

## 調査報告

# 琵琶湖における「淡水赤潮」の発生状況および原因プランクトン *Uroglena americana* の分布について - 1998 ~ 2001 -

一瀬 諭<sup>\*1</sup>, 若林徹哉<sup>\*1</sup>, 藤原直樹<sup>\*1</sup>, 伊藤 貢<sup>\*2</sup>

## The Appearance of "Fresh Water Red Tide" in Lake Biwa caused by *Uroglena americana* - 1998 ~ 2001 -

Satoshi ICHISE<sup>\*1</sup>, Tetsuya WAKABAYASHI<sup>\*1</sup>,  
Naoki FUJIWARA<sup>\*1</sup>, and Mitsugu ITOU<sup>\*2</sup>

琵琶湖における「淡水赤潮」の発生規模は、1986 年以降、徐々に小規模になる傾向が認められてきたが、近年の調査では、原因プランクトンである *Uroglena americana* は比較的多く分布していた。

*U. americana* が多いにも拘わらず「淡水赤潮」の発生が少ない原因として、発生時期の気象条件が近年は整いにくかったことや *U. americana* が琵琶湖水に順応し、定着してきている可能性も推察された。また、*U. americana* 以外に共存する植物プランクトンの増減も *U. americana* の増減に深く関わっていることなどが明らかとなった。

キ - ワ - ド：琵琶湖，淡水赤潮，プランクトン，ウログレナ，異常発生，モニタリング調査

### はじめに

琵琶湖では 1977 年から、毎年のように黄色鞭毛藻に属する *Uroglena americana* (以下 *Uroglena* と略す) の増加による「淡水赤潮」が発生するようになった。

当センターでは、本種のモニタリングを 20 年間以上にわたり滋賀県環境政策課と合同で継続的に実施しており、1997 年までの結果については、既に所報や学会等により報告<sup>1)9)</sup>してきた。今回、我々は 1998 ~ 2001 年の調査結果についてまとめたので報告する。なお、本論文の一部は 2002 年 9 月に東京農工大学で開催された第 67 回 日本陸水学会において発表<sup>10)</sup>した。

### 方法

#### 1. 調査地点と回数

*Uroglena* のモニタリング調査は、図 1 に示した琵琶湖 16 地点において 4 ~ 6 月の期間中に週 2 回 (雨天以外の火曜日と金曜日) の頻度で実施した。また、「淡水赤潮」を確認した場合には、その発生場所においても同様の調査を実施した。

#### 2. 調査期間および回数

モニタリング調査は、*Uroglena* の増加が認められる 4 ~ 6 月の期間に毎年実施した。

- 2.1 1998 年 4 月 6 日 ~ 6 月 15 日までに合計 10 回。
- 2.2 1999 年 4 月 5 日 ~ 6 月 7 日までに合計 10 回。
- 2.3 2000 年 4 月 10 日 ~ 6 月 19 日までに合計 10 回。
- 2.4 2001 年 4 月 9 日 ~ 6 月 4 日までに合計 10 回。

調査回数は、各年とも原則として 10 回以上実施し、他のプランクトン種については北湖中央 (M 地点) および南湖中央 (B 地点) の 2 地点で 2 回 / 月の頻度で調査を行った。なお、琵琶湖水が流出していく瀬田川に

\*1 滋賀県立衛生環境センター 〒520-0834 滋賀県大津市御殿浜 13-45  
Shiga Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science,  
13-45, Gotenhama, Ohtsu, Shiga, 520-0834, Japan

\*2 (現) 滋賀県琵琶湖環境部エコライフ推進課 〒520-8577 滋賀県大津市京町 4-1-1  
Ecological Lifestyle Promotion Division, Shiga Prefectural Government  
4-1-1, Kyoumachi, Ohtsu, Shiga, 520-8577, Japan

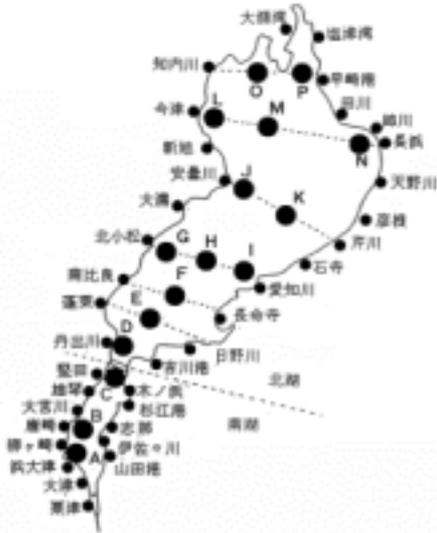


図1 調査地点 (A ~ P)

ついても、瀬田唐橋流心部において2回/週の頻度でプランクトン調査を行った。

### 3. 調査項目

「淡水赤潮」モニタリング調査の調査項目は次の通りである。

- 3.1 水温 (サーミスタ温度計 JIS).
- 3.2 pH (ガラス電極法: 水質自動測定局).
- 3.3 溶存酸素濃度・飽和率  
(水質自動測定局: 隔膜ポーラログラフ法).
- 3.4 クロロフィル a 量  
(水質自動測定局: 蛍光光度法).
- 3.5 硝酸態窒素  
(琵琶湖定期水質調査: 上水試験方法).
- 3.6 全リン  
(琵琶湖定期水質調査: 環境庁告示第 59 号).
- 3.7 透明度 (セッキ円板法 JIS).
- 3.8 色相 (JIS 標準色票<sup>1)</sup>).
- 3.9 風向 (水質調査船上).
- 3.10 風速 (水質調査船上).
- 3.11 *Uroglena* の群体数および群体の大きさ.
- 3.12 *Uroglena* 以外のプランクトン.
- 3.13 「淡水赤潮」発生状況

「淡水赤潮」の発生場所では、発生規模と天候やモニタリング調査の各調査項目について調査を行なった。

#### 3.14 プランクトン計数方法

「淡水赤潮」発生水域の湖水は、採水後、数時間で細胞の分解や死滅が起こり、計数できなくなることが多い。このため、検体はクーラーに保管し持ち帰り、速やかにその 1ml をプランクトン計数板 (離合社) に採り、生物顕微鏡 (40 倍) で全マス検鏡し、*Uroglena* 群体数の計数を行った。また、*Uroglena* 以外のプランクトンについても同様の方法 (100 倍) で 200 マスを検鏡し、植物プランクトンの計数を行った。

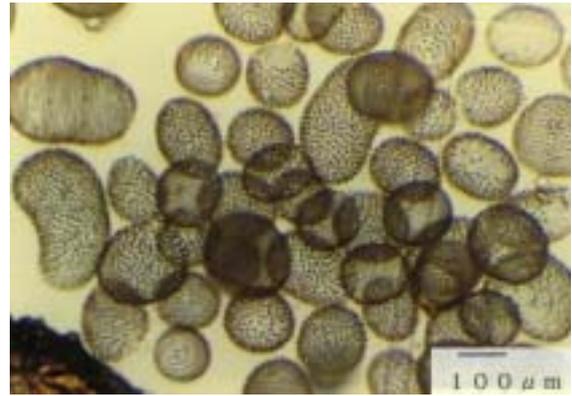


写真1 *Uroglena americana* の群体 (×40)



写真2 *Uroglena americana* の細胞 (×1000)

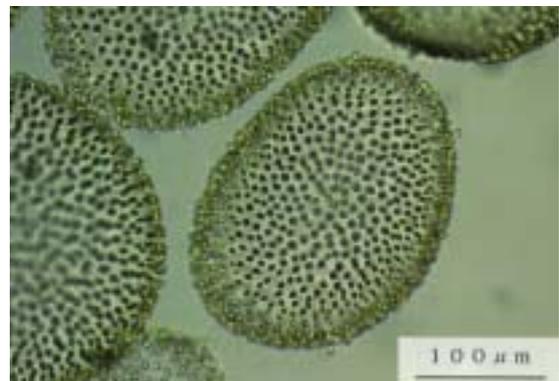


写真3 *Uroglena americana* の群体 (×200)

