

プランクトンの長期変動と富栄養化

一瀬 論 (滋賀県立衛生環境センター)

1. はじめに

琵琶湖水質調査の中で最も古くからデータが蓄積されているのは、滋賀県水産試験場による北湖中央部の透明度である。調査開始は1922年からであり、数年の欠測はあるものの現在まで継続実施されている。図1に示した透明度の測定結果からみると、1920年代は平均9m台の透明度があったが、1950年代には7mとなり、そして1970年代中頃から6m台と低下傾向を示してきたものの、1990年代から現在までは7~8m程度とやや回復の兆しも見えてきている。

1970年代に入り、滋賀県では「水質汚濁防止法第3条第3項の規定に基づく排水基準を定める条例」を制定し、法律より厳しい排水基準を定め、さらに、1977年の淡水赤潮発生に象徴される富栄養化への懸念から、国や他の都道府県に先駆けて1979年に窒素・りん排水基準の設定やりんを含む合成洗剤の規制など栄養塩削減対策を定めた「滋賀県琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」を制定した。

施行後、数年間はCODや栄養塩の濃度に改善が見られた。しかしながら、琵琶湖では淡水赤潮、アオコ(水の華)あるいはカビ臭といった現象が依然として発生し、また、これまで注目されていなかった「ピコプランクトン」と呼ばれる2μm以下の微細な植物プランクトンの大量発生によって透明度が低下するような現象や、逆に大型ミジンコによると思われる透明度の上昇など

も認められている。さらには、今まで観察されなかったような大型のアオコ形成種も出現するに至っている。また、このような現象も含め、近年、植物プランクトン相の急速な変化が顕著になっている。

これら植物プランクトン現存量の増減は、季節変動や、河川からの流入負荷、湖底からの溶出などの栄養塩類の増減が大きく関わっていると考えられ、また、プランクトン自身もその水質に影響を及ぼしていると考えられる。

当センターでは、琵琶湖における定期的な理化学的水質調査を1966年から実施し、また、植物プランクトンおよび動物プランクトンの現存量調査を1974年から継続実施してきている。今回、これらの長期的な水質モニタリングの結果や植物プランクトン優占種の変遷を中心に紹介すると共に、近年、琵琶湖内で起こっているプランクトン異常発生の現状についても紹介する。

2. 琵琶湖の水質

琵琶湖の水質に関して最も高頻度にかつ多項目にわたって実施されているのは、建設省琵琶湖工事事務所と滋賀県立衛生環境センターによる琵琶湖北湖28地点、琵琶湖南湖19地点、瀬田川2地点の合計49地点における調査である。現在、各湖沼の水質は、環境基準項目のCODで評価されることが一般的である。琵琶湖北湖におけるCODの経年変動を図2に示した

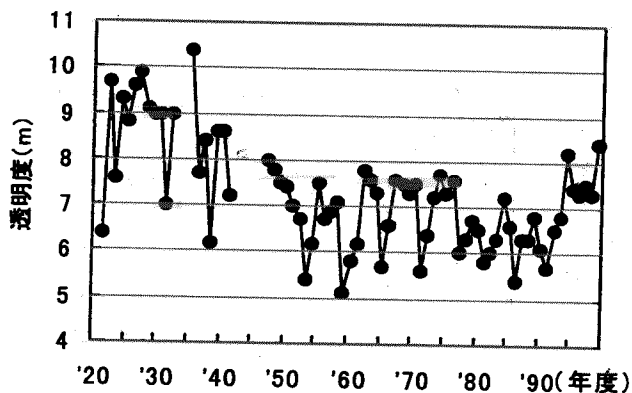


図1 琵琶湖北湖中央部の透明度
(滋賀県水産試験場)

