

加古川水質の総合評価について*

北村 弘 行**・駒井 幸 雄**・古武家 善 成**
 芦田 賢 一**・原田 三 郎**・西村 太美子**

1. はじめに

加古川は、兵庫県氷上郡青垣町の北端にある栗鹿山(標高 962 m) 付近に源を発し、篠山川、杉原川、東条川、美囊川、万願寺川および野間川などの支流を合せながら播磨灘に注ぐ全長約 96 km、流域面積約 1,700 km² をもつ兵庫県最大の 1 級河川¹⁾ である。

河川勾配は、源流部から数 km で海拔約 200 m になり、その後、河口部まではゆるやかな傾斜をみせている。加古川市国包にある建設省国包水位観測所にある 1972 年から '80 年の 9 年間の平水流量と低水流量の単純平均値は、前者が 25.4 m³/s、後者が 15.7 m³/s となっている。

流域には、一般に鉱床との関係が深いといわれる流紋岩類が広く分布²⁾ し、本流上流域と杉原川上流域には Cu を中心とした Cu・Zn・Pb 鉱床が、万願寺川流域には、Au・Ag・Cu・Zu 等を含む鉱床がある^{3,4)}。河床の堆積物にこれらの影響をみせているところもある。

流域の人間活動状況をながめると、ほぼ次のようになる。1980 年の流域市町(神戸市、三田市を除く)における工業出荷額は、兵庫県全域の 13.5% である。兵庫県全域の工業出荷額は '72 年に比べて '80 年は 2.3 倍の増加であるのに対して、加古川流域は 3.3 倍となっている。また、工業用水の使用量は加古川市域が流域使用全量の 93~97% と、その大部分を占めている。

水質汚濁防止法および兵庫県公害防止条例で規制の対象となる特定事業場は '81 年度で通常排水量 50 m³/日以上が 122 カ所、1,000 m³/日以上が 47 カ所、10,000 m³/日以上は山南町に立地するパルプ工場と加古川市に立地している毛織物工場の 2 事業場である。1,000 m³/日以上を排出する事業場を業種別にみると、繊維・染色工場が 43%、生活排水処理場が公共、民間あわせて 47% と、両方で 90% を占めている。この年度における事業場からの BOD 負荷量を兵庫県への届出資料⁵⁾ から見積ると約

5,800 kg/日となって、1,000 m³/日以上を排出する事業場によってその 91% が占められている(図 1)。また、業種別に負荷の割合をみると、繊維・染色工場が 56%、生活排水処理場が 12%、パルプ工場が 20%、その他が 12% になっている。

2. 調査の内容

ここでべる水質調査の内容は次のとおりである。瀬

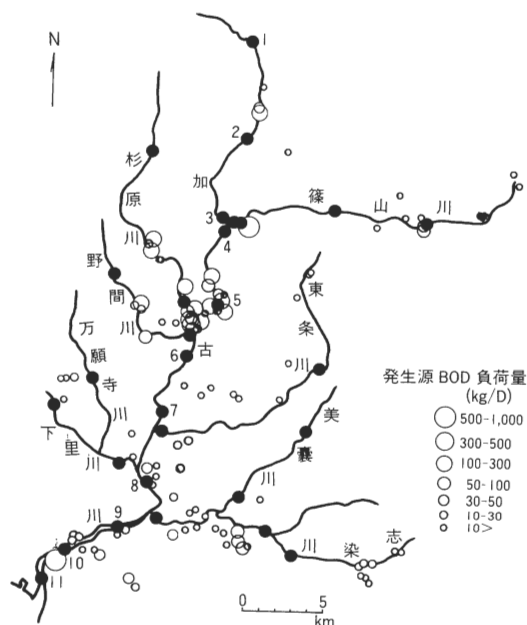


図 1 BOD 発生源分布状況と調査地点

● : 調査地点, 1…芦田橋, 2…錦橋, 3…井原橋,
 4…船町橋, 5…鹿野大橋, 6…板波橋, 7…大
 門橋, 8…大住橋, 9…上荘橋, 10…加古川橋,
 11…相生橋

* Comprehensive Evaluation of Water Quality in the Kakogawa River

** Hiroyuki KITAMURA, Yukio KOMAI, Yoshinari KOBUE, Kenichi ASHIDA, Saburo HARADA, Tamiko NISHIMURA (兵庫県公害研究所) Environmental Science Institute of Hyogo Prefecture

