

1994年の渇水に伴う琵琶湖水質の変動

Changes of Water Quality of Lake Biwa Caused by the Shortage of Water in 1994

山中直* 藤原直樹* 佐貫典子* 松岡泰倫*
Sunao YAMANAKA* Naoki FUJIWARA* Noriko SANUKI* Yasumichi MATSUOKA*
若林徹哉* 一瀬諭* 田中勝美*
Tetsuya WAKABAYASHI* Satoshi ICHISE* Katsumi TANAKA*

ABSTRACT: In the late summer of 1994, the water level of Lake Biwa was reached to 123cm under the standard level by the shortage of water. The level is the lowest since measurement of the water level was begun. This shortage of water was caused by small rainfall in the rainy season and high temperature from May to middle of September. The weather condition gave various influences to the water quality of the lake. But the results were different by shape of basins in the lake. In the deep and large northern basin, NO₃-N, the only detectable nutrient, was disappeared from surface layer in early stage. It brought small amount of algae and high transparency in the basin. In the shallow and small southern basin, high concentrations of COD were measured, as retention time in the basin became long and the effect of influx from the northern basin was decreased. In the more shallow and half closed water area, Akanoi Bay, extremely high concentrations of total phosphorus were measured, it caused continuous generation of water bloom of blue-green algae under the weather condition.

KEYWORD: LAKE BIWA, SHORTAGE OF WATER
TRANSPARENCY, NUTRIENT, STRATIFICATION

1. はじめに

1994年の琵琶湖の水位は、梅雨期やそれ以降にまとまった降水がなかったため、5月後半から減少しはじめ、特に7月中旬から9月中旬にかけて急激に低下し、9月15日には-123cmに達した。この時期に北湖中央では高い透明度、南湖では高いCOD値がみられた。その後、低気圧や台風の通過によって水位は一時的に回復したが、秋季も降水量が少なかったため再び水位が低下した。

滋賀県立衛生環境センターでは、このような気象条件下で琵琶湖水質がどのように変化したのかを詳細に調査した。

2. 調査地点および調査回数

琵琶湖は、本州中央部に位置し、面積670km²、容積275億



図1 測定地点

*滋賀県立衛生環境センター

*Shiga Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

m³の日本最大の湖沼であり、その最奥部で北湖と南湖に分かれる。北湖は平均水深43mであり、5月から1月頃まで水温成層が見られる。南湖は平均水深4mで北湖のような長期的な成層は観測されない。調査は、図1に示したように、北湖中央では、水深約90mの地点（今津沖中央）で、また、南湖中央では水深4mの唐崎沖中央で行った。さらに、南湖北東部に隣接した平均水深約2mの赤野井湾でも調査を行った。赤野井湾は消波堤の建設によって、琵琶湖本体から湖水が入りにくくなっており、閉鎖性が高く、流入河川の影響を受けやすい水域である。北湖中央の調査地点では、水深別に0.5~90mまで10部位で採水し、その他の地点では、水深0.5mで採水した。調査頻度は、週1回から月2回であった。

3. 測定項目および測定方法

測定項目は、透明度・水温・COD・溶存酸素・SS・全窒素・アンモニウム態窒素・亜硝酸態窒素・硝酸態窒素・全りん・りん酸態りん・塩化物イオン・溶性珪酸・クロロフィルaおよび表層の植物プランクトンである。

測定方法は、栄養塩等化学的項目については当所が実施している琵琶湖水質調査の方法で¹⁾、また、植物プランクトンは、検水を直接顕微鏡で観察し、同定・計数した。

4. 調査結果および考察

4. 1 1994年度の気象状況について

琵琶湖の水位と彦根における降雨量を図2に示した。なお、気象状況については、彦根地方気象台によるデータ²⁾を、また琵琶湖水位は建設省琵琶湖工事事務所のデータを用いた。

琵琶湖の水位は、6月1日に+5cmとほぼ基準水位であったが、6月の降水量が105mmと平年の46%であったため、7月1日には-19cmまで低下した。7・8月はさらに降水量が少なく、それぞれ7月41mm（平年比19%）8月37mm（平年比30%）であり、この影響を受け水位は急激に低下し、9月15日には過去最低の-123cmまで達した。7月以降、水位が上昇したのは8月21日に流域全体に約30mmの降水があった時だけであった。

