

n381

ISSN 0288-6901

CODEN: EKGSDX

愛媛県公害技術センター所報

第 8 号

昭和62年3月

Report of Ehime Prefectural Research
Center for Environmental Protection

No. 8 Mar. 1987



愛媛県公害技術センター



はじめに

低成長期が続く社会経済情勢の中にあつて、公害・環境問題も時代の流れを反映したものに変わり、その取り組み方にも新たな発想が求められるようになりました。

当センターは、公害研究所から公害技術センターと改称して以来、早くも十年の歳月を迎え、技術革新の時代に対応しうよう、着実に成長して参りました。

本年度は特に、日常業務に環境庁等からの委託事業として、未規制大気汚染物質調査、赤潮対策調査及び底質環境調査が加わり、又原子力の歴史始まって以来の、ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故が発生し、本県においてもその影響が顕著に現れたため、その対応におわれた一年でした。

この所報は、業務の大幅な増加におわれた中で、調査研究の成果をまとめたものであります。

御一読いただきまして、御意見、御助言を賜われれば幸甚に存じます。

今後とも、職員一同が一丸となって環境保全に努力して参る所存でございますので、一層の御指導、御支援を賜わりますようお願い申し上げます。

昭和 62 年 3 月

愛媛県公害技術センター

所 長 塩 梅 豊

目 次

はじめに

1. 大気中の浮遊粉じん調査 渡辺 和範・他 1
2. 海水中の鉄, マンガン同時定量法 御手洗 清 7
3. 土壌浄化法による工場排水の高度処理 (第1報) ... 毛利作太郎・他 11
4. プランクトン相から見た県内湖沼の富栄養化状態について (第2報)
..... 中村 洋祐 23
5. 銅山川における底生動物を用いた水質評価 岡田 文明・他 33
6. 愛媛県における自然放射線分布 (第2報) 矢野 隆司・他 38
7. ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故の影響について
..... 矢野 隆司・他 42
8. 環境放射線の測定器 金子 敏明・他 48
9. 環境放射線測定におけるクロスチェック 安井 正良・他 54
10. 連立方程式法によるK-40, U-系列, Th-系列からの寄与線量率の解析と評価
..... 篠原 広充・他 58

大気中の浮遊粉じん調査

渡辺 和範・山本 英夫

1. はじめに

大気汚染については、硫黄酸化物や窒素酸化物、ばいじん等の規制により、改善の方向にある。

一方、最近の社会経済情勢の変化に伴う石油から石炭への燃料転換は、大気汚染物質の質的变化という形で現れてきており、環境庁や各自治体において、浮遊粉じん調査が実施されている。

浮遊粉じんには、人体に有害なバナジウム等の重金属をはじめ、土壌中の鉄やマンガン等の金属、自動車排ガスに起因するといわれるベンゾ(a)ピレン等の多環芳香族炭化水素を含んでいることが明らかにされている。

重金属は、微量であっても長期にわたり排出、蓄積されると、人体は勿論、生態系にも有害な物質であることから、長期的な視野にたった調査研究が必要である。

そこで、本県における大気中の重金属汚染の実態と汚染因子の推定を目的として、県下の8地点において昭和58年から60年にかけて、重金属及びベンゾ(a)ピレンの調査・分析を行った。その結果、汚染の実態について、経年変化などから一定の知見を得ることができ、また、各項目間の相関係数や主成分分析結果から汚染の因子を推察することができたので報告する。



図1 調査地区の位置

表1 調査地点の状況

調査地点	所在地	地点の概要
St1	東予支所 新居浜市八雲町12-3	東予支所屋上(センター局)
St2	中 村 新居浜市本郷3丁目1-1	県立新居浜病院敷地(中村局)
St3	飯 岡 西条市飯岡2124	飯岡小学校グラウンド(飯岡局)
St4	西 条 西条市大町445-2	西条児童公園敷地(西条局)
St5	西部公園 西条市水見野新緑区2-608	西条市西部公園敷地
St6	東 中 東予市周布160	東中学校グラウンド(東中学校局)
St7	生活保健ビル 松山市三番町8丁目234	生活保健ビル屋上
St8	富 久 松山市富久町273	松山消防署西部出張所敷地(富久局)

2. 調査方法

2. 1. 調査期間及び調査地点

調査は、58年から60年の夏・冬年2回、県内の主たる工業地域である東予地域6地点、中予地域2地点において行った。調査地点の位置及び状況は、図1及び表1のとおりである。

2. 2. 捕集方法及び分析項目・分析方法

捕集は、ハイボリュームエアサンプラーを用いて大気中の浮遊粉じんを、1回当たり24時間とし、夏・冬それぞれ年2回ずつ実施した。

分析項目は、マンガン、鉄、亜鉛、ニッケル、鉛、カドミウム、クロム、ひ素、バナジウム及びベンゾ(a)ピレンの10項目とした。

また分析方法は表2に示す方法を用いた。

3. 調査結果と考察

3. 1. 年平均値及び経年変化

浮遊粉じん、重金属及びベンゾ(a)ピレン濃度の年平均値と経年変化(8地点の58年8月~60年12月)を表3及び図2に示す。

表2 捕集方法及び分析項目・分析方法

捕集方法	分析項目	分析方法
ハイボリュウムサンプラー	浮遊粉じん	温度20°C、湿度50%で恒量とした重量法
捕集速度 約 1.5 m ³ /min	マンガン・鉄・亜鉛・ニッケル・クロム	硝酸-過酸化水素水分解 原子吸光度法
捕集時間 約 24 時間	ひ素	硫酸-硝酸-過塩素酸分解
捕集ろ紙	バナジウム	硝酸-過酸化水素水分解 N-ジベンゾイルフェニルヒドロキシルアミン
石英繊維製ろ紙 (PALLFLEX DAST 2500)	ベンゾ(a)ピレン	ベンゼン超音波抽出 高速液クロマトグラフィー

表3 浮遊粉じん、重金属及びベンゾ(a)ピレン濃度の県内8地点の年平均値

(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

項目	年度	58	59	60	平均	大阪※	宇部※	箕岳※・*
浮遊粉じん		56.7	58.9	57.3	57.6	51.0	48.0	29.0
マンガン		0.025	0.027	0.024	0.025	0.07	0.05	0.02
鉄		0.79	0.92	0.98	0.90	1.7	0.65	0.3
亜鉛		0.13	0.12	0.10	0.12	0.23	0.085	0.05
ニッケル		0.013	0.016	0.012	0.014	0.015	0.013	0.002
鉛		0.058	0.078	0.062	0.066	0.08	0.04	0.02
カドミウム		<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	-	-	-
クロム		<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	-	-	-
ひ素		0.009	0.008	0.008	0.008	-	-	-
バナジウム		0.017	0.019	0.012	0.016	0.01	0.01	0.01
ベンゾ(a)ピレン		0.0013	0.0013	0.0016	0.0014	0.003	0.0003	0.0002

※(60年8・12月の国設大気測定網測定結果の平均値)¹⁾

*国設大気測定網測定結果のバックグラウンドとして採用した。

なお、分析した重金属のうちカドミウム及びクロムについては定量下限値以下で、地点別の変動はみられなかったため解析の一部を省略する。

浮遊粉じんの年平均値は、56.7~58.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でほぼ横ばい状態であったが、図2のとおり、St6の60年8月とSt7、St8の59年7月及び60年12月に高い濃度がみられた。なお、St6(169.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)が高いのは、中学校のグラウンドに近い所で調査を実施したことによる土ほこりの影響と思われる。

マンガンの年平均値は、0.024~0.027 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でほぼ横ばい状態である。ただ、図2のとおり、St1の59年12月と60年12月、St7、St8の59年7月及び60年12月に高い濃度がみられた。

鉄の年平均値は、0.79~0.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とSt6を除けば横ばい状態であった。なお、St1の59年12月と60年12月、St6の60年8月及びSt7、St8の59年1月、7月、12月及び60年12月に高い濃度がみられた。

亜鉛の年平均値は0.10~0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でほぼ横ばい状態であった。図2のとおり、St1及びSt2の60年12月は、58年8月と比べ減少し、逆にSt7及びSt8の中予地域では増加していた。

ニッケルの年平均値は、0.012~0.016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でほぼ横ばい状態であった。ただ、図2のとおりSt2及びSt3で顕著な季節変動がみられた。

鉛の年平均値は、0.058~0.078 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ横ばい状態であり、特に59年7月からは横ばい状態が続いている。

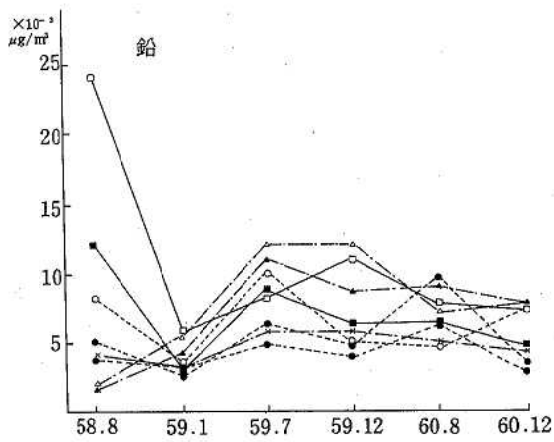
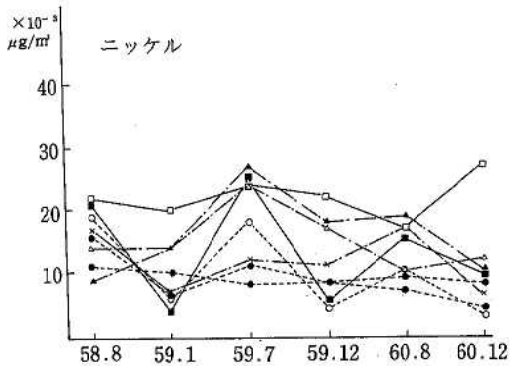
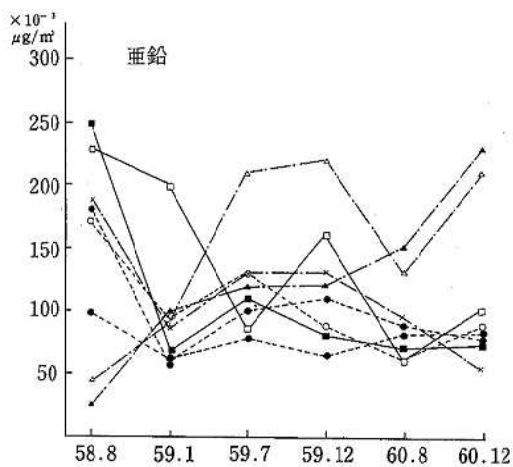
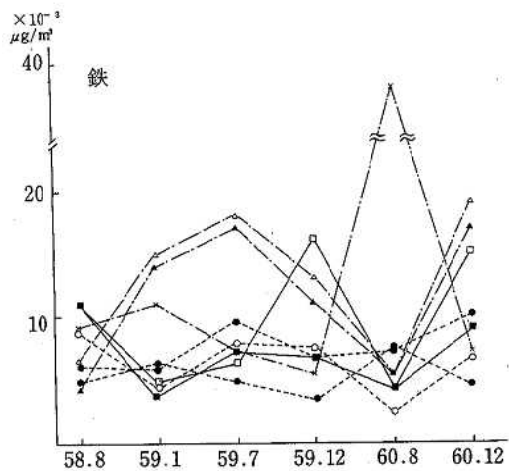
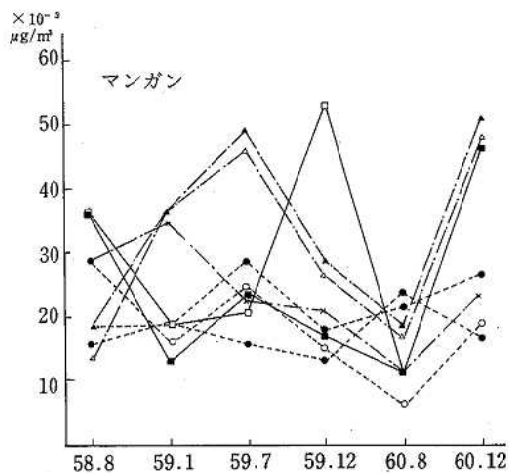
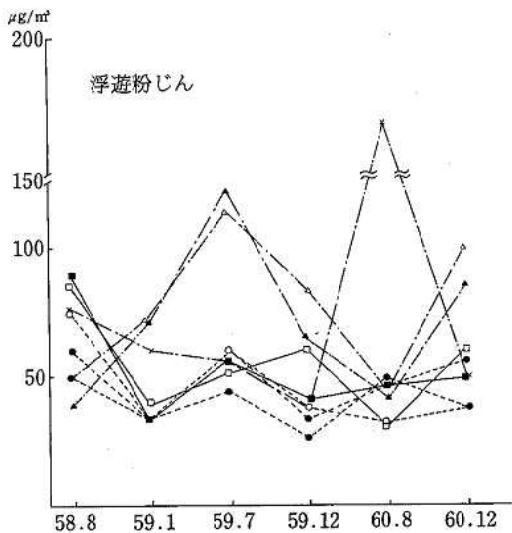


図2 浮遊粉じん、重金属及びベンゾ(a)ピレン濃度の地点別の経年変化

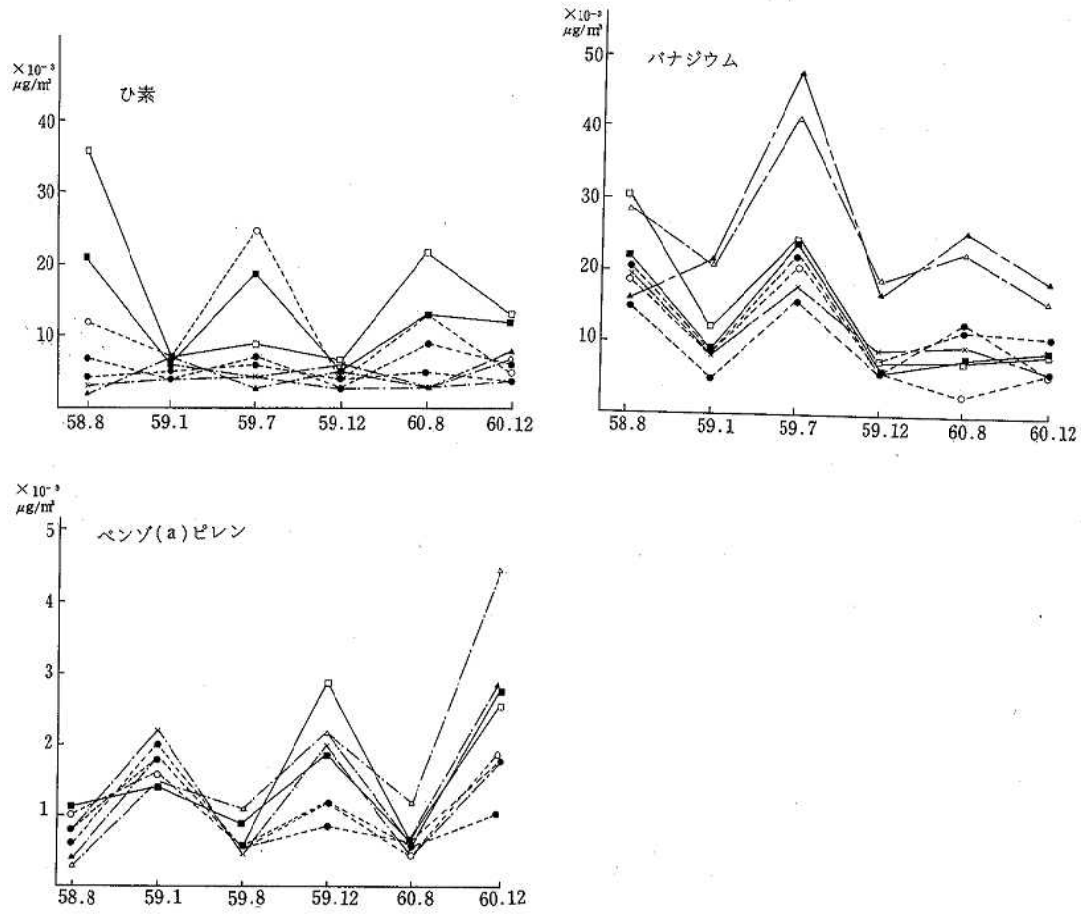


図2 浮遊粉じん、重金属及びベンゾ(a)ピレン濃度の地点別の経年変化

表4 測定項目間の相関係数

マンガン	** 0.879								
鉄	** 0.889	** 0.970							
亜鉛	** 0.472	** 0.328	** 0.301						
ニッケル	** 0.332	*	0.210	** 0.183	** 0.474				
鉛	** 0.359	*	0.261	*	0.237	** 0.574	** 0.577		
ヒ素	0.073	0.018	-0.007	** 0.300	** 0.442	** 0.593			
バナジウム	** 0.529	*	0.236	*	0.249	** 0.415	** 0.587	** 0.473	0.142
ベンゾ(a)ピレン	0.191	*	0.233	** 0.268	** 0.318	-0.103	0.056	-0.113	-0.131
	浮遊粉じん	マンガン	鉄	亜鉛	ニッケル	鉛	ヒ素	バナジウム	

n=96

*有意水準5%

**有意水準1%

ひ素の年平均値は、0.008～0.009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で横ばい状態であり、St1～St4では夏が高く冬に低い季節変動がみられた。

