

# 河川環境情報図を利用した評価指標の作成

Estimation Index based on river environment information

(独) 北海道開発土木研究所 正会員 ○矢部 浩規(Hiroki Yabe)  
 (独) 北海道開発土木研究所 正会員 三田 賢哉(Kennya Mita)  
 (独) 北海道開発土木研究所 正会員 喜沢 一史(Kazufumi Kizawa)  
 (独) 北海道開発土木研究所 正会員 中津川 誠(Makoto Nakatugawa)

## 1. はじめに

河川整備計画の策定、河川工事、管理に関する調査や実施の際に、現況河川の自然環境を適切に把握し、河川環境に及ぼす影響を分析、評価することが求められている。河川に関わるデータは広範で大量の情報を扱わなければならない、またその多くは位置を持つ空間データであることから、GISの利用が有効であると考えられる。多くの情報を自由に比較分析し、その結果を客観的に示すことが容易に行うことが可能であれば、河川事業の総合的評価、論理的な事業説明、合意形成などに役立つ。

しかし、河川水辺の国勢調査データ、河川環境情報図等河川環境、生態系に関する情報基盤の整備がはじまったばかりであり、河川環境を総合的に評価する試みは少ない。従来の調査、研究においては、人間による利用や意識、生息生物の生態系からの評価が個別に行われている事例が多い。HEP等の自然生態系評価は対象種を選定しなければならない、生物の生息等実測調査も必要となり、河川の全区間を対象とした調査は難しい。

そのため、本研究では魚類や鳥類等河川空間を利用する様々な生物からの河川環境、生息環境の評価が同時に可能な指標を作成し、河川環境の類型区分を定量的に評価することを目的とする。その際、比較的容易に入手可能な生物の生息等に影響を及ぼす植生や河道状況等の河川の定量的な物理的データ情報を利用する。河川環境を構成する物理的構成要素から河川環境を総合的に特徴づけることが可能な評価指標を提案するものである。

また、作成した評価指標の生物に対する有効性を、魚類、鳥類等生息生物の生息状況等実測データとの比較から検証を行う。石狩川水系豊平川及び、その支川を対象として以上の検討を行った。

## 2. 研究の方法

### (1) 既存研究と本研究の考え方

日本での河川環境の評価事例は、人間の利用(親水)の視点から水辺環境を評価した研究が過去に多い。生態系に関する評価は、河川の物理的要素と生物の生息状況を含めて評価している事例や研究がある。総合的評価は、水の量、川の流れ方や水際、周辺の土地利用や高水敷、川底の様子、水の汚れ、鳥、植物など生き物の項目に点数をつけて総合点を算出する方法がある。河川水辺の国勢調査データを利用した事例では、生物から見た生物学的水質、生物が多様に存在していることを示す種の多様性、貴重性や移動性等からの生態系構造の保全性、河床、水域、陸域での指標種出現の有無による生育、生息域の多様性について点数をつけて評価し、河川管理や事業の影響、効果指標として利用している。これらの手法は、生物の生息と河川の物理的構成要素を同時に評価しており指標種等は評価可能であるが、広範な生物の評価は難しい。

米国において開発された HEP (Habitat Evaluation Procedure)、IBI (Index of Integrity) により魚類の生

息環境を評価した事例が増えているが、これらの手法についても、評価対象種を設定しなければならず、目標設定の段階での指標としては適切ではない。また、生物の生息等実測調査が必要となる。

本研究では、河川環境を構成する物理的な構成要素のみによる指標を作成し、生物の生息データは検証で用いる。関連研究として、河川の水深・流速、瀬、淵、蛇行程度、水面幅、河床材料、水生植物、中州、河畔林などによって評価する RHS (River Habitat Survey) などがあり、これらの要素や既往知見を参考に河川特性要因を抽出する。

