

資料

琵琶湖における「水の華」モニタリング調査 II

一瀬 論^{*1} 森田 尚^{*1} 市木繁和^{*1}
 若林徹哉^{*1} 三田村徳子^{*1} 園 正^{*1}
 内藤幹滋^{*1} 前川 昭^{*1} 安福義雄^{*2}
 中村敏博^{*3} 水嶋清嗣^{*4} 田中靖志^{*5}
 野村 潔^{*1}

Survey of Water-bloom in Lake Biwa II

Satoshi ICHISE^{*1}, Takashi MORITA^{*1}, Shigekazu ICHIKI^{*1},
 Tetsuya WAKABAYASHI^{*1}, Noriko MITAMURA^{*1}, Tadashi SONO^{*1},
 Mikhishige NAITOU^{*1}, Akira MAEGAWA^{*1}, Yoshio YASUFUKU^{*2},
 Toshihiro NAKAMURA^{*3}, Kiyoshi MIZUSHIMA^{*4}, Yasushi TANAKA^{*5},
 and Kiyoshi NOMURA^{*1}

理化学調査

1. 調査項目および方法

調査項目は、観測項目、一般項目として：水温、DO、透明度、(以上は現地調査、測定)、pH、電気伝導度、COD、SS、栄養塩類として：NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-N、DTN、PO₄-P、T-P、DTP、色素類として：クロロフィルa、フェオ色素、金属類として：Fe、Mnである。

pH、電気伝導度、CODおよびSSの測定はJIS K 0102⁹⁾の方法に従った。栄養塩類の測定にはオートアナライザーを使用し、NH₄-N、NO₂-NおよびNO₃-Nは上水試験方法⁹⁾、PO₄-PはJIS K 0102の方法に準じて分析した。T-N、T-Pの分解は細見ら(1983)の窒素、リン同時分解法に従った。DTN、DTPは試水をワットマンGF/Cガラス繊維ろ紙でろ過した後、T-N、T-Pと同じ方法で分析した。色素類の測定は上水試験方法に従った。金属類は原子吸光法により測定した。

2. 調査結果および考察

(1) 水 温

表層水温は全調査地点でほぼ同様の傾向を示し、地点間の差はあまり認められなかった(図1)。全地点の平均値は、7月末から9月初めまで30℃前後でほぼ一定していたが、9月中旬以降徐々に低下し、10月中旬には21℃まで下がった。水深別の調査を行った地点18での水温の結果(図2)、水温躍層は6m以深に存在し、表層から4mまでは差がなかった。南湖の水深は、地点18付近をのぞくと、1mから5mの範囲なので、表層から底まで同様の温度変化があったと思われる。Anabaenaの出現数とその時の水温との関係は(図3)、水温が29℃から31℃の範囲にある時から群体数の増加が認められるようになり、26℃から28℃の範囲まで増加が続き、その後減少して水温24℃以下でほとんど姿を消していた。Microcystisは、27℃から29℃の範囲の時に群体数の増加が認められるようになり、25℃から27℃の時まで増加し続け、その後減少した(図4)。後の章で述べるようにMicrocystisの増殖最適温度は30℃から35℃である(国立公害研究所1985)⁹⁾。現場の水温が30℃以上であった場合にMicrocystis

*1 滋賀県立衛生環境センター 〒520 滋賀県大津市御殿浜13番45号
 Shiga Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, 13-45,Gotenham,Ohtsu,Shiga 520,Japan
 *2 滋賀県八幡保健所
 *3 滋賀県草津保健所
 *4 企業庁南部水道事務所
 *5 滋賀県立農業試験場

の群体数の増加が認められなかったのは、水温以外の要因が増殖を制限していたと考えられる。

(2) DO

表層における溶存酸素量は、全調査地点で過飽和の値を示すことが多く、9月上旬に *Anabaena* が大增殖した地点では、特に高い値が観測された(図5)。これは、*Anabaena* による活発な光合成作用の結果によるものと考えられる。地点18での水深別調査の結果を見ると、温度成層が明確であった9月初めの調査時までは、水深4mまで過飽和状態であったことがわかる。その後、循環が始まって、9月中旬までは表層水は過飽和状態を維持しており、*Anabaena* が急減した9月下旬になってはじめて溶存酸素の低下が観測された。

(3) pH

表層における pH は、*Anabaena* が増殖した地点間では差が認められたものの全地点の平均値は(図6)、7月末から9月中旬までは pH 9 前後で一定しており、*Anabaena* が急減した9月下旬に pH 8 前後に低下した。水深別の調査を行った地点18の結果は、9月中旬迄は表層から4mまで pH 9 前後で一定しており、南湖全域で *Anabaena* が急減する直前まで表層から底層まで pH 9 前後の高い値を維持していたことが推測される。*Anabaena* が大增殖した時期には、*Anabaena* が多くみられた地点4で、10以上の高い値が観測された。

(4) 電気伝導度

表層水中の電気伝導度は、最低値99から最高値150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲で変動し、平均値は約110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。*Anabaena* が多くみられた地点4では最高値の150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ が観測された。

(5) 透明度およびSS

全調査地点の透明度の平均は、7月末の調査時に2.6mであったが、*Anabaena* の大增殖が起きた9月上旬から中旬には、1.0mまで低下し、その後1.3mまで回復した。しかし、*Anabaena* が完全に姿を消した10月中旬の調査で再び1.0mまで下がった。

SSは、1.1から98.0mg/lの範囲で変動し平均値9.4であった。透明度と同様、*Anabaena* の増殖に起因したSSの増加もあったが、*Anabaena* の増殖時以外でも高いSSが観測されることがあり、南湖の場合、水深が浅いため風による底泥のまきあげ等も要因のひとつになっているものと考えられる。

