

目的

昭和52年の春以来、毎年、4月下旬から6月上旬にかけて、びわ湖で発生するウログレナが異常に増殖する条件・原因を追求する。

方法

(1) 調査地点

びわ湖主湖盆（北湖）の彦根港口～舟木崎を結ぶ横断線上に定点を設け、定期観測を実施した。（図1）

- st I 彦根港口から約400m
(水深7.5～8.1m)
- st I' IとIIの間中点
(水深9.7～11.2m)
- st II 彦根港口から約3,200m
(水深20.7～25.1m)
- st II' IIとIIIの間中点
(水深29.6～34.0m)
- st III 彦根港口から約6,200m
(水深47.0～48.8m)
- st IV 舟木崎から約4,400m
(水深79.0～81.0m)
- st V 舟木崎から約150m
(水深6.0～7.8m)

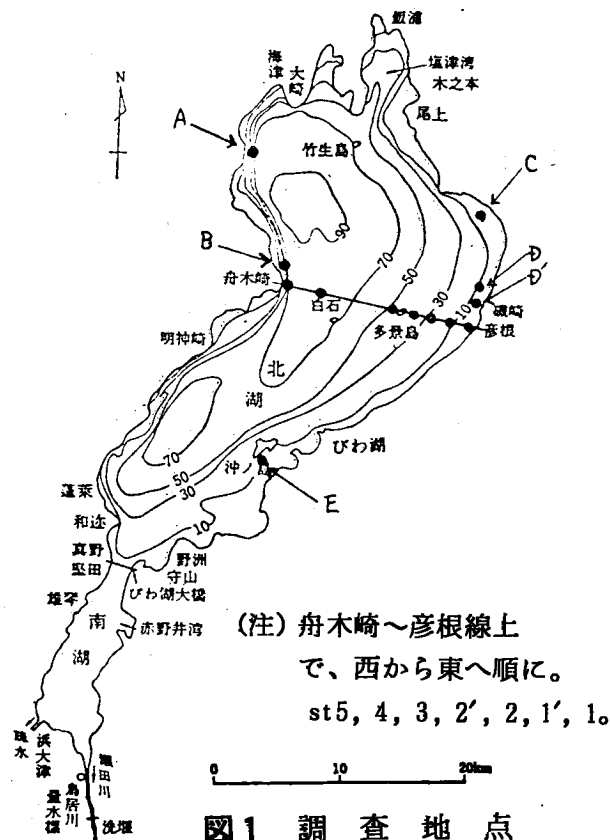


図1 調査地点

(2) 調査回数および調査月日

昭和57年4月12日から6月16日まで、計15回実施。（Ⅲ～Ⅴ地点は月1回実施。※印）

第1回	4月12日	第9回	5月15日
※第2回	4月15日	※第10回	5月18日
第3回	4月20日	第11回	5月24日
第4回	4月23日	第12回	5月28日
第5回	4月27日	第13回	5月31日
第6回	4月30日	第14回	6月7日
第7回	5月6日	※第15回	6月16日
第8回	5月10日		

この定期観測以外に、図1中のA～E点において5月26日、27日および6月1日に調査を実施。

(3) 調査項目および方法

- 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）
透明度（30cmセッキ板）
水深（索測深）
水色（JIS色票）
- 3) 水質：PH（ガラス電極法）
溶存酸素量（隔膜電極法）
NH₄-N（インドフェノール法）
NO₂-N（スルファニルアミド・ナフチルエチルジアミン法）
NO₃-N（ミュージリン・リレー法）
Org-N（試水1ℓに硫酸2ml添加濃縮後、ケルダール法によるN値からNH₄-Nを差引いた値）
T-N（DIN+Org-N）
PO₄-P（モリブデン酸青法）
T-P（過塩素酸・硫酸分解法）
SiO₂（モリブデン酸青法）
COD（JIS法）
全鉄（試水1ℓに王水20mlを添加、濃縮蒸発乾固後、0.5NHClで溶解したものをDDTCキレート抽出、原子吸光法にて測定）
溶存鉄（HAフィルターろ過水1ℓを全鉄と同じ方法にて測定）
全マンガン（全鉄と同じ）
溶存態マンガン（溶存鉄と同じ）
- 4) プランクトン（採水プランクトンでウログレナ群体数・優占種）

結果と考察

観測分析データを付表に示した。

(1) ウログレナの消長

図1のst I～II'の地点で4月12日から調査を開始して以来、ウログレナの群体が最初に確認できたのは、5月10日の調査であった。この時の群体数および水温は、50ml中で1～12群体・15～17℃であった。この時と5月15日の調査を含めて、ウログレナの形態上の特

徴として、まばらに群を形成した大型で壊れやすいものであった(図2左)。5月18日調査では、この大型で壊れやすい形態と小型で密に群を形成した型(図2右)が混在した状態で、st II~II'において赤潮兆候を示すパッチを形成していた。5月24日では、小型でコンパクトなウログレナ群体が優占しており、群体数もst IIの2m層で176群体/mlを最高に、平均30~50群体の密度分布であった。5月28日(この時点の図1のびわ湖西北岸のA~B点で大規模な赤潮発生があった)調査時になると、1群体/ml以下のレベルに落ち込んでおり、消滅期に入っていた。

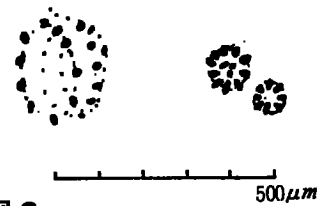


図2 ウログレナ群体の形態

他のプランクトンの今年の特徴としてあげられることとして、例年の春先は植物プランクトン量が少く硅藻類が若干現存する時期であるが、今年の4月30日調査時に、Peridinium spと思われる渦鞭毛藻類が量的にも多く出現し、ROTATORIA(ワムシ類)も数多く分布していたことである。また、5月28日以降のウログレナ消滅期で、透明度も良くなり清澄な生産層において、Vorticella spが多数浮遊していたことも特徴的な現象として挙げられ、これと同時に、例年みる“水変り”が起り、Closterium sp.

