

底生動物相による河川水質評価の基礎的研究(6)

—生物指標の比較検討の試み—

Fundamental Studies on Evaluation of Water Quality using Biological Indicators(6)

— An Attempt to the Comparative Investigation of Biological Indicators —

白井 康子 小山 健 増井 武彦
Yasuko SHIRAI Tsuyoshi KOYAMA Takehiko MASUI

As an evaluation of river water quality using biological indicators in bottom water of rivers, a lot of researches have been done for the way to generally evaluate the effect of environmental change near rivers. In Kagawa prefecture, the continuous examination based on the evaluation method which made out of the Environment Agency in 1992 had been done in the period between April 1992 and March 1997. And this time, the total of 127 results on 31 points at 13 rivers were statistically analyzed.

As a result, the method which is used for the continuous evaluation is useful enough for the research at rivers in Kagawa prefecture even if it still has a couple of problems to work with.

はじめに

底生動物を用いた河川の水質評価については、わが国においても従来より様々な方法が試みられているが、現在のところ標準化された調査手法はない。しかしながら、生物を指標に用いることで環境を総合的に評価しうること、また、環境教育の場に活用したとき参加者の関心を引きやすいことなどから、生物を用いた調査手法に対する期待は大きい。

このようなことから、環境庁水質保全局では現在イギリスで標準的に用いられているBiological Monitoring Working Party (BMWP) によるスコア法 (1976, 英

環境省) を参考として、平成4年3月「大型底生動物による河川水域水質評価のための調査マニュアル(案)」¹⁾

(以下「マニュアル(案)」, また、マニュアル(案)によるスコア値を「環境庁案」という) を作成した。

この方法は、主として瀬で底生生活をする無脊椎動物を対象とし、出現科について各科毎に与えられたスコアを平均 (ASPT値, Average Score per Taxon) することで河川水質を評価しようとするものである。本法は科のレベルで出現の有無のみを問うもので定量的な評価をしないため、調査方法、評価方法ともに従来法に比べ簡便な方法となっている。

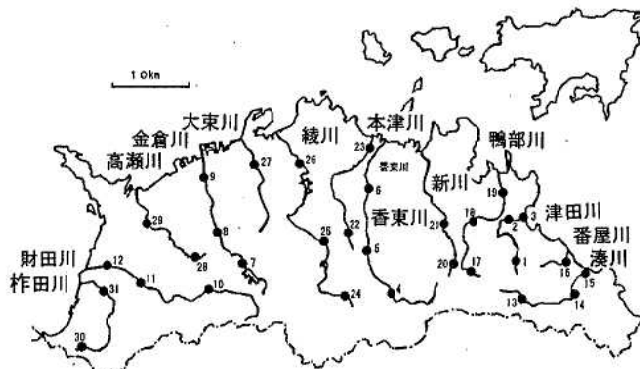


図1 調査地点図

調査方法

その後、全国公害研協議会環境生物部会において平成4年度からの3カ年で実施され、当センターも参加した共同研究で新しいスコアの提案²⁾（以下「全公研案」という）が行われたり、「衛生試験法」の生物調査の部分にマニュアル（案）に基づく調査手法が記載されるなど、この調査手法に対する認知度が高まりつつある。

本県においても、平成4年度からの共同研究に参加した後、平成9年度までの6年間にわたり調査を継続してきた。^{3) 4) 5) 6)}

本報では、6ヶ年にわたった調査を総括し、本県におけるこの調査手法の適用の可能性について再検討したので報告する。

1. 調査方法

マニュアル(案)に基づき実施された一連の調査のデータについて、水質に関しては、吉見⁷⁾の手法に従い主成分分析を用いて、WQI(Water Quality Index)を算出した。また、生物に関しては、算出されたWQIを基に本県のスコア値の試算を行い、環境庁案等との比較を行った。