### (2) 主成分分析の適用

河川の物理的環境データは多数の項目からなるため、それらを総合化し、河川環境の状態をより理解しやすい形にまとめる必要がある。データを圧縮分析する手法としては、主成分分析、因子分析、クラスター分析などがあるが、個々のデータの関係性を説明するのに最適であると考えられる主成分分析を適用した。

主成分分析は、多数の変数の値に異なる重みをつけて互いに独立な合成変数を求める手法で、多数の要因を少数の総合評価に集約する。合成変数(主成分)を各変数の関係から主観的に判断しデータ構造を理解するものである。

主成分分析の適用によって、対象とする河川環境の構成要素を用いた指標化と、その指標による各々の河川環境の相対的な評価が可能となる。指標は各主成分からなり、主成分を構成する各変数の関係は、河川環境の解釈や構成要素の関連性から河川整備、管理に役立つことが予想される。

## 3. GISデータ利用による評価

豊平川(k.p20~k.p4)を対象に、航空写真から河川環境情報図を作成した。河畔林、高水敷利用、水面等河川環境の物理的構成要素の定量的なデータ(面積)を算出するためGISを利用している。(図-1)

変数は表-1に示すように29項目を計測、作成した。これらの各変数について100m区間ごとに対象区間を130に

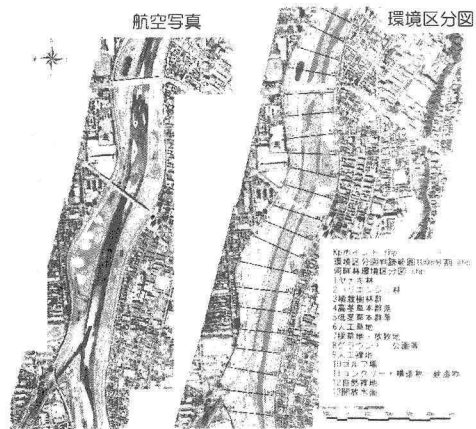


図-1 河川環境情報図の作成

分け、計 3770 個のデータを解析する。GIS は、河川環境情報に関する定量的、空間的なデータの利用、操作性に優れ、各変数のデータ抽出、様々なデータの利用が容易となった。同一河川での評価のほか、他河川を含めて客観的に河川環境評価、比較を行う場合の有用性も高いといえる。

表-1 河川の物理的構成要素 (変数)

変数名	変数名
ヤナギ林 (m2)	淵の比率、早瀬の比率、平瀬の比率
ハリエンジュ (m2)	流速、水深差の有無
植栽樹林群 (m2)	分流、湾曲の有無
高基草本群落 (m2)	砂州の有無
低基草本群落 (m2)	河床勾配
人工草地/牧草地 (m2)	自由度 (水面面積/水面+砂州 (自然裸地))
グランド・公園 (m2)	樹木の連続性 (両岸 2), (片岸 1), 0
人工裸地 (m2)	樹木高さ (高木 2、亜高木 1、低木 0)
人工構造物 (m2)	河畔林の水面、水際カバー有無
自然裸地 (砂州) (m2)	中州の河畔林有無
開放水面積 (m2)	支川流入の有無
樹木率、草本率	橋梁の有無
人工草地・ゴルフ場率	床止めの有無

