

社会的ジレンマにおける非均質なエージェントによる協調行動の創発

Emergence of Cooperation by Heterogeneous Agents in Social Dilemma Game

佐藤 勇気*¹
Yuki Sato

西野 成昭*²
Nariaki Nishino

竹中 毅*²
Takeshi Takenaka

石井 健一*³
Kenichi Ishii

上田 完次*²
Kanji Ueda

*¹ 東京大学大学院工学系研究科
School of Engineering, The University of Tokyo

*² 東京大学人工物工学研究センター
Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo

*³ 日本電気株式会社共通基盤ソフトウェア研究所
Common Software Platform Research Laboratories, NEC Corporation

This paper models decision-making about public goods by heterogeneous agents, and analyses by equilibrium analysis and computer simulation. As a result of these analysis, it is found that the investments to public goods and the total surplus are enlarged by increasing the number of agents with low investment cost. In addition, we find that when the number of agents with low investment cost is two, their investments tend to increase.

1. はじめに

日常生活において、私的な利益を追求し最大化しようとする行為によって公共的な利益を損なってしまう状況が多く存在している。このような共益と私益のジレンマを社会的ジレンマと呼び、環境問題や社会運動、共有スペースの掃除、自転車の路上駐輪など様々な形で実社会に存在している。

社会的ジレンマにおける大きな問題のひとつにフリーライダーの存在がある。フリーライダーとは、公共財供給の際に公共財に対する自己の費用負担を出来るだけ低め、他の個人の費用負担によって供給される公共財からその便益を享受しようとする個人のことである。フリーライダー問題は「公共財提供におけるフリーライダー問題」として Olson によって定式化されている [Olson 65]。理論的には組織のサイズが大きくなり一人一人の限界利得が減るならばフリーライダーが増える。その結果、貢献者が減る [Samuelson 54] ことや、貢献者が誰もいなくなる [Brubaker 75] ことが言われている。

社会的ジレンマを扱った研究は公共財だけでなく囚人のジレンマや共有地の悲劇のような共有資源に関するジレンマを扱った研究もある。こういった社会的ジレンマを扱う研究にはゲーム理論を用いて意思決定をモデル化する研究も数多く存在するが、これらの研究ではプレイヤーの属性が均一なモデルを構築したものが多く、実際には属性が異なっている場合が多く存在する。例えば、公共財に投資する際に生じるコストはプレイヤーが置かれている状況によって異なるし、心理的なコストを考えると、人によって異なることが本質であると言える。

そこで本研究では投資コストが非均質なプレイヤーをモデルに導入し、ジレンマがあるプレイヤーとジレンマがないプレイヤーが存在するときどのような協調行動が起こるのかを均衡分析と計算機実験から分析する。

2. モデル

2.1 意思決定モデル

n 人のプレイヤーが存在している。プレイヤーは確率 x で公共財を共有するグループに参加し、公共財に投資するかしないかの意思決定を行う。メンバー全員の意思決定後、各メンバーは公共財に投資した人数と自分の意思決定に応じた利得が与えら

れる。プレイヤーには公共財への投資コストが高いプレイヤーと低いプレイヤーの 2 種のプレイヤーが存在する。各プレイヤーは以下の手順で意思決定する。

1. 各プレイヤーは確率 x で公共財共有グループに参加する。
2. 公共財共有グループに参加したプレイヤーはそこにいるプレイヤーの数 m 、投資コストが低いプレイヤーの数 l を把握した上で、「公共財に投資する」か「公共財に投資しない」という 2 択の意思決定を行う。
3. 公共財に投資した人数と自分の意思決定に応じた利得を得る。
4. 公共財投資グループから戻る。

以上の 1~4 の手順を繰り返す。

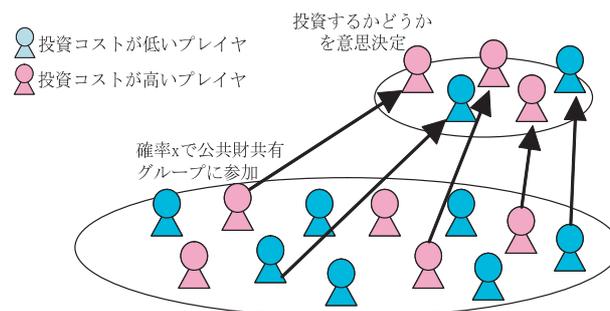


図 1: 意思決定モデルの概念図

2.2 利得関数

公共財に投資した/しないの意思決定によって次のような利得を得るものとする。

1. 公共財に投資をした場合

$$\Pi = bi - c$$

2. 公共財に投資をしなかった場合

$$\Pi = bi$$

連絡先: 佐藤勇気, e-mail: satoyuki@race.u-tokyo.ac.jp

ただし, i は投資をした人数を表し, b は定数であり, 1 人の公共財投資に対する利得の増分を意味する. c は投資にかかるコストを表しており, c_A, c_B のいずれか ($c_A < c_B$) でプレイヤー毎に異なる.

2.3 均衡分析

本モデルはジレンマ構造を取り得るモデルになっており, 各プレイヤーが合理的に意思決定を行う場合以下のような意思決定を行う.

1. $c - b > 0$ の場合
このときモデルはジレンマ構造を持っており, プレイヤは投資しないという意思決定を行うのが合理的である.
2. $c - b \leq 0$ の場合
このときモデルはジレンマ構造を持たず, プレイヤは投資するという意思決定を行うのが合理的である.

本モデルではプレイヤーはコスト c に関して非均質であり c_A, c_B のそれぞれを取るプレイヤーが存在するので以下の 3 つの均衡状態が考えられる.

- (i) $c_A > 0$ かつ $c_B > 0$ のとき
全てのプレイヤーは投資しない.
- (ii) $c_A \leq 0$ かつ $c_B > 0$
投資コストが低い ($c = c_A$) プレイヤは投資し, 投資コストが高いプレイヤーは投資しない.
- (iii) $c_A \leq 0$ かつ $c_B \leq 0$
全てのプレイヤーは投資する.

3. 計算機実験

3.1 シミュレーションの設定

構築した意思決定モデルにおいて, どのように公共財への投資が起こるかを観察するために, 強化学習を搭載した学習エージェントによるマルチエージェントシミュレーションを行った. 各エージェントは次のように意思決定を行う. 公共財共有グループにいるエージェントの人数 m , 公共財共有グループにいる投資コストが低いエージェントの人数 l が環境 s として入力され, Q 値を元にボルツマン選択によって行動 $a \in$ (投資する/しない) を選択する. 全エージェントが行動を選択した後, Q 値を以下のように更新する.

$$Q(s, a) = (1 - \alpha)Q(s, a) + \alpha P_i$$

ただし P_i はエージェント i の利得を表し, α は学習率を表す. 今回のシミュレーションでは 0.1 とした. 表 1 はシミュレーションにおけるパラメータを示している. 割合は 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 の 5 パターン, c_a は 2, 5, 7 の 3 パターンで, 全組み合わせ 15 の設定で実験を行った.

3.2 結果

各設定で 90000 ターンの実験を 5 回ずつ行い, それぞれの最後の 3000 ターンの平均をとった結果を以下で示す. シミュレーションでは, 学習プロセスを観察するのではなく, 適応的なエージェント同士の相互作用の結果, どのような安定状態になるかを調べることに主眼を置いている. よって, 十分に収束した状況である 90000 ターンのうちの最後の 3000 ターンを使用している.

図 2, 図 3, 図 4 はそれぞれ各設定で公共財共有グループに参加した全エージェントの投資割合, 投資コストが低いエー

表 1: パラメータの設定

プレイヤー数	$n = 50$
AA 導入率	$y = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0$
公共財共有グループに参加する確率	$x = 1.0$
1 人あたり公共財投資に対する利得の増分	$b = 4$
投資コストが低いプレイヤーの投資コスト	$c_A = 2, 5, 7$
投資コストが高いプレイヤーの投資コスト	$c_B = 10$

ジェントの投資割合, 投資コストが高いエージェントの投資割合を示している.

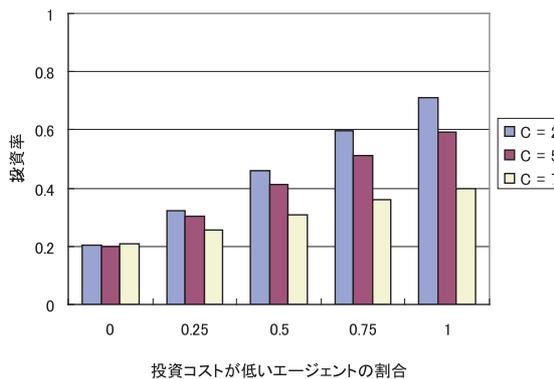


図 2: 全エージェントの投資割合

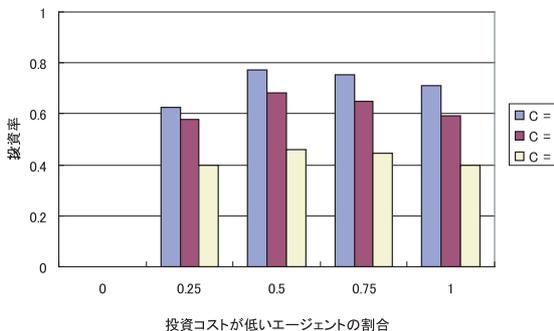


図 3: 投資コストが低いエージェントの投資割合

図 2 を見ると投資コストが低いエージェントの割合が高まることで全体の投資率は上昇している. 本モデルでは投資コストが低いエージェントが投資する際のコスト c は $c_A < c_B$ となっているため, 投資コストが低いエージェントの割合が高まることで投資率が高くなっていると考えられる. しかし投資コストが低いエージェントの投資率と投資コストが低いエージェントの割合は正の相関ではないことが図 3 からわかる. また, 図 4 から投資コストが高いエージェントの投資率と投資コストが低いエージェントの割合には負の相関が見られる. 従って投資コストが低いエージェントの割合が高まることは投資コストが高いエージェントが投資しない誘因となっている可能性がある.

図 5, 図 6, 図 7 はそれぞれ各設定で公共財共有グループに由来した全エージェントの平均利得, 投資コストが低いエージェントの平均利得, 投資コストが高いエージェントの平均利得を示している. それぞれのグラフで平均利得と投資コストが低いエージェントの割合に正の相関が見られる. 投資コストが低い

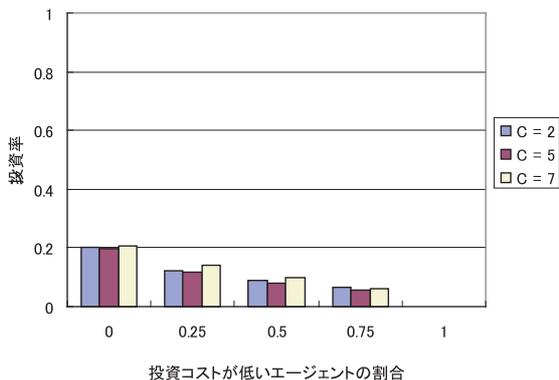


図 4: 投資コストが高いエージェントの投資割合

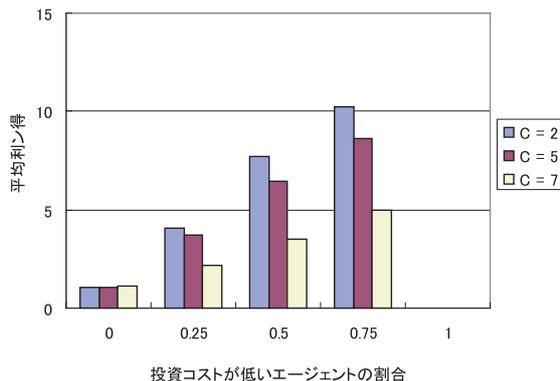


図 7: 投資コストが高いエージェントの平均利益

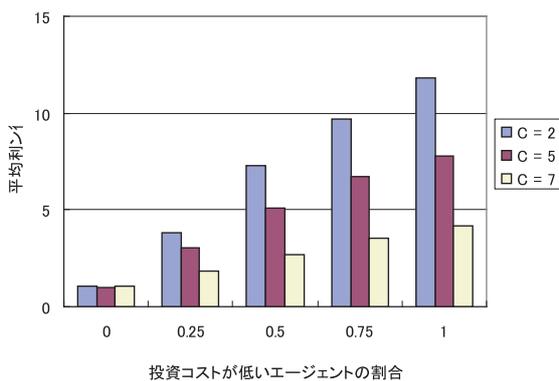


図 5: 全エージェントの平均利益

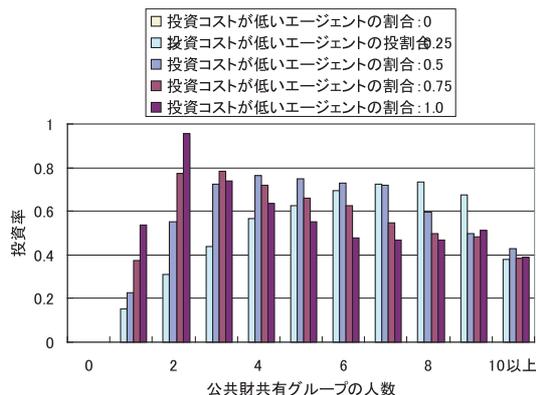


図 8: 公共財共有グループのエージェント数 m と投資コストが低いエージェントの投資率

エージェントの割合の増加とともに投資する人数が増加するので公共財から得られる利益 bi が増加すること、投資コスト c が低いエージェントの割合が高まることによるものである。

図 8, 図 9, 図 10 は $c_A = 5$ のときの各コストでのエージェントが観察することが出来る公共財共有グループにいる人数 m , 公共財共有グループにいる投資コストが低いエージェントの数 l , 公共財共有グループにおける投資コストが低いエージェントの割合 l/m の条件毎の, 投資コストが低いエージェントの投資率を示している。図 8 では投資コストが低いエージェントの割合による傾向の違いが見られるが, 図 9, 図 10 では投資コストが低いエージェントの割合による大きな傾向の差は見られない。図 9 から, 投資コストが低いエージェントは公共財共有グループにいる投資コストが低いエージェントが 2 人前後のときに投資する割合が高く, それ以上人数が増えると投資する割合が減る。また図 9 から公共財共有グループの投資コスト低いエージェントの割合も 0.5 前後のときに一番高く

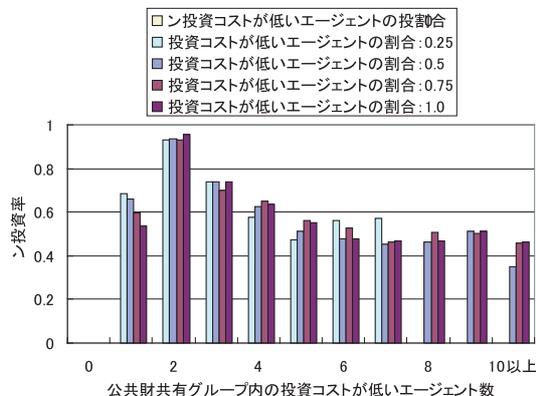


図 9: 投資コストが低いエージェント数 l と投資コストが低いエージェントの投資率

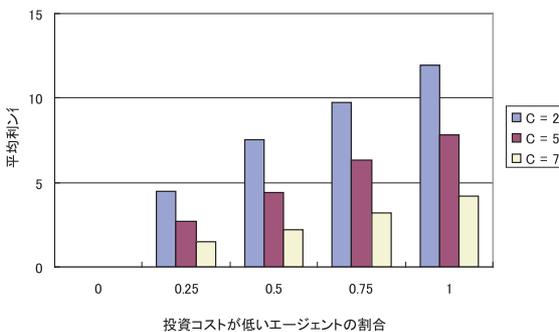


図 6: 投資コストが低いエージェントの平均利益

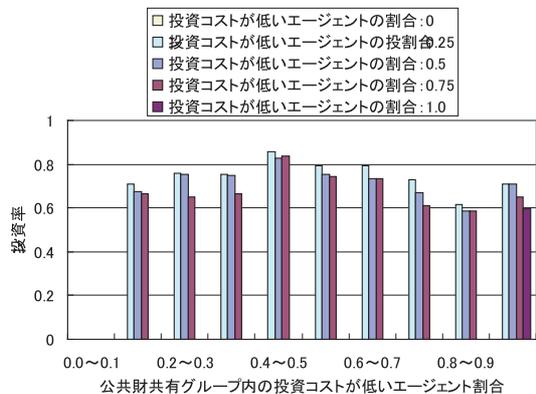


図 10: 投資コストが低いエージェントの割合 l/m と投資コストが低いエージェントの投資率

なり、投資コストが低いエージェントの割合がそれ以上高くても投資率は上がらない。

4. 終わりに

計算機実験の結果から、投資コストが低いプレイヤーの割合が高まることで全体の公共財への投資率は高まるが、投資コストが低いプレイヤーの割合が高まるほど投資コストが高いプレイヤーは公共財へ投資しなくなり、投資コストