

琵琶湖におけるウログレナの 増殖状況と赤潮発生予察

滋賀県水産試験場

森田 尚・岡本 晴夫・的場 洋・前河 孝志

目 的

琵琶湖では昭和52年の春に黄色鞭毛藻類ウログレナ (*Uroglena americana*) による赤潮が初めて発生し、それ以来、昭和60年まで毎年春になると連続して赤潮の発生がみられた。昭和61年には赤潮は発生しなかったが、昭和62年、63年には再び発生が認められた。ウログレナ群体数の増殖状況を把握し、併せて理化学的環境要因の調査を行うことにより、赤潮の発生予察を試みることを目的とする。

調査方法

(1) 定点観測調査地点

琵琶湖主湖盆（北湖）をほぼ東西に横断する線上、彦根港口から多景島を通り安曇川河口舟木崎に至る間に7定点を設け、定期観測を実施した。（図1）

(2) 定点観測調査月日及び回数

平成元年4月6日から6月16日までの期間中に地点1、1'、2については9回、地点2'については7回実施。地点3、4、5については月1回ずつ計3回実施。

実施日

4月6日、14日、18日、26日

5月2日、6日、10日、16日

6月16日

その他、赤潮発生情報に基づき、臨時の調査を5月18、22日、25日及び6月1日に実施した。

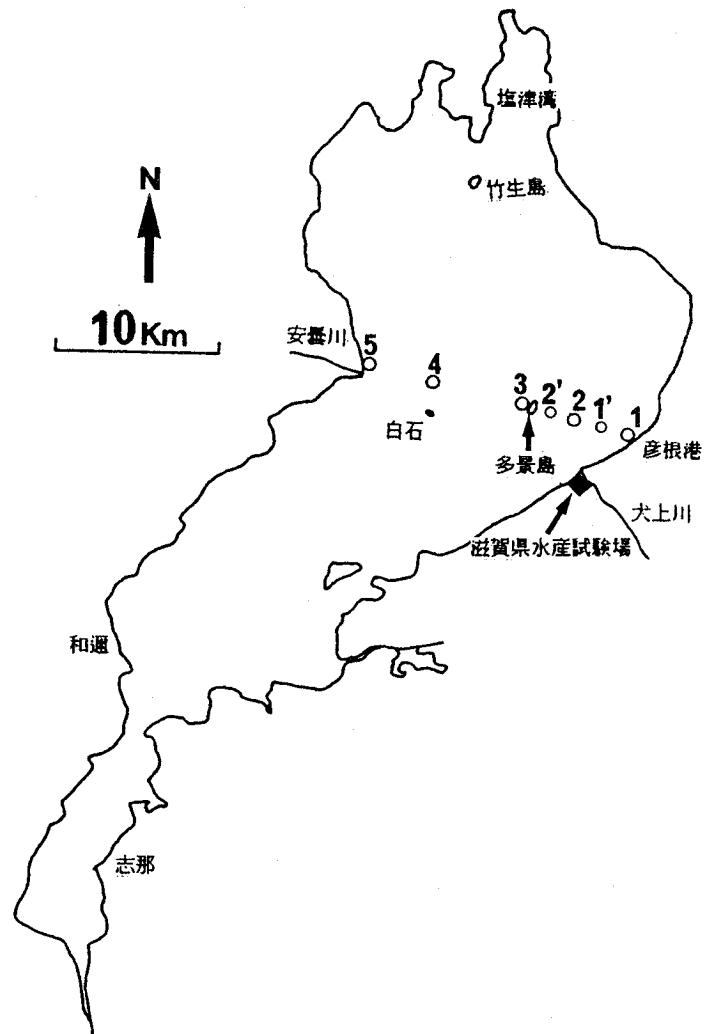


図1 調査地点

(3) 定点観測調査項目及び方法

- 1) 気象 天候、雲量、気温、風向、風速
- 2) 水象 水温（サーミスター電気水温計または棒状水銀温度計）
透明度（セッキーマ板）
水色（J I S色表）
- 3) 水質 pH：硝子電極pHメーター
アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）：インドフェノール法
亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）：スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）：ヒドラジン還元法による還元後、スルファニルアミド・ナフチルエチレンジアミン法
溶存性無機態窒素（D I N）：「 $\text{NH}_4\text{-N}$ 」+「 $\text{NO}_2\text{-N}$ 」+「 $\text{NO}_3\text{-N}$ 」
有機態窒素（O r g - N）：ケルダール法「 Kj-N 」-「 $\text{NH}_4\text{-N}$ 」
総窒素（T - N）：「D I N」+「O r g - N」
リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）：モリブデン青法
総リン（T - P）：過塩素酸・硫酸分解後、中和、モリブデン青法
ケイ酸態ケイ素（ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）：モリブデン青法
クロロフィルa：アセトン抽出後、吸光光度法
全鉄・溶存鉄（T - F e ・ S - F e）：王水分解後、原子吸光分析。溶存態は $0.45\mu\text{m}$ ミリポアフィルター使用。

4) プランクトン

ウログレナ群体数：採水帰場後、直ちに計数。試水1mlをプランクトン計数板に入れ、顕微鏡下で、40倍から100倍の倍率で検鏡。

(4) その他気象に関わる項目

- 1) 日射量 彦根市八坂町の湖岸に位置する水産試験場屋上にロビッチ型日射熱量計を設置し、4月3日以降、調査期間中ほぼ毎日の日射熱量を測定。
- 2) 降水量 水産試験場屋上に直径30センチのロートをつけたガラス瓶を設置し、4月3日以降調査期間中ほぼ毎日の降水量を測定。

調査結果

(1) ウログレナ増殖と赤潮の発生状況

図2に平成元年度の赤潮発生水域を示す。5月10日には南湖の草津市志那沖で最初の赤潮が発生し、850群体/mlが報告された。5月18日には北湖の犬上川河口沖で279群体/mlと赤潮に近い状態を確認した。5月19日には北湖南部水域の和邇沖で赤潮の発生が報告された。5月22日には北湖の白石—多景島間の水域で370群体/mlの赤潮が発生した。5月25日に北湖最北部の竹生島北西水域で赤潮通報に基づき調査を行ったところ赤潮は確認できなかったが139群体/mlのウログレナを確認した。6月1日には塩津湾で1060群体/mlの赤潮を確認した。

