

## 最近における児島湖の富栄養化と *Microcystis* による水の華処理に関する二、三の知見

小林 隆\*・長尾万治\*・吉村 広\*・近藤基一\*  
大西 昇\*・鳥越 伸\*・日野誠二\*・東本通武\*  
福武芳雄\*・斉藤直己\*・剣持堅志\*・高淵 等\*

児島湖の富栄養化については、日本陸水群集の生産力に関する研究(1)により、すでにその機構等が明らかにされている。しかし、最近の同湖における water bloom および大型水生植物の再三にわたる異常発生等は、同湖の環境悪化がさらに進行中であることを示している。

著者らは、岡山県の児島湖浄化対策の一環として、1973年の10月から1975年7月まで、同湖および流入河川の水質、底質の現状について調査し、また、1975年6～7月に異常発生した *Microcystis* による water bloom (水の華) を除くため数種の薬剤による室内処理試験を実施し、若干の知見を得たので、それらの概要をとりまとめて報告する。

この調査研究のとりまとめにあたり、岡山大学農業生物研究所の村本茂樹氏、大阪市環境科学研究所の本多淳裕氏、岡山県水産試験場の三宅与志雄氏、岡山県水質保全課および同下水道課から有益な参考資料の提供と助言を得た。協力頂いた諸氏に深く感謝する。

### 材料および試験の方法

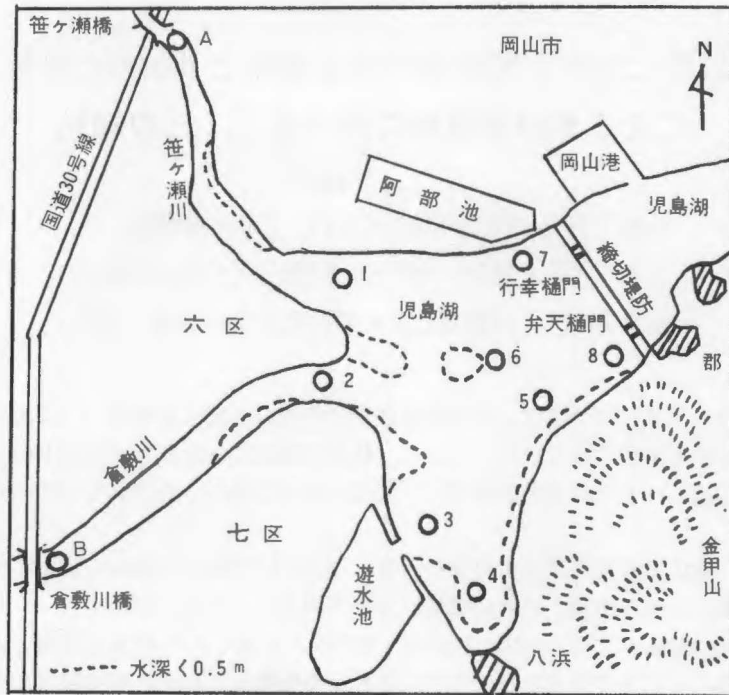
水質および底質調査：水質は湖内 および 主な流入河川である笹ヶ瀬川と倉敷川を含む8箇所において(第1図の1, 2の地点については1973年10月～1975年7月の間に16回、その他の地点については1973年10月～1974年3月の間に10回)表層水を採取して冷凍ストッカーに保存した試水につき、広域水質汚濁総合調査における水質等試験方法(2)により分析を行った。

底質は、第1図の1, 2, 6の3地点において、1973年10月～1974年3月の間に10回にわたって、エックマンバージ式採泥器により採取した表層泥を冷凍ストッカーに保存した後、上記水質等試験方法(2) 付属の底質試験法および土壌養分分析法(3)により分析した。

水の華処理試験：1975年7月22日、第1図の弁天樋門付近において、湖表から採取した *Microcystis aeruginosa* (第2図) による water bloom (水の華) を用いて、次のような方法により、実験室内で殺藻処理および凝集試験を行った。

殺藻処理試験は、200 ml ビーカー中に水の華を蒸留水で10倍に希釈したもの(藻体生重は約2%程度となる)を100 ml ずつとり、日光が十分当る実験室内において、次の薬剤を用いて約2週間、それぞれの効果を肉眼ならびに検鏡(オリンパス光学生物顕微

\* 岡山県公害防止センター



第1図 試料の採取地点

鏡 ST-3 型、倍率 $15 \times 40$ ) により観察した。

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  和光純薬製試薬特級

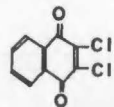
$\text{NaClO}$  和光純薬製化学用試薬 (遊離  $\text{Cl}$  5% 保証)

2, 3-DNQ (2, 3-Dichloro-1, 4-naphthoquinone) 和光純薬製化学用試薬

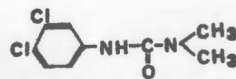
ALG-7 3, 4-DCMU (3, 4-Dichlorophenyl-1, 1-dimethyl-urea) を 16% 含有する丸和バイオケミカル(株) 製品



第2図 *Microcystis aeruginosa*

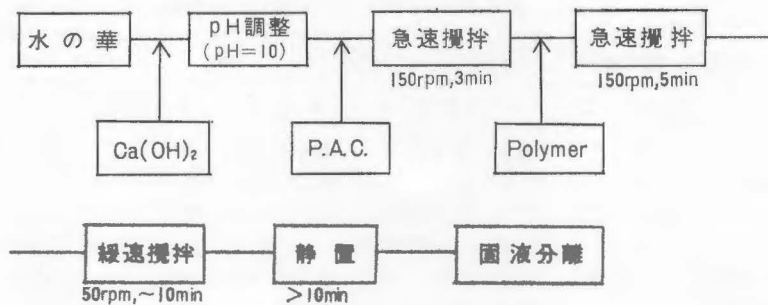


第3図 2, 3-DNQ



第4図 3, 4-DCMU

凝集処理試験は、殺藻処理試験の場合と同様に10倍に希釈した水の華試水について、ジャーテスター (柳本理研製 JMD-6 型) を用い、石灰乳で pH を調整した後、最初回転数 150 rpm で凝集剤を加えて5分間急速攪拌、次いで回転数 50 rpm で10分間緩速攪拌を行ったあと10分間静置して、固液分離状況を観察した。さらに、この処理液を東洋汙紙 No. 5 B で自然ろ過を行い、ろ過速度を調査するとともに、ろ液について濁度と懸濁物 (SS と略記) の測定を行った。なお、凝集剤併用処理を行う場合は、前記の処理の急速攪拌は3分間とし、あとは上記と同様の操作を行ったが、それを図示すると第5図のよう



