

神戸市内の河川における底生生物と 河川環境との関わり

RELATIONSHIP BETWEEN BENTHOS AND RIVER ENVIRONMENT IN THE RIVER IN KOBE

小谷英之¹・辻本剛三²・藤原雅弘³・日下部重幸⁴・中尾幸一⁵

Hideyuki KOTANI, Gozo TSUJIMOTO, Masahiro FUJIWARA, Shigeyuki KUSAKABE, Koichi NAKAO

¹学生会員 神戸大学 工学部建設学科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

²フェロー会員 工博 神戸市立高専教授 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町 8-3)

³神戸市立高専専攻科 都市工学科 (同上)

⁴正会員 博士(工) 神戸市立高専教授 都市工学科 (同上)

⁵正会員 神戸市立高専教授 都市工学科 (同上)

Since river law had be changed and wide variety of fauna and flora in the river has been needed, field research on water quality and aquatic life in the river has been conducted extensively. The field data, however, have not been made the best use of estimation for river environment. The objective of present study is to study the relationship between benthos and river environment based on the report published by Kobe City Office. As it is generally thought that land use form in a drainage basin has an effect on water quality in the river, the relationship between land use form and aquatic life is also examined.

Key Words: water quality, aquatic life, benthos, land use form

1. はじめに

1997年の河川法改正に伴い、同法に環境整備が盛り込まれ、河川整備を行う際には、水質や生物環境などへの配慮が必要となった。多自然型工法は、植生などを利用して河川の緑化を図り、生態系に良好な育成環境を形成する自然に配慮した河川整備工法の1つである。また従来から行政により河川での水生生物の生息、生育状況の把握などを目的とした調査が実施され、その成果が広く公表されている。しかしながら得られた生物環境調査資料と河川環境との関わりが明確ではなく、生物環境の保全を図るためにはこれらの関係を明らかにすべきである。

本研究では、河川に生息する底生生物に注目し、生物に最も影響を与えていると考えられる河川環境項

目中的水質や河床材料(粒径)との関係を現地調査や神戸市環境局の調査書「環境水質」¹⁾に基づき検討した。また、水質の負荷要因と考えられる水域の土地利用形態についても生物との関係を調査し、これらの関係を明確にすることを目的とした。

2. 底生生物を用いた生物指標

底生生物の中には水質や底質などの河川環境条件によって生息、生育場所が限られる種が存在する。その特徴を用いて、生物調査からその水域の水質や底質などの河川環境を推測することが可能である。以下に本研究で用いた生物指標の概略を示す。

(1) 生物学的水質階級¹⁾

底生生物の種類、及び個体数より評価された水質は4階級に分類される。表-1に各階級の水質の状態、及びBODの目安を示す。

(2) 汚濁指数PI¹⁾⁴⁾

生物種より判定される水質指標であり、PI値が高いほど水質が悪い。この値はPantle u. Buckによって式(1a)で与えられる。

PI= (Σ(s・h) / Σh) (1a)

ここで、sは出現種の水質階級汚濁指数 (os=1, βm=2, αm=3, ps=4)、hは出現多少度 (1個体=1, 2~10個体=2, 11個体以上=3) である。

(1a)式より求められた汚濁指数PIは水質階級に照らし合わせることができ、両者の関係を表-2に示す。

(3) 多様度指数DI¹⁾⁴⁾

各地点での底生生物の多様性を調べるために用いられ、一般的にDI値が高い地点は生物環境が良好である。この値はShannon and Weaverによって式(2a)で与えられる。

DI= -Σ ((Ni / N) log2 (Ni / N)) (2a)

ここで、Sは種類数、Nは総個体数、Niはi番目の個体数である。

(4) 群衆類似度Cλ⁵⁾

群衆類似度は2地点間の底生生物群の類似性を知るために用いられる指標である。群衆類似度の値が1に近づくと、両地点の底生生物群の構成がよく類似していることを示す。

Cλ (N) = (2 Σ n1i n2i / (λ1 + λ2) N1 N2) (3a)

λ1 = Σ n1i (n1i - 1) / (N1 (N1 - 1)) λ2 = Σ n2i (n2i - 1) / (N2 (N2 - 1))