バナジウムの年平均値は、0.012～0.019 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、夏が高く冬に季節変動がみられた。また、59年7月以降は減少傾向であった。

ベンゾ(a)ピレンの年平均値は、0.013～0.016 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でほぼ横ばい状態であったが、St7では60年12月に高い濃度がみられた。

また、冬が高く夏に低い季節変動は、他の自治体でも報告²⁾されており、本県でも同様の傾向がみられた。

60年度国設大気測定網の測定結果¹⁾から、大都市の大阪市、瀬戸内の地方都市の宇部市及びバックランドとして筧岳を表3に示す。

また、60年度国設大気測定網の測定結果と比較した結果、バナジウムを除く重金属は、大阪市より低い濃度であった。また、マンガンは、宇部市より低く、鉄はやや高かった。一方、バナジウムは両市と比べて大差のない結果であった。

3. 2. 測定項目間の相関

58年度から60年度までの調査結果を用いて、測定項目間の評価を行った。相関係数を表4に示す。

その結果、浮遊粉じんはマンガン、鉄と相関係数0.87以上の高い相関を示した。マンガン、鉄は土壤中濃度が高い元素であるから浮遊粉じんは風による土壌粒子の舞き上げなどの影響を大きく受けていると考えられる。また、浮遊粉じん、マンガン、鉄、亜鉛の相互間と亜鉛、ニッケル、鉛、ひ素の相互間及び亜鉛と他の

項目間については、1%有意水準で正の相関が認められた。

3. 3. 主成分分析

大気汚染状況を評価するため、調査結果を主成分分析³⁾して少数の総合的な汚染因子に要約した。

計算にあたっては、表4の相関係数を用い、浮遊粉じんの成分である重金属及びベンゾ(a)ピレンの項目について、第3主成分までの固有ベクトルと因子負荷量を求めた。結果を表5に示す。

この結果、第3主成分までの累積寄与率は76.3%となり、第1主成分から第3主成分までで汚染状況の大半が説明することができた。

第1主成分(Z1)の因子負荷量は各項目とも正の値を示し、鉛、亜鉛、ニッケル、バナジウム、マンガン、鉄の順で0.6以上の高い値を示した。これらの成分はいずれも浮遊粉じんと相関の高い成分であり、浮遊粉じんの量が汚染に大きく寄与する因子であることがわかる。

これらのことから、第1主成分は大気汚染の総合的な汚染の程度を表しているものと考えられる。

第2主成分の因子負荷量はマンガン、鉄が比較的大きな値を示した。土壌に由来するマンガン、鉄等の重金属が正の大きな相関を示したことから、工業生産活動を含んだ総合的な汚染による影響を第1主成分と考えれば、第2主成分は土壌の影響を示す因子と考えられる。

第3主成分の因子負荷量はベンゾ(a)ピレンが正の大きな値を示したことから、第3主成分はディーゼル車やボイラーの排ガス等の影響を示す因子と考えられる。

表5 主成分分析結果

項目	第1主成分(Z1)		第2主成分(Z2)		第3主成分(Z3)	
	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
マンガン	0.351	0.631	0.505	0.687	-0.241	-0.249
鉄	0.341	0.613	0.524	0.713	-0.237	-0.244
亜鉛	0.418	0.751	-0.007	-0.010	0.365	0.376
ニッケル	0.411	0.739	-0.288	-0.391	-0.142	-0.147
鉛	0.444	0.799	-0.234	-0.319	0.176	0.182
ヒ素	0.276	0.496	-0.388	-0.528	0.238	0.246
バナジウム	0.367	0.660	-0.164	-0.224	-0.378	-0.390
ベンゾ(a)ピレン	0.093	0.169	0.394	0.538	0.708	0.729
固有値	3.23		1.85		1.06	
累積寄与率(%)	40.4		63.6		76.3	

3. 4. 夏季と冬季の比較

58年から3年間の96サンプルを夏季と冬季に分け、汚染状態を示す因子で寄与率の高い第1主成分Z1と第2主成分Z2のスコアの連続測定した2日間の平均値を図3に示す。

夏季のSt1, St2, St3でZ1スコアが年々減少傾向を示したことから、この3地点では総合的汚染度の改善が認められた。St6で60年度のZ2スコアが高いのは土壌の影響によるものと考えられる。

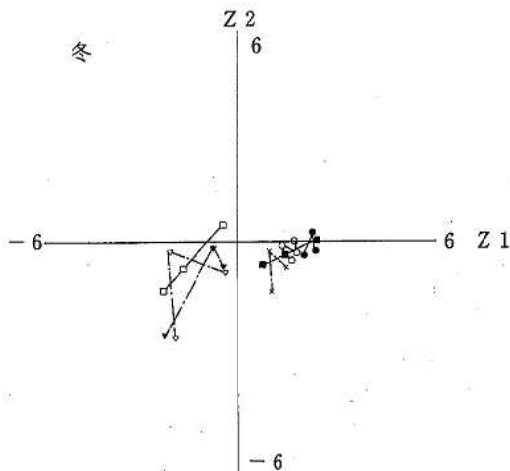
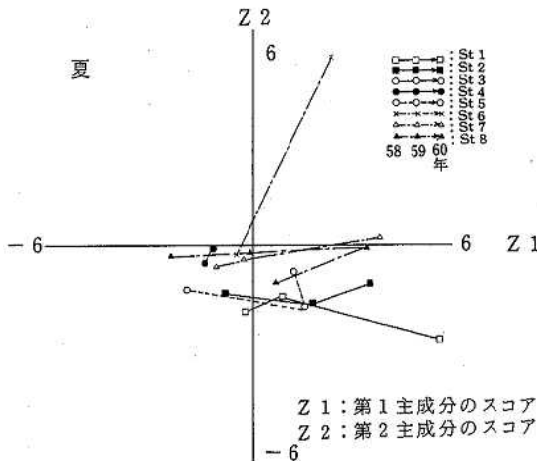


図3 スコア散布図

冬季のSt1, St7, St8でZ1スコアが高く, St7, St8では60年度のZ2スコアが高かった。夏季と冬季を比較するとZ2スコアが冬季に高い傾向を示したことから冬季に強く土壌に寄る影響を受けていると思われる。

また、スコア散布からSt5は、8測定地点のうち最も汚染源の影響が少ないと思われる。

4. ま と め

重金属等による大気汚染の実態と汚染因子の推察を目的として、浮遊粉じんの調査を実施した結果、次のような知見が得られた。

調査地点8地点においては、調査地点間の差はみられたが、各項目とも経年変化についてはほぼ横ばい状態であった。

また、60年度国設大気測定網の測定結果と比較した結果、バナジウムを除く重金属は、大阪市より低い濃度であった。また、マンガンは、宇部市より低く、鉄は、やや高かった。一方、バナジウムは両市と比べて大差のない結果であった。

さらに、3年間の調査結果をもとに、各項目間の相関係数を求め主成分分析等を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 相関分析の結果から浮遊粉じん量はマンガン、鉄と相関が高く、土壌の影響を強く受ける傾向がみられた。
- (2) 主成分分析の結果、第1主成分は総合的な汚染度、第2主成分は土壌からの影響、第3主成分はディーゼル車の排ガス等の影響を示す因子と考えられる。また、第1から第3主成分で約76%の汚染状態を推察することができる。
- (3) 冬季には、夏季に比べて第2主成分が高くなる傾向を示したことから、土壌による影響が冬季に現れているものと判断される。

— 参 考 文 献 —

- 1) 環境庁昭和60年度国設大気測定網測定結果：p.1, 252, 256, 260 (1986)
- 2) 石井達三, 水上和子, 長田泰宣, 大 康彦：埼玉県公害センター年報, 第9号, 55 (1982)
- 3) 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤 正：“多変量解析法”, p. 159 (1986), 日科技連

海水中の鉄・マンガンの同時定量法

御手洗 清

1. はじめに

海域が汚染される原因としては、汚染物質の陸上からの流入負荷の他に、内部生産や底質からの溶出が研究者の間で議論されている。

底質から溶出する成分としては、CODの他窒素やリン等に関心が深く、その溶出機構についてはいくつかの研究がなされている。¹⁻⁴⁾

そのうちリンの溶出については、鉄、マンガンが直接間接に関与しているといわれ、^{5,6)}筆者はかねてより、海水中に溶存する微量の鉄、マンガンの挙動に注目し、その定量法について検討してきた。

水中に溶存する微量の鉄、マンガンを定量する際の前処理法として、JISK 0102では、鉄は水酸化鉄として沈殿分離する方法、マンガンは鉄共沈法で濃縮する方法が採用されている。

清浄な海水中における鉄、マンガンの濃度は、通常1リットル中10 μ g以下と微量である。これらを正確かつ迅速に定量するために、今回溶媒抽出—原子吸光法を用いて、定量限界値を鉄、マンガンとも1リットル中1 μ gとする同時定量法を検討し、満足すべき結果を得たので報告する。

2. 実験装置及び試薬

2. 1. 装置

原子吸光分析装置 日立180—80型

偏光ゼーマンバックグランド補正装置付

pH計 堀場製F—8DP

2. 2. 試薬

鉄、マンガン標準液

和光純薬 原子吸光分析用1,000mg/l (塩酸性)を希釈して使用した。

ピロリジンジチオカルバミン酸アンモニウム (APDC), N, N—ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム三水合物 (DDTC) 及びメチルイソブチルケトン (MIBK) は原子吸光分析用を、その他は有害金属測定用又は一部特級品を使用した。

3. 実験結果

3. 1. 分析条件の検討結果

前述したように、JISK 0102に定める鉄及びマンガンの前処理法が、所期の目的からみて適当でないため、溶媒抽出法を採用することとし、次のとおり実験を行って、分析の最適条件を求めた。

3. 1. 1. pHとキレート (錯体化) 試薬の選択

鉄及びマンガンの水酸化物生成をさけるため、低いpH域が望ましいことから、最初pH3.0において、APDC—MIBKで抽出した。その結果鉄は定量的に抽出されたが、マンガンは全く抽出されなかった。

次にpHを4付近にあげても、ほぼ同じ結果であった。

pHを5.2にし、キレート試薬をDDTCにかえてMIBKで抽出したところ、鉄は前と同様定量的に抽出されたが、マンガンは一部抽出されたものの定量的ではなかった。

pHを5.5にしても、ほぼ同様であった。

pHを6.5とし、DDTC—MIBKで抽出したところ、鉄、マンガンとも定量的に抽出された。

3. 1. 2. pH調整

海水にブロムチモールブルー (BTB) を加えて、HCl (1+20) でおおむねpH調整を行った後、緩衝液を加えてpHを調整した。

緩衝液は、pH 3~4ではWalpoleの緩衝液 (CH₃COONa—HCl) を使用したが、pH6.5ではCH₃COOH—CH₃COONaが適当であった。

3. 2. 分析操作の設定

以上の検討結果から分析操作を次のとおり定めた。

試料 (海水) をメンブランフィルター (孔径0.45 μ m) を用いて吸引濾過した後、200mlを分取し、300ml分液ロートに入れる。

BTB溶液を0.3ml加えて攪はんする (この時青色)。HCl (1+20) を黄緑色になるまで (3~5滴) 滴下する。

次に緩衝液 (pH6.5) 10mlを添加した後、DDTC溶液 (1%) を3ml加えて、約10分間静置し、Fe, Mnのキレート化合物を熟成させる。

その後、MIBK 12mlを正確に加え、振とう器で10

分間振とうする。

5分間静置して、MIBK層と水層を分離した後、すみやかに水層をすてて、MIBK層を短い試験管に移す。

これをアセチレン-空気のフレイム（巾10cm）中に噴霧して、Feは248.3nm、Mnは279.5nmの波長において、積分モード（測定値の平均化）で5秒間、原子吸光を測定する。

3. 3. 検量線の作成

清浄な海水を採取し、試料と同様吸引濾過後、予備試験を行って、Fe、Mnの含有量が十分低いことを確認してから、検量線を作成する海水として用いる。

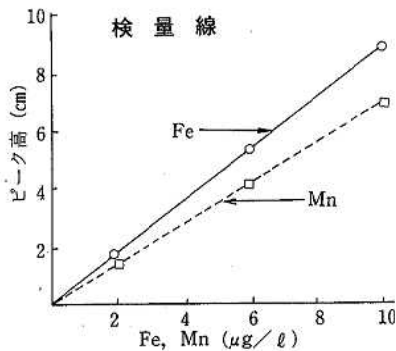
確認済の海水200mlを300ml分液ロートに分取し、BTB 0.3mlを加えて攪はんする。

これにFe、Mn混合標準液を0（ブランク）、1、3、5mlと段階的に添加する。

次にHCl（1+20）を、溶液の青色が黄緑色になるまで滴下し、pHをほぼ6.5に調整する。

以下、試料と同様操作を行って、検量線を作成する。

原子吸光分析装置で吸光度を測定する際、現在では本体及び記録計の拡大装置で、吸光度を自由に拡大できるため、検量線を示すことは特別の意味を持たないが、今回使用した検量線の一例を次に示す。



この場合、Fe、Mnとも本体で2倍、記録計でFeは2倍、Mnは5倍の拡大がかかっている。

この程度の拡大ならば、積分モード（5秒）で吸光度を測定すると、安定した検量線が得られ、再現性もよかった。

フローチャート



検量線の作成

清浄な海水200ml（300ml分液ロート）

←BTB 0.3ml

←Fe、Mn混合標準液を0、1、3、5mlと段階的に加える。

←HCl（1+20）で黄緑色とする。

ただし、標準液5mlの分液ロートには加える必要ない。

pH調整

以下上記と同じ

3. 4. 試薬の調製

3. 4. 1. 標準溶液

Fe 標準原液 (1,000mg/ℓ) を HCl (0.7+400) で希釈して、10mg/ℓ とする。

Mn 標準原液 (1,000mg/ℓ) も同様に希釈して、10mg/ℓ とする。

Fe 及び Mn の希釈標準液 (10μg/ml) 4 ml を同一の 100ml メスフラスコに分取し、HCl (0.7+400) で 100 ml 定容にする。

この混合標準液を 1, 3, 5 ml 各々分取して、検量線を作成する。

希釈標準液の分取量 (4 ml) を必要に応じて適宜増加し、高濃度の FeMn 混合標準液を調製して、任意の濃度範囲で検量線を作成することが可能である。しかしいずれの場合も、検量線を作成するための混合標準液の分取量は、1, 3, 5 ml ずつとするのがよい。それは次の操作 (pH 調整) が容易になり、混合標準液 5 ml を分取した分液ロートには、HCl (1+20) を加えないでも、pH がほぼ 6.5 になっているためである。

3. 4. 2. 指示薬 (BTB)

BTB 粉末 0.1g を 50ml エタノールに溶解した後、純水を 200ml 加える。

3. 4. 3. 緩衝液 (pH 6.5)

