

宅地への転化が進んではいるが耕地はまだ多く、各種の野菜、マンジョカ、砂糖キビ等が作られている。

工業としては、植物油、レンガ、陶器、綿糸、家具、食品等の製造業があり、規模の大きな工場もあるので労働人口の70%前後は区内で吸収されている。しかし、油精製工場からは無処理の廃水がたれ流されており、レンガや陶器の原料となる粘土の採掘場は有力な土砂発生源となっている。

生活用水はSENASAの2本の井戸から供給されているが、下水道は未整備である。

3・2・4 ルケ

ルケは面積約203km²、市街地の主要部分は流域外にあるが、流域内にも拡大しつつある。人口は1982年のセンサスでは64,288人と報告されているが、アスンシオンに隣接している関係で増加率が高い。1972年と1982年の間の人口増加率は年平均4.7%であった。

農産物の主体は野菜作りであるが、牛乳、花もアスンシオンに向けて出荷されている。この区は金銀細工、楽器等の手工芸品の産地として知られている他、電子機械、家具金属等の工場がある。

アスンシオンに近いことから学校が多く、小学校が9、高等学校が7、女性の専門学校が5ある。

上水はCORPOSANAにより市街部の家の80%に供給されているが、下水道は50%しか普及していない。

3・2・5 サンロレンソ

サンロレンソは面積約40km²で、流域内にはごく一部が含まれるに過ぎないが、その大部分は市街地である。人口は1982年のセンサスによると74,552人であるが、現在は約120,000人と推定されている。

この区はアスンシオンと一体になって首都圏を形成し、住宅や工場・事業所が多いためゴミ処理が大きな問題となっている。流域内の地区には屠殺場や食品工場が多く、ジュクリ川の支流であるサンロレンソ川はこれらの工場からの汚水と都市ゴミで著しく汚れている。

生活用水はCORPOSANAの井戸に依っているが、需要を完全に満たしているとはいえず不足を訴えている地区もある。上水道のある家の約60%が下水道に接続しており、下水は3段のラグーンを備えた下水処理場に集められている。この下水処理場の処理人口は15,000人程度と推定される。

3・2・6 イパカライ

イパカライは面積約110km²、区全体が流域内にあり、ごく一部は湖に面している。人口は1982年のセンサスでは12,057人と報告されているが、現在は約15,000人と推定されている。国道2号線が区の中央を走っているが、アスンシオンからはやや距離があるためイタグアのように外部から移住してくる人は少ない。

区の大半は牧場で、食品・皮なめし・レンガ・植物油精製等の工場はあるものの、いずれも規模が小さい。したがって、労働人口の70~80%はアスンシオンへ流出してい

る。

また、ピラジュ川の低地に属する地域が広いため、これまで何度も洪水の被害を受けてきた。

SENASAの井戸がまだ無いために生活用水は各戸が個別に浅井戸から得ている。いっぽう、し尿も浸透槽で処理しているために、地下水の汚染が原因と考えられる下痢などの症状が子供にしばしば現れる。

3・2・7 サンベルナルディノ

サンベルナルディノは面積が約110km²、湖の東側に位置し、流域9区の中では最も長い湖岸線を持っている。個人の別荘のほかにホテルやクラブも多いリゾート地で、定住人口は約7,000人（1982年のセンサスでは6,591人）であるが、夏季には長期滞在客によりその3倍近くになる。

ここがリゾート地として発展したのは最近15年の間で、市街部の人口が1972年は17%であったものが1982年には34%に増大した。しかし、外部からの観光客が多いのは12月～2月の3ヶ月間に限られる。

観光レクリエーション施設以外にはインスタントコーヒー工場があり、50人以上の住民がここで職を得ている。

この区内の地下水は量が少ない上に塩分を含んでいるので生活用水としては不適當である。そこで湖水を生活用水に利用している。湖水は岸から約300m、水深2.5mの地点で取水され、湖畔にあるCORPOSANAの浄水場で凝集・ろ過・殺菌が行なわれている。最大処理能力は270m³/時間で、最高送水実績は約60,000m³/月であるが、需要が

増大しているので近いうちに処理施設が増設されることになっている。

下水道はこれまで整備されていなかったが、最近CORPOSANAは工事計画を発表した。しかし、この地区は硬い基盤岩が地表近くに分布するので工事は簡単ではない。また地下水面が浅いので、浸透槽等による汚水の土壌処理も十分な効果を発揮できない。

3・2・8 パラガリ

この区は面積が約270km²あるが、流域に含まれる部分はピラジュ川の最上流部に当るごく一部である。人口は1982年のセンサスによると13,644人であるが、雇用の場が少ないので減少傾向にある。とくに男性の人口と農村部の人口の減少が著しい。

産業は農業と牧畜業が主体で、工業としては綿糸、皮なめし、木炭、ラム酒、レンガ等を製造する小規模な工場があるのみである。

市街地にはCORPOSANAが水道水を供給しているが、農村部では生活用水は浅井戸もしくは泉から得ている。

3・2・9 ピラジュ

ピラジュは面積約140km²、区全体が流域内にあるが、湖には直接面していない。人口は1982年のセンサスによると11,905人であったが、現在は14,000～15,000人と推定されている。市内には雇用の場が少ないので若い人の多くはアスンシオンへ流出している。

区の大部分は牧場と林地から成り、市街地や耕地は少ない。各所でレンガの原料となる粘土を採掘している。また、レンガを製造する際の燃料として近くの山から盛んに

マキを切り出すため、ハゲ山も増えている。

ピラジュ川に西側から流入する支流は浸食が盛んで、ガリー状の谷が刻まれている。これらの河川は大雨の際にしばしば氾濫し、ピラジュの市街でも家や家畜が流されたことがある。

この区は良質のマンジョカを産するのでこれを原料としたデンプンを製造する小規模な工場が20前後ある。これらの工場は7～8月にのみ稼働するが、有機物濃度の高い廃液を出す。

この区は上水道、下水道とも未整備である。

3.3 社会・経済環境の流域別定量化

前節で示したように流域のさまざまな社会・経済指標は区を単位としてまとめられている。しかし、将来における湖水質を予測したり、対策の重点地区を決定するためには、汚濁の発生・排出量を算出する上で必要な人口、家畜頭数、地目別土地利用面積、工鉱業生産量、観光レクリエーション施設利用者等を流域別に算出する必要がある

3.3.1 人口

人口は1982年のセンサスの結果を基本とした。センサスの数字は都市と農村に分けて示されているので、1つの都市が流域の内と外にまたがっている場合には空中写真から流域内の家の数を数え、これに1戸当りの平均居住人数を掛けて流域内の都市人口とした。いっぽう、農村が流域の内と外にまたがる場合は、面積比に従って流域内の農村人口を算出した。計算結果は表-M3311に示したとおりである。

表-M3311 イバカライ湖流域の人口

流域名	人口	%	所属行政区
ピラジュ川流域	25,157	12.1	バラガリ,ピラジュ,イバカライ,ジャグアロン,イタ,イタグ,
東岸流域	6,065	2.9	サンバルカティ
西岸流域	13,664	6.6	イバカライ,アルグ,イタグ
ジュクリ川流域	162,440	78.4	アルグ,イタグ,カピタ,サンロンソ,フェルナンデ・テ・モラ ルケ
合計	207,326	100.0	12行政区

1982年のセンサスデータによる

3・3・2 家畜頭数

家畜頭数は1981年の農業センサスの結果を基本とした。センサスの数字は区ごとに家畜の種類別で示されているので、区が流域の内外にまたがっている場合には面積比に従って流域内の家畜頭数を算出した。計算結果は表-M3321に示したとおりである。

表-M3321 イバカライ湖流域の家畜頭数

流域名	牛	豚	馬	羊	山羊	ロバ	ラバ
ピラジュ川流域	25,404	3,711	1,209	1,234	101	49	64
東岸流域	2,040	434	60	65	1	2	--
西岸流域	5,064	1,744	205	54	50	24	5
ジュクリ川流域	28,561	8,722	1,343	408	310	98	56
合計	61,069	14,611	2,817	1,761	462	173	125

1981年のセンサスデータによる

3・3・3 地目別土地利用面積

流域の土地利用状況については、まず空中写真上で地目の判読を行い、その結果を地形図上に転写した。次に地形図上で流域内の各地目の面積をプランメータにより計測した。計測結果は表-M3331に示すとおりである。

表-M3331 イバカライ湖流域の地目別土地利用面積

流域名 \ 地目	森林	乾いた 草地	湿地 冠水地	牧場	耕地	池沼	市街地
ピラジュ川流域	64.82	0.79	13.11	176.52	78.51	1.81	18.14
東岸流域	19.75	0.15	0.98	20.54	21.71	0.29	11.78
西岸流域	13.00	1.60	1.05	21.33	13.49	0.09	9.64
ジュクリ川流域	20.10	1.21	16.40	83.77	126.80	--	95.62
合計	117.67	3.75	31.54	302.16	240.51	2.19	135.18
(%)	(14.1)	(0.4)	(3.8)	(36.3)	(28.7)	(0.3)	(16.2)

(注) 池・沼にはイバカライ湖は含まず

単位: km²

3.3.4 工鉱業生産量

行政当局による流域内の産業統計がないので、工鉱業生産量を数字で示すことはできない。個々の工場・事業所の位置と概要については第4章で示すので、ここでは植物油精製工場とと殺場の規模についての調査結果を示すにとどめる。

流域内で雇用人口が最も大きな植物油精製産業は4つの工場で製品を生産している。それぞれの概要は表-M3341に示すとおりで、3工場がジュクリ川流域に位置している。

表-M3341 植物油精製工場の概要

	C A P S A	Aceitera Itaugua	Matteucci Hnos.	L I N S A
所属行政区	カピアタ	イタグア	イタグア	イパカライ
操業開始年	1951	1955	?	?
従業員数	900~2,000	約 1,200	約100	40~160
製 品	食用油, 洗 剤, 精製綿	食用油, 精 製綿	食用油	食用油, 精 製綿
原 料	ココヤシ, 綿, 大豆	ココヤシ, 綿, 大豆	ココヤシ, 綿, 大豆	ココヤシ, 綿, 大豆
排水量 (m ³ /day)	2,450	1,880	300	350
所属流域	ジュクリ川	ジュクリ川	ジュクリ川	西岸

牛のと殺場は各区にほぼ1ヶ所ずつあり、それぞれの1日の処理頭数は表-M3342のようになっている。

表-M3342 と殺場の1日当りの平均処理頭数

	と殺頭数	所属流域
サンロレンソ	65	ジュクリ川
アレグア	10	ジュクリ川
イタグア	10	ジュクリ川
カピアタ	25	ジュクリ川
ピラジュ	5	ピラジュ川
イパカライ	5	ピラジュ川

3・3・5 観光レクリエーション施設の利用者数

ホテルその他の観光レクリエーション施設の利用者数についての統計はない。

流域内のホテルはサンベルナルディノに偏在している。1級及び2級のホテルが各1ありペンション等を加えるとベッド数は合計375となっている。宿泊施設としてはこの外に、サンロレンソに49、フェルナンド・デ・ラモラに26のベッドがある。サンベルナルディノの主要ホテル、クラブの規模は第4章で示す。

第4章 イパカライ湖流域における 汚濁物質の発生源と発生・排出状況

4・1 汚濁源の分類と分布

流域に分布する汚濁源は点源と面源に2分できる。点源とは建物や施設のように負荷の発生場所が特定できるもので、本流域ではこれを便宜上、生活系、観光事業系、公共施設系、産業系の4つに分類した。生活系には一般住宅、観光事業系にはホテル及びクラブ、公共施設系には下水処理場や病院、産業系には各種の工場・事業所がそれぞれ属する。面源とは面的な広がりを持つ汚濁源で、山林・原野、牧場、耕地、市街地、河道等に分類できる。

点源のうち生活系汚濁源の分布は表-M3311(前出)に示した人口分布に対応しジュクリ川流域に8割弱、ピラジュ川流域に1割強が分布している。生活系汚濁源以外の主要な点源の分布は図-M4101に示した。観光事業系汚濁源は東岸流域に集中しており、公共施設系汚濁源の国立病院と公共下水処理場はいずれもジュクリ川流域にある。産業系汚濁源の大部分は農畜産物加工業であり、排水量が大きな植物油精製工場は4つのうち3つがジュクリ川流域にある。また、その他の業種の工場事業所もジュクリ川流域に分布するものが多い。

いっぽう、面源の分布状況は図-M3202(前出)の土地利用図に見るとおりである。流域別の地目構成状況を図-M4102に示した。

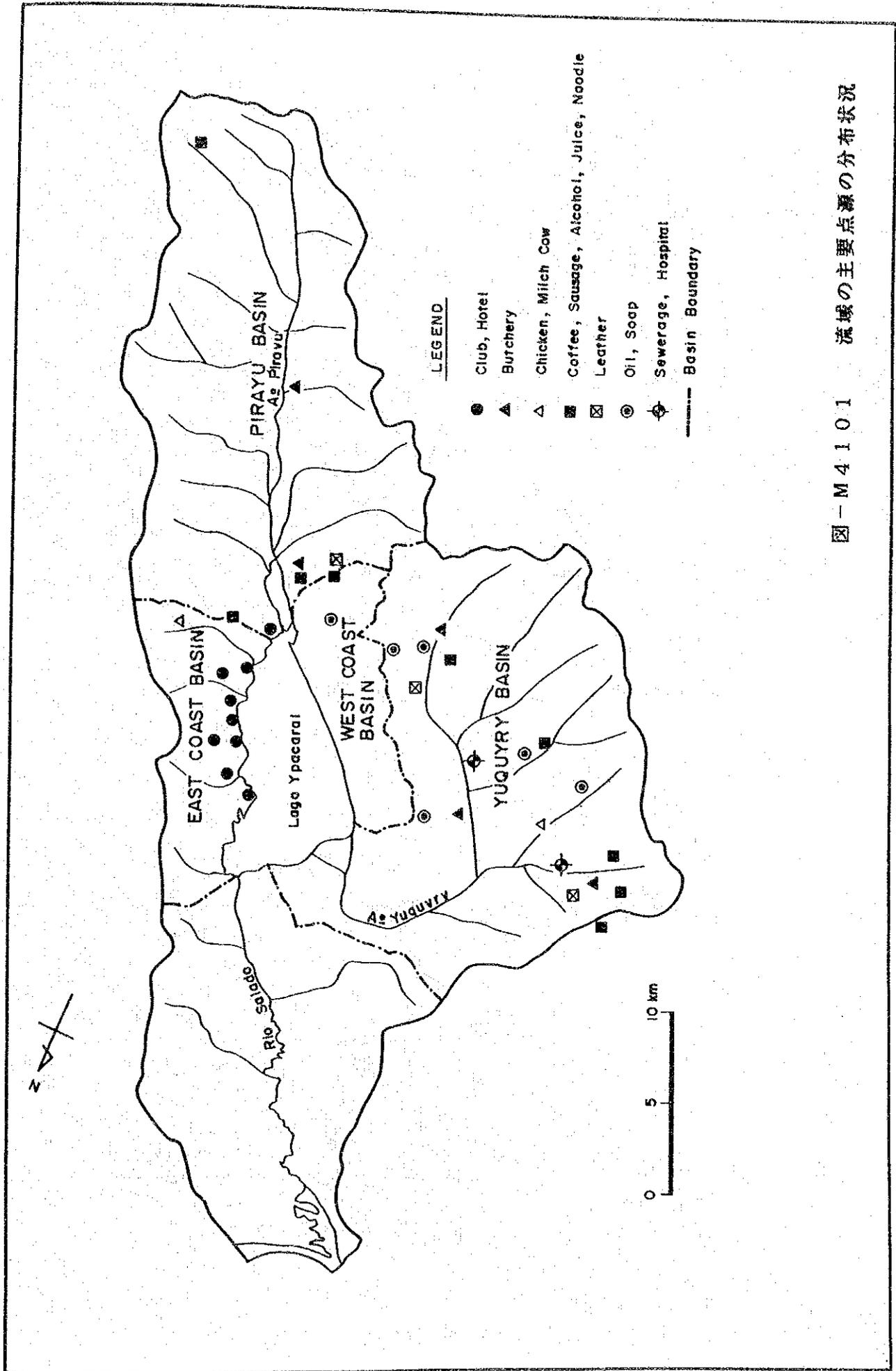


図-M4101 流域の主要点源の分布状況

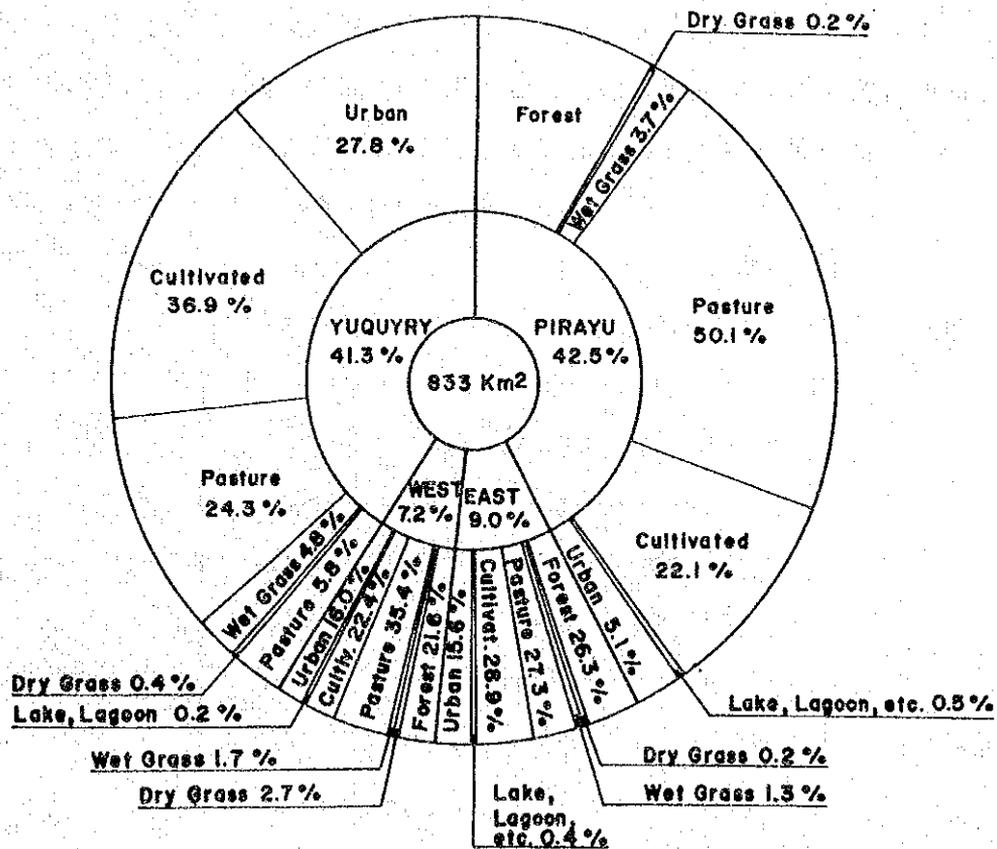
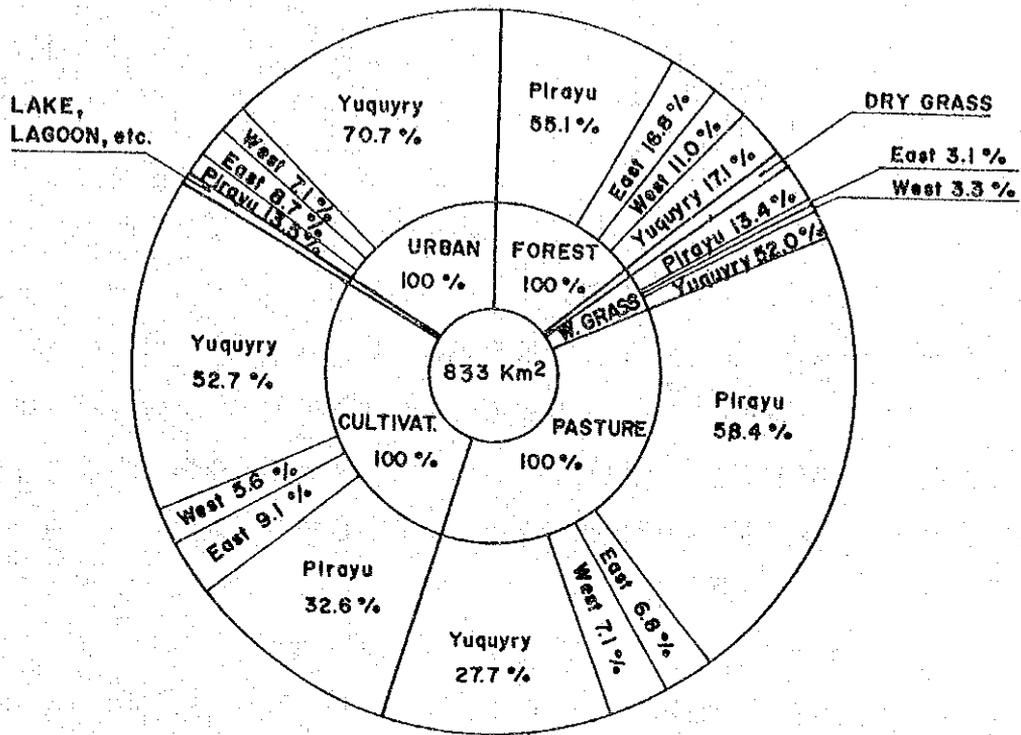


図-M4102 流域別・地目別に見た土地利用面積

4・2 汚濁物質の発生・排出状況

4・2・1 生活系

生活系排水は、サンロレンソとルケの一部で下水処理されているほかは、大部分が浸透槽により処理されている。この浸透槽は直径が1 m前後、深さが2～6 mで、し尿だけを処理している家庭と雑排水も同時に処理している家庭がある。国民が肉を主食としているためにし尿中に油分が多く、それが浸透槽の内壁に付着し、目詰まりを起こす。このため浸透槽の平均寿命は4～5年で、処理能力が低下すると別な場所に新しいものを設置する。

生活系排水はし尿と雑排水に分けられ、し尿の水質は栄養摂取状況により、雑排水の水質は主として洗濯用の有リン洗剤使用状況により異なってくる。栄養摂取状況はパラグアイと日本で大きな違いはないので、し尿の1人当り発生負荷量は日本で使用されている数値を使用した。また、パラグアイでは有リン洗剤をほとんど使用していないので雑排水の発生負荷原単位は日本で使用されている数値より低い値を使用し（表-M 4 2 1 1）、これにCORPOSANAの水道給水実績から求めた水使用量（130～150ℓ/人/日）を掛けて1人当りの発生負荷量とした。