Staurastrum sp

が優占種となっていた。この春先からの一連の経過を図3に観測野帳から抜すいし、透明度の変動とともに示した。
(2) 水温, PHおよび溶存無機態窒素等の変動

図4に各地点の2m層の水温の平均値の変動を昨年と比較して示した。

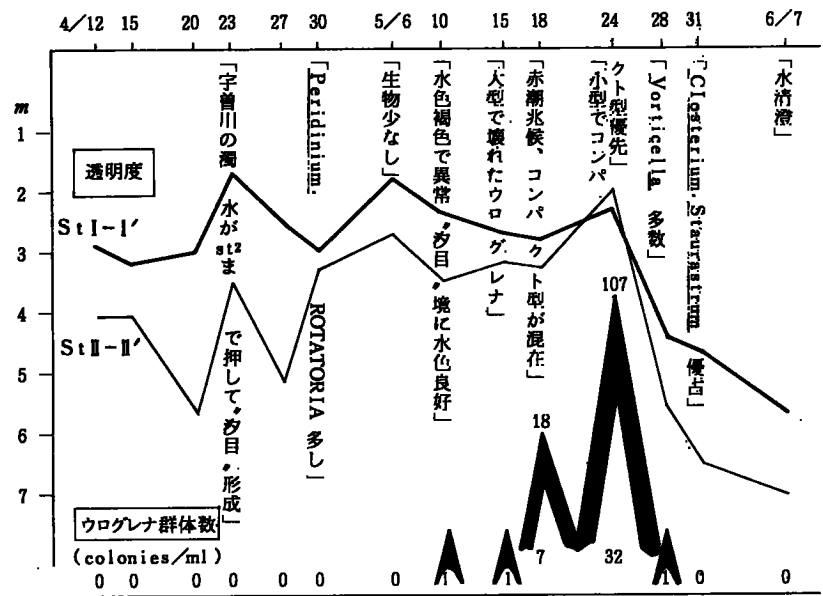


図3 透明度とウログレナ群体数の変動と生物相の遷移

4月中は昨年とほぼ同じ線上をたどり、5月に入ってから晴天が続き、昨年と比して約2℃高く推移し、15℃ラインを10日程早く通過した。今年は過去4ヶ年中一番高い平均水温であった。昨年度に報告したウログレナ増殖段階(①初期増殖期②急激な増殖期③赤潮

形成可能期)に移行するため
に必要と考えられる水温上昇
率が0.3~0.4℃/日以上と
いう条件を満たした調査日間
は、「4月23日→27日」,「5
月6日→(10日)→15日」お

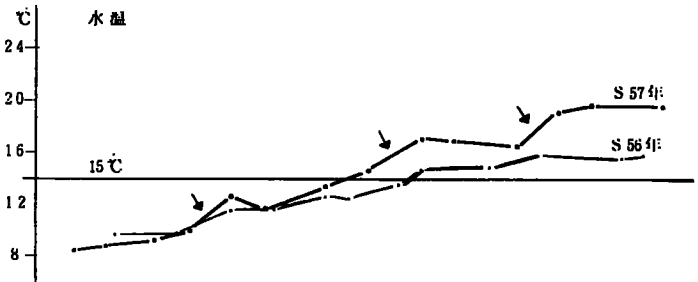


図4 平均水温

よび「5月24日→28日」の3機会であるが(図4矢印),ウログレナ増殖に実際寄与した
機会は、「5月6日→15日」であり、その間は水温が15℃ラインを通過した時でもあった。
「4月23日→27日」機会は、昨年同期においてはウログレナの1群体/mlレベルでの初期
増殖をみたが、今年の場合、ウログレナは増殖せずに、渦鞭毛藻の Peridinium sp が
先行出現していた。

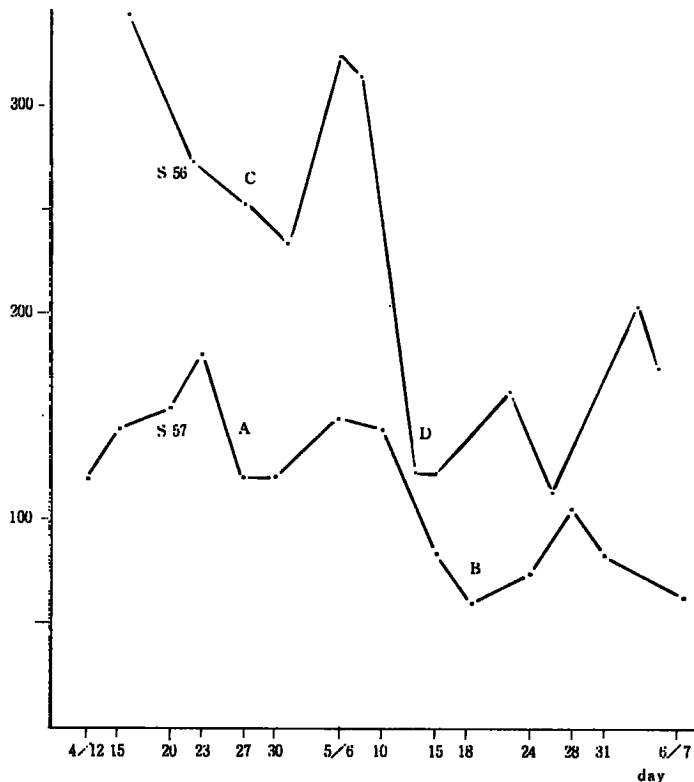


図5 DINの変動

溶存無機態窒素量という栄養条
件からみると(図5),4月から
5月上旬にかけて、昨年よりも約
50%程低い水準で推移した。この
ことが今年のウログレナの増殖(水
温が10~12℃の時期における初
期増殖は Peridinium sp によ
る間接的な影響)ひいては急激な
増殖、赤潮形成可能群体数レベル
に影響を及ぼしていたことが考え
られる。又、同時に、5月10日~
15日にみられたウログレナの形態
上の特徴の原因としても考えられ
る。図5中のA点におけるDIN
の落ち込みは、主として

