

河川の総合的水質評価と 底生動物相による評価との関係*

小 田 泰 史**・杉 村 継 治**

1. はじめに

河川の水環境の指標として底生動物相を用いる考え方は複雑な水質汚濁の様式と水域の環境を総合的に評価する手段として、また河川の生態系への影響を把握する手段として注目されている。しかしながら、ここで得られる生物学的指数と水質汚濁を同次元で取り扱う場合、その群集組成、優占構成種、および個々の種 (Species) が持つ情報量を理解しておかなければ、しばしば疑問と問題点にぶつかる。この群集を決定する環境因子として河川形態、河床の状態、礫付着物の状態、流速および水質などがある。ここでは、とくに注目されている水質との関係からみた指標性について検討を行う。

熊本県では、1984 年より公共用水域の底生動物相の調査を進めている。現在までに調査を行った菊地川、球磨川、白川の 3 水系、58 地点の調査結果をもとに、主成分分析による手法を用いて、汚水生物体系での種の汚濁階級および河川形態にともなう指標性についても考察を加えて報告する。

2. 調査方法

菊地川、球磨川、白川の 3 水系を 1984 年から 1986 年にかけて、公共用水域水質測定基準点および補助点の 58 地点で調査を行った。調査時期はともに 10 月末から 11 月にかけ約 1 週間で各水系 (各年度) とともに調査を終わらせ、底生動物の採集と水質分析のための採水を同時に行った。

2・1 理化学的水質

理化学的水質については表 1 に示す 10 項目を測定し、pH、DO、BOD、COD、SS、Cl⁻ については工場排水試験方法 (JIS-K 0102)、NH₄-N は海洋観測指針、T-N、T-P は環境庁告示第 140 号にそれぞれ準じて測定した。

2・2 底生動物相

底生動物の採集は、底面積 50 cm × 50 cm の金属製のサーバー・ネット (24 mesh, 0.7 mm-openings) を用い、水深約 20 ~ 40 cm の瀬の石礫底において、1 地点 2 回採集し、約 5 % ホルマリンで固定して持ち帰り、できうる限り種まで同定した。種別に個体数を数えたのち、アルミホイルに包み 80℃ 24 時間乾燥し、重量を測定した¹⁾。

生物学的指数は群集組成での把握に Diversity Index (DI) を Shannon の指数、汚水生物体系での Pollution Index (PI) を Pantle-Buck の方法に準じ、次式を用いてそれぞれ個体数と重量 (dry-mg) について算出した。なおこの PI は多様性の一つと考えることができ、個体数、重量 (dry-mg) の実数を用い、汚濁階級という質的な意味をも与えた値として考える。

$$DI(N) = - \sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

$$DI(W) = - \sum (w_i/W) \log_2 (w_i/W)$$

$$PI(N) = \sum (s_i \cdot n_i)/N, \quad PI(W) = \sum (s_i \cdot w_i)/W$$

ただし n_i, w_i : 個々の種の個体数、重量 (dry · mg)

N, W : 総個体数、総重量 (dry · mg)

s_i : 個々の種の汚濁階級値^{2,3)}

3. 結果及び考察

調査を行った 58 地点においてカゲロウ目 31 種、トビケラ目 33 種、カワゲラ目 10 種、蜻蛉目 6 種、双翅目 13 種、鞘翅目 11 種、広翅目 1 種、甲殻類 4 種、貝類 7 種、ヒル類 5 種、その他 11 種の計 132 種が出現した。

これらの地点における水質 10 項目の基本統計量を表 1 に示す。調査地点が上流から下流までと人間活動

* The Relation between River Water Quality Index and the Evaluation by Benthic Fauna

** Taishi ODA, Tsugiharu SUGIMURA (熊本県衛生公害研究所) Kumamoto Prefectural Institute of Public Health

表1 水質10項目の基本統計量 N=58

	最大値	最小値	平均値	標準偏差	変動係数
水温(℃)	20.4	11.3	15.5	1.93	12.45
pH	8.3	7.4	7.8	0.23	2.96
DO	11.8	6.7	9.8	0.95	9.72
BOD	20.1	0.6	2.1	2.83	136.08
COD	12.1	0.5	2.2	2.08	96.33
SS	93.0	1.0	8.0	16.39	204.46
Cl ⁻	52.8	2.0	10.3	9.72	94.42
NH ₄ -N	3.76	0.01	0.24	0.69	284.38
T-N	6.19	0.05	1.38	1.25	90.23
T-P	1.205	0.014	0.147	0.19	133.58

の影響を受ける地点、受けない地点と幅広いことから、BOD、COD、SS、Cl⁻、NH₄-N、T-N、T-Pの変動係数は約90%～280%と大きい。特に、NH₄-Nが大きいのは都市部に位置する数地点で生活排水等の影響を直接的に受けているためである。このようにNH₄-Nは人間活動の影響を強く評価できる成分であると考えられる⁴⁾。また、SSの変動係数も大きい、これは河川工事の影響を受けた1地点と都市部に位置する2地点で25 mg/lであった。このSSは水質の外観的情報を持つ項目であり、人為的汚濁とは異なる評価と考えられる⁵⁾。しかし、SSが不連続的であっても、その水域の特性であるならば底生動物相に与える影響は決して小さくはない⁶⁾。

