

第II部門

ノリの生理生態を考慮した低次生態系モデルの構築

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○藤田 凜佳
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 鹿島 千尋
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 中谷 祐介

1. はじめに

近年、瀬戸内海では一部海域で貧栄養化によるノリの色落ちや漁獲量の低下が問題となっている。これを受け、2022年に兵庫県は瀬戸内海の関係府県に先駆けて栄養塩類管理計画を策定し、現在、33の事業場（図1）で栄養塩類増加措置が実施されている。しかし、その放流先の水質や生態系に及ぼす影響には不明な点が多く、特にノリの色落ちの改善に関する検証は十分には行われていない。

本研究では、現地観測データからノリの生態を把握し、栄養塩類増加措置の影響評価を目的に、ノリの生理生態を考慮した低次生態系モデルを構築した。次に、瀬戸内海東部海域（図1）を対象に数値シミュレーションを行い、モデルの性能を検証したのち、栄養塩類増加措置による養殖ノリへの影響を評価した。

2. ノリ葉体の N/C 比と色調・周囲水の DIN 濃度の関係

東播漁場（図1）で採取されたノリ葉体と周囲水を分析し、ノリの生態を調べた。採取は2023年12月末から2024年3月末に計10回行われた。分析項目はノリ葉体の N/C 比 (mg[N]/mg[C])、ノリの色調を表す SPAD 値、周囲水の溶存無機態窒素 (DIN) 濃度 (mg/L) とした。SPAD 値はクロロフィル a 濃度と相関のある指標で、ノリの SPAD 値は60を下回ると色調低下が始まり、40未満で色落ち状態

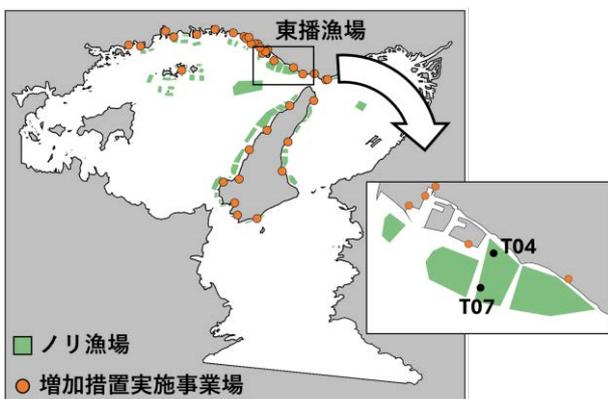


図1 対象領域

にあるとされる。

ノリの N/C 比と SPAD 値の関係を図2に示す。最小二乗法により得られた回帰直線（図中の点線）と SPAD 値の色落ちの閾値40から、N/C比の色落ちの閾値は約0.12であると推定した。周囲水の DIN 濃度を横軸に、ノリの N/C 比を縦軸にプロットした図を図3に示す。曲線近似でミカエリス・メンテン型の式（図中の点線）を求め、DIN 濃度と N/C 比の関係を把握した。瀬戸内海では DIN 濃度 0.042mg/L (3μM) 以下でノリの色落ちが始まると言われている²⁾。求めた式より、このときのノリの N/C 比は約0.16であると推定した。

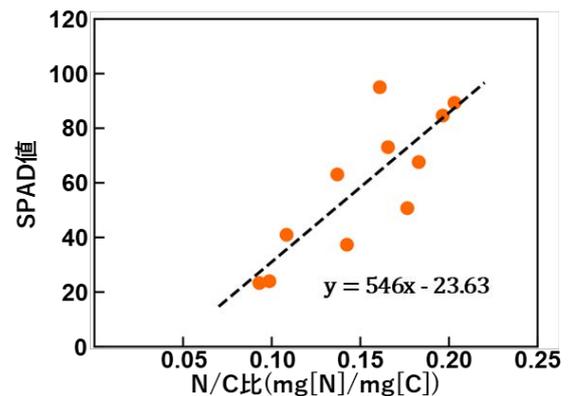


図2 ノリの N/C 比と SPAD 値の関係

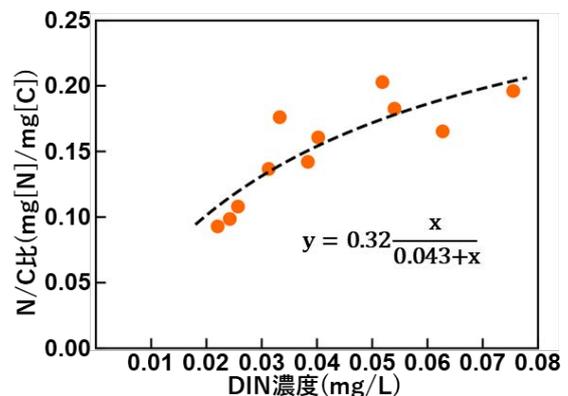


図3 周囲水の DIN 濃度とノリの N/C 比の関係

3. モデルの構築

水質モデル CE-QUAL-ICM(以下 ICM)にノリの光合成による成長・栄養塩の摂取・代謝・被捕食を組み込み、低次生態系モデルを構築した。ノリは設定したノリ漁場で漁期にのみ考慮し、鉛直・水平方向に移動しない。また、単位面積当たりのバイオマス量の上限値を設定し、上限値を超える場合は次の計算ステップで減少させることでノリの摘採を表現した。ノリの体内の栄養塩量は、成長の維持に最低限必要な栄養塩量（サブシステントセルクオタ）とそれ以外の栄養塩量（余剰栄養塩量）に分け、ノリの N/C 比の変動を考慮した。モデル上でのノリの色調の評価には、ノリの体内の N/C 比を用いた。ノリの成長に関する栄養塩制限項には、体内の余剰栄養塩量による制限を課した。ICM では、植物プランクトンの増殖速度の栄養塩制限項は周囲水の栄養塩濃度に依存するが、ノリと同じく体内の余剰栄養塩量に依存するよう改良した。これにより、植物プランクトンの生態を反映した、より実現象に近いモデルになった。

