琵琶湖の水質とプランクトンの変遷*

野村 潔

若林 徹哉

1. はじめに

琵琶湖では、近年富栄養化の傾向が見られるようになってきた。その結果、最近の透明度は北湖で平均5mと、大正末期の約1/2に低下しており、これは主としてプランクトンの増殖に起因しているものと思われる。これら藻類の増殖は、昭和45年頃から京都市および大津市などの上水道でカビ臭、そして昭和52年から7年間に、黄色鞭毛藻の *Uroglena americana* の異常増殖に伴う淡水赤潮となって現れた。さらに、昭和58年9月には南湖の一部沿岸水域において、水の華の発生を見るに至っている。

滋賀県立衛生環境センターでは、琵琶湖水質調査を昭和41年（当時、滋賀県立衛生研究所）から継続実施している。調査定回数および定点数は毎月1回、47定点で表層水について実施している。また、プランクトン調査は富栄養化が問題視され、プランクトンとの関係が注目されるようになった昭和49年から実施している。

Kiyoshi Nomura

昭和44年 関西大学工学部卒業
滋賀県立衛生研究所
同県立衛生環境センター水質課

Tetsuya Wakabayashi

昭和45年 京都大学工学部高分子化学科卒業
48年 滋賀県職員
49年 同県立衛生研究所
(現滋賀県立衛生環境センター)

なお、昭和50年から、これらの調査と合わせて水深別調査（6定点）を実施してきているので、これらの調査結果とその他に行っている富栄養化関連調査結果を基に報告する。

2. 水質の変遷

一般的な項目についての変遷を見ると、透明度は北湖中央での県水産試験場による琵琶湖横断定期観測によると、大正時代10mを超える清澄さを誇っていたが、少しずつ悪化し、昭和30年以降は7～8mで推移している。（p.269図5参照）

なお、当センターの調査結果では、昭和41年当時北湖平均5.8m、南湖平均1.9mで、その後昭和46年から昭和47年にかけて水質は一時的に悪化した（北湖平均：4.2m）、現在では5m程度にやや回復している。COD、BODは昭和41年当時北湖で、各々平均1.5mg/ℓ、0.6mg/ℓを示し、その後昭和54年までは徐々に増加の傾向を示していたが、それ以後、現在まではほぼ一定の値で推移している。

これら項目の季節的な変化について見ると、透明度では一般的に春、夏および秋に悪く、冬季に良い値を示している。このことは、大正時代から昭和初期にかけての傾向と異なっており、藻類の増殖が大きく影響しているようである。CODについても同様の傾向である。BODについては傾向は同様であるものの、春季の値が少し高くなっている。

最近の現況として、表1に琵琶湖表層水中における各項目の平均値を示した。透明度は季節的にかなり変化するが、北湖中央部では最近でも10mを超える観測結果も得られている。しかし、沿岸部や河川の増水および赤潮発生時等には低い値も見られ、平均的な値は表1に示した値となる。水素イオン濃度は表層においてpH 7～9とかなり季節的に変化するが、深層部では約pH 7で一定の値である。溶存酸素飽和百分率は表層において、藻類の増殖に伴って120%前後を示すこともあるが、1年を通じてはほぼ100%程度である。底層部の溶存酸素飽和百分率は少しずつではあるが、低下傾向の様相が見られ、最近、今津～長浜中央（水深92

* Water Quality and Planktons in the Lake Biwa, 昭和59年4月28日受理

表1 琵琶湖水質の現況

項 目	地 点	北 湖	南 湖
透 明 度 (m)		5.3	2.0
pH		8.0	8.1
D.O (%)		103	107
B O D (mg/ℓ)		0.8	1.4
C O D (mg/ℓ)		2.1	2.8
S S (mg/ℓ)		1.4	5.4
C I ⁻ (mg/ℓ)		7.8	8.3
NH ₄ ⁺ -N (mg/ℓ)		0.01	0.03
NO ₂ ⁻ -N (mg/ℓ)		0.002	0.003
NO ₃ ⁻ -N (mg/ℓ)		0.09	0.10
T-N (mg/ℓ)		0.25	0.35
PO ₄ ³⁻ -P (mg/ℓ)		0.001	0.002
T-P (mg/ℓ)		0.009	0.021
クロロフィル a (μg/ℓ)		5	10

