

XI. プランクトン調査

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 (2002~2005年度)

吉田美紀・古田世子・若林徹哉・一瀬諭・青木茂

要約

琵琶湖では1977年から、ほぼ毎年のように淡水赤潮が発生しており、当センターでは原因プランクトンである *Uroglena americana* のモニタリングを20年間以上継続して実施している。今回、2002~2005年までの結果を中心にとりまとめたところ、琵琶湖における赤潮の発生規模は徐々に小規模になる傾向にあり、4~6月における *Uroglena americana* の分布も1990年代は比較的多くみられたが近年は減少傾向にあった。また、淡水赤潮の発生には気象条件の他に共存する他の植物プランクトンの増減が大きく影響していると考えられた。さらに、瀬田川流深部では、冬季における *Uroglena americana* の細胞数が増加するなど季節ごとの出現パターンに変化がみられ、*Uroglena americana* が増殖できる水温が広範囲化していることが推察された。

1. はじめに

琵琶湖では1977年から、ほぼ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管理課と合同で継続的に実施しており、2001年までの結果については、既に所報や学会等により報告してきた(一瀬, 2002)。今回は2002~2005年の調査結果を中心にとりまとめたので報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点および項目

モニタリング調査期間は *Uroglena* の大発生が認められる4~6月とし、週2回(雨天以外)実施した。調査地点は図1に示すとおり、南湖3地点(A~C)、北湖13地点(D~P)である。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。

調査項目は、水温、透明度、溶存酸素、色相などの現場測定項目と、*Uroglena* の群体数、群体の

大きさおよび赤潮発生時においてはその規模等である。

また、水質および他のプランクトン種のデータは、当センターで実施している定期調査の結果を用いた。さらに、琵琶湖水が流出していく瀬田川については、瀬田唐橋流心部において週2回の頻度でプランクトン調査を行っており、そのデータについても一部検討を加えた。



図1 採水地点

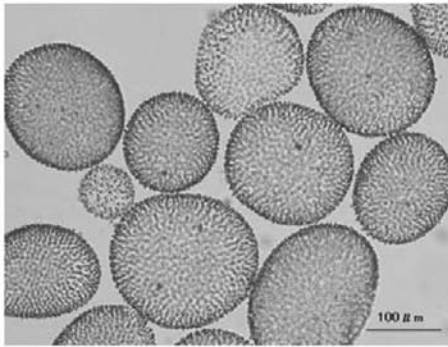


写真1 *Uroglena*の群体 (×100)
(グラビア 10 頁参照)

2. 2 *Uroglena*の計数方法

淡水赤潮発生水域の湖水は、採水後数時間で*Uroglena*の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。

写真1に示すように、*Uroglena*は球状または楕円状の群体を形成し、その大きさは50μm程度の小型の群体から、300μm以上の大型の群体まで様々である。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。

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

なお、淡水赤潮の発生の判断は、透明度や色相のデータと*Uroglena*群体数を次式で中群体に換算し300群体/ml以上となる場合に、県環境管理課と協議を行い決定した。

表1 *Uroglena*の計数方法

	大群体	中群体	小群体	微小群体
群体の直径(μm)	250以上	100~250	50~100	50以下
平均細胞数 Cells/colony (細胞数換算値)	800	300	60	細胞数を直接計数

$$\text{中群体換算値} = \{ (\text{大群体数} \times 800) + (\text{中群体数} \times 300) + (\text{小群体数} \times 60) + \text{微小群体細胞数} \} / 300 \text{ (cells/colonys)}$$

3. 調査結果および考察

3. 1 *Uroglena*の各年の分布状況

*Uroglena*の例年の増殖は、4月下旬頃に水深の浅い南湖から始まり、その後、分布は北湖へと拡大し、5~6月にかけて琵琶湖全域で分布が認められ、*Uroglena*が集積した水域では湖面が茶褐色に着色し赤潮を形成した。本種は6月に入ると減少傾向を示し6月下旬には消滅していく消長を繰り返していた。

2002年における*Uroglena*の分布調査結果を図2に示した。*Uroglena*増加は例年並みの4月下旬に南湖から始まり、5月14日の調査時には北湖へと広がりを見せ、5月28日に北湖南比良沖中央付近で淡水赤潮の兆候が認められたが、その後、減少傾向となり淡水赤潮の発生には至らなかった。