(6) COD

表層水中のCODは、1.8から15.6mg/lの範囲で変動した。平均値と最大、最小値の経時的推移をみ

ると(図7)、*Anabaena* 出現前の7月末には平均値2.2mg/lで、地点間の差はほとんど認められなかった。*Anabaena* が増殖し始めた8月中旬からピークに達した9月上旬にかけて、平均値は徐々に増加し9月4日には平均値6.4mg/lとなった。この間に最大値と最小値の差も徐々に増大し、9月4日に最大となった。*Anabaena* 属と *Microcystis* 属の平面分布の経時的な変動は図8、図9のとおりでCODの経時的な変動(図10)との関係は7月末に全地点ほぼ同じレベルであったが、8月下旬に東岸部から高くなり始め、ついで浜大津付近の湖岸沿いでも高くなり、9月上旬には地点4で特に高い値が観測されて、西岸部にもCODの高い地域が広がり、9月中旬には南湖の南部全域で高い値が観測されている。これは、*Anabaena* の増殖パターンとほぼ一致しており、*Anabaena* の増殖によってCODが増加したと考えられる。参考までに昭和61年9月18日に、浜大津沿岸で観察された *A.affinis* を主体とする「水の華」のCODから *A.affinis* 1群体当りのCODを計算すると3.8ng/colonyであった。

(7) クロロフィル

表層水中のクロロフィルaは、最小値1.2、最大値201 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で変動した。クロロフィルaの平面分布と経時的な変動の関係をみると(図11)、*Anabaena* の増殖に対応してクロロフィルaも増減したことが認められた。参考までに昭和61年9月18日に、浜大津沿岸で観察された *A.affinis* 1群体当りのクロロフィルaを計算すると0.6ng/colonyであった。

(8) 窒素

表層水中における、窒素の平面分布およびその経時的な変動をみると(図12) *Anabaena* が出現する前の7月末の調査時には、T-Nは全調査地点で大きな差は認められず、その平均値は267 $\mu\text{g}/\text{l}$ と低い値であった。8月中旬以降、*Anabaena* が出現し、増加するのに従い、T-Nも増加する傾向が認められた。

同様に、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の表層水中での挙動は(図13、14)、*Anabaena* 出現前の7月末から8月中旬、および *Anabaena* が大增殖した8月下旬から9月上旬まで $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とも全体に低い値のままであった。しかし最後に *Anabaena* の大きな現存量が観察された9月19日の調査時には、局所的に $\text{NH}_4\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の高い地点が観測されるようになり(地点2、4、17)、*Anabaena* が急減した9月下旬にはその傾向がより顕著となった。特に

NO₃-N は、9 月末まで東岸部および浜大津付近で高い地点が残っていた。この間の状況をさらに追求するため、T-N、NH₄-N、NO₃-N の増減が顕著に認められた典型的な地点 (4, 6) における T-N、DTN、DIN (NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N の和) の経時的な変動パターンを観察した (図16)。T-N は、7 月末の調査時点で地点 4 が 309、地点 6 が 269 μg/l であったのが 9 月初めまでに急増し、地点 4 が 2150、地点 6 が 1290 μg/l となった。この間、DTN はほとんど変化しておらず、T-N の増加が粒子状の窒素の増加によるものであることを示唆する。DIN は 7 月末から 9 月上旬の調査時までには 2 から 20 μg/l 程度のきわめてわずかな量が存在しているだけで、T-N の増加量と比較すると無視できる程度であった。Anabaena の増殖中には、栄養塩として DIN が活発に吸収されるため、実際には供給がされていても、みかけ上 DIN が存在しないようにみえる可能性もある。しかし、Anabaena の出現前から、すでに DIN は殆ど存在しておらず、Anabaena が DIN の少ない条件下で大増殖したことが示唆される。後の章で述べるが、Anabaena は空中窒素固定能力を有しており、栄養塩としての DIN は必ずしも増殖に必要ではなかったと考えられる。9 月に入ってからは降水も認められたので、降水にともなって河川から流入する DIN も Anabaena の増殖に利用されたであろう。DIN はその後、Anabaena のピーク後半の 9 月中旬から Anabaena が急減した 9 月下旬にかけて急増し、地点 4 および 6 でそれぞれ 588、312 μg/l のピークを示した。一方、この間の T-N の変化をみると、9 月初めのピークを過ぎた後、9 月下旬にかけて急激な減少がみられ 9 月 24 日には T-N の 50% 前後を DIN がしめていた。T-N と DTN の差を粒子状窒素とみなすならば、T-N の減少は大部分粒子状窒素の減少によるものであり、これは Anabaena の分解を表しているものと思われる。即ち、増殖のピークをすぎた Anabaena が分解されることによって、NH₄-N が生成され、さらにそれが硝化されて NO₃-N が増えたものと思われる。他の地点ではこれほど明確なピークは認められなかったが、粒子状窒素の減少にともなって DIN が増加するというパターンは地点 8、11、15、16、18 等でも観測された。地点 4 と地点 6 で特に明確なピークが観測できたのは、これらの水域が湾状になって水の入れかわりが少ないためであると思われる。Microcystis は水温の項でも述べたように水温が増殖に適していた 9 月上旬までは増殖

せず、9 月中旬以降水温が下がり始めてから増殖が認められた。この間の DIN の変動を Microcystis の変動に重ね合わせ考察すると、9 月上旬までは Microcystis の増殖に必要な DIN が水中に殆ど存在していなかったが、9 月中旬以降 Anabaena の分解にともなって一時的に多量の DIN が供給されたことにより Microcystis の増殖が可能になったのではないかと考えられる。この問題については、今後培養実験系による確認が必要である。