水温、pH、DOの変動係数は約3%～12%と小さい。とくにpHは小さく、7.4～8.3の範囲にあり、底

生動物相に影響を与えるものではないと考える。水温は調査時期が晩秋のため、中～上流域ではその日の天候と調査時間に左右された。DOは全般的には上流から下流にかけて減少する傾向を示すが、中・上流域の数地点では約10 mg/l前後で逆の傾向がみられた⁷⁾。

この水質10項目と生物学的指数との相関係数および生物学的指数の基本統計量を表2に示す。DI(N、W)、PI(N、W)および出現種数は水温、pHを除く他の項目と良い相関性を示す。とくに、汚水生物体系でのPI(N、W)とBOD、COD、Cl⁻、NH₄-N、T-N、T-Pとの相関係数は $r = 0.62 \sim 0.83$ と回帰への寄与率はかなり高い結果が得られた。このことからPollution Indexは河川の水質状況をかなり適格に評価できる指数であると考えられる。しかし、生物学的指数が河川の水環境を総合的に評価する指数であるならば、水質の単項目との解析は決して妥当とは考えられない。

そこで、水質を総合的に評価する方法として多くの報告がある主成分分析を用いた^{8,9)}。水質10項目による主成分分析の結果を表3に示す。ここで第1主成分は主にDO、BOD、COD、Cl⁻、NH₄-N、T-N、T-Pの因子負荷量が大きく、その寄与率は約55%と水質汚濁を集約した指標となった。なお、第2、3主成分ではそれぞれSS、pHの因子負荷量が大きい、寄与率が15%、10%と低いため、詳細な解釈は困難である。

以上の結果から第1主成分で因子負荷量が小さく、なおかつ先に述べた理由から水温、pHを除いた8項目を選択し、再度主成分分析を行ってより情報集約度の高い第1主成分(Z₁)を得た結果を表4に示す。こ

表2 生物学的指数の基本統計量及び水質との相関係数 N=58 $\gamma(0.05) = -0.259$

	種数	個体数	重量	DI(N)	DI(W)	PI(N)	PI(W)
水温(℃)	-0.247	-0.245	-0.275	-0.212	-0.195	0.429	0.372
pH	0.308	0.180	0.225	0.314	0.253	-0.327	-0.349
DO	0.359	0.202	0.172	0.366	0.552	-0.522	-0.413
BOD	-0.421	-0.299	-0.272	-0.396	-0.353	0.658	0.623
COD	-0.585	-0.298	-0.359	-0.598	-0.503	0.703	0.641
SS	-0.316	-0.051	-0.124	-0.354	-0.443	0.364	0.236
Cl ⁻	-0.733	-0.437	-0.475	-0.724	-0.533	0.736	0.758
NH ₄ -N	-0.493	-0.317	-0.295	-0.498	-0.473	0.732	0.682
T-N	-0.728	-0.497	-0.538	-0.693	-0.485	0.799	0.831
T-P	-0.644	-0.376	-0.412	-0.642	-0.548	0.776	0.743
Z ₁ スコア	-0.744*	-0.423	-0.424	-0.671	-0.594	0.832	0.784
最大値	42	513	2802	4.44	3.55	3.77	3.84
最小値	3	23	14	0.38	0.18	1.09	1.01
平均値	21.9	668.4	725.5	2.78	2.66	1.90	1.89
標準偏差	10.15	417.2	690.8	0.85	0.65	0.59	0.72
変動係数	46.21	64.13	95.22	30.63	24.71	31.42	38.27

*指数回帰

表3 水質10項目による主成分分析の結果

N=58

	第1主成分		第2主成分		第3主成分	
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量
水温(℃)	0.202	0.474	0.399	0.489	-0.085	-0.087
pH	-0.131	-0.308	0.099	0.122	0.901	0.913
DO	-0.293	-0.688	-0.374	-0.458	0.304	0.309
BOD	0.370	0.867	-0.057	-0.071	0.039	0.093
COD	0.393	0.921	0.178	0.218	0.171	0.173
SS	0.206	0.484	0.554	0.679	0.183	0.185
Cl ⁻	0.373	0.875	-0.142	-0.174	0.054	0.055
NH ₄ -N	0.326	0.764	-0.386	-0.473	0.098	0.099
T-N	0.323	0.758	-0.416	-0.510	0.048	0.048
T-P	0.412	0.967	-0.065	-0.079	0.091	0.092
固有値	5.489		1.501		1.027	
寄与率	0.549		0.150		0.102	