表-M 4 2 1 1 生活排水の発生負荷原単位

水質項目	し尿	雑排水	合計
BOD ₅	13	22	35
COD	--	--	70
TN	9	2	11
TP	0.57	0.38	0.95

単位：g/人/日

浸透槽に入った生活系排水の負荷が土壌中を通過して河川に流出する割合はアレグア近くの小河川の水質の実測値からCODで12.7%、TNで2.1%、TPで2.9%とした

4・2・2 観光事業系

観光事業系汚濁源の主なものはホテル・クラブで、これらは現在のところサンベルナルディノに集中している。これらの施設は大部分貯留槽及び腐敗槽を備えているが、保守管理が適切になされていないものが多く、必ずしも有効に機能していない。

この系の一人当たり発生負荷量（し尿と雑排水を合わせたもの）は、ホテルの場合、宿泊客が主体と考えて生活系と同じとし、クラブの場合は日帰り客が主体と考えて生活系の1/3とした。

また、処理施設が十分機能していないという実情を考慮して、発生負荷量の1/2が水路・河川・湖に直接排出されるものとした。

4・2・3 公共施設系

流域内で発生・排出負荷が大きいと見られる公共施設はサンロレンソの下水処理場とカピアタの国立病院の2つのみである（イタグアに建設中の病院が1つある）。

サンロレンソの下水処理場は3段のラグーン（第1段が嫌気性、第2・3段が好気性平均滞留時間は約15日）を有し、現在は運転されているが、調査期間中は休止しており、約1,900m³/日の下水が直接ジュクリ川に流入していた。この量はサンロレンソの水使用量を考慮すると、約15,000人分に相当する。

サンロレンソの下水処理場からの排出負荷量は上記実測流量に日本の平均的な下水処理場流入水の濃度を掛けて算出した。

国立病院 (Hospital del Quemado) は1986年に設立されたもので、従業員 350人、ベッド数 200床で、通常70%程度がふさがっている。

ここから発生する負荷は基本的には生活系と同質であるが、腐敗槽と砂ろ過による処理を行っているので、ホテル・クラブと同様、発生負荷量の1/2が水路に排出されるものとした。

4・2・4 産業系

パラグアイの経済を支えている産業は農業・牧畜業・林業とその加工業であることは第2章で述べた通りであるが、このことを反映して流域に分布する主要な工場も農畜産物加工業が主体となっている。

農産物加工業として流域内でもっとも大規模に行われているのはパラグアイココヤシ・大豆・綿を原料とした植物油の精製である。流域内には4つの油精製工場があり、その概要は表-M3341(前出)に示したとおりである。排水量が最大のCAPSAには1979年に設置された高濃度排水を対象とした化学処理プラント(処理能力 5 m³/時)があり、1988年2月までは稼働していたが、現在は休止している。Aceitera Itaguaにも化学処理プラントはあるが稼働していないようである。他の2工場には排水処理施設がない。

この4つの油精製工場からの排出負荷量は、1988年7月に測定したCAPSAの排水の汚濁濃度(表-M4241)に各工場の排水量を掛けて求めた。ただし、油精製工場の排水は日時により水質がかなり変化するので、排出負荷量を正確に求めるためには実

測回数を増やす必要がある。

表-M4241 植物油精製工場からの排水の汚濁濃度

COD	TN	TP
1.940	51.0	11.65

単位：mg/l

と殺場はパラグアイにおいては半公共的施設で、流域内の各都市にほぼ1ヶ所ずつ配置されている。と殺場からは主として牛の解体に伴う洗浄水や血液が排出され、大部分の処理場ではこれを無処理で近くの川へ放流している。

アンケート結果から得られた各と殺場の処理頭数（表-M3342、前出）と既往文献にある牛1頭当りの排出負荷原単位（表-M4242）から排出負荷量を算出した。

表-M4242 牛1頭の処理に伴う発生負荷原単位

COD	TN	TP
8.0	0.6	0.1

単位：kg/頭

牛1頭の平均体重は370kgとする

流域内には以上の他に、皮なめし工場、ソーセージ製造工場、石鹼工場、ミルク工場、コーヒー工場等の汚濁源が存在する。これらの工場の発生負荷原単位は立入調査、流量の実測、既往文献にもとづいて設定した。

また、養鶏場、アルコール工場、デンプン工場等もあるが、いずれも小規模または季節操業であるので、汚濁源としての重要度は小さいものと考え、排出負荷量はとくに算出しなかった。

4・2・5 点源発生負荷量の内訳

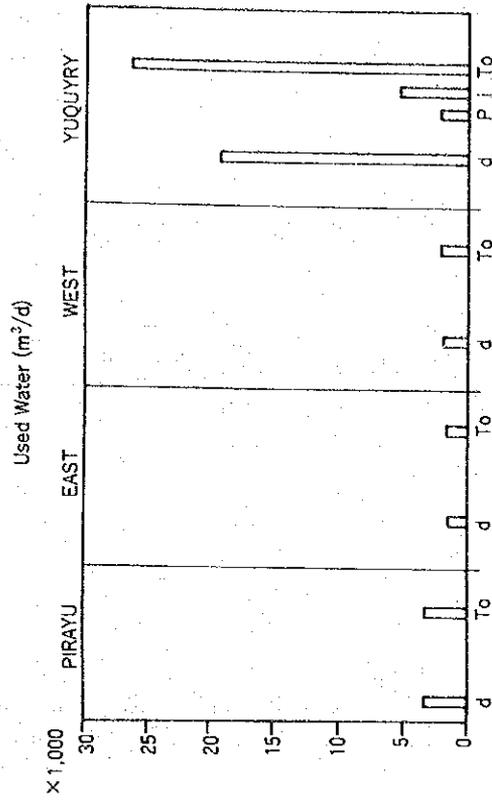
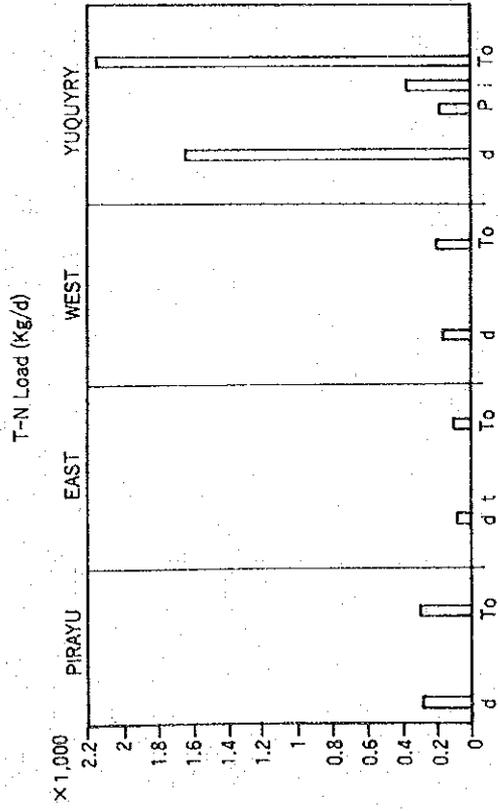
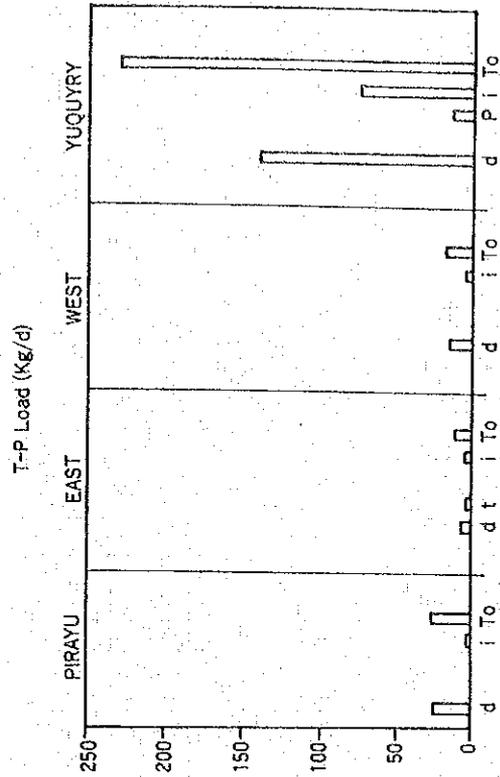
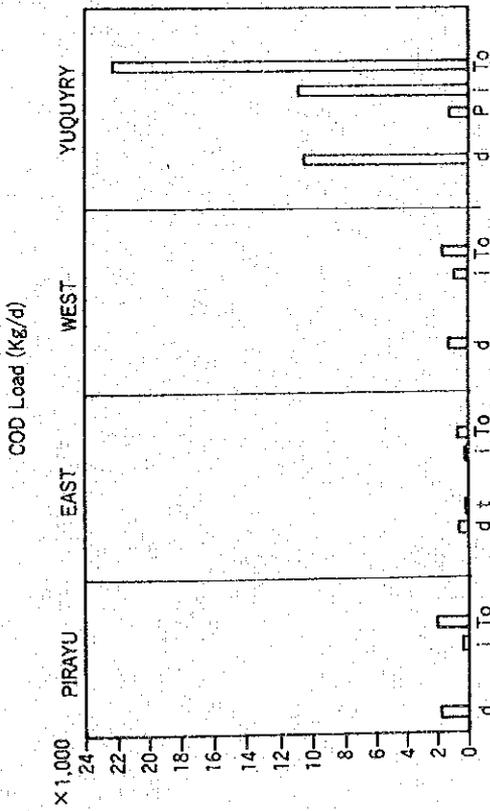
前節で述べたような方法で各系のポイント・ソースから発生する負荷量を求め、これを流域別に集計すると図-M4251のようになる。ジュクリ川流域の比率が圧倒的に高く、どの項目でも発生負荷量の約8割を占めている。

事業系統別に発生負荷量を集計すると、どの項目でも生活系の比率が高く、CODの約5割、TNの約8割、TPの6～7割を占めている。また、産業系の中では植物油精製工場の占める比率が圧倒的に高く（CODの8～9割、TNの6～7割、TPの約7割）、次いでと殺場で発生する負荷が多い。

4・2・6 面源

面源からの汚濁流出は一般に土地利用形態の差異により様相が異なってくる。イパカライ湖流域の場合は牧草地・畑・森林・市街地及び道路に分けてそれぞれの汚濁物質の発生・排出状況を把握する必要がある。そして、面源では汚濁物質は通常、晴天時には蓄積され降雨時に排出されるので、排出負荷量を求めるには土地利用が単純な流域で降雨時の河川水質を何度か測定しなければならない。本調査では雨量が10mmの時に1度実測を行っただけであるので、この値と既往文献の値を参考に暫定的な排出負荷原単位を設定した。

面源から発生する汚濁物質で土砂の形態を取るものは、樹木の伐採された山地、宅地開発で植被がはがされた丘陵、護岸工がないために側方浸食が著しい河川、粘土や石材の採掘場（図-M4261）、未舗装の道路などを主な源として発生する。このうち発生量が多いのは地形や現地の状況から見てピラジュ川左岸に流入する支流の山地及び河岸と推定される。



d : Domestic
t : Hotel & Club
i : Industry
p : Public
To : Total

図 - M 4 2 5 1 流域別に見た点源発生負荷量

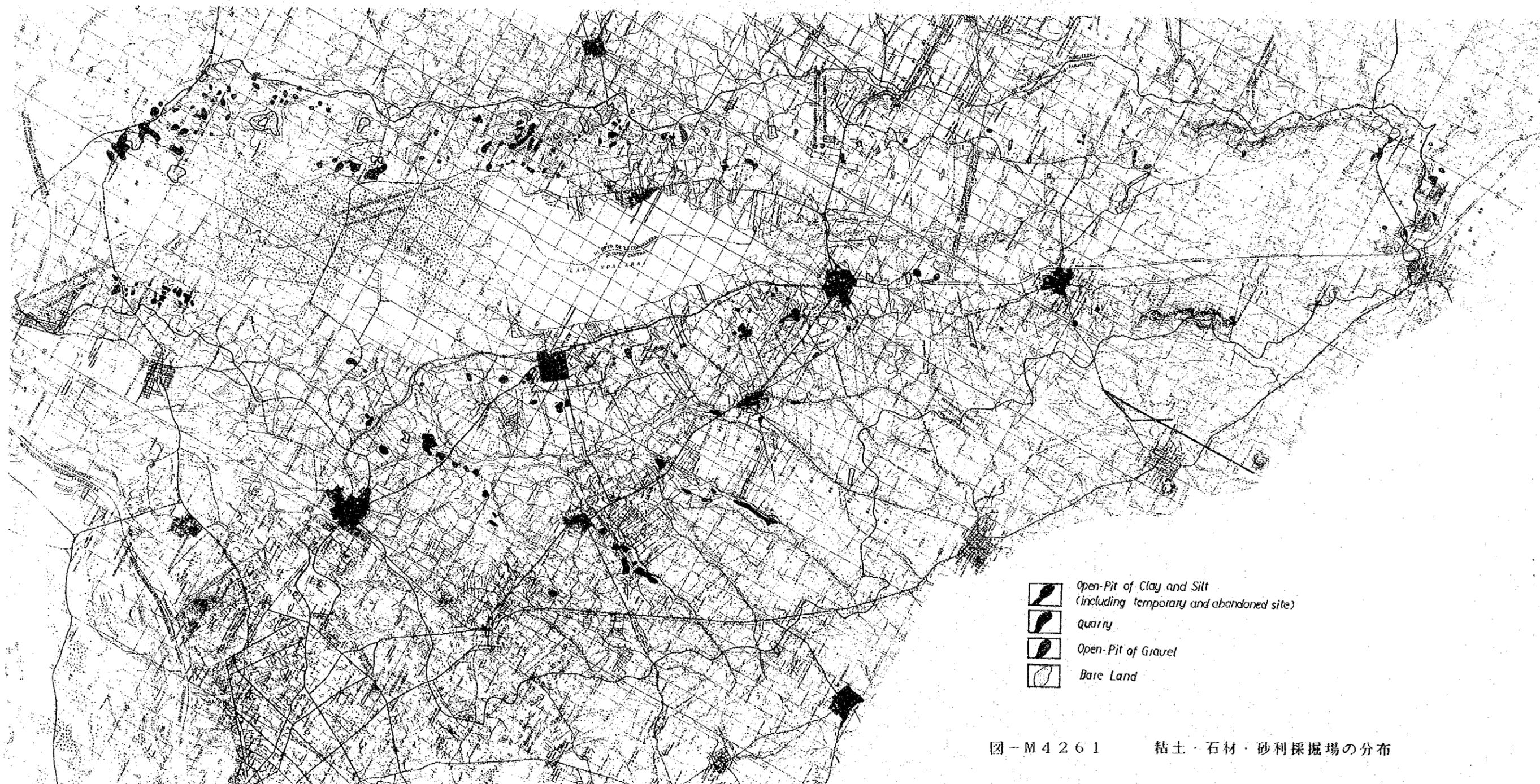


図-M4261 粘土・石材・砂利採掘場の分布

4・3 流域からの汚濁物質の流出状況

4・3・1 平水時の流出状況

ジュクリ川、ピラジュ川の各支流、東岸流域及び西岸流域の小河川の晴天時水質調査の結果から平水時の汚濁物質の流出状況を解析した。水質測定点と主要点源の位置関係河川の流量と流送負荷量は図-M4311～M4314に示す。

ピラジュ川流域ではどの水質項目も流下方向で負荷量のバランスが取れており、特別に排出負荷量の多い汚濁源がないことが分かる。同川流域の工場・事業所はいずれも規模が小さいか季節操業であるから、平水時の河川流送負荷の大半は面源に由来していると考えられる。

いっぽう、ジュクリ川流域では流下方向の水質の変化が大きく、排出負荷量の大きな点源の存在が大きく影響していることが推察される。

4・3・2 洪水時の流出状況

面源からの負荷は一般に洪水時に大部分が排出されるといわれているし、家庭や工場でも洪水時をねらって溜めていた汚水を排出するケースが多い。したがって、洪水時の河川の流送負荷量を測定することは湖水への流入負荷量を見積もるうえで極めて重要である。

そこで、本調査では1988年10月31日～11月2日と1989年1月21日～1月24日の2回、洪水時の河川水質調査を実施した。前者の時の降雨量はサンロレンソで70.5mm、アレグアで115.5mm、後者の時の降雨量はパラガリで167mm、イパカライで97mm、ピラジュで99.5mmであった。この時のジュクリ川とピラジュ川の流量及び水質の変化を図-M4321、M4322に示す。

流量が最大となるのはジュクリ川では降雨の12~24時間後であるのに対しピラジュ川では36~60時間後である。ジュクリ川の流出時間が短いのは同川流域の市街地の比率が高いためと考えられる。洪水時の流速はどの河川でも最大 0.7m/s で平水時とそれほど変わらないので、流量の増大は水位の上昇に大きく依存している。

ジュクリ川では流量が最大となる時にどの水質項目も濃度が高くなっているが、平水時の濃度の1.5~2倍程度である。これに対してピラジュ川では流量が最大になる前に濃度が最高になる水質項目が多く、平水時の濃度の数倍になる。したがって、洪水時の単位時間当りの流送負荷量は両河川の間でそれほど差がないという結果になる。これは、ピラジュ川では洪水時においては面源から排出される負荷量の比率が高いことを示唆している。

PIRAYU B.

YUQUYRY B.

