

諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究

倉沢秀夫・他 (JIBP-PF・諏訪湖研究グループ)

Studies on Productivity of Communities

in Lake Suwa

Hideo KURASAWA and others (JIBP-PF Research Group of Lake Suwa)

目 次

- I 研究の概要(目的, 研究組織と内容, 方法, 湖の一般的特性)
- II 諏訪湖の生物群集の生態学的特性
 - 1. 非生物環境(水温, 光, 酸素, 栄養塩, 沈澱物など)
 - A 各種要因の季節変化
 - B 各種要因の日変化と水平分布
 - C 湖における流入, 流出の流量と栄養塩の収支
 - 2. 生物群集(大型水生植物, プランクトン, 底生動物, 魚類, 細菌)
 - A 現存量
 - B 一次生産速度
 - C 分解速度
 - D 沈澱速度
 - E 栄養塩の底泥からの回帰
 - F 生態系内の各要素の相互関係
 - 3. 富栄養化による湖沼生態系の変化
- III 諏訪湖の物質代謝の特性
 - 1. 窒素を中心とする一次生産と分解の関係
 - 2. 湖水中の有機物の化学と収支
 - 3. ガス代謝からみた物質循環
- IV まとめ
- V 参考文献
- VI Summary

諏訪湖研究グループのメンバーと協力者は次のとおりである。

研究参加者: 安達六郎(三重大水産)・青山莞爾(東邦大理)・福島 博(横浜市大文理)・半田暢彦(名大理)・林秀剛(都立大理)・堀江正治(京大理)・生島功(千葉大理)・小林艶子(横浜市大文理)・小泉清明(元・信大織)・小山忠四郎(名大理)・窪田衛二(信大理)・倉沢秀夫(信大理)・前田 修(東教大理)・沖野外輝夫(信大理)・坂本 充(名大理)・桜井善雄(信大織)・手塚泰彦(都立大理)・富野孝生(三重大教)・渡辺義人(信大織)・矢木 博(日大農獣)・山岸 宏(帝京大医)(以上登録者)・磯部吉章(東邦大理)・佐藤 修(名大理)・田中秀幸(東北大)・山本満寿男(信大織)・古田能久(淡水研)

(大学院生) 浅野裕三(信大織)・福原晴夫(名大理)・林 昶子(信大織)・益子計夫(名大理)・丸山泰男(信大織)・松永捷司(名大理)・水野恭佑(名大理)

(学部学生) 橘爪 淳(信大織)・林 文俊(信大織)・細野道太郎(信大理)・永田泰雄(信大織)・奥田 稔(信大織)・為政園野(信大理)・寺島恆雄(信大理)・牛山 保(信大理)・吉川正武(信大理)

研究協力者：市村俊英（東教大理）・河端政一（静大理）・小山長雄（信大織）・友田淑郎（国科博）

謝辞：この長年の研究にあたり、京都大学森 圭一教授、長野県水産指導所名東 実 諏訪支所長の各位と信州大学理学部付属諏訪臨湖実験所、諏訪漁業協同組合、諏訪生簀組合ならびに諏訪測候所の各位から多大の御援助と御協力をいただいた。また、研究実施作業にあたっては、東京都立大学理学部、信州大学理学部、繊維学部の学生諸君や藤森武治氏の御支援をえた。記して感謝の意を表する。

Ⅰ 研究の概要

Ⅰ-1 研究目的

諏訪湖は、JIBP-PEの調和型湖沼の生物群集の生物生産力に関する研究のうちで、日本における典型的な富栄養湖として選定された。そして諏訪湖研究グループは、予備調査と数回の会合による討議により、この湖の特徴である一次生産（主として植物プランクトン）とその分解の rate と mechanism を、非生物環境との関連のもとに明らかにし、併せてラン藻発生による異常な一次生産が、二次および魚類の生産にどのような影響を与えるかの問題についても研究を進める方針を定め¹⁾、1968年から1972年まで研究や実験を続行した。

Ⅰ-2 研究組織と研究内容

上述の研究目的に沿って、一次生産、分解および二次生産と魚類の三つの研究班を作ったが、常に共同して調査を行うようにし、観察測定した資料は共通利用できるようなしくみにした。

実施された研究内容を要約すると図1の如くで、この図は右側に示す生物群集の種類組成、現存量で

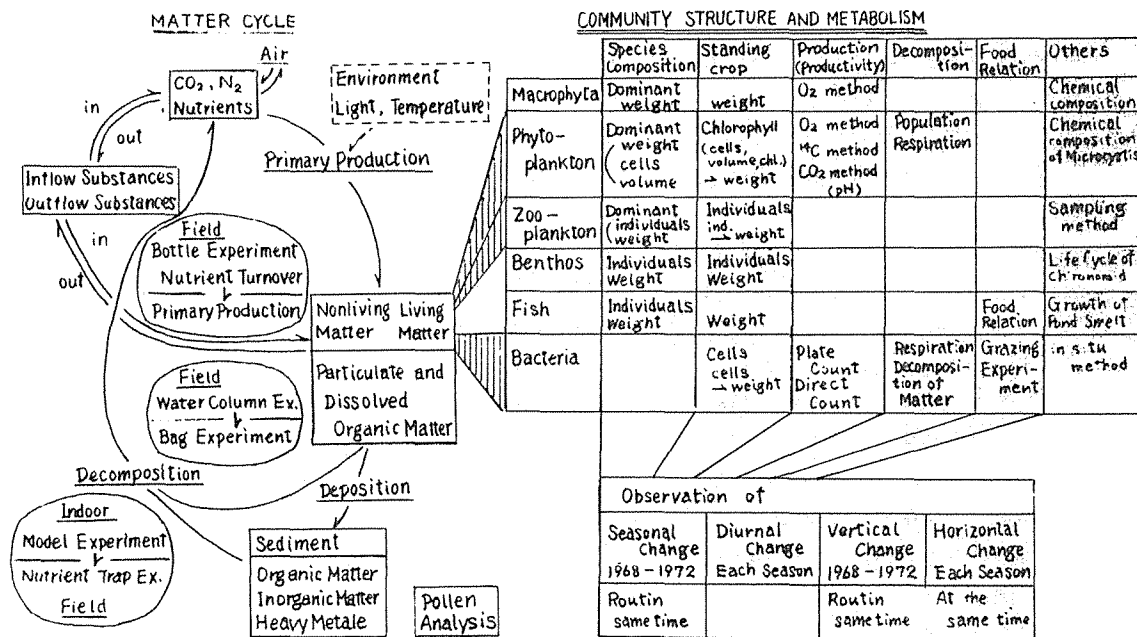


図1 諏訪湖研究グループの行った研究内容略図、図中右側の四角内は現存量の研究内容を、左側の円内は野外実験を、矢印は物質の流れを示す。

表わされた生態系の構造研究にはじまり、左側に示す生物群の生産と分解の速度から生物群を中心とした物質の収支や、湖全体の物質の循環を示した生態系の機能の研究と野外実験に至る、全般的な研究の流れと各研究のつながりを画いたものである。

1-3 研究方法

一般観測方法：水温（サーミスター）、水中光度（セレンニウム光電池水中照度計）、透明度（セッキン円板）、溶存酸素（ウインクラ法）、溶存全炭酸（赤外線分析計）²⁾、pH（電極法）、採水（バンドン採水器）、採泥（エクマン・バージおよび柱状採泥器）

栄養塩分析法：NH₄-N（インドフェノール法）³⁾、NO₃-N（銅-カドミウム還元法）⁴⁾、NO₂-N（スルファニルアミド、ナフチルエチレンジアミン法）⁴⁾、PO₄-P（アスコルビン酸混合単一試薬法）⁴⁾、SiO₂（Na₂ 汚液、モリブデンイエロー法）、SiO₂を除いてはワットマンGF/C汚液について分析。

有機物分析法：DOC（GF/C汚液、重クロム酸カリウム-濃硫酸法）⁴⁾、POC（GF/C汚紙上残渣、柳本CHNコーダー使用）、DON（GF/C汚液、紫外線照射法-NO₃-Nの分析法）、PON（GF/C汚紙上残渣、柳本CHNコーダー使用）。

セストン（GF/Cフィルター又はミリポアマイクログラスファイバーフィルターの汚紙上残渣、乾重量）。

新生沈澱物（直径15 cmのプラスチックロートをつけた三角フラスコで捕集）⁵⁾。

生物採集法：現存量測定法：植物プランクトン（原水ホルマリン又はルゴール固定、検鏡、細胞数および容積算出）⁶⁾、クロロフィル（GF/Cグラスファイバーフィルター汚過、90%アセトン抽出、分光光度計、Strickland & Parsonsの式で算出）、大型水生植物（金網つきレーキで採集し密度と面積から重量）、動物プランクトン（XX 17層別採集ネット、個体数より重量）⁶⁾、底生動物（エクマンバージ採泥器、金網フルイ、ホルマリン固定、個体数と重量）^{7, 8)}、魚類（刺網、投網、魚探）^{9, 10)}、浮遊性細菌（plate count, direct count, 現存量はdirect countから算出）¹¹⁾。

生産量と分解量の測定法：一次生産量（in situ 24時間、酸素法、¹⁴C法）、分解量（in situ 酸素法）¹²⁾、細菌生産量（in situ, direct count）。

野外実験法：Bag実験¹³⁾、Nutrient trap実験¹⁴⁾、栄養塩の泥からの回帰実験¹⁵⁾。

観測地点：小坂定点（湖南東部）、小坂地区沖合約500 m、水深約5 m地点で、特に地点名を指定してない限り、本研究ではすべてこの定点で採集測定がなされたことを示す。

測定時刻：定期観測（ルーチン）は午前8時頃より午前10時頃までに限って採集測定が実施され、データを揃えるよう留意した。また水平分布調査においても、できるだけ同時観測と採集ができるように配慮した。

実施研究期間：1968年（昭和43年度）より1972年（昭和47年度）に至る5ヶ年間に亘り研究を実施した。

1-4 湖の一般的特性

諏訪湖は日本列島本州の中央部に位し、面積は1445 km²、最大深度6.5 m、平均深度4.1 mの浅い湖盆形態をもち、しかも大小26の主要流入河川の流域は512 km²にも及ぶが、流出河川は天龍川のみである¹⁶⁾。そしてこれらの条件は水面高度が759 mの高所にありながらもこの湖が富栄養化が急速に進む運命を定めるものであった。明治中期に行われた湖沼学研究¹⁷⁾において、すでに中栄養湖の末期に当る徴候があったが、その後の周辺都市の産業発達と人口増によって、湖水が著しく汚染されて典型的な富栄養湖になり、1960年代にはラン藻（*Microcystis*）の大発生が毎年おきるまでに過度に富栄養化し、今日に至っている。尚上記湖面積はその後の埋立で縮少し研究実施期中は14.1 km²になり、容積は64 × 10⁶ m³となった。

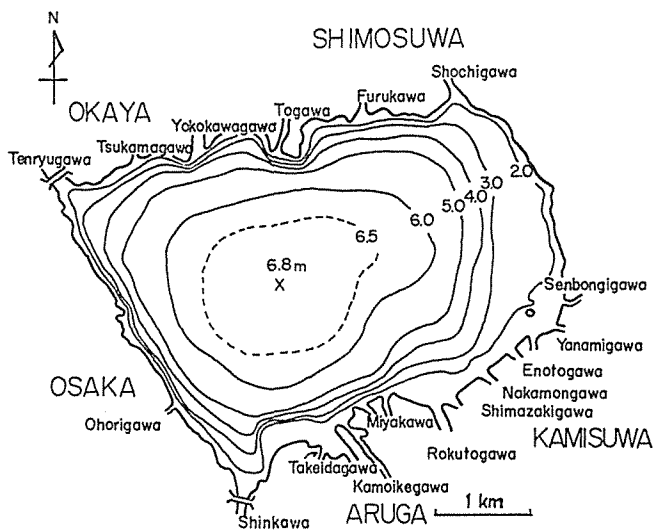


図2 諏訪湖と流入流出河川

Ⅱ 諏訪湖の生物群集の生態学的特性

Ⅱ-1 非生物環境

Ⅱ-1-A 各種要因の季節変化

Ⅱ-1-A-a 水温

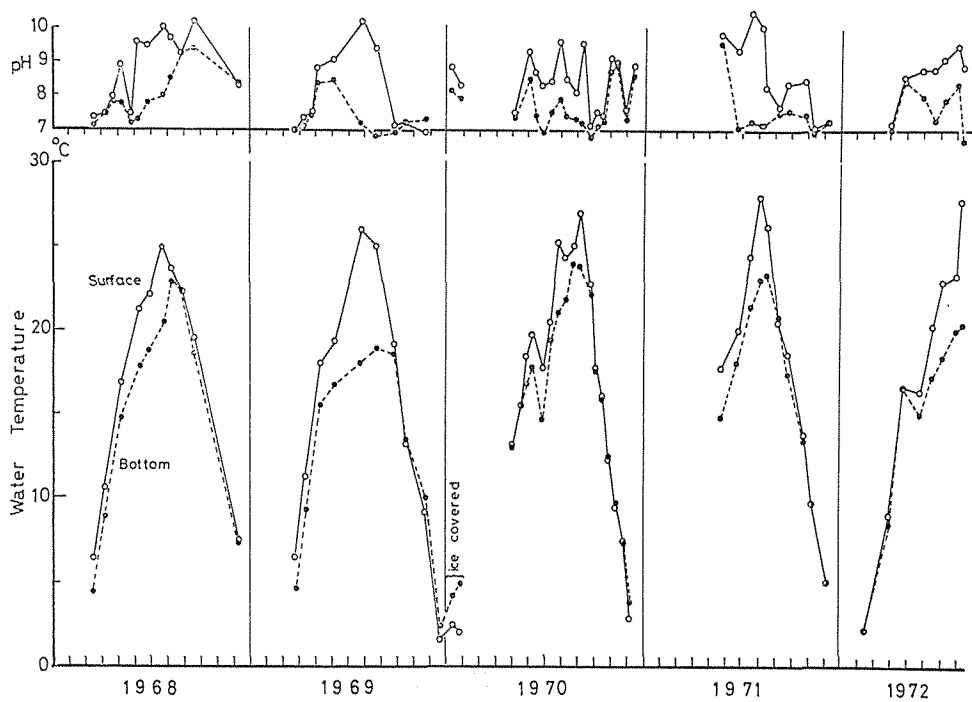


図3 水温の経年の季節変化

1968年より1972年に至る毎年の季節変化^{11,12,18,19)}(図3)によれば、午前7~10時における表面水温は、最低は冬(12月~1月)の1~2°Cで、最高は7月~8月の25~28°Cであり、底層(5m深度)との水温差の最大は1968年6月に7°Cを記録した。そしてこの年は夏においても底層水温が20°C以下であり、ラン藻の大発生による著しい水の華現象はみられなかった。²⁰⁾湖の全面結氷が1ヶ月以上つづき、しかも氷上で調査できたのは1970年の1月から2月にかけてであった。結氷下の水温差は表層で低く、底層で高い逆列成層を示し差は約3°Cであった。水温の垂直分布の季節変化(図4)¹¹⁾をみると夏季の停滞期は5月中旬よりは

じまり、6月梅雨期に一時乱れるが7月、8月は完全停滞し成層する。9月台風シーズンと共に秋季循環期に入り結氷期の1月、2月の停滞期までつづく。解氷と共に春季循環となり5月に至る。しかし諏訪湖は浅いため、たとえ完全停滞期といえども、8~10m/secの風で成層は容易にこわされ上下混合がおこる。そして1日のうちに水温成層が形成される。冬期結氷しない年は冬季停滞期を欠く。

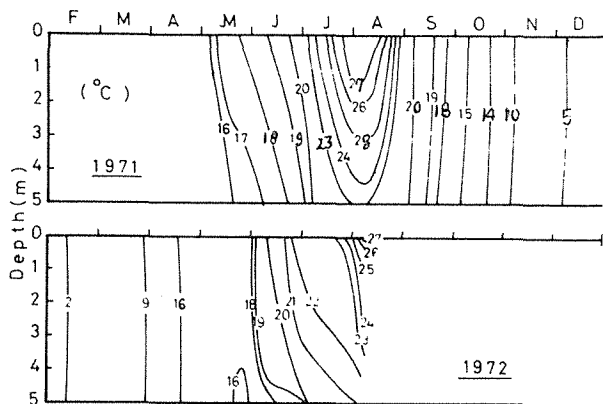


図4 水温の垂直分布の季節変化

II-1-A-b 透明度と水中照度

1968年から1972年に至る5年間に おいて(図5)、年間1m以上の透明度を保持した年は1969年であるが^{11,12,18,19)}、この年は前述のようにラン藻類の発生が比較的少なく、約20年以前²¹⁾の1948年のそれとほぼ同様の値である。その他の年は5~10月までは1m以下で、1968年と1970年の9月~10月には20cm以下、11~4月までは1m以上である。また結氷期は2m前後の値がえられている。

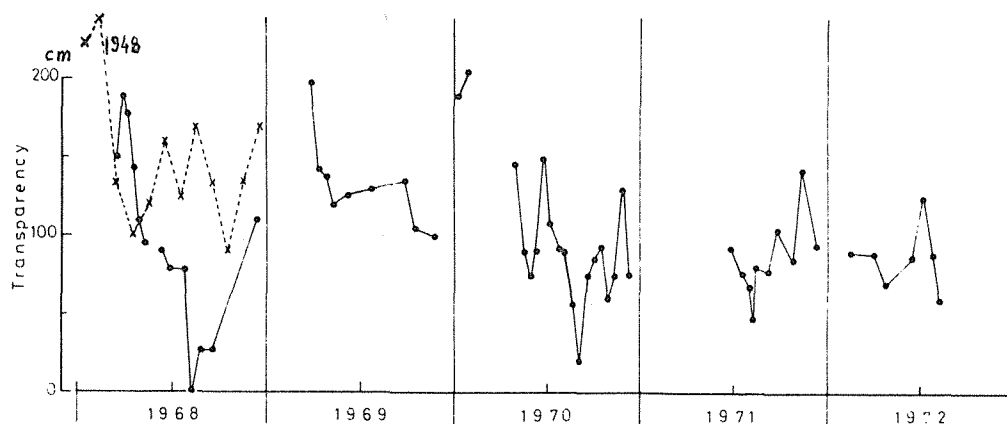


図5 透明度の経年の季節変化

水中照度は、表面光100%として各深度の相対照度の季節変化¹²⁾は図6のようである。補償点の照度といわれる1%の深さは、春から夏にかけてはほぼ3m深度であるが、盛夏のプランクトンの最多期には1m深度にまで浅くなる。秋は春より浅く2m附近になっているが、後述するごとく総生産量が春

から夏にかけて高く、秋は春より低いのは、生産層の厚さの違いに起因しているかも知れない。

II-1-A-c 溶存酸素, 全炭酸, pH

溶存酸素: 1968年から1972年までの経年の季節変化で^{11,12,18,19)}(図7), 表面水の最大と最小は1970年9月にえられ

前者は9月3日に18.50ppmが後者は9月17日の4.16ppmで、それぞれ260%および54.6%が記録された。そして一般的にみて春と秋は低くなり、夏季と冬季に高くなる傾向がある。底層の酸素量は、夏

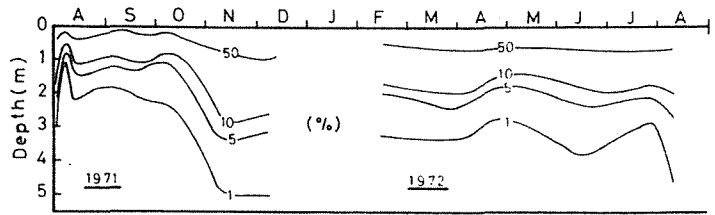


図6 水中相対照度の季節変化

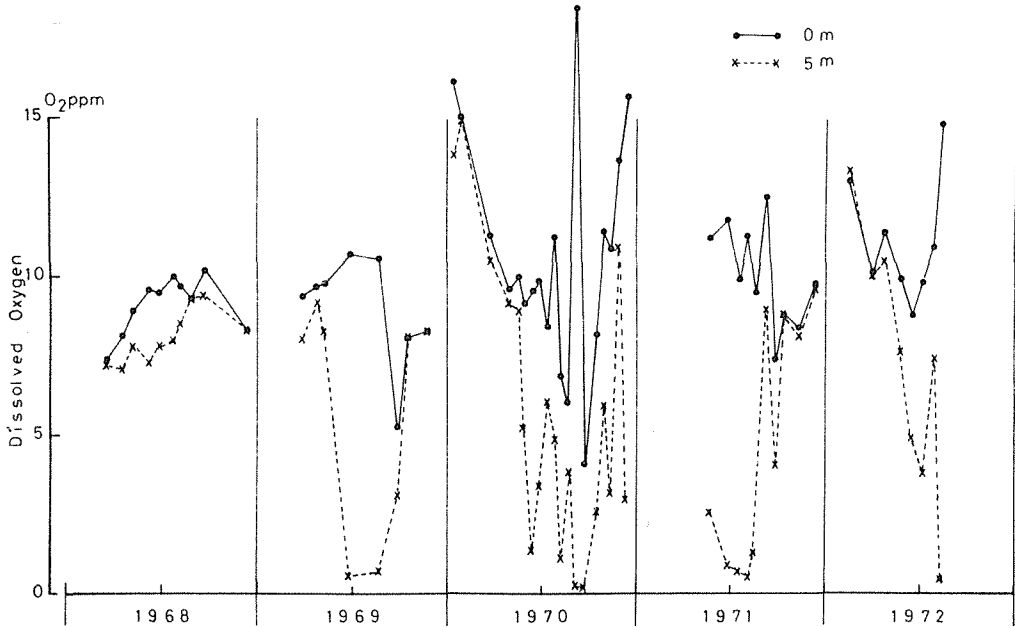


図7 溶存酸素量の経年の季節変化

は著しく少なくなるときには0 ppm近くに減少し表層との差は最大となるが、秋から冬を経て春に至るまでは表層と大差のない値を示す。しかし1968年は夏季においても著しい低下はみられず、また表層も著しい増大がないので、他の年と違う様相を呈している。各層の酸素量の垂直分布の季節変化¹²⁾は図8のようで、上下の差の顕著にみられる期間は、6月下旬より9月上旬で水温における完全停滞期とほぼ一致する。この図によれば、夏季の表層と底層との差は12~14 ppmにも達し、底層は0 ppmに近くなるが、風による湖水の攪拌が常におこるので短期間しかつづかない。

全炭酸: 垂直分布の季節変化¹²⁾(図9)をみると、表層で少なく成層期には深層で多い。しかし溶存酸素量にみる程の大差はない。最大は8月に9~10 ppm(底層)が、最少は3月に2~3 ppm(表層)がえられ、秋から冬を経て春にかけて著しく低下している。これらの値からみて、夏季の光合成の盛んな時期においても、その制限要因となる程には減少しないと思われる。

pH: 1968年から1972年に至る表層と底層の季節変化^{11,12,18,19)}(図3)および垂直分布の季節

変動¹²⁾(図10)によれば、表層は年間を通じて7~10の間を変動し、7月上旬より8月中は高く、特に *Microcystis* の最盛期には日中11を越えることもある。底層は表層に比べて変動巾は小さく、9を越えることは希である。全層が7前後を示す期間は11月中旬から冬季を経て3月下旬頃までである。

II-1-A-d 溶存無機栄養塩

Nの栄養塩の季節変化¹²⁾は図11のようで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は年間2~30 $\mu\text{g atom/l}$ の変化が

みられ、6月と9月に底層で大きな値がえられる。表層の最大は16 $\mu\text{g atom/l}$ 、底層のそれは30 $\mu\text{g atom/l}$ を示す

6月であるが、冬季は最少である。

$\text{NO}_2\text{-N}$ は年間0.4~2.1 $\mu\text{g atom/l}$ でピークは7月と9月にみられ、垂直分布の変動が大きい。

$\text{NO}_3\text{-N}$ は0.2~0.6 $\mu\text{g atom/l}$ の変動巾を示し、4月、7月下旬および10月にピークがあるが、上下の変化は7月下旬が著しい。

$\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度は6月の底層で高く、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ が7月下旬に増えるのは、季節変化に伴うN化合物の酸化過程を示すものであろう。

$\text{PO}_4\text{-P}$ は年間に0.1~1.0 $\mu\text{g atom/l}$ (図12)の間を変動し冬季は多い。¹²⁾他の季節は0.1~0.4 $\mu\text{g atom/l}$ で、*Microcystis*の大発生は特に減少する。

SiO_2 は表層でみると、2.0~2.4 ppmの範囲で年間に変動し、珪藻の増殖期の5月、11月は少なく、特に5月は最多期の1/10に減少する。

一方ラン藻の最盛期と冬季には増大する。¹²⁾

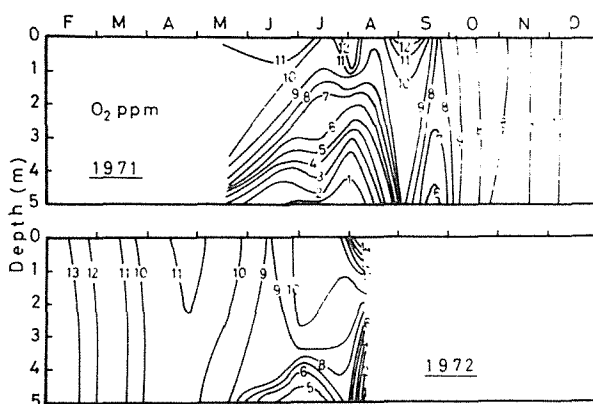


図8 溶存酸素量の垂直分布季節変化

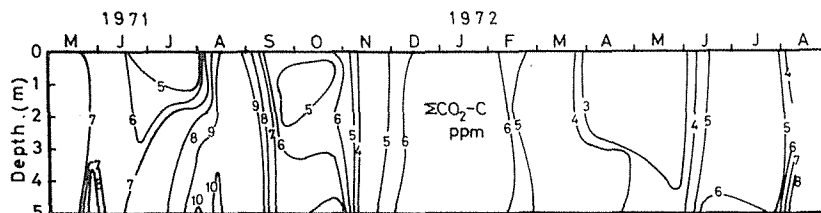


図9 全炭酸量の垂直分布季節変化

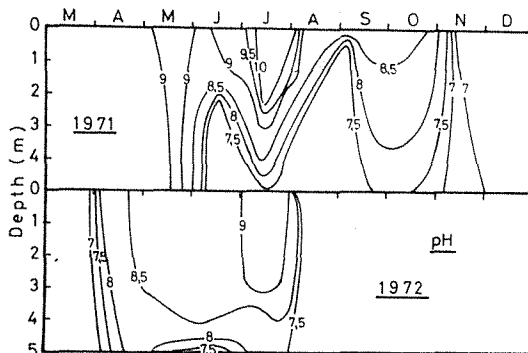
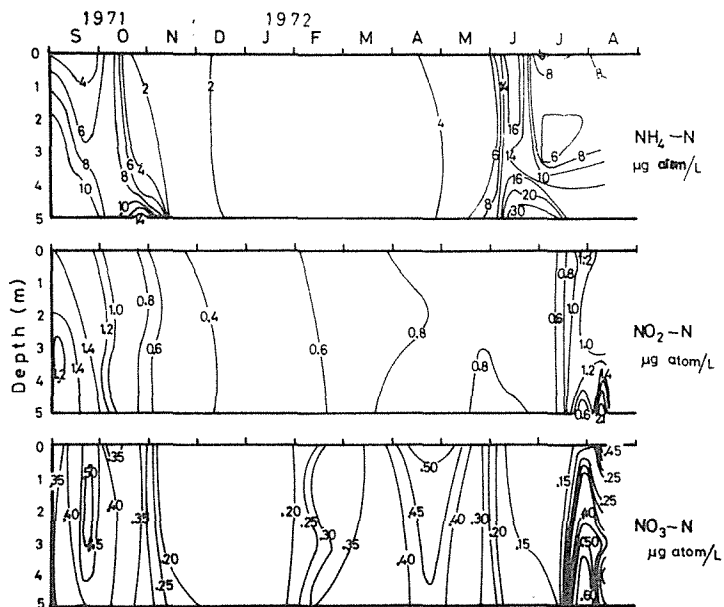
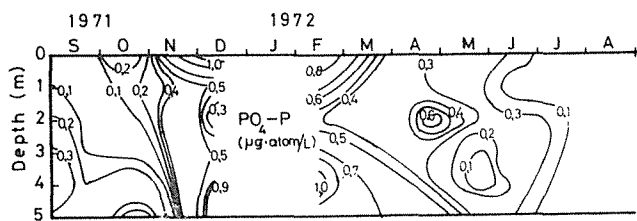


