

審査の結果の要旨

氏名 張 俊 波

生簀養殖では、炭素、窒素などの生元素の量で、投入された配合飼料の約 70% 以上が、養殖魚の排泄物として水中に放出される。通常、生簀養殖は、海水交換率が低い閉鎖性海域で集約的に行われることが多いため、養殖排泄物である栄養塩や有機物が養殖海域に蓄積される。その結果、藻類の大量発生や貧酸素水塊の発生により、養殖魚が大量斃死する問題が発生している。養殖海域の富栄養化問題を解決するために、生産密度の制御、生簀の移動による藻類の大量発生や貧酸素水塊からの回避などが試行されている。しかし、養殖海域の物質循環に対する理解が不十分であり、生産密度の低減による環境保全の効果や、藻類の大量発生、貧酸素水塊の発生を予測できない。一方、養殖排泄物を回収するための有力な方法の一つとして、複合養殖 (Integrated Multi-Trophic Aquaculture) が挙げられる。複合養殖は、栄養塩や有機物などの養殖排泄物を別の生物に摂取させ、その生物を収穫することによって、養殖排泄物の蓄積を抑制し、養殖海域の環境の劣化を防止する方法である。複合養殖の効果を実証するためには、数値解析が有効であるが、物理学、化学、生物学的諸過程を統合した数値解析モデルはまだ開発されていない。

本研究では、生簀抵抗サブモデル、養殖魚排泄サブモデル、複合養殖に選定された生物の成長サブモデルを構築し、既存の流れ場-生態系結合数値モデルに結合することにより、複合養殖の数値解析モデルを開発した。対象海域として、複合養殖に関する観測データが存在する三重県五ヶ所湾のマダイ・ブリ養殖海域を選定した。マダイ、アオサ、ナマコの複合養殖を対象として数値解析を行い、養殖海域における物質循環を理解すること、複合養殖が海洋生態系の保全に果たす役割を予測することを目的とした。

第 1 章で上記の背景、目的を述べた後、第 2 章では、数値解析モデルを網羅的に示すとともに、新たに構築した生簀抵抗サブモデル、養殖魚排泄サブモデル、ナマコの成長サブモデルについて詳述した。特に、ナマコの成長サブモデルについては、多くの室内実験データを用いて、パラメータのキャリブレーションを行った。アオサの成長サブモデルは、既存の数値モデルを使用した。

第 3 章では、生簀抵抗サブモデルと養殖魚排泄サブモデルを結合した数値解析モデルを用いて、養殖海域周辺の養殖排泄物の移流・拡散、および水質変化の数値シミュレーションを行った。まず、海面変位、流速、水温、塩分の再現性を確認した。次に、有機物の沈降フラックスの再現性を確認したところ、セジメント・トラップによる観測結果と計算結果とは概ね一致した。成層期には、表層で東向き、底層で西向きの平均的な循環流によって、有機物濃度は、養殖海域のやや西寄りの海底近傍で高くなる様子が見られた。貧酸素水塊の分布は、有機物濃度の分布と対応していた。ただし、海域の幅が狭いことなどから、吹送流による貧酸素水塊の湧昇は見られなかった。一方、栄養塩濃度は、養殖海域で高くなったが、植物プランクトン濃度は、より奥部で高くなる様子が見られた。すなわち、養殖海域の表層水は、奥部での藻類の発生や底層の貧酸素水塊の影響を直接的には受けないものの、そのリスクは高いことが分かった。

第 4 章では、ナマコの成長サブモデルについて、実験室で計測されたナマコの成長と数値シミュレーションの結果とを比較した。ナマコの成長期の体重の増加と夏眠期の体重の減少を再現できることを確認した。

第 5 章では、五ヶ所湾で計測されたナマコの成長を再現するための数値シミュレーションを実施した。ナマコの成長サブモデルは、体重が大きい場合には良い一致を示したが、体重が小さい場合には過大評価する傾向を示した。この原因として、若いナマコは有機物の摂餌効率が低いこと、溶存酸素濃度などの環境によりストレスを受けやすいことなどが挙げられたため、摂餌パラメータ値に体重への依存性を考慮したが、今後、より詳細なモデル化が必要である。

第 6 章では、複合養殖システムの数値シミュレーションを行った。養殖場でアオサを成長させることによって、競合する植物プランクトンの濃度が低下する様子が示された。したがって、アオサの成長は、藻類の大量発生を抑制する可能性がある。海底近傍では、特に秋季から春季にナマコが有機物を摂取することによって、有機物の分解に伴う酸素消費量が減少し、溶存酸素濃度が上昇した。また、溶存酸素濃度は、ナマコの個体数密度の増加とともに上昇した。しかし、夏季には、高水温に伴う夏眠によって、ナマコが摂餌活動を停止するため、貧酸素水塊の解消には至らなかった。したがって、夏季にも有機物を摂取する堆積物食者、懸濁物食者を用いた複合養殖を模索する必要がある。

第 7 章では、結論として、本研究で開発された数値モデルが、養殖海域周辺の物質循環と環境を解明するとともに、生物を用いた海洋生態系保全のための複合養殖システムを提案するのに有用なモデルであることを述べている。今後は、対象生物種の拡大によって、より汎用的な数値モデル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。