

調査研究

琵琶湖で発生した「淡水赤潮」の分布について

—1987~1989—

一瀬 論\* 若林徹哉\*

The Distribution of Red Tide Appeared in Lake Biwa

—1987~1989—

Satoshi ICHISE\* and Tetsuya WAKABAYASHI\*

はじめに

琵琶湖における淡水赤潮(以下「赤潮」と略す)は、1977年5月にはじめて大規模に発生して以降、1986年を除き1989年に至るまで、毎年春季(4~6月)にのみ発生している。滋賀県においては、県環境室および、当センターを中心に、「赤潮」パトロールや「赤潮」モニタリング調査を1977年から行ってきた。

1986年までの調査結果については、当所所報<sup>1)</sup>ですでに報告してきた。今回は、その後の1987年~1989年の調査結果について報告する。

調査方法

1. 調査地点

図1に示した16地点および「赤潮」発生水域

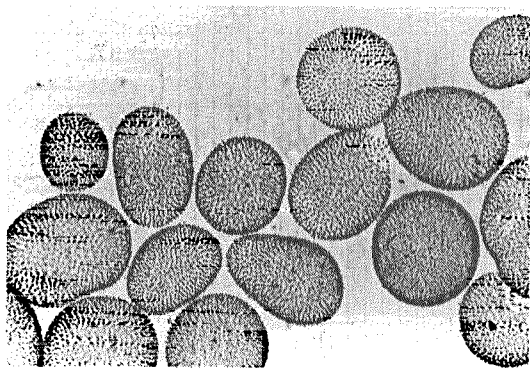


写真1 「淡水赤潮」の原因プランクトン *Uroglena americana* (×60)

2. 期間および回数

- (1) 1987年4月7日~6月24日, 左記期間中+10回
- (2) 1988年4月5日~6月13日, //
- (3) 1989年4月10日~6月19日, //

3. 調査項目

- (1) 水 温 (サーミスタ温度計)
- (2) 透 明 度 (セッキ円板法)
- (3) 色 相 (JIS標準色票<sup>2)</sup>)

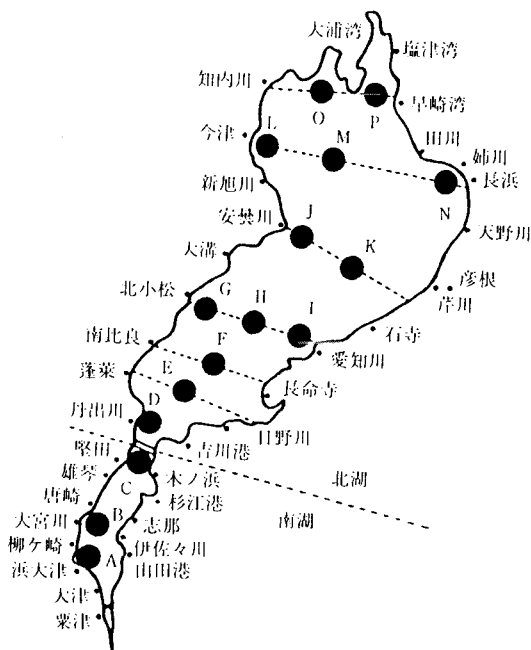


図1 琵琶湖におけるウログレナ調査の採水地点

\* 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, Gotenhama, Ohtsu, Shiga520, Japan

(4) 風向, 風力

(5) ウログレナ (*Uroglena americana*) の群体数および群体の大きさ。一部の地点については、ウログレナ以外に観察されたプランクトンの種類および、その細胞数についても同時に検鏡・計数を行った。

(6) 「赤潮」発生状況

異常発生水域では、その規模および水域内におけるウログレナ群体数、水温、透明度および「なまぐさ臭」の有無。

#### 4. 計数方法

ウログレナは長時間放置すると、分解死滅し計数できなくなるため、持ち帰った検体は、直ちに1mlをプランクトン計数板に取り、40~200倍の倍率で

検鏡し群体の計数を行った。ウログレナは楕円形の細胞が、球状の寒天質の表面に配列し、群体を形成するが、その大きさは50 $\mu$ m以下の小さなものから、300 $\mu$ m以上の群体までさまざまであった。このため下記の4段階に分けて計数を行った。

(A)=大の群体=直径250 $\mu$ m以上の群体  
(平均800 cells)

(B)=中の群体=直径100~250 $\mu$ mの群体  
(平均300 cells)

(C)=小の群体=直径50 (20 cells) ~100 $\mu$ m以下の群体 (平均60 cells)

(D)=微小の群体=20 cells以下の微小な群体は、細胞数を直接計数した。

表1 琵琶湖における淡水赤潮の発生経過 (発生日数および発生水域)