その後、9月16日の前線を伴う低気圧と9月29日の台風26号によって流域全体に各々平均100mm前後の降水があり、水位は急激に回復し、10月5日には、水位は-46cmになった。9月の降水量は320mm（平年比165%）であった。

気温と琵琶湖北湖の水温の関係を自動測定局のデータを用いて図3に示し

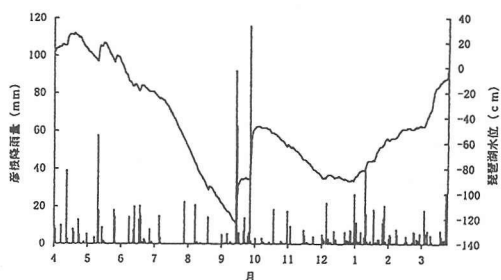


図2 水位と降雨量（彦根）の変動

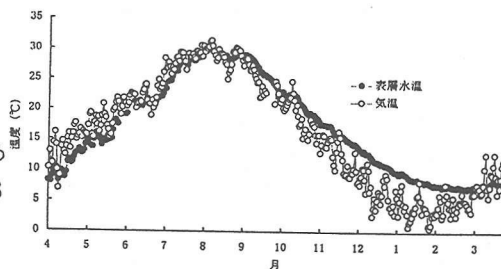


図3 北湖の水温と気温の関係

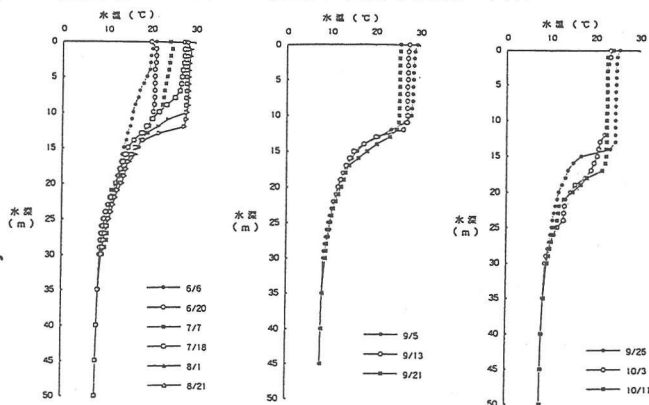


図4 水温の鉛直プロファイル

た。また、図4に水深1m毎の水温の変動を示した。北湖の気温と水温の関係は、水塊の鉛直混合の大きな要因になる。気温が水温より高いときには表層での成層が生じ鉛直的な動きが抑えられ、気温が水温より低くなると鉛直混合が生じる。

5月から7月まで日平均気温が日平均水温を下回るのは極めて少なく、水温は上昇し続け、鉛直混合は抑えられたものと思われる。また8月中は、水温と気温がほぼ同一であり、この期間に表層から10ないし15mまではほぼ均一の水温となった。9月には、気温が水温を下回り、表層の水温が低下したが、躍層を下げるまでの水温低下はなかった。さらに、9月には2度の大きな降雨があったが、最初の9月16日の降雨（低気圧）では、躍層下での水温の上昇が小さかったことから、躍層を物理的に大きく下げることはなく、次の9月29日の降雨（台風26号）では水深27mまで水温が上昇したことから、かなりの混合が起こったと思われる。この二つの降雨の降雨量はほぼ同じであり、鉛直混合は強風によってもたらされたものと思われる。

10月30mm（平年比26%）、11月46mm（平年比55%）、12月64mm（平年比77%）と降水量は再び平年値を割り込み、12月末まで水位は低下し続け、12月29日に-90cmを記録した。1月は比較的降水量が多く、また冬季の蒸発散量や水需要が少ないため、水位は回復しはじめ、3月31日には基準水位となった。

この水位の変動から、6月1日から9月15日までを夏季渇水期、9月15日から10月5日までを秋季水位回復期、10月5日から12月29日までを秋・冬季渇水期、12月30日から3月31日までを冬季水位回復期とした。

