

生物学的水質判定法の再評価と 判定結果の活用

REVISION OF WATER QUALITY CLASSIFICATION BY BIOLOGICAL INDICES AND UTILIZATION OF ITS RESULT

藤崎将仁¹・野口正人²・西田渉³・姜相赫⁴・浅井健志⁵

Nobuhito FUJISAKI, Masato NOGUCHI, Wataru NISHIDA,
Sang Hyeok KANG, and Takeshi ASAI

¹学生会員 長崎大学大学院修士課程 工学研究科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

²フェロー 工博 長崎大学教授 工学部社会開発工学科 (同上)

³正会員 工修 長崎大学助手 工学部社会開発工学科 (同上)

⁴学生会員 工修 長崎大学大学院博士課程 海洋生産科学研究科 (同上)

⁵長崎大学 工学部社会開発工学科 (同上)

River restoration work, or nature-friendly river work, is now under construction everywhere. In order to make it available for conservation and rehabilitation of desirable water environment, appropriate criteria of water environmental assessment should be established. In this paper, water quality has been investigated on a whole aspect, especially by the biological and ecological viewpoints.

Attaining the final goal, extensive field survey has been carried out to estimate the impacts on water environment by river restoration work. Diagnosis of water environment using biological indices has been examined. Finally, dissemination about a necessity of water environmental management will be discussed, for example, installing an effective database system.

Key Words : water quality, water environmental assessment, database system, aquatic benthos

1. まえがき

現在、「うるおいのある川づくり」が求められているが、その目的を達成するためには適切な水環境評価手法が確立されなければならない。勿論、水環境を形づくっている因子には様々なものがあり、その影響評価は多面的に行われなければならないが、本研究では主として水質評価について取り上げた。通常、水質は理化学的ないしは生物学的側面から評価されるが、前述された水環境を評価する観点からは水域に生息する生物の生態系への影響が評価できるような尺度が必要になる。このようなことから本論では、生物学的水質判定法について再評価することにした。併せて、冒頭に述べられた目的達成のためには水質指標の底生生物に対するデータベースを構築することが重要であることを示し、生物学的観点から水質評価を簡単に行う方法について考察した。

2. 水環境評価手法の検討

従来から多用されている生物学的水質判定法には、たとえば、(1)優占種法、(2)Biotic Index法(BI:Beck-Tsuda法)、(3)Pollutant Index法(PI:Pantle-Buck法)がある^{1),2)}。これらの3種の方法で生物学的水質判定を行うことを考えれば、まず、優占種法では水域に生息する1種類の底生生物の生息場所だけで水質評価を行うことの難しさがある。一方、BIが生物の種の数だけを取り上げて水質判定を行おうとするのに対して、PIは生物の汚濁に対する耐性ならびに各種の個体数を考慮して水質判定を行っている。もっとも、前者が水域の清冽指標であるのに対して、後者は水域の汚濁指標であるので、ここでは後者に対応する清冽指標として以下に示されるような指標:BI'を定義した。

$$BI' = \frac{\sum (s' \cdot h)}{\sum h} \quad (1)$$

表-1 BI, BI'と水質階級の関係.

BI	BI'	水質階級
20	4. 0~3. 25	清冽(貧腐水性)
11~19	3. 25~2. 5	やや汚濁が進んでいる (β中腐水性)
6~10	2. 5~1. 75	かなり汚濁が進んでいる (α中腐水性)
0~ 5	1. 75~1. 0	きわめて汚濁が進んでいる (強腐水性)

ここに、h：出現個体数、S'：清冽指数（貧腐水性を指標とする種はS'=4、β中腐水性はS'=3、α中腐水性はS'=2、強腐水性はS'=1）である。なお、上記の指標と腐水理論で使われる水質階級との対応関係は表-1 に示されている。

BIとBI'とは種の個体数を考慮しているか否かの違いがあり、当然のことながら後者の指標の方が水域の水質評価を適切に行えるものと予想される。

ところで、前述された水質評価の観点からは水域に生息する生物の多様性を調べるのが重要になるであろうし、さらには、最近の生物学的な水質判定法としては生物の種の数や個体数以外に種々の側面から水質判定を行う方法が主流となりつつある。ここでは、これらのうち前者についてはShannon-Weaver関数を取り上げ、後者についてはIndex of Biological Integrity（生物学的にみて完全な状態を表す指標で、IBIと略称される）を取り上げて水質判定法の尺度としての妥当性について検討することにした。