図10 pHの垂直分布季節変化

図 11 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の垂直分布季節変化図 12 $\text{PO}_4\text{-P}$ の垂直分布の季節変化表 1 SiO_2 の垂直分布の季節変化 (ppm)

Depth	1971 XI-10	XII-8	1972 II-15	IV-23	V-26	VI-13	VII-2	VII-27	VIII-9
0m	7.5	14.2	23.5	15.1	2.0	22.5	18.5	16.5	20.7
1	9.4	19.9	21.4	27.3	1.8	21.2	18.0	17.1	19.1
2	9.5	19.1	15.6	31.1	2.2	18.2	16.5	19.9	20.9
3	8.6	20.9	18.0	30.7	2.4	19.8	17.0	21.4	21.2
4	7.4	19.1	12.3	22.6	2.2	21.2	30.1	21.4	23.6
5	6.3	20.9	13.9	25.1	2.4	26.8	36.9	22.0	28.9

II-1-A-e 溶溶性有機物とけん濁性有機物

C化合物 (図 13) では溶溶性有機態 C (DOC) は $1.8 \sim 3.6 \text{ g/m}^3$ の年変動があり、春季と夏季は多く冬季は少ない。¹²⁾ けん濁性有機態 C (POC) は $1.5 \sim 4.6 \text{ g/m}^3$ で、DOC の年変動と同様な傾向を示す。全炭酸の C は DOC や POC よりも変動巾が大きく、 $2.8 \sim 9.3 \text{ g/m}^3$ で最高は 8 月に最低は 5 月にみられた。¹²⁾ 以上 3 者の季節変動を対比するとき POC, DOC のピーク (7 月) が 8 月、9 月へと減少するとき

全炭酸が増大しているが、これは有機物が無機化する過程を示すものであろう。

N化合物¹²⁾(図14)では、溶存性有機N(DON)は0.11~0.56 g/m³, けん濁性有機態N(PON)は0.33~0.89 g/m³の年間の変動巾をもち、後者は夏に多く秋から冬に少ない。これに対し溶存性無機態N(DIN)は0.21~0.84 g/m³で、PONの増減と相反関係を示す。

12)

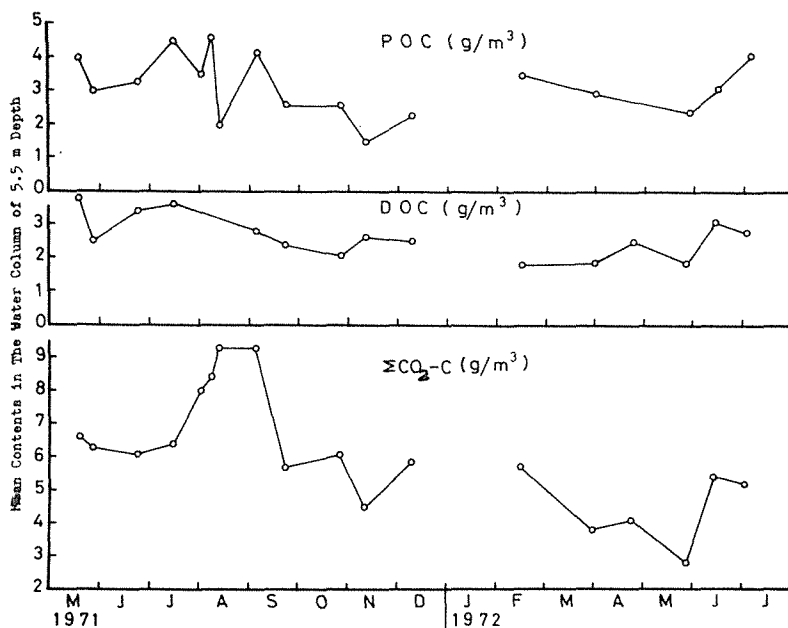


図13 POC, DOC, ΣCO₂-Cの季節変化

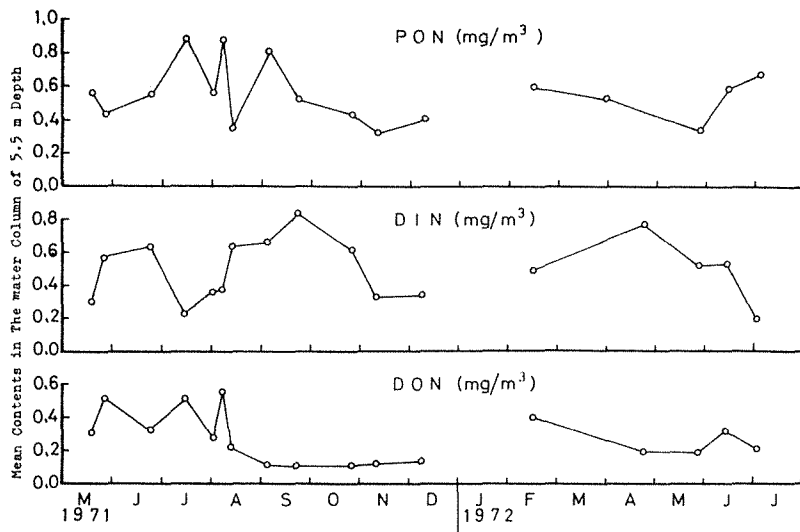


図14 DON, PON, DINの季節変化

II-1-A-f 湖底堆積物中の炭素, 窒素, リン

湖底泥の柱状試料の全C, 全N, 全Pの分析は²²⁾CとNについては、60℃で乾燥し試料を粉末にして、C・H・Nコーダーを使用した。全PはHF+HNO₃混液で処理した後、白金ルツボ中の試料を塩酸で溶かし、PO₄-Pの測定をした。

図15は泥の深さ0~10cmの柱状試料を5mmまたは1cmの間隔で分析した結果である。全Cは4.2~6.1%の変動巾を示し、採集した試料範囲では、深くなるにつれて減少する傾向がある。また全Nは、0.55~0.8%, 全Pは0.03~0.11%の範囲の値がえられ、そして全Cと同傾向の減少を示すが、全Cに

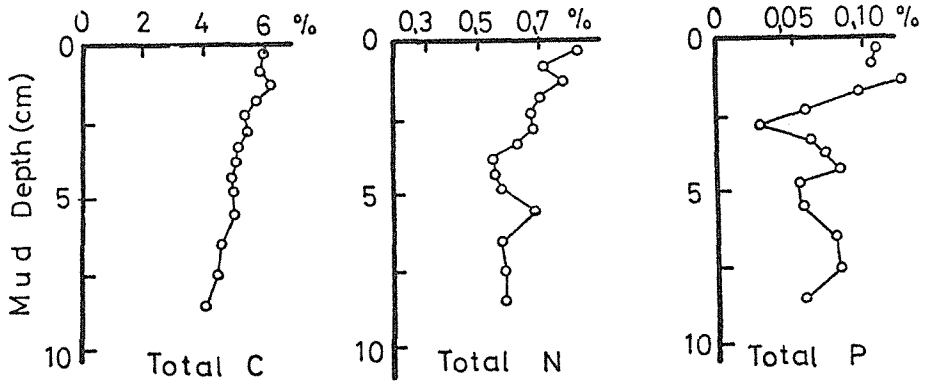


図15 底泥中の全炭素, 全窒素, 全リンの垂直分布

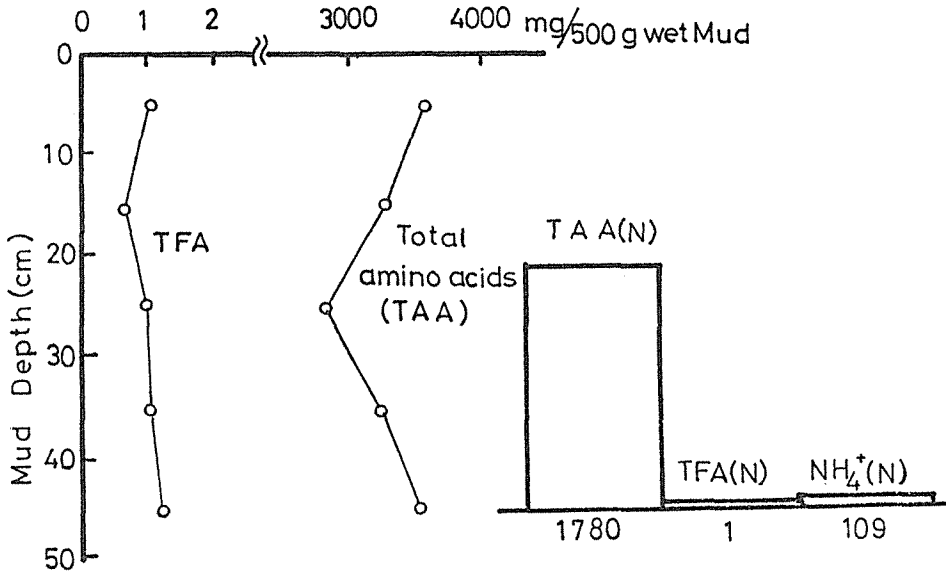


図16 底泥中の全アミノ酸および全遊離アミノ酸の垂直分布

比しより早く泥の深部の値の一定値に近づく。この事実は有機物分解が有機態C<有機態N・P傾向を示しているものと考えられる。²²⁾

底泥表層部(泥の深さ0~50cm)の遊離アミノ酸(TFA)の測定は, Siegel A. & E.T. Degens (1966)²³⁾により, NH₄-Nはマイクロケルダール法によった。図16はその測定結果である。TFAは0~50cmの間では約1~1.2mg/500mg wet mudの値を示し, 深さによる変動は少なく, さらに全アミノ酸は3~4g/500mg wet mudであった。また表層堆積物中のNH₄⁺-Nは36mg/500mg wet mudであるから, 全アミノ酸態N:遊離アミノ酸態N:NH₄⁺-N=1780:1:109となる。この数値は中間生成物と考えられるTAFが, 速やかにNH₄⁺にまで分解されて底泥にとどまり, やがて水中に回帰されるものと考えられる。

II-1-B 各種要因の水平分布と垂直分布の日変化

II-1-B-a 透明度と溶存無機態窒素の水平分布

透明度の水平分布は、湖面にほぼ均等に定められた12の測定地点で大体同時刻に観測されたものである。この図17は、午前7時に吹いていた北西または北東の風が、午後1時まで継続した状態の分布図で、風上で大きな値(140~170cm)が、風下では(100~120cm)小さな値がえられる事を示す。²⁴⁾ この透明度の不均等分布は、主として表層に浮上しやすい *Microcystis* が、風によって風下に吹きよせられることが原因している。

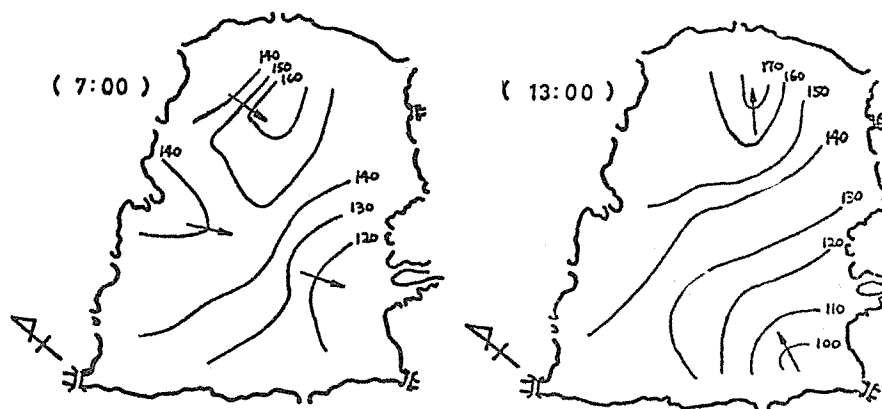


図17 透明度水平分布の経時変化(1969,7,22)

図18は溶存無機態Nの表層分布と底層分布の水平的な違いを示したものである。表層は0.2~0.6 ppmの濃度差がみられ、湖南部より湖北部に向い高まるが、底層は0.5~0.9 ppmで表

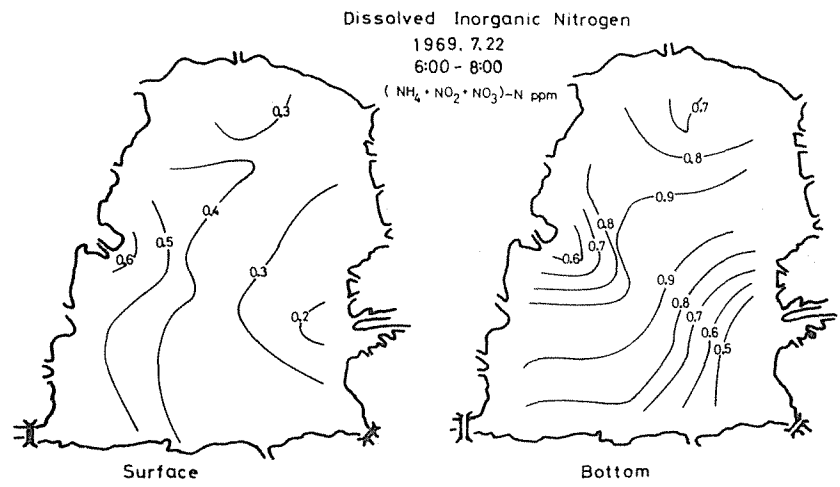


図18 溶存無機態窒素の水平分布

層の値より大きく、都市排水の流入域(上諏訪地区)より天龍川河口部に向って、比較的高濃度が示されている。この測定時期(7月)は夏季の停滞期にあっており、上下水の混合がおこりにくいことからすると、この高濃度分布帯は流入水の湖内における流路を示しているとも考えられる。

II-1-B-b 各種要因の垂直分布の日変化

上述の水温、pH、溶存酸素量の季節変化は、1日のうちの限定された時間に測定された結果の推定であるが、これらは1日間でもかなりの変動がある。今それらの測定値の変動中を知るために深度5mの小坂沖定点で以下の調査を行った。¹⁸⁾

図19の4月の結果では、¹⁸⁾水温は11.0℃から12.1℃で全層1日間を通じて約1℃の変化があるのみで成層はしない。pHや溶存酸素量は植物プランクトンの活性を反映して垂直的にも、時間的にもかなり

変動する。溶存酸素量のそれは明瞭で、風力の弱い午前中は1~2 m層は極大が生じるが、午後風が強まると表層より乱れはじめ、夕刻には全層が一様になる。風速は夜半より正午頃までは1 m/sec, それから夜にかけては4~10 m/secが記録された。

図19は6月の調査結果では、¹⁸⁾水温は全層で17~24°Cとなり4月より約10°C上昇し、表層水温の時間的な差も4°C程度あり、0~2 m層には昼間は約4°Cの差をもつ弱い躍層ができるが、夜間には消失する。溶存酸素量は表層で最高13 ppm, 底層では2 ppmで、両者の差は10 ppm位あり、また表層では1日間で8~13 ppmに変動し5 ppmの差が測られた。その増加は日の出から正午までで、その後は漸減する。これは光合成活性の日変化に起因するものである。pHも表層では8~10の変動があり溶存酸素量と同様な変化がみられる。また表層と底層の間には約2の差が認められた。

8月の観測結果¹⁸⁾は図19の如くで、水温は全層で22~27°Cが観測され、日中は4°Cの弱い躍層が0~1 m層に出現するが、夜間には消える。溶存酸素量は6月よりも多く表層では最高17 ppmを記録した。底層は、最低3.6 ppmで、例年みられる0 ppmに近い値はえられなかった。表層の最高と最低の差は10°Cで、午前増加し午後漸減するのは、4月と6月の場合と同様である。pHは表層は常に9以上で最高10.5であるが、底層は大体7.8で変化は少ない。

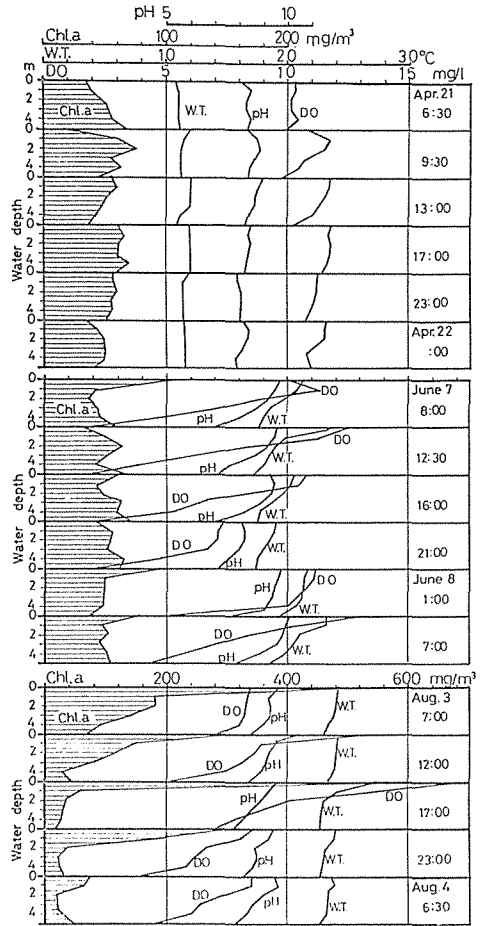


図19 水温, pH, 溶存酸素, クロロフィルa, セストンの各層の日変化

II-1-C 湖における流入, 流出の流量と栄養塩の収支

主要流入30河川(図2)と流出河川(天龍川)における流量およびNH₄-N, NO₂-N, NO₃-NとPO₄-Pの収支の季節変化²⁵⁾を, 表2に示した。化学分析は陸水生物生産研究法²⁶⁾に従った。流量は浮子法²⁶⁾により求めた。

各河川の流入量の総計の季節変化は年間6~17m³/sec(平水時)の変動があり, 流出量は10~15m³/secで5月より10月までは流入は流出を上廻るが, 11月より3月までは逆になる。²⁵⁾

各種栄養塩の流入量はいずれの月においても流出量より多い, そしてNH₄-NとPO₄-Pの流入量の季節増減は, 春より9月のピーク時にかけて漸増するが, 秋から冬へと急落する著しい変化を見せる。流出量の変動はわずかで, NH₄-Nは見るべき変化はないし, PO₄-Pは6月より9月にかけて少ない傾向がある。一方(NO₃+NO₂)-Nはそれらと異なり, 流入流出共に春より7月に向い急増し, 以後秋冬にかけて漸減し平行的な増減がみられる。そして流入流出の見かけの収支(差)の率はNH₄-Nは70~87%, (NO₃+NO₂)-Nは30~60%, PO₄-Pは50~90%を示した。²⁵⁾これら栄養塩の収支率は湖への見かけの残存率であるが, 高い率を示す時期は有機物生産の盛な季節で栄養塩が吸収され, プランクトンなどのけん濁性有機物や溶存性有機物として, NやPが多量に流出することが考えられるので, これらを含めて流出量を計算すれば残存率は著しく減少することになる。

表2 諏訪湖の無機栄養塩の収支

	m ³ /sec	NH ₄ -H		(NO ₃ +NO ₂)-N		PO ₄ -P		
		Kg/d	%	Kg/d	%	Kg/d	%	
1970. 5. 20	Inflow	15.00	305	69.5	565	41.6	75	73.7
	Outflow	14.50	93		330		20	
1970. 6. 12	Inflow	16.29	476	73.0	925	31.8	91	84.7
	Outflow	14.6 ⁰	126		631		14	
1969. 7. 22	Inflow	17.15	311	76.0	1253	19.6	88	65.9
	Outflow	14.40	75		1008		12	
1970. 9. 20	Inflow	16.00	710	83.8	1210	29.3	115	88.7
	Outflow	14.90	115		855		13	
1970. 11. 24	Inflow	11.78	754	87.1	817	57.7	110	70.5
	Outflow	12.50	97		346		32	
1970. 12. 25	Inflow	10.80	426	79.0	670	39.2	57	47.3
	Outflow	11.50	89		407		30	
1971. 1. 20	Inflow	5.75	224	72.5	185	38.2	29	54.5
	Outflow	10.20	62		115		13	
1971. 3. 19	Inflow	8.48	270	77.9	375	31.1	52	59.7
	Outflow	11.50	60		258		21	

: Yagi et al. 1969, others : Kubota et al. (1971)

II-2 生物群集

II-2-A 現存量

II-2-A-a 大型水性植物の現存量

1972年7月の調査で²⁷⁾(図20)採集確認された種は18種で, 優占度の高いものはササバモ, ヒロハノエビモ, コカナダモ, コウホネ, ヒシ, アサザ, ヨシ, マコモ, ガマである。植生面積は1967年から湖の東岸および南岸の一部で, 大がかりなしゅんせつ埋立てがなされたため著しく減少し, 1966年の53.5%に当る49X10⁴m²になった。各種水草の湖全体の総現存量(乾量)146.1tonで, この値は1966年²⁸⁾の66.5%にすぎない。そのうち挺水植物が54.0%, ヒシが27.5%, ササバモが6.9%を占め, 沈水植物の衰退が目立ち, 反面浮葉植物は変化が少ない。²⁷⁾

これら水生植物の主要種の化学分析を行い, その

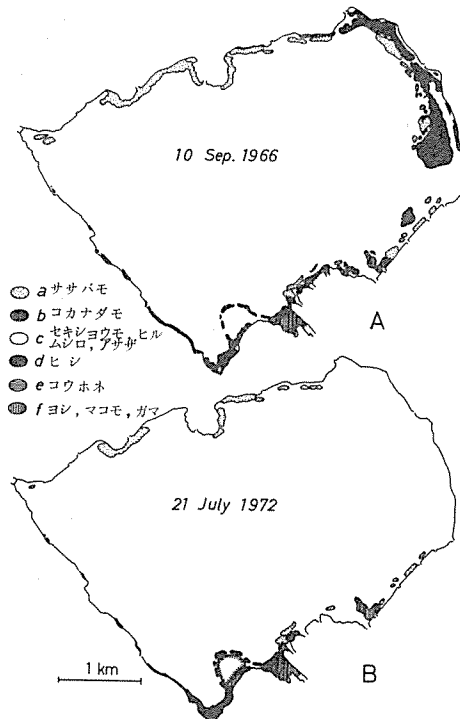


図20 水生植物群落の分布

結果より湖全体の水生植物に存在する, C, N, Pおよび有機物を概算し, それぞれ 59.40 ton, 4.32 ton, 0.13 tonおよび 121.30 tonの値をえた²⁷⁾。

II-2-A-b 植物プランクトンの現存量

II-2-A-b-① 植物プランクトン主要種属の季節変化

1970年中に出現した種属数は44種以上で, 細胞体容積の最大は *Closterium* sp. の $280,000 \mu^3$ であり最小は *Melismopedia elegans* の $4 \mu^3$ であった。したがって種類差は著しく約 $10^5 \mu^3$ に達するため, プランクトンの季節増減を細胞数で表わす場合と, 体容積量で示す場合とでその様相に差違がみられた(図21)⁶⁾。特に珪藻類は著しく, 細胞数で目立つ増大がないのに, 容積量では顕著な増大期を示した。主要種では7月下旬より10月中旬の *Microcystis aeruginosa* の増殖が著しく, 細胞数では $10^4 \sim 10^5 / \text{ml}$, 容積は $90 \sim 200 \text{ ml} / \text{m}^2$ を示す。3~5月は *Cyclotella*, *Fragilaria*, *Melosira italica* の順で増大期を交代し, 10月下旬よりは *Melosira granulata*, 11月下旬以後はこれに *Cyclotella* が加わり, 増大期には細胞数では $10^3 \sim 10^4 / \text{ml}$, 容積では $100 \sim 200 \text{ ml} / \text{m}^2$ である。垂直分布²⁹⁾を各層の種属グループ別の容量でみると図22のようで, 結氷下の1月は表層は特に少ないが, ケイ藻は全層にわたり優位である。3月より5月までは上下均等に分布し全層90%を珪藻が占め, 6月下旬には緑藻が35%にまで増える。7月より9月上旬は上層は50~98%まで *Microcystis* に占有されるが, 一方底層は珪藻が50~90%を占める。10月下旬以後は全層の70

