

氏 名	藤 本 尚 志
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 土 木 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	湖 沼 に お け る 藍 藻 類 の 優 占 化 に 関 す る 研 究
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 須 藤 隆 一
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 須 藤 隆 一 東 北 大 学 教 授 野 池 達 也 東 北 大 学 教 授 澤 本 正 樹

論 文 内 容 要 旨

生活環境項目に係る環境基準の達成率の評価によると、公共用水域の水質改善はここ10年間進んでいない。これは生活排水や産業排水等に含まれる窒素、リンが水域へ流入し、それらを藻類が利用して光合成するため、水域中の有機物濃度が高まるためである。霞ヶ浦、手賀沼、印旛沼、諏訪湖等に代表される湖沼における水の華（アオコ）の発生、東京湾、三河湾、伊勢湾、瀬戸内海および大村湾等における赤潮の発生は、その著しい例である。

湖沼は飲料水源として重要な役割を果たしているが、海域および河川に比べ閉鎖性が強い。そのため窒素およびリンが蓄積しやすく、富栄養化が進行しやすいため、海域、河川に比べ著しく環境基準の達成率が低く推移しているのが現状であり、水質改善が強く要望されている。藍藻類の以上増殖にともなう水の華の発生は太湖、東湖（中国）、ラグナ湖（フィリピン）、ソクラ湖（タイ）、キンネレット湖（イスラエル）、バーリーグリフフィン湖（オーストラリア）、ワシントン湖、メンドータ湖（アメリカ）チチカカ湖（ペルー、ボリビア）、トルーメン湖（スウェーデン）、ジューク湖（オランダ）、バラトン湖（ハンガリー）、チューリッヒ湖（スイス）、レマン湖（スイス、フランス）、マジョーレ湖（イタリア、スイス）、ビクトリア湖（タンザニア、ウガンダ、ケニア）等世界各国の湖沼で問題となっており、地球規模の改善すべき環境問題である。

近年、富栄養化した湖沼として代表的な霞ヶ浦では、従来問題となってきた *Microcystis* 属にかわって *Oscillatoria* 属、*Phormidium* 属といった糸状性藍藻類は1年間にわたって異常増殖し、有機汚濁指標であるCODの年間平均値を高めるといった新たな障害をもたらしている。

このような背景のもと、湖沼の水質改善を進めていくためには、藍藻類の異常増殖機構を解明し、どのような手法が藍藻類の異常増殖を防止する上で有効であるのかを明らかにする必要がある。しかし、従来なされてきた藍藻類に関する研究はフラスコ内における純粋培養が主であり、藍藻類が緑藻類や珪藻類を抑制して優占化するプロセスや藍藻類間の優占種の交代の機構等、複数の藻類間の相互作用を考慮した藍藻類の優占化に関する研究はほとんど行われていないのが現状である。

そこで本研究では、湖沼における藍藻類の優占化機構を解明することを目的として、まず最初に、全国湖沼データを解析し、藍藻類の優占化を左右する重要な環境因子について検討を行った。次に代表的な藍藻類 *Microcystis aeruginosa*、*Phormidium tenue* について連続純粋培養実験、窒素・リンの摂取実験を行い、各藻類の基本的な増殖特性を明らかにした。さらに、ケモスタットを用いて代表的な藍藻類 *M.aeruginosa*、*P.tenue* を連続混合培養し、実湖沼と同様に藍藻類間の相互作用が存在する条件下、それぞれの藍藻類の優占化の特性について検討を行った。最後に、連続混合培養系における藍藻類の増殖を数理モデルで再現することにより、優占種の交代のメカニズムについて検討を

行った。

本論文は全編7章から構成されている。各章の概要は以下のとおりである。

第1章「総論」では、本研究の意義と目的について述べている。

第2章「水質汚濁の現状と富栄養化に関する既往の研究」では、日本の公共用水域の富栄養化の現状を環境基準の達成率の評価に基づき述べ、さらには富栄養化にともなう藍藻類の異常増殖をもたらす障害をまとめ、藍藻類の異常増殖の防止の必要性ならびに藍藻類の優占化機構の解明の必要性を述べている。そして、本研究の対象である藍藻類の季節的消長を、霞ヶ浦のデータをもとに述べている。さらに、富栄養化に関する既往の研究をまとめ、本研究の独創性を述べている。