(9) リン

表層水中での T-P の平面分布およびその経時的变化をみると (図15) Anabaena が出現する前の 7 月末には東岸沿いおよび西岸南部沿いで若干高い値が認められた他は全体に低い値であり、全地点の平均値は 18 μg/l であった。8 月中旬以降 Anabaena が増殖すると並行して T-P も特に沿岸部を中心に徐々に高くなり、9 月上旬に Anabaena がピークに達した時点で全地点の平均値も 52 μg/l まで増加した。その後 9 月下旬に Anabaena が急減した後も全体に T-P は高いレベルを保っており、全地点の平均値は Anabaena が完全に姿を消した 10 月 14 日の時点でも 42 μg/l と高い値であった。この間の状況をより詳細にみるため、比較的 T-P の顕著な増減が認められた地点 4 および地点 6 における各態リンの経時的変動パターンを示す (図17)。PO₄-P は全調査期間を通じてきわめて低いレベルでしか存在していなかった。Anabaena が出現し始めた 8 月中旬の調査時に 1 ~ 7 μg/l の濃度が認められたがその後、Anabaena が急激に増加した 8 月末から 9 月初めにかけては 0 ~ 1 μg/l のレベルに下がった。Anabaena が急激に減少した 9 月下旬以降は 1 ~ 25 μg/l の範囲で PO₄-P の増加が認められた。

DTP は、いずれの調査地点でも全調査期間を通じて 5 ~ 36 μg/l の範囲で、ほぼ一定した値が観測された。Anabaena が急激に減少した 9 月下旬以前は PO₄-P の濃度が低かったので、DTP の大部分は溶存性の有機態リンであったと思われる。DTP として測定されるリンのうち、植物プランクトンに利用可能な分画がどれだけ含まれていたかを、今回の調査内容だけから明らかにすることはできない。しかし、Anabaena がピークに達する前には、PO₄-P がきわめてわずかな量しか存在していなかったにもかかわらず、T-P の増加が認められたことを考慮すると DTP が PO₄-P 供給のプールになっていた可能性も考えられる。植物プランクトンの

多くはアルカリフォスファターゼを生産し、低分子の溶存有機態リンを加水分解してリン酸として利用できることが知られている(Reynolds 1984⁴⁾, Heath 1986⁵⁾). リンの供給源としては流入河川からの負荷や風による底泥の巻き上げなどが考えられるが、南湖全体での T-P の増加量にみあうだけのリンの供給機構がどのようなものであったのか、今後の検討が必要である。

(10) 鉄およびマンガン

表層水中の鉄は最小値 23 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、最大値 1889 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で変動を示した。マンガンは最小値 4 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、最大値 99 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で変動を示した。鉄、マンガンいずれについても北湖からの流入水の影響を受ける地点 1 で最も低い値が認められた他は地点による傾向は認められなかった。また *Anabaena* の増減との間にも対応関係は認められなかった。

ま と め

1. *Anabaena* は水温が 29℃ から 31℃ の範囲にある時から群体数の増加が認められるようになり、26℃ から 28℃ の範囲まで増加が続き、その後減少して水温 24℃ 以下で殆ど姿を消した。
2. 表層における溶存酸素量は、全調査地点で過飽和の値を示すことが多く *Anabaena* が増殖した地点では特に高い値が観測された。
3. 表層における pH は、7月下旬から8月中旬までは、pH 9 前後で一定しており、*Anabaena* が急増した9月上旬には pH 10 近くまで上昇した。しかし9月下旬に入ると pH 8 前後まで低下した。
4. 表層水中の COD は、1.8 から 15.6 mg/l の範囲で変動した。*Anabaena* と COD の分布パターンの経時的变化を比較すると *Anabaena* の増殖によって COD が増加したと考えられる。
5. 表層水中のクロロフィル a は、最小値 1.2、最大値 201 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で変動した。*Anabaena* とクロロフィル a の平面分布の経時的な変動を比較すると、*Anabaena* の増減にともなってクロロフィル a も増減したことが認められた。

6. T-N は7月下旬に平均値 267 $\mu\text{g}/\text{l}$ であったのが8月中旬以降 *Anabaena* の出現に伴って増加し、9月上旬には 800 $\mu\text{g}/\text{l}$ を越える地点が 8 地点観測された。しかし、*Anabaena* の減少に伴って低下した。

7. DIN は *Anabaena* が出現する以前の7月下旬から大増殖した9月上旬迄は、2 から 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ と極めて低かった。このことから窒素固定能を有する *Anabaena* は DIN 濃度の低い条件下においても増殖が可能であることが示唆される。

Anabaena が急激に減少したのち一時的に DIN 濃度の増加が観測された。これは *Anabaena* の分解によるものと考えられ、このことにより *Microcystis* の増殖が可能になったものと思われる。

8. T-P は、*Anabaena* が出現する前の7月下旬には東岸沿いおよび西岸南部沿いで若干高い値が認められた他は、全体に低い値であり、全地点の平均値は 18 $\mu\text{g}/\text{l}$ であった。8月中旬以降 *Anabaena* が増殖するのに伴って T-P も特に沿岸部を中心に徐々に高くなり、9月上旬に *Anabaena* がピークに達した時点で全地点の平均値も 52 $\mu\text{g}/\text{l}$ まで増加した。

9. $\text{PO}_4\text{-P}$ は全調査期間を通じて極めて低い濃度でしか存在していなかった。

引用文献

- 1) 日本工業標準調査会：日本工業規格、工場排水試験方法 JIS K 0102 日本規格協会 (1985)
- 2) 厚生省生活衛生局水道環境部監修：上水試験方法 日本水道協会 (1985)
- 3) 矢木修身編：国立公害研究所研究報告 第92号 国立公害研究所 (1986)
- 4) Reynolds C.S. The Ecology of Freshwater phytoplankton. Cambridge University Press (1984)
- 5) Heath R.T. Dissolved Organic Phosphorus Compounds : Do they satisfy planktonic phosphate demand in summer? Can. J. Fish. Aquat. Sci., vol.43. 343~350 (1986)