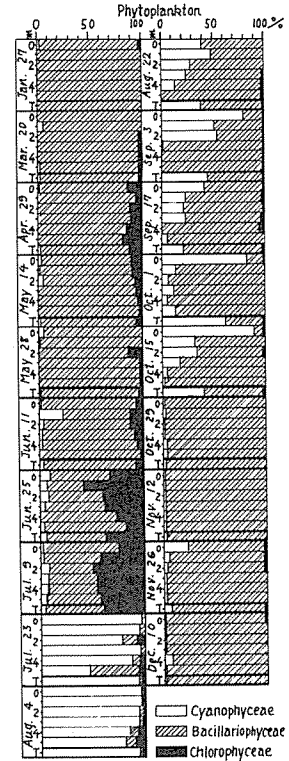


図22 各層における種属グループ別の植物プランクトン容積量の全量に対する百分率

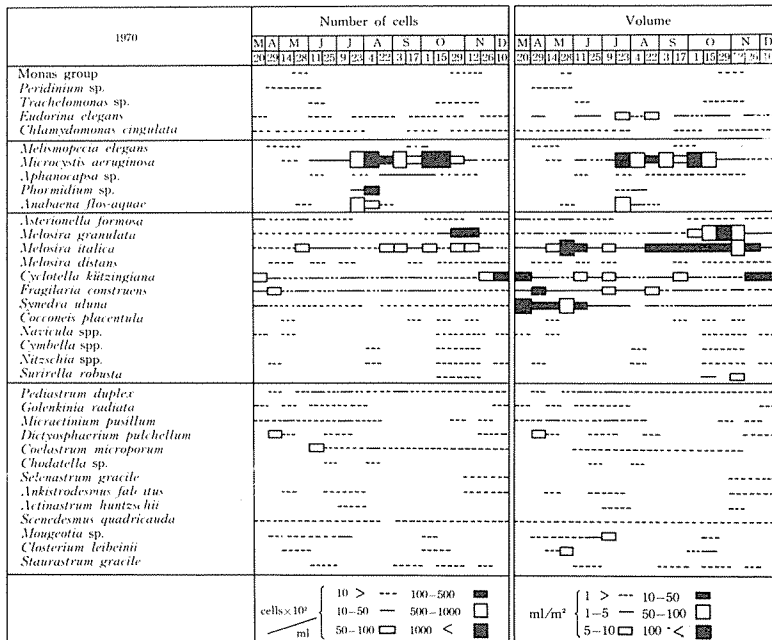


図21 植物プランクトン細胞数および各種の季節変化

~98%までが珪藻である。以上の説明の経過を優占順位(1位と2位)で示すと表3のようになる。すなわち細胞数における優占種と、容積でのそれ

表3 植物プランクトンの細胞数と容積よりみた優占種の季節変化

Date	Dominant (Cells)				Dominant (Weight)			
	1 st	(%)	2 nd	(%)	1 st	(%)	2 nd	(%)
III 20	<i>Cyclotella</i>	14.4	<i>Asterionella</i>	26.8	<i>Synedra</i>	84.1	<i>Cyclotella</i>	9.0
IV 29	<i>Fragilaria</i>	45.9	<i>Dictyosphaerium</i>	38.5	<i>Fragilaria</i>	46.4	<i>Synedra</i>	23.5
V 14	<i>Micractinium</i>	57.2	<i>Melosira ita.</i>	11.4	<i>Synedra</i>	65.5	<i>Melosira ita.</i>	11.4
28	<i>Melosira ita.</i>	55.6	<i>Asterionella</i>	17.4	<i>Melosira ita.</i>	66.1	<i>Synedra</i>	27.3
VI 11	<i>Coelastrum</i>	27.8	<i>Melosira ita.</i>	21.0	<i>Melosira</i>	44.2	<i>Synedra</i>	26.2
25	<i>Melosira ita.</i>	23.8	<i>Aphanocapsa</i>	14.1	<i>Melosira</i>	23.5	<i>Mougeotia</i>	20.8
VII 9	<i>Fragilaria</i>	17.6	<i>Cyclotella</i>	15.3	<i>Mougeotia</i>	20.5	<i>Melosira ita.</i>	15.4
23	<i>Microcystis</i>	51.9	<i>Anabaena</i>	44.6	<i>Microcystis</i>	76.7	<i>Anabaena</i>	18.6
VIII 4	<i>Microcystis</i>	87.4	<i>Anabaena</i>	3.8	<i>Microcystis</i>	90.5	<i>Anabaena</i>	3.4
22	<i>Microcystis</i>	73.6	<i>Melosira ita.</i>	14.3	<i>Melosira ita.</i>	46.2	<i>Microcystis</i>	31.7
IX 3	<i>Microcystis</i>	83.9	<i>Melosira</i>	8.1	<i>Microcystis</i>	54.2	<i>Melosira ita.</i>	41.3
17	<i>Microcystis</i>	52.4	<i>Melosira</i>	18.6	<i>Melosira ita.</i>	47.2	<i>Microcystis</i>	17.8
X 1	<i>Microcystis</i>	94.6	<i>Melosira</i>	3.8	<i>Microcystis</i>	72.2	<i>Melosira ita.</i>	—
15	<i>Microcystis</i>	97.5	<i>Melosira gra.</i>	1.0	<i>Microcystis</i>	39.0	<i>Melosira gra.</i>	38.7
29	<i>Melosira gra.</i>	60.5	<i>Melosira ita.</i>	20.0	<i>Melosira gra.</i>	75.7	<i>Melosira ita.</i>	18.9
XI 12	<i>Melosira</i>	60.5	<i>Melosira</i>	26.4	<i>Melosira</i>	57.2	<i>Melosira</i>	32.3
26	<i>Cyclotella</i>	56.2	<i>Melosira</i>	21.8	<i>Cyclotella</i>	42.0	<i>Melosira gra.</i>	42.0
XII 10	<i>Cyclotella</i>	84.6	<i>Asterionella</i>	4.4	<i>Cyclotella</i>	82.2	<i>Melosira</i>	5.4

とは著しく異なり、春より夏にかけての細胞数の1位または2位を占めたラン藻類も、容積では大型の*Synedra*などにとってかわられ、7~10月に細胞数で優位の*Microcystis*も、容積量ではしばしば*Melosira italica*に1位をゆずっている。こうした結果よりみて優占種の選定には、細胞数のみならず容積重量などを充分に考慮する必要性が認められた。

II-2-A-b-(2) 植物プランクトン全容積量およびクロロフィル量の経年変化

1969年から1972年までに測定された植物プランクトン全容積量は最大値は1971年8月の280.5 ml/m²で、最少値は1969年5月の11.6 ml/m²であった。図23で見るごとく、一般的に言って夏季にピークの現われる一山型の季節変化を示すが、1970年は春と秋に増大する二山型の変動をしており、これは夏季のラン藻類の大発生が小規模の年に見られるようである^{6,21,29,30,31,32})

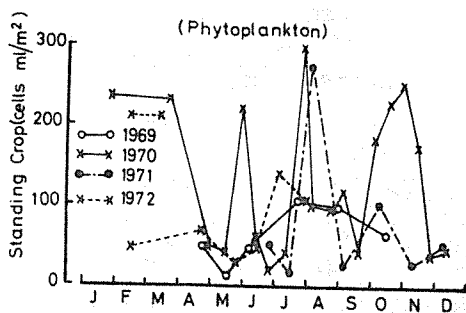


図23 植物プランクトン全容積量の経年の季節変化

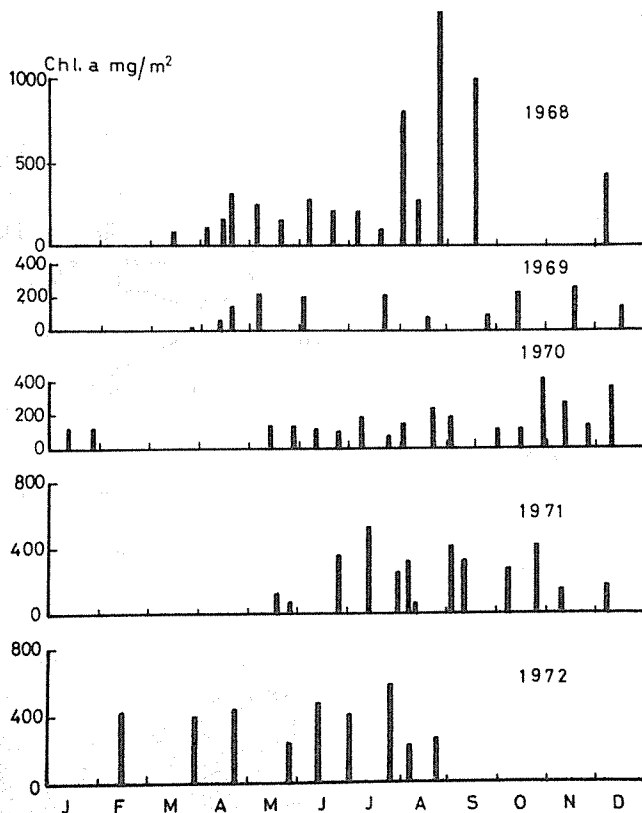


図24 クロロフィル量の経年の季節変化

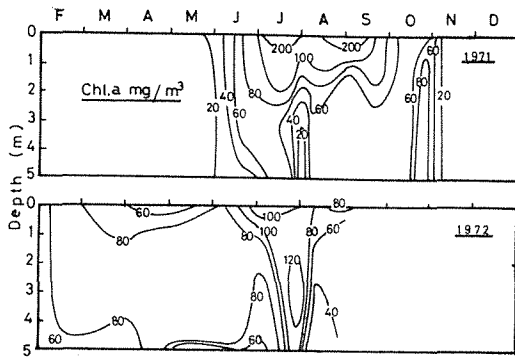


図25 クロロフィル量の垂直分布季節変化

クロロフィルa量の1968年より1972年までにえられた最大値は約1300 mg/m²(1968年8月)で、最小値は約19 mg/m²(1969年3月)である。^{6, 21, 29, 30, 31)}

図24に示すように、季節変動は容積量のそれと同傾向の増減をするが、同時に測定された両者の値は必ずしも平行関係は示していない。これは植物プランクトンに含ま

れるクロロフィル量が、種類により異っていたり、同じ種類でも季節により変動することから生じたものであろう。

クロロフィルa量の垂直分布¹²⁾(図25)は、夏季の停滞期で成層するとき、浮上しやすいラン藻類(主として *Microcystis*)が表層に集中するため、表層で多く、下層に少ない様相が顕著に現われるが他の季節は上下均等な分布をする。

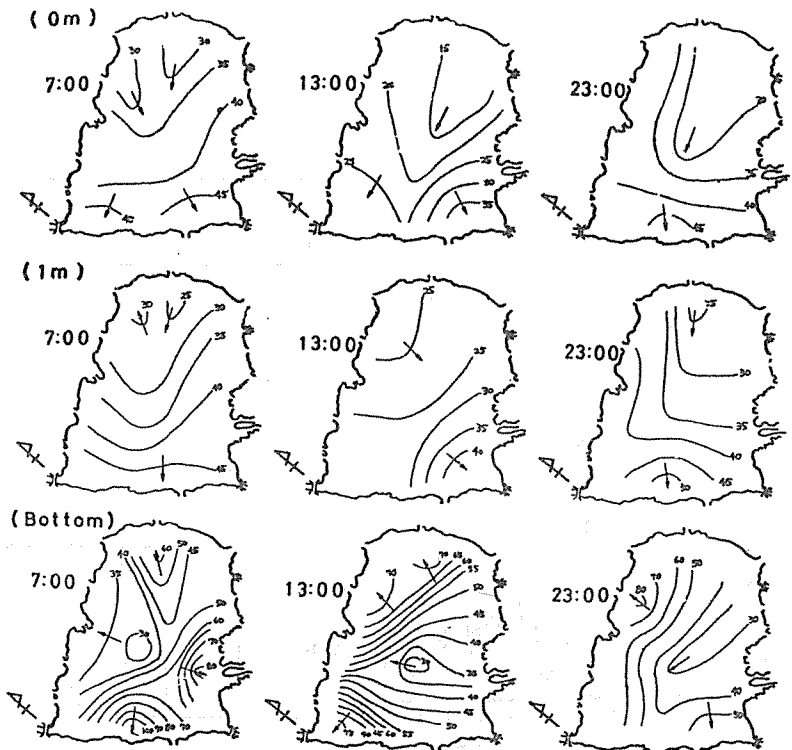


図27 表層クロロフィルa量(mg/m²)の水平分布の経時変化 (1969年7月22日)

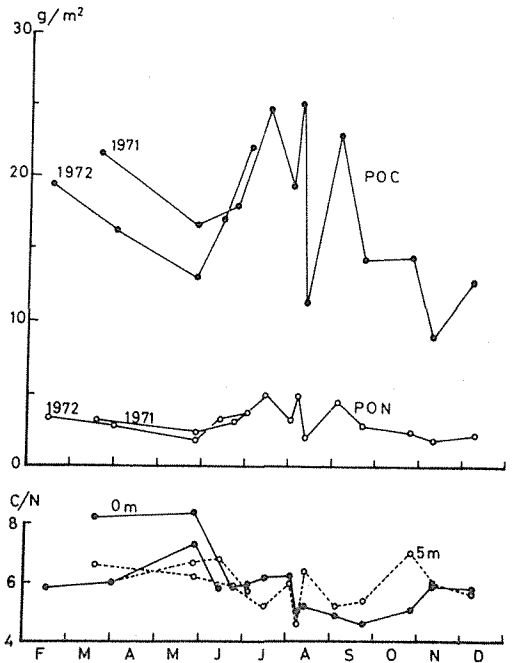


図26 POCとPON量およびC/Nの季節変化

II-2-A-b-(3) けん濁性有機物の季節変化

けん濁性有機物は大部分が植物プランクトンよりなるが、その有機C(POC)と有機N(PON)の季節変化¹²⁾は図26である。すなわちそれらの増減傾向はクロロフィルa量のそれと類似しているが、増減の差はクロロフィルa量よりは少ない。またCとNの比でみると、冬季は大きな、夏季は小さな値を示した。この相違は冬は珪藻類、夏季はラン藻類が優占する、プランクトンの種類による化学的組成の違いによって生じたものが、生産の活性の大小によっておこったものであろう。

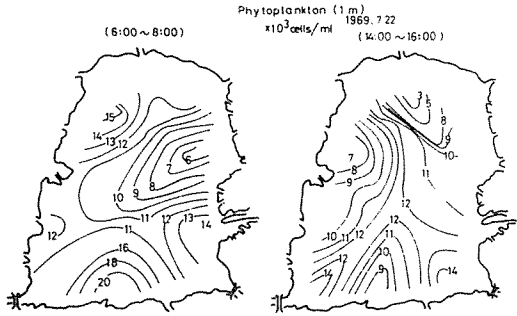


図28 植物プランクトンの表層の水平分布

II-2-A-b-(4) 植物プランクトン数とクロロフィルa量の水平分布

水平分布調査の成層時の植物プランクトンの組成は上、下層共に珪藻が優占し、そして表層は底層に比べ藍藻や緑藻が多いという垂直分布構造をしている。²⁴⁾このような条件下においては表層は東風の吹送流で風下に吹きよせられるので、表層に浮上分布するラン藻や緑藻は、風上で少なく風下で多くなり(図28)²⁴⁾したがってクロロフィルa量も風下で高濃度の値を示す(図27)²⁴⁾。一方底層は風の影響は少なく、むしろ六斗川方向より湖心部に向い低濃度の分布がみられ、低温流入水との関係があるように思われる。晩夏に風上に設置した網生養鯉が、“ススミズ”現象で被害をうけるのは、風による吹送流でMicrocystisを含む酸素の多い表層の水が風下に吹きよせられ、反対に深層の酸素の少ない水が反転流により風上で表層に上昇することにより生ずる³⁴⁾。

II-2-A-c 動物プランクトンの現存量

II-2-A-c-(1) 動物プランクトン主要種属の季節変化

1970年中に出現した種属数は35種以上⁶⁾みられ、個体重の最大はLeptodoraの500×10⁻³mg、最小はTintinidiumの0.013×10⁻³mgで、その差は約10⁴である。主要種属の個体数と重量(乾量)季節変化を対比して示すと図29のよう
で、構成種間の個体数と重量の変動の違いが著しい⁶⁾特に甲殻類は原生動物やワムシ類に比べ大型であるので顕著である。すなわち、原生動物のTintinidium、

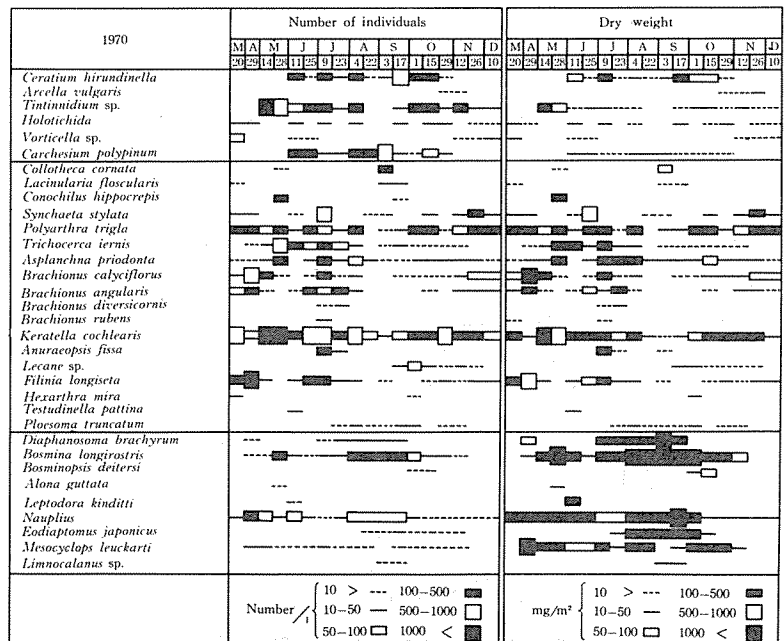


図29 動物プランクトンの個体数および重量の季節変化

1970 Date	Dominant (Individuals)				Dominant (Weight)			
	1st	(%)	2nd	(%)	1st	(%)	2nd	(%)
III 20	Keratella	45.3	Filinia	27.9	Filinia	32.8	Keratella	27.2
	Filinia	34.1	Brachionus cal.	31.7	Brachionus cal.	27.9	Mesocyclops	24.0
V 14	Keratella	49.6	Tintinnidae	42.5	Keratella	47.5	Nauplius	13.7
	Keratella	45.5	Trichocerca	22.9	Bosmina	39.6	Keratella	19.4
VI 11	Keratella	33.1	Trichocerca	22.4	Nauplius	28.3	Keratella	16.7
	Keratella	34.0	Syncheata	27.9	Syncheata	45.6	Keratella	20.3
VII 9	Keratella	20.3	Anuraeopsis	17.2	Mesocyclops	15.4	Filinia	14.2
	Brachionus ang.	45.2	Keratella	22.6	Diaphanosoma	42.3	Bosmina	16.5
VII 14	Keratella	40.2	Polyarthra	12.9	Bosmina	48.3	Nauplius	8.9
	Bosmina	46.5	Carchesium	25.4	Bosmina	73.4	Eodiaptoms	6.9
IX 3	Carchesium	46.6	Bosmina	17.8	Bosmina	56.6	Diaphanosoma	23.4
	Ceratum	47.6	Bosmina	24.2	Bosmina	78.0	Nauplius	8.9
X 1	Polyarthra	26.6	Ceratum	18.5	Bosmina	48.5	Polyarthra	14.7
	Keratella	28.8	Polyarthra	27.6	Polyarthra	40.6	Keratella	16.6
X 15	Keratella	76.6	Tintinnidae	4.4	Mesocyclops	36.7	Keratella	26.2
	Keratella	52.0	Tintinnidae	22.5	Keratella	34.2	Polyarthra	16.6
XI 12	Keratella	31.7	Syncheata	21.8	Syncheata	30.8	Polyarthra	28.2
	Keratella	30.2	Brachionus cal.	20.0	Polyarthra	38.5	Brachionus cal.	26.6

表4 動物プランクトンの個体数と重量よりみた優占種の季節変化

Carchesium, Ceratium は5~10月の出現期間をもち、5月と9月の最盛期には $5 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3 / 1$ の個体数を数え、全個体数の40~50%を占めるが、全重量では10%以下を占めるにすぎない。(図30)。²⁹⁾ 一方甲殻類では、Bosmina が5月と8~9月に増殖し300~400/1の個体数で最も多く盛夏のみは全個数の約50%を占めるが、重量では春は約1500mg/m²、9月は約5000mg/m² 最高値を示し、全重量の約80%に達する。²⁹⁾ そして5月下旬より6月上旬までと7月下旬より10月上旬までの間は50~95%が甲殻類で占められた。(図30)。ワムシ類中 Keratella は年間を通じて豊富にみられ、最高は5月の3500/1個体であり、重量でも1900mg/m² の最大値をえた。そしてワムシ類全重量は11月より翌年の3月までの間の期間は全量の85%以上、10月下旬と6月下旬より7月上旬は50%以上を占める。以上の説明経過を優占順位(1位と2位)の季節変化⁶⁾で示すと表4のごとくなり、個体数と重量でみた優占種が著しく異なることが認められる。

II-2-A-c-(2) 動物プランクトン全重量の経年変化

1969年より1972年に至る間に測定された動物プランクトンの全重量は、^{6,21,29,30)}最大で約8.5g/m²(1969年10月) 最小で約0.1g/m²(1971年11月)がえられた。図31によれば一般に3~5月と7~9月の間に年2回の増大期があり、前者はワムシ類と Cyclops 類の両者の、後者は主として Bosmina の増殖によるピークであることが多い。

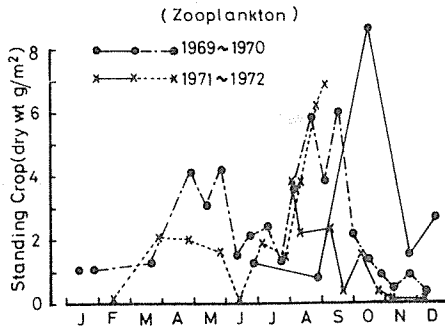


図31 動物プランクトンの経年変化

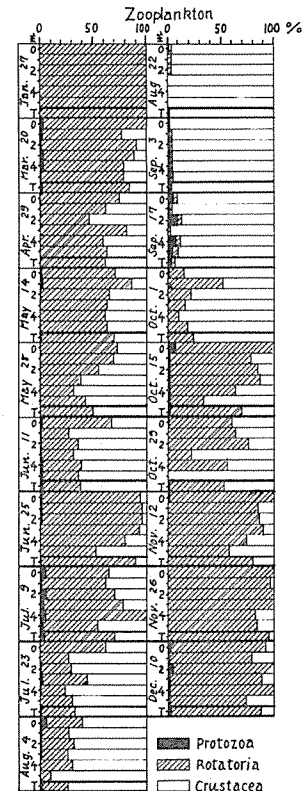


図30 各層における種属グループ別の動物プランクトン重量の全量に対する百分率

II-2-A-c-(3) 動物と植物との両プランクトンの季節変化の相互関係と食性

図32でみるように、動物と植物のプランクトン季節増減の間に相反関係がみられる。^{6,30)}すなわち冬季の *Synedra*, *Cyclotella* の増大が5月上旬に向い減るととき、*Brachionus*, *Mesocyclops* が一斉に増え5月下旬の *Melosira ita* の急増時は共に *Bosmina*, *Keratella* も増える。その *Melosira* は7月下旬には著しく衰え、代で *Microcystis* の大発生がおこる。この増大は8月中旬より9月中旬に急減するが、この間 *Bosmina*, *Diaphanosoma*, *Ecdiaptomus* などの最盛期が出現する。その後再び10月上旬にピークをもつ *Microcystis* の増大がおこるが、上記甲殻類は反対に激減する。10月下旬にはラン藻類に代って *Melosira gr.* の増殖が著しく、顕著な山が出現するが、そのときは動物群は *Keratella*, *Polyarthra* のワムシ類の減少期となっている。今同時採集したプランクトンの植物量と動物量の比を求めると0.8~4.8の範囲で変化し、最小は6月下旬最大は7月下旬にえられ、平均は4.5であ

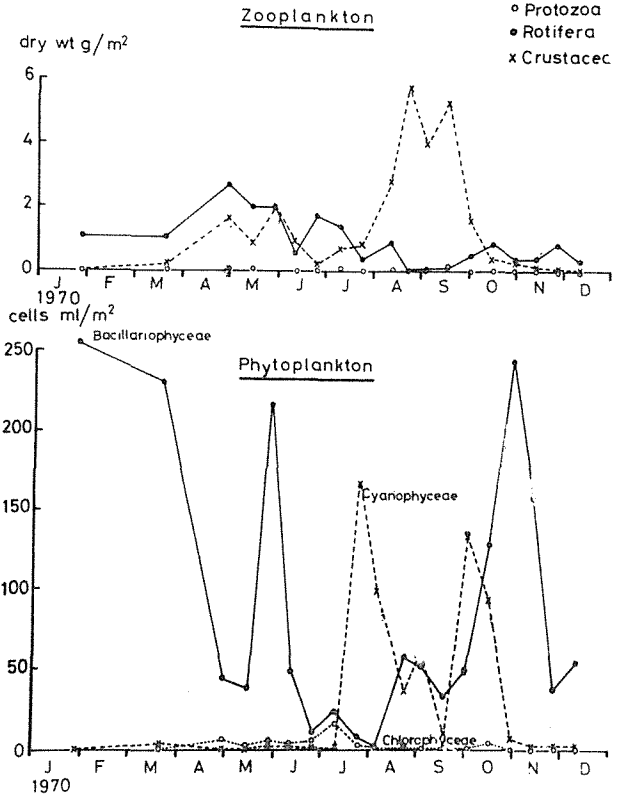


図32 プランクトン各門別の現存量の季節変化

った。上述の両プランクトン増減は、それぞれプランクトン種自身の生活史的なサイクルと、ある種のプランクトンよりの阻害物質の影響や捕食関係がからみあっていられる。ここでは動物プランクトンの食性と関連づけてみることにしたい。門田^{36,37)}は、日光湯ノ湖において、胃内容物から *Daphnia* や *Bosmina* は、豊富にある *Asterionella* や *Melosira* は利用しない事が多く、主として緑藻類 (*Chlorella* など) を摂取すること、*Asplanchna* は枝角類に利用されない *Melosira* や小型ワムシ類の *Keratella* を食べていることを観察した。この事実を諏訪湖にあてはめると、7月中旬ピークを示す *Mougeotia* や *Microcystis* の増大が、8月には *Bosmina* による捕食増大とともに急減し、また3月に著しく多い *Cyclotella* が、4~5月のワムシ群 (*Brachionus* など) の増殖期に漸減するということになり、一応の捕食関係が説明されるが、諏訪湖では実際に調査していないので単なる類推にすぎない。また手塚³⁸⁾は細菌、ゾウリムシ (*Paramecium caudatum*)、ミジンコ (*Daphnia pulex*) の間の捕食関係を実験し、細菌→ゾウリムシ→ミジンコの関係から、細菌とゾウリムシの混合物を餌とした場合、ミジンコが数世代以上培養できるとしている。こうしたことからすると、植物プランクトンと動物プランクトンの増減関係を単なる両者の食物問題に限定して解明することは無理であろう。

II-2-A-d 底生動物の現存量

II-2-A-d-1) 底生動物の個体数と量の季節変化

湖沿岸部にはヒル類、水生昆虫類、カワナナ、タニシ類、シジミ、深底部にはカラスガイ、ユスリカ類およびイトミミズ類が生息するが、近年は貝類の減少が著しく目立つ。ここでは湖底部の約70%を占

める深底部の主要な底生動物についてのべる。ユスリカ類はオオユスリカ, アカムシユスリカが主で他にカユスリカなどあり, イトミズはゴトウイトミズ, ハタイトミズおよびエラムイズがえられた。ユスリカ類の個体数と重量の季節変化は後述するのでイトミズ類についてみると, 1970年では2300~28000個体/m²の年変動で3月にはピークがあり夏に減り秋に増える傾向を示した。³³⁾

図33によれば1970~1971年における生重量では

4.1~6.0 g/n²の変動があり, 春と秋に増え夏に減る傾向は個体数と同様である。ユスリカ類とイトミズ類合計の生重量は7.9~119.2 g/n²で, 1970年はユスリカ類とイトミズ類の季節増減の様相が一致しているので, 春の最大と秋の極大が明確にみられる。

II-2-A-d-(2) ユスリカ幼虫個体数と重量の経年変化

オオユスリカとアカムシユスリカは共に大型のユスリカで数も多く, 底生動物の現存量の相当部分を占めている。それでライトトラップで成虫を捕獲して羽化期を確めると共に, 幼虫数と量の季節変化を明らかにし, その結果を図34に示した。³⁹⁾すなわちオオユスリカは年3回(4-5月, 6-7月, 8-10月), アカムシユスリカは年1回(10-11月)羽化期がある。アカムシユスリカは5月になると泥中に堀潜して泥深約50 cmで夏眠し, 9月