2003年は図3に示したとおり、4月下旬から南湖と北湖で同時に*Uroglena*の増加傾向が認められ、その後、琵琶湖全域で急増し、5月16日には南湖野洲川沖でその年最初の淡水赤潮の形成が認められた。さらに、志賀町北小松など数地点で淡水赤潮が発生し、5月20日の分布調査では全地点で*Uroglena*を観測し、16地点中13地点で100群体/ml以上を確認するなど琵琶湖全域で増殖し、

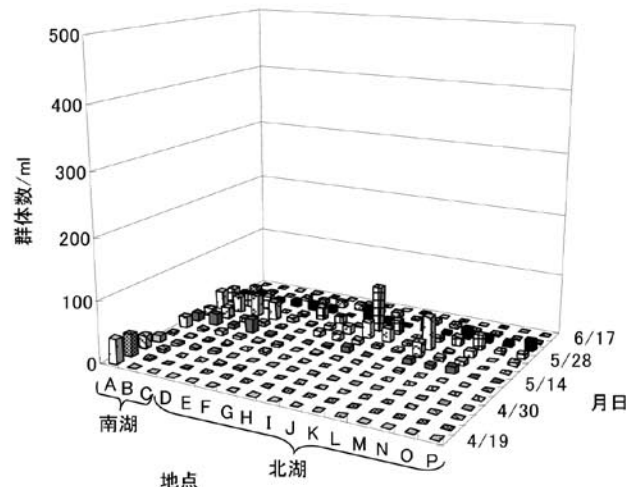


図2 *Uroglena*のモニタリング調査結果(2002年)
(グラビア 10 頁参照)

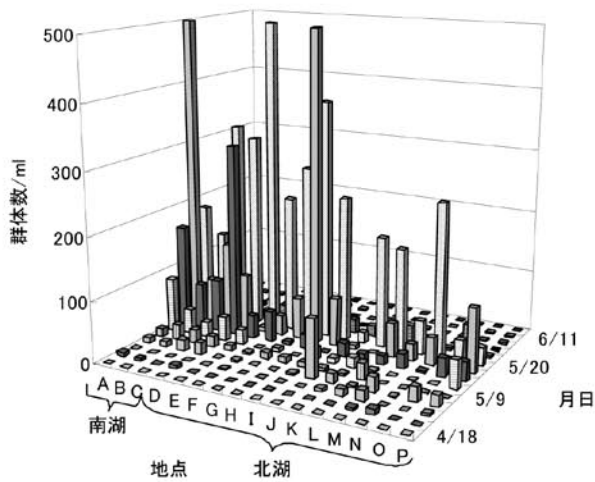


図3 Uroglenaのモニタリング調査結果(2003年)
(グラビア 10 頁参照)

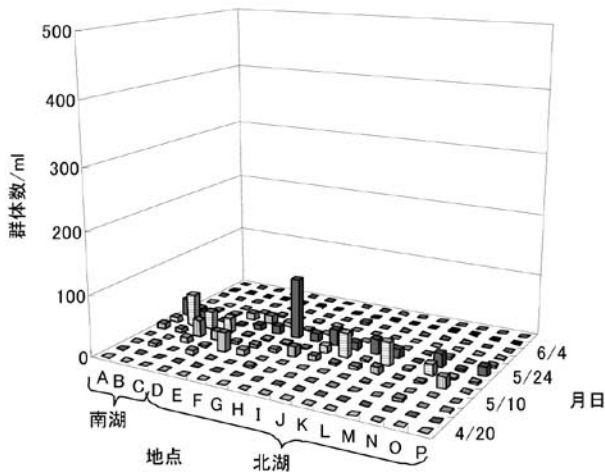


図4 Uroglenaのモニタリング調査結果(2004年)
(グラビア 10 頁参照)

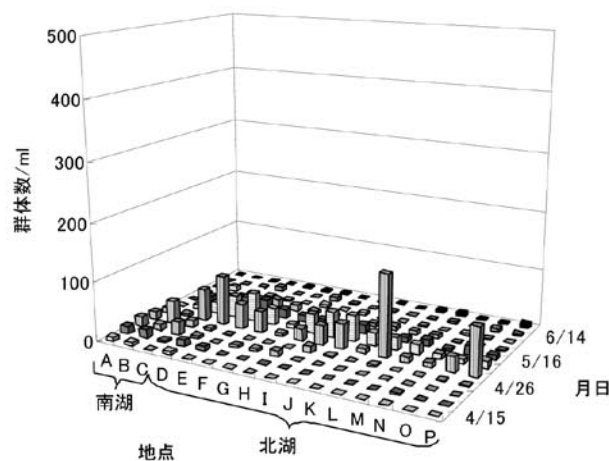


図5 Uroglenaのモニタリング調査結果(2005年)
(グラビア 10 頁参照)