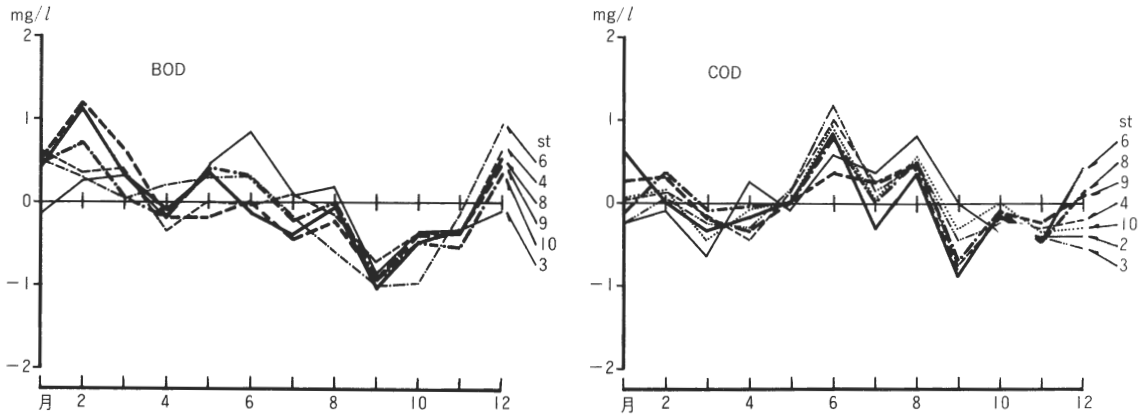


図2 偏差値の経年変化：各月の偏差値を統計年数（1972—'83）で平均した値

戸内海環境保全特別措置法による汚濁負荷量や排水水質には、CODが規制の項目となっているところから、'72年4月から'81年3月までの加古川水質の測定結果を用いて、BODとCODを主体に統計処理⁶⁾を行った。底質については'78年度からはば年1回試料を採取して重金属を調べており、'79年には本、支流の全域で重金属の分布を調査⁷⁾した。水生生物にあっては、'81年7、11月に底生動物⁷⁾と付着けい藻⁸⁾を対象として、水質との相互関係を検討した。調査地点を図1に示す。

3. 水質の特性

BODとCODについて、本流における季節変化の状況を統計処理によって検討した。両者を比べると、BODで季節変化が統計上有意でなくて、CODで有意となったのはSt.2（錦橋）であった。季節変化の検討に経年変化の影響を除くため、地点毎に各月の年平均値からの偏差を求めて、その値を統計年で平均した。結果を図2に示す。

BODとCODの季節変化の状況は、汚濁物質の発生負荷量がほぼ年間を通じて変わらないものとする、河川流量や水温の変動に依存する割合が多いのではないかと考えられる。流水量の増減は可溶性有機物質の希釈や河床の清掃効果に、また、水温の高低は有機物質の分解反応に関与しているといえよう。BOD偏差の年較差が2 mg/l程度であるのに、CODのそれは4 mg/lと約2倍となっている。この差については、構成する可溶性有機物質の相異とも考えられる。

図には示さなかったが、SSと大腸菌群の偏差値は、冬期は負、晩春から初夏には正となっている。この現象も河川流量や水温との相互作用を示唆している。

年毎の平均値（BODは75%非超過確率濃度）を算出し、経年変化を調べた。結果の1例として西脇市の下手に位置するSt.6（板波橋）では、'72年にBOD75%非超過確率濃度は6.8 mg/l、平均値で5.25 mg/lと、環境基準値の3.0 mg/lを上回っていたが、'75年までは減少をみせている。CODは'75年までBODと似た減少をみせ、'75年以降はBODが横ばいを示すのに対して増加に転じている。'75年は神戸市、三田市、高砂市および加古川市を除いた加古川流域の工業用水（淡水）の使用量が統計期間中で最低を記録した年であり、繊維工業出荷額もこの年に最低値を示している。

水質汚濁に寄与する要因を検討するため、多変量解析手法の一つである主成分分析法を用い、水質測定項目のうち、BOD、COD、Cl⁻、SS、DO飽和度および大腸菌群の値から、第1主成分（Z₁）、第2主成分（Z₂）を求めた。結果を表1に示す。

表1 各地点の主成分分析結果

調査地点	Z ₁		Z ₂	
	固有値	寄与率	固有値	寄与率
2 錦橋	2.36	0.30	1.51	0.18
3 井原橋	2.56	0.32	1.74	0.22
4 船町橋	2.28	0.29	1.68	0.21
6 板波橋	2.61	0.33	1.21	0.15
8 大住橋	2.42	0.30	1.43	0.18
9 上荘橋	2.27	0.28	1.53	0.19
10 加古川橋	2.15	0.27	1.79	0.25
11 相生橋	2.76	0.34	1.57	0.20

Z₁：第1主成分 Z₂：第2主成分

統計期間：St.2…1973～'80、St.3～11…1972～'80.

