

論文審査の結果の要旨

氏名 黒川 瞬

本論文は 6 章からなる。第 0 章はイントロダクションであり、論文の構成についての説明がなされている。

第 1 章前半では、本論文の全体で使われる基本的なゲームモデルが導出されている。このモデルは、相異なる 2 つの戦略 (A、B) のいずれかをとる N 個体の集団を想定し、そこから無作為に抽出された n 個体からなるグループ内でゲームを行い、ゲームの利得に応じて各個体の繁殖確率が決まるというものである。ゲームの利得は、グループ内の各戦略をとる個体の数に依存する。集団中の各戦略をとる個体の数の時間変化は、頻度依存淘汰をとまなう Moran モデルによって定式化されている。このモデルの分析により、A 戦略をとる個体 1 個体と B 戦略をとる個体 $N-1$ 個体からなる集団が、最終的に A 戦略をとる個体 N 個体からなる集団に収束する確率 (固定確率) が、簡単な式で表されることを示している。また、得られた固定確率を、両戦略が進化的に中立である場合の固定確率 ($1/N$) と比較することにより、B 戦略の集団の A 戦略による置換が自然淘汰によって促進されるための条件を求めている。先行研究 (Nowak et al., 2004. Nature 428, 646-650) は、本論文第 1 章の結果を $n=2$ の場合について導出したものであるが、本研究はこれを一般の n に関して導出することに成功した初めての研究であり、きわめて意義が深い。さらに、第 1 章後半では、導出したモデルを n 人繰り返し囚人のジレンマゲームに適用し、協力の進化について分析している。特に、互惠的戦略 (TFT_{n-1}) による、非協力的戦略 (ALLD) の集団の置換が、自然淘汰によって促進されるための条件を求めている。また、先行研究で得られていた「1/3 則」(協力の進化が促進されるための条件) が、実際にはより一般的な「 $\{2/[n(n+1)]\}^{1/(n-1)}$ 則」の、 $n=2$ の場合の表現であったことを発見した点も高く評価できる。

第 2 章では、第 1 章後半で行った n 人囚人のジレンマゲームの分析をさらに進め、互惠的戦略の「寛容さ」が、協力の進化に及ぼす影響について論じている。第 1 章で分析した互惠的戦略である TFT_{n-1} は、グループ内に 1 個体でも非協力者が存在する場合には次回の対戦で協力をしないという、最も不寛容な戦略であった。これに対して TFT_a ($a < n-1$) は、グループ内に存在する非協力者の数が $n-a-1$ 以下であれば次回の対戦で協力するという、より寛容な戦略である。分析の結果は、このような寛容さが協力の進化を促進しうることを示している。また、協力の進化が最も起こりやすい寛容さ (a) を特定することに成功している。いずれも新奇な知見であり、評価に値する。

第 3 章では、第 1 章前半で導出した n 人ゲームのモデルにより、一般的な利得行列を用いて、パンミックティックな集団、および分集団間でマルチレベル淘汰が起こるような集団

における社会行動の進化を分析している。社会行動は行為者および被行為者が受けるコストとベネフィットに応じて、mutualistic、altruistic、spiteful、selfishの4通りに分類される。従来の理論研究は特殊な利得行列を仮定したうえで分析を進めるものであったが、本研究はそのような仮定を置いていない点で新奇性がある。また、導出された社会行動の進化のための条件は、本研究で新たに発見した利得の変換を施すことにより、包括適応度理論からも解釈できることを示している。昨今、進化ゲーム理論と包括適応度理論との関係が盛んに論じられているが、本研究はこの議論に貢献するという意味でも意義がある。

第4章は、第1章後半で用いた n 人繰り返し囚人のジレンマゲームを拡張し、他個体の振る舞いに関する情報が不完全な場合について論じている。第3章までの分析では、各個体の行動はグループ内の全ての個体により正しく認識されることが仮定されていた。しかし実際には、特にグループの大きさ(n)が大きいために、各個体の行動に関する情報が正しくすべての個体に行き渡るとは限らない。第4章はこの点に注目し、2種類のモデルを使って情報が不完全な場合の協力の進化について分析している。分析の結果、情報が不完全な場合であっても、もし2個体間の相互作用($n = 2$)において協力の進化が自然淘汰によって促進されるのであれば、 n 個体間の相互作用($n > 2$)においても協力の進化が自然淘汰によって促進されるということが示された。この結果は、大きなグループでは互惠性による協力行動の進化は起こらないという従来の支配的見解に一石を投じるものであり、大きな意義がある。

第5章では、本研究を総括し結論が述べられている。

なお、本論文第1章、第3章、第4章は、井原泰雄との共同研究であり、また第2章は、若野友一郎、井原泰雄との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。