*Uroglena* は、球状または楕円状の群体を形成し、その大きさは写真 1 に示したように 50 μm 程度の小型の群体から、300 μm 以上の大型の群体まで様々であった。各細胞は三角錐に似た楕円体で長い鞭毛と短い鞭毛の 2 本の不等長の鞭毛と 1 個の眼点を有する。この細胞が、球状の寒天質の表面に一層に配列し群体を形成する (写真 2, 写真 3)。

このため検鏡時にプランクトン計数板の升目幅 (約 1,000 μm), および界線の幅 (約 100 μm) を参考として下記の 4 段階の大きさに分けて計数を行った。

- 3.14.1 大群体: 直径 250 μm 以上の群体  
(細胞数換算値: 800cells/colony)
- 3.14.2 中群体: 直径 100 ~ 250 μm の群体

(細胞数換算値：300cells/colony)

3.14.3 小群体：直径 50 ~ 100 μm 以下の群体

(細胞数換算値：60cells/colony)

3.14.4 微小群体：1 群体で 10cells 以下の微小な群体

(細胞数を直接計数)

なお、「淡水赤潮」の発生の判断は、透明度や色相および *Uroglena* 群体数を中群体に換算した結果 (300 群体/ml 以上) を基に、滋賀県環境政策課との協議を行い判断した。

#### 4. 水質自動測定局

本調査期間中における琵琶湖北湖に設置した、琵琶湖水質自動測定局 (北湖 S 局) の *Uroglena* 発生時期におけるデータについても一部検討を加えた。

### 結果

#### 1. *Uroglena* の主な消長

例年、*Uroglena* の増加 (50 群体/ml 以上とする) は、4 月の中旬頃から琵琶湖南湖から始まり、その後、徐々に北湖へと分布域が拡大して行き、5 ~ 6 月上旬には琵琶湖全域で *Uroglena* の分布が認められた。しかし、すぐには表層部に集積せず、水深 1m 以深のところ集積が認められた。この集積現象は、調査船のスクリューにより、巻き上げられた波が薄黄色に着色するため確認できる (「淡水赤潮」の兆候とする)。さらに *Uroglena* の集積が進行すると、表層水を含む湖面が茶褐色を呈し、帯状やパッチ状の「淡水赤潮」を形成した。この発生水域では透明度が低下し、生ぐさ臭が漂っていた。その後、*Uroglena* は徐々に減少傾向をみせ、6 月中旬に入ると各地点で減少し、6 月下旬には消滅していくという消長を、毎年繰り返している事を今までの調査から報告<sup>1-9)</sup>してきた。

#### 2 *Uroglena* 発生状況

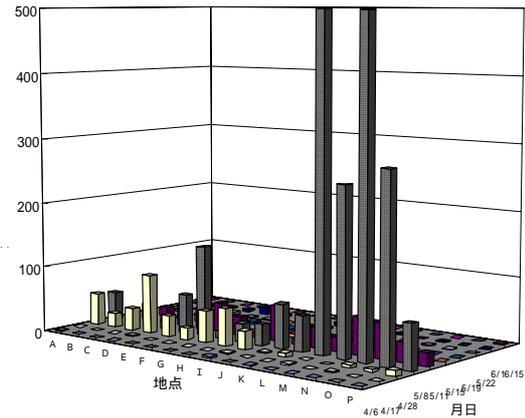
1998 年から 2001 年における *Uroglena* のモニタリング調査を実施した。各年における経日変化を下記に示した。

##### 2.1 1998 年 (平成 10 年)

1998 年における *Uroglena* の増加は図 2 に示すように例年並みの 4 月下旬から始まり、5 月 8 日の調査時には北湖へと広がりを見せ、16 地点中 5 地点で 100 群体/ml 以上の *Uroglena* を計数し、「淡水赤潮」の兆候も北湖において認められた。しかし、5 月 9 日以降、前線の追加により琵琶湖全域で大雨となり、*Uroglena* はその影響を受け激減した。また、その後の増加は認められなかった。1998 年の状況としては「淡水赤潮」の兆候は北湖において一時的に認められたものの発生には到らなかった。

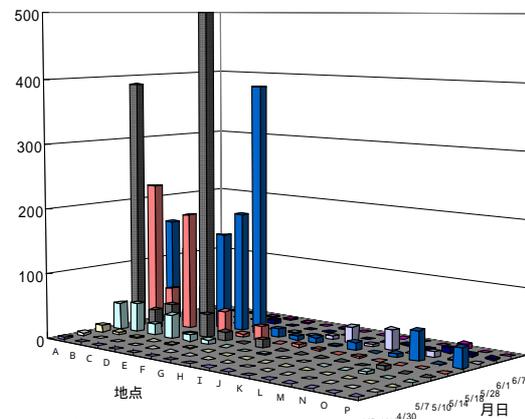
##### 2.2 1999 年 (平成 11 年)

1999 年の *Uroglena* 分布調査結果を図 3 に示した。5 月上旬から南湖を中心に増加が始まり、5 月 10 日には



1998 年

図2 琵琶湖における *Uroglena americana* のモニタリング調査結果 (1998 年)



1999 年

図3 琵琶湖における *Uroglena americana* のモニタリング調査結果 (1999 年)

南湖の雄琴港内で本年最初の「淡水赤潮」の形成が認められた。その後も、大津港の周辺水域や志賀町比良沖など数地点で「淡水赤潮」の形成が認められた。また、5 月 18 日の分布調査時では、全地点で *Uroglena* の群体を確認し、16 地点中 5 地点では 100 群体/ml 以上の群体数を計数した。しかし、北湖の北部水域での増加は例年より少なく、50 群体/ml 以上に増加した地点は確認されなかった。1999 年の「淡水赤潮」の発生は、5 月 10 日から 5 月 17 日にかけて 5 日間 5 水域において確認され、この 4 年間の調査としては最も発生規模が大きかった。しかし、北湖北部水域での増加は認められなかった。

##### 2.3 2000 年 (平成 12 年)

図 4 に 2000 年における *Uroglena* 分布調査結果を示した。4 月に実施した分布調査結果では、ほとんどの地点で *Uroglena* は確認されなかった。しかし、5 月上旬の水温の上昇とともに各地点で増加が認められ、5 月中旬 ~ 下旬の調査では、ほとんどの地点で *Uroglena* を確

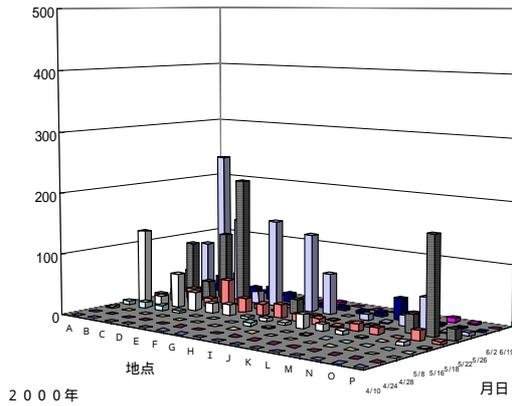


図4 琵琶湖における *Uroglena americana* のモニタリング調査結果 (2000年)