図3および図4にそれぞれ、地点1、1'、2および2'におけるウログレナ群体数とクロロフィルa濃度の変動状況を示す。ウログレナ群体の初認は4月18日で、地点1'の2m層において1群体/mlを確認した。しかし、その後の増加は極めて緩慢であり、5月16日に地点2'の2m層で56群体/mlを記録したのが最大であった。6月16日にはいずれの調査地点においてもウログレナの群体は観察されなかった。従って、本年度の調査ライン上におけるウログレナの変動状況は時期的には平年と同様であったが、量的には少なく、赤潮発生にいたるほどの増殖は認められなかった。

クロロフィルa濃度はウログレナ群体数のピークがみられた5月16日には4.4~17.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で、ある程度、ウログレナの増加を反映しているものと思われる。しかし、ウログレナの少ない時期にも、高い値が認められるなど、ウログレナ群体とは異なった変動を示している。これは、ウログレナの増殖が少なかった結果、ウログレナ以外の植物プランクトン種が植物プランクトン群集全体の現存量に占める割合が比較的高くなったためと考えられる。

(2) 湖水温の変動

図5に地点2の3月中旬から5月上旬までの各時期における底層水温(20m層水温)の年度間の比較図を示す。本年度の3月中旬の底層水温は過去10年間のデータと比較し

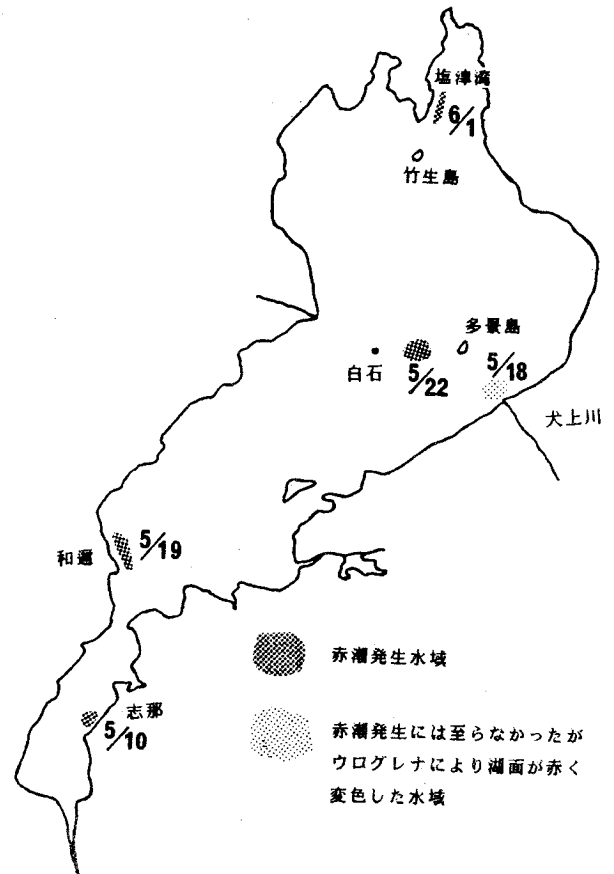


図2 平成元年度の赤潮発生水域

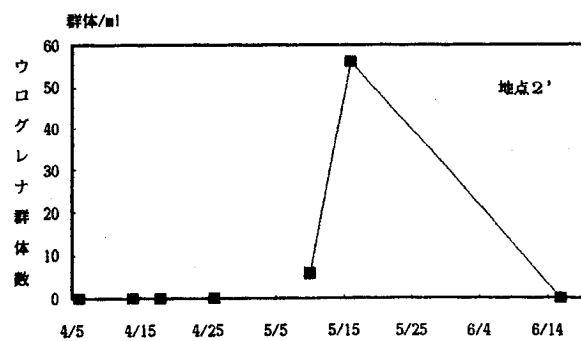
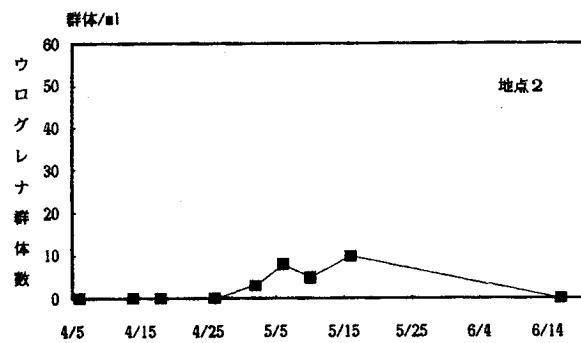
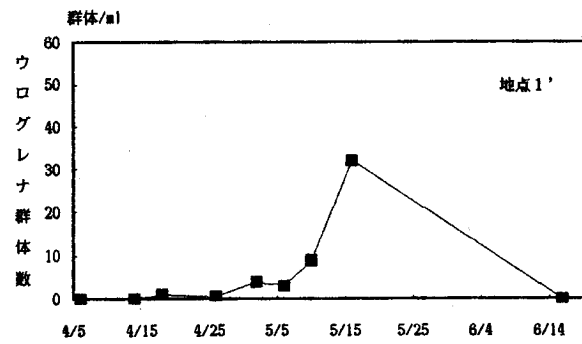
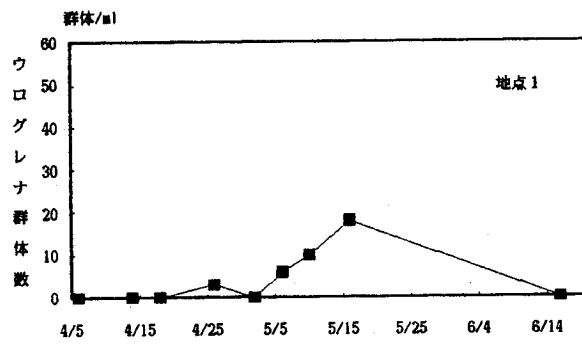


図3 各調査地点におけるウログレナ群数の変動 (2 m層)

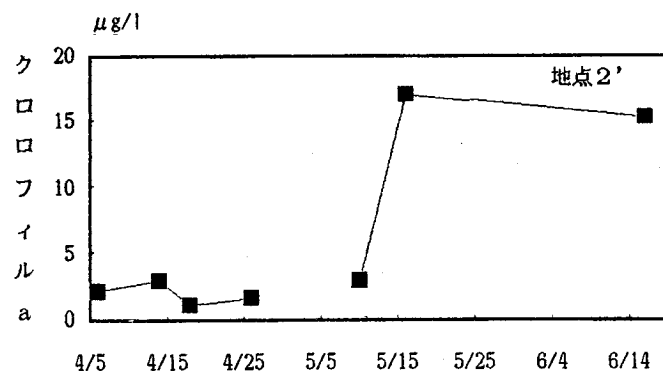
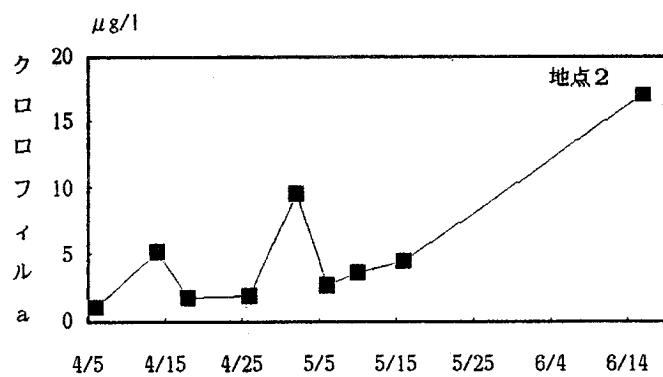
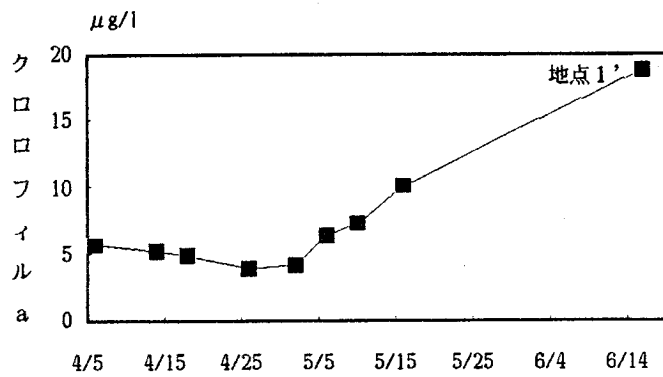
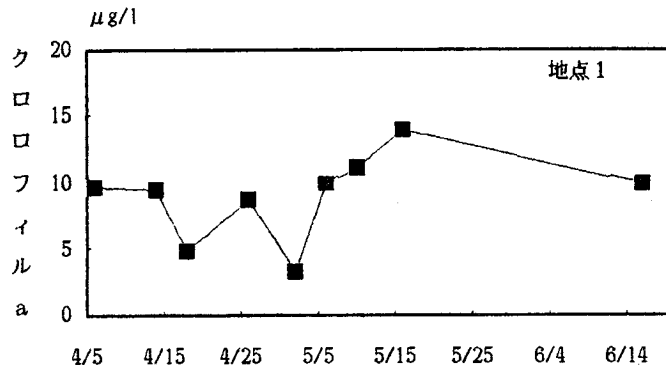


図4 各調査地点におけるクロロフィルa濃度の変動(2m層)

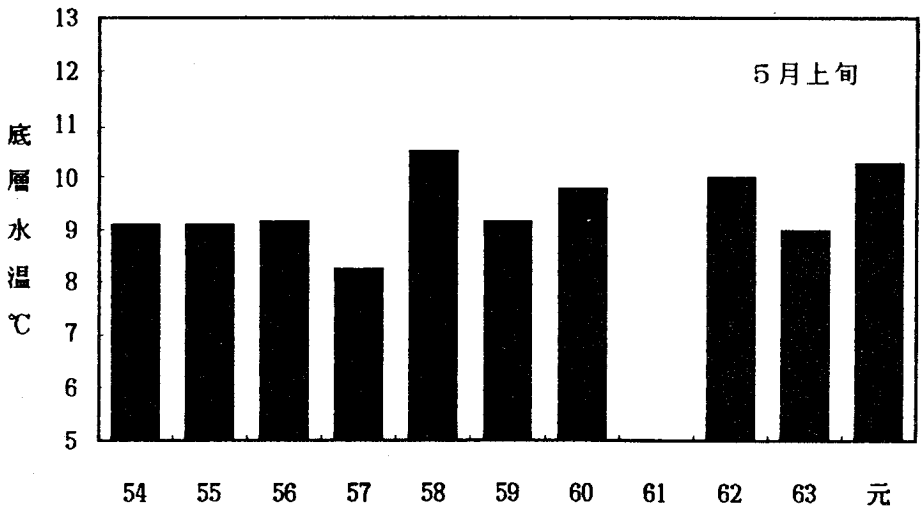
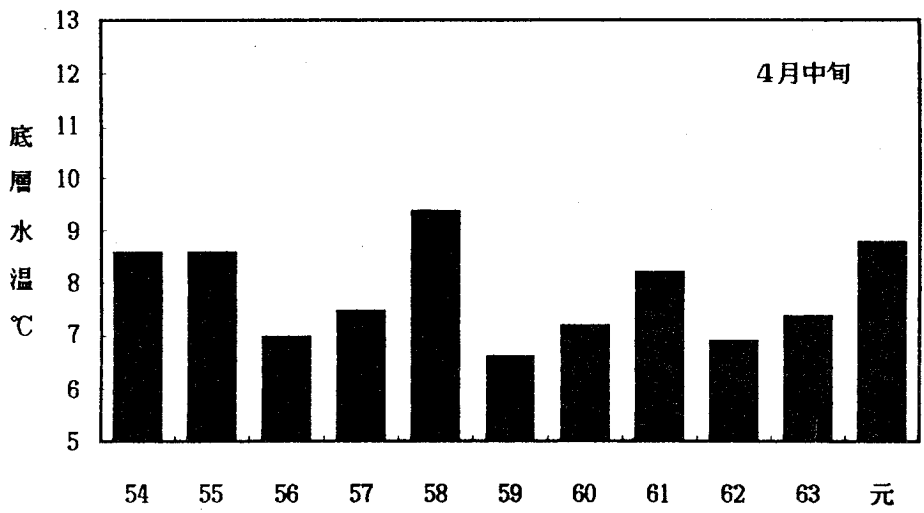
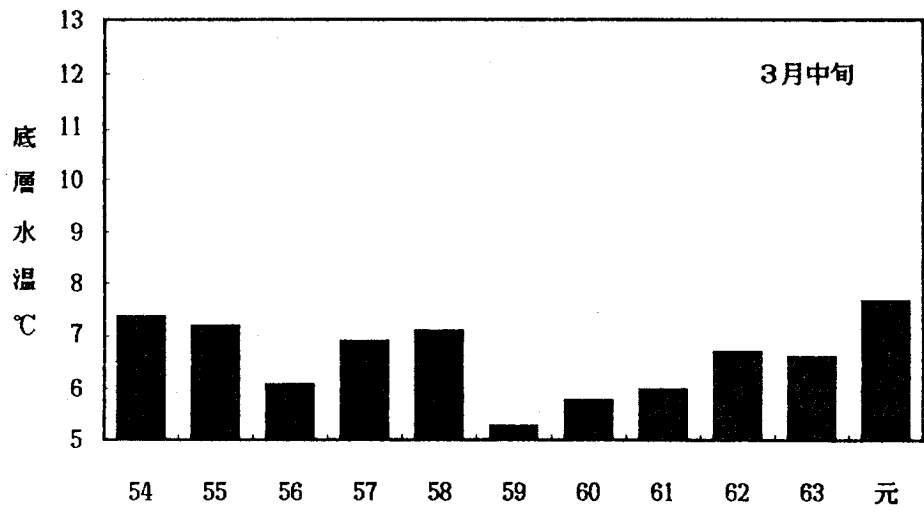