(1983.4～'84.3における表層水の年間平均値)

m, 湖底から1 m 上部)では夏季の停滞期末期において40%程度にもなっている。水温は表層で5～30℃と当然のごとく季節的な変化が見られ、深層部では6.5～7.5℃ではば一定の値である。

次に富栄養化の程度を知るために、昭和45年から窒素およびリンの測定を行っているが、図1にそれらの南・北湖各々の表層での平均値を示した。北湖では全窒素が少しずつ増加の傾向にあって、それは主に無機態窒素の増加によるものであったが、ここ2～3年は一定である。一方、全リンは約0.01mg/ℓで一定している。南湖では全リンが昭和45年から昭和54年にかけて上昇傾向であったが、その後減少傾向で昭和58年には0.021mg/ℓと以前の値に戻っている。全窒素についてはここ数年、一定の値で推移している。

窒素およびリンの季節的な変化は、一般に無機態窒素については初夏から秋季にかけて低く、冬季に高くなり、有機態窒素は初夏から秋季に高く、冬季に低い逆の傾向を示し、増減パターンに明らかな季節性が見られる。これら窒素とリンは水中での生物活動と密接な関係があり、一般には窒素およびリン濃度でもって湖沼の富栄養化度が論じられている。琵琶湖においては全窒素は南・北湖とも富栄養湖と言われている境界値(0.15mg/ℓ)を超えている。全リンについては南湖は境界値(0.02mg/ℓ)付近が富栄養湖の範囲に入り、北湖は貧栄養湖の範囲に入っている。窒素およびリンの最近での値は表1に示したが、硝酸態窒素については水温躍層に伴って成層構造を示しており、深層部では0.15～0.35mg/ℓと表層部に比べて高い値である。

これら窒素およびリンの水界中での現存量につい

図1 窒素リン濃度の経年変化(表層)

て、北湖を83水塊、南湖を3水塊として求めてみると、窒素は北湖で約8,250t、南湖で約100tで、リンについては北湖で約110t、南湖で約3tである。

3. プランクトンの変遷

水中に生活するプランクトンの種類と細胞数・個体数は変化しやすく、順々にいろいろな種が増加減少を繰り返し1年を終える。したがって、1年のある時期において大きい細胞数・個体数を示した種を順に1年間並べた表はプランクトンの面での特徴をよく示していると考えられる。水中で光合成を行う植物プランクトンは水界の基本的な生物群である。このプランクトンについて、琵琶湖北湖における1年間の優占種の変化は以前の調査からも引用して示すと表2のようであった。昭和27年から昭和33年の間の優占種の月別変化についての1つの特徴は珪藻が優占種になる月が多かったという点にある(1月～6月, 10月～12月)。これらの珪藻のうち晩秋と冬期に多く見られた *Stephanodisous carconensis* と *Melosira solida* は、現在も冬期に観察されるが、前者は現れ方が減少して後者が多く見られる。5月に優占種であった *Asterionella formosa* は昭和49年・昭和50年の調査でも5月頃に多く見られたが、それ以後の年は減少の傾向にある。しかし昭和58年4月には優占種となった。6月・10月に優占種であった *Attheya zachariasii* は昭和49年以後の我々の調査では少数のみ見出された。*Ceratium hirundinella* は現在も見られるが大きな細胞数を示すことはない。*Pediastrum biwae* は近年の南湖では9月・10月に増殖するが北湖では多くは見られない。昭