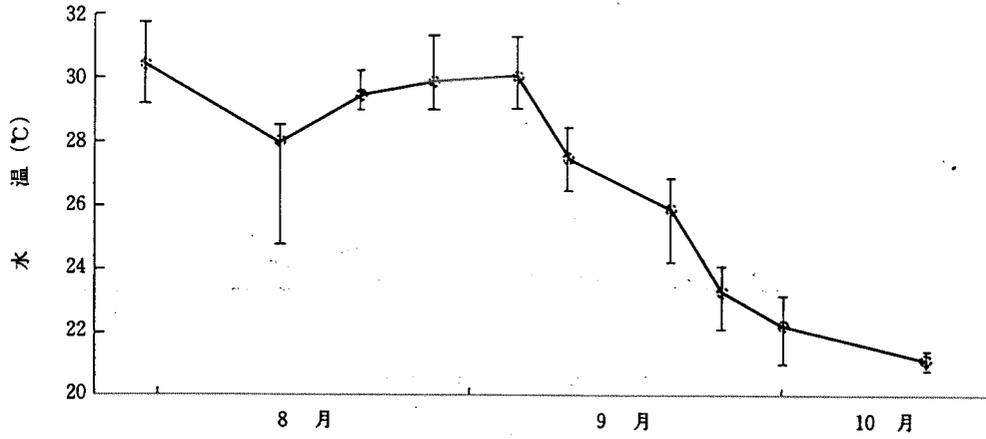


図1 表層水温の経時変化 昭和60年 (全地点の平均値と最大, 最小値)

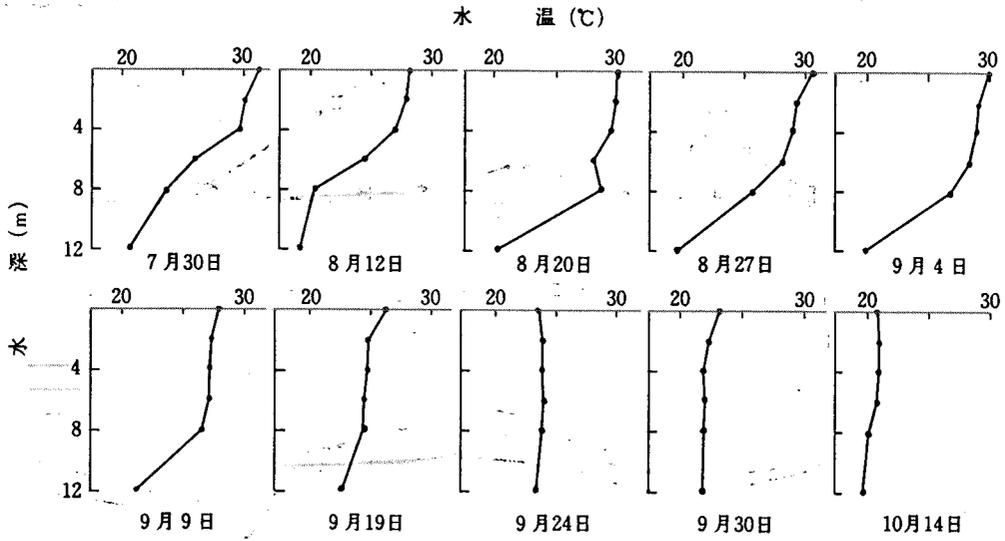


図2 地点18における水温の鉛直分布の経時変化 昭和60年

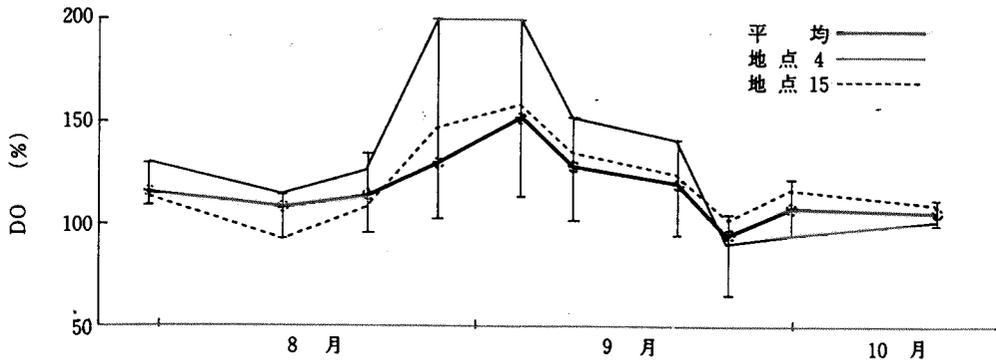


図5 DOの経時変化 昭和60年 (全地点の平均値と最大, 最小値)