表4 水質8項目による主成分分析の結果

	Z ₁ 固有ベクトル	Z ₁ 因子負荷量	BOD	COD	SS	Cl ⁻	NH ₄ -N	T-N	T-P
DO	-0.289	-0.661	-0.561	-0.652	-0.532	-0.497	-0.349	-0.204	-0.586
BOD	0.379	0.867		0.808	0.214	0.733	0.662	0.559	0.856
COD	0.404	0.942			0.655	0.749	0.597	0.575	0.898
SS	0.208	0.477				0.332	0.074	0.135	0.424
Cl ⁻	0.388	0.886					0.633	0.767	0.854
NH ₄ -N	0.344	0.787						0.805	0.766
T-N	0.338	0.773	n=58 γ(0.05)=0.259						0.753
T-P	0.426	0.973							
固有値	5.219								
寄与率	0.652								

$$Z_1 = -0.289X_1 + 0.397X_2 + 0.404X_3 + 0.208X_4 + 0.388X_5 + 0.344X_6 + 0.338X_7 + 0.426X_8$$

$$X_1 = (DO - 9.8) / 0.951, \quad X_2 = (BOD - 2.1) / 2.834, \quad X_3 = (COD - 2.2) / 2.086, \quad X_4 = (SS - 8.0) / 16.392,$$

$$X_5 = (Cl^- - 10.3) / 9.725, \quad X_6 = (NH_4-N - 0.24) / 0.692, \quad X_7 = (T-N - 1.38) / 1.252, \quad X_8 = (T-P - 0.147) / 0.195$$

こで得られる Z₁ スコアを各地点の水質とし、生物学的指数との解析を進める。

3・1 河川形態と生物学的指数との関係

調査した季節と採集時間の問題から水温を解析のための因子として取り扱わなかったが、水生生物からみて水温は水質汚濁の因子としてよりも“すみわけ”のための生理的因子としての意味合いが強いものと考ええる。この“すみわけ”は魚類のヤマメ、イワナなどと同様に底生動物についても考えられることであり、上流に出現する種が水質だけではなく、河川形態を指標している可能性があり、生物(種)の流程分布による差異は汚濁と切り離して考える必要がある。

しかし、図1に示す水質(Z₁)と河川形態との関係をみてもわかるように、当然下流域になるほど人間活動の影響が大きくなり水質汚濁が進んでいる。このこ

とから河川形態₁₀という質的なものを主観で判断する手段では個々の生物の流程分布による差異を確認することは困難である¹¹⁾。だが、河川形態(KE)のそれぞれに A_a = 1, A_a - B_b = 2, B_b = 3, B_b - B_c = 4, B_c

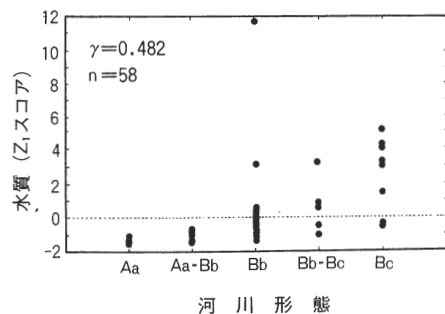


図1 各地点の水質(Z₁)と河川形態との関係

= 5 をあてはめ数値化し¹¹⁾、水質 10 項目を含めた 11 要素を環境因子とし、各生物学的指数を目的変数として変数増減法による重回帰分析を行い ($n = 58$)、内容的にも関係のある説明因子(環境因子)を選択した。その結果、得られた回帰式と重相関係数 (R)、 F 検定(分散比)を下記に示す。

$$\text{種数}(S) = 40.35 - 0.364 (\text{Cl}^-) - 1.88 (\text{T-N}) - 3.83 (\text{KE})$$

$$R = 0.839$$

$$F(3, 54) = 8.57 < F = 42.79$$

$$DI(N) = 4.381 - 0.043 (\text{Cl}^-) - 0.369 (\text{KE})$$

$$R = 0.819$$

$$F(2, 55) = 19.5 < F = 56.26$$

$$DI(W) = 1.063 + 0.23 (\text{DO}) + 0.106 (\text{COD}) - 0.015 (\text{SS}) - 0.388 (\text{NH}_4\text{-N}) - 0.213 (\text{KE})$$

$$R = 0.745$$

$$F(5, 52) = 4.43 < F = 12.98$$

$$PI(N) = 1.197 + 0.065 (\text{Tw}) - 0.116 (\text{DO}) + 0.205 (\text{NH}_4\text{-N}) - 0.172 (\text{T-N}) + 0.169 (\text{KE})$$

$$R = 0.923$$

$$F(5, 52) = 4.43 < F = 59.39$$

$$PI(W) = -0.401 + 0.058 (\text{Tw}) + 0.053 (\text{BOD}) + 0.256 (\text{T-N}) + 0.295 (\text{KE})$$

$$R = 0.935$$

$$F(4, 53) = 5.69 < F = 91.68$$

以上の結果、各重回帰式は十分有効であり、河川形態 (KE) が各生物学的指数の共通の説明因子となり、底生動物の群集を決定する重要な因子の 1 つであると考える。したがって、図 2 に示す河川形態と生物学的指数とは相関性がみられ、とくに $DI(N)$ 値はより上流域で高くなる傾向を示す。