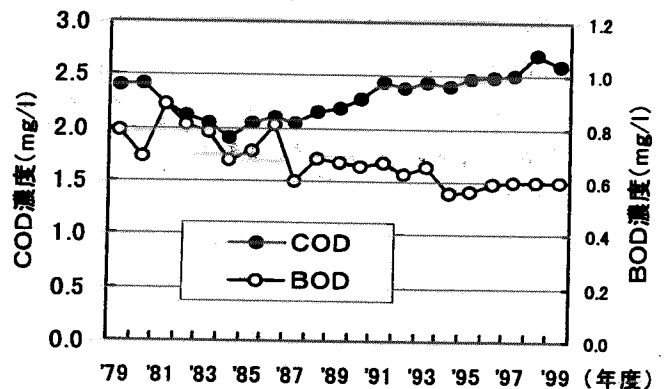


図2 CODとBODの経年変動

が、黄色鞭毛藻による淡水赤潮が発生し始めた1978年前後に高い値となり、1979年度には2.4mg/lにまで上昇した。その後、環境に関する県民の関心の高まりを背景に制定された富栄養化防止条例の施行、下水道整備等に伴い、1984年度まで低下が続いた。しかしながら、1984年度以降から1999年度まで再び上昇傾向を示している。一方BODはこれとは反対に減少傾向にある。この原因として、湖内に分解しにくい有機物が蓄積しているのではないかと推察されている。

次に栄養塩の濃度変動についてみると、琵琶湖は「環境基本法」に基づく環境基準では、全窒素が0.20mg/l、全りんが0.010mg/lという基準値が設定されている。しかし、図3および4のとおり、年平均値は北湖のりん以外は基準を超えている。また、図5の北湖における全窒素/全りん比をみると、ここ数年大幅に大きくなっており、1979年度に重量比26であったものが1996年度には49にまで上昇している。また、クロロフィルa濃度(図6)は1979年当時と比較すると低下しているものの、近年は横ばいかやや上昇傾向を示している。

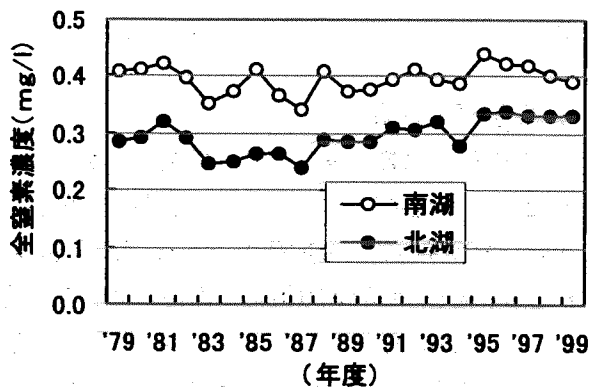


図3 全窒素濃度の経年変動

3. 優占種からみたプランクトン相の変遷

(1) 細胞数に基づく第1優占種の変遷

植物プランクトン優占種とは、細胞の大きさに関係なく、その単位水量あたりの細胞数(群体数)として最も多く計数された種と定義した。調査地点は今津沖中央表層部、調査期間は1978年1月～2000年8月までの22年間、調査は原則として毎月2回行った。採水したサンプル1mlを界線入プランクトン計数盤上に採取し、光学顕微鏡(倍率125～500倍)で観察し、植物プランクトンの同定および計数を行った。なお、植物プランクトンの計数結果は原則的に1ml中の細胞数として表記したが、藍藻については「塊状」や「糸状」の群体を形成するものが多いため群体数を計数することとした。

この期間中に最も優占種(ただし、藍藻綱については群体数で計数していることから、必ずしも他の綱と同列には扱えない:以下同様)となる回数が多かった種は、緑藻の *Planktosphaeria* sp. であり、続いて珪藻に属する *Stephanodiscus carconensis* var. *pusilla*、黄色鞭毛藻の *Uroglena americana* の順であった。これら優占したプランクトン種の特徴から、その経年変