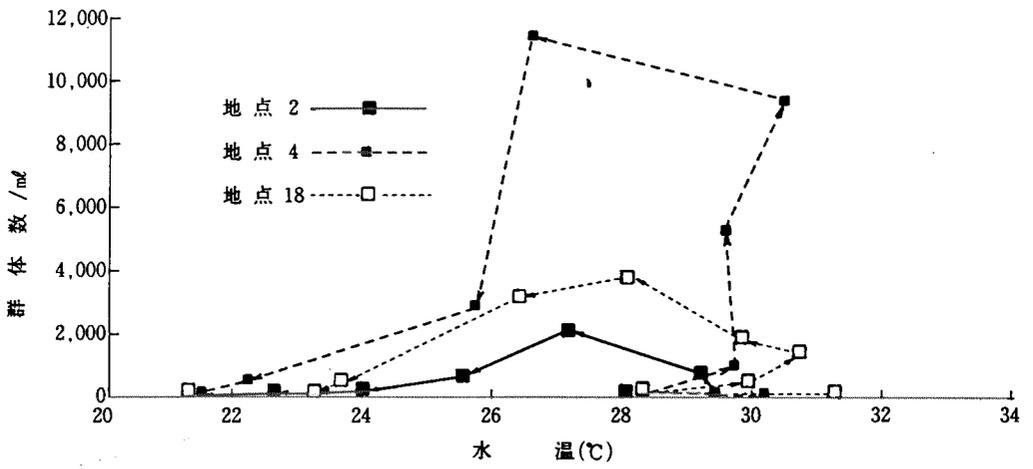


図3 アナベナ属と水温の関係

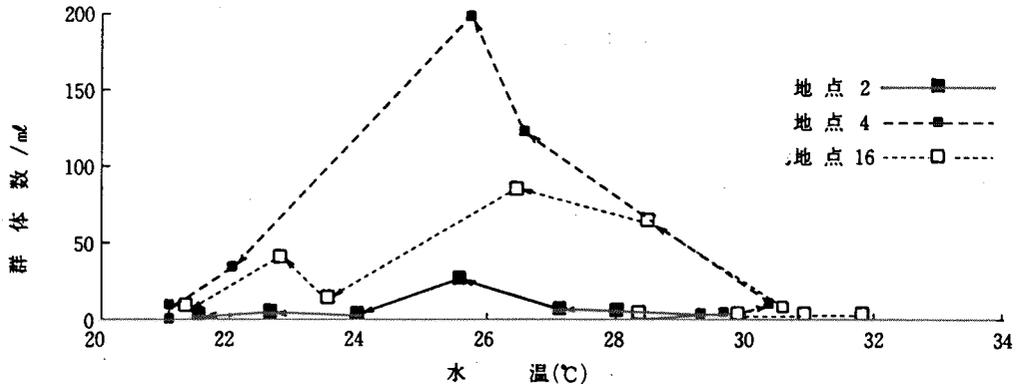


図4 ミクロキスティス属と水温の関係

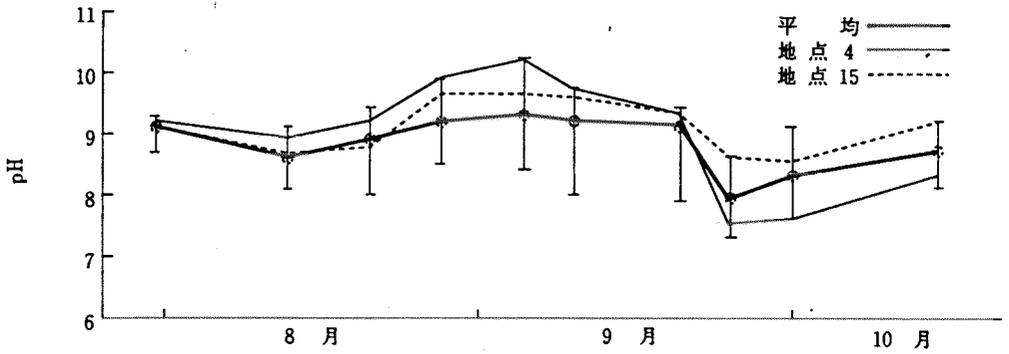


図6 pHの経時変化 昭和60年(全地点の平均値と最大、最小値)

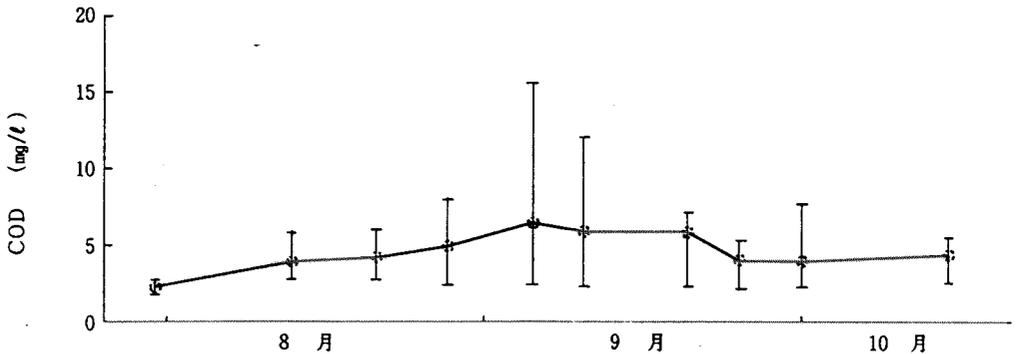


図7 CODの経時変化 昭和60年(全地点の平均値と最大、最小値)

