

昭和54年度東海
沿岸海域におけ
る赤潮予察調査
(昭和55年6月)

びわ湖における Uroglena sp. の異常発生と環境要因の変動に ついて

滋賀県水産試験場

古川 優・山中 治・藤岡康弘
里井晋一・水島久宣・村長義雄
大野喜弘・田沢 茂

目 的

びわ湖における Uroglena sp. (以下ウログレナと記す) の異常発生は、1977年5月27日に始まり、6月6日まで部分的、断続的にその発生が続いた。さらに翌'78年は5月10日から6月10日にかけて、'79年は4月26日から6月8日にかけてウログレナの異常発生をみた。

ウログレナはその脂肪酸の毒性によりアユを斃死させることが神谷・他(1978)の研究でわかったが、'78年5月14日、湖水を利用している一養殖業者で養成中のニジマスが大量斃死したこと以外には、今のところびわ湖漁業に対して大きな影響を及ぼしていない。しかしながら魴壺の中など、逃げ場を失ったアユに対するウログレナの毒性が懸念されている。また魚介類の種類が豊富で、かつ水産的価値の高い特産種も多いびわ湖においては、ウログレナが異常発生するような環境の変化自体も、水産の立場から放置できない問題である。

今年度はウログレナおよびその他のプランクトンの発生状況と水質環境の把握に重点をおき、ウログレナが大量に増殖する原因を追求することを目的として定期観測を実施した。

調査方法

1. 調査地点

びわ湖北湖の彦根港口～舟木崎を結ぶ横断線上の5地点において、定期観測

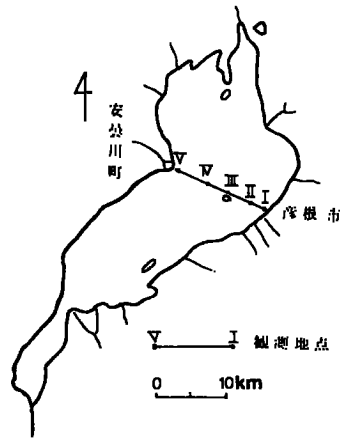


図1 びわ湖観測地点略図

を実施した（図1.びわ湖観測地点略図参照）。

地点	水深	離岸距離
I	7.4 ~ 8.2 m	彦根港口から約 400 m
II	21.8 ~ 24.6 m	" " 3,200 m
III	46.5 ~ 48.4 m	" " 6,200 m
IV	76.8 ~ 82.3 m	舟木崎から約 4,400 m
V	7.2 ~ 8.3 m	" " 130 ~ 150 m

2. 調査期日

1979年4月から9月まで、原則として半月に1回の割合で調査を実施した。

第1回調査	1979年4月20日
2 "	5月1日
3 "	5月16日
4 "	5月28日
5 "	6月18日
6 "	7月2日
7 "	7月17日
8 "	7月31日
9 "	8月16日
10 "	9月14日

3. 調査項目および方法

1) 気象, 天候, 風向, 風速, 雲量, 気温, 波浪, うねりは海洋気象観測法によった。

2) 水象

水深	測深錘
水色	JIS色票
透明度	セッキー円板
水温	サーミスター電気水温計

3) 水質

バンドーン採水器(6ℓ容)により, 0, 2, 5, 10, 20, 30 m層および底層水を採水し, 以下の項目について分析を行った。なお0 m層は水面下約50 cmの深さで, また底層は各地点の水深から0.5~1.5m差し引いた深さで採水した。

PH	硝子電極 pHメーター
溶存酸素量	ウインクラー法 ¹⁾
COD	KMnO ₄ 酸性法 ¹⁾
NH ₄ -N	ネスラー法, 分光光度計で測定。 ¹⁾
NO ₂ -N	G・R法 ¹⁾
NO ₃ -N	Mullin & Riley 法 ¹⁾
ケールダールN	原水および0.22μのミリポアフィルターでろ過した水について, NH ₄ -Nを追い出したのちケールダール法により定量。 ²⁾
DIN	$(DIN) = (NH_4 - N) + (NO_2 - N) + (NO_3 - N)$
DON	ろ過水のケールダール分解N
PON	(原水のケールダールN) - (ろ過水のケールダール分解N)
T-N	$(T - N) = (DIN) + (原水のケールダール分解N)$

PO ₄ -N	DENIGES - ATKINS の方法 ¹⁾
T-P	原水を硫酸で分解 ³⁾ したのち、 DENIGES - ATKINS 法
DOP	(ろ過水を同上の方法で分析した値) A - (PO ₄ - P)
POP	(T - P) - (A)
SiO ₂ - Si	ケイモリブデン酸による比色法 ¹⁾
Ca, Mg, K	原子吸光法 ⁴⁾
Fe	原子吸光法 ⁴⁾ とロダン酸カリ法 ⁵⁾ を併用した。

註 1) 三宅康雄, 北野 康, 1976: 水質調査法, 地人書館

2) 小山忠四郎, 半田暢彦, 杉村行勇, 1972: 湖水・海水の分析, 講談社

3) 日本薬学会編, 1973: 衛生試験法注解, 金原出版

4) 池田喜代治, 永井 茂, 1973: 地質調査所化学分析法(表流水, 地下水の分析法), 地質調査所

5) 西条八東, 1957: 湖沼調査法, 古今書院

4) プランクトン

同上の採水層において, 採水プランクトンを調査した。ウログレナは未固定のまま帰場後ただちに計数, 他のプランクトンは3%ホルマリンで保存し, のちに計数した。

結 果

水質分析結果は付表1-1~10に一括表示した。また植物性プランクトンの主要出現種および計数結果は付表2に, 動物性プランクトンの主要出現種は付表3に示した。

ウログレナは4月20日調査時から, すでにびわ湖の西岸寄り(St. III~V)の0~20m層で出現しており, St. IVの2m層で最高15群体/mlが認められた。全調査期間のうち, ウログレナが最も多く出現したのは5月1日, および5月18

