

学 位 論 文 題 名

Group Formation with Multi-Agent Systems  
for Solving Social Dilemmas

(社会的ジレンマの解決に向けた  
マルチエージェントシステムによるグループ形成に関する研究)

学位論文内容の要旨

本学位論文では、ゲーム理論における主要な研究課題の一つである社会的ジレンマを取り上げ、その解決を試みている。

社会的ジレンマとは、グループに属している各個人がそのグループに対して協力と非協力の選択が可能で、i) 個人としては非協力を選択した方が常に高い利得を獲得できる、ii) 全員が非協力を選択すると全員が協力を選択した場合よりも小さい利得しか獲得できない、iii) 協力の選択者の増加に伴って全員の利得が増加する、という状況である。このような状況では各個人が自己の利得の最大化を目的とした合理的意思決定をおこなうと、全員が他人の協力を期待して非協力を選択する。その結果、各個人は全員が協力を選択した場合よりも小さな利得しか獲得できず、全体としては最低の利得が実現する。非協力を選択する個人は、他人の協力による利得の増加へただ乗りしているため、フリーライダーと言われる。本論文では、ジレンマ状況におけるフリーライダーの出現を防ぎ、個人の利得と全体の利得を共に増加させるゲームモデルを提案する。

ジレンマ状況においては協力と非協力の選択とともに、対戦相手の選択やグループの形成がプレイヤーの利得を大きく左右する要素となる。つまり協力を選択したプレイヤー（協力的プレイヤー）は協力的プレイヤーとだけのグループを形成しゲームをすれば、フリーライダーにただ乗りされない。また非協力を選択したプレイヤーは、協力的プレイヤーがいないグループではただ乗りできない。しかし、従来研究においてジレンマ状況にあるグループ内でどのようなグループを形成するかという視点は欠けていた。従来研究における2人囚人のジレンマでの対戦相手の選択やN人囚人のジレンマ（N-IPD）でのグループからの追放や離脱では、複雑なグループ形成を表現するには十分ではない。これらのゲームモデルではグループの選択や分裂といったグループ形成を表現できないためである。現在までにジレンマ状況におけるグループ形成を考慮したゲームモデルは提案されていない。

本論文では対戦相手の選択機構を導入した Multiple N-IPD である Distributed Social Dilemma (DSD) の提案をおこなう。そしてマルチエージェントシステムを利用したシミュレーションを用いて個人とプレイヤー全体の利得の増加を確認する。本論文の各章は以下のように要約できる。

第1章では、社会的ジレンマの従来研究を概観している。

第2章では、DSDの定義をおこない、グループ形成の条件について述べている。

第3章では、相互選択に関する規範とメタ規範をDSDに導入している。ここで相互選択に関する規範とは、「フリーライダーとのグループ形成を拒否せよ」、である。また相互選択に関するメタ規範とは、「規範を逸脱したプレイヤーとのグループ形成を拒否せよ」、である。シミュレーションにより、規範とメタ規範の導入によってフリーライダーの出現が防止された結果、個人と全体の利得が増加することを確認している。

第4章では、フリーライダーに対する罰則制度とそれを運用するメタプレイヤーをDSDに導入している。各グループに配置されたメタプレイヤーは自己の利得の最大化を目的する。またメタプレイヤーはグループ内の全プレイヤーから税金を、フリーライダーからは罰金を徴収可能と仮定している。メタプレイヤーが高い罰金や税金を徴収すると、フリーライダーの発生を防止してもプレイヤーの利得は減少してしまう。そのためフリーライダーの発生の防止だけでは個人と全体の利得を増加させられない。そこでメタプレイヤーを競合させ、適切な罰金や税金の徴収がなされる仕組みを構築している。シミュレーションにより、メタプレイヤー間の競合によってプレイヤー全体の利得が増加することを確認している。