に至って泥表面に現われるので, その間エクマンバージ採泥器では採集できない。深底帯におけるオオユスリカの個体群密度は, 新しく孵化した個体の加わる7月と10月に極大がみられ, 前者は1200~5400個体/m², 後者は1500~2100個体/m²である。生重量の極大もほぼ同時期で,

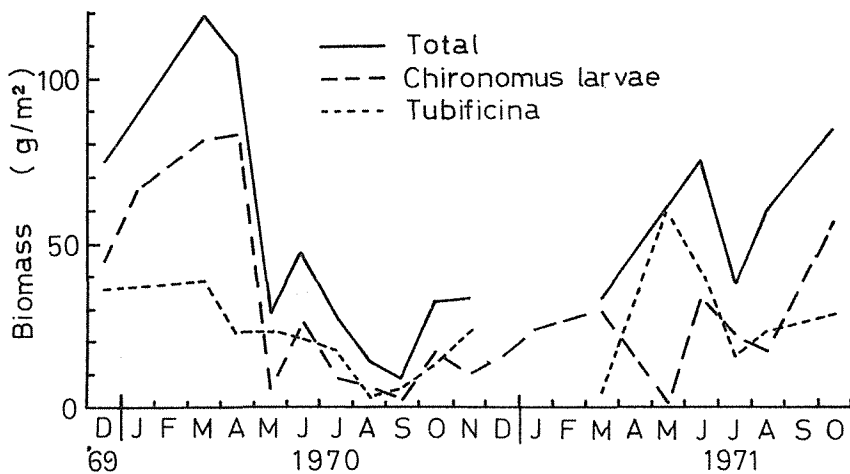


図33 底生動物の季節変化 (堀潜中のアカムシユスリカは含まれていない)

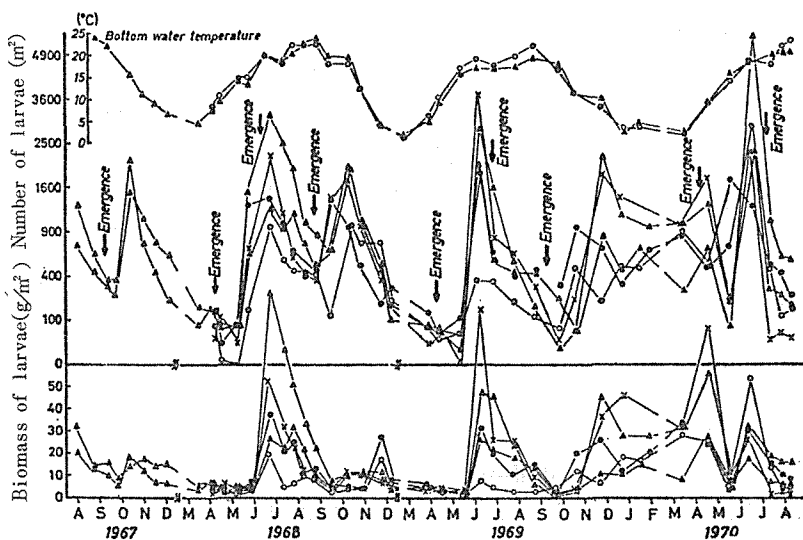


図34-a オオユスリカの個体数および重量の各深度別の季節変化
・2.5 m, ○ 3 m, X 4 m, △ 5 m, ▲ 6.5 m

それぞれ 15~90 g および 10~27g/m² をえた。アカムシユスリカの最大は 12 月より 3 月までの間に 700~4800 個体/m² を数え、生重量は幼虫が完全に成長した 3 月に最大となり 10~96 g/m² を測定した。羽化期にトラップに入った成虫の性比は雄が常に雌にまさり、オオユスリカ

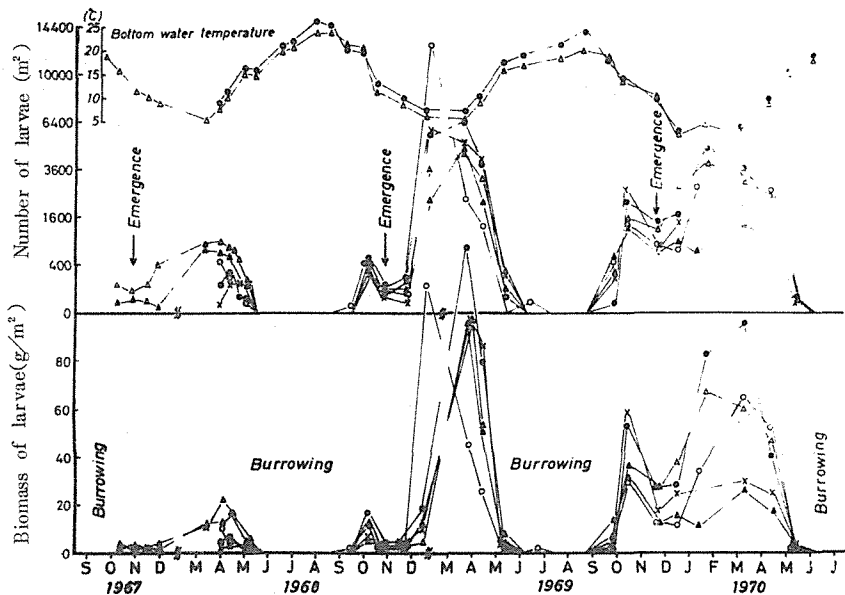


図 34-b アカムシユスリカの個体数および重量の各深さ別の季節変化

では 50~83% , アカムシユスリカは 83%~93% を記録した。オオユスリカの越冬幼虫の生存率は低く普通 6~7% であるが、1970 年は異常で約 70% の高率であった。

II-2-A-e 魚類の現存量

II-2-A-e-1 魚類の分布と食性

1969年に沿岸部より沖部にかけて、投網で行った魚類の分布密度⁹⁾はワカサギ 0 年魚の子魚期の 5 月は水深 2 m 近く、沖帯では少ないが、成魚の形態となる 6 月以降は 3~5 m で高密度となる。1 年魚は沿岸部ではとれず、最大密度は 3~6 m にみられた。フナ、モツゴは 5 月は沿岸部でのみとれるが、6 月以降は生息場所が深くなり、8 月には深底部にまで広められたが、分布の中心はやはり沿岸部であった。コイ、ヒガイ、ホンモロコは沿岸部より深底部にまで分布する。投網による大まかな調査結果であるが、一応全湖の現存量を試算すると表 5 のようである。すなわち 5~8 月の毎月と 12 月の全湖の現存量は、26.2~53.9 t であり ha 当りでは 18~40 kg で、ワカサギの子魚期の 5 月は最少であり、月が進むにしたがい増え、充分成長した 12 月が最大を示した。

表 5 投網法でえられた魚類の現存量 (生重量) (1969)

ton/whole lake	May	June	July	Aug.	Dec.
Littoral region	1.71	9.68	1.650	4.04	2.35
Sublittoral region	4.63	4.92	2.51	8.91	3.65
Profundal region	19.90	29.70	20.00	36.10	47.90
Total	26.24	44.30	39.01	49.05	53.90

1971年9月に刺網と魚群探知器による魚類の垂直分布密度調査¹⁰⁾では、昼間は底層により多く分布するが、夜間には上昇移動する。刺網漁獲魚の約 90% がワカサギであったが、上述の分布移動習性はワカサギで知られており、またモツゴ、フナにもみられる。ヒガイ、コイは底層分布の傾向がある。魚探による分布密度は 0.258 尾/m³ で投網でえた結果とほぼ同じであった⁹⁾。また同時に各種採集魚の胃内容物をしらべ⁹⁾ワカサギについては飼育実験⁴⁴⁾を行って食性を明らかにしようとした。その結果、ワカサギは生涯主食がプランクトンで、0 年魚の子魚期の 5 月はワムシ類を主とし枝角類は少ない。6 月末には *Leptodora* や *Mesocyclops* など大型プランクトンや、少数のユスリカ幼虫、蛹などが見られる。しかしユスリカ幼虫は数は少ないが *Bosmina* などに比べ個体重が数百倍もあるので、餌としては重要である。食われるユスリカ幼虫は一年魚では更に増える。イトミミズ類もあるが少ない。フナ、モツゴ、ホンモロコ、オイカワは広食性で、動

植物性プランクトン、ベントス、付着植物などを食べる。コイ、ヒガイ、ビリンゴ、ヨシノボリはベントスが主で、動物プランクトンもいくらかある。

II-2-A-e-(2) 漁獲量の経年変化

表6^{40~43)}にみるように、最近4年間は年間400t(全湖)前後の水揚量があり、ha当りでは約0.275 tonで日本有数の高い生産効率を示し養魚池のそれに匹敵する。このうちワカサギが大部分の50~70%を、フナが11~30%を占め、この両種が現今における諏訪湖の代表的な水産上の魚族である。白石⁴⁶⁾によれば1932~1943年の12年間のワカサギの平均漁獲量は98tで、全魚類の漁獲高の平均30%にあたるが、戦後の1946~1952年の7年間では平均85tでその割合は平均53%に増している。そしてラン藻類の大発生が目立つようになった1959~1971年の13年間では⁴⁶⁾平均191tで戦後の7年間の約2倍に増えているが全漁獲量も増しているため、割合は53%で変わらない。

II-2-A-f 浮遊細菌の現存量の季節変化

図35で示すように、現存量^{11,47)}は $2.48 \sim 5.03 \times 10^6$ cells/ml、生重量で $0.62 \sim 12.6 \text{ g/m}^3$ 、乾量で $0.12 \sim 0.25 \text{ g/m}^3$ の範囲でみられ、年間の変化は少ない。これらの値は富栄養湖(白樺湖)とほぼ同量で、貧栄養湖(野尻湖)の約8倍、養魚池(常田池)の約 $\frac{1}{3}$ となる。クロロフィルa量より算出された植物プランクトン量と比較すると、細菌量はMicrocystisなどの大発生のない限りほぼ十数分の一であり、動物プランクトンの現存量とほぼ同量である。尚湖全体では乾量で80~16.1tとなる。平均世代⁴⁸⁾時間は5、6月は最短で10時間前後であり、水温の上昇する7、8月はかえって長く、年間では8~195時間の範囲となる。

Plate count (Viable count)値では、細菌の生産力の高い時季に高くなる傾向があり、また植物プランクトン増大期(4~5月, 7~8月, 11月)に少く、増大期直後に増しており、両者の増殖期には明らかにずれがみられる。Plate count値はDirect count値に比べ変動が大きく、その値の比も一定ではないので、細菌の生物量を論ずるには無理がある。¹¹⁾

主要漁獲種と量(組合市場で市販されたもので、実際の漁獲量はこれの約2割増といわれる)の経年変化

	1969	1970	1971	1972
Hypomesus	306,934kg	301,017kg	187,291kg	267,867kg
olius	74.1%	66.9%	47.6%	64.5%
Carassius	47,063	84,776	125,129	96,320
carassius	11.4	18.8	31.8	23.2
Cyprinus	12,456	12,912	23,471	17,419
carpio	3.0	2.9	6.0	4.2
Pseudorasbora	6,818	8,813	14,006	10,868
parva	1.6	2.0	3.6	2.6
Misgurnus	4,647	5,268	5,309	4,877
arguifilicaudatus	1.1	1.3	1.3	1.2
Other fishes	9,431	9,327	7,839	6,326
(12 species)	2.3	2.1	2.0	1.5
Mollusca	26,493	27,404	20,283	11,046
	6.4	6.1	5.2	2.7
Shrimps	14	4	343	725
	0.0	0.0	0.1	0.2
Total	413,977	449,883	393,571	415,446

(註) including *Gnathopogon caeruleus*

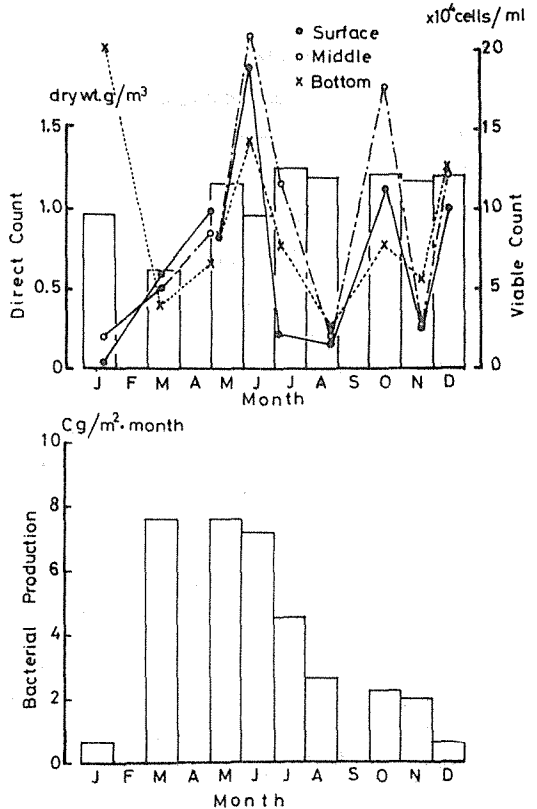


図35 Direct count法による浮遊性細菌の現存量(上図白柱)およびPlate count法による細菌数(上図線)と生産速度(下図)の季節変化(1969.5~1970.5)

II-2-B 一次生産速度

諏訪湖の生態系で、もっとも特徴的なことは Asterionella, Cyclotella, Synedra, Melosira 等の珪藻、特にラン藻の Microcystis によってえられる一次生産力が日本国内の他の湖沼にくらべて極度に高いことである。

II-2-B-a 一次生産の季節変化

図36に総生産速度の推移と m^2 当りの純生産量の季節変化を示した¹²⁾。年間を通して単位容積当りの生産力が最も高くなるのは Microcystis が優占する7~8月にかけてで表層では $10\sim 30 O_2 g/m^3 \cdot d$ となる。一方珪藻が優占する春・秋では $2\sim 3 O_2 g/m^3 \cdot d$ で Microcystis 優占の時期にくらべるとはるかに少ない。両時期の差は生産構造において顕著で、Microcystis の時期には生産層は約1mと極端に薄くなる。水中への光の透明度から

みても補償深度の相対照度1%は同様な深さで認められ、その位置は総生産量が $1 O_2 g/m^3 \cdot d$ の深さと一致した。C量に換算した純生産量でも Microcystis の時期は $2\sim 3 Cg/m^3 \cdot d$ 、春秋の珪藻の

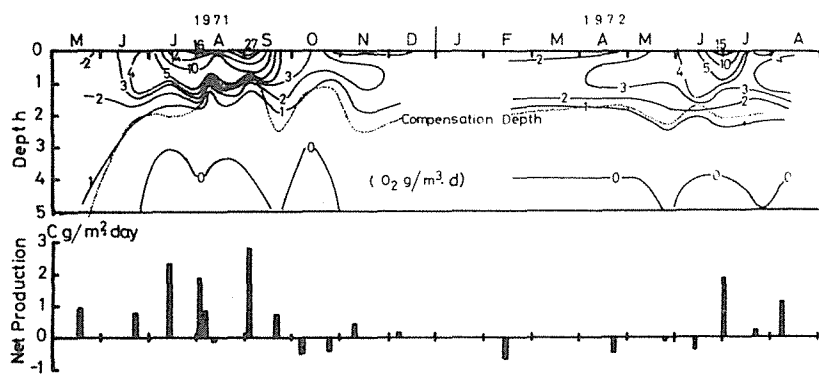


図36 総生産力の季節変化と単位面積当りの純生産量の季節変化(1971~1972)

時期には $1 Cg/m^3 \cdot d$ 以下の差は大きく、Microcystis が短期間に現存量を激増させることが裏づけられる¹²⁾。

II-2-B-b 一次生産の経年変化

1969~1970年²⁰⁾および1971~1972年^{12,13)}と宝月ら(1949)²¹⁾の測定した年間の総生産量について比較したのが図37である。約20年前にくらべて年間の総生産量は約2倍となっている。この増加の原因は年間を通じての植物プランクトンの生産力の増加もあるが、その中でも Microcystis の発生が主な原因であることは夏季の生産力の増加が目立って大きいことから類推される。それぞれの年について比較すると1949年は $260 gC/m^2 \cdot y$ に、1969~1970年は $557 gC$ 、1971~1972年が $799 gC$ とここ数年の間でも40%程度の増加が認められる。

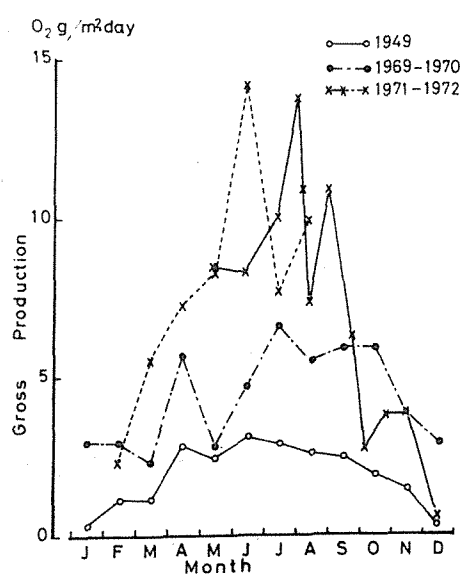


図37 総生産量の経年変化

II-2-B-C 各月の湖水の光一光合成曲線と光合成活性の日変化

光一光合成曲線は5月をのぞいてほぼ10,000ルクス付近で飽和に達し、40,000ルクスまでは光阻害は認められなかった(図38)。同化指数の最高は8月の約25 ($O_2 mg/Chl. a mg$)で、ついで12月の約20、6月の20弱となり、他の季節はほぼ10前後であった²⁰⁾。

光合成の活性は溶存酸素量の日変化からみても天然の湖沼での一次生産は正午頃迄に一日の大方のものが行な

われていることが推定される。図39¹⁸⁾には各時間ごとに採水した試水について15,000~18,000ルクスの人工光のもとで測定した光合成活性の変化を示す。光の照射時間は1~2時間で、総生産量で表わしている。日変化のパターンは優占種が変わっても同様で、日出頃から午前中は高く、午後4時頃にかけて減少し、その後夜にかけて回復する。優占種による差は最高の同化指数をえた8月のMicrocystisが最も高く、日出頃の24 mgO₂/mg Chl. a/hrとなる。この時の最低値は午後5時頃で、最高値の約2割である。4月の珪藻の時期は最高が午前10時頃の10 mgO₂,最低は午後5時の約4.1 mgO₂であった。珪藻にMicrocystisが加わる6月は絶対量では8月と4月の中間、最高は15 mgO₂,最低は午後4時以降の約8 mgO₂で4月と8月の中間の活性となっている。4月の現場法による生産量の測定でも、日照時間が7.8~11.5時間と変わっても総生産量は5~6 gO₂/m²・dで、日照時間の差と比例した増減はない。また1.3時間の極端に短い日照時間でも、快晴日の1/2位の生産量をえている。これらのことは光合成速度が、光、水温、その他の環境条件の変化や、細胞内の条件の変化によって変動することを示す。この他に炭酸の減少による光合成の制限も考えられるが、炭酸の量は各時期とも制限要因になる程には減少しないことが、1971~1972年の定期観測の結果から明らかである。

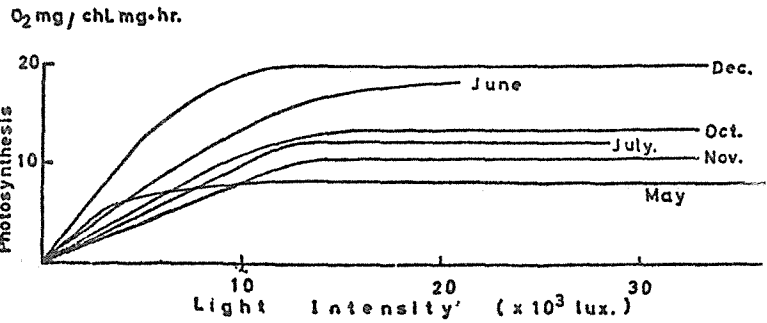


図38 各月ごとの光一光合成曲線

図39 光合成活性の日変化と時期による差²⁰⁾

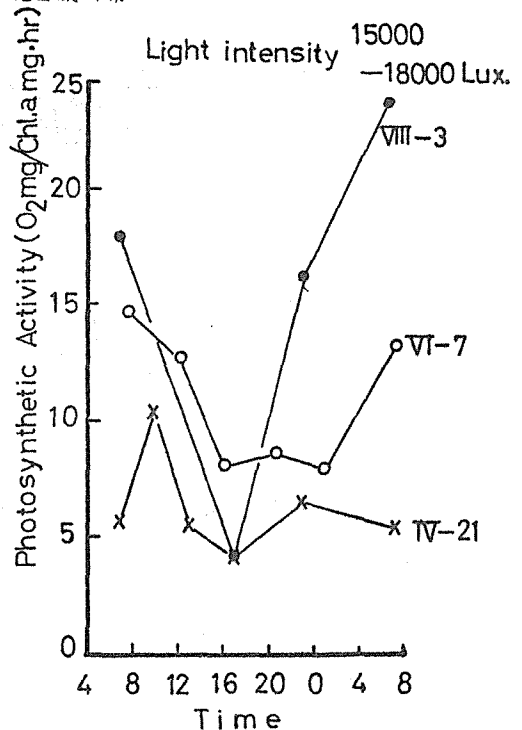


図39 光合成活性の日変化と時期による差²⁰⁾

II-2-B-d ¹⁴C法と酸素法による生産量の比較

¹⁴C法でえた値は現在一般に植物の純生産量を表わすとされる。特に諏訪湖のように外来性有機物の多い水体では細菌および原生動物によって消費される酸素量が大きいいため、植物プランクトンの真の純生産量を求めることが難しい。このため両法によって得られた測定値は細菌および動物の条件によって差が一定しない。傾向としては¹⁴C法の値は夏季には酸素法の総生産量に近

い。このため両法によって得られた測定値は細菌および動物の条件によって差が一定しない。傾向としては¹⁴C法の値は夏季には酸素法の総生産量に近

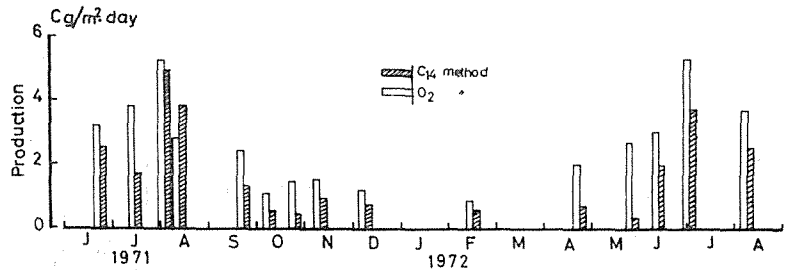


図40 ¹⁴C法と酸素法の比較と両法による総生産量(酸素法)および純生産量(¹⁴C法)の季節変化^{12,13)}

く、冬季には純生産量に近い(図40)。いずれにしても年間の生産量の増減の傾向は両法で大きな差はない。今仮に CO_2/O_2 比を 1:1 として酸素法で求めた結果を C の同化量に換算し、 $P_g - P_n = R$ の式に従いまず植物プランクトンの呼吸を求める。一方、酸素法でえられた呼吸量は植物プランクトンと細菌および動物プランクトンの呼吸を全て含む Community Respiration と考えると、両者の差は他栄養的生物の呼吸量と考えることができる。すなわち、酸素法によってえられた純生産量は全群集の純生産量となる。1971~1972年の各測定値をこの考え方で整理すると、総生産量を100として植物プランクトンの純生産量は54%、植物プランクトンの呼吸46%、他栄養生物の呼吸53%となり、全群集の純生産量は1%となった。

II-2-C 分解速度

II-2-C-a Community Respiration の季節変化

上述の通り或水体の中での生物群集による分解量を全群集の呼吸量としてとらえると、年間を通しての場合、全群集の生産と分解はほぼつり合った状態にある。実際は生産と分解とが常に平衡がとれている訳でなく6月下旬から8月初旬にかけての生産活動の大きい時期は総生産が全群集による分解を上まわり、純生産されたものはけん濁性有機物(POM)として水体中に保存される²⁰⁾。すなわち、植物プランクトンの増殖をもたらすことになる。全群集の呼吸量は冬季の $2 \sim 3 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 、炭素量にして $1 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 程度を最低とし、7~8月の $8 \sim 10 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ($25 \sim 35 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$) が最高であった。総生産量に対する総呼吸量の比は7~9月 Microcystis の時期には $0.42 \sim 0.81$ と低く珪藻を主とする他の時期は11~12月の $0.7 \sim 0.9$ を除くと $1.1 \sim 1.8$ と高く、全群集による分解量が植物プランクトンによる総生産量を上まわっていることを示している。

II-2-C-c Community Respiration の経年変化

1949年の宝月²¹⁾の測定と今回の結果を図41で比較すると、植物プランクトンの総生産量の場合と同様明らかに差が認められる。但し1969~1970年と1971~1972年の間には総生産量でみられたよりはるその増加率は若干低く30%弱であった。量的には1949年の分解量が $563 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ($211 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$) に対して1969~1970年では約3倍近い $1640 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ($615 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$) と、総生産量の兩年間の倍率2倍にくらべて1.5倍で分解量が著しく大きくなり、外来性有機物の増加が認められる。1971年~1972年の分解量は $2100 \text{ gO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$ ($786 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$) であった。

II-2-C-c 細菌の生産速度と水中での有機物の分解

図35に示したように1969年における細菌の生産速度は冬季を除いて2つの部分に分けられる^{11,47,48)} 一つは3

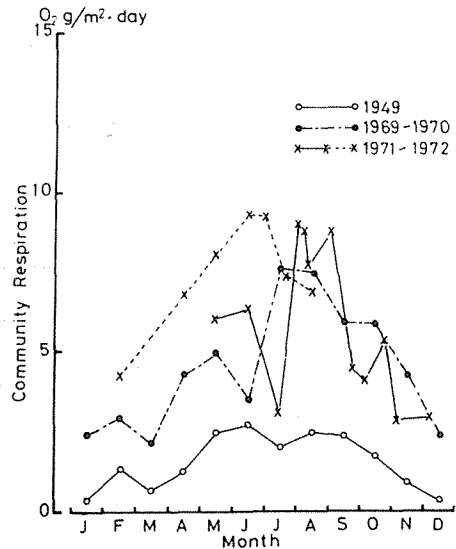


図41 Community Respirationの経年変化

月から6月にかけての非常に高い生産速度の時期で $7 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{month}$ であり、他は水温には前記時期とそれ程差がない7月~11月にかけての時期で、7月の移行期の $45 \text{ gC}/\text{m}^2 \cdot \text{month}$ を除いて $2 \sim 2.5 \text{ gC}$ で春の $1/3$ 程度となっている。これが原因としては分解される基質の違いによる差と、温度の上昇期と下降期の差による細菌の生理活性の差がある。基質の違いについては春の場合には一次生産が珪藻によって主になされていることと、秋の場合にはその前の夏の生産力が Microcystis によってなされていることである。