3・2 水質 (Z_1) と生物学的指数との関係

調査した 58 地点の水質 (Z_1 スコア) と生物学的指数との関係は図 3 に示すように、各指数とも水質 (Z_1) と $\gamma = 0.59$ 以上の相関性が認められた。生物学的指数は調査において、川の単位形態 (1 蛇行区間内の瀬、淵) のどこで採集したか¹⁰⁾、採集器具と網目¹²⁾、単位採集面積と繰り返しの回数^{13, 14)}およびソーティングの誤差と同定能力などの規定と制約を受ける。だが、これらの諸条件をできるだけ一定にすることにより、図 3 に示すように $DI(N)$ 、 $PI(N, W)$ 値は水質 (Z_1) の変化をよくとらえた結果が得られる。

なお、図 1, 2, 3 の結果から $DI(N)$ 値のピークはより上流の汚濁の少ない水域にあると考えられる⁷⁾。また、 $PI(N, W)$ 値もより上流域の汚濁の少ない水域において、その値は小さく、より汚濁している水域において、より大きな値を示す。このことは PI 値の計算に用いている汚濁階級値 (s) がほぼ適格な値を与えているものと考ええる。

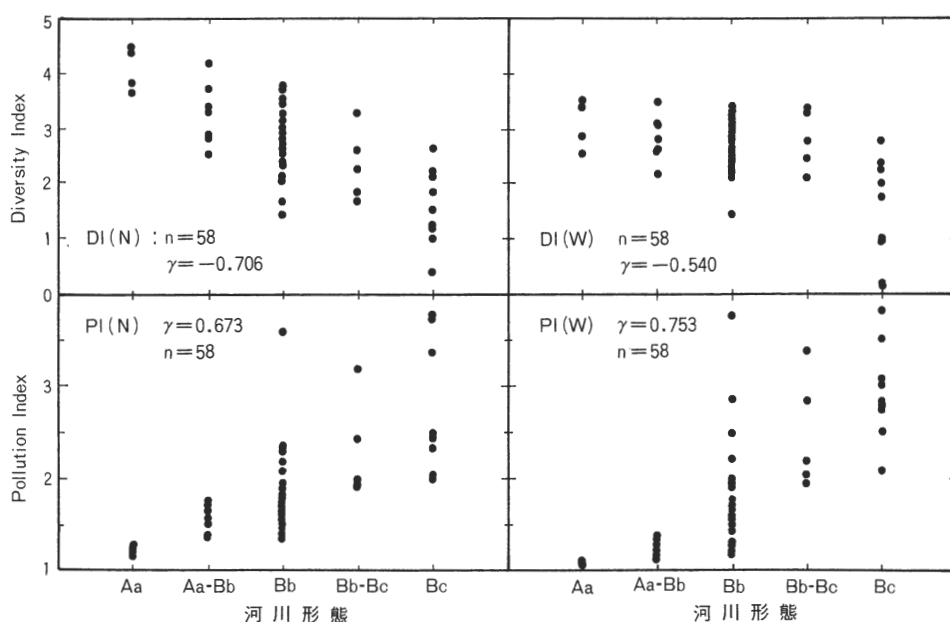


図2 各地点の Diversity Index 及び Pollution Index と河川形態との関係

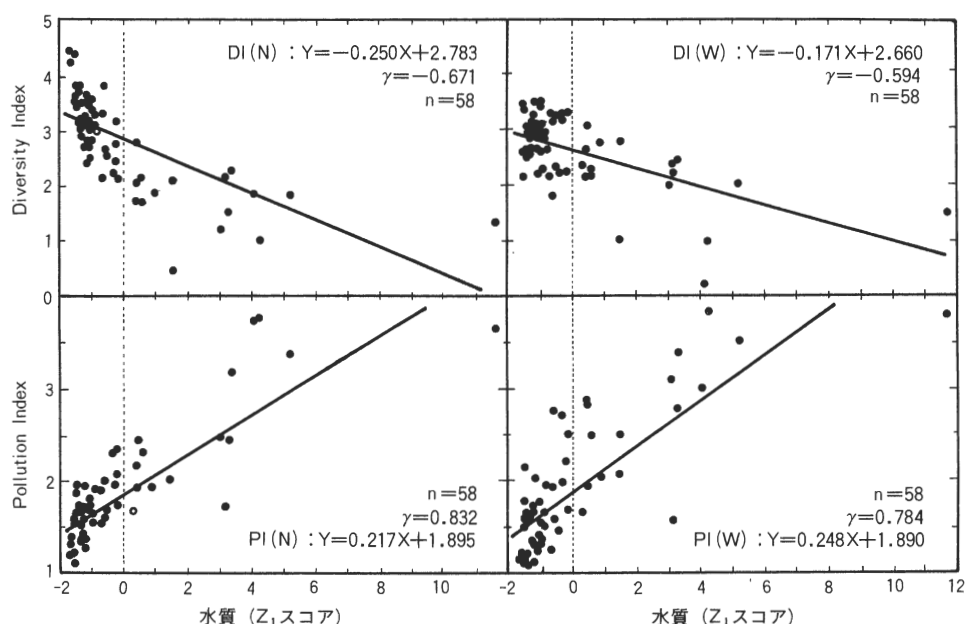


図3 各地点の水質 (Z_i) と Diversity Index 及び Pollution Index との関係

しかし、図3において対角線から離れた点がある。 DI 値についてみるならば、とくに $DI (W)$ で群集組成の複雑さを表現しただけでは河川の水質 (Z_i) を評価し得ない場合があり、経験的に河床の安定しない水域では底生動物の生産力 (総個体数, 総重量) が小さく、コカゲロウ (*Baetis spp.*) またはユスリカ (*Chironomidae*) の占める割合が大きくなる場合がある。また、洪水などによって破壊された河床が安定するまでは、底生動物も遷移状況にあり、その河床状況に合った種が優占的に出現する場合がある⁹⁾。