第3章「全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係」では、藍藻類の優占化に大きく影響を及ぼす環境因子を明らかにするために、全国湖沼データに基づいて藍藻類の優占化に関わる重要な環境因子として窒素濃度、リン濃度、N/P比、水温、深度、混合度に注目し、藍藻類の優占化と関係について検討を行った。本章において得られた主な知見は以下の通りである。

- ①湖沼における藍藻類の優占化は窒素濃度、リン濃度、水温、N/P比、深度、混合度等の環境因子の影響を受ける。
- ②富栄養化した湖沼において、N/P比の増加にともない藍藻類の優占率が高まる傾向にある。また、水温の増加とともに藍藻類、特に *Microcystis* 属の優占率が高まる。

第4章「藍藻類の連続純粋培養における増殖特性および栄養塩類の摂取特性」では、世界各地で障害をもたらす問題となっている代表的な藍藻類として、アオコを形成する *Microcystis aeruginosa* および一年中出現することができ、水道水のカビ臭の原因となっている藍藻類 *Phormidium tenue* について純粋培養を行い、増殖と細胞内の栄養塩類の含量との関係、増殖と水温との関係、窒素およびリンの摂取特性について実験的検討を行った。そして、各藻類の増殖栄養塩類の摂取に係る動力学的定数を求めた。本章において得られた主な知見は以下の通りである。

- ① *M. aeruginosa* および *P. tenue* 増殖速度と細胞内の窒素、リンの含量との関係は Droop 式に従うことが明らかとなった。
- ②増殖に係る定数、摂取に係る定数が *M. aeruginosa*, *P. tenue* 間で異なることが明らかとなった。*P. tenue* の窒素の最小細胞内含量 Q_{min} が *M. aeruginosa* の Q_{min} の約2倍であり、*M. aeruginosa* に比べて *P. tenue* のほうが、増殖のためにより多くの窒素を必要とすることが明らかとなった。
- ③ *M. aeruginosa* は 20°C よりも 30°C における最大増殖速度のほうが大きく、*P. tenue* は 30°C よりも 20°C における最大増殖速度のほうが大きいことがわかった。このことは、この2種の藍藻類の間で最適温度が異なることを示している。

第5章「連続混合培養系における藍藻類の増殖特性と水温、N/P比との関係」では、代表的な藍藻類として *M. aeruginosa* と *P. tenue* を、ケモスタットを用いて様々なN/P比、水温の条件下、連続混合培養し、この2種類の藍藻類が、どのような消長を示すのか、優占種と環境因子との関係はどうかについて実験的検討を行った。本章において得られた主な知見は以下の通りである。

- ①25°Cの連続混合培養において、N/P比5, 10, 20では *M. aeruginosa* が、N/P比40では *P. tenue* が優占し、N/P比の違いにより優占種の交代が起こることがわかった。
- ② *M. aeruginosa* と *P. tenue* は N/P比が高く水温が低い条件下で優占する。
- ③ N/P比、水温は *M. aeruginosa* と *P. tenue* 間の優占種の交代を左右する重要な因子である。また、N/P比の増加にともなう *M. aeruginosa* から *P. tenue* への優占種の変遷は、近年霞ヶ浦において観察された現象 (N/P比の増加、*Microcystis* 属から *Phormidium* 属、*Oscillatoria* 属等の糸状性藍藻類への優占種の変遷) と一致している。

