

## 第2章 *Microcystis* 属の発生抑制の意義と本研究の概念

### 2-1 序

富栄養化した湖沼やダム湖をはじめ、農業、工業用水池、公園の池に至る多くの水域で *Microcystis* 属の異常発生が顕在化している。さらに、*Microcystis* 属の増加とともに有毒物質 microcystin の存在量が増加する傾向も多く認められている。ここで、*Microcystis* 属の異常発生の代表例として、8月の霞ヶ浦土浦港の湖面を Photo2-1 に示す。湖面には *Microcystis* 属 (Photo2-2) が集積し濃緑色に変色している様子が肉眼ではっきり確認できるほどである。このような水域でも水道水源として利用せざるを得ない地域も多くなってきている。*Microcystis* 属やその産生毒素は、一般的な浄水処理工程（凝集、沈殿、砂ろ過、塩素殺菌など）のみでは完全に除去することは極めて困難である<sup>7),8)</sup>。また、藻類およびその代謝産物は殺菌用の塩素と反応して発ガン性の高いトリハロメタンを生成する<sup>9),10)</sup>。したがって、上水の安全性はますます懸念される。このため、安全な上水を供給するためには莫大な資金を投じ活性炭<sup>11)</sup>やオゾン処理<sup>7)</sup>といった工程を新設する必要性がでてきており、人々の生活に安全面、経済面で大きなリスクを負わせている。有毒藍藻の発生は、人々の生活を直接脅かすだけでなく、放牧された家畜や野生動物の生存環境に対しても大きな悪影響を与え、さらには水域の生態系を不健全化に導く危険性のあることが指摘されている。現在、富栄養化水域で発生する有毒藍藻を効率的に分解し、低減化を図るための浄化技術の開発が強く要望されている<sup>12)-16)</sup>。

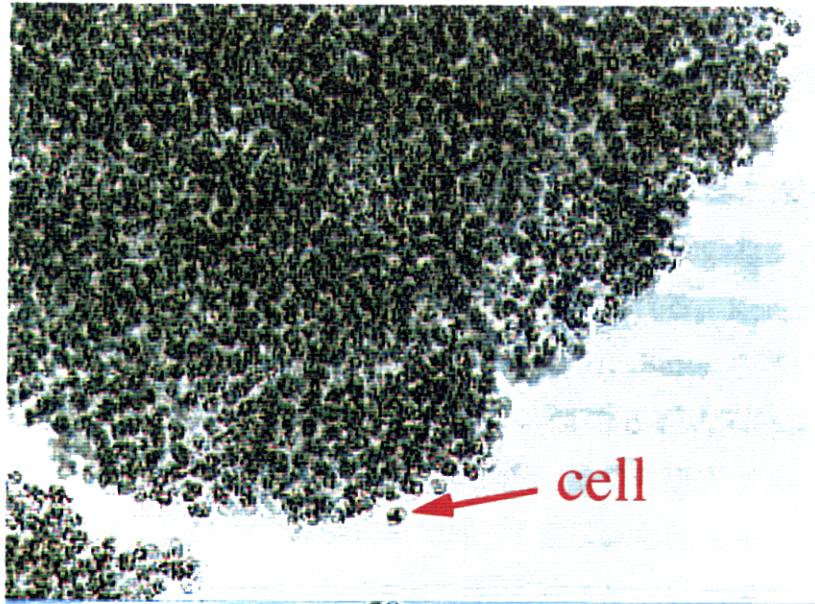
このような背景のもと、藍藻の毒素に関する研究、有毒藍藻の発生防止に関する研究が活発に取り組まれるようになってきた。

本章では、本研究を展開させるために、藍藻 *Microcystis* 属の産生毒とその影響、生態系操作による藻類の発生抑制に関する従来までの知見を整理し、本研究の概念を提示し独創性を強調した。