4. 2 北湖中央部の水質

北湖中央部の水質の経月変動を1979年度からの定期採水時のデータと比較して図5に示した。また、硝酸態窒素濃度・クロロフィルa濃度および溶存酸素飽和度の鉛直分布の経月変化を図6～8に示した。

北湖中央部では、6・7月の水温上昇期に水の鉛直混合が抑えられ、大きい粒子が沈降しやすくなり、7月初旬には、粒径が小さく、また、鞭毛をもって運動するため沈降しにくいロードモナスが優占種になり、さらに藍藻のシネコッカスに属するピコプランクトンも増加した。また、図6に示したように硝酸態窒素が表層から枯渇していったため、クロロフィルaの濃度ピークの水深は徐々に低下し、8月上旬以降最も温

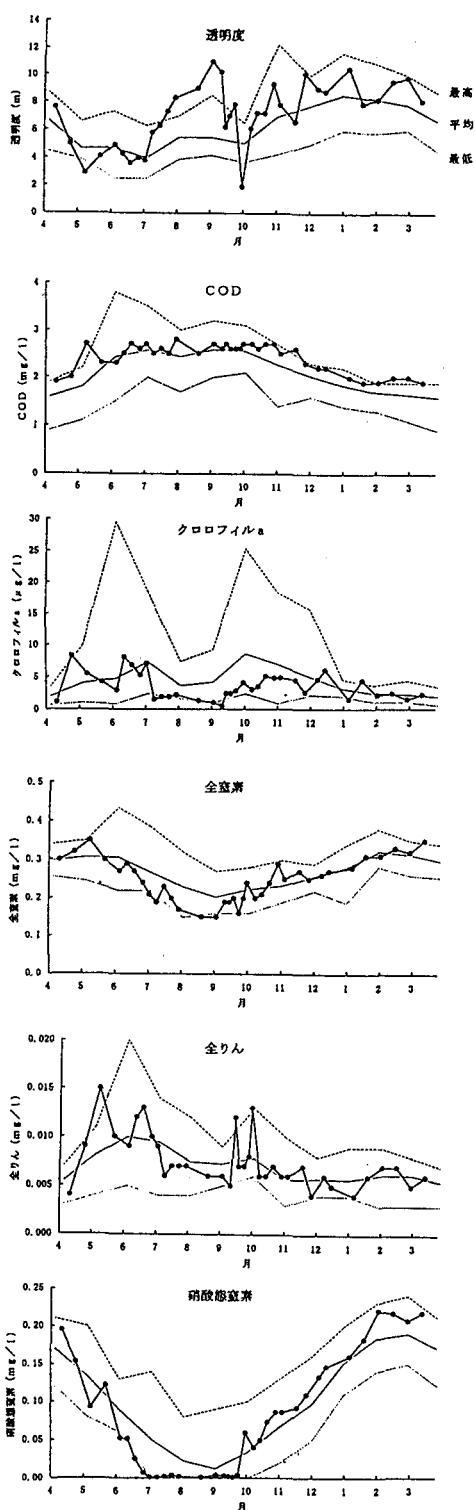


図5 北湖中央の水質変動

度差が大きい15m層に大きなピークを作るようになった。

この表層域での成層のため、クロロフィルa濃度は低下し、また、植物プランクトンが硝酸態窒素を吸収して沈降するため、低い全窒素濃度となった。炭素については、CODに評価されない重炭酸イオンを植物プランクトンが吸収するため、また粒子態の寄与率が低いとCODの低下はみられなかった。逆に、塩化物イオンで代表されるように、例年であれば、薄い表層域に梅雨期の降雨で希釈された河川水が流れ込むため、希釈効果がみられるが、1994年は、ほとんどみられないか、8月以降のようにやや濃縮されていたため、COD濃度は平年よりやや高めであった。

