

三方湖におけるアオコ形成藻類およびミクロシスチンの季節的変動

塚崎嘉彦・加藤賢二・鉾崎有紀・前川 勉

Seasonal Changes of the Amount of Cyanophytes with Gas Vesicles and Microcystin in Lake Mikata

Yoshihiko TSUKASAKI, Kenji KATO, Yuki HOKOZAKI, Tsutomu MAEKAWA

アオコを形成する藻類の中には有毒物質を産生するものがあり、湖沼における藻類由来の有害物質の状況が憂慮されている。そこで、アオコが毎年発生している三方湖を中心に、アオコ形成藻類およびミクロシスチンの分布と消長、産生および分解等の実態把握を行った。

平成12年度は *Microcystis* 属の発生が全くなく、糸状性藍藻の *Planktothrix* 属が優占し、10月にはうっすらと筋状のアオコを形成するまで増殖した。ミクロシスチンは大規模なアオコの発生がなかったこともあり、比較的低い濃度で推移していた。藻体当たりのミクロシスチン量も比較的小さい値であった。

1 はじめに

富栄養化した湖沼におけるアオコの発生は、悪臭を発することや、景観上の点から大きな問題となっている。また、アオコを形成する藻類の中には有害物質を産生するものがあり、湖沼における藻類由来の有害物質の状況が憂慮されている。

三方五湖の中で最も内陸部に位置する三方湖では昭和20年代頃からアオコの発生が見られたといわれ、近年ではほぼ毎年発生している状況にある。しかし、三方湖は水道水源として利用されていないこともあり、アオコの産生する毒素（ミクロシスチン）を測定したという報告例はほとんどない。

そこで、アオコ形成藻類およびミクロシスチンの挙動を知るため、アオコが毎年発生している三方湖を中心に、アオコ形成藻類およびミクロシスチンの分布と消長について実態把握を行った。

2 調査方法

2.1 調査地点および時期

調査地点はアオコが毎年発生している三方湖の東部、西部、南部、北部の4地点とし（図1）、平成12年4月から平成13年2月の計6回実施した。

2.2 水質調査項目

湖水の表層水（0.5m層）を採取し、水温、pH、DO、COD、SS、T-N、D-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、D-P、PO₄-P、Cl⁻、Chl-a、ミクロシスチン-RR（MC-RR）、ミクロシスチン-YR（MC-YR）、およびミクロシスチン-LR（MC-LR）について測定を行った。

2.3 分析方法

一般の水質項目は工場排水試験方法JIS-K0102等に従って測定を行った。また、ミクロシスチンに関しては土谷らの方法¹⁾に従いHPLCで測定した。

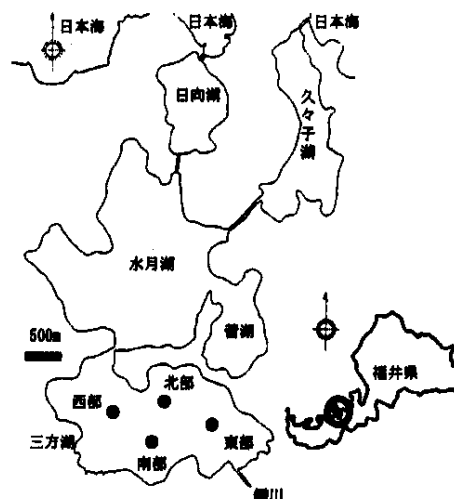


図1 三方五湖

ミクロシスチンの前処理は試料をガラスフィルター（1μm）を用いてろ過し、ろ液はエムボアディスクSDB-XDを用いて固相抽出し、Sep-Pak Plusシリカゲルでクリーンアップした後、HPLC測定用試料とした。フィルターは凍結乾燥させ、5%酢酸で抽出、ろ過後、同様の操作を行った。

2.4 植物プランクトン調査

湖水の表層水（0.5m層）を採取し、グルタルアルデヒド固定液を1 V/V%添加後、静置濃縮し試料とした。計数はプランクトン計数板を用いて行い、1ml当たりの細胞数を求めた。