表-2 主成分分析結果

固有ベクトル	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 6	主成分 7
ヤナギ林	-0.243	0.260	0.090	-0.176	0.274	0.036	0.043
ハリエンジュ	-0.005	0.030	0.244	0.073	0.113	-0.005	-0.223
植栽樹	0.006	0.144	0.049	0.268	0.218	0.204	0.276
高基草本	-0.084	0.303	-0.418	0.213	0.111	-0.002	0.151
低基草本	0.032	0.293	-0.140	0.102	-0.288	-0.233	-0.042
人工草地	-0.254	-0.228	-0.263	-0.058	0.027	0.066	-0.087
グランド公園	0.003	0.095	0.146	0.221	-0.142	-0.460	0.000
人工裸地	0.017	0.085	0.113	-0.145	0.000	0.072	-0.111
人工構造物	0.158	-0.050	0.239	0.393	0.143	-0.075	0.030
自然裸地	0.323	-0.090	-0.031	-0.096	0.047	0.117	-0.082
開放水面	-0.236	-0.336	-0.064	-0.083	-0.104	-0.115	0.235
樹木率	-0.160	0.364	0.225	-0.178	0.243	0.094	0.085
草本率	-0.013	0.413	-0.378	0.208	-0.051	-0.069	0.116
人工草地	0.104	0.127	0.125	-0.152	-0.108	-0.410	-0.051
淵	0.223	0.105	-0.155	-0.100	-0.104	0.271	-0.313
早瀬	0.169	-0.026	-0.107	-0.230	0.183	-0.109	0.340
平瀬	-0.294	-0.065	0.197	0.238	-0.043	-0.141	0.015
砂州有無	0.298	0.170	0.153	-0.059	-0.016	-0.134	0.022
分流湾曲	0.175	-0.077	-0.046	-0.125	0.338	-0.309	-0.106
自由度	0.335	0.013	-0.034	-0.054	0.066	0.133	-0.167
流速水深	0.193	0.121	0.009	-0.148	0.132	0.157	0.304
支川流入	-0.016	-0.012	0.117	-0.148	-0.224	0.112	0.405
水際カバー	-0.235	0.092	0.177	-0.237	0.122	-0.018	-0.015
中州河畔林	0.074	-0.007	-0.163	-0.220	0.341	-0.388	0.043
樹木高さ	-0.243	-0.008	0.111	-0.034	0.237	-0.036	-0.141
樹木連続性	-0.195	0.290	0.125	-0.162	-0.186	0.144	-0.075
橋梁有無	0.107	-0.037	0.192	0.416	0.320	0.145	0.025
床止め	0.107	-0.202	0.041	0.002	-0.053	0.012	0.425
河床勾配	0.179	0.150	0.349	-0.069	-0.287	0.003	0.155
固有値	6.954	2.984	2.181	1.925	1.821	1.601	1.371
寄与率	23.9%	10.2%	7.5%	6.6%	6.2%	5.5%	4.7%
累積寄与率	23.9%	34.2%	41.7%	48.4%	54.7%	60.2%	64.9%

主成分分析による合成変数  $Y_1 \sim Y_q$  は、 $q$  個の河川環境の物理的構成要素データ ( $X_1 \sim X_q$ )、調査地点が  $m$  個の場合、次式で表される。

$$Y_{m \sim q} = a_{1q} X_1 + a_{2q} X_2 + \dots + a_{qq} X_q$$

$Y_1$  が第 1 主成分、 $Y_q$  が第  $q$  主成分であり、係数  $a_{1q} \sim a_{qq}$  が固有ベクトルとなる。固有ベクトルの正負、大きさによって各主成分に対して変数  $X_1 \sim X_q$  がどの程度効いているかが分かり、その特性を把握することが可能となる。

表-1 のデータを用いて主成分分析を適用した。各変数を標準化した相関行列の固有値、固有ベクトルを求めた結果が表-2 である。また、各主成分の寄与率、累積寄与率を示している。第 1 主成分で 24% であり、第 7 主成分までの累積寄与率は 65% となった。

各主成分の解釈は以下になると考えられる。第 1 主成分は、河川の自由度や砂州、淵や早瀬、流速、水深差の有無と平瀬や水面積など河川の流水部分、水面に関する変数、また、ヤナギ林、樹木高さなど攪乱程度が効いており、河川多様性、複雑性、安定性を表す軸と考えられる。第 2 主成分は、樹木や草本など人工草地、牧草地を除く自然の緑量と、水面面積、床止めの存在から緑と水を表す軸、樹林化と水面や牧草など高水敷の開放性ともいえる。第 3 主成分は、河床勾配、人工構造物、樹木 (ハリエンジュ) と、草本や人工草地などから、河川の地形や草地性と考えると、第 4 主成分は橋梁の有無と、河畔林のカバー率、中州部分の河畔林有無などから、高水敷の人工性と河川水面部のカバー、第 5 主成分は河川流水部の蛇行、河畔林、第 6 主成分は高水敷の人間の利用、第 7 主成分は床止めの設置や支川流入など河川の流れの変化である。