年度	月日												発生日数 年間発生 水域	延べ 水域				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3						
1977年 (昭和52年)																	5日間 9水域	19 水域
1978年 (昭和53年)																	16日間 21水域	88 水域
1979年 (昭和54年)																	17日間 20水域	34 水域
1980年 (昭和55年)																	4日間 13水域	13 水域
1981年 (昭和56年)																	9日間 15水域	40 水域
1982年 (昭和57年)																	7日間 8水域	10 水域
1983年 (昭和58年)																	4日間 8水域	11 水域
1984年 (昭和59年)																	5日間 5水域	8 水域
1985年 (昭和60年)																	8日間 10水域	21 水域
1986年 (昭和61年)																	0日間 0水域	0 水域
1987年 (昭和62年)																	4日間 7水域	10 水域
1988年 (昭和63年)																	4日間 3水域	5 水域
1989年 (平成元年)																	4日間 4水域	4 水域

注・太線下の数値は、水域数

・年間発生水域は延べ水域ではない

(滋賀県環境室資料)

## 結果と考察

### 1. 「赤潮」の発生概況 (表1, 図2)

1987年は、5月7日に琵琶湖北湖の白石～宇曾川中央で最初の「赤潮」が発生した。その後、北湖において4日間連続して延べ10水域で発生したが、南湖では発生しなかった。

1988年は、例年(5月5日頃)より少し早い5月2日に琵琶湖北湖、蓬萊沖4km付近で最初の「赤潮」が発生し、また南湖においても5月6, 7, 9日に堅田の浮御堂沖で発生した。発生規模については4日間5水域と小規模であり、5月9日以降については「赤潮」形成はなかった。

1989年の発生は、例年より少し遅い5月10日に南

湖の草津市志那沖1.5kmにおいて発生した。その後、北湖においても3水域で発生した。規模については4日間4水域と小規模であった。

この3年間の特徴としては、琵琶湖全域で小規模発生傾向にあり、以前から「赤潮」発生が多かった浜大津沖～文化館沖(南湖南部水域)での発生がみられなかったことである。

### 2. ウログレナの水平分布 (図3, 図4)

ウログレナ総群体数(160検体/年の合計値)の年変化をみると、ウログレナが多く観察された年は、1981年および1985年であったが、1985年以降は比較的少ない。各地点別群体数の変動をみると、琵琶湖全域でウログレナが毎年増殖していることが推察され、特に多く観察されたのは、琵琶湖大橋付近の地

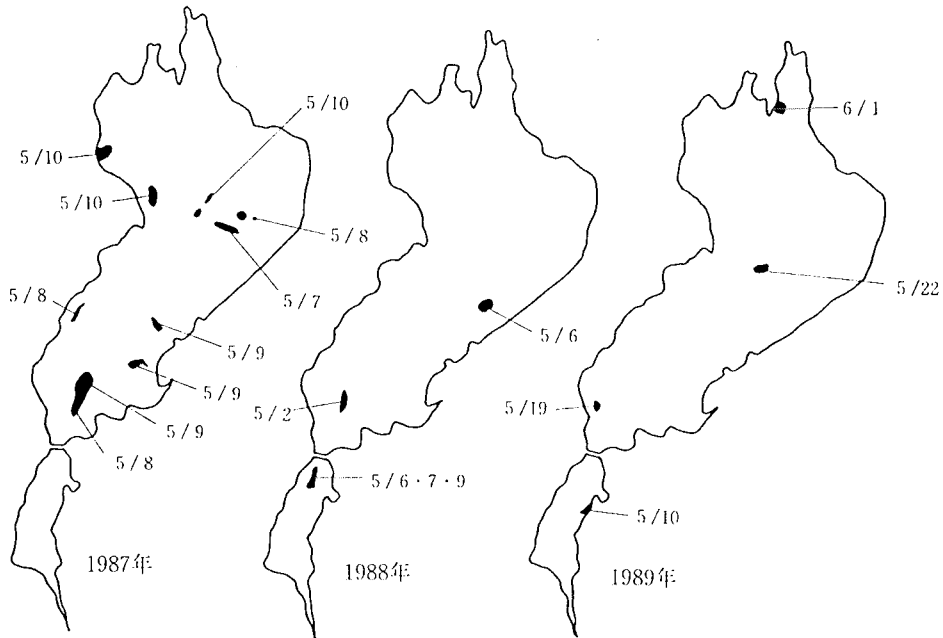


図2 「淡水赤潮」発生状況図 (滋賀県環境室資料)

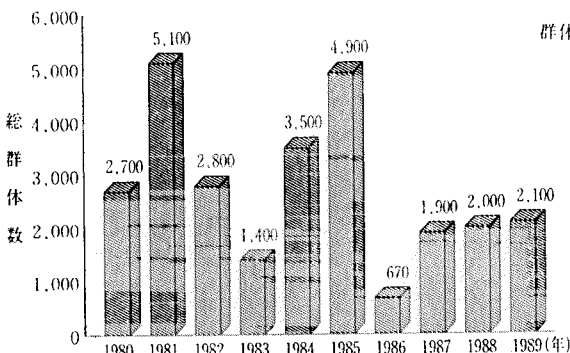


図3 ウログレナ総群体数の年変化  
(総群体数は16地点10回の合計値)