第5図 凝集剤併用処理フローシート

ある。

凝集剤および助剤は、次のものを用いた。

凝集剤

FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O チタン製造の際に副産される工業用製品

PAC 多木製肥(株)製 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10%保証品

Polymer 住友化学製アクリルアミド系凝集剤 PA-50 (アニオン系)

助剤

Ca(OH)<sub>2</sub> 片山化学製化学用試薬1級

珪藻土 和光純薬製化学用試薬

## 結果と考察

### 1. 水質、底質調査結果について

今回行った調査結果について地点別、季節別に富栄養化に重点をおいて考察した。

#### (1) 地点別の水質

児島湖および流入河川の水質分析結果から、各地点ごとの平均値を算出して、第1表に示した。

まず、流入河川については、水質環境基準の一般項目ならびに栄養塩類などは、いずれも倉敷川が笹ヶ瀬川より高い汚濁性を示している。これは、流域の汚濁負荷量の差にもよるが、むしろ、両河川の流量の差、すなわち倉敷川の流量が笹ヶ瀬川の1/3以下である(4)ことに、負うところが多いと考えられる。

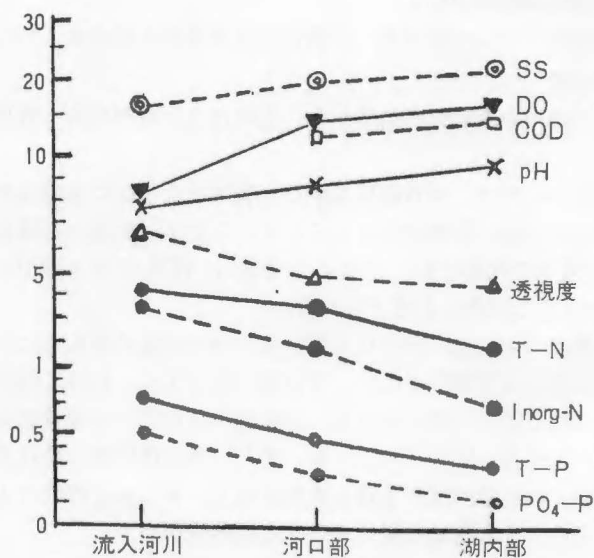
次に、湖内の水質については、両河川の河口部が湖内の他の各地点に比べて栄養塩類濃度が高く、逆に一般項目は汚濁性が低い。河口部(地点1, 2)以外の湖の周辺部、湖心部および樋門内部は各地点間に大差はないが、全般的に河口部より栄養塩濃度が低い値であり、一般項目については高い値を示している。また、弁天樋門部(地点8)の水質は、一般項目、栄養塩類いずれも湖内平均水質と大差がなく、あたかも湖内の水質が均一に混合平均化されているかのような現象を呈しているのは興味深い。

以上のように、地点間の水質は、河川部→河口部→湖内部という水の流れにしたがって、区域間にかんがりの変動があることは第6図にみられるようである。これによると、pH、溶存酸素(DOと略記)、SS、化学的酸素消費量(CODと略記)は、河川<河口<湖

第1表 児島湖および流入河川の水質 (平均値)

項目	流入河川		児 島 湖								平均
	A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	
pH	7.5	7.8	8.3	8.5	9.2	9.4	9.3	9.3	9.5	9.2	9.1
DO (ppm)	7.9	8.3	11.6	12.3	16.1	16.2	16.1	15.6	16.9	16.3	15.1
SS ( # )	14.4	17.6	17.9	21.5	21.4	25.5	21.5	16.9	20.2	19.4	20.5
透明度 (m)	—	—	(0.8)	(0.4)	(0.4)	—	(0.3)	(0.2)	(0.5)	—	(0.4)
透視度 (cm)	6.9	6.3	5.4	4.4	4.1	4.2	4.6	4.8	4.6	5.6	4.7
COD (ppm)	—	—	10.8	13.0	—	—	—	13.3	—	13.0	12.5
BOD ( # )	7.9	7.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Colif. G. (MPN/100mℓ)	6.4× 10 <sup>8</sup>	5.3× 10 <sup>8</sup>	8.5× 10 <sup>8</sup>	2.2× 10 <sup>8</sup>	1.6× 10 <sup>8</sup>	2.7× 10 <sup>8</sup>	3.1× 10 <sup>8</sup>	2.0× 10 <sup>8</sup>	1.7× 10 <sup>8</sup>	5.1× 10 <sup>8</sup>	3.4× 10 <sup>8</sup>
T-N (ppm)	3.44	4.72	2.88	3.11	2.06	1.71	1.88	1.89	1.81	2.19	2.19
Org-N ( # )	1.05	0.83	1.26	1.17	1.11	1.23	1.21	1.18	1.29	1.27	1.22
Inorg-N ( # )	2.39	3.89	1.62	1.94	0.95	0.48	0.67	0.71	0.52	0.92	0.97
NH <sub>4</sub> -N ( # )	1.76	3.45	1.10	1.48	0.54	0.15	0.25	0.27	0.13	0.43	0.54
NO <sub>2</sub> -N ( # )	0.17	0.06	0.11	0.10	0.07	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
NO <sub>3</sub> -N ( # )	0.46	0.38	0.41	0.36	0.34	0.29	0.36	0.38	0.33	0.43	0.36
T-P ( # )	0.60	0.88	0.42	0.52	0.31	0.28	0.28	0.29	0.26	0.30	0.33
PO <sub>4</sub> -P ( # )	0.40	0.64	0.20	0.30	0.10	0.04	0.05	0.06	0.03	0.06	0.11

流入河川Aは笹ヶ瀬川, Bは倉敷川, 1973年10月~1975年7月の間に16回調査, 児島湖は1973年10月~1974年3月の間に10回調査, 透明度は1回のみの調査



第6図 区域別の水質比較  
(pH, 透視度 (cm) 以外は ppm)

内の順に上昇し、湖内に至っては DO が極端な過飽和となるとともに、pH, SS, COD も急激に上昇し、透視度の低下を来している。また、栄養塩類については、全窒素 (T-N と略記)、全りん (T-P と略記)とも河川>河口>湖内の順に減少しているが、その減少分の大部分が無機態のもの減少に由来し、有機態窒素に至っては、河川より河口、湖内の方がむしろ増加する傾向を示しているが、それらについて区域別に示すと第2表のようである。