第6章「連続混合培養系における藍藻類の増殖の数値シミュレーションと藍藻類の優占化機構」では、第4章で得た各藻類の増殖、栄養塩類の摂取に係る定数をもとに、第5章で得られた連続混合培養系における *M. aeruginosa* と *P. tenue* の増殖を数式化し、ケモスタットにおける優占種の交代の機構を説明することを目的として検討を行った。さらに、初夏における非藍藻類群集から藍藻類への優占種の交代のメカニズムを説明することを目的として、藍藻類の代表として *M. aeruginosa*、非藍藻類群集の代表として緑藻類 *Scenedesmus acuminatus* の連続混合培養系におけるそれぞれの増殖特性について数値シミュレーションを行い検討を加えた。本章において得られた主な知見は以下の通りである。

- ⑥種間競争の数値シミュレーションにより、最大増殖速度 μ'_{max} 、最大細胞内含量 Q_{max} が異なる2種の藻類は、藻体量の割合はその定数の相違に依存するものの、混合培養系で長期間共存できることが明らかとなった。最小細胞内含量 Q_{min} 、基質の最大摂取速度 ρ_{max} 、基質の摂取に係る半飽和定数 K の異なる2種の藻類は、最終的には共存できず、競争能力の低い藻類が排除されることがわかった。
- ⑦本研究において作成した種間競争の数理モデルにより、*M. aeruginosa* と *P. tenue* の連続混合培養系における種間競争を概ね再現することができた。連続混合培養系において、供給 N/P 比の増加とともに *P. tenue* が増加するのは *M. aeruginosa* と *P. tenue* との間の増殖・摂取に係る定数の相違によるものであることが明らかとなった。
- ⑧数値シミュレーションにより、初夏における緑藻類から藍藻類への優占種の交代のメカニズムの一要因として、藍藻類のリンの最大摂取速度が大きいたことが推察された。

第7章「総括および展望」では、本研究において得られた知見を総括し、今後の展望について述べている。

審査結果の要旨

湖沼は貴重な水資源であるにもかかわらず、環境基準の達成率は40%程度ときわめて低い。これは湖沼の富栄養化が進行し、藍藻類の異常増殖が起こるためである。湖沼の水質改善を図るには、藍藻類の異常増殖機構を解明し、その有効な防止対策手法を構築する必要がある。しかし、藍藻類が他の藻類を抑制して優占化するプロセスや優占種の遷移機構についての研究はほとんど行われていないのが現状である。

本論文は、全国湖沼データの解析による藍藻類の優占化と環境因子との関係を究明するとともに、ケモスタットを用いた藍藻類の連続培養実験をふまえた、藻類種間競争の数理解析を取りまとめたものであり、全編7章から構成されている。

第1章は、総論である。

第2章は、わが国の公共用水域の富栄養化の現状、藍藻類の季節的消長について述べるとともに、富栄養化に関する既往の研究をまとめている。

第3章は、全国湖沼データに基づいて藍藻類の優占化に係わる環境因子として窒素濃度、リン濃度、N/P比、水温、深度、混合度が重要であることをあきらかにした。これらは既往の仮説を実証した重要な知見である。

第4章では、世界各地で障害をもたらす問題となっている代表的な藍藻類としてアオコを形成する *Microcystis aeruginosa* および水道水のカビ臭の原因となっている藍藻類 *Phormidium tenue* について純粋培養を行い、増殖と温度および細胞内の栄養塩類の含有との関係、窒素およびリンの摂取特性がこの2種間で異なることを明らかにした。これはきわめて有用な知見である。

第5章では、*M. aeruginosa* と *P. tenue* を、ケモスタットを用いてN/P比および温度を変化させて連続混合培養し、水温が高く、N/P比が低い条件では *M. aeruginosa* が、水温が低くN/P比が高い条件下では *P. tenue* が優占種になることを明らかにした。これは独創的な成果である。

第6章では、連続混合培養系における *M. aeruginosa* と *P. tenue* の増殖について数理モデルによる解析を行い、藻類優占種の交代に対し、増殖・摂取の動力学諸定数が密接に関係していることを示している。これも貴重な成果である。

第7章は、総括および展望である。

以上要するに本論文は、湖沼における藍藻類の優占化と環境因子との関係を明らかにし、藍藻類の異常増殖を防止するうえでの手がかりを示したもので、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。