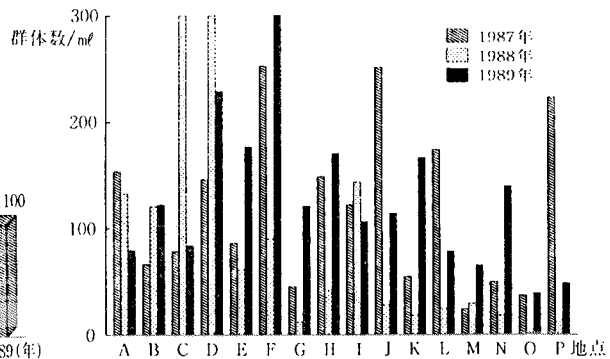


図4 琵琶湖におけるウログレナの地点別  
群体数の変動 (1987～1989)

点 (C, D, F) であった。また、少なかった地点としては今津沖中央および知内川沖中央の2地点 (M, O) であった。各年における水平分布の状況は、次のとおりである。

(1) 1987年 (図5)

ウログレナは4月中旬から、南湖を中心に1~6群体/m<sup>2</sup>観察されたが、急速な増加はみられなかった。その後、4月下旬から各地点で増加が始まり、5月上旬には、16地点中11地点でウログレナを計数した。5月中旬には、全地点で観察され、その中でも4地点 (H, J, L, P) について100群体/m<sup>2</sup>以上とかなり多いウログレナを計数し、いつでも赤潮形成直前の状況であった。6月に入ると琵琶湖の水温は、20℃以上となり、ほとんどの水域で減少する傾向にあった。6月下旬には、16地点のうち10地点で観察されなかった。

(2) 1988年 (図6)

4月中旬から南湖を中心に増加がみられ4月下旬には、北湖南部水域まで広がり、その分布状況は例年並の傾向にあった。5月上旬には、琵琶湖大橋付近で370群体/m<sup>2</sup> (C地点5月6日)、595群体/m<sup>2</sup> (D地点5月9日) と特に多い群体を計数した。5月下旬には琵琶湖全地点で10群体/m<sup>2</sup>以下にまで減少し、

6月2日には10地点で観察されなかった。

(3) 1989年 (図7)

例年より約半月遅い、5月上旬から増加がみられ、5月中旬から6月上旬にかけて多くの地点で観察し、特に5月22日には、3地点 (E, F, N) において100群体/m<sup>2</sup>以上のウログレナを観察した。その後、減少傾向を示し、6月19日にはA, B, C, L地点を除き消滅していた。

3. ウログレナ群体の形成状態

群体を大きさ別に4段階に分けて計数した結果、南湖では100μm以下の小さな群体の占める比率が、約70%で北湖の約55%に比べ高い傾向にあった。

ウログレナの増殖初期の群体は、200μm以上の比較的大きな群体が多く観察されていたが、異常発生時には、100μm以下の小さな群体が約90%以上を占めていた。1989年は、100μm以下の小さな群体の占める割合が南湖で79%、北湖で80%であり、例年より小さな群体が多い傾向にあった。

「赤潮」発生時期にウログレナの群体がなぜ小型化するのか、水質汚濁の進んでいる南湖の群体が北湖の群体より小型傾向にあるのはなぜか、等まだ解明できていない部分が多いため今後この点について解明できるよう調査を進めたいと考える。