一次生産によって生産されけん濁物として存在する有機物は、水中にある間に生物自身の呼吸によ

て消費されるもの、他の生物によって分解されるものと、湖底に新生堆積物として沈降後に分解されるものとに分けられるが、その比率がどの程度かを実験室内(暗条件下)におけるセストンの分解速度で検討した。⁴⁹⁾結果は図42に示すように20日間で最初の60%以上の有機物が分解された。一方純生産量のC量とけん濁物質の有機Cの比からの推定でも、けん濁性有機物(POM)は5~38日位で生産活動により新しい群集におきかえられる計算となり、大半のものが水中にけん濁状態にある間に分解されている。これは深さが浅く、常に風により湖水が攪拌されていることに起因しているものであろう。表7にみられるように、けん濁物の存在する深さによっても分解率はことなり、或る意味でのフラクショネーションがなされているようである。⁵¹⁾有機性Cにくらべて有機性Nの分解が大きく、結果として、けん濁物の状態での分解後C/N比は7~8となり、後述の沈澱物のC/N比に近い値となった。湖水中のDON成分は全層250r/l、遊離アミノ酸はその40%の100r/lであり、かなりの量の溶存N成分が認められた。これはけん濁性成分から溶存成分への分解速度より

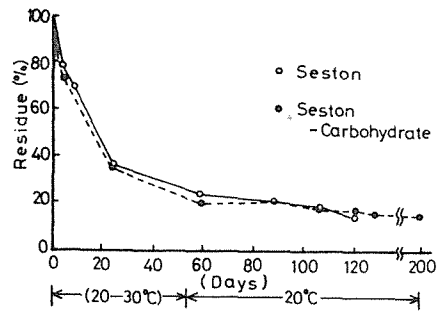


図42 暗条件下におけるセストン炭水化物の分解
表7 セストンの培養(20°C後の)残存率とC/N比の変化

Depth(m)	period of incubation(%) (days)	Residue after incubation(%)		C/N ratio	
		C	N	initial	final
0	3	63.5	67.2	5.9	5.7
	9	40.4	36.3	5.9	6.7
	15	30.0	23.6	5.9	7.6
3	15	66.7	51.2	5.7	7.3
5	3	103.1	90.3	6.3	7.2
	9	91.3	67.7	6.3	8.3
	15	91.8	80.6	6.3	7.2

(1971. 6. 26. Sampling)

溶存N成分の分解速度が小さいことと、汚水としての流入Nの多いことを示すものであろう。

II-2-D 沈澱速度

II-2-D-a 沈澱速度の季節変化

新生沈澱物量は年間有機物量(灼熱減量)として平均160g/m²・yrであり⁵⁰⁾季節変動のパターンは調査期間中ほぼ同じ傾向であった。乾燥重量でみた沈澱速度の季節変化は11月の約8g/m²・dを最高に、9~12月は2.5~8g/m²・dと2~8月の0.3~0.9g/m²・dにくらべて約10倍程高い。⁵¹⁾この原因はPOMを合成する植物プランクトンの種類とその生産量の多少によると考えられるが、秋の高い値は夏のMicrocystisによるものと推定される(図43)。図44にCおよび

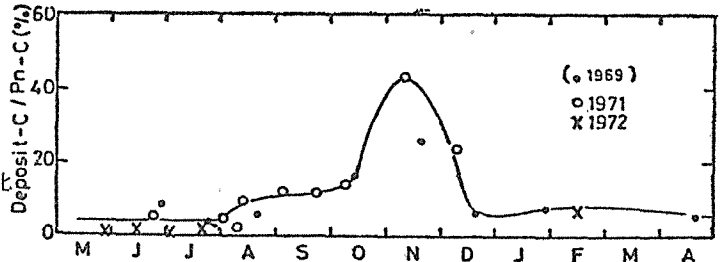


図43 総生産量(C)に対する新生沈澱物(C)の比率(1969年は有機物量から算出)

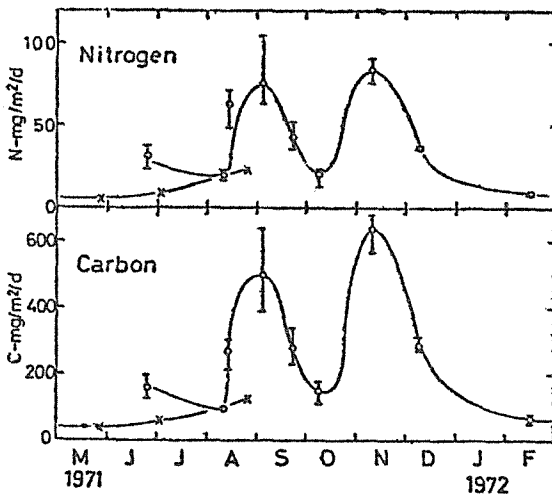


図44 窒素および炭素量からみた沈澱速度の季節変化

Nとしての新生沈澱物の堆積速度の季節変化を示した。乾量でみた場合との差は8月末から9月および11月に顕著な増加が認められる点で、これは水中のプランクトンの存在状態に起因するものと考えられる。年間の堆積量としてはCにして815 gC/m²・yr., N量にして125 gN/m²・yr.となる。一方湖底泥の0cmから10cmにおける各元素の減少量からの推定ではCについて271mgC/m²・yr., Nは62mgN/m²・yr., Pは23mgP/m²・yr.となる。この差は堆積後の分解による減量とみられる。

II-2-D-b 新生沈澱物の分解速度

表8 沈澱物の好氣的分解による残存率とC/N比の変化

新生沈澱物と底泥とからによる堆積速度の差からも明らかなように、堆積後の分解を無視することはできない。表8に各季節ごとの新生沈澱物の20℃での分解量を示した。⁵⁾¹9月の場合47日間の培養でCは約60%に、Nは約45%に減少している。C/N比も30日以上培養後に7~8と高くなっている。いずれにしても3~5日間で新生沈澱物中より失われるC, N量は10~20%にもおよび、特にMicrocystisのbloom期にはC/N比の比較的小さい新生沈澱物がえられ、この時期には培養により失なわれるC, N量も大きい。一般に新生沈澱物の培養によって失なわれ率はCよりもNの方が高いことが示された

	Period of incubation (days)	Residue after incubation (%)			C/N ratio	
		Dry wt	C	N	initial	final
1971.8. 2.	3	94.6	84.0	82.4	6.1	6.2
1971.8. 7.	5	100.7	79.3	68.4	5.3	6.4
1971.8.12.	5	83.6	77.4	69.4	4.6	5.5
1971.9. 4.	5	88.4	72.0	66.4	5.6	6.1
	47	82.6	59.7	44.6	5.6	7.7
1971.9.22.	5	95.9	84.8	81.3	6.2	6.5
	30	93.4	71.3	52.5	6.2	8.5
1971.11.10.	5	97.6	89.7	91.8	7.4	7.5
	16	96.1	79.9	80.5	7.4	7.4
	39	90.5	73.6	79.6	7.4	7.0

はC/N比の比較的小さい新生沈澱物がえられ、この時期には培養により失なわれるC, N量も大きい。一般に新生沈澱物の培養によって失なわれ率はCよりもNの方が高いことが示された

II-2-E 底泥からの栄養塩の回帰

すでに底泥となった状態の泥からのC, N, Pの水中への回帰量を底泥の分析値⁵⁾²から推定すると、Cについては1.2%, N 2.1%, P 5.2%となった。実際には新生沈澱物の段階では風による湖水の攪拌等で、水中のセストンと同様に何回も水中にけん濁し、この際に多く分解されるので、上記の値は底泥として、風の攪拌にも動かない状態になってからの回帰量と考える方が妥当であろう。

湖底泥からの栄養塩の分解回帰量をより詳細に推定するために本研究では④ Nutrient trap法¹⁴⁾, ⑤柱状試料法¹⁵⁾の2方法が用いられた。④ではトラップ内の栄養塩量の時間的変化を追った。1971年は数回測定がおこなわれたが、トラップ内で栄養塩量のみかけ上の増加はなく、溶出量が推定できなかった。その理由として、トラップで泥表面上の水の動きをとめ溶出効率を低下させたことが考えられる。⑤の方法ではまず大型採泥器を用い内径10cmのプラスチック円筒内に約25cmの厚さに柱状底泥試料をとり、これを実験室にもちかえる。円筒の下部に密栓をして円筒ごと泥温に近い温度にたもち、泥上の試水に溶出してくる溶存N量の時間的変化を追った。溶出してくるN化合物の半分以上はNH₄-Nであった。

表9 底泥からの溶存N化合物の供給量¹⁴⁾

1971		Mar.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.
Nitrogen released	mgN/m ² /day	6.1	20.0	57.3	81.3	124.0	11.3
Experimental temp.	℃	3.0±1.0	17.0±0.5	19.0±0.5	22.0±0.5	23.5±0.5	14.2±0.5
Bottom water temp.	℃	4.1	16.7	17.4	21.4	23.3	13.3
Deposition	mgN/m ² /day	-	41	67	26	183	35

表9は溶存全Nの溶出速度の月別変化を示す。溶出量は泥温の低い3月に低く、泥温の高い8月に大きい。泥温の上昇に従い溶出量は指数函数的に増加する傾向がある。なおこの実験では泥上試水は底泥との混合ないように注意しながらたえず空気と共に還流した。したがって本実験は自然状態とは酸素条件では若干の差があり、えた値はむしろ可能回帰量と考えてよい。しかし諏訪湖は夏季でも湖水の水温、化学成層は風によりこわされ易く、泥上の試水が長期にわたり低酸素環境におかれるのはきわめてまれである。したがって、ここでえた値も実際の回帰量より過大評価の可能性はあるが、けたはずれの値でもない。表9の下欄には、上記方法による回帰量測定と平行して測られた湖底への有機N沈降量を示す。¹⁵⁾ 7月を除けば沈降する有機N量の32~85%にあたる量が水中に回帰しうることが示される。

底泥中における有機物を分解無機化し水中に回帰してゆく上で、主要な役割を演じているのは細菌と底棲動物の働きである。底棲動物はその摂食、同化、排泄活動を通じ有機物を無機化してゆくと同時に、その運動により泥中にとじこめられていた無機化した塩類を水中に溶出してゆく。このような底棲動物の働きによるN溶出量の全回帰量における割合は8~33%の間にあることを研究担当者の福原(未発表)が示している。

II-2-F 各生物群集間の量的関係

以上の各章において、諏訪湖生態系を構成する各生物群について個々の生態学的特性を述べたが、ここでは諏訪湖全体としての各生物群の現存量、生産量の量的関係を検討する。

II-2-F-a 現存量の量的関係

図45は植物プランクトン、動物プランクトン浮遊細菌、底棲動物の現存量の月別変化を示す。1969~1970年の浮遊細菌の現存量^{11, 47)}以外は、1971~1972年の結果^{12, 21)}を基にして画いた。ここで植物プランクトン乾重量はChl-a量の100倍として計算し、底棲動物はオオユスリカ、アカムシユスリカ、イトミミズのそれぞれについて湿重量から乾重量を算出し、その合計値をのせた。すなわち植物プランクトン現存量は5月と8月を除いては他の生物群集のそれより常に多い。1971年5月と8月にはその現存量は著しく低下し、底棲動物量と同じ程度の量

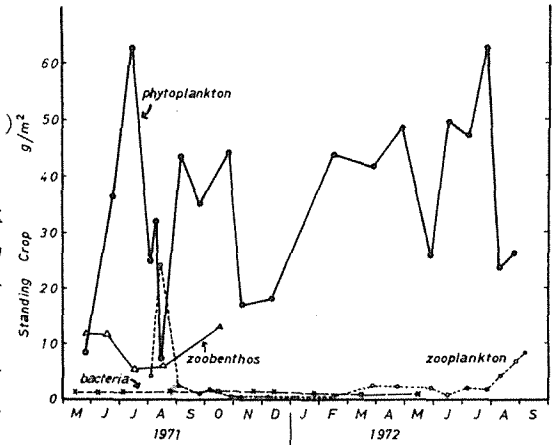


図45 各生物群集についての現存量の季節変化

となる。毎年夏季には *Bosmina* を主とする動物プランクトンの著しい増殖があるが、特に1971年8月にはその量が多くなり植物プランクトン量の倍近くにまでなる。他方浮遊細菌の現存量は年間を通じて著しい変動は示さず、かつ植物プランクトン量に比べて著しい。

	ash free Dry weight ton(%)	Carbon ton(%)	Nitrogen ton(%)
Rooted aquatic plants	121 (20.1)	59 (17.9)	4.3 (7.9)
Phytoplankton	438 (60.2)	219 (66.0)	37.1 (68.2)
Bacteria	16 (2.2)	7.9 (2.4)	2.4 (4.4)
Zooplankton	39 (5.4)	16 (4.8)	3.9 (7.2)
Zoobenthos	(1.4)	2.6 (7.9)	5.8 (10.9)
Fishes	6.1 (0.8)	3.1 (0.9)	0.9 (1.6)

表10 夏季における各生物群集の現存量(全湖) 桜井他²¹⁾ 坂本他¹²⁾ 青山他³¹⁾ 桜井他^{11・47)} 山岸他⁹⁾ 福原(未発表)の結果より算出

表 10 には夏季（7月下旬～8月初旬）における各生物群集の現存量を乾重量、炭素量、窒素量として表示した。湿重量から乾重量、それから C, N量への換算には Vinogradoph⁵⁸による各種生物の成分組成の数値を用いた。すなわち乾重量と C量については、植物プランクトンは水草の約3倍、Nについては10倍弱である。底棲動物の現存量は植物プランクトンの1/5（乾量）、1/8（C）、1/6（N）であり、動物プランクトン量の約2倍（乾量、C量）、また約1.5倍（N量）になる。浮遊細菌は後述するようにその活発な生産活動にかかわらず現存量小さく全生物量の2%強（乾量、C量について）、また4%強（N）を占めるに過ぎない。魚類は更に少なく1%前後である。以上をとりまとめ全生物群を栄養段階としての位置に応じて、(イ)水草と植物プランクトン、(ロ)細菌、(ハ)動物プランクトンと底棲動物、(ニ)魚類の4つに大別するとその量関係は乾量で100:2:21:1となる。

II-2-F-b 純生産量の量関係

諏訪湖におけるIBPの研究において、動的な面の把握は一次生産と分解活動に主力をおき、二次生産以上については生産速度の測定はおこなわなかった。表 11 には生産速度の測定されている植物プランクトンと浮遊細菌および生産量の推定可能な資料のある水草と魚類のみについて、それぞれ年間の全湖中の生産速度を計算した。植物プランクトンでは¹⁴Cによる24

表 11 各生物群の年間の純生産量 (t/yr.全湖)
 桜井他²⁷⁾坂本他¹²⁾桜井他^{11, 47)}および諏訪
 漁業協同組合^{40, 43)}の資料より算出

	Net Production	
	C	N
Rooted aquatic plants	59	4
Phytoplankton	6280	1030
Bacteria	1970 (31%)	605 (58%)
Zooplankton	—	—
Zoobenthos	—	—
Fishes	57 (0.9%)	11 (1%)

時間 in situ での測定値、浮遊細菌は24時間 in situでの増殖量がそれぞれ計算の基礎になっているので、ともに呼吸と排泄を差引いたみかけの生産量と見なした。水草群集は7月下旬の現存量が、生育後期の最高現存量にほぼ近いとし、過小評価のおそれはあるが1972年7月末の現存量²⁷⁾を年間の総生産量とした。魚類は諏訪湖漁業協同組合による1969年～1972年の4年間の漁獲高の平均値を、年間の純生産量としたが、これも同じく過小評価のおそれがある。

表 11によると、一次生産活動においては、植物プランクトンは主体を占め、水草の関与は1%にも達しない。他方、浮遊細菌は現存量が少ないにもかかわらず、生産量は一次生産の約Cは1/3、またNは1/2にも達する。前述の如く浮遊細菌の現存量の変動はそれ程大きくないので、当然この生産活動にもとずき、群集は次々に片端から新しいものに更新されているはずである。そこでこの更新速度を求めるために、植物プランクトンについても浮遊細菌と同じくそれぞれについて、年平均現存量（Cとして162t、Nとして6.8tとなる）を求め、これと生産量の比、および年間日数から計算すると、植物プランクトンは9.4日、浮遊細菌は1.3日に1回のわりでそれぞれの群集が更新されてゆくことになる。すなわち、浮遊細菌は植物プランクトンに比べ著しく更新速度が速いが、この事実は、後述する有機物の分解活動の活発さと密接なつながりがあることを予想させる。

II-2-F-C 湖水中の炭素、窒素量への生物群集の関与の割合

湖水中の全C、全Nのうち、上記生物群集が保有したり、またその代謝活動で有機物の形に変化してゆく量は全体の何割位になるかを考察したい。図 46 に示したデータより算出すると、夏季における湖水中の全C、全N量は7～8月の平均値として852t C/全湖、90.8t N/全湖となる。湖水中の

夏季の生物群の占める C, N量は底棲動物をのぞくと 305 t (C), 48.6 t (N)となるので湖水中の全 C, N量のうち生物の占める割合は、それぞれ 35.8%, 53.5%となる。この中でそれぞれの構成生物群の占める割合は、Nについて言えば、水草 4.7%, 植物プランクトン 40.9%, 浮遊細菌 2.6%, 動物プランクトン 4.3%, 魚類 1.0%となっている。

生産活動に全湖中の C, N量の何割が関与するか見積ると、湖水の全 C, 全 Nの年平均含量はそれぞれ 710 t, 79 tとなる。

表 11 の値と比較してみると、植物プランクトンの 1 年間における生産活動には、湖中に存在する全 Cの約 9 倍量が、全 Nの 13 倍量が関与している。この事実はこの植物プランクトンの生産を支えるためには、細菌群集による活発な有機物の分解無機化(栄養塩の回帰)と、外部からの栄養塩の供給が必要であることを示す。

浮遊細菌の生産について同様な検討をすると、細菌の基質となりうる溶存有機物の年平均含量は 131 t C, 13 t Nであるので、浮遊細菌は年間の生産にその存在量の 15 倍の DOCと

46 倍量の DONを必要とする。植物プランクトンを主とする緑色植物や動物からの活発な有機物の供給と、湖外からの供給が、この生産を支えるに重要な意義をもつことは言うまでもない。かくして、諏訪湖における一次生産者としての植物プランクトンの生産活動と、細菌の代謝活動の間には、無機栄養塩と有機栄養基質の受授を軸とする密接な相互支配関係が存在すると判断されよう。

||-3 富栄養化による湖沼生態系の変化

||-3-A 湖周辺地域の産業発達の歴史的背景

諏訪湖は 759 mの高標高にありながら、平盆状の浅い湖であり、流入河川の広大な流域(512km²)をもつため、自然のままでも急速に富栄養化の進む好条件を備えていた。すなわち湖内生物の生産による有機物の増加、蓄積とその分解による栄養塩への回帰が速やかにうえに、河川よりの多量の栄養塩の搬入があるため、生物生産を急増させる宿命をおびていた。¹⁶⁾

一方湖の周辺には古くから水田地帯が発達し、農業肥料の流入があり、また明治中頃より大正の最盛期を経て昭和 10 年代まで製

糸業(生糸)が隆盛をきわめたが、その間湖水を工場用水として利用したが、同時に多量の有機排水をすててきた。1920年にはその工場数は 250, 工員 48,000 人を数

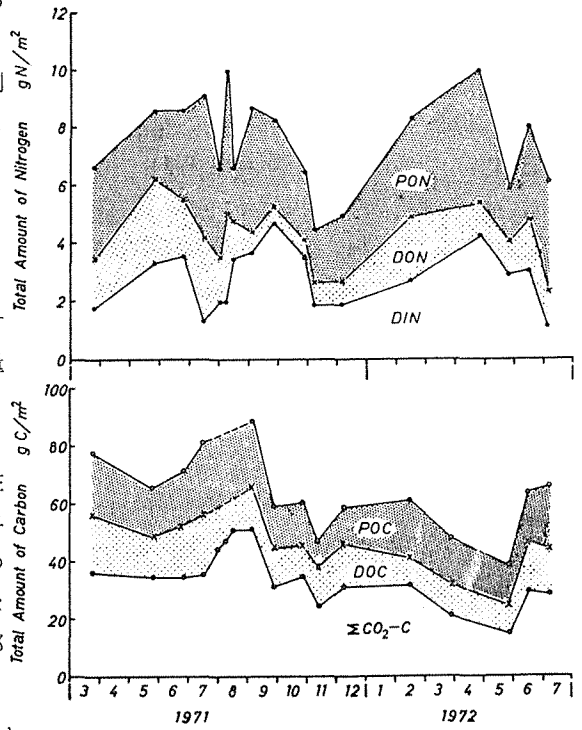


図 46 湖水中の溶存無機態・溶存有機態・けん濁性有機態の窒素と炭素の現存量の変化。定期観測結果¹²⁾より画く

表 12 湖周辺の工場数・従業員数・出荷額

	1951	1953	1960	1965	1969
Number of factories	1,093	1,427	1,759	2,045	2,433
Number of workmen	17,201	23,137	34,980	44,574	50,703
Amount of forwarding (billion yen)	81	186	374	1,085	1,305

えた。製糸業不況の後には、戦時中は軍需工場、戦後は精密工業（カメラ、時計など）が急速に発達し今日に至ったが（表12）、⁵³⁾ これとの関連企業と共に、シアン、重金属を含む大量のメッキ排水を流しこむことになった。また一部の製糸業者は大規模なミノや凍豆腐の製造工場となり、大豆の煮汁などを大量に流し込んでいる。

また産業構造の変革で、湖周辺の4市1町（諏訪市、岡谷市、ちの市、下諏訪町）の定住人口は、1888年の8万人から1913年の11万を経て1970年には18万人に増え、その上温泉と高原の観光客も急増し、諏訪の温泉だけで年間100万人（1967年）に達した。これだけ多人口をかかえながら、湖周辺都市には下水道がないので、すべての排水は湖へ直結し、し尿処理水や旅館の浄化槽の排水も放流されている。

諏訪湖漁業は1895年には漁獲量308 ton であるが、その後シジミの産量が激減したといえ、最近では年間約400 ton の漁獲が維持されている。これに加えて1964年から網イケス養鯉が行われている。当初は32面で発したが、1972年には約100面となり、その水揚量は湖の全漁獲量を上廻っている。この給飼量（乾量）は水揚量の約2倍といわれる程の大量投与であるので、水の有機汚染はさげられない。

かくして諏訪湖の富栄養化は人工的要素により急速に進められ、ここ10年間位にかかって見られなかったラン藻類の大発生が年中行事となり、夏の数ヶ月間は湖面を青緑色に染めあげている。

II-3-B 湖水および流入河川水の水質の変遷

湖の栄養型を溶存栄養塩の濃度で区別する場合その測定時期は、春季循環期の初期に定めて比較すべきであるとされる。表13¹⁶⁾では1909年は夏のものであるが、N、P共に1949年や1969年に比べ著しく微量であり、この状態は中栄養湖より富栄養湖への過渡期を思わせる。以後の値は富栄養湖的な高いものである。C1も年と共に増え、人口増による排泄物の増大と密な関係がみられる。表14¹⁶⁾は代表的流入河川の最近20年間の無機NとPの急速な増加を示し、六斗川のような最大流量をもつ川も上流のちの市の発展で水質が急変したことを示す。全流入河川水量を100%として河川のそれぞれについて植物プランクトン、付着植物、底生動物の生物相を指標として生物学的水質判定を行うと、図47⁵⁴⁾

表13 表層水の溶存栄養塩濃度の変遷

μ p m	1919 (Aug.)	1949 (Mar.)	1969 (Apr.)
NH ₄ - N	0	0.1 ~ 0.15	0.1 ~ 0.2
NO ₂ - N	0	0.003	0.01 ~ 0.02
NO ₃ - N	tr.	0.12	0.20 ~ 0.25
PO ₄ - P	tr.	0.02	0.01 ~ 0.02
Cl'	8.0	11.9	13.0

表14 代表的流入河川の夏における溶存栄養塩濃度の変遷

p p m	NH ₄ - N			(NO ₃ +NO ₂)-N			PO ₄ - P			Water quality by external look
	1949	1963	1969	1949	1963	1969	1949	1963	1969	
R. Rokuto-gawa	0	0.019	0.05	0.015	0.061	0.78	0.005	0.006	0.03	Farming irrigation
R. Enoto-gawa	0.6	-	0.31	0.030	-	0.15	0.080	-	0.22	Municipal Hot spring } drainage Food factory
R. Furu-kawa	0.1	0.020	0.08	0.020	0.267	0.91	0.040	0.291	0.17	Municipal Factory } drainage

のようであった。すなわち、1960年には os 水量は全量の 40%, ms は 51%, ps は 8% を占めたが、1972年には os は 0% になり、ms は 60~70%, ps は 20~30% に増大した。これについて湖の汚れも増し、全河川流入量の約 50% が β ms で占められる 10 余年前は、湖の水質は β ms を示したが、 α ms の流入量が 60% を占める現今では、湖は α ms の水質となった。

II-3-C 湖の生物相の変遷

諏訪湖の富栄養化の経過を夏季における生物相の変化とその生物群の量の増減でみると次のようである。¹⁶⁾

夏季の植物プランクトンは 60 年前 (1910-1920) は珪藻群の Melosira が優勢で“水の華”現象の記録はないが、その後珪藻に代ってラン藻が増え、20 年前 (1947-1950) には Microcystis を主とする“水の華”がみられ、全植物プランクトン細胞数の 60% 前後を占め、近年 (1967-1972) の表層では 99% を越える⁵⁵⁾。そして全細胞数は $\times 10^{5\sim6}$ で、20 年前の約 10 倍に増えている。大型水生植物の変遷も著しく、60 年以前は中栄養型湖によく繁茂するセンニンモが最も多いが、20 年前ではクロモ、セキショウモで湖全量 (生重量 986 t) の 60% を占めた。しかし、1967 年にはヒシ、ササバモのような浮葉性のものが 50-60% (全量は 1210 t) に増え、沈水性のものは著しく減少した。

また湖水のクロロフィル a 量の増加も著しく図 48 にみるように、特に夏季において差が大きく、最近では 20 年前の 2-4 倍となり、1968 年は約 6 倍の異常上昇がみられた。この事実は植物プランクトンの大発生による水中への光の透過量の減少との強い関連が推定され、これは水草の分布限界深度の減少でも裏づけられ、60 年以前は 3.5-4.0 m であったが、今日では 2.0-2.5 m までに浅くなった。

動物プランクトン相からみると、一般には貧栄養湖は甲殻類中でも Copepoda が優占するが、富栄養湖ではワムシ類や原生動物が豊富になる。諏訪湖では 60 年前は Cyclops が、20 年前と近年ではワムシ類や Cradocera が優位を占め、原生動物も多くなっている。¹⁶⁾ 底生動物は 60 年以前にもユスリカ幼虫が多くイトミミズと共に今日まで豊富にみられるが、二枚貝の減少は甚だしく、シジミは 60 年前はその生育地では $\times 10^{2\sim3}$ 個体/m² を数えたが、今日では皆無に等しくなった。¹⁶⁾ このことは、シジミ

