

称号及び氏名 博士（工学） 塚原 洋平

学位授与の日付 平成 28 年 3 月 31 日

論文名 「沿岸海域の水産資源管理に向けた個体群動態モデルの
構築方法に関する研究」

論文審査委員 主査 山崎 哲生

副査 大塚 耕司

副査 馬場 信弘

副査 中谷 直樹

副査 日下部敬之

論文要旨

海洋は母なる海と呼ばれるように、生命の起源とされ、地球表面の約 70%を占めるその領域には、多種多様な生物が大量に生息している。また、生物ポンプに代表されるように、海洋における生態系内の食物網による物質の転送は、海流等の物理的な輸送過程や化学的な反応過程と共に、地球上の物質を循環させる重要な役割を担っている。特に、陸域に面している沿岸海域は、人間活動によって排出された物質を、基礎生産や生態系内の食物網によって、再び人間が利用できる水産物等の形へと物質を転送し、陸域と海域の物質循環を促進する役割を担うことで、人間活動へ多くの恩恵を与えてきた。このような、物質循環や水質浄化に代表される基盤サービスや調整サービス、また、食料としての魚介類等を生産する供給サービスの他に、親水性の高さや文化形成等による沿岸海域の文化的サービスを含めたものを生態系サービスと呼び、非常に重要な価値があるとされている。我が国は、四方を海に囲まれた海洋国家であるため、沿岸生態系による生態系サービスの恩恵を多く受けて生活を行ってきた。そのため、人間活動における物質循環や食料供給の観点等から、沿岸海域の保全と有効利用は必要不可欠である。

しかしながら、高度経済成長期以降、人間活動の発展に伴う沿岸海域への様々な負荷が、生態系サービスの低下を招いた。経済発展に伴う土地利用の拡大やごみの最終処分地としての海域の埋め立ては、沿岸の内湾の容積を減少させ、外海との水塊交換量の低下や海流を阻害することにより、流動による物質の輸送を停滞させる要因となった。防災や港湾機能の拡充に伴う海岸線の護岸化は、浅場、干潟を消失させ、小型生物の消息場や産卵場、

また、鳥類等による系外除去の場をも奪った。さらには、沿岸部における人口の拡大によって、工場排水や家庭排水による陸域からの物質負荷が増加し、環境汚染物質や過剰な栄養物質の流入が生じている。特に、都市部では、輸入により多くの物質が集中するため、本来のその沿岸部における利用形態から考え得る以上の負荷量が発生し、多くの環境問題が生じた。これらの環境問題は、生態系の機能を著しく低下させ、物質循環を滞らせる一因となっている。

我が国では、このような都市部沿岸の内海、内湾で多く発生する環境問題の解決に向けて、負荷量の削減を中心とした対策をいくつか講じてきた。これらの負荷削減の施策により、近年、陸域からの排出量は基準値まで削減されているところも多く、その結果、水質は改善されてきたと言われている。しかしながら、環境保全の目的の一つとなる沿岸海域の豊かな生物相の回復は未だに見られず、沿岸生態系の働きは低下したままであるとも言われている。そのため近年は、生態系の保全、創出や、食料として利用する水産資源の安定確保も組み込んだ方針に変換しているが、沿岸生態系や水産資源の変動要因に関する科学的根拠が不十分であり、具体的な計画を立てることが出来ていない。本研究は、沿岸海域における生態系の保全、また、水産資源生物利用の持続可能な管理に向けて、環境場や漁獲のあり方について定量的な議論を可能とする個体群動態モデルを構築する際に、統計解析を用いる新たな手法を提案する目的で行われたものである。

本論文は、以下の7つの章から構成されている。

第1章では、沿岸生態系の働きが人間活動に与える貢献について概説し、その産物である水産資源を食料として持続可能な利用をすることが重要であることについて説明する。また、現在、人間活動が原因となって、生態系が本来の機能を発揮できずにいること、現行の対策によって十分に回復できていないことを、環境保全、漁業の面から指摘すると共に、その解決のためには、数々の問題を複合的かつ定量的に議論するための数理モデルの構築が重要であることを示す。

第2章では、沿岸海域に生息する水産資源生物の資源量動態に対する、個体群動態モデルを用いたアプローチが行われている既存の事例を整理し、個体群動態モデルを用いた資源動態の議論の内容や、その問題点について示す。また、水産資源の生物量管理に対する水産学的なアプローチについてもまとめ、問題点を指摘すると共に、沿岸海域に生息する水産資源生物の管理には、沿岸海域特有の激しい環境場の変動による資源量動態を表現できる個体群動態モデルを構築する必要があることを述べる。さらには、生物の環境応答特性の把握には、統計解析手法を有効に用いることで解決される可能性があることを述べ、統計解析手法と組み合わせた個体群動態モデル、**PDLS (Model for population dynamics linked statistical approach)** モデルの構築方法の手順について概説する。