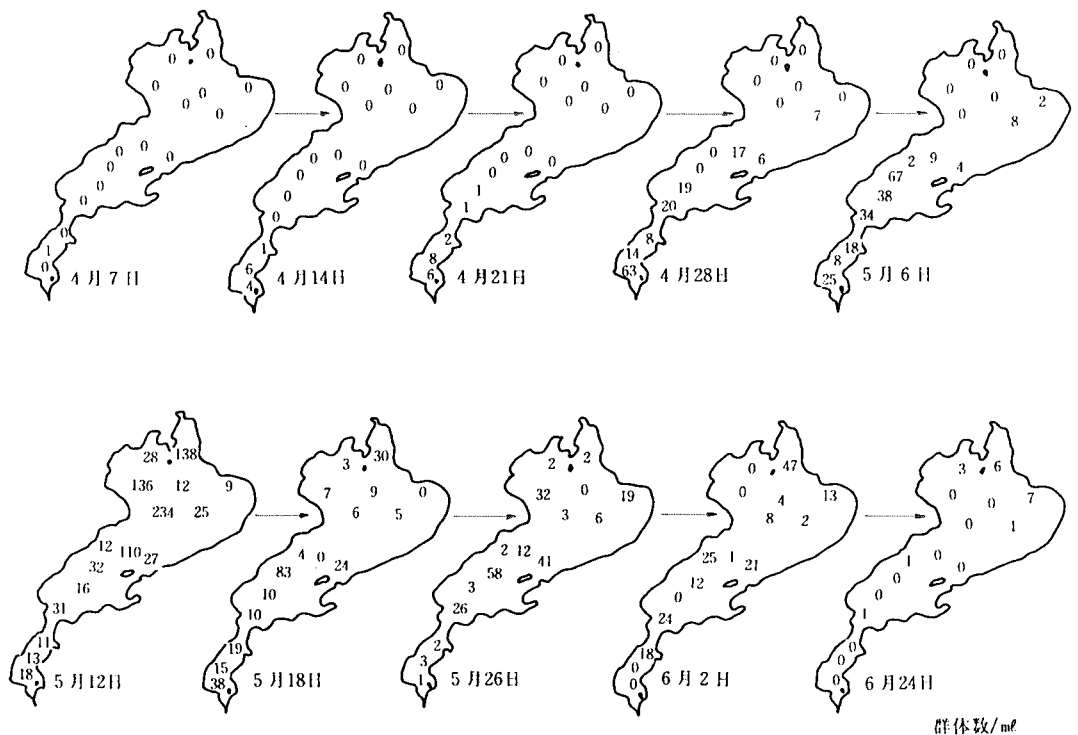
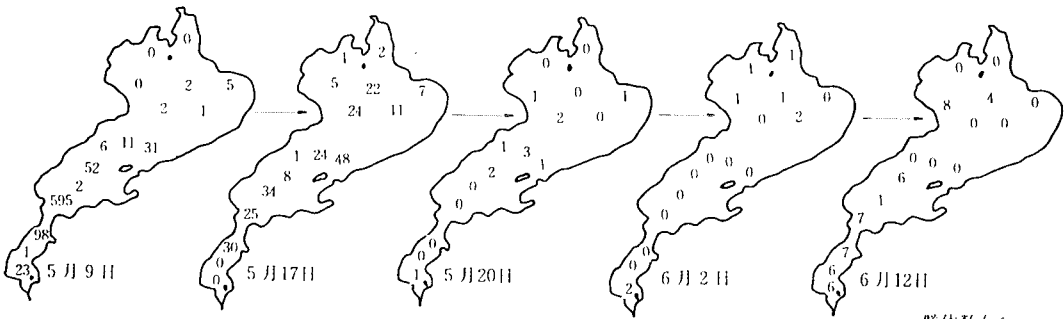
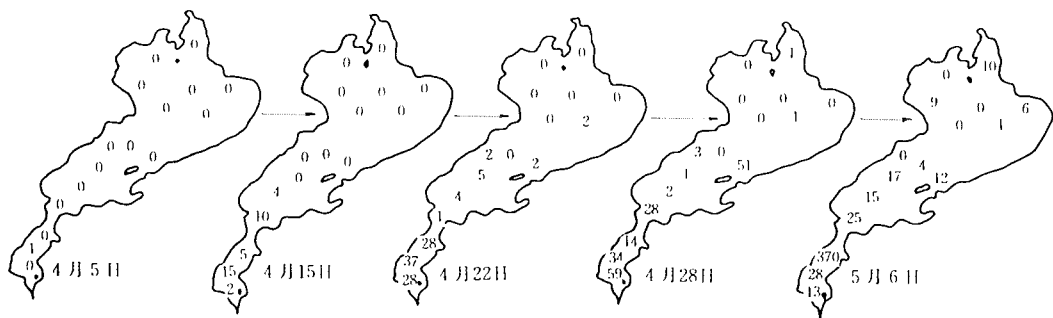
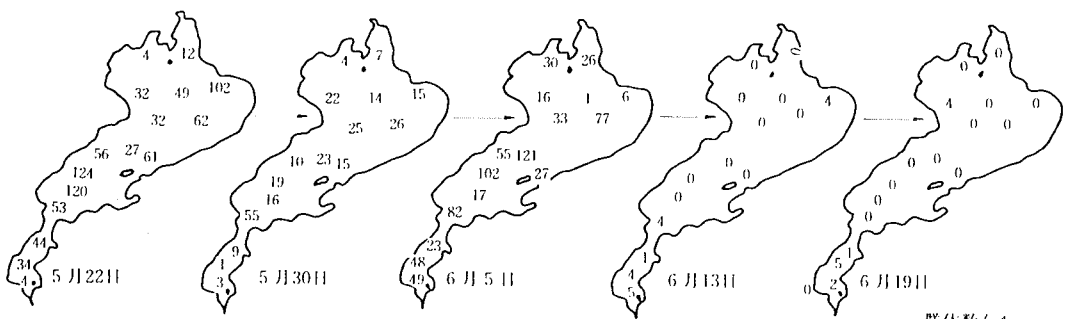
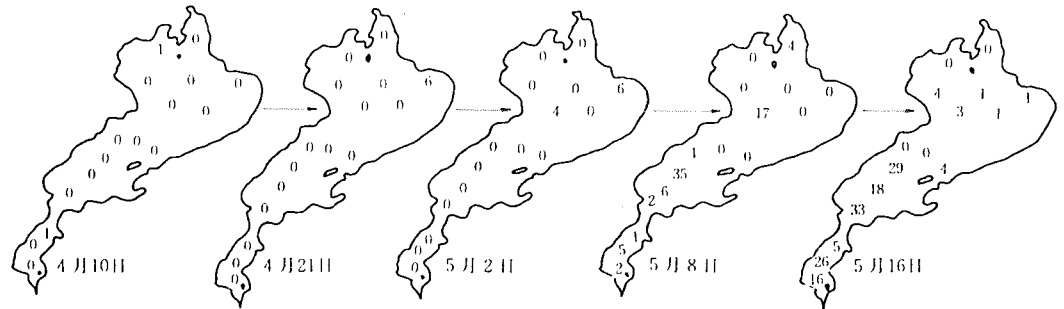