ここに、前者のShannon-Weaver関数は、通常H'で表し、次式で定義される²⁾。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \log \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

(2)

ここに、Sは種の数、Nは総個体数、 n_i はi番目の種の個体数である。このH'の値が大きいほど多様性が高く底生生物相は豊かであると判定される。しかしながら、H'と水質階級との関係は確立されていない。Mitchellらの米国の淡水域における藻類での調査結果では、いわゆるLiebmannの分類による貧腐水性水域ではその値が0.7~1.0であるのに対し、富栄養化が目立ってくるとその値は0.3以下になるといわれている³⁾。

他方、IBIは、1980年代後半にアメリカ合衆国においては流水の水質ばかりではなく、水の流れ方や河川の形状、あるいは、流域全体の状態に注目して水環境評価を行うようになってきたのに対応して導入された指標である。元々は魚類相を対象にした水質判定指標であるが、わが国においては生物学的な水質判定を底生生物を用いて行ってきた経緯等を考慮して、底生生物を用いたIBI (IBI-J) を用いることの有利さが森下依理子により提案された⁴⁾。ここでは本手法の詳細な説明は省くが、森下は「水環境カルテ」に10のメトリックスを取り上げ

表-2 各メトリックの得点基準.

メトリック	得点		
	1	3	5
分類群別の種類数			
1. 総種類数（種、属、科、目などの種類数）	0~13	14~26	≥27
2. カゲロウ目の種類数	0~4	5~8	≥9
3. トビケラ目の種類数	0~3	4~6	≥7
環境の変化に対する耐性			
4. 汚濁に耐える種類の個体数の割合（%）	≥16	16>X≥4	<4
5. ミミズ類の個体数の割合（%）	≥20	20>X≥6	<6
6. 汚濁に耐えない種類の数	0~9	10~17	≥18
7. 脚のない生物の個体数の割合（%）	≥40	40>X≥4	<4
形態の特徴・生活型			
8. 匍匐、固着型の生物の種類数（%）	0~8	9~16	≥17
9. 泥に潜る生物の個体数の割合（%）	≥38	38>X≥19	<19
生物相全体			
10. 優占3種類（優占種、亜優占種、亜々優占種）の個体数が全体に占める割合（%）	≥82	82>X≥42	<42

表-3 メトリックの総合得点と水環境の状態.

得点	点数	底生成物相の特徴	水環境の状態
50	50	総種類数、カゲロウ目、トビケラ目の種類数のほか、匍匐・固着型の生物の種類数が多い	水質が良好で多様性が高い。
48~40	48~40	総種類数、カゲロウ目、トビケラ目の種類数のうちいずれか一つの点数が低い。匍匐・固着型の生物の種類数が少なくなってくる。	水質は良好だが多様性は低くなる。
38~26	38~34	汚濁に耐えない種類数は少なくないが、総種類数、カゲロウ目、トビケラ目の種類数がすべて低い。	水質が悪化している。また、水辺の周辺の植物帯や河川畔林が失われている。構造物によって水の流れが制限されていたりする。
24以下	32以下	汚濁に耐えない種類数が少なくなる。	
	24~16	汚濁に耐える種類が生物相を独占する。	汚濁の進行が著しい。
	14~12	ミミズ類以外の泥に潜る生物（ユスリカなど）が生物相を独占する。	
	10	ミミズ類が生物相を独占する。	

て、水域の水質評価に役立てることを主張している。参考までに、彼女により示された各メトリックスとその得点基準を表-2 に、総合得点と水環境評価との関係を表-3 に示す。

