

8. 解析モニタリング3

琵琶湖におけるプランクトン等の長期変遷に関する解析モニタリング (平成 20~22 年度(2008~2010 年度)): 中間報告

琵琶湖におけるプランクトン等の長期変動解析について — 植物プランクトン —

一瀬 諭・藤原直樹・古田世子・池田将平・岸本直之¹⁾

要約

琵琶湖水の有機物指標におよぼす内部負荷の寄与を評価するためには、湖内で一次生産を担う植物プランクトンの定量的な把握や評価が不可欠である。琵琶湖環境科学研究センターでは 1979 年より植物プランクトンの定期調査を継続しており、そのデータは種ごとの細胞数として記録されている。しかし、各細胞の大きさが 1~数万倍の差があり、総細胞容積量や炭素量として生物量に換算されていないため、必ずしも琵琶湖水質保全施策に有効活用されているとは言えなかった。今回、我々は 1979 年から現在までの琵琶湖の植物プランクトン調査データベースを整備し、植物プランクトンの長期変動について解析した結果、琵琶湖において植物プランクトン現存量は減少傾向にあるが、容積は小型化し、藍藻等の粘質鞘を有する植物プランクトンの優占度が増していることという特徴が認められた。

1. はじめに

本琵琶湖水の有機物指標に及ぼす内部負荷の寄与を評価するためには湖内で一次生産を行う植物プランクトンの定量的評価が不可欠である。

当センターでは 1979 年より植物プランクトンの定期的な検鏡調査を継続しており、そのデータは種ごとの細胞密度として記録されている。

しかし、植物プランクトンにも様々な種があり、その細胞サイズ(容積)も種類によって 1~数万 μm^3 /細胞と大きくばらついており、総細胞数では植物プランクトン現存量を正しく評価できず、このままでは内部負荷の評価が困難であった。

よって、植物プランクトンの現存量に焦点を当て、琵琶湖の内部負荷量の基礎データとして当センターが有する 1979 年から現在にわたる植物プランクトン観測データをデータベース化し、バイオマス(細胞容積、炭素量)に換算・評価した。

この植物プランクトンの観測データに基づき(一瀬ら, 1999)、植物プランクトンの長期変動を解析するとともに、バイオマスの点から特に琵琶湖水質形成への寄与が大きいと考えられる植物プランクトン種の抽出を行った。

2. 方法

2.1 調査地点

植物プランクトン調査は、今津沖(17A)、今津沖中央(17B)、長浜沖(17C'), 伊佐々川沖中央(6B)の水深

0.5m層(表層)の4地点で実施した。特に、琵琶湖北湖今津沖中央地点(17B)表層および琵琶湖南湖唐崎沖中央地点(6B)表層について炭素量換算までのデータベースの整備を行った。

1979 年以降現在までに琵琶湖で観測された 636 種の植物プランクトン毎に細胞容積を算出した。細胞容積評価に当っては各細胞を楕円柱、楕円体、直方体およびこれらの組み合わせで近似し、以下の式に従って細胞容積 V を求めた。

$$\text{楕円柱} \quad V = \frac{\pi}{4} abh$$

(a:楕円の長軸, b:楕円の短軸, h:楕円柱の高さ)

$$\text{楕円体} \quad V = \frac{\pi}{6} ab^2$$

(a:楕円の長軸, b:楕円の短軸)

$$\text{直方体} \quad V = abh$$

(a:長さ, b:幅, h:高さ)

次に細胞容積から細胞内炭素量を算出した。細胞容積から炭素量への換算は Strathmann (1967) の式を用いた。

珪藻

$$\log C = -0.422 + 0.758 \log V$$

その他藻類

$$\log C = -0.460 + 0.866 \log V$$

ここで C:細胞内炭素量 [pgC/cell]、V:細胞容積 [$\mu\text{m}^3/\text{cell}$]である。

1) 龍谷大学理工学部

2.2 調査回数

植物プランクトン調査は1978年1月から2008年12月までの30年間、原則として毎月上旬と中旬の2回、約2,880検体について解析した。

2.3 調査項目

植物プランクトン：種類および細胞数（藍藻は細胞が微細で群体を形成する種が多いため種類ごと一定の体積の単位を定めて計数）を計数し、平均細胞容積を算出し、その積算値から総細胞容積量を求めた。