図5 ウログレナの分布調査(1987年)



群体数/m<sup>3</sup>

図6 ウログレナの分布調査(1988年)



群体数/m<sup>3</sup>

図7 ウログレナの分布調査(1989年)

#### 4. 主な環境要因

##### (1) 水温および降水量 (図8, 図9)

水温とウログレナ群体数の関係は、ウログレナは約10℃から増殖が始まり、約23℃の水温域まで分布していた。しかし、それ以上に水温が上昇すると、ほとんど観察されなくなる傾向にあった。また、ウログレナがもっとも多く観察される水温の範囲は、15~20℃であった。

年別の傾向についてみると1987年は、例年並(17℃前後)の水温域で、多くのウログレナの群体が計数されたが、1988年は13~14℃と比較的低い水温域で観察された。また1989年は、17℃前後と20℃前後の2つの水温域においてウログレナが観察された。琵琶湖の平均水温の年別変動をみると、1987年は4月中旬までは例年並の水温で推移したが、5月上旬に100mm前後の大雨のため一時的に低下した。1988年は「赤潮」が形成されやすい時期である4月~6月にかけて、琵琶湖の平均水温が例年より1~3℃低く推移したためと推察される。1989年は、5月中旬までは例年並の水温であったが、6月に入るとはしり梅雨および台風6号による大雨等の影響により、例年より低く推移した。彦根地方気象台発表資料<sup>9)</sup>

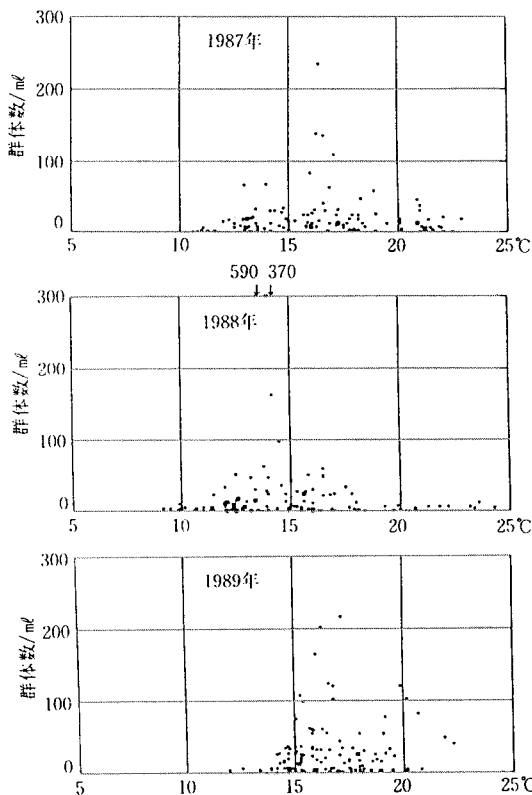


図8 琵琶湖におけるウログレナ群体数と水温の関係

をみると「赤潮」がもっとも形成されやすい時期である5月に10mm/日以上降水量を記録した日数は、1987年は4日、1988年は7日、1989年は5日であり、「赤潮」が発生しなかった1986年の8日と比較するとやや少なかった。

##### (2) 透明度 (図10)

春季の透明度は、異常発生が起こっていない水域では、北湖で5~7mである。しかし、異常発生が起こっている水域の透明度は、北湖で2~3mと悪い傾向にあった。

##### (3) 水色

一般的に異常発生が起こっていない4月までの水域の水色は北湖で濃い緑色(5G 3/4)を呈する場合が多く、南湖では黄緑色であり、僅かに緑色が強い(7.5GY 4/4)水色を呈することが多かった。しかし、「赤潮」の発生水域では、南・北湖ともに黄緑色の黄色が濃い(2.5GY 4/4)水色および、黄緑色でも褐色に近い(2.5GY 5/2)水色に変化することが観察された。変色した水域は、帯状を呈することが多く、その向きは風の方向と一致している場合が多かった。また湖流の向きと平行に伸びるものや、広範囲に薄く着色し、境界が不明瞭なものなども観察された。

##### (4) 風向・風力 (表2, 図11)

ウログレナの異常発生がみられる5月には、前回までの調査では、北東の風(NE)がもっとも多く観察され、「赤潮」の形成も、琵琶湖西岸部および西岸南部水域において比較的多く観察された。しかし、

