

魚類データに基づく総合河川型指標と水質総合指標を用いた多変量解析による河川環境評価

RIVER ENVIRONMENT EVALUATION USING MULTIVARIATE ANALYSIS WITH INTEGRATED WATER QUALITY AND RIVER FLOW TYPE INDICES BASED ON FISH DATA

早川敬之¹・藤田昌史²・芳賀弘和³・坂本 康⁴

Takayuki HAYAKAWA, Masafumi FUJITA, Hirokazu HAGA and Yasushi SAKAMOTO

1 正会員 工修 山梨県峡東地域振興局 石和建設部 (〒406-0035 山梨県笛吹市石和町広瀬785)

2 正会員 博(工) 山梨大学助手 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

3 博(農) 山梨大学 日本学術振興会特別研究員 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

4 正会員 工博 山梨大学教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

It is necessary to evaluate the characteristics of river environment for planning river works and for setting an environmental target of preservation and improvement of habitats. Therefore the technique to analyze the relation between the distribution of living things and physical, chemical and biological environments of river habitats is required. In this paper, we presented an integrated water quality index and an integrated river flow type index. The latter was based on results of principal component analysis applied to the factors involved in HIM (Morishita, 1998). The integrated indices were used as criterion variables for a multiple regression analysis of fish data and some indicator species were presented. The multiple regression model was used for the estimation of integrated index values of verification rivers and showed good performance.

Key Words : river environment evaluation, integrated water quality and river flow type indices, fish data, Morishita's HIM, indicator species, multivariate analysis

1. はじめに

現在の川づくりは1990年の「多自然型川づくりの推進について」の河川環境課長通達以降、生物の生息環境に配慮した工法の積極的な採用へと変化してきている。例えば、河川行政において生息生物に対する事前環境調査を行なうことで工事に伴う環境負荷の軽減を行ない、また、多自然型工法を積極的に採用する事例が増えている。そのため、これからの川づくりには、まずその地点の特性を評価し、生息環境の改善への具体的な目標を定めることが求められている¹⁾。また、川に生息する生物の存在の調査だけでなく、生物の存在と生息地の環境(河川型=水理環境、水質=化学環境等)を関連付けた検討をしなければならず、環境を総合的に捉える手法が求められている。そこで、生物指標による河川環境の評価手法が注目されているが、これまでの生物指標の求め方は膨大な生物データと生物学的知識による経験的・主観的な作業によるもので問題点は多い²⁾。

水環境の総合的な評価手法の代表例としては、森下ら

が開発したHIMがあげられる³⁾。この手法の特徴は、魚類のようによく知られた生物を指標生物として、評価が住民に容易に理解されるようにした点である。この手法は、河川の構造と機能に注目して調査と経験から生息場の多様性を評価するものである。しかし、HIMでは河川の構造と機能など、水理環境的な面を重視しており、化学的環境である水質面の検討が不十分である。水質も魚類が生息していく上で重要な項目であることは水質との関係が深く知られる底生生物を捕食することなどからも明らかである。また、人々が河川の状況を把握する上でも水質は重要な情報である。以上から水質面を評価していないHIMによる河川環境評価では総合的な河川環境評価としては不十分である可能性がある。

そこで本研究では、表-1の手順により魚類を生物指標とした環境評価手法の開発を目的として、魚類の生息分布にとくに大きく影響する地点特性として水質と河川型に注目した。そして、それらの地点特性を評価する指標を検討した。まず、地点特性と環境基準に用いられる指標種との関係を検討したが、どのように地点特性が改善したかを魚種から評価することはできず、環境基準に用

魚類を用いた生物指標による河川環境評価手法の開発

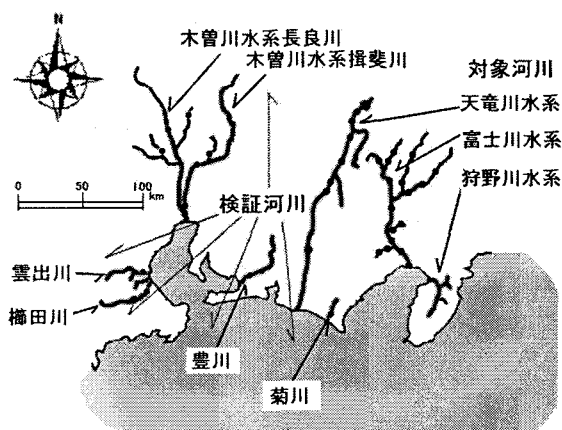


図-1 対象河川・検証河川位置図

表-4 第一主成分HIM解析固有ベクトル

	主成分1
河川の連続性	0.301
細流・水路との連絡	0.174
冠水性の高い水辺・伏流水	-0.197
河床の大小の石の有無	0.346
水深の大小	0.363
流速の大小	0.372
水生植物の有無	-0.285
水辺林の連続性	0.367
光の当て方	0.371
攪乱の度合い	0.311