2.4 植物プランクトンの計数方法

植物プランクトン計数法や各細胞容積の計算法および同定法については一瀬ら（2001）の方法に従った。また、分類・計数された各綱の中でも藍藻類に属する種は細胞が微細で、しかもそれらが集まって「塊状」や「糸状」の群体を形成することから、1群体当たりの平均細胞数を予め求め、その結果について各種類別の細胞容積量を求めた（一瀬ら, 2007）。さらに、主に出現する藍藻の種類についても細胞容積やその種類がもつ細胞外物質である粘質鞘

（寒天質状物質）についても墨汁、およびカラーラテックス球などで染色し粘質鞘を含む平均細胞容積量の測定を実施し積算した。

3. 結果と考察

図1に17B地点表層（水深0.5m）における植物プランクトンバイオマス経時変化を、図2に6B地点表層0.5mにおける植物プランクトンバイオマス経時変化を示す。琵琶湖南湖では浮上性の巨大藍藻である *Oscillatoria kawamurae* の出現により極端に藍藻のバイオマスが増加することがあるが、それを除けば琵琶湖北湖、南湖とも経年的にバイオマスピークが小さくなっていく傾向にある。この傾向は細胞容積で見た場合も炭素量で見た場合でも同じであるが、炭素量で見た場合、細胞容積のグラフと比較して藍藻の割合が高くなっていることがわかる。細胞容積と細胞内炭素量は比例関係にあるのではなく、Strathmann の式から判るように細胞容積が小さいほど容積当りの炭素量は大きくなる（図3）。藍藻は細胞容積の微細な種が多いため、炭素量に換算するとその比率が増大すると考えられる。