CH₃COONa · 3H₂O 130.6g を約 800ml の純水に溶解した後、CH₃COOH 1.5ml を加えて、純水で 1 ℓ とする。

この緩衝液 10ml を分取し、純水 200ml を加えて pH 値を測定する。この時 pH 値が 6.5 以下であれば、緩衝液に粒状 NaOH を適宜 (3~5 粒) 加えて、pH 値が 6.5 になるよう調整する。

4. 考察

海水 1 ℓ 中に 1 mg 以下しか存在しない元素は、微量元素と呼ばれ、⁷⁾ Fe, Mn もこれに属する。

微量の Fe, Mn がどのような形で海水中に溶存しているかを知る必要がある。それは Fe, Mn の溶存状態がキレート剤との錯体生成、ひいては有機溶媒への抽出率に影響を及ぼすと考えられるからである。

今井⁸⁾は、Fe は Fe(H₂O)₆³⁺ で示される正のアクア錯体として存在しているとし、さらにヒドロキソ酸化鉄 [FeO(OH)]_n などのコロイド状態としても存在するとしている。一方むしろクロロ錯体が主なものであろうとする考え方もある⁹⁾。

岡部¹⁰⁾はいくつかの文献を引用して、Mn は 2 価のイオン状、MnO₂, Mn(OH)₂ または Mn(OH)₄ をあげているが、実験的にはまだ明らかではないとしている。

また鈴木⁹⁾は、微量元素の多くは有機金属錯体として存在していると述べている。

このように無機形と有機形の 2 つの化学形が共存することが明らかになっているが、それがイオンであるか、化合物であるかはわからない部分が多い⁹⁾。

今回は海水を 0.45μm のメンブランフィルターで吸引濾過した後、分析する方法を採用しているため、Fe, Mn が懸濁状のものはほとんど除去され、溶解性又はコロイド状の一部が定量されていると考えられる。

次にキレート剤について述べる。

APDC は現在、JIS K 0102 に採択されていないが、pH 2 付近から使用でき、多くの金属イオンと錯体を形成するキレート剤として、一般に広く使用されている。

Fe は、APDC を使用してほとんど問題なく、定量的に有機溶媒層へ抽出されるのに対し、Mn は pH 2~4 で抽出されるとされている¹¹⁾ もの、実際にはうまくいかなかった。

DDTC は上記 JIS にも採用されている。酸性溶液中では分解するので、低 pH 域では使用できない。pH 5 以上では、APDC 同様、非常に多くの金属イオンとキレート錯体を生成し、いくつかの有機溶媒に抽出される。

抽出に使用される有機溶媒は、醋酸ブチル、MIBK など何種類もあるが、原子吸光法で、有機溶媒を直接フレーム中に噴霧する方法を採用する場合は、有機溶媒効果が大きく、取扱いが容易な MIBK が最も適している。

今回は DDTC を採用したが、前述のように Fe, Mn が高分子の有機金属化合物として存在している場合には、その一部又は全部が DDTC と反応せず、定量されていない可能性もある。

以上のことから、採水時の試料の状態、調査地点の状況等を十分に考慮して、Fe, Mn の定量値を評価すべきである。

5. 実試料の分析

この方法を実試料の分析に適用してみた。調査は昭和 61 年 7 月、環境基準 A 類型に指定されている海域 3 地点において行った。3 地点とも 3 層 (表層、中層及び下層) で採水し、この調査採水、分析を 4 回行った。いづれも清浄な海水で、水温は表層で 20~28°C の範囲にあった。

分析の結果、Fe は 3 地点、4 回の 3 層においてほとんど大部分が定量限界値 (1 μg/ℓ) 未満で、ごく一部、下層で 1.5 μg/ℓ 前後の定量値が得られた程度であった。

Mn については、試料の半数が定量限界値 (1 μg/ℓ) 未満であったが、残りは 1.6~2.6 μg/ℓ の定量値

を示し、下層でやや高い傾向があった。

同年8月に同海域において、ギムノディニウム赤潮が発生した際、再度採水及び分析を行った。

この時もFeはやはり大部分が定量限界値未満であったが、Mnは全般的にやや高く、下層で $10\mu\text{g}/\ell$ 前後となり、上層よりも下層で高い傾向を示した。この時、下層の溶存酸素飽和度は50~60%に低下しており、窒素やリン等もやや増加していたが、Mnとの明確な相関を示す成分はみつからなかった。

6. おわりに

海水中に溶存する微量の鉄、マンガンを迅速かつ正確に定量するため、DDTC-MIBK抽出、原子吸光法を用いる分析法を検討した。

この方法は、pH調整を確的に行えば、特にむづかしい分析法ではなく、日常業務において汎用できる。

留意点としては、分析過程で、鉄、マンガンのコンタミを生じさせないことと、検量線を作成する際に、鉄、マンガンの含有量の少ない海水を選ぶ必要があることがあげられる。

また、標準添加法が有効な場合もある。

今後は更に多くの実試料にこの分析法を適用して、分析データを蓄積し、底質から溶出する物質に関する情報を収集、検討することによって、溶出機構の解明に努めて参りたいと考えている。

— 参 考 文 献 —

- 1) 細見正明, 岡田光正, 須藤隆一: 第16回水質汚濁学会講演集, p. 274 (1982)
- 2) 鈴木俊也, 橋治国: 第16回水質汚濁学会講演集, p. 280 (1982)
- 3) 塩沢孝之, 川名吉一郎, 山岡到保, 星加章, 谷本照己, 滝村修: 中国工業技術試験所報告, 第21号, 13 (1984)
- 4) 山本弘捷, 熊城一男, 清水光郎, 畑宏: 岡山県環境保健センター年報, 第8号, 155 (1984)
- 5) 井澤博文, 清木徹: 第17回水質汚濁学会講演集, p. 247 (1983)
- 6) 河合崇欣, 大槻晃, 相崎守弘, 西川雅高: 第17回水質汚濁学会講演集, p. 255 (1983)
- 7) 坪田博行, 豊田恵聖: 海洋科学, 14, 261 (1982)
- 8) 今井嘉彦: "海をさぐる", p. 75 (1986), 高知大学
- 9) 鈴木款: 海洋科学, 14, 292, 297 (1982)
- 10) 岡部史郎: "海水の化学", p. 346 (1977), 東海大学出版会
- 11) 不破敬一郎, 下村滋, 戸田昭三: "最新原子吸光分析II", p. 716 (1982), 広川書店

土壌浄化法による工場排水の高度処理（第1報）

毛利作太郎・石丸尚志*・御手洗 清・井上 尊統
吉野内 茂・余田 幸作・中村 洋祐・渡辺 郁雄

1. はじめに

本県では、公害規制の開始とともに、地場産業である製紙、染色、食品工場等に対して、各種処理施設の設置指導により環境改善を図ってきたが、汚水の脱色、脱臭、窒素・リンの除去、COD・BODの低濃度化等の技術開発が、今後、環境の質的向上、排水の再利用の面などから解決すべき問題として残っている。

このため、本県では、昭和60年10月に産、学、行からなる「バイオテクノロジー高度排水処理技術開発研究会」（会長：愛媛県公害技術センター所長）が設置されるに至り、本県地場産業の実態に沿う経済性、実用性、排水処理特性などを備えた実用化プラントの開発を旨として試験研究を行うこととなった。

モデル工場として、製紙（D社）、染色（H社）、食品（M社）の計3社を選び、昭和60年度は、これらモデル工場の製造工程、排水処理系統などの実態調査等を行い、61年度前半には、排水処理に適する土壌を選択するため、基礎調査として、5種類の土壌の性状試験、15種類の染料の土壌への吸着試験及び土壌を充てんしたカラムによる工場排水の通水試験を行い、若干の知見が得られたのでその結果を報告する。

2. 土壌の性状試験

2. 1. 目的

土壌の性状による処理効率の違いをみるため、物理学的、化学的、生物学的な性状を把握する。

2. 2. 調査対象土壌

まさ土、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰、鹿沼土、石炭灰（5種類）

2. 3. 試験項目及び試験方法等

2. 3. 1. 試験項目

粒径組成、団粒構造、表面積、真比重、最大容水量、陽イオン交換容量、pH（H₂O）pH（KCl）、飽和透水係数、Al、Fe、Si、腐植酸、フルボ酸、ヒューミン、T-C、T-N、T-P、T-S、好気性菌、嫌気性菌、脱窒菌、亜硝酸菌、硝酸菌、真菌、硫酸塩還元菌、イ

オウ細菌（26項目）

2. 3. 2. 試験方法及び培養条件

分析、測定方法及び培養条件は付表に示すとおりである。

2. 4. 調査結果及び考察

まさ土、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰、鹿沼土及び石炭灰の5種類について、物理学的性状（8項目）、化学的性状（10項目）及び生物学的性状（8項目）を試験した結果を表1に示す。

2. 4. 1. 物理学的、化学的試験結果

○ 粒径組成、団粒構造及び表面積について

黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰及び鹿沼土の3種類は粒径の小さいシルトと粘土が50%以上を占め、表面積が大きいので、吸着の効果が期待できるものと思われる。

○ 真比重について

石炭灰が2.14とやや低い他は2.5前後でありあまり差がない。

○ 最大容水量について

まさ土が32%と低いが、その他は100~160%の範囲内である。

○ 陽イオン交換容量について

黒ボク土及び鹿沼土が20me/100g以上で大きい値となっている。

○ pHについて

pH（H₂O）は、製紙スラッジ焼却灰と石炭灰が8.3~8.4の他は6前後であり、KCl溶液では水溶液に比べて一般に低くなっている。

○ 飽和透水係数について

5種類の土壌とも全て通水性がよいという結果が得られている。

○ Al、Fe、Siについて

実際の土壌中では、複雑な化合物として存在していると思われるが、一般には酸化物として表示されているので、Al₂O₃、Fe₂O₃、SiO₂として表した。これら3成分を合計すると、製紙スラッジ焼却灰以外の4種類

表1 土壤の性状試験結果

項目	種類	まさ土	黒ボク土	製紙スラッジ焼却灰	鹿沼土	石炭灰
		粒径組成 (%)				
	礫 > 2mm	8.6	1.0	0	2.9	0
	粗砂 2~0.2mm	59.6	6.4	21.3	13.7	27.4
	細砂 0.2~0.02mm	19.2	22.4	20.3	31.8	51.1
	シルト 0.02~0.002mm	10.8	41.9	53.4	33.6	17.2
	粘土 < 0.002mm	1.8	23.3	4.0	18.0	4.3
団粒構造 (%)						
	> 2mm	14.0	7.1	8.7	61.2	28.8
	2.0~1.0mm	29.1	17.7	4.5	14.3	20.5
	1.0~0.5mm	20.2	12.8	5.3	1.1	17.1
	0.5~0.25mm	14.9	12.9	22.9	1.4	14.2
	0.25~0.1mm	6.5	9.7	15.8	1.8	5.1
	< 0.1mm	15.3	39.8	42.8	20.2	14.3
表面積 (m ² /g)		50	107	134	623	27
真比重		2.68	2.43	2.46	2.51	2.14
最大容水量 (%)		32	126	137	161	100
陽イオン交換容量 (me/100g)		7.8	27.2	4.6	21.0	0.9
pH	H ₂ O	6.50	5.90	8.32	6.22	8.46
	KCl	3.60	4.78	8.22	5.02	8.58
飽和透水係数 (仮比重)		3.6×10 ⁻³ (1.36)	9.4×10 ⁻⁴ (0.41)	2.1×10 ⁻² (0.47)	9.0×10 ⁻³ (0.32)	2.7×10 ⁻³ (0.57)
	Al ₂ O ₃ (mg/g)	160	180	230	260	260
Fe ₂ O ₃ (//)	46	59	9	25	49	
SiO ₂ (//)	650	480	340	490	530	
腐植酸 (Cmg/g)	0.04	50	0.53	0.06	0.07	
フルボ酸 (//)	0.12	17	14	0.08	0.09	
ヒュウミン (//)	0.58	14	78	0.53	120	
T-C (mg/g)	0.74	81	92	0.67	120	
T-N (//)	0.35	4.3	1.9	0.30	3.2	
T-P (//)	0.33	1.6	1.0	0.33	0.06	
T-S (//)	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	
生物学的性状	好気性菌 (個/g)	4.2×10 ⁶	8.7×10 ⁶	3.4×10 ⁶	1.2×10 ⁶	6.2×10 ⁴
	嫌気性菌 (//)	2.4×10 ⁶	1.4×10 ⁷	1.1×10 ⁴	2.0×10 ³	6.0×10 ²
	硫酸塩還元菌 (//)	3.5×10 ⁴	2.0×10 ⁶	0	8.0×10 ²	3.0×10 ²
	真菌 (//)	1.7×10 ⁶	2.6×10 ⁶	3.9×10 ⁴	2.3×10 ³	5.6×10 ³
	脱窒菌 (//)	4.9×10 ⁴	2.8×10 ⁶	1.3×10 ⁶	2.0×10 ²	2.0×10 ¹
	亜硝酸菌 (//)	2.4×10 ⁴	4.9×10 ⁴	2.0×10 ¹	2.8×10 ³	1.7×10 ²
	硝酸菌 (//)	4.0×10 ²	2.4×10 ⁴	4.0×10 ²	4.0×10 ¹	1.2×10 ³
	イオウ細菌 (//)	3.3×10 ³	1.8×10 ³	0	7.9×10 ²	1.1×10 ²
	その他の生物相	顕著なものなし	大型原生動物なし	顕著なものなし	顕著なものなし	顕著なものなし

注1) 粒径組成の試験において、製紙スラッジ焼却灰及び石炭灰については、2mm以下に細砕し、鹿沼土については礫以外を2mm以下とした。
 2) 腐植酸、フルボ酸、ヒュウミンの分析には、0.5mm以下の試料を用いた。ヒュウミンは、T-Cから腐植酸及びフルボ酸を差し引いた値とした。
 3) 脱窒菌、亜硝酸菌、硝酸菌、イオウ細菌については、MPN法により個/100gで測定したものを個/gに換算した。

については72~86%となり、土壤の主成分であると言える。製紙スラッジ焼却灰は低く58%であったが、A_lについては、まさ土、黒ボク土よりむしろ大きい値である。これは、製紙排水処理の過程で凝集剤として使用する硫酸アルミニウムの影響もあると思われる。

- 腐植酸、フルボ酸について
腐植酸は黒ボク土に非常に多く、フルボ酸は黒ボク土と製紙スラッジ焼却灰に多い。
- T-C, T-N について
T-Cは黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰及び石炭灰が80~120mg/gと大きく、T-Nも1.9~4.3mg/gと大きい。
- T-P, T-S について
T-Pは黒ボク土の1.6mg/gが最高で、その他は1mg/g以下であり、T-Sはいずれも検出されなかった(0.03mg/g以下)。

2.4.2. 生物学的試験結果

- 黒ボク土には1g中に10⁴~10⁷個の細菌があり、他の土壤と比較して、細菌相が最も豊かで、バラエティに富んでいた。
- 製紙スラッジ焼却灰は高温処理したにもかかわらず、好気性菌、脱窒菌がいずれも10⁶あり、自然土壤と変わらない細菌数を検出した。しかし、硫酸塩還元菌、亜硝酸菌、硝酸菌及びイオウ細菌はほとんど検出されなかった。
- まさ土は黒ボク土と比較すると全般的に細菌数が少なく、自然の土壤としては細菌数が貧弱である。
- 鹿沼土、石炭灰は多いものでも10⁴までで、10²以下のものも多く貧弱な細菌相であることを示している。
- 他の生物相は直接検鏡した結果、5種類の土壤はいずれも顕著なものはいなかった。

2.5. 結論

これら土壤の性状試験結果から、排水処理に使用する土壤は、比較的粒径の小さいシルト、粘土が50%以上を占め、又、生物相にも富んでいた黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰が適当ではないかと思われる。

3. 吸着試験

3.1. 目的

土壤の吸着等温式を求め、各土壤の物理化学的吸着能力を把握する。

3.2. 調査対象土壤

まさ土、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰、鹿沼土、石炭灰(5種類)

