

A Study on Complex System: From the Perspectives of Traffic Flow Theory and Evolutionary Game Theory

司, 澤華

<https://hdl.handle.net/2324/7329515>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)



氏 名	SI Zehua		
論 文 名	A Study on Complex System: From the Perspectives of Traffic Flow Theory and Evolutionary Game Theory (複雑系に関する研究: 交通流理論と進化ゲーム理論の観点からの考察)		
論文調査委員	主査	九州大学	教授 谷本 潤
	副査	九州大学	教授 池谷 直樹
	副査	九州大学	教授 松清 修一

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

複雑な人間社会システムを人類が獲得してきた物質的豊穡さを失うことなく維持，発展させていくには，人間（複雑系科学ではエージェントとよぶ）間の協調を醸成し，利己的行動を抑制する「智慧」が要請され，そのための科学的枠組みを考究することは意義深い営みである．協調メカニズムを数理科学からアプローチする手法に進化ゲーム理論があり，1990年代の複雑系科学の勃興，計算機資源の驚異的發展に裏打ちされ，現下，数理科学や物理学だけでなく，情報科学，生物学，経済学などの境界領域で研究が進展している．

本論は，協調創発のメカニズムを様々な観点から考究した研究成果を一篇の論文として纏めたものである．

第1章は，本論考のフレームワーク，構成とともに研究の社会的背景を述べるとともに，交通流動解析および進化ゲーム理論に関する数理科学基礎をレビューしている．

第2章では，交通流における協調的／非協調的運転志向，すなわち急激な加減速を適切に数理表現することを目指し，新たなマクロスコピックモデルを提示している．提案モデルは，追従モデルで仮定される OV 関数を重量（加減速が鈍い）車両，中量車両，軽量車両（加減速が急激）に分けて定義し，全体を FVD（速度差項を付加した最適速度模型）型モデルに包含した構造となっている．モデルの線形安定性解析，修正 Korteweg-de Vries (mKdV) 方程式を介して 1 ソリトン解を与える非線形解析を行い，豊富な数値計算結果を示すことで，提示モデルの有効性を検討している．

第3章から第5章は，進化ゲーム理論のテンプレートとして頻用される 2 人-2 戦略対象型のクラスである Prisoner's Dilemma Game に空間構造を付与した社会ジレンマ状況に如何なる付加機構を与えることで，ネットワーク互惠を強化し得るかとの検討を Multi Agent Simulation (MAS) アプローチにより検討している．

第3章では，従来型協調戦略 (C) に加え，Super Cooperator (SC) および Super Defector (SD) を導入した新たな 3 戦略系システムを創案し，社会ジレンマの動力学特性を解析している．その結果，従来の C-D 戦略系よりロバストな協調が創発され得ることを発見している．

第4章では，実数戦略を持ちながら協調手 (C) / 裏切り手 (D) しか採り得ない，所謂，混合戦略エージェントが空間構造に配置された状況で，ネットワーク互惠が強化されることを見出している．この協調強化の素過程を，①離散戦略系および連続戦略系との比較，②空間構造ドメインサイズの影響 の観点から詳細し，結晶の Annealing 効果など統計物理学で知られる確率共鳴に同相の現象であることを論じている．

第5章では，このネットワーク互惠を前提にした混合戦略系に戦略進化せずに所与の協調程度で

協調する bot エージェントを配置することが更なるネットワーク互惠効果を創発することを発見し、詳細な数値実験で検証している。

第 6 章は、以上の総括結論および将来の課題について論述している。

以上要するに、本研究は、非線形力学系理論を基盤に、社会ジレンマを克服する協調プロトコルを強化する理論的枠組みについて、交通流解析、ネットワーク互惠を前提にした進化ゲーム理論から考究している。創案している **Microscopic** 交通流モデルは独創的であり、確率共鳴現象と同相なネットワーク互惠の **enhancement** 機構は十全にないインパクトのある知見である。これらは、進化ゲーム理論および交通流動解析の物理学の発展に大きく資する論考であり、社会物理学、人間-環境-社会システム学に大きく寄与する価値ある業績であると認める。よって、博士（工学）の学位に値すると認める。