第2表 窒素およびりんの形態別構成比率 (%)

区 分	河 川 部		河 口 部		湖 内 部	
	N	P	N	P	N	P
有 機 態	23.0	29.7	40.7	46.8	60.6	70.0
無 機 態	77.0	70.3	59.3	53.2	39.4	30.0
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

河川部においては、窒素、りんとも無機態が約70%以上を占めているが、河口部、湖内部においては無機態が急減し、湖内部では有機態が60%以上を占めている。とくに、無機態窒素中では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少が著しい。

上述のような地域間の水質変化は、水が両河川から河口部を経て湖内に流入し、樋門から湖外へ放流されるまでの暫時滞留する間に、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ などの無機栄養塩類が植物プランクトンの光合成作用によって有機化され、減少する一方、旺盛な有機物生産の進行によってCOD, SSの上昇を来していることを示す。また、pH, DOの増大および透視度の低下は、湖内における光合成作用ならびにプランクトン生産の活発な進行を裏書きするものである。さらに、T-N, T-Pがいずれも湖内で半減していることは、無機栄養塩類を消費増殖したプランクトン、あるいは遺骸の分解物である懸濁有機物が、水中から湖底へ多量に沈降、堆積したことを示している。

## (2) 季節別の水質変化

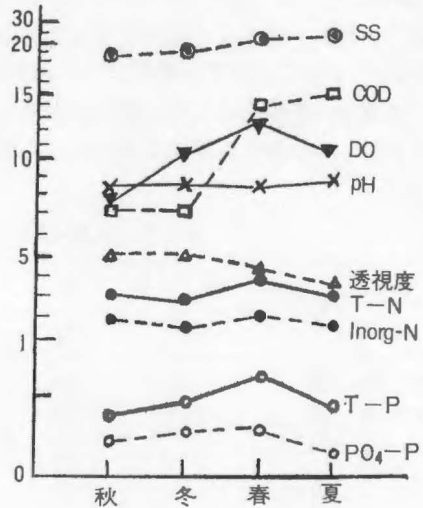
湖内、河口部および流入河川の水質の季節的变化を、第7図～第9図に示した。

第7図より、河口部の水質の季節変化をみると、春期および夏期にはCOD, SS, DO, pHが全般に秋期および冬期より高く、透視度は逆に低くなっている。これは、春期および夏期にプランクトンの生産活動が旺盛で、有機化が盛んに行われていることを示している。また栄養塩類は、窒素、りんとも春期が最も高く、夏期は減少している。これは、春期に農地よりの肥料成分の流入が多いことと、夏期は無機態の窒素、りんがプランクトンの増殖に用いられたのち、湖底に沈積するためと考えられる。

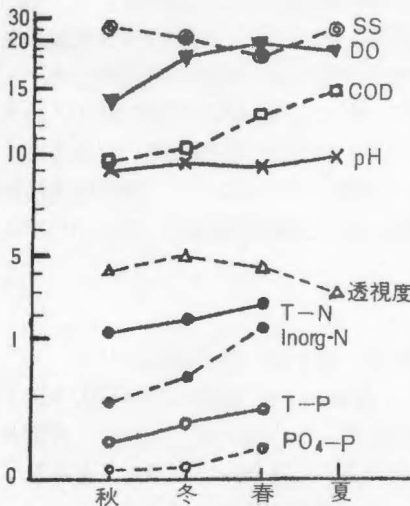
次に湖内部の水質の季節変化は、夏期の調査を欠いたために、一般項目のみ環境監視用のデータを用いて第8図に示した。SSは春期にやや低くなっているが、他の一般項目のCOD, pH, DOなどはいずれも春期および夏期が高い値であるが、透視度は春期および夏期は低い値を示し、河口部と同様、春期および夏期にプランクトンの生産活動が活発なことを示している。栄養塩類は、窒素、りんとも秋期および冬期が低い値であり、春期には高い値である。

さらに、流入河川の水質も夏期の調査を欠くが、第9図のとおり春期にはSS、生物学的酸素消費量(BODと略記)が高く、透視度が急減して、春期の汚濁が大きいことを示している。栄養塩類については、りんは春期に高い値を示しているが、窒素は春期にはやや低い値である。これは、春期の調査回数が少ないうえに、笹ヶ瀬川で低い値がみられたためであると思われる。

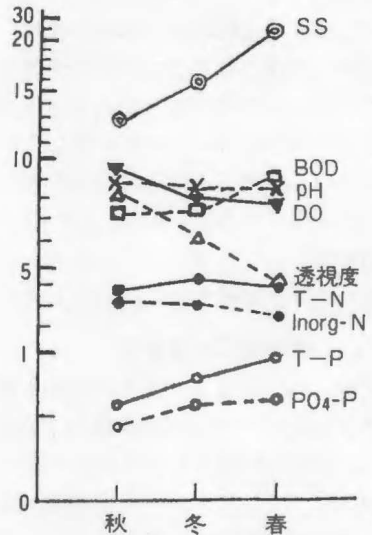
以上を要約すると、湖内水質は時期によりかなりの変動がみられるが、全般的に春期および夏期、とくに夏期に汚濁が甚しく、また、栄養塩類も春期および夏期、とくに春期に高く夏期はやや減少しているように見うけられる。この原因



第7図 河口部水質の季節変化 (pH, 透視度 (cm) 以外は ppm)



第8図 湖内部水質の季節変化 (pH, 透視度 (cm) 以外は ppm)



第9図 流入河川の水質季節変化 (pH, 透視度 (cm) 以外は ppm)

は、上述のように春期における農地等からの栄養塩の流入と、湖内生物の生産活動等に基因するものと考えられる。

### (3) 湖および流入河川水質の富栄養化度

湖沼、河川などの栄養状態を判定するための指標として、窒素とリンの濃度によって分類することが行われているが、OECD 水管理研究報告(5)において、R. A. Vollenweider