3 結果と考察

3.1 水質調査項目

水質調査の結果を図2に示した。三方湖4地点における水質に関する項目に差異はあまりなく、ほぼ同様な傾向

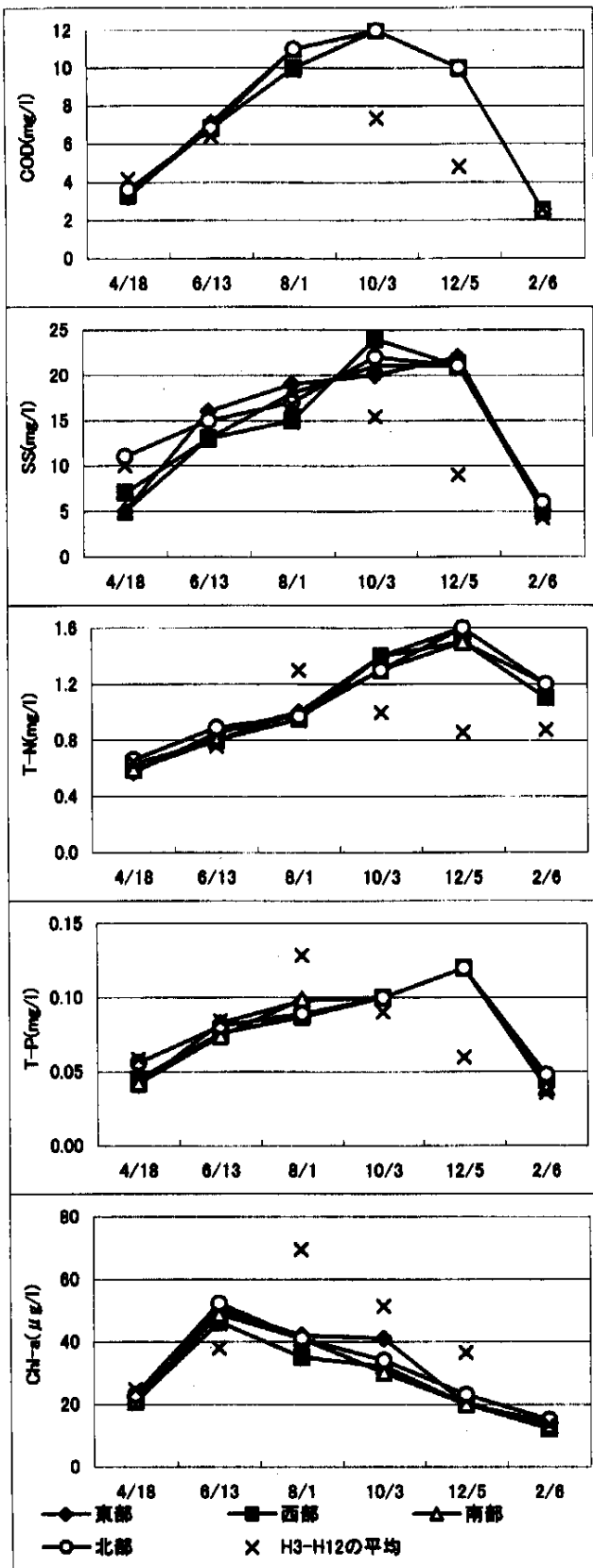


図2 水質調査項目の変動

を示した。

COD、SS、T-NおよびT-Pの各水質調査項目において、10月から12月を極大とする傾向が見られた。通常、富栄養化が進んだ三方湖では夏季に植物プランクトン（主に藍藻綱）の増殖に伴い水質の汚濁が進行し、図2の×印（三方湖東部の平成3～12年度の平均）で示したように8月をピークとした水質の変化が見られる。しかし、平成12年度は8月以降も汚濁の減少傾向が見られず、12月まで右肩上がりに増加していき、極大値をとった。しかし、2月になると隣接する水月湖ではさらに汚濁が進行したにもかかわらず²⁾、三方湖では例年並の濃度に戻っていた。クロロフィル-aについては他の水質調査項目とは異なり、6月に極大となったが、植物プランクトンの細胞数はCOD等と同様な推移を示し、優占種もほぼ一定であった。したがって、藻類の増殖状態の違いに応じて細胞当たりの全クロロフィル量に変化する可能性が考えられ、培養試験による検討が必要である。