Peridinium sp 等による消費と考えられ、B点はウログレナの初期増殖による消費結
果である。一方、同図の昨年のDIN変動のC点、D点とともにウログレナの初期増殖と
赤潮形成によるものであった。表1に過去4ケ年のウログレナ初見え月日とその時の水温、
4月中のDINレベルの年順位との関係を示した。T-NとOrg-Nは、4月30日と5月
24日にピークがあり、前者が Peridinium sp 等による増殖、後者がウログレナの初期
増殖の結果である。T-Pは、4月20日にピークを示し、 Peridinium sp の増殖とと

もに30日では落ち込みを示し、これとは対照的にウログレナ群体密度が最高に達した5月24日においては、逆にピークを形成していた。

PO₄-Pは、調査中、ND～0.003 mg/l の中で変動した。(図6, 7)

PHの変動は、図8で示すように7.7～8.2の巾でなだらかな線をたどり、昨年と比してウログレナの増殖が盛んでなかったことを意味している。

表1 ウログレナ増殖開始日とDINレベルの関係

調査年度	ウログレナ初見え日	その時の水温	初見え順位	(4月中) DINレベル順位
54	4/20	10℃以下	1	2
55	5/19	13.3℃～16.6℃	4	3
56	4/27	10.1～12.1	2	1
57	5/10	15～17	3	4



図8 PHの変動

(3) 鉄とマンガンの変動

図9, 10に地点別に2m層の鉄およびマンガン成分の全量と溶存性別の変動を示した。全鉄中に占める溶存鉄の割合をみると、4月～5月10日の調査期間中、st Iから湖心に位置する地点程、溶存鉄の割合と絶対量が増加する傾向を示している。このことは、湖水循環期の末期の春先に流入負荷した粒子状鉄が溶存性を獲得しながら沖合へと分布した可能性がある。ウログレナが初見えした5月10日を境に全鉄、特に溶存鉄が減少しており、5月28日まで10 μg/l以下のレベルまで推移したが、一方では、同日のst II-II'では粒子状鉄の高いピークがあり、このことは、5月10日以降溶存鉄がウログレナによって利用され、5月28日時点で分解した結果生じたものと推察する。

マンガンは、鉄よりも1オーダー低い濃度で検出されており、全一溶存態とも沖合に位置する地点程減少する傾向がある。(図10)

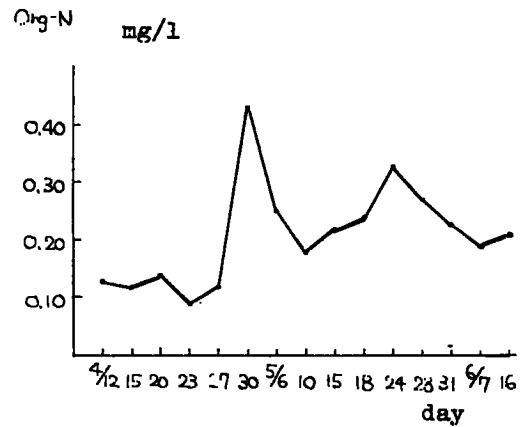
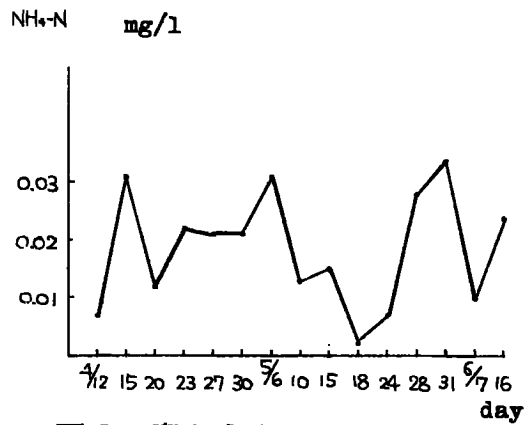
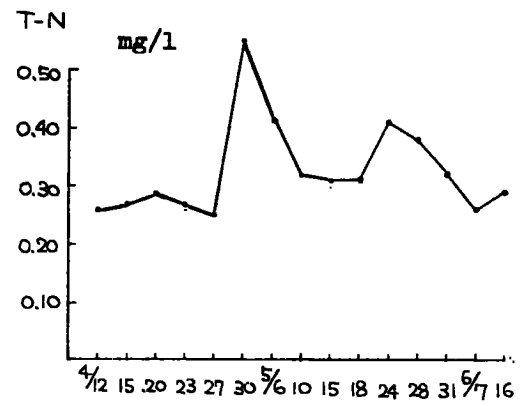