評価基準(HIM値)	評価結果
10～24	再生、創造の方針が必要
25～34	必要に応じた管理を行い生態系の回復を図る
35～	手をかけずに保全する

の労力・調査者の個人差・種の空間分布の不均質性などの点からみると、大まかな区分で記録した方が優れている⁵⁾ ことも $\log_e(n+1)$ を用いた理由である。本解析においても、個体数の生データをそのまま解析に用いるときにより生じる極端なはずれ値の影響を軽減することが期待される。

上記とは別に、同じ中部地方にある菊川水系1地点、豊川水系2地点、雲出川1地点、櫛田川1地点、木曽川水系6地点の11地点のデータを手法の検証に用いた。これらの地点は、国土交通省水文水質データベース⁷⁾から水質データが入手可能である。対象流域については図-1に示す。

3. 結果

(1) 対象流域の水質特性評価

対象水質項目は人為汚濁の影響と対応がとれる項目であり、その挙動は似ている。そこで9項目の水質項目を主成分分析によって総合化した。第一主成分（寄与率59.79%）の固有ベクトルを表-2に示す。表のように、固有ベクトルの成分はD0のみが正の値で、他の項目は負の値であった。D0は高いほど清水性を示し、その他の項目は高いほど汚濁性を示す。以上からこの第1主成分は水質の清水性・汚濁性を示す指標となると考えられる。そこで、以後この第1主成分の得点を総合水質指標と記す。

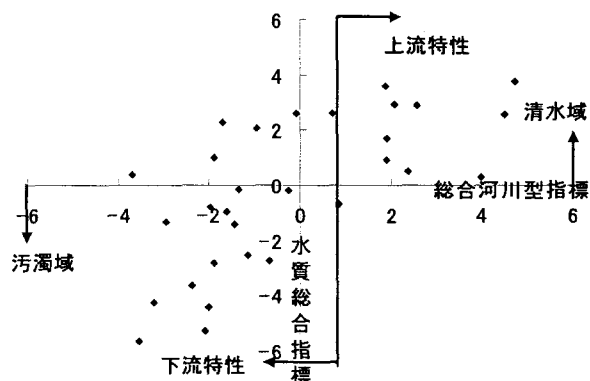


図-2 水質と河川型による地点特性評価

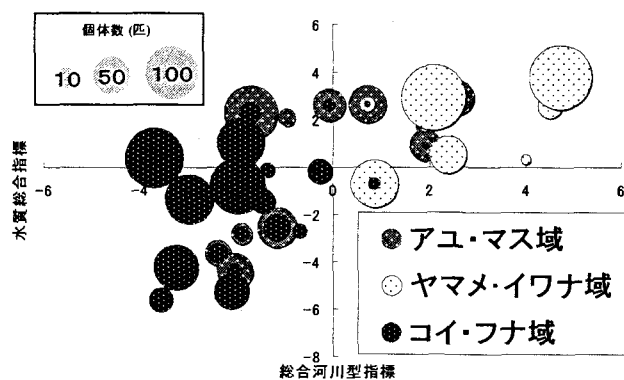


図-3 地点特性と環境指標種の個体数との関係

(2) 対象流域の河川型特性評価

HIM (Habitat index of Morishita, 1998) ²⁾ は、河川の構造と機能に注目して生息場の多様性を評価するものである。HIMでは魚類が持続的に生息するための条件を「縦のつながり」、「河床材料」、「水深」、「流速」、「横のつながり」、「水生植物」、「水辺の機能」、「水辺林」、「光」、「攪乱」の10項目とし、各項目に対する各魚類(対象魚種：全国に定常的に生息する42魚種)の要求度を専門家の調査と経験から5・3・1の3段階の数値(以下魚HIM値と記す)によって評価する。次に、各地点において、10のHIM評価項目ごとに、次式(1)

$$\frac{\text{その地点に生息する HIM対象魚種の合計魚 HIM 値}}{\text{その地点に生息する HIM対象魚種数}} \quad (1)$$