これらの指標が前述された従来の生物学的な水質判定指標と共に、水域の水質評価に役立てられることは容易に推察される。

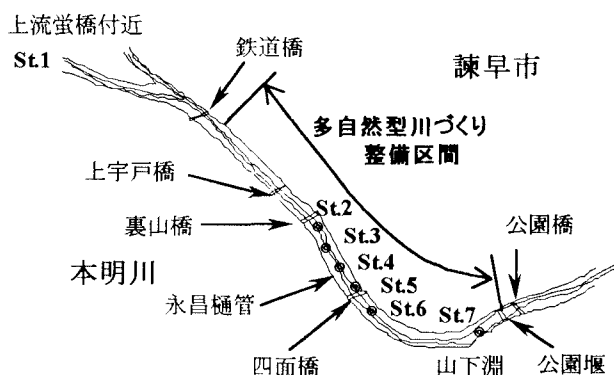


図-1 観測地点概要図

表-4 水質観測結果

		左岸							右岸						
		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
1994.10.11	個体数		121	145	126	16	30	0		57	22	39	34	14	0
	種類数		5	6	5	4	5	0		4	3	4	4	3	0
1995.1.12	個体数	94	300	493		147	316	0	187	260	127		236	267	0
	種類数	4	7	10		6	9	0	6	6	9		8	5	0
1995.8.23	個体数	643	65	20	42	19	122	0	216	112	75	21	40	370	0
	種類数	9	3	3	8	6	11	0	13	6	6	6	5	12	0
1996.11.19	個体数			35	113	180	101			123	106	175	150		1007
	種類数			7	12	9	6			10	10	10	9		15

3. 生物学的水質評価法の比較

前項で述べられた水環境評価手法の妥当性について考察するために、底生生物調査により水域の水質判定を行う上での問題点が検討された。なお、検討に用いられたデータは、図-1に示される長崎県の本明川中流域の区間で実施された4回の底生生物調査の結果により得られた。本区間は本明川の多自然型川づくりの整備区間ともなっており、各種の多自然型護岸が重点的に配置されている。調査は、図中に示されたそれぞれの調査地点(St. *)の左右両岸よりの場所でコドラート付きサーバーネットを用いて実施された。後述される各種の手法により水質判定を行うために、通常は帰学後に採取された底生生物の種類ならびに個体数の同定が行われた。表-4に各地点の種類数及び個体数を示す。

図-2には優占種法、BI及びBI'を用いた場合の水質判定結果が示されており、それぞれの方法で求められた結果が腐水理論による水質のos(貧腐水性)、 βm (β 中腐水性)、 αm (α 中腐水性)、ps(強腐水性)のいずれに分類されるかが容易に分かるように作成された。ただ、表-1に示されたBI'の分類による各範囲が一定の大きさであるのに対して、BIではそれぞれの範囲が一定でないために上述の目的を厳密に達成するような軸の設定が困難である。そのため、BIに対する右側の縦軸は図示されたように選ばれた。個々の水質結果はいろいろな点に着目して検討せねばならないが、ここでは上記の3手法の水質判定結果の相互比較のみを記す。

1994年10月11日の観測における左岸側の結果を見れば、優占種法及びBI'を用いた結果がSt.5を除いて βm と判定されるのに対して、BIによるものは概ね αm と判定されている。この違いは、BIでは種のみによって水質判