図5 第2地点における底層水温(20m層水温)の年度間比較

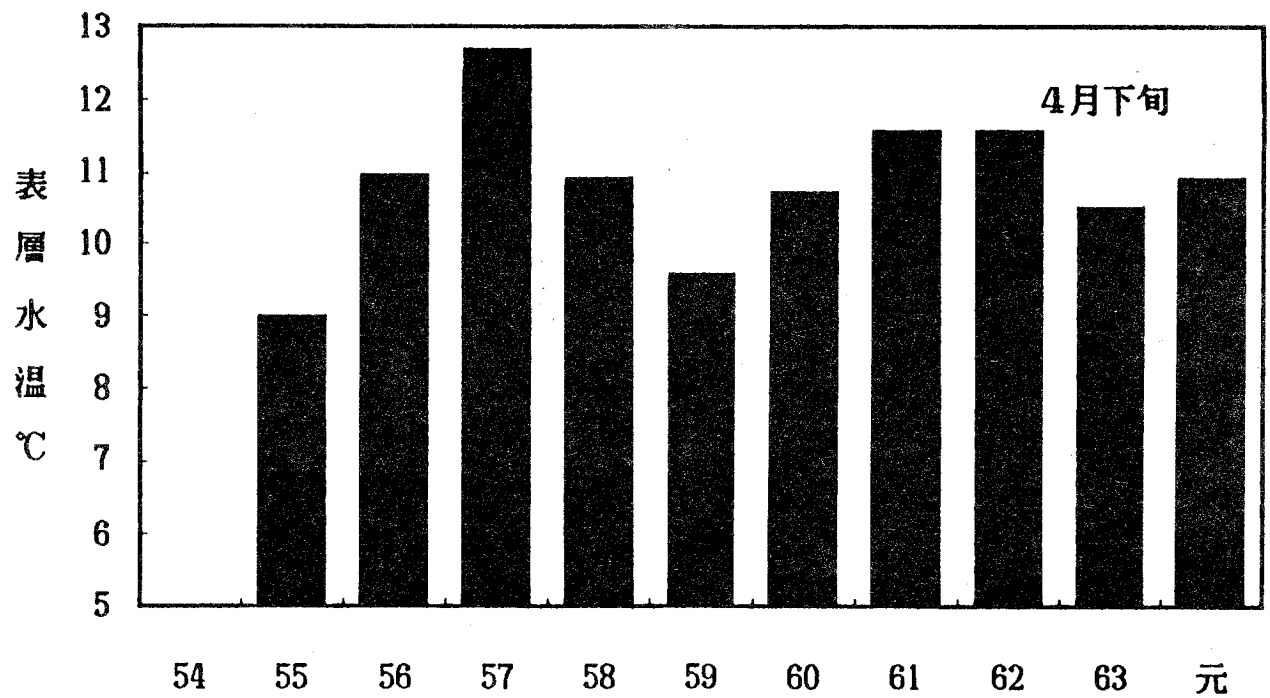
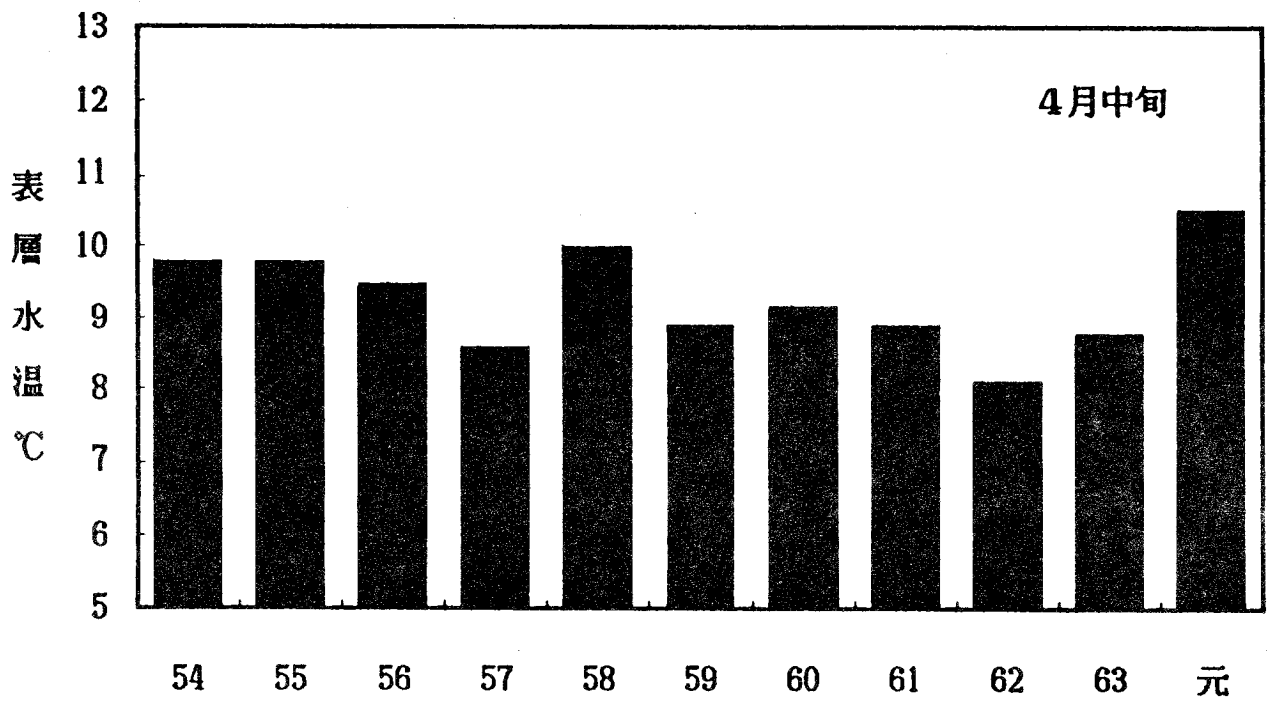


