

審査の結果の要旨

氏名 イスラム ムハンマド ナズルル

湖は、飲料水、漁業、灌漑、輸送、リクリエーション、排水の自然浄化など、多くの機能を提供している。一方で、世界の湖では、富栄養化や貧酸素化が進行し、生態系の存続が脅かされている。特に、藍藻類による毒素の生産は、飲料水や食料の確保や生態系の保全に大きな影響を及ぼす。毒素の生産は、優占藻類の特性や栄養塩濃度、光量、水温等の周辺環境に依存するとされているが、その詳細なメカニズムはいまだ明らかにされていない。この要因の一つとして、物理学、化学、生物学的に複雑な現象を統合的に解析するツールがないことが挙げられる。

本研究は、流れ場－生態系結合数値モデルと毒素生産モデルを結合した数値モデルを構築し、時空間的に断片的な観測データを補間するとともに、毒素の生産に及ぼす影響因子を明らかにすることを目的としたものである。まず、流れ場や水質環境、藻類の種の変遷を再現できるように、流れ場－生態系結合数値モデルを高度化した。次に、毒素生産モデルを構築し、流れ場－生態系結合数値モデルに結合した後、毒素変動の数値シミュレーションを行い、毒素生産メカニズムを考察した。最後に、毒素生産を緩和するための概念的な環境システム解析モデル (IMPACT モデル: Integrating Mitigation Policies for Aquatic Cyanobacteria Toxins Model) を提案した。研究対象水域として、2005～2007年に藍藻類が増殖し、毒素が検出された北浦を選定した。

まず、既存の流れ場－生態系結合数値モデルでは、夏季に現れる間欠的な成層構造や、貧酸素水塊の発生によるリン酸態リンの溶出など、鉛直方向の諸過程については再現できていたが、水平方向の水質分布については観測結果との相違が認められていた。そこで、1) 水平渦動粘性係数、水平渦動拡散係数の再調整、2) 水平解像度の向上、3) リンと窒素の全量の保存、4) 光合成に用いられる光量として可視光を使用、5) 藍藻類 (*Microcystis* spp.) の生長モデルと浮上・沈下モデルの適合、6) 生態学的パラメータの再調整により、既存の数値モデルを高度化した。その結果、夏季には、北浦北部で無機態窒素濃度が高く、中部でリン酸態リン濃度が高くなる様子など、水質環境の水平分布が再現された。また、

数値モデルでは、*Microcystis* spp.、*Planktothrix* spp.、*Cyclotella* spp.の3種の藻類を状態変数としたが、2008年以降に*Planktothrix* spp.が優占する様子が再現された。この主な原因として、シナリオ別の数値シミュレーションの結果、外浪逆浦を介して、西浦から北浦への流れが発生した際に、*Planktothrix* spp.が輸送され、北浦で生長したことが挙げられた。

藍藻類による毒素の生産は、コロニーの生成、光量、水温、成層、栄養塩濃度等に依存する。毒素生産モデルでは、毒素が*Microcystis* spp.により生産され、*Microcystis* spp.の生長に比例して増加し、一定の半減期で減少するものとした。ただし、*Microcystis* spp.の生長がリン、窒素のどちらに制限されるかによって、異なる毒素の生産速度を与えた。*Microcystis* spp.の細胞外分泌、呼吸、枯死に対しては、毒素が*Microcystis* spp.の体内または周囲の水中に保持され、移流・拡散するものと仮定した。動物プランクトンの摂食による毒素の蓄積や高次生態系への生物濃縮は、今後の課題とした。毒素生産の数値シミュレーションの結果、北浦北部では、*Microcystis* spp.の生物量が多いため、生産される毒素も多いが、それに加えて、*Microcystis* spp.の生長がリンによって制限されるため、毒素の生産量がさらに多いことが示された。*Microcystis* spp.の生長が常にリン、あるいは窒素によって制限されると仮定した場合は、北浦北部、中部の毒素生産量がそれぞれ過小評価、過大評価された。ただし、観測結果では、毒素は2005年に検出されたが、2006年以降は検出されなかったのに対し、数値シミュレーションの結果では、すべての年に毒素が検出された。今後は、*Microcystis* spp.の中での種別構成や動物プランクトンの摂食も考慮に入れた解析が必要である。

構築した数値モデルを政策決定に用いるため、毒素生産を緩和するための環境システム解析モデル（IMPACTモデル）を提案した。IMPACTモデルでは、湖を理想的な状態、適度に理想的な状態、貧弱な状態、非常に貧弱な状態に分類した。北浦は、湖の管理システムは存在するが、栄養塩類の管理システムが効果的でないため、適度に理想的な状態と診断された。政府が栄養塩類を効果的に管理する手法を用いて毒素生産の緩和戦略を主導することによって、湖が理想的な状態となる可能性が示された。

以上のように、本研究で構築された数値モデルは、富栄養化が進行した湖での水質環境、藻類の変遷、毒素生産の予測に有用である。また、環境システム解析モデルも含め、流域モデル、大気モデルとの結合によって、さらに統合的な解析システムの構築に発展することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。