3.3. 試験項目及び試験方法

3.3.1. 試験項目

15染料の吸着試験及びモデル工場排水を用いた吸着

試験

3. 2. 2. 試験方法

付表に示すとおり操作し、フロインドリッヒ (Freundlich) の式で整理して、等温吸着線として示した。モデル工場排水についても、同様操作を行い、COD, T-P, T-N の吸着試験を行った。なお、分析、測定方法は付表のとおりである。

3. 4. 調査結果及び考察

フロインドリッヒの式で、 $1/n$ (傾き) は吸着指数とも呼ばれ、小さい時は、低濃度にかけてよく吸着する。一般に $1/n$ が 0.1~0.5 なら吸着は容易で、 $1/n$ が 2 以上の物質は難吸着性であると言われている¹⁾。

これに基づき、製紙業や染色業で多く使用される 15 染料について、吸着性の難易を判定すると表 2 のとおりとなる。

○ 染料と土壌個々についてみると、それぞれ吸着の難易は様々であるが、全体的にみると、製紙スラッジ焼却灰、黒ボク土が吸着がよい傾向にある。

次に、モデル工場排水について、吸着試験を行った結果は次のとおりである。

○ T-P については、H社の試料 (排水) が 6 mg/l で最も高く、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰、鹿沼土ともに容易に吸着された。

○ COD, T-N については、3工場とも、いづれの土壌へも吸着は困難であった。

3. 5. 結論

これら吸着試験の結果から、排水処理に使用する土壌は、染料及びびりんの吸着に優れていた黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰が適当ではないかと思われる。

表 2 15染料の吸着試験結果 (判定)

No.	染料名 (C. I名)	種類	吸着の難易 (○…易 △…普通 ×…難)				
			まさ土	黒ボク土	製紙スラッジ	鹿沼土	石炭灰
1	Threne Yellow GCN (Vat Yellow 2)	建染染料	△	—	○	×	—
2	Threne Orange R (Vat Orange 5)	〃	△	△	○	△	×
3	Threne Red FBB (Vat Red 10)	〃	×	×	○	×	×
4	Threne Brilliant Violet 2R, 4R (Vat Violet 1)	〃	△	△	—	—	—
5	Remazol Brilliant Yellow GL (Reactive Yellow 37)	反応性染料	×	△	×	×	△
6	Remazol Brilliant Red BB (Reactive Red 21)	〃	○	△	△	×	×
7	Remazol Brilliant Blue B (Reactive Blue 77)	〃	×	○	○	×	○
8	Remazol Black B (Reactive Bk 5)	〃	△	○	○	×	○
9	Direct Green B (Direct Green 6)	直接染料	△	○	△	○	△
10	Direct Fast Scarlet 4BS (Direct Red 23)	〃	△	△	○	○	△
11	Chrysophenine G (Direct Yellow 12)	〃	△	△	△	—	△
12	Direct Sky Blue 5B (Direct Blue 15)	〃	△	○	△	○	△
13	Bismarck Brown B (Basic Brown 1)	塩基性染料	△	△	△	×	×
14	Malachite Green (Basic Green 4)	〃	○	○	○	—	△
15	Auramine conc (Basic Yellow 2)	〃	×	△	×	○	○

4. モデル工場実態調査

4. 1. 目的

モデル工場の製造工程，排水処理，排水の水質等を把握し，今後の試験の参考に資する。

4. 2. 試験方法

分析，測定方法は付表のとおりである。

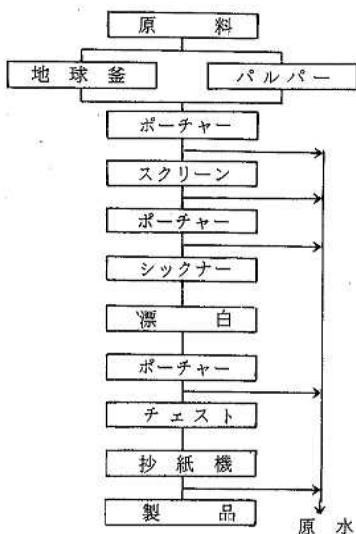
4. 3. 調査結果

4. 3. 1. 水質関係

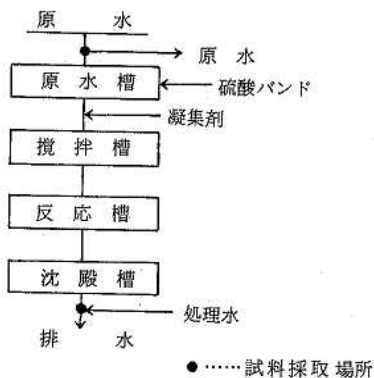
モデル工場の水質関係について実態調査を行った結果は次のとおりである。

D社（製紙業） 排水量 最大 4,900m³/日
通常 4,500m³/日

○製造工程



○排水処理系統

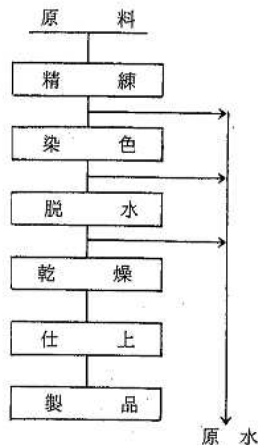


○分析結果

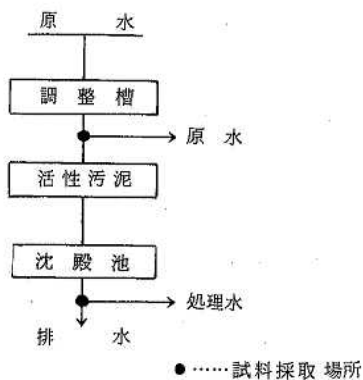
採水場所	年月日	(mg/ℓ)					
		水温	pH	COD	BOD	T-P	T-N
原水	61・1・22	12	7.4	230	52	0.13	3.3
処理水	61・1・22	8.5	6.7	56	31	0.04	2.3

H社（染色業） 排水量 最大 1,500m³/日
通常 1,000m³/日

○製造工程



○排水処理系統

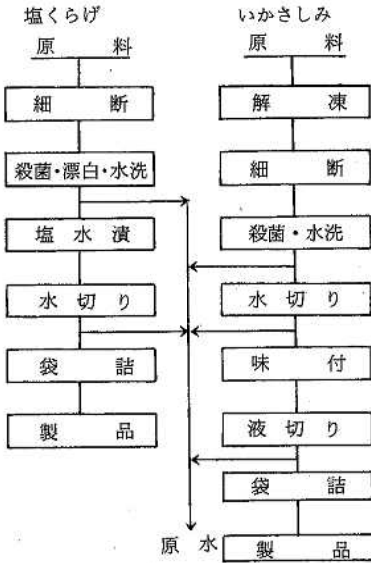


○分析結果

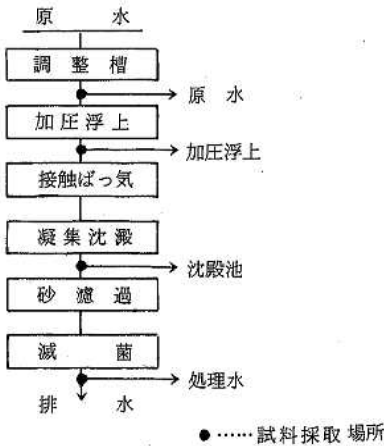
採水場所	年月日	(mg/ℓ)					
		水温	pH	COD	BOD	T-P	T-N
原水	61・1・20	23	7.6	77	104	7.50	10.1
処理水	61・1・20	17	7.6	14	2	7.22	6.4

M社 (食品製造業) 排水量 最大 200m³/日
通常 100m³/日

○製造工程



○排水処理系統



○分析結果 (mg/ℓ)

採水場所	年月日	水温	pH	COD	BOD	T-P	T-N
原水	61・1・20	14	6.3	145	189	4.93	30.3
加圧浮上	61・1・20	14	6.6	69	101	1.35	15.6
沈殿池	61・1・20	14	6.6	14	2	0.25	7.6
処理水	61・1・20	13	7.2	14	2	0.10	7.4

4. 3. 2. 臭気関係

モデル工場の排水中の臭気について実態調査を行った結果は次のとおりである。

工場名	サンプリング場所	年月日	天候	気温	水温	現地臭気強度	臭気質		TO値
							大分類	種類	
D社	非水口	61・3・5	はれ	12.2	11.4	1	3	紙の臭い	12
H社	非水口	61・3・6	はれ	12.5	19.0	0	-	-	1
M社	非水口	61・3・6	はれ	8.0	13.0	1	7	ドブ臭	8.8

3モデル工場の排水の常温における臭気は、いづれも臭気強度1以下でほとんど臭わなかった。40°Cにしてやっと臭いの質がわかる程度であった。

5. カラムによる試験

5. 1. 不飽和流による試験 (予備試験)

5. 1. 1. 目的

カラムに3種類の土壌を充填し、それぞれにM社の排水を連続通水して、主に不飽和流によるCOD, T-N, T-Pの除去効果をみる。

5. 1. 2. カラムに充填する土壌

まさ土, 黒ボク土, 製紙スラッジ焼却灰 (3種類)

5. 1. 3. 試験項目及び試験方法

5. 1. 3. 1. 試験項目

COD, T-N, T-P (3項目)

5. 1. 3. 2. 試験方法

図1に示すように、内径10.6cmの塩ビ製円筒にまさ土, 黒ボク土, 製紙スラッジ焼却灰, まさ土と黒ボク土の混合土をそれぞれ厚さ40cm充填し、前3者はカラムの上部から通水し不飽和流とし、混合土カラムは下方から通水して飽和流とした。

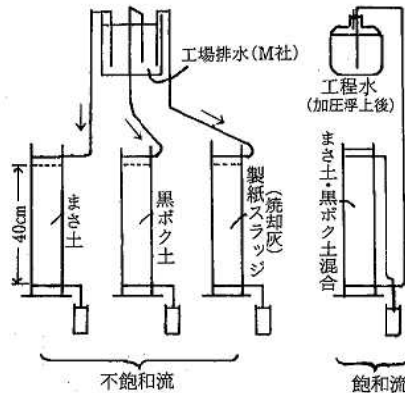


図1 カラム実験装置

カラムにそれぞれ土壌を充填した後、まず河川水を約1ml/分(160ℓ/㎡・日)の速度で4日間流し、その後M社の工場排水及び工程水を各カラムとも同じ速度で流し続け、COD、T-P、T-Nの経時変化をみた。なお、分析、測定方法は付表のとおりである。

5. 1. 4. 調査結果及び考察

通水試験に用いたM社の排水は、CODが18.6~19.5mg/ℓ、T-Pが0.77~0.96mg/ℓ、T-Nが10.0~15.9mg/ℓであり、工程水はCODが130~220mg/ℓ、T-Pが0.82~1.3mg/ℓ、T-Nが16~32mg/ℓであった。

通水量は、4本のカラムそれぞれ平均すると134~154ℓ/㎡・日に相当するものであった。

図2に、COD、T-P及びT-Nの除去率を示す。

CODの除去率については、通水後10日頃になると黒ボク土は若干減少傾向にあるが、その他はほぼ横ばい状態となった。

T-Pの除去率については、通水直後からいずれも高い値を示している。

T-Nの除去率については、いずれも徐々に減少し通水後10日程経過するとほぼ横ばい状態となった。不飽和流のまさ土及び黒ボク土は、ほとんど0に近づいたが、飽和流(まさ土と黒ボク土の混合土)は、80%とかなり高い値を示した。これは、脱窒は、嫌気状態

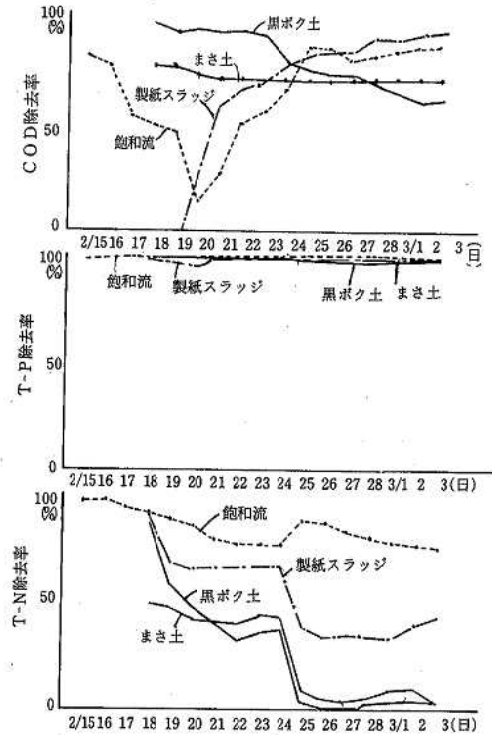


図2 除去率の推移

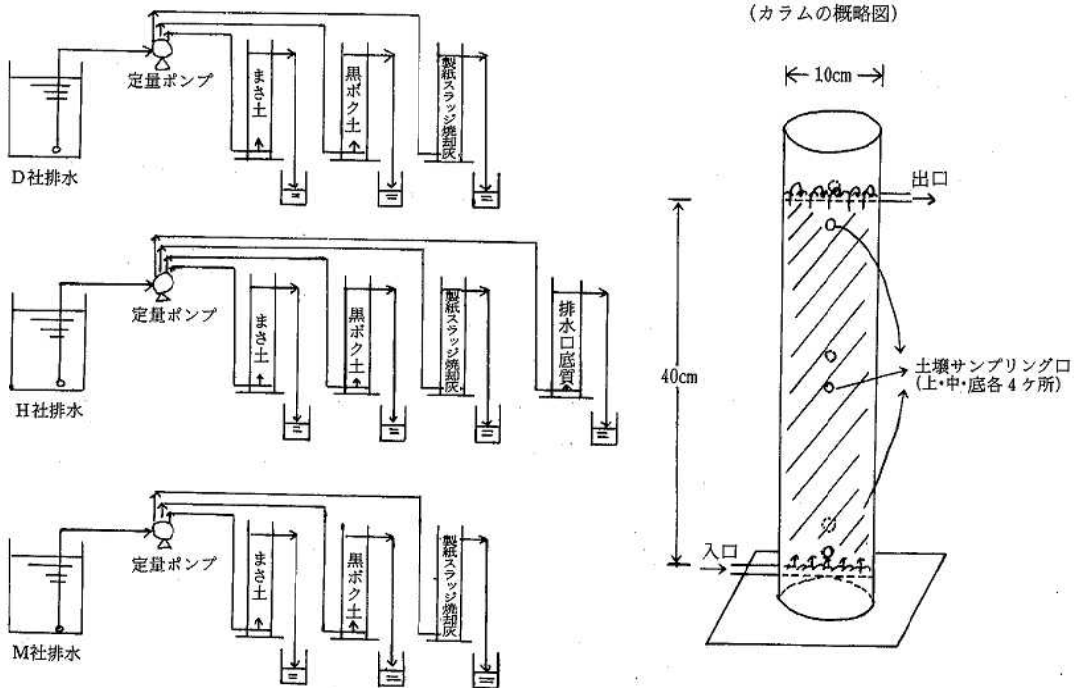


図3 カラム試験概略図

にしないと行われぬという理論に該当するものと思われる。³⁻⁵⁾ 製紙スラッジ焼却灰については、不飽和流であったにもかかわらず、まさ土、黒ボク土に比べ高い除去率を示した。

5. 1. 5. 結 論

飽和流、不飽和流を組み合わせることにより、又、製紙スラッジ焼却灰をはじめ充てん土壌を選択することにより、COD、T-P、T-Nの除去が期待できるものと思われる。

5. 2. 飽和流による試験

5. 2. 1. 目 的

排水処理模型に用いる土壌を選択するため、3モデル工場の排水をカラムに通水し、各土壌の物理化学的処理効率を把握し最適処理条件を検索する。

5. 2. 2. カラムに充てんする土壌

まさ土、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰(3種類)

5. 2. 3. 試験項目及び試験方法

5. 2. 3. 1. 試験項目

pH、COD、SS、T-P、T-N、T-S、色度、臭気濃度、Cl、ORP、好気性菌、嫌気性菌、脱窒菌、亜硝酸菌、硝酸菌、真菌、硫酸塩還元菌、イオウ細菌(18項目)