△ Servey Point at River

Q(m³/s) 流量
L(kg/d) COD

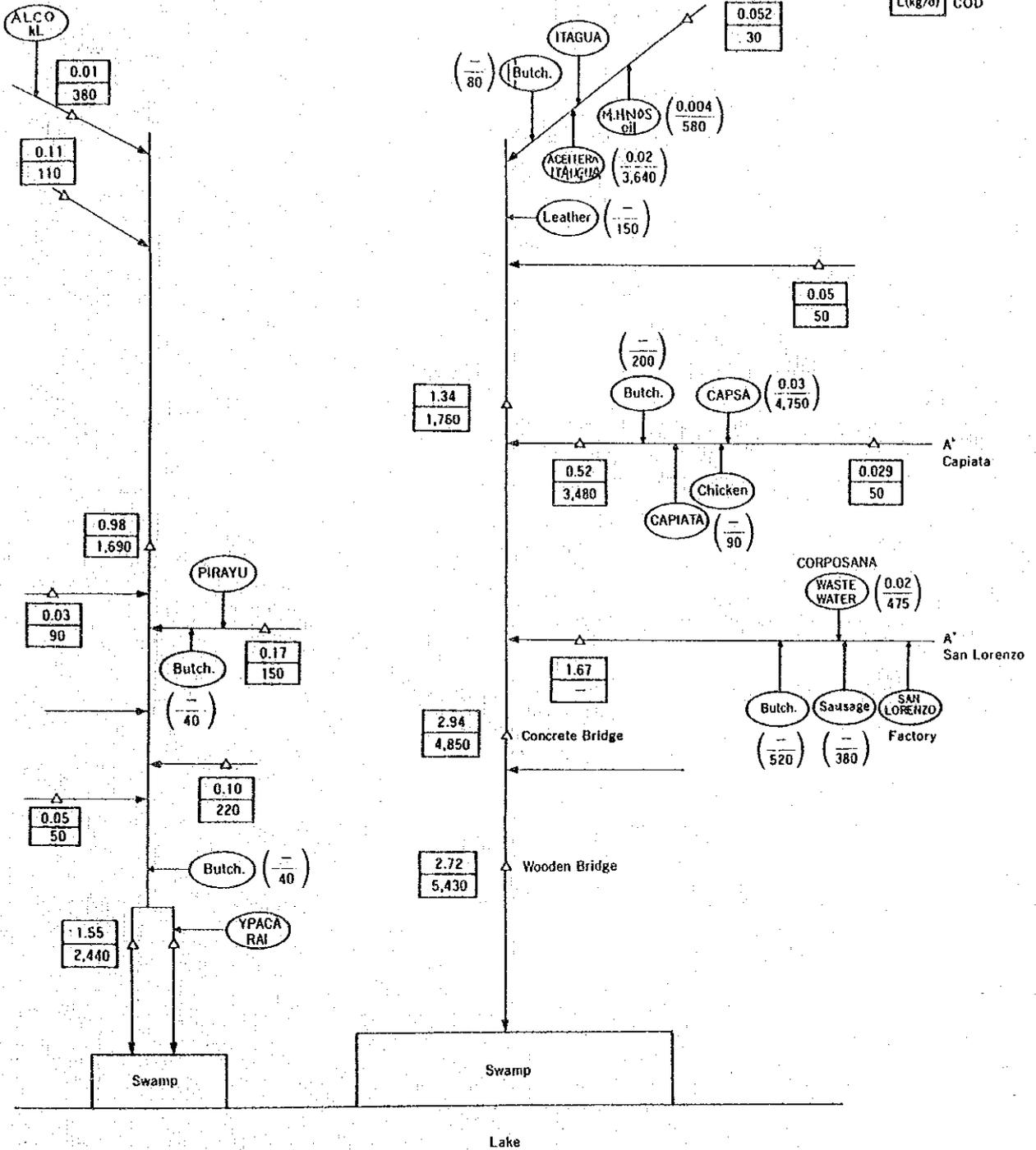


図-M4311 平水時の有機物(COD)の排出・流入状況

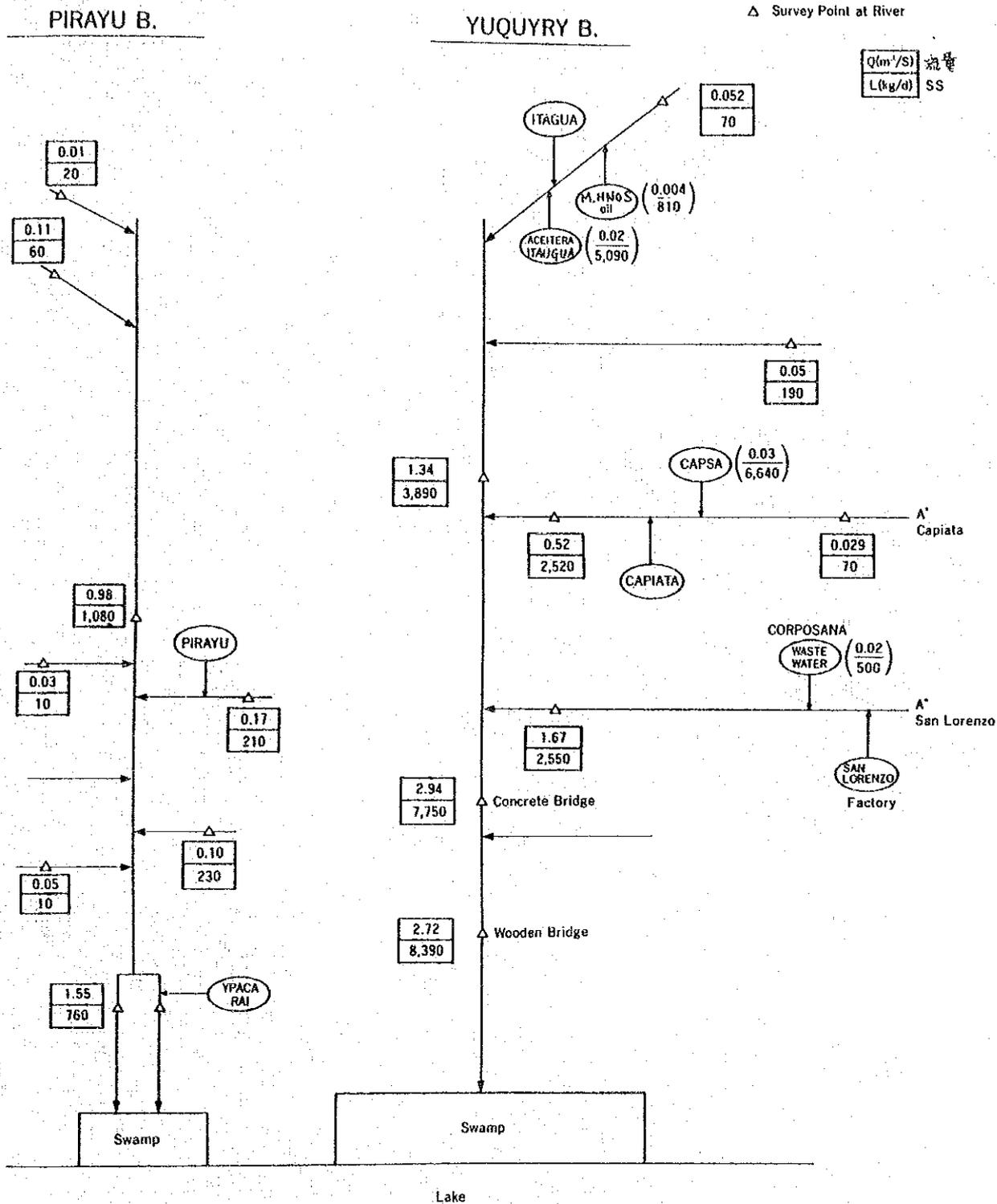


図 - M 4 3 1 2 平水時の粒状懸物質 (SS) の排出・流入状況

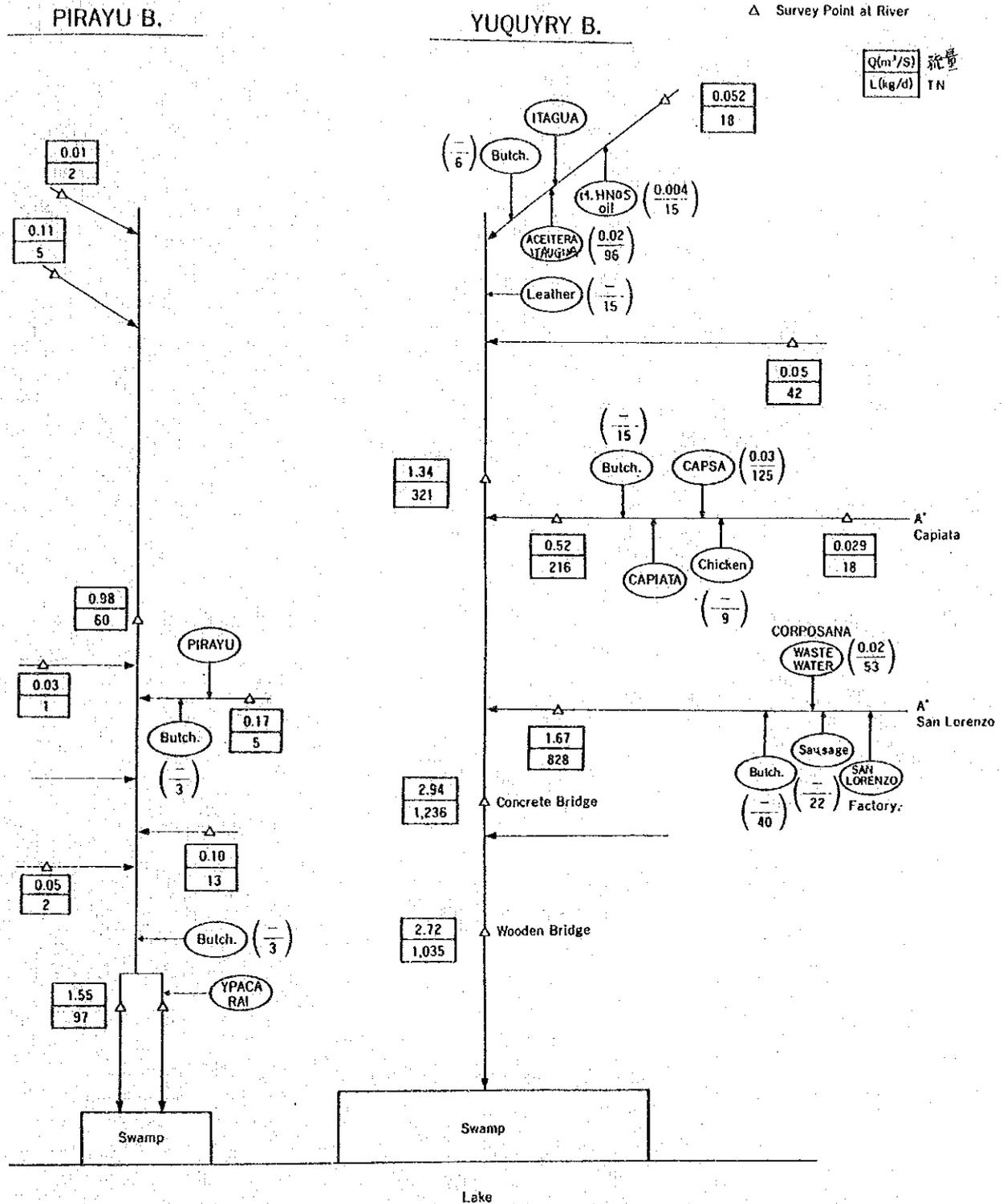


図-M4313 平水時の栄養塩(TN)の排出・流入状況

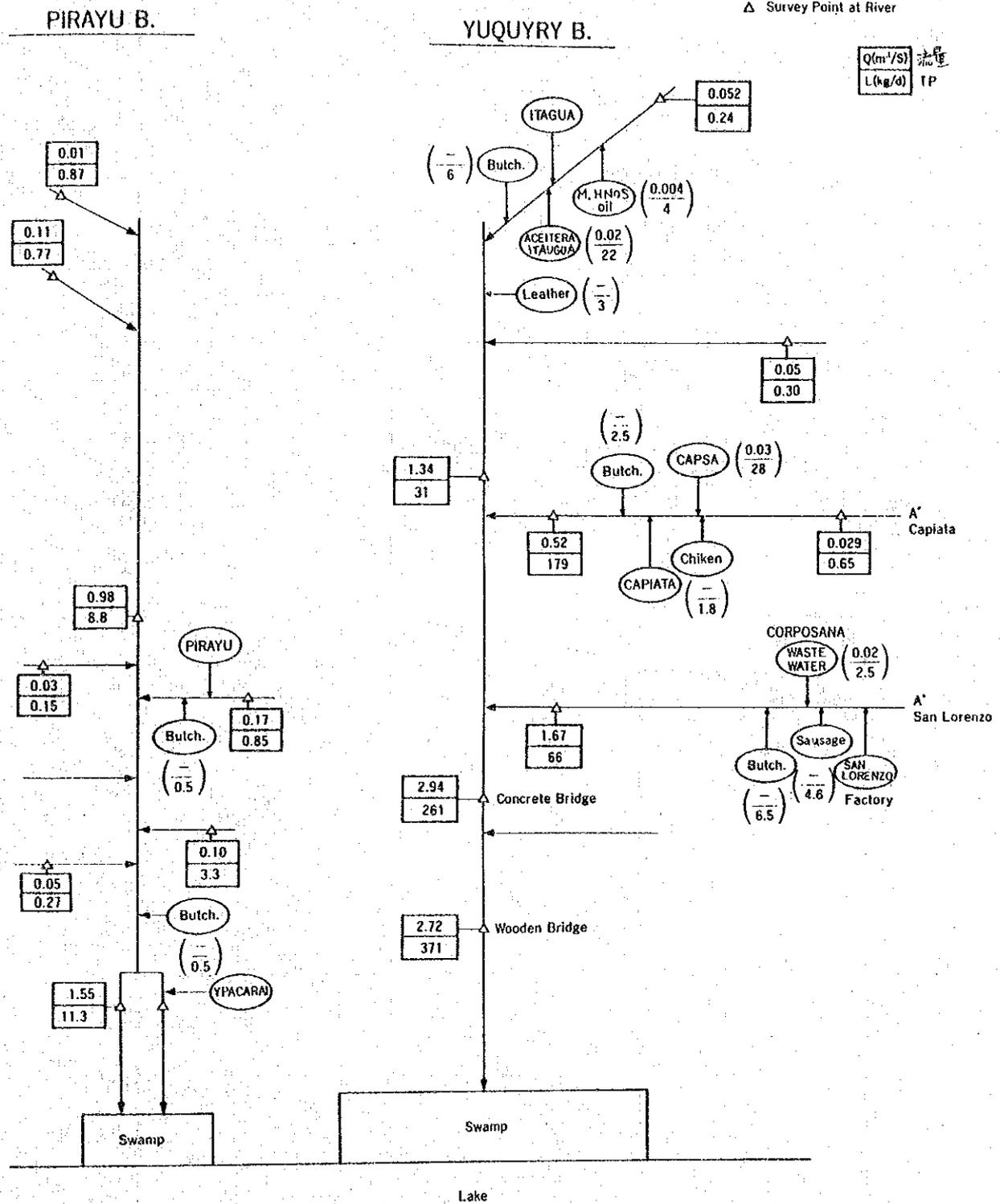


図-M4314 平水時の栄養塩 (TP) の排出・流入状況

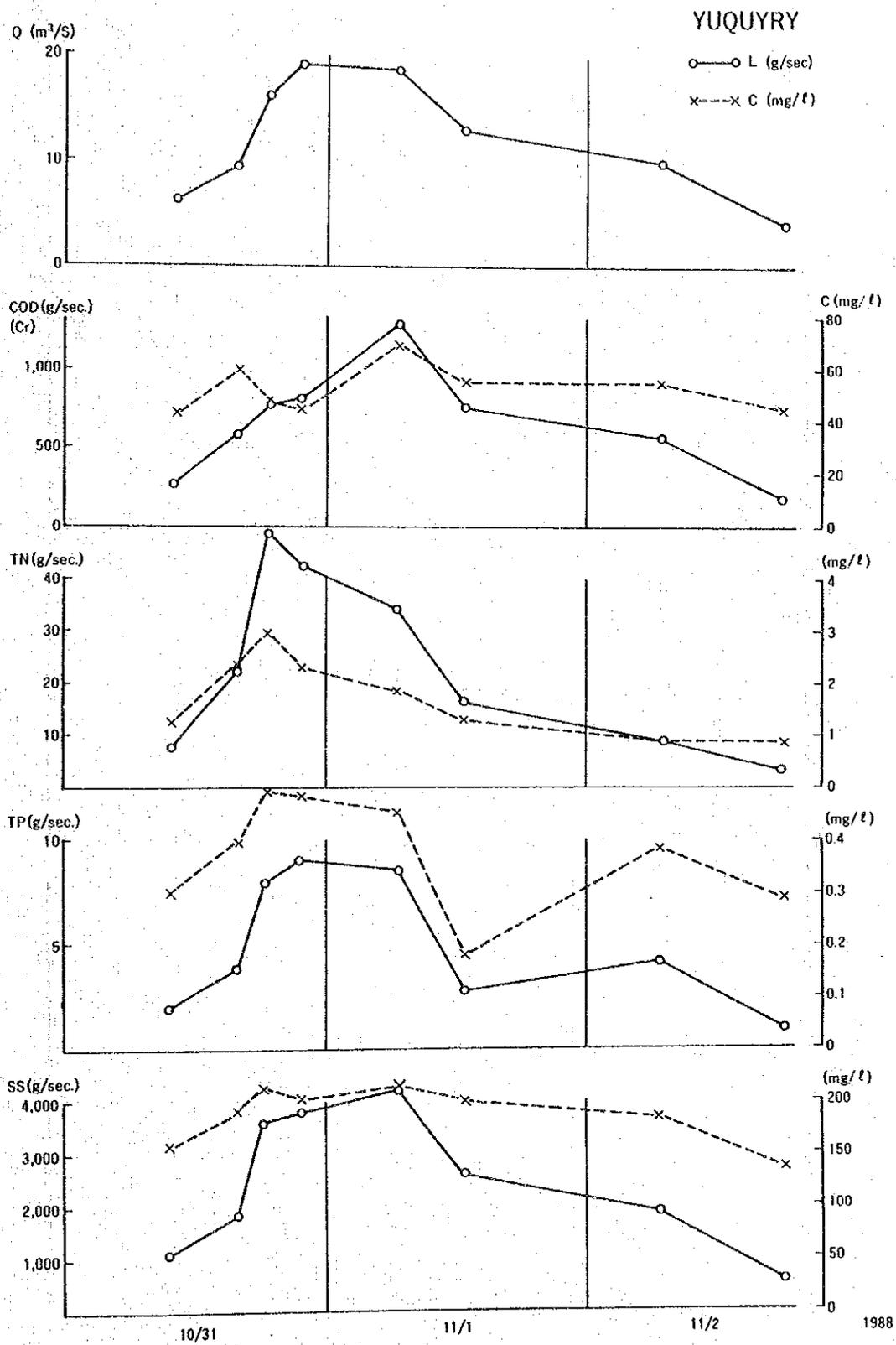


図 - M 4 3 2 1 洪水時のジュクリ川の水質及び流送負荷量

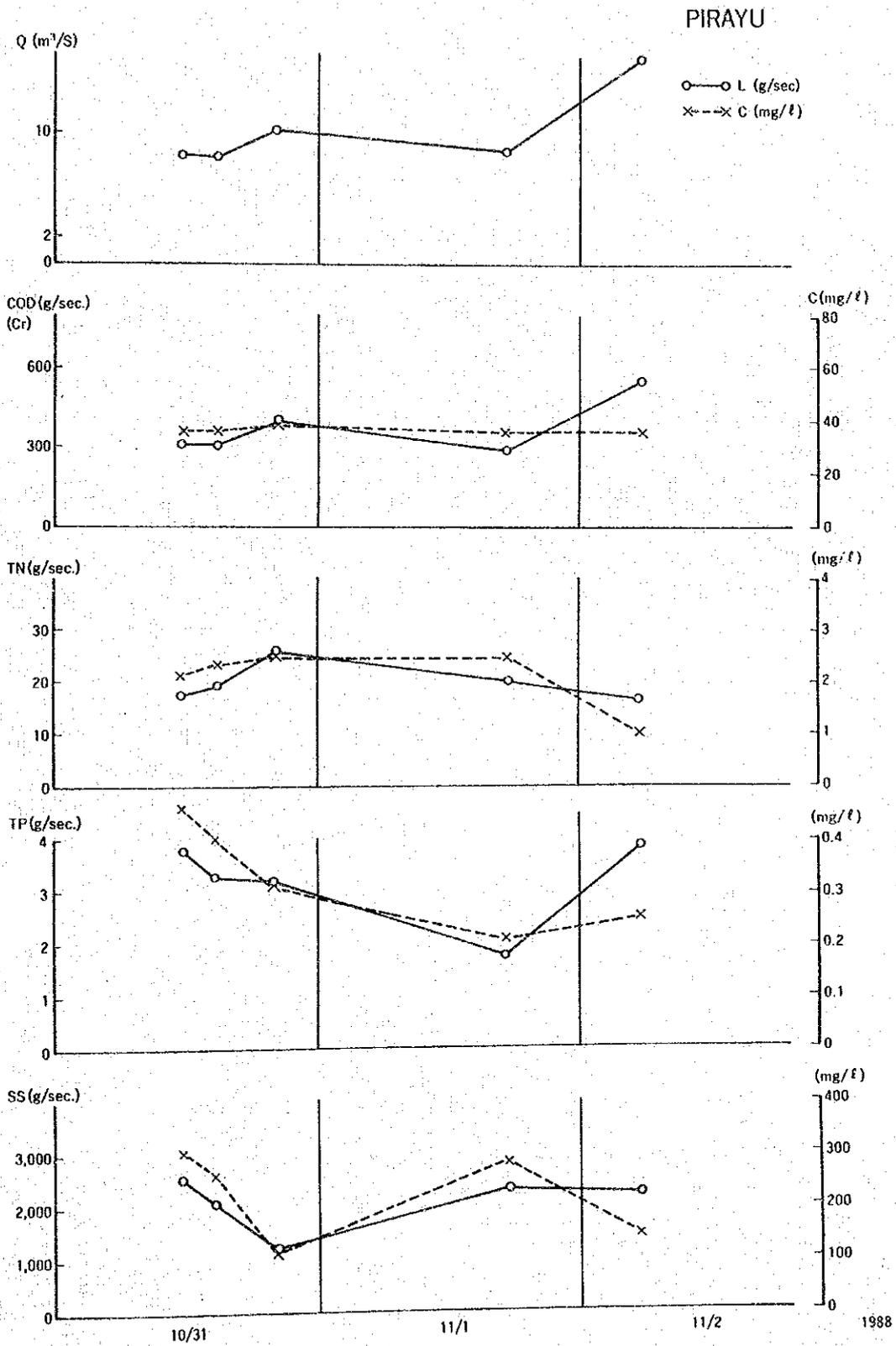


図-M 4 3 2 2 洪水時のピラジュ川の水質及び流送負荷量

第5章 主要河川及び湖の汚濁状況

5・1 水質・底質試料採取日の気象・水文条件

河川の水質が平水時と洪水時で異なることは前章ですでに述べた。このような気象・水文条件の他に、河川の水質は流域の工場の操業状況によっても変化するが、この点については本調査では十分把握できなかった。

いっぽう、湖の水質は、流入河川の流量・水質の他に、水温・日射量・風などの気象要因に規制される内部生産・底泥の舞い上がり・底泥からの汚濁物質の溶出などの程度によっても大きく変化する。

したがって、水質・底質分析用の試料を採取した日の気象・水文条件は分析結果を検討するうえで極めて重要である。

5・2 主要河川の水質

主要3河川（ジュクリ川、イプク川、ヤグアレサウ川）について下流の水位計設置地点で月に1～3回の物理条件の測定と試料の採取を行ない採取した試料は実験室で分析した。

物理条件の測定は、透視度、水温、DO、pH、EC、水色、流速の7項目について水質分析はTP、POP、DOP、PO₄P、TNK、PON、DON、NH₄N、NO₃N、TCOD、DCOD、BOD、TR、IL_{TR}、SS、IL_{SS}、Cl⁻、アルカリ度糞便性大腸菌群数の19項目（ただし、毎回全項目を分析したわけではない）についておこなった。

上記項目のうち、DO、TCOD、TP、TN、SS、Cl⁻の6項目の経時変化を主要3河川および湖について図-M5101～5106に示した。

5・2・1 ジュクリ川

ジュクリ川の水は常に茶色で濁っており、流量が多い時には赤褐色に変わる。

この川ではDOの飽和度が平均48%と極めて低く、有機物の流入が多いことを示唆している。事実、TCOD濃度は平均で32mg/lと高く、流量が多い時にはその1.5倍程度になる。しかし、BOD濃度は年間を通して低いので、有機物の主体は分解のおそいものと考えられる。

TP濃度は季節や降雨と無関係に大きく変化し（0.2～1.1mg/l）、有機分と無機分がほぼ半々になっている。いっぽう、TN濃度は夏から冬にかけては2～2.5 mg/lで安定しているが、春から夏にかけて大きく変動し、3 mg/lを越えることが多い。無機態窒素の大部分はNH₄Nである。

SS濃度は平水時でも変動が大きいですが、有機分と無機分はほぼ半々で見られる。またTRに対するSSの割合は低く、コールターカウンターによる測定結果でも粒径が1 μ m以下のものが7割前後を占めることから平水時の濁りの大半は溶解性物質であると判断される。

Cl⁻濃度は変動が大きいですが、50~80mg/lの 때가多く、人為的な汚染が相当に大きいことを示している。ちなみにECの値も極めて大きく、糞便性大腸菌群数も1,000~数万MPN/100mlという大きな値を示す。

5.2.2 ヤグアレサウ川

ヤグアレサウ川は年間を通して透明度が高い。

DOの飽和度は平均93%あり、有機物の流入量は河川の自浄力の範囲内にある。TCODは2~40mg/lの間で変動するが、BOD濃度は低く、有機物は分解のおそいものが主体であると考えられる。

TP濃度は降雨後には増加するが、平水時は0.09mg/l前後で安定している。TPの約2/3が有機態、約1/3が無機態である。いっぽう、TNは変動が大きく、とくに降雨後は高くなる。TNの約半分はDONである。

SS濃度は降雨後を除けば低く、TRの10~20%程度である。

Cl⁻濃度は極めて低く、糞便性大腸菌群数も少ないので人為的な汚染の程度は低いといえる。

5・2・3 イブク川

この川は透明度があまり高くはないが、冬季にはいくらか改善される。

DO濃度は49～98%の範囲で変動する。TCODは5～40mg/lの間で変動し、降雨後はやや高くなる。DCOD/TCODの比が大きくBOD/TCODの比が小さいので、有機物の大部分は分解のおそい溶解性の物質であると考えられる。

TPは平水時には0.10～0.27mg/lの範囲で、その約45%は無機態である。TPは降雨後は増大し、TOPの比率が高くなる。いっぽう、TNは通常は1～2mg/lでその75%程度は有機態である。

SS濃度は変動が大きいですが、降雨により著しく高くなるということはない。SSはTRの20%程度であるから濁りは溶解性物質によるところが大きいと考えられる。

Cl⁻濃度は流量や他の水質項目とは無関係に大きく変動する。糞便性大腸菌群数は9月には6,000MPN/100mlを越えた。

5・2・4 河川による水質の差異とその原因

上述の主要河川の水質を比較すると、有機物、栄養塩類、イオン化した物質、糞便性大腸菌等の濃度はジュクリ川が最も高くヤグアレサウ川が最も低い。これはジュクリ川の人為的な汚染が進んでいることを示しており、流域に人口の約8割が分布し、主要な工場・事業所の数も多いことを反映していると言える。また、ヤグアレサウ川及びイブク川の洪水時と平水時の汚濁物質濃度の比がジュクリ川のそれより大きいことは前者が流送する汚濁物質中に占める面源起源の汚濁物質の比率が高いことを示している。