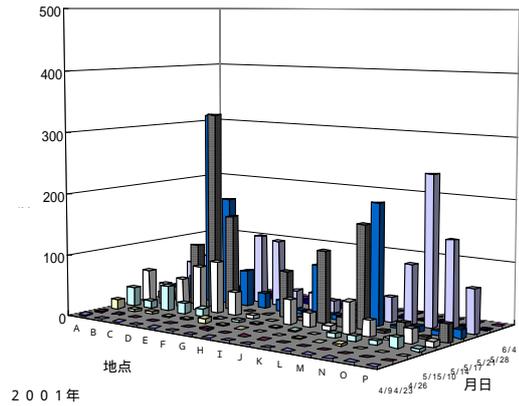
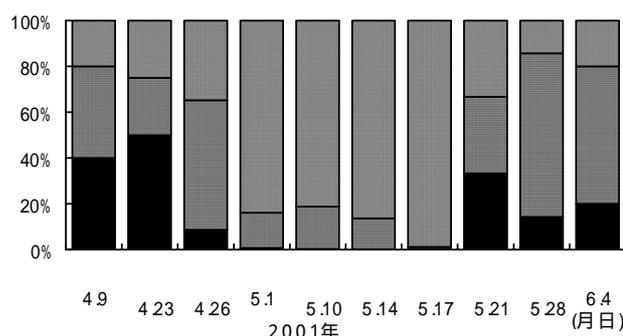
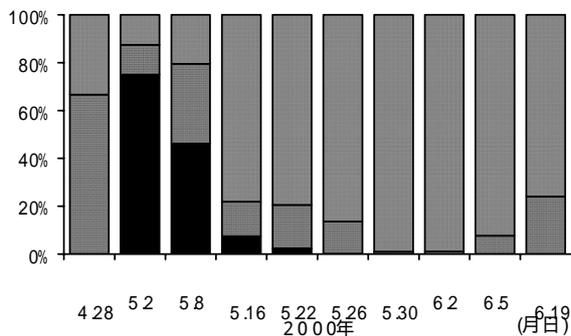
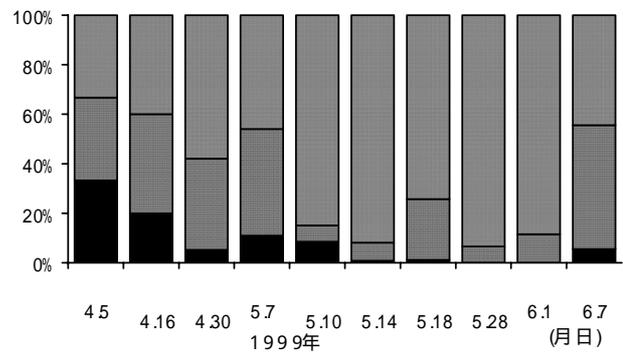
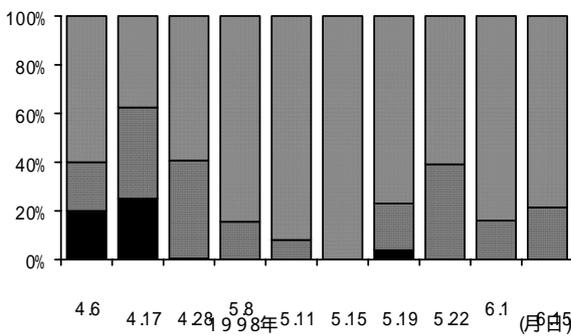


図5 琵琶湖における *Uroglena americana* のモニタリング調査結果 (2001年)



■大群体      ■中群体      ■小群体

図6 琵琶湖における *Uroglena americana* 群体のサイズ別百分率の変動

認め、北湖の志賀町沖や新旭町沖においては「淡水赤潮」が確認された。その後、6月以降になると降雨を伴った荒天の日があり、*Uroglena* は全域で減少した。

2000年の「淡水赤潮」の発生は、5月26日の1日間2水域で認められた。

#### 2.4 2001年(平成13年)

図5に2001年の*Uroglena* 分布調査結果を示した。*Uroglena* の増加は、4月中旬頃から南湖を中心に認められたが、急速には増加しなかった。その後、5月に入ると各地点で増加が認められ、5月14日の調査時では、琵琶湖5地点において100群体/ml以上の*Uroglena* が計数された。また、5月17日にも各地点で増加が確認され3地点においては100群体/ml以上の増加となり、

北湖の一部水域では「淡水赤潮」の兆候が認められた。しかし、2001年は、5月中旬に一部水域において「淡水赤潮」の兆候が認められたものの、「淡水赤潮」の発生までには至らなかった。

#### 3. *Uroglena* の群体の形状

*Uroglena* 群体は、大型のものから小型のものまで様々であるため4段階に大きさを分けて計数した。図6に示すように*Uroglena* の群体の大きさは、*Uroglena* 増加の初期に100<sup>μ</sup>m以上の中型から大型のものが多く計数され、異常発生時期に入ると、100<sup>μ</sup>m以下の小型のものが80%以上を占めるようになった。そして、終息時期である6月中旬以降になると、群体数そのもの

は少なくなるものの、再び比較的大型の群体が増加する傾向が今回の調査結果においても認められた。特に、2000年の5月中旬～6月上旬にかけては小型の群体が多く計数された。

#### 4. 「淡水赤潮」の発生状況

表1に過去8年間の調査における「淡水赤潮」の発生日および発生場所を示した。1998年の発生状況は、湖面に「淡水赤潮」の兆候が認められたものの、荒天が断続的に続き「淡水赤潮」の発生には至らなかった。また、1999年は、琵琶湖南部および北湖南部水域において5日間5水域で「淡水赤潮」が確認された。2000年は、5月下旬に1日間2水域で「淡水赤潮」の形成が確認された。2001年は「淡水赤潮」の兆候が認められたものの発生には至らなかった。

次に1977～2001年の25年間における「淡水赤潮」の発生日数および経年変化を表2に示し、1980～2001年における「淡水赤潮」の発生経過を図7に示した。

この結果からみると「淡水赤潮」の発生状況は、1980年当時に比べると、近年は発生日数も発生水域数も減少傾向にあることが認められた。

#### 5. *Uroglena* 総群体数の経年変化

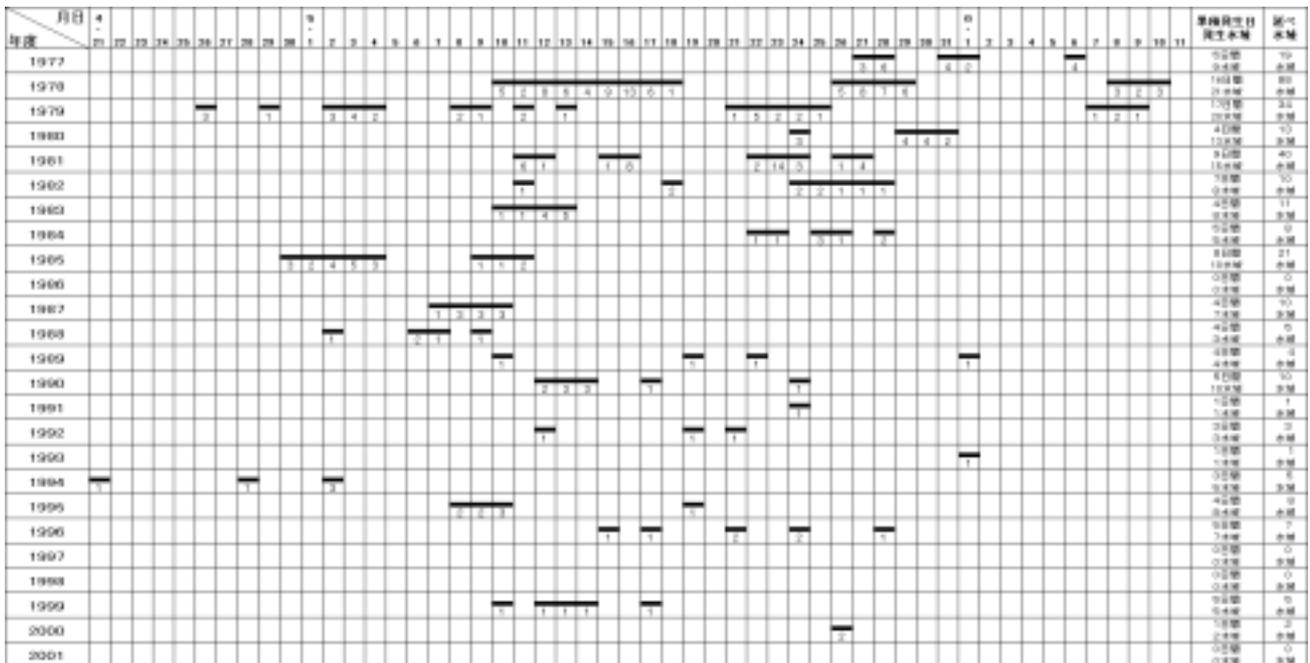
この22年間における *Uroglena* 総群体数（16地点10回、160検体の合計値）の年変動を図8に示した。