日調査時であった。計数の最高値は5月1日、St. IIの2 m層で、159 群体/mlであったが、赤潮状態を呈するのは300 群体/ml以上であり、今回の調査ではウログレナが集積した状態をとらえることはできなかった。5月28日調査時には出現数が若干減少し、6月18日には最高で14 群体/mlと激減していた。以後7月17日調査時まで0～4 群体/mlのウログレナが認められたが、7月31日調査時以降は全く認められなかった。

その他のプランクトンの出現傾向として、まず4月20日から5月16日まではケイ藻類の Fragilaria crotonensis と原生動物の Dinobryon cylindricum が比較的多く、5月28日以後緑藻類の Closterium aciculare var. subprorum が多数出現するようになり、6月18日には大発生した。7月に入ると Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum が優位を占めるようになり、以後9月14日まで多数出現した。

調査時ごとの水質の変化は付図1～9に図示した。

付図 1	水温の経月変化
" 2	pH "
" 3	溶存酸素量 "
" 4	NH ₄ - N "
" 5	NO ₃ - N "
" 6	DIN "
" 7	PO ₄ - P "
" 8	SiO ₂ - Si "
" 9	K, Mg, Ca の経月変化

ウログレナの発生と水質の関連性をみるため、ウログレナの異常発生が認められなかった1966年から1975年の10年間における各調査分析項目の平均値(以下、便宜的に平年値と記す)を図中に破線で示した。平年値は中・他(1966～75)が行ったびわ湖定期観測結果より、本調査と共通する調査地点、層、分析項目を選び算出した。

水温は0 m層では4月20日から5月16日にかけて約0.5～2.0℃平年を下回

り、7月17日、7月31日には平年を約2~3℃上回った。10 m層の年間最高水温は平年では8月中旬で約24℃であったが、本年は7月17日調査時が最高で、全地点の10 m層平均値は22.8℃であった。底層(76~78 m)では、調査期間を通じて平年より約1~2℃高く推移した。

pHは平年を下回ることが多く、平年を上回ったのは、0 m層の5月28日および7月2日~31日と10 m層の6月18日および7月17日から9月14日だけであった。10 m層の7月17日~9月14日は平年を0.5~0.7上回る高い値であった。

溶存酸素量は5月1日と5月28日の全層で平年を大きく上回り(+2.8~4.7 mg/l), 次いで7月17日の20 m層と9月14日の0 m層、10 m層が平年を1.5~1.9 mg/l上回った。平年を下回ったのは7月2日の20 m層と底層および8月16日と9月14日の底層であった。

NH₄-Nは4月20日(全層)、5月1日(10 m層)、6月18日(10 m層)、7月31日(底層)で平年を大きく(+60~100 μg/l)上回った。全調査を通じて平年を上回ることが多く、平年を下回ったのは全体の約10%で、6月18日から7月17日にかけて平年を下回ることが多かった。

NO₃-Nは7月2日から9月14日の0 m層と7月16日から9月14日の10 m層を除くとほとんど平年値を上回った。平年値を大きく上回ったのは(+730~105 μg/l), 6月18日(20 m, 30 m層)と7月2日(20 m, 30 m層)であった。

NO₂-Nは平年よりやや高い値であったが、春先に検出されることが多く夏季には検出されないという傾向は例年通りであった。

PO₄-PはNH₄-NやNO₃-Nと同じく、4月20日調査時から全層で平年値を上回っていた(+4~6 μg/l)。全調査のうち2%が平年値を下回っただけで、他はすべて平年値を上回った。調査期間のうち、PO₄-P濃度が最も低かったのは、6月16日調査時であり、湖心部の2~20 m層では、ほとんど不検出に近い値となった。

SiO₂-Siは0 m, 2 m, 5 m, 10 m層では5月1日に最も低い値を示し、

7月2日まで徐々に増加し、7月2日から8月16日にかけて急増した。20 m, 30 m層では経時的な濃度変化はなく、底層では5月1日から8月16日まで徐々に増加した。

K, Mg, Caについては、びわ湖の東西で地質に由来する水質の差があるため、全地点を平均せず、St. IとSt. III, St. IVおよびSt. Vの2 m層における経月変化をみた。K, Mg, Caの経月変化がプランクトンの消長と結びつかない様相を呈した地点はSt. Iで、K, Mg, Ca共に5月1日調査時と7月31日調査時に高い値が検出され、陸からの流入に影響されているようであった。これに対し、St. III, IV, Vでは、程度の差や時期のズレはあるが、だいたいにおいて5月1日から5月31日調査時に濃度が低下する傾向があった。ただし、全く0になるということはなく、Kの最低値は0.7mg/l(5月1日, St. II, 2 m層), Mgは0.9mg/l(5月16日, St. III, 2 m層), Caは6.4 mg/l(5月16日, St. IV, 2 m層)であった。

T-Feおよび溶解性Feは、原子吸光直接法では検出されず、吸光光度法により、5月1日調査時のSt. I, 0 m層でT-Feが0.02mg/l検出されたのみであった。

有機態窒素および有機態リンに関する項目については、分析の段階で数値がばらついたため、重要な項目であるが、次年度の検討課題として残し、本年度は参考資料にとどめた。

考 察

本年度はウログレナが4月中旬から出現しはじめ、5月が増殖の最盛期となった。過去2年間の異常発生状況からみても、4月から5月の間に増殖をはじめるといえるので、4月および5月におけるプランクトンの主要出現種について若干の検討を加え、ウログレナの発生との関連性をみた。本年の4月・5月の主要出現種はウログレナのほかに Fragilaria crotonensis, Dinobryon cylindricum が多く、次いで Melosira solida, Synedra spp., Stephanodiscus carconensis, Asterionella formosa, Closterium

aciculare var. subpronum, Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum

などが多かった。また中・他（1970～77）が行ったびわ湖定期観測結果より、1970年から1977年における4月および5月のプランクトン主要出現種と計数を付表4に引用した。ここ10年間の4月、5月には、年により優占種および数の多少に差はあるが、ケイ藻類の Melosira solida, Fragilaria crotonensis.