各主成分の得点は 100m 区間ごとの各地点で算出され、地点間の比較が以上の河川環境軸によって定量的に可能となる。しかし、これらの解釈は主観的であり、各生物との実データとの比較によって検討を進める必要がある。そこで、次に各地点の主成分得点を、魚類、鳥類の実測データによって検証する。

#### 4. 生態系の実測評価と主成分得点の関係

##### (1) 実測魚類データによる検証

豊平川の 4 地点で各地点 2 回 (2002 年 8 月、9 月)、平瀬、早瀬、淵の河川形態別に魚類を採捕した。表-3 に苗穂鉄道橋の実測データを示す。その他、南 7 条大橋、幌平橋、ミュンヘン大橋と同様に行った。

表-3 魚類の環境区分別固体密度

地点名	苗穂鉄道橋			個体数密度 (個体数/100 m)
	調査面積 (m <sup>2</sup> )			
8 月	合計	投網	ES	
平瀬①	143.5	23.5	120	7.7
平瀬②	133.2	28.2	105	90.1
平瀬③	152.9	32.9	120	15.0
平瀬④	137.9	32.9	105	2.2
早瀬①	73.5	23.5	50	20.4
早瀬②	137.9	32.9	105	10.9
淵①	107.9	32.9	75	13.0
淵②	103.2	28.2	75	82.4
区分	調査面積 (m <sup>2</sup> )			個体数密度 (個体数/100 m)
9 月	合計	投網	ES	
平瀬①	98.5	23.5	75	27.4
平瀬②	152	47	105	67.8
平瀬③	152	47	105	14.5
平瀬④	142.6	37.6	105	29.5
早瀬①	98.5	23.5	75	28.4
早瀬②	103.2	28.2	75	21.3
早瀬③	103.2	28.2	75	36.8
淵①	152	47	105	21.1
淵②	98.5	23.5	75	35.5

魚類の実測地点における主成分得点と魚類の生息数との関係を相関分析によって相対比較する。生息数は、各地点の平瀬、早瀬、淵に生息した全魚種を合計した平均個体数密度を用いて、調査月ごとに比較した。(表-4)

調査実施箇所の各地点 300m を比較の対象範囲と設定したため、12 地点での分析となる。魚種についてはヤマメ、ウグイ属、ハナカジカ、フクドジョウ、ウキゴリ等であり、4 地点とも魚種の違いはほとんどみられないため、個体数によって検討した。

その結果、河川多様性、複雑性を表す第 1 主成分とは正の相関がある。第 2 主成分とは負の相関があるが、河川の水面面積が広いほど密度が大きい。樹木や草本など緑の量に比較して当然といえる。第 3 主成分からは河床勾配が急である事が生息密度を減じ、草地性が逆に高める方向にある。第 4 主成分は相関が低いが、河畔林のカバーや中州の河畔林、早瀬が魚類の生息環境に寄与する傾向にある。河川流水部の蛇行、河畔林の軸である第 5 主成分は、正の相関がある。第 6、7 主成分からは高水敷の人間の利用が少なく、淵が多い場合、河川の流れの変化が密度を高めている。

以上の結果は、おおむね既往知見と一致しており、魚類の生息に対して河川環境指標が有効であることが示された。8 月と 9 月の調査時期によって相関の強さが異なるが、流量、水質その他時期的な変動を取り込んだ物理的要素を考慮する必要があると考えられる。さらに実測データを増やして検討することが重要である。