図6 窒素成分の変動

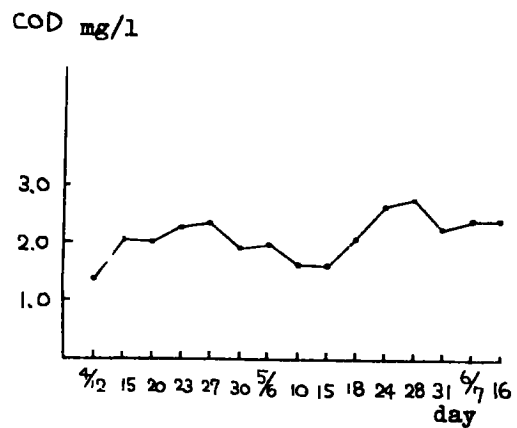
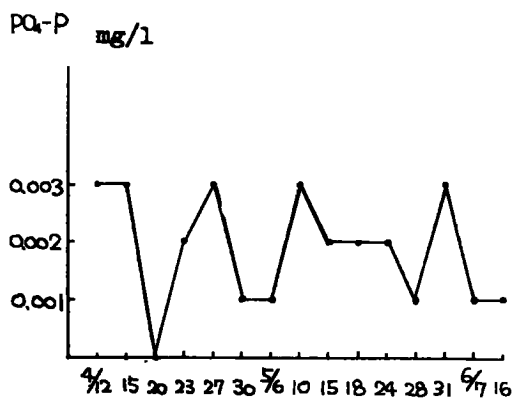
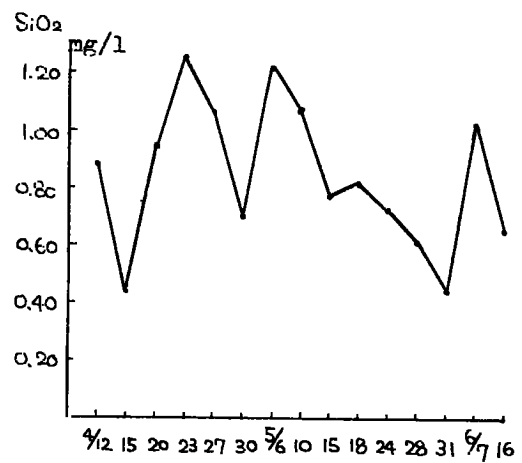
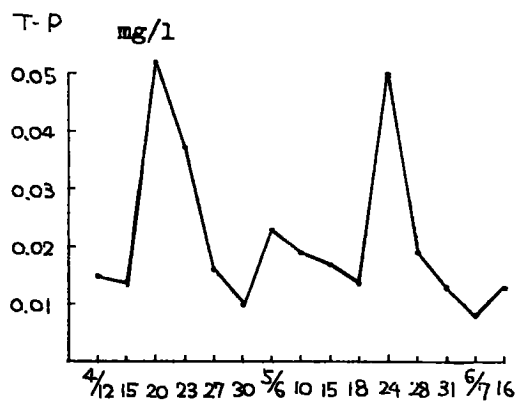