一方、 PI 値についてみるならば、個々の生物 (種) に与えられた汚濁階級値 (s) が水質 (Z_i) に不適格な見積りの部分があると考え。このため、たびたび汚水生物学的水質評価に対し疑問に思ふ水域がある。このことは当然なことであり、その水域の生息環境の中で底質、河床礫の状態、流速などの影響が強く表現される場合と水質 (汚濁) が強く表現される場合があるためである。ともあれ、図3に示すように $PI (N, W)$ が水質 (Z_i) とそれぞれ $\gamma = 0.83$, $\gamma = 0.78$ とよい相関性を示すことから、水質汚濁が強く表現されている水域の評価値には大きな誤りはないと考える。

3・3 底生動物相による水環境評価

汚水生物学の指数を用いて河川の水質評価を行う場合、個々の生物がもつ水質に対する情報は、一般的に汚濁階級値 (s) で表現され広く用いられている。この値は津田、森下^{15, 16)}が、Liebmann, Sramek-Husek

にならって作製したもので、日本の種類については近似の種類は近似の生態学的要求をもつものとして経験的に利用し、また再検討もされている³⁾。しかし、より適切な情報量としての調査研究は必要である。

そこで、この調査で出現した生物 (種) のうち比較的出现頻度の高かった種、また汚水生物学的に重要と思われる主な出現種 (68種) について出現時の水質 (平均値) を用いて主成分分析を行った結果を表5に示す。なお汚水生物学的に問題がないと考えられるカワゲラ類、ナガレトビケラ類はそれぞれ10種、7種が出現したがカワゲラ目 (Plecoptera), ナガレトビケラ科 (Rhyacophilidae) としてまとめ計算に用いた。この表5の結果から出現種の水質 (Z_i スコア) に対する順位を表6に示す。この主成分分析はデータの質と量に左右されるため、ここで示した水質の評価値 (Z_i スコア) は試算であり、データの蓄積が必要である。ただし地理的要因の大きな水域では汚水生物学的な評価はほとんど意味をもたない場合があるので¹⁷⁾、そのデータの質を十分検討して用いる必要がある。

この68種のそれぞれが出現した時の DI , PI 値の平均値と Z_i スコアとの関係を図4に示す。ここでプロットしている点の X 軸に対する位置は左から順に、表6で示した生物の Z_i スコアの順位である。 $PI (N, W)$ をみると $\gamma = 0.9$ 以上と回帰への寄与率は大変高い結果が得られた。このことは、より清潔な水域に生息する種が出現すると、より PI 値は小さくなること

表5 主な出現種(68種)の出現時の水質(平均値)による主成分分析の結果

	Z ₁ S固有 ベクトル	Z ₁ S因子 負 荷 量	BOD	COD	相 関 SS	行 列 C1 ⁻	NH ₄ -N	T-N	T-P	平均値	標準偏差
CO	-0.296	-0.756	-0.780	-0.684	-0.421	-0.661	-0.776	-0.408	-0.731	9.9	0.393
BOD	0.372	0.948		0.904	0.429	0.914	0.963	0.798	0.949	1.7	1.477
COD	0.384	0.982			0.736	0.945	0.916	0.880	0.972	1.7	1.009
SS	0.257	0.655				0.608	0.475	0.551	0.626	5.5	4.545
C1 ⁻	0.381	0.971					0.915	0.919	0.962	7.1	4.866
NH ₄ -N	0.347	0.962						0.842	0.957	0.11	0.257
T-N	0.377	0.885	n=68						0.888	0.96	0.603
T-P	0.389	0.992	γ (0.05) = 0.239							0.095	0.094
固有値		6.504									
寄与率		0.813									

$$Z_1S = -0.296X_1 + 0.372X_2 + 0.384X_3 + 0.257X_4 + 0.381X_5 + 0.377X_6 + 0.347X_7 + 0.389X_8$$

$$X_1 = (DC - 9.9) / 0.393, \quad X_2 = (BOD - 1.7) / 1.477, \quad X_3 = (COD - 1.7) / 1.009, \quad X_4 = (SS - 5.5) / 4.545,$$

$$X_5 = (C1^- - 7.1) / 4.866, \quad X_6 = (NH_4-N - 0.11) / 0.257, \quad X_7 = (T-N - 0.96) / 0.603, \quad X_8 = (T-P - 0.095) / 0.094$$