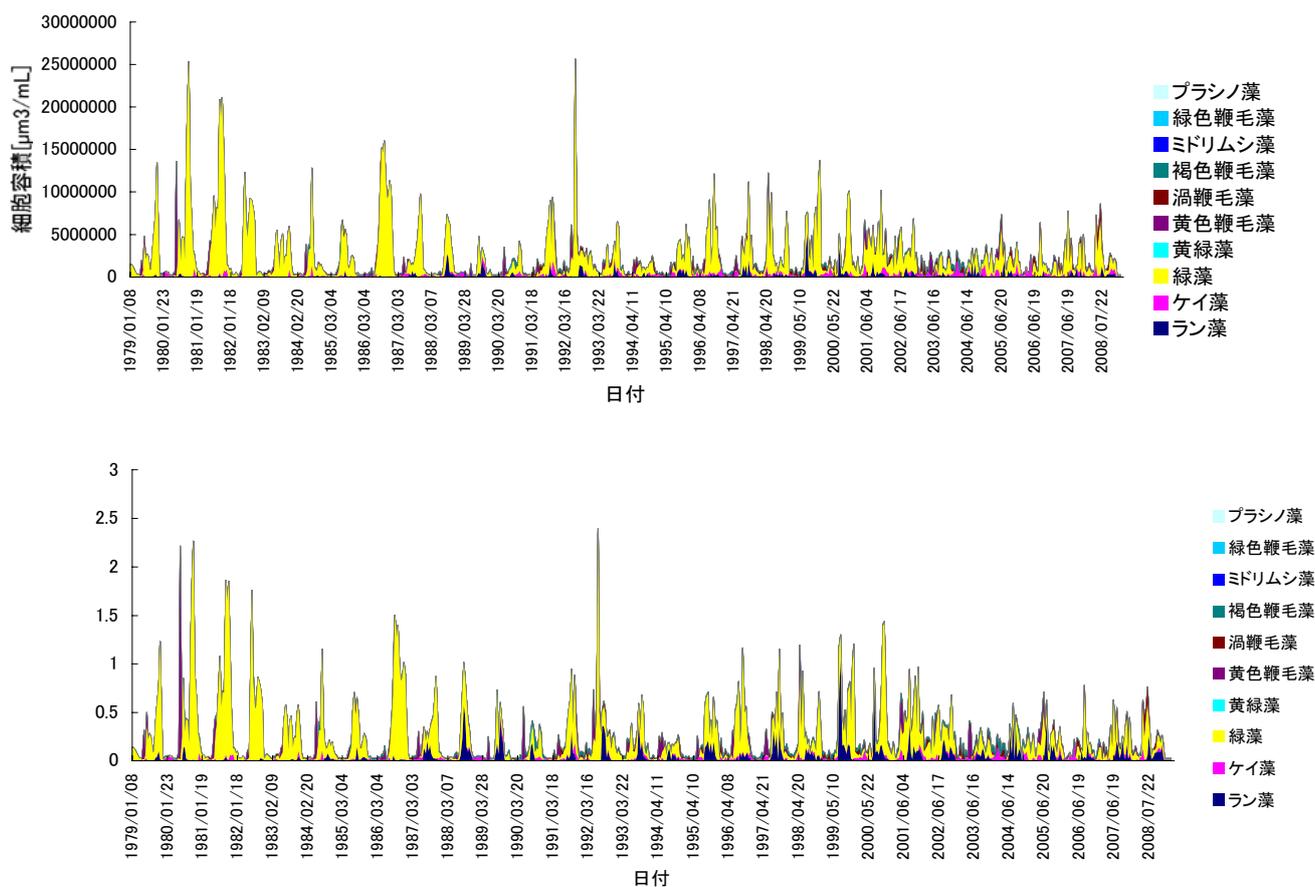


図1 琵琶湖北湖今津沖中央地点（17B）表層0.5mの植物プランクトンバイオマス経時変化（上図：細胞容積[$\mu\text{m}^3/\text{mL}$]、下図：炭素量[mgC/L]）（グラビア8頁参照）

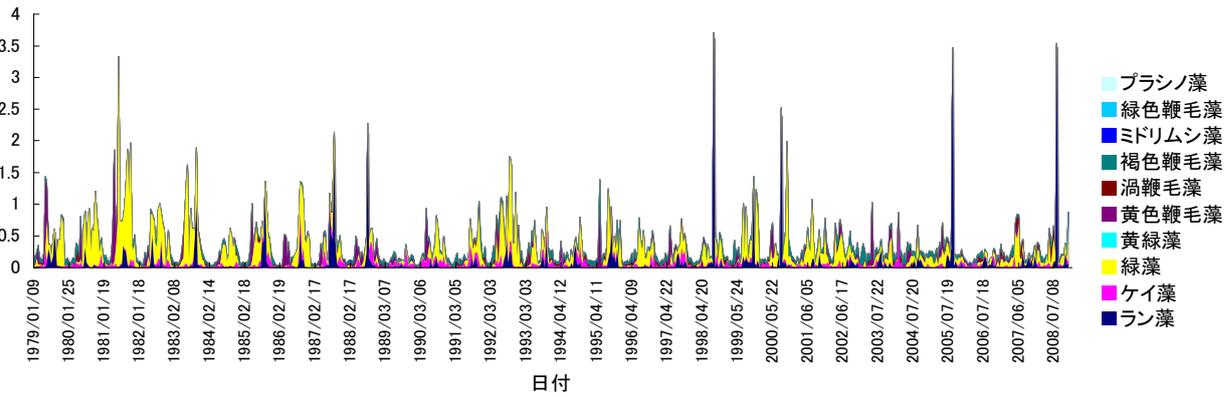
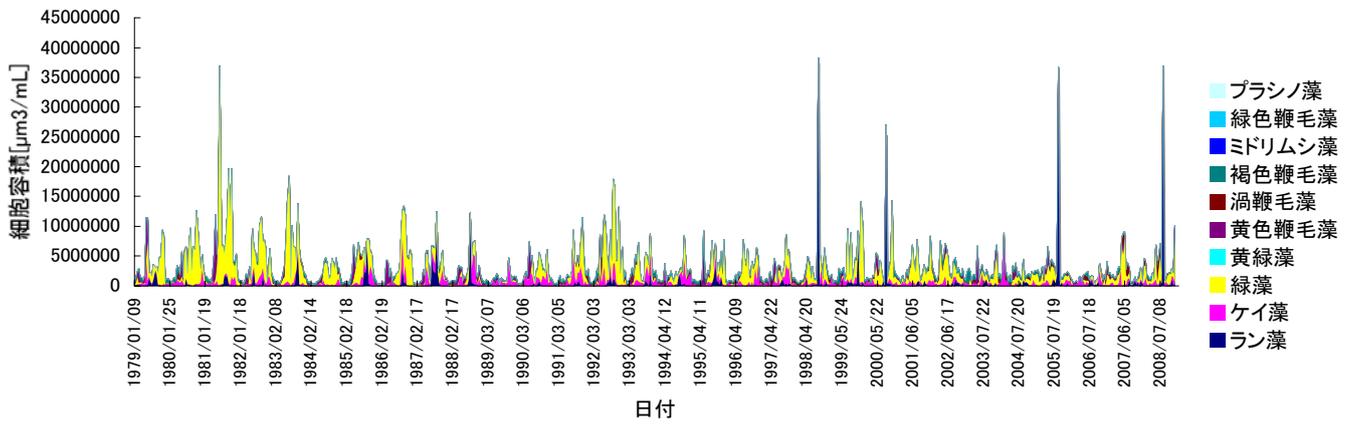