表-4 各主成分得点と魚類の実測数との相関係数

調査時期	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分	第 5 主成分	第 6 主成分	第 7 主成分
8 月	0.31	-0.58	-0.48	-0.19	0.35	0.26	-0.52
*	0.33	0.05	0.11	0.54	0.27	0.42	0.08
9 月	0.5	-0.56	-0.4	-0.003	0.64	0.32	-0.14
*	0.09	0.05	0.19	0.99	0.02	0.31	0.66

\* (有意確率)

### (2) 実測鳥類データによる検証

鳥類は、ラインセンサス法によって全区間を調査した。2003 年 6 月に 3 回実施し、鳥類の種及び数を確認し記録する。これらから 100m 区間ごとの鳥類の種、数の実測データが得られ、魚類と同様に各地点における主成分得点と生息との関係を相関分析によって検討する。鳥類の種類数、生息数各 130 ケースの全てに対して検証している。その結果を表-5 に示す。

表-5 各主成分得点と鳥類の実測数との相関係数

種類数量	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分	第 5 主成分	第 6 主成分	第 7 主成分
種類	-0.56	-0.03	-0.33	0.01	0.30	0.13	-0.07
*	0.00	0.78	0.00	0.88	0.00	0.13	0.44
生息数	-0.28	-0.19	-0.25	-0.03	0.28	0.09	-0.09
*	0.09	0.03	0.04	0.75	0.00	0.32	0.29

\* (有意確率)

第 1 主成分からは、平瀬、高木の樹木、ヤナギ林、草地と正の相関がある。種類数の方が生息数に比べ相関関係が大きい。第 3 主成分の草本群、草地がある場合は種類数、生息数を増加させ、人工構造物は減じている。第 5 主成分

の中州にある河畔林や、分流、湾曲など河川の蛇行は鳥類の生息と正の相関がある。その他、相関係数は小さいが、第 2 成分からは、生息数に関して水面と人工草地、床止め等がある開放性が関係している。第 6 主成分の高水敷の人間の利用は、種類数を減じさせる傾向にある。第 4、7 主成分は相関がみられなかった。

このように、鳥類の生息実態と主成分分析による評価得点との関係を、鳥類全般を対象に検討した。今後、各種別ごとの生息、生育など鳥類の生態に応じた実測データによって検証を進める必要がある。

### (3) 魚類、鳥類の生息の総合評価

各地点の河川環境の評価、地点間の比較を、魚類の生息実施箇所の 4 地点を対象に行う。表-6 に各地点の主成分別得点を示す。得られた指標(河川環境軸を表す各主成分)から、魚類と鳥類の評価を同時に行うことが可能となる。

なお、地点別の主成分得点の算出は、各主成分を表す式に、物理的構成要素データ ( $X_1 \sim X_6$ ) を代入して得られる ( $Y_1 \sim Y_6$ )。

表-6 各主成分別得点の結果

地点	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分	第 5 主成分	第 6 主成分	第 7 主成分
ミュンヘン橋	-1.67	1.47	2.34	-0.38	-0.84	1.04	0.77
幌平橋	0.57	0.09	0.32	-0.54	0.11	-0.26	0.03
南 7 条橋	1.73	2.00	0.23	2.70	-1.82	-1.77	0.14
苗穂大橋	2.69	-0.55	-0.75	0.44	0.88	0.21	-0.93

(主成分得点は 300m 区間の平均値)

第 1 主成分の河川多様性、複雑性、安定性からは、苗穂大橋、南 7 条橋、幌平橋、ミュンヘン橋の順に魚類の生息環境が良好であり、鳥類にとっては逆にミュンヘン橋が最も良好である。第 2 主成分の水面開放性は苗穂大橋、幌平橋で、第 3 主成分の草地、草本性からは、苗穂大橋で魚類、鳥類にとって良い。