なお、マニュアル(案)でも同様に、吉見らの方法により算出したWQIに基づきスコア値を設定している。

表1 調査結果の概要

年度	河川名	指定延長 (km)	地 点 名		環境庁案によるASPT値(多様性指数DI)						出 現 種 数	出現個体総数
					秋	冬	春	夏	秋	冬		
平成4年	津田川	14.4	上流	1. 鮎尾橋	6.4(3.48)	3.2(3.05)	6.1(6.54)	6.1(3.54)			24~26	481~1062
			中流	2. 寺尾橋	5.3(1.47)	5.6(2.10)	5.7(2.66)	5.1(3.15)			12~20	262~2976
			下流	3. 河口潮止	5.5(2.01)	5.8(2.08)	4.9(2.92)	5.3(2.94)			14~18	456~3002
5年	香東川	33.0	上流	4. 後川橋	6.4(2.56)	6.6(3.64)	5.9(2.99)	6.0(3.68)			19~28	143~1561
			中流	5. 岩崎橋	5.9(3.02)	5.6(2.77)	5.7(2.57)	5.5(3.06)			15~20	439~1120
			下流	6. 成合橋	5.4(2.61)	5.6(2.73)	5.3(2.96)	5.3(2.29)			12~22	156~1502
平成5年	金倉川	20.5	上流	7. 池下橋	6.1(3.01)	5.8(3.33)	5.8(2.25)	5.8(2.20)	5.7(3.28)		20~25	726~2228
			中流	8. 象郷橋	5.1(1.89)	4.7(1.89)	3.3(0.65)	3.9(0.68)	5.0(2.33)		8~16	645~14594
			下流	9. 水門橋	5.4(1.53)	5.1(1.73)	3.7(1.96)	-	3.9(2.09)		9~18	1700~5927
6年	財田川	32.5	上流	10. 黒川橋	5.8(1.81)	6.3(3.16)	5.8(3.00)	5.3(2.70)	5.8(1.67)		10~32	507~1976
			中流	11. 祇園橋	5.5(2.67)	5.2(2.43)	4.1(2.39)	4.7(2.41)	4.6(2.46)		13~17	409~2232
			下流	12. 稲積橋	4.9(1.78)	5.3(2.30)	3.6(1.66)	3.4(0.66)	4.0(1.41)		7~16	1106~6075
平成7年	湊川	18.0	上流	13. 五名ダム下			6.6(3.50)	6.6(3.97)	6.6(3.95)	6.8(4.33)	27~39	597~1570
			中流	14. 藤井橋			5.4(1.57)	6.9(2.37)	6.1(3.20)	-	14~18	543~1597
			下流	15. 湊大橋			4.8(3.04)	5.4(2.47)	5.0(1.93)	-	12~17	469~1272
7年	番屋川	4.6	下流	16. 一本松橋			3.4(1.48)	2.2(1.49)	3.6(1.25)	2.1(1.02)	4~5	510~2276
			上流	17. 来栖橋			6.7(3.77)	6.4(2.80)	6.7(2.93)	7.0(3.54)	24~31	742~2653
			中流	18. 広瀬橋			3.1(1.54)	3.7(1.71)	3.0(1.86)	7.0(3.54)	7~9	849~5228
8年	鴨部川	22.2	下流	19. 鴨部川橋			4.3(1.73)	4.6(1.71)	5.0(1.68)	3.5(1.07)	5~10	488~5004
			上流	20. 鹿庭			5.8(0.88)	5.8(1.81)	6.6(3.03)	6.7(2.63)	15~30	277~3844
			中流	21. 住吉橋			2.9(2.16)	4.5(2.18)	3.8(2.05)	4.0(0.48)	3~11	51~1087
平成8年	本津川	21.4	上流	22. 大坪川合流点			4.9(2.32)	5.4(3.04)	5.3(2.21)	5.6(2.00)	11~16	387~3058
			下流	23. 香西			3.4(1.34)	3.8(2.59)	3.9(2.23)	3.4(1.51)	7~8	432~3112
			上流	24. 柏原溪谷			6.6(3.86)	6.5(3.43)	7.1(3.80)	7.1(3.91)	22~31	417~2136
9年	綾川	38.2	中流	25. 新山田橋			4.9(3.16)	5.8(2.97)	5.7(3.06)	5.7(2.96)	19~25	583~2673
			下流	26. 綾川橋			3.8(1.90)	4.8(2.34)	4.9(1.79)	4.7(1.49)	10~16	1113~4999
			中流	27. 津之郷橋上			2.4(1.68)	3.6(1.68)	3.4(1.77)	3.9(1.80)	5~11	100~1815
平成9年	高瀬川	15.4	上流	28. 産直市横			4.3(1.95)	4.8(2.24)	5.7(2.38)	4.9(1.69)	8~16	447~1176
			中流	29. 高瀬川橋下			2.7(1.28)	3.2(1.72)	4.3(0.90)	3.4(0.27)	3~7	98~1098
			上流	30. 砂防ダム下			6.3(3.06)	6.2(3.60)	6.4(3.48)	6.7(3.02)	18~25	192~2439
9年	柞田川	16.0	中流	31. 柞田川橋下			5.1(1.92)	4.7(1.32)	4.1(1.85)	4.0(1.80)	8~15	737~20823

結果及び考察

しかしながら、生物は周辺環境の様々な影響を受けており、水質のみに規定されるものではないが、今回は連続量として記録された水質データのみを取り扱い、その他のデータについては解析及び評価が困難であることから検討対象としなかった。

なお、護岸の有無等の離散量データの評価については共同研究の報告に詳しい。²⁾

2. これまでの調査結果の概要

マニュアル(案)に基づき6年にわたり実施された13河川31地点延べ127回の調査地点及び調査結果の概要については、図1、表1のとおりである。

今回のASPT値算出にあたっては、基本的に環境庁案を採用した。また、今回、比較を容易にするため、データの取扱いを統一し、一部変更したので、初出時のデータとの食い違いが生じた場合がある。

1 水質データの統計解析

① 水質データの諸元

水温、水深、流速、DO、pH、EC、BOD、SS、T-N、T-Pの10項目の平均値等について、表2に示す。また、各項目間の相関係数を表3に示す。ただし、欠測値のあるデータは除いた。

② 正規性の検定

水温、水深、流速、DO、pH、EC、BOD、SS、T-N、T-Pの各項目ごとに生データ、対数及びルート変換の3様式について尖り度、歪み度を求め、また、 χ^2 検定を行い、各項目がより正規分布に近づくような変換方法を決め、以下の解析に用いることとした。なお、変換の結果に差異の認められなかった項目については生データを用いた。

各データについては次のとおり(表2網掛け部分を参考)変換した。

生データ：水温、DO、pH、EC

対数交換：水深、BOD、SS、T-N、T-P

ルート交換：流速

表2 水質測定結果(n=123)

	水温(°C)	水深(cm)	流速(cm/s)	DO	pH	EC	BOD	SS	T-N	T-P	
平均値	16.5	17.7	34.1	10.0	7.7	229	2.7	6.8	1.7	0.11	
最小値	3.0	4.0	0	1.4	6.1	52	0.3	0.1	0.27	0.003	
最大値	34.0	45	134	16	9.4	430	12	63	6.8	0.93	
χ^2 値	生データ	15.08	27.36	57.18	4.25	17.46	6.76	68.05	14104	43.56	3795
	対数変換	11.60	4.23	278.18	443868	13.49	11.06	1.74	17.35	4.98	1.68
	ルート変換	10.57	10.50	11.56	313.96	22.87	3.70	23.36	166.09	25.57	15.13

単位；ECは $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、また、水温、水深、流速、pH以外は mg/l

表3 水質項目相関係数

	水温	水深	流速	DO	pH	EC	BOD	SS	T-N	T-P
水温	1.000									
水深	0.152	1.000								
流速	0.160	0.070	1.000							
DO	-0.611**	-0.142	-0.045	1.000						
pH	-0.052	0.102	0.031	0.464**	1.000					
EC	0.084	-0.027	-0.086	0.101	0.341**	1.000				
BOD	-0.044	0.273*	-0.019	0.098	0.227	0.449**	1.000			
SS	0.223	0.015	0.057	-0.211	-0.259*	0.218	0.269*	1.000		
T-N	-0.004	0.110	-0.020	0.024	0.172	0.489**	0.499**	0.222	1.000	
T-P	0.129	0.221	0.232	-0.037	0.098	0.411**	0.617**	0.370**	0.399**	1.000