Asterionella formosa や緑藻類の Closterium aciculare var. subpronum, Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum などが優位を占めてきたようであった。

滋賀県植物誌によると、Melosira solida はびわ湖においてきわめて古くから生育してきた種類で、10月から翌年の5月にかけて出現することが多く、4月は11月、12月と並び繁殖が盛んであった。

Closterium aciculare var. subpronum は1958年の春頃から急に著しい増殖をはじめた種類で、4～7月の候が最盛期であったが、冬季においてさえ著しく増殖するようになった。Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum は1961年頃から急に著しい増殖をはじめた種類で、従来多量に出現したのは4月から11月にかけての間であったが、冬季に著しく多量に出現することもあった。Fragilaria crotonensis は執筆当時の1968年頃に、びわ湖南湖において、5月頃1 m³の湖水中に30～60万群体を数える程度に出現していた。Asterionella formosa は富栄養湖におびただしく出現する種類で、春季（3～5月）に出現し、特に5月において著しかった。

以上の記述を参考にすると、ここ10年間の4～5月の優占種はびわ湖の富栄養化に伴ない優位を占めるようになってきた種類が多く、古来から生育していた Melosira solida に微妙な影響を及ぼしているように思われた。ウログレナの出現と他のプランクトンの出現との関係は今回の調査だけではわからないが、4～5月のプランクトン主要出現種をみるかぎり、ウログレナの異常発生も基本的にはびわ湖の富栄養化が原因であると考えられた。ウログレナ異常発生の対策として、Closterium aciculare var. subpronum が多量に発生するなど、

生物相に変化のきざしがみえはじめた1958年，それ以前の水質によみがえらせる努力が必要と思われた。また当面のウログレナ異常発生の予測手段としては，ウログレナが増殖しはじめる4月までに，どのようなプランクトンがどの程度発生したかを注意深く観察することも一つの方法であろう。これはプランクトンを調査する人の経験に負うところが大きいので，さらに科学的に，水温や湖中の栄養素，微量元素などの状況とウログレナの出現との関連性を明らかにしなければならない。

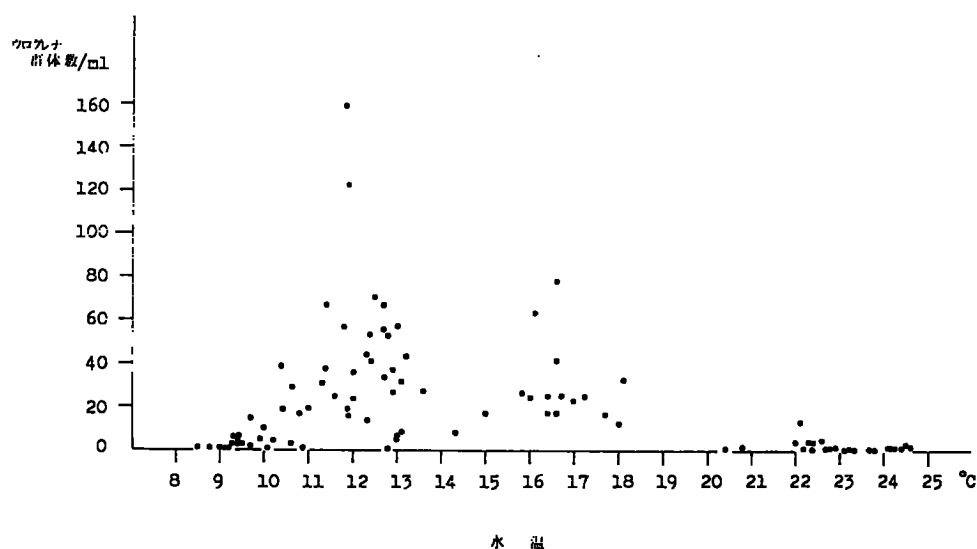


図2 ウログレナ出現数と水温の関係

次にウログレナの出現と水温の関係を検討した。図2に示したように今回の調査でウログレナは水温8.5°C(5月16日, St. III, 30 m層)~24.6°C(7月17日, St. I, 0 m層)の範囲で出現したが，出現数が10 群体/ml以下を除くと，だいたい10~18°Cの範囲で出現した。今回の調査でウログレナ数が100 群体/mlを越えたのは，水温が11.8~11.9°Cの時であった。石田・中原(1977)によると，ウログレナの生理特性として，湖水をベースとした土壌抽出液の培養では，ウログレナの最適増殖温度は15~20°Cで，増殖可能水温は5~22°C，25°C以上では全く増殖しないとしている。今回の調査では，室内実験の最適増殖温度である15~20°Cより低い水温でウログレナが大量に増殖

していた。室内実験におけるウログレナの最適増殖温度と、びわ湖内での多数出現水温とに差があることは、ウログレナの増殖に対して水温は重要であるが、ほかにウログレナの増殖に関与する要因があることを示唆しているのかもしれない。

次にウログレナの発生と水質との関連を検討した。ウログレナが出現しはじめた4月20日調査時は、0 m層と底層(81.0 m)の水温差が1.7°Cしかなく、上下層が混合しているようであった。この時栄養塩類その他の項目においても各層で大きな濃度差はなかった。付表4~6に示したように無機態N, Pは、4月20日調査時、全層で平年値を大幅に上回っていた。