ここで、N1、N2は地点1、2の標本の総個体数、n1i、n2iは地点1、2における種iの個体数である。

表-1 水質階級

水 質 階 級	水質の状態	BODの目安
os:貧腐水性	きれいな水	2.5mg/l以下
βm:β中腐水性	少し汚れている	2.5~5mg/l
αm:α中腐水性	汚れている	5~10mg/l
ps:強腐水性	かなり汚れている	10mg/l以上

表-2 汚濁指数PIの水質評価基準

PI	水質階級
1~1.5	os (貧腐水性)
1.5~2.5	βm (β中腐水性)
2.5~3.5	αm (α中腐水性)
3.5以上	ps (強腐水性)

表-3 粒径と多様度指数の関連

	瀬1	瀬2	淵1	淵2
平均粒径 (mm)	64.3	65.43	18.0	7.9
多様度指数	1.25	1.23	0.79	0.68

3. 多様度指数と粒径

生態環境の多様性と粒径との関連を判断するため、兵庫県神戸市の明石川水系伊川で、12月26日に現地調査を行った。調査地点間で粒径の影響を比較するため、同一の地点で流速の速い瀬の部分と流速の緩慢な淵の部分を対象とし、それぞれの調査地点の多様度指数と粒径を測定した。表-3に結果を示す。表-3より、淵と比べ、瀬の多様度指数が、高くなるということがわかった。理由として、底生生物には、カゲ嚙類のように河床材料に付着する種やビケ類のように河床材料から巣を形成する種が存在するため、粒径が小さい淵では底生生物が付着しにくく、そのために巣を形成することにも適していないのではないかとこの事が考えられる。

4. 水質と底生生物

(1) 解析手法の概要

生物指標による水質評価の有効性を見るために、神戸市の観測した多変量の水質項目を主成分分析を用いて1つの総合指標に要約し、生物指標である汚濁指数PIとの経年変化の比較を行った。

次に、水質改善による生物環境の改善、主に生物種の多様性の改善を調べるために、主成分分析より多様度指数DIと水質との関係を調査した。

a) 調査地点

神戸市の6河川10地点を対象として分析を行った。分析対象の河川名および地点名を表-4に示す。

b) 調査内容

本研究では、各地点の4年おき4回、計12年間の水質データ¹⁾および生物データを用いた。本章における分析項目を表-5に示す。

(2) 総合水質指標と汚濁指数PIとの関係

a) 主成分分析

分析対象である伊川・水道橋を例に説明する。主成分分析の計算結果より、第2主成分において累積寄与率が80%を超えたため、第2主成分までを採用した。各主成分の性格を決定するために、各主成分の固有ベクトルの散布図を図-1に示す。図-1より、第2主成分軸上でCODやBODなどの有機汚濁の指標に正の高い係数がかかっているため、この地点では第2主成分が有機汚濁の総合指標であると考えた。また、正の係数がかかっていることより、第2主成分の値が大きいほど有機汚濁が高いといえる。そこで、各年度における第2主成分の割合を示す主成分スコアを求め、汚濁指数PIとの経年変化を比較した折れ線グラフを図-2に描いた。比較に際しては、経年変化の傾向のみを比べた。また、同様の方法を用いて描いた有馬川・長尾佐橋の経年変化の折れ線グラフを図-3に示す。

表-4 調査地点

河川名	地点名	
伊川	水道橋	二越橋
明石川	藤原橋	上水源取水口
有馬川	長尾佐橋	
有野川	流末	
淡河川	開通橋	万代橋
志染川	大滝橋	坂本橋

表-5 分析項目

	分析項目
水質	pH、DO、SS、
	NH4-N、NO3-N、NO2-N、P04-P、
	COD、BOD、有機態チッソ、有機態リン
生物	底生生物

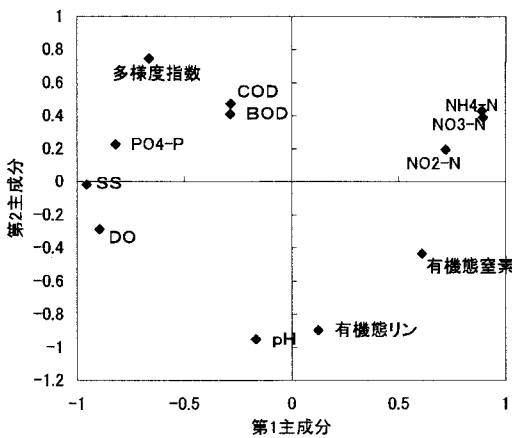


図-1 固有ベクトルの散布図 (伊川・水道橋)

