

## 審査の結果の要旨

申請者氏名 しゃ じゅけん  
夏 樹娟

---

近年、単一種の資源動態のみに着目した従来型の水産資源管理を脱して、それをとりまく生態系の動態をも考慮にいたした「生態系管理」の重要性が指摘されている。このため、捕食－被食を中心とした種間関係の網羅的な記述にもとづくさまざまな海洋生態系モデルが構築され、利用されてきた。しかし、これらのモデルは一般に複雑で、精度高い運用には大量のデータの取得を必要とする。これに対して、「小さな個体を大きな個体が食う」ことの連鎖によって構成される海洋生態系の特徴に着目し、構成個体の体サイズを軸とした生態系モデルの開発が進められている。それらのモデルは、体サイズの小さな個体から大きな個体までの個体数の動態を、Mckendrick-von Foerster 式などの微分方程式にもとづく連続モデルで記述したもので、解析・数値計算には一般に複雑な扱いを必要とする。これに対して本研究では、海洋生態系における生物群集のサイズスペクトルの動態をシミュレートするサイズ構成モデルについて、①過去の連続モデルよりも簡単に柔軟に扱うことのできる行列モデルを開発するとともに、②新たなモデルを用いてサイズスペクトルの特徴の決定要因を明らかにすることを目的とした。

### 1. サイズ構成行列モデルの構築

海洋生物群集内で生じる、捕食－被食、再生産、代謝、自然死亡の各プロセスを体サイズのべき乗式で反映させたサイズ構成行列モデルを構築した。その結果、群集の総生物量一定という条件設定のもとで、体重と個体数の関係を両対数グラフ上で表したときの傾きがおおよそ-1の直線となるサイズスペクトルを再現することができた。行列モデルは簡単かつ柔軟であるため、最小/最大サイズクラスにおける境界条件や、各プロセスの要素に関する仮定を自由に変更できる。離散モデルによる個体成長の変異の組み入れと、自然死亡過程への密度依存効果の導入によって、サイズスペクトルの安定性が高まった。

### 2. モデルの感度分析

行列モデルのパラメータ値の変化に対するサイズスペクトルの感度を分析した。各プロセスのパラメータ値が現実的な範囲内ではサイズスペクトルはほとんど影響を受けなかったが、パラメータに極端な値を与えると、大きなサイズクラスの個体数が低下するカットオフが出現したり、波状のサイズスペクトルが出現したりした。群集の総生物量が一定ではなく一次生産者の生物量を一定とする条件下では、サイズスペクトルの安定性が低下し、パラメータの値によって群集構造が崩れる場合が出現した。大きなサイズの個体のみを集中的に漁獲する“unbalanced fishing”に比べて、小さなサイズの個体まで幅広く漁獲する“balanced fishing”では、群集のサイズスペクトルに与える影響を小さく抑えながら、より多くの漁獲量を得ることができると判明した。

### 3. サイズスペクトルの特徴の決定要因

サイズスペクトルの傾きと形を決定する要因を明らかにすることを目的に、各サイズクラスにおける個体数バランスと生物量バランスの式を導出した。この式から、平衡状態における純成長を表す項と、生物量の損失を表す項を導き、傾きを表す指標との関係を数値的に調べたところ、純成長の影響と生物量の損失の影響の両者が相俟ってサイズスペクトルの傾きの平均が-1 となることが判明した。また、隣接するサイズクラスのエネルギー転換効率の比の変化に伴ってサイズスペクトルの傾きが変化することも明らかとなった。純成長は各サイズクラスにおけるエネルギー転換効率に比例することから、エネルギー転換効率の変化がサイズスペクトルの特徴を決定づける要因であると結論された。

以上、本論文は、海洋生態系における生物群集のサイズスペクトルの動態をシミュレートするサイズ構成モデルについて、過去の連続モデルよりも簡単で柔軟に扱うことのできる行列モデルを新たに開発・提示するとともに、サイズクラス間でのエネルギー転換効率の変化がサイズスペクトルの特徴の決定要因であることを明らかにした。このことは、海洋生物群集の動態を理解するうえでの学術上の価値のみならず、生態系管理を効果的に進展させるための基盤を提供するという点で大きな実用的価値を有するものであると評価できる。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文に十分に値するものと認めた。