を算出して、項目平均HIM値を10の評価項目について合計した値(以下地点HIMと記す)を河川環境の評価に用いる。地点HIM値と環境の評価結果との対照表²⁾を表-3に示す。

本研究では、まずこのHIM手法を用いて本対象流域の各地点の河川環境評価を行なったが、いずれの地点も地点HIM値が25～34の間にあり、表-3では地点特性の差を評価することはできなかった。そこで地点HIM値がもつ情報を明確にするために主成分分析を用いてHIMのもつ情報の把握を行なった。具体的には地点HIMを算出する過程で作成した各地点の項目平均HIM値の行列(地点数×10項目)を主成分分析で解析することで、10のHIM項目が示している環境特性を解析した。主成分分析で得られた第一主成分(寄与率68.72%)の固有ベクトル表-4に示す。その結果、「流速の大小」、「水深の大小」、「石の大小」など多数の項目が高い正の値を示し、「水生植物の有無」、「冠水性の高い水辺」の項目が負の値を示した。正を示した項目について注目するとこれらは上流域の場の多様性を示すような項目で、適正な河川環境の上流域

であればこれらの数値は高いことが予想される。逆に上流域のような特性がなければ値は減少する。そこで、この上流らしさを表す第一主成分の得点を、総合河川型指標と名づけて以後の検討に用いることとした。

(3) 魚類分布と地点特性の関係と環境指標種の検討

a) 水質・河川型からみた対象流域の地点特性評価

(1)、(2)の結果得られた総合河川型指標と水質総合指標により各地点の地点特性の把握を行なった。図-2に各地点での総合河川型指標と水質総合指標との関係を示す。図では河川型でA型に対応する総合河川型指標値1以上を上流特性、それ以下を下流特性とした。水質は、環境基準でヤマメ・イワナが生息できず、水浴できない水質を示す類型Bに対応する水質総合指標値0以下を汚濁域とし、それ以上を清水域と区分した。その結果、各調査地点は「上流特性と下流特性」「清水域と汚濁域」により計4つのグループに区分することができた。

b) 環境基準の指標種と地点特性指標との関係

次に、図-2で示した地点特性と魚類分布との対応関係を検討した。対象魚種は「生活環境の保全に関する」環境基準で示されている「フナ、コイ」、「アユ・サケ」、「ヤマメ・イワナ」の3グループとした。各地点での対象魚種グループの個体数を図-2と同じ座標上で図-3に示す。図のように、上流・清水域から下流、汚濁域までの間でヤマメ・イワナ域⇒アユ・サケ域⇒コイ・フナ域へと優占種が遷移しており、これらの魚種には河川型と水質の両面の影響がみてとれる。しかし、この3グループのみの評価では水質と河川型の両方の影響を合わせた評価しかできず、個々の影響を改善したとしてもその結果は3グループの個体数の変化としては把握できないと予想される。たとえば、皇居のお堀の水質の改善を進めても総合河川型指標が変わらなければヤマメ・イワナが優占することは通常ではありえない⁴⁾のでヤマメ・イワナの

表-5 本研究における定常種一覧

科名	対象魚種名	主な生息地
コイ科	コイ	下流域
	ギンブナ	下流域
	オイカワ	中・下流域
	カワムツ	中・下流域
	アブラハヤ	上・中流域
	ウグイ	全流域
	モツゴ	下流域
ドジョウ科	カマツカ	中・下流域
	ドジョウ	中・下流域
ナマズ科	シマドジョウ	中流域
サケ科	ナマズ	下流域
	アユ	中・下流域
	アマゴ	上流域

表-6 水質総合指標を用いた重回帰分析結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数
アマゴ	0.283	0.214
カワムツ	0.554	0.614
ドジョウ	-0.946	-0.491
オイカワ	-0.269	-0.279
定数項	1.023	

表-7 総合河川型指標を用いた重回帰分析結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数
ギンブナ	-0.399	-0.329
オイカワ	-0.168	-0.197
アマゴ	0.383	0.328
ウグイ	-0.345	-0.325
カワムツ	0.150	0.189
カマツカ	-0.185	-0.151
定数項	2.797	