Photo.2-1 Algal bloom in Lake Kasumigaura

August 1994



**Photo 2-2** Photomicrograph of blue-green alga,  
*Microcystis* species

## 2-2 藍藻 *Microcystis* 属の産生毒とその影響

富栄養化水域で異常発生が認められる藍藻は、*Microcystis* 属、*Anabaena* 属、*Oscillatoria* 属などであるが、なかでも *Microcystis* 属であったという報告件数は極めて多い。*Microcystis* 属も含め一部の藍藻は毒素を産生する<sup>5),17),18)</sup>。藍藻が産生する毒素はその作用の違いからペプチドからなる肝臓毒とアルカロイドからなる神経毒の2つに分けられる<sup>5)</sup>。*Microcystis* 属が産生する毒素の成分については、Bishop ら<sup>19)</sup>が *Microcystis aeruginosa* から抽出した混合物のなかから肝臓毒の環状ペプチド化合物を発見したことが最初の報告とされる。Konst ら<sup>20)</sup>はこの環状ペプチド化合物を microcystin と命名し、さらに、Botes ら<sup>21)</sup>の研究により Adda, Mdha, 3種の D-アミノ酸を基本骨格とし、他に2種の不特定の L-アミノ酸を含むという基本構造が決定された。その後、多くの研究グループにより microcystin 構造を調べられ<sup>22)-26)</sup>、現在まで約50種以上も明らかにされている<sup>27)</sup>。*Microcystis* 属が産生する microcystin については生体への影響に関する研究もなされ、ネズミやラットなどの哺乳類に対する急性毒性の報告がいくつかされており<sup>28),29)</sup>、WHOのガイドライン化が決定した microcystin-LR の急性毒性はこれらの哺乳類に対し、青酸カリウム (KCN) よりはるかに強いことが明らかにされた。一方、慢性毒性としては肝障害、変異原性、胎仔障害があることが確認されている<sup>30)</sup>。その他、魚類に関しては、金魚<sup>31)</sup>やニジマス<sup>32)</sup>、鯉<sup>33)</sup>に対しても毒性を示す。また、動物プランクトンに対してはミジンコ類<sup>34)-36)</sup>、輪虫類<sup>37)</sup>、繊毛虫類<sup>38)</sup>の生存にも影響することが報告されている。以上のように、既往の研究から microcystin の毒性は哺乳類から魚類、動物プランクトンに至るまで大きな影響を与えることがわかり、その毒素を産生する主要属である *Microcystis* 属の異常発生を抑制する手法の確立は、生態系を健全な状態に保全していく上で大きな意義を有する。

## 2-3 生態系の食物連鎖の操作による藻類の発生抑制に関する既往の研究

*Microcystis* 属の異常発生を抑制するためには、その栄養源となる物質(窒素、

リンなど)の水域への流入を徹底的に削減する必要がある。生活排水や工業排水などの点源からの栄養塩の流入削減は、現在の水処理技術をもってすれば技術的には不可能ではない。しかし、それらを実行するためには、多大な費用の投資や地域社会での受け入れ体制の整備など、経済的、政治的な様々な問題があり、近い将来に実現することは極めて困難である。また、栄養源の発生元は必ずしも点源だけに由来するものではなく、森林、牧草地、農地などの面源からの流入負荷も見逃せない状況となってきた。しかしながら、水利用が先行する現状を考えると、栄養源の流入削減対策は今後より一層強化していく必要はあるが、栄養源が存在する状況でも藍藻の異常発生が抑制できる画期的な手法の開発が必要といえる。

現在まで、*Microcystis* 属の発生を防止するために、水生植物を利用した栄養物質の直接浄化、湖水の強制循環、底泥の浚渫などが行われているがいずれも画期的な成果をあげたケースは極めて少ない。そこで、本研究では食物連鎖の人為的操作(バイオマニピュレーション)<sup>39)42)</sup>に着目した。我が国では、バイオマニピュレーションによる水域の水質改善の実施例はほとんどないが、欧米では、まず、それに先駆け、バイオマニピュレーションで生態系の食物連鎖の構造を変えることができるか否かを検討するためにいくつかの実験が行われている。とくに、動物プランクトン捕食性の魚類の操作により実施した例が多数ある<sup>43)51)</sup>。そのなかで、動物プランクトン捕食性の魚類を改善対象の水域に放流し、魚類の捕食活動によって大型の動物プランクトンを減らし、大型の動物プランクトンの餌になっていた藻類捕食性の小型の動物プランクトンを増加させ、藻類量を減らしたケースが報告されている<sup>43)45)</sup>。逆に、水域に存在する動物プランクトン捕食性の魚類を捕獲あるいは殺魚剤で殺し、後に魚食魚を放流して動物プランクトン量を増加させ藻類量を減らしたケースも報告されている<sup>42)46)51)</sup>。このように、窒素やリンなどの栄養度を変えなくても、魚類のような大型の生物を操作し、現状の水域生態系で形成される一連の食物連鎖の構造は変えられることが実証されている。しかし、藻類種が群体状の*Microcystis* 属の場合、その群体をミジンコ類などの動物プランクトンが容易に捕食できなかったため、生態系は変化しなかったという報告がある<sup>52)</sup>。さらに、細胞内に