5. 2. 3. 2. 試験方法

図3に示すように1工場当たり3本のカラムを用意し、まさ土、黒ボク土、製紙スラッジ焼却灰を40cmの厚さに充填した。これら3種類のカラムに各々3工場の排水を約3か月間連続的に通水し、毎週採水分析を行った。予備試験においては不飽和流を主体に行ったので、今回は飽和流とした。なお、H社については、当工場排水口付近の底泥を充填したカラムを追加して同様に試験を行った。なお、分析、測定方法は付表のとおりである。

5. 2. 4. 調査結果及び考察

充てんしたカラムの密度は、まさ土1.20、黒ボク土0.35、製紙スラッジ焼却灰0.47g/cm³であった。

通水期間中の室温は、17~32°Cの範囲であった。

カラム通水量は、全カラムともほぼ200 l/m²・日であった。

5. 2. 4. 1. 物理学的、化学的試験結果

通水試験における経時変化を図4、除去率等を図5に示す。

○ CODの除去率について

3工場とも製紙スラッジ焼却灰が最も高く、続いて黒ボク土、まさ土の順になっている。

○ T-Pの除去率について

H社及びM社において、製紙スラッジ焼却灰、黒ボク土が90%以上であり、高い値を示している。D社に

ついては、原水そのものの濃度が低いため、除去率としては低くなっている。また、H社の底泥は、りんの吸着がすでに飽和状態になっていたものと思われ、通水当初から除去率は低い状態であった。

3工場の中では、H社の原水中のT-P濃度が一番高かったため、まさ土では通水後3週間ころから除去率が低下し始め、また、製紙スラッジ焼却灰も3か月後ころから若干低下し始めた。T-Pの除去は、一般に言われているように吸着が主と考えられる。

○ T-Nの除去率について

製紙スラッジ焼却灰を除き他の2土壌は、低い除去率しか示さなかった。

これら、COD、T-P、T-Nの除去率について通水期間中の除去率を平均し、土壌の処理効率を判定したのが表3である。

COD、T-P、T-Nとも製紙スラッジ焼却灰が高い除去率を示した。

○ DOについて

M社において、原水が7.2mg/lのとき、まさ土3.8mg/l、黒ボク土3.3mg/l、製紙スラッジ焼却灰2.6mg/lで、脱窒現象が起こると言われている程度の嫌気状態であった。²⁾

○ 脱色について

図6に示すとおり、3工場とも製紙スラッジ焼却灰が優れていた。

5. 2. 4. 2. 生物学的試験結果

6月から9月まで毎月1回、カラムから土壌の一部を採取し、性状試験と同じ培養条件で培養を行った。その結果、菌数の変化は、図7のとおりである。

○ 好気性菌について

M社の排水では、製紙スラッジ焼却灰、黒ボク土、まさ土ともに一過性の増殖がみられた。これは、COD除去率との相関を示すものと思われる。H社の排水では、1か月目まではいづれも増加しているが、その後は横ばい状態である。しかし、製紙スラッジ焼却灰では、やや増加の傾向にある。D社の排水では、まさ土が高い増加率を示しているが、他の2土壌との差はない。

○ 嫌気性菌について

各土壌ともカラム通水後1~2か月で10⁵~10⁶程度に落ち着いた。

○ 脱窒菌について

初期の土壌の状態では、黒ボク土に多いことが予想されたが、製紙スラッジ焼却灰にも10⁶程度の存在がみられた。このことは、通水直後からの高い脱窒能が期待されるものであったが、その後10⁶程度まで減少し、また盛りかえしがみられる。カラムの上層と下層にお

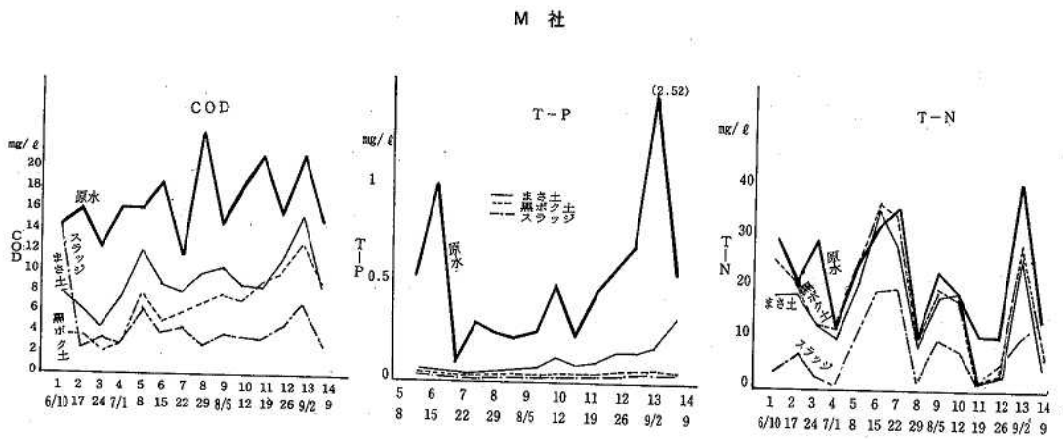
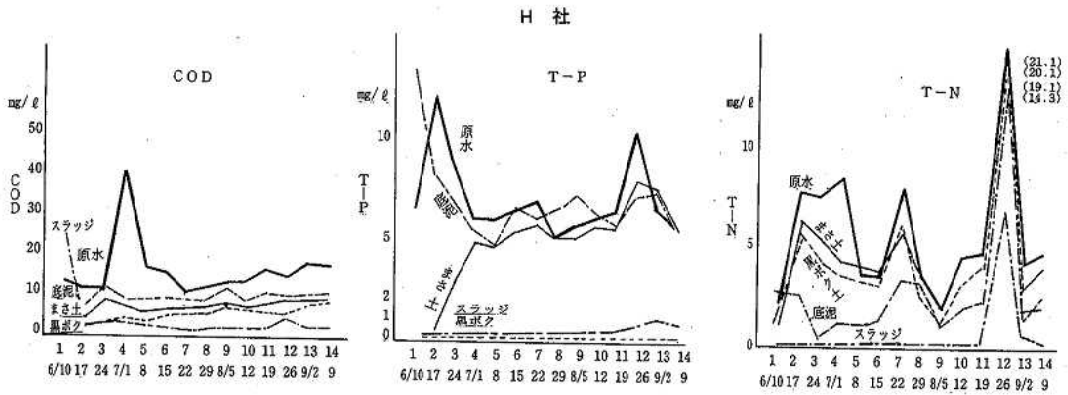
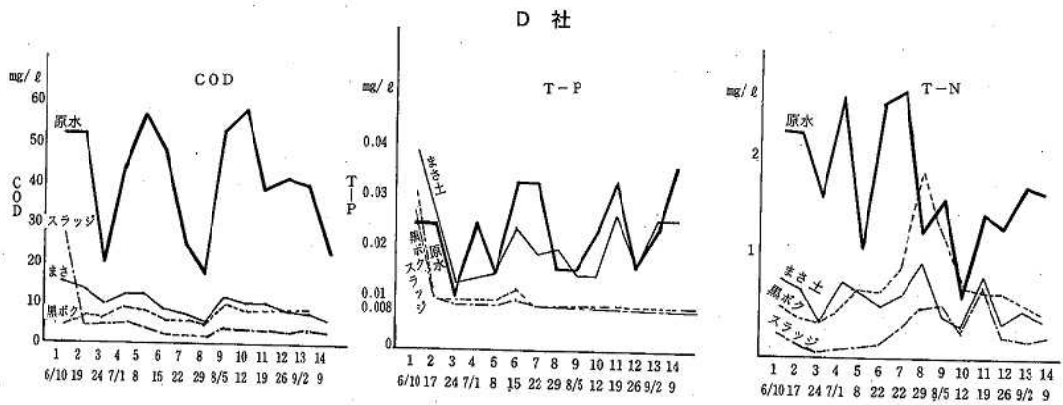
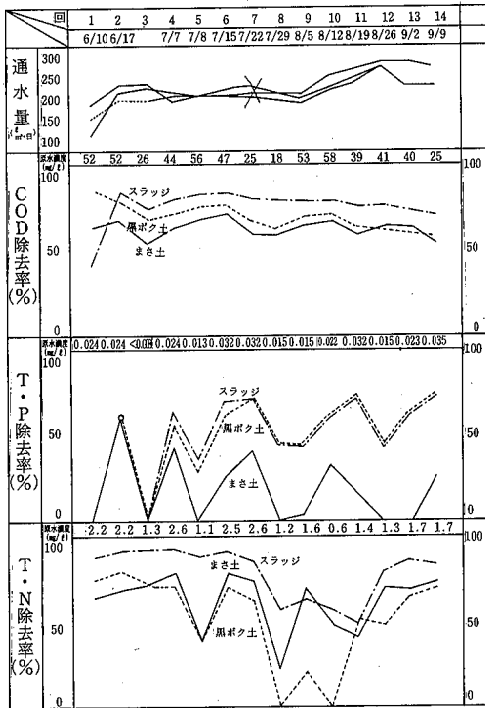


図4 経時変化

D社



M社

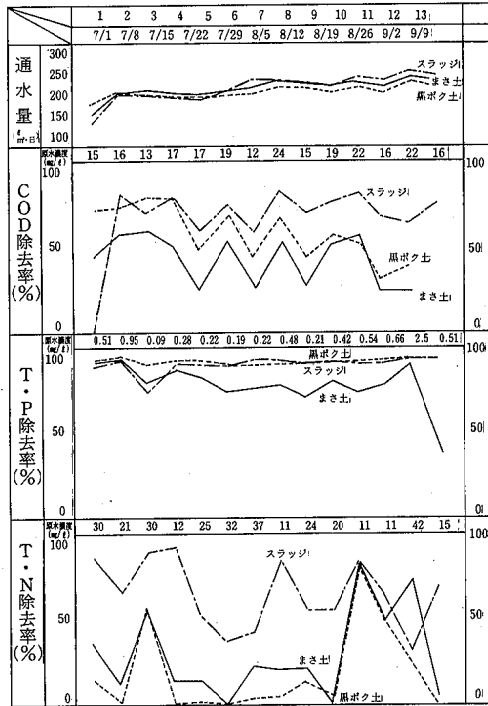
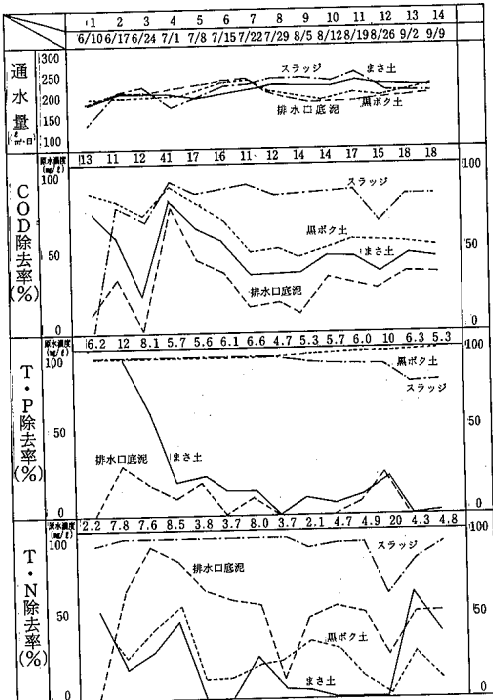


図5 除去率

H社



いては、概して差はみられない。唯一、D社の排水において、上層に多く存在することがわかる。M社の排水では、まさ土が最大になる時期もあるが、長期間通水してみる必要がある。H社の放流口底泥には脱窒菌があまり存在しないことが除去率の低さと関係ありそうである。

○ 亜硝酸菌、硝酸菌について

原水が二次処理水であるため、原水中のアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素がほとんどないので、比較的菌数の多かった黒ボク土では減少傾向が目立つ。一方、もともと少なかった製紙スラッジ焼却灰やまさ土では、多少増える。しかし、その後菌数はある一定レベルに着ちつくものと思われる。

○ 真菌について

好気性菌と同様の変化をしているのがみられる。カラムの上下層での差はみられない。

○ 硫酸塩還元菌、イオウ細菌について

硫酸塩還元菌は、どの排水にも乏しいため菌数の増加はみられない。イオウ細菌についても、増加はみられない。

○ 他の生物相について

直接検鏡の結果、原生動物、後生動物、藻類等は認められなかった。

区	◎	除去率80%以上
分	○	カ 60~80%未満
	△	カ 40~60%未満
	×	カ 40%未満

表3 カラム試験結果 (判定)

項目	工場名	原水平均濃度 (mg/l)	ま	さ	土	黒	ポ	ク	土	製	紙	ス	ラ	ッ	ジ	排	水	口	底	泥
COD	D社	41	○			◎				◎										
	H社	16	△			○				○										×
	M社	17	△			○				○										
T-P	D社	0.022	×			△				△										
	H社	6.7	×			◎				◎										×
	M社	0.56	◎			◎				◎										
T-N	D社	1.7	○			△				◎										
	H社	6.2	×			×				◎										△
	M社	23	×			×				○										

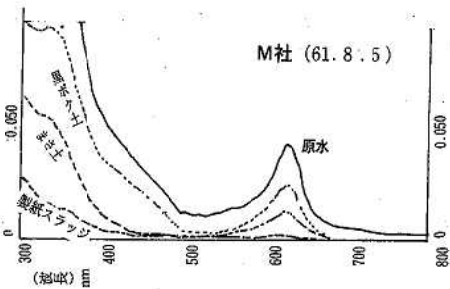
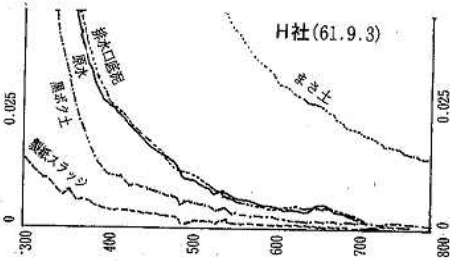
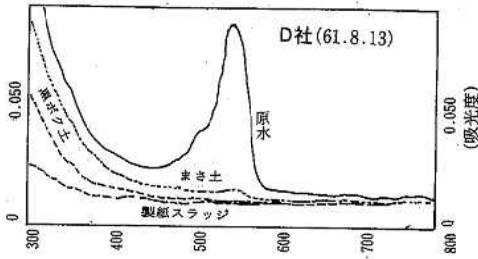


図6 工場排水の脱色状況

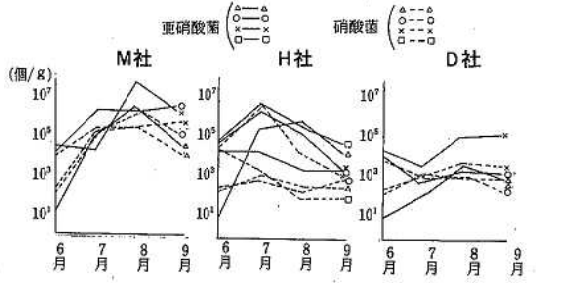
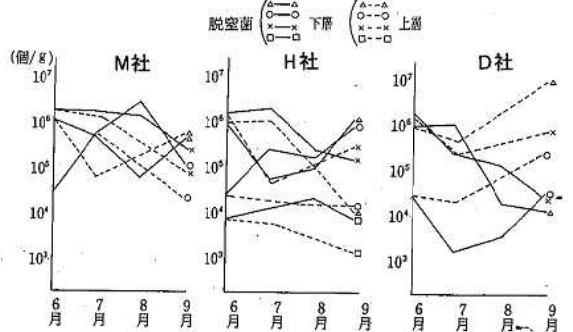
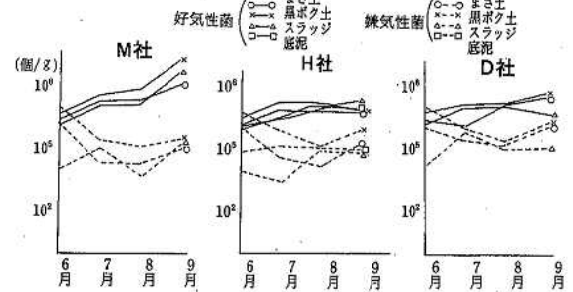