8月上旬に、水深15m層でクロロフィルa濃度の急上昇がみられた。このとき、透明度は8m程度であり、硝酸態窒素が存在していたが光が届かず生産より分解の方が大きく、溶存酸素は100%以下であったことから、その場で生産されたものではなく、上層で生産されたものが水温躍層に蓄積したものと思われる。しかし、9月上旬には、透明度は10mを越え15m層でも生産が分解を上回り、140%という高い溶存酸素飽和度を示し、硝酸態窒素の大幅な減少がみられた。例年では見られない大きな生産であった。なお、この15m層のクロロフィルaのピークで多く見られた植物プランクトンは、藍藻のアファノテーケとピコプランクトンであった。

9月には、降雨に伴って、2度の河川からの大きな流入があったが、9月16日の降雨では、躍層の攪乱はほとんど起こらず、中・深層からの供給はなく、河川水の流入による表層への硝酸態窒素の増加もほとんど見られなかった。一方9月29日の台風では、物理的に水が攪拌され、躍層下の硝酸態窒素が表層にもたらされた、その影響は水深27mまで及び、前回の降雨との比較から、表層域における硝酸態窒素濃度の上昇は、深層から鉛直混合によってもたらされたものが大部分を占めるとと思われる。

北湖の透明度は、台風通過後1週間目では、約2mと極めて低い値であったが、2週間目以降6～10mで推移しており平年よりやや高い。水温が低下するのに従って、鉛直循環が進み、表層水が深層水と混合することから、COD濃度の低下、硝酸態窒素および全窒素の上昇が観測された。栄養塩の回帰によって緑藻のプランクトンスフェアやスタウラスツルムの増殖がみられ、9月の調査時と比較してクロロフィルa濃度が上昇したが、それでも平年並みであった。

北湖では、2月に完全循環し、鉛直分布は一様になった。2月・3月のCOD・全窒素・全りんおよび硝酸態窒素の値は昨年度並みかやや低い程度で、この時点では、湯水が琵琶湖北湖全体の水質への影響はあまり見られなかった。

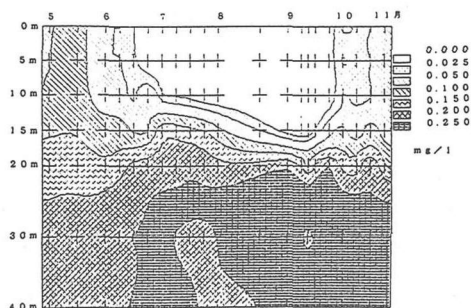


図6 硝酸態窒素濃度の鉛直分布

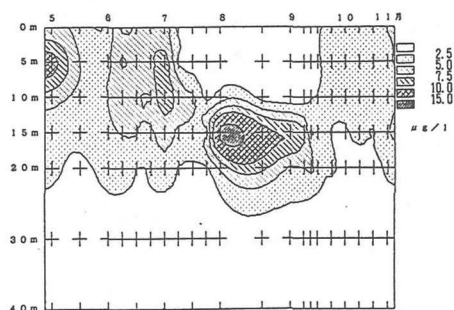


図7 クロロフィルa濃度の鉛直分布

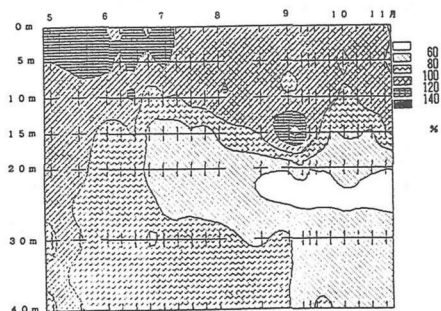


図8 溶存酸素飽和度の鉛直分布

4. 3 南湖中央部の水質

南湖中央部（唐崎沖中央）での測定結果を図9に示した。南湖中央では、6月前半までは、比較的高いクロロフィルa濃度であったが、その後は、北湖からの流入水の影響を受け、栄養塩のひとつである硝酸態窒素が減少し7月後半に枯渇したため、6月中旬以降は $10\mu\text{g/l}$ 以下の低いクロロフィルa濃度で推移した。しかし8月後半から徐々にクロロフィルa濃度が上昇した。この期間降雨量は少なく、河川からの栄養塩の供給は小さく、かつ北湖からの流入による希釈も小さかったことから、このクロロフィルa濃度の上昇は、次章で述べる赤野井湾から流出したものが拡散したもので、もしくは拡散後分解して生じた栄養塩を植物プランクトンが吸収して生育することができたものと考えられる。

