

## 第1章 緒論

### 1-1 研究の背景と目的

我国の閉鎖性水域の多くは、生活排水などに由来する窒素、リンが多量に流入し、富栄養化が著しく進行した。その結果、藻類群集の構成種が大きく変化した。そのほとんどが *Microcystis* 属や *Anabaena* 属などの藍藻に遷移した。霞ヶ浦、琵琶湖などの天然湖、相模湖、津久井湖などの人工湖は、その代表的な例である。これらは、上水道、工業、農業用水、漁業などの水資源として重要な水瓶であるにもかかわらず、とくに、*Microcystis* 属を優占種とするアオコが夏季から秋季の長期間にわたり大発生し、水利用上さまざまな障害を引き起こしている。

藍藻に起因する障害の研究は古くから展開され、Francis<sup>1)</sup>はすでに 1878 年に藍藻の繁茂する湖水を飲んで野生動物が大量死したことを指摘し、藍藻が繁茂した水の飲用は哺乳類の生命に大きなダメージを与えることを報告している。最近、*Microcystis* 属の多く種が、microcystin (ミクロキスチン) という 7 員環のペプチド骨格を有する強い肝臓毒性化合物を産生することが明らかにされ<sup>2)</sup>、水利用の安全性がいっそう懸念されるようになった<sup>3),4)</sup>。この問題は、オーストラリア、南アフリカ、カナダ、アメリカ合衆国、イギリス、フィンランド、中国など、熱帯地域から亜寒帯地域の多くの国々で多発していることから、大きな社会問題となっている<sup>5)</sup>。1996 年には、ブラジル北東部の都市で、藍藻が異常発生したダムの水を処理が不十分のまま腎臓透析に使用し、入院患者を 55 人も死亡させるという悲惨な事故が発生した。その後、この原因物質は microcystin であることが推定された<sup>6)</sup>。このような事態を対処するために WHO (世界保健機関) は、microcystin の飲料水に対するガイドラインを設定し、各国での基準化を推進している。したがって、藍藻のなかでもこの *Microcystis* 属の異常発生の防止対策は、世界規模で検討すべき緊急の課題であることは明らかである。

そこで、藍藻の異常発生を防止するための対策が数多く試みられてきた。例えば、藻類の栄養となる窒素、リンの水域への流入制限や栄養塩の溶出源とな

る底泥の浚渫、底質の好酸化による底泥から湖水への栄養塩の溶出抑制である。しかしながら、流入源対策に関しては、政治的、経済的問題もあり、藍藻の抑制に対しその効果が現れるまでには、長期を要すると考えられる。また、底泥の浚渫の効果は一時的であり、画期的な成功を修めたケースは必ずしも多いとはいえない。水域への栄養塩の流入削減対策は、藍藻の異常発生を抑制する上で今後ますます強化すべきであるが、栄養塩の削減は時間を要するので、水利用が先行している現状を考えると、藍藻の増殖を抑制できる手法の開発が必要である。

このような現状のもと、本来の生態系の浄化機能（自然浄化機能）を回復させ、それを強化することにより、汚染環境を正常な環境へ修復することを目的とした生物の機能を工学的に扱う生態工学的手法による水質改善の構想が打ち出された。生態工学の基本は、物質循環、すなわち生物の食物連鎖を構築しその連鎖関係を持続させ生物種の多様化と汚濁物質や栄養塩類の浄化を図るところにある。この具体的な試みとしては、現段階では湖沼や河川の縁に水生植物を繁殖させたり、内湾に人工干潟、人工藻場を設けるなどにより、水域の有機物、窒素、リンをできるだけ多く除去することのみに視点があてられている。しかしながら、これらは設置規模が十分でないなどのために、実際上の効果を上げるには至っていないのが現状である。抑も、窒素、リンなどの栄養塩を削減しなければならぬ根本的な理由は、藍藻の異常発生防止であることを十分に理解しておく必要がある。とくに、*Microcystis* 属の異常発生は、人命にかかわる問題を引き起こしているので、早急に具体的な対策を提示する必要がある。したがって、水環境を考慮し、*Microcystis* 属の増殖抑制に主眼をあてた有効な生態工学的手法を開発することが急務の課題である。

このような背景から、本研究においては、富栄養化水域において *Microcystis* 属に対する捕食者（微小動物）を中心とした食物連鎖を人為的に構築し、*Microcystis* 属の増殖抑制を図ることを目的とする、バイオマニピュレーション（生物群集の人為的操作による水質改善）と呼ばれる生態工学的手法に着目した。