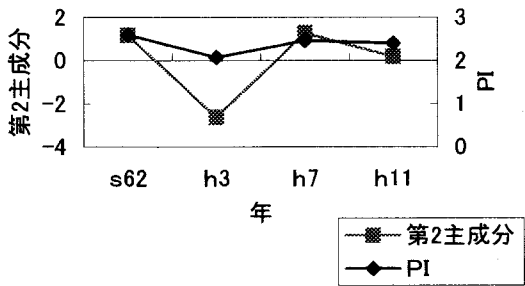


図-2 総合指標と汚濁指数の経年変化の比較 (伊川・水道橋)

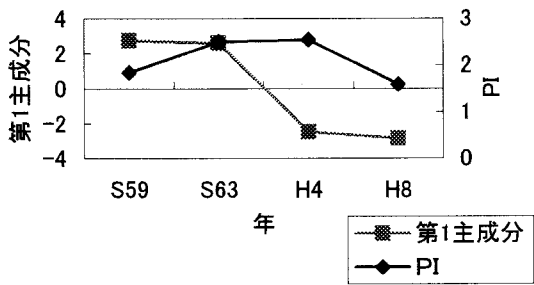


図-3 総合指標と汚濁指数の経年変化 (有馬川・長尾佐橋)

両図より、図-2 では経年変化の傾向は一致し、図-3 では不一致であると判断した。この方法を残りの10 地点に対しても行い、その結果から汚濁指数PI の水質評価の有効性を調べる。

b) 主成分分析の結果

総合水質指標と汚濁指数 PI の経年変化の傾向が一致した地点は10 地点中3 地点のみであった。また傾向が一致しなかった原因を考えるために有機汚濁の指標である COD 値の変動範囲に注目した。その結果を表-6 に示す。表-6 で、○は一致、×は不一致を示す。表-6 より長尾佐橋、坂本橋を除いて、比較結果が一致した地点での COD 値の変動は4~7 と大きく、一致しなかった地点では1 程度と変動が小さかった。この結果より、水質の微少変動では生物種(汚濁指数)は変化せず、大きな変動のみが生物種に変化をもたらすと推測される。

(3) 多様性指数 DI と水質の関係

(2) の a) で用いた主成分分析における固有ベクトルの散布図を用いて、多様性指数 DI と水質の関係を調べた。例として図-4 に明石川・上水源取水口の結果を示す。図-4 より第1主成分において、有機汚濁の水質指標と多様性指数は逆相関を示した(有機汚濁が低いと多様性は高い)。この結果は水道橋、二越橋を除く8 地点で見られた。また、表-6 より多くの地点で COD 値の変動範囲は1 程度と小さいことが見られた。以上より COD 値の変動に関係なく水質の微少変動でも生物種の多様性は変化すると考えられる。

(4) 本章の考察

水質の微少変動では水質階級が移行することはないので、生物種が大きく変化することはない、生物種の多様性のみが変化する。逆に大きな水質変動では、多様性が変化することもあるが、変化後の水質に適応しない生物種も存在するため大きく生物種自体が変化してしまい多様性が変化しない場合もある。また、汚濁指数PI により水質の微少変動を調べるのは難しいと考えられる。

表-6 COD 値と比較結果の関係

地点名	比較結果	COD 値の変動範囲 (最大値と最小値の差)
水道橋	○	13.0~8.9 (4.1)
二越橋	○	12.0~7.8 (4.2)
藤原橋	×	6.6~5.5 (1.1)
上水源取水口	×	5.4~4.1 (1.4)
長尾佐橋	×	5.8~2.1 (3.7)
有野川流末	×	5.7~3.9 (1.8)
開通橋	×	4.1~3.4 (0.7)
万代橋	×	5.7~4.4 (1.3)
大滝橋	○	10.0~2.9 (7.1)
坂本橋	×	7.3~3.7 (3.6)