表6 主な出現種の水質(Z₁Sスコア)の順位

N=58

No. 種	名	(n)	Z ₁ Sスコア	No. 種	名	(n)	Z ₁ Sスコア
1.	マルツツトビケラ属	4	-1.821	35.	D A ミヤマシマトビケラ	14	-0.794
2.	E D ガガンボ	4	-1.782	36.	ウスバヒメガガンボ	38	-0.779
3.	D A カワトビケラ	4	-1.593	37.	C A ヒメカゲロウ	7	-0.751
4.	カワゲラ目	9	-1.554	38.	シマイシビル	6	-0.670
5.	チェルノバマダラカゲロウ	9	-1.532	39.	S B アシナガドROMシ	14	-0.654
6.	チャバネヒゲナガカワトビケラ	12	-1.506	40.	ヘビトンボ	24	-0.597
7.	ヒゲナガカワトビケラ	16	-1.477	41.	マスダドROMシ	23	-0.577
8.	チラカゲロウ	18	-1.457	42.	エルモンヒラタカゲロウ	36	-0.563
9.	カワトビケラ科	10	-1.409	43.	ウルマーシマトビケラ	38	-0.391
10.	クシゲマダラカゲロウ	21	-1.385	44.	エラブタマダラカゲロウ	17	-0.377
11.	E E アシナガドROMシ	4	-1.352	45.	シロタニガワカゲロウ	37	-0.362
12.	ウエノヒラタカゲロウ	11	-1.333	46.	S C アシナガドROMシ	31	-0.303
13.	モンカゲロウ	12	-1.329	47.	フタバコカゲロウ	36	-0.264
14.	クロタニガワカゲロウ	19	-1.324	48.	コカゲロウ属	50	-0.180
15.	ナガレトビケラ科	9	-1.313	49.	マネビル	7	-0.130
16.	P B クダトビケラ	9	-1.298	50.	ツノマダラカゲロウ	11	-0.091
17.	H B シマトビケラ	11	-1.276	51.	キブネタニガワカゲロウ	24	-0.075
18.	キイロカワカゲロウ	21	-1.209	52.	ブユ属	35	-0.007
19.	シロフツヤトビケラ属	10	-1.207	53.	シジミ類	13	0.191
20.	E B ガガンボ	3	-1.206	54.	H E シマトビケラ	10	0.213
21.	オオクマダラカゲロウ	3	-1.176	55.	コガタシマトビケラ	49	0.318
22.	ニッポンヨコエビ	8	-1.164	56.	H B ナガドROMシ	5	0.760
23.	ヤマトビケラ属	14	-1.160	57.	ギフシマトビケラ	8	0.959
24.	ヒラタドROMシ	33	-1.140	58.	ナカハラシマトビケラ	7	1.279
25.	カウニナ	10	-1.139	59.	ユスリカ科	58	1.443
26.	クロマダラカゲロウ	31	-1.127	60.	ミズムシ	26	1.841
27.	ヒメトビイロカゲロウ	19	-1.048	61.	クロモンキジアブ	4	1.857
28.	サワガニ	5	-1.029	62.	ハバヒロビル	14	2.613
29.	オオシマトビケラ	4	-0.996	63.	サホコカゲロウ	23	2.761
30.	E D アシナガドROMシ	3	-0.961	64.	ミミズ類	36	3.106
31.	クシゲマルヒラタドROMシ	7	-0.948	65.	ビロウドイシビル	22	3.323
32.	ウズムシ属	26	-0.850	66.	エラミミズ	2	5.285
33.	ムスジモンカゲロウ	11	-0.847	67.	アカムシユスリカ類	10	10.002
34.	アカマダラカゲロウ	24	-0.819	68.	チョウバエ科	3	14.378

を示すものである。なお、 $PI(W)$ の場合その回帰式の傾きと接点から $PI(N)$ に比べ、より評価が明確に示される場合が多いと考える。すなわち、大型のカワゲラ類、ヘビトンボ類などが出現した場合、一般的に

は個体数で優占的に出現する場合は少ないが、重量では優占構成種となる場合が多い。また逆の意味でシマイシビルなどの出現は同様なことである。したがって、この調査のように58地点中42地点が平均水質