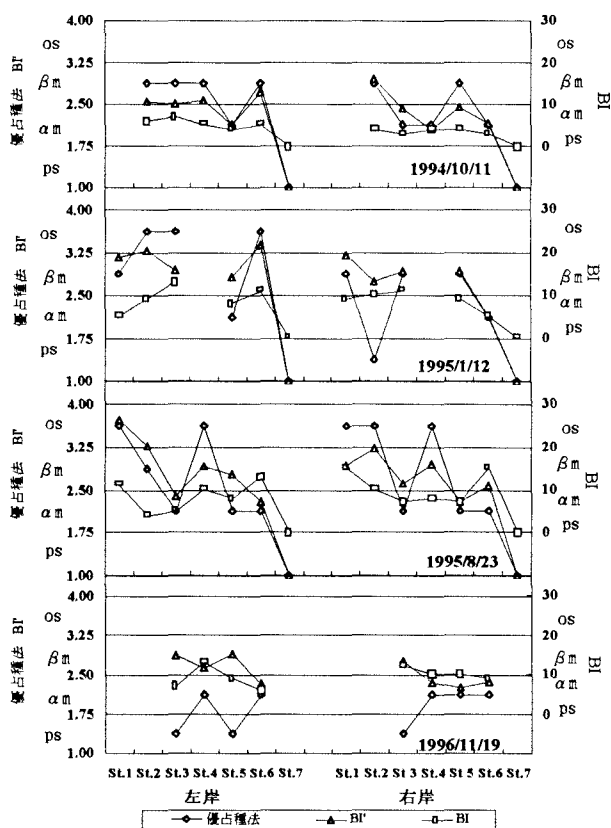


図-2 優占種, BI, BI'の比較。

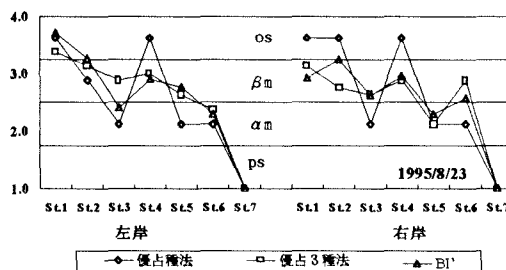


図-3 優占種, 優占3種, BI'の比較。

定がされているために、必ずしも判定結果が最高精度で求められていないことに依るものと思われる。一方、上のものと同時期の2年後の1996年11月19日に観測がされた結果においては、BI及びBI'によるものが共に αm で同様の結果が得られているのに対して、優占種法では幾つかの地点でpsの判定がなされている。これは前項でも述べられたように本手法では唯一つの優占種のみで水質判定を行うところに難点があるためであると思われる。

図-3には、優占種と優占3種を使って求められた水質判定結果がBI'の結果と併記されている。これらの図より明らかなように、BI'による結果は優占3種法により得られた結果に類似している。これは上述されたことから当然の帰結であると言える。

図-4にはBI'とS-W関数による両結果が図示されている。1995年8月23日の観測結果を見ると、これらは類似の変化傾向を示している。これは、両者とも個体数を考慮に入れたためであると思われる。しかしながら、1994年10月11日の観測結果の右岸側St.2における判定はBI'で

表-5 総合得点と水環境評価

得点	水環境の状態
35	水質が良好で多様性が高い.
33~27	水質は良好だが多様性は低くなる.
25~17	水質が悪化している.
15以下	汚濁の進行が著しい.

は βm , S-W関数ではpsと大きく異なっている. これは, BI'が種の数による多様性を表すものではないことに依ると思われる. この様な考察は他の幾つかの地点でもなされるが, 他の結果においては, 概ねS-W関数の値はBI'のもつ腐水階級と対応しており, 前項で述べられたMitchellらの考察は妥当なものと思われる.

IBIへの適用は, 「水環境カルテ」で取り上げられたメトリックの中で, 現在の観測データと照らし合わせて評価可能な7項目を用いた. 各メトリックの得点基準は表-2に従い, 総合得点による水環境評価は表-3を比例配分して行った (表-5参照). 表-6にその結果と各メトリックの得点と総合得点を, また図-5にBI'の結果と併記した. これらの図表によると, BI'による判定がいくつかの地点でosであるにもかかわらず, IBIの判定結果による水環境の状態は「水質が悪化している」と「汚濁の進行が著しい」との中間で評価は総じて低い値となっている. メトリックの選定, 採点基準, 総合得点による水環境の評価は総合して行われるものであり, 「水環境カルテ」の総合得点による評価を単純に比例配分して評価したことにも問題があることが考えられる. しかしながら, 一つ一つのメトリックに注目すれば, BIと同様な種類数を扱うメトリックの値がすべて最低得点の「1」しか与えられていないことに気づく. 我々の研究室では観測の際, 肉眼で底生生物の同定をしているため, 分類が種のレベルではなく, 属・科のレベルまでしかなされていないことにより, このような結果が生じたことも考えられる. このようなことは, 種の数問題を水質判定法全体で考慮されるべきものであり, 種の同定レベルの向上は今後の重要課題であると共に, 各メトリックの採点基準の見直し, 総合得点と水環境の状態との関係を見直すことも必要であると思われる. また, 新たにその他のメトリックを選定, 追加し詳しい水質判定を可能にする配慮も必要であるが, これらについては今後引き続き検討していきたい.

上では, 5つの評価手法について, その妥当性が検討された. その結果, 簡単な水質評価のためには, BI', 優占3種を用いる方法が有効であることが示された. しかしながら, 1つの評価手法のみで水質評価を行うことは難しく, 種の数による多様性, 個体数, あるいは腐水階級による耐忍種, 非耐忍種で分けた場合, どのような種が生息しているか等を総合的に把握して水質評価がされなければならない. 今後も引き続き底生生物調査を実施し, より適切な水質評価法を確立したい.