少し集積が起こればどの水域においても淡水赤潮になり得る状態であった。近年には珍しく、4日間10水域と大規模な淡水赤潮の発生に至った。

図4に2004年におけるUroglenaの分布調査結果を示した。4月には殆どの地点でUroglenaは確認されなかったが、5月下旬には各地点で増加が認められ、5月24日に北小松沖で淡水赤潮の兆候が認められたが発生には至らなかった。

2005年は図5に示したとおり、Uroglenaの増加は4月中旬から南湖を中心に認められ、5月9日に北湖の高島市今津沖で淡水赤潮が発生した。その後、Uroglenaは減少し50群体/ml以上に増加した地点は確認されなかった。

3.2 淡水赤潮の経年の発生状況

表2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。2002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、発生には至らなかった。また、2003年は南湖、北湖南部水域および北部水域において4日間10水域(延べ15水域)で淡水赤潮が確認された。2004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。2005年は、5月上旬に1日間1水域で淡水赤潮の形成が確認された。

1977年から2005年までの淡水赤潮の発生日数および発生水域数の経年変化を図6に示した。淡水赤潮の発生状況は1980年頃に比べると近年は発生日数および発生水域数ともに減少傾向にあり、

表2 琵琶湖における淡水赤潮発生状況

年度	月日	発生場所	規模	群体数 (群体数/ml)	透明度 (m)	水温 (°C)
1998						
淡水赤潮の発生無し						
	5/10	大津市菟塚港内	0.2km × 0.2km	1200	—	22.5
	5/12	大津市大津港南辺	0.5km × 0.2km	490	1.3	21.0
	5/13	大津市志賀町木戸津～船渡川河口沖	5km × 0.3km	390	2.0	19.0
	5/14	大津市衣川沖～比叡辻沖(沖合約1.5km)	3km × 2km	450	1.8	18.0
	5/17	大津市志賀町比良沖(沖合約2km)	2km × 1km	4000	0.3	20.5
	5/26	大津市志賀町相渡川沖	0.3km × 0.2km	330	1.4	20.0
	5/26	大津市新旭町裏園沖	2km × 0.6km	460	2.0	17.4
2001						
淡水赤潮の発生無し						
2002						
淡水赤潮の発生無し						
	5/16	守山市・野洲町野洲川沖	0.3km × 0.3km	310	1.5	15
		志賀町南比良～北小松沖 琵琶湖中央部	2km × 1km	1400	0.8	17.2
		志賀町近江舞子～北小松沖	3km × 1km	2400	1.8	18.5
		志賀町北小松沖 琵琶湖中央部	2km × 1km	1200	1.6	18.0
		彦根市愛知川沖	5km × 4km	970	0.6	20.5
		野洲町野洲川沖(志賀町舟出川沖)	2km × 1km	660	1.6	18.3
		浜大津港内	0.5km × 0.5km	1600	1	19.0
	5/19	大津市大宮川～天神川沖	4km × 0.5km	1200	0.4	18.3
		びわ町跡川沖	0.3km × 1km	940	—	18.0
		びわ町竹生島西側	0.3km × 1km	1300	—	18.2
		マキノ町知内川沖	0.3km × 1km	1100	—	17.2
		志賀町近江舞子沖	5km × 2km	640	1.4	18.3
		近江八幡市沖島西側	4km × 2km	530	2.5	18.3
		長浜市長浜沖	1km × 1.5km	250	1.5	19.7
	5/23	野洲町野洲川河口沖	1.5km × 0.5km	380	0.8	19.0
2004						
淡水赤潮の発生無し						
2005						
	5/9	高島市今津沖沖約800m	0.1km × 0.1km	580	1.2	15.6

