

氏 名	古里 栄一
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学 位 記 号 番 号	博理工甲第 691 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	富栄養化貯水池における人工的鉛直循環時に生じる光環境の植物プランクトンへの影響に関する研究
論 文 審 査 委 員	委員長 教 授 浅 枝 隆 委 員 教 授 豊 岡 了 委 員 准 教 授 藤 野 毅 委 員 客員教授 河 村 清 史

## 論文の内容の要旨

陸域における人為的な諸活動は、窒素やリン等の栄養塩を河川あるいは湖沼、ダム貯水池等に流出させる。この結果として生じる富栄養化現象は、有害な藍藻類の異常増殖、すなわちアオコを形成することがあり、水環境管理において様々な問題を引き起こす。富栄養化対策は様々な手法は開発、提案されているが、対策適用の確実性、合理性は必ずしも十分なレベルには達しておらず、工学的な研究の必要性が高い。対策実施を適切に行うためには、対策が対象水域に与えるプロセスを明確化、定量化することが必要となる。

ダム貯水池における富栄養化対策手法として、現時点では最も一般的であり実用例も多く、かついくつかの改善事例も報告されているのが、曝気循環対策である。これは、圧縮空気を水中で吐出し、もって広域的に強い循環状態を形成することにより、様々な水質障害を抑制しようとするものである。この対策の効果の一つとして、有害藍藻類の抑制効果があり、これは現地においても確認されている。しかしながら、経験的な適用や管理に頼るのが実態であり、対策適用にあたっての合理的な設計・管理指針は存在しない。この原因の一つは、本対策によって生じる現象のプロセスに不明な点が残っているためであると考えられる。

本研究では、こうした工学的な課題の解決に資することを目的とし、曝気循環装置によって生じる植物プランクトン群集への影響の内、特徴的な光環境条件が植物プランクトン動態に与える影響を検討する。曝気循環対策時には、気泡噴流によって広域的に発生した密度流によって鉛直混合が生じる。植物プランクトンは光合成のために光量子を必要とするが、富栄養化現象で問題を生じる藍藻類には、特に長波の赤色光が重要である。こうした水理学的条件と生物学的条件を考慮すると、①十分に深い水域まで流動および混合が生じた場合の暗条件に対する耐性の違い、②赤色光は到達しないが、他の波長の光が到達水深まで混合が生じた場合の水中光の波長特性に対する藍藻類と他の植物プランクトンとの応答性の違い、の 2 点による、植物プランクトン群集における藍藻類と他の植物プランクトンとの競合条件について十分に理解することが必要であろう。

富栄養化に関連する植物プランクトンの動態や生理生態学的な研究事例は膨大な事例が存在するが、上記2点については、必ずしも十分な知見が存在するとは言いがたい。この理由の一つとしては、上記過程は自然現象では生じないことから、植物プランクトンの生理生態学における研究対象とは選ばれにくかったことが考えられる。さらに、上記過程は、曝気循環装置による気泡噴流と広域への伝播という水理現象と、植物プランクトン群集の動態や競合という生態学的な過程という、異なった学術領域の境界に位置することも挙げられよう。

しかしながら、本研究で目的とする、対策手法の合理的設計・管理手法構築のためには、当該対策によって生じる上記過程を明確にすることが必須となる。こうした背景に基づき、本研究では、

①長期連続暗条件による植物プランクトンの動態への影響

②水中光の波長特性を通じた混合水深と植物プランクトン群集の競合への影響を検討することとした。

①については、長期連続暗条件による植物プランクトンへの影響については知見が少なく、特に特に陸域の富栄養化水域で発生する藍藻類等については知見が少ないことから、基礎的な知見として、培養実験と耐暗性特性の検討のための動的モデルの開発および特性の検討を行うこととした。

②については、波長や水質特性に応じた水中光の減衰特性や、植物プランクトンの光合成における照射光の波長特性は既に多くの研究によって明らかになっていることから、基礎的な研究手法は採用せず、藍藻類の色素タイプと混合状況との関係について、現地における出現状況や、理論的な解析を用いて検討することとした。

論文は以下に示した内容の全6章で構成されている。

第1章では、本研究の背景を述べた後、既往の研究の状況や現状の問題について整理した。また、最後に本研究の目的を述べた。

第2章では、富栄養化した陸水域で生じることの多い複数の植物プランクトンを用いて、長期連続暗条件による影響を室内実験により明らかにした。

第3章では、第2章で得られた培養実験結果に基づいて耐暗性に関する動的モデルを作成し、耐暗性特性について考察した。

第4章では、富栄養化した貯水池の現地データを用いて、混合状況と藍藻類の発生状況について検討した。

第5章では、混合水深と光合成色素の波長依存性に基づいて理論的な解析を行い、アンテナ色素タイプの異なる植物プランクトンの競合関係と、この関係に対する水中光の波長特性を考察した。