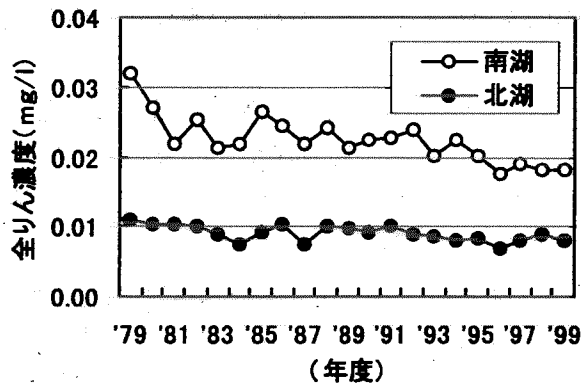


図4 全りん濃度の経年変動

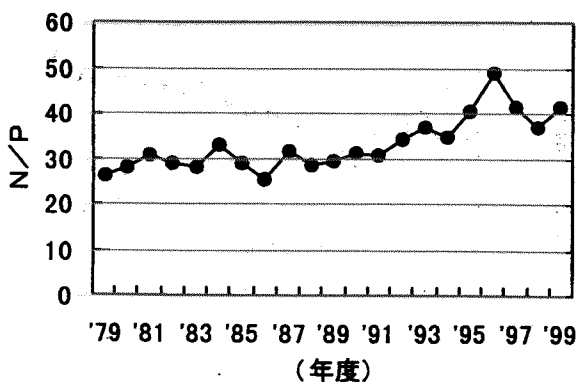


図5 北湖窒素・りん比

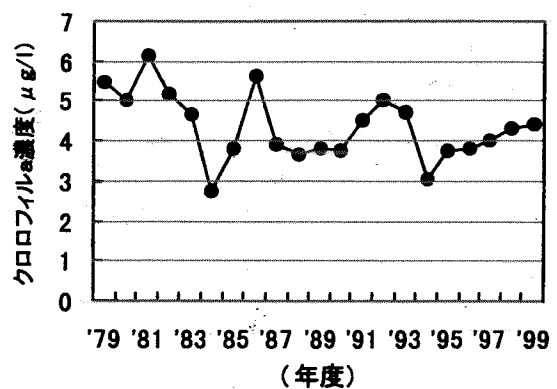


図6 北湖クロロフィルa濃度の経年変動

化を大別した結果(図7)、次の3期間に分類することができた。

①第1期(1978-1985年)

冬季(1~3月)は珪藻の *Melosira solida* (MS) が長期間優占種となって出現した。本種は我が国では琵琶湖以外からは報告されていない種である。春季(4~6月)に入ると黄色鞭毛藻に属する *U. americana* (UA) が優占種となった。この第1期の特徴は、特定のプランクトンが優占種となる回数が多く、周期的に変動を規則正しく繰り返すパターンを示すことで、また、優占種の季節的な交代も比較的緩やかなことであった。

②第2期(1986-1990年)

この期間は、夏季において優占種の交代が頻繁に起こり、秋季にかけて様々な種が出現したのがひとつの特徴である。主な種についてみると、冬季に珪藻の *S. carconensis* var. *pusilla* (SP) が長期間優占種となって出現した。春季には第1期と同様に黄色鞭毛藻の *U. americana* が最も多く出現した。しかし、夏季には緑藻を中心に黄色鞭毛藻、黄緑藻、珪藻、藍藻等と様々な綱に属する種が優占種となり、その交代も比較的早かった。

③第3期(1991-1999年)

この期間の特徴は、春季の *U. americana* の増加は毎年確認されたものの、それ以外の季節では出現種が特定できず、これまで出現しなかったような新しい種も優占種となったことである。また、近年は多くの綱に属する種が次々と出現し、それらの種の交代も早まるとともに発生に周期性がみられにくくなり、結果的に優占種の予測が困難となってきている。しかし、図7に示すようにプランクトンの総細胞数は、横ばいかやや減少の傾向にある。

4. 近年減少あるいは増加してきているプランクトン

琵琶湖古代の地層から現在の地層に至るまで大量に観察され、琵琶湖固有種としても報告されている珪藻の *Melosira solida* は、1985年以前までは冬季に琵琶湖北湖全域に分布していたが、近年では激減してほとんど観察されなくなっている。また、褐色鞭毛藻の *Cryptomonas* sp. は、1978年当時ほとんど観察されなかったが、近年徐々に増加傾向を示している。褐色鞭毛藻に属する種類には、比較的富栄養化の進