特に1996年以降の10年間では、5カ年で赤潮の発生が認められなかった。

また、1980年から2005年までの*Uroglena*総群体数(16地点10回、160検体の合計値)の年変動を図7に示した。*Uroglena*総群体数の分布が最も多かった年は1996年(10000群体)であり、最も少なかった年は1986年と2004年(640群体)であった。2000年以降は、1990年代に比べて減少傾向にあり、1990年代は赤潮の発生が認められなくても琵琶湖全域に多く*Uroglena*が分布していたが、2000年以降は赤潮発生時期における*Uroglena*の存在量が減少していることが示唆された。

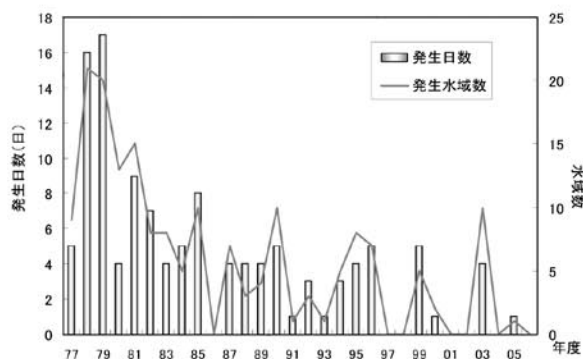


図6 琵琶湖における淡水赤潮の発生経過

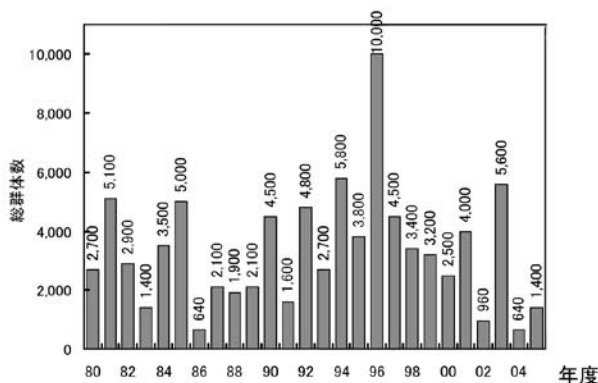


図7 *Uroglena* 総群体数の経年変化

(総群体数：モニタリング16地点10回、160検体の合計値)

3.3 瀬田川流心部における*Uroglena*の経年変動

当センターでは、琵琶湖水が流出していく瀬田川(瀬田唐橋流深部)においてプランクトン調査を週2回の頻度で実施している。今回、1986年から2005年までの20年間の調査結果から*Uroglena*について各年に計数された細胞数と出現回数の積算結果を図8に示した。年間96回の調査回数中に*Uroglena*が確認された出現回数は1980年後半に比べ1990年代以降の方が多かった。また、積算細胞数は1980年後半から1990年後半にかけて若干の増加傾向にあり、2000年以降は横ばい傾向であった。さらに、季節ごとの変動を図9に示したところ、夏季と冬季に出現回数の変動がみられた。夏季においては、1986年から1990年までは全く出現しなかったのに対し、1991年以降は平均3回の出現が認められた。また、冬季の出現回数は増加傾向を示し、2005年は春季よりも多く出現した。総細胞数の季節変動は図10に示したとおりで春季が最も多く若干の増加傾向にあるが、近年は秋季にも*Uroglena*が多く計数されるようになり、1980年後半に比べ増加傾向にあった。冬季においても*Uroglena*細胞が多く計数されるようになった。

このように近年、夏季および冬季の*Uroglena*出現回数の増加や冬期における*Uroglena*総細胞数の増加傾向など、季節ごとの出現パターンに変化がみられることから、*Uroglena*が増殖できる水温が広範囲化していることが推察された。