は第3表のような分類法を提案し、また坂本(6)は第4表の分類を示している。児島湖および流入河川の水質(第1表)をこれらの分類法に適用すると、いずれも富栄養類型の限度を大幅に上回っており、富栄養化の程度が著しく高い。たとえば、R. A. Vollenweiderの表からみると、児島湖内の無機性窒素の平均値は富栄養湖としての値の約2倍、T-Pは3倍以上の値に達している。また、坂本(6)の分類で比較してみても、富栄養湖の最高値に対しT-Nについては1.7倍、T-Pについては3.7倍の値となっている。流入河川である笹ヶ瀬川、倉敷川は、坂本の示す河川の栄養塩の最高値に対して、笹ヶ瀬川は窒素、りんともに約3倍、倉敷川ではいずれも約4倍の値である。

以上、いずれにしても児島湖および両河川は、極めて高度な富栄養状態にあるといえる。

第3表 湖沼栄養状態の分類 (R.A. Vollenweider, 1967)

栄養状態	総りん (mg/m <sup>3</sup> )	無機性窒素 (mg/m <sup>3</sup> )
1. 極貧栄養	< 5	< 200
2. 貧-中栄養	5 - 10	200 - 400
3. 中栄養	10 - 30	300 - 650
4. 高-富栄養	30 - 100	500 - 1500
5. 富栄養	> 100	> 500

第4表 日本の淡水湖沼、河川における主要栄養塩含量 (ppm) (坂本, 1966)

	N	P	Fe	Ca	Mg	Na	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
貧栄養湖	0.02~0.2	0.002~0.02	0.02~0.3	1.1~23.4	0.8~4.3	0.0~5.2	0.6~24.0	1.1~28.1
中栄養湖	0.1~0.7	0.01~0.03	0.1~1.1	2.3~21.9	0.1~2.0	2.1~6.7	0.8~21.8	3.0~15.4
富栄養湖	0.5~1.3	0.01~0.09	0.5~0.7	3.4~26.9	2.5~11.3	5.6~28.1	0.6~28.6	1.0~41.7
河川	0.05~1.1	0.002~0.23	0.00~2.2	2.4~28.0	0.4~8.0	2.1~25.8	1.2~33.9	6.1~54.6

ところで、これらの流入河川により供給される窒素、りんは供給源別負荷量を知ることは、湖の富栄養化防止対策上まことに重要であるが、現実合った推計ははなはだ難しいので、児島湖流域下水道整備総合計画(7)の基礎資料から、流入源別の寄与率を算出し、第10図に示した。

これによれば、T-Nの約半量が農地林野からの流出に由来し、生活排水も33%に達する。また、T-Pについては生活排水が66%、家畜および工場廃水がそれぞれ14%を占めている。このように、児島湖への栄養塩の供給は、生活排水と農地等からの自然流出が大きなウェイトを占めている。この原因は、流入河川である笹ヶ瀬川、倉敷川両河川が、人口稠密な岡山、倉敷、総社三市を流域に含み(児島湖流域下水道整備総合計画による1972年流域推定人口は26万人)、また、両河川が岡山県の穀倉地帯といわれる児島湾干拓地を始め広大な農地を貫流し、かんがい用水となっているためであると考えられる。なお、生活排水による負荷は上記流域下水道の整備により、将来低減することが予想される。しかし、N負荷率の大きい農地等よりの栄養塩類の自然流出については、対策がはなはだ困難



であり、このためには消極的方法ではあるが、農作物への施肥量の節減、あるいは土壌改良による耕地の塩基置換容量の増大等を行なう必要があるのではないかと考えられる。

#### (4) 他湖水質との比較

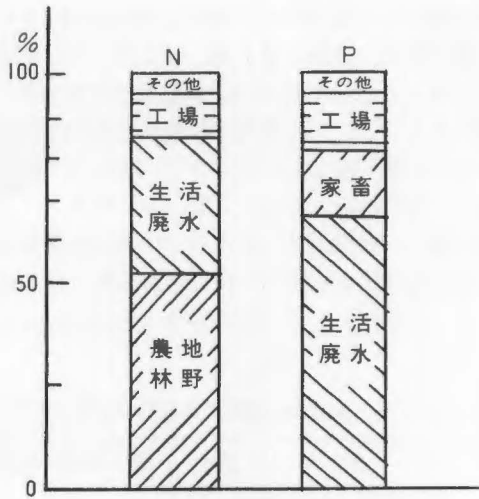
児島湖の水質を、わが国の代表的な富栄養湖とされている諏訪湖の水質(8)、貧栄養湖ではあるが、近年とみに富栄養化しているといわれる琵琶湖の南湖の水質(9)と共に示すと第5表のようである。

これより、児島湖の水質は、栄養塩類および有機性汚濁のいずれも、琵琶湖の南湖よりは数倍以上の高い値であり、また、諏訪湖よりもかなり高い値であるといえる。特に無機栄養塩類のうちアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-Nと略記)とりん酸態りん(PO<sub>4</sub>-Pと略記)の含有量が他湖に比し高い値であるのが特徴である。これは、流域農地よりのアンモニウム塩、りん酸塩あるいは生活排水中の洗剤ビルダーとして含有されているりん酸塩の多量の流出を示し、またアンモニウム塩の多いことは湖の還元性を示している。

#### (5) 湖および流入河川水質の経年変化

児島湖および流入河川水質の経年変化を比較するため、JIBP-PFの研究報告(4, 10, 11, 12)などから、表層水(今回の調査が、表層水について行っているため)の主として栄養塩類濃度の測定値について、年次別に第6表に示した。

もちろん、調査方法の相違などにより、正確な比較とはいえないが、児島湖および流入



第10図 児島湖における栄養塩の流入源別負荷率(岡山県, 1973)

第5表 他湖水質との比較

項目	児島湖	琵琶湖(南湖)	諏訪湖
pH	9.1	8.1	7.9
DO (ppm)	15.1	9.6	10.8
SS (#)	20.5	8.4	18.6
透明度 (m)	0.4	2.2	0.75
透視度 (cm)	4.7	—	—
COD (ppm)	12.5	1.1	4.7
BOD (#)	—	1.4	4.6
Colif. G. (MPN/100ml)	3.4 × 10 <sup>8</sup>	5.7 × 10 <sup>2</sup>	5.3 × 10 <sup>8</sup>
T-N (ppm)	2.19	0.47	1.71
Org-N (#)	1.22	0.30	1.14
Inorg-N (#)	0.97	0.17	0.57
NH <sub>4</sub> -N (#)	0.54	0.075	0.26
NO <sub>2</sub> -N (#)	0.07	0.003	0.04
NO <sub>3</sub> -N (#)	0.36	0.09	0.27
T-P (#)	0.33	0.023	0.16
PO <sub>4</sub> -P (#)	0.11	0.005	0.02
年次	1974	1974	1973