3.2 植物プランクトン

平成12年度も平成11年度同様三方湖において大規模なアオコの発生は見られなかったが、10月、12月の調査時にはうすすら筋状のアオコの形成が見られた。図3に植物プランクトンの総細胞数および優占率の変動を示した。植物プランクトンもばらつきはあるものの4地点ではほぼ同様な傾向を示した。

水質調査項目同様、植物プランクトンの総細胞数も東部で 7.2×10^4 (4月)、 3.8×10^5 (6月)、 7.6×10^5 (8月)、 1.6×10^6 (10月)、 2.0×10^6 (12月) cells/mlと12月まで右肩上がりに上昇していった。三方湖における植物プランクトン相は藍藻綱中心であるため、水温の上昇に伴い増加していき、通常は夏季をピークにして減少傾向となるが、今年度は10月になっても増殖が衰えることはなかった。これは、優占種が平成11年度から優占する傾向にあった低水温に強い *Planktothrix agardhii* となったことが主な要因となっている。その後、2月の調査時には隣接する水月湖で 2.0×10^6 cells/mlにまで増殖し、湖面を膜状に覆っていたが、三方湖ではアオコの発生が見られることはなく、例年並の細胞数 (4.3×10^4 cells/ml; 東部) であった。平成10年度までは8月を中心に *Microcystis* 属による大規模なアオコの発生がたびたび見られていたが、平成11年度以降アオコの発生が見られなくなったのと並行して、*Microcystis* 属はほとんど見られなくなった。一方で *P. agardhii* は平成11年10月以降、優占率が50%を絶えず上回っている。平成12年度についても *P. agardhii* は4月から6月にかけては5割を占める程度であったが、8月以降6割以上を占め、12月には全地点ではほぼ100%を占めていた。2月についても細胞数は少ないものの *P. agardhii* が9割近くを占めていた。