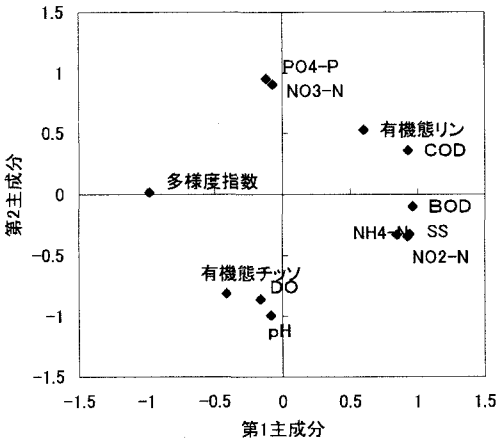


図-4 固有ベクトルの散布図
(明石川・上水源取水口)

5. 土地利用形態と生物環境

土地利用形態は水質を通して間接的に生物種に影響を与えていると考えられる。そこで、生物相から神戸市の河川を区分し、各区分された地域(生物相が類似した地域)から生物種に影響を与える因子を探り、土地利用形態と生物種の間接的な関係を探る。ここでは、生物相の類似性を見るために生物指標の群集類似度 C_λを用い、客観的なグループ分けを行う為にクラスター分析を用いた。

(1) クラスタ分析

神戸市の21河川の30地点（表-7 参照）での生物データ（生物種、各個体数）を用いてCλを求めた。クラスタ分析において、非類似度計算法はユークリッド平方距離、クラスタ結合手法は最短距離法を用いた。クラスタ分析により得られた樹形図を図-5に示す。

表-7 調査地点

水域名	河川名	地点名
北神水系	武庫川	大岩橋
	有馬川	長尾佐橋
	有野川	岡場橋
	八多川	流末
	大沢川	才谷橋
	淡河川	六寸橋
	志染川	開通橋
		万代橋
都市河川水系		大津橋
	住吉川	坂本橋
	都賀川	白鷺堰堤
	生田川	大土神社橋
	字池川	市ヶ原
	天王谷川	的射橋
	島原川	天王谷1.0下流
	妙法寺川	水源池上流
	塩屋谷川	村雨橋
	福田川	第一下畑橋
	山田川	川原橋
西神水系		亀ヶ坪橋
	明石川	合流地点
		陸原橋
		平野橋
		上水源取水口
	榎谷川	寺谷橋
		菅野大橋
		水道橋
	伊川	谷田橋
		二越橋
	鯉川	庄太夫橋

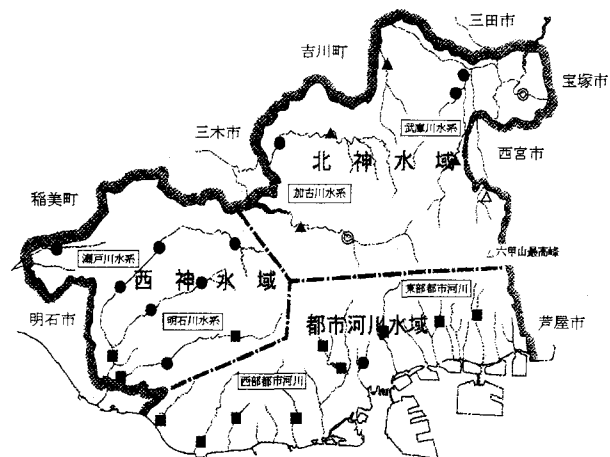


図-6 生物から見た河川のグループ分け

図-5 より大きく5つのグループに区分できると考え、グループごとに神戸市の河川図を図-6に分類した。図-6より各グループと各水域が関係していることが見られる。故に神戸市の河川を北神水域、西神水域、都市河川水域の3つに分け、各水域の土地利用形態をGISより調べ、各水域からの負荷要因を探る。

(2) GIS

本研究では、土地利用方法ごとに色分けされた神戸市の地図を用いて、各水域の土地利用割合を調べた。

GISとは、地理情報システム（Geographic Information System）のことで、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報（緯度・経度や高さ、人口やライフライン、土地利用、産業や観光地等）を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。

(3) 各水域の土地利用割合

各水域からの負荷要因を土地利用割合の比較により判断した。その結果を表-8に示す。表-8より各水域の特徴を他の水域との比較により判断した。

- 北神水域：山林などの自然系の割合が多く、工業系、家庭系の割合が少ない。
- 西神水域：農業系が多く、工業系、家庭系もやや多い。
- 都市河川水域：家庭系、工業系、道路用地が多い。