第6表 児島湖および流入河川水質の経年変化

項目		pH	混濁度	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	SiO <sub>2</sub>	報告者
児島湖	1967	8.2	16.9	0.30	0.002	0.01	0.06	8.7	小林ら(9)
	1968	8.9	11.2	0.13	0.018	0.09	0.24	6.4	"(10)
	1969	8.6	17.6	0.47	0.005	0.01	0.20	8.9	"(11)
	1970	7.0	26.7	0.55	0.028	0.52	0.15	7.7	"(4)
	1974	9.1	—	0.54	0.07	0.36	0.11	—	県公害センター
笹ヶ瀬川	1951	6.9	—	0.08	—	0.31	0.02	13.2	※
	1967	7.0	9.7	0.27	0.01	0.00	0.08	11.8	小林ら(9)
	1970	7.0	17.9	1.60	0.06	0.89	0.19	18.7	"(4)
	1974	7.5	—	1.76	0.17	0.46	0.40	—	県公害センター
倉敷川	1951	6.8	—	0.07	—	0.61	0.05	15.4	※
	1965	7.0	—	1.15	—	0.11	0.06	13.5	※
	1967	8.2	19.9	0.37	0.01	0.05	0.05	11.3	小林ら(9)
	1970	7.1	20.5	2.43	0.04	0.85	0.31	15.8	"(4)
	1974	7.8	—	3.45	0.06	0.38	0.64	—	県公害センター

(注) 混濁度、栄養塩類濃度は ppm、※印は岡山大学農業生物研究所の調査結果の未発表データによる。

河川の栄養塩類濃度、pH 値、混濁度などが年々上昇傾向にあり、いずれも富栄養化が進行していることは明らかである。

#### (6) 湖における栄養塩類の収支

湖内への栄養塩類の供給は、主として笹ヶ瀬川および倉敷川の両河川により行われ、湖外への流出は、潮汐の関係を利用し、主として弁天樋門からの放水により行われている。

1956年～1965年の10年間にわたる中四国農政局計画部の児島湖流出入水量の調査(13)および JIBP-PF の調査(4)による笹ヶ瀬川と倉敷川の流量を参考とし、今回の調査時の両河川の採水地点および湖内の地点8の栄養塩類濃度を用いて概算した一日当りの湖内栄養塩流出入量は第7表のようである。

もちろん、このような試算は多くの仮定のうえにたった見かけ上のものであり、細かい論議の材料とはなりえないが、最近の児島湖における栄養塩の収支と富栄養化の現況を把握するため算出したものである。

すなわち、栄養塩類の一日当りの湖内への流入量のうち、無機態窒素(Inorg-Nと略記)は34%、有機態窒素(Org-Nと略記)は118%が湖外へ流出し、T-Nとしては56%が湖外へ流出している。Org-Nの流出量が流入量をこえているのは、湖内で増殖したプランクトンなどが有機性浮遊物となって湖内の汚濁を増すとともに、湖外へ流出していることを示すものである。この結果、Inorg-Nは66%、Org-Nは-18%の残留率となり、T-Nとしては44%(1.7 t/d)が湖内に残留し、湖内の富栄養化を促進していることとなる。

また、りんについては、湖内への一日当りの流入量のうち PO<sub>4</sub>-P は 16%、有機態りん

第7表 児島湖における栄養塩類の収支

区 分	流量 x10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /d	濃 度 ppm						流 出 入 量 kg/d						
		T-N	Inorg-N	Org-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	Org-P	T-N	Inorg-N	Org-N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	Org-P	
流 入	笹ヶ瀬川	811	3.44	2.39	1.05	0.60	0.40	0.20	2,790	1,938	852	487	244	243
	倉敷川	230	4.72	3.89	0.83	0.88	0.64	0.24	1,086	895	191	202	147	55
	小 計	1,041							3,876	2,833	1,043	689	391	298
流 出	弁天樋門 数 量	1,033	2.19	0.92	1.27	0.30	0.06	0.24	2,182	950	1,232	341	62	279
	率 (%)								56.3	33.5	118.1	49.5	15.9	93.6
残 留 (見掛)	数 量	8							1,694	1,883	-189	348	329	19
	率 (%)	7.7							43.7	66.5	-18.1	50.5	84.1	6.4

(Org-P と略記) は 94%, T-P としては 50% が湖外へ流出する。その結果、PO<sub>4</sub>-P は 84%, Org-P は 6% の残留率となり、T-P としては流入量の 50% (350 kg/d) が湖内へ残留し、富栄養化を促進している。

以上のように見かけ上児島湖に供給される窒素の約 44%, りんの約 50% が流出することなく湖内に残存し、生物生産などに関与するということが判明した。なお、小林らによる 1970 年の同様な試算では (4) Inorg-N の残存率は 71%, PO<sub>4</sub>-P は 40% と報告されているが、それを著者らの値と比較すると Inorg-N はほぼ等しい値であるが、PO<sub>4</sub>-P については著者らの値が高かった。

#### (7) 富栄養化と水産との関連

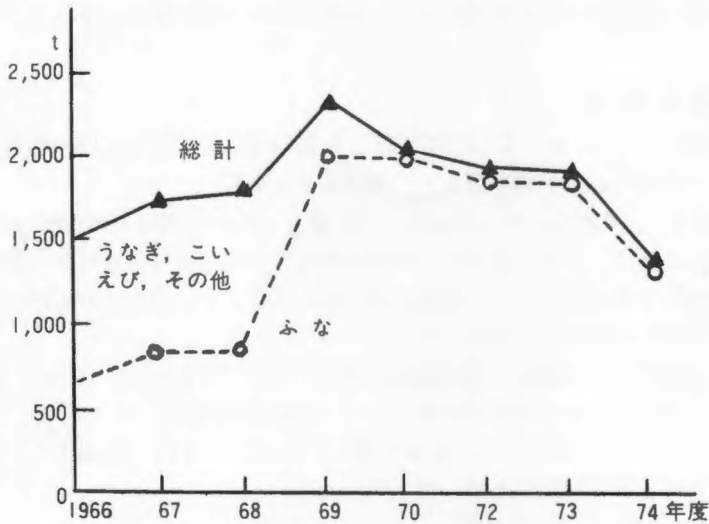
水産環境水質基準 (14) の湖沼水質基準では、温水性魚類の生産に適する条件として pH 6.7~7.5, 透明度 > 1 m, SS < 3 ppm, COD < 5 ppm, T-P < 0.05 ppm が示されているが、児島湖の水質はいずれもこれを大幅に上回っている。

