

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)

Long-Term Change of Biomass of Phytoplankton in Lake BIWA(1978-2000)

一瀬 諭* 若林徹哉* 藤原直樹* 水嶋清嗣* 伊藤 貢*

Satoshi ICHISE *, Naoki FUJIWARA *, Tetsuya WAKABAYASHI *, Kiyoshi MIZUSHIMA
* and Mitsugu ITO *

*滋賀県立衛生環境センター

* Shiga Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

琵琶湖における Phytoplankton 相の長期的変化について知るため、種類毎の平均細胞容積から積算して Phytoplankton 現存量を求めた結果、Phytoplankton 優占種は 1990 年以降、明らかに変化してきていることが明らかとなった。また、各月における平均細胞容積量は春季に小型種が多く、秋季に大型種が多くなる事も明らかとなった。

過去から現在にかけての琵琶湖の Plankton 現存量の変動を調べた結果、富栄養化防止条例制定以降 Phytoplankton 量は少なくなったが、その後、横ばいとなり、1995 年以降は徐々に増加傾向にあること等も明らかとなった。

We determined the long-term change of biomass of phytoplankton in Lake Biwa using mean cell volume determined by us. It became apparent that plankton community of Lake Biwa experienced a major change from 1990 in terms of total cell number as well as total biomass. In addition, biomasses of months averaged over study years tend to be small in spring and large in autumn.

Inspecting the variation of plankton biomass from past till present, the biomasses decreased temporary after the enactment of the ordinance against the eutrophication, however it became obvious that they tend to increase gradually after 1995.

琵琶湖, 植物プランクトン, 現存量, 長期変動, 総細胞容積, 富栄養化,
生態系の現状

Lake Biwa, Phytoplankton, Biomasses, Long-Term Change, Eutrophication, Ecosystem of present

20030232

1. はじめに

湖沼における Phytoplankton 現存量の測定は、多くの湖沼において実施されている。しかし、その現存量は、Phytoplankton の大きさを考慮せず、大型のものでも小型のものでも 1 個として計数し、総細胞数や総群体数で評価しているのが現状である。また、Phytoplankton 量の指標として活用されてきた Chlorophyll a 量についても濾紙を通過するような微小な種類が存在することや、藍藻類などのように Chlorophyll a 含有量の少ないものもあることなどの問題点もある。

近年、Phytoplankton の細胞容積を計算することにより総細胞容積を算出し、これに基づいた Phytoplankton 現存量が報告されるようになってきている。宮井¹⁾らは海域の Phytoplankton の形態を 6 タイプに分類し細胞容積を求め、Phytoplankton 現存量の簡易推定法を報告し KOVALA & LARRANCE²⁾らは細胞の形態を 17 タイプに分類し細胞容積を求める計算式を提示している。また、淡水域においても今村³⁾らが、霞ヶ浦で出現した 67 種類について細胞容積を計算し、STRATHMANN⁴⁾の式を用いて種類ごとの細胞炭素量として換算し、量的な Phytoplankton の季節変動について報告している。赤野⁵⁾は、琵琶湖の浜大津で出現した Phytoplankton 45 種類について細胞体積を求め、単位水量あたりの総体積量の変動についても報告している。

当センターでは現在までに、琵琶湖で見られた Phytoplankton を 400 種類以上報告⁶⁾しており、これまでに報告された細胞容積資料のみでは、現在の出現種に適用することは困難であった。

そこで我々は、Chlorophyll a 量のような化学的な分析データと Phytoplankton 現存量との関係を解析するため、琵琶湖に出現した各 Phytoplankton の平均細胞容積を計算し、これに基づいた Phytoplankton 現存量を推定し、1994 年 4 月～1995 年 3 月までの結果については日本水環境学会^{7) 8)}などで報告してきた。今回、この方法⁹⁾に準拠し、過去 23 年間における琵琶湖北湖中央に出現した Phytoplankton についても平均細胞容積を計算し、Phytoplankton 現存量の変遷についての考察を行った。