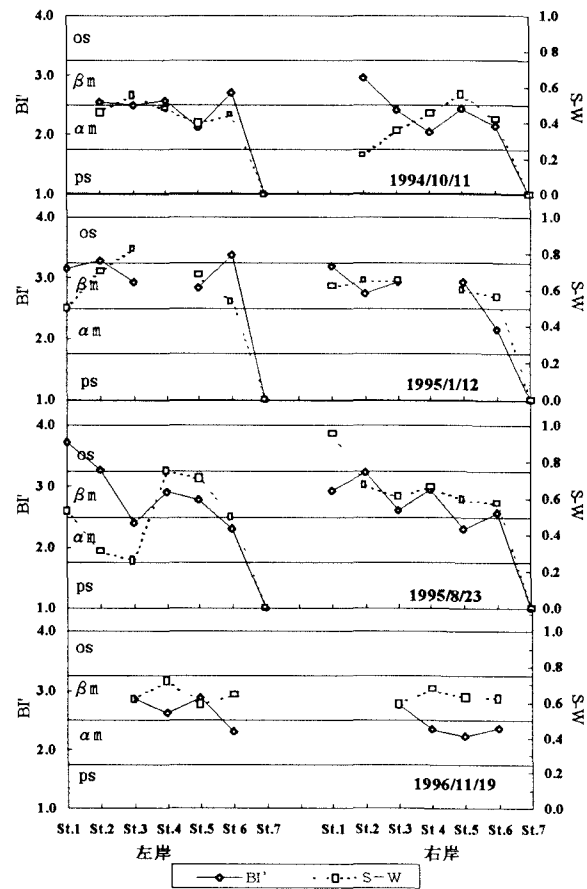


図-4 BI', S-Wの比較.

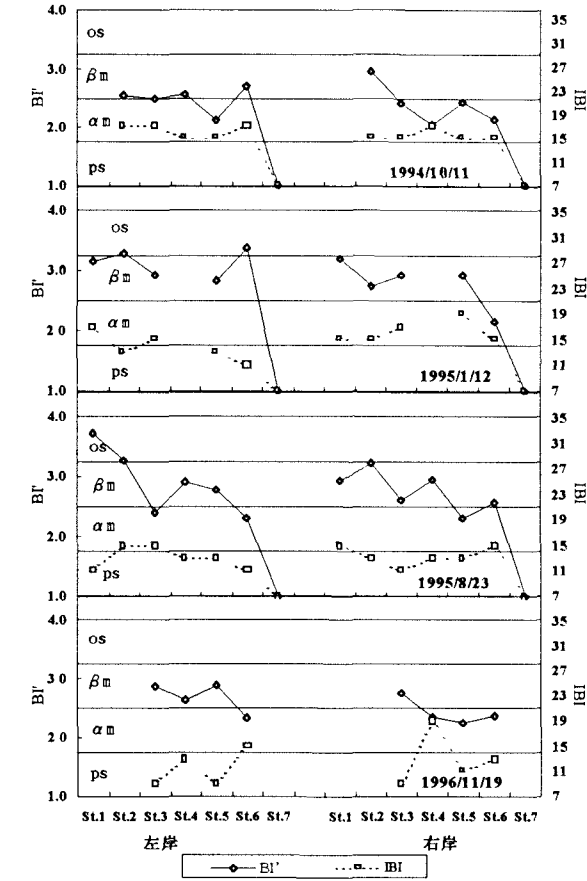


図-5 BI'とIBIの比較.