(n=123, 生データ, 無相関の検定; * 5%, ** 1%)

参考として表2に χ^2 値のみを併せて示してある。

一般に都市活動に関連した項目は対数正規分布、自然的因子に関連した項目は生データで正規分布すると吉見らも述べており、上記変換方法は妥当なものであると考える。

③ 10項目による主成分分析

表4に第4主成分までの因子負荷量、固有値、寄与率及び累積寄与率を示す。第1主成分の寄与率は30.3%、第4主成分までの累積寄与率は71.8%であった。

表4 主成分分析結果

項目	負荷量	因子負荷量			
		第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
水 温		0.251	-0.348	-0.291	0.045
水 深		-0.083	-0.160	-0.331	0.869
流 速		0.187	-0.483	0.750	0.191
DO		-0.066	0.885	-0.104	0.208
pH		0.186	0.636	0.476	0.348
EC		0.751	0.264	0.156	-0.252
BOD		0.776	0.199	-0.162	-0.048
SS		0.634	-0.285	0.138	0.291
T-N		0.712	-0.064	-0.457	-0.007
T-P		0.900	-0.024	0.062	0.023
固有値		3.030	1.762	1.277	1.109
寄与率		30.3	17.6	12.8	11.1
累積寄与率		30.3	47.9	60.7	71.8

第1主成分の因子負荷量はEC(0.751)、BOD(0.776)、SS(0.634)、T-N(0.712)、T-P(0.900)という、主に都市活動に関連すると思われる5項目が正の高い数値を示しており、水質汚濁を表している因子であると思われる。

第2主成分の因子負荷量はDO(0.885)、pH(0.636)が正の高い数値、水温(-0.483)が負のやや高い値を示しているため、溶存酸素の動態等に関連した因子と思われる。

第3主成分は流速(0.750)、第4主成分は水深(0.869)のみがそれぞれ大きな因子負荷量を示しており、他の項目との関連は解釈しにくい。

これら成分の構成は、吉見らの解析の結果とは一致していない。特に第2主成分において溶存酸素の動態に関する因子が現れたことは、本県河川の特徴として、水を高度に再利用するため、河川流路内に多くの堰を設けてあり、止水的な一面を持つことが想起され、本県に特異な現象ではないかと思われる。

2-1 WQIの算定

環境庁案算定時のWQIは、DO、BOD、T-N、T-Pの4項目を指標として算出されている。しかしながら、今回の主成分分析の結果では、DOは第1主成分中の因子負荷量は小さく、概ね無視できる。逆に、ECについては、環境庁案算定時には考慮されていないが、今回のデータではBOD並みの因子負荷量を有しており、無視することはできない。

また、第1主成分の固有ベクトルの2乗値が0.1以上であるEC、BOD、SS、T-N、T-Pの5項目を抽出し、5項目の固有ベクトルの2乗値の和を求めると0.953であった。このことは、5項目で第1主成分の95.3%の重みを持っていることを意味し、今回のデータに関しては、水質汚濁はこの5項目で十分説明できるものと思われる。

WQIの算定にあたっては、上記5項目による主成分分析で各項目の重み付けを行い、次の式により算定した。ただし、対数変換の項目には測定下限値の1/10を加えてある。

$$\begin{aligned}
 WQI &= \sum \text{固有ベクトル} \times \frac{\text{測定値} - \text{平均値}}{\text{標準偏差}} \\
 &= 0.439 \times \frac{EC - 233.3}{89.2} \\
 &\quad + 0.462 \times \frac{\ln(BOD + 0.05) - 3.69}{0.80} \\
 &\quad + 0.368 \times \frac{\ln(SS + 0.1) - 4.26}{1.19} \\
 &\quad + 0.434 \times \frac{\ln(T-N + 0.005) - 3.37}{0.61} \\
 &\quad + 0.520 \times \frac{\ln(T-P + 0.0003) + 2.673}{1.17}
 \end{aligned}$$

2-2 指標生物出現時のWQI

WQIの算定については、次のケースについて検討を行った。

- I 指標生物の出現時平均水質によるWQI算定
- II 調査データによるWQIの出現地点間平均
- III 調査データによるWQIを個体数による加重平均

なお、環境庁案はIIIの手法で算定されている。また、全公研案についてはWQIを基に算定されておらず、植物社会学で用いられている種位置指数を求めるための反復平均法を応用した序列化の手法を用いて算定されているため、全公研案とは直接関連付けできないが、参考値として掲げられているWQIを比較の対象とした。