他のアオコ形成藻類（偽空胞をもつ藍藻綱）につ

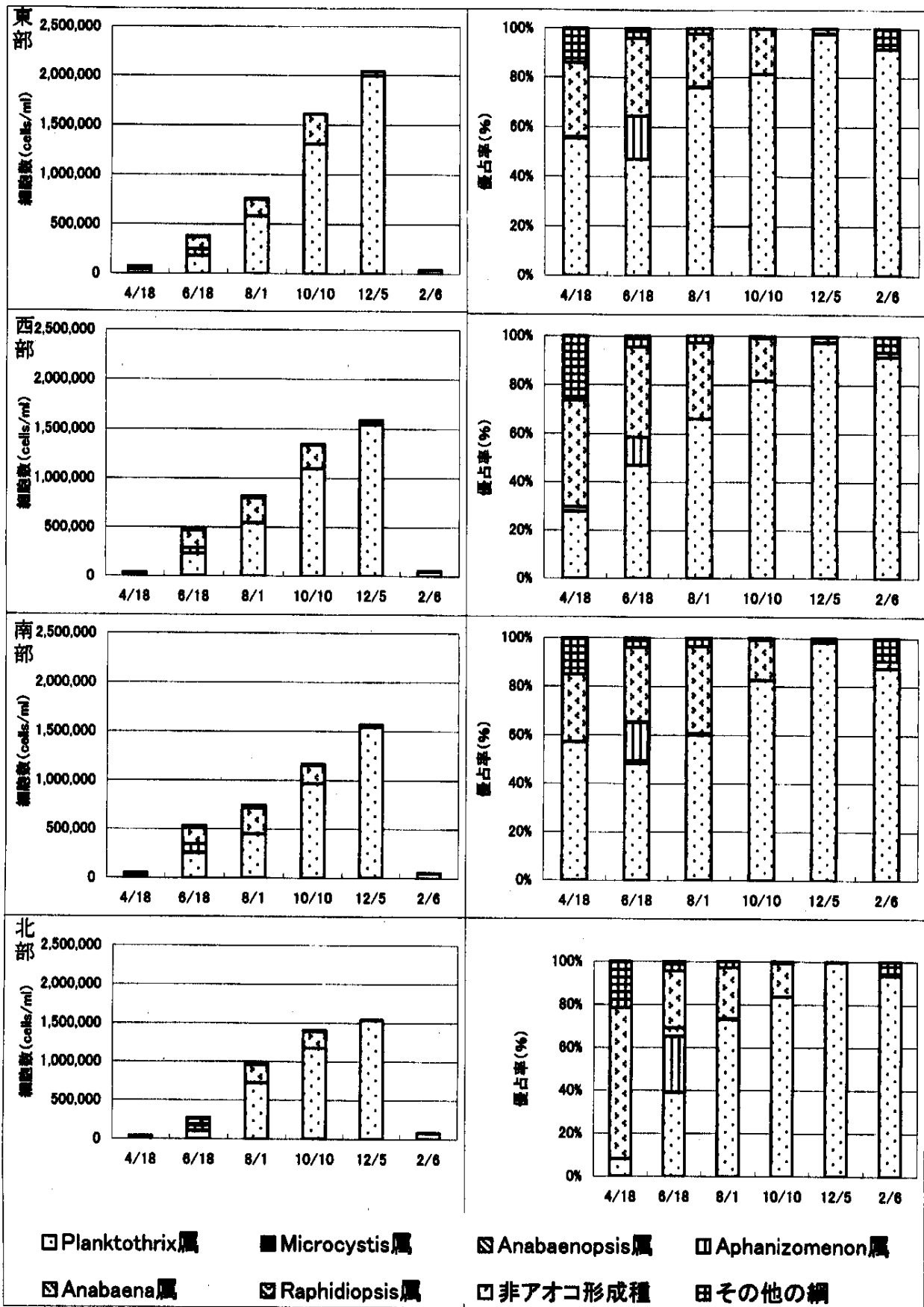


図3 植物プランクトン総細胞数、優先率の変動(平成12年度)