*Uroglena* 総群体数の分布が最も多かった年は1996年（10,000 群体/ml）であり、最も少なかった年は

表1 琵琶湖における淡水赤潮発生状況  
(1994 - 2001年)

年度	月日	発生場所	規模	群体数 (群体/ml)	透明度 (m)	水温 (℃)
1994	4/21	大津市琵琶湖文化館前	0.5-0.1km	640	1.0	19.5
	4/28	守山市今浜沖 0.5km	0.3-0.05km	655	2.0	15.7
	5/2	志賀町小野沖 2km	1.5-0.3km	317	0.9	16.9
		今津町今津沖 0.5km	0.3-0.2km	310	1.2	18.4
		大津市堅田沖 1km	2.0-0.5km	303	0.8	17.0
1995	5/8	多景島北沖 0.5km	0.5-0.5km	310	1.8	17.6
		彦根港入口沖	0.3-0.3km	500	1.1	18.8
	5/9	志賀町南比良沖 3.0km	2.0-0.5km	290	1.0	18.4
		志賀町蓬萊沖 4.0km	1.0-4.0km	340	1.1	17.8
		守山市木浜町沖 0.9km	2.0-0.1km	420	0.9	17.5
	5/10	守山市今浜町沖 0.3km	0.5-0.5km	480	1.0	18.7
		守山市今浜町北方沖 1.9km	0.5-0.5km	330	1.0	17.5
	5/19	安曇川沖中央水域	0.5-0.3km	290	0.8	16.2
1996	5/15	大津市比叡辻湖岸付近	0.05-0.03km	850	1.0	19.2
	5/17	大津市雄琴沖 1.5km	0.5-0.5km	840	0.7	17.9
	5/21	志賀町北小松沖 0.3km	2.0-4.0km	430	2.3	15.6
		志賀町南比良沖 5.0km	0.4-0.3km	730	1.2	16.3
	5/24	志賀町北比良～長命寺中央	3.0-2.0km	310	2.3	17.8
	5/28	高島町白鬚沖 1.0km	3.0-2.0km	3,300	1.0	21.3
		志賀町北小松沖 0.5km	0.3-0.3km	340	0.6	19.3
1997	淡水赤潮の発生無し					
1998	淡水赤潮の発生無し					
1999	5/10	大津市雄琴港内	0.2km-0.02km	1,200	-	22.5
	5/12	大津市大津港周辺	0.5km-0.2km	480	1.3	21.0
	5/13	志賀町木戸沖～和迎川河口沖	5km-0.3km	390	2.0	19.0
	5/14	大津市衣川沖（沖合約1.5km）	3km-2km	450	1.8	18.0
	5/17	志賀町比良沖（沖合約2km）	2km-1km	4,000	0.3	20.5
2000	5/26	大津市志賀町和迎川沖	0.3km-0.2km	330	1.4	20.0
	5/26	大津市新旭町藁園沖	2km-0.6km	460	2.0	17.4
2001	淡水赤潮の発生無し					

表2 琵琶湖における淡水赤潮の発生日数および発生水域数の経年変動



1986年（640 群体/ml）で約15倍の差が認められた。また、この期間中における平均値は3,600 群体/mlであった。これらの結果からみると、今回の調査期間中にお

ける *Uroglena* の総群体数は1998年で3,400 群体/ml、1999年で3,200 群体/ml、2000年で2,500 群体/ml、2001年で4,000 群体/mlであり、「淡水赤潮」発生の有

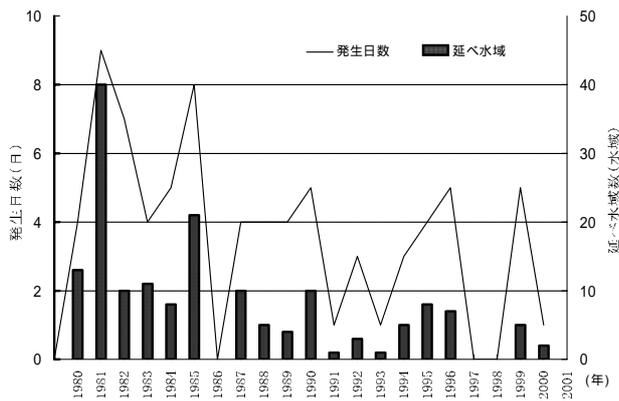
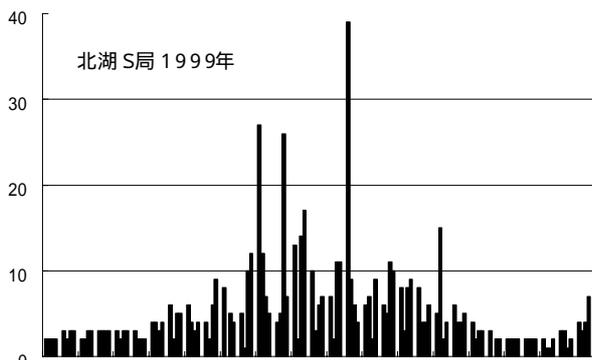
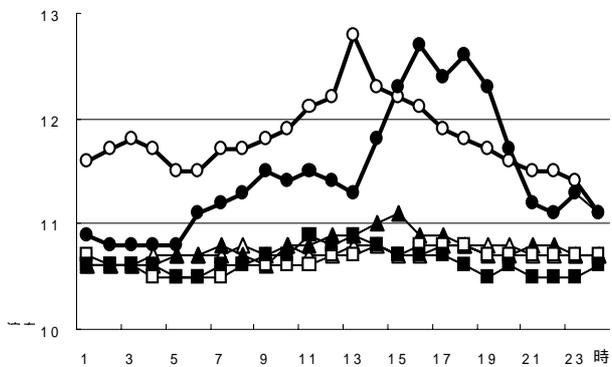


図7 琵琶湖における「淡水赤潮」の発生経過



5/1 5/3 5/5 5/7 5/9 5/11/13/15/17/19/21/23/25/27/29/31  
図9 琵琶湖北湖S局におけるクロロフィルa量の変化(1999年)



○ 1999/5/13 ● 1999/5/14 = *Uroglena*の増加時の変化  
△ 1999/5/6 ▲ 1999/5/7 = *Uroglena*の増加一週間前の変化  
□ 1999/5/21 ■ 1999/5/22 = *Uroglena*の増加一週間後の変化

図10 琵琶湖北湖S局における溶存酸素量の時間変化(1999年)

