

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 丹羽 洋智

本研究は、集群性浮魚類を念頭に、数理・数値的手法により魚群および魚群系のダイナミクスを解析することによって、魚群の構成尾数との関係においてその動的・統計的性質、すなわち、“スケールリング”関係を解明することを目的とする。そして、スケールリングの概念の水産資源学分野における重要性を議論し、資源量推定などへの適用に向けた検討を行なった。

1. 魚群形成のアルゴリズム

魚の巡航速度を仮定した流体力学・代謝生理学的な観点から、魚の運動方程式を導いた。これに、魚同士が互いに寄り集まろうとする性質と遊泳速度を揃え整列しようとする性質を、群れの観測データと矛盾ない形で、個体間相互作用として組み込み、魚群方程式を定式化した。これにより、リーダー不在の群れ形成、自己組織化を物理学における相転移現象のアナロジーとして説明した。構成要素である魚たち間の局所的な相互作用が群れ全体の大域的な秩序を生み出し、それがまたそれぞれの魚の相互作用の仕方に反映される、という階層的な秩序化の仕組みを明らかにした。

2. 海洋における回遊のモデル

回遊を実現するためには、遊泳経路に従い各点の海水温を非局所的に比較し、好適な環境を見つけ出していると考えられる。水温情報は魚体の熱慣性により回遊経路に依存して記憶されると仮定し、水温変化への反応行動は“klinokinesis”として魚群方程式に組み込み、魚群の回遊ダイナミクスを移流-拡散方程式として導出した。

回遊を魚群の拡散現象と見たときの拡散係数と群れの構成尾数との間に比例関係のあることが理論解析から示される。これは、魚が群れを形成することにより回遊範囲を広げる効果をもたらす。また、環境勾配に従って回遊しようとする移流項の大きさも群れサイズに比例する。これは、群れが生存環境の良好な分布域の中心部への濃集効果を持つことを意味する。回遊性浮魚類が多く集群性を持つことは、捕食回避の効果とともに、群れが海洋環境の探索範囲を広くする機能を果たしていることにあると考えられる。

3. 魚群サイズ統計

魚群サイズのベキ乗則分布は、ポピュレーションサイズの有限性のため、必然的にカットオフが存在し、実際のデータをベキ乗関数に当てはめた場合、このカットオフが影響し、正しいベキ指数の推定は難しい。この指数を実験データから“正しく”推定するために、有限サイズ・スケールリングの方法を適用した。その結果、指数は‘-1’であることを確認し、ベキ乗則分布のカットオフ・サイズは魚群のヒストグラム・データから簡単な計算で求まることがわかった。

次に、群れの合併・分裂をモンテカルロ法で扱う数値モデルを開発し、観測データを定量的にシミュレーションできることを示した。ここでは、一様な海洋環境を仮定した。ベキ乗則の指数‘-1’は魚群系のシミュレーションによっても支持された。また、このシミュレーションから、魚群サイズのベキ乗則分布のカットオフ・サイズ $\langle N \rangle_p$ と現存資源量 X との間に比例関係があることを明らかにした:

4. 魚群の幾何学

指数 ‘-1’ の魚群サイズ (biomass) のベキ乗則分布を仮定し、この分布則に最も良く当てはまる、群れの“寸法から尾数へ”のデータ変換を与えるスケーリング指数 ν の値を考える。マイワシ魚群のサイズ・ヒストグラム・データから、 $\nu = 0.6$ が導かれた。この精密に決定されたスケーリング指数は、魚群方程式において、個体の接近に伴う斥力相互作用 (排除体積効果) を仮定することによって理論的に導くことができる。

5. 水産資源学分野における応用

魚群サイズ分布の普遍的な関数形が求められたこと、ベキ乗則分布のカットオフ・サイズと現有資源量との比例関係が明らかになったことにより、このスケーリング関数を回帰モデルとして、魚群サイズのヒストグラム・データの当てはめを行なうことにより、現存資源量推定値の精度を評価することができる。あるいは、現実のサイズ分散性をシミュレートしたコンピュータ上の魚群系で、資源現存量のランダム・サンプリング調査のシミュレーションを行なうことにより、資源量の信頼区間が推定できる。

以上、本論文では、魚群の行動生態をスケーリングの概念を中心に、個体-群れレベル (群れ形成)、群れ-個体群レベル (サイズ分散性)、および、大きな時空間 (回遊) における現象を理論的に解明した。これらの研究成果は、学術上、応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認めた。