図2 琵琶湖南湖唐崎沖中央地点（6B）表層 0.5m の植物プランクトンバイオマス経時変化
（上図：細胞容積 [$\mu\text{m}^3/\text{mL}$], 下図：炭素量 [mgC/L]）（グラビア 9 頁参照）

図4に炭素量で見た網別の優占率を示す。琵琶湖では夏季から秋季にかけて藍藻および緑藻のバイオマスが増大するのに対し、珪藻や褐色鞭毛藻は一年を通して比較的安定的に存在している。そのため、藍藻や緑藻の炭素量割合は夏から秋にかけて高く、冬から春に珪藻および褐色鞭毛藻の炭素量割合が高くなる傾向にある。経年的に見れば、琵琶湖北湖・南湖とも藍藻の割合が徐々に高まっている傾向が認められた。

植物プランクトンを細胞容積により、大 ($1000\mu\text{m}^3/\text{cell}$ 以上)、中 (100 以上 $1000\mu\text{m}^3/\text{cell}$ 未満)、小 ($100\mu\text{m}^3/\text{cell}$ 未満) に分類し、植物プランクトンサイズ毎にバイオマスおよび炭素量割合の経年変化（年移動平均）を求めると、図5、図6が得られた。琵琶湖南湖では細胞容積の変化は顕著ではないが、琵琶湖北湖では1980年代後半からの細胞容積の小さな植物プランクトンの割合が増加していることがわかる。比増殖速度は一般に小さな種ほど大きいことが知られており（Kagami and Urabe, 2001:Reynolds, 2006）細胞容積の小さな植物プランクトンの増加は一次生産の増加をもたらすと考えられた。琵琶湖ではバイオマス