図6 第2地点における表層水温 (20m層水温) の年度間比較

て最も高く、湖底水温が比較的早くから上昇していたことが分かる。4月中旬においても底層水温は過去10年間のデータと比較して、高い方であった。図6に地点2の4月中旬と5月下旬の表層水温（2m層水温）の年度間の比較図を示す。表層水温は4月中旬の段階では、過去10年間のデータと比較して、もっとも高い状況であったが、4月下旬には昭和57、61および62年度よりも低く、56、58および60年度とほぼ同レベルとなった。図7に地点1から2'までの各地点における本年度の表層水温の変動状況を示す。4月上旬（4月6日）から4月中旬（4月14、18日）まで上昇傾向を示していた表層水温が、4月下旬（4月26日）にかけて、一旦下降している状況が認められる。これは4月22日以降の天候が不順となり、日射量の低下や、大雨による低温水の流入が影響したことによる。5月上旬（12.3～14.2℃）から中旬（14.6℃）にかけての水温は平年並みになった。ウログレナの増殖適水温は15℃から20℃とされているが、昨年度2地点で赤潮が発生した際の水温は13.3℃であったので、水温に関しては5月6日（13.3℃）の時点で赤潮の発生条件を満たしていると判断した。

5月10日に南湖で赤潮が発生した際の現場水温は17.4℃と報告された。また5月18日に犬上川の河口沖で赤潮に近い状態になったときの水温は表層16.8℃、2m層15.2℃であった。6月1日に塩津湾で赤潮が発生したときの水温は表層19.9℃、0.5m層18.5℃であった。

したがって今年度は比較的高い水温域で赤潮が発生する傾向があったといえる。

(3) 栄養塩類のレベル

図8、9および図10にそれぞれ、地点1から2'までの各地点における溶存無機態窒素濃度、りん濃度および濾過態鉄濃度の変動状況を示す。

溶存無機態窒素濃度は、0.12～0.25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の比較的高い濃度範囲で推移しており、特に岸寄りの地点1、1'で高い傾向を示していた。

りん酸態りんは何れの地点においても0.000～0.002 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の極めて低いレベルで推移しており、ウログレナ増殖の制限要因の一つになっていることが示唆された。

濾過態鉄は4月上旬から中旬にかけて地点1、1'で9.10～13.06 $\mu\text{g}/\text{l}$ の比較的高い値が観測されたが、ウログレナの増殖時期にはいる5月上旬には、0.77～2.70 $\mu\text{g}/\text{l}$ に低下し、制限要因の一つになっていることが示唆された。

栄養塩類のレベルからは、河川濁水が拡散している地点以外ではウログレナの大増殖は起こりにくいと判断した。

(4) 気象条件

彦根市湖岸に位置する水産試験場の屋上で測定した降水量と、日射熱量を図11および

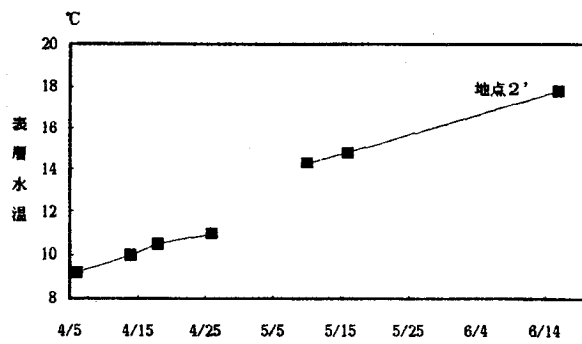
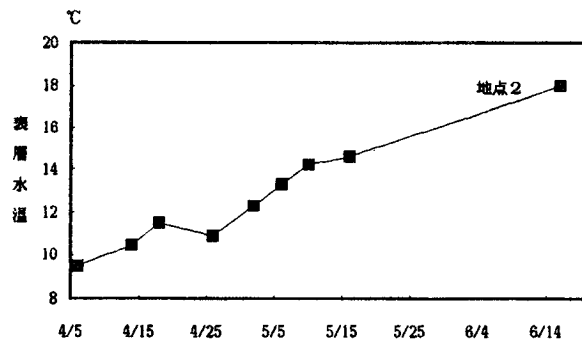
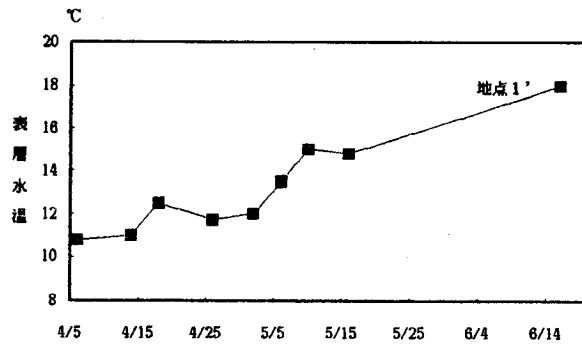
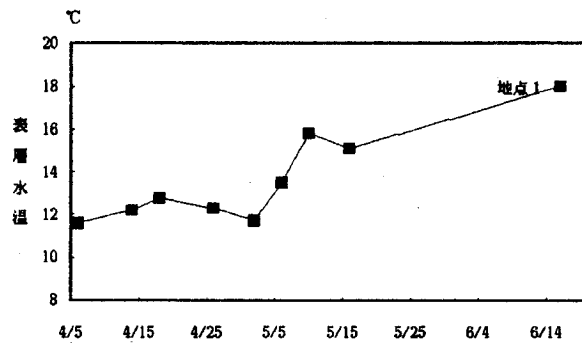