岡山県農林水産統計年表 (15) による児島湖の年次別魚獲量は第 11 図のようである。これによると、1969 年頃までの魚獲量は年々増加しているが、1970 年より比較的高級なウナギ、コイ、エビその他の魚獲量は急減し、一方粗魚であるフナ (ギンブナ) の占める比率が増加している。また、1970 年を境として総魚獲量は減少し、とくに水質の汚濁に強いフナが 1974 年には全体の 97% を占めるに至っている。

一般に、湖沼においては、栄養元素の流入によって生物生産は増加するが、過度の流入は増殖したプランクトンの枯死体の分解によって、低層水の DO の減少、還元化による硫化物の増加をきたし、ペントスおよびネクトン生産に大きな悪影響を及ぼす場合が多い。1971 年の児島湖における奇病魚の発生が、水質に起因すると指摘されている (16) ように、水質と水産面との関連は非常に大きいと考えられる。

#### (8) 湖内栄養塩濃度と藻類および大型水生植物生産

岡山県水産試験場により行われた児島湾、児島湖プランクトン調査報告 (17) では、プランクトン生産の多い 6~7 月の調査を欠くが、プランクトンは季節によって種類と細胞数



第11図 児島湖における漁獲量の変化  
(中四国農政局, 1967~1974)

にかなりの変動を示している。たとえば細胞数は湖内平均で  $2.7 \times 10^2 \sim 65 \times 10^4$  個/ml となっている。また、種類としては、春期には緑藻類の *Micractinium* に次いで珪藻類の *Melosira*, *Nitzschia* が多く、夏期は藍藻類の *Oscillatoria*, *Spirulina*, *Anabaena*, 秋期は珪藻の *Melosira*, また冬期には鞭毛類 *Chilomonas* が圧倒的に多かった。これらプランクトンのほとんどは  $\beta$  中腐水性~強腐水性生物であり、とくに *Oscillatoria* および *Spirulina* の存在は強腐水性ないし  $\alpha$  中腐水性の水質を表すものとされている(18)。

栄養塩濃度と藻類生産との関係については、岩井(19) がリン酸カリウムと尿素を用いて *Microcystis* について行った試験では、窒素は 2.30 ppm まで、りんは 1 ppm まで藻類の繁殖は増大するが、それ以上になるとかえって繁殖が阻害されるとしている。著者らの調査による湖内水質は、Inorg-N が 0.97 ppm,  $PO_4\text{-P}$  が 0.11 ppm であるので、他の要因による制限がなければ湖外からの窒素、りん供給量の増加によって、さらに藻類の増殖をまねくものと考えられる。なお、藻類生産に対する N と P の比率は、窒素/りん  $\leq 10$  が窒素制限、窒素/りん  $\geq 10$  がりん制限といわれている(20)。児島湖の場合は窒素/りんが 10 以下であるので窒素制限となる。したがって、りんももちろんであるが、とくに窒素の流入を抑制することが望まれる。ここ数年、児島湖においては夏期に *Microcystis* の水の華の形成がはなはだしく、風下側の沿岸に吹きよせられ、その分解による悪臭は沿岸住民に不快感を与えている。

また、近年湖内の大型水生植物は、モ類等の沈水植物が減少し、その代りにホテイアオイ、ウキクサ、ヒシ、アシ等の浮葉、浮漂植物あるいは挺水植物の増加が著しい。これは、湖内におけるプランクトンの増殖により、湖水の透明度が減少し(著者らの調査では、透明度平均 0.4 m)、湖底に光がとどきにくくなったためと考えられる。最近、湖内の水生植物は水田のそれに似てきたともいわれるが、それだけ水田の富栄養化状態に近づいたともいえる。なお、大型水生植物も、その枯死体は分解して水質の有機性汚濁を増し、また

底層を還元化して硫化物の発生を促すなど、環境に及ぼす悪影響はプランクトンの場合と同様である。

### (9) 底質の状況

第1図の地点1, 2, 6において1973年10月より1974年3月の間に10回の底質の試料採取を行ったが、その地点別平均値は第8表に示すようである。

この結果をみれば、調査地点のNo. 1, 2の底質とNo. 6の底質との間にかなりの開きが認められる。これは、前者2地点がいずれも流入河川の河口部にあたり、水中の浮遊物の沈積の多い場所であるのに対し、後者は第1図に示すように湖心部の微砂の堆積した浅瀬の地点であるためであろうと考えられる。

湖内底質の3地点の平均値は、強熱減量9.3%, COD 27.2 mg/g(乾泥), 硫化物0.3 mg/g(乾泥)であって、有機物の含有量が高く、底質は還元性を示している。なお、水産環境底質基準(14)ではCOD 20 mg/g, 硫化物0.2 mg/g(いずれも乾泥当り)となっており湖内底質はこの基準をかなり上回っている。

栄養塩類については、T-Nが0.28%, T-Pが0.13%となっており、諏訪湖底質(8)のT-N 0.41%, T-P 0.20%に比較して、T-N, T-Pともやや低く、CODも諏訪湖の68.3 mg/gに対して、かなり低い結果を示した。これは、底質の状態から判断して、児島湖の湖底堆積物に微砂あるいは粘土分が多いためと考えられる。

第8表 児島湖底質調査結果(乾泥)

項目	地点			
	1	2	6	平均
水分(%)	48.0	57.6	31.9	45.8
強熱減量(%)	9.8	12.1	5.9	9.3
COD(O <sub>2</sub> mg/g)	33.8	36.4	11.5	27.2
硫化物(Smg/g)	0.27	0.47	0.17	0.30
T-N(%)	0.29	0.39	0.17	0.28
T-P(%)	0.16	0.19	0.04	0.13

## 2. 水の華処理試験結果について

### (1) 殺藻処理試験

古くから、用水と廃水のプランクトンあるいはバクテリア・コントロールに用いられている薬剤は数多い。ここでは、無機質薬剤から普遍的なCuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>OとNaClOを、また最近その選択性あるいは低毒性により注目されている有機性薬剤のうち、2, 3-DNQとALG-7をとりあげて、*Microcystis*に対する室内処理試験を行った結果を第9表に示す。

