

称号及び氏名 博士（工学） 松井 敦

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 31 日

論文名 「海藻資源量の管理を目的とした
藻場モデルの開発と実用化に関する研究」

論文審査委員 主査 大塚 耕司

副査 山崎 哲生

副査 馬場 信弘

論文要旨

近年、地球環境問題、食糧問題、エネルギー問題など、地球の環境容量を超えて人間活動が進行した結果引き起こされたと考えられる問題が多々取り上げられている。このような状況下において人間活動を続けていくためには、自然環境に極端な負荷を与えず、積極的な利用を行うという、困難な要求に応えなくてはならない。ここで、地球環境のバランスをとる重要な役割を果たしている海洋は、持続可能な発展を行うために大きな可能性を有しており、海洋と人間活動との接点である沿岸域において、海藻が群落を形成した場所である“藻場”も、そのうちの一つである。藻場は、魚介類を育み、水質を浄化することで、沿岸域における重要な生産基盤、ならびに、環境容量創出の役割を担っているが、藻場の海藻を回収することで、食用をはじめ、有用成分の抽出や、エネルギー化、堆肥化を目指した研究も進んでおり、上述した問題の解消を目指すにあたり、非常に有用な資源であるといえる。しかしながら、藻場においても、自然災害による海藻群落の流失や、経年変化の範囲を超えて群落が衰退する磯焼け現象の発生、緑藻類大量発生後の腐敗による公害など、様々な問題が報告されている。これらの問題を解消しながら、上手く利用していくためには、自然環境の特性やポテンシャルを把握し、環境との共生関係を保てるように、人間活動との関連性も踏まえて適切に管理していかなければならない。そのために、海洋環境に応じて発生する現象とその原因の予測に加え、対策を施した時の効果を推定することも可能な数値計算ツールを開発し、実用化に耐えうるレベルにまで改善することが必要となる。

沿岸域の海域環境を表現した代表的な数理モデルとして、生態系モデルが挙げられる。モデル化の対象は、研究すべき項目と目的に応じてその都度選択される必要があるが、生態系モデルの場合、生態系による炭素・窒素などの物質循環や、流動に応じた魚卵・稚仔魚の運動などを表現することが主目的となったものが多く、藻場の海藻現存量変動に言及したものは少ない。その原因として、海藻の生長という複雑な生態反応に対するモデル構造の決定が困難であること、また、生物パラメタの取得に非常に手間がかかることが考えられる。

本研究では、藻場の海藻資源量管理を行うことを目的とした、物理・化学・生物過程をシミュレートできる数値モデル、すなわち、藻場モデルを開発し、それが様々な海域と目的に適用可能なモデルであることを実証することを目指す。そのために、まず、海藻モデルを構成する反応式の生物パラメタを効率的に取得するための、光学式溶存酸素計を用いた光合成実験手法を開発するとともに、光合成実験の結果に基づいて海藻生長を表現することによって、海藻モデルの複雑

化を解消し、モデル構築に必要な時間を軽減したモデリング手法を提案する。また、複数種の海藻による競合影響と、配偶体放出による新芽の発生を考慮することで、従来のモデルでは困難であった、多種海藻が混在する藻場を表現するモデルを開発する。さらに、構築した海藻モデルと藻食生物の海藻摂餌モデルを用いて数値シミュレーションを行い、実海域における海藻群落の植生変化の調査結果や、海洋深層水の放流により藻場修復を目指した現地実験結果との比較を行うことで、その有効性を示す。

本論文は、以下の6つの章から構成される。

第1章では、自然環境問題に関する現状と、我々が取り組むべき姿勢について述べるとともに、海洋が環境に与える影響とその重要性について指摘し、海洋環境における生産基盤である藻場が持つ特性に着目した上で、藻場管理の重要性と、藻場モデリングの必要性を示し、本研究の背景、動機、目的について述べる。

第2章では、藻場生態系を表現する数理モデルを構築する上で、非常に重要な要素である海藻の生長パラメタを取得するにあたって、既存の海藻モデルに使用された実験手法について整理を行い、時間応答性や実験データ数、海藻切片を用いて実験を行うことに課題が存在することを指摘した上で、海藻の生長量と密接な関係がある光合成量に着目し、環境要因に対する生長応答を表現する生物パラメタの取得のための、光学式溶存酸素計を用いた海藻光合成実験手法の提案を行う。また、提案した実験手法を用いて、短期的な光合成応答を調べる実験と、長期的な応答の変化傾向を調べる実験を行い、本実験手法により、水温、光量に代表される環境因子に対する光合成応答の傾向について、効率よく測定することが可能であること示す。

第3章では、藻場変動シミュレーションを行うにあたって、モデルの構築に非常に時間がかかることが問題点であることを指摘し、藻場生態系を表現する実用的なモデルを構築するために、藻場における海藻を中心とする生物間の関わりを整理するとともに、海藻現存量に変化を与える要素について考察を行い、複数種の海藻と海藻食性の生物を藻場生態系モデルの基礎要素として取り扱うことを提案する。このモデルでは、海藻自身の生長、枯死、発生と、藻食性付着生物と魚類による摂餌を、海藻の増減要因として考えることになるため、第2章で示した海藻光合成実験によって取得したデータや、その他の生物実験、文献調査によって得られた生物パラメタを用いて、水温、光量、栄養塩濃度によって変化する生長速度、枯死速度の他、光と場所条件の競合や、遊走子放出と配偶体成熟過程からなる発生を考慮した海藻モデル、および、摂餌速度の水温、季節に対する依存性と、海藻種による摂餌選択性や、水温変動による忌避行動などを表現した藻食生物の摂餌モデルを構築する。

