

審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 伊藤 洋

物質やエネルギーの流入出のある系では、自己組織化された時空間構造がしばしば現れ、これは「散逸構造」と呼ばれる。生命界においても生物の多様な系統は、単一の共通祖先からの長期にわたる連続した変化によって形成された可能性がある。生物多様性の歴史は外的・内的、決定論的・確率論的なさまざまな要因によって変遷してきた。本研究は、内的かつ決定論的な力として生物間相互作用に着目し、理論モデルにより生物群集の共進化動態とその構造自体の変遷を解析するものである。

1章では、研究の背景と目的を説明した後、生物群集の構造をどのように定式化するかに ついての論文全体の方針を明らかにしている。具体的には、系外から流入する光エネルギーを利用して生産者が物質生産を行い、それを食う - 食われるの捕食作用や資源競争による生物間相互作用によって生物量が増加・減少するモデル（一般化資源競争モデル）を提唱している。また、この系には、各々の生物種は遺伝的な形質の組み合わせによる形質空間の位置を持っており、さらに交配と突然変異によって新しい種（= 遺伝的モルフ）が生まれる。つまり、形質空間内で生物間相互作用による各種の生物量の動態を解析するものとなっている。その際に、このモデルは3つの定式化が可能で、(i)現実の要素を取り入れるときには有性生殖型の個体ベースモデルを、(ii)多種系での迅速な数値計算を行なうときには反応拡散方程式を、そして、(iii)解析解を得る場合には無性生殖型の簡素な適応ダイナミクス・モデルを、それぞれ使い分けている。

2章では、資源利用パターンにおける進化的分岐を個体ベースモデルで解析している。具体的には、似た資源を利用する生物が、そのニッチとして表現できる資源利用パターン（正規分布）のニッチ位置とニッチ幅の進化的動態を計算した。その結果、新奇の資源が現れたときには、既存集団の一部の個体からいったんニッチ幅を大きく広げたジェネラリストがまず進化して、その後、そこからスペシャリストに変化して行き、最終的には2種のスペシャリストが共存した。それが現れる条件を解析している。

3章では、ニッチ形質について進化速度の遅い方向性選択と速い分断化選択の2つが作用する系で、反応拡散方程式を用いて再帰的な放散と絶滅の現象を解析した。これにより、多様性の創出と消滅の過程が、資源競争による決定論的な一連の進化動態として説明可能となった。さらに、4章は多次元形質空間における進化的分岐の条件を、適応ダイナミクス・モデルで数理的に解析している。その結果、「最尤進化経路」を解析的に導きだすことに成功している。

5章は再帰的な進化的分岐による食物網の自律成長の進化である。食う - 食われるの関係で、資源利用パターン（餌を食う方）と資源パターン（餌として食べられる方）の双方の

ニッチ位置に関する形質の組合わせによって、2次元形質空間が定義される。反応拡散モデルを使うと、その空間中で、資源パターンの進化的分岐（被食分岐）と、資源利用パターンの進化的分岐（捕食分岐）が交互に発生することが分かった。これは、理想自由分布（等適応度分布）への捕食者側の収束と被食者側の回避の、2つの分岐動態で説明できる。そして、6章では、食物網の進化動態において、食物網のあらゆる部分で資源と消費者が理想自由分布の近傍にあることが数値的に示された。最後の7章は総合考察である。

以上、本研究が構築した一般化資源競争モデルは、従来は個別に研究してきた進化的現象を統一的に解析することを可能にした。その大きな成果は、生物間相互作用の関係性の総体としての生物群集と自律進化する食物網の構造を時間発展として解析できたこと、その帰結は理想自由分布への捕食者側の収束（捕食分岐）と被食者側の回避（被食分岐）という、極めてシンプルな論理を導き出したことである。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相応しいものと認定する。