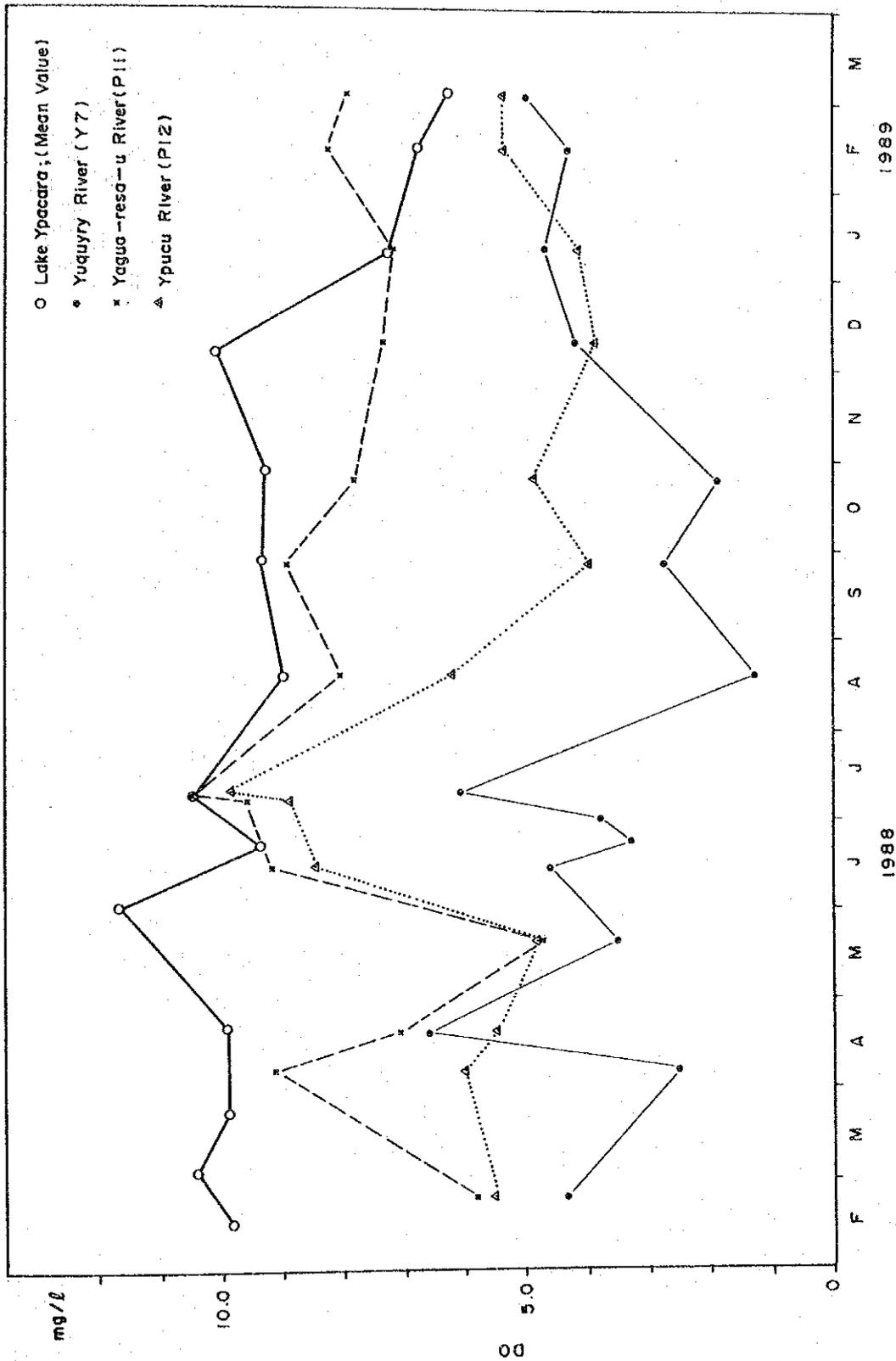
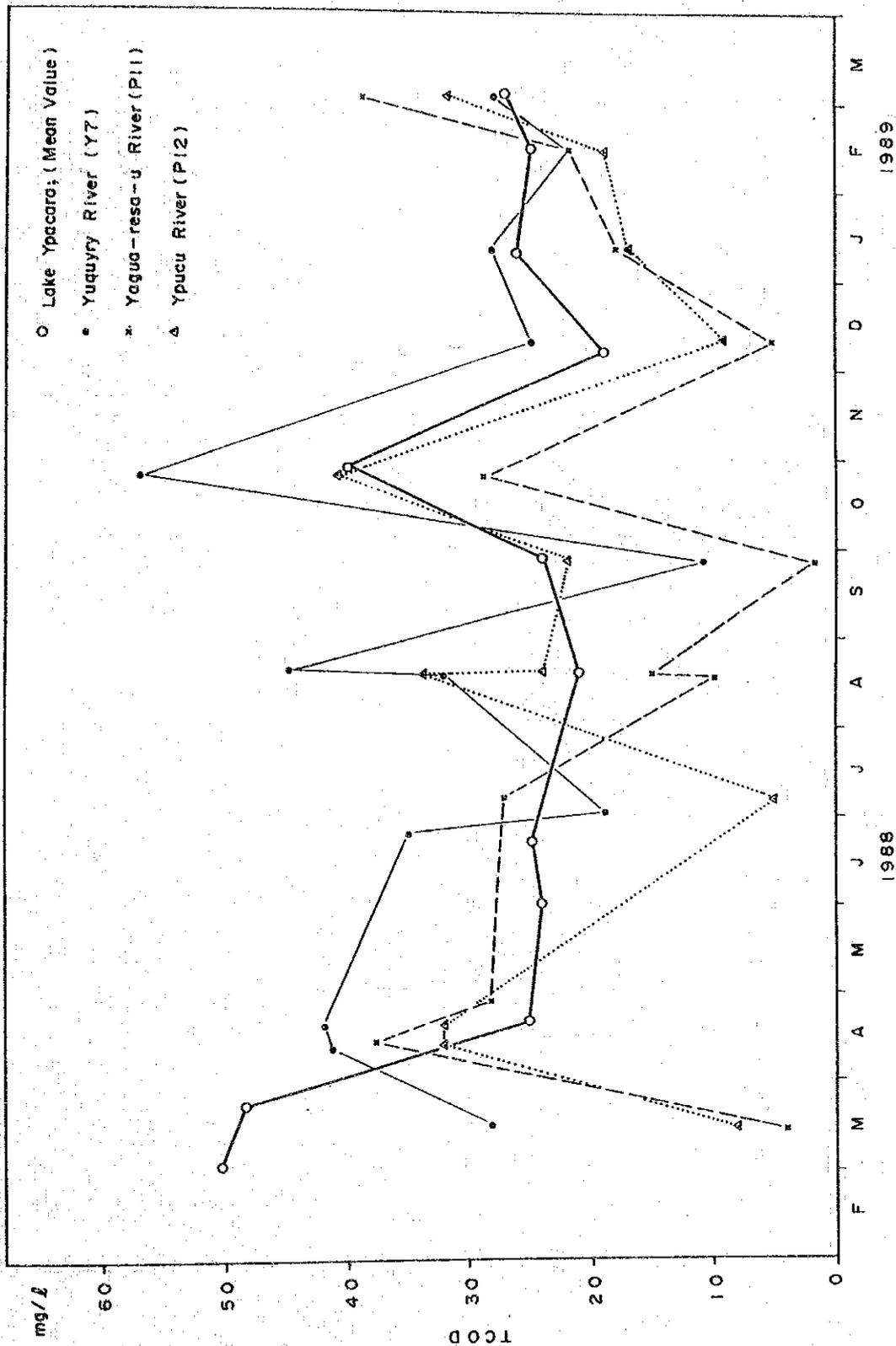


図-M5101 調査期間中の湖及び河川の水質変化(DO)



図一M5102 調査期間中の湖及び河川の水質変化 (TCOD)

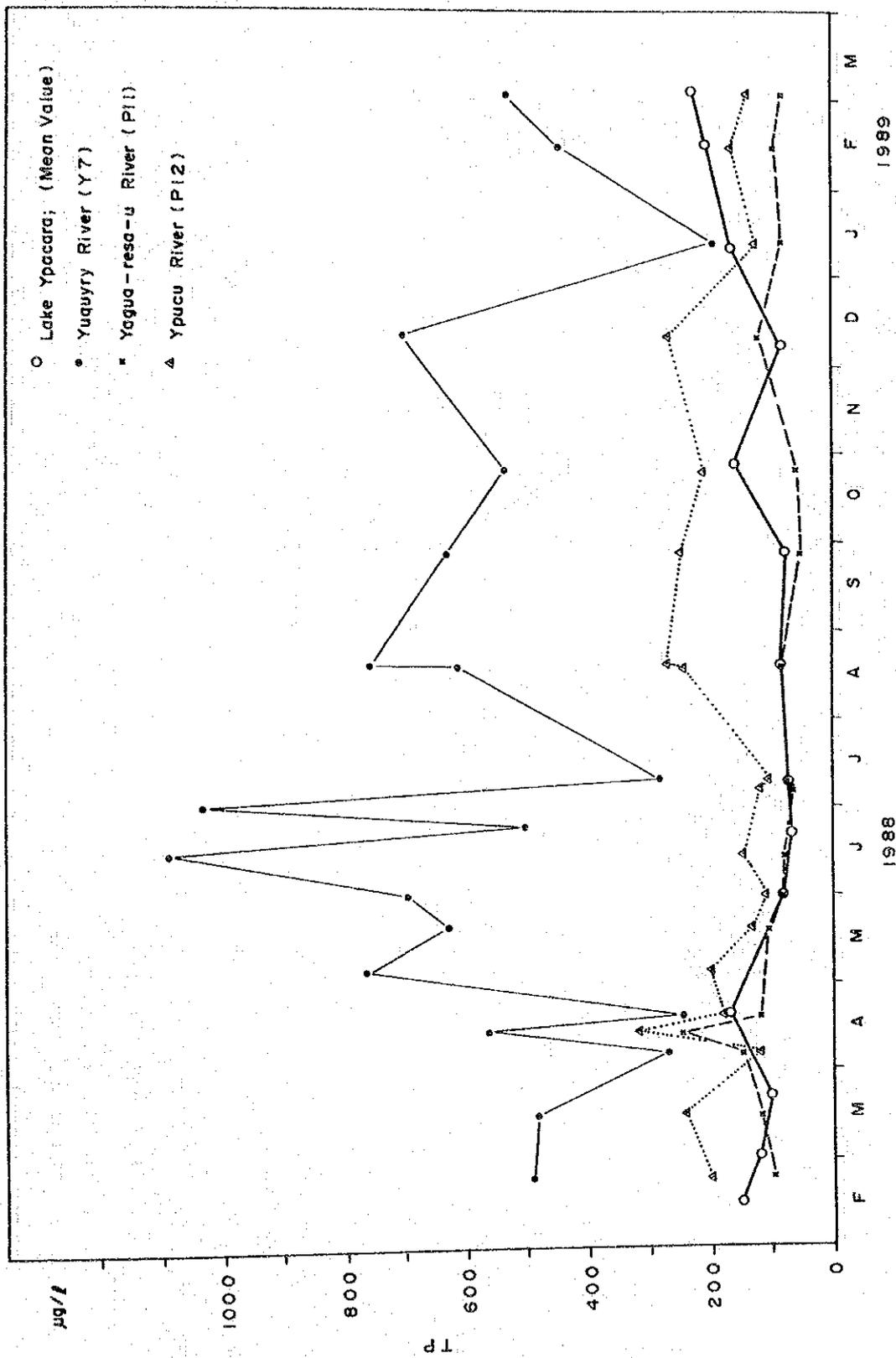


図-M5103 調査期間中の湖及び河川の水質変化 (T.P.)

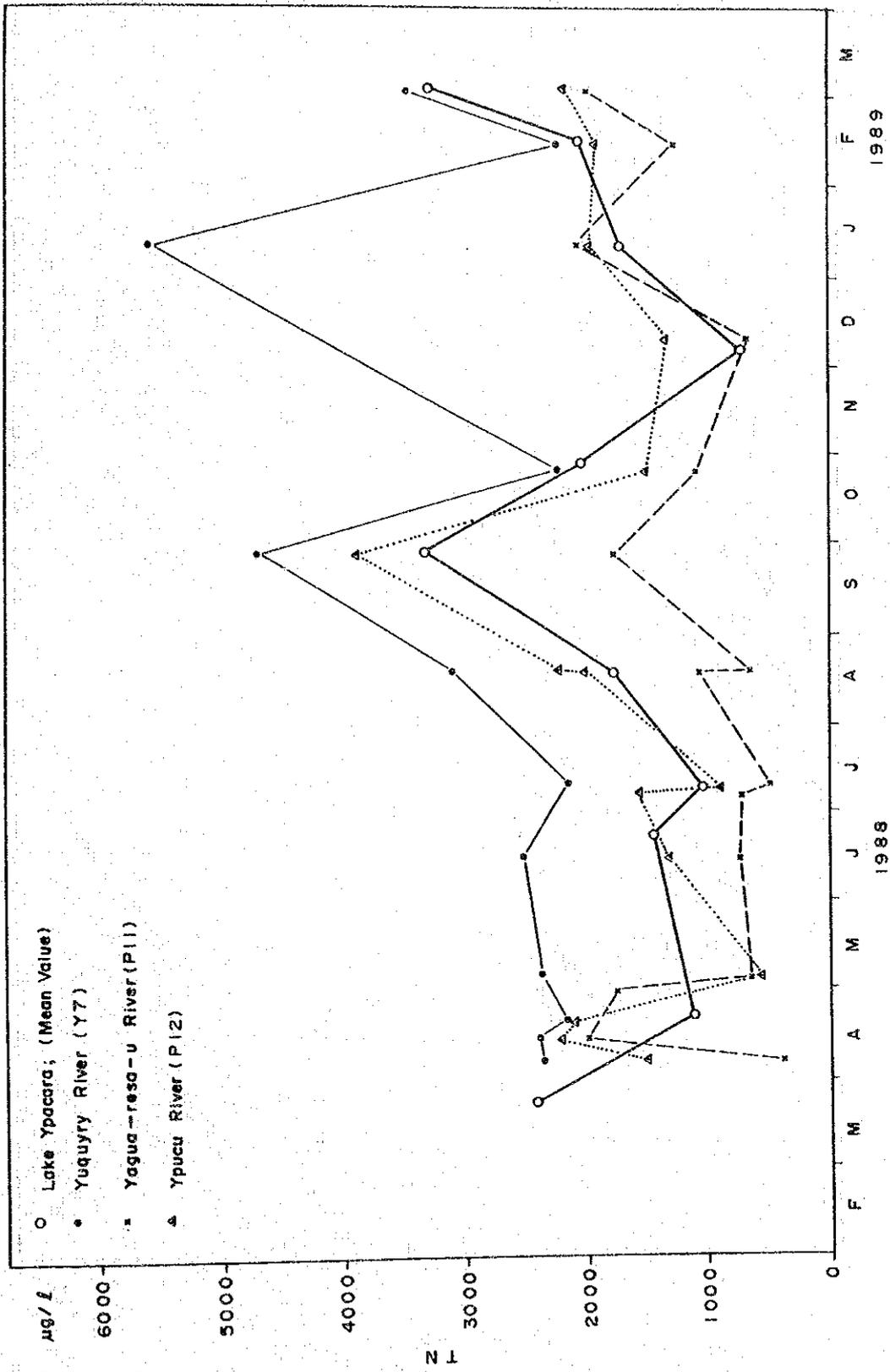


図-M5104 調査期間中の湖及び河川の水質変化 (TN)

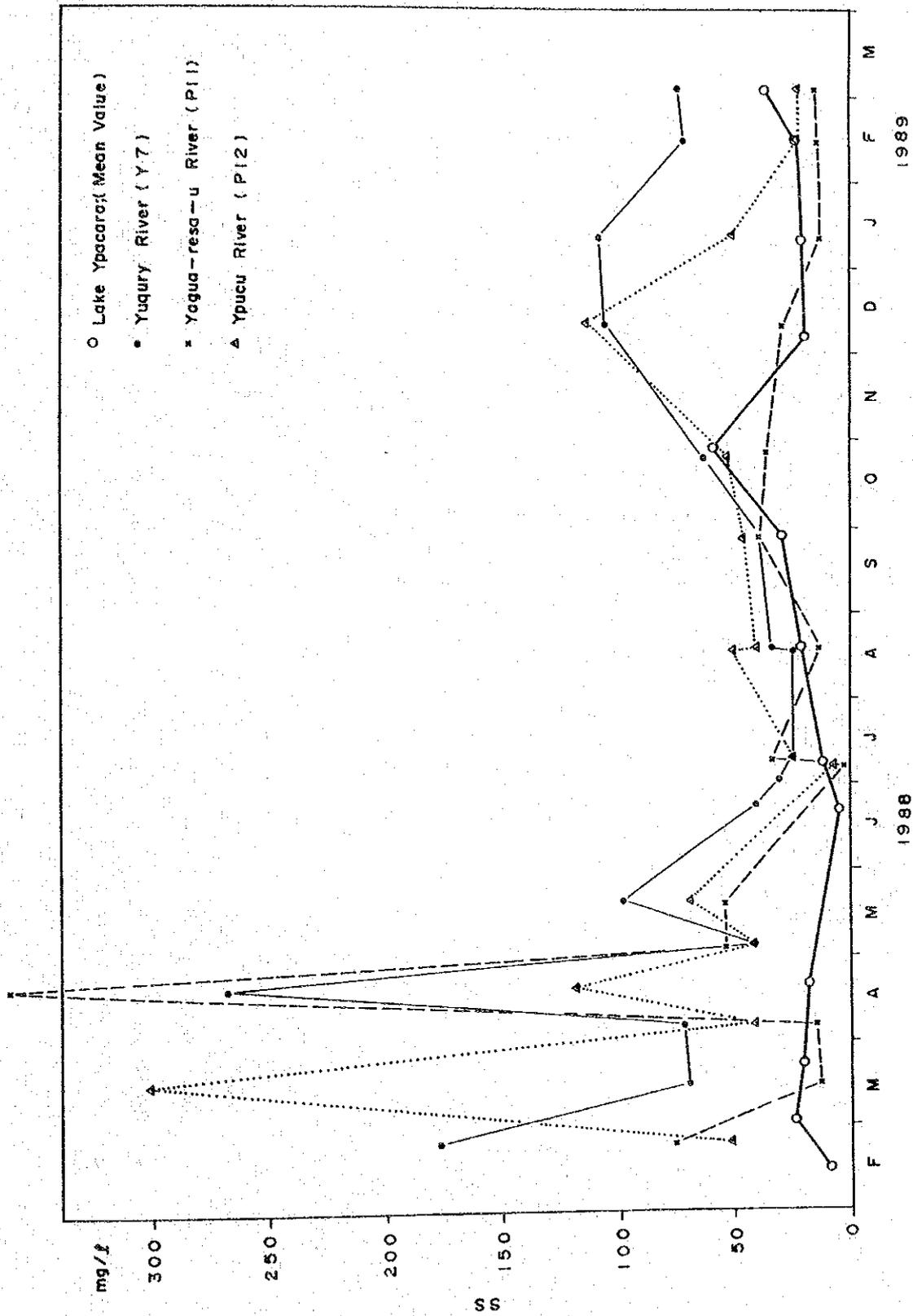


図-M5105 調査期間中の湖及び河川の水質変化 (SS)

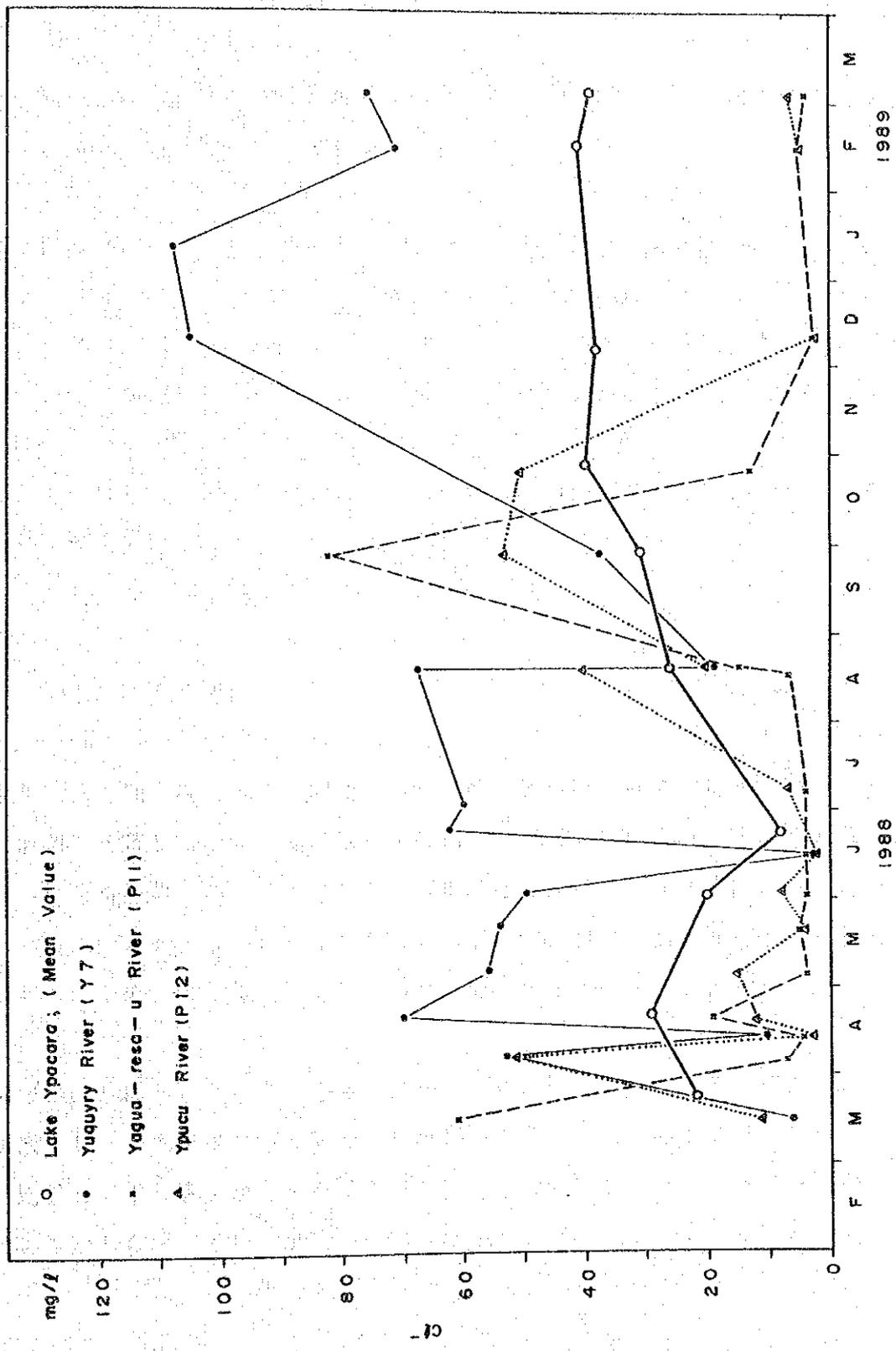


図 - M 5 1 0 6 調査期間中の湖及び河川の水質変化 (Cl⁻)