図7 菌数の変化

○ 優占菌種について

カラム試験終了時を集積の終了時とみなし、その時点での優占菌種として67種を分離した。その内訳は表4のとおりである。

表4 優占菌種

工場名	まさ土	黒ボク土	製紙スラッジ焼却灰	底泥	計
D社	10	10	8	—	28
H社	5	5	5	4	19
M社	5	8	7	—	20
合計	20	23	20	4	67

分離した67種について、脱窒能、硝酸酸化能を試験した結果、H社の製紙スラッジ焼却灰から優秀な脱窒能を持ったものと、BTB (*Bromothymol Blue*) 指示薬を脱色する作用を持つものを1種ずつ、M社の製紙スラッジ焼却灰から脱窒菌を1種分離した。

5. 2. 5. 結論

これらカラムの通水試験結果から、排水処理に使用する土壌は、COD、T-P、T-Nともに除去率の高かった製紙スラッジ焼却灰が適当と思われる。

6. まとめ

排水処理に使用する土壌を選択するために(1)土壌の性状試験(2)染料等の吸着試験を行った結果、黒ボク土及び製紙スラッジ焼却灰が優れていたため、これらを用いて(3)カラムによる通水試験を行ったところ、製紙スラッジ焼却灰が、COD、T-P、T-Nともに除去率が高く優れていたことがわかった。また、生物試験からは、黒ボク土が生物相に富んでいた。

これらの結果から総合的に判断して、排水処理に使用する土壌は、製紙スラッジ焼却灰を主体とし、黒ボク土を補足的に使用するのが適当であると思われる。

なお、脱窒効果をねらうには飽和流にする必要があるため、飽和流と不飽和流を効果的に組み合わせて、今後の模型試験に供することとしたい。

7. おわりに

今後は、これらの基礎データをもとに、模型試験、ミニプラントによるフィールド試験、さらには実用化プラントの開発を旨として研究を続けて行くこととしている。

最後に、本研究を行うに当たり、全般的な御指導を賜った愛媛大学工学部井出哲夫教授、同農学部香川尚徳教授、逸見彰男助教授及び御協力頂いた研究会の会員の皆様に対し厚く謝意を表します。

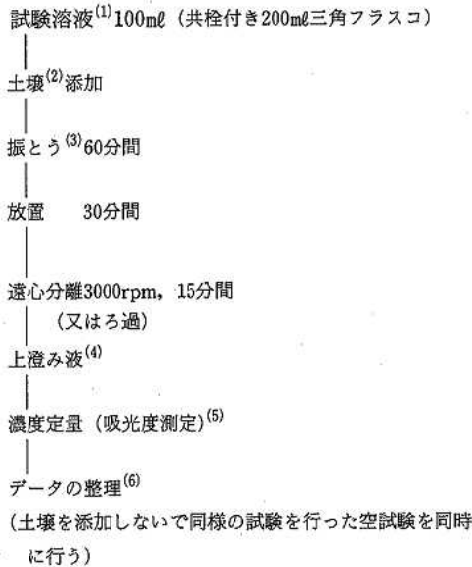
付表
分析・測定方法

No	項目	概要	出典	
土	1 粒径組成	フルイおよびピペッド	環境科学実験法 P196~199	
	2 団粒構造	水中篩別法	土壌物理性測定法 P59~65	
	3 表面積	EGME 吸着法	粘土科学17, 38, 1977	
	4 真比重	比重ビンによる測定	環境科学実験法 P194~195	
	5 最大容水量	水分吸収前後の重量差から測定	環境科学実験法 P190	
	6 陽イオン交換容量 (CEC)	アンモニアイオン置換し、Naイオン置換後Naイオン定量	環境科学実験法 P213	
壤	7 pH (H ₂ O) pH (KCl)	水及びKClに溶出後pHメーターで測定	環境科学実験法 P203 公害と対策 18, 10, 74	
	8 飽和透水係数	変水位法	土壌水質及び作物体分析法 (農水省編) P31~35	
	9 Al, Fe	過塩素酸・硝酸・フッ化水素酸分解後、原子吸光法	昭和61年度環境測定分析統一精度管理調査	
	10 Si	モリブデン黄吸光光度法	地球科学試料の化学分析法	
	11 腐植酸	アルカリ抽出液→酸で沈殿→ろ過残渣→アルカリ溶解→KMnO ₄ 滴定	弘法・大羽法 ベトロジスト 8, 2, 64	
	12 フルボ酸	アルカリ抽出液→酸で沈殿→ろ過→KMnO ₄ 滴定	〃	
	13 ヒュウミン	アルカリ抽出後試料に残留する有機物	〃	
	14 T-N, T-C	CN コーダー	情報基本調査	
	15 T-P	硫酸酸分解-モリブデンブルー法	JISK0102	
	16 T-S	検知管法	情報基本調査	
水	17 吸着試験	吸着等温線から吸着指数等を求める	JISK1474	
	18 NH ₄ -N	インドフェノール法	JISK0102	
	19 NO ₂ -N NO ₃ -N	G・R法カドミウムカラム法	水質化学分析法 JISK0102	
	20 T-N	各態N総和法 過硫酸カリ分解法	JISK0102	
	21 PO ₄ -P	モリブデンブルー法	〃	
	22 T-P	過硫酸カリ分解後モリブデンブルー法	〃	
	23 COD	KMnO ₄ 酸性法	〃	
	24 色度	吸光度 (最大吸収波長)		
	25 T-S	蒸留後メチレンブルー検知管法	JISK0102 底質調査法	
	質	26 SS	重量法	環境庁告示法
		27 臭気濃度	感応試験	JISK0102
		28 Cl	イオン電極法	JISK0102
		29 ORP	金属電極法	環境化学実験法

培養条件

細菌相	培地	培養条件
好気性菌	1/2 S・A培地	25°C 7日間
嫌気性菌	〃	25°C 7~10日間 (嫌気培養)
脱窒菌	GILTAYの培地	30°C 10~14日間
亜硝酸菌	亜硝酸菌用培地	27°C 20~30日間
硝酸菌	硝化菌用培地	27°C 30~40日間
真菌	サプロー寒天培地	25°C 7日間
硫酸塩還元菌	硫酸塩還元菌用培地	30°C 4,7,10日間 (嫌気培養)
イオウ細菌	PFENIGの培地	30°C 6~8日間

吸着試験 (フローシート)



注(1) 染料の吸着試験を行う場合は、染料を純水に溶かし

て適当な濃度のものを作成 (50mg/l程度) し、試験溶液とする。これを三角フラスコ 5個にそれぞれ100ml分取する。

実試料の吸着試験を行う場合は、分析項目に応じて試験溶液量を増加する。

- (2) 土壌を5段階(例えば、0.5, 1, 2, 4, 8g)ひょう量し、添加する。目的とする範囲の等温線が得られなかった場合は、土壌量を増減し再度行う。
- (3) 所定の温度を維持するよう恒温振とう機などを用いる。やむを得ない場合は、室温で行い温度を記録しておく。
- (4) 上澄み液の pH を記録しておく。
- (5) 染料の場合の吸光度測定は、最大吸収波長で行う。
- (6) 吸着平衡データは、次に示すフロイドリッヒ (Freundlich) 式で整理し、吸着等温線として示す。

$$X/M = KC_1^{1/n} \dots\dots\dots (1)$$

ここに X: 被吸着物質の吸着量 (C₀ - C₁)
M: 土壌添加量
X/M: 土壌単位質量当たりに吸着された被吸着物質質量
C₀: 空試験液中の被吸着物質濃度
C₁: 平衡時の溶液中の被吸着物質濃度
K: 土壌と吸着系によって決まる定数
1/n: 土壌と吸着系によって決まる定数
 $\log(X/M) = \log K + 1/n \log C_1 \dots\dots\dots (2)$

— 参 考 文 献 —

- 1) 井出哲夫: "水処理工学", P. 397 (1976) 技報堂
- 2) 相田徳二郎: 用水と廃水, 26, 345 (1984)
- 3) 山口登志子, 寺西靖治: 下水道協会誌, 19, 63 (1982)
- 4) 山口登志子, 寺西靖治: 下水道協会誌, 20, 28 (1983)
- 5) 山口登志子, 寺西靖治: 下水道協会誌, 22, 55 (1985)
- 6) 土壤微生物研究会編: "土壤微生物実験法", p. 43, 192 (1981), 養賢堂
- 7) 社団法人日本下水道協会編: "下水試験方法", p. 395 (1984)

プランクトン相から見た県内湖沼の 富栄養化状態について (第2報)

中村 洋 祐

1. はじめに

現在、社会的な問題となっている、湖沼の富栄養化問題は、多くの場合、淡水赤潮やアオコ等による利水障害から起ったものである。すなわち、利水障害の原因となっているのは、多くの場合プランクトンでありさらに、それらの異常発生の原因については、一般的には窒素、リンと考えられているが、プランクトンの種類、湖沼の違いによっては、必ずしも、窒素、リンではないようである¹⁾。この観点から、湖沼の富栄養化問題を考える場合は、従来の理化学的水質調査に加えてプランクトン調査が必要であると筆者は考えている。

そこで、今回は、昭和60年度に行った、鹿野川湖外10湖沼の理化学的水質調査結果に加えて、プランクトン調査結果をあわせて、その富栄養化状態について検討を行った。その結果、若干の知見が得られたので報告する。

2. 調査方法

2. 1. 調査地点及び調査期間

今回、調査検討を行った湖沼は、図1に示す11湖沼であり、関地池と俵原池以外は全てダム湖である。鹿野川湖については、堰堤付近(No.1)とダム中央付近(No.2)の2地点の表層水、他の10湖沼についてはダムのほぼ中央付近の表層水を採取した。

調査期間は、植物プランクトンの成育条件の良い夏期を中心に、昭和60年7月から9月に行った。

2. 2. 水質調査方法

pH、DO、COD及びSSについては環境庁告示第59号の方法、全リン(以下T-P)と全窒素(以下T-N)については環境庁告示第140号の方法、クロロフィルaについては海洋観測指針²⁾の方法により分析を行った。

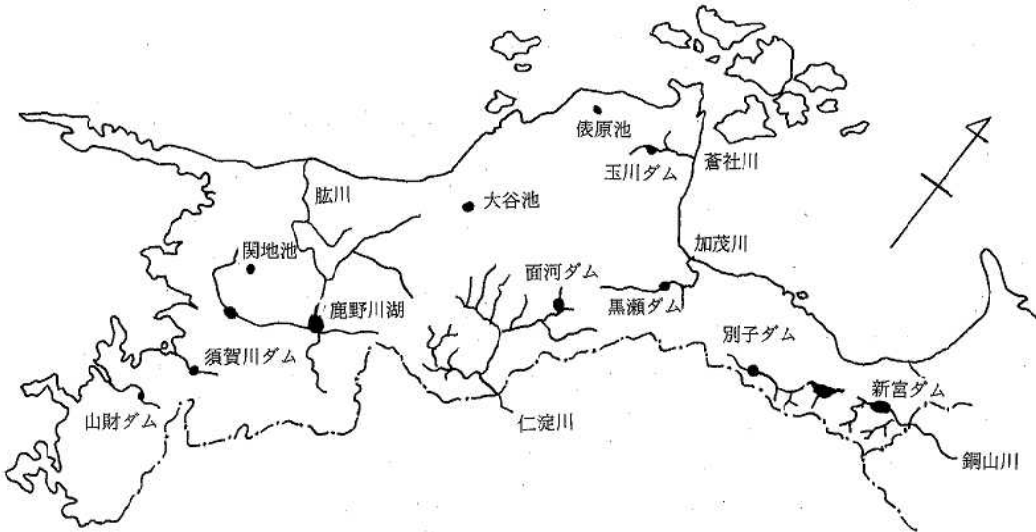


図1 調査を行った湖沼の位置図

2. 3. プランクトン調査の方法

どの湖沼についても、表層水を採取し、次の二つの方法で濃縮し、検鏡を行った。

- ① 試料の約2ℓを中性ホルマリンで固定して数十倍から数百倍に濃縮した。
- ② 試料の約300mlをメンブランフィルター(孔径0.45μm)でろ過し、数秒間、超音波処理を行い、毎分3000回転で数分間遠沈処理を行い濃縮した。

試料は①の方法により濃縮を行い、その0.1mlを格子線付きスライドグラスに分取し、同定を行いながら計数した。またプランクトンによっては、固定することによって同定が困難となる場合があるので、②の方法により、前もって検鏡を行うようにした。

同定については、「日本淡水プランクトン図鑑」³⁾によった。

3. 結果及び考察

3. 1. 水質調査結果から見た県内湖沼について

水質調査結果から、各湖沼の富栄養化状態及び水質の特徴について検討を行った。

富栄養化状態については、森下の方法⁴⁾により検討を行った。また、総合的にこれらの湖沼の水質の特徴を把握するために、主成分分析を用いて検討を行った。

3. 1. 1. 水質から見た富栄養化状態について

県内湖沼の水質調査結果及び流域面積等⁵⁾を表1に示す。また平均値等の基本統計量を表2に示す。

表1 水質分析結果及び主要諸元

No	湖沼名	採水年月日	透明度(m)	水温(°C)	pH	DO(mg/ℓ)	COD(mg/ℓ)	SS(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	クロロフィルa(μg/ℓ)	流域面積(km ²)	湖容積(千m ³)	滞留時間(月)
1	山財ダム	60. 8. 22	2.5	26.0	9.0	9.2	2.6	3	0.014	0.34	10	29.4	5900	0.6
2	須賀川ダム	60. 8. 22	2.0	27.0	9.2	9.2	3.2	4	0.014	0.38	8.6	14.0	3050	0.9
3	関地池	60. 8. 26	1.5	27.4	9.4	10.8	5.3	7	0.032	0.49	10	3.3	3870	3.2
4	大谷池	60. 8. 26	2.0	27.6	7.9	8.8	1.6	3	0.012	0.39	2.0	5.7	1258	2.3
5	俵原池	60. 8. 28	1.0	31.5	9.9	14.2	7.7	9	0.046	4.41	21	4.7	1000	2.2
6	玉川ダム	60. 8. 28	2.6	28.3	8.6	9.0	2.4	2	0.010	0.56	2.6	38.1	9900	1.8
7	別子ダム	60. 9. 2	4.0	22.0	7.4	8.7	1.5	1	0.024	0.46	2.0	15.2	5628	1.0
8	面河ダム	60. 9. 4	4.0	25.3	7.7	8.0	1.7	1	0.008	0.22	1.2	16.8	28300	3.0
9	鹿野川湖(Na1)	60. 8. 20	2.5	28.4	9.1	9.9	2.4	2	0.026	0.49	7.3	455.6	48200	0.6
10	〃(Na2)	60. 8. 20	3.0	28.4	9.0	9.8	2.5	1	0.023	0.53	5.0	〃	〃	〃
11	黒瀬ダム	60. 8. 23	3.5	29.2	7.8	8.3	1.7	1	<0.008	0.55	2.0	100.6	36000	3.1
12	新宮ダム	60. 7. 15	5.0	24.8	6.7	8.9	1.0	<1	0.008	0.56	1.0	214.9	13000	0.7

表2 湖沼調査結果の基本統計量

測定項目	単位	平均値	標準偏差	変動係数
pH	-	8.5	1.0	12
DO	mg/ℓ	9.6	1.6	17
COD	mg/ℓ	2.8	1.9	68
SS	mg/ℓ	2.9	2.6	90
T-P	mg-P/ℓ	0.018	0.012	67
T-N	mg-N/ℓ	0.78	1.1	141
クロロフィルa	μg/ℓ	6.0	5.8	97

(1) 水質の概要について

表1から、有機汚濁の指標であるCODを見ると、俵原地、関地池は非常に高く、逆に新宮ダム、別子ダム、大谷池、面河ダム及び黒瀬ダムは比較的低い。

次に富栄養化状態を示す指標として、T-N、T-P、

クロロフィルaを見ると、俵原地は、T-N、T-P、クロロフィルaとも11湖沼中、最高値を示した。特にT-Nは他の湖沼の約10倍程度の値を示した。一方、面河ダムは3項目とも低い値を示した。黒瀬ダム、新宮ダムはT-P、クロロフィルaが比較的低いのに対してT-Nが比較的高い。また、山財ダム、須賀川ダムは、T-P、T-Nが低いのに対しクロロフィルaが高い。