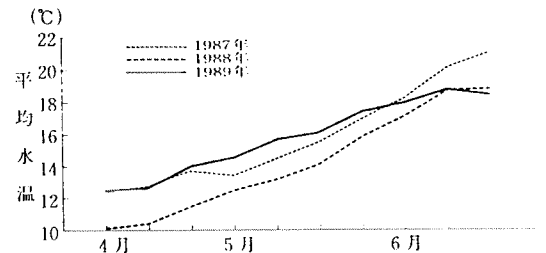


図9 琵琶湖における平均水温の変動  
(16地点の平均水温を移動平均した)

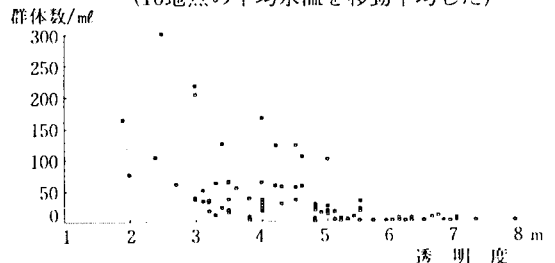


図10 琵琶湖北湖における透明度とウログレナ  
の関係 (1987~1989)

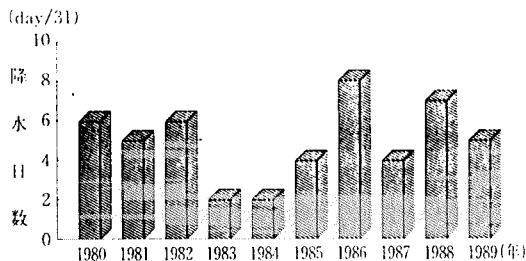


図11 5月の気象状況(10mm以上の降水日数)  
(彦根地方気象台資料)

表2 琵琶湖湖上における風向測定結果

	(1987-1989)								(測定回数)
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	
1987年	16	31	44	28	27	12	9	10	
1988年	19	54	33	16	16	14	12	18	
1989年	21	50	42	17	26	9	14	10	

今回の調査では、1988年および1989年に北の風(N)が北東の風(NE)より多く観察される傾向にあった。

「赤潮」の形成と風力との関係についてみると、風力0～2mの穏やかな風の時、「赤潮」の形成がみられることが多く、風力3m/秒以上の比較的強い風が吹くときには、ほとんど赤潮の形成はみられなかった。

この期間中に風力3m/秒以上の強い風の吹いていた地点数の年間合計をみると1987年は72地点、1988年は44地点、1989年は136地点であり、1989年は風の強い日が続いたことが伺える。ウログレナ異常発生時期の風向および風力は直接的な原因とはなっていないものの「赤潮」形成のための重要な要因の一つであろうと考える。

#### (5) 臭 気

湖水や水道水に、不快な臭気を与える原因には様々なものがあるが、このウログレナもその一つにあげられる。異常発生が起こっている水域や、その水域から取水している水道水からは、異臭(生ぐさ臭、魚臭、腐敗臭等)が感じられた。しかし、異常発生の初期には群体数が多くても、異臭は弱い傾向にあり、異常発生の終期に強くなる傾向にあった。このことはウログレナの臭気物質は、各細胞内に蓄えられ、これらの細胞が崩壊することにより、異臭濃度が強くなるのではないかと考える。

#### 5. プランクトン相 (図12、表3)

過去の調査結果では、発生前は、珪藻綱および黄色鞭毛藻綱を中心とした冬型の種類が、総細胞数の大部分を占め、発生後は緑藻綱および藍藻綱を中心

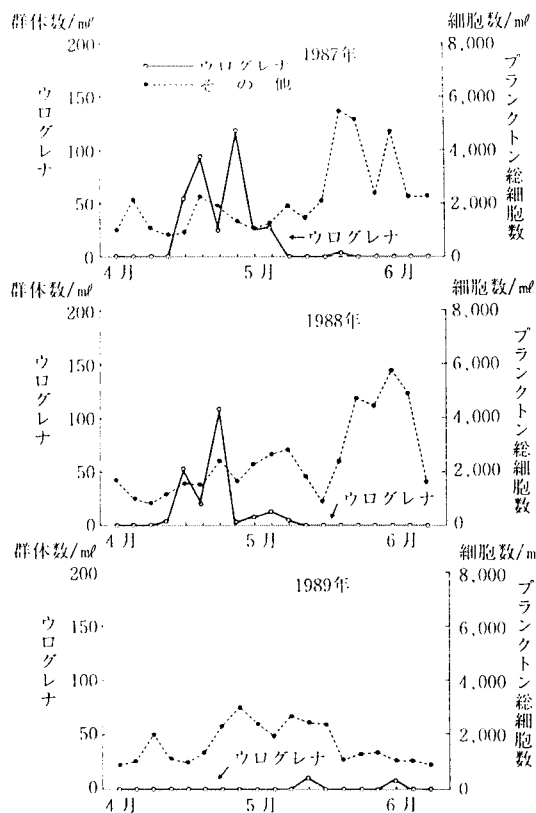


図12 琵琶湖文化館沖(A地点)におけるウログレナおよびその他のプランクトンの変動

とした夏型の種類が増殖してくることや、異常発生が起こる時期には、ウログレナ以外の植物プランクトンが減少することなどを報告した<sup>10)</sup>。

ウログレナおよび、それ以外のプランクトン総細胞数の変動を地点別に比較すると、優占種が相違する地点もみられた、しかし全体として比較的良好な傾向で推移していたため、ここではA地点での結果について報告する。