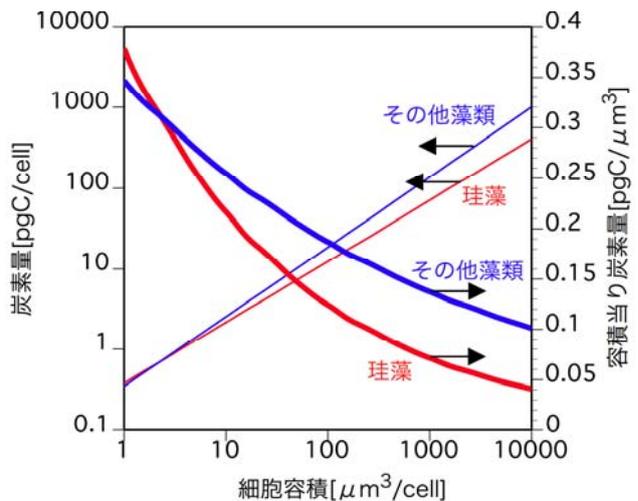


図3 細胞内炭素量と細胞容積の関係
（Strathmann の式により計算）

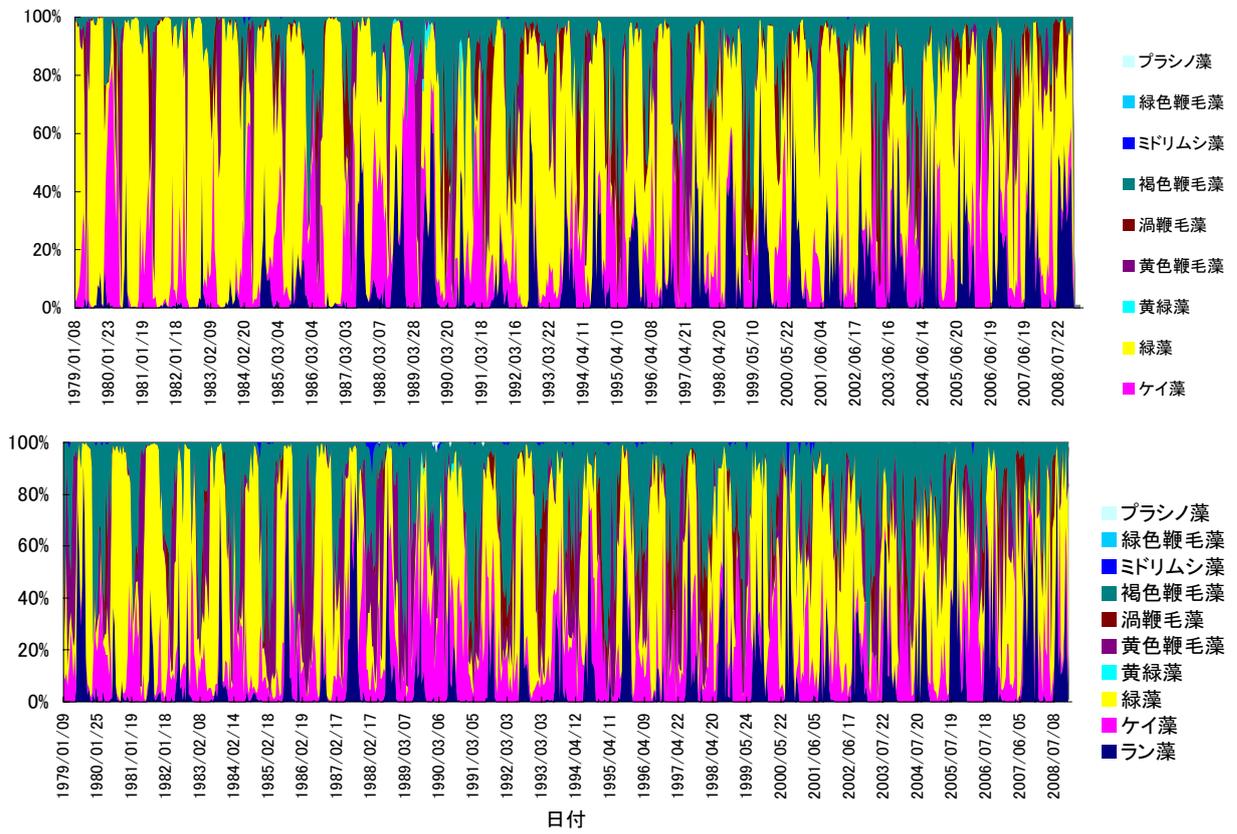


図4 網別の炭素量優占率の経時変化

(上図：琵琶湖北湖今津沖中央 17B 表層,

下図：琵琶湖南湖唐崎沖中央 6B 表層)