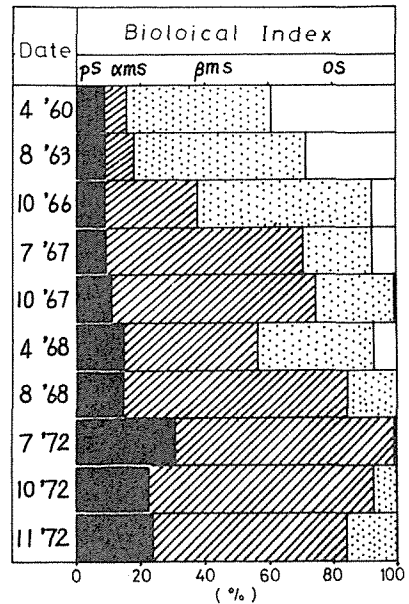


図 47 生物指標による河川汚濁水の流入量の変遷

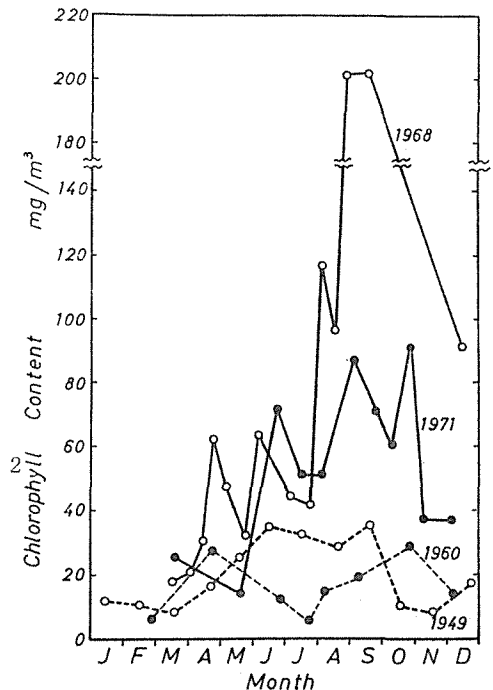


図 48 クロロフィルの量の経年変化

が好む流水域の酸素の豊富な条件を持つ場所が失われる一方で、低酸素条件にさらされる湖底の面積が増えたため、酸素耐乏性のオオユスリカやイトミミズが多く採集される結果となったことを示す。これらのことは漁獲物の種類にも顕著に表わされる。¹⁶⁾ 60年前はシジミが全量の40%を占め、エビ、ウグイ、コイとつづきアマゴなど冷水魚が相当捕獲されている。その後大正年代にワカサギ、フナの移殖放流によりこの両種が急激に増えはじめ冷水魚は減り、20年前はワカサギが全量の35%、フナが22%で1位と2位を占め、シジミ(11%)は3位となる。近年ではワカサギが全量の2/3以上となり暖水性のフナは1/5前後を占めるようになった。白石⁴⁵⁾は1941年以降ワカサギの漁獲量とフナのそれとの間には正の相関があるとしている。しかし山岸⁴⁶⁾は1959年以降では両者の関係は逆相関に向う傾向をみており、この理由としてふだん沿岸部にいるフナが、沿岸帯の汚染で夏季に深底部まで進出し深底部にすむワカサギとの競合をあげている。

II-3-D 富栄養化促進要因としての栄養塩増加

自然湖沼、特に貧栄養湖においては湖水中の栄養塩量は乏しく、生産を大きく制限する因子となっている。かかる水域で外部からの栄養塩供給量が増加し、湖水中の制限因子としての栄養元素の含量がたまると、藻類生産の増加をまねくことはよく知られた事実である。この事実は40年前の諏訪湖においても例外ではない。吉村氏が1931年にえた湖水の全N量 0.26mg/l 、全P量 0.02mg/l という値は⁵⁶⁾植物プランクトンのこれら元素に対する栄養要求量と⁵⁷⁾との比較で明らかなように生産を支えるに十分な濃度ではない。しかし、その後における前述の如き周辺地区での工業、都市の発達に伴う流入栄養塩の増加には、当然植物プランクトンの生産の著しい増加をまねくにいたった。特に夏季における *Microcystis* を主体とする藻類の大発生は著しい。日本の湖沼では表層水についてはN/Pが、10~20の範囲で全N量 5mg/l 、まで、全P量 0.5mg/l までN、P量の増加につれ藻類の現存量が高まることが認められている。⁵⁷⁾ 1972年度において諏訪湖中の全N量は $0.8-1.9\text{mg/l}$ であるので、他の要因により制限されることがなければ、湖外からの供給量の増加は更に著しい藻類量の増加をまねくに違いない。

III 諏訪湖の物質代謝の特性

III-1 窒素を中心とする一次生産と分解の関係

III-1-1-A 湖水中の栄養塩含有量とそれの生産における意義

湖水中の栄養塩の含量の季節変化はII-1-A-dでのべた。そこでここでは1971年~1972年にかけての定期観測結果と¹²⁾植物プランクトンの生産量¹²⁾とから、一次生産に必要とする無機態の(可利用)塩類は湖水中にどれ位十分に含まれているかを計算した。結果はCとNについて測定時における生産活動がそのままの速度でつづく時、何日で水中の栄養塩がなくなるかを図49に示した。すなわち生産活動の大きさに比し湖中の栄養塩量は十分ではなく夏季には数日以下で湖水中の可利用のCやNは枯かっしてしまう計算になる。特にNの不足度は著しく8月初旬の *Microcystis* の大発生時は0.06日(1.4時間)で吸収しつくされる。事実、この時期には水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は著しい減少を示した。¹²⁾ 1971年-1972年の両年とも水中のNはCよりも植物の生産要求に対して不足している。すでにII-2-Eにおいて年間の一次生産には湖中に存在する全Cの9倍、全Nの13倍が必要なことを述べたが、この値も湖中ではNがCよりも生産の制限因子となる度合の高いことを示す。また湖中の全N、全C量のうち、生物のしめる割合は(夏季)それぞれ38.5%、53.5%となることもこれと関連をもつ。(II-2-Eを参照)

植物プランクトンの生産を制限するとされる栄養元素はこの外に、PとSiO₂がある。PはII-1-A-dで述べた如く存在量は極めて低く、特に夏や秋の増殖期には10 μg/l以下に底下し、測定限界以下になる。これはPも生産の制限因子になっている可能性を暗示する。一般に外界のP濃度の低い時は植物プランクトン体内のP量は外界濃度に応じ著しい変化を示すといわれるが、本研究では実際の試料についてP含量の測定をしてないので、詳細な量的検討は不可能である。そこで大まかな目安をつけるため、生産活動でCとPは100:1の割合で摂取されるとして生産量よりPの必要量をもとめ、水中の存在量との比をとると、1971年8月初旬には20日、1972年7月初旬では0.5日で、水中のPO₄-Pは枯かつすることになる。P量が測定限界以下の時期はおそらくこれ以下に違いない。

図50は湖水中のSiO₂量の変化と珪藻の現存量変化との関係を示す。SiO₂量の著しい変化から珪藻の増殖と何等かの関係があるように受けとれるが、珪藻量の変化から当然予想されるSiO₂量の変化量(理論値、珪藻のSiO₂含量と珪藻の現存量変化から計算)は、実際の変化量よりはるかに小さい上、増減の傾向は必ずしも一致していない。従ってSiO₂量の変化はむしろ他の要因によりひきおこされると考えられる。

III-1-B 植物プランクトンの生産と栄養塩の回復、供給の関係

Nのようにその含量少なく生産への要求度高い元素は植物プランクトンの生産活動により容易に消失し易い。ところが自然の湖沼生態系においては、生産活動と平行して老化した生物体の死滅分解が順次おこり、また動物の排泄活動により生体の中に有機物として固定されていた栄養元素は、次々と植物が利用し易い無機塩として再生されていく。また湖外からは河川水の流入による供給があり、降水、降じんにより供給も場合によっては無視できない。

さて、分解無機化により栄養塩を供給する生物死体の有機物は、元来一次生産活動により作り出さ

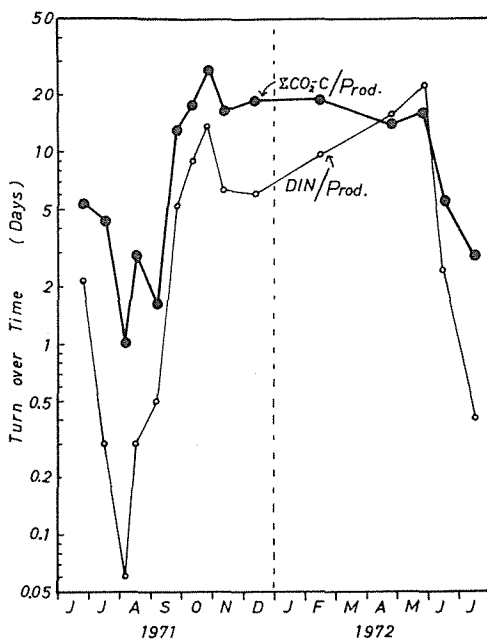


図49 植物プランクトンの生産に使われるC、N量と湖水中のΣCO₂-C、DIN(NO₃-N+NO₂-N+NO₄-N)量の割合

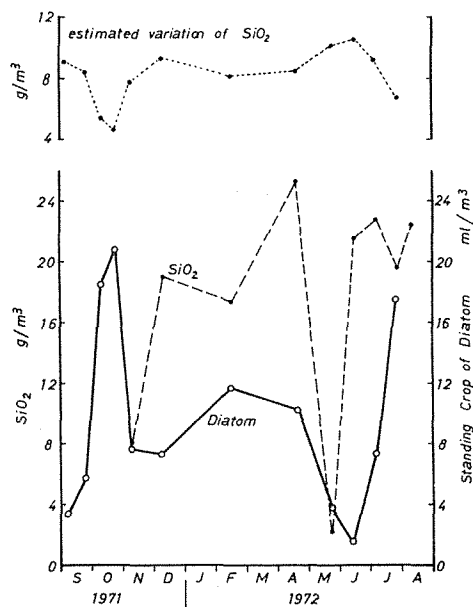


図50 SiO₂量と珪藻量の変化
1971~1972年定期観測結果^{12,31)}より。上の図は珪藻の変化量から予想されるSiO₂量変化の計算値

れた植物体にまた食物連鎖の道をへて再生産された動物の体由来している。

今、高次生産で作り出される動物プランクトン（原生動物も含む）もプランクトンとして一括すると、湖沼生態系における生産と分解、栄養塩供給の関係は図51に示すごとくになる。この模式により諏訪湖におけるプランクトンの生産と、栄養塩の回帰、供給の量的関係をNについて検討して見る。計算の基礎は生産量は¹⁴C法による純生産量の値を用いた。室内での培養実験や、プラスチック容器内での自然群集の研究結果によると、¹⁴C法の純生産量測定値は藻体の増殖量にほぼ一致する。従って、本研究でも測定された純生産量にあ

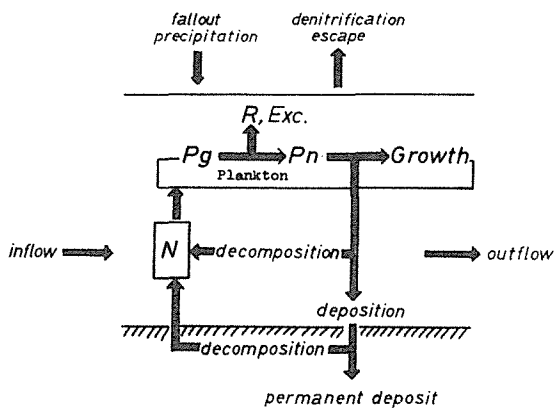


図51 湖沼生態系における植物プランクトンの生産と分解、栄養塩供給の関係を示す模式図

たる藻体量の増加は当然あったと考えられる。ところが実際のPOM量（植物プランクトン、動物プランクトン、原生動物、デトリタスをあわせたものとして測定される）の増加は非常に少ないので、生産と平行してこのプランクトン群集内で分解と消費がおきていると考えられる。

表15 植物プランクトンの一次生産と、増加、沈澱、流出、分解の関係

Date(1971)	Net (mean value) gN/m ² /day	Increase gN/m ² /day	Deposition gN/m ² /day	outflow gN/m ² /day	difference (decomposition) gN/m ² /day	estimated decomposition gN/m ² /day
June 22-July 14	0.4 1	0.0 8	0.0 3	0.0 7	0.2 3	0.2 8
July 14-Aug. 1	0.4 3	-0.1 3	0.0 6	0.0 7	0.4 3	0.4 8
Aug. 1 -Aug. 12	0.6 0	-0.0 6	0.0 4	0.0 4	0.5 8	0.6 3
Aug. 12-Sep. 4	0.6 0	0.1 1	0.0 7	0.0 6	0.3 6	0.3 4
Sep. 4 -Sep. 22	0.3 7	-0.0 9	0.0 7	0.0 7	0.3 2	0.2 3
Sep. 22-Oct. 25	0.1 7	-0.0 1	0.0 3	0.0 5	0.1 0	0.2 1
Oct. 25-Nov. 10	0.1 0	-0.0 5	0.0 6	0.0 4	0.0 5	0.2 0
Nov. 10-Dec. 8	0.1 2	0.0 2	0.0 5	0.0 4	0.0 1	0.1 6

生物死体の分解残渣は湖底に沈降し、また生産された藻体の一部は湖外への流出により失われてゆく。さてPOM量の変化、沈澱量、流出量は本研究での結果より求められるので、この差引きが分解量（細菌による分解、動物プランクトン、原生動物の代謝活動による分解、自己消化をあわせたもの）となる。表15^{12,51)}のNとしての純生産量は生産層中のPOMのC/N比と¹⁴C法で求めた生産量とから算出した。いずれも値はそれぞれの測定期間の始めと終りの平均値としてとってある。なお流出量は湖水のけん濁性N量に湖水の流出率²⁵⁾を乗じて求めた。生産量に比し、増加量、沈降水量はいずれも小さいので、計算で求められた分解量は一次生産量とそれ程大きな差がない。この分解活動は当然細菌と動物プランクトン、原生動物の活動にもとづいている。本研究ではこれら他栄養生物群による呼吸量が求められているので¹²⁾、この呼吸量（C量として求められている）と小山⁵⁹⁾の湖水中の有機物の無機化におけるC/N比=3.53の値とからNの分解量を算出し、表の最右欄に示した。これらは上述の差引計算で求めた値とよく一致しており、分解量の推定が大体正しいことを示す。表内の数値は生産活動と平行してそれに匹敵する程の速さで分解がおこり、無機化された塩類は生産活動に再び利用されて行くことを暗

示する。

この関係を具体的に検討するためビン実験を行った。図52は1971年1月末の実験結果で、明瓶中ではその光合成生産活動により植物プランクトン増殖があるため Chl.-a, PONの増加がおり、この増殖のため水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ は急速な低下を示す。DONは逆に増加している。図53では、PONとDONの増加量の合計値は溶存DINの減少値とほぼ一致することから、DONは植物プランクトンの生産活動に伴う有機物の排泄作用で主に作り出されたと判断できる。しかし、生長後期におけるDONの増加はPONやChl.-aの減少を伴っていることから、生産活性を失った藻体からの溶出(自己分解を含む)によるものがあると考えられる。一方、図52の暗瓶中では植物プランクトンの増殖はなくPONの減少と $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加があり、分解活動が活発にすすんでいることを示す。

図54、図55は1970年12月末に in situ の実験でえた結果を示す。明瓶中では光合成により、PON、POCの増加(図54)があり、水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DON

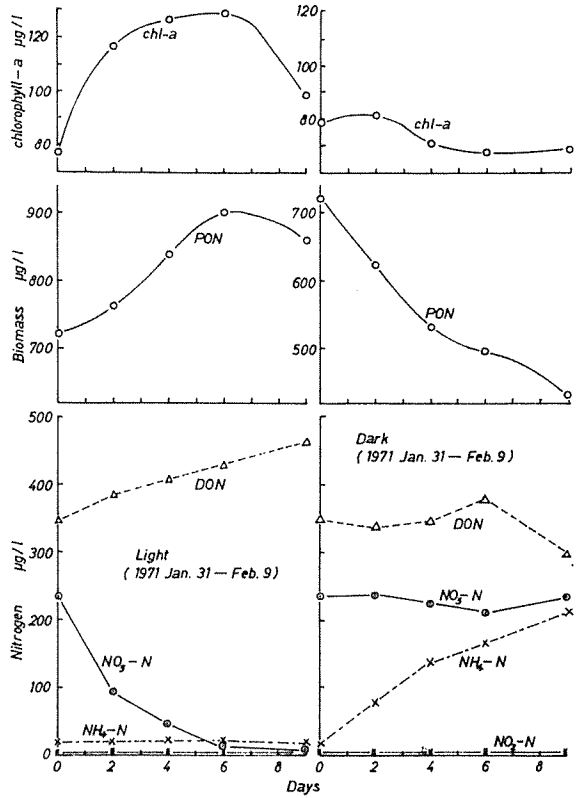


図52 明瓶と暗瓶における1m深度の湖水中の各成分の変化(実験室の流水(7℃)中で、蛍光灯(2,500 lux)の連続照射下で変化をしらべた。)¹⁵⁾

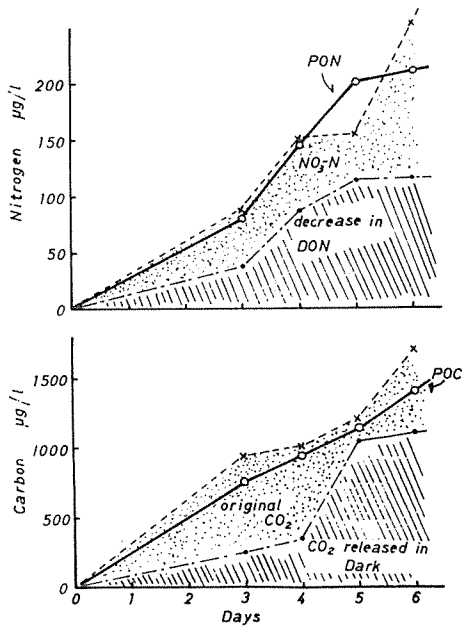
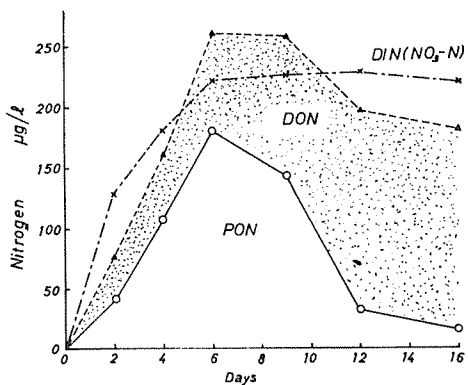


図53 明瓶中におけるPON, DONの増加とDINの減少値の関係。(図52のデータより画く)

図54 明瓶中におけるPON, POCの増加と $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DON, または $\sum \text{CO}_2\text{-C}$ 減少の関係(1m試水, 1970年12月2~8日)¹⁴⁾



が著しい減少を示す。

NO₃-N の減少と DON の減少の和は PON の増加と一致することから、植物プランクトンはその生産に NO₃-N と共に DON を利用しているようにも考えられる。しかし暗瓶中では DON は急速な分解を示し NH₄-N と NO₃-N の増加となってあらわれること、明瓶中でも DON は急速に分解し NH₄-N となり、これが次々と植物プランクトンに利用されていたとするのが合理的である。同様な関係は C についても認められる。すなわち、POC の増加は明瓶にもともとあった CO₂-C (original CO₂) の減少だけでは説明できず、暗瓶中の CO₂ 増加から推定される分解による CO₂ の供給を計算に入れて始めて一致が見られる。(図 5 4) 上記瓶実験の結果はいずれも湖水中では生産と平行して分解がおり、

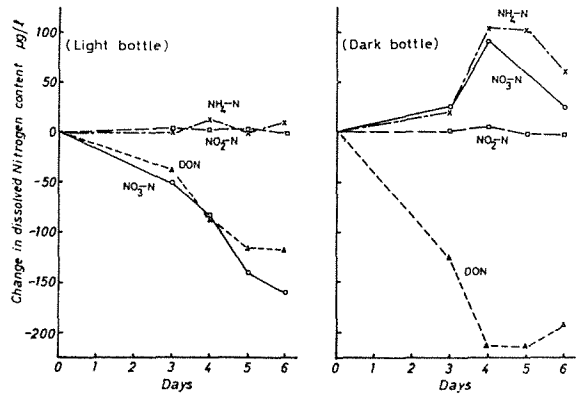


図 55 明瓶と明瓶中における溶存窒素化合物量の変化 (図 5 4 参照)

分解で無機化された栄養塩は次々と生産に使われていること、いずれ分解をうける有機物(溶存性が主体と想像される)は生産過程により作り出されていることをはっきりと示している。

植物プランクトンの生産活動に使われる栄養塩の供給は、上にその値を推定した湖水中での分解活動によるほか、底泥での有機物の分解無機化によるものと、湖外からの流入によるものが大きな供給源として考えられる。本節で生産と分解の関係を論じている 1971 年度における底泥からの回帰量については II-2-E ですでに述べたが、ここの表 9 の数値と各観測期間の平均泥温とから夫々の期間の底泥からの回帰量を求め表 16 に示した。

表 16 湖水中における有機物の分解, 底泥からの分解 溶出・流入による溶存 N の供給

湖水中への栄養塩の供給は湖中での有機物の分解と底泥からの溶出による以外に流入河川による運びこみがある。湖内での生産の定期観測と同時期のデータがないので流入量の年変化傾向^{25, 62, 63)}から 1971 年度における各観測期間中の流入量を推定した。

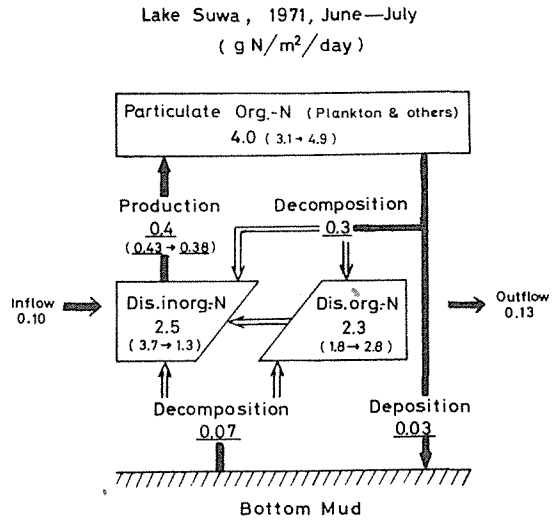
Date (1971)	Decomposition In water column gN/m ² /day	Liberation from bottom mud gN/m ² /day	Inflow gN/m ² /day	total supply gN/m ² /day
June 22-July 14	0.28	0.07	0.10	0.45
July 14-Aug. 1	0.48	0.08	0.11	0.67
Aug. 1-Aug. 12	0.63	0.12	0.10	0.85
Aug. 12-Sep. 4	0.34	0.08	0.11	0.53
Sep. 4-Sep. 22	0.23	0.06	0.13	0.42
Sep. 22-Oct. 25	0.21	0.02	0.13	0.36
Oct. 25-Nov. 10	0.20	0.01	0.11	0.32
Nov. 10-Dec. 8	0.16	0.01	0.09	0.26

表 16 には湖水中での分解(表 15 より)、底泥からの溶出(表 9 のデータと各観測時における湖底水温とから推定)と流入の三つの過程による溶存 N の供給量を示した。全供給において、湖水中での有機物の分解無機化がきわめて重要なことは明らかである。表 15 における生産量との比較では、全供給量は一次生産を十分まかないうる。余剰の栄養塩はその時々で湖水中の含量増加に働くとともに湖外へ流出していく。

かくして諏訪湖における植物プランクトンの生産と有機物の分解無機化の間には、きわめて密接な相互支配関係があることを認めえた。光、温度という物理的環境の変化は、生産活動に影響し、また分解活動を左右して両者のバランスを変えてゆく。また物質の湖外からの流入、湖外への流出もこのバランスを変える上で重要な役割を演じよう。しかし、表 16 に明らかなように流入による N 供給は分解による供給の 1/2 ~ 1/4 程にすぎない。

以上のべてきた結果をとりまとめて、湖中における N の代謝量と存在量を含めて生産と分解の関係を 1971 年夏の例について図示すると図 56 のようになる。代謝速度とバランスの変化は当然四角い枠内にある物質の変動をもたらすと考えられる。

図 56 N について生産と分解、回帰、流入流出の量関係 (小坂沖)
(表 9, 15, 16 のデータと定期観測結果より画いた。白い矢印はその値が測定または推定されていないもの)



III-2 湖水中の有機物の化学と収支

有機物は生体の構成成分であるばかりでなく、そのエネルギー代謝の基質としても重要な物質である。このような生物学機能を持つ有機物の、水圏における動態を把握することは水圏の物質代謝の機構を解析するために極めて重要である。湖沼における有機物の現存量の変動を与える要因としては植物プランクトン、細菌その他の生物の呼吸などの生物学的要因があげられる。諏訪湖ではこれらの要因の他に流出入河川による有機物の移動もまた湖における有機物の現存量を変動させる重要な要因と考えられる。

湖の有機物は、溶質として存在するものと、けん濁粒子として存在するものの 2 つの存在形態をもっている。一般に、前者を DOM、後者を POM と名付けて分類しているが、湖におけるこれらの有機物の代謝様式や速度は有機物の存在形態によってかなりの違いが観察されている。

ここでこれら 2 つの形態を保有する有機物の現存量と化学について先づ述べるとともに、ついでこれらの有機物の現存量の変化を惹起す生物学的、非生物学的要因について今までにえられた結果をのべる。

III-2-A 溶溶性有機物 (DOM) の現存量と化学

1970 年 12 月と、翌年の 3 月と 9 月に採取された試水について DOM を測定した。⁶⁴⁾ えられた結果を図 57 に示す。いくつかの観測点からえられた試水についての測定値を横に並べて記したが、○印

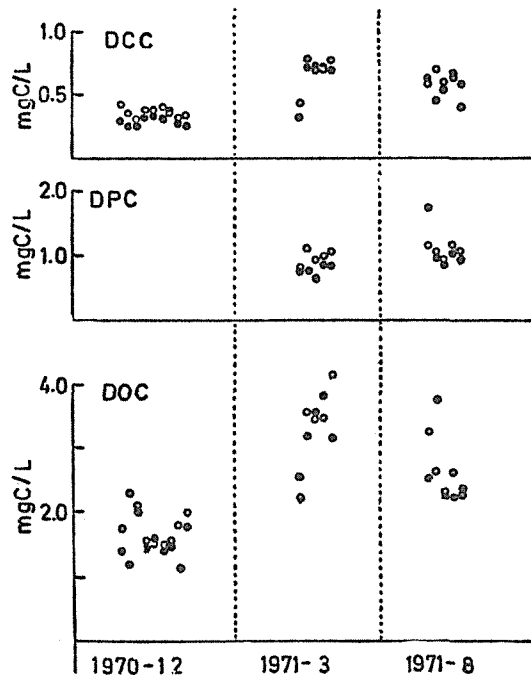


図 57 諏訪湖における DOM 量の季節変動

は表層(0.25 m), ●印は3 m層の値である。DOCは1.1 ~ 4.2 mgC/lの範囲で測定され, 季節による変動が多少認められた。また溶存性タンパク質(遊離アミノ酸・ペプチドを含む)(DPC)および溶存性炭水化物(DCC)などについても測定した。DOMの化学的性質を明らかにする目的で, 湖水をガラスファイバーフィルターで濾過し, 濾液を濃縮してからセフ