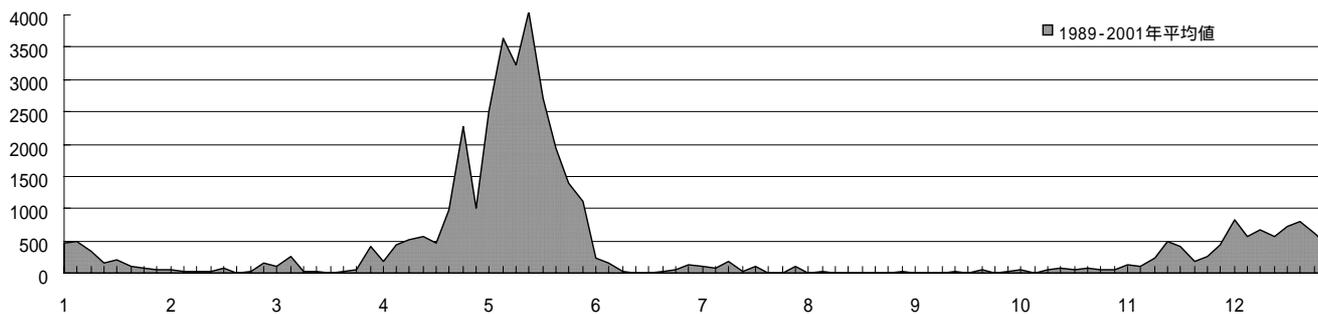
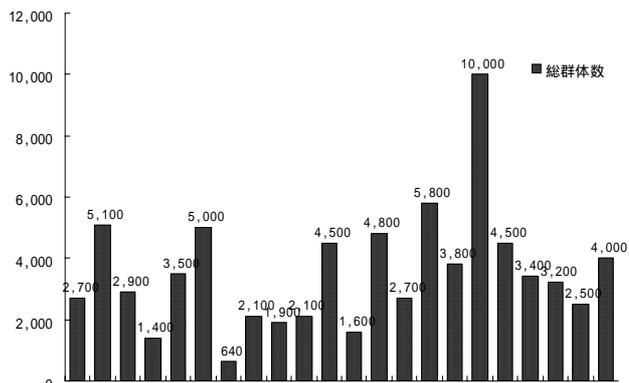


図11 瀬田川流心部における*Uroglena*の総細胞数の変化(1989-2001の平均値)



1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010  
図8 *Uroglena*の各年における総群数の変動(16地点10回の総群数)

無に拘わらず平均値程度の *Uroglena* が毎年計数されていたことが明らかになった。しかし、「淡水赤潮」の発生日数やその水域数は表2や図7に示したように、過去の発生に比べると少ない傾向が認められた。

### 6. 琵琶湖水質自動測定局結果の動向

*Uroglena* の増加時における琵琶湖北湖湖心部に設置している水質自動測定局(北湖S局:F地点)の各項目について一部検討を加えた。

今回の調査の中で、最も「淡水赤潮」の発生規模が大きかった年である1999年の琵琶湖北湖S局における測定結果を図9および図10に示した。

*Uroglena* 増加時における北湖S局のクロロフィルa量の変動(図9)をみると、5月7日からクロロフィルa量が増加傾向を示し、増減を繰り返しながらも3回にわたり20 $\mu$ g/L以上の高い濃度を観測した。

この *Uroglena* 増加時期におけるプランクトン調査結果から、この時期には *Uroglena* 以外の植物プランクトン量は非常に少なく、全体の90%以上が *Uroglena* によって占められていたことを確認した。その後、増減を繰り返しながらも5月下旬まで増加が続いたことが推察された。また、この増加期間中における時間的な溶存酸素量の変化を図10に示した。*Uroglena* が増加する1週間前の5月6~7日における溶存酸素量の変化は、昼夜関係なく10.8mg/L程度で一定で推移したが、クロロフィルa量が20 $\mu$ g/L以上となった5月13~14日には夜間は低く推移するものの、昼間の13~19時にかけて12.5mg/L以上にまで急上昇した。また、1週

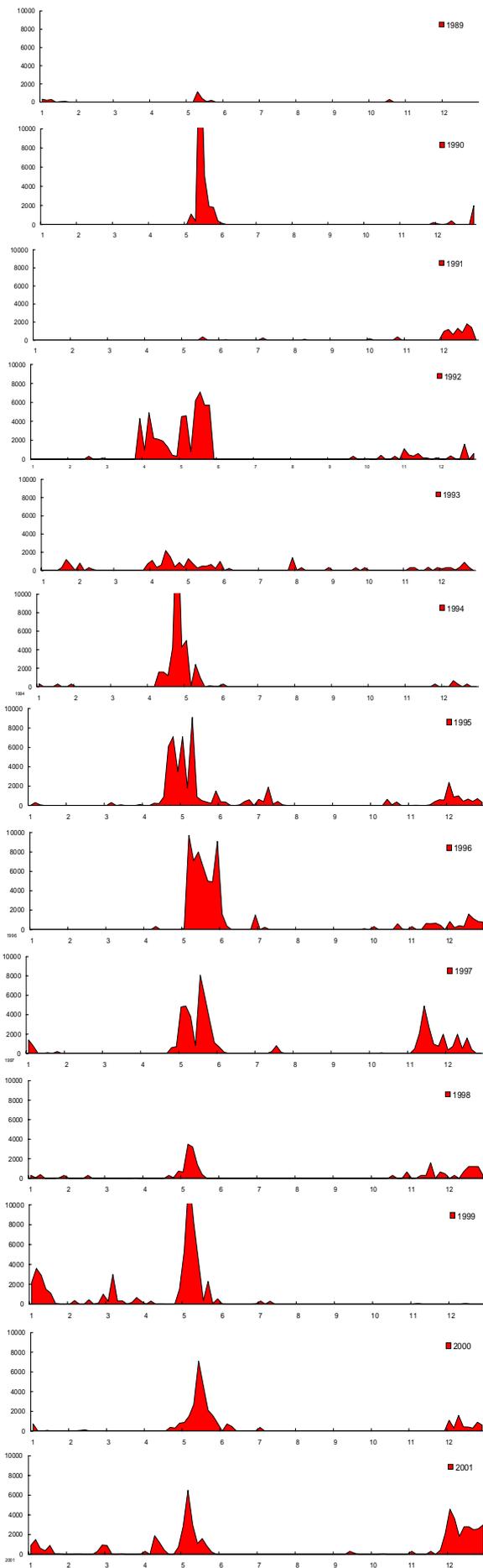


図 12 瀬田川流心部における *Uroglena* の変化 (1989-2001年)

間後の 5 月 21 ~ 22 日には、再び昼夜に関係なく 10.8mg/L 程度で一定の値で推移することが窺えた。

このように *Uroglena* によるプランクトンの異常発生時における溶存酸素量の変動は、夜間は *Uroglena* 自身による呼吸作用によって消費され低下するが、日中の午後からは、光合成に伴う炭酸同化作用が活発化することにより上昇し、夕方からは再び減少傾向を示すような規則正しい日周変化を示すことが明らかとなった。また、*Uroglena* の発生が大きい程その変動幅が大きくなる傾向も今回の調査で認められた。

### 7. 瀬田川流心部における *Uroglena* の消長

我々は、琵琶湖水が流出していく瀬田川（瀬田唐橋流心部）においてプランクトン調査を過去 20 年間以上にわたり週 2 回の頻度で実施している。今回、1989 年（平成元年）からの 13 年間の調査結果について *Uroglena* の総細胞数を抽出し 図 11 に示した。*Uroglena* の平均的な総細胞数の変動をみると *Uroglena* の増加は、1 ~ 3 月の期間中は少なく推移するものの、毎年 4 月頃から徐々に増加が認められ、5 月には増減を繰り返しながらも 3,000 細胞/ml 以上にまで増加した。その後、6 月に入ると水温の上昇とともに減少していく傾向が毎年認められた。