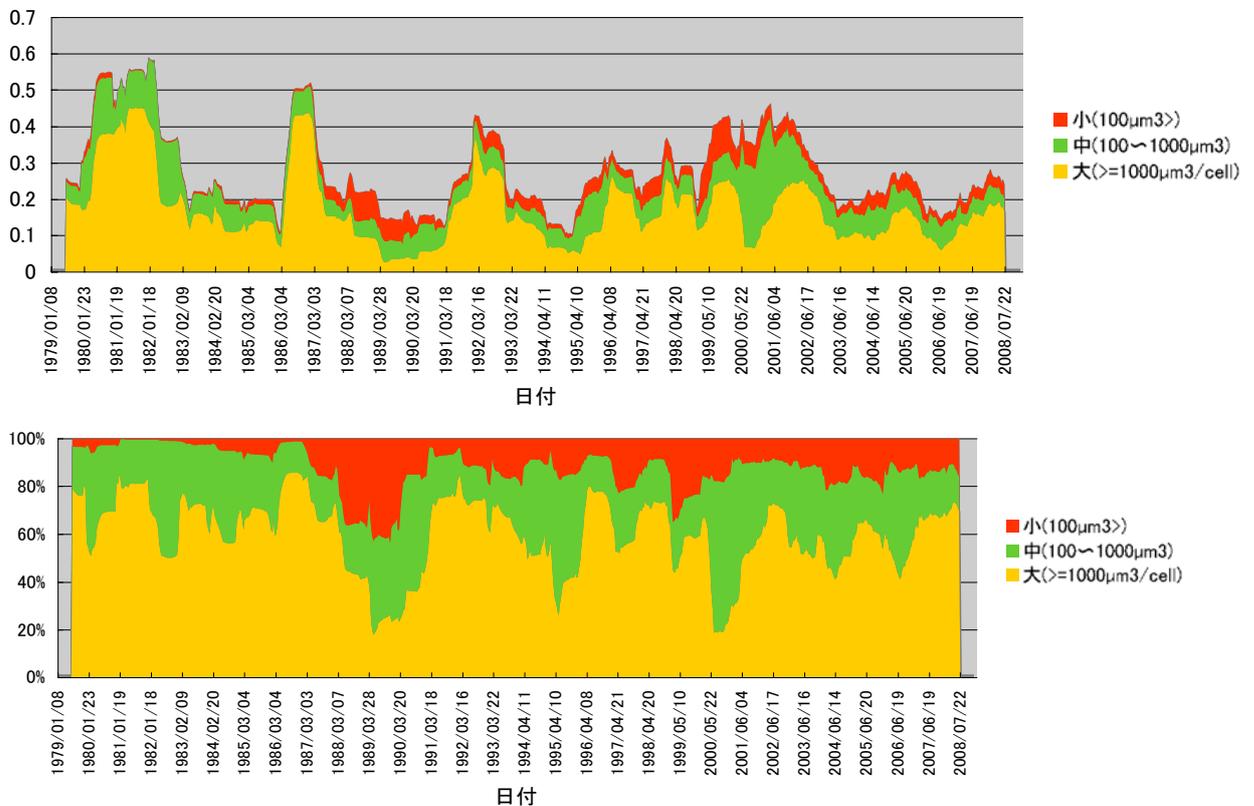


図5 琵琶湖北湖 17B の植物プランクトンサイズ毎のバイオマス経年変化 (年移動平均値)

(上図：炭素量[mgC/L], 下図：炭素量優占率)

の経年的な減少も認められることから、一次生産が増大したとは断定できないが、バイオマス減少から予想されるほどには一次生産の減少が起こっていない可能性が高い。なお、1988年頃の顕著な小型植物プランクトンバイオマスの増加は1988年9月の藍藻に属する *Microcystis* sp. の大発生によるものであった。

植物プランクトン種の炭素量に基づき、1979～2008年の30年間の平均バイオマスを求め、細胞容積毎に優占度の高い種を選定した結果を表1に示した。本表では、琵琶湖北湖中央における優占度の高い16種類を示し、そのプランクトンの細胞容積と全炭素量に占める割合を示している。また、粘質鞘の有する種類をアンダーラインで示した。

この表1に示した16種類の平均優占率の合計から、琵琶湖北湖今津沖中央地点(17B)における、全植物プランクトンバイオマス(炭素量)の84%を占めており、これらの種類の挙動や生産力に着目することで琵琶湖の内部負荷の理解に繋がると考えられた。

さらに、図7に示したように主要な16種類の植物プランクトンの総細胞容積量と種毎の粘質鞘の総細胞容積量を積算し、データベース化した結果、琵琶湖では、長期的

に見ると粘質鞘容積が増加傾向にあり、植物プランクトンの現存量は減少傾向から横ばいにあるものの、藍藻とその藍藻が有する粘質鞘の湖水への寄与率が近年増加していることが明らかとなった。

4. まとめ

植物プランクトン由来の有機物の長期変動解析として、琵琶湖の植物プランクトンの長期観測データを用いてデータベースを構築するとともに、植物プランクトン細胞数データから細胞容積や炭素量に換算しデータ解析を行った。また、北湖、南湖の優占種リストを作成した。以下に得られた結果を示す。

① 琵琶湖で1979年から現在までに観察された634種の植物プランクトンについて個々に平均細胞容積を求め、データベース化を行った。

平均細胞容積から Strathmann の式を用いて細胞内炭素量に変換し、データベース化を行った。

② 整備したデータベースに基づき、植物プランクトンの長期変動を解析したところ、琵琶湖北湖・南湖ともに藍藻の割合が徐々に増加している傾向にあること、琵琶湖北湖では細胞容積の小さい植物プランクトンの割合が増加傾