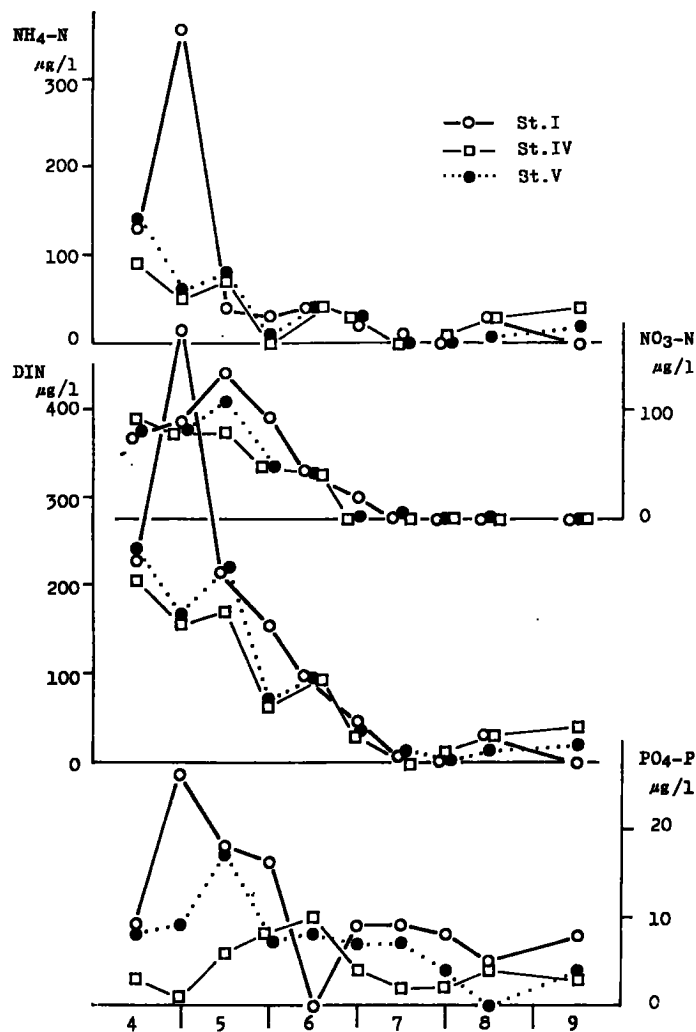


図3 St. I, St. IV, St. Vの0 m層における無機態N, 無機態Pの経月変化

4月以降8月にかけて、平年では植物プランクトンの増加に伴い、生産層において栄養塩類が徐々に減少していたが（付図4～6）、本年の調査では5月調査時にむしろ濃度が高くなる傾向がみられた。付図4～6は各層ごとに全地点の平均値を求めて作成したものであったが、図3では陸の影響を受けやすいSt. IおよびVと、比較的陸の影響を受けないSt. IVのそれぞれについて、0 m層における無機態N、Pの調査持ごとの濃度変化を示した。これによるとNH₄-NはSt. Iで5月1日に急増し、またNO₃-NはSt. IとSt. Vの双方で5月16日に増加した。NH₄-NとNO₃-Nを含めたDINでは、5月1日にSt. Iで激増、5月16日にSt. Vで増加の傾向を示した。PO₄-PはSt. Iでは5月1日に急増し、St. Vでは5月1日にやや増加したのち、5月16日に急増した。このような傾向はPO₄-PやNH₄-Nほど顕著でないにしても、SiO₂-SiやK、Mg、Caなどにもみられた。また参考データにとどめるとしたDONでこの傾向が顕著であった。このように沿岸の栄養塩類が増加する原因として、この時期の陸からの流入負荷が大きいのではないかと推定された。もし陸からの流入負荷が大きいと仮定するなら、ウログレナが大量に増殖する時期と一致することにより、ウログレナの異常発生を促す誘因物質が流入する可能性、基本的栄養条件がさらに満たされる可能性が強いと考えられた。

5月調査時の沿岸における栄養塩類の増加に対して、プランクトンによる消費と考えられる栄養塩類等濃度の低下は、まず5月1日調査時の湖心部生産層においてSiO₂-Siにみられ、次に地点により濃度低下の時期にズレがあったが、湖心部生産層においてK、Mg、Caの濃度低下がみられた。SiO₂-Si、K、Mg、Caはいずれも0になるということにはなかった。この時期の優占プランクトンはケイ藻類と原生動物（ウログレナを含む）であった。6月に入り、緑藻類のClosterium aciculare var. subpronumが優占するようになったが、SiO₂-SiやK、Mg、Caは5月調査時より増加した。

Closterium aciculare var. subpronumが大発生した6月18日には、PO₄-Pが調査時の中で最も減少し、0 m層と彦根市側沿岸ではやや高い値が検出されたが、2 m層から20 m層まで、すなわち生産層でほとんど不検出に近

い値となった。その後、緑藻類の Staurastrum dorsidentiferum var. ornatum が優占するようになり、7月17日から8月16日にかけての生産層で DIN が本調査時期の中で最も低い値を示した。プランクトンの消長と湖水中の栄養塩類等の濃度低下をみると、4～5月に発生するプランクトンの中に、他時期に優占して発生するプランクトンより、Si や K, Mg, Ca などの栄養要求が高い種類があるのではないかとということ、びわ湖においてはプランクトンの増殖に必要な栄養素のうち、無機態窒素に対する無機態リンの割合が小さいようであり、P を減少させる努力がプランクトンの異常発生を抑制するのに効果的であるということが考えられた。

要 約

ウログレナおよびその他のプランクトンの発生状況と水質環境を把握するため、びわ湖北湖の5定点において、4月から9月にかけて計10回の定期観測を実施した。その結果を要約すると次のとおりである。