図7 リン、ケイ酸、CODの変動

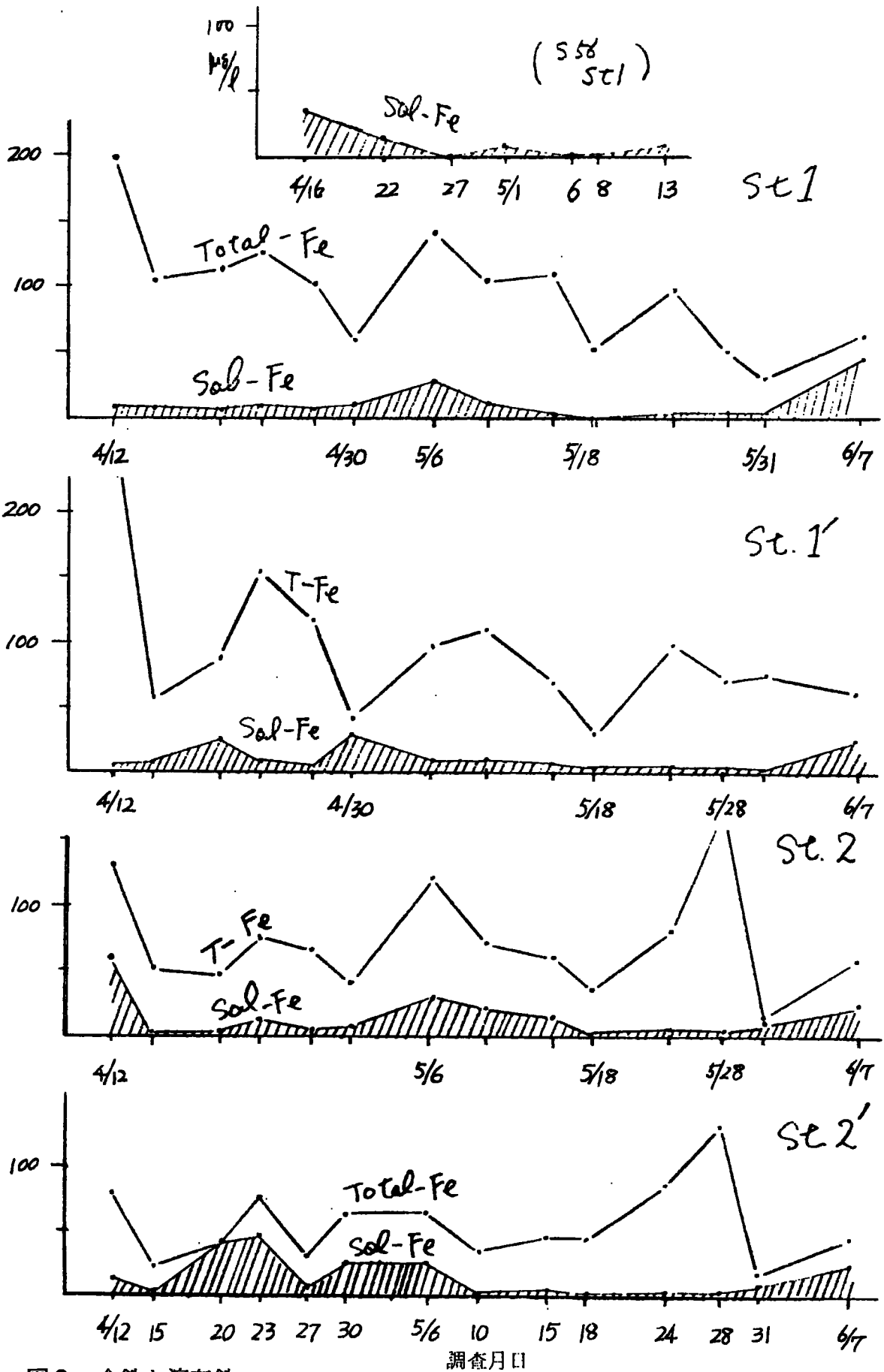


図9 全鉄と溶存鉄

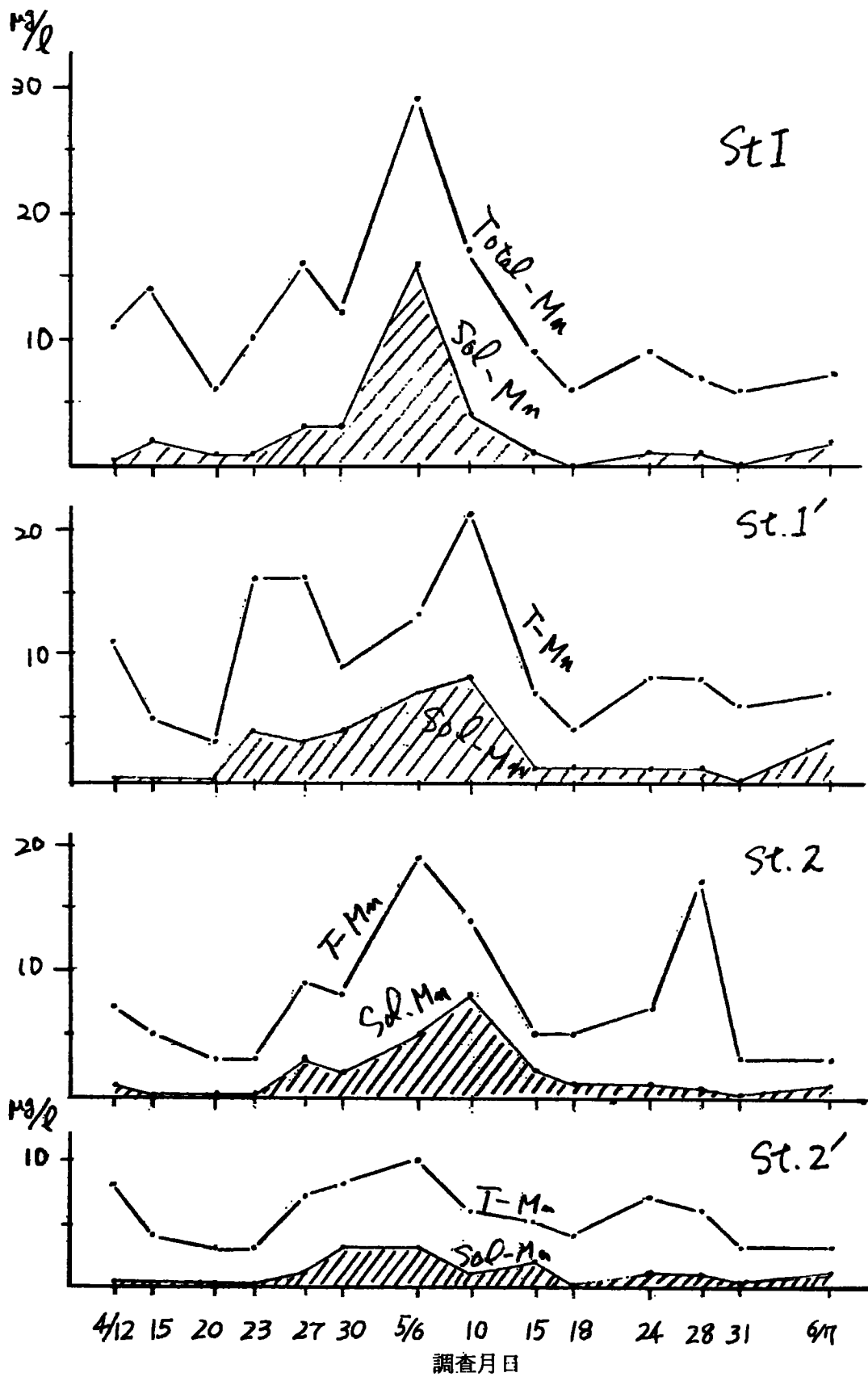


図10 全マンガンと溶存マンガン

ウログレナ室内培養条件として、水溶性Feが $40\mu\text{g}/\text{l}$ 以上が増殖のために必要といわれているが、フィールドにおいてのウログレナ増殖促進物質としての鉄成分を考えるにあたっては、一つには、すでに湖内へ流入負荷して底泥に蓄積されたものによる再帰循環と毎年定期的に湖内へ流入負荷するものの二通りの由来が挙げられる。今後の調査方向の考察として、ベースになる循環期の鉄濃度と成層形成初期の陸水由来のものとの溶存化とに分けて、年変動を見極める必要が感じられた。

(4) 赤潮発生水域と未発生水域の比較

5月26日から27日にかけて北湖北部の西岸域に大規模なウログレナ赤潮が発生した。

(図11)