この試験結果では、供試薬剤の殺藻効果は、NaClO > CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O > 2, 3-DNQ > ALG-7の順に早く、また、濃度については、2, 3-DNQ < CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O < NaClO < ALG-7の順に低い濃度で効果が現れた。

CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>Oは、T. E. Maloneyら(21)によれば、珪藻類に効果が高く2 ppmで100%効果があり、藍藻類には2 ppmで57%の抑制力があるとしているが、本試験での殺藻効果が明確であったのは5 ppm以上であり、この場合1日目後より変色し、細胞は完全に崩壊した。しかし2~3 ppmの場合でも2日目より淡く変色し、各細胞の分離あるいは一部崩壊を起すなど、若干の殺藻効果が見られた。本薬剤の使用は、pH, 硬度, 日光照射量等によって効果に増減があるが、魚類に対するTLm値(48 hr)は、コイで0.27 ppmで

魚毒性が高いので、湖沼などでの現場使用は避けるようにすべきである。

NaClO は、速効性ではあるが、藻類に対しては硫酸銅より効果が劣り (約 1/5)、とくに日光照射による効力消失が著しいとされている(22)。著者らの試験では 20 ppm 以上 (free-Cl として) の場合数時間で著しい殺藻効果が見られ、7-10 ppm の場合には10日目ごろより細胞の脱色など若干の殺藻効果がみられた。しかし 5 ppm まではほとんど効果はみとめられなかった。本剤の魚毒性は、コイで TLm 値 (48 hr) が 5.6 ppm とされているので、湖沼などでの現場使用は避けた方が安全である。

2,3-DNQ は、数多くの有機性殺藻剤のなかでも最も毒性の低いものとされている。C. M. Palmer(23) によれば、とくに藍藻類の水の華に対して、非常に低濃度 (0.5 ppm) でも顕著な効力を示し、しかも緑藻類などには殆んど作用しない選択的殺藻剤であるが、アルカリに対しては分解して効果が低下するといわれる。

この試験では、2 ppm で4日目より、5 ppm では2日目より細胞が崩壊し、黄褐色に変色した。適用濃度が Palmer の説より高い値であるのは、試水の pH が高い (pH=8.0) ためであると考えられる。

ALG-7 (3,4-DCMU) は、尿素系除草剤であるが、殺藻剤としても用いられている。この試験では、効果の発現が最も遅く、ALG-7 が 20 ppm 以上で12日目頃より淡黄色に変色し、細胞の崩壊がみられた。本剤の魚毒性は、コイに対する TLm 値 (48 hr) が 7.3 ppm であるが現地使用の点はなお再検討の余地がある。

以上、殺藻効果および魚類等に対する毒性などを総合して、*Microcystis* の処理には、2,3-DNQ が最適と考えられる。しかし、如何なる殺藻剤も、湖沼への直接の施用は経費

第9表 水の華殺藻処理試験結果

濃度 (ppm)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	NaClO	2,3-DNQ	ALG-7
0.5			±	
1.0	±	±	+	±
2.0	卍		卍	±
3.0	卍	±	卍	±
5.0	卍	±	卍	±
7.0	卍	+		±
10.0	卍	卍		±
20.0		卍		卍
40.0		卍		卍
50.0		卍		卍
備考	2~3 ppm は 2 日目より変色し細胞が一部崩壊した。 >5ppm は 1 日目より変色し、細胞は崩壊した。	>20 ppm で数時間後に変色、細胞が崩壊した。 7~10ppm は 10 日後より変色した。	2 ppm で 4 日目より変色、細胞崩壊した。 5 ppm で 2 日目より変色し、細胞崩壊した。	>20 ppm で 12 日目より変色し、細胞が一部崩壊した。

(注) + 1 個は約 20% の殺藻効果を示す。  
± は殺藻効果がなかったことを示す。

および藻類枯死体の分解による二次汚染等の面で問題がある。したがって、水の華処理にはまず湖面より機械的除去を行った後、後処理を行うのが得策と考えられる。

## (2) 凝集処理試験

*Microcystis aeruginosa* に対する凝集処理試験の結果を第10表に示した。

凝集剤別の効果については、硫酸第一鉄、PAC、Polymer いずれも単独ではほとんど凝集効果がみられず、また併用処理の場合も、廃水処理の場合のような強力な凝集作用を示さなかった。これは、プランクトンの比重が小さく、かつイオン性を帯びていないこと、しかも藻体の炭素同化作用による  $O_2$  の放出でフロックに浮力がつくこと、などによるものと考えられる。また、フロックの凝集促進の意味で、助剤として珪藻土を添加しても効果は明らかでなく、かえって後処理として行ったろ過の際、目づまりを助長する結果となった。

しかし、PAC と Polymer の併用処理は、ふつう容易に沈降しない藻体が比較的速やかに沈降し、固液分離した。東洋洋紙 No. 5B による自然ろ過も速やかであり、水の華の凝集、ろ過処理法として、有効と認められた。

なお、近年 Polymer の動物への毒性が懸念されているが、最近ではフロナック、ポリアクリル酸ソーダ等の無毒性の凝集剤が市販され、また助剤として活性シリカ、アルギン酸ソーダが有効との報告(22)もある。今回実施できなかった上記処理剤による試験は、次の機会に実施したい。

第10表 水の華凝集処理試験結果

区分 凝集剤	添加濃度 (ppm)	沈降分離 状 況	ろ過時間 (No. 5B, 100 ml)	ろ液分析 結果 (ppm)
Ca(OH) <sub>2</sub> + FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	pH=10 まで添加 100~500	沈降 } 不変 分離 }	ろ過不能	実施せず
Polymer (PA-50)	1 ~ 10	同 上	同 上	同 上
P A C + Polymer (PA-50)	10 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> として) 1.0	沈降速い 分離良好 上澄液 ほぼ透明	25 min	SS 1.5 濁度 1.0
珪藻土 + P A C + Polymer (PA-50)	1,000 50 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> として) 1.0	沈降 やや速い 分離 やや良 上澄液 やや混濁	150 min	SS 2.5 濁度 1.0

## 摘 要

最近における児島湖の富栄養化の現状を知り、同湖浄化対策の基礎資料とするため、湖内および流入河川の水質、底質について栄養塩類を中心に調査し、地点別および季節別変化、富栄養化度、今後の対策などについて検討を行なった。また、水の華除去法として殺