生息を水質改善の目標とすることはできない。このように環境基準の3グループは改善効果の評価に利用できないといえる。

c) 重回帰分析を用いた新たな環境指標種の抽出

総合河川型指標と水質総合指標のそれぞれの改善効果を別個に評価できる環境指標種というのはあるのだろうか？この点を検討するために、重回帰分析により各地点の総合河川型指標・水質総合指標と魚種の個体数との関係を検討し、さらに魚種の個体数を説明変数とする地点特性予測式の作成を試みた。説明変数には、全国どの河川においても生息している可能性が高い魚種で、さらに狩野川・富士川・天竜川の対象3河川すべてに生息する魚種（以後定常種と記す）の個体数を用いた。この条件に適した13種類の定常種を表-5に示す。目的変数には各地点の総合河川型指標と水質総合指標の値をそれぞれ用いた。変数選択法はステップワイズ法とし、多重共線性（説明変数間の相関による式の不定性）が生じた場合はその魚種のデータは解析から除外して再解析した。目的変数に水質総合指標を用いた

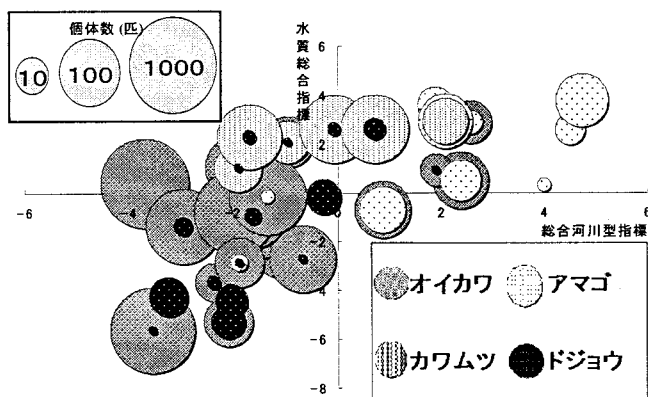


図-4 水質総合指標と地点特性

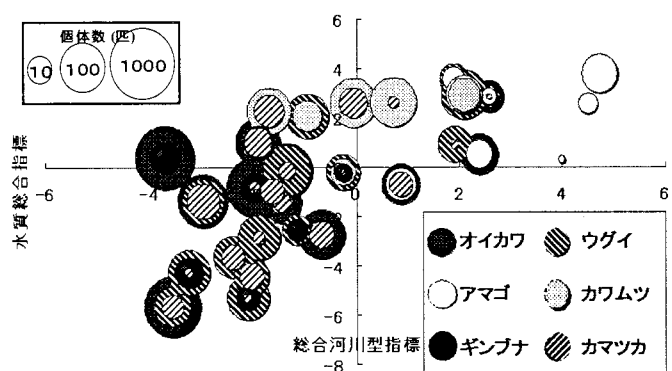


図-5 総合河川型指標と地点特性

結果を表-6、総合河川型指標を用いた結果を表-7に示す。これらの表のように、水質総合指標については4種類の指標種が、総合河川型指標については6種類の指標種が抽出された。以後これらを水質総合指標種、総合河川型指標種と記す。

水質総合指標種、総合河川型指標種のそれぞれの個体数を図-2と同じ座標上で図-4、図-5に示す。水質総合指標の指標種を示した図-4ではアマゴ⇒カワムツ⇒オイカワ⇒ドジョウといった、優占する指標種の変遷と水質悪化が対応した。特にカワムツは水質悪化によって個体数が減少し汚濁域になるとほとんど生息しない。総合河川型指標の指標種を示した図-5では、アマゴが優占するのは上流特性の地点であり、アマゴより下流型の地点ではカワムツが優占している。さらに、総合河川型指標値の低下とともにオイカワ、ウグイの優占域が拡大し、カマツカやギンブナの指標種に占める割合も増加している。