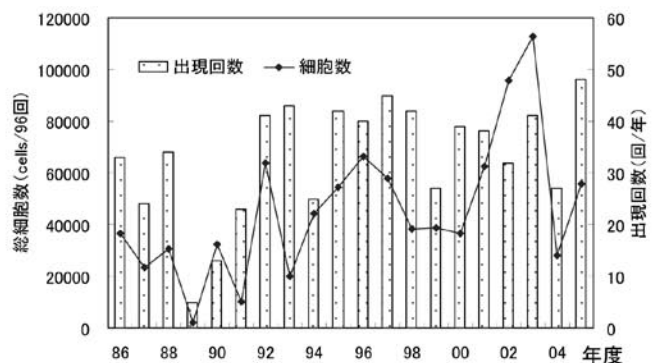


図8 瀬田川流心部における*Uroglena*総細胞数と出現回数

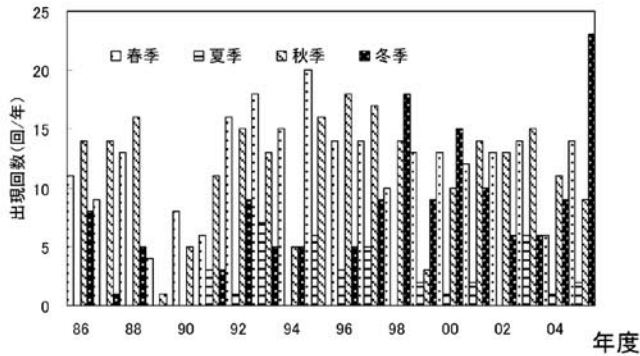


図9 瀬田川流心部における *Uroglena* 出現回数
の季節変動

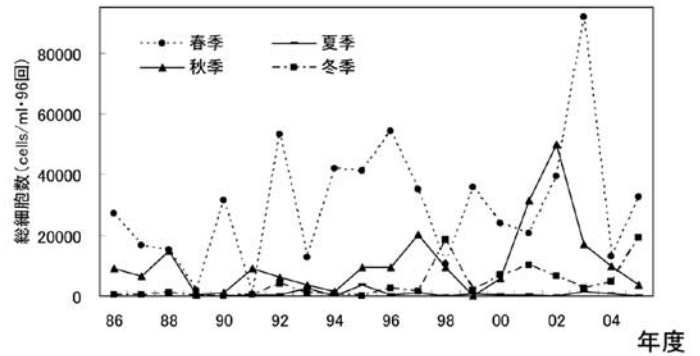


図10 瀬田川流心部における *Uroglena* 総細胞数
季節変動

3. 4 淡水赤潮が認められなかった年の考察

3. 4. 1 淡水赤潮形成要因

Uroglena の増加による淡水赤潮の形成が引き起こされる主な要因については、一瀬ら(2002)が報告しているとおり、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層傾向を示し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条件として *Uroglena* の増加に必要な濃度の栄養塩類が存在すること、第5条件としては *Uroglena* 意外に共存する植物プランクトン数が少ないことが挙げられる。

2002~2005年について図2~5で示したとおり、増殖時期や細胞数については差がみられるものの、全ての年で第1条件を満たしていると考えられた。そこで、第2~5条件について次のとおり検討を行った。

3. 4. 2 各年の気象状況と水温の変動

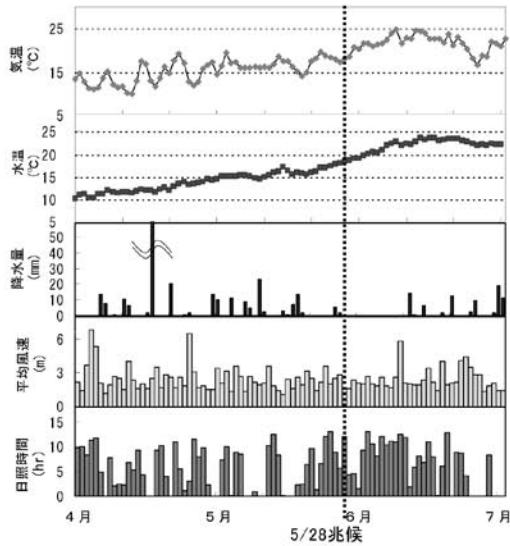
第2~3条件について検討するため、各年の *Uroglena* の増殖期間中における日平均水温(水質自動測定局北湖S局(F地点))および彦根地方気象台彦根局の気象月報のデータから日平均気温、降水量、平均風速、日照時間について図11に示した。2002年の気象状況は、4~5月上旬まで気温の高

温傾向がみられ、水温も高めに推移した。4月は短い周期で変化し、下旬には低気圧の影響でまとまった雨が降った。5月は中旬頃までは前線や低気圧の影響で曇や雨の降る日が多かったが、まとまった降水はなかった。5月26~27日にかけて雷雨となったが、28日には淡水赤潮の兆候がみとめられた。その後、6月上旬にかけて高気圧に覆われ晴れる日が多かったが、淡水赤潮の発生には至らなかった。