表5 WQI及びスコア値

科名	マニュアル(案)		共同研究			ケースI		ケースII		ケースIII		
	WQI	スコア	参考WQI	参考スコア	全公研案	WQI	スコア	WQI	スコア	WQI	スコア	
1- 1	フダオカゲロウ科	-0.33	8	-1.02	9	9	-0.95	7	-1.55	8	-2.56	9
1- 2	チラカゲロウ科	-0.29	7	-0.72	9	9	-1.33	8	-1.68	8	-1.81	7
1- 3	ヒラタカゲロウ科	-0.52	7	-0.77	9	9	-0.20	6	-0.85	6	-1.40	6
1- 4	コカゲロウ科	-0.04	6	0.03	6	7	0.81	4	-0.03	4	0.05	4
1- 5	トビイロカゲロウ科	-0.33	7	-0.55	9	8	-0.59	6	-1.54	8	-2.41	8
1- 6	マダラカゲロウ科	-0.51	7	-0.55	9	8	0.00	5	-0.84	6	-1.05	6
1- 7	ヒメカゲロウ科	0.12	6	-0.11	7	7	0.37	4	-0.44	5	-0.21	4
1- 8	カワカゲロウ科	-0.18	7	-0.26	8	8	-0.95	7	-1.32	7	-2.01	8
1- 9	モンカゲロウ科	-0.51	7	-0.67	9	8	-0.88	7	-1.39	7	-1.68	7
1- 10	アミメカゲロウ科	0.57	5	0.15	8	7	-0.01	5	-0.01	4	-0.01	4
2- 1	カワトンボ科	-0.78	8	0.07	7	7	-0.42	6	-1.14	7	-1.93	7
2- 2	ムカシトンボ科	-0.86	8	-1.07	9	9	-0.39	6	-0.99	6	-0.26	4
2- 3	サナエトンボ科	-0.24	7	-0.44	7	8	-0.22	6	-0.83	6	-1.28	6
2- 4	オニヤンマ科	2.32	6	1.43	3	4	0.04	5	0.04	4	0.04	4
2- 5	エゾトンボ科	0.31	5				1.44	2	0.09	4	-1.34	6
3- 2	オナシカワゲラ科	-0.91	8	-0.55	6	8	-1.17	7	-1.72	8	-1.83	7
3- 3	クロカワゲラ科	-1.37	9				-1.54	8	-1.93	8	-2.09	8
3- 4	ハラジロオナシカワゲラ科	-1.41	10				-2.75	10	-2.98	10	-3.61	10
3- 6	アミメカワゲラ科	-1.39	9	-1.24	9	10	-0.58	6	-1.32	7	-1.25	6
3- 7	カワゲラ科	-0.56	7	-0.88	9	9	-0.95	7	-1.67	8	-2.03	8
3- 8	ミドリカワゲラ科	-1.58	10	-1.55	9	10	-2.18	9	-2.49	9	-2.71	9
4- 1	ナベブタムシ科	-0.08	6	-0.16	7	7	-0.62	6	-1.11	7	-1.39	6
5- 1	ヘビトンボ科	-0.57	7	-0.64	9	8	-1.10	7	-1.56	8	-1.82	7
6- 1	ヒゲナガカワトビケラ科	-0.94	8	-0.73	9	9	-1.56	8	-1.92	8	-2.13	8
6- 2	カワトビケラ科	-0.86	8	-1.38	9	10	-1.68	8	-1.92	8	-2.20	8
6- 3	クダトビケラ科	-0.71	8	-0.50	8	8	-0.91	7	-2.80	10	-2.14	8
6- 4	イワトビケラ科	-0.40	7	-1.10	8	9	-1.26	8	-1.72	8	-1.75	7
6- 5	シマトビケラ科	0.08	6	-0.28	7	8	0.68	4	-0.11	5	-0.25	4
6- 6	ナガレトビケラ科	-0.83	8	-0.77	9	9	-1.08	7	-1.63	8	-1.57	7
6- 7	ヤマトビケラ科	-0.47	7	-0.75	9	9	-0.11	5	-0.71	6	-0.26	4
6- 8	ヒメトビケラ科	0.24	6	0.37	4	6	0.73	4	0.40	4	-1.43	7
6- 10	マルバネトビケラ科	-0.11	6				-1.24	8	-1.50	7	-2.32	8
6- 11	トビケラ科	-0.78	8				-0.38	6	-0.38	5	-0.38	5
6- 12	カクスイトビケラ科	-1.18	9	-1.34	10	10	-1.61	8	-1.61	8	-1.61	7
6- 14	エグリトビケラ科	-0.45	7	-0.87	10	9	-0.40	6	-1.04	7	-1.73	7
6- 15	カクツツトビケラ科	-1.09	9	-1.20	9	10	-1.02	7	-1.59	8	-2.05	8
6- 16	ケトビケラ科	-0.25	7	-1.31	10	10	-1.30	8	-1.75	8	-1.68	7
6- 18	ホソバトビケラ科	-1.29	9				-1.64	8	-1.81	8	-1.66	7
6- 19	ヒゲナガトビケラ科	-0.27	7	-0.35	8	8	-0.47	6	-0.86	6	-0.72	5
7- 1	メイガ科			-0.47	7	8	0.01	5	-2.24	9	-2.24	8
8- 3	ガムシ科	-0.31	7	-0.52	4	8	0.50	4	-0.23	5	-0.71	5
8- 4	ナガハナノミ科		8				-0.01	5	-0.74	6	-1.19	6
8- 5	ヒラタドロマシ科	0.08	6	-0.48	8	8	-0.45	6	-1.05	7	-1.87	7
8- 7	ヒメドロマシ科	0.07	6	-0.59	8	8	0.22	5	-0.62	6	-1.02	6
8- 8	ホタル科	-0.61	8	-0.16	6	7	-0.49	6	-1.14	7	0.60	3
9- 1	ガガンボ科	-0.48	7	-0.37	8	8	-0.05	5	-0.81	6	-1.27	6
9- 2	アミカ科	-1.46	10	-0.11	10	7	-1.87	9	-1.87	8	-1.87	7
9- 4	チョウバエ科	0.09	6	2.69	1	1	2.43	1	1.48	1	1.48	1
9- 5	ホソカ科	-0.84	8				0.94	3	-0.49	5	-2.07	8
9- 6	ブユ科	0.14	6	-0.34	7	8	-0.10	5	-0.85	6	-0.61	5
9- 7	ユスリカ科(腹鰓あり)	1.18	3	2.48	1	1	1.70	2	1.00	2	0.96	2
9- 8	ユスリカ科(腹鰓なし)	1.18	3	0.25	3	6	0.89	3	0.05	4	1.14	2
9- 9	ヌカカ科	-1.32		-0.30	7	8	2.01	1	1.87	1	1.87	1
9- 10	アブ科	-0.72	9	-0.68	8	9	-1.40	8	-1.40	7	-1.31	6
9- 11	ナガレアブ科		8	-0.77	8	9	-0.84	7	-1.35	7	-1.55	7
10- 1	ドグッサア科	0.15	6	-0.29	7	8	0.28	5	-0.50	5	0.50	3
11- 1	カワニナ科	-0.14	6	-0.31	8	8	-0.72	7	-1.30	7	-1.04	6
12- 1	モノアラガイ科	1.16	3	0.76	3	5	0.36	4	-0.21	5	-0.56	5
12- 2	サカマキガイ科	2.05	1	1.63	1	3	0.74	4	0.15	4	-0.40	5
14- 1	シジミガイ科	0.15	6	0.46	5	6	0.59	4	-0.11	5	-0.95	6
15- 1	ミズシジミ	1.78	2	0.98	1	5	0.93	3	0.10	4	1.64	1
16- 1	ヒル綱	1.88	2	1.22	2	4	1.21	3	0.45	3	1.12	2
17- 1	ヨコエビ科	-0.57	7	-0.68	9	8	1.29	3	0.64	3	1.67	1
18- 1	ミズムシ科	1.51	2	1.38	2	4	1.11	3	0.35	4	1.40	1
19- 1	サワガニ科	-0.86	8	-0.68	8	8	-0.24	6	-1.21	7	-1.38	6

