を用いて川幅の平均値と標準偏差を求めた。

以上の方法で得られた物理環境の各項目について、魚類群集との関係性、流域特性の各指標との関係性をPearsonの相関分析により調べた。

3. 結果

(1) 魚類群集の特徴

3回の現地調査を通して確認された魚種数を図-2に示す。平均種数は支流Gが15種で最も多く、支流Dが5種で最も少なかった。支流Dの種数は、A、B、E、F、G、HおよびQと比較して有意に少なかった(Bonferroniの多重比較、 $p < 0.05$)。全ての支流で共通して確認された魚種はウグイ、カワムツ、ギバチ、タモロコおよびドジョウの5種であった。

魚類群集構造の類似度指数(CC)から作成したデンドログラムを図-3に示す。全支流の総当たりで求めたCCの

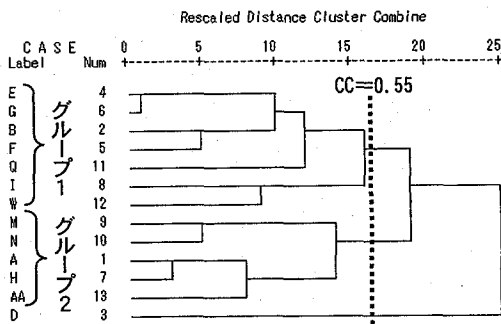


図-3 魚類群集の類似度 (CC) に基づく支流の分類

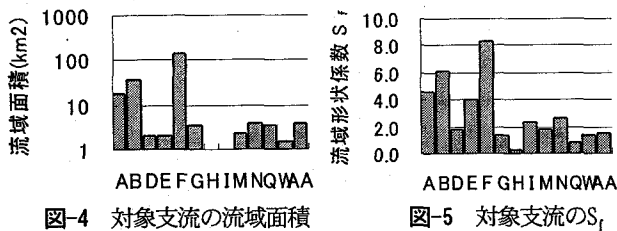


図-4 対象支流の流域面積

図-5 対象支流の S_f

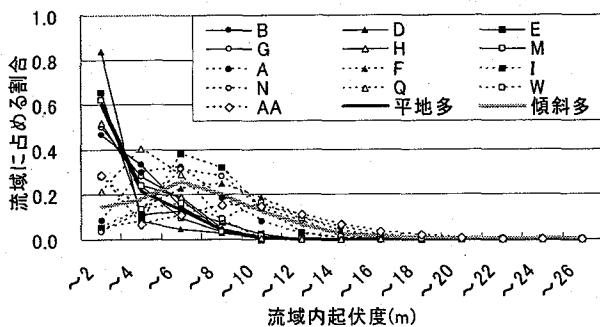


図-6 対象支流の流域内起伏度の分布

最頻値（階級値）は0.55であり、この付近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。各グループは種数の大小で特徴づけることができ、グループ1（支流E, G, B, F, Q, I, W）、グループ2（支流M, N, A, H, AA）、グループ3（支流D）の平均種数は、それぞれ12.5種、9.6種、5.0種であった。

(2) 各支流の流域特性

各支流の流域面積を図-4に示す。流域面積は支流Fの146.2km²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-5に示す。流域形状係数は支流Fの8.4が最も大きく、支流Hの0.2が最も小さかった。支流F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-6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。この平地率によって序列化した各支流の土地利用

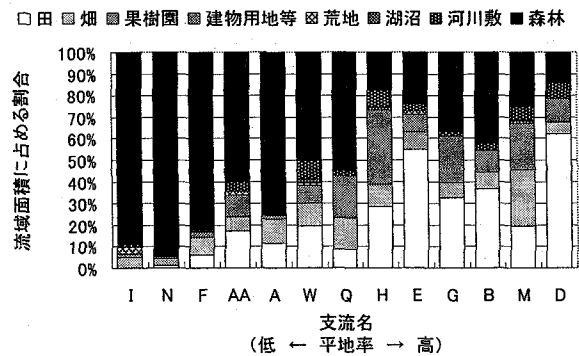


図-7 対象支流の流域内の土地利用状況

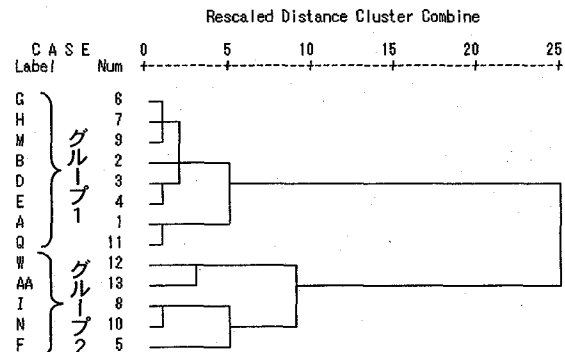


図-8 流域特性の指標に基づく支流の分類

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, E, G, Q	A, H, M	D
	グループ2	F, I, W	N, AA	—

