

論文審査の要旨

博士学位請求論文

閉鎖性水域における藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した
押出し効果によるアオコ浄化手法に関する研究

要旨

世界中の湖沼・貯水池等の閉鎖性水域における水質の問題の 1 つとしてアオコの発生がある。アオコは藍藻類やシアノバクテリアが増殖し表面に集積することで発生する現象であり、悪臭 (2-MIB やジオスミン) を発生させると共に、遮光・酸欠等による生態系への影響、景観障害といった悪影響を引き起こす。我が国において実施されているアオコ問題を改善する対策の一つに導水事業がある。この導水量を算出する方法は、生態系モデルと水理モデルを併用するのが一般的であるが、生態系モデルは、モデル構造が複雑になるほど多数の変数及び入力パラメータが必要となり、パラメータの最適値を得るためには、時空間的に密な現地観測や室内実験を実施する必要があるとともに専門的な知識を要するといった難点がある。

以上を背景に、本研究では、閉鎖性水域におけるアオコを除去するための必要導水量を簡易にかつ精密に算出する手法の提案を目的とし、藻類の増殖速度と対象水域の回転速度の関係性に着目した算出手法を提案した。更に、藻類の増殖能力に内在する不確実性を考慮することで、確率論的に必要導水量を算出する枠組みを示した。論文の構成及び、各章での成果は下記に示す通りである。

第 1 章では、本研究の背景及び目的を記載した。

第 2 章では、我が国における水質改善対策に関する既往の研究事例を整理し、本研究の位置付けを明確にした上で、特に閉鎖性水域における水質問題の現状及び水質悪化のメカニズムについてまとめた。また、数あるアオコ改善対策の中から、導水を選定したきっかけとなる手賀沼導水事業について詳述した。

第 3 章では、本研究で提案した理論を適用する、アオコの発生が深刻な問題となっている江戸城外濠 (以下、外濠) において、約 3 年間に亘る現地観測及び室内実験によって得られた知見から、外濠における水質汚濁のメカニズムを明らかにした。

第 4 章ではアオコを押出すための必要導水量の算定手法について、藻類の比増殖速度と回転速度に着目した簡易な算定手法を提案した。そして、アオコを用いた室内培養実験及び現地観測により、提案した手法の適用可能性について検証した。

第 5 章では、自然状態における内外的要因による藻類の増殖能力の不確実性を考慮できるように、第 4 章で提案した新式を拡張した。具体的には、第 4 章で示した基礎式が、確率微分方程式として記述できることを示し、藻類現存量に関する Fokker-Planck 方程式より得られた確率密度関数から、藻類の比増殖速度と回転速度の関係性に拡散係数が加わるとともに、拡散係数が比増殖速度を小さくすることを示した。最後に、アオコを押出すための必要導水量を決定する上での応用可能性として、藻類増殖能力の不確実性を組み込むことで、藻類の増殖リスクを考慮した必要導水量の確率論的算出手法を提示した。第 6 章では、本研究の得られた成果を総括し、今後の適用可能性を示した。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文

閉鎖性水域における藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した押し出し効果によるアオコ浄化手法に関する研究

2. 論文審査結果の要旨

(当該分野での位置づけ, 論文構成, 独自構成, 独自性および成果, 課題, 評価)

閉鎖性水域における水質問題の一つであるアオコの発生は、藍藻類やシアノバクテリアの増殖による表面集積による現象であり、悪臭の発生、生態系システムの破壊、景観障害などの問題を誘発している。我が国におけるアオコ改善対策の一つに導水事業が挙げられる。閉鎖性水域での導水事業は、当該水域に水の循環を生成し、アオコを押し出すことによってこれを改善するものである。また、アオコの押し出しに必要な導水量は、生態系モデルと水理モデルを一体とした計算モデルにより算出されており、その結果は決定論的に導かれる。しかしながら、生態系モデルに用いられるパラメータは多量にあり、例えば増殖速度をとってみてもそこには一つの解で語るののできない不確実性が存在する。さらに、計算に用いる観測データをとってみても、観測手法の差、観測結果の誤差など、当然ながら不確実性を有する値である。このように、現行のモデルでは自然現象を完全に表現することは不可能である。そこで、本研究では、藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮したアオコの発生を抑制する新たな導水量算出手法を提案している。加えて、本研究で提案した算出手法を用いることで、導水によるアオコの生起リスクを確率分布という形で定量化することを可能にした。すなわち、本研究の成果により、当該確率分布をどこまで議論するかによって、政策提案の際のアオコのリスクを検討することができ、費用対効果についても検証することが可能になった。以下、当該論文の構成および、各章での成果を下記に示す。

第1章では、本研究の背景、目的と位置付け、および本論文の構成を整理している。

第2章では、閉鎖性水域における国内のアオコの改善対策例を整理している。アオコの改善対策には、かいぼり、直接回収、浚渫などが代表例として挙げられるが、抜本的な改善に至っているのは導水事業しかないとの結論に至っている。

第3章では、本研究で提案した理論の適用例として選定した「江戸城外濠」の構造や水質等の現状が整理されている。

第4章では、江戸城外濠で発生しているアオコを押し出すための必要導水量を算出するに当たって、藻類の比増殖速度と回転速度に着目したより簡便な算出手法を提案している。そして、当該手法（モデル）の有用性について室内実験及び現地観測によって検証を行い、当該手法が妥当であることを明確にしている。

第5章では、伊藤清（1941）が提案した確率微分方程式ならびに当該方程式の解の分布を記述するFokker-Planck方程式の導入による、藻類増殖能力に内在する不確実性を考慮した必要導水量の確率論的算出手法を提示した。

第6章では、本研究の得られた知見を総括し、今後の適用可能性を示している。

以上、本博士学位請求論文は、水文学分野において新規の知見を得た内容であり、実用上も重要な貢献をしていると認められる。特に、江戸城外濠については、東京オリンピックパラリンピックの会場にもなっておりその社会的意義は非常に大きい。さらに、口述試問による最終試験の結果も踏まえ、審査委員一同は柿沼太貴氏の博士学位請求論文は博士（工学）の学位論文として十分に値するものと判断した。