表6 指標となる生物の出現時水質

科名		出現地点数	水温	水深	流速	DO	pH	EC	BOD	SS	T-N	T-P
1- 1	フタオカゲロウ科	18	11.63	15.6	39.0	10.66	7.72	176	1.72	1.3	1.25	0.046
1- 2	チラカゲロウ科	20	15.60	19.6	45.5	9.85	7.65	182	1.15	1.5	1.17	0.031
1- 3	ヒラタカゲロウ科	78	15.09	17.1	38.1	10.21	7.70	194	1.90	4.0	1.34	0.070
1- 4	コカゲロウ科	107	16.60	17.7	37.1	10.01	7.69	227	2.69	6.9	1.78	0.124
1- 5	トビイロカゲロウ科	26	15.27	15.8	28.4	9.93	7.53	169	1.38	4.7	1.28	0.057
1- 6	マダラカゲロウ科	64	14.83	16.3	42.4	10.07	7.67	187	1.84	5.5	1.51	0.081
1- 7	ヒメカゲロウ科	43	20.26	18.4	39.4	9.49	7.72	203	2.15	7.3	1.34	0.123
1- 8	カワカゲロウ科	26	15.53	17.9	38.7	10.44	7.75	178	1.51	3.3	1.09	0.035
1- 9	モンカゲロウ科	50	15.04	16.4	35.2	10.15	7.66	177	1.43	2.9	1.20	0.040
1- 10	アミメカゲロウ科	1	24.00	25.0	101.0	7.60	7.40	111	1.00	40.0	1.30	0.120
2- 1	カワトンボ科	6	9.85	14.0	29.7	11.27	8.02	221	1.25	4.4	1.34	0.051
2- 2	ムカシトンボ科	3	13.50	21.0	11.0	9.53	7.73	224	1.60	8.6	0.75	0.058
2- 3	サナエトンボ科	54	15.78	16.7	34.8	10.20	7.67	200	1.79	4.5	1.34	0.063
2- 4	オニヤンマ科	1	19.30	19.0	16.0	7.70	8.00	240	1.10	12.0	1.00	0.100
2- 5	エゾトンボ科	6	15.28	11.5	21.5	9.88	7.72	291	1.80	5.7	2.88	0.217
3- 1	ミジカオカワゲラ科	0										
3- 2	オナシカワゲラ科	21	12.48	15.7	44.9	10.62	7.61	158	1.21	1.6	1.31	0.042
3- 3	クロカワゲラ科	6	5.28	17.7	34.0	12.37	7.93	185	1.25	0.8	1.10	0.028
3- 4	ハラジロオナシカワゲラ科	4	13.75	10.3	30.0	9.50	7.00	77	0.53	2.8	0.80	0.014
3- 5	ヒロムネカワゲラ科	0										
3- 6	アミメカワゲラ科	14	9.60	15.2	37.3	11.97	7.94	197	1.55	3.0	1.21	0.055
3- 7	カワゲラ科	45	15.16	15.4	37.8	10.03	7.69	161	1.40	2.9	1.09	0.050
3- 8	ミドリカワゲラ科	7	8.27	21.0	24.0	11.44	7.79	162	0.76	1.0	0.97	0.018
4- 1	ナベバタムシ科	28	15.40	17.4	44.9	10.25	7.90	183	1.68	3.3	1.23	0.049
5- 1	ヘビトンボ科	34	15.56	16.6	41.0	10.02	7.66	163	1.41	2.5	1.15	0.036
6- 1	ヒゲナガカワトビケラ科	24	15.04	17.9	39.0	10.30	7.81	162	1.15	1.4	1.03	0.030
6- 2	カワトビケラ科	8	14.63	21.6	55.1	10.09	7.83	167	0.83	1.4	1.17	0.027
6- 3	クダトビケラ科	5	17.24	16.2	12.2	8.20	6.92	142	0.85	3.0	0.79	0.196
6- 4	イトトビケラ科	12	14.52	19.3	49.6	10.29	7.60	150	1.40	2.0	1.19	0.032
6- 5	シマトビケラ科	103	16.04	16.8	37.0	10.17	7.70	226	2.58	6.2	1.75	0.110
6- 6	ナガレトビケラ科	38	14.94	15.3	40.6	10.09	7.79	163	1.43	2.2	1.14	0.039
6- 7	ヤマトビケラ科	7	19.14	21.7	41.3	10.09	7.61	203	1.71	4.2	1.50	0.071
6- 8	ヒメトビケラ科	7	13.00	17.9	44.0	10.20	7.61	213	2.63	7.3	1.98	0.102
6- 9	キダガミトビケラ科	0										
6- 10	マルバネトビケラ科	5	10.74	27.4	18.6	11.92	7.70	207	1.42	0.6	1.06	0.044
6- 11	トビケラ科	1	11.00	8.0	33.0	11.00	8.00	220	1.70	1.0	2.60	0.038
6- 12	カクスイトビケラ科	1	17.50	30.0	19.0	8.40	7.30	170	0.90	1.0	0.67	0.078
6- 13	クロツツトビケラ科	0										
6- 14	エグリトビケラ科	31	14.49	15.7	40.5	10.44	7.75	185	1.87	3.8	1.36	0.051
6- 15	カクツツトビケラ科	15	11.18	17.7	37.3	11.17	7.71	173	1.45	2.9	1.11	0.034
6- 16	ケトビケラ科	17	10.68	16.4	43.2	10.92	7.75	157	1.24	3.1	1.05	0.029
6- 17	フトヒゲトビケラ科	0										
6- 18	ホソバトビケラ科	2	13.60	42.5	6.5	12.90	7.80	231	0.85	0.6	0.91	0.037
6- 19	ヒゲナガトビケラ科	15	15.37	18.7	27.1	10.18	7.63	210	1.59	3.0	1.37	0.048
7- 1	メイガ科	2	22.75	11.0	17.0	6.30	6.90	215	0.50	8.5	0.93	0.445
8- 1	ゲンゴロウ科	0										
8- 2	ミススマシ科	0										
8- 3	ガムシ科	31	19.88	17.8	42.8	9.40	7.75	214	2.25	8.7	1.40	0.111
8- 4	ナガハナノミ科	13	12.52	17.3	27.2	10.88	7.62	224	1.95	6.7	1.35	0.050
8- 5	ヒラタドロムシ科	51	15.38	15.4	36.4	10.20	7.70	190	1.75	4.2	1.30	0.048
8- 6	ドロムシ科	0										
8- 7	ヒメドロムシ科	65	16.38	15.2	34.3	9.99	7.69	206	2.19	6.7	1.39	0.084
8- 8	ホタル科	22	14.65	18.3	40.7	10.73	7.70	198	1.58	3.0	1.43	0.050
9- 1	ガガンボ科	78	16.08	16.1	35.8	10.18	7.71	205	1.86	5.4	1.34	0.071
9- 2	アミカ科	1	27.00	7.0	20.0	8.60	7.90	109	1.40	7.8	0.46	0.022
9- 3	アミカモドキ科	0										
9- 4	チョウバエ科	5	16.34	12.6	50.0	9.90	7.60	276	4.85	18.7	2.66	0.300
9- 5	ホソカ科	4	17.55	12.5	17.5	8.70	7.23	179	2.18	19.0	2.16	0.132
9- 6	ブユ科	34	13.83	16.8	47.6	10.34	7.68	188	1.87	3.3	1.57	0.084
9- 7	ユスリカ科(腹鰓あり)	47	19.99	19.2	26.6	9.50	7.73	278	3.65	10.8	1.96	0.207
9- 8	ユスリカ科(腹鰓なし)	116	16.79	17.3	33.1	9.98	7.72	231	2.77	6.7	1.80	0.136
9- 9	ヌカカ科	2	12.10	12.0	43.0	13.50	8.30	360	5.60	7.0	2.65	0.082
9- 10	アブ科	2	23.90	19.5	50.0	9.75	7.20	159	1.05	1.8	1.55	0.023
9- 11	ナガレアブ科	19	12.39	15.9	40.4	10.40	7.66	189	1.34	2.5	1.46	0.035
10- 1	ドグッシア科	85	15.78	15.9	37.1	10.10	7.68	206	2.15	6.4	1.52	0.088
11- 1	カワニナ科	25	17.11	14.9	36.4	10.02	7.72	170	1.69	4.4	1.07	0.045
12- 1	モノアラガイ科	18	19.22	16.3	28.3	10.17	7.97	212	2.11	7.0	1.47	0.098
12- 2	サカマキガイ科	27	19.56	17.6	29.8	9.84	7.87	245	2.52	7.9	1.38	0.127
12- 3	ヒラマキガイ科	0										
12- 4	カワコザラガイ科	0										
13- 1	イシガイ科	0										
14- 1	シジミガイ科	35	15.38	17.5	46.5	10.51	7.74	215	2.34	7.1	1.70	0.110
15- 1	ミズ綱	123	16.71	17.5	33.8	9.95	7.72	235	2.76	7.3	1.77	0.136
16- 1	ヒル綱	84	17.17	17.1	35.3	10.14	7.79	245	3.16	8.5	1.86	0.160
17- 1	ヨコエビ科	5	15.20	34.8	34.0	9.88	7.84	243	4.62	4.3	2.51	0.122
18- 1	ミズムシ科	101	17.11	17.8	33.4	9.87	7.73	242	2.92	8.1	1.86	0.149
18- 2	コツブムシ科	0										
19- 1	サワガニ科	27	15.03	15.0	25.2	9.84	7.56	187	1.55	4.7	1.77	0.052