第3章では、**PDLS** モデルの構築方法について詳細に解説する。まず、一般的な個体群動態モデルから **PDLS** モデルの支配方程式を決定する。次に、統計解析を用いて、支配方程式中の環境応答特性を解明、定式化し、式中のパラメーターの決定方法について詳細に解

説する。環境応答の抽出には、式の形を定義しないノンパラメトリック回帰である最適変換法を、また、式中のパラメーターは、乱数発生により尤度を用いた重点サンプリングを行うことでモンテカルロ積分を行う **MCMC** 法を用いて決定する。さらには、**PDLS** モデルの実海域への適用に必要となる海域の **BOX** モデル化に向けた、統計情報の解析方法を解説する。

第4章では、前章で提案した **PDLS** モデルを大阪湾における有用水産資源に適用し、実測データとの比較によって、モデルの妥当性や有用性を議論する。大阪湾を **BOX** モデル化し、対象種の生活史に関する生態学的知見から、**PDLS** モデルの環境要因となりうる因子を簡抜する。それらの環境要因と水産資源量の変動との関係について解明、定式化、式中のパラメーターの決定を、前章で提案した方法で行う。また、その計算結果より、近年における、漁獲量の減少要因について定量的に考察する。

第5章では、環境状態の長期予測を行うモデルと構築した **PDLS** モデルを結合させ、想定されるシナリオにおける水産資源の資源量動態を予測する。大阪湾での代表的な環境問題に対して、解決に向けた対策が施行された場合や、気候変動等によって気温が上昇する場合等、いくつかのシナリオに従って、前章で設定した **BOX** モデルを基に予測する。また、その結果を境界条件として、**PDLS** モデルで資源量の変動を推定し、今後の持続可能な利用に向けた生物利用可能量と水産資源の管理方法について検討する。

第6章では、環境場の統計情報の質と量の向上が、**PDLS** モデルの精度を改善するため、統計情報の蓄積に向けたモニタリング項目の充足方法について述べる。そのため、これまで計測困難であった現場の硫化物イオン濃度や、複数種に亘る魚体の生物量が、主成分回帰法によって推定でき、現場におけるモニタリングが可能であることを示す。また、生物量の推定については、水質のモニタリングにおいて実施されている、定点における定期調査では不十分であるため、時間、空間解像度の高いモニタリング方法の概念設計を示すことで、今後の生物量モニタリングの新たな展開を提案する。

第7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。

本研究は、古くから人間活動の営みを支えてきた一方で、近年その機能が低下している、沿岸生態系の生態系サービスの機能を回復させ、その持続可能な利用を行うためには、水産資源を適切に管理することが必要であるとの観点から、水産資源動態の定量的な解析を行うことができる、統計解析を用いた新たな個体群動態モデルの構築方法について提案を行ったものである。

本研究で示したモデルの構築方法は、いずれも統計解析を用いた方法であるため、今後の継続的なモニタリングによる統計情報の蓄積が、精度を向上させ、より詳細な議論を可能にする。また、本研究で示したモデル構築方法の流れは、普遍的な方法でもあるため、多くの内海、内湾海域で適用可能であり、世界各国で議論されている沿岸環境保全と水産生物利用に関して、定量的な新たな科学的根拠を示す可能性があると考えられる。

審査結果の要旨

本論文は、沿岸海域における生態系の保全、また、水産資源生物利用の持続可能な管理に向けて、環境場や漁獲のあり方について定量的な議論を可能とする固体群動態モデルを構築する際に、統計解析を用いる新たな手法の研究成果をまとめたものであり、以下の成果を得ている。

- (1) 統計解析手法と組み合わせた新たな固体群動態モデル **Model for population dynamics linked statistical approach (PDLS モデル)** の構築方法を示した。実海域への適用に必要な、統計情報の整理方法と海域の **BOX** モデル化、ならびに環境因子と一連の構築方法を明らかにしている。
- (2) **PDLS** モデルを大阪湾における有用水産資源に適用し、実測データとの比較によって、モデルの妥当性や有用性を明らかにした。**PDLS** モデルの環境要因となりうる因子を選択し、環境要因と水産資源量の変動との関係について解明、定式化、式中のパラメーターを決定することによって、漁獲量の減少要因について定量的に考察している。
- (3) 環境状態の長期予測を行うモデルと **PDLS** モデルを結合させ、想定されるシナリオにおける水産資源の資源量動態を予測し、今後の持続可能な利用に向けた生物利用可能量と水産資源の管理方法について提案している。
- (4) **PDLS** モデルの精度を改善するための、環境場の統計情報の質と量の向上方法について、提案している。

以上の成果は、個体群動態モデルである **PDLS** モデルの構築方法と、その有効な利用方法を示したものであり、普遍的な方法であるため、多くの内海、内湾海域に適用可能である。世界各国で議論されている沿岸生態系の保全、また、水産資源生物利用の持続可能な管理に関して、定量的な新たな科学的根拠を示すことができる。