

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木健大

本論文は生態系の食物網を力学系の問題と定式化し、その構造安定性の理論的解析を行なったものである。食物網とは、生物種間の「食う食われる」関係のネットワークのことである。食物網のダイナミクスを記述する力学系に含まれるあるパラメータを a とする。その力学系が a に対して構造不安定である場合、振舞いはその微小な変化に対して変わる。この様子を、本論文は2つの異なるシステムに対して考察した。

本論文は全4章からなる。第1章では、食う食われるの典型的な形式化である、ロトカボルテラ方程式を紹介し、食物網への拡張を行った。その上で、モデルの構造安定性がどのように行われるかを議論し、特に食物網におけるカタストロフィ理論について解説している。

第2章では、同一の構成種からなる2つの食物網が個体の移動によって相互作用するシステムに関する研究結果を扱っている。このようなシステムの研究は、個体の移動を介した群集のメタレベルでの相互作用と局所的な個体群動態の関係を理解する上で重要である。特にこの研究においては、実験微生物系であるワムシ緑藻系の数理モデルで、移動率のパラメータ空間における振舞いを網羅的に述べた。その結果、移動によって一般に予想されるような全域的な同期振動がおきるだけでなく、一部の種の非同期的な振動が見いだされることがわかった。その背後にある分岐集合を構造が明らかにし、このような振動領域のヒステリシスを伴った遷移は、不完全なカスプカタストロフとサブクリティカル性を持った Hopf 分岐の重なり合いによって生じることを示した。また、多様な振動パターンが現れる理由は、内部平衡点の安定性の解析から理解することができた。本研究で得られた結果は、食物網を空間的に結合したときに生じるダイナミクスを予測する際の指針を与えており、重要な理論研究として評価される。また、空間構造の導入によって共存状態のダイナミクスに多様性が生じることを明らかにした点は、新規性の高い結果である。

第3章では、食物網が種の個体数変動の時間スケールについてみたとき、速い時間スケールから遅い時間スケールまでが段階的に結合されたシステムであるという視点を導入し、アロメトリー(個体の体重あたりの代謝の時間スケールは体重の $1/4$ 乗に比例する)、代謝スケール、食う食われるの関係にある種の体重比などを考慮した新しい生態系のモデルを研究した。このとき直接食う食われるの関係にある栄養段階間の、代謝の時間スケール比を τ とすると、この τ が1より大きい場合、擾乱に対して上位捕食者が最も弱く、アトラクタの遷移を引き起こしやすい。アトラクタの遷移は系全体に渡って大きな影響を持つが、上位捕食者の個体数は平均して最も小さいことを考えると、この結果は上位捕食者がアトラクタースイッチとして重要な働きをする可能性を示唆するものである。これらの結果は、時間スケールと食物網動態の関係について重要で新しい知見をもたらしている。またより複雑な食物網であっても、栄養段階の数が同じで共食いが無いか、ほとんど含まれない場合、今回確認した性質が保たれることは、これらの結果の普遍性を示している。

第4章では、全体のまとめと今後の展開が議論されている。第2・3章どちらの場合においても食物網モデルとして広義の構造不安定性が存在し、パラメータ空間における分岐集合がその振舞い

を理解する上で大きな意味を持っていた。ここで得られた結果は、食物網のあり方を捉える上で広い意味での構造不安定性を考慮することの重要性を示唆するものである。

このように、論文提出者は本論文において、食物網を力学系の問題に帰着させて、その構造安定性の観点から詳細に解析し、実際の生態系での解析に有効な議論をいくつも見いだした。実際の実験や観測と密接に関連させられた考察は、実際の食物網を研究していく上でのひとつの指針を与えるものであるという点で高く評価できる。したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。