microcystin が含まれている場合、ミジンコ類などの動物プランクトンは増殖阻害されるので<sup>34)-38)</sup>、その捕食効果は期待できない。一方、*Microcystis* 属のような藍藻を削減するためのバイオマニピュレーションとして、直接藻類を捕食する雑食魚が放流された報告はあるが、*Microcystis* 属は消化されず生きたまま排出される<sup>53)</sup>。したがって、*Microcystis* 属の発生を生態系の食物連鎖を操作して行うためには、*Microcystis* 属を捕食分解し、しかも microcystin の影響を受けない生物を探索し、それを利用したバイオマニピュレーションを開発する必要がある。*Microcystis* 属を捕食する生物としては現在のところ、原生動物の鞭毛虫類 *Monas guttula*<sup>54)-57)</sup> や後生動物の輪虫類 *Philodina erythrophthalma*、貧毛類 *Aeolosoma hemprichi*<sup>58)-60)</sup> などの微小動物が分離され培養に成功している。さらに、*P.erythrophthalma*、*A.hemprichi* については、microcystin を分解すること<sup>59),60)</sup> も明らかにされている。また、*M.guttula* については、富栄養湖の霞ヶ浦で *Microcystis* 属の増殖期に増加が認められている<sup>55)</sup>。このことから、バイオマニピュレーションの適用種として、これらの微小動物が利用できる可能性は高いと考えられる。これまで、このような微小動物を利用して *Microcystis* 属の増殖抑制を図るためのバイオマニピュレーションは開発された事例がない。

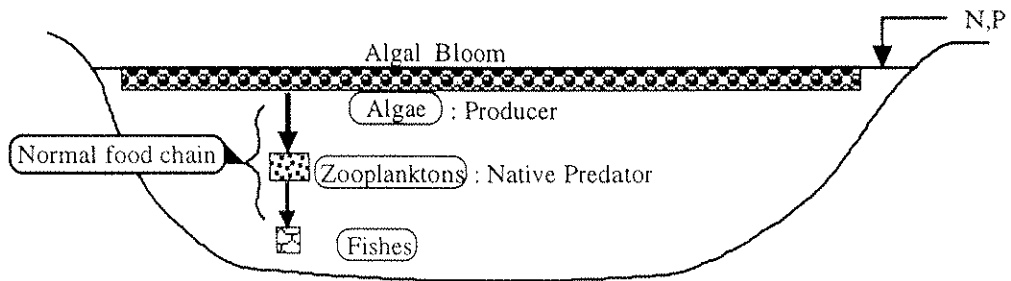
#### 2-4 微小動物の捕食作用を利用した *Microcystis* 属の増殖抑制の概念

魚類を改善対象の水域に放流し、魚類の捕食活動によって生態系の構造を大きく変えられることは前節で述べたが、同様の方法で *Microcystis* 属捕食性の *M.guttula*、*P.erythrophthalma*、*A.hemprichi* などの微小動物をそのまま水域に投入しても *Microcystis* 属の増殖抑制は期待できない。なぜなら、これらの微小動物は、現に水域に存在しているものの、*Microcystis* 属が繁茂した状況下ではほとんど確認されない。つまり、*Microcystis* 属の増殖期には、微小動物が増殖できない因子が存在すると考えられる。例えば、微小動物の増殖に不利な因子として、*Microcystis* 属の群体形成<sup>61),62)</sup>、microcystin<sup>34)-38)</sup>、水域の高 pH 化などが考えられる。これらの諸因子をつきとめ、微小動物の捕食に不利な因子が排除された場を整えることで、窒素やリンなどの栄養度を変えなくても *Microcystis* 属