2. 調査内容

2-1 調査地点

調査は比較的非生物性懸濁物質量の少ない北湖中央(今津沖中央)の 1 地点で行なった。

2-2 調査地点

調査期間は 1978 年 1 月から 2000 年 12 月までの 23 年間、原則として毎月 2 回調査を実施した。

2-3 Phytoplankton 細胞数の計数方法

湖水 1ml を直接プランクトン計数板に取り、倍率 100 ～ 500 倍で観察し、各種類の同定および各種類毎の細胞数を計数した。また、藍藻については各細胞が微小で、しかもそれらが集まって「塊状」や「糸状」の群体を形成するものが多いため、その群体数を計数した。藍藻の総細胞数を求める際には、1 群体あたりの平均的な細胞数を予め計数し、その平均細胞数に群体数を乗じて計算した。なお、Phytoplankton 優占種とは、その単位水量あたりの総細胞数もしくは総細胞容積量が最も多かった種類である。

2-4 Phytoplankton 細胞容積の計数方法

Phytoplankton の形態は球体や楕円体、直方体、円筒形および紡錘形等で単純なものから複雑なものまで様々である。また、各種の突起等を有する Phytoplankton も多く、これらの種類の計算にはいくつかの部分に分けてモデル化し、部分体積の集合体と考えた。次に、Phytoplankton の細胞容積は成長過程、生息水域の栄養状況および季節的な消長によっても変動するが概算値を得るため、それぞれの種類について以下に述べる近似式により、各 Phytoplankton の細胞容積の概算値を求めた。この Phytoplankton の細胞容積は、琵琶湖で撮影した Phytoplankton 写真に、直接同倍率で撮影した Micrometer をあて、長さや幅、殻長、短径、長径などを計測した。写真からの測定が困難である種類については、接眼測微計を用いて計測したり淡水藻図鑑^{10) 11)}等の参考図書より平均的な値を引用した。細胞容積を簡便に求めるために Phytoplankton の形態を、A type: 円筒形、楕円柱、B type: 球体、楕円体、C type: 立方体、直方体の 3 type に分類し平均細胞容積の近似値を計算した。

2-5 Chlorophyll a 量の測定方法

Chlorophyll a 量の測定は GF/D・GF/F のガラス繊維ろ紙で分別した試料について、ユネスコ法であるアセトン水抽出分光光度法(上水試験方法)¹²⁾により測定した。

3. 結果および考察

3-1 プランクトン種と細胞容積

各プランクトンの細胞容積を計測した結果、藍藻は $100 \mu\text{m}^3$ 前後の小型のものが多かった。しかし、例外的に *Oscillatoria kawamurae* のような大型種も認められた。黄色鞭毛藻や珪藻は $500 \sim 1,000 \mu\text{m}^3$ 程度のものが多かったが、珪藻の中には $50,000 \mu\text{m}^3$ 以上の大型種も認められた。また、鞭毛藻は大型のものが多く、緑藻は $100 \mu\text{m}^3$ 以下の小型種から $10,000 \mu\text{m}^3$ 以上の大型種まで幅広く存在した。

3-2 総細胞数からみた優占種の変遷

琵琶湖北湖における細胞数からみた第1優占種の種類は、藍藻4種、黄緑色藻3種、黄色鞭毛藻5種、珪藻8種、渦鞭毛藻1種、褐色鞭毛藻1種、緑藻26種の計48種であった。また、優占種変遷の特徴からその経年変化は大きく3期間に分けられた。

- ・第1期(1978-1985年)は、冬季に珪藻の *Aulacoseira solida* が長期間優占種となって出現し、春季に *Uroglena americana* (黄色鞭毛藻)、夏季~冬季にかけて数種類の緑藻が周期的な変動を繰り返していた。
- ・第2期(1986-1990年)は、冬季に *Stephanodiscus carconensis* var. *pusilla* (珪藻) が主に優占種となり、春季には *U.americana* が優占種となった。しかし、その他の季節は様々な種が優占種となって出現した。
- ・第3期(1991-2000年)の特徴は、*U.americana* の増加は毎年確認されたが、1998年以降は減少し、更にこれまで優占種として出現しない種も数多く出現するようになった。