第1主成分 (Z₁) の寄与率は各地点おしなべて全変動の1/3を占めており、因子負荷量からみると、BOD、COD および Cl⁻ の値が大きい。このことは、人間活動の結果生ずる汚濁負荷の状況を反映して「有機性汚濁」が顕著なことを示している。第2主成分 (Z₂) はSSの因子負荷量が大いだが、寄与率は第1主成分に比べて半減している。降水状況、流水量の増減など「河況の変動」状況をあらわすといえる。第1主成分の変化を、西脇市の下手にあたる St. 6 (板波橋) の値を用いて示すと図3のようになる。'72年から'80年までの繊維工業出荷額、紙・パルプ工業出荷額や年間総流水量⁹⁾を Z₁ と対比させると、Z₁ の変化は繊維工業出荷額の変化パターンとよく対応している。また、さきにもべた工業用水使用量とも類似しており、西脇市を中心とした繊維・染色工場群の生産活動が大きく影響していることを示している。

4. 底質中の重金属

さきにもべたように、加古川の上流域は鉱床と関係の

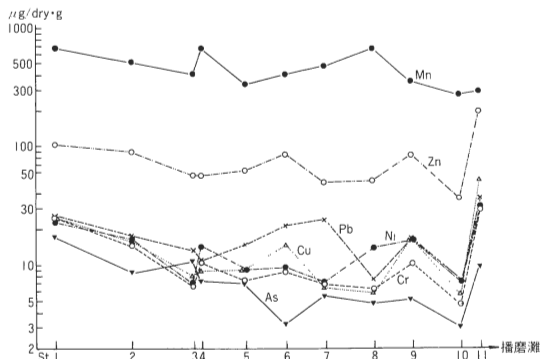


図4 底質中の重金属：調査期間…1979年6月25～27日

ある流紋岩類が広く分布しており、現在は休廃止になっているが、Cu・Mn・Zn等の鉱山がある。一方、最下流部は感潮域で、河床は海水の影響下になり、水質と堆積物との相互関係は淡水域とは異なったものとなる。

本流の底質中重金属分布は、流下方向に漸減する傾向をみせている。なお中流域ではPb、AsおよびCuの変化が大きい。濃度はMnが最も値が高く、Znがこれに次ぐ。他のNi、Pb、Cu、AsおよびCrが一つのグループをなして分布している。感潮域になるとMnを除いて濃度が増しており、分布特性が淡水域とは異なっていることが図4からうかがえる。各支流の状況は、河川規模の差もあり、本流への影響は小さい。全域の測定値を用いた平均濃度と、本流最上流部での測定値を対比すると、鉱床による影響を反映してか濃集する金属に伴ってAs、Crの濃度も増している(図5)。これは流紋岩の存在からみて通常の範囲¹⁰⁾と考えられる。

感潮域では海水との混合、pHの変化等がおこり、淡水では生じ難い微粒子の沈降現象^{11,12)}についても考慮しなければならない。海水の混入による溶存酸素量の減少とか、水中にある有機物の分解に伴う酸素の消費で河床面は還元状態に近づき、Sとの反応と相まって沈降し易い条件になることも推定される。感潮域では、底質は黒色のシルト、または、粘土質で強い硫化水素臭を発生し、還元状態を呈しているのを観測している。堆積物が還元状態でも、直上水の酸化的環境条件により底質から溶出したFe²⁺とMn²⁺は酸化沈殿の様子は異なる。還元的環境へ移行する場合、pHとORPの関係からMn²⁺がFe²⁺に先がけて酸化沈殿¹³⁾をして行く。このような反応条件が影響して、感潮域の底質中のMn濃度分布が他と異なった状況を示す。