注) 四角で囲まれた支流は代表支流であることを示す

状況を図-7に示す。平地率が高い流域（D, M, 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。

以上のように得られた流域面積、流域形状係数、平地率および土地利用から作成したデンドロラムを図-8に示す。対象支流を分類すると、13本の支流が2つのグループに分類された。グループ1（支流G, H, Q, M, B, D, E, A, Q）は、主に流域内に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（支流W, AA, I, N, F）は、主に流域内に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。流域面積および流域形状係数については両グループの間に有意な差は認められなかった。

(3) 代表支流の選定

魚類群集構造の特徴から分類された3グループと、流域特性から分類された2グループを二元表として表-2に示す。本表から代表支流として支流A, B, D, F, Hを選定した。

表-2 代表支流の物理環境調査結果

物理環境項目		支流A	支流B	支流D	支流F	支流H
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	0	38	0	0
	砂	11	0	15	2	17
	細礫	6	0	8	6	0
	中礫	6	5	0	12	8
	粗礫	32	22	15	29	33
	小石	25	54	8	27	8
	中石	5	7	0	9	25
岩盤	14	12	15	15	8	
河床材料のH'		1.73	1.26	1.63	1.71	1.63
河岸形状(%)	自然河岸 (植生・加・有)	58	59	55	26	37
	自然河岸 (植生・加・無)	16	22	43	49	59
	人工河岸 (植生・加・有)	3	0	0	1	0
	人工河岸 (植生・加・無)	22	19	1	24	4
平均川幅±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

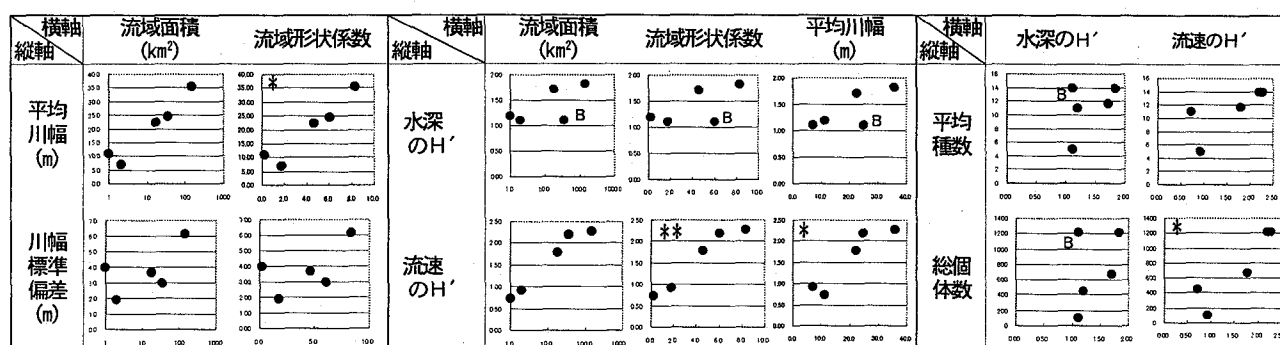


図-8 流域特性、物理環境、魚類群集構造の関係（特徴的な組合せを掲載）

*, **は関係が有意であることを意味する (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)

(4) 物理環境の特徴

代表支流の物理環境調査結果を表-2に示す。水深のH'、流速のH'は、ともに支流F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。河床材料は、支流Bの河床が粗礫と小石が主体で構成されているためH'が最も低くなった。河岸形状はいずれの支流も自然河岸の割合が高く、特に支流D、Hでは90%を越える自然河岸率であった。平均川幅は、支流F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。

(5) 流域特性、物理環境、魚類群集構造の関係

流域特性、物理環境、魚類群集構造の関係のうち特徴的であった一部を図-8に示す。

流域形状係数が大きくなるほど平均川幅も広くなる有意な関係が得られた（図-8左）。また、有意ではないものの、流域面積が大きくなるほど平均川幅が広くなる傾向もみられた。本研究で扱った支流の流域形状係数と流域面積との間には正の相関関係が認められるため、流域形状係数と平均川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。