9月16日の降雨は南湖に多量の栄養塩を供給し、その後の珪藻メロシラの増殖に寄与した。この時期、溶性珪酸が多く存在し、また沿岸部から中央部への水の流れや気温の低下による鉛直方向の動きが生じたことが、浮遊手段を持たない珪藻の増殖に有利だったものと考えられる。珪藻の増加中に透明度は低下し、溶性珪酸は、急激に減少した。台風26号は南部にはあまり降水をもたらさなかったため、大きな水質変動はなかった。

南湖では、台風が通過して2週間後にクロロフィルa濃度が減少したが、やや珪酸濃度が上昇し、10月中旬には再びメロシラが増殖し、高いクロロフィルa濃度となった。11月中旬以降クロロフィルa濃度が低下しCOD濃度も低下したが、ここ数年来のCOD濃度上昇²⁾の影響のため、平均値より高い値であった。栄養塩では、硝酸態窒素濃度が北湖での上昇の影響を受け高くなったが、全りん濃度は渇水期より低い濃度で推移した。

4. 4 赤野井湾の水質

赤野井湾での測定値を図10に示した。赤野井湾では、水位低下が本格化した6月後半以降、全りん濃度が極めて高い富栄養化した状態になった。これは、塩化物イオン濃度が同じように上昇したことから、南湖からの流入が減少し河川の影響が高まったことが推察される。8月10日にはすでにクロロフィルa濃度が $80\mu\text{g/l}$ 程度であり、アオコ寸前の状態にあった。そして、8月15日の第1号のアオコ発生以後、9月中旬までのべ

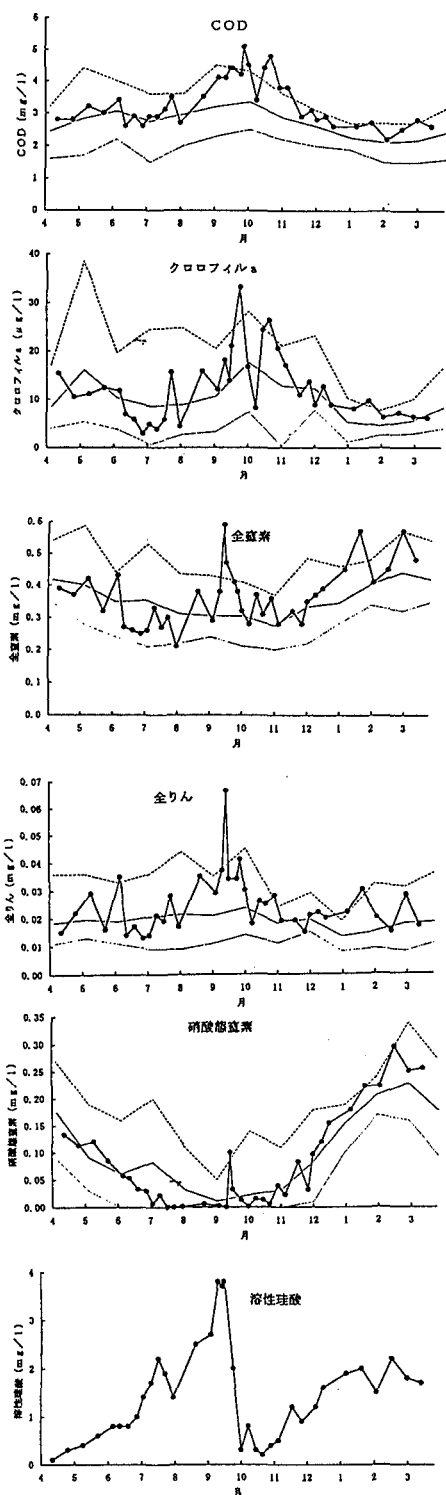


図9 南湖中央の水質変動

27日間というかつてない大規模な発生となった。8月21日の降雨も、希釈効果には乏しく、逆に栄養塩を負荷した結果となり、その後のミクロキスティスの増加に寄与したものと考えられる。また、この降雨以前では、硝酸態窒素が枯渇しており、窒素固定能を持つアナベナが優占していたが、この降雨で、窒素源が負荷され、アナベナがもたらした窒素源を含め窒素欠乏が解消され、それ以降ミクロキスティスが優占することとなった。