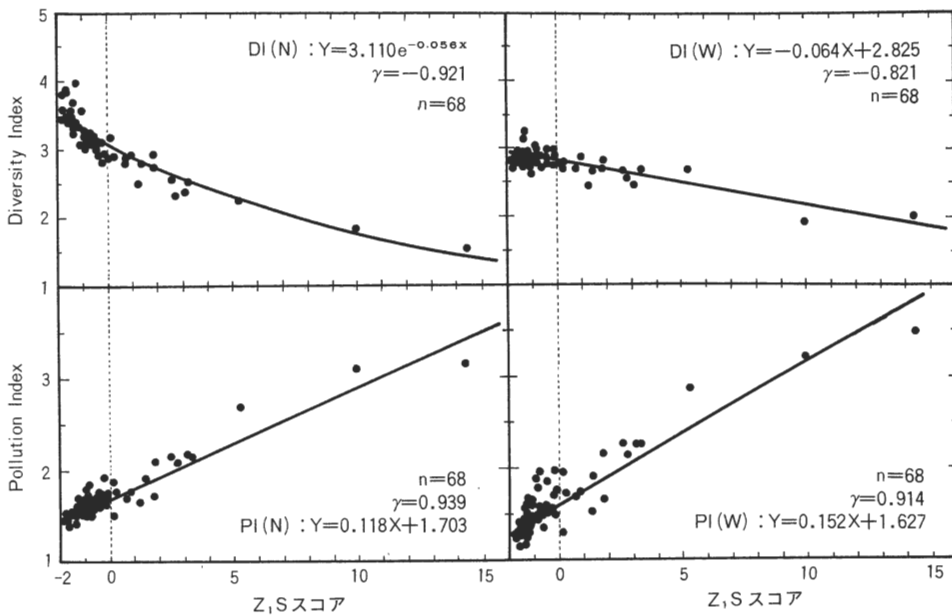


図4 主な出現種 (68種) の Z_1 S スコアと Diversity Index 及び Pollution Index との関係

($Z_1 = 0$) 以下である場合, Pollution Index を用いて各地点を相対的に評価するならば, 群集の密度調節, 食物連鎖なども考え合わせると $PI(W)$ の値を重要視すべきである。

つぎに $DI(N)$ をみると指数関数で $\gamma = -0.921$ と回帰への寄与率が大変高い結果が得られた。このことは, より清冽な水域に生息する種が出現する場合, その水域の群集組成はより多様性があることを示すものである。したがって, 先に述べたように $DI(N)$ 値のピークはより汚濁の少ない水域にあると考える。一方, $DI(W)$ は $\gamma = -0.821$ と回帰への寄与率が高いが, これらの値は約 2.0 ~ 3.0 と $DI(N)$ 値に比べ変動の幅も小さく, 回帰式の傾きも小さい。このことは, ある水域において, より清冽な水域に生息する種が出現しても $DI(W)$ 値は大きくならない場合があり, 水質以外の生息条件を示唆しているものと考えられる。なぜならば, ヒゲナガカワトビゲラ類, シマトビゲラ類のような造網型昆虫が重量で優占種となる場合¹⁸⁾, $DI(W)$ 値は小さくなることが多い¹⁹⁾。

このヒゲナガカワトビゲラ類は比較的上流域の浮き石状態にある河床に好んで生息し, シマトビゲラ類は中・下流域の沈み石の河床でも生息できるものが多く優占的に出現する場合がある。また, 小型ではあるがユスリカ類が重量でも優占種になる場合, その河床は不安定か, あるいは沈み石の状態で礫付着物が多い。この様な時 $DI(W)$ 値は比較的均一性があるか, または小さい値を示す。したがって, 重量での優占構成種

を把握することにより, 水質以外の生息条件の一端を知ることができるものと考えられる。

なお, $DI(N, W)$ と優占構成種数との関係を図5に示す。累乗回帰でそれぞれ $\gamma = 0.86$, $\gamma = 0.67$ と回帰への寄与率が高い結果が得られた。また, 優占種は環境条件に対してリアクションも大きいと考えられることから, 群集のもつ情報の大部分は優占構成種に集約されているものと考えられる。この優占構成種の判定は Yeates の多指標分析を大沢ら²⁰⁾に準じ, 2 種優占ならば 50% ずつ, 他の種は 0% ずつという仮想値と比較してその分散を次式を用いて求め, 最小の分散を示す理論値を採用しその時の上位の優占種で決定する。

$$[\text{多指数分析}] \quad \sigma^2 = \sum d^2 / N = \sum (x_i - X) / N$$

ただし x_i : 優占種の相対優占度 (%)

X : 仮想値

N : 総個体数または総重量 (dry · mg)

4. ま と め

熊本県では 1984 年より公共用水域の底生動物相の調査を行っている。現在までに調査した菊地川, 白川, 球磨川の 3 水系 58 地点において 131 種の底生動物が出現した。この結果をもとに, 理化学的水質結果に主成分分析を適用して総合的な水質評価を行い, その結果と底生動物相による生物学的評価との関係を検討し, 以下の結果を得た。