以上の結果を、流入負荷および滞留時間から考えると、俵原池は湖容積が100万m³と小さいわりに、他の同程度の湖容積の湖沼に比較して人為的な流入負荷が大きく、しかも滞留時間が約2.2か月と長いものに有機汚濁も高く、栄養塩類等の濃度も高いものと思われる。逆に面河ダムは、ほとんど自然系の汚濁負荷のみで、滞留時間は約3か月と長い湖容積が28300万m³と非常に大きいものに有機汚濁も栄養塩類等の濃度

も低いものと考えられる。全体的に山間部にある汚濁負荷の小さいダム湖はCOD, T-P, T-N及びクロロフィルaは低い値を示すようである。

(2) 水質から見た富栄養化状態等について

湖沼の栄養度判定の方法は種々報告されているが^{3,6)}, ここではダム湖を対象にその類別の目安として作られた, 森下の方法⁴⁾を用いて検討を行った。森下による富栄養湖, 貧栄養湖の分類方法を表3に示す。表3と表1の水質分析結果から次のとおり考えられる。

開地池, 俵原池は富栄養湖と考えられる。一方, 面河ダムは貧栄養湖と考えられる。また, 新宮ダム, 黒瀬ダムはT-Nが少し高い値を示しているが, ほぼ貧栄養湖と考えられる。大谷池はT-Nが0.2mg/ℓより大きく, 透明度も2.0mと低いが, 他の湖沼と比較してSSのわりにCOD, クロロフィルaが低いことから無機性の濁りによる透明度の低下が考えられるため, どちらかと言うと貧栄養湖と考えられる。また, これら以外の湖沼については, 水質調査結果から森下の方法によって判断する限りにおいては, 貧栄養湖と富栄養湖のほぼ中間的な湖沼と考えられる。

淡水湖沼において, 藻類増殖に必要とされる窒素とリンはN/P比で10~25と一般的に言われている⁶⁾。そこで県内湖沼についてT-NとT-PからN/P比を求め表4に示した。この表から, ほとんどの湖沼はこの範囲を超えており, 県内湖沼は, ほとんどの場合, 窒素過剰で, どちらかと言うとリン制限的な湖沼が多

表3 森下による湖沼の栄養度

	透明度(m)	pH	T-P(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)
貧栄養湖	>3	7.0前後	<0.02	<0.2
富栄養湖	<3	しばしば8.0以上になる	>0.02	>0.2

表4 水質分析結果から求めたN/P比

No.	湖沼名	N/P比
1	山財ダム	24.3
2	須賀川ダム	27.1
3	開地池	15.3
4	大谷池	32.5
5	俵原池	95.9
6	玉川ダム	56.0
7	別子ダム	19.2
8	面河ダム	27.5
9	鹿野川湖(No.1)	18.8
10	〃(No.2)	23.0
11	黒瀬ダム	>68.8
12	新宮ダム	70.0

いものと考えられる。

3. 1. 2. 主成分分析結果から見た県内湖沼の特徴について

県内湖沼の水質の特徴についてpH, DO, COD, SS, T-P, T-N及びクロロフィルaを用いて主成分分析⁶⁾を行うことにより, その水質的な特徴について検討を行った。

単相関マトリクスを表5に示す。その相関マトリクスから求めた固有値, 固有ベクトル等を表6に示す。さらに因子負荷量を図2に示す。なお, 第2主成分までで累積寄与率が92.1%となることより第2主成分までで以下検討を行った。

(1) 水質測定項目の類似性について

図2から水質測定項目の挙動の類似性を見ると, クロロフィルa, SS及びCODはその挙動の類似性が高いが非常に高く, 逆にpHとT-Nは非常に異った挙動を示す測定項目と考えられる。

クロロフィルaを植物プランクトンの増殖量と考えると, クロロフィルaとCOD, SSの挙動との類似性が非常に高いということは, これらの湖沼におけるCODの変化は, 植物プランクトンの増減, つまり内部生産によるところが非常に大きいものと考えられる。すなわち, 植物プランクトンの増減によりCODが変動し, さらにSSも変動するものと考えられる。

つぎにクロロフィルaとT-P, T-Nの類似性を見ると, T-NよりもT-Pとの類似性が高いようである。つまり, 窒素はほとんどの場合過剰にあり, どちらかと言うとリン制限的な湖沼が多いものと考えられる。これは前にも述べた通りN/P比から得られた結果とも一致する。

pHとDOをクロロフィルaとの類似性から見るとDOは比較的類似性が高いのに対し, pHはクロロフィルaとは非常に異った挙動を示す測定項目と考えられる。すなわちpHは, 植物プランクトンの光合成活性のみによって変化するのではなく, 何か別の要因によって変化するものと考えられる。

表5 相関係数マトリクス

	DO	COD	SS	T-P	T-N	クロロフィルa
pH	※ 0.705	※※ 0.796	※※ 0.742	※ 0.675	0.463	※※ 0.828
	DO	※※ 0.937	※※ 0.863	※※ 0.900	※※ 0.900	※※ 0.918
	COD	※※ 0.953	※※ 0.840	※※ 0.810	※※ 0.932	
N=12		SS	※※ 0.766	※※ 0.718	※※ 0.889	
			T-P	※※ 0.719	※※ 0.814	
				T-N	※※ 0.797	

※: 5%危険率で有意

※※: 1%危険率で有意

表 6 主成分分析結果

項目	第 1 主成分		第 2 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
pH	0.334	0.810	0.718	0.545
DO	0.402	0.973	-0.227	-0.172
COD	0.404	0.980	0.044	0.034
SS	0.383	0.929	0.116	0.088
T-P	0.368	0.893	-0.089	-0.068
T-N	0.349	0.846	-0.631	-0.479
クロロフィルa	0.398	0.966	0.105	0.079
固有値	5.874		0.576	
寄与率(%)	83.9		8.2	

(2) 県内湖沼の水質的特徴について

表 6, 図 2 の因子負荷量から考えて, 第 1 主成分は各測定項目とも因子負荷量は大きい, 特に COD, DO, クロロフィル a 及び SS の因子負荷量が多いことから, 富栄養化に伴う有機汚濁の程度を示す総合的な指標と考えられる。次に第 2 主成分は pH と T-N が他の項目と比較して非常に大きい因子負荷量を持っていることから窒素と pH を示す成分と考えた。しかも pH の因子負荷量はプラスで T-N の因子負荷量はマイナスとなっており, pH と T-N の固有ベクトルの大きさ ($0.718/0.631=1.14 \approx 1.0$) がほぼ等しいことから, Z 2 が負の場合は pH に比較して T-N が高いことを表わし, Z 2 が正の場合は T-N に比較して pH が高いことを示すと考えられる。このことは図 3 のスコア-散布図で Z 2 がマイナスのものは図 4 で必ず $PH' = 1.14 \times T-N'$ の直線より上側にプロットされており, 逆に Z 2 がプラスのものは必ずこの直線より下側にプロットされていることから明らかである。

以上のように考えられる新しい座標軸 Z 1, Z 2 に各湖沼の因子得点を図 3 のスコア-散布にプロットし, その水質の類似性から破線で示したように 7 グループに分類した。そのグループごとの特徴については図 3, 4 から表 7 のようにまとめた。

以上の結果から, 俵原池, 関地池は富栄養化に伴う有機汚濁の非常に進んだ富栄養湖と考えられ, 逆に面河ダム, 黒瀬ダム及び新宮ダムは富栄養化に伴う有機汚濁の非常に低い貧栄養湖と考えられる。

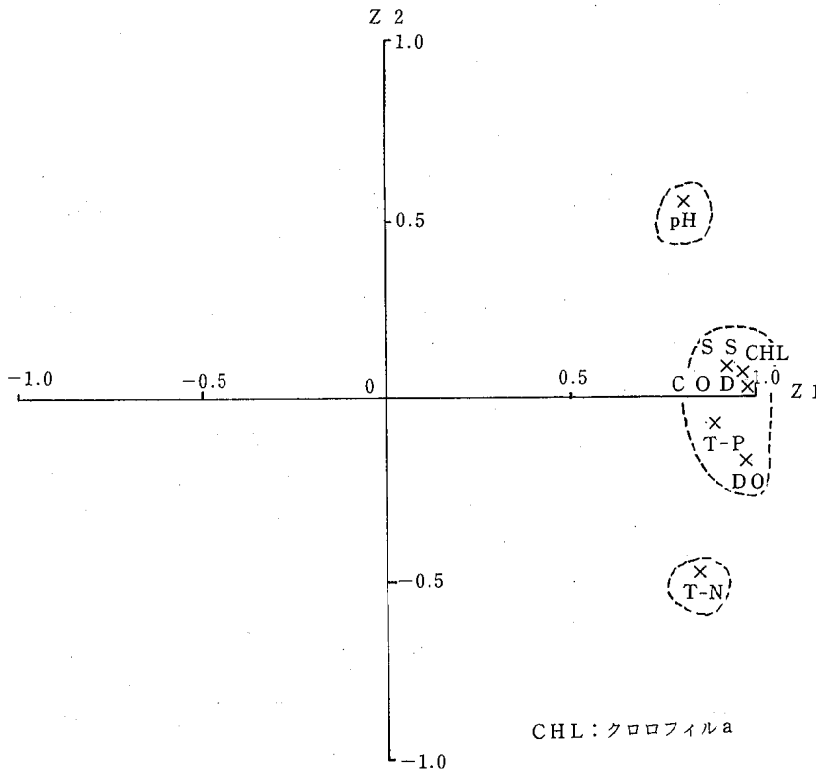


図 2 主成分分析により求めた因子負荷量

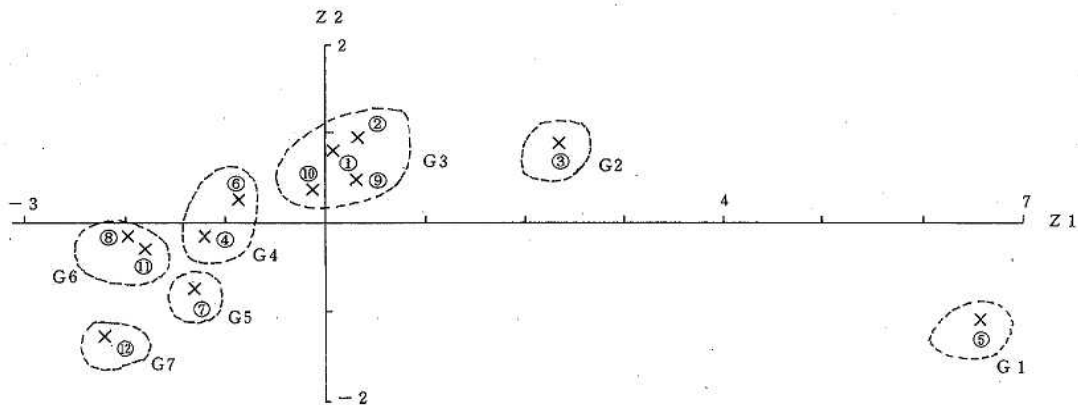


図3 主成分分析により求めた因子得点

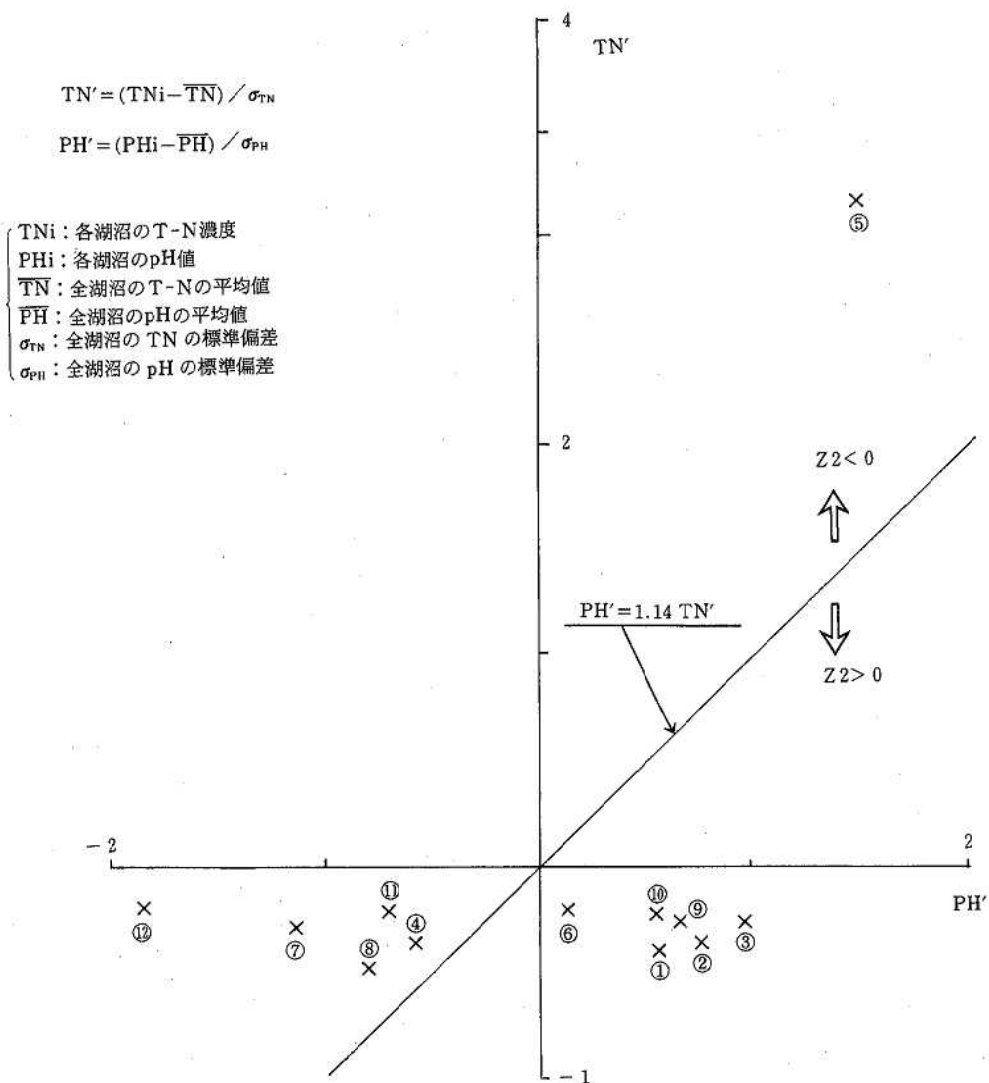


表7 主成分分析による県内湖沼の分類結果

グループ名	分類	結果	特徴	Z1	Z2
G 1	⑤俵原池		富栄養化に伴う有機汚濁も窒素濃度も非常に高い	++	--
G 2	③閑地池		富栄養化に伴う有機汚濁が非常に高くpHも高い	++	+
G 3	①山財ダム, ②須賀川ダム, ⑨鹿野川湖No.1, ⑩鹿野川湖No.2		富栄養化に伴う有機汚濁は平均的でpHが高い	±	+
G 4	④大谷池, ⑥玉川ダム		富栄養化に伴う有機汚濁は低く, pH, 窒素濃度も元均的	-	±
G 5	⑦別子ダム		富栄養化に伴う有機汚濁は低くpHが低い	-	-
G 6	⑧面河ダム, ⑪黒瀬ダム		富栄養化に伴う有機汚濁は非常に低く窒素濃度が高い	--	-
G 7	⑫新宮ダム		富栄養化に伴う有機汚濁が非常に低く, pHが非常に低い	--	--