結果については、表5に示したとおりである。

参考までに指標となる生物の出現時水質を表6に示す。

各ケース及び環境庁案のWQ I, 全公研案算定時のWQ I (参考値) についての相関係数は表7に示したとおりで、いずれも高い相関を示しており、いずれの方法を採っても同様の結果が得られるものと思われる。

以上のことから、WQ I については、算定の基礎となる母データの構成に係らず、WQ I 値間の相対的な比較が可能であると思われる。ただし、母データより導かれたWQ I 算定式は、母データと同等の質を持つものについてのみ適用可能であって普遍性はない。

3 スコア値の算出

各WQ I 値の最小値と最大値の間を10等分し、10~1のスコア値を割り当てた。10がきれいな水の指標となる

生物、1が汚れた水の指標となる生物を表すことになる。

表7 各ケース WQ I の相関

	環境庁案	全公研案	I	II	III
環境庁案	1.000				
全公研案	0.771	1.000			
I	0.589	0.728	1.000		
II	0.594	0.716	0.925	1.000	
III	0.567	0.636	0.787	0.847	1.000

なお、出現頻度の少ない生物ではサンプルに偶然性の要素が加わる可能性が高いので、全サンプルによるスコア値と出現頻度の低い生物を除いたサンプルのスコア値を比較するため、これらスコア値と環境庁案及び全公研案の相関係数を求めたが、出現頻度の低い生物を除いた場合にわずかに相関係数の向上があるものの著しい変化は認められない。