和41年の月別変化は昭和27年～昭和33年のそれとは大きく異なっている。昭和33年から昭和41年の間には昭和33年の春頃から起こった *Closterium aciculare* var. *subprorum* の著増、昭和36年からの *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* の増殖、動物プランクトンでは *Daphnia galeata* の出現と *Daphnia longispina* の増殖という異変があったとされている。昭和41年における優占種の月別変化にはこれらの異変が影響していると考えられる。昭和51年には *Staurastrum dorsidentiferum* var. *ornatum* は1月から4月には少なく、5月から7月に多く見られている。8月から10月は硅藻の *Fragilaria crotonensis* が優占種になっているが、これは昭和47年に北湖に現れ、それ以後しばしば増加を示しているプランクトンである。昭和51年も硅藻が優占種となっている月が多かったが、昭和27年～昭和33年と比較すると種の交代が昭和51年は少なかった点で異なっている。昭和57年では緑藻の *Planktosphaeria gelatinosa* が6ヵ月優占種であったのが目につくが、これも昭和50年代初期に琵琶湖に現れたものである。

単位容積中のプランクトン細胞数も湖の栄養度と関係があり、富栄養化が進むと増加し、極端に進むと減少するという一般的傾向がある。昭和53年から昭和58年までの北湖と南湖の1回の調査当たりの平均的出現観察細胞数を図2に示した。小さな細胞が多数集まって群体をなすプランクトンが大量に発生した年には大きな値が得られている。しかし、細胞数の増減の傾向を判断するためには、さらに長い期間の調査が必要と思われる。

動物プランクトンは原生動物、輪虫類、甲殻類などからなる。原生動物については琵琶湖国定公園学術調

図2 平均出現細胞数の年度別変動

査報告書によれば、根足虫では *Diffugia biwae*, *D. brevicolla*, *D. corona*, *D. acuminata*, *Arcella vulgaris*, *A. discoides*, *Centropyxis aculeata*, 太陽虫では *Actinophrys sol*, *Acanthocystis chaetophora*, 繊毛虫では *Tintinnidium fluviatile*, *Tintinnopsis cratera* が琵琶湖で出現したとされている。根足虫の中で *Diffugia biwae* は昭和36年ごろから減少したと言われているが、我々の定期調査ではほとんど見られていない。上に名前のあげられたものの外に *Amoeba*, *Diffugia*, *Euglypha*, *Paurinella*, *Cyphoderia*, *Nebella* 属の種が出現観察された。太陽虫では上にあげられたものの外に *Actinosphaerium*, *Raphidiophrys*, その他の属のものが出現観察された。繊毛虫は近年になって殊に種類数が増したと思われる。上記の2種以外に *Halteria*

表2 琵琶湖主湖盆における植物プランクトンの優占種の月別変化†

	昭和27年～昭和33年*	昭和41年*	昭和51年*	昭和57年**
1 月	<i>Stephanodiscus carconensis</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>
2 月	<i>Stephanodiscus carconensis</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>
3 月	<i>Stephanodiscus carconensis</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Oocystis submarina</i>
4 月	<i>Melosira solida</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i> , <i>Closterium aci.v.subprorum</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>
5 月	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Closterium aci.v.subprorum</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Stephanodiscus car.v.pusilla</i>
6 月	<i>Attheya Zachariasii</i>	<i>Closterium aci.v.subprorum</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
7 月	<i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Closterium aci.v.subprorum</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
8 月	<i>Pediastrum biwae</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
9 月	<i>Pediastrum biwae</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
10 月	<i>Attheya Zachariasii</i>	<i>Staurastrum dor.v.ornatum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
11 月	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Aphanotheca clathrata</i>
12 月	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Melosira solida</i>	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>