#### (1) 1987年

異常発生前の主なプランクトン相は、黄色鞭毛藻綱であり、異常発生後には藍藻綱や緑藻綱および珪藻綱などの種類が多く観察された。この傾向は例年並であった。

#### (2) 1988年

異常発生前の主なプランクトン相は、褐色鞭毛藻綱が主な優占種となった。異常発生後には、上水道において濾過障害などを引き起こす *Synedra acus* (珪藻綱: 写真2) の増殖により総細胞数の増加が見られた。この年は、水温の上昇が例年より低く推移したことから、毎年多く観察される高い水温域を好む緑藻綱の増殖が遅れたものと推察される。

表3 琵琶湖文化館沖(A地点)における優占種の変化(1987~1989)

	1987年	cells / ml	1988年	cells / ml	1989年	cells / ml	
4月	<i>Rhodomonas</i> sp.	460	<i>Rhodomonas</i> sp.	560	<i>Rhodomonas</i> sp.	360	
	<i>Dinobryon bavaricum</i>	860	<i>Rhodomonas</i> sp.	280	<i>Rhodomonas</i> sp.	400	
	<i>Dinobryon bavaricum</i>	400	<i>Cryptomonas</i> sp.	340	<i>Dinobryon bavaricum</i>	540	
	<i>Dinobryon divergens</i>	160	<i>Cryptomonas</i> sp.	460	<i>Cryptomonas</i> sp.	440	
	● <i>Uroglena americana</i>	5,400	● <i>Uroglena americana</i>	5,400	<i>Cryptomonas</i> sp.	240	
● <i>Uroglena americana</i>	9,500	● <i>Uroglena americana</i>	1,800	<i>Asterionella formosa</i>	420		
	2,400	● <i>Uroglena americana</i>	11,000	<i>Asterionella formosa</i>	460		
	12,000	<i>Dinobryon bavaricum</i>	360	<i>Asterionella formosa</i>	600		
	2,400	● <i>Uroglena americana</i>	720	<i>Stephanodiscus subsalsus</i>	440		
	● <i>Uroglena americana</i>	2,700	● <i>Uroglena americana</i>	1,400	<i>Asterionella formosa</i>	440	
	<i>Cryptomonas</i> sp.	780	<i>Melosira granulata</i>	760	<i>Asterionella formosa</i>	480	
	<i>Melosira granulata</i>	640	<i>Melosira granulata</i>	540	● <i>Uroglena americana</i>	680	
	<i>Melosira granulata</i>	580	<i>Synedra acus</i>	320	<i>Cyclotella glomerata</i>	480	
	<i>Cyclotella</i> sp.	1,300	<i>Synedra acus</i>	1,100	<i>Cryptomonas</i> sp.	480	
	<i>Pediastrum biwaense</i>	960	<i>Synedra acus</i>	1,200	<i>Cryptomonas</i> sp.	420	
5月	● <i>Uroglena americana</i>	2,400	● <i>Uroglena americana</i>	720	<i>Cryptomonas</i> sp.	540	
	● <i>Uroglena americana</i>	2,700	● <i>Uroglena americana</i>	1,400	● <i>Uroglena americana</i>	600	
	<i>Cryptomonas</i> sp.	780	<i>Melosira granulata</i>	760	<i>Asterionella formosa</i>	500	
	<i>Melosira granulata</i>	640	<i>Melosira granulata</i>	540	<i>Melosira granulata</i>	400	
	<i>Melosira granulata</i>	580	<i>Synedra acus</i>	320	<i>Asterionella formosa</i>	660	
	<i>Cyclotella</i> sp.	1,300	<i>Synedra acus</i>	1,100	<i>Rhodomonas</i> sp.	560	
	<i>Pediastrum biwaense</i>	960	<i>Synedra acus</i>	1,200	● <i>Uroglena americana</i>	1,400	
	<i>Melosira granulata</i>	720	<i>Synedra acus</i>	1,300	<i>Melosira granulata</i>	300	
	6月	<i>Melosira granulata</i>	1,100	<i>Synedra acus</i>	1,900	<i>Melosira granulata</i>	300
	<i>Phormidium tenue</i>	640	<i>Asterionella formosa</i>	1,200	<i>Phormidium tenue</i>	620	
<i>Phormidium tenue</i>	1,200	<i>Asterionella formosa</i>	560				
<i>Phormidium tenue</i>	580	<i>Cryptomonas</i> sp.	420				
<i>Rhodomonas</i> sp.	180	● <i>Uroglena americana</i>	420				
<i>Scenedesmus</i> sp.	80	● <i>Uroglena americana</i>	180				
<i>Melosira granulata</i>	360	<i>Cryptomonas</i> sp.	1,100				
<i>Cryptomonas</i> sp.	300	<i>Cryptomonas</i> sp.	1,100				