経年変化については、濃度に多少の変化はみられるものの、底質の特性には影響していない。

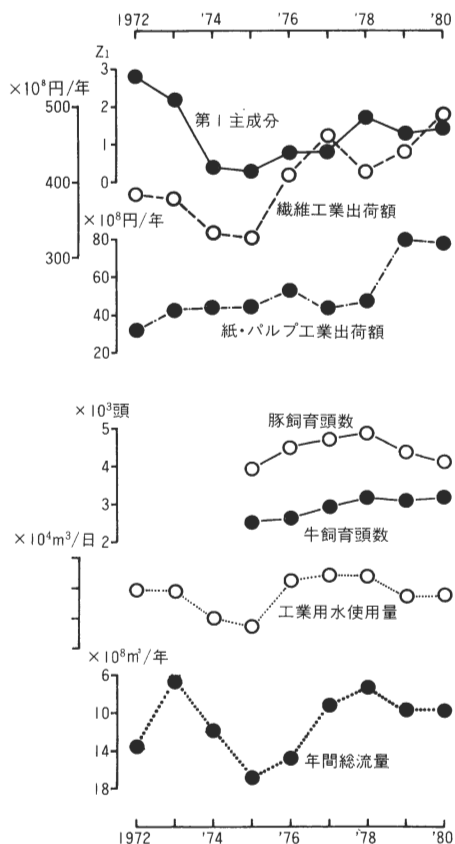


図3 St. 6における主成分分析結果 (Z₁) と関連項目の経年変化：工業用水使用量は神戸市、三田市、高砂市および加古川市を除く

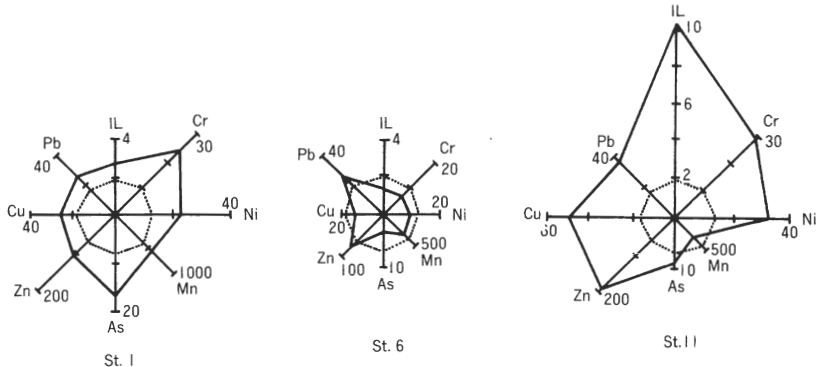


図5 底質のILと重金属：調査期間…1979年6月25～27日：IL…%，重金属… $\mu\text{g}/\text{dry}\cdot\text{g}$ …：加古川の全平均値

5. 底生動物相からみた水質

河川で底生動物を調べ水質の判定を試みることは、近年多く取入れられ、生態学的手法にもとづく成果が報告されている。しかし、試料の処理に多くの時間がかかるため、理化学的情報と合せ検討しようとする場合に同時性を求め難いことが多い。

加古川の底生動物相⁷⁾をみると、清冽な河川での代表種で、河川が安定した状態時に優占種で出現することが多い¹⁴⁾ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche griseipennis*) は、本流と一支流の最上流域に限定されている。また、オオシマトビケラ (*Macronema radiatum*) が中～下流域に優占種として生息している。7月と11月の異なった季節の調査から出現種数をみると、本、支流とも約30種となり、豊富な動物相を形成している。この状況を、汚濁耐性種指数 (I) として求め表2に示した。St. 4とSt. 6で値がやや小さくなっているが、本流域全域でみると顕著な差はない。

表2 全種数(S), 汚濁耐性種数(t), および汚濁耐性種指数(I).

調査地点	S	t	I
2 錦橋	19	10	2.44
3 井原橋	23	11	2.22
4 船町橋	24	10	1.93
6 板波橋	23	10	2.02
7 大門橋	20	9	2.09
8 大住橋	19	10	2.44
9 上荘橋	17	8	2.19
10 加古川橋	19	9	2.20

$$I = \frac{\text{各地点の汚濁耐性種数}}{\frac{\text{各地点の全種数}}{\text{全地点の汚濁耐性種数}} \cdot \text{全地点の全種数}}$$

調査期間：1981年7月20～21日

上流域にはパルプ工場からの排水、中流域には広範囲に繊維・染色工場群からの排水が流入しており、他方市街地からは多くの生活排水も流入している。河川で生息する底生動物は、この影響を受けているが、主要汚濁源からの影響について経年的にみると、パルプ工場排水では、'51年¹⁵⁾～'64年¹⁶⁾の間、篠山川と本流の合流点前後の場所には悪い影響を与えていたと考えられる。これが'64年～'73年¹⁷⁾には種数が大幅に増加しており、汚濁源に変化がおこったことをうかがわせる。'81年の時点では、パルプ排水の影響を受けていたSt. 4では、他の調査地点と比べて種数に差はないが、群集構成をみると依然としてパルプ排水の影響下にあるといえる。