を微小動物の捕食作用で効率よく削減ができると考えた。本研究で目指すバイオマニピュレーションは Fig.2-1 に示した構想である。つまり、*Microcystis* 属が繁茂している時期は、*Microcystis* 属に対する周囲の動物プランクトン類の捕食圧は極めて低い (Fig.2-1(a))。そこで、*Microcystis* 属捕食性の微小動物が定着し捕食が活発に進行する環境条件に設定した場を設け、そこで微小動物の捕食により *Microcystis* 属を消費させ、水域そのものの *Microcystis* 属の低減化を図るバイオマニピュレーションである (Fig.2-1(b))。これを実現させる上では、まず、微小動物の *Microcystis* 属に対する捕食・分解特性や水域での動態特性を明らかにし、それらのデータから捕食の場を構築するために必要な解析を行い、具体的な捕食の場をデザインする必要がある。さらに、こうして造られた場が *Microcystis* 属の増殖抑制に効果的に作用するか否かを検証し、問題点を解決しつつ進めていく必要がある。

本研究では、捕食の場として、微小動物に有利な環境条件にするために制御、管理が行えることを条件として挙げた結果、微小動物の捕食作用をリアクターで実現させ、*Microcystis* 属の増殖抑制をリアクターで図るという新たなバイオマニピュレーションの開発に展開することとした。

(a) Normal food chain



(b) Manipulated food chain

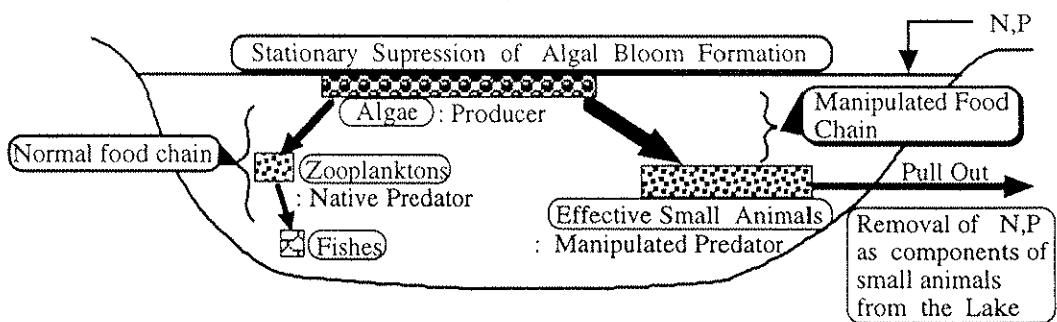


Fig.2-1 Conception of biomanipulation for eutrophic lake with a great standing crop of *Microcystis* species using smaller animals as predator



## 2-5 結論

本章では、本研究の位置づけを明確にするために、藍藻 *Microcystis* 属の発生がもたらす様々な水利用問題を挙げるとともに本研究の基礎となるバイオマニピュレーションによる藻類の発生抑制に関する従来までの知見を整理し、さらに、本研究の概念を提示した。以下に結論づけた。

- 1) 藍藻 *Microcystis* 属の大発生は、水利用を困難にさせ人々の生活に安全面、経済面で大きなリスクを追わせる。
- 2) *Microcystis* 属の産生毒 microcystin は、人々の生活を直接脅かすだけでなく、動物から魚類、動物プランクトンに至るまで大きな悪影響を与え、生態系を不健全化に導く危険性が高い。
- 3) 水域の窒素、リンなどの栄養度を変えなくても *Microcystis* 属の増殖を抑制できる手法の開発が強く要望されている。
- 4) 魚類を適用させたバイオマニピュレーションで、窒素、リンなどの栄養度を変えなくても水域の生態系の食物連鎖の構造を変えたケースは多数見受けられたが、微小動物を利用して *Microcystis* 属の増殖抑制のためのバイオマニピュレーションは開発された事例がない。
- 5) *Microcystis* 属捕食性の微小動物として *M.guttula*、*P.erythrophthalma*、*A.hemprichi* が挙げられ、*Microcystis* 属の増殖抑制の適用種として期待できるが、とくに、*M.guttula* については未解明な点が多いので *Microcystis* 属が増殖する水域での動態特性や *Microcystis* 属に対する捕食や増殖特性をさらに調べる必要がある。
- 6) 微小動物を定着させたリアクター（捕食の場）が *Microcystis* 属の増殖抑制に効果的に作用するか否かを検証する必要がある。