一方同東岸域はウログレナの群体は認められずすでに消滅期に入っており、“水変り”を呈していた。この時点で、両岸域で調査した結果が表2である。地点Aが赤潮水域、Bが赤潮兆候水域、C～Eが東岸のウログレナ消滅水域である。赤潮発生水域では、 $\text{PH} : 8.7 \sim 9.2$, $\text{NO}_3 - \text{N} : \text{ND} \sim 7\mu\text{g}/\text{l}$, $\text{DIN} : 5 \sim 9\mu\text{g}/\text{l}$ であるのに対して、東岸C～E点水域では、 $\text{PH} : 7.8 \sim 8.3$, $\text{NO}_3 - \text{N} : 83 \sim 116\mu\text{g}/\text{l}$, $\text{DIN} : 96 \sim 137\mu\text{g}/\text{l}$ と対照的な差を示した。Org-N, T-Nでは顕著な差は見られず、このことは、ウログレナの消滅後、極めて速く次の優占植物プランクトン

(Closterium) に転換(生物相および栄養塩現存量両面からみた転化)することがうかがえ、“水変り”現象の一つとしてとらえることができた。

この両岸域におけるDIN等の栄養塩の流入負荷、循環期における濃度レベルに差があったのか不明であるが、昨年報告したように、今年も、少なくとも北湖においてはDINがウログレナ増殖の制限因子になり得ることが再確認できた。

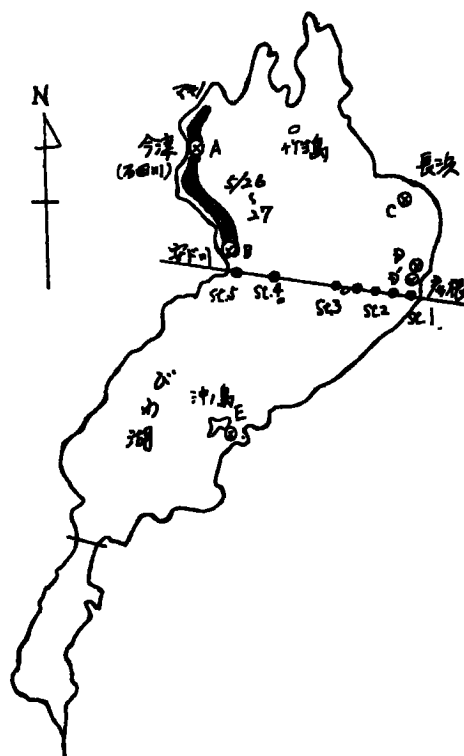


図11 赤潮発生(5月26～27日)水域と調査地点

表2 赤潮発生水域(A・B)と発生していない水域(C～E)の比較

地 点	A	B	C	D	D'	E
調 査 月 日	5月26日	同左	5月27日	同左	同左	6月1日
水 深	4.4 m	9.7	5.1	6.7	9.8	8.6
透 明 度	1.8	4.0	3.8	5.0	4.3	6.7
表 層 水 温	22.4℃	19.2	18.7	19.0	18.0	19.3
溶 存 酸 素	101%	108	114	116	114	106
P ^H	8.7～9.2	8.0～8.5	8.1～8.2	7.9～8.2	7.8～8.3	7.7～7.9
NH ₄ -N	$\mu\text{g}/\text{l}$ ND～5	ND～9	15～22	15～20	ND～12	32～37
NO ₂ -N	$\mu\text{g}/\text{l}$ 1～2	1～2	3～5	1～3	1	3
NO ₃ -N	$\mu\text{g}/\text{l}$ ND～4	3～7	100～110	89～94	83～116	56～91
DIN	$\mu\text{g}/\text{l}$ 5	9	118～137	107～115	96～117	96～127
Org-N	$\mu\text{g}/\text{l}$ 231～564	239～267	245～576	204～308	267～334	225～246
T-N	$\mu\text{g}/\text{l}$ 240～570	240～270	370～690	310～420	360～450	320～370
PO ₄ ³⁻	$\mu\text{g}/\text{l}$ ND～16	ND～21	ND～3	ND～8	1)	3～8
T-P	$\mu\text{g}/\text{l}$ 14～45	11～15	17～28	13～18	15～22	16～22
COD	mg/l 2.50～5.46	2.22～2.59	2.44～5.83	2.07	2.82	1.87～2.19
ウログレナ群体数	2000群体 以上	100群体 以下	認めず	認めず	認めず	認めず
赤 潮 状 態	赤潮形成	認めず	〃	〃	〃	〃