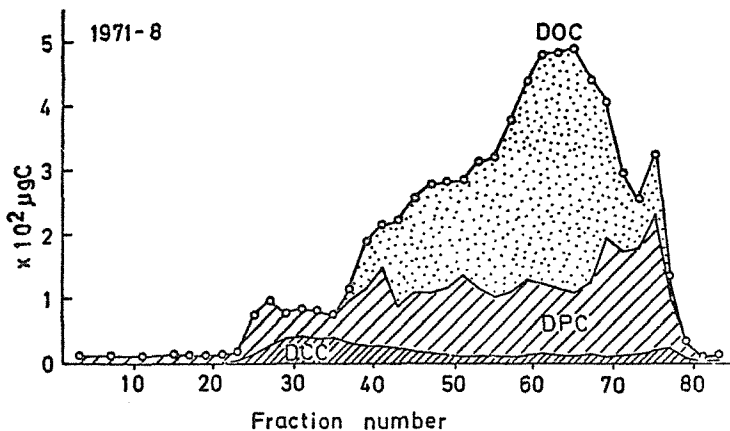


図58 DOMのファデックスカラムクロマトグラフ法による溶出曲線

アデックスカラム クロマトグラフでDOMを分画した(図58)⁶⁴⁾。その結果, ~番目の画分(Fraction number)にあらわれる高分子量の有機物は少なく, むしろ低分子量の有機物が多く見

表17 けん濁性有機炭素(POC),炭水化物(PCC),タンパク質(PPC),脂質(PFC)の現存量

	Depth m	Seston mg/l	Chl.a μg/l	POC mgC/l	PCC mgC/l	PPC mgC/l	PFC mgC/l
July 25-26	0.5	8.56	39.4	1.99	0.69	0.75	0.25
1970	3.0	12.3	37.1	1.44	0.53	0.52	0.18
Dec. 2-3	0.5	13.6	98.7	15.8	0.55	0.50	0.13
1970	3.0	13.3	90.9	15.2	0.56	0.53	0.12
March 8-11	0.5	21.3	137	28.8	0.86	0.48	0.73
1971	3.0	21.5	152	28.2	0.84	0.54	0.77

出された。特に55~70番目の画分にあらわれる有機物には単糖類, 遊離アミノ酸等が見出されている。さらにその大部分が有機酸であることが最近明らかになった。

III-2-B 懸濁性有機物の現存量と化学

諏訪湖のPOMはCとして1.44~2.88 mg/lの範囲で測定された。(表17)この値は富栄養化水域の特徴をよくあらわしている。また, その有機物の大部分とPCC, PPC, およびPFCで占められ, POC/Chl.-aが約50である点もまたその特徴を示していると云えよう。

けん濁物中の有機物のうち, 植物プランクトンの光合成の主要な生成物であり, またその呼吸基質としても高い生物学的活性をもつ, いわゆる貯蔵性有機物の化学的研究がおこなわれた。⁶⁵⁾

Microcystis sp. の脂肪酸組成を表18に示す。

表18 Microcystis sp. の脂肪酸組成

Peak No.	Retention time (x12sec.)	%	Fatty acid
1	26.5	7.81	C ₁₀
2	44.5	1.91	C ₁₂
3	51.0	1.10	
4	58.0	1.10	
5	66.0	1.36	C ₁₄
6	76.0	0.03	
7	87.0	trace	C ₁₅
8	113	64.0	C ₁₆
9	125	3.90	C ₁₆
10	145	0.04	
11	161	0.05	
12	187	4.80	C ₁₈
13	208	4.02	C ₁₈
14	245	1.68	C ₁₈
15	275	3.38	
16	304	2.08	C ₁₈
17	342	1.35	
18	500	1.00	

脂肪酸としては C_{16} が圧倒的に多く、 C_{10} 、 C_{18} 、 $C_{18}^{1=}$ 、 $C_{16}^{1=}$ などがそれにつづいている。この結果は他のラン藻のそれ⁶⁶⁾とほぼ似ていた。

表 19 Microcystis sp. およびその他の植物の α -1,4-グルカンの化学的性質

	1) Micro.	2) Ulva	3) Caul.	4) Dilsea	5) Poteto
D in water	+1 2 9	+2 0 5	+1 5 4	+1 9 0	+1 9 1
Average chain length	7.5	—	—	1 8.6	2 4
D.P.	2 2 9	—	—	—	—
Reduction of IO_4^- per anhydrous glucose unit	0.9 8 2	1.0 5	0.9 8	—	1.0 4
Production of $HCOO^-$ per anhydrous glucose unit	0.1 5 3	—	—	—	—

1) Microcystis sp., 2) Ulva lactuca, 3) Caulerpa filiformis, 4) Dilsea edulis 5) poteto

Microcystis sp.を暗所に放置すると数時間のうちに C_{16} が急激な減少を示すことから、この脂肪酸は貯蔵性物質の一つであると判断された。Microcystis sp.の組成成分のうち、この脂肪酸と同様な挙動をする物質として α -1,4-グルカンが存在することを認めた。この物質は表 19 に示すように化学的には高等植物、紅藻、緑藻中の澱粉様物質とほぼ同じであるが、平均鎖長がかなり小さい、いわゆるグリコゲン様物質であることを認めた。また Melosira (1968年6月) および Cyclotella (1968年12月) を優占種とする珪藻を採取し、貯蔵性グルカンが β -1,3-グルカン(クリソラミナリン)であることを認めた。⁶⁷⁾ これらの貯蔵グルカンは植物プランクトンの光合成の際数時間から10時間前後の回転速度をもち、また、その呼吸作用による分解では細胞壁多糖類の10倍から100倍の分解速度定数を与えることがわかってきた。これらの点から諏訪湖の物質代謝におけるこれら貯蔵性有機物の生物学的意義を充分に把握するべく現在なお研究が継続されている。

III-2-C 諏訪湖における有機物の収支

諏訪湖の有機物の現存量を支配する要因としては、先にも述べた通り、植物プランクトンの光合成による有機物の生産、種々の生物の呼吸による有機物の消費、流入河川による有機物の負荷と流出河川によるその流出およびけん濁粒子の湖底の堆積に伴う有機物の移動などが考えられる。これらの要因が有機物の現存量の変動に対してどの程度の働きをもつかを検討するため、それぞれの1日当りの変化量を求めることを試みた。

以下にその結果を述べる。⁶³⁾

諏訪湖全体に亘るように12の観測点を設定し、試水を採集した。これをグラスファイバーフィルターで沝過し、沝液とけん濁物に分画した。それぞれの試料を重クロム酸カリウム-濃硫酸液と反応させ、重クロム酸イオンによる色調の減少から溶溶性およびPOC濃度を測定し

表 20 諏訪湖における有機物の現存量

		Dissolved Organic Carbon	Particulate Organic Carbon	Total Organic Carbon
		$\times 10^6$ gC	$\times 10^6$ gC	$\times 10^6$ gC
March	1971	7 8	1 2 4	2 0 2
May	1972	1 2 2	9 6	1 9 8
July	"	7 4	8 8	1 6 2
Aug.	1971	1 4 2	8 7	2 2 9
Aug.	1972	1 2 1	8 2	2 0 3
Oct.	"	1 0 5	7 5	1 8 0
Dec.	1970	9 5	6 8	1 6 3
Average		1 0 2	8 8	1 9 0

た。これらの値を基礎にして、諏訪湖の全水量とからこの湖における溶存性およびPOMと全有機物の現存量をC量として算定した(表20)。1970年12月から1972年10月に至る期間のうちで前後7回に亘る観測結果からはPOMよりもむしろ溶存性有機物の変動が観測時によって著しいことを認めた。DOMとPOMの和、すなわち全有機物は $162 \sim 229 \times 10^6 \text{gC}$ と算定され、観測時による量的変動が存在するようであった。

さて、諏訪湖の全有機物の量的変動を支配する要因として、植物プランクトンの光合成による有機物の生成量を考えてみよう。諏訪湖における植物プランクトンの光合成による有機物生産量についてはいくつかの報告があるが、IBP期間中のもとしては沖野他¹⁸⁾ および沖野²⁰⁾などある。これによると1968年4月から1969年12月にかけての10回の測定結果では $1.04 \sim 6.46 \text{gC/m}^2 \cdot \text{d}$ の有機物の生産量があると報告されている。この結果を基礎にすると諏訪湖全体の植物プランクトンの光合成による有機物の生産量は $15.0 \sim 93.3 \times 10^6 \text{gC/day}$ と算定される。この結果は諏訪湖における有機物の現存量の変動に対して、植物プランクトンの光合成による生産量は主要な要因であると推定される。

湖の有機物現存量を支配する要因として、流入河川が考えられる。これによる寄与の大きさを見積るため、流入河川による湖への有機物の負荷、流出量の測定を試みた。諏訪湖には26の主流入河川と1つの流出河川(天竜川)がある。これらが諏訪湖の水収支を決定していると考えてよからう。1970年5月から1972年10月に至る前後11回に亘る流入河川による水の流入、流出量およびそれらの収支を表21^{25, 62)}に示す。湖水は夏季においては流入量がやや流出量をまさるが、冬季においてこの逆の傾向を示し、年間を通じてはほぼ流入量と流出量がみあっているようである。

このような水の移動に伴って生ずる有機物の移動量の算定を試みた。これには、流入河川の流量が多少の日変化を示すのと、特に有機物濃度がかなりの日変化を示すので、流量測定と試水の採集は3時間毎に24時間おこなった。試水についての分析結果と流量とから1日当りの有機物あるいは栄養塩類の負荷量および流出量を算定した。えられた結果を表22に示す。

河川による有機物の移動量は $n \times 10^6 \text{gC/day}$ であり、量的には決して無視出来るものではないことを認めた。負荷される有機物としてはDOMがPOMの量をこえ

表21 諏訪湖における流出流入河川による水の収支

		Inflow $\times 10^6 \text{m}^3/\text{Day}$	Outflow $\times 10^6 \text{m}^3/\text{Day}$	Balance $\times 10^6 \text{m}^3/\text{Day}$
May	20, 1970a	1.29	1.25	+0.04
June	12, 1970a	1.40	1.26	+0.14
July	22, 1969b	1.48	1.24	+0.24
Sept.	20, 1970a	1.38	1.28	+0.10
Nov.	24, 1970a	1.01	1.08	-0.07
Dec.	25, 1970a	0.93	0.99	-0.06
Jan.	20, 1971a	0.50	0.88	-0.38
Mar.	19, 1971a	0.73	0.99	-0.26
July	20 21, 1972	2.19	2.16	+0.03
Aug.	20 21, 1972	2.95	1.98	+0.97
Oct.	30 31, 1972	2.79	2.69	+0.10

a: after Kubota, b: after Yagi et al.

表22 諏訪湖における流出流入河川による有機物・栄養塩の負荷・流出量

		1972	July 20-21	Aug. 20-21	Oct. 30-31
Total Inorganic Nitrogen	Inflow $\times 10^6 \text{g atm}/\text{Day}$		4.1	3.9	1.4
	Outflow	"	1.2	0.3	0.5
	Outflow/Inflow %		30	8	36
Reactive Phosphate	Inflow $\times 10^6 \text{g atm}/\text{Day}$		0.31	0.31	0.35
	Outflow	"	0.01	0.02	0.02
	Outflow/Inflow %		3.2	6.4	5.7
Dissolved Organic Carbon	Inflow $\times 10^6 \text{gC}/\text{Day}$		4.8	4.5	4.9
	Outflow		1.5	2.2	1.6
	Outflow/Inflow %		31	49	33
Particulate Organic Carbon	Inflow $\times 10^6 \text{gC}/\text{Day}$		3.3	2.8	3.1
	Outflow	"	5.2	3.0	4.1
	Outflow/Inflow %		158	107	137
Total Organic Carbon	Inflow $\times 10^6 \text{gC}/\text{Day}$		13.8	8.8	9.8
	Outflow	"	6.8	5.3	5.7
	Outflow/Inflow %		49	60	58

以上の事から諏訪湖の有機物の現存量を変動させる要因としては、光合成と呼吸が最も主要なものであると考えられ、つづいて流入河川、堆積

Ⅲ-2-D 栄養塩の挙動
諏訪湖における栄養塩のうち、全無機態N (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) および反応性P (Reactive phosphate) の現存量 (25, 62, 66) を表 24 に示す。

表 24 諏訪湖における栄養塩の現存量と滞留時間

	Total Inorganic Nitrogen			Reactive Phosphate			Lake Water Residence Time Day
	Standing Stock $\times 10^6$ gN	Inflow $\times 10^6$ gN/D	Residence Time Day	Standing Stock $\times 10^6$ gp/D	inflow $\times 10^6$ gp/D	Residence Time Day	
Jan. 20, 1971	8.6	0.4	2.1	0.65	0.03	2.2	4.9
Mar. 19, 1971		0.6					
June 12, 1971	25.9	1.4	1.9	0.47	0.09	5.2	3.4
July 20 - 21, 1972	21.3	4.1	5	0.43	0.31	1.4	3.5
Aug. 20 - 21, 1972	17.4	3.9	5	0.87	0.31	3	4.8
Nov. 24, 1970	17.7	1.6	1.1	1.32	0.11	1.2	4.0
Dec. 25, 1970	22.0	1.1	2.0	1.30	0.06	2.2	4.4

現存量は何れの場合も季節による変動はそれほどはげしくないことを示している。しかしながらこの値を流入河川による全無機Nおよび反応性Pの負荷速度で除した値、すなわち滞留時間は季節によってかなりの変動を示した。湖水の滞留時間が40~50日と年間を通してあまりかわらないのに対して、特に夏季において全無機Nでは5日、反応性Pでは実に1.4日と云う短い時間であることを認めた。なお、詳細な研究を進めなければならないが、このように速い栄養塩の消失は、この時期に大繁殖する *Microcystis* などの植物プランクトンの生産に利用されるものと想像される。

Ⅲ-3 ガス代謝からみた物質循環

湖は流入、流出との連絡と、湖面における大気との接触によって外界との交渉をもつ一つの生態系である。したがって湖内の物質の挙動を明らかにするためには、流入河川水によって湖に導入され、また流出河川水によって湖から排除される物質を質的、量的に推定するとともに、湖面と大気間のガス交換量をも推定することが重要である。

Ⅲ-3-A 湖水と河川水の全炭酸

表 25 は 1972年7月から1973年5月にわたり測定した湖水中全炭酸の平均濃度の季節変化であり、その年平均として、6.36mgC/l がえられた。また、これとは別に、湖水でえられた pH と全炭酸との関係曲線⁶⁹⁾と pH の季節変化⁷⁰⁾とから推定した湖水の年平均全炭酸濃度は 6.3mgC/l と求められたので、諏訪湖の最も確からしい年平均全炭酸濃度は 6.3

表 25 諏訪湖における全CO₂-Cの平均濃度の季節変化

	Average total CO ₂ -C mg/l
(1972)	
July 21	5.75
Aug. 21	5.80
Sept. 23-29	5.87
Nov. 1-2	7.53
(1973)	
April 1-2	5.92
May 23-24	5.71
Mean	6.36

表 26 諏訪湖周辺の河川を通して行われる全CO₂-Cの流入速度

	Inflow rate of total CO ₂ -C through 7 rivers ($\times 10^3$ kgC/day)	Inflow-rate of total CO ₂ -C through all rivers ($\times 10^3$ kgC/day)	Outflow-rate of total CO ₂ -C through Tenryu R. ($\times 10^3$ kgC/day)
(1972)			
July 20-21	8.66	15.8	9.22
Aug. 21-22	6.60	12.1	6.60
Oct. 30-31	8.21	14.9	7.98
Mean	7.82	14.3	7.93

mgC/l と推定できる。

諏訪湖流入河川 20 有余のうち、それらを代表できると思われる 7 河川を選び、1972 年 7 月から 10 月にわたり、全炭酸量を測定した。いまこれらの平均値が、全河川の平均濃度を代表するものと仮定し、またこれら 7 河川水の流入速度が全流入河川水の 55%²⁵⁾ に相当するものとする、全流入河川による全炭酸の年平均流入速度は $1.43 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と算定される。また同様に流出河川水 (天竜川) の全炭酸の測定結果から、その年平均流出速度は $7.93 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と算定される。(表 26)²⁶⁾。

III-3-B 湖水と河川水的全炭素

流入河川による DOC と POC の流入速度は半田ら⁶³⁾によってそれぞれ 6.6 および $4.2 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と推定される。これに対し、無機炭素 (IOC, 全炭酸態炭素) は上述のように $1.43 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ であるので、全炭素 (TC) の流入速度は $2.51 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と算定される。また流出河川による DOC と POC の流出速度はそれぞれ 1.8 と $4.1 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ ⁶³⁾ で、IOC は上述のように $7.9 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ であるので、TC の流出速度は $1.38 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と算定できる。

III-3-C 湖水と河川水の炭素収支

以上の結果を総括すると、流入河川による TC の流入速度は $2.51 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ で、また流出河川による TC の流出速度は $1.38 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と推定される。したがって双方の TC の差の $1.13 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ は湖における堆積、魚獲およびその他の過程で湖から除去されたものと考えざるをえない。

有機炭素の堆積速度は林⁵⁰⁾によって $3.2 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と推定された。また魚獲量の年平均値は 560 t であるので、魚類の炭素含有量を 1.49% と仮定すると、魚獲による湖水からの炭素除去速度は $0.2 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と求められる。したがってその他の過程で除去される C 量は $7.9 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と推定される。いまこの過程の主要なものを、大気への二酸化炭素の放出と考えるならば、諏訪湖における簡単な炭素循環

として図 60 を描くことができる。また諏訪湖の表面積は 1.445 km^2 であるから CO_2 の年平均放出速度は $0.55 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ と推定される。

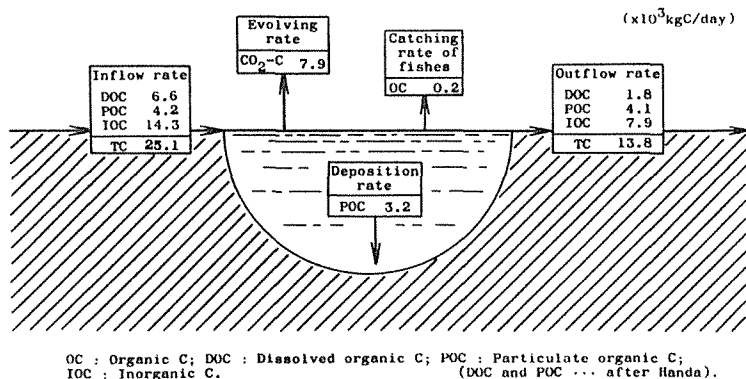


図 60 諏訪湖における炭素の簡単な循環図

III-3-D 湖面と大気間との二酸化炭素の交換速度

III-3-C で述べた考察から、湖面と大気との間に二酸化炭素の著しい交換のあることが推測される。このガス交換を解明するために、既報の浮箱実験法⁷¹⁾を適用して、湖面と大気との二酸化炭素の交換速度を測定した。

これらの実験結果についてのべると、湖面に浮遊させた浮箱内の空気のCO₂濃度の時間的変動は、湖水表面水の(Orig. pH-pH)値によって異なる。すなわちこの値が、正の場合には増加し、逆に負の場合には減少する。したがってこれらの時間的変動から、自然条件下におけるCO₂交換速度を推定することができる。ここでOrig. pHは湖水を空気と平衡に至らしめたときのpHである。

図61は1972年11月1~2日にわたり、約2時間隔で測定したCO₂の交換速度の日変化である。

この図から15時附近以外はすべての時刻においてCO₂の大気への放出が認められる。そのうちでも3時におけるCO₂の放出速度が最も顕著であることが伺われる。この日変化に対比して図62の(Orig. pH-pH)の日変化をみると、双方の日変化の様相が互いに類似していることがわかる。図63は全炭酸とOrig. CO₂(湖水を空気と平衡に至らしめたときの全炭酸)との日変化を示す。この図の中で(Total CO₂-C-Orig. CO₂-C)値の日変化は図62の(Orig. pH-pH)の日変化と類似している。これらの日変化は、一般に15時附近で光合成による全炭酸の消費が極大になり、また3時附近では、光合成作用がなくもぱら呼吸および微生物による有機物の分解によって生成蓄積される全炭酸が極大になることから理解できよう。

図61のCO₂交換速度の日変

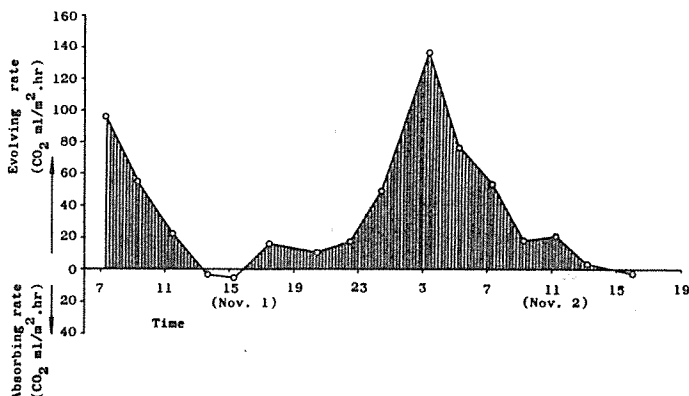


図61 湖面と大気との間における二酸化炭素の交換速度の日変化 (Nov. 1-2, 1972)

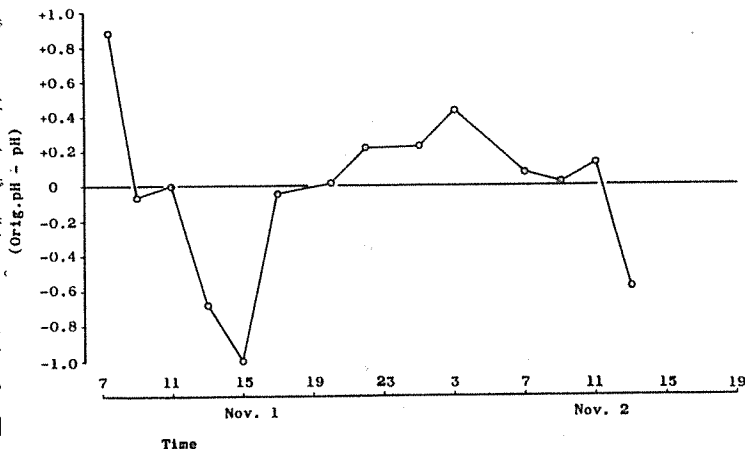


図62 表層水における(Orig. pH-pH)値の日変化 (Nov. 1-2, 1972)

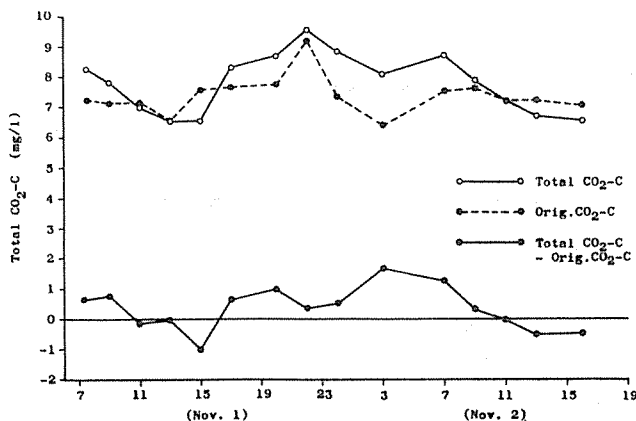


図63 表層水におけるTotal CO₂-C, Orig. CO₂-Cおよび(Total CO₂-C-Orig. CO₂-C)値の日変化 (Nov. 1-2, 1972)

化より湖面の単位面積あたりの純放出速度は $0.427 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ と算定される。

図64は1972年9月28～29日に測定した CO_2 交換速度の日変化である。この結果からは、 CO_2 の純放出速度として $0.3 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ が求められる。しかしこの場合には、 CO_2 放出速度の極大が予想される時附近の結果がないので過少値であると思われる。

図65は1973年4月1～2日の日変化である。すなわち、すべての測定時刻に対し CO_2 の吸収が認められる。この日変化より、 CO_2 の純吸収速度として、 $0.38 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ が求められる。

図66は1973年5月23～24日の結果であり、4月の結果のように、全測定時刻に対して、著しい CO_2 の吸収が認められる。この図から、 CO_2 の純吸収速度として $0.45 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ が求められる。

以上述べた4月と5月の日変化ではいずれも、15時で CO_2 の吸収速度の極大を示し、3時附近でその極少を示している。また (Orig. pH - pH) はいずれの場合においてもすべて負を示し、またその日変化は CO_2 吸収速度のそれとかなり類似しているのが認められる。今後さらに各月における CO_2 の交換速度を測定して、湖面と大気間における CO_2 交換速度の年平均値を求める計画である。

III-3-E 湖水と河川水の窒素収支

無機窒素化合物の流入速度と流出速度はそれぞれ 3.07 と $0.75 \times 10^3 \text{ kgC/day}$ と推定される⁽⁶³⁾ いま POM の C/N 比を 6.0 とし、また湖水に存在する全有機物の C/N 比を 5.0 と仮定すると、N ガス以外の全 N の流入速度と流出速度はそれぞれ 5.3 と $2.0 \times 10^3 \text{ kgN/day}$ と算定される。さらに湖水における堆積速度⁽⁶⁰⁾ と漁獲による湖水からの有機 N の除去速度はそれぞれ 0.53 と $0.05 \times 10^3 \text{ kgN/day}$ と推定される。したがって湖水から除去される全 N 量は $2.6 \times 10^3 \text{ kgN/day}$ と算定される。この算定値と全 N 量の流入速度との差 $2.7 \times 10^6 \text{ gN}$

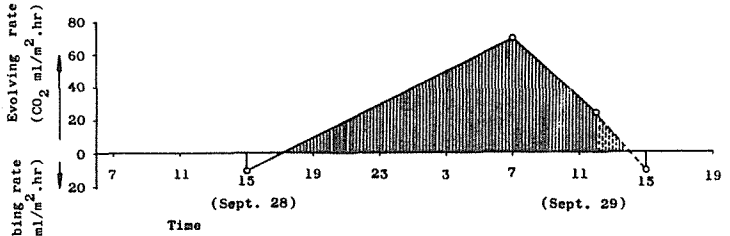


図64 湖面と大気との間における二酸化炭素の交換速度の日変化 (Sept. 28-29, 1972)

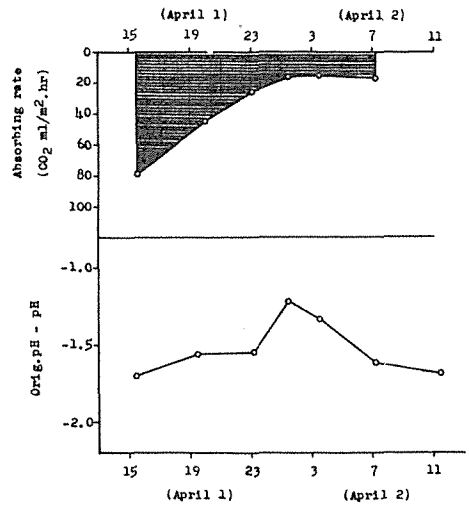


図65 湖面と大気間における二酸化炭素の交換速度と表面水の (Orig. pH - pH) 値の日変化 (April 1-2, 1973)