- 1) ウログレナは4月20日の調査時から7月17日調査時に、その出現が認められた。多数出現したのは、5月1日調査時と5月16日調査時であった。
- 2) 本年および過去10年間の4～5月のプランクトン優占種は、びわ湖の富栄養化に伴ない優位を占めるようになってきた種類が多く、ウログレナの異常発生も基本的にはびわ湖の富栄養化が原因であると考えられた。ウログレナ異常発生の防止対策として、Closterium aciculare var. subpronum が多量に発生するなど、生物相に変化のきざしがみえはじめた1958年、それ以前の水質によみがえらせる努力が必要と思われた。
- 3) 今回の調査では、室内実験の最適増殖温度である15～20℃より低い水温でウログレナが大量に増殖していた。室内実験におけるウログレナの最適増殖温度と、びわ湖内での多数出現水温とに差があることは、ウログレナの増殖に対して水温は重要であるが、ほかにウログレナの増殖に関与する要因があることを示唆しているのかもしれない。
- 4) 無機栄養塩類は5月1日調査時と5月16日調査時に増加する傾向が、沿岸

に近い St. I と St. V で認められた。特に $\text{PO}_4 - \text{P}$ と $\text{NH}_4 - \text{N}$ でその傾向が顕著であった。このように沿岸の栄養塩類が増加する原因として、この時期に陸からの流入負荷が大きいのではないかと推定された。この時期はウログレナが増殖する時期と一致することより、ウログレナの異常発生を促す誘因物質が流入する可能性、基本的条件が満たされる可能性が強いと考えられた。

- 5) Si, K, Mg, Ca は 5 月調査時の湖心部生産層で減少の傾向があり、 $\text{PO}_4 - \text{P}$ は 6 月 18 日調査時の生産層で不検出に近い値となった。また DIN は 7 月 17 日から 8 月 16 日にかけての生産層で本調査時期の中で最も低い値を示した。このことより、4~5 月に発生するプランクトンの中に Si や K, Mg, Ca の栄養要求が高い種類があるのではないかと、びわ湖においてはプランクトンの増殖に必要な栄養素のうち、無機態窒素に対する無機態リンの割合が小さいようであるということが考えられた。

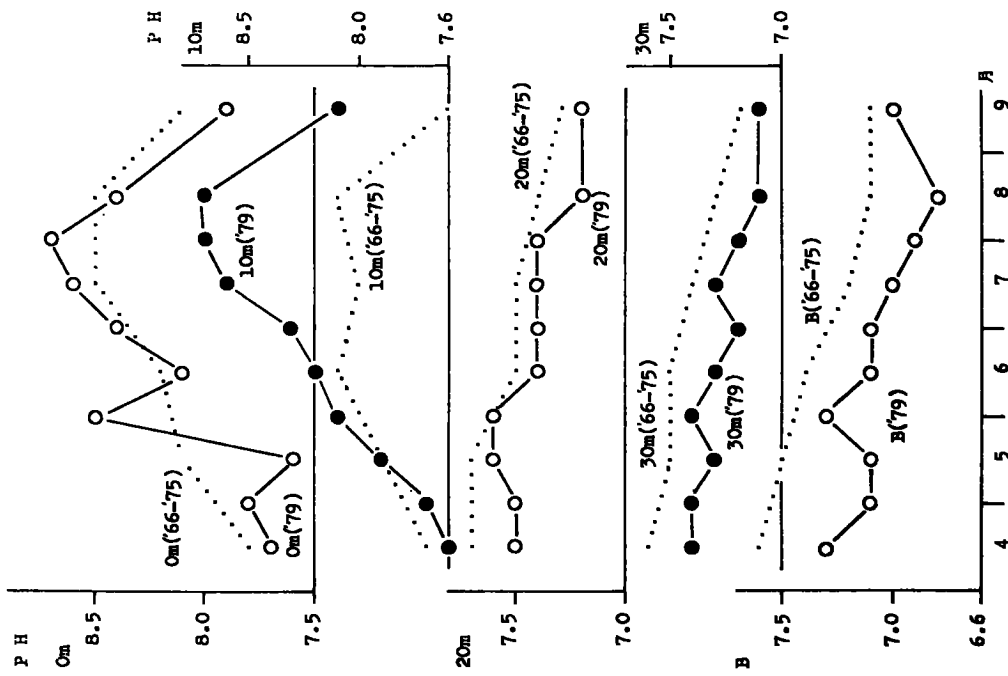
次年度の計画

- 1) 次年度も本年と同様の定期観測は続行し、ウログレナの発生と他のプランクトンとの関係、水質との関連について検討する。本年度の調査結果のうち、分析精度が劣ると思われた PON, DOP, POP および Fe については、分析方法を検討したうえで、結果を出したい。石田・中原 (1977) により、ウログレナの増殖に可溶性 Fe が必須であることがわかっており、湖中での本元素の動態を知る必要がある。
- 2) ウログレナの異常発生が、天然に生息している魚類に対して影響を及ぼしていないか、また漁業に対してはどうか、その一つの試みとして、魼付近のウログレナ発生状況と魼で漁獲された魚類の種類、量との関係を調べる予定である。

