

(別紙2)

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 阿部 真人

動物は空間を自律的に移動し、行動する特徴を持つ。行動を通して同種または他種の個体と相互作用し、被食-捕食、競争、協力など、生存にとって重要な関係を形成する。最近10年は、観測機器と計算機の性能上昇により、自然条件下における動物の位置情報や相互作用の大規模かつ正確なデータが得られるようになったことで、動物行動の統合的理解を目指す移動生態学 (movement ecology) が提案されている。しかし、既報の多くは1個体レベルの移動パターンを解析したものであり、同種他個体・他種との相互作用を考慮したデータ解析はほとんどない。そこで申請者は、同種他個体や他種との相互作用を考慮に入れたモデルとデータ解析を目指した。

1章の総合序論に続いて、2章と3章では Lévy walk と呼ばれる<sup>べき</sup>冪分布によるスケールフリーの移動パターンをもとに、最適採餌戦略と最適捕食回避戦略に焦点を当てている。最近の理論研究によって、動物の Lévy walk の適応的側面は探索効率の良さであると主張されてきたが、Lévy walk を示さない報告もあり、結果が分かれている。その原因の一つに探索効率そのものを適応度に換算する点に問題があり、Lévy walk は対象物が何であるかに関わらず遭遇率を高めるため、逆に、捕食によるリスクも増加する可能性がある。そこで2章では捕食者を導入し、対象物-探索者-捕食者の3者系にすることで、最適採餌戦略がどのように変化するかを Brownian walk と比較したモデル解析を実行した。その結果、捕食者密度が高い状況下では Lévy walk よりも Brownian walk の方が適することが明らかになり、特に、探索者が対象物を発見することで適応度が直線的に増加にどうかの生活史に依存して捕食者による効果も変化する事も示した。この解析は従来にない自然界での適応度の視点を導入した解析であり、独創性が高く評価される。

続く3章では、天敵回避における予測不可能性の観点から最適回避戦略を解析している。直進的な運動は安全圏までの移動時間は短くなるが、予測不可能性が低下する。一方、Brownian walk のようなランダムネスを有すると天敵による予測不可能性は高いが、安全圏までの移動時間は長くなる。これら予測可能性と安全圏までの移動時間のトレードオフによって、多くの動物が自然環境下で示す Lévy walk をベースにした中間的な移動パターンが、やはり最適になる回避モデルの解析結果を得ている。これを実験的に検証するために、コンピュータのスクリーン上に仮想の逃避するエージェントを配置し、人の被験者を「天敵」とした模擬実験も行い、確証を得ている。

4章と5章は、社会性を持つ動物の集団行動の行動に焦点を与えている。社会性昆虫における集団行動は、個体間の局所的な相互作用だけに基づくにもかかわらず、集団全体として適応的意志決定や分業を達成している。どのようにして集団行動が形成されるのかを理解するために、社会性昆虫トゲオオハ

リアリ *Diacamma* sp.を材料にしている。4章ではアリ個体間での情報流や影響度合いの定量化を試みた。5匹の個体をシャーレに入れ、1日間トラッキング（追跡録画）し、単位時間あたりの活動量として個体間の影響度合いと因果性を解析した。時系列による因果性検出には、複数の時系列間の因果性を非線形時系列解析に基づいて定量化する **Convergent Cross Mapping** を用いた。その結果、個体間の因果性は非均質性があること、それは時間的に変化すること、女王は働きアリの活動を抑制することが明らかになった。また、その影響は個体間の距離とは有意な関係はなかった。この解析法は、これまで検知できなかった集団内の個体間相互作用を抽出し発見するフレームワークになり得ると高く評価できる。

5章では、同じくトゲオオハリアリ・コロニーの働きアリによって形成される順位制を、有向ネットワークとみなし、サイクル構造がどれだけ存在するかに焦点を当てて、その大域的構造を解析した。その結果、今回観察された順位ネットワークは、ほぼサイクルがない有向非環グラフであり、ほぼ完全線形に近い順位制であることに相当する。さらに最も大きな出次数（相手に影響を与える出力）をもつ個体は最上位個体ではなく、その次のランクに位置する個体であることは興味深い。社会性昆虫の行動ネットワークの解析は、従来はほとんど発展しておらず、貴重な解析を提示している。

最終の6章は総合考察であり、2章と3章で解析した捕食者存在下での個体レベルの動きから、行動パターンと生態的性質の関係性について議論し、個体数変動などの他の現象への影響についての今後の展開について考察している。さらに、4章と5章で解析したアリのデータ解析によって得られた集団内個体間の関係性についても議論している。

以上、当博士論文の研究は、動物の行動の理解において、理論解析と実験系でのデータ取得と検証の双方を成し遂げ、独創的な結果を示していると考えられる。以上の点から本論文は、博士（学術）の学位を与えるのにふさわしい内容であると、審査委員会は全員一致で判定した。