5・3 湖の水質

湖水については調査期間中はほぼ毎月1回、湖内の10～15定点で物理条件の測定と採水を行い、採水試料は実験室で分析した。

物理条件の測定は、SD、水温、DO、pH、EC、水色の6項目について、水質分析はTP、DTP、 PO_4P 、TNK、 NH_4N 、 NO_3N 、TCOD、DCOD、BOD、TR、 IL_{TR} 、SS、 IL_{SS} 、 Cl^- 、アルカリ度、糞便性大腸菌群数、POC、PON、Chl-aの19項目（ただし、毎回全項目を分析したわけではない）である。

DO、TCOD、TP、TN、SS、 Cl^- の6項目の経時変化を図-M5101～5106（前出）に示した。

5・3・1 時間的变化

湖水質は調査期間中大きく2回変化した。第1回目は1988年1月20日頃で、それ以前には透明度が著しく低かった湖水が1月13日～16日の集中豪雨とそれに続く湖水位の上昇の後に清澄化した。このような清澄化は地元住民もこれまでに経験したことがないといわれている。しかし、残念なことに本調査における水質分析が始まったのが2月であったため、清澄化する直前の湖水質に関するデータは無い。

第2回目は1988年12月から1989年1月の間に起こった。それまで比較的高かった透明度が低下し、水色が褐色から炭の粉を混ぜたような黒色に変化した。そして、それ以前に比較してTN濃度がやや高くなり、TP（大半は PO_4P ）濃度は2倍近くなったにもかかわらず、Chl-a濃度が低下した。

調査期間中の湖水質の変化特性とその要因を検討するために、水温・降雨量・風速の推移と主要な水質項目の平均濃度の推移を並べて見た(図-M5302)。図中、植物プランクトン分として示した部分はChl-aの濃度から理論的に算出したものである。

1988年3月は透明度・水温ともに高く天気もよかったため植物プランクトンが増殖し水の華が発生した。湖水のTCOD濃度が河川水のそれよりもずっと高くなったのはこの結果であろう。

4月に入るとTCOD濃度が低下する一方、 PO_4P 濃度が高くなった。これは4月に雨の日が多く、水温・日射量ともに低下したために植物プランクトンの分解が進んだためと考えられる。

5月以後も水温は低下し、7月には平均が $13^{\circ}C$ になった。TCOD濃度は $20\sim 25mg/l$ のレベルで、TP濃度は $0.08mg/l$ のレベルで安定し、SS、TCOD、TN、TP中に占める植物プランクトンの割合も50%以下となった。これは植物プランクトンの生産が低下し、分解とバランスのとれた状態になったためと考えられる。

水温・日射量は7月以後次第に上昇したが、TCODやTPの濃度は10月末を除いて7月以前とあまり変わらないレベルで12月まで推移した。この原因は、8月以後SS濃度のレベルが高くなっていることからみて、死滅した植物プランクトンがSS濃度を高め、生産を抑制したことにあると考えられる。

10月末のTCOD及びTP濃度の一時的高まりは、試料採取直前の2日間、風が強かったため、底泥の舞い上がりが生じたことによると考えられる。

調査期間中の湖水のTN濃度は変動が激しく、河川水のTN濃度の変化とよく調和しているように見える。また、多くの場合、TNの7~9割が有機態であるが、Chl-aの濃度から推定してTNに占める植物プランクトンの割合は一般に3割以下と見積も

られる。さらに、TN濃度の推移とDCOD濃度の推移とは良く調和し、DCOD濃度は河川水と湖水でほとんど差がない。これらの事実から、湖水中のTNは流域から流入する有機態でかつ溶解性の物質が主体を占めているのではないかと推察される。しかし、この点については別の見方もできるので、確定的なことは言えない。

湖水中の糞便性大腸菌群数については1988年7月及び9月、1989年2月の3回測定したのみであるが、いずれの地点でも100MPN/100ml以下と低レベルであった。

5・3・2 水域による差異

図-M5321、5322に示したEC及びDCODの平面分布を見ると、いずれの季節においても湖内表層の各地点間の濃度差は小さいことが分かる。そして、Yuquary川の河口では400 μ s/cm前後の高い値を示すEC濃度がすぐ沖の測定点では湖内の平均的な値に低下していることから、この水平的な混合は極めて速やかに行われていると考えられる。

いっぽう、図-M5323に示した夏季(1、2月)の水温・濁度・pH・ECの鉛直分布を見ると、表層と底層でほとんど差が無いことが分かる。DO濃度は表層から底層に向かって低下しているが、それでも飽和度が60%以下になることは無い。このような事実から、湖水は鉛直方向にも十分混合されているといえる。

5・3・3 水質指標間の相関性

湖内水質を決定している要因を明らかにする1つの手段として水質項目相互の関係を検討した。

図-M5324はSSとChl-aの関係を示す。両者の相関性は低く、SSの濃度はいずれもChl-aの濃度から算出される理論値より高い。このことは、この湖では植物プランクトン以外のものが常にいろいろな程度でSS濃度を高めていることを意味している。

図-M5325はTCOD、PCODとChl-aとの関係を示す。PCODとChl-aの相関性はかなり高いが、植物プランクトン以外のものがいくらかPCOD濃度を高めている。TCOD濃度が常に20mg/l以上でしかもばらつきが大きいのはTCODに占めるDCODの比率が大きく、かつその変動が大きいことを意味している。DCODとしては河川からの流入物、死滅した植物プランクトンの分解物、底泥からの溶出物等が考えられる。

図-M5326はPOP、PONとChl-aとの関係を示す。POP濃度はChl-a濃度から算出される理論値とかなり良い一致を示すので、POPの大部分は植物プランクトンに由来すると考えられる。いっぽう、PON濃度とChl-a濃度の相関性は低いのでPONには植物プランクトン起源以外の物質がかなり含まれていることを示している。

5.3.4 既往データとの比較

ICBの報告書によると、1984年のYpacarai湖は1年を通してSDは10~20cm、SSは10~100mg/l、pHは夏季で7.5、冬季は6前後、TNは0.17~0.74mg/l、TPは0.13~0.33mg/lであった。

また、SENASAが1981~1982年にアレグア及びサンベルナルディノの湖畔で採取した水の分析結果では、SSは300~400mg/l、pHは夏季で7.2~7.7、冬季で6.8~7.2、TNは0.03~0.99mg/l、TPは0.00~0.51mg/lであった。

したがって、透明度が低く、富栄養化している（とくにリンが過剰）が、一次生産量が少ないというのが同湖の通常の状態であろうといわれてきた。

ところが、1988年2月～12月の間はSDが60～80cm、SSは最高でも60mg/l、通常は30mg/l以下、pHは夏季には9.0～9.5、冬季でも7.5～8.0、TNは0.7～3.3mg/l、TPは0.07～0.16mg/lで、植物プランクトンの増殖は極めて活発であった。

1989年になってからは水色が黒くなるとともに透明度が低下し、TP（とくに PO_4P ）が増大した。これは流域からのリンの流入が増大するとともに、水温の上昇に伴って底泥から溶出する PO_4P が増大したことによると考えられる。

表-M5341は、1982年、1984年、1988年、1989年の夏季（2、3月）にいずれもAregua沖で採取された試料の分析結果を比較したものである。水温はいずれも30℃前後であるのに1988年のSD、DO、pH、TP、 PO_4P 等の値は他の3時期と大きく異なっている。

これらの事実から、1988年の湖の清澄化は1988年1月13～16日の集中豪雨とその直後の湖水位の著しい上昇を契機として生じた異例の現象で、その後の水質の推移は通常の状態に戻る過程を示していると解釈することができる。しかし、イパカライ湖の”通常の水質状態や1988年のような清澄化の機構について明確な結論を出すにはまだデータが不足している。

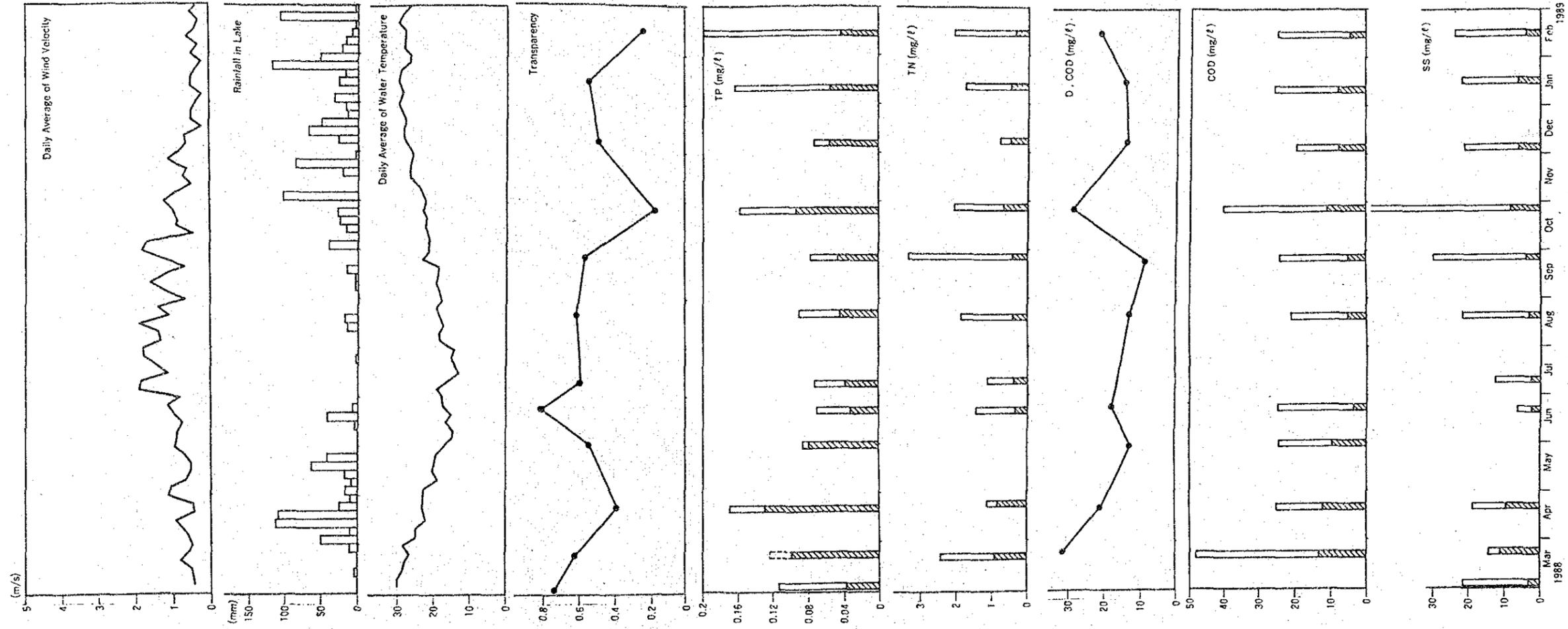


図-M5302 気象条件と湖水质の関係

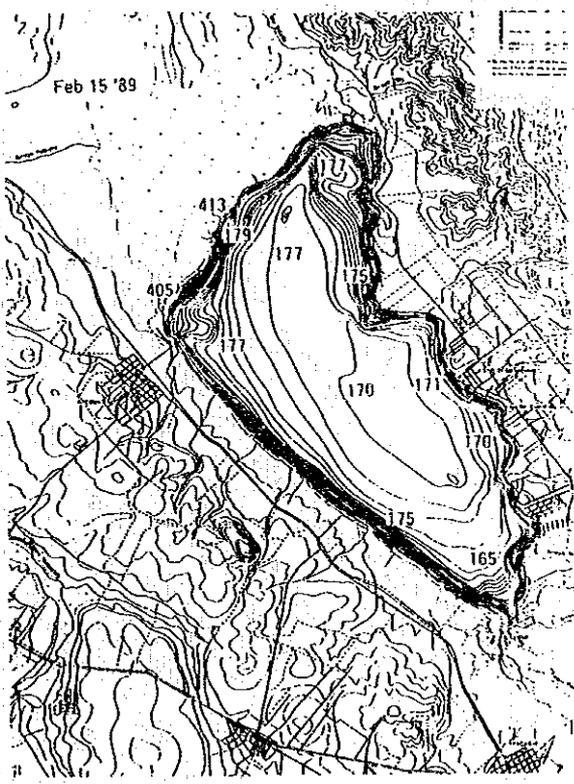
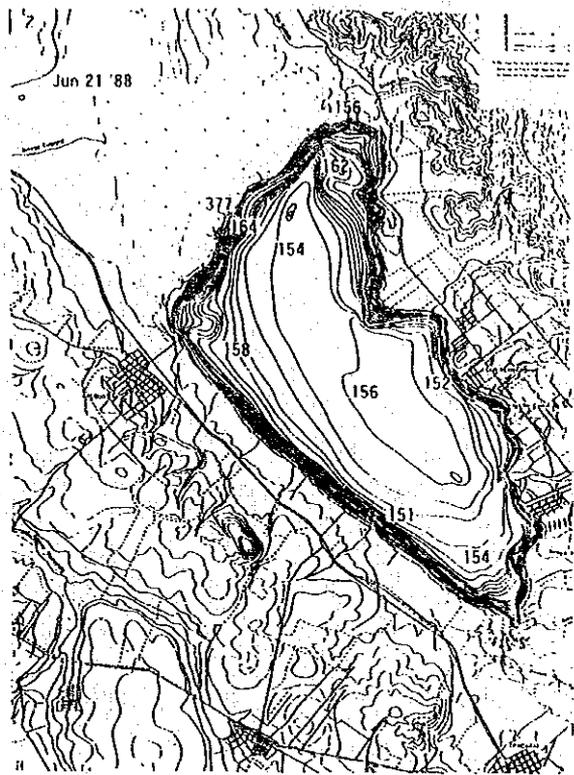
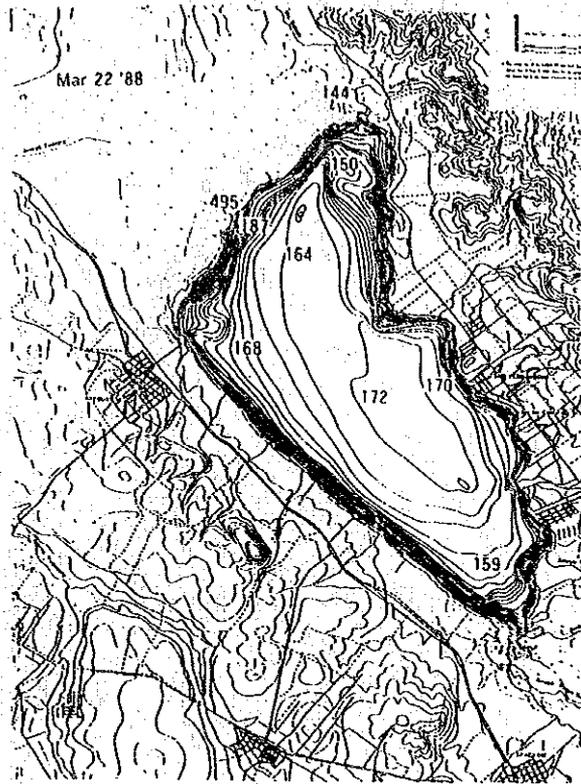


図-M5321 湖内におけるEC値の地域的な差異

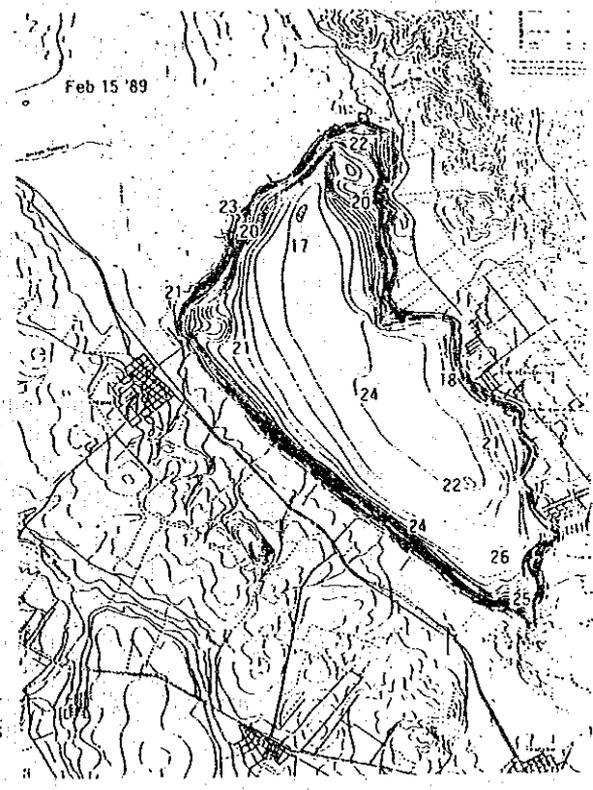
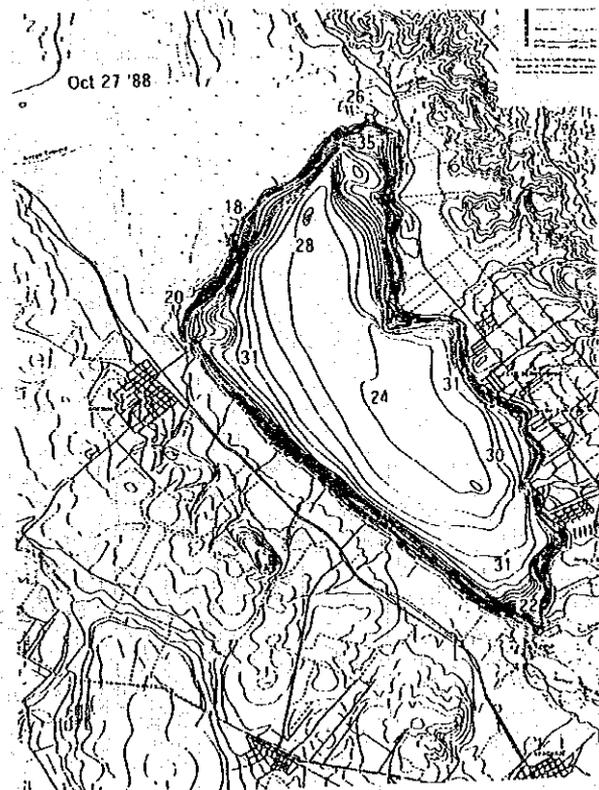
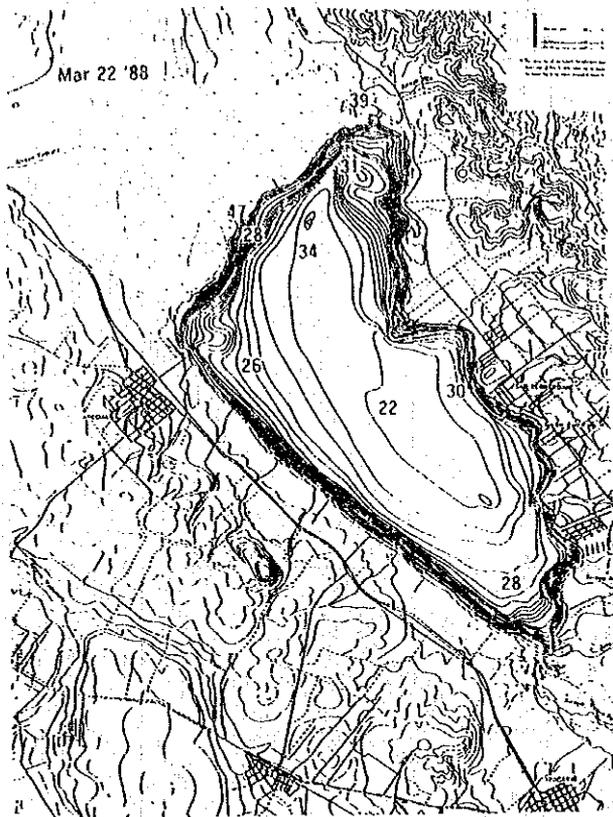