平均川幅が広くなるほど流速のH'も大きくなる有意な関係が得られた（図-8中央）。また、有意ではないものの、流域面積が大きくなるほど水深のH'も大きくなる傾向がみられた。ただし、支流Bは流域面積に対して水深のH'が低い結果が得られた。

流速のH'が大きくなるほど総個体数も多くなる有意な関係が得られた（図-8右）。また、有意ではないものの、水深のH'が大きくなると種数、個体数も多くなる傾向がみられた。ただし、支流Bでは水深H'が低いにも関わらず種数、個体数が多い結果が得られた。

4. 考察

(1) 今後の河川計画に対する提案

以上の結果をまとめると、魚類群集、流域特性、物理環境の関係は図-9のようになる。

魚類群集構造は、物理環境の多様性（特に水深、流速）に影響を受けている結果が得られた（図-8右）。これまで多自然型川づくり等で実践されてきた詳細スケールの物理環境の整備は、魚類群集の多様性維持に効果的な手段であると考えられる。また、物理環境の多様性は、流域特性に影響を受けている結果が得られた（図-8左）。

すなわち、これらの流域特性は、より大きなスケール

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、持続的に物理環境の多様性を保全しようとする際に地先の環境指標と同時に考慮すべきものと考えられる。しかし、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。さらに、支流HやIのように流域面積が小さな支流では、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。

(2) 他水域との連続性の重要性

支流Bでは水深、流速の多様性が低いにも関わらず、魚類群集構造（種数、個体数）は多様であった（図-8右）。支流Bでは土羽の農業用水路や水田との連続性が確保されている。支流Bと流域面積が同規模であった支流Aの魚類群集の構造を比較すると、表-3に示すとおりタモロコ、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魚種⁷⁾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F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⁸⁾ことが重要と考えられる。

5. 結論

現地調査と既存データのGIS解析とを組み合わせ、魚類群集の多様性、物理環境、流域特性の関係を解析した。魚類群集の多様性は物理環境（特に水深、流速）の多様性に影響を受け、物理環境は流域特性（流域面積、流域形状係数、平地率）に影響を受けることが示された。

特定地域の物理環境を整備する際には、これを規定している流域特性も同時に把握しておくことが重要であると考えられた。また、物理環境の整備に加えて、他水域との連続性の確保も魚類群集多様性を向上させる有効

な手段であることが示された。

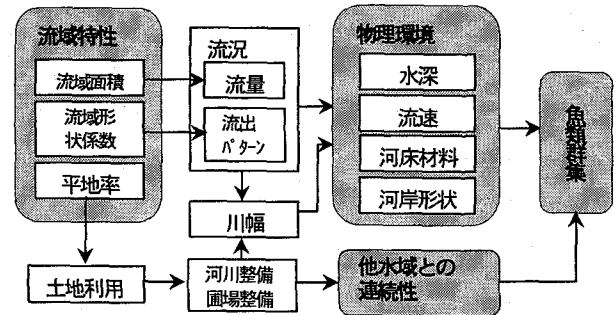


図-9 魚類群集の多様性に影響を及ぼすシステム図

表-3 代表支流で確認された魚類の平均個体数

注）*印は水田周辺の環境を利用する種を示す

種名	支流A	支流B	支流D	支流F	支流H
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
コイ	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
*キンバチ	11.3	11.0	7.0	7.3	6.7
*ナマズ	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
オオヨシボリ	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
*トウヨシボリ	0.0	0.3	0.0	2.3	28.0
ガジカ	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0

謝辞

国土交通省関東地方整備局常陸河川国道事務所の方々には、現地調査、基礎資料収集の際に多大なるご協力をいただきました。ここに感謝の意を表する。

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、pp.20、1986
- 3) 石村貞夫、すぐわかる統計処理、東京図書、pp.49-55、2001
- 4) 木元新作、動物群集研究法Ⅰ、共立出版、1976
- 5) 土木学会、土木工学ハンドブック、pp.1179-1803、1993
- 6) 建設省河川局、平成9年度版河川水辺の国勢調査マニュアル〔河川版〕〔生物調査編〕、pp.128-129、1997
- 7) 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
- 8) 原色日本淡水魚類図鑑、宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦、保育社、1988
- 9) 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

（2007.4.5受付）