図7 各調査地点における表層水温（2 m層水温）の変動

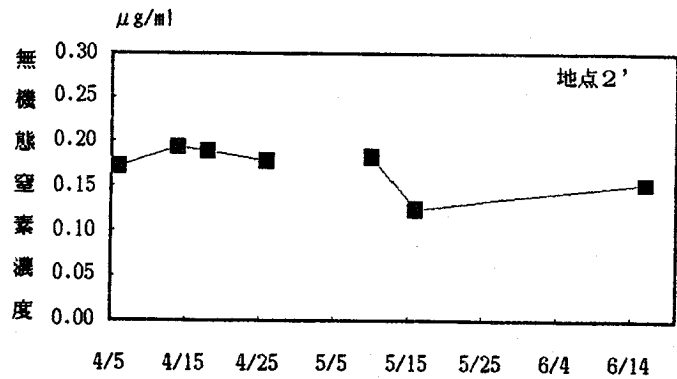
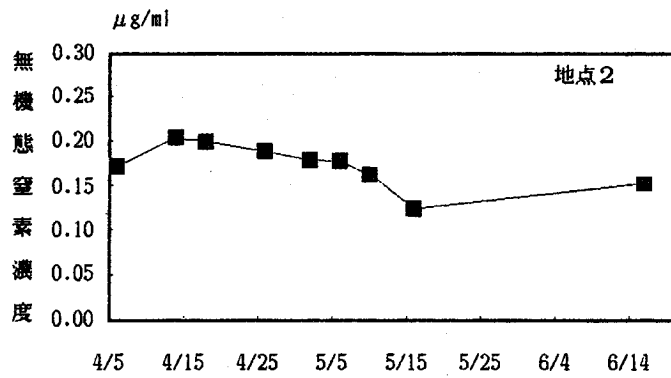
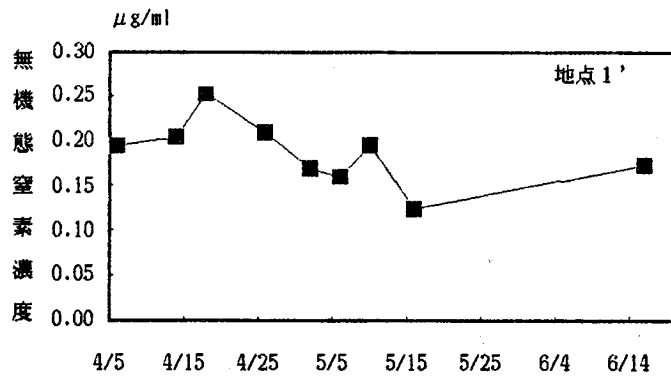
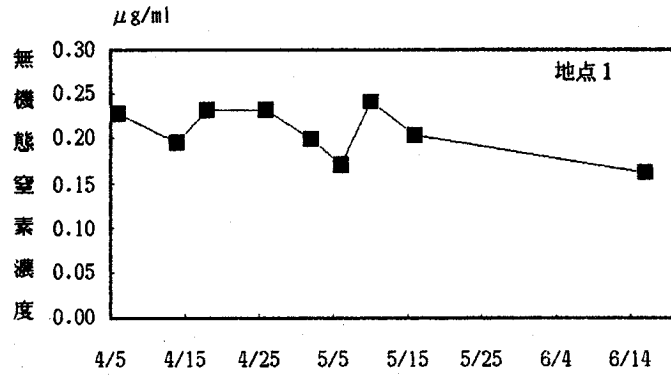


図8 各調査地点における溶存無機態窒素濃度の変動 (2 m層)

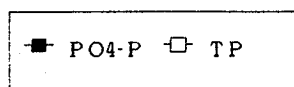
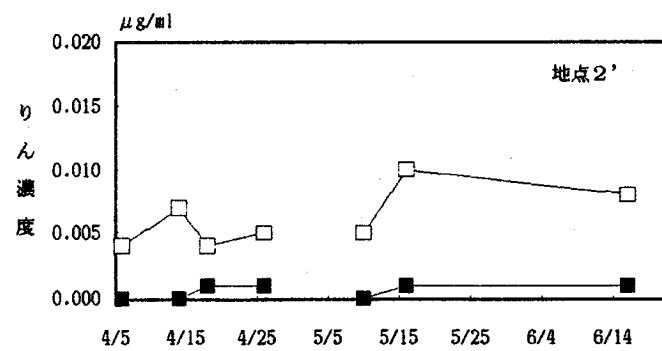
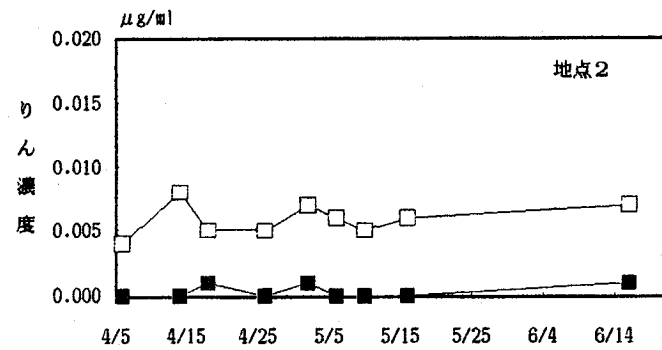
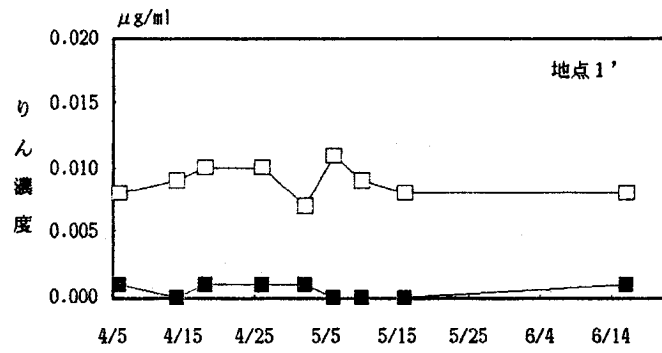
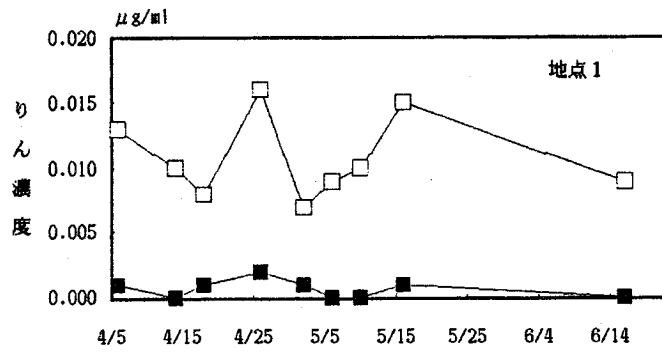


図9 各調査地点における全りんとりん酸態りん濃度の変動 (2 m層)