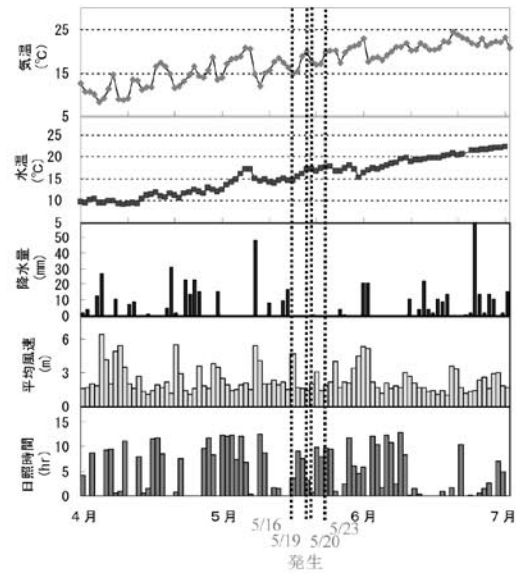
2003年4月は低気圧や前線の影響で曇や雨の日が多く降水量は平年比149%であったが、5月は高気圧に覆われて晴れる日が多く、月平均気温も平年に比べて高かった。晴天が続き水温が15~18℃に上昇傾向にあった中頃に淡水赤潮の大発生が確認された。その後、低気圧の通過による降雨のため *Uroglena* は急減したと考えられた。

2004年4月は高気圧に覆われ晴れる日が多く、気温・水温ともに平年比べて高かった。5月は20日頃まで低気圧と活発な前線の影響で降水量が多かった。5月下旬は一時的に天候が回復し、24日に淡水赤潮の兆候がみられたが、末の前線の停滞により発生には至らなかったと考えられた。

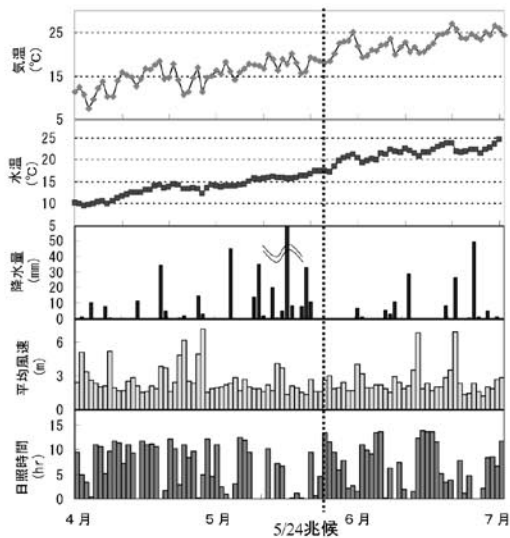
2005年4月は、10mmを超える雨が数日あったものの、晴れる日が多かった。5月は1と7日に30mm程度の大雨となったが、直後の9日に淡水赤潮の発生が確認された。その後は晴天が多かったが、*Uroglena* の増加はみられず次第に減少した。



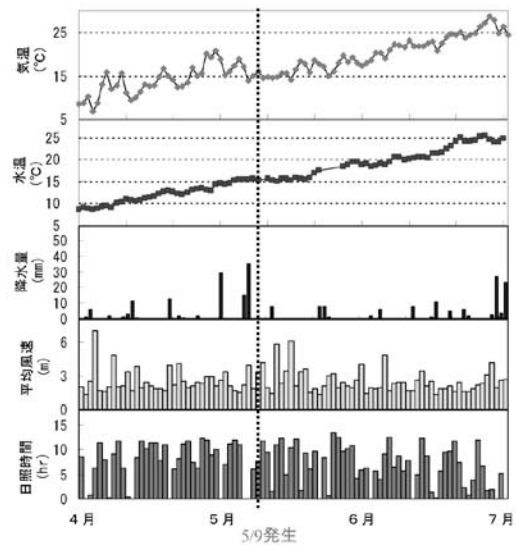
2002 年度



2003 年度



2004 年度



2005 年度

図 11 2002 年から 2005 年における気象状況と水温の変動

3. 5 琵琶湖水質の変動

次に、第 4 条件に掲げた栄養塩類濃度について、当センターで実施している定期調査結果の琵琶湖北湖平均を図 12 に示した。全窒素は 2002 年が他の年と比べて低く推移しているが、これは 2001 年冬季から 2002 年夏季にかけて流域降水量が少なく窒素の流入負荷が減少したこと、2002 年の 1～3 月の循環期に大型緑藻が優占し粒子態のまま沈降したことが要因と考えられている（岡本ら、

