

## 審査の結果の要旨

氏名 周金鑫

東北沿岸域の養殖業は、2011年3月11日に発生した東日本大震災により壊滅的な被害を受けたが、現在に至るまで徐々に復旧している。東北マリンサイエンス拠点形成事業では、東北沿岸域から沖合海域における物理・化学的環境と生物動態について総合的な調査研究がなされ、多くの観測データが蓄積されてきた。一方、今後の養殖業のさらなる復旧にあたって、持続可能で、効率的な養殖手法を提案するためには、観測データを時空間的に補間する数値シミュレーションの活用が有効である。これまでに、沿岸海域を対象として、流れ場・低次生態系結合数値モデルが数多く開発され、主に高次生態系を対象とした数値モデルもいくつか開発されてきた。しかし、これらの数値モデルが有機的に結合され、養殖海域の物質循環や生態系が解析された例は極めて少ない。本研究では、対象海域として女川湾を選定し、三次元流れ場・低次生態系結合数値モデルに高次生態系モデルを結合した新たな数値モデルにより、養殖業と生態系との相互作用を調べた。

本論文は7章から構成される。第1章では、女川湾に関する既存の研究成果からこれまでに得られた知見を整理するとともに、沿岸海域を対象とした数値モデルのレビューを行い、本研究の新規性を明確にした。

第2章では、既存の三次元流れ場・生態系結合数値モデルを説明した。特に、女川湾は外洋の影響を強く受けるため、より広域の数値シミュレーションの結果を開境界条件として与える方法について、詳細に記述した。

第3章では、高次生態系モデルとして、養殖種モデルと底生動物モデルを構築した。養殖種モデルでは、貝類とギンザケを状態変数とした。貝類は無給餌で飼育するため、その成長は周辺の懸濁態有機物の濃度に依存する。そこで、既存の懸濁物食性のマクロベントスの数値モデルを参考にして、貝類の数値モデルを構築した。ギンザケは給餌で飼育するため、経験的な成長式を与えた。底生動物モデルでは、観測データに基づいて、湿重量の約80%以上を占める5種の動物種を状態変数として選定した。マクロベントスの数値モデルを参考にして、各動物種に対して堆積物食性と懸濁物食性の比率を変化させた数値モデルを構築した。

第4章では、数値シミュレーションの条件を設定した。養殖が高密度に行われている3つの海域を細かい格子で分割し、これらの海域から離れるにしたが

って大きな格子を用いるネスティング手法を採用した。東日本大震災以降の防潮堤の建設過程、貝類とギンザケ養殖の復旧過程を衛星画像から抽出し、これらの経年変化を数値シミュレーションの条件として与えた。

第 5 章では、物理環境の数値シミュレーション結果の検証を行った。流れ、水温、塩分の変動傾向は概ね再現された。塩分の変動については、数日スケールの変動も良好に再現された。これは、北上川からの淡水供給によるものであることが示され、女川湾には北上川由来の栄養塩が供給されていることが示唆された。また、残差流は湾口付近で大きく、湾奥に向かうにつれて小さくなった。養殖が高密度に行われている海域周辺の溶存態栄養塩の濃度は、海水交換率の違いに依存していた。残差流が小さい湾奥の養殖海域では溶存態栄養塩の濃度が高くなるのに対し、残差流が大きい湾口寄りの養殖海域では溶存態栄養塩が拡散し、濃度が低くなる様子が観測結果、トレーサーを用いた数値シミュレーション結果によって示された。

第 6 章では、低次生態系モデルの状態変数については定量的に、高次生態系モデルの状態変数については定性的に検証を行った。クロロフィル *a* 濃度は、養殖の影響を考慮に入れると、観測値と近い結果が得られたため、養殖貝類による懸濁態有機物の摂餌圧を良好に再現できたと考えられる。栄養塩濃度については、植物プランクトンによる体内への摂取のモデル化には改良の余地があるが、環境水中の栄養塩濃度と植物プランクトン体内の栄養塩濃度との合計値は、観測値と同じオーダーの値を示した。高次生態系の動態については、数値シミュレーション結果より、ギンザケ養殖海域周辺では、沈降排泄物の摂餌により、堆積物食性の棘皮動物が増加傾向にあり、底質が改善傾向にあること、養殖貝類の懸濁態有機物の摂餌に伴い、海底の二枚貝類の成長が鈍化することが示された。

第 7 章では、新たに構築した結合数値モデルの再現性、および東日本大震災後の養殖の復旧と生態系との相互作用に関して得られた知見を取りまとめた。

以上のように、本研究では、流れ場・低次生態系結合数値モデルに、貝類とギンザケの養殖種モデル、優占する底生動物 5 種を対象とした底生動物モデルを構築、結合し、数値シミュレーションによって女川湾の物理環境、水質を概ね再現するとともに、底生動物の動態を定性的に示した。本研究で構築した数値モデルは、国内外の養殖海域にも適用可能で、養殖海域の持続可能性の確保や生産の効率化に有用な示唆を与え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。