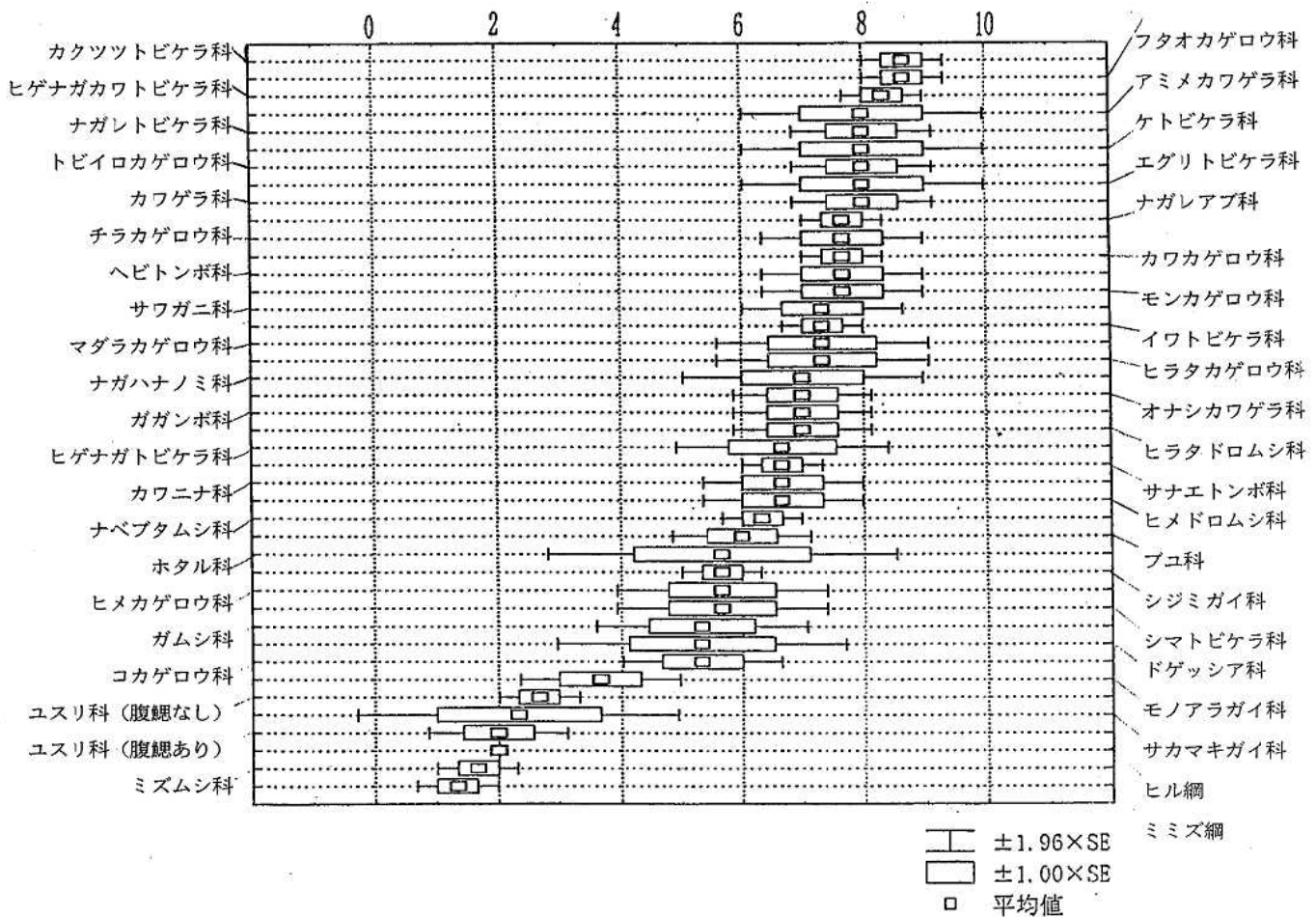


図2 各スコア間のばらつき

2-2で求めたWQ Iに基づき、スコア値を算出した結果を表5に併せて示してある。

環境庁案、全公研案及び各ケースについての相関係数は表8に示したとおりで、いずれも高い相関を示しており、いずれの方法を採っても同様の結果が得られるものと思われる。

したがって、以下の評価はケースⅢ(全サンプル)によるスコア(試算Ⅲ)を用いて行うこととする。

表8 各ケースのスコアの相関

	環境庁案	全公研案	試算Ⅰ	試算Ⅱ	試算Ⅲ
環境庁案	1.000				
全公研案	0.742	1.000			
試算Ⅰ	0.708	0.708	1.000		
試算Ⅱ	0.701	0.715	0.897	1.000	
試算Ⅲ	0.649	0.621	0.768	0.843	1.000

4-1 スコアの比較

環境庁案、全公研案と試算Ⅲのデータについて、ばらつき具合を示したのが図2である。また、表9に環境庁案、全公研案と試算Ⅲの値のいずれかが4以上乖離した科のスコアについてまとめている。

表9 スコアの比較

科名	環境庁案	全公研案	試算Ⅲ
ムカシトンボ科	8	9	4
アミメカワゲラ科	9	10	6
シマトビケラ科	6	8	4
ヤマトビケラ科	7	9	4
ホタル科	8	7	3
チョウバエ科	6	1	1
ユスリカ科(腹鰓なし)	3	6	2
ヌカカ科		8	1
ドゲッシア科	6	8	3
サカマキガイ科	1	3	5
ミミズ綱	2	5	1
ヨコエビ科	7	8	1

環境庁案では、他のスコアに比してチョウバエ科のみが大きいスコアとなっている。本科はどちらかといえば有機汚濁の進んだ止水性の生物で、全公研案または試算Ⅲのスコア(いずれも1)が妥当と思われる。

全公研案では、シマトビケラ科、ユスリカ科(腹鰓なし)、ヌカカ科、ミミズ綱の4科が大きいスコアとなっているが、いずれも汚濁に強い科でスコアの設定に疑問が残る。

試算Ⅲでは、ムカシトンボ科(出現地点数3地点)、アミメカワゲラ科(同14地点)、ホタル科(同22地点)、ドゲッシア科(同85地点)、ヨコエビ科(同7地点)が環境庁案、

全公研案に比べて低い値となっている。これらについては出現地点数がとくに少ないというわけでもないため、全くの偶然とは考えにくい。これら生物は本県においては水質以外の他の要因に分布が規定されている可能性がある。

4-2 多様性指数との比較

本県データを用いて、多様性指数及び各スコアによるASPT値を算出し、比較を行ったところ、図3、図4、図5に示したとおり、どのスコアを用いても良い相関が得られている。

