九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

協調社会の創発を促進する社会メカニズムの構築に向けた進化ゲーム理論的研究

宮地，浩平

https://hdl.handle.net/2324/7157378

出版情報：Kyushu University, 2023, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

（様式３）Form 3

氏　　名　：宮地　浩平

Name

論 文 名　：協調社会の創発を促進する社会メカニズムの構築に向けた進化ゲーム理論的研究

Title

区　　分　：甲

Category

論 文 内 容 の 要 旨

Thesis Summary

社会では，個人の利益を最大化する行動と社会の利益を最大化する行動に乖離がある場合があり，こういった状況を社会ジレンマ構造と呼ぶ．意思決定プロセスを静学的アプローチによって論理的に記述する理論としてゲーム理論がある．ゲーム理論は応用数学の一種として様々な分野の学問に応用されており，主に経済学で用いられている他，社会行動学，心理学，生物学，物理学，政治学，軍事学，環境工学などにも用いられている．ジレンマ環境下において，古典ゲーム理論では個人の利益を最大化するために最も合理的とされている行動が導き出されている．一方で，現実社会では必ずしも古典ゲーム理論で予測されているような個人の利益のみを最大化するような行動はとられず，互いに協調しあって社会全体にとって最適な行動がとられている場面が散見される．現実社会においてどのようにして協調的行動が創発しているのかという点に関してはいまだに謎に包まれている．

生物学におけるゲーム理論の発展理論として非常に有名なのが 1982 年に Maynard Smith によって提唱された進化ゲーム理論である．先述したとおり，古典ゲーム理論それ自体に基づく予測と現実社会における現象は一致しないことがある．進化ゲーム理論では，ダーウィンの自然選択説に基づくいくつかの仮定を導入することで，進化のダイナミクスをうまく表現している．進化ゲーム理論の利点は，古典ゲーム理論で仮定されていた意思決定主体の「合理性」を仮定せずとも，相互依存状況を再現できることにある．

進化ゲーム理論の中でも近年注目されているものの１つとして，囚人のジレンマゲーム（PDG；Prisoner’s Dilemma Game）における協調行動の創発メカニズムの研究が挙げられる．Nowak は 2×2 ゲームを基本とした一連の理論研究により，協調創発は 5 つの基本的互恵機構に類別出来ることを示した．

本論では，主に進化ゲーム理論モデルにおけるネットワーク互恵の影響について考察していく．人と人とのつながりが協調創発に寄与しているとの視点に立つネットワーク互恵では人間社会システムだけでなく生物システムにおける互恵関係の進化を説明する有力なモデルであるとの認識のもと，非常に多くの研究が統計物理学，数理生物学，情報学分野で行われてきている．本論では，静的なネットワークだけではなく動的なネットワークを仮定することで協調行動の創発にどのような影響を与えるのかについても考察する．

研究手法としては C++を用いた数理シミュレーションモデルを構築し，進化ゲーム理論をベースにさまざまな環境変数を導入することで，どのような要素が協調行動の創発に寄与し得るのかを実験的に検証する．進化ゲーム理論をもととしたこの数理モデルは人と人との相互作用をゲーム理論の概念を適用して極限まで単純化して表現したものであるため，解析対象として特定の現象に対する限定性を持たない．つまり，実社会におけるあらゆる現象に対して発展・応用の可能性を秘めているといえる．本論では現実に存在する人々の相互作用を進化ゲーム理論にて表現する中で，進化ゲーム理論に基づく数理モデルそのものの挙動に関する数学的な分析を行う．

本論文の構成は以下のとおりである．第 2 章では本論の基礎論理フレームワークに関して説明する．第 3 章では最後通牒ゲーム（Ultimatum Game）において共進化ネットワークを仮定し，動的ネットワークと協調的行動創発の原理を説明する．第 4 章では，ネットワーク互恵に加えて，進化ゲームにおける記憶

長の効果（直接互恵）を加味することで多様なジレンマ構造に対する耐性が得られることを説明する．第5章では，混合戦略モデルにおける確率共鳴と協調創発の関係性について詳述する．第6章では，混合戦略ゲームにおける戦略解像度を定義することで，混合戦略の確率的要素が協調の創発に与えている影響に関して考察する．第7章では同類的な繋がりを促進する共進化ネットワーク互恵と協調の進化の関係について述べる．最後に8章でまとめと展望を述べる．