要 約

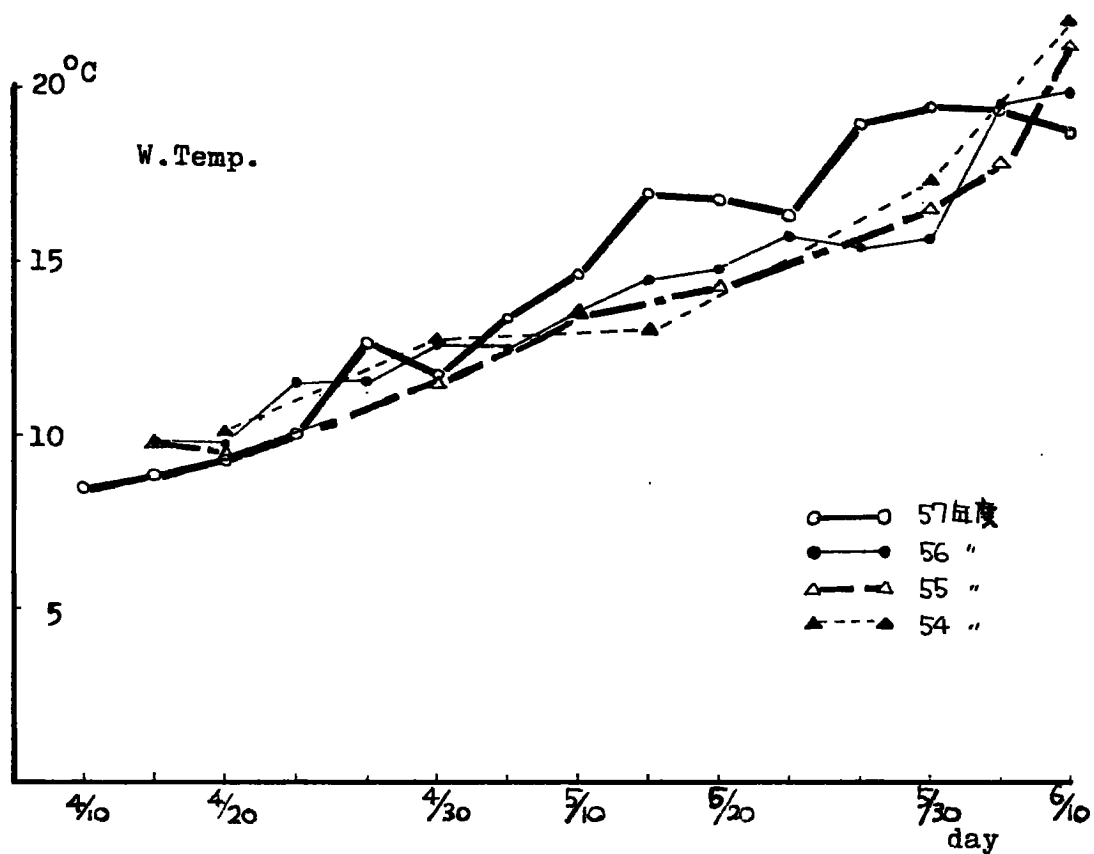
- (1) 4月12日から調査を開始して以来、ウログレナの群体が最初に確認できたのは、5月10日の調査であった。この時の群体数および水温は、50 ml中で1～12群体、15～17℃であった。ウログレナ形態上の特徴として、まばらに群を形成した大型で壊れやすいものであった。
- (2) 5月24日調査で、最高群体数 176/ml、平均30～50群体/mlの赤潮兆候状態があり、この時の水温は16.1～17.7℃で、形態としてコンパクトなものであった。後、5月28日になって急速に消滅し、同時に例年みる“水変り”現象があった。(水温18.6～20.1℃)
- (3) ウログレナに先行して4月下旬に、Peridinium sp が増殖した。
- (4) 水温は、4月中は昨年とほぼ同じ変化を示し、平年並で推移したが、5月に入ってから昨年と比して約2℃高く、15℃ラインを10日程早く通過し、過去4ケ年で最高水準であった。
- (5) ウログレナ増殖に必要な水温上昇率0.3～0.4℃/日が調査期間中3機会あったが、ウログレナが実際増殖した機会は、5月6日から15日にかけての水温上昇であり、他は、生物相およびDINレベルに帰因して、ウログレナ増殖が行なわれなかったものと推察できた。
- (6) DINレベルは、過去4ケ年の調査中、最低水準で推移し、Peridinium sp とウログレナ増殖によって例年にみるDIN減少を観測し、DINが時期的にウログレナ増殖制限因子になり得ることが再確認できた。
- (7) 溶存鉄がウログレナ増殖に関与していることが再確認できた。
- (8) 赤潮発生水域と消滅水域の水質比較を行い、PH, NO₃-NおよびDINが著しく異っていたが、Org-N, T-Nでは顕著な差は見られず、ウログレナ消滅後には、急速な生物相の遷移があることがうかがえた。

4ケ年のまとめ

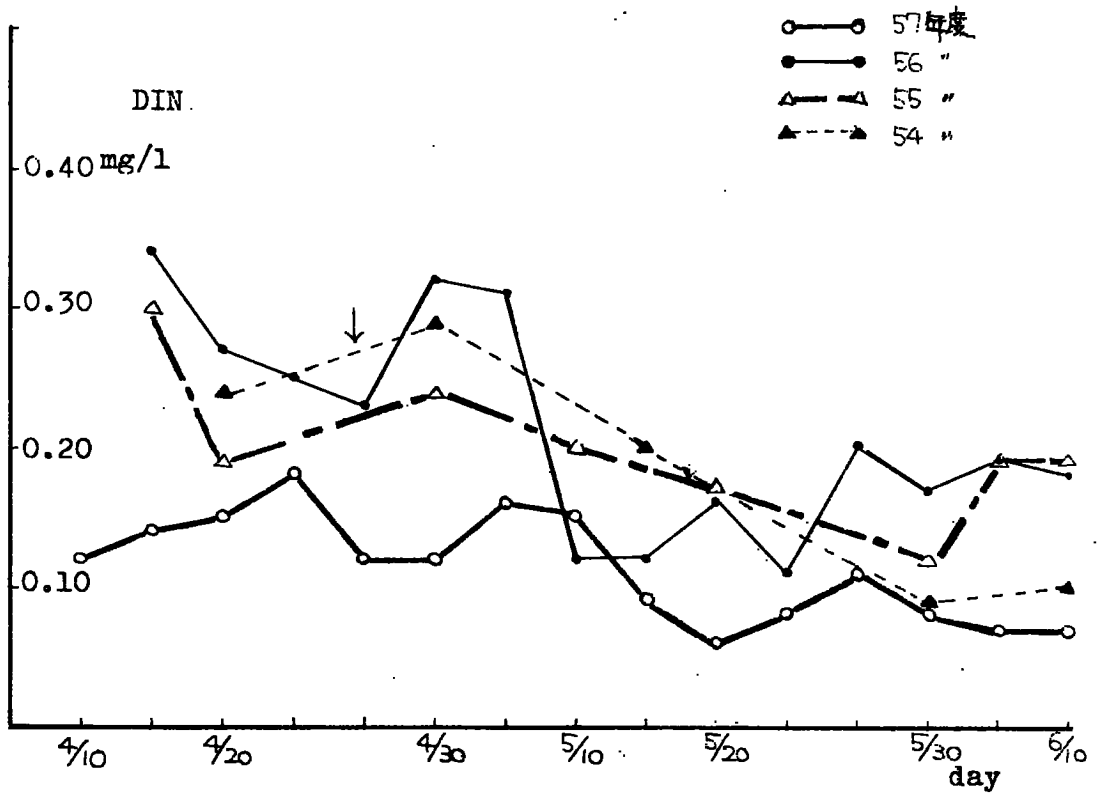
- 1) その年の(とくに4月5月上旬まで)琵琶湖北湖における水温、DIN、鉄成分およびウログレナ以外の優占的プランクトンの増殖度合の4条件の変動によって、各年のウログレナ出現日、初期増殖から赤潮形成に至る過程におけるウログレナ増殖規模(赤潮発生水域数、発生日数、発生規模)がおおよそ決定される。(付図1, 2, 3表)
- 2) 週単位以下の日数でみる気象条件(晴天の持続と無風状態)によって上下巾が決まる水温上昇率が、ウログレナ増殖速度に寄与している。
- 3) 昭和52年から56年にかけての春稚アユ早期出荷量とウログレナ赤潮発生時期の遅速の関