†月に2回の調査の行われている時は前期の調査結果によった *プランクトンネットで採集 **採水器で採集

表3 琵琶湖のプランクトンに起こった変化

昭和30年	Closterium aci. v. subprorum が著しく増殖
35年	Daphnia galeata が出現 Staurostrum dor. v. ornatum が大增殖 Daphnia longispina が大增殖
40年	南湖で Melosira italica が大增殖 (コカナダモが沿岸に広がる) Kellicottia longispina が出現 (水道水のカビ臭)
45年	西ノ湖で Peridinium africanum による淡水赤潮 (オオカナダモ繁殖) Fragilaria crotonensis が主湖盆に多量に出現 志賀町の湖岸で Peridinium africanum による淡水赤潮
50年	彦根市の湖岸で Peridinium africanum による淡水赤潮
55年	Uroglena americana による淡水赤潮 (水道水のカビ臭)

grandinella, *Askenasia volvox*, *Spathidium* sp., *Enchelydium* sp., *Didinium nasutum*, *Didinium balbianii*, *Dileptus* sp., *Paradileptus robustus*, *Staurophrya elegans*, *Pleuronema* sp., *Epistylis* などをはじめとして、多くの種が出現観察されている。

輪虫類では報告書にあげられた種以外に見られたものとしては、*Conochiloides coenobasis*, *Nottomata* sp., *Cephalodella* sp.などがあげられるが定期調査で見られた種は大部分が報告書にあげられた種であった。ここ数年では *Polyarthra trigla*, *Trichocerca stylata*, *Collotheca cornuta*, *Conochilus unicornis*, *Keratella quadrata* などが多く見られた。

甲殻類の中では報告書にあげられた以外の種は見られなかった。*Daphnia pulex biwaensis* は調査を開始した頃にすでに見られなくなっていたと思われる。

4. ま と め

琵琶湖における富栄養化の過程を見ると、透明度値で見られるように、昭和30年代までは比較的清澈で、植物プランクトンも珪藻類が中心であった。その後昭和30年代後半から昭和40年代前半にかけては徐々に汚濁の進行が見られ、緑藻類による上水道の濾過障害が生じてきている。昭和40年代中期から後期にかけては、汚濁の進行が一層進み、上水道の濾過障害に加えて異臭の発生が問題になり、活性炭の投入がなされ、窒素・リン濃度も富栄養化限界を超えるようになった。昭和50年代になると、理化学的な水質項目は横ばいか、やや回復している。しかし、植物プランクトンはさらに汚濁型の藍藻類が出現するようになり、その後 *Uroglena* による赤潮、そして昨年には *Anabaena* および *Microcystis* による水の華の発生を見るに至っている。

今後はさらに、従来からの理化学的な調査に加え、最近始めた AGP 試験、生産量およびプランクトン調査などを含めた総合的な検討解析に取り組み、琵琶湖という特定水域における富栄養化過程の正確な把握と実態解明、さらには、それによる水質浄化対策確立に向けて努力を重ねていきたい。

参 考 文 献

- 1) 琵琶湖水質調査報告書, 滋賀県立衛生環境センター(1983)
- 2) 野村 潔: 琵琶湖の水質と堆積物について, 水, **315**, 93-95
- 3) 野村 潔, 市木繁和, 中村敏博, 水嶋清嗣, 田中勝美: 琵琶湖における鉛直水柱内の現存量変化, 滋賀県立衛生環境センター所報, **18**, 121-124
- 4) 水嶋清嗣, 野村 潔, 田中勝美, 市木繁和: 藻類培養試験を用いての琵琶湖富栄養化調査, 滋賀県立衛生環境センター所報, **18**, 118-120
- 5) S. Ichiki & K. Nomura: A Study of Photosynthetic Production in Lake Biwa, THE REPORTS OF INVESTIGATIONS ABOUT LAKE BIWA, 1, 51-55, Shiga Pref. Inst. Pub. Helth. & Environ. Sci.
- 6) 根来健一郎: 滋賀県植物誌, 275-330, 保育社, 東京(1968)
- 7) Syuiti Mori et al: First Report of the Regular limnological Survey of Lake Biwa (Oct. 1965-Dec. 1966)
- 8) 根来健一郎: 琵琶湖国定公園学術調査報告書, 245-274, 滋賀県, 1971