第4章では、実海域の藻場における、海藻現存量の長期変動とその原因の把握を目的として、定期的なモニタリングが可能な人工閉鎖性干潟である、大阪府泉佐野市りんくう公園内の内海(うちうみ)を対象として、現地調査と藻場モデルによるシミュレーションを行う。調査に関しては、内海内の水質計測と繁茂する海藻の種類と現存量の調査を行うことによって、存在する海藻の季節変動や優占状態について考察し、一年を通して見られる海藻種と、ある季節に顕著に出現する海藻種のそれぞれの特性について指摘する。また、調査によって優占種と確認された4種の海藻に対して、光合成実験による生物パラメタの取得を行い、りんくう公園内海を対象とした多種海藻競合モデルを構築し、モデル予測精度の検証、ならびに、藻場の変動過程と考えられる原因について考察を行う。

第5章では、藻場の衰退問題の解決、緩和を目的とした研究に、藻場モデルが有効であることを示すため、磯焼け現象が問題視されている海域である、高知県室戸岬周辺の海域を対象とし、磯焼けの発生原因が、黒潮接岸による海域の高水温・貧栄養化によるものと指摘するとともに、その解決方法として、黒潮とは逆の低水温・富栄養性という性質を持つ海洋深層水を放流することを提案する。また、海洋深層水が持つ藻場修復効果を推定するために、室戸海域の藻場生態系を表現したモデルを構築し、漁港内の遊休水域を用いた海洋深層水放流実験を行うことによって、深層水を効率よく滞留させるためには、放流口形状を多孔式にし、海底に滞留構造物を設置すればよいことを実証する。さらに、深層水放流時の挙動を予測する数理モデルを構築し、藻場生態

系モデルと併用することで、様々な放流条件における海藻群落の現存量変動計算を行い、海洋深層水による室戸海域の藻場修復の可能性を示す。

第6章では、本論文の全体的な総括を行い、得られた結論を要約する。

以上、本研究では、沿岸域生態系の管理に際し、藻場モデルが有効なツールとなり得ることを示す。ここで提案したモデリング手法は、モデル構築可能海域の拡大や、対象海域毎の目的に適した施策の評価などに発展させることができる可能性を持っており、実用化に向けた重要な道筋を示したものと言える。

審査結果の要旨

本論文は、藻場の海藻資源量管理を行うことを目的とし、海藻モデルに必要な生物パラメタを効率的に取得するための光合成実験手法の開発、ならびに多種海藻や植食性動物の影響を考慮した藻場モデルの開発を行うとともに、開発した藻場モデルを用いて数値シミュレーションを行い、実海域における海藻群落の植生変化の調査結果や、海洋深層水の放流により藻場修復を目指した現地実験結果との比較を行うことで、その有効性を示したものであり、以下のような成果が得られている。

(1) 光学式溶存酸素計を用いた新しい海藻光合成実験手法を開発し、短期的な光合成応答を調べる実験と、長期的な応答の変化傾向を調べる実験を行うことにより、開発した実験手法の精度検証を行うとともに、水温、光量に代表される環境因子に対する光合成応答について、従来の実験方法に比べて効率よくデータベースが構築できることを示した。

(2) 開発した海藻光合成実験を用いて、水温、光量、栄養塩濃度によって変化する基本的な海藻の生長速度、枯死速度を表現するモデルを開発するとともに、従来考慮されていなかった複数種の海藻による光と場所の競合や、遊走子放出と配偶体成熟からなる発生過程をモデル化した。さらに、生物実験により植食性動物の摂餌速度の水温および季節依存性、ならびに水温変動による忌避行動などを表現した摂餌モデルを開発し、これらを考慮することの重要性を示した。

(3) 大阪府泉佐野市りんくう公園内の内海（うちうみ）を対象として、現地調査と藻場モデルによる数値シミュレーションを行い、現地調査結果から海藻の現存量分布が季節的・経年的に特徴的な変動傾向を示すことを明らかにするとともに、調査によって優占種と確認された4種の海藻についてモデル化を行い、光と場所の競合や、遊走子放出と配偶体成熟からなる発生過程を考慮した藻場モデルを用いることによって、実海域での藻場変動傾向が再現できることを示した。

(4) 高知県室戸岬周辺の海域を対象として、現地調査、漁港内の遊休水域を用いた海洋深層水放流実験、室戸海域の藻場生態系を表現したモデルを用いた数値シミュレーションを行い、磯焼けの解決方法として海洋深層水の放流を提案するとともに、深層水を効率よく滞留させるためには、放流口形状を多孔式にし、海底に滞留構造物を設置すればよいことを実証した。さらに、様々な放流条件における海藻群落の現存量変動計算を行うことにより、海洋深層水による室戸海域の藻場修復の可能性を示した。

以上の研究成果は、沿岸域生態系の管理に際し、藻場モデルが有効なツールであり、ここで提案したモデリング手法が、モデル構築可能海域の拡大や、対象海域毎の目的に適した施策の評価などに発展できる可能性を持っていることを示したものである。また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。