行した水域で観察される種が多く、今後の消長が注目される。

5. プランクトン異常発生の事例

(1)ウログレナ(淡水赤潮)

1977年5月から琵琶湖で大規模な淡水赤潮が発生した。原因種名は *Uroglena americana* であった。本種は、2本の不等長の鞭毛を持ったウリ状の細胞がゴムボールのような球状の群体の表面に配列し、その群体はゆっくり回転しながら移動する。発生水域では湖水が茶褐色を呈し、生ぐさ臭を発する。

(2)アナベナ、ミクロキスティス(アオコ)

1983年8月から南湖湖岸でアオコ現象が確認された。当時の主要種は藍藻に属する *Anabaena macrospora* や *Anabaena affinis* であり、*Microcystis* 属は少なかった。しかし、その後、南湖において *Microcystis* 属も徐々に多く計数されるようになり、大渇水となった平成6年9月からは、北湖湖岸の港内や河口部においてもアオコの現象が確認されるようになった。

(3)ピコプランクトン(微小プランクトン)

1989年7月に北湖一円で湖水が黒色化し、超微小プランクトンであるピコプランクトンが大発生した。透明度は通常6m前後であるものが、2.5~3mまで低下していた。この原因となった種は、*Synechococcus* sp. (藍藻綱) であった。本種は1μm程度と微細で単細胞で湖水中に浮遊する。

(4)ゴンフォスフェリア(浮遊性藍藻)

1993年8月~9月に琵琶湖を中心に藍藻の増加があった。原因種は *Gomphosphaeria lacustris* であった。本種は球形の群体を形成し、細胞は群体の表面に存在する。細胞に偽空胞がなく水中に浮遊する。本種はアオコの原因となる *Microcystis* とよく似るが、細胞内にガス胞を持たないのが特徴である。

(5)アオミドロ(*Spirogyra*)

大渇水の年となった1994年6月~9月にかけて、琵琶湖湖岸部の水草繁茂周辺部で糸状体を形成するアオミドロ様藻類の大繁茂が観察された。本現象は、湖中や湖岸の景観を悪くすると同時に分解すると異臭を発する。原因種は主に *Spirogyra* spp. (アオミドロ属)、*Oedogonium* spp. (サヤミドロ属) および *Cladophora glomerata* (カワシオグサ属) によるものであった。

(6) アファノテーケ(浮遊性藍藻)

1998年7月～9月にかけて、北湖のCODに顕著な上昇が認められた。この時に多く発生したプランクトンは、*Aphanothece clathrata*であった。本種は藍藻に属し細胞は桿菌状であり、微細な細胞が集合し透明な寒天質の鞘の中に存在する。浮遊性のプランクトンであり北湖で多量に浮遊する。

(7) オッシラトリア(アオコ)

1998年8月～10月には南湖で発生したアオコ検体中に、肉眼でも観察される大型の藍藻が出現した。原因種名は*Oscillatoria kawamurae*であった。本種は薄い円盤形の細胞が重なり合って1列に並び、紐のような長い群体を形成する。また、細胞内に規則正しく配列する数個のガス胞を有するため湖面に浮上しアオコ現象を引き起こす。

(8) ダフニア(大型ミジンコ)

1999年4月～7月には、琵琶湖で今までに観察されなかった大型のミジンコ*Daphnia pulicaria*が北湖を中心に多く出現し、この時期、透明度が例年より高くなり、10m以上の測定値も数地点で観測された。本種は、ミジンコの中でも大型で、吻と単眼の間の頭部表皮にある網状組織が長く伸びている点が特徴である。

(9) アファニゾメノン(アオコ)

1999年8月～12月にかけて、アオコ検体中に糸状体が多数集まって群体を形成する藍藻が出現した。

原因種名は*Aphanizomenon flos-aquae*であった。本種は糸状体を形成し分岐はしない。異質細胞やアキネートを有する。末端部細胞は、直径が細くなることなく無色の長い円筒形の細胞である。