図 12 に各年別に *Uroglena* の経日変化を示した。1989 年や 1991 年のように *Uroglena* の増加期に入っても増加が認められない年と、1994 ~ 1996 年のように 10,000 細胞/ml 程度の大きな増加があった年が認められた。また、11 ~ 1 月の水温の低い季節にも *Uroglena* が多く計数される年も近年は認められている。

次に、各年における *Uroglena* の出現回数を 図 13 に示した。1989 年は 96 回の調査回数中に 10 回 *Uroglena* が確認され、1990 年は 12 回 / 96 回と少なかった。しかし、1993 年や 1995 年では 47 回 / 96 回と特に出現回数が多かった。

全体的な傾向をみると 図 13 に示したように、*Uroglena* は徐々に増加傾向にあり、*Uroglena* の出現頻度は過去に比べ琵琶湖内では、長期間出現するようになったことが明らかとなった。このことは、*Uroglena* 自身が琵琶湖の水質変化に適応してきている可能性が窺えた。

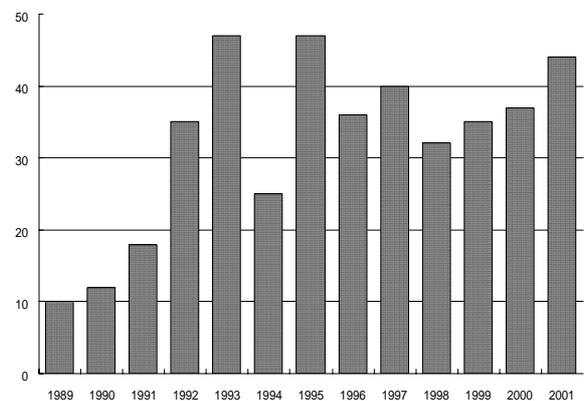


図 13 瀬田川流心部における *Uroglena* の出現回数

## 8. 主な気象状況

これまでの調査結果から、*Uroglena* は光に対して正の走行性を有し、晴天で風の穏やかな天候が続くと中層部に存在していた *Uroglena* も表層部に移動してくる。その表層水中に集まった *Uroglena* 群体が湖流や風などの物理的な影響を受け、一部の高温域に高密度に集積すると「淡水赤潮」を形成することが、これまでの調査から明らかとなってきている。ここでは、本期間中における気象状況と「淡水赤潮」の発生との関係について述べる。

### 8.1 1998年(平成10年)

*Uroglena* の増加期間中における彦根地方気象台、彦根局の気象月報のデータ<sup>12)</sup>から、日平均気温、降水量、平均風速、日照時間の推移について図14に示した。4月の気象状況は、短い周期で気圧の谷が通過したため、曇りや雨の降る日が多く、上旬や中旬にややまとまった雨が降った。下旬の後半には移動性の高気圧に覆われて暖かい晴れの日が続いた。4月の降水量は平年比148～202%とかなり多かった。5月は南海上に停滞していた前線や気圧の谷の通過により、曇りや雨の日が多く、40mm以上の大雨となる日もあった。降水量は平年比138～202%となり、かなり多かった。特に、5月11～13日には前線が活発化し、日照不足と多雨が顕著であり、「淡水赤潮」の兆候は認められたものの発生には至らなかった。

### 8.2 1999年(平成11年)

1999年における気象状況を図15に示した。4月上旬には日本海から寒冷前線が南下した後、上空に寒気が流れ込み、肌寒い日が続く「ひょう」や「あられ」が降る日があった。下旬は移動性高気圧に覆われて晴れが多

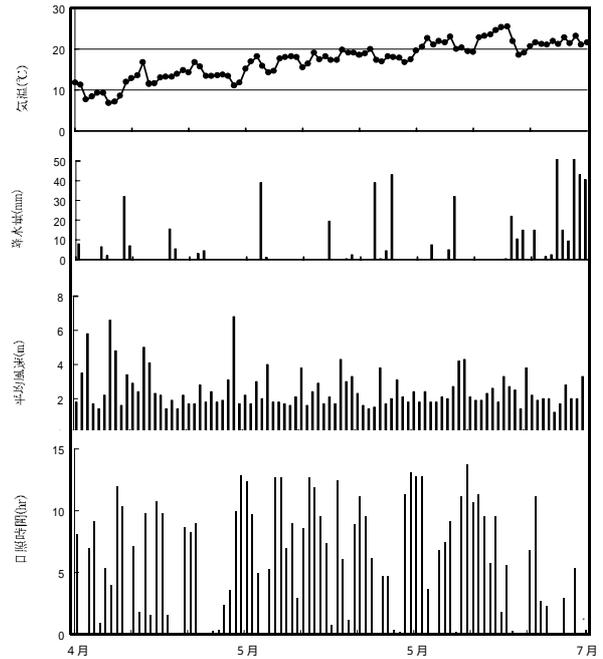


図15 1999年の気象状況(平成11年)

気温も高く推移したが、その後、上空にやや強い寒気が流れ込み、放射冷却現象により霜が降りる地域もあった。降水量は、平年比67～93%とやや少なかった。5月には移動性高気圧や帯状の高気圧に覆われて晴れる日が多く、気温も高く推移した。このため「淡水赤潮」の発生も起こしやすくなり、5月10～17日にかけて5日間5水域で発生が確認された。5月後半には発達した低気圧が通過したためまとまった雨が降った。しかし、5月全体としての降水量は平年比90～121%と平年並みであった。

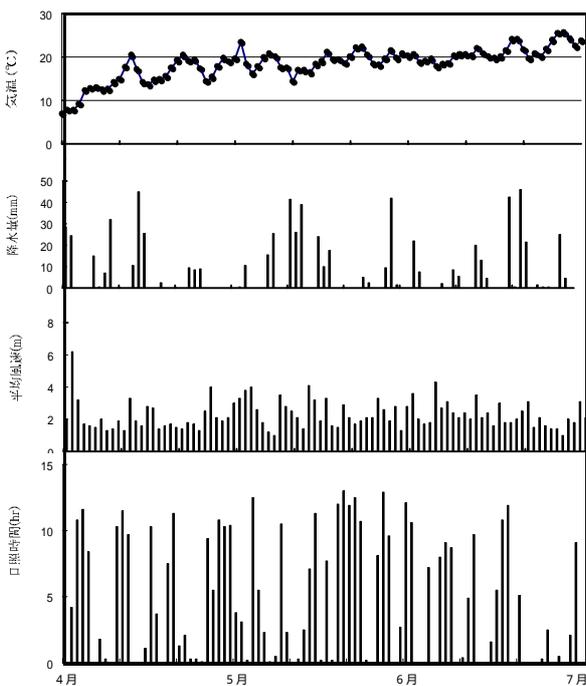


図14 1998年の気象状況(平成10年)