第 4 主成分の河畔林のカバー、早瀬による魚類の生息はミュンヘン橋、幌平橋で優れている。第 5 主成分の中州にある河畔林や、分流、湾曲など河川の蛇行は魚類、鳥類の両方にとって良好な環境であるが、苗穂大橋、幌平橋で優れ、南 7 条橋、ミュンヘン橋では劣る結果となった。第 6 主成分の人間の高水敷利用によって、魚類、鳥類双方にとって南 7 条橋、幌平橋がミュンヘン橋、苗穂大橋に比較し劣ることが示された。第 7 主成分は淵が多く、自由度がある点で苗穂大橋が良好な環境となっている。

### 5. 現地観測等データによる評価

同一の河川を評価する場合、以上のような河川の連続的、定量的なデータが重要となる。しかし、様々な河川を相対的に評価する場合、調査対象箇所の点データや限定されたデータを利用することが予想される。そこで、豊平川支川の中小河川を含めた対象箇所に対して、現地観測等によって河川環境データを収集し、同様の評価、分析を行う。

豊平川本川 22 地点、支川 82 地点の計 104 地点での河川の物理的環境データを収集した。支川は、厚別川、野津幌川、小野津幌川、月寒川、望月寒川、清田川、北白石川、山本川、三里川、うらうちない川、精進川、真駒内川、南

の沢川、北の沢川、穴の川などで豊平川流域の大小さまざまな河川が対象であるが、石狩川開発建設部で収集されたデータを用いた。

全21調査項目のうち、水質データ(BOD、透視度、水温、色相(有0、無1))、河川幅、河川数幅、左岸(右岸)道路幅についてのデータは地形図等からの実測データを計測した。

その他、水質(景観)、水流、流速差、水へのアクセス性、樹木量、緑の量、草量、堤防、護岸・堤防・水路(整備形態)、河川数の利用、河川タイプ(水、石、草)、水量、蛇行程度、樹木、植生の高さ、連続性、水際植生、河畔林カバー有無、河床(固定、自然)は、それぞれカテゴリーを決めて現地観測データ及び各地点での上下流の景観から人間の判断で分類している。例えば、水質は、透明感、普通、濁り、ひどい汚れ、水流は速い、ゆっくり、流れなし、水涸れ、樹木や緑の量は多い、普通、ごく少数、ない、アクセス性は容易から近づくことができないまで4段階に分けている。堤防は自然堤防、護岸の傾斜角、垂直護岸に、蛇行程度は直線、1箇所蛇行、2箇所蛇行に分類した。

表一7 主成分分析結果(現地観測等データ)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分	第6主成分
水温	0.02	0.40	0.24	0.19	-0.02	-0.12
透視度	-0.05	-0.11	-0.43	0.35	0.10	-0.24
色相	-0.13	-0.16	-0.17	-0.31	0.39	0.18
BOD	0.13	0.18	0.33	-0.33	-0.26	0.15
河川幅	-0.36	0.10	-0.04	0.03	0.13	0.37
河川数	-0.35	0.23	-0.01	-0.05	0.22	0.20
道路幅	-0.09	0.28	-0.10	0.27	0.12	-0.04
水質	0.17	0.23	0.29	0.03	0.27	0.02
水流	0.09	0.26	0.28	0.32	0.24	0.17
アクセス	0.25	-0.09	-0.04	-0.35	0.37	-0.11
緑の量	-0.26	-0.30	0.29	-0.01	0.20	0.00
草量	0.17	0.28	-0.33	-0.09	-0.25	0.21
堤防	-0.01	0.26	-0.14	-0.01	-0.15	-0.16
護岸	0.31	0.10	-0.29	-0.16	0.15	0.21
利用空	0.35	-0.17	0.14	-0.02	-0.07	-0.30
利用親	0.08	0.01	0.20	-0.13	0.30	-0.14
川相水	-0.33	0.11	0.09	-0.07	-0.00	-0.45
川相石	-0.04	-0.28	0.19	0.08	-0.33	0.43
川相草	0.23	-0.06	-0.12	0.32	0.24	0.17
水量	0.33	-0.02	0.13	0.22	0.11	0.12
湾曲	0.02	-0.36	0.10	0.35	-0.03	0.03
固有値	4.61	2.96	1.91	1.70	1.61	1.30
寄与率	21.95	14.12	9.11	8.07	7.66	6.17
累積寄与率	21.95	36.06	45.17	53.24	60.91	67.08