図-M5322 湖内におけるDCOD値の地域的な差異

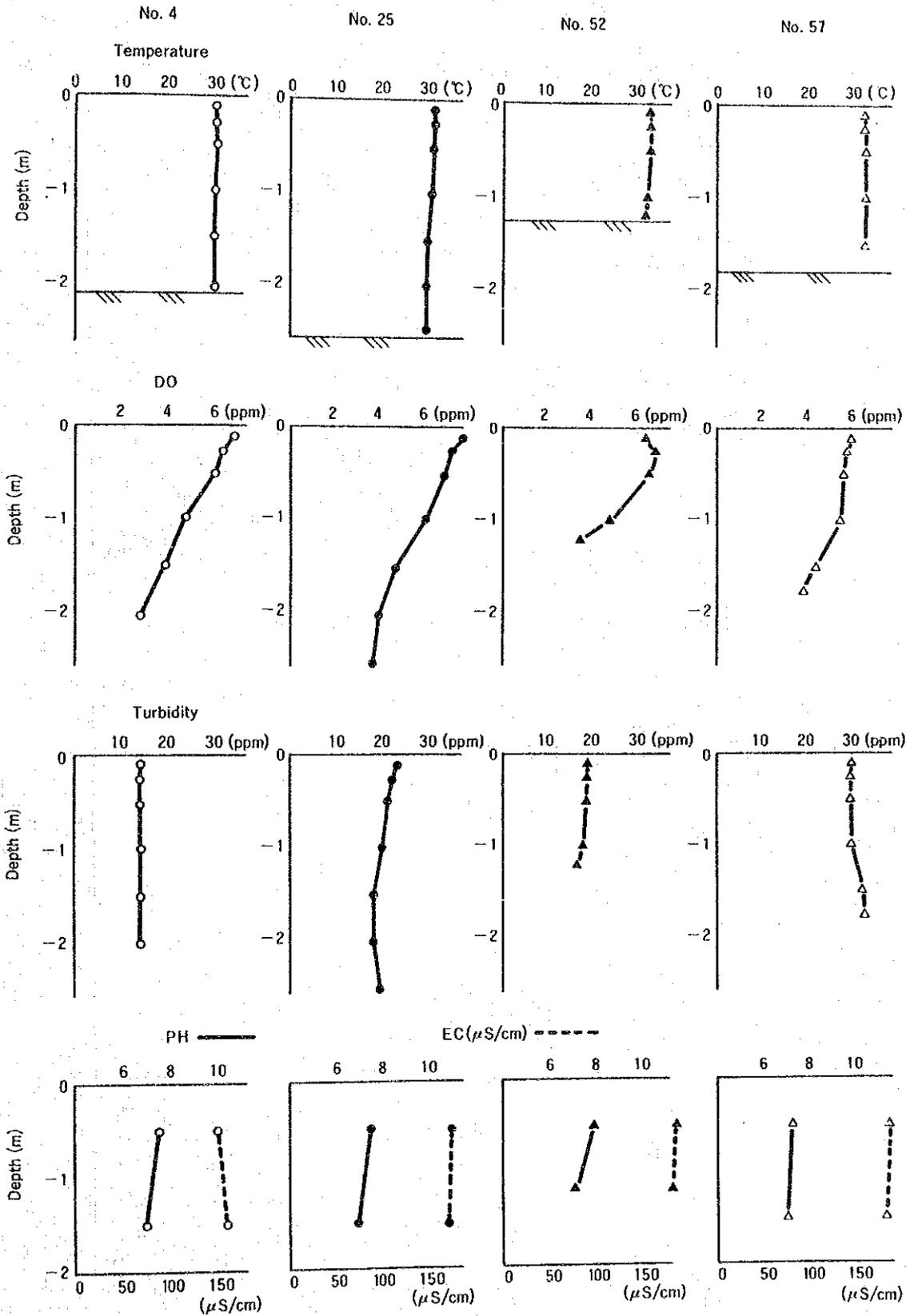


図-M5323 湖内における水質の鉛直方向の変化

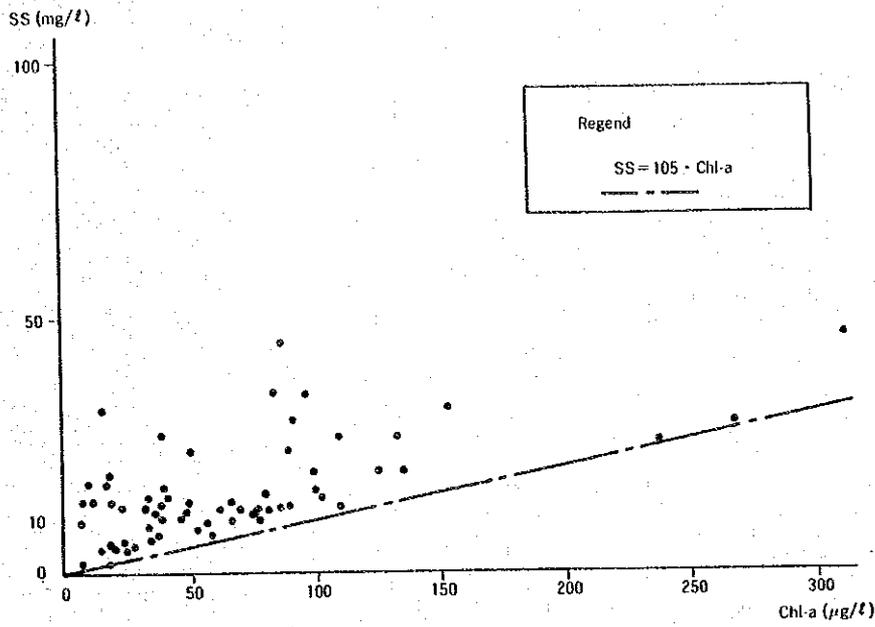


図-M5324 Chl-aとSSの相関性

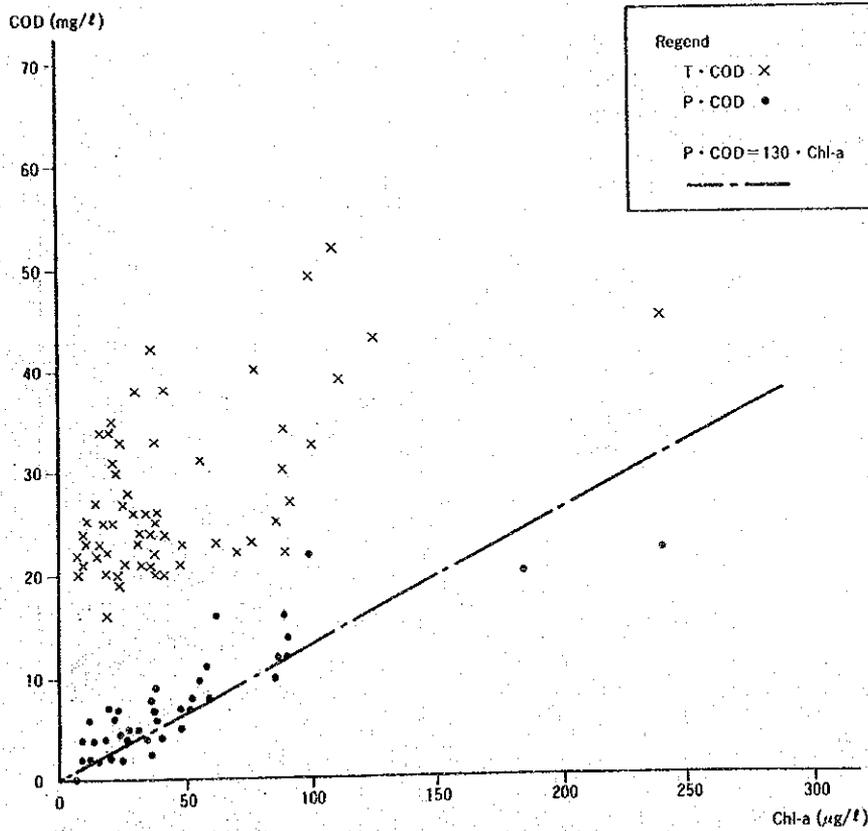


図-M5325 Chl-aとCODの相関性

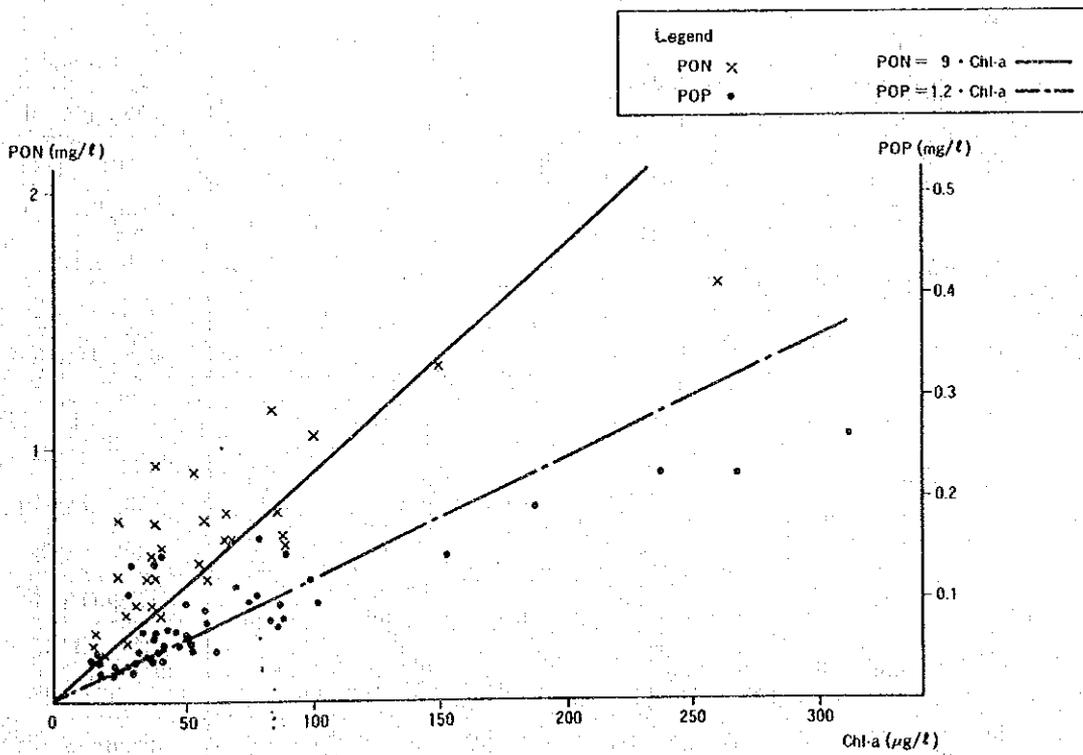


図-M5326 Chl-aとPOP, PONの相関性

表-M5341 夏季におけるイパカライ湖の水質

Sampling Site	AREGUA	AREGUA	St. 30	St. 30
Institution	*1 SENASA	*2 ICB	*3 JICA	*3 JICA
Date	May 9, 1982	Feb. 28, 1984	Feb. 16, 1988	Feb. 15, 1989
Air Temp.	-	-	-	29.4°C
SD (cm)	-	10	50	25
Water Temp.	30.0°C	29.5°C	31.0°C	29.8°C
DO (%)	112	134	199	86
pH	7.7	7.9	9.6	6.9
EC (µs/cm)	-	-	120	176
Color	-	-	brown	grey
TP (µg/ℓ)	-	293	132	210
PP (µg/ℓ)	-	-	61	38
DOP (µg/ℓ)	-	-	38	52
PO ₄ P (µg/ℓ)	0	121	23	120
TN (µg/ℓ)	-	-	-	1,605
PON (µg/ℓ)	-	-	-	83
DON (µg/ℓ)	-	-	-	865
NH ₄ -N (µg/ℓ)	16	29	53	166
NO ₃ -N (µg/ℓ)	43	-	330	490
TN/TP	-	-	-	7.6
TCOD (mg/ℓ)	11	18	-	23
DCOD (mg/ℓ)	-	-	-	22
BOD (mg/ℓ)	-	-	-	-
RS (mg/ℓ)	-	-	-	214
ILRS (mg/ℓ)	-	-	-	34
SS (mg/ℓ)	302	-	-	31.7
ILSS (mg/ℓ)	-	-	-	-
Cl ⁻ (mg/ℓ)	-	-	-	42
Alkalinity	-	-	14	47
Chl-a (µg/ℓ)	-	-	24	15

*1 MSPBS (1984) Clasificación de Aguas Superficiales

*2 ICB (1985) Estudio Limnológico del Lago Ypacarai

*3 This Study

5・4 河川の底質

3ヶ所の水位観測点を含む合計5地点でエクマンバージ採泥器による底質の採取を行い、粒度組成、密度、含水率、強熱減量、有機態のNおよびCの含有率を測定した。

5試料のうち4試料は砂質であったが、ピラジュ川で採取した試料のみがシルト分、粘土分を多く含みN、Cの含有率が他の4試料の約20倍である。

ジュクリ川のように流域からの有機物の流入が多い河川でも底泥の有機物含有率が低いのは土砂の沈殿により無機物の割合が高くなるためと考えられる。

5・5 湖の底質

エクマンバージ採泥器（10地点）及び柱状採泥器（5地点）により湖底質を採取し、粒度組成、密度、含水率、強熱減量、有機態のN及びCの含有率を測定した。

ピラジュ川河口付近を除いて底質は粘土・シルト分が99%、自然含水比は150~400%で地点間での差異は少ない。また、強熱減量は20%前後と高く、かなりの有機物を含んでいるのが特徴である。

柱状採泥試料でみると、湖中央部では湖底から15~17.5cmの間でC/N、含水比、I/Lが著しく減少していて、この深度で底泥の性状が急変していることが分かる（図-M5501）。SSの沈降量（6・2・5参照）から湖内における底泥の堆積速度を求めると、表層の含水比で計算した場合は5.3mm/y、表面下20cmの含水比で計算した場合には2.1mm/yとなる。したがって、分解による減量や圧密を考慮しても、底質が急変する深度は80年前より古くはないであろう。

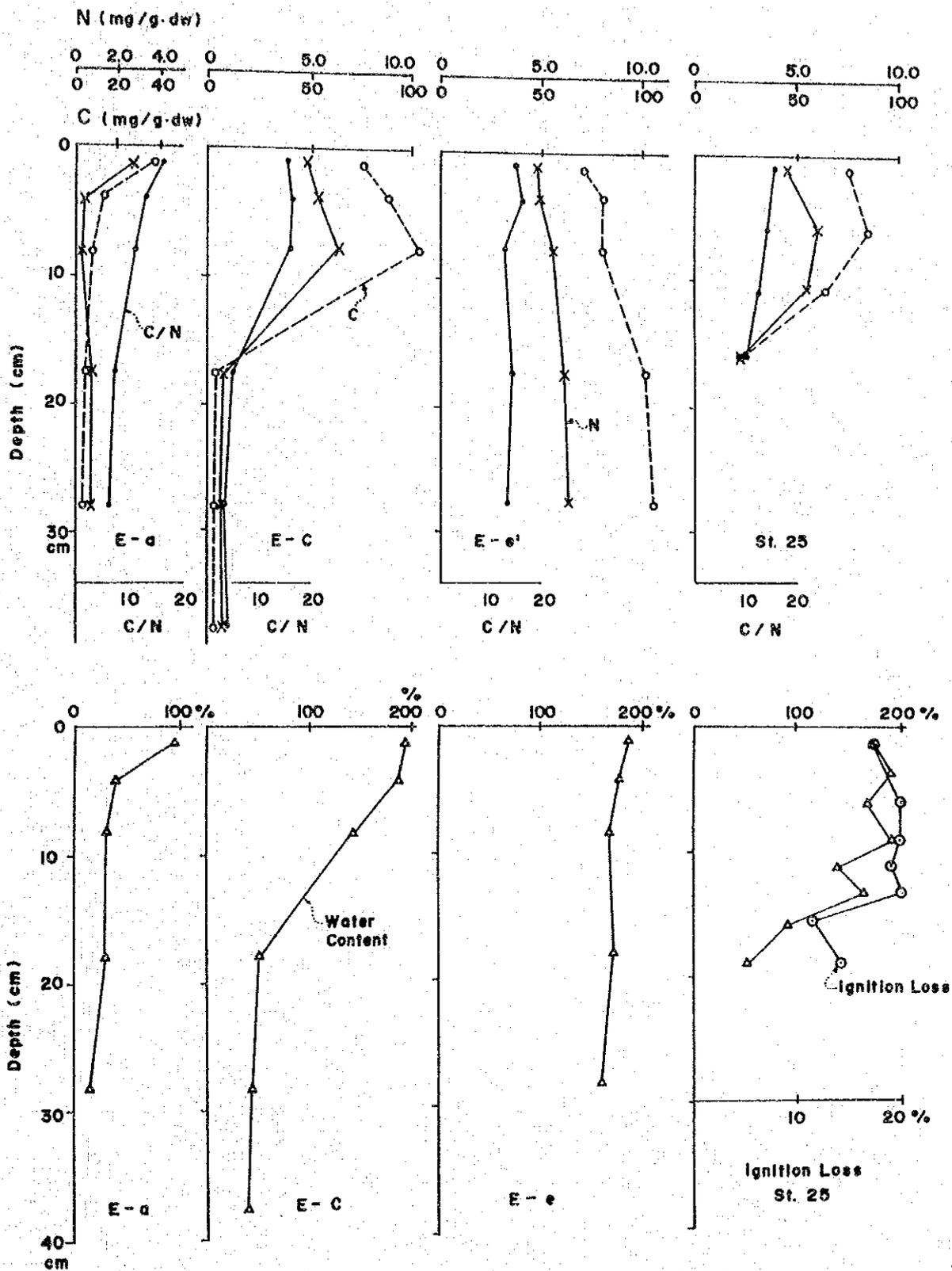


図-M5501 湖底堆積物の深度方向の性状変化

第6章 イパカライ湖の水質汚濁機構

6.1 イパカライ湖の水質汚濁の要因

これまでに述べてきた事実の中からイパカライ湖の水質汚濁の要因を検討するうえで重要な事項を列挙すると以下のようになる。

- 1) 主要な流入河川はジュクリ川とピラジュ川（ヤグアレサウ川及びイブク川）の2本で、平水時の流入量は前者が後者の約2倍ある。湖へ直接流入する小河川の流量は全部合わせても全体の2割以下である。
- 2) 主要流入河川の下流におけるTN濃度は0.5~3.5mg/l, TP濃度は0.05~0.7mg/l, TCOD濃度は5~45mg/lで、平水時はジュクリ川の水質が圧倒的に悪い。
- 3) ジュクリ川の河口部には面積15.7km²の広大な湿原があり、ピラジュ川の河口部にもその1/8~1/9の面積の湿原がある。両河川の水はこの湿原を通過する過程で浄化作用を受けるので、河口部の水質はかなり改善されている。
- 4) イパカライ湖は平均水深が約2mの皿型をした浅い湖で、回転数は年2~3回程度の停滞性の強い水域である。
- 5) 水温は夏季には30℃を越え、冬季には15℃まで下がる。年間平均水温は23℃である。
- 6) 通常は湖水の濁りが著しく、SDは10~20cmしかない。このため、栄養塩類濃度が高いにもかかわらず内部生産は低いといわれていた。しかし、1988年の2~10月はSDが60~80cmあり、内部生産も活発であった。ちなみに、この間の湖水のTN濃度は0.7~3.3mg/l, TP濃度は0.05~0.15mg/l, TCOD濃度は20~50mg/lであった。

7) 強風が続いた直後にはSS, COD, TP等の濃度が著しく高くなった。これは湖の水深が浅いために、強い風が吹き続けると底泥が舞い上がることによると考えられる。

8) 湖内水質は水平的にも鉛直的にも大きな差異が無く、顕著な成層構造が発達することは無い。これも湖が浅いために移流・拡散・混合が十分に行われるからである。

これらのことから、イパカライ湖の水質汚濁は主として以下の3つの要因により規定されていると考えられる。

①河川から流入する汚濁物質の残存分

流域汚濁源から流入する汚濁物質の一部は流下過程で沈殿あるいは分解し、一部は湿原内で浄化され、さらに一部は河口部で沈降することにより水中から除去される。これらの過程でも水中から除去されなかった物質が湖水を汚濁させる。

②湖内における植物プランクトンの増殖

光と栄養塩類を基礎として湖内では植物プランクトンの増殖が行われ、これが懸濁性有機物として湖水を汚濁させる。植物プランクトンは死滅すると沈降するかバクテリアによる分解作用を受けて無機化する。

③底泥による影響

底泥中の間隙水に含まれている汚濁物質が水中に溶出したり、風や対流により底泥表層が舞い上げられて湖水を汚濁させる。

これらの要因はその時々気象・水理条件に応じていろいろな強さで出現する。図-M 6.1 0 1はその状況を模式的に表現したものである。

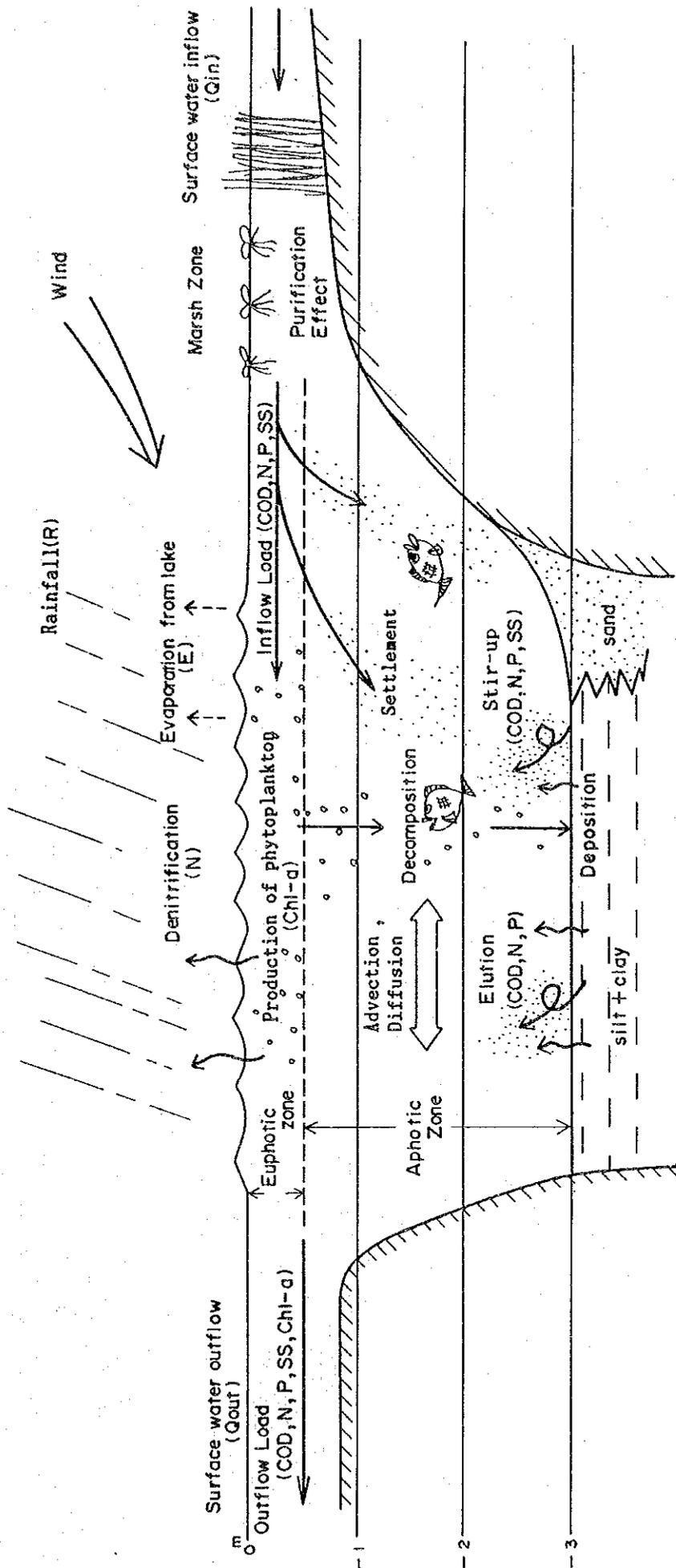


図-M6101 湖内における汚濁物質の挙動

6・2 個々の要因の検討

次章の汚濁シミュレーションを実施するためには、前節で述べたイパカライ湖の水質汚濁を規制している要因の1つ1つについて、その定量化を図る必要がある。その基礎的な資料とするためにいくつかの現地観測や実験を行ったので、その結果について簡単に述べる。