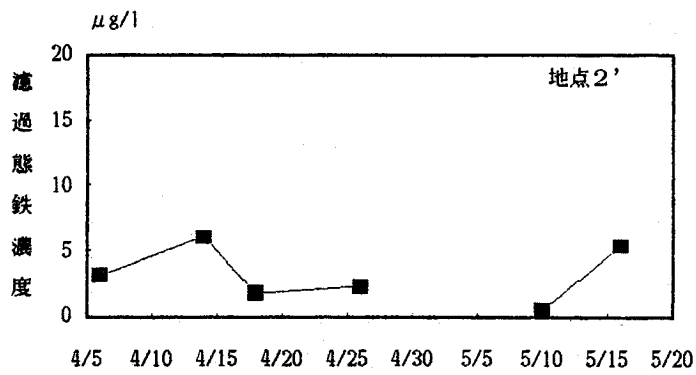
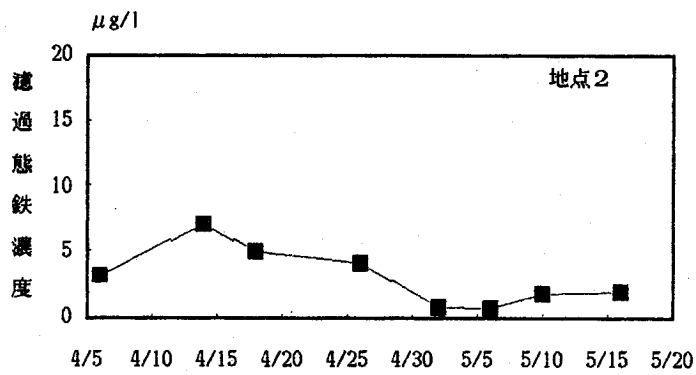
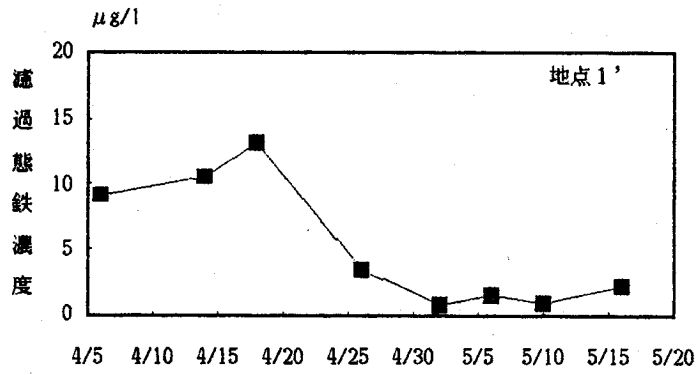
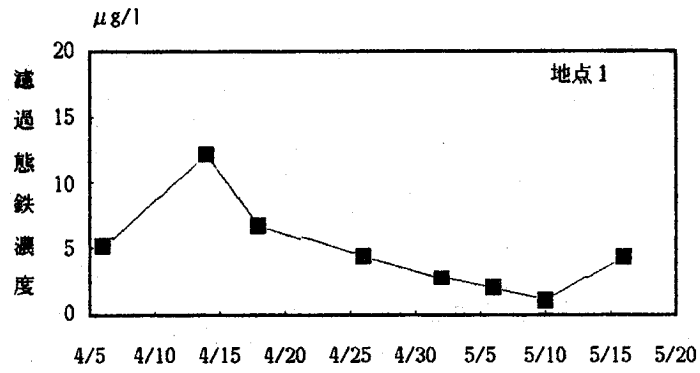


図10 各調査地点における濾過態鉄濃度の変動 (2 m層)

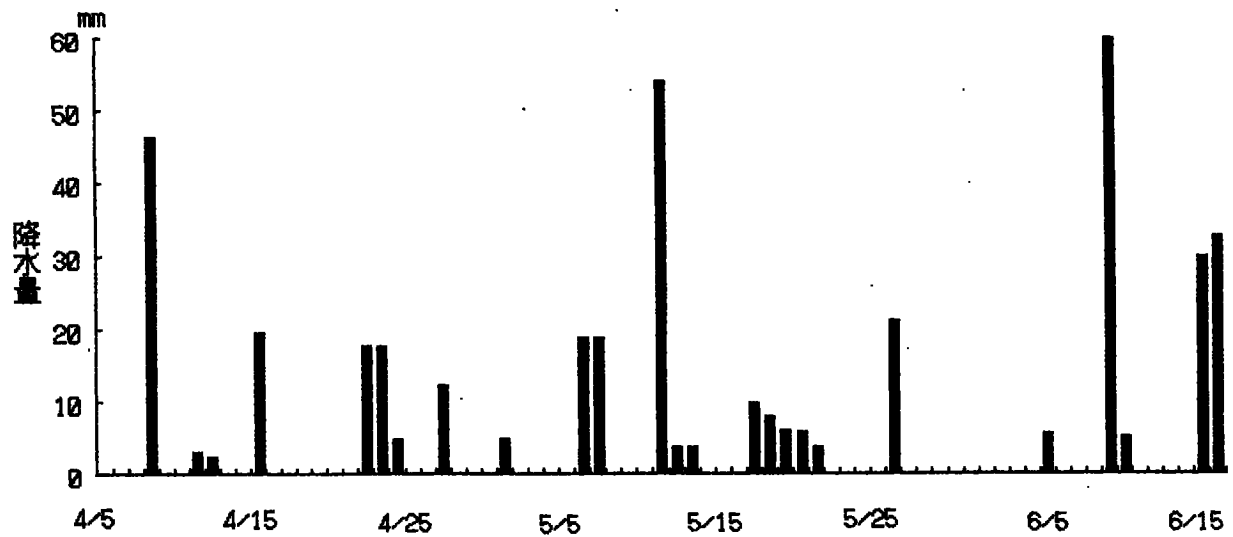


図11 調査期間内の降水量 (水産試験場にて測定)