3-3 総細胞容積からみた優占種の変遷

総細胞容積からみた第1優占種は、藍藻4種、黄色鞭毛藻5種、珪藻8種、渦鞭毛藻3種、褐色鞭毛藻1種、緑藻13種の計34種であった。優占した種類数についてみると総細胞数では計48種類であったが総細胞容積では34種類と少なく、小型種の約30%が優占種から除外されていた。総細胞容積からみた優占種の変遷は、季節的には総細胞数からみたものと網別には概ね同様に推移したが、種類毎に比較すると大型鞭毛藻や大型緑藻の優占する回数が明らかに多くなり、種類も異なっていた。第1期では黄色鞭毛藻や緑藻が比較的規則正しく優占種の交代を繰り返した。第2期は冬季の珪藻に加え各種鞭毛藻も優占種となるようになり、夏季には藍藻や様々な種が出現するようになった。第3期である1990年以降の特徴は *U.americana* の増加は毎年確認されていたが徐々に少なくなり、これまで優占種として出現しなかった種が多く出現するようになり、以前のような規則正しい優占種の交代が認められなくなったことである。

3-4 総細胞数からみた現存量の変遷

総細胞数の変動は $77 \sim 50,000 \text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ で変動し、その平均は $1,700 \text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ であった。最も細胞数が多かった時期は1980年6月で *U.americana* が $49,800 \text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 計数され、全体の99%以上を占めていた。総細胞数の変動は第1期では変動幅が大きく、第3期である1990年以降は徐々に小さくなる傾向が認められた。また、過去から現在にかけての琵琶湖の Phytoplankton 現存量の変動は、1979年に制定された富栄養化防止条例以降、徐々に少なくなったが、1995年以降は再び徐々に増加の傾向にあることが明らかとなった。季節別にみると冬季は $500 \text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以下と少なく推移し、5~6月には $3,000 \text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上にまで増加した。平均総細胞数からみた Phytoplankton 現存量の変動は年1回の増加であった。

3-5 総細胞容積からみた現存量の変遷

総細胞容積は $3.6 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^7 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ で変動し、その平均値は $2.7 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ であった。最も総細胞容積が大きかった時期は1992年7月で大型緑藻の *Closterium aciculare* var. *subpronum* や *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* が出現し、この2種により全体の93%が占められていた。また、経月変動をみると、冬季は $1.0 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ 以下と低く推移していたが、6月~7月および9月~11月の2回に $4.0 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \cdot \text{ml}^{-1}$ 以上の大きな増加が認められ、総細胞容積量の変動は年2回の増加であり、総細胞数の年1回増加の結果とは異なった。また、Picophytoplankton が琵琶湖で大発生した1989~1990年には、総細胞容積量は減少した。その後、1995年以降の総細胞容積量は徐々に増加する傾向が認められた。

3-6 Chlorophyll a量とPhytoplankton量の関係

Chlorophyll a量は $0.6 \sim 29.9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ の間で変動し平均値は $4.4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。この Chlorophyll

a 量も 1980 年前半は比較的高かったが、その後、徐々に減少か横ばいの傾向が認められた。経月的な増加は 5 月、7 月、10～11 月の 3 回に認められたが、総細胞数の変動よりも総細胞容積量の変動の傾向がよく一致し、Chlorophyll a 量の変動を総細胞容積量の方がよく反映していることが改めて確認された。

3-7 平均細胞容積の経月変動

各月における 1 細胞当たりの平均総体積を計算した結果、春季に最も小さく、秋季が最も大きくなる傾向が認められた。このことは、毎年、春季に *U.americana* による大増加が認められるが、この各細胞容積が $98 \mu\text{m}^3$ と小さいこと、また、秋季には $10,000 \mu\text{m}^3$ 以上の大型緑藻の出現による増加が大きく影響していることが推察された。