6・2・1 湿原における浄化

ジュクリ川及びピラジュ川の河口部には湿原がある。その諸元を表-M6211に示す湿原を通過する過程で河川水中のSS及びPPは水生植物の根毛への付着と水生植物によるろ過作用により、有機物は水生植物周辺の微生物等の分解作用により、さらにNは脱窒作用により除去される。

表-M6211 湿原の概要

	面積 (km ²)	平均 水深 (m)	湿原 容積 (m ³)	平水時 流量 (m ³ /日)	水面積 負荷 (m ³ /日/m ²)	滞留 時間 (日)
ジュクリ湿原	15.7	0.8	7.85×10 ⁶	2.5×10 ⁵	0.02	23~34
ピラジュ湿原	1.83	0.5	1.46×10 ⁶	1.5×10 ⁵	0.08	10

湿原の浄化率（汚濁物質除去率）は湿原を通過する時間が長いほど大きくなると考えられるので、ジュクリ川下流湿原について5日間平均の水面積負荷（湿原の単位面積当りの流下水量）と浄化率の関係を求めた（図-M6211）。この図からどの水質

項目も水面積負荷が大きくなるにつれて浄化率が一定の飽和値に近づくと見ることが出来る。したがって、両者の関係は2次曲線で近似させることができる。

ただし、ここで用いた分析データは湿原の滞留時間等を考慮して採取した試料に関するものではないし、データの数も少ない。また、ピラジュ川下流の湿原についてはこのような関係は認められない。したがって、湿原の浄化率についてはさらに詳しい調査が必要である。

6・2・2 洪水時における河口域沈降

洪水時には河川から多量の粒子性物質が湖内に流入する。このうち、比較的粒径の大きなSS分は流速の低下に伴って河口域で沈降し、湖内水質に影響を与えないことが予想される。

流入河川水に湖底の泥を混ぜて攪拌・放置した時のSS濃度の変化と流入河川水のみを放置した時のSS濃度の変化を室内実験により比較した結果でも、洪水時になぞらえられる前者の方が平水時になぞらえられる後より沈降減衰率が大きかったので、洪水時には河口域で粒子性物質の沈降が生じているといえる。

6・2・3 生産（植物プランクトンの増殖）

生産に関与する因子は光、水温、栄養塩類濃度（IN、IP）であり、イバカライ湖ではこのすべてが生産量を規制していると考えられる。

光については水中照度計を用いて照度の減衰状況を測定した。図-M6231は1988年7月（SDが60cm前後）と1989年2月（SDが15~20cm）の照度減衰状況である。

生産が行われる水深（補償深度）は表面照度の1%以上の照度を得られる水域といわれているので、1989年2月の場合は水深50cm前後までである。

生産量を直接求める目的で1989年2月に採取した湖水を用いて現場 O_2 法を実施した。これは、表層から採取した湖水を2つに分け、一方は透明なガラスビン、他方は黒布で包んだガラスビンに入れ、一定時間放置し、 O_2 がどの程度増加するかを見る実験である。

栄養塩類濃度についてはNとPのいずれが生産をより強く規制しているかを明らかにする目的でAGP試験を行った。試験水としては1988年7月に湖（1点）及び河川（3点）で採取したものを、同日サンベルナルディノの防波堤先端で採取した植物プランクトンを入れて、水温26℃、照度を2,400Luxに保って2週間培養した。結果を図-M6232に示す。この結果から、Nが増えてもPが増えても植物プランクトンは増大し、逆にNを減らしてもPを減らしても増殖は抑制されると言える。

6・2・4 分解（有機物の無機化）

植物プランクトンは死滅すると分解し無機化する。この分解速度を知るために1988年10月にサンベルナルディノで採取した表層水を20℃で暗所に保存し、2週間にわたってCOD、Chl-a、SS濃度の減衰状況を調べた。結果を図-M6241に示す。

6・2・5 粒子性物質の沈降

湖水中に浮遊する粒子性物質は比重の小さい植物プランクトンと比重の大きい底泥あるいは洪水時に河川から流入する土粒子からなり、時間とともに沈降してゆく。しかし一旦沈降した物質も強風が吹けば舞い上がって再び水中に戻る。

湖内での物質の沈降量を知るために1988年7月、湖心に10日間トラップを設置して、24時間ごとにそれを回収した。トラップされた物質についてはSS、TCOD、DCOD、TKN、DKN、TP、DTPの濃度を分析し、沈降物質量を算出した。またこの沈降量から日沈降率及び沈降速度を求めた。

6・2・6 底泥からの溶出

溶出とは栄養塩類が湖底泥から湖水へ回帰する現象で、とくに浅い湖では物質循環に果たす役割が大きいと言われている。また、流入河川の水質を改善しても湖水質がそれほど改善されない例が多いが、その原因の1つは底泥からの溶出が大きいことにある。イバカライ湖の底泥からの溶出速度を求めるために室内溶出実験を行った。

エクマンバージ採泥器により採取した湖心部の底泥をポリエチレン製容器に厚さ10cmに敷き詰め、水深が10cmになるまで蒸留水を加えた。これを20℃と30℃の恒温槽で上部を空気中に開放して放置し、8日目まで毎日一定量の上部水を採取して分析した。

6・2・7 底泥の舞い上がり

水深が4～6mより浅い湖では風波により底泥そのものの舞い上がりが生じ、これが水質の悪化に一役買う場合がある。イバカライ湖における風と底泥の舞い上がりの関係を知るために1988年7月に10日間、濁度の鉛直分布を測定した。

結果は図-M6271に示すとおりである。偶然ながら測定期間中は調査期間中で最も風の強い時期であったが、18～19日にNo.30地点で濁度が著しく高くなった以外は予想したほど高くなっていないし、風速と濁度の間に明瞭な直線関係も認められない。この理由は不明である。

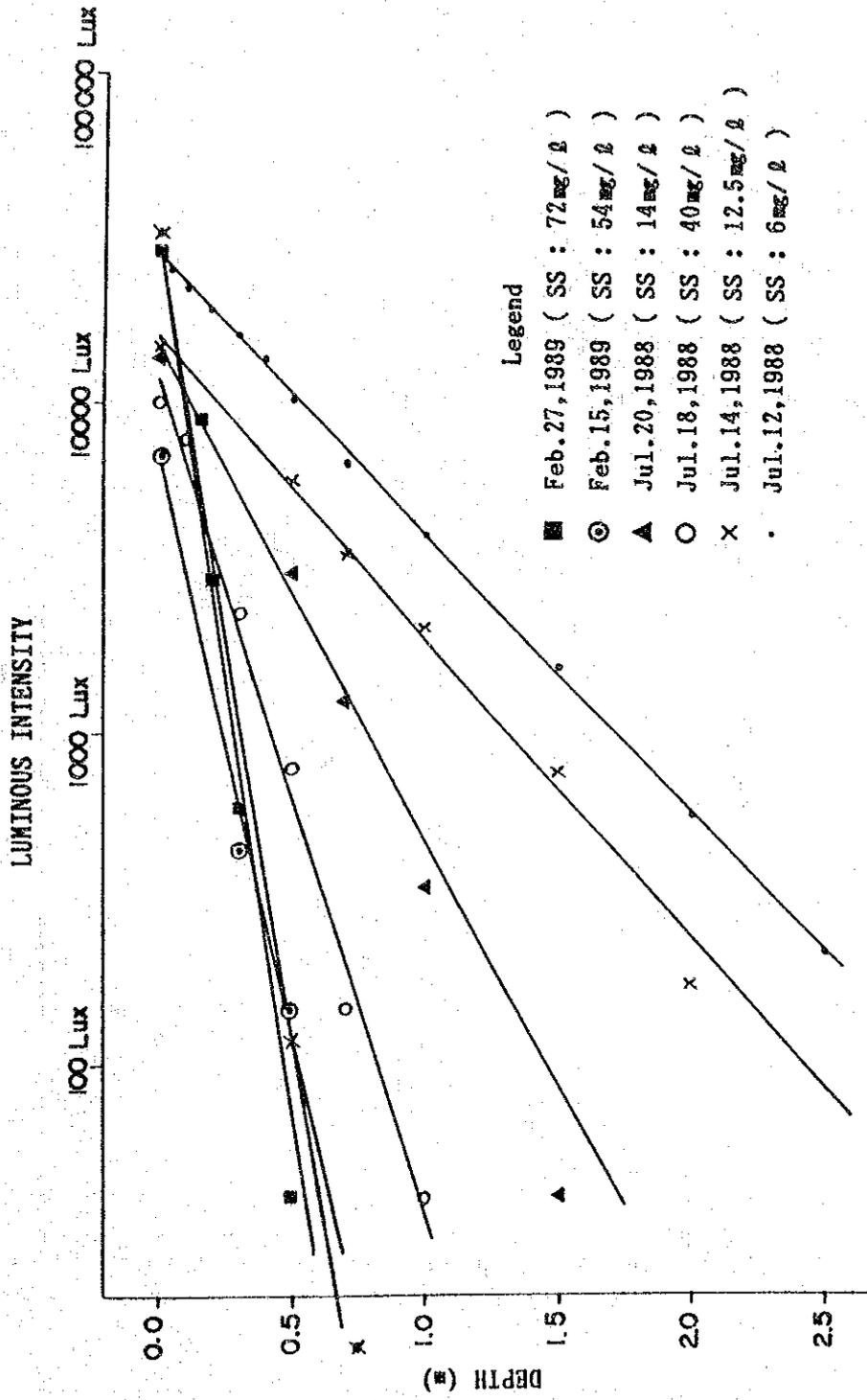


図 - M 6 2 3 1 湖水中での照度の減衰状況

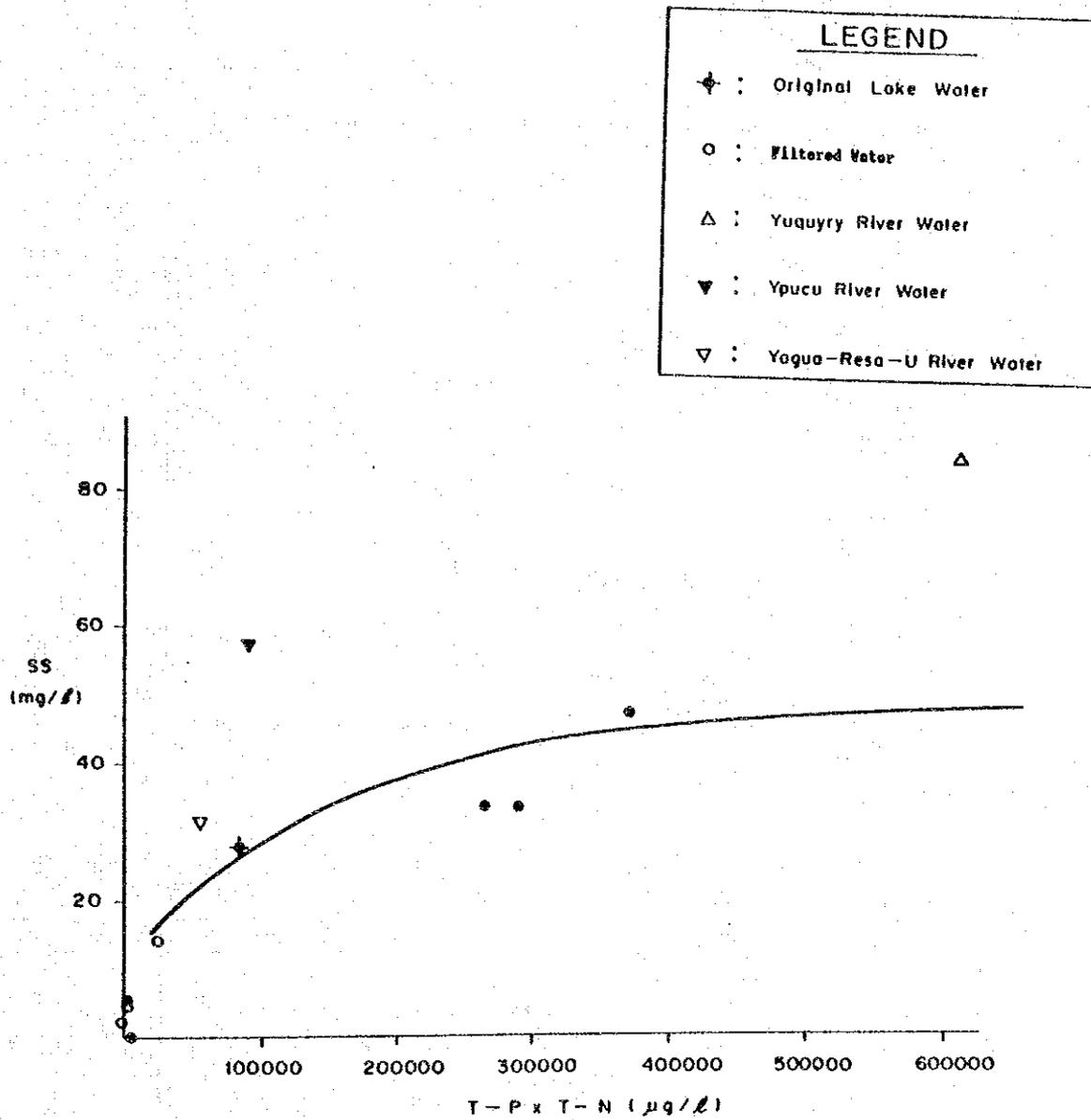


図-M6232 AGP試験の結果

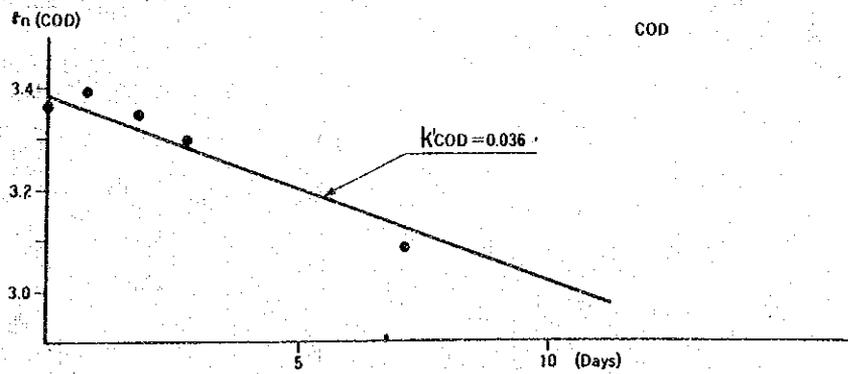
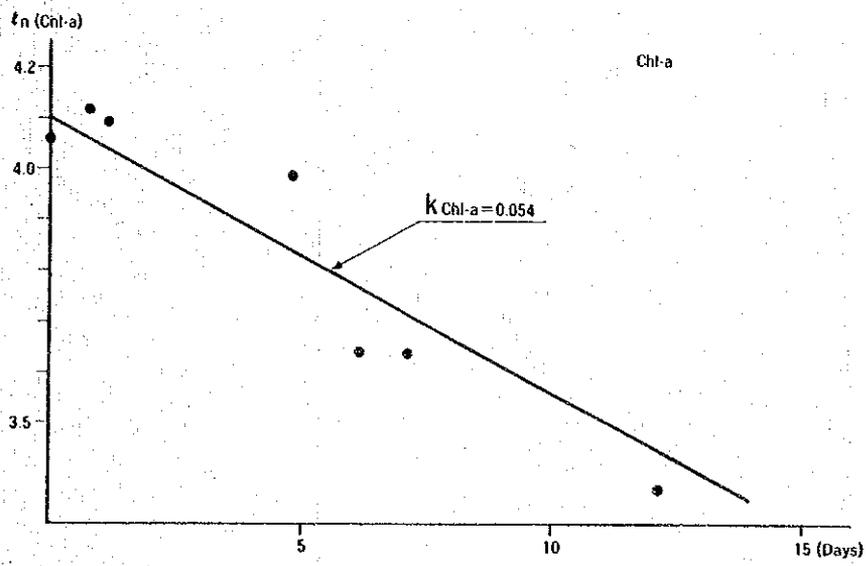
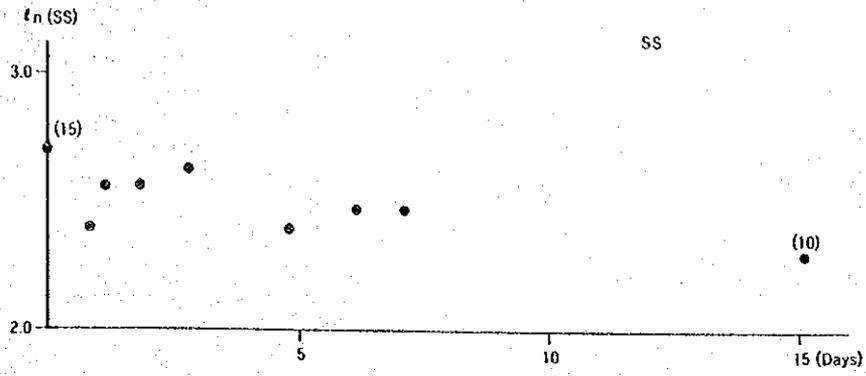
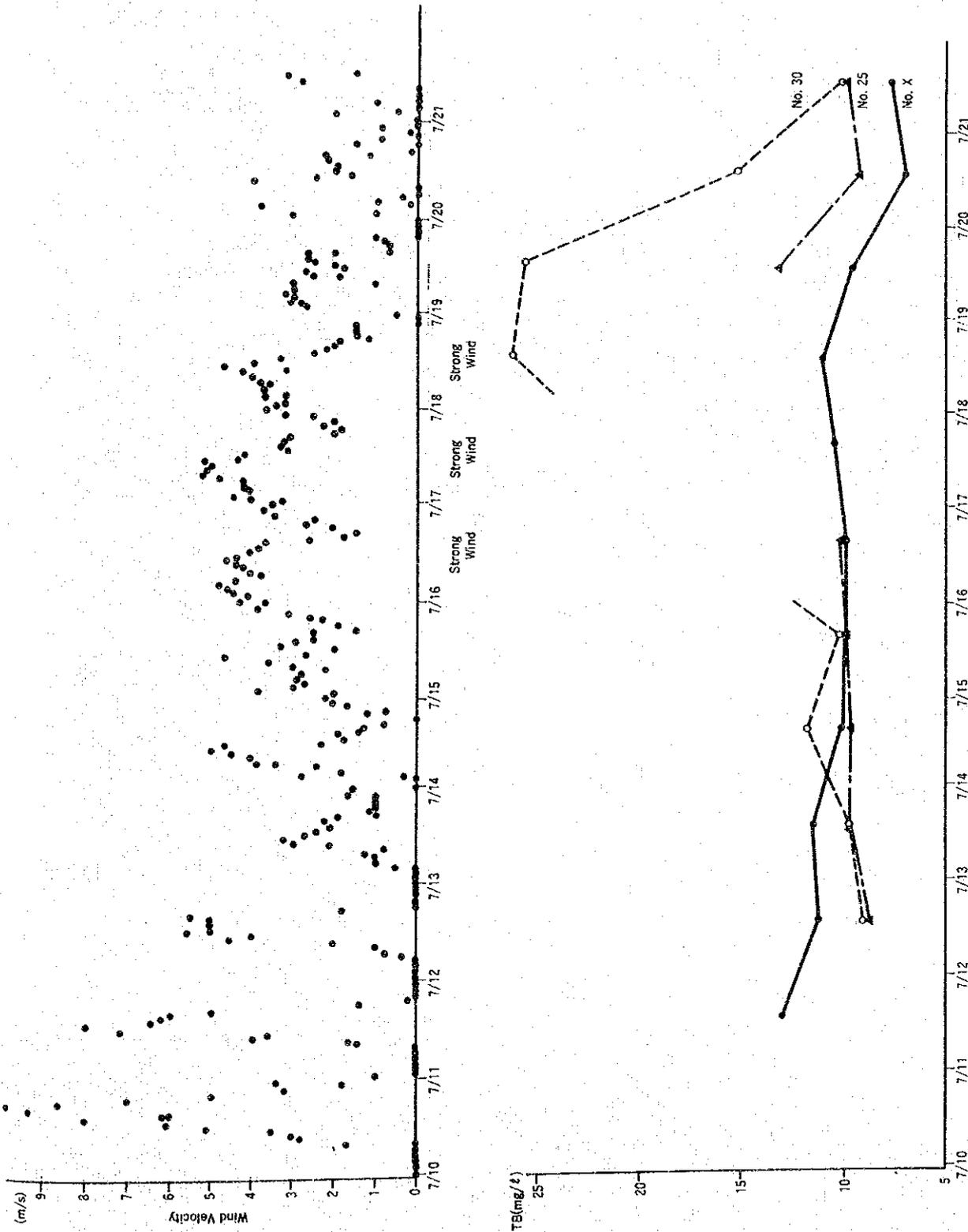


図-M 6.241 有機物の分解実験結果



図一 M 6 2 7 1 風速と濁度の関係

第7章 イパカライ湖の 汚濁シミュレーション

7・1 汚濁シミュレーションの目的

一般に湖沼の水質は①水文・気象、②流域特性と流入負荷量、③湖沼の地形、④生物学的・化学的・水理学的諸現象による湖内での変化等の要因が複雑に関与して変動する。汚濁シミュレーションはこの複雑な湖沼の水質汚濁現象を数値モデル化し、汚濁要因の寄与度の定量的な解析、将来の水質予測、水質改善技術の評価等を行うことを目的として実施するものである。

上述の①、②については長期にわたる各種の観測値と詳しい流域調査が必要であるが時間的な制約から僅か1年間のデータでモデルを動かさざるを得なかった。また、④の現象を定量化するためには精度の高い分析データと各種の実験が必要であるが、本調査ではその一部が行われただけである。したがって、現段階で信頼度の高い数値モデルを作成することには無理がある。本章では下記のような内容の汚濁シミュレーションを実施したが、上述のような理由から3)については満足のいく結果が得られなかった。したがって4)、5)についても過度の信頼を寄せることは好ましくない。

- 1) 流入量及び流入負荷量の算出
- 2) 湖の水収支と滞留日数(回転数)の算出
- 3) 現況の湖の水質の再現
- 4) 対策を実施しない場合の将来の湖水質の見通し
- 5) 対策を実施した場合の湖水質の変化の見通し