繊維・染色工場排水の影響をみると、杉原川が本流と合流する手前では、他の調査地点よりも種数は少ない。しかし、種数はそれなりに'64年<'73年<'81年と漸増の傾向をみせている。

河川形態や河床の不安定さの影響については、群集類

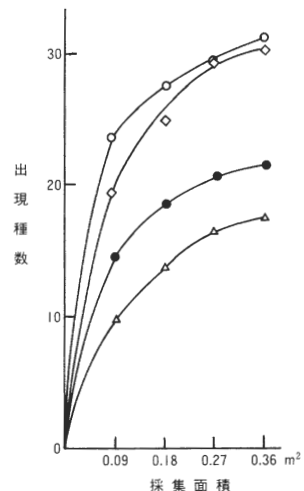


図6 底生動物採集面積と出現種数との関係

表3 付着けい藻の水質階級別出現率, 汚濁指数及び多様性指数

調査地点	階 級 別 出 現 率 (%)					染濁指数*2 (Pantle・Buck)		多様性 指 数
	貧腐水性種	β - 中腐水性種	α - 中腐水性種	強腐水性種	識別不明種	1	2	
						1	2	
1 芦田橋	71.6	13.6	6.0	6.1	2.7	2.0	1.5	0.89
2 錦 橋	40.7	18.2	18.4	20.0	2.7	2.2	2.2	0.96
3 井原橋	37.6	8.1	7.9	41.5	4.9	2.1	2.6	0.93
4 船町橋	38.8	23.7	13.2	12.5	11.8	2.2	2.0	0.94
6 板波橋	41.8	23.7	8.2	19.6	6.7	2.2	2.1	0.94
7 大門橋	19.6	28.7	6.8	39.1	5.8	2.3	2.7	0.93
8 大住橋	33.5	28.6	3.0	32.7	2.2	2.3	2.4	0.90
9 上荘橋	37.4	27.2	3.9	26.9	4.6	2.0	2.2	0.94
10 加古川橋	26.1	13.4	1.6	57.0	1.9	2.3	2.9	0.79

注 *1. 調査期間…1981年7月20～21日

*2. 汚濁指数は次式で算出。1…h に出現頻度, 2…h に出現殻数を用いた。

$$S = \sum s \cdot h / \sum h$$

[S…汚濁指数, s…汚濁階級指数, h…出現頻度または出現殻数]

以度指数¹⁹⁾の変化が、また、河川改修工事が行われているところでは、その下流部で汚濁耐性種指数が、有機汚濁水域と同じ変化をみせている。

底生動物相の経年変化を検討するとき、この分野の調査によくみられる、研究者によって試料採集網の網目¹⁹⁾、採集面積の変化(図6)等がある。これらは資料の検討時に影響を与えることも考えられ、同一レベルの補正も含め、追跡調査においても十分な配慮が必要である。

6. 付着けい藻からみた水質

水生動物として底生動物の他に付着けい藻をえらび、その群集構成から水質について考察⁹⁾した。通常河川では造網型昆虫は流下する微小藻類、すなわち、古くなったり、はがれた藻類を摂取して、藻類から底生動物への効率のよい物質のエネルギー転換をしている。微小藻類は、分裂によって増殖するため底生動物とは世代の長さがちがってくる。藻類群集から得られた情報は、底生動物より得た情報に比べてより短期間の環境の履歴を反映²⁰⁾しているといえよう。

'81年7月と11月の調査では出現種数は変種を含めて130種であった。なかでもフネケイソウ(*Navicula*属)、ハリケイソウ(*Nitzschia*属)、クサビケイソウ(*Gomphonema*属)およびマガリケイソウ(*Achnanthes*属)では種数²¹⁾が多くみられた。出現種数の算定では、殻数の計数量によっても変動し、1,500殻の計数で種数はほぼ横ばいになるが、2,000殻計数でもまだ変動を示す場合がある。算定に必要とする殻数については、底生動物における採集面積と同じく今後の検討が必要である。

パルプ工場排水、繊維・染色工場群からの排水の影響域とか、河川改修工事の下流部では、底生動物と同様な分布特性を示している。ところがPantle・Buckによる汚濁指数を用いた水質判定は、調査地点のすべてが β -中腐水域となる。そこで β -中腐水域と判定したのは、優占種や水質階級出現率等からみて合理的な水質を表現し得ない地点がみられ、このことについて検討した。