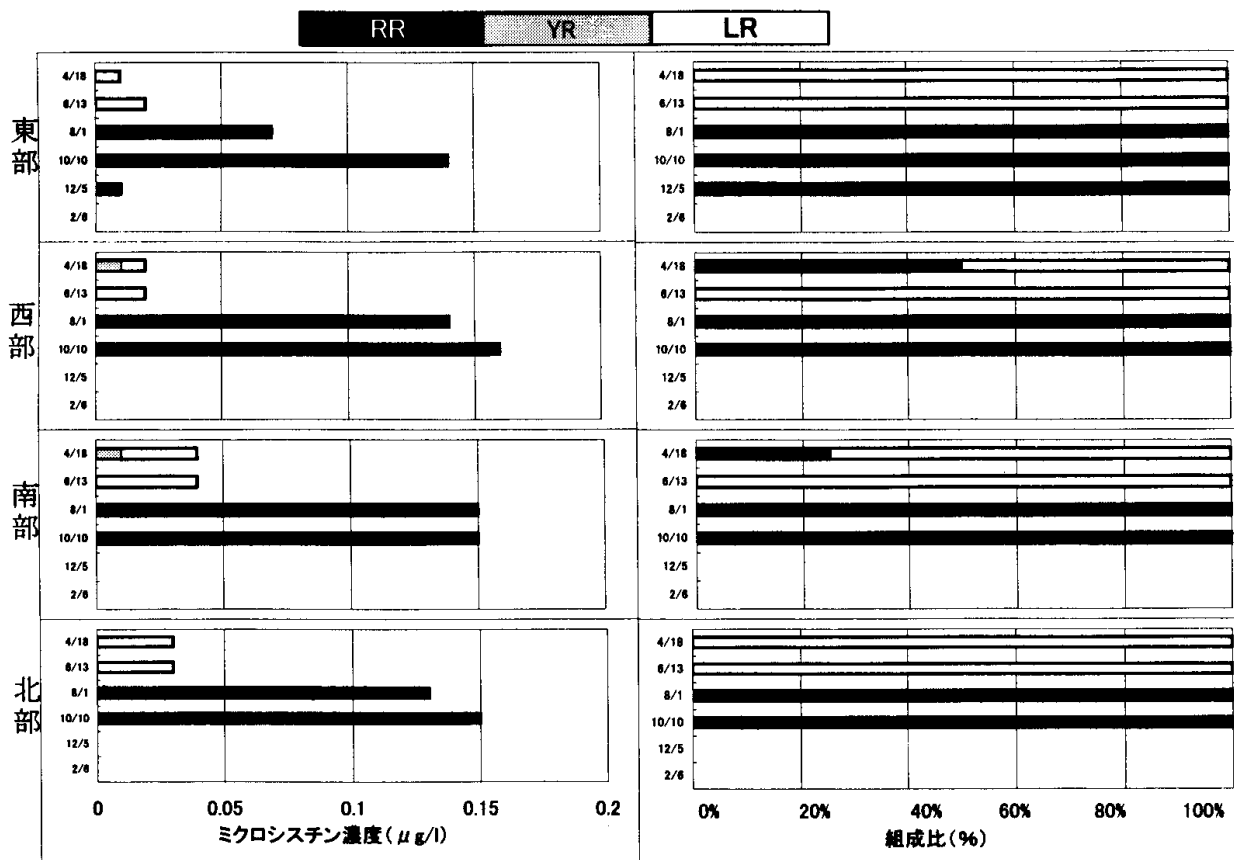


図4 各態別ミクロシチン濃度

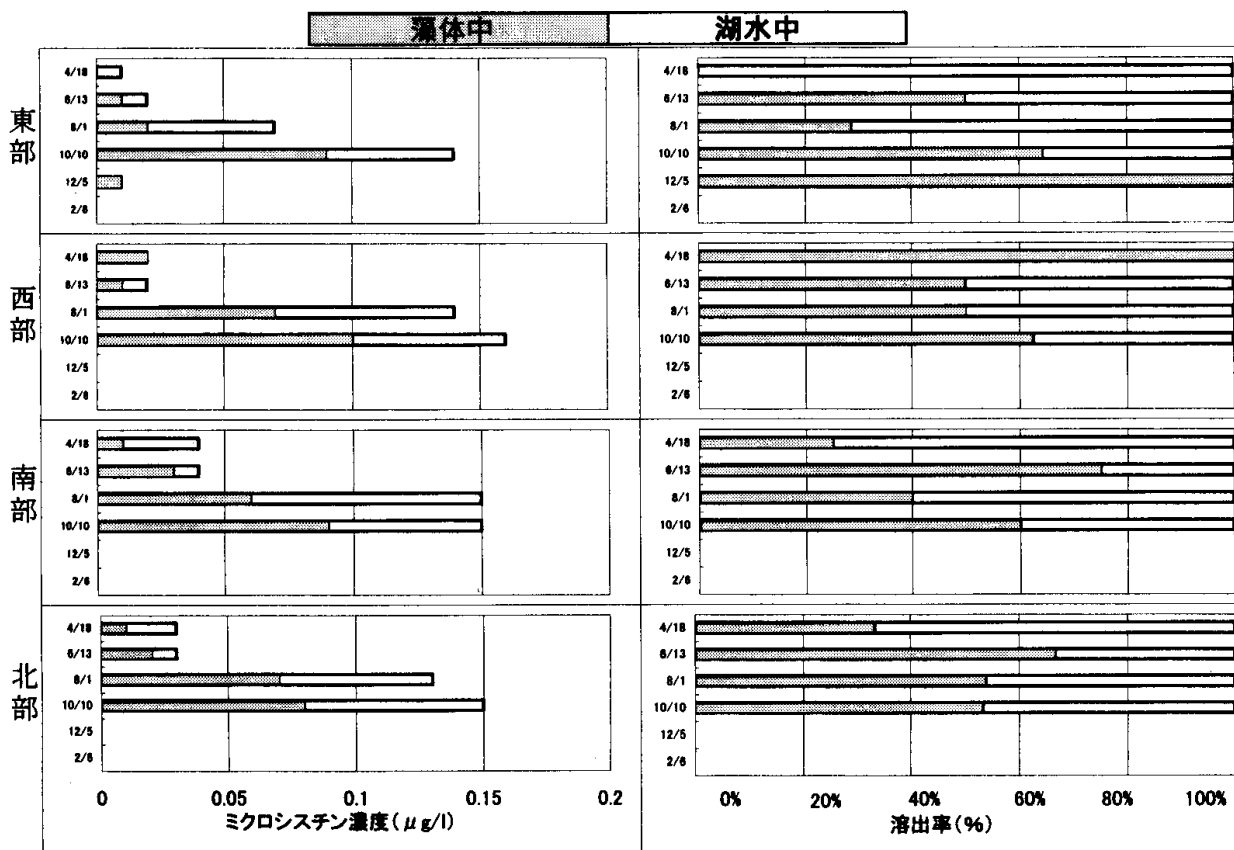


図5 藻体中および湖水中のミクロシチン濃度

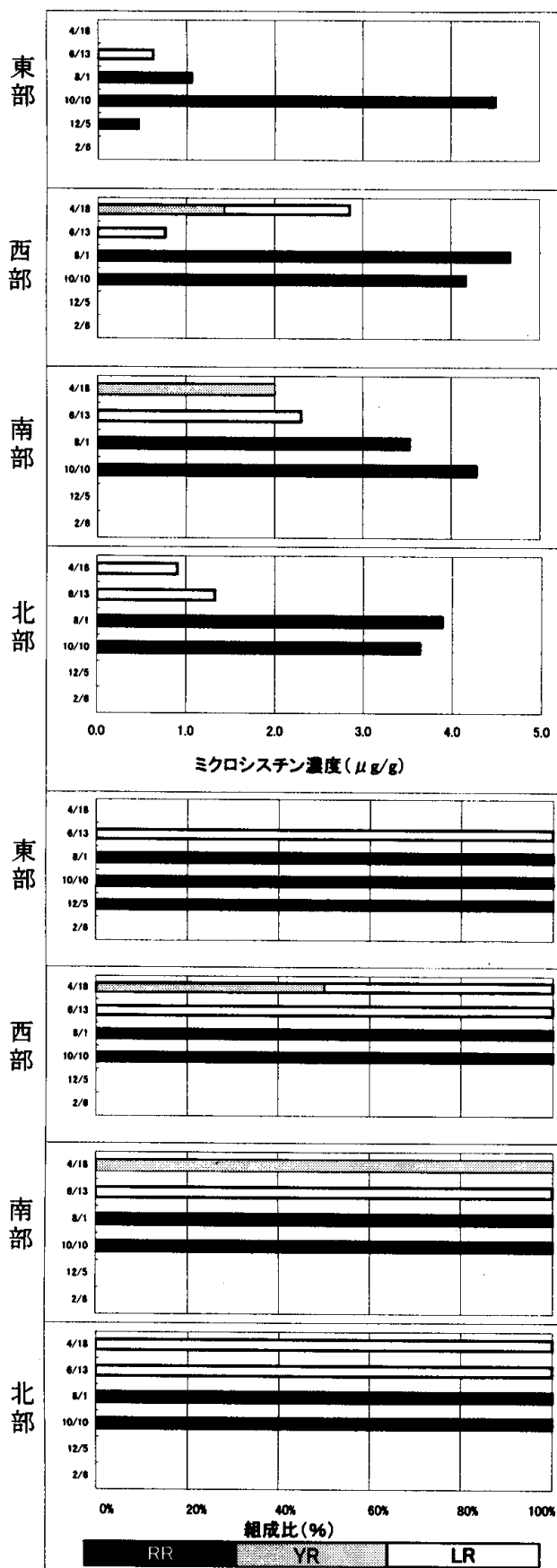


図6 藻体当たりのミクロシスチン濃度

いては6月に *Aphanizomenon* sp. が最大 8.3×10^4 cells/ml (南部) 出現したのを始め *Anabaena* 属、*Anabaenopsis* 属がわずかに出現する程度であり、*Microcystis* 属はいずれの地点においても観察されなかった。

藍藻網のうち非アオコ形成種では *Lyngbya* 属、*Oscillatoria* 属がそれぞれ最大で 1.3×10^5 (10月、東部)、 1.6×10^5 (8月、南部) cells/ml 出現した。また、西部と北部で *Phormidium* sp. が第一優占種になるなど、4月には非アオコ形成種が台頭しており、その後10月まで4地点ともほぼ一定の割合で出現していた。

珪藻や緑藻など藍藻以外の網の和である「その他の網」は4月に14% (東部) から27% (西部) を、2月に1割弱を占めた程度にとどまり、いずれも総細胞数が非常に少ない時期であった。したがって、三方湖における植物プランクトン相はやはり藍藻網を中心とした生態系であるといえる。