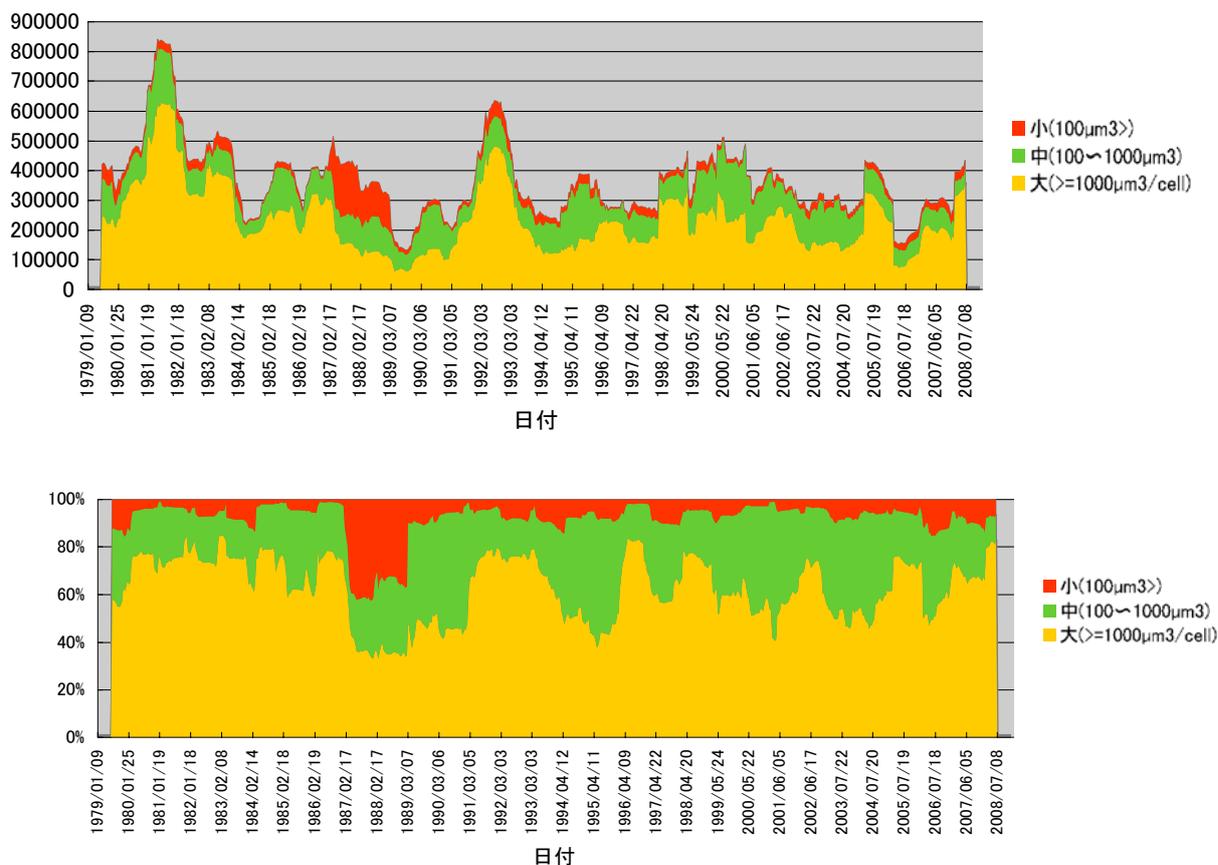


図6 琵琶湖南湖6Bの植物プランクトンサイズ毎のバイオマス経年変化(年移動平均値)
(上図:炭素量[mgC/L], 下図:炭素量優占率)

表1 琵琶湖北湖今津沖中央地点(17B)の植物プランクトン優先種(30年間平均)

(数字は各種の細胞容積および炭素量で見た全植物プランクトンバイオマスに占める割合)

