

|          |  |
|----------|--|
| 氏名       | わか の ゆういちろう<br>若 野 友 一 郎   |
| 学位(専攻分野) | 博 士 (理 学)  |
| 学位記番号    | 理 博 第 2342 号   |
| 学位授与の日付  | 平 成 13 年 3 月 23 日  |
| 学位授与の要件  | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当  |
| 研究科・専攻   | 理 学 研 究 科 生 物 学 専 攻  |
| 学位論文題目   | Adaptation and evolutionary dynamics of social traits of creatures in<br>game-theoretical situations<br>(ゲーム理論的状況における生物の社会的形質の適応と進化ダイナミクス) |
| 論文調査委員   | (主 査)<br>教 授 山 村 則 男    教 授 大 申 隆 之    教 授 山 岸 哲   |

### 論 文 内 容 の 要 旨

進化的に安定な戦略(ESS)の概念が,進化ゲーム理論におけるダイナミクスの解析手法として一般的に使われてきた。しかし,ESS解析はダイナミクスが安定な平衡点に収束するような比較的単純なケースにしか適用できない。ESSが存在しない場合に,ダイナミクスがどのようなようになるのか,という問題は,非常に興味深い問題である。本研究ではESSが存在しないケースにおけるダイナミクス解析を,2つの側面から研究した。

1つ目のモデルは,繰り返し囚人のジレンマ(IPD)における,学習戦略の進化ダイナミクスについてである。IPDは,非血縁個体間の協力行動を説明する数理的枠組みとして,しばしば研究されてきた。戦略セットを前回のゲームの結果のみに基づいて判定する戦略に限定した場合,Pavlovが協力を実現する戦略として有力なものと考えられていたが,Pavlovのみならず,他のどのような協力的な戦略も,進化的に安定ではないことを示された。しかし,強化に基づく単純な学習(前回のゲームで得られた得点と,ある閾値を比較し,その比較の結果どちらが大きいかに応じて,内部状態を変化させる)を導入すると,閾値のみが学習者の最終的な行動パターンを決定することになった。そして,中間的な閾値をもつ学習者が,協力的な振る舞いを示した。しかし,比較が2値的(「いい」か「悪い」か)だと,このような協力的な学習者はESSではないが,比較が量的に行われる場合は,協力的な学習者は,ESSであることが分かった。これらの結果は,個体が非常に原始的な学習能力を持ちさえすれば,相互協力が非常に安定して維持されうることを示している。

2つ目のモデルは,共食いが起こる集団における最適成長戦略の進化ダイナミクスである。相対的な頭の大きさが共食いができるかどうかを決めるので,この状況はゲーム理論的である。最適成長戦略を求めるための数理モデルを構築すると,ESSの必要条件は解析的な方法で導出され,十分条件が進化的シミュレーションによって調べられた。共食いの頻度が低い場合は,ESSが存在したが,共食いの頻度が高いときには,ESSは存在しなかった。そのようなケースでは,各時刻において大勢をしめる成長戦略が,時間発展とともにサイクリックに変化していることが分かった。

2つのモデルを解析することにより,進化ゲーム理論における複雑な進化ダイナミクスの振る舞いと,その生物学的な意味を明らかにすることができた。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

進化的に安定な戦略(ESS)の概念が,進化ゲーム理論におけるダイナミクスの解析手法として一般的に使われてきたが,ESS解析はダイナミクスが安定な平衡点に収束するような比較的単純なケースにしか適用できない。申請者は,ESSが存在しない場合に,ダイナミクスがどのようなようになるのかという非常に興味深い問題を,2つの側面から意欲的に研究した。

1つ目のモデルは,繰り返し囚人のジレンマ(IPD)における,学習戦略の進化ダイナミクスについてである。IPDは,非血縁個体間の協力行動を説明する数理的枠組みとしてしばしば研究されてきたが,申請者は,強い戦略と見なされたPavlovはもちろんのこと,他のどのような協力的な戦略も,進化的に安定ではないことを示した。しかし,単純な学習課

程に基づく戦略を導入すると、協力的な振る舞いが実現された。このとき、比較が2値的だと、このような協力的な学習者は ESS ではないが、比較が量的に行われる場合は、協力的な学習者は、ESS であるという興味ある理論的結果が導かれた。これらの結果は、個体が非常に原始的な学習能力を持ちさえすれば、相互協力が進化しうること示している。

2つめのモデルは、共食いが起こる集団における最適成長戦略の進化ダイナミクスである。相対的な頭の大きさが共食いができるかどうかを決めるので、この状況はゲーム理論的である。最適成長戦略を求めるための数理モデルによって、ESS の必要条件が解析的な方法で見事に導出され、申請者の数理解析の能力の高さが示された。さらに、十分条件を進化的シミュレーションによって調べると、共食いの頻度が高いときには、各時刻において大勢をしめる成長戦略が時間発展とともにサイクリックに変化していることが分かった。このことは、個体群間の形質の違いが環境条件の適応とは限らず、進化の別の断面を表している可能性を与えることになり、自然をとらえるためのより広い見方を提供することとなる。

本研究は、学問上大きな意義をもつ同時に、申請者の学術研究に対する熱意と能力の高さを証明している。よって、本論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認められた。なお、平成13年1月30日に、添付論文に報告されている研究業績を中心に、関連分野に関する試問を行った結果、適切な解答が得られたので、合格と認定した。