表-6 各メトリックの得点

Metric	Score													
	左岸							右岸						
Oct-94	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
総種類数		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
非耐忍種の種類数		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
耐忍種の個体数の割合		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
足のない生物の個体数の割合		3	3	1	1	3	1		1	1	3	1	1	1
泥に潜る生物の個体数の割合		5	5	5	5	5	1		5	5	5	5	5	1
ミミズ類の個体数の割合		5	5	5	5	5	1		5	5	5	5	5	1
優占3種類の個体数の割合		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
総合得点		17	17	15	15	17	7		15	15	17	15	15	7
Jan-95	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
総種類数	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1
非耐忍種の種類数	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1
耐忍種の個体数の割合	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1
足のない生物の個体数の割合	3	1	1		1	1	1	3	1	1		3	1	1
泥に潜る生物の個体数の割合	5	1	3		1	1	1	3	5	5		5	5	1
ミミズ類の個体数の割合	5	5	5		5	5	1	5	5	5		5	5	1
優占3種類の個体数の割合	1	3	3		3	1	1	1	1	3		3	1	1
総合得点	17	13	15		13	11	7	15	15	17		19	15	7
Aug-95	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
総種類数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
非耐忍種の種類数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
耐忍種の個体数の割合	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
足のない生物の個体数の割合	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1
泥に潜る生物の個体数の割合	1	3	5	1	1	1	1	3	1	1	1	3	3	1
ミミズ類の個体数の割合	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	1
優占3種類の個体数の割合	1	1	1	3	3	1	1	3	3	1	3	1	1	1
総合得点	11	15	15	13	13	11	7	15	13	11	13	13	15	7
Nov-96	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
総種類数			1	1	1	1				1	1	1	1	
非耐忍種の種類数			1	1	1	1				1	1	1	1	
耐忍種の個体数の割合			1	1	1	1				1	1	1	1	
足のない生物の個体数の割合			1	1	1	1				1	3	1	1	
泥に潜る生物の個体数の割合			1	3	1	3				1	5	1	3	
ミミズ類の個体数の割合			1	3	1	5				1	5	3	3	
優占3種類の個体数の割合			3	3	3	3				3	3	3	3	
総合得点			9	13	9	15				9	19	11	13	

4. 底生生物データベースと水域の水質判定

前項まででは、生物学的観点からの水質評価法を確立することの重要性が述べられた。これまでに上げられた各々の手法で簡単に水質判定を行っていくためには、たとえば図-6に示されるように、水域に生息する底生生物のデータベースをその画像と共に作成し、野外での観測の都度その個体数を入力することにより、自動的に水域の水質判定がされるソフトパッケージを作成することが望まれる。最近、この種のデータベースが作成され始めているが、なかなか興味深いものが乏しいのが現状である。これより、上述のデータベースを作成することの重要性が理解される。この種のデータベースを完備し、種々の機会を捉えて効率的にそれらの情報が流布されれば、住民に対する河川の水質浄化への関心を呼び起こし、環境意識の向上に役立てられ好ましい環境を達成する上で大いに有効であるものと期待される。

(1) データベース化

底生生物調査の際に行われる同定作業の効率化を図るためには、同定を行うための資料の存在が欠かせない。そこで、Borland社のDelphi3.1 for Windows95を用い種々の検索機能を備えた画像データベースを作成すると共に、調査データの蓄積、利用が効率よく行えるソフトパッケージの作成の検討を行った。