係が認められた。

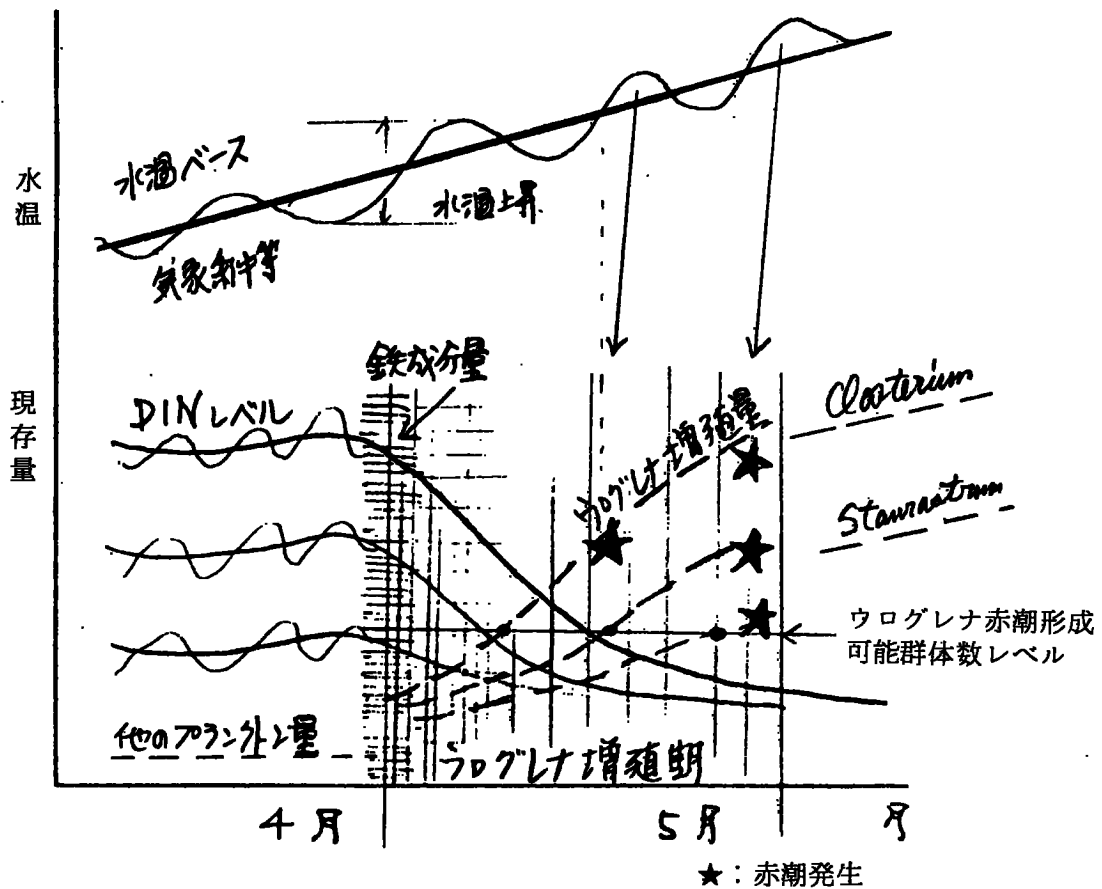
4) 防止対策として、北湖で、春先の溶存性の無機態窒素量と鉄成分の削減が計られれば、ウログレナの増殖にダメージを与えることが推察できた。



付図1 過去4ケ年の水温



付図2 過去4ケ年のDIN



付図3 水温上昇. DINレベル. プランクトン相の関係模式図

表3 琵琶湖の淡水赤潮の発生経過（発生日および発生水域）

年度	月日																															※) 5日間 ※)※) 9水域														
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	6																	
昭和52年																										<u>3</u>	<u>6</u>		<u>4</u>	<u>2</u>			<u>4</u>													
昭和53年								<u>5</u>	<u>2</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>9</u>	<u>13</u>	<u>6</u>	<u>1</u>									<u>5</u>	<u>8</u>	<u>7</u>	<u>6</u>						<u>3</u>	<u>2</u>	<u>3</u>										
昭和54年	<u>3</u>								<u>1</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>2</u>				<u>2</u>	<u>1</u>				<u>1</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>								<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>											
昭和55年																												<u>3</u>									<u>4</u>	<u>4</u>	<u>2</u>							
昭和56年																					<u>6</u>	<u>1</u>				<u>1</u>	<u>8</u>										<u>2</u>	<u>14</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>4</u>					
昭和57年																																										<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>

※)異積発生日 ※)発生水域