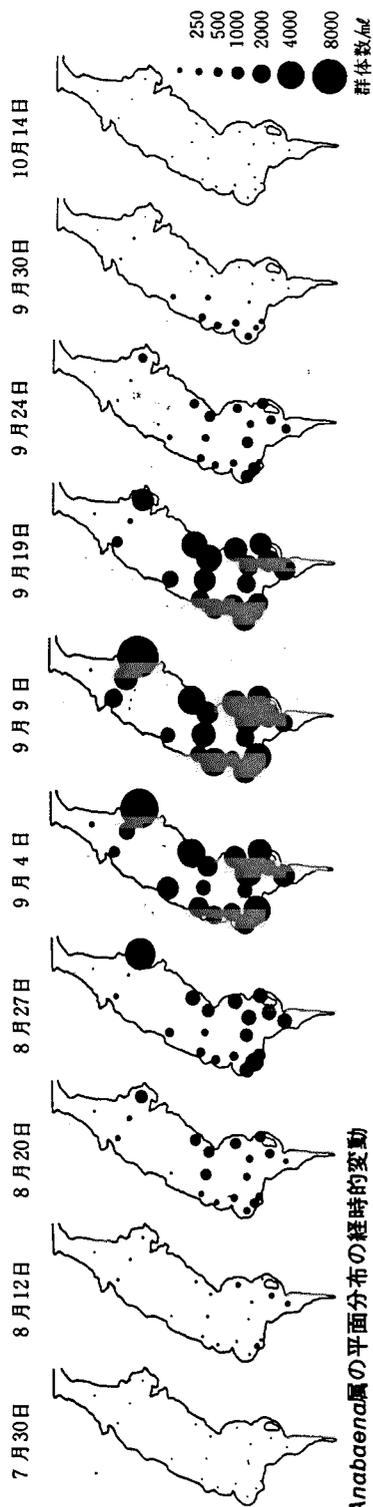


図8 *Anabaena*属の平面分布の経時的変動

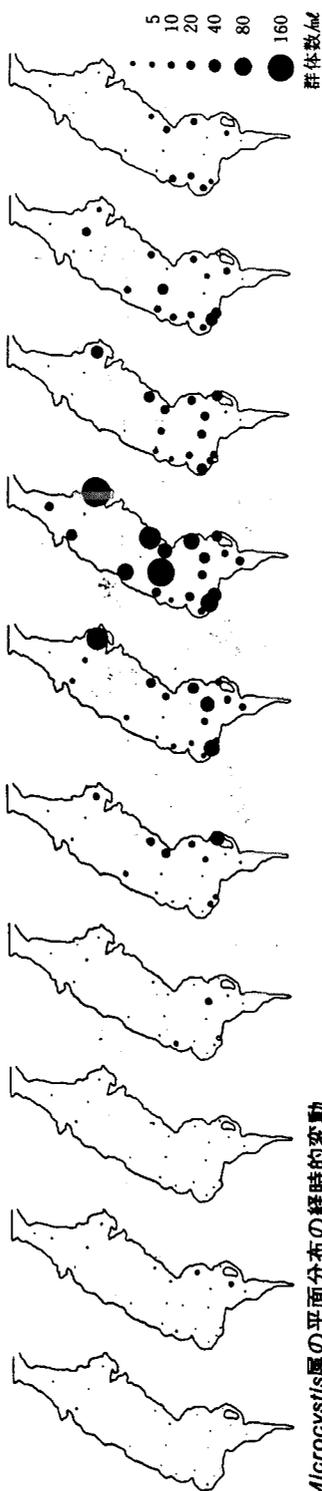


図9 *Microcystis*属の平面分布の経時的変動

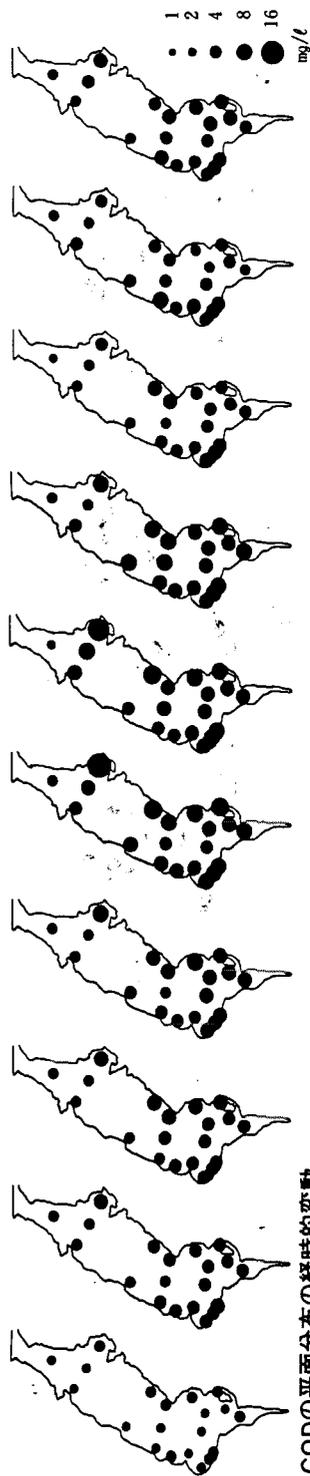


図10 CODの平面分布の経時的変動

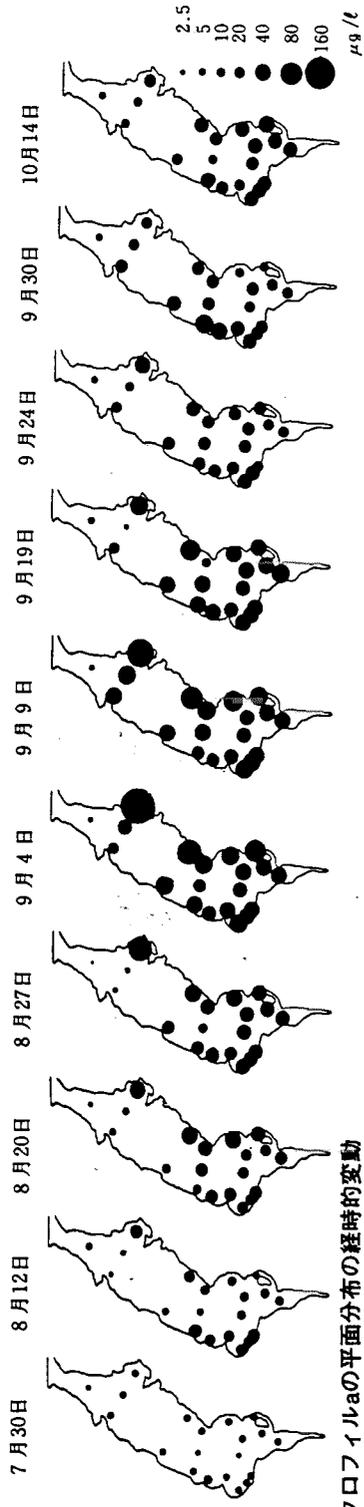