4. モデルの検証

構築した低次生態系モデルと流動モデル SCHISM をカップリングし、数値シミュレーションを行った。計算期間は助走計算も含めて2020年1月から510日間とし、2020年11月から2021年3月をノリ漁期に設定した。

図1内のT04、T07におけるノリのN/C比の計算結果と観測のSPAD値を図4に示す。N/C比の計算結果を図中の緑線のN/C比（現況）で、ノリの色落ちの閾値を図中の点線で示す。T04はSPAD値が色落ちの閾値を上回り、ノリの色調が比較的良好である地点、T07は漁期を通して色落ちが発生している地点である。どちらの状態もN/C比の変動で再現できていることを確認した。

5. 栄養塩類増加措置がノリの色調に及ぼす影響

現在の栄養塩類増加措置状況を入力した現況ケース、将来の目標値を入力した将来ケースを計算し、それらを比較して栄養塩類増加措置の影響評価を行った。図4では両地点でN/C比の上昇がみられた。現況ケースではN/C比が色落ちの閾値を下回っていたが、将来ケースではそれを上回るまで上昇した場合もあった。栄養塩増加措置によるノリのN/C比の増加量を水平分布で示す（図5）。ノリの摘採直前のN/C比について、現況・将来ケースの差をN/C比の増加量とした。栄養塩類増加措置を実施する事業場に近い沿岸のノリ漁場では増加量が大きく、最大で0.06増加した。沿岸から離れるにつれて増加量は減

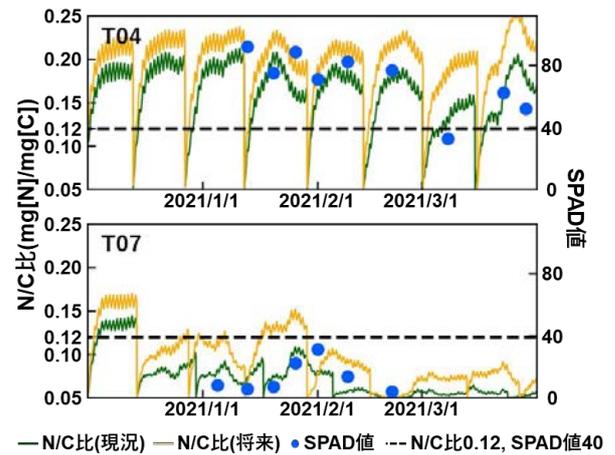


図4 ノリの色調の時系列変化

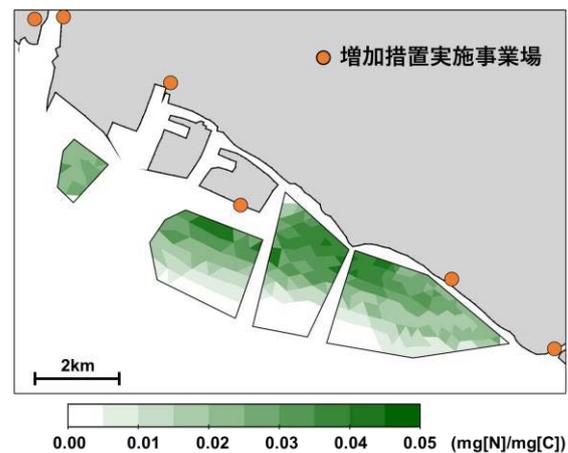


図5 東播漁場におけるノリのN/C比の増加量

少し、約2km離れたノリ漁場ではほとんど変化しなかった。よって、栄養塩類増加措置は事業場付近の沿岸のノリ漁場において色調改善効果があると推察された。

6. まとめ

本研究では、現地観測データからノリの生態を把握しノリの生理生態を考慮した低次生態系モデルを構築した。このモデルを用いて栄養塩類増加措置のノリへの影響評価を行い、事業場に近い沿岸のノリ漁場では色調改善に効果があることが推察された。

謝辞：兵庫県漁業協同組合連合会 兵庫のり研究所の川崎周作氏には現地調査にご協力頂いた。また、HPCIシステム利用研究課題（課題番号：hp220403）を通じて、計算資源の提供を受けた。本研究の一部は兵庫県受託研究費および環境省・（独）環境再生保全機構の環境総合推進費（JPMEERF24S12302）を受けて実施した。ここに記し深甚の謝意を表す。

参考文献：

- 1) 兵庫県：兵庫県栄養塩類管理計画，2022
- 2) 二羽恭介：ノリの科学，pp.116，朝倉書店，2020