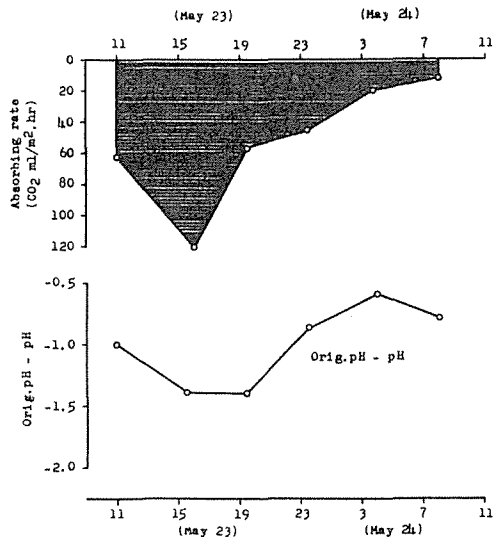


図66 湖面と大気間における二酸化炭素の交換速度と表面水の (Orig. pH - pH) 値の日変化 (May 23-24, 1973)

／day は湖面から脱N作用によって大気へ放出されるものと考えらるならば、そのNの純放出速度は $0.19 \text{ g N} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ と推定される。

水中溶存ガスの分析結果の一部として、1973年4月と5月の結果を表27に掲げた。この結果からもわかるように、ほぼ全層にわたって純脱N量が認められる。しかもその脱N濃度は最高 $3.3 \text{ mg N}_2 / \text{l}$ の多量におよんでいる。このような結果から、各月の脱N濃度の平均値を算定して描いたのが図67である。ただし、1972年12月から1973年にわたる冬季の測定がないが、その間の脱N濃度は図のように低いものと仮定すると、一年を通じての平均の純脱N保有濃度は $0.7 \text{ mg N}_2 / \text{l}$ と推定された。

これらの結果だけからは、湖面から大気への脱Nの放出速度を推定することはできない。しかし水塊の混合の烈しい湖水中にこの程度の脱N量が保有されていることは、脱Nの放出速度の著しいことが推察される。

現在脱Nの放出速度の直接測定法を考慮中である。

表27 諏訪湖湖心における溶存ガス成分とその他の測定結果 (April and May, 1973)

Depth m	Time	Water temp. °C	pH	O ₂ ml/l	O ₂ %	H ₂ + Ar ml/l	Denit. N ₂ mg/l	Total CO ₂ -C mg/l
0.5	April 11	8.6	9.55	8.43	114	14.25	+0.19	4.86
2.0	16:10	8.6	9.59	8.83	119	14.86	+0.94	5.38
4.0	"	8.6	9.59	8.86	119	14.66	+0.70	5.39
0.5	April 12	9.1	8.88	8.31	113	13.80	-0.18	7.04
2.0	3:30	8.9	9.25	8.83	120	14.56	+0.70	8.41
4.5	"	8.4	9.25	9.18	123	16.78	+3.3	8.43
0.5	11:35	8.3	9.36	10.17	136	14.88	+0.85	4.18
2.0	"	8.3	9.57	9.15	122	14.57	+0.46	4.14
4.0	"	8.3	9.45	9.46	126	15.66	+1.8	5.48
0.5	May 23	15.5	8.64	6.54	103	12.42	+0.26	5.20
2.0	11:00	15.5	8.81	7.01	111	12.33	+0.15	5.42
5.0	"	15.5	8.50	6.49	102	12.49	+0.35	5.45
0.5	15:30	15.7	9.00	7.15	113	12.50	+0.44	5.26
2.0	"	16.2	9.20	6.14	98	12.49	+0.35	5.01
5.0	"	16.2	8.95	5.65	90	11.75	-0.38	5.09
0.5	May 24	15.5	8.25	6.22	98	12.50	+0.44	6.84
2.0	4:00	-	8.50	6.34	100	12.12	-0.09	7.13
5.0	"	-	8.26	6.02	95	12.49	+0.35	7.23
0.5	8:00	15.7	8.60	7.44	118	12.50	+0.44	4.99
2.0	"	15.7	8.81	7.04	112	12.30	+0.19	5.44
5.0	"	15.6	8.62	6.43	101	12.52	+0.41	5.45

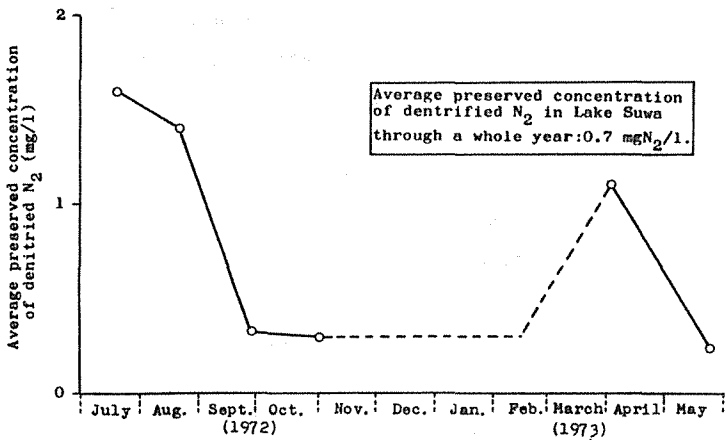


図67 諏訪湖湖水中の脱窒素保有濃度の季節変化 (July 1972-May 1973)

Ⅳ ま と め

- (1) JIBP-PF 諏訪湖の生物群集の生物生産力研究では、植物プランクトンを主とする一次生産とその分解の rate と mechanism を、非生物環境との関連のもとに明らかにし、またこの湖の特徴であるラン藻類大発生による一次生産が、高次生産に与える影響を注視しながら研究することを目的とし、1968年～1972年の5年間に亘る研究と実験を行い、次のような結果をえた。
- (2) 諏訪湖は面積 14.45km²、最大深度 65 m、平均深度 41m の盆状の湖で、約 26 本の流入河川と 1 本の流出河川をもつ富栄養湖である。
- (3) 表面水温は 1～28℃を年間に變化し、年により全面結氷することがある。成層期は 5 月～8 月と結氷期の 1～2 月であるが夏の成層は風により容易にこわれる。透明度は夏は 1 m 以下冬は 2.0 m 前後であり、補償深度は夏は 1 m、春より夏にかけては 3 m である。
- (4) DO は表層は夏と冬に高く、夏のラン藻の最盛期には表層の 250% をこすが、底層は 0% 近くまで減少する。pH は表層は 7～10 の間を年変動し、ときには夏は 11 をこえる。
- (5) 溶存無機栄養塩の NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N および PO₄-P はそれぞれ 2～30 μg atom/l, 0.1～2.1 μg, 0.2～0.6 μg, 0.2～0.6 μg の年変動巾をもち、また DOC と POC は 1.8～3.6 g/m³ と 1.5～4.6 g であり DON と PON は 0.11～0.56 g/m³ と 0.33～0.89 g の年変動を示した。
- (6) 全 C, 全 N, 全 P の泥中垂直分布量 (泥深 10 cm) はそれぞれ 4.2～6.1%, 0.55～0.82%, 0.03～0.11% で、いずれも深まるにつれて減少する。
- (7) 水温, PH, DO, クロロフィル量の垂直分布の 1 日の経時変化は、植物プランクトンの活性や風の影響をうけ著しい変動をする。
- (8) 河川からの全流入量は 6～17 m³/sec, 流出量は 10～15 m³/sec で、5～10 月は流入量が流出量にまさるが、他の月は逆である。溶存無機塩の流入量は流出より多い。
- (9) 大型水草は全湖で 146.1 t d.w. で夏にえられ、挺水性、浮葉性、沈水性はそれぞれ 54%, 35%, 11% を占める。植物プランクトンは夏季に Microcystis の $10^{4\sim5}$ cells/ml, 容積 90～200 ml/m², クロロフィル量 400～500 mg/m² に達する大発生があり、春秋は珪藻類の Melosira, Cyclotella, Synedra, などの種属が優占し $10^{3\sim4}$ cells/ml, クロロフィル量 50～150 mg/m² がえられ、季節変動は著しい。Microcystis は浮上性のため風下に吹きとせられ、不均等水平分布をする。
- (10) 動物プランクトンは春または秋にワムシ類 (Keratella, Polyarthra など) 夏に枝角類 (Bosmina, Diaphanosoma など) の増大があり、個体数の最大は $5\sim7 \times 10^3$ /l (5 月), 重量の最大は甲殻類の多い夏 6～8 g d. w./m², 最小は冬季の 0.3～0.5 g d. w./m² で季節変動は著しい。
深底部の底生動物はイトミミズとユスリカ幼虫で占められ重量は 7.9～119.2 g wt. w/m² を年間に変動し、春と秋に極大がある。ユスリカの羽化期はオオユスリカ年 3 回, アカムシユスリカ 1 回あり、幼虫数の極大は前者は夏の約 5400 /m², 後者は 10～3 月の 4800 /m² であり、イトミミズは $10^{3\sim4}$ /m² を数えた。
漁獲量は 400 t wt. w 前後を保ち、ワカサギが $\frac{2}{3}$ 以上を占める。
- (11) 浮遊性細菌は $2.5\sim5.0 \times 10^6$ cells/ml, 0.12～0.25 g d.w./m³ で、季節変動は極めて少ない。
- (12) 一次生産速度は、Microcystis の最盛期の夏の表層で 10～30 O₂g/m²・d で多く、珪藻の優占する秋は 2～3 O₂g で少ない。しかし生産層は夏は 1 m で薄い。純生産層は夏は 2～3 Cg/m²・d に対し秋は 1 Cg であり、総生産量は 560～800 gC/m²・yr. で 20 年前 (1949) の約 2 倍を示した。植物プランクトンの同化指数は 8 月が最高で 25 O₂mg/Chl.a mg を示し、光合成活性は優占種に関係なく日出

- から正午が高く、午後は減少し夜に回復する。 ^{14}C 法と酸素法より算出した年間の生産量は、総生産量を100とした場合、植物プランクトンの純生産は54%、その呼吸量は46%、他栄養生物の呼吸53%で全群集の純生産量は1%と算定された。
- (13) 分解を表わす Community respiration速度は、 $1\sim 3\text{ gC/m}^2\cdot\text{d}$ で夏高く、冬低い。総生産量と総呼吸量の比は *Microcystis*発生期間は1より小さく、他の時期は大きく、年間では呼吸量が総生産量を上廻る。年間の Community respirationは $615\text{ gC/m}^2\cdot\text{yr.}$ は20年前の3倍である。細菌の生産速度は最高 $7\text{ gC/m}^2\cdot\text{month}$ (3~6月)、最低は9~11月で最高値の $\frac{1}{3}$ である。湖水中のPOMは暗条件下では20日(20~30°C)でその60%が分解された。
- (14) 沈澱速度は有機物量で年間 $160\text{ g/m}^2\cdot\text{yr.}$ 、沈澱物では9~12月は $2.5\sim 8\text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ で高く、2~8月は $0.3\sim 0.9\text{ g}$ で低い。新生沈澱物のC、N量は、夏は10~20%が3~5日で分解される。
- (15) 柱状底泥試料法で測定された底泥よりのNの回帰量は $6.1(3月)\sim 124.0(8月)\text{ mgN/m}^2\cdot\text{d}$ である。泥よりのN溶出に際し底生動物の働きによる回帰の割合は8~33%である。
- (16) 各生物群集の現存量、生産量の量的関係では、植物プランクトンが両方共最大であり、緑色植物、浮遊細菌、一次消費者、魚類の現存量の割合は100:2:21:1、緑色植物、浮遊細菌、魚類の1年間の純生産量の比率は100:31:1であり、細菌が現存量に比べ生産量で高い比率を示す。植物プランクトン、浮遊細菌の一年間の turnover rate はそれぞれ9.4日と1.3日であった。全湖の全C、全Nの年平均量は701tと79tとなるが、植物プランクトンの生産活動には、それぞれの量の約9倍と13倍が関与すると算定された。
- (17) 諏訪湖の富栄養化は、周辺の産業の発展と共に促進され、水質では湖のDIN量は26年前の2倍、主要河川ではDINは50~20倍、DIPは3~6倍に増えた。生物学的水質判定では、10年以前には河川流入総量の41%がosの水質で、msは51%、psは8%であったが、近年はmsが60~70%、psは20~30%に増え、osはほとんどみられない。
- 湖の生物相の変化は著しく、植物プランクトン全細胞に対する夏の*Microcystis*の割合は20年以前の50~60%に比べ、現今では95%以上となり、クロロフィル量も2~4倍に増大した。水草は沈水性が衰乏し浮葉性が繁殖し、二枚貝の滅亡寸前に対し、低酸素耐乏性のユスリカ、イトミミズは増え、冷水魚は減り、汚水に強いワカサギ、フナが増殖するようになった。生産量、分解量の増大は上述の如くである。
- (18) 生産の制限因子としてのNについて、植物プランクトンの生産での利用と分解による供給との間の関係を検討した。1971年の6月より12月までの間で純生産された有機物を100とすると、その69%が水中で分解し、16%は湖外へ流出し、水中での分解残査で湖底へ堆積する有機物は15%となる。
- (19) 分解回帰からの供給と流入による供給を合わせた植物可利用Nの全供給量は、 $0.26\sim 0.85\text{ gN/m}^2\cdot\text{d}$ となる。これから流出を差引いた $0.23\sim 0.81\text{ gN/m}^2\cdot\text{d}$ は、植物プランクトンが生産に必要とする $0.10\sim 0.60\text{ gN/m}^2\cdot\text{d}$ を充分まかないうる。全供給量のうち65%は水中での分解、12%は底泥からの回帰、23%は湖外よりの流入である。これらの数量にもとずいて植物プランクトンの生産活動における分解活動の重要性を論じた。また明ビン暗ビンによる in situ実験から、生産活動に匹敵する分解速度により、無機化された塩類が再利用される関係が明らかにされた。
- (20) 湖水中のDOMとPOMの化学的性質とC濃度の年変化は、DOMは $1.1\sim 4.2\text{ mgC/l}$ で、低分子のものが多く大部分が有機酸と認められた。POMは $1.4\sim 2.8\text{ mgC/l}$ で、大部分はPCC、PPC、PFCで占められた。*Microcystis*は脂肪酸としてはC16が圧倒的に多く、貯蔵性物質と判定された。また、*Melosira*、*Cyclotella*と共に貯蔵性グルカンを認めた。

- (21) 諏訪湖の有機物収支において、湖の全有機物量は $162 \sim 229 \times 10^6 \text{ gC}$ であり、河川の有機物移動量は $n \times 10^6 \text{ gC/day}$ をえた。湖内有機物増加に働くのは光合成と流入河川による負荷量であり、減少に働くのは流出と堆積と呼吸であり、このうち呼吸をのぞく他の四つは、いずれも $n \times 10^6 \text{ gC/day}$ の値をえた。今実測値のある四つで有機物増加量と減少量の差を求めて、それを生物群の呼吸による有機物の減少量とすると、夏の場合では $40.4 \times 10^6 \text{ gC/day}$ が算出され、純生産量と近似の値となった。このことからすれば湖の現存量を変動させる要因の主役は、光合成と呼吸分解作用であると言える。
- (22) 湖の全無機態 N および反応性 P の現存量の季節変動は少ないが、これらの値を、流入河川のそれぞれの負荷速度で除した滞留時間はかなり変動し、夏は前者は 5 日、後者は 1.4 日であった。
- (23) 湖の全炭酸濃度の季節変動は少なく平均 6.3 mgC/l が測られた。湖のガス代謝からの物質の動きを見るために、河川の全炭酸、DOM、POM の全流入、流出量を求めた。両者の差 $1.3 \times 10 \text{ kgC/day}$ から堆積速度と漁獲による C 除去速度を差引いた炭素量 ($7.9 \times 10^3 \text{ kgC/day}$) を、湖面より大気への CO_2 放出量とすると、年平均の放出速度は $0.55 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ となる。
- (24) 湖上浮箱実験での CO_2 交換速度は、秋は放出がおこり 3 時に最大、15 時に放出がなくなり、反対に春は吸収で 15 時に最大、3 時に最少となり、放出も吸収も $0.4 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{d}$ 前後の値を示した。
- (25) N ガス以外の全 N の流入、流出の差より、堆積、漁獲の N 量を差引いた $2.7 \times 10^6 \text{ gN/day}$ を、湖面よりの脱 N 作用の放出とすれば、その速度は $0.19 \times 10^6 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{d}$ となる。純脱 N 濃度は 1 年を通じて 0.7 mgN/l と推定された。

V 引 用 文 献

- 1) 小泉清明：諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究 1, 1 (1969) 2) Stake, K. et al: Jap. Jour. Limnol. **33**, 16~20. (1972) 3) Sagi, T.: Oceanogr. Mag. **18**, 43~51 (1966) 4) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons: Seawater Analysis. 311. Fish. Resh. Board Canada Bull. 167 Ottawa (1968) 5) 渡辺義人：陸水雑 **32**, 40~45 (1971) 6) 倉沢秀夫・他：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 **3**, 41~53 (1971) 7) 山岸宏・福原晴夫：——1, 45~47 (1969) 8) ——・——：——2, 65~78 (1970) 9) ——・他：——2, 79~100 (1970) 10) ——・——：——4, 16~22 (1972) 11) 桜井善雄・他：——2, 115~131 (1970) 12) 坂本充・他：——5, 20~39 (1973) 13) 倉沢秀夫・他：——4, 36~74 (1972). 14) 坂本充・他：——3, 26~34 (1971) 15) 福原晴夫・坂本充：日本生態学会大会講演 (仙台) (1972) 16) 倉沢秀夫・山岸宏：バイオテク **4**, 261~267 (1971) 17) 田中阿歌磨：湖沼学上よりみたる諏訪湖の研究 936. 岩波書店 (1918) 18) 沖野外輝夫・他：諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究 **1**, 5~29 (1969) 19) 倉沢秀夫・他：——3, 1~9 (1971) 20) 沖野外輝夫：——2, 25~31 (1970) 21) 宝月欣二・他：水産研究会報 **4**, 41~127 (1952) 22) 富野孝生：諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究 **3**, 107~110 (1971) 23) Siegel, A. and E. T. Dogens: Science **151**, 1908 (1966) 24) 諏訪湖研究グループ：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 **2**, 1~23 (1970) 25) 窪田衛二・他：——3, 111~123 (1971) 26) 小林純・森井ふじ：陸水生物産研究法, 475~489 講談社 東京 (1969) 27) 桜井善雄・渡辺義人：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 **5**, 1~4 (1973) 28) 小泉清明・他：陸水雑 **28**, (1957) 29) 倉沢秀夫：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 **4**, 90~101 (1972) 30) ——：——3, 55~64 (1971) 31) 青山莞爾・他：——5, 44~49 (1973) 32) ——・倉沢秀夫：——1, 31~44 (1969) 33) 倉沢秀夫・他：——2, 41~64 (1970) 34) 青山莞爾・他：——3, 11~25 (1971) 35) 倉沢秀夫・他：——3, 1~10 (1971). 36) 門田定美：調和型湖沼の生物群集の生産力に関する研究——湯ノ湖の生物群集の生産力に関する研究, 昭和 45 年度報告 7~12 (1971) 37) ——：—— 昭和 46 年度報告 65~68 (1972)

- 38) 手塚泰彦：—— 38~44(1972) 39) Yamagishi, H, and H, Fukuhara: *Ecologia (Berl.)* 7, 309~327(1971) 40) 諏訪漁業協同組合：第22回(昭和44年度)業務報告(1970) 41) ——：第23回(昭和45年度)業務報告(1971) 42) ——：第24回(昭和46年度)業務報告(1972) 43) ——：第25回(昭和47年度)業務報告(1973) 44) 山岸宏：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 3, 65~75(1971) 45) 白石芳一：淡水月報 10, 1~263(1961) 46) 山岸宏：日生態会誌(印刷中)(1973) 47) 桜井善雄・他：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 3, 91~100(1971) 48) ——：—— 1, 93~102(1969) 49) 渡辺義人：—— 2, 111~114(1970) 50) 林 秀剛：—— 2, 101~109(1970) 51) ——：—— 5, 40~43(1973) 52) 富野孝生：—— 2, 153~161(1970) 53) 誌上シンポジウム：バイオテック 4, 317~320(1971) 54) 倉沢秀夫・他：陸水富栄養化の基礎的研究 2, 52~59(1973) 55) ——：—— 1, 5~10(1972) 56) 吉村信吉：湖沼学 p426 三省堂東京(1937) 57) Sakamoto, M: *Arch. Hidrobiol.* 62, 1~28 (1966) 58) Vinogradoph, A. P.: *The Elementary Chemical Composition of Marine Organisms* 647 p p, Sears Foundation New Hæven (1953) 59) 小山忠四郎：自然環境と人為環境における微生物の生態, 栗原康編 東北大学 81~95 (1973) 60) 坂本充：陸水生物生産研究法 376~381 講談社 東京(1969) 61) 坂本充・福原晴夫：日本生態学会大会(仙台) 1972 62) 矢木博・他：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 2, 163~170(1970) 63) 半田暢彦・他：—— 5, 10~19 (1973) 64) ——・——：—— 4, 1~8(1972) 65) ——・水野恭佑：—— 1, 71~83(1959) 66) Nichols, B. W. and A. T. James: *Proc. in Phytochemistry* 1 Reinhold, L. and Lewschitz, Y, ed Interscience Publ. 1~49(1968) 67) 水野恭佑：湖底堆積物の炭水化物の研究 修士論文 名大大学院・理学研究科(1970) 68) 福原晴夫：諏訪湖における底生動物群集の生態的研究 —特に底泥からの栄養塩の回帰における役割について, 修士論文 名大大学院理学研究科(1972) 69) Koyama, T et. al.: *Jap. Jour. Limnol.* 33 61~70(1972) 70) Okino, T. et al.: *Res. Inst. Nat. Resources* 71, 40~60(1969) 71) 小山忠四郎：諏訪湖生物群集の生産力に関する研究 5, 5~9 (1973)

PRODUCTIVITY AND NUTRIENT METABOLISM OF COMMUNITY IN LAKE SUWA.

Hideo KURASAWA and others (JIBP-PF-RESEARCH GROUP OF L.SUWA)

This is the general report of the studies carried out in Lake Suwa as a part of IBP projects in the freshwater ecosystems of Japan. Most of the original reports from these studies, which are reviewed and brought into the synthesis in this paper, appear in the Progress Report of the IBP Studies on the Productivity of Communities in Lake Suwa, No.1 (1969) to No.5 (1973) and other relevant publications listed in the references.

Lake Suwa is a shallow eutrophic lake located in a fault basin (Suwa Basin) in the central Japan. It is 759 m in altitude and has a maximum depth of 6.5 m, a mean depth of 4.1 m, a surface area of 14.45 Km² and a volume of 0.06 Km³. It receives the inflow of waters by twenty-six rivers from the fertile watershed of an area of 512 Km². There is a single outflowing river, Tenryugawa. Estimated from the daily rate of the outflow, the renewal time of lake water may be about 50 days. Most of inflowing waters contain much plant nutrients. The inflow of these waters as well as the shallow lake basin have kept this lake as a typical eutrophic lake for a long time. In recent years the great increase of population and industrial activities around it have brought much more nutrients into the lake, resulting in a remarkable acceleration of eutrophication and the regular appearance of heavy algal bloom.

The limnological and ecological character is as follows. The minimum temperature was found from late December through January and the maximum one in late July and early August. Although the lake surface was partly covered with ice for a short period every year and a slight thermal stratification was established even in mid-summer. The depth of 1 % relative light intensity, which approximately corresponds to the daily compensation depth was about 3 m from February to July, and 1 to 2 m in August. But in summer, a transparency less than 0.5 m due to the abundant algal appearance, which was a blooming of Microcystis aeruginosa, was frequently recorded.

The dominant species of the macrophytes in 1972 was Potamogeton malaianus, P. perfoliatus, Elodea Nuttalli, Nuphar japonicum, Trapa bisipinosa var, Iinumai, Nymphides coreara, Phragmites communis, and Zizania latifolia. The percentage of submerged plants, floating leaved plants, and emerged plants in the entire macrophyte community was 9.9, 31.9 and 58.2 % respectively. Total standing crop of the macrophytes in 1972 was 146.1 ton (dry weight) for the whole lake.

More than forty species of phytoplankton were recorded in the studies in 1970. The characteristic algal components in the spring were Cyclotella kltzingiana, Fragilaria crotonensis and Melosira italica. Microcystis aeruginosa was the most representative phytoplankton occurring abundantly during the summer. The maximum standing crop of 10⁴ to 10⁵ cells/ml or 90 to 200 ml/m² was recorded in summer 1970. Autumnal characteristic algae were Melosira italica and M. granulata, which were

followed by massive appearance of Cyclotella in late November. The largest chlorophyll-a content observed during the last five years was 1300 mg/m^2 in August 1968, and the smallest was 19 mg/m^2 in March 1969.

Bacterial standing crop exhibited a minor fluctuation during a year in the range of 2.5×10^6 to 5.0×10^6 cells/ml, or 0.12 to $0.25 \text{ g dry weight/m}^3$. The proportions of bacterial biomass of phytoplankton biomass were 3/100 to 15/100.

The total number of species of zooplankton recorded during 1970 was more than 35. Of the rotifer, Keratella cochlearis particularly predominated through a year and its maximum standing crop was 3500 ind./L or 1900 mg/m^2 on May 1970. The total weight of the rotifer from November to next March was more than 85% of the entire zooplankton, and in late October and from late June to early July it was more than 50%.

The zoobenthos species in the profundal region, Chironomus plumosus, Spaniotoma akamusi and L. gotoi were the animals occurring abundantly. The maximum population density of Spaniotoma larvae appeared in the winter period from October to March (ca. 700 to $4800/\text{m}^2$ in the profundal region) and the maximum biomass occurred in March when the larvae were fully grown (ca. 10 to $96 \text{ g fresh weight/m}^2$ in the profundal region). The sum total of the biomass of tubificids and chironomid larvae, almost representing the biomass of zoobenthos community in the profundal region, was in the range of 7.9 to $120 \text{ g fresh weight/m}^2$.

Dominant species of fishes were Hypomesus olidus, Carassius carassius, Cyprinus carpio, Pseudorasbora parva and Misgurnus anguillicaudatus. The total landing of fishes in a year amounted to around 400 tons (in fresh weight) in the whole lake, 0.28 ton/hectare of water surface. Hypomesus represented 50 to 70% of the total landing.

Based on the data presented for each organism, the summer standing crop of six groups of organisms was summarised in terms of dry weight, carbon and nitrogen (Table 10).

The annual rate of gross production by phytoplankton community was estimated as $557 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ for 1971 to 1972. While the annual rates of community respiration was estimated as $786 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ for 1971 to 1972, and this value was corresponded to 98% of the gross production by phytoplankton. The annual rate of deposition was calculated as $81.5 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ and $12.5 \text{ gN/m}^2/\text{year}$ for 1971 to 1972. This value corresponds to 10.2% of the annual gross production and 18.8% of the annual apparent net production. As the final discussion of this study, we attempted the estimation about the budget of inorganic and organic matter, and carbon and nitrogen metabolism in Lake Suwa.

*Limnodrilus