7.2 汚濁シミュレーションの作業手順

汚濁シミュレーションの作業手順は図-M7201に示すとおりである。

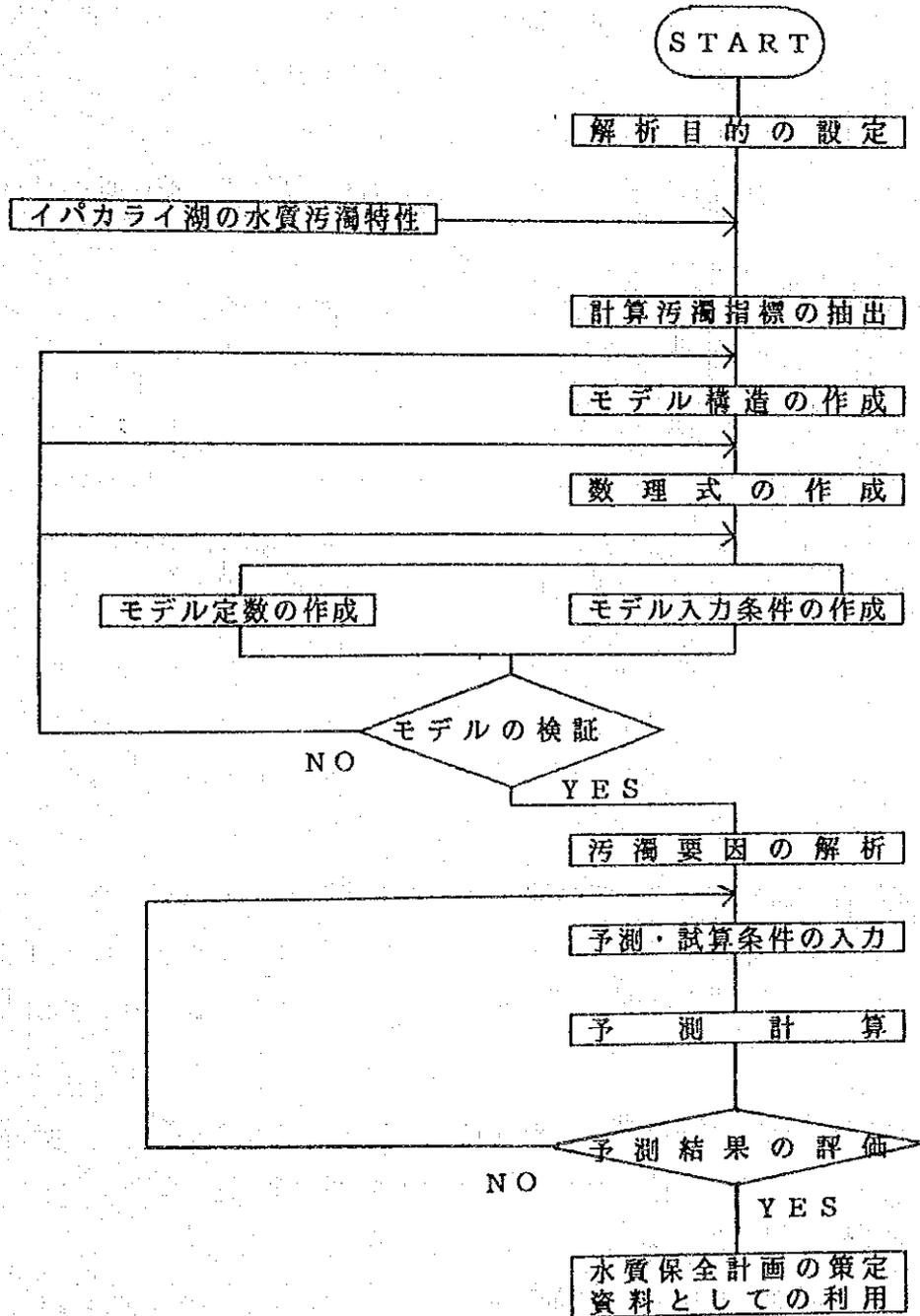


図-M7201 汚濁シミュレーションの手順

7・3 数値モデルの構造

7・3・1 モデルの選定と計算汚濁指標の抽出

湖の水質予測を目的とした数値モデルには構造の異なるいくつかの種類があるので、解析目的に適したものを選択する必要がある。イパカライ湖の場合には富栄養化現象だけでなく、底泥の舞い上がりが加わった濁りの現象も重要であるので、湖内における水質及び物質の収支と循環を解析できるモデル（物質循環モデル）を使用する。

この物質循環モデルは湖内水収支モデル、流域負荷量モデル、湖内水質遷移モデルから構成されている。

第6章で述べたように、イパカライ湖の水質を汚濁させているものは河川からの流入負荷、湖内で発生した植物プランクトンとその死滅物、底泥からの舞い上がり及び溶出物質と考えられるので、計算指標はCOD、N、P、Chl-a、SSの5つとした。

7・3・2 流入負荷量モデル

これは、流域への降雨量・点源発生負荷量・面源負荷量の発生諸条件（土地利用条件地形等）を入力条件とし、湖沼へ流入する水量及び流入負荷量を算定するモデルである。計算指標はCOD、TN、TP、SSの4つとする。

4つの流域（ジュクリ川流域、ピラジュ川流域、東岸流域、西岸流域）をそれぞれ1ブロックとして扱い、湖は湿原を含めて1ブロックとして扱う。

降雨量は日単位で整理されており、面源発生負荷量も降雨量に規制されるので、入力日は日単位とし、結果は晴天時と雨天時に分けて日単位で算出する。

7・3・3 湖内水収支モデル

これは、河川流入水量・湖面降水量・湖面蒸発量・取水量・湖水位（湖容量）を入力条件とし、河川流出水量及び湖沼での滞留日数を算定するモデルである。地下水流入量は考慮しない。計算指標は水量1つとする。

湖全体を1ボックスとして扱うが、湿原は別ボックスとする。流域は流入負荷量モデルと同様、4つのブロックに区分する。

降雨量と河川水位が日単位で整理されているので入力日は日単位とし、結果は5日ごとに算出する。

7・3・4 湖内水質遷移モデル

これはイバカライ湖に流入した負荷が湖内で沈降、分解、生産、移流、拡散、底泥からの回帰及び底泥の巻き上げ等の作用により変化する機構を定量的に表現するモデルである。

流入出水量・流入負荷量・気象条件（降水量・日射量・風向風速・気温等）及び湖内での各作用の反応定数を入力条件とし、湖内のCOD、TN、TP、SS、Chl-aの量を算定する。なお、CODについては溶解性/粒子性、TN・TPについては無機態/有機態及び溶解性/粒子性といった形態別に結果が出るように工夫する。

イバカライ湖は水平的にも鉛直的にも水質に大きな差異がないので全体を1ボックスとして扱うが、濁りによる有光層の厚さの変化が著しいので、植物プランクトンの生産に係わる反応のみ2層構造で扱う。湿原は別ボックスとする。

入力は日単位とするが，湖内での各作用の反応定数に関するデータが十分無いので結果は5日ごとに算出する。

7・4 汚濁シミュレーションによる解析結果

7・4・1 流入量及び流入負荷量の算出

流域別の年間流入量の計算結果は表-M7411に示すとおりである。ピラジュ川流域からの流入量が全体の約41%、ジュクリ川流域からが約45%で、両者の流量はほぼ等しい。平水時の流量は後者が前者の約2倍であるから、前者は洪水時の寄与が大きいことになる。

年間流入負荷量の計算結果は表-M7412に示すとおりである。CODとSSは洪水時に6～7割が流出するのに対し、TPは平水時に約6割が流出している。TNは洪水時と平水時の流出量がほぼ半々である。

いっぽう、流域別に見ると、ジュクリ川流域の寄与が最も大きく、CODの約4割、TNの約5割、TPの約6割、SSの約4割が流入している。

表-M7411 湿原を含む湖水域への年間流入水量

	ピラジュ	東岸流域	西岸流域	ジュクリ	合計
雨量 (mm)	1485	1484	1522	1488	1485
面積 (km ²)	351.9	75.2	60.2	328.2	815.5
流域供給水量 (×10 ⁶ m ³)	523	112	92	475	1211
河川流入水量 (×10 ⁶ m ³)	136	25	21	149	331
流出係数	0.26	0.22	0.23	0.31	0.27

湖面直接降雨量は1479mm (1988年3月1日～1989年1月30日)

表-M7412 湿原を含む湖水域への年間流入負荷量

	ピラジュ	東岸流域	西岸流域	ジュクリ	合計
COD (×10 ³ kg)	2682 (75.2)	994 (78.7)	1034 (77.6)	5182 (48.3)	9812 (62.2)
TN (×10 ³ kg)	107 (53.3)	44 (59.1)	43 (67.4)	180 (43.9)	374 (51.1)
TP (×10 ³ kg)	19.3 (42.5)	9.3 (76.3)	10.9 (74.3)	54.9 (26.0)	94.4 (40.9)
SS (×10 ³ kg)	6864 (67.0)	2747 (84.5)	2793 (84.6)	7955 (57.3)	20359 (68.0)

()内の数字は洪水時の寄与率

7・4・2 湖の水収支と滞留日数(回転数)の算出

湖の水収支の計算結果は表-M7421に示すとおりである。湖面への直接降雨量と蒸発量はほぼつりあっている。

河川による流入量に湖面への直接降雨量を加えたものを湖容量で割って滞留日数(回転数)を求めたところ、152日(2.4回/年)となった。この数字はイバカライ湖が停滞性の強い水域であることを示している。

表-M7421 湖の年間水収支

湖面積	59.6km ²
湖容積	1.38×10 ⁸ m ³
流入水量	
湖面直接降雨	0.88×10 ⁸ m ³ (1,479mm)
河川流入水	3.30×10 ⁸ m ³
流出水量	
蒸発	0.91×10 ⁸ m ³ (1,529mm)
河川流出水	3.28×10 ⁸ m ³

7・4・3 現況の湖の水質の再現

選定した数値モデルを用いて1988年3月～1989年2月までの水質を算出したところ図-M7431のようになった。

Chl-aの計算値と実測値（湖内の平均値）を合わすことに努めたところ、他の水質項目については現況を十分再現する結果とはならなかった。

しかし、Chl-aの現況再現の結果から、湖内での生産と分解のテンポが早く、それが湖水質に大きな影響を及ぼしていることが推測される。これは、光・水温・栄養塩類濃度がいずれも生産に十分なだけ存在しているためであろう。

7・4・4 対策を実施しない場合の将来の湖水質の見通し

現況水質の再現で固定された数値モデルを用いて、対策を実施しない場合、どの程度湖水質が悪化するかをCODを指標として試算した。

気象・水文条件は1988年3月～1989年2月の状況が毎年繰り返されるものとし、①流入負荷量が毎年2%の割合で増加する場合、②それに加えて底泥の悪化により底泥からのCODの溶出速度が毎年2%の割合で増加する場合の2ケースについて、2010年まで湖水のCOD濃度の推移を算出した。

結果は図-M7441に示すとおりで、①の場合には2010年の湖水のCOD濃度は年平均で現在の1.5倍近くに、②の場合には2倍近くになると予想される。

7・4・5 対策を実施した場合の湖水質の変化の見通し

他の条件は現在と同じとして、①流入負荷量を現在の1/2に削減するような対策を実施した場合、②湖内のIN、IPの平均濃度を現在の1/2に低下させるような対策を実施した場合、③水質の最も悪いジュクリ川の水が湖へ流入しないように放水路を設置した場合、④湖内での生産速度をゼロとした場合の4つのケースについて、湖水質がどの程度変化するかを試算した。

結果は図-M7451に示すとおりである。①、②、③の3ケースとも湖水質はわずかしこ改善されないのに対して、④ではCOD・SSともに濃度が著しく低下する。このことから、内部生産が湖水質を大きく規定していること、湖水質のみの改善を目指すのであれば内部生産を抑制する対策が最も効果的であることが分かる。

ところで、内部生産を抑制するためにはIN、IPの濃度を低下させるか有光層を薄くするしかない。しかし、②の結果で分かるように、湖内のIN、IPの濃度を現在の1/2に削減した程度では内部生産はほとんど抑制されない。また、湖内のIN、IP濃度を削減するためには流域からのN、Pの流入を削減しなければならない。

いっぽう、有光層を薄くするという事は、日射を遮るか湖水の濁りを高めることを意味するので現実的な対策とはなりにくい。

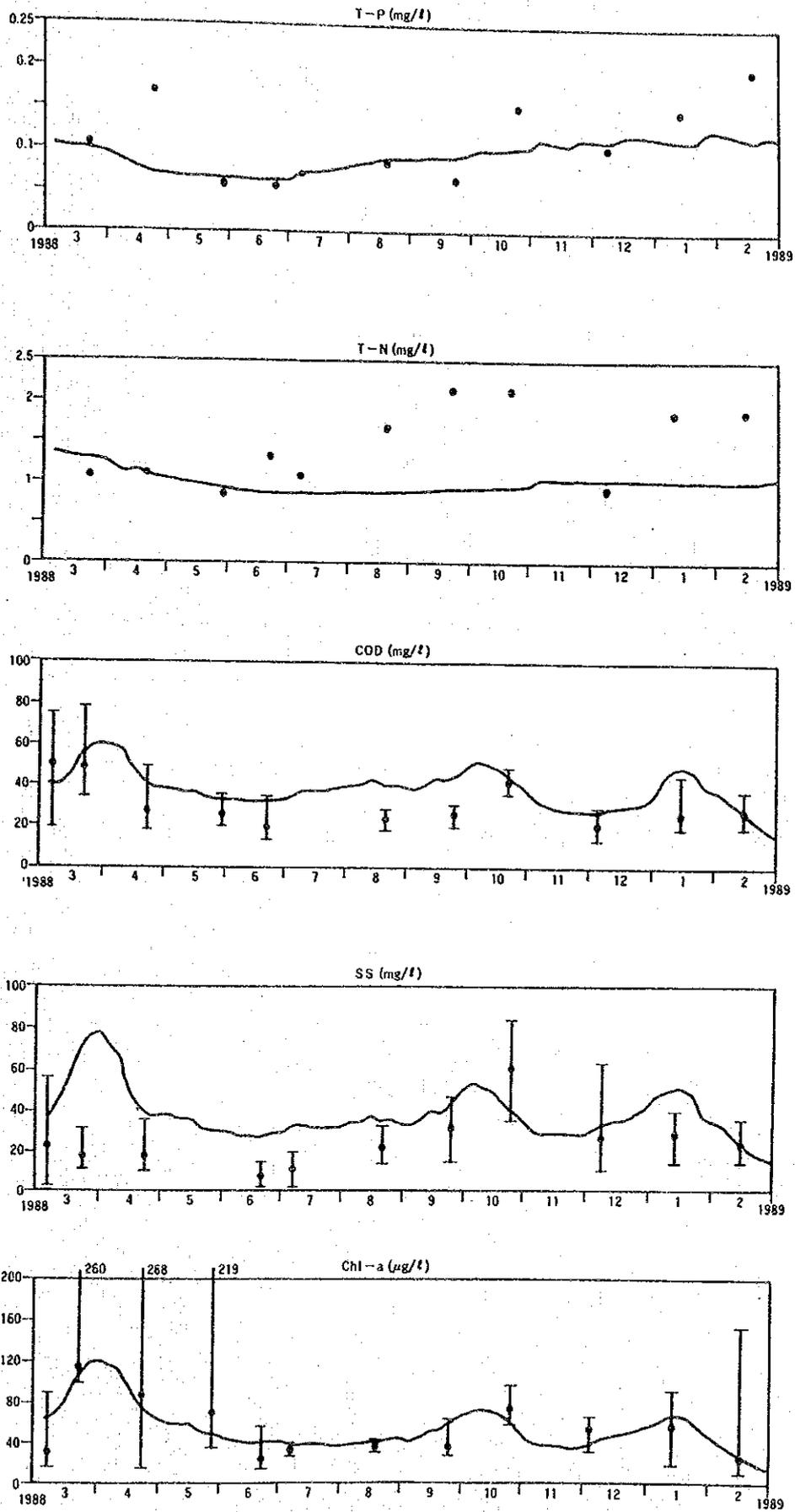


図-M7431 汚濁シミュレーションによる現況水質の再現結果

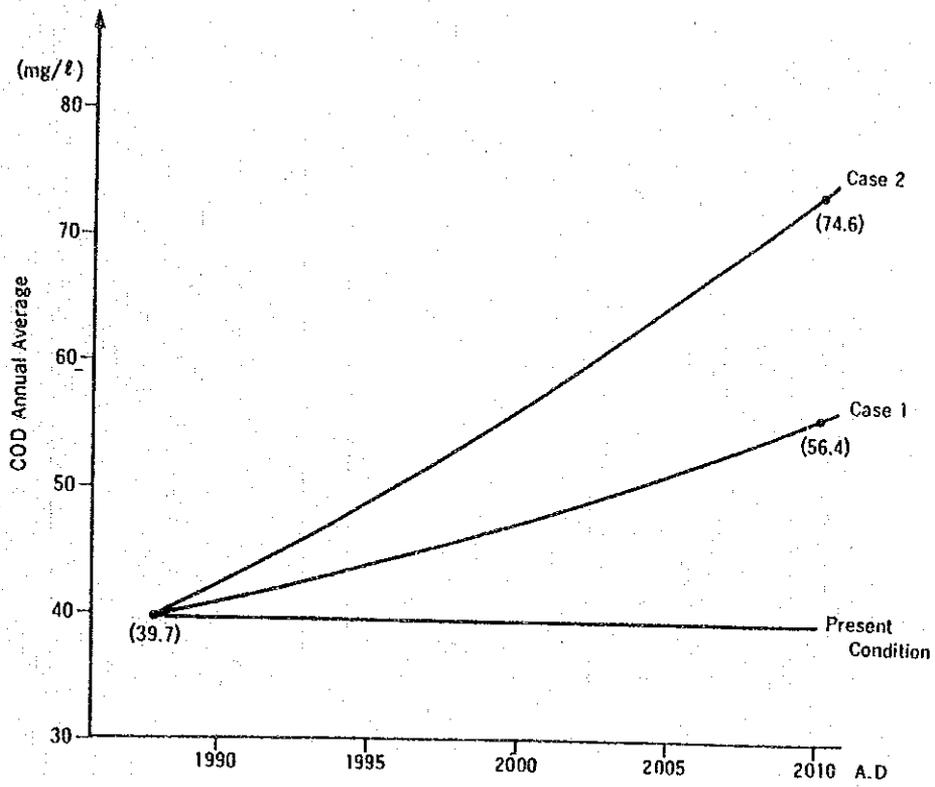


図-M7441 対策を施さない場合の湖水のCODの増大

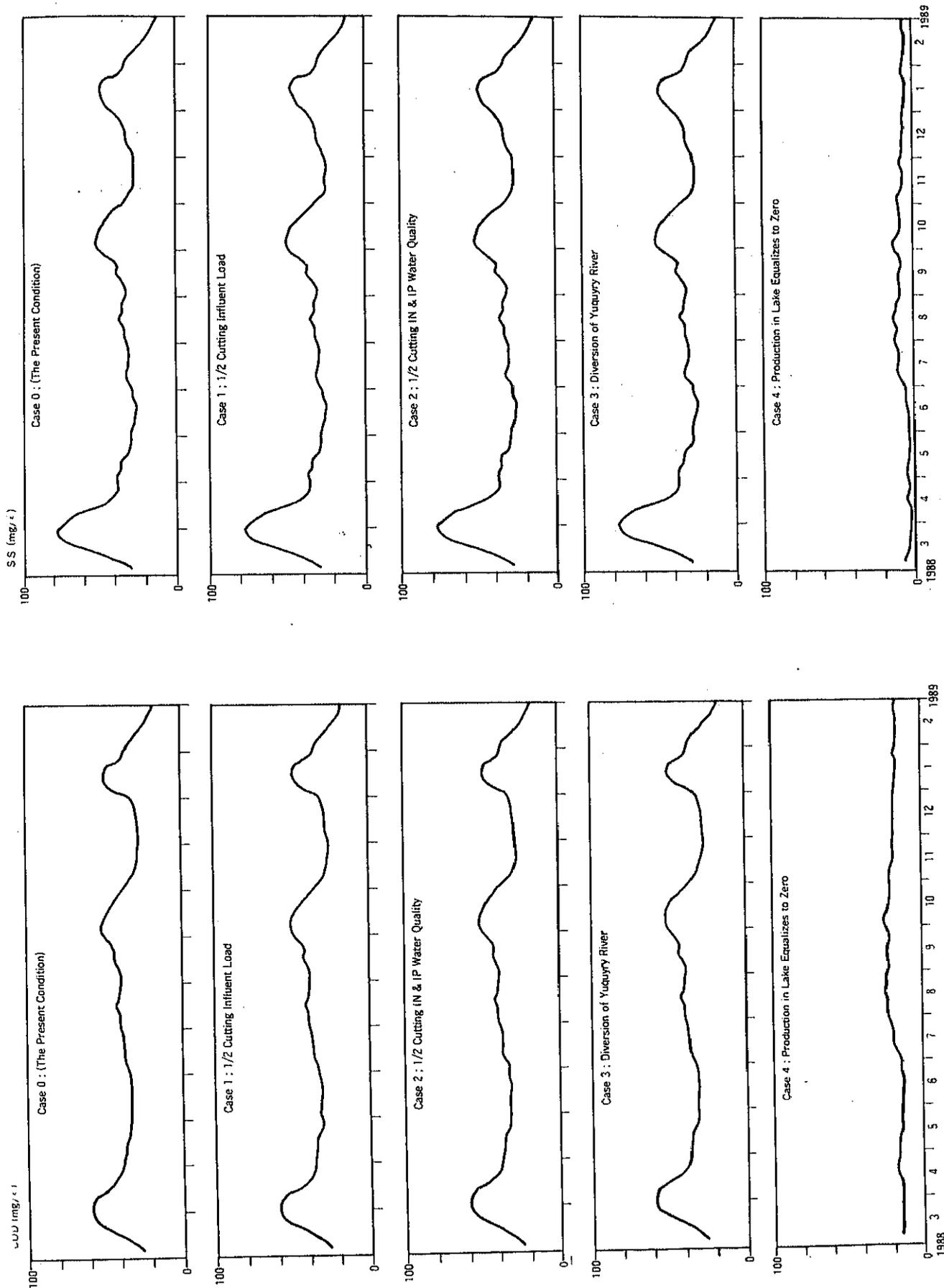


図 - M 7 4 5 1 対策を施した場合の湖水質の変化