3. 2. プランクトン調査結果から見た県内湖沼について

主に7月から9月にかけて調査を行った結果を表8に示す。また表9には1ml当りのプランクトン総数とその種類ごとの割合を示した。

さらに多様性指数を用いて、富栄養化状態等について検討を行った。

なお、群体を形成するものについては、群体数を計数した。

3. 2. 1. 県内湖沼のプランクトン相の比較

表8, 表9から各湖沼のプランクトン相の特徴について述べる。

山財ダムと須賀川ダムは、ほぼ類似のプランクトン相を示し、両者とも *Peridinium* が非常に多かった。この時、山財ダムの上流では *Peridinium* 赤潮を確認しており、この影響によるところが大きいと思われる。また須賀川ダムについても、この時 *Peridinium* 赤潮が確認されていないまでも、それに近い状況があったものと思われる。なお、山財ダム上流の河川流入部付近の赤潮発生箇所では、約24000cells/mlの *Peridinium* が確認された。

閑地池は、プランクトン数が非常に多く、原生動物の *Peridinium* と珪藻の *Cyclotella* がほとんどであった。特に *Peridinium* が多く、約2000cells/mlで、湖水の色も茶色味を帯びていたことから(5.5Y 4/4:日本色研色名帖による) *Peridinium* 赤潮が発生していたものと考えられる。

大谷池はプランクトン数が非常に少なく、その多くは珪藻であった。

俵原池は閑地池と同様にプランクトン数が非常に多かった。その中でも *Synedra* が非常に多く、次に *Peridinium* が多かった。また個体数は *Synedra* に比較すると少ないが、中栄養湖以上の湖沼に出現すると言われている^{3,6)} *Anabaena* や *Phormidium* が出現していた。

玉川ダムはプランクトン数が比較的少なく、*Cyclotella* や *Melosira* が多かった。個体数は非常に少ないが藍藻類が確認された。

別子ダムは大部分が珪藻の *Synedra* であった。 *Phormidium*, *Halteria* 等も確認されたが個体数は非常に少なかった。

面河ダム、黒瀬ダム及び新宮ダムは大部分が珪藻で特に貧栄養湖に優占的に出現すると言われている⁷⁾ *Cyclotella* が多く、ほぼ類似のプランクトン相を示していた。

鹿野川湖については堰提付近(No.1)もダム中央付近(No.2)も比較的、珪藻が少なく緑藻が多かった。またダム中央付近よりも堰提付近の方がプランクトン数もその種類もいくぶん多いようであった。

一般的に貧栄養湖では、プランクトンの種類も個体数も少なく、主に珪藻が優占的に出現すると言われている^{4,6)}。一方、富栄養湖では、プランクトンの種類も個体数も多く、夏期には藍藻が優占することがあると言われている^{4,6)}。これらの観点をふまえて、以上の湖沼のプランクトン相から富栄養化状態について以下述べる。

大谷池、新宮ダムはプランクトン数も少なく、そのほとんどが珪藻であることから、貧栄養湖と考えられる。別子ダム、面河ダム及び黒瀬ダムは、プランクトン数では前2湖沼に比較して多いようであるが、そのほとんどが珪藻の *Synedra* (別子ダム) や *Cyclotella* (面河ダム、黒瀬ダム) であることから、これらの湖沼も貧栄養湖と考えられる。

俵原池はプランクトン数が非常に多く、その種類も多い。また中栄養以上の湖沼に出現する *Anabaena* 等の藍藻が出現していることから富栄養湖と考えられる。また、鹿野川湖は俵原池よりプランクトン数は少なかったが、時には1ml当り数千のプランクトンが出現することもあり⁹⁾、その種類も多いことから富栄養湖と考えられる。

また、山財ダム、須賀川ダム及び閑地池については *Peridium* 赤潮の影響が考えられること、さらに *Peridium* 赤潮は富栄養化状態と無関係に貧栄養湖でも発生すると言われていることから⁸⁾、これらの湖沼については、そのプランクトン相から富栄養化状態を判

表8 県内湖沼のプランクトン相の比較

湖沼名	山 ダ	財 ダ	須賀川 ダ	関地池	大谷池	俵原池	玉 ダ	川 ム	別 ダ	子 ム	面 ダ	河 ム	鹿野川 湖No.1	鹿野川 湖No.2	黒 ダ	瀬 ム	新 ダ	宮 ム
採水年月日	60. 9. 22	60. 8. 22	60. 8. 26	60. 8. 26	60. 8. 28	60. 8. 28	60. 8. 28	60. 9. 2	60. 9. 4	60. 8. 20	60. 8. 20	60. 8. 23	60. 7. 15					
プランクトン名																		
珪藻植物	Melosira *			RRR	+		+						RRR					
	Cyclotella	R	R	C	+		CC		CCC	RRR	R	CCC	CCC					
	Synedra	RR		RRR	RRR	CC		CCC	RRR	+	RRR							RRR
	Gyrosigma				RRR													
	Navicula	RR		RR	+		RRR	R							RRR		RR	
	Cymbella				RR													
緑藻植物	Sphaerocystis *					RR												
	Pediastrum											RRR						
	Golenkinia					RR												
	Microactinium *											RRR						
	Coerastrum *			RR		RRR												
	Wesella *					RR						RRR	R					
	Chodatella												RRR					
	Oöcystis						RR											
	Scenedesmus	RRR	R	RR	RR			R				RR	C	RR	RRR			
	Cosmariurn											RRR						
	Staurastrum			RR		RRR	RR					RRR	RRR					
藍藻植物	Chroococcus *						R											
	Microcystis *					RR	RRR											
	Phormidium *					RR	RR	RRR										
	Anabaena *					R												
原生動物	Peridinium	CC	CCC	CC	RRR	+	RR		RRR	RRR					R		R	
	Ceratium				RRR	RRR	RR		RR									
	Euglena					RRR									RRR			
	Chlamydomonas	+	RRR			RR					+	+	RRR					
	Pandorina	R		RRR		RRR					RR							
	Eudorina					RRR			RRR	RRR	RRR	RRR	RRR					
	Diffugia				RRR				RRR	RRR					RRR			
	Halteria		RRR			RR		RRR		RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR	RRR
	Strombilidium		RRR			RRR							RR	RRR	RRR	RRR	RRR	
	Tintinnodium				+							RRR						
	Volticella					RRR												
輪形動物	Conochilus				RRR		RRR											
	Polyarthra				RRR		RRR		RRR									RRR
	Tricocerca				RRR			RRR										RRR
	Keratella		RRR		RRR													RRR
	Pompholyx																	RRR
節足動物	Daphnia						RRR											

CCC：大部分が同じ種類（約80%以上），CC：非常に多い（約80~50%），C：多い（50~30%），
 +：普通（約30~15%），R：少ない（約15~8%），RR：まれ（約8~2%），RRR：極めてまれ（約2%以下）
 *印については群体数を計数

表9 県内湖沼のプランクトン数とその種類ごとの割合

湖沼名 プランクトンの種類	山財 ダム	須賀川 ダム	閑地池	大谷池	俵原池	玉川 ダム	別子 ダム	面河 ダム	鹿野川 湖No.1	鹿野川 湖No.2	黒瀬 ダム	新宮 ダム
珪藻植物	11%	9%	44%	77%	64%	73%	99%	94%	25%	15%	78%	84%
緑藻植物	<1%	9%	5%	7%	4%	13%	/	/	23%	57%	2%	1%
藍藻植物	/	/	/	/	10%	9%	<1%	/	/	/	/	/
原生動物	89%	82%	51%	14%	22%	5%	<1%	6%	52%	28%	20%	14%
輪形動物	/	<1%	/	2%	/	<1%	<1%	<1%	/	/	/	1%
節足動物	/	/	/	/	/	<1%	/	/	/	/	/	/
プランクトン総数/ml	630	450	3400	60	3300	250	520	320	810	600	610	90

断することは難しいと思われる。これらの湖沼については今後さらに、調査検討が必要と考えられる。

3. 2. 2. 多様性指数から見た県内湖沼について
植物プランクトンから求める多様性指数は、属までの同定で十分安定した数値が得られることから¹⁰⁾、Shanon-Weaver の式から求めた多様性指数とクロロフィル a 濃度の関係を図 5 に示す。

〈Shanon-Weaver の式〉

$$\text{多様性指数 (DI)} = -\sum \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

- 〔 N : 観測された植物プランクトン総数
- 〔 N_i : i 番目の属の個体数

さらに小川ら¹¹⁾の調査結果もあわせて図 5 に示した。

通常、多様性指数は富栄養化が進むにつれて、2 次関数的に変化すると言われている¹¹⁾。つまり、貧栄養湖では約 1.0 以下と多様性指数は小さく、中栄養から富栄養に進むにつれて、多様性指数は大きくなり、さらに富栄養化が進むと多様性指数は再び小さくなる。

図 5 より、面河ダム、新宮ダム、別子ダム、黒瀬ダム及び大谷池は多様性指数も小さく、小川らの調査結果と比較すると、貧栄養湖と考えられる。また、俵原池、山財ダム、閑地池及び鹿野川湖は多様性指数も大きく、小川らの調査結果と比較すると、富栄養湖と考えられる。玉川ダムについては、ほぼ中栄養湖と考えられる。

なお、須賀川ダムについては、クロロフィル a 濃度に比較して、多様性指数が小さく、小川らの調査結果から得られた回帰関係から多少はずれる傾向が見られる。これは、表 8 から明らかに Peridinium が非常に多かったためであり、多様性指数とクロロフィル a 濃度の関係だけから判断するのは難しく、今後の調査検討が必要と考えられる。

3. 3. 県内湖沼の富栄養化状態について

森下の方法、主成分分析結果から見た場合、プランクトン相から見た場合及び多様性指数から見た場合の以上 4 種類の方法で見た結果を表 10 に示す。

表 10 から面河ダム、新宮ダム及び黒瀬ダムはどの結果から見ても貧栄養湖と考えられ、俵原池はどの結果から見ても富栄養湖と考えられる。

閑地池については、理化学的な水質結果からは富栄養湖と考えられるが、プランクトン相から見ると、明らかに淡水赤潮の状態と考えられ、単に理化学試験結果のみから富栄養湖と判断することは難しいと思う。このことは淡水赤潮の影響が考えられた山財ダム、須賀川ダムについても言えることと思う。

つまり、湖沼の富栄養化状態を考える場合は、理化学試験と同時にプランクトン相からの判断が必要と考えられる。

4. まとめ

昭和 60 年度に調査を行った、県内 11 湖沼の理化学的水質調査結果及びプランクトン調査結果から富栄養化状態等について検討を行った結果、次のことがわかった。

- (1) 理化学的水質調査結果から森下の方法によってその栄養度を判定すると、閑地池、俵原池及び鹿野川湖は富栄養湖と考えられ、大谷池、面河ダム、黒瀬ダム及び新宮ダムは貧栄養湖と考えられる。
- (2) N/P 比及び主成分分析の結果から、ほとんどの湖沼は窒素過剰であり、どちらかと言うとリン制限的な湖沼が多いと考えられる。
- (3) 主成分分析の結果から COD の変動の要因はほとんどの場合、湖沼の内部生産によるところが大きいものと考えられる。
- (4) 主成分分析の結果、11 湖沼は 7 種類に分類することができ、閑地池と俵原池は富栄養湖と考えられる。

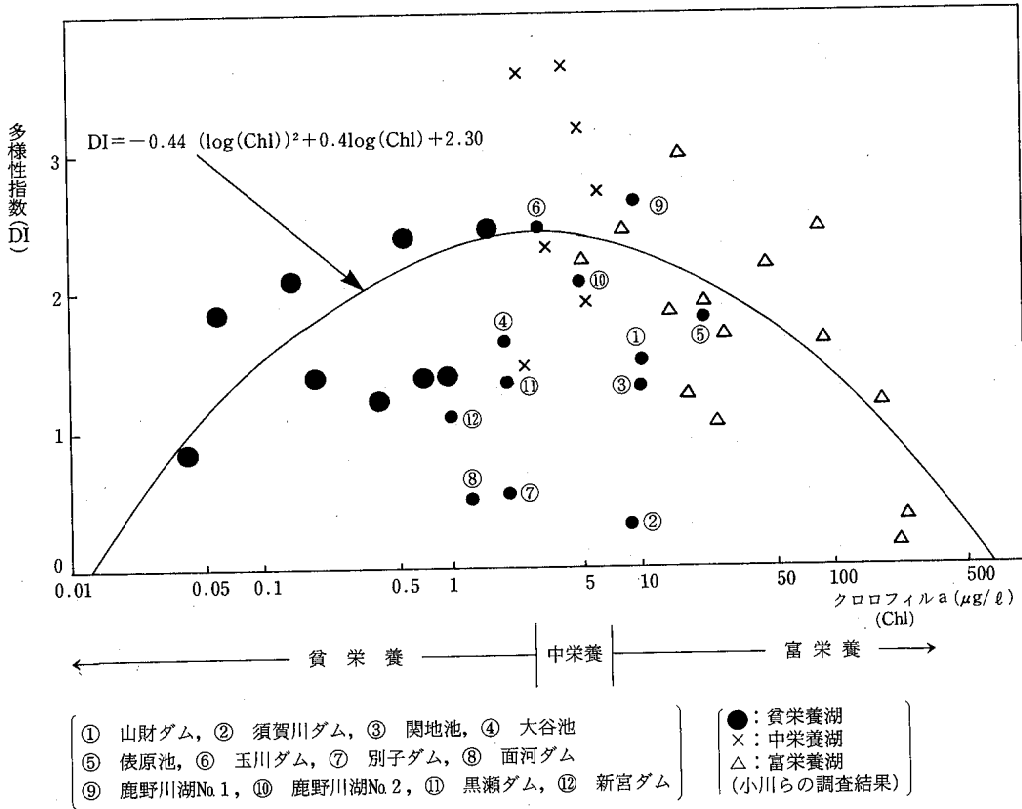


図5 植物プランクトンから求めた多様性指数とクロロフィルaの関係

表10 県内湖沼の富栄養化状態について

判定方法	貧栄養湖	富栄養湖
森下の方法	大谷池, 面河ダム, 黒瀬ダム 新宮ダム	関地池, 俵原池, 鹿野川湖
主成分分析結果	面河ダム, 黒瀬ダム, 新宮ダム	関地池, 俵原池
プランクトン相からの結果	大谷池, 別子ダム, 面河ダム, 黒瀬ダム, 新宮ダム	俵原池, 鹿野川湖
多様性指数からの結果	大谷池, 別子ダム, 面河ダム, 黒瀬ダム, 新宮ダム	山財ダム, 関地池, 俵原池, 鹿野川湖

(5) プランクトン調査結果から、そのプランクトン相を見ると、俵原池と鹿野川湖は富栄養湖と考えられ、大谷池、別子ダム、面河ダム、黒瀬ダム及び新宮ダムは貧栄養湖と考えられる。

(6) 植物プランクトンの多様性指数から小川らの調査結果と対比してみると、山財ダム、閑地池、俵原池及び鹿野川湖は富栄養湖と考えられ、大谷池、別子ダム、面河ダム、黒瀬ダム及び新宮ダムは貧栄養湖と考えられる。

5. おわりに

湖沼の水質は、理化学的水質調査結果にプランクトン相等の調査をふくめた生態系としての把握が必要であり、水質評価についても生態系としての総合的な評価が必要と思われる。

また、これらの調査については昭和60年度に一度行っただけであり、一部の湖沼については理化学的水質調査データの蓄積はなされているがプランクトン調査をふくめた生物調査データの蓄積が今後必要と考えられる。

— 参 考 文 献 —

- 1) 環境庁：国立公害研究所研究資料第24号(1983)
- 2) 気象庁編：海洋観測指針(1981)
- 3) 水野寿彦：日本淡水プランクトン図鑑(1981)，保育社
- 4) 森下育子：ダム湖の生態学(1983)，山海堂
- 5) 愛媛県：昭和61年度版環境白書(1986)
- 6) 日本水質汚濁研究協会編，湖沼環境調査指針(1982)
- 7) 奥野忠一，久米均，芳賀敏郎，吉澤正：`多変量解析法` (1986)，日科技連
- 8) 門田定美編：日本プランクトン学会創立30周年記念号，p.87
- 9) 中村洋祐：愛媛県公害技術センター所報第7号，20(1986)
- 10) 田井慎悟，松重一夫：水質汚濁研究，8，435(1985)
- 11) Y. Ogawa：Jap. J. Limnol.，45，173(1984)