1) 水質 8 項目 (DO, BOD, COD, SS, Cl^- , NH_4^+

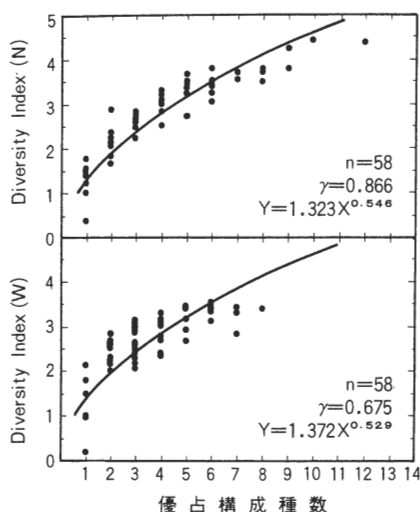


図5 Diversity Index (N, W) と優占構成種数の関係

N, T-N, T-P) を用いて主成分分析を行った結果, 第1主成分 (Z_1) は水質汚濁を集約した指標となった。

- 2) 生物学的指数の DI , PI 値は河川形態および水質 (Z_1) と良い相関性を示し, $DI(N)$ 値のピークはより上流の汚濁の少ない水域にある。 $PI(N, W)$ 値は水質 (Z_1) の変化をよくとらえている。
- 3) 汚濁階級値 (s) の検討を行うため, 主な出現種 (68種) の出現時の水質 (平均値) を用いて主成分分析を行い, 水質に対する評価値 (Z_1S スコア) の順位を決定して表6に示した。
- 4) 主な出現時の DI , PI 値の平均値と Z_1S スコアとの関係から, より清冽な水域に生息する種が出現する場合, その水域の多様度 $DI(N)$ 値はより大きくなり, $PI(N, W)$ 値はより小さくなる。 DI 値, とくに $DI(W)$ 値は水質以外の生息条件を示唆することが考えられる。
- 5) 多指標分析法を用いて判定した優占構成種数と $DI(N, W)$ との関係から, 群集の持つ情報の大部分は優占構成種に集約されていると考えられる。

このようなことから, 底生動物相を用いて河川の水環境評価を行う場合, まず群集組成 (DI 値) と生産力 (個体数, 重量) をみる必要がある。次に, その群集の優占構成種がどのような情報を持っているかを検討してから, 汚水生物体系における PI 値での評価を考察する必要がある。

謝 辞

この調査を企画し, ご協力いただいた熊本県公害規制課の皆様, 当所の水質部の皆様および統計処理にあたって, 多大のご教示をいただいた当所の塘岡壤主任技師に感謝いたします。

一引用文献一

- 1) 福嶋 悟, 田中正明, 渡辺 直, 小田泰史: 水質管理計画調査報告書 (水生生物相調査法検討), (財)日本の水をきれいにする会, p. 21-30 (昭和56年3月)
- 2) 福嶋 悟, 田中正明, 渡辺 直, 小田泰史: 水生生物相調査解析結果報告書, (財)日本の水をきれいにする会, p. 15-23 (昭和55年3月)
- 3) 御勢久右衛門: 自然水域における肉眼的底生動物の環境指標性について, 「環境科学」研究報告集, p. 9-16, 1982
- 4) 宝月欣次: 都市及び周辺地域における自然環境保全計画に関する基礎研究 (昭和50年度環境庁委託研究) p. 124-144
- 5) 藤本千鶴, 広崎昭太: 千葉県内河川水質の総合水質指標による経年変化の評価, 水質汚濁研究 Vol. 9, No. 11, p. 724-731, 1986
- 6) 中島重旗, 小田泰史, 松並裕子: 河床礫の状態と底生動物相指標の相関, 陸水学雑誌, Vol. 45, No. 3, p. 220-230, 1984
- 7) 小田泰史: 環境指標生物としての水生昆虫群集 (水域における生物指標の問題点と未来), 国立公害研究所シンポジウム, p. 61-67, 1986
- 8) 岡 敬一, 吉見 洋, 井口 潔, 小林廣子: 総合水質指標による神奈川県内河川水質の解析, 水質汚濁研究, Vol. 6, No. 6, p. 401-403, 1983
- 9) 結城多門: 総合水質指標の利用からみた愛知県下の河川水質の変化, 用水と廃水, Vol. 27, No. 3, p. 253-258, 1985
- 10) 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 東京, 1973
- 11) 小田泰史, 杉村継治, 塘岡 壤: 河川形態に伴う底生動物の群集組成, 第51回日本陸水学会講演要旨集, p. 69, 1986
- 12) 渡辺 直: 河川における底生動物採集方法の検討, 陸水学報, No. 1, p. 2-16, 1980
- 13) 信夫つや子: 水生昆虫の定量採集における最小面積, 奈良陸水学報, p. 13-15, 1968
- 14) 渡辺 直, 原田三郎: ちりとり型金網による河川底生動物採集上の問題点, 陸水学雑誌, Vol. 37, No. 2, p. 47-58, 1976
- 15) 津田松苗: 汚水生物学, pp. 258, 北隆館, 東京, 1976
- 16) 津田松苗, 森下郁子: 生物による水質調査法, pp. 238, 山海堂, 東京, 1974
- 17) 中島重旗, 松並裕子, 小田泰史: 多変量解析法による阿蘇火山流域河川の汚濁評価, 水質汚濁研究, Vol. 10, No. 2, p. 105-114, 1987
- 18) 津田松苗: 川の底棲動物の現存量をめぐる諸問題, 特に造網型昆虫の重要性について, 陸水学雑誌, Vol. 20, p. 86-92, 1959
- 19) 小松 典: 溪流の瀬における極相の底生動物群集の季節変動および年次変動, 陸水学雑誌, Vol. 25, No. 3, p. 160-172, 1975
- 20) 大沢雅彦, 鈴木三男, 渡辺隆一, 入倉清次, 阿部葉子: 富士山総合学術報告書, 富士急行株式会社, p. 371-421, 1971