また、図-4では総合河川型指標が同じであっても水質総合指標が異なれば異なる指標種が現れており、優占指標種の変化によって水質改善が評価できる。同様

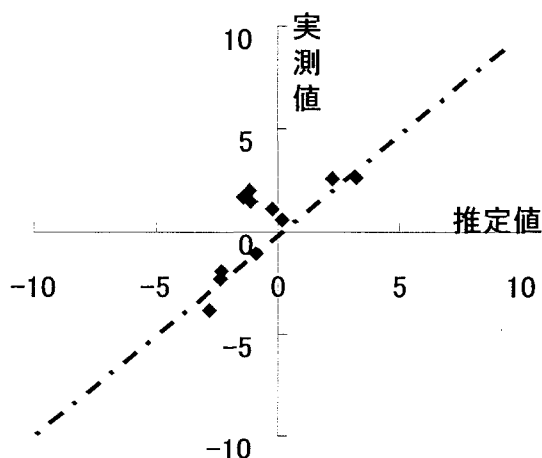


図-6 水質総合指標検証結果

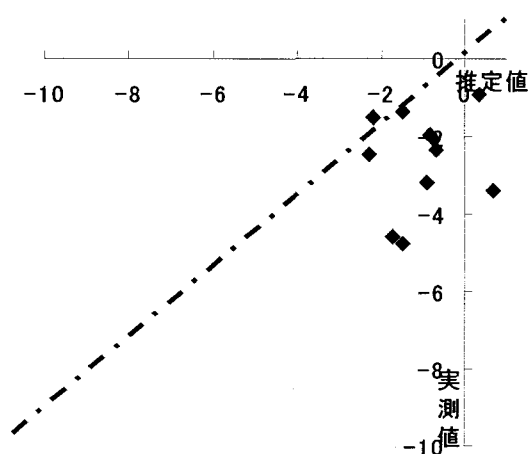


図-7 総合河川型指標検証結果

に図-5についてもその優占指標種の変化によって河川型特性の改善効果が評価できる。

(4) 環境指標推定式他河川への適応による新たな環境指標種の汎用性の検討

(3) で新たな環境指標種の抽出に用いた重回帰式は、他の河川の水質総合指標、総合河川型指標の推定式として使える可能性がある。もし、この式での推定が可能ならば、前述の新たな環境指標種は他河川でも使える汎用性のある指標種といえる。このような考え方に基き新たに提案した環境指標種（水質総合指標種・総合河川型指標種）の汎用性を検討した。

a) 検証河川の河川型・魚種について

2. に示した検証河川は、図-1で示したように重回帰分析の対象とした河川と緯度がほぼ同一で近隣にある河川である。このため、緯度、気象条件などが同じ重回帰分析対象河川と共通の魚種が多いと考えられる。これらの河川については、水質の測定は行わなかったため、データベースから水質データを入手することとした。このとき、国土交通省水文水質データベースを用いたが、このデータベースは国土交通省の管轄の部分を対象としているため、上流部の県管轄の部分のデータは含まれていない。このため、検証に用いた河川の地点はすべて河川型でBb型以降の中・下流域に限定された。また検証河川は、同じ中部地方であっても重回帰分析対象河川である富士川、天竜川のような急流河川ではなく、濃尾平野などを流れる平野河川が中心となった。このため同じ中部地方であっても表-5で定めた定常種は生息するが、定常種以外の魚種は重回帰分析対象河川とは大きく異なることもあった。

b) 水質総合指標推定式による検証河川の水質特性の推定

表-6で示された水質総合指標についての重回帰式に検証河川の魚類個体数データを代入して、この式から水質総合指標の値の推定が可能かどうかを検証した。図-6に、重回帰式による推定値と実測値の関係を示す。なお、実測値は水文水質データベースの実測水質観測値を基準化したものを、3. (1) で求めた第一主成分の得点計算式に代入することで得られる数値である。

図のように、推定値と実測値がほぼ一致する地点が数多く見られた。以上から新たに提案した環境指標種から水質環境を推定することは概ね可能であり、これらの水質環境指標種にはある程度汎用性があることが明らかになった。

c) 河川型総合指標推定式による検証河川の河川型特性の推定

表-7で示された河川型総合指標についての重回帰式に検証河川の魚類個体数データを代入して、この式から河川型特性の把握が可能かどうかを検証した。図-7に重回帰式による推定値とデータベースを用いて求めた実測値の関係を示す。なお実測値は、河川水辺の国勢調査より得られる魚類データを用いて計算した項目平均HIM値を基準化し、基準化した値を3. (2) で求めた第一主成分の得点計算式に代入することで得られる数値である。