	藍藻類	珪藻類	緑藻類
大 1,000 μm^3 以上		<i>Stephanodiscus suzukii</i> 4,200 μm^3 , 0.5% <i>Aulacoseira granulata</i> 1,500 μm^3 , 0.3%	<i>Staurastrum dorsidentiferum</i> 32,000 μm^3 , 58.3% <i>Closterium aciculare</i> 9,200 μm^3 , 6.6% <i>Mougeotia</i> sp. 27,000 μm^3 , 3.0%
中 100 μm^3 以上~ 1,000 μm^3 未満	<i>Microcystis wesenbergii</i> 110 μm^3 , 0.3%	<i>Fragilaria crotonensis</i> 750 μm^3 , 1.6% <i>Stephanodiscus pseudosuzukii</i> 480 μm^3 , 0.8% <i>Aulacoseira nipponica</i> 580 μm^3 , 0.5%	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> 600 μm^3 , 6.0% <i>Coelastrum cambricum</i> 610 μm^3 , 2.5%
小 10 μm^3 以上~ 100 μm^3 未満	<i>Gomphosphaeria lacstris</i> 50 μm^3 , 1.6% <i>Chroococcus dispersus</i> 19 μm^3 , 0.4% <i>Microcystis</i> sp. 65 μm^3 , 0.4%:2種類	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> ・琵琶湖では636種の植物プランクトン種が確認され、平均優占率は17Bでは16種の植物プランクトン総炭素量が全体の84%を占めていた。 ・アンダーライン種は2倍以上の粘質鞘の保有種である。 </div>	
極小 10 μm^3 未満	<i>Aphanothece clathrata</i> 1 μm^3 , 1.2%		

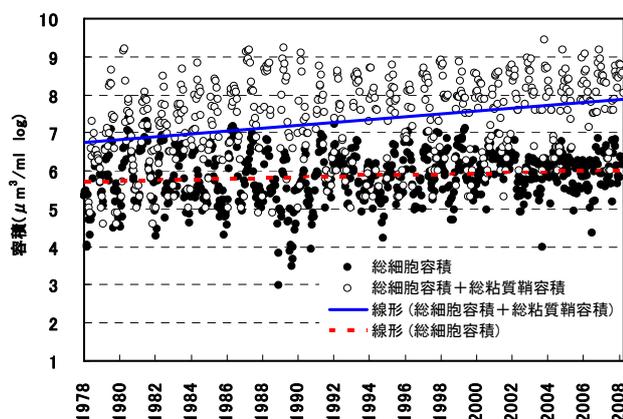


図7 琵琶湖北湖(今津沖中央 水深0.5m)における植物プランクトン主要種(16種)の総細胞容積と粘質鞘を含む容積量の変動

向にあることが明らかとなった。

- ③ 琵琶湖北湖・南湖の優占種を整理した結果、琵琶湖北湖では優占する16種類の炭素量のバイオマスでみた優占率は84%、琵琶湖南湖では優占する14種の炭素量バイオマスでみた優占率は59%を占めた。
- ④ 琵琶湖北湖・南湖の優占種を整理した結果、この中で北湖・南湖ともに共通する優占種は8種類であった。
- ⑤ 植物プランクトン種毎の粘質鞘容積を計測し、データ

ベース化した結果、琵琶湖では粘質鞘容積が増加傾向にあり、藍藻の寄与率が近年増加していることが明らかとなった。

5. 引用文献

一瀬論・若林徹哉・藤原直樹・水嶋清嗣・野村潔(1999):琵琶湖における植物プランクトン優占種の経年変化と水質. 用水と廃水, 41:7, 12-21.

一瀬論・若林徹哉・藤原直樹・水嶋清嗣・伊藤真(2001):琵琶湖における植物プランクトンの現存量の変遷について(1978-2000). 第9回世界湖沼会議要旨:337-340.

一瀬論・若林徹哉・古田世子・吉田美紀・岡本高弘・原良平・青木茂(2007):琵琶湖北湖における植物プランクトン総細胞容積量の長期変遷と近年の特徴について-2001年度から2005年度を中心に-. 琵琶湖環境科学研究センター所報, 2:97-108.

Kagami, M., Urabe J. (2001): Phytoplankton growth rate as a function of cell size. an experimental test in Lake Biwa, *Limnology*, 2:111-117.

Reynolds, C. (2006): Growth and replication of phytoplankton In *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.

Strathmann, R.R. (1967): Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography*, 12: 411-418.