図11 クロフィルaの平面分布の経時的変動

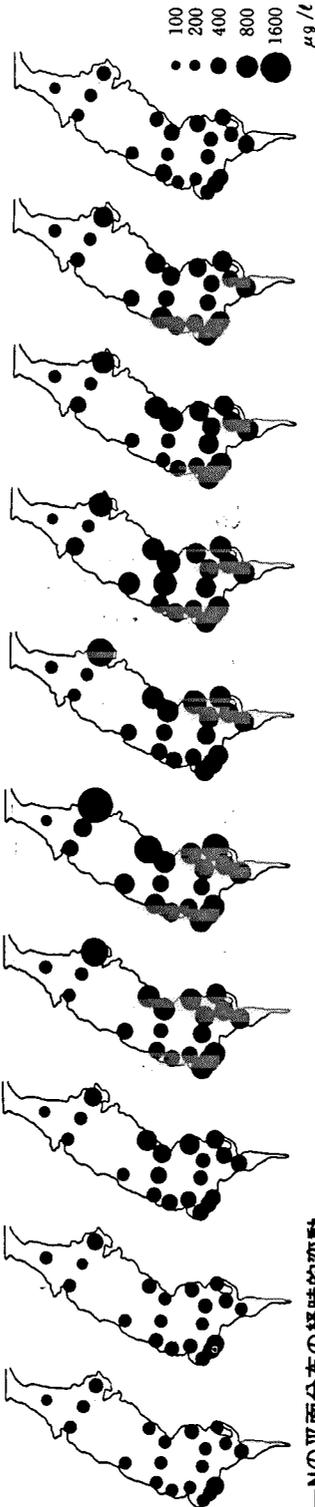


図12 T-Nの平面分布の経時的変動

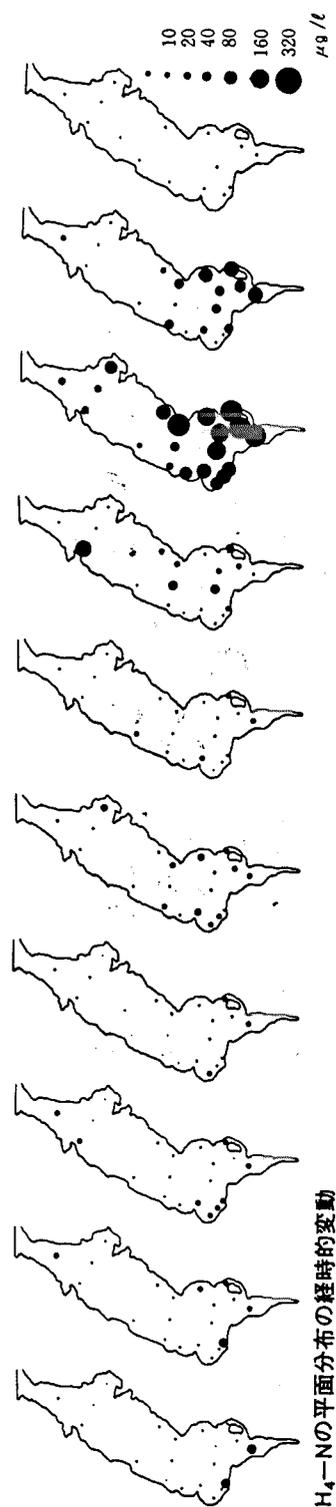


図13 NH₄-Nの平面分布の経時的変動

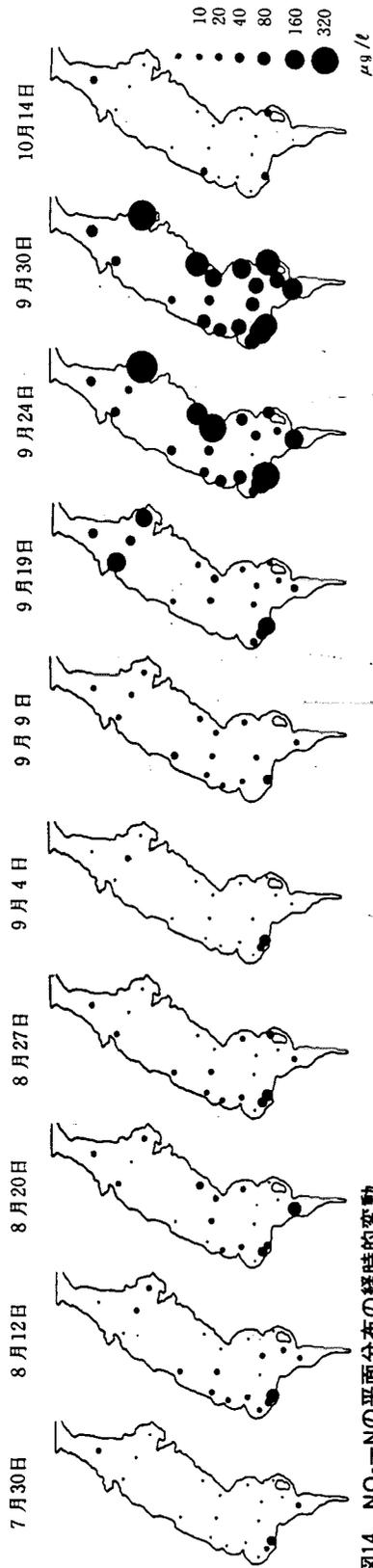


図14 NO₃-Nの平面分布の経時的変動