3.3 ミクロシスチン

図4にミクロシスチンの各態別の結果を示した。ミクロシスチン濃度は多少のばらつきはあるものの、4地点ではほぼ同様な傾向を示した。4月、6月はMC-LR が中心で濃度は低く、8月、10月はMC-RRで相対的に濃度は高かった。その後12月、2月になるとほとんどの地点で検出限界値 (各 $0.01 \mu\text{g/l}$) 以下であった。調査期間内で最大値をとったのは10月の西部で $0.16 \mu\text{g/l}$ であった。

湖水をろ過したろ液中のミクロシスチン濃度 (湖水中) とフィルターからのミクロシスチン濃度 (藻体中) の結果を図5に示した。ばらつきがあるものの、約4割程度湖水中へ溶出していた。平成10年度に環境庁の委託によって行われた「アオコ毒素等水質動態調査」では、ろ液中のミクロシスチン濃度は低く、ほとんどが藻体内に存在していた³⁾。この調査ではアオコの最も集積していた箇所のミクロシスチン濃度を測定したものであり、今回のようなアオコがほとんど発生しておらず、ミクロシスチン濃度が低い状態では相対的に湖水中の濃度が高い傾向になったのだと考えられる。

SSをアオコ藻体の乾燥重量とみなし、アオコ藻体1g当たりのミクロシスチン量を示したのが図6である。この値はミクロシスチンの生産能力をある程度想定できる値である。アオコ藻体1g当たりのミクロシスチンの量は最大でも $4.7 \mu\text{g}$ (8月、西部) という湖沼でも最大値が $100 \mu\text{g/g}$ 以上であった「アオコ毒素等水質動態調査」の値と比較すると非常に小さい値であった。これは、それらの調査時には *Microcystis* 属が優占しており、今回は *Planktothrix* 属が優占していたことが要因と考えられ、このことから *Planktothrix* 属は *Microcystis* 属に比べミクロシスチンの産生能が低いということが推察された。

採水が0.5m層であり、アオコがほとんど発生して

いないような状態であったので、これまでに他県で行われた調査に比べて低い濃度で出ることが予想され、単純な比較はできない。しかし、最も多いときの、3種の総和をもってしてもWHOの飲料水ガイドライン値（飲料水1l当たりMC-LRが $1\mu\text{g}$ ）の16%程度であり、MC-LRに限定すると4%程度であった。しかし、ミクロシスチンの調査は今年度始めたばかりであるので、今後データを蓄積することにより、よりいっそうの安全性の確認をしていく必要がある。今年度は*Microcystis*属から*Planktothrix*属へと優占種がはっきりと変わったことや、*P. agardhii*もミクロシスチン-RRなどを産生するといわれていることから¹⁾、今後*P. agardhii*の動向とともにミクロシスチンのモニタリングも重要になってくるであろう。

4 まとめ

三方湖におけるアオコ形成藻類およびミクロシスチンの季節的変動についての調査結果は以下のとおりである。

- (1)COD、SS、T-NおよびT-Pの各水質調査項目は4月より徐々に汚濁が進んで行き、10月から12月に極大値をとった。
- (2)平成12年度も大規模なアオコの発生はなかったが、アオコ形成藻類の*P. agardhii*が優占し、12月には 2.0×10^6

cells/ml（東部）にまで達した。

- (3)4月、6月はMC-LRが中心で濃度は低く、8月、10月はMC-RRで相対的に濃度は高かった。その後12月、2月になるとほとんどの地点で検出限界値以下であった。また、最大でも $0.16\mu\text{g/l}$ （10月、西部）と低い濃度であった。
- (4)ミクロシスチン濃度が低い状態のためか、藻体内の割合が比較的的低く、約4割程度湖水中へ溶出していた。
- (5)アオコ藻体1gあたりのミクロシスチンの量は最大でも $4.7\mu\text{g}$ と比較的小さい値であった。

参考文献

- 1) 土谷悦輝, 渡辺真利代: 環境水中のミクロシスチンのデイスク型固相による抽出, 衛生科学, 43, 190-196, 1997
- 2) 塚崎嘉彦 ほか: 三方五湖における糸状性藍藻の異常増殖について, 福井県環境科学センター年報, 30, p.p.85-87, 2000
- 3) 全国公害研協議会生物部会: アオコ形成藻類の動態および毒素に関する調査, 全国公害研会誌, 25, 50-54, 2000
- 4) 渡辺真利代 ほか編: アオコ—その出現と毒素—, p.63, 東京大学出版会, 東京, 1994