藻処理、凝集処理による室内試験を実施し、その効果と適用濃度等を調べた。それらの結果は次のように要約される。

1) 湖内および流入河川水質の栄養塩類濃度は、窒素、りんとも流入河川が最も高く、次いで河口部、湖内部の順に低くなっていた。しかし、COD, SS, DO, pH など一般項目は、この逆に湖内部が最も高く、ついで河口部で流入河川が最も低い値であった。この原因は、河川よりの栄養塩の流入が湖内におけるプランクトンの生産活動を促進し、有機性汚濁を増すとともに、湖内で栄養塩を消費増殖したプランクトンの遺骸が多量湖底に沈降し、相対的に湖内水中の栄養塩類濃度が低下したためと考えられる。なお、流入河川の栄養塩濃度は倉敷川が笹ヶ瀬川より高い。

2) 湖内水質は季節的にかなりの変動がみられ、全般的に秋期および冬期よりも春期および夏期に有機性汚濁が高い。栄養塩類も春期および夏期が高いが、夏期は春期よりやや低い傾向がみられる。この原因は、春期における農地等からの栄養塩の流出増加と、夏期における生物の旺盛な栄養塩消費、湖底への沈降などによることが考えられる。

3) 児島湖の富栄養化の程度は、Vollenweider および坂本の示した富栄養湖の基準に対し、窒素は2倍、りんは3倍の値を示し、また流入河川も坂本の報告による日本国内河川の栄養塩類濃度最高値に対して、窒素、りんとも3~4倍の高い値を示した。なお、代表的な富栄養湖である諏訪湖と比較しても、児島湖がより高い含有量を示した。

4) 児島湖および流入河川の水質の経年変化を調べたが、いずれも富栄養化は進行の傾向にあると考えられた。

5) 湖内における栄養塩類の収支は見かけ上 T-N は約44%、T-P は約50%が湖内に残留し、富栄養化を促進している結果となった。

6) 児島湖の浄化対策として流域下水道整備総合計画が進められ、生活排水による負荷は低減される。しかし、窒素負荷量の50%を占める農地林野からの栄養塩類の流出は防止が困難であり、消極的方法として、施肥量の節減、土壌改良等による耕地の塩基置換容量の増大を行う必要があると考えられる。

7) 湖内底質は、COD、硫化物のいずれも水産環境底質基準値を上回り、強い還元性を示していた。しかし、諏訪湖の底質と比較すると、COD、T-N、T-P とともにやや低い値であった。

8) 水の華 (*Microcystis*) 殺藻処理試験の結果は、速度では  $\text{NaClO} > \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} > 2,3\text{-DNQ} > \text{ALG-7}$  の順であり、また濃度については  $2,3\text{-DNQ} > \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} > \text{NaClO} > \text{ALG-7}$  の順に効力が強かった。ALG-7 は効果の面で、また  $\text{NaClO}$  および  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  は動物に対する毒性の面で、それぞれ現地処理上に問題がある。したがって、この4種のうち 2,3-DNQ が殺藻効力、魚毒性いずれの面からも最も優れていると考えられる。しかし、湖沼への直接施用は、経費および藻類枯死体の分解による二次汚染が考えられるので、水の華処理には、先ず湖面より機械的除去を行った後、本剤等による後処理を行うのが得策と考えられる。

9) 水の華 (*Microcystis*) に対する凝集処理試験の結果は、使用した凝集剤のうち、無機、有機凝集剤とも単独では凝集効果は認められなかった。また、フロックの凝集促進剤としての珪藻土の添加も効果が認められず、かえって後処理として行った際の目的



まりを助長した。しかし、PACとPolymerの併用処理は、明らかに凝集効果を示し、固液分離とろ過処理を促進し、水の華処理に有効なことを認めた。

## 文 献

1. JIBP-PF 分科委員会. 1973. 日本陸水群集の生産力に関する研究 212—261.
2. 環境庁水質保全局. 1973. 広域水質汚濁総合調査における水質等試験方法(その1) 1—142.
3. 土壌養分測定法委員会. 1970. 土壌養分分析法 171—172, 225—232. 養賢堂. 東京.
4. 小林 純・森井ふじ・村本茂樹・中島 進・奥田節夫. 1971. 倉敷川、笹ヶ瀬川による児島湖への栄養塩供給量. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告 No. 4 53—59.
5. 科学技術庁資源調査所. 1971. 湖水および流水の富栄養化. OECD 水管理研究報告: 科学技術庁資源調査所資料 第15号 42—45.
6. Sakamoto, M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. Arch. Hydrobiol. 62: 1—28.
7. 岡山県. 1973. 児島湖流域下水道整備総合計画 52—62.
8. 長野県衛生公害研究所. 1975. 諏訪湖の富栄養化調査 31—109.
9. 滋賀県. 1974. びわ湖水質調査報告 1—9.
10. 小林 純・森井ふじ・村本茂樹. 1968. 児島湖の水質—1967. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告 No. 1 53—63.
11. 小林 純・森井ふじ・村本茂樹・中島 進. 1969. 児島湖の水質—1968. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告 No. 2 80—95.
12. 小林 純・森井ふじ・村本茂樹・中島 進. 1970. 児島湖の水質—1969. JIBP-PF 児島湖群集生産研究経過報告 No. 3 68—75.
13. 中四国農政局計画部. 1966. 児島湖流入水量調査成績.
14. 水産資源保護協会. 1974. 水産環境水質基準(付, 底質基準).
15. 中四国農政局. 1965—1974. 岡山県農林水産統計年報: 水産業の部.
16. 井上正直ほか. 1973. 岡山県内の淡水湖に発生した潰瘍形成病変魚の原因探究に関する研究. 岡山県衛生研究所報告 20: 1—17.
17. 岡山県水産試験場. 1975. 児島湾, 児島湖プランクトン調査報告書.
18. 津田松苗・森下郁子. 1974. 生物による水質調査法 84—93. 山海堂. 東京.
19. 岩井寿夫. 1962. 三重県立大学水産学部紀要 412—506.
20. 須藤隆一・森 忠洋・岡田光生. 1973. 藻類培養試験による富栄養化の評価. 用水と廃水 15(8): 114—115.
21. Maloney, T. E. and Palmer, C. M. 1956. Water & Sew. Works 509.
22. 小島貞男. 1973. プランクトン・コントロールの原理と実際. 用水と廃水 15(1): 70.
23. Palmer, C. M. 1956. Evaluation of new algicides for water supply purposes. J. Am. Water Works Assoc. 48: 1133—1137.