本手法を実用化する上では藍藻 *Microcystis* 属を捕食する微小動物の

*Microcystis* 属に対する捕食分解特性を把握し、その微小動物を導入した食物連鎖を構築すること、さらに、その食物連鎖により *Microcystis* 属の増殖抑制が可能であることを原理実証することが重要である。そこで、本研究では、モデル実験装置および屋外実験池で、微小動物を用いたバイオマニピュレーションによる *Microcystis* 属の増殖抑制効果を実証および解析・評価を行い、富栄養化水域で、*Microcystis* 属の増殖を抑制できる、微小動物によるバイオマニピュレーションを開発するための基盤を確立することを目的とした。

## 1-2 論文の構成

本論文は全 8 章から構成される。

第 1 章 [緒論] では本研究の背景と目的を述べた。

第 2 章 [*Microcystis* 属の発生抑制の意義と本研究の概念] では、本研究を展開するにあたり、藍藻 *Microcystis* 属、とくに産生毒とその影響、バイオマニピュレーションによる藻類の発生抑制に関わる従来知見を整理し、*Microcystis* 属の増殖抑制に適用できる可能性の高い捕食者（微小動物）に注目した。さらに、本研究におけるバイオマニピュレーションの概念を提示し、本研究を展開する上で必要な検討事項を挙げた。

第 3 章 [大型淡水モデル池沼を用いた藍藻 *Microcystis* 属の消滅に果たす微小動物の捕食分解作用] では、霞ヶ浦で増殖した *Microcystis* 属の消滅過程を大型淡水モデル池沼でシミュレートし、その過程における *Microcystis* 属の形状の変化と出現する微小動物の動態を把握した。つぎに、これらの微小動物のなかから *Microcystis* 属を効率よく捕食する微小動物として鞭毛虫 *Monas guttula* を特定し、自然水域で予想される深さ方向の不均一性を考慮し、しかも日周期、静止水塊など *Microcystis* 属が繁茂している水域の環境条件を大型淡水モデル池沼でシミュレートし、単独細胞（分散状）および群体状 *Microcystis* 属と *M.guttula* との捕食-被食関係の時間的-空間的動態を調べ、*M.guttula* の存在下での *Microcystis* 属の増殖、消滅に関わる重要因子を明らかにした。さらに、*M.guttula* の増殖に有利と考えられる日照を排除した環境条件をシミュレートし、消滅期

に見られる単独細胞で、かつ microcystin 産生種である *Microcystis* 属を用いて *M.guttula* の捕食分解特性を明らかにした。

第 4 章 [微小動物の組み合わせによる *Microcystis* 属の捕食分解特性] では、第 3 章で得られた知見に基づき、アオコが形成される最盛期に認められる群体状の *Microcystis* 属を *M.guttula* に捕食させるための検討を行った。具体的には、他の微小動物の起用とそれらの組み合わせによる分解作用を室内で培養した分散状、群体状の *Microcystis* 属および湖沼で増殖した群体状の *Microcystis* 属を用いて、群体状の *Microcystis* 属を効率よく分解するための有効な微小動物の組み合わせを明らかにした。

第 5 章 [微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 属の増殖抑制] では、*Microcystis* 属が発生する水域の *Microcystis* 属の増殖抑制をモデル実験系で試みた。すなわち、*Microcystis* 属が発生する水域を大型淡水モデル池沼でシミュレートし、その *Microcystis* 属の増殖抑制を行う場を微小動物定着型リアクターとした。リアクターには *Microcystis* 属を消費する微小動物の食物網を形成させ、そのリアクターで水域の水を処理し、処理水を水域に戻すというシステムとした。このシステムでリアクターの *Microcystis* 属の増殖抑制効果を定量的に明らかにした。

第 6 章 [群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 属の増殖抑制] では、第 5 章と同様のモデル実験系を用いて、群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制に対する群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターの効果を定量的に明らかにした。

第 7 章 [屋外実験池を用いた微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 属の増殖抑制] では、第 6 章で得られた知見に基づき、*Microcystis* 属が増殖する環境条件に設定した屋外実験池を用い、群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 属の増殖抑制効果を定量的に明らかにした。

第 8 章 [総括、今後の課題および展望] では、第 3 章から第 7 章における検討で得られた成果を総括し今後の課題、展望について述べた。