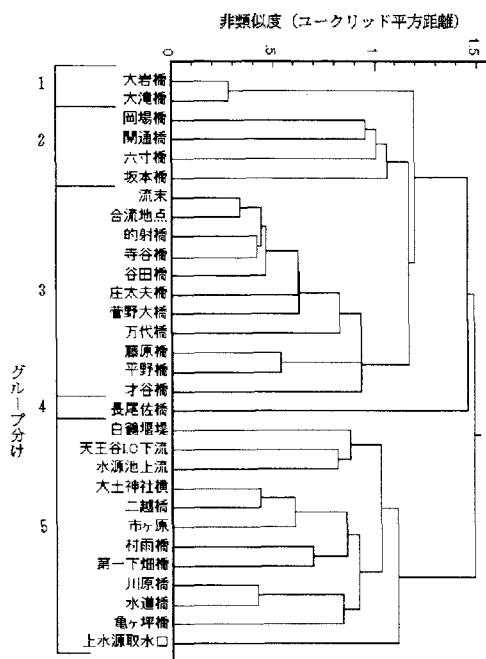


図-5 樹形図

(4) 各水域の水質

各水域の水質（有機汚濁）を底生生物の優先種から判定すると、北神水域がきれい（推定 BOD：2.5ppm 以下）とややきれい（推定 BOD：2.5～5.0ppm）の混合した地域、西神水域がややきれい、都市河川水域がやや汚い（推定 BOD：5～10ppm）という結果を得た。この結果を GIS の結果と照らし合わせると、土地利用形態と生物から推測した水質とは関係があると言え、土地利用形態が水質を通して生物環境に影響を与えていることが推測される。

次に、神戸市の観測した BOD 値と推定 BOD を比較すると、推定 BOD は観測 BOD 値の数倍大きく、神戸市での観測 BOD 値はほとんどの地点で 1 程度であった。また、観測 BOD 値と各水域との関連性は見られなかった。

(5) 本章の考察

生物相の類似性より区分された水域は、水質（BOD）の観測値よりも負荷要因である土地利用形態に依存していた。これは、土地利用形態が水質を通して底生生物と関係していると考えていたが、近年の水質改善に生物相が鋭敏に反応せず、水質と生物の関係が希薄になった為であると考えられる。

表-8 各水域の土地利用割合 単位：（％）

	北神水域	西神水域	都市河川水域
家庭系	4.7	10.5	18.3
工業系	1.4	5.4	9.8
農業系	13.2	25.4	1.1
自然系	70.5	41.6	43.6
道路用地	4.6	6.3	13.2
その他	4.7	10.7	14.0

6. 結論

水質は短期間に微少変化を繰り返すものであり、水質階級が変化する程度の水質変化でない限り、生物種の多様性は変化しても、生物種は大きく変化しない。

次に、土地利用形態と生物種の間を水質も含めて

検討すると、観測された水質と生物種より推測された水質階級は一致せず、土地利用形態から判断される水質改善前の水質と生物種は関係があるように見受けられた。この結果より、水質変化に比べ生物相は変化が遅く、現在の土地利用形態と生物相の関係を見る限り、生物相は緩やかに変化するのではないかと考えられる。現在では水質と生物相の関係はかけ離れているので、どのように生物相が変化するかは今後の課題としたい。

また、生物相、特にカゲ類のように河床材料に付着する種やヒゲ類のように河床材料から巣を形成する種は水質のみに依存するわけではなく、河床の粒径などの要因にも左右されることが考えられる。

なお、今後の研究方針としては、水質などの化学的要因だけでなく、流速や水深などの河川における物理的要因と生物との関係を明らかにしていきたいと考えています。

謝辞：本研究を行うにあたり、資料提供頂いた神戸市の皆様に深く感謝いたします。また、本研究は土木学会関西支部共同研究グループ（代表、大阪市立大 角野昇八）の一部として行われたことを付記します。

参考文献

1) 神戸市環境局：環境水質，S59～H11 年度版
2) 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版，1990.
3) 木下栄蔵：わかりやすい数学モデルによる多変量解析入門，啓学出版，1987.
4) 玉井信行，奥田重俊，中村俊六：河川生態環境評価法，潜在自然概念を軸として，東京大学出版会，2000.
5) 刈屋宏章ら：水生昆虫相から見た河川改修工事後の水環境の評価－岩手県田茂木川を例にして－，環境工学研究論文集，Vol.37，pp.149 - 159，2000.

(2002. 4. 15 受付)