7. おわりに

今回、長期にわたる水質調査結果や植物プランクトン相の変遷について検討した結果、近年は優占種の交代が早いサイクルで変化しており、プランクトン種の発生予測は一層困難になってきている。また、古代から琵琶湖に大量に棲息してきた種類も激減していることも明らかとなった。湖沼における水環境は、将来どのように変化して行くのか簡単には予察できない。しかし、プランクトンの異常発生やプランクトン種の盛衰等を繰り返しながら、水質をはじめとする生態系の変化を私達に訴えかけているようにも思われる。当センターでは、湖沼に棲息する細菌やピコプランクトンなどの小型のプランクトンからミジンコ類などの大型のものまで、その種類と現存量を継続調査し、理化学的な水質調査結果等のデータと併せながら検討し、より総合的に水環境をとらえる試みを続けて行く必要があると考える。今後も、これまでに培った基礎資料を基に、琵琶湖の水質汚濁の評価や、淡水赤潮、アオコ、カビ臭などの発生予測等についても、さらに検討を深め、湖沼生態系の保全に役立てて行きたいと考えている。

図7 琵琶湖（今津沖中央）のプランクトン優占種の経年変動（1978-2000年）

月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12														
78	MS	-	MS	-	FC	-	AM	-	UA	-	UA	-	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PB	PB	PB	PB	PB	PB		
79	MS	CA	MS	MS	MS	MS	SP	MS	UA	UA	UA	CA	CC	PL	OS	PB	PL	-	PL	PL	PB	SD	PB	SP		
80	MS	MS	FC	MI	FC	MI	SP	AM	AM	UA	UA	OO	PL	AC	AC	FC	PB	PL	PL	PL	SD	CC	CC	FC		
81	MS	FC	MS	MS	MS	MS	FC	MS	UA	UA	UA	PL	PL	PL	CC	SD	SD	PL	SD	SD	FC	FC	FC	PL		
82	MS	OS	OS	MS	OS	-	SP	AF	SP	UA	UA	PL	PL	PL	PL	PL	SD	PL	PL	PL	PL	AC	PL	PL	PL	
83	MS	AM	DP	MS	MS	AF	AF	CH	UA	UA	UA	SP	PL	PL	PL	PL	CC	OO	OO	PL	PL	FC	-	PL	GV	
84	MS	MS	MS	MS	MS	MS	FC	AF	UA	UA	UA	PL	PL	PL	FC	FC	-	PL	PL	AC	CC	PB	PL	PL	PL	
85	OS	MS	PL	MS	MS	SP	SP	SP	UA	UA	UA	SP	CA	PL	PL	PL	FC	COE	PL	PL	PB	PB	CP	PL	PL	
86	SP	SP	CP	MS	CP	AF	AF	PE	UA	UA	UA	SP	SP	SP	CA	CC	CC	CC	SD	SD	DS	SD	SD	SD	SD	
87	SD	SP	SP	SP	SP	SP	SP	CR	UA	FC	FC	UA	CC	CP	AC	AC	AC	PL	PL	SD	SD	SD	FC	FC	FC	
88	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	AM	AM	UA	UA	SJ	-	PL	PL	BO	GL	AC	AC	CM	CDM	SP	SP	SP	SP	
89	SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP	AM	UA	UA	UA	AM	GL	GL	BO	MC	DJ	DJ	SP	SP	FC	cos	cos	cos	cos	
90	CR	PR	cos	CR	AF	CR	AF	FC	CR	UA	UA	UA	CO	CO	BO	DI	CC	MT	SP	SP	SP	MG	BO	SP	SP	
91	SP	SP	SP	cos	AF	AF	AF	CR	SP	UA	UA	FC	SG	PL	PL	CC	PL	PB	SD	cos	FC	MG	FC	FC	FC	
92	FC	CR	CR	CR	CR	AF	FC	CR	UA	UA	UA	CA	CA	CA	CA	CC	CC	CC	CC	CO	SP	SP	CR	SP	SP	
93	CA	CA	AM	AM	PB	FC	CR	CH	UA	UA	UA	CA	SP	CY	PL	PL	GL	DP	AC	MG	CC	-	FC	cos	cos	
94	SC	FC	SP	FC	CR	SC	AF	UA	UA	UA	UA	CA	CR	DP	AC	cos	cos	PL	SP	PL	PL	FC	AF	FC	FC	
95	FC	CR	SC	SC	SC	OO	CR	UA	UA	UA	FC	SP	UA	PL	GL	GL	CC	CC	PL	AC	CD	CD	SD	SD	SD	
96	AC	SP	CR	FC	SC	SP	SP	SP	UA	UA	UA	CA	CA	MG	PL	FC	PL	SD	SD	SP	UA	MG	SP	SP	SP	
97	-	CR	DP	FC	SC	AF	FC	FC	UA	UA	UA	UA	BB	UA	AC	CC	CC	SD	SD	AC	cos	UA	UA	UA	UA	
98	CR	CR	FC	CR	CR	TL	FC	-	UA	TL	EE	CY	AC	AC	DP	AC	FC	FC	SP	cos	EE	SD	PL	SC	SC	
99	CY	-	UA	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	CR	-	FC	FC	FC	PL	PL	CC	EE	PL	CY	QC	SD	cos	SD	SD
2000	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	UA	FC	OO	SP	GL	CC	CC										