図-7のように、河川型総合指標については推定値と実測値の差が大きい地点も数地点見られ、水質総合指標推定式ほどの精度はなかった。しかし、推定値と実測値がほぼ一致する地点も見られることから、解析データ数を充実させるなど、より検討を進めることで、新たに提案した環境指標種から河川型環境をある程度推定できると考えられる。

4. まとめ

魚類データを用いた新たな河川環境評価手法の開発を目的として研究を行った結果、以下の成果が得られた。

(1) 地点特性の把握手法について

- a) 狩野川、富士川、天竜川の実測水質データの中で人為的影響による変動が大きいと考えられる各水質項目を主成分分析によって抽出し、人為汚濁に対応するような水質総合指標を提案した。
- b) 従来の指標のひとつである HIM は本研究の対象河川の環境評価にとっては不十分であった。そこで HIM の評価項目を主成分分析によって検討し、上流特性・下流特性を示す総合河川型指標を提案した。

(2) 魚類分布と地点特性との関係について

- a) 水質総合指標と総合河川型指標をもちいて対象河川を 4 グループに区分することで地点特性の把握ができた。
- b) 環境基準の指標種と各グループの地点特性との対応を検討した結果、ヤマメ・イワナは上流域・清水域を嗜好し、コイ・フナは下流域・汚濁域を嗜好する傾向が見られ、アユ・サケはそれらが優占しない中間部を嗜好し、環境基準の指標種は水質と河川型の両面の影響を受けていることが明らかとなった。そのためにこれらの 3 分類の指標種では水質と河川型のそれぞれの河川環境の改善効果の評価できず、これらは環境改善の目標種としては不向きであることを示した。
- c) 水質総合指標、総合河川型指標のそれぞれについて、ステップワイズ重回帰分析による新たな環境指標種の抽出を行なった。また、重回帰分析で抽出した環境指標種は環境基準による指標種とは異なり、水質総合指標と総合河川型指標のいずれか一方の環境改善の効果を評価でき、環境改善の目標種として有効であった。

(3) 環境指標種による河川環境評価

- a) 重回帰分析によって求められた水質総合指標と総合河川型指標の値の各推定式を重回帰分析対象河川以外の河川に適用させることで、新たに提案した環境指標種の汎用性の検証を行った。その結果、いずれの推定式でも概ね地点特性評価は可能で、これらの水質環境指標種にはある程度汎用性があることが明らかになった。

(4) 総括

本研究で提案した手法の特徴として、河川水辺の国勢調査のデータのみで河川環境の評価が可能である点があげられる。河川水辺の国勢調査は全国各地の河川で行なわれており、その規格・精度も統一されたものであり汎用性に優れている。そのため、河川水辺の国勢調査のデータのみでその地点の水質・河川型の評価が可能な本研究の手法は、有効な手法といえる。また、本研究で提案した手法では地点特性改善への具体的な目標種を定めることができる。河川水辺の国勢調査に記載されている現在の優占種と目標種を照らし合わせることで地点特性改善への具体的な目標を設定できる。目標設定の具体例を以下に示す。

- a) 総合河川型指標が下流特性の地点において優占種がドジョウである場合、その地点の水質面の改善を試みるときは目標生物種をオイカワやカワムツとし、それらがすめるような川にするという目標を設定する。
- b) ギンブナが優占するような地点を多自然型工法などによってより上流特性に近づける場合、ウグイやカワムツがすめるような川にするという目標を設定する。

参考文献

- 1) 松任麗華・森下郁子・菅原正孝：水環境を総合的に評価する，環境工学研究論文集，第39巻，pp.109-114，2002.
- 2) 森下郁子・森下雅子・森下依理子：川のHの条件，山海堂，2000.
- 3) 安田郁子：生物の環境要求と指標生物としての有効性，第6回日本水環境学会シンポジウム，2003.
- 4) 国土交通省河川局監修・（財）リバーフロント整備センター編集：河川水辺の国勢調査年鑑（平成8～10年度版），魚介類調査・底生動物調査編，山海堂，1996～1998.
- 5) 小林四郎：生物群集の多変量解析，蒼樹書房，pp. 53-55，1995.
- 6) 時田恵一郎：多様性のダイナミクス・物性研究，77-3 pp. 515-523，2001.
- 7) 国土交通省水文水質データベース HP：2004年9月時点の URL <http://www1.river.go.jp/>.

（2004.9.30 受付）