4. おわりに

今回、長期間にわたる Phytoplankton 現存量について、平均細胞容積量を求め推定した結果、Phytoplankton 相は総細胞数からみても総細胞容積からみても、1990 年以降、明らかに変化してきていることが推察された。また、各月における平均細胞容積量は春季に小さく秋季に大きくなる傾向も認められた。過去から現在にかけての琵琶湖の Phytoplankton 現存量の変動を推定した結果、富栄養化防止条例制定以降、徐々に少なくなったが、1995 年以降は徐々に増加の傾向を示していることが明らかとなった。今後、細胞数の変動に加え、細胞容積や細胞炭素量を指標とした Phytoplankton 現存量も考慮し、琵琶湖水質評価に活用していきたい。

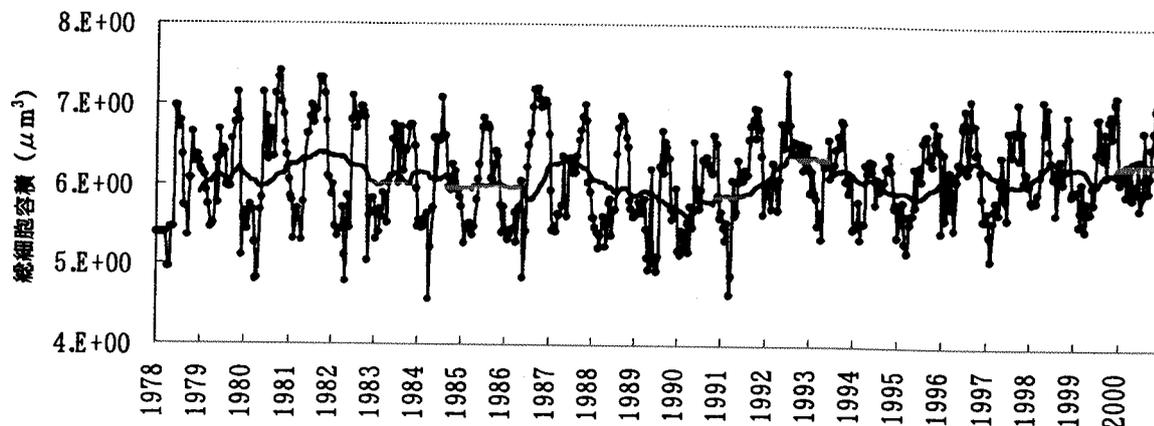


図 1. 琵琶湖における総細胞容積量の経年変動

5. 参考文献

- 1) 宮井 博 et al. : Bulletin of Plankton Society of Japan, 35, (1980-1989)
- 2) KOVALA, P.E. & J.D. LARRANCE : Department of Oceanography University of Washington, Special Report No. 38, 21 (1966)
- 3) 今村典子, 安野正之 : 国立公害研究所研究報告, 第 22 号 (R-22-'81), 123-148 (1981)
- 4) STRATHMANN, R.R. : Limnol. Oceanography, 12, 411-418 (1967)
- 5) 赤野寿子 : 奈良女子大学研究報告, Vol. 15, No. 7 (1974)
- 6) 滋賀県立衛生環境センター : 琵琶湖のプランクトンデータ集, 1994-1998, (2000)
- 7) 一瀬 諭, 若林徹哉 et al. : 第 31 回日本水環境学会年会, 295, (1997)
- 8) 一瀬 諭, 若林徹哉 et al. : 「用水と廃水」 41, 7, 12-21 (1999)
- 9) 一瀬 諭 et al. : 滋賀県立衛生環境センター所報, 26, 138-147 (1991)
- 10) 廣瀬弘幸, 山岸高旺 : 日本淡水藻図鑑, 内田老鶴圃新社 (1977)
- 11) Hustedt : Bacillariophyta in Susswasser flora A. Pasher (ed) gustav fihcer (1950)
- 12) 上水試験方法 : 日本水道協会, 20 叩 7 汎, 444-446 (1993)