出現優占種からみると、 β -中腐水域であっても、貧腐水性種²²⁾である *Cocconeis placentula* var. *lineata* が優占種として本、支流の上流域で高い出現率をみせた。他方、強腐水性種がかなり出現して、 α -中腐水域に相当すると思われる水域も下流部でみられた。Pantle・Buckの汚濁指数を算定するとき、出現頻度を用いるか、出現殻数を用いるか今後も検討しなければならないが、後者を用いた方が客観性のある指標となっている。算定結果を表3に示す。

種の指標性の基準が、底生動物と付着けい藻で異なったり、後者の分布が貧腐水域から強腐水域にまで広く分布しているところからくる指数化への弱点が影響しているとも考えられる。これらの状況を考慮して、付着けい藻による水質判定を確かなものにするためには、指標性が不明な種が多いことや、研究者によって水質階級の異なった指標として報告されている等、評価に対して重要なことが未確定のままになっており、解決しなければならない課題である。

7. あとがき

水質測定計画にもとづく調査からの情報が10年近く蓄

積されてきた。この結果を用いて、加古川の有機性汚濁現象を時系列変化と主成分分析によって考察した。このように統計処理をして得られた結果の解釈には、因果関係を確かめた後でなければ意義がうすれてくる。加古川流域には、休廃止鉱山が広く分布して、鉱床からの影響がみのがせないで、底質の重金属について調査を行った。他方、水質や河床の両者から影響をうける水生生物の挙動を調べたが、動植物を問わず「種」の同定に調査時間の大半が必要となっている。

加古川の水質について、理化学的な考察と生物学的な検討結果を総合してみると、有機性の汚濁現象が顕著な現象としてみとめられた。河床には流域の地質を反映した状況のみせた堆積物があるが、水質には影響していない。このような河川に生息する水生生物の分布は、底生動物、付着けい藻ともに、有機性の水質汚濁に対応した群集構成を示している。しかし、両者の間には若干の指標のずれがみられ、生物による水質の評価については、今後この点について検討しなければならない。

—引用文献—

- 1) 近畿地方建設局姫路工事事務所：加古川水系利水調査位置図 (1977).
- 2) 芦田賢一，駒井幸雄：兵庫県公害研究所研究報告，No. 15 (1983).
- 3) 兵庫県：兵庫県地質産出図及説明図 (1973).
- 4) 兵庫県環境局：兵庫県水質測定地点図 (1981).
- 5) 兵庫県：環境局水質課資料 (1981).
- 6) 古武家善成：水質汚濁研究，印刷中.
- 7) 原田三郎：兵庫県公害研究所研究報告，No. 14, pp. 24-9 (1982).
- 8) 畑田太美子：同誌，No. 14, pp. 30-5 (1982).
- 9) 兵庫県：兵庫県統計書，昭和47～55年 (1981).
- 10) 東野徳夫：鉱山地質，特別号，No. 5, pp. 19-24 (1973).
- 11) 高橋寛，加藤邦夫：岐阜県公害研究所年報，No. 5, pp. 54-8 (1976).
- 12) 小林節子，宇田川理：用水と廃水，**16**, pp. 21-8 (1974).
- 13) 小山忠四郎：生物地球化学，p. 258, 東海大学出版会 (1980).
- 14) 津田松苗，御勢九右衛門：生理生態，**12**, pp. 243-51 (1964).
- 15) 津田松苗ほか：兵庫県立水産試験場報告，Vol. 7, pp. 31-6 (1952).
- 16) 浜口章ほか：兵庫県瀬戸内海側主要河川底棲動物調査報告書，兵庫県立水産試験場 (1970).
- 17) 渡辺直，原田三郎：兵庫県公害研究所研究報告，No. 10, pp. 1-7 (1974).
- 18) Morisita M. : Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.), **3**, No. 1, pp. 65-80 (1959).
- 19) 田中光：淡水研究所報告，No. 17, pp. 1-6 (1967).
- 20) 渡辺仁治：公害と対策，**17**, No. 5, pp. 13-8 (1981).
- 21) 福島博，小林艶子：環境と生物指標 2，水界編，p. 56, 共立出版(株) (1975).
- 22) 福島悟ほか：水生生物相調査解析結果報告書，日本の水をきれいにする会，pp. 4-12 (1980).