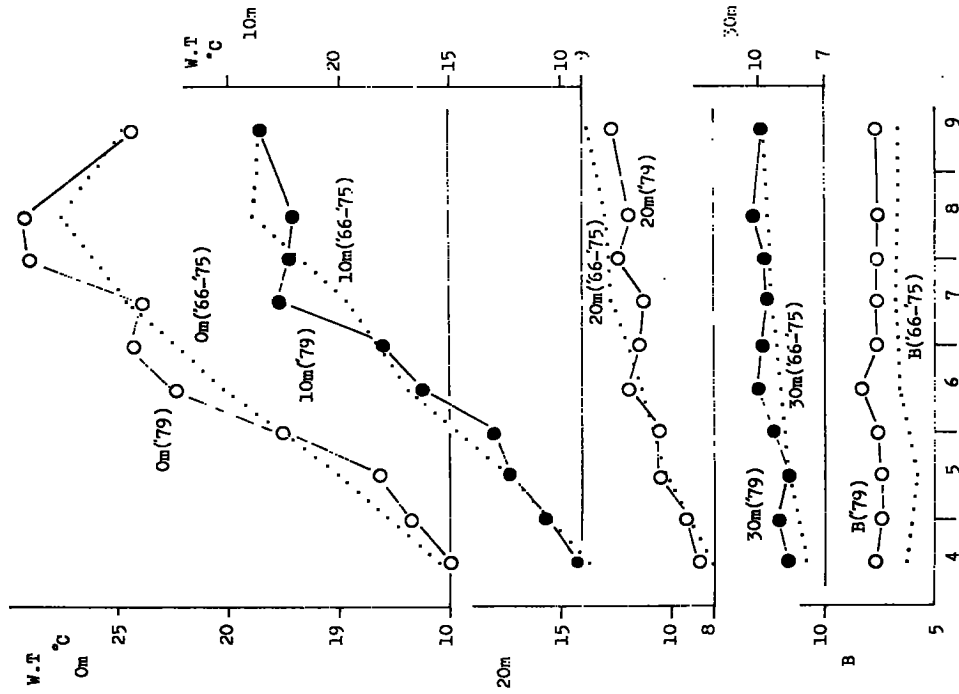
引用文献

- 神谷久男, 橋本周久, 中 賢治, 1978 : 黄緑鞭毛虫 Uroglena volvox の魚毒性について, 水産学会報, 45 (1), 129.

- 石田祐三郎, 中原紘之, 1977 : Uroglena americana の増殖機構, びわ湖におけるプランクトンの異常発生機構に関する調査研究報告, 7-8.
- 北村四郎編, 1968 : 滋賀県植物誌, 248-330, 保育社, 大阪.
- 中 賢治他, 1970 ~ 1977 : びわ湖定期観測, 滋賀県水試報, 第24 ~ 31号