● = ウログレナ

(3) 1989年

ウログレナが例年になく少なかった。また、ウログレナ以外のプランクトン数についても少ない傾向にあった。

このことは4月~5月にかけて寒冷前線が数回にわたり通過したため降水量が多かったことも原因の一つであると考えられる。

1986年以降(図3)ウログレナの増殖が少なかったことから、今後、低水温下における異常発生 of プランクトンの増減が、ウログレナの異常発生に、どのような影響を与えているかについて注目していきたいと考える。

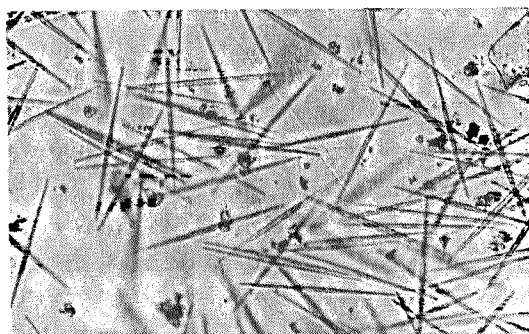


写真2 *Synedra acus* (×40)

ま と め

1. 「赤潮」発生状況

1987年は5月7日に最初の「赤潮」発生があり、発生規模は、4日間延べ10水域であった。1988年は、例年より少し早い5月2日に最初の発生があり、4日間5水域と小規模であった。また1989年は例年より少し遅い5月10日に最初の「赤潮」発生があり、4日間4水域と小規模であった。1987年~1989年の「赤潮」発生状況は、過去と比較すると琵琶湖全域で小規模であったことおよび、以前から発生が多かった浜大津沖~文化館沖(南湖南部水域)での発生がみられなかったことである。

2. ウログレナの水平分布

1987年および1988年は、4月中旬から南湖を中心に観察され始め、5月に入ると、全地点において増加し、数地点については100群体/ml以上を計数した。その後、6月にはいと減少傾向を示し、下旬には消滅状態にあった。

1989年は、例年より約半月遅い5月上旬頃から増加がみられ、5月中旬から6月にかけてピークとなった。6月下旬には消滅状態にあった。



### 3. 主な環境要因

1987年は例年並の水温域で、多く計数されたが、5月上旬の大雨のため一時的に低下した。1988年は平均水温が例年より1～3℃低く推移した。また1989年は、17℃前後と20℃前後の2つの水温域においてウログレナが観察された。このことは「赤潮」時期に、はしり梅雨の影響をうけたことも一要因になっていると考えられる。

ウログレナ群体の大きさについては、1989年が小さな群体の占める割合が例年より大きい傾向にあった。ウログレナの群体がなぜ小型化するののかについては、まだ不明な点が多く今後、この点についても解明できるよう調査を進めたいと考える。

透明度は「赤潮」の発生水域では、北湖で2～3 mと悪い傾向がみられた。

風向はこの季節、北東の風が最も多く観察されたが、1988年および1989年については北の風が北東の風より多く観察される傾向にあった。

「赤潮」形成と風力との関係についてみると、風力3 m/秒以上の比較的強い風が吹くときには、ほとんど「赤潮」の形成はみられなかった。

### 4. プランクトン相

1987年のプランクトン相は例年並であったが、1988年は異常発生後、*Synedra acus* (珪藻綱)の大増殖がみられた。1989年はウログレナの増加が例年になく少なかった。また、ウログレナ以外のプランクトン数についても少ない傾向にあった。

### おわりに

琵琶湖において、1977年から毎年発生していた「赤潮」は、1986年以降徐々に小規模になりつつあることが伺える。水温や風力および降水量等の気象条件がウログレナの増殖にとって不利に作用したことがまず考えられるが、「赤潮」の発生機構については、まだまだ解明されていない部分が多い。

今後、この積み上げられた資料を基に「赤潮」発生機構の解明や予測が、今以上に可能となるよう調査研究を進めたい。

### 謝 辞

調査を行うに当たり、県環境室をはじめ発生状況等の情報を提供して頂きました関係機関の方々に深く感謝致します。

### 文 潮

- 1) 若林徹哉：滋賀衛環七所報, 13, 163-164 (1977)
- 2) 一瀬 論, 若林徹哉：滋賀衛環七所報, 14, 141-145 (1978)
- 3) 一瀬 論, 若林徹哉：滋賀衛環七所報, 15, 150-158 (1979)
- 4) 一瀬 論, 若林徹哉：滋賀衛環七所報, 19, 126-135 (1984)
- 5) 一瀬 論, 若林徹哉：滋賀衛環七所報, 21, 167-174 (1986)
- 6) JIS 標準色票：日本色彩社, 24-31
- 7) 日本気象協会：滋賀県気象月報 (1980-1989)