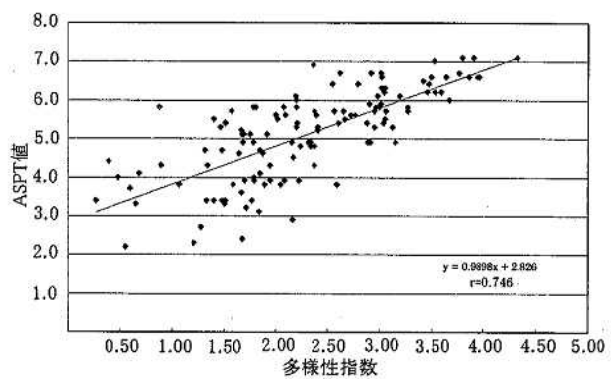


図3 散布図(環境庁案)

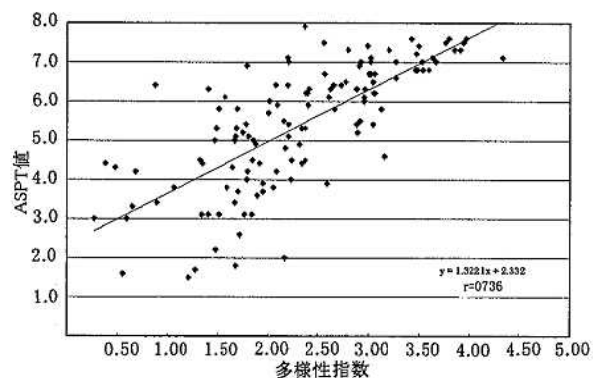


図4 散布図(全公研案)

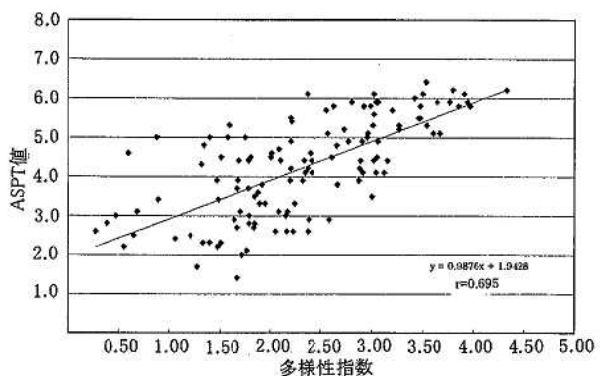


図5 散布図(試算Ⅲ)

5 スコア値のない出現科

環境庁案、全公研案ともに記載の無いもので記録されている出現科は次のとおりである。カタツムリトビケラ科、テナガエビ科、ヌマエビ科を除き、殆どが止水域に生息するものである。逆にいえば、本県で普通に見られる底生生活をする無脊椎動物はほとんどすべてについて、環境庁案または全公研案で網羅されているものと思われる。

スコア値の無い出現科

カタツムリトビケラ科カタツムリトビケラ
アシエダトビケラ科(止水)
イトトンボ科(止水)
トンボ科(止水)
ヤンマ科(止水)
カ科(止水)
アマオブネ科ヒロクチカノコガイ(河口)
テナガエビ科スジエビ
ヌマエビ科ヌマエビ
ザリガニ科(止水)

ま と め

水質データについて、WQIを算出するため主成分分析を行った。第1主成分に対する因子負荷量の大きい項目としてEC、BOD、SS、T-N、T-Pの5項目が抽出され、この5項目によるWQIを3ケースについて算出した。

算出されたWQIを用いて、スコア値(試算Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)を求めた。環境庁案及び全公研案と比較を行ったが、各ケースとも特段の差異は認められなかった。

各スコア値(環境庁案、全公研案、試算Ⅲ)を用いて、本県の出現生物によるASPT値を算出し、多様性指数を指標として比較を行ったが、それぞれ良好な相関を示し、いずれのスコアを用いても同様の結果が得られるものと思われる。

環境庁案、全公研案ともに記載の無いもので、今回の調査で記録されている出現科もみられるが、それらは止水性のものがほとんどで、本県で普通に見られる底生生活をする無脊椎動物はほぼ網羅されている。

本調査研究の目的はもとより、本県独自のスコアの設定を目指すものではない。今回の調査結果から見る限り、独自のスコアを設定するメリットはほとんどなく、むしろ、マニュアル(案)スコアを使用するほうが他のデータ

との比較が可能で利便性が良い。一連の調査結果により環境庁案、全公研案ともに本県での調査に活用可能であることは十分証明できたものと考えている。

なお、スコアの設定にあたっては、山崎らの指摘⁹⁾にもあるとおり、止水性の生物も含め、出現する全ての科について全国一律のスコアの設定が望ましい。また、一部の指標生物についてはスコア値の設定に疑問のあるものもあり、今後のデータの蓄積によるスコア値の見直しが待たれる。

謝 辞

6年間にわたる調査は、多くの先輩方の熱意と尽力でなったものである。

本報では6年にわたる調査の総括を行ったが、この栄誉を得たことを感謝すると共に、綿密な資料にもかかわらず、取り纏めにあたっては十分活用し得ず、著者自身の非力を恥じるほかない。

ここに、協力いただいた方々へ御礼を申し上げ、今後のご指導を願うものである。

文 献

- 1) 環境庁水質保全局：大型底生動物による河川水域環境評価のための調査マニュアル(案)(1992)
- 2) 山崎正俊他：全国公害研会誌，Vol. 21，No. 3(1996)
- 3) 山本 努，東川麻希子：香川県環境研究センター所報，18，15(1993)
- 4) 三木正信，東川麻希子：香川県環境研究センター所報，19，21(1994)
- 5) 青江和美，東川麻希子：香川県環境研究センター所報，20，17(1995)
- 6) 白井康子，青江和美：香川県環境研究センター所報，21，21(1995)
- 7) 吉見洋他：水質汚濁研究，5，4，193(1982)
- 8) 川合禎次編：日本産水生昆虫検索図説，東海大学出版会(1985)
- 9) 上野益三編：日本淡水生物学，北隆館(1980)
- 10) 石田昇三他編：日本産トンボ幼虫・成虫検索図説，東海大学出版会(1988)