主成分分析の結果を表一7に示す。変数間の相関関係から、河川幅と河川数幅に強い正の相関性、BODと透視度、河川幅、河川数幅と利用空間、緑の量と草量の間に負の相関が見られた。その解釈は、例えば第1主成分は、河川幅と河川数幅が小さく、護岸が急であり、利用空間がなく、水量が少ない。正の値であるほどこれらの傾向が強いことから、小河川の特徴、を表している。第2主成分は、水温

が低く、緑の量、草量が多い。また、河川も蛇行している。これは、自然的な河川の特徴(自然度)を示しているといえる。第3主成分は透視度、色相、BOD値、見た目の水質、水流など河川の水質、汚濁度を示している。

さらに具体的な解釈を可能とさせるためには、定量的かつさまざまな物理的データと各生物の生息、生育関係を把握して、これらの知見を変数に反映させて評価する必要がある。また、GIS等の利用は、より具体的に河川環境を評価する可能性が大きいことが明らかである。今後、データの量、質、精度の違いを踏まえ、河川環境を適切に評価するデータ収集方法についての検討が重要となると考えられる。

## 6. おわりに

本研究で提案した評価指標は、容易に計測できる河川環境の物理的データを用いて、人間や生物等各主体からの河川環境を総合的に評価することが可能であることが特徴である。魚類、鳥類の生息環境を考慮した河川特性を含む多様な物理環境を主成分分析によって類型化した。しかし、本手法は、対象とする河川の相対的な比較に関する情報が得られるものであり、外的な基準によって整備の方向性を評価することはできない。

今後の課題として、流量、水質データ(DO、BOD、水温など)など変動するデータの取り込み、各魚種、鳥類別の生息数と物理環境との関連分析の実施が必要である。また、他の各生物との関係分析を行って本研究による手法の有効性を検証するとともに、底生生物、両生類など河川に生息する様々な生物にとって重要な変数の抽出が重要である。

## 参考文献

- 1) 自然生態系保護協会、2000年度全国自然しらべ「私たちの川」、www.nacsj.or.jp
- 2) 田中 章 生態系評価システムとしてのHEP。「環境アセスメントここが変わる」、1998、81-96。環境技術研究協会。大阪。
- 3) 田中 章 米国のハビタット評価手続きHEP誕生の法的背景、環境情報科学、2002、Vol.31、No.1、37-42
- 4) U. S. Fish and Wildlife Service Habitat evaluation procedures (HEP), Washington, D. C., Division of Ecological Services ESM 1980, 101-103.
- 5) IBI Karr, J. R. and D. R. Dubley Ecological perspective on water quality goals. Environmental Management, 1981, Vol.5, 55-68
- 6) 国土交通省中国地方整備局、「河川水辺国勢調査」に基づく河川環境評価の手引き、平成14年3月
- 7) 水野伸一、笠本誠、塚茂樹、河川水辺国勢調査を用いた魚類生息状況と物理特性との関係についての研究、水工学論文集第46巻、pp1139-1144、2002
- 8) 国土交通省河川局、リバーフロント整備センター、河川水辺総括資料作成調査の手引き(案)
- 9) 菅和利、森下郁子、水域生態系の定量評価手法の開発と治水計画策定への応用について、河川技術論文集第8巻、pp85-90、2002年6月
- 10) 土屋十園、和泉清：河川環境評価についての一考察、水工学論文集第34巻、1990年2月、pp55-60