第5章では、メタプレイヤーが有効に機能する条件を調べている。メタプレイヤー間の競合状態やグループにおけるメタプレイヤーの有無という条件が、協力的プレイヤーの数と平均利得にどのような影響を与えるかを考察している。またプレイヤーの協力的傾向を協力に対する満足度を導入することによって明示的に表現し、メタプレイヤーの導入はどのような協力的傾向をもつプレイヤー群に対して有効であるかを考察している。シミュレーションにより、メタプレイヤーの導入によってフリーライダーの発生を防止しても、メタプレイヤー間の競合関係やプレイヤーの協力的傾向により、プレイヤー全体の利得を増加させられない場合があることを確認している。

第6章にて、本学位論文の結論を述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東

副 査 教 授 大 森 隆 司

副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

## Group Formation with Multi-Agent Systems for Solving Social Dilemmas

(社会的ジレンマの解決に向けた

マルチエージェントシステムによるグループ形成に関する研究)

本学位論文では、ゲーム理論における主要な研究課題の一つである社会的ジレンマの解決のために、グループ形成を導入したゲームモデルを提案し、マルチエージェントシステムを用いたシミュレーションにより、その有効性を確認している。

社会的ジレンマとは、各個人が所属するグループに対して協力と非協力の選択が可能な場合に、自己の利得の最大化を目的とした合理的意思決定により非協力を選択したにもかかわらず、個人としては全員が協力を選択した場合よりも小さな利得が、全体としては最低の利得が実現してしまう、という状況である。非協力を選択した個人は、他人の協力による利得の増加へただ乗りしているため、フリーライダーと言われる。ジレンマの解決に向けて、フリーライダーの出現を防止し、個人と全体の利得を共に増加させるゲームモデルが必要とされる。

本論文では、従来研究において欠けていたジレンマ状況での対戦相手の選択をグループ形成として捉え、どのようなグループ形成の条件が、フリーライダーの出現を防止し個人と全体の利得を増加させるか、という点に着目している。ジレンマ状況でのグループ形成を実現するために  $N$  人繰り返し囚人のジレンマ ( $N$ -IPD) に対戦相手の選択機構を導入し、Multiple  $N$ -IPD として位置付けられる Distributed Social Dilemma (DSD) を提案している。また、このゲームモデルを、限定された情報と内部状態に基づいて意思決定する複数のエージェントが相互作用をおこなうマルチエージェントシステムとして実現し、シミュレーションをおこなうことでグループ形成の導入による個人と全体の利得の増加を確認している。

本論文の各章は以下のように要約できる。

第 1 章では、社会的ジレンマの性質とジレンマ状況のモデル化のためのマルチエージェントモデリング手法を概観している。

第 2 章では、DSD の定義をおこない、グループ形成の条件について述べている。

第 3 章では、相互選択に関する規範とメタ規範を DSD に導入している。プレイヤーは、自分が選択したグループが認めればそのグループに参加できるという相互選択に基づいて、グループ形成をおこなう。規範とメタ規範により、フリーライダーの出現が防止されプレイヤー全体の利得が増加することをシミュレーションにより確認している。

第 4 章では、フリーライダーに対する罰則制度とそれを運用するメタプレイヤーを DSD に導入している。プレイヤーのグループ選択に基づくメタプレイヤー間の競合を導入して、プレイヤー全体の利得を減少させてしまう不適切な罰則制度の運用を防止する枠組みを構築している。メタプレイヤー間の競合により、適切な罰則制度の運用とフリーライダーの防止が実現され、プレイヤー全体の利得が増加することをシミュレーションにより確認している。

第 5 章では、第 4 章で導入したメタプレイヤーが有効に機能する条件を検証している。シミュレーションを用いて、メタプレイヤー間の競合状態と各グループにおけるメタプレイヤーの有無という条件が、協力的プレイヤーの数と平均利得に与える影響を考察している。また、プレイヤーの協力に対する満足度という明示的な変数を用いて、プレイヤーの協力的傾向とメタプレイヤーの有効性の関係を考察している。

第 6 章にて、本学位論文の結論を述べている。

これを要するに、著者は社会的ジレンマの解決に向けてグループ形成を導入した新たなゲームモデルを提案し、マルチエージェントシステムを用いてシミュレーションをおこない、その有効性を明らかにしている。これにより社会的ジレンマに関する研究において新知見を得たものであり、システム情報工学、及び複雑系工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。