赤野井湾は、その容積が小さいため、9月16日の降雨の影響で、水が入れ替わってしまい、クロロフィルa濃度は急激に減少した。しかしながら、湾内には、高濃度の栄養塩が存在していた。さらに、台風通過によって、COD・クロロフィルaおよび全りん濃度がかなり低下した。秋季の水位回復時および秋冬季の水位低下時に優占した植物プランクトンは、珪藻のメロシラやヒメマルケイソウであった。

5. まとめ

5. 1 夏季の水位低下時

○北湖では栄養塩の流入量低下とプランクトンの沈降のため、栄養塩が早い時期に枯渇し、高い透明度が観測された。高い透明度のため、水深15mでピコプランクトンの増殖が観測された。

○南湖では8月後半からCOD濃度が上昇した。

○赤野井湾では全りん濃度が上昇し、アオコがのべ27日間というかつてない規模で発生した。

5. 2 秋季の水位回復以降

○北湖では台風通過時に、大きな鉛直混合が起こり、栄養塩が表層に回帰したが、植物プランクトンが例年以上に増加することはなかった。

○完全循環した2・3月の北湖のCOD・全窒素・全りん濃度は前年並みであった。

○南湖では9月の2回の降水量100mmの降水後、珪藻のメロシラが大量に増加した。

○赤野井湾では9月の降水以降、アオコを形成するミクロキスティスやアナベナの発生は抑えられた。

6. 参考文献

- 1) 彦根地方気象台：滋賀県気象月報 4, (1994)～3, (1995)
- 2) 滋賀県立衛生環境センター 他：平成5年度琵琶湖水質調査報告書 (1994)
- 3) 滋賀県：滋賀県環境白書資料編(1980～1994)

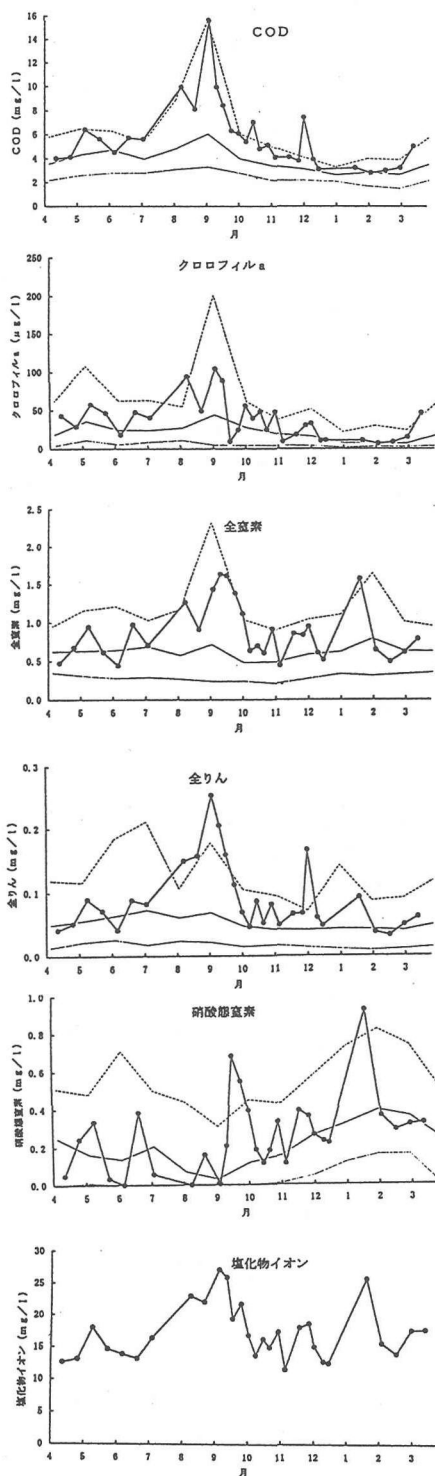


図10 赤野井湾の水質変動