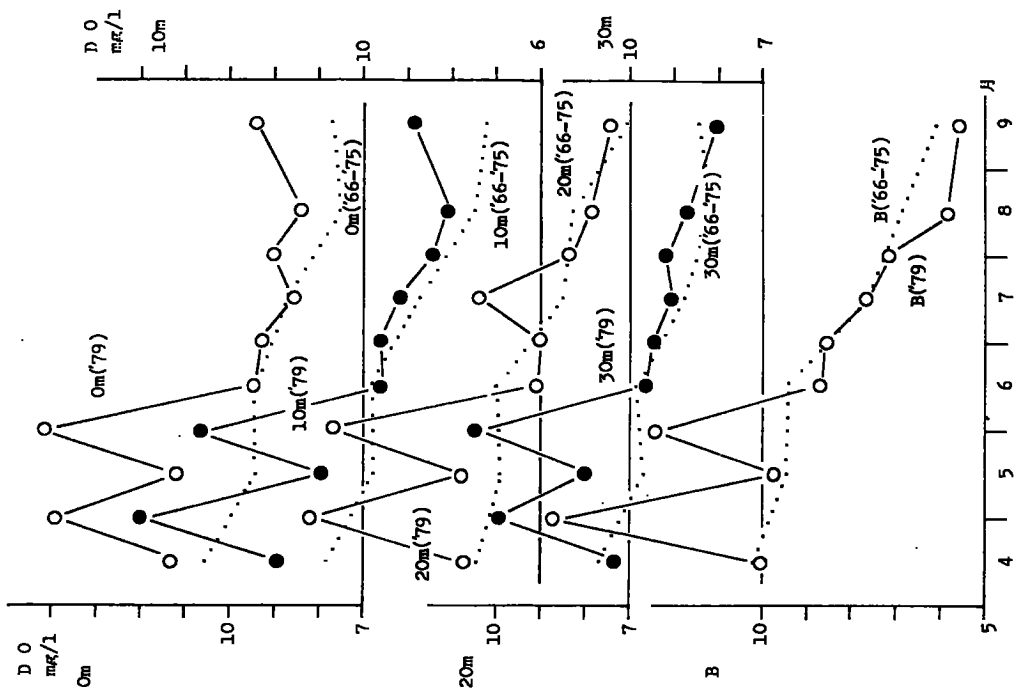


付図2 PHの経月変化

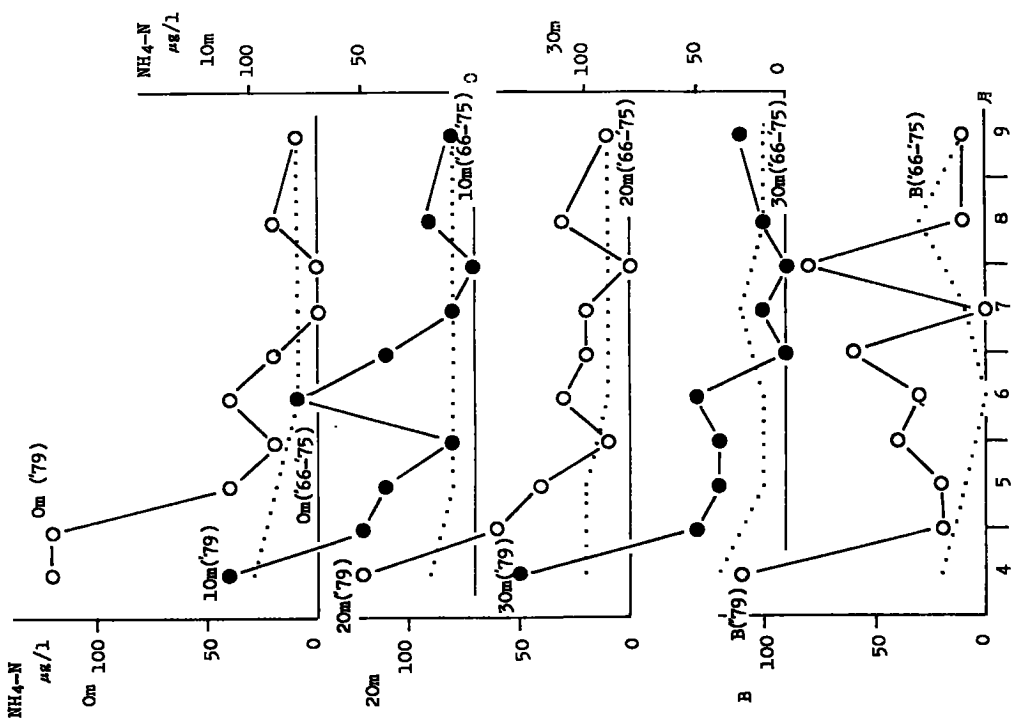


付図1 水温の経月変化

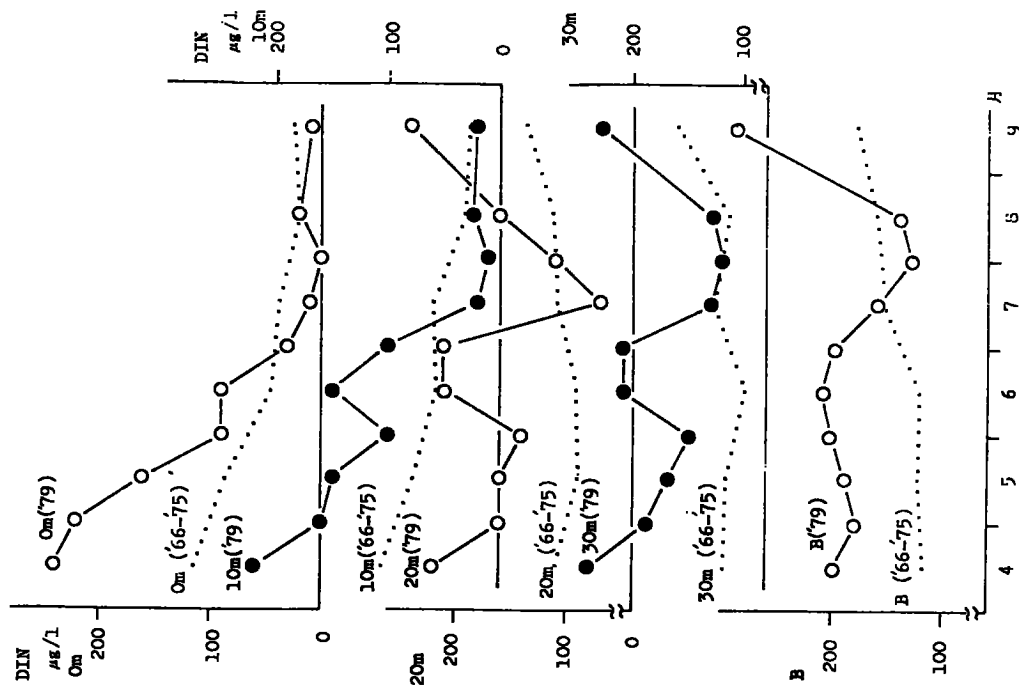
0m深はst. I~Vの平均値, 10m深はst. II~IVの平均値, 20m深および30m深はst. IIIとst. IVの平均値, 底層はst. IVの非定値