* Rhodomonas sp. (ロトモス)を除く。「-」は欠測。

測定方法：直接計数による(1mlをプランクトン計数瓶で計数)

GL	<i>Gomphosphaeria lacustris</i>
OD	<i>Chroococcus dispersus</i>
CM	<i>Chroococcus dis. v. minor</i>
AC	<i>Aphanothece clathrata</i>
BE	<i>Botryococcus braunii</i>
BO	<i>Botryosphaerella sp.</i>
CL	<i>Chlorocloster sp.</i>
UA	<i>Uroglena americana</i>
PR	<i>Pseudokephyrion sp.</i>
CH	<i>Chromulina sp.</i>
CP	<i>Chrysocapsa planctonica</i>
CR	<i>Chrysoamoeba radians</i>
MS	<i>Melosira solida</i>
MI	<i>Melosira italica</i>
MG	<i>Melosira granulata</i>

SC	<i>Stephanodiscus carconensis</i>
SP	<i>Stephanodiscus car. v. pusilla</i>
CY	<i>Cyclotella sp.</i>
FC	<i>Fragilaria crotonensis</i>
AF	<i>Asterionella formosa</i>
PE	<i>Peridinium berolinense</i>
CR	<i>Cryptomonas sp.</i>
EE	<i>Eudorina elegans</i>
TL	<i>Tetraspora lacustris</i>
DP	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
DS	<i>Dictyosphaerium subsolitarium</i>
DI	<i>Dictyosphaerium sp.</i>
SJ	<i>Schroederia judayi</i>
DJ	<i>Dactyosphaerium jurisii</i>
SP	<i>Sphaerocystis sp.</i>
QC	<i>Sphaerocystis sp.</i>

GV	<i>Gloeocystis vesiculosa</i>
MT	<i>Monoraphidium tortile</i>
MC	<i>Monoraphidium contorta</i>
CH	<i>Chlamydomonas sp.</i>
AM	<i>Ankistrodesmus fal. v. mirabile</i>
PL	<i>Planktosphaeria sp.</i>
PB	<i>Pediastrum biviae</i>
CC	<i>Coelastrum cambricum</i>
CO	<i>Coenochloris sp.</i>
OS	<i>Oocystis submarina</i>
OO	<i>Oocystis sp.</i>
COE	<i>Coenocystis sp.</i>
GL	<i>Gloeocystis sp.</i>
COS	<i>Cosmoecium constrictum</i>
CA	<i>Closterium aci. v. subpronum</i>
SD	<i>Staurastrum dor. v. ornatum</i>



応用生態工学研究会

第4回研究発表会講演集



日時:2000.10.7~9

会場:滋賀県立琵琶湖博物館ホール

応用生態工学研究会