2003）。また、2005 年 5 月のクロロフィル-a が 13.8mg/l と高い値であるが、これは調査日に淡水赤潮が発生するなど *Uroglena* が琵琶湖全域に多く分布していた影響と考えられた。その他の項目については、各年ともに同程度の濃度であり、特に淡水赤潮発生との有意な差は認められず、毎年 *Uroglena* の増加に必要な栄養塩類は存在していたと考えられた。

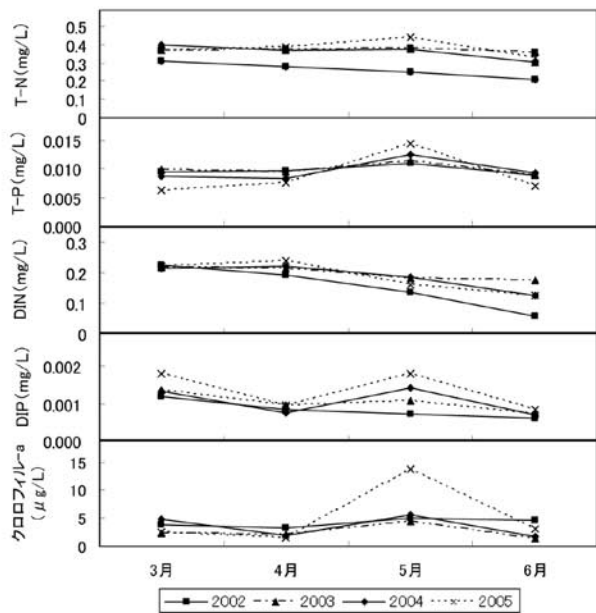


図 12 琵琶湖北湖における水質の変動

3.6 *Uroglena* 以外の植物プランクトンの状況

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検討した。琵琶湖北湖西岸 (L 地点) における、*Uroglena* 以外の植物プランクトンの総細胞容積を求め図 13 に示した。*Uroglena* 増殖時期である 4~6 月をみると、淡水赤潮が大規模に発生した 2003 年は他の植物プランクトン総細胞容積は非常に少なく推移した。また、淡水赤潮の発生がなかった 2004 年も他の植物プランクトン細胞容積量は少なかった。一方、両年に比べ 2002 年と 2005 年は細胞容積が多い傾向にあった。プランクトンの種類について図 14 に示したように 2002 年は、*Uroglena* の増加前から *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* などの大型緑藻が増殖し総細胞容積の約 80% を占め、その後は *Closterium aciculare* var. *subprorum* が急増して優占種となった。1 水域で淡水赤潮の発生が認め