第6章では、本研究によって得られた結果をまとめ、富栄養化対策手法に関する課題を検討した。

## 論文の審査結果の要旨

陸域における人為的な諸活動は、窒素やリン等の栄養塩を河川あるいは湖沼、ダム貯水池等に流出させることになる。この結果として生じる富栄養化現象は、有害な藍藻類の異常増殖、すなわちアオコを形成することがあり、水環境管理において様々な問題を引き起こす。富栄養化対策では様々な手法が開発、提案されているが、対策適用の確実性、合理性は必ずしも十分なレベルには達しておらず、工学的な研究の必要性が高い。対策実施を適切に行うためには、対策が対象水域に与えるプロセスを明確化、定量化することが必要となる。ダム貯水池における富栄養化対策手法として、現時点では最も一般的であり実用例も多く、かついくつかの改善事例も報告されているのが、曝気循環対策である。これは、圧縮空気を水中で吐出して広域的に強い循環状態を形成することにより、様々な水質障害を抑制しようとするものである。この対策の効果の一つとして、有害藍藻類の抑制効果があり、これは現地においても確認されている。しかしながら、現象のプロセスが不明であるために、経験的な適用や管理に頼るのが実態であり、対策適用にあたっての合理的な設計・管理指針は存在しない。

本研究では、こうした工学的な課題の解決に資することを目的とし、曝気循環装置によって生じる植物プランクトン群集への影響の内、特徴的な光環境条件が植物プランクトン動態に与える影響を検討している。曝気循環対策時には、気泡噴流によって発生した密度流によって鉛直混合が生じる。植物プランクトンは光合成のために光量子を必要とするが、富栄養化現象で問題を生じる藍藻類には、特に長波の赤色が重要である。こうした水理学的条件と生物学的条件を考慮すると、①十分に深い水域まで流動および混合が生じた場合の暗条件に対する耐性の違い、②赤色光は到達しないが、他の波長の光が到達水深まで混合が生じた場合の水中光の波長特性に対する藍藻類と他の植物プランクトンとの応答性の違い、の2点による、植物プランクトン群集における藍藻類と他の植物プランクトンとの競合条件について解明が必要である。

富栄養化に関連する植物プランクトンの動態や生理生態学的な研究事例は膨大な事例が存在するが、上記2点については、十分な知見が存在しない。この理由の一つとしては、上記過程は自然現象では生じないことから、植物プランクトンの生理生態学における研究対象とは選ばれにくかったことが考えられる。さらに、上記過程は、曝気循環装置による気泡噴流と広域への伝播という水理現象と、植物プランクトン群集の動態や競合という生態学的な過程という、異なった学術領域の境界に位置することも挙げられる。

本研究で目的とする、対策手法の合理的設計・管理手法構築のためには、当該対策によって生じる上記過程を明確にすることが必須となる。こうした背景に基づき、本研究では、特に、これまで不明であった、下の2点について解明している。

- ①長期連続暗条件による植物プランクトンの動態への影響
- ②水中光の波長特性を通じた混合水深と植物プランクトン群集の競合への影響

①については、長期連続暗条件による植物プランクトンへの影響については知見が少なく、特に特に陸水域の富栄養化水域で発生する藍藻類等については存在しないことから、培養実験と耐暗性特性の検討のための動的モデルの開発および特性の抽出を行なっている。②については、波長や水質特性に応じた水中光の減衰特性や、植物プランクトンの光合成における照射光の波長特性は既にある程度明らかになっていることから、藍藻類の色素タイプと混合状況との関係について、現地における出現状況や、理論的な解析を用いて解明している。

論文は以下に示した内容の全 6 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景を述べた後、既往の研究の状況や現状の問題について整理した。また、最後に本研究の目的を述べている。

第 2 章では、富栄養化した陸水域で生じることの多い複数の植物プランクトンを用いて、長期連続暗条件による影響を室内実験により明らかにしている。

第 3 章では、第 2 章で得られた培養実験結果に基づいて耐暗性に関する動的モデルを作成し、耐暗性特性について考察している。

第 4 章では、富栄養化した貯水池の現地データを用いて、混合状況と藍藻類の発生状況について検討している。

第 5 章では、混合水深と光合成色素の波長依存性に基づいて理論的な解析を行い、アンテナ色素タイプの異なる植物プランクトンの競合関係と、この関係に対する水中光の波長特性を考察している。

第 6 章では、本研究によって得られた結果をまとめ、富栄養化対策手法に関する課題を検討している。

本論文の提出後、委員長および各審査委員は博士論文を査読し、様々な修正意見を寄せているが、独創的な研究として博士論文の内容にふさわしいものであると判定した。2月22日に学位論文発表会を開催し、様々な観点からの質疑応答を行った。そこで出された主な質疑・意見は以下のようなものである。

- ・藻類の生長に与える水質の影響について
- ・微分方程式の取り扱いについて
- ・細胞内貯蔵炭水化物と耐暗性との関連について

など、これらの質問・意見に対する申請者の回答は極めて適切なものであり、それに辿りつくまでの過程も極めて論理的なものであった。

本論文に関連する国際誌として *Hydrobiologia* に論文 1 編が掲載されている。さらに 2 編目が修正中の段階であるが、査読意見として論文の新規性が認められている。国内誌では、水環境学会、及び応用生態工学会の最高誌である水環境学会誌に 4 編、応用生態工学に 1 編が掲載（一部は決定）であること、さらに、講演論文集ではあるが、土木学会水工学論文集に 4 編等の論文が掲載されている。また、本研究で得られた考え方は、国土交通省から出されている「曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル（案）」に取り入れられており、これは、埼玉大学の優れた研究業績リストにも推薦されており、実用的にも十分なレベルにあると判断される。

以上のように、本論文は学術面のみならず工学的にも極めて有用であり、博士（工学）の称号に値するものと判断し、「合格」と判定した。