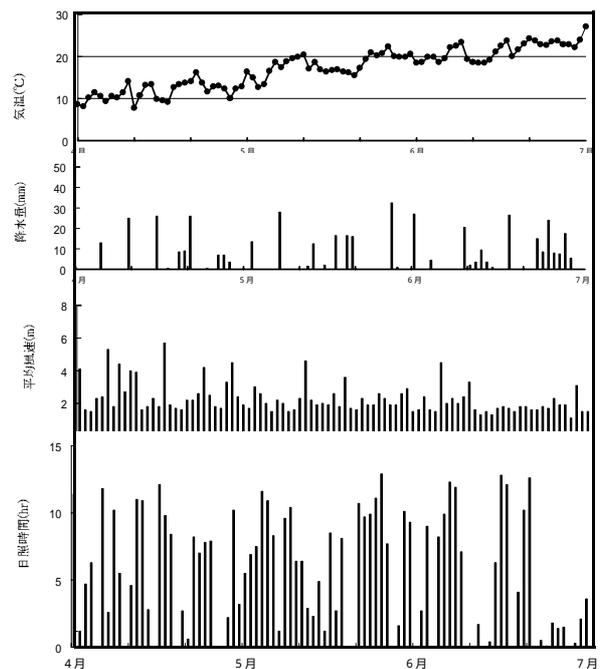


図16 2000年の気象状況(平成12年)

### 8.3 2000年（平成12年）

2000年における気象状況を図16に示した。4月の前半は周期的に変わり、移動性高気圧に覆われ晴れの日が多かった。4月の後半は、低気圧や前線の影響と上空の寒気が流れ込んだために曇りや雨の日が多かった。降水量は平年比64～107%とやや少なかった。5月上旬～中旬は、上空に寒気が入りやすく大気の状態が不安定になることが多く、所々で雷雨となった。5月下旬の前半は、移動性の高気圧に覆われて晴れの日が続いたため、5月26日には「淡水赤潮」の形成が2水域で認められた。また、降水量は平年比74～141%と平年並みかやや多かった。

### 8.4 2001年（平成13年）

2001年における気象状況を図17に示した。4月は帯状の高気圧に覆われて晴れる日が多く、彦根の降水量は平年の29%と少なかった。平均気温は平年より高く推移した。5月上旬や下旬には南岸を前線や低気圧が通過して、曇りや雨の日が多かったが、中旬は帯状の高気圧に覆われて、晴れで空気の乾燥した日が続いた。降水量は平年並みであった。

## 9. 「淡水赤潮」が認められなかった年との考察

*Uroglena* の増加による「淡水赤潮」の形成が引き起こされる要因について考察すると、まず、第1条件として、本種が水域に分布していること。第2条件として、風の穏やかな晴天の日が続くこと（本種は走光性で各細胞に光を感じる眼点を有する）。第3条件として、表層水温が上昇傾向を示し12～20に達していること（水温が高すぎても、低すぎても*Uroglena*の増殖が制限される）。第4条件である*Uroglena*の増加に必要な栄養塩類濃度が存在すること。第5条件としては、

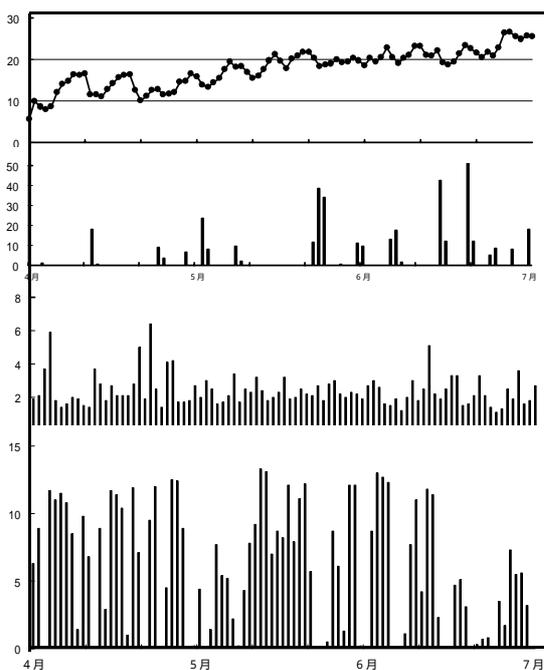


図17 2001年の気象状況(平成13年)

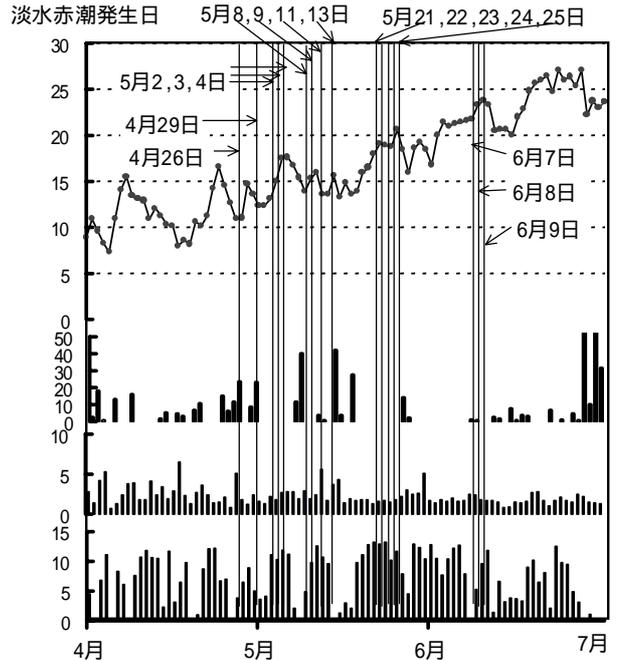


図18 淡水赤潮が大規模に発生した1979年の気象状況

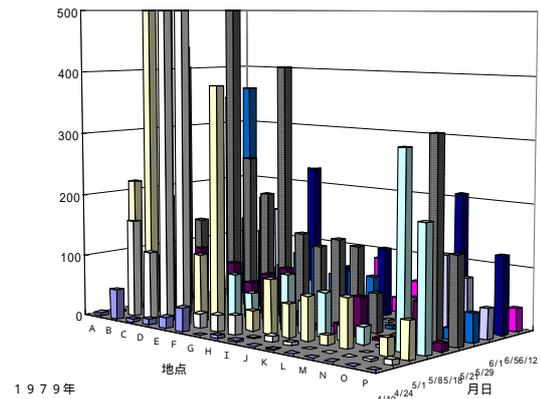


図19 琵琶湖における*Uroglena americana*のモニタリング調査結果(1979年)  
例: 「淡水赤潮」が大規模発生

*Uroglena* 以外に共存する植物プランクトン数が少ないことなどが考えられた。これらの要因について過去のデータも引用しながら検討した。過去に「淡水赤潮」が大規模に認められた年である1979年の*Uroglena*の気象状況を図18に示した。*Uroglena*増加時期である5月の気温は例年より上昇傾向を示し、日照時間も例年より多く、風の穏やかな晴天の日が長期間続いていたことが窺え、また、図19に示すように*Uroglena*の分布も琵琶湖の全地点で多く認められた。これに対し、「淡水赤潮」が一度も認められなかった1986年の気象状況を図20に示した。*Uroglena*の増加時期である5月の気温は、例年のような上昇傾向を示さず比較的低温で推移し、日照時間も少なく、雨天や曇天の日が多かったことが認められた。また、図21に示したように*Uroglena*の各地点における分布状況をみても調査期間中に*Uroglena*は50群体/ml以上に増加する地点はなく、最高値でも、