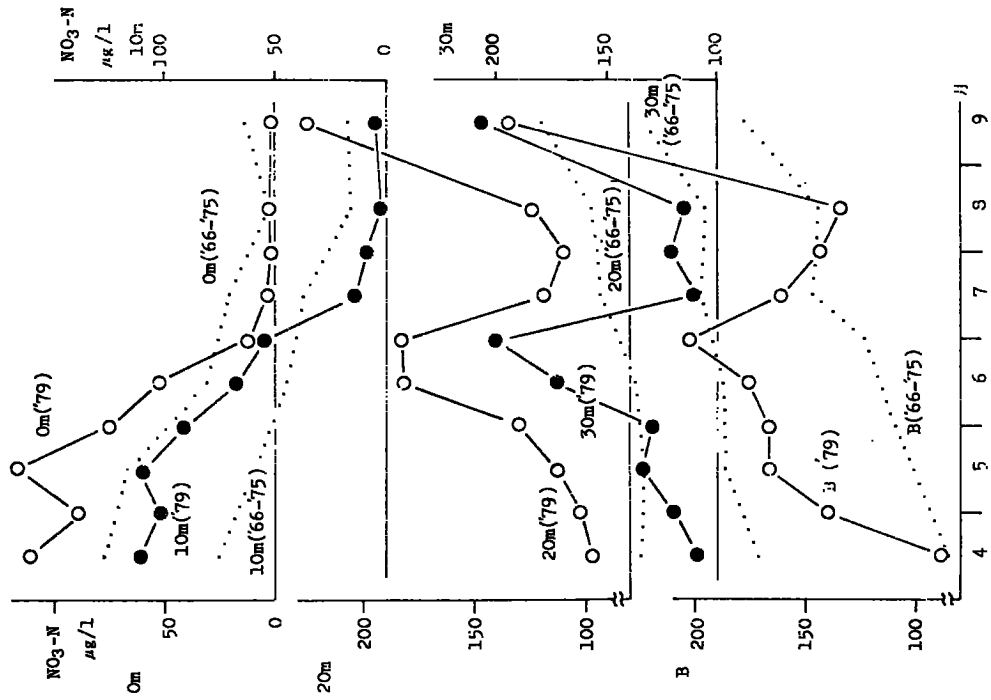
付図3 溶存酸素量の経月変化



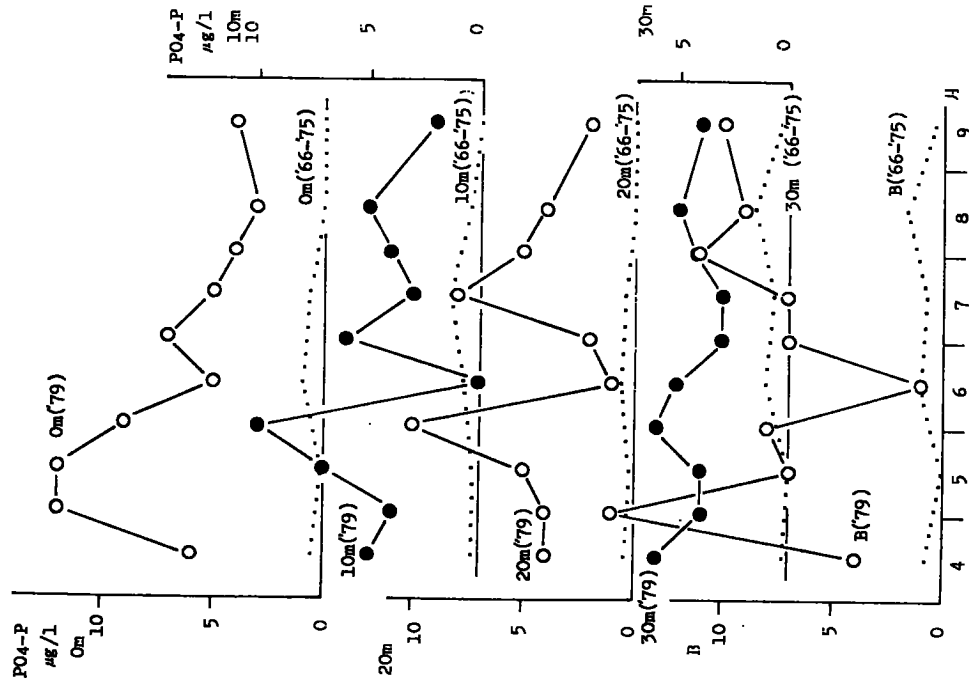
付図4 NH₄-Nの経月変化



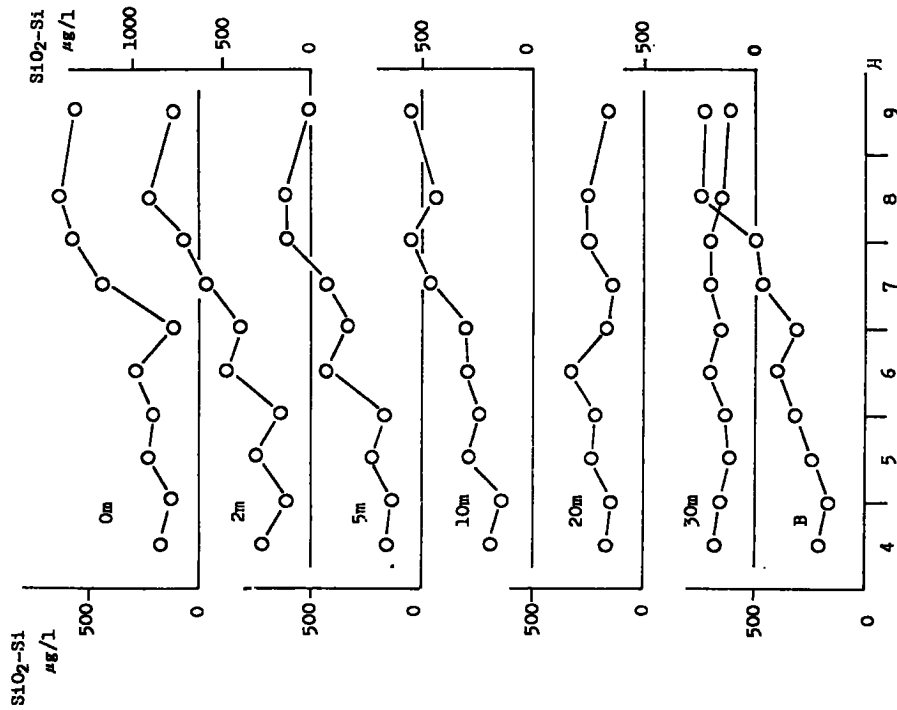
付図6 DINの経月変化



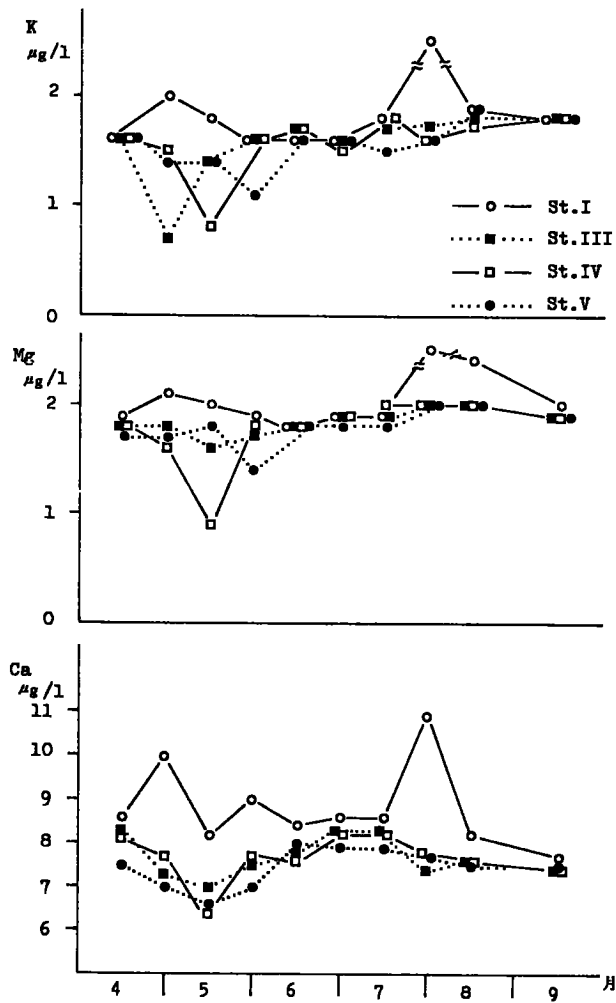
付図5 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経月変化



付図7 PO_4-P の経月変化



付図8 SiO_2-Si の経月変化



付図9 St. I, III, IV, V, の0m層におけるK, Mg, Caの経月変化