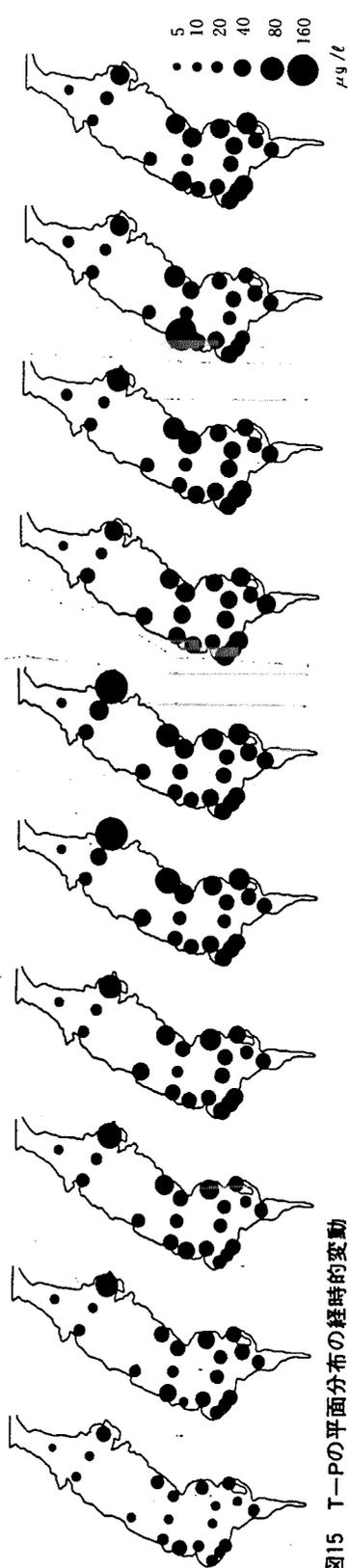


図15 T-Pの平面分布の経時的変動

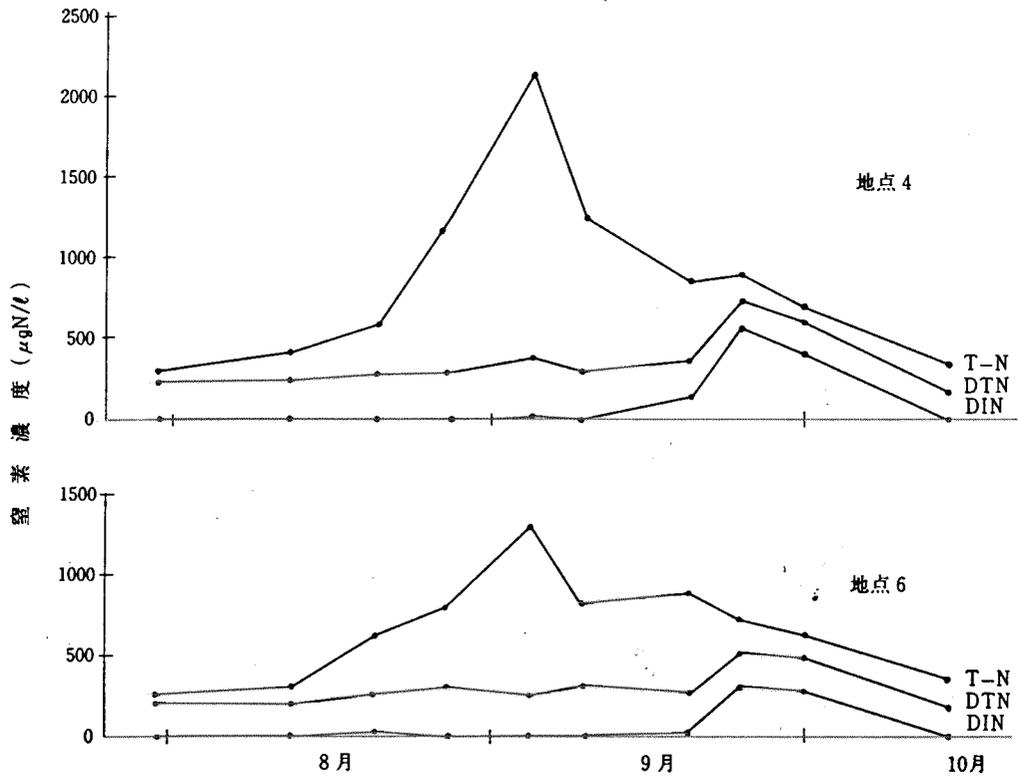


図16 地点4 および6における各態窒素の経時変化 (昭和60年)

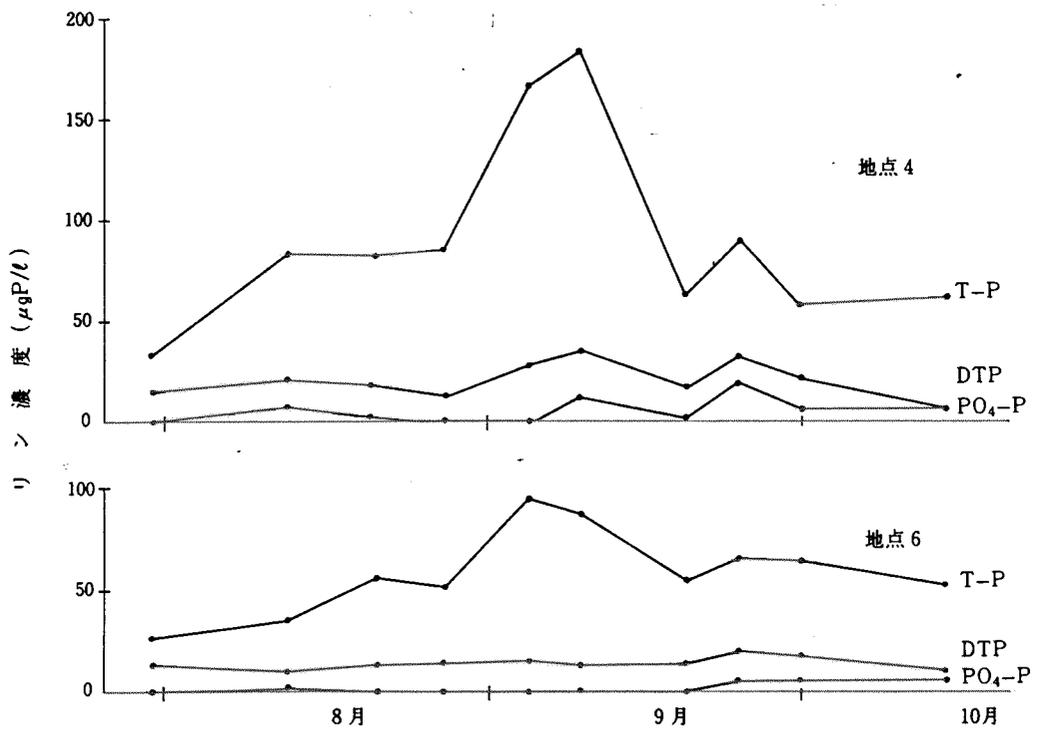


図17 地点4, 6および18における各態リンの経時変化 (昭和60年)