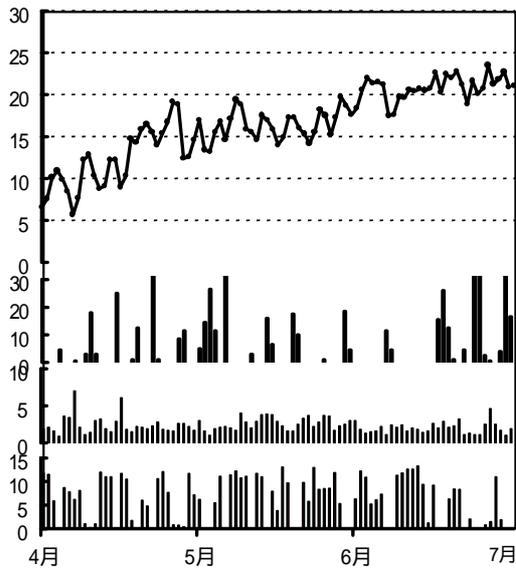


図 2 0 淡水赤潮が発生しなかった1986年の気象状況

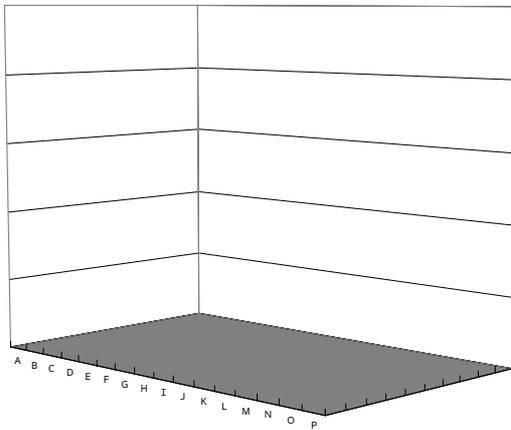


図 2 1 .琵琶湖における *Uroglena americana* のモニタリング調査結果(1986年)  
例：「淡水赤潮」が未発生

46 群体/ml (琵琶湖大橋北部) であり、年間を通じて *Uroglena* の増加が少なかったことが推察された。

今回の調査において、「淡水赤潮」の発生が認められなかった 1998 年および 2001 年の *Uroglena* の分布を 図 2 および 図 5 に示したが、この 2 年間の調査結果をみると、やや小型の *Uroglena* 群体が多かったものの、琵琶湖全域で広範囲に分布が認められており、「淡水赤潮」の兆候も一部水域では認められたことから、1998 年および 2001 年は「淡水赤潮」の第 1 条件と第 3 条件は満たしていたと考えられた。次に第 4 条件である栄養塩類等について調べた結果を 図 22 に示した。「淡水赤潮」が発生した年としなかった年の 4 ~ 5 月における水質調査結果を比較した結果、水中の栄養塩類である硝酸態窒素や全リンについては、季節的な変動は認められるものの、各年ともに同程度の栄養塩類が存在しており、特に「淡水赤潮」発生との有意な差は認められなかった。

次に第 5 条件である、他の植物プランクトン量との

関係についても検討した。琵琶湖北湖中央部 (M) におけるクロロフィル a 量の変化をみると、1999 年のクロロフィル a 量が他の年に比べやや低く推移した。また、*Uroglena* 以外の植物プランクトンの総細胞容積量の変動について 図 23 に示した。総細胞容積量の計算方法については前所報 35 集<sup>13)</sup> に詳細に記載しているためここでは省略する。「淡水赤潮」が発生した年の 4 ~ 6 月における *Uroglena* 以外の植物プランクトン量についてみると、総細胞容積量は毎年比較的少く推移していた。しかし、「淡水赤潮」が発生しなかった年である 1998 年には、*Uroglena* の増加前から *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* (写真 4) や *Closterium*



写真4 *Staurostrum dorsidentiferum*  
var. *ornatum* (×40)

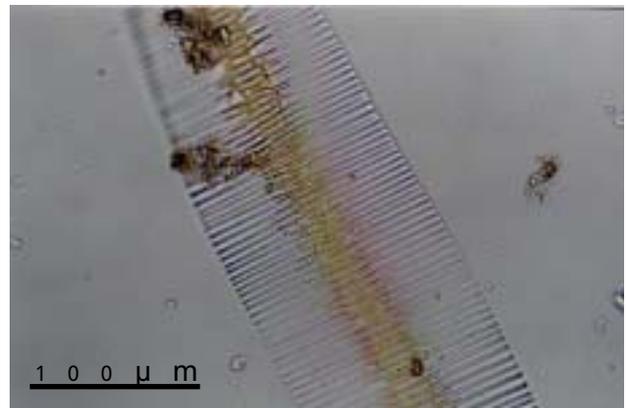


写真6 *Fragilaria crotonensis* (×100)

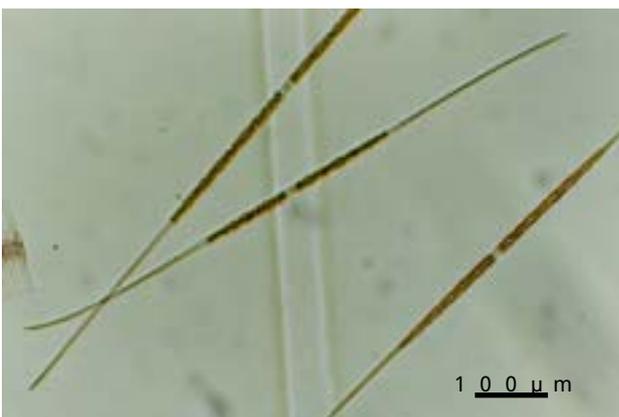


写真5 *Closterium aciculare* var. *subpronum*  
(×40)

*aciculare* var. *subpronum* (写真5) などの大型緑藻類が例年より多く分布しており、また、2001年においても大型珪藻に属する *Fragilaria crotonensis* (写真6) が *Uroglena* の発生前から比較的多く分布していたことから、本種類によって *Uroglena* の増加が競争関係等により制御される可能性があることが推察された。

これらの結果から1998年や2001年に淡水赤潮の形成が認められなかった最も大きな原因としては、第2条件である5月の集積時に寒気等の流入等により荒天の日が続き、物理的な集積条件、とりわけ風の穏やかな晴天の日が近年は続かなかったことが推察された。また、*Uroglena* 以外の植物プランクトンが発生前に多く分布している時には、競争関係により *Uroglena* の増加が制御される可能性も推察された。

#### まとめ

琵琶湖における「淡水赤潮」の発生規模は1986年以降、徐々に小規模になる傾向が認められていたが、原因プランクトンである *Uroglena* の分布は比較的広く分布していた。この *Uroglena* が多く分布しているにも拘わらず「淡水赤潮」が発生しなくなった原因としては、*Uroglena* の増加時期に「淡水赤潮」形成のための物理的な集積条件が整わなかったことが最も大きな要因であることが推察され、更に *Uroglena* 自身の出現回数が多くなってきていることから、琵琶湖に定着し適応してきている可能性も推察された。また、*Uroglena* の増加が

抑えられる原因としては、*Uroglena* の増加前に、*Uroglena* と共存する他の植物プランクトン種との競争関係も *Uroglena* の増加に関わっていることなども今回の調査で明らかとなった。

#### 謝辞

*Uroglena* によるプランクトン異常発生期間中の湖上の監視および情報収集に大変ご協力下さいました滋賀県環境政策課をはじめ水産課、琵琶湖研究所等、関係機関各位に心から謝意を表します。

#### 引用文献

- 1) 若林徹哉：滋賀衛環セ所報，13,163-164 (1977)
- 2) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，14,141-145 (1978)
- 3) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，15,150-158 (1979)
- 4) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，19,126-135 (1984)
- 5) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，21,167-174 (1986)
- 6) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，24,59-67 (1989)
- 7) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，28,118-130 (1993)
- 8) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，33,27-39 (1998)
- 9) 一瀬 諭，若林徹哉，山中直，藤田亜紀子：日本水環境学会年会，32,97(1998)
- 10) 一瀬 諭，若林徹哉，加賀爪敏明：第 67 回 日本陸水学会，67,p152(2002)
- 11) J I S 標準色票：日本色彩社，24-31
- 12) 日本気象協会：滋賀県気象月報(1980-2001)
- 13) 一瀬 諭，若林徹哉：滋賀衛環セ所報，35,27-39 (2000)