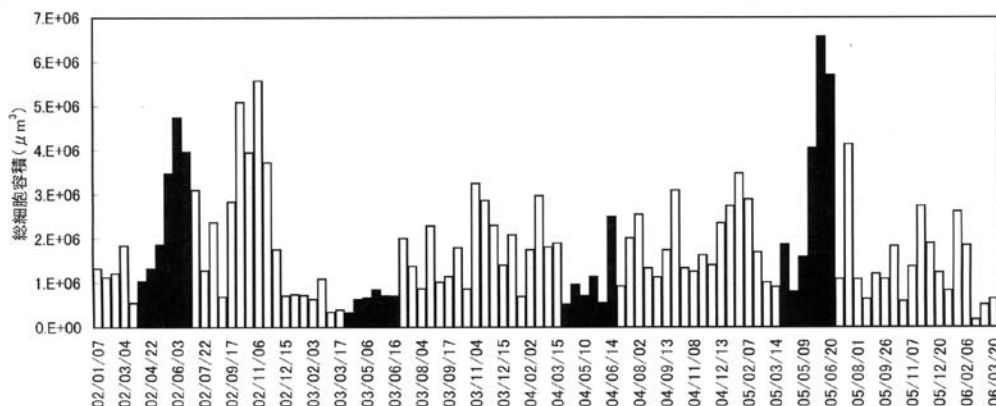


図 13 琵琶湖北湖今津沖における *Uroglena* 以外の総細胞容積の変動

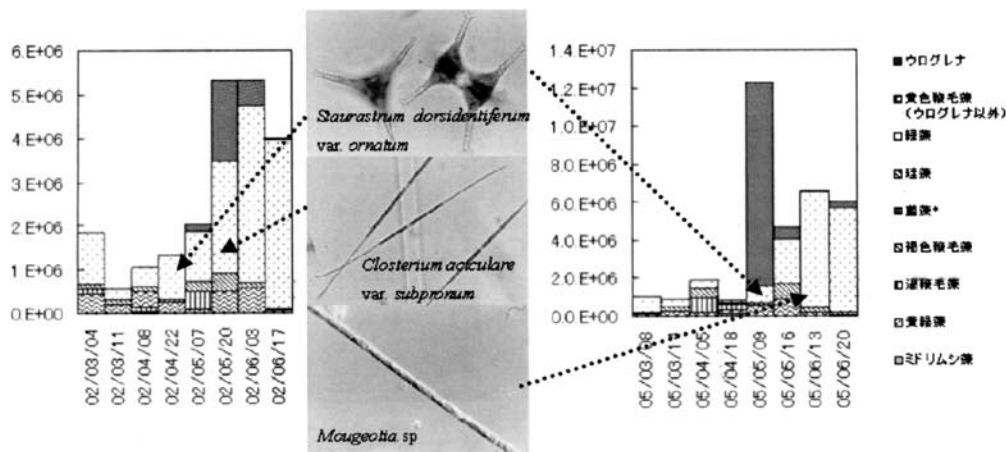


図 14 琵琶湖北湖今津沖における 2002 年および 2005 年 3~6 月における植物プランクトン種の変動 (グラビア 10 頁参照)

られた2005年は、5月9日頃に *Uroglena* が琵琶湖全域で優占し、細胞容積は全体の87%を占めていたが、同時期に *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum*が増加し始め5月16日には優占種となり全体の40%を占め、その後 *Mougeotia*. sp が急増し、緑藻の細胞容積が全体90%以上を占めた。

以上の結果から、淡水赤潮が発生しなかった2002年は、例年に比べ日照時間が少なかったことに加え、*Uroglena* の増殖時期に緑藻が急増したため *Uroglena* の増加が抑制されたと考えられた。2004年に淡水赤潮が発生に至らなかった主要因は、5月に平年の約2倍の降水量であると考えられた。また、淡水赤潮の発生がみとめられた2003年は、降水量が少なく高気圧に覆われ晴れる日が多かった。2005年も同様の気象状況であったが、2003年は *Uroglena* が優占種であったのに対し、2005年は緑藻が優占したため、発生日数および水域数に差がみられたと考えられた。

4. まとめ

琵琶湖にける赤潮の発生規模は1986年以降、徐々に小規模になる傾向が認められ、また、原因プランクトンの *Uroglena* の分布は1990年代には比較的多く分布していたが、最近では減少傾向にあることがわかった。

Uroglena の増加時期に集積しやすい気象条件が整わないことが、淡水赤潮発生に至らない大きな要因であるが、*Staurastrum* などの緑藻の増殖が *Uroglena* の増加に大きく影響していることが推察された。

また、近年は冬季における *Uroglena* の細胞数の増加傾向など、季節ごとの出現パターンに変化がみられることから、*Uroglena* が増殖できる水温が広範囲化していることが推察された。

今後さらに、琵琶湖水質の変動やプランクトン種の変遷についてまとめ、これらと淡水赤潮の発生の相互関係について検討を行う。

引用・参考文献

- 一瀬 諭, 若林徹哉, 藤原直樹, 伊藤 貢 (2002): 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—. 滋賀県立衛生環境センター所報, 37, 71-82.
- 岡本高弘, 藤原直樹, 一瀬 諭, 津田泰三, 若林徹哉, 井上 健, 中村忠貴, 矢田 稔, 奥村陽子, 内藤幹滋, 青木佳代, 藤田亜紀子, 佐貫典子, 辻 朋子, 坪田てるみ, 原 良平, 青木 茂, 加賀爪敏明 (2003): 2001~2002年度における琵琶湖の全窒素の変動について. 滋賀県立衛生環境センター所報, 38, 82-87.
- 一瀬 諭, 若林徹哉, 藤原直樹, 伊藤 貢 (2000): 琵琶湖における植物プランクトン現存量の変遷について—1978-2000—. 滋賀県立衛生環境センター所報, 36, 27-39.