今回作成したデータベースのテーブル構成は、生物分

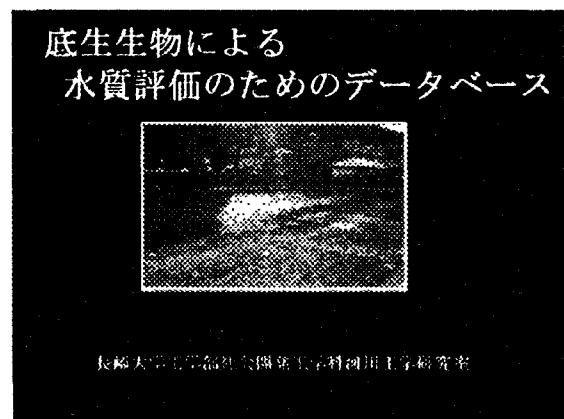


図-6 タイトル画面



図-7 底生生物データ画面

類上からの綱、目、科、学名、和名、その画像及び説明、加えて水質判定時に必要となる腐水階級とした。

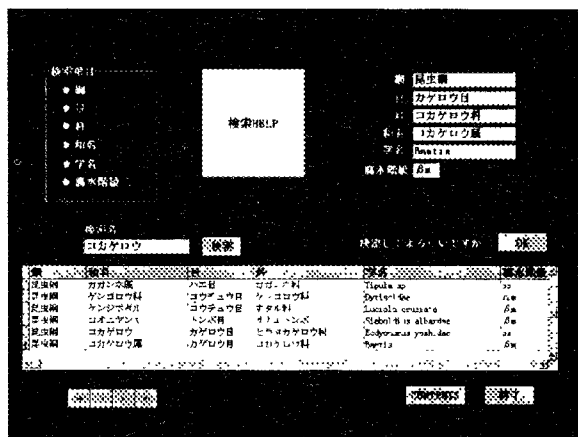


図-8 底生生物検索画面

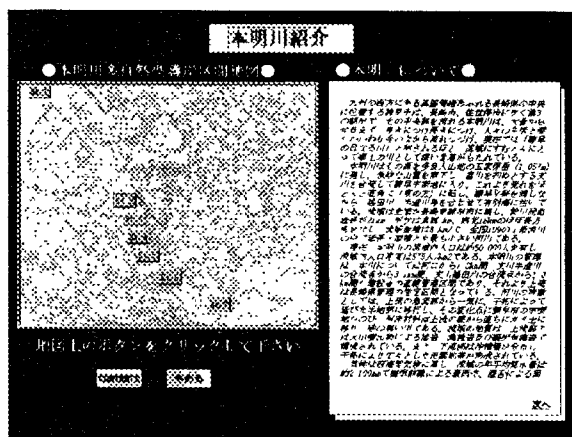


図-9 本明川紹介画面

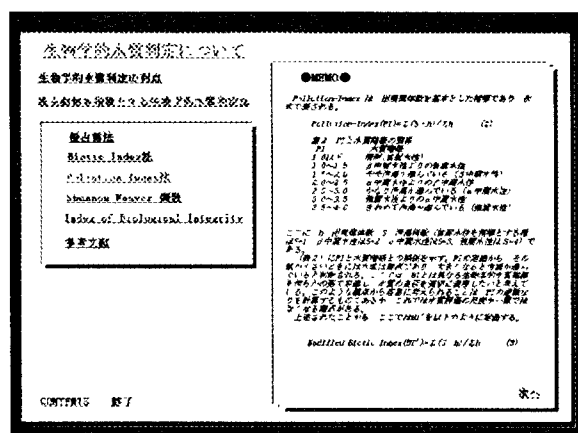


図-10 生物学的水質判定紹介画面



図-11 生物学的水質判定画面

(2) ソフトパッケージの構成

今回作成したデータベースは、単なる画像データベースに終わるものではなく、将来的には底生生物による水質評価のための総合的なデータベースとして、一般の方々の閲覧が可能であるソフトパッケージの作成を目指すものである。したがって、その内容は、検索機能を備えた底生生物のデータベース、調査法の説明、底生生物による水質判定法の説明および、現在わが研究室で観測を続けている長崎県唯一の一級河川である本明川の紹介、等で構成された。

(3) 水質判定の自動化

調査の効率化を考えれば、データの入力に対応して、観測結果から自動的に水質の判定が行われることが望ましい。したがって本論で提案されたデータベースアプリケーションでは上述された優占種法、BI法等いくつかの底生生物による水質判定法を取り上げ、それぞれの方法で水質判定を自動的に行わせるようにした。

5. あとがき

水環境評価を生物学的手法を用いて適切に行うために、幾つかの方法が検討された。その結果、簡単な水質評価のためには、優占3種やBI*を用いる方法が有効であるこ

とが示された。一方、水環境を水質的側面のみで判定することでは、容易なことではなく、各種の指標を用いた水質判定の重要性が指摘された。とくにIBIについては、調査項目を適切に選定することにより、総合的水質判定の有効な手段にし得ることが示された。本論の最後の部分では、上述された水質判定結果の有効的な利用法についても提案された。今後は、詳細な水質判定方法の検討と底生生物のデータベース化を行い、「うるおいのある川づくり」の実現に役立てることを考えていきたい。

謝辞：本研究を行うにあたり、河川環境管理財団の河川整備基金の補助を受けたことを記し関係各位に感謝の意を表します。また、野外観測の実施・計測等に協力して戴いた前田智也氏（現：宮崎市役所）を初めとする河川工学研究室の学生諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 津田松苗, 森下郁子: 生物による水質調査法, pp. 94-103, 山海堂, 1974.
- 2) (財)ダム水源地環境整備センター: 水辺の環境調査, pp. 327-329, 技報堂出版, 1994.
- 3) 合田健: 水質工学 基礎編, pp. 171-172, 丸善, 1975.
- 4) 森下依理子: 川と湖の博物館4 水環境カルテ, pp. 2-21, 山海堂, 1996.

(1998. 9. 30受付)