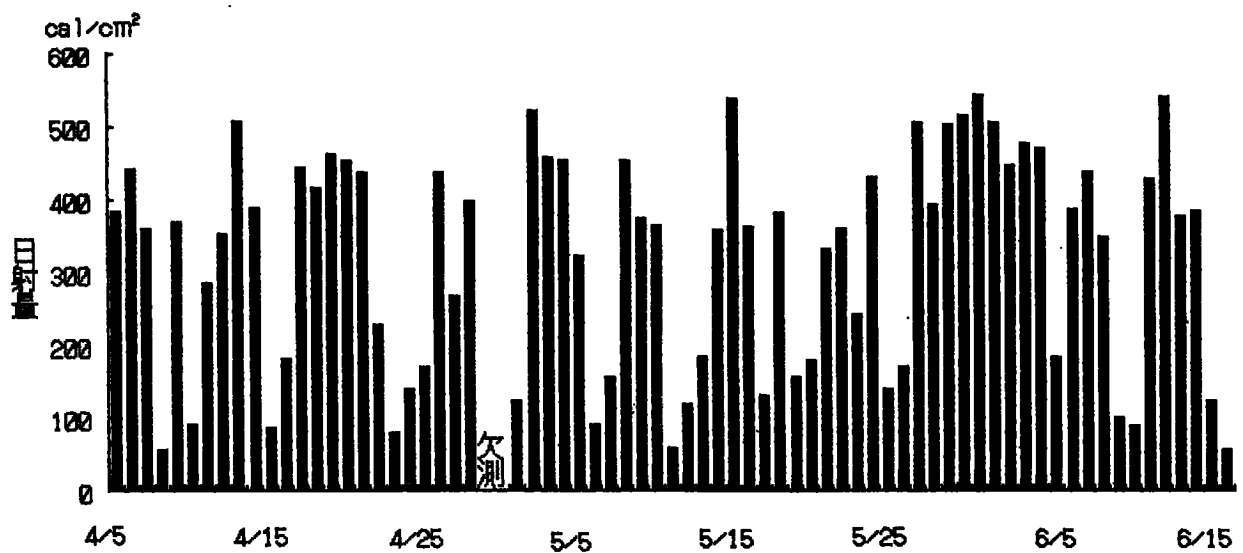


図12 調査期間内の日射熱量 (水産試験場にて測定)

12にそれぞれ示す。4月中旬以降の天候をみると、4月15日から16日の朝にかけて、19.8mmの雨が降った後、4月21日までは晴天の日が続き、日射量も高い値が観測された。この間、4月18日に、本年度最初のウログレナ群体の出現を確認した。4月22日から24日にかけて、合計40.9mmの大雨が降り、日射量は低下した。4月25日には降雨はなかったものの、曇りがちで、日射量は余り上がらず、4月26日に晴天になった後、4月27日夜には、12.4mmの雨が降り、日中の日射量もやや低下した。4月28日から30日までは降雨のない日が続いたが、5月1日には、5.0mmの降雨があった。5月2日から5日までは晴天で、日射量も高い状態が続いた。5月6日から7日にかけては合計39.9mmの降雨があり、日射量は低下した。5月8日から10日の日中までは降雨はなく、日射量も、比較的高かった。10日には南湖で最初の赤潮が観測されたが、同日、北湖の調査ライン上定点ではまだ最高10群体/mlのウログレナを確認しただけであった。5月10日の夜から13日にかけて合計62.0mmの降雨があり、日射量は低下した。5月14日から16日までは降雨はなく、特に15日は快晴で、高い日射量が観測された。5月17日から18日の午前にかけては18.1mmの降雨があった。18日の午後には北湖の犬上川河口沖1000から1500mの水域で279群体/mlの赤潮状態に近い濃度のウログレナを確認したが当日、湖面の一部が赤く変色しているのが発見されたのは、14時30分、雨が上がって、日が差し始めてからであった。翌19日の午前中は曇天であったが、北湖南部の和邇沖で赤潮の発生が報告された。5月16日に調査ライン上の定点で調べたウログレナ群体数の最大値はわずか56群体/mlであったが、湖岸付近は水温上昇が早いこと、ウログレナ群体の密度は表層部への集積によって、1日のうちでも大きく変動することを併せて考慮すると、16日の時点で既に北湖でも赤潮発生に十分な増殖量に達していた可能性がある。5月19日午後から21日午前にかけては16.3mmの降雨があった。5月21日午後から25日までは降雨のない日が続いたが25日には曇天のため、日射量は低下した。22日の昼過ぎに白石-多景島間で350群体/mlの赤潮を記録した。5月26日には21.4mmの降雨があった。5月27日から6月4日までは降雨はなく、日射量の比較的高い日が続いた。6月1日には塩津湾で1060群体/mlの赤潮を確認した。

(5) 赤潮発生の予察結果

今年度は3月中旬から4月中旬にかけての底層水温（20m層）および4月上旬から中旬にかけての表層水温（2m層）の上昇が過去10年間と比べて、もっとも早かったこと、4月18日に最初のウログレナ群体を確認したことから、4月18日の段階でこのまま水温上昇が続けば4月下旬から5月上旬には調査ライン付近で最初の赤潮が発生するのではないかと予測を立てた。しかし4月22日以降天候が不順となり、大雨の影響もあって、水温上昇が鈍り、4月下旬の湖水温は平年並みまたはそれ以下のレベルになった。ウロ

グレナの増加もほとんど認められないため、4月26日の段階で今年度は赤潮発生にまで至らないか、発生するとしても、例年よりは遅れると、予測を変更した。水温条件としては5月6日の時点で赤潮発生可能範囲に入ったと判断したが、5月16日になっても最高56群体/mlのウログレナしか認められなかったため、5月18日の犬上川河口沖と19日の和辻沖における赤潮あるいは赤潮発生に近い状況はまったく予想外の結果となった。

論 議

降雨は河川の出水をつうじて湖内への栄養塩供給を行いプランクトンの増殖にとってプラスの働きをする一方、湖水温を低下させ、日射を遮る等、マイナスの要因にも作用する。4月22日から24日にかけて降った雨は水温上昇の速度を低下させ、ウログレナの増殖を遅らせる効果を示した。その後も2～4日間晴天の日が続くと、2～3日間雨が降るという状況を繰り返したため、ウログレナの増殖は急激には進まなかったものと思われる。しかし5月18日と19日に発生した赤潮の例のように、ウログレナの群体数が赤潮濃度よりもかなり少なくても、ある一定以上のレベルに到達すると、当日の天候が、曇天や、小雨であっても、風がなく、湖面の状態が穏やかであれば、群体が水面近くに集積する結果、赤潮発生に至るものと思われる。

今年度はまだ十分な予察ができなかったが、今後赤潮の発生予察を行うに当たってはウログレナ群体数の変化をきめ細かく追跡すると同時に、表層水温が増殖適水温に達していること、大雨の後、高い日射量の続く日があるかどうかという点に注目する必要がある。また赤潮発生に十分な増殖が行われても、群体が集積して実際の赤潮発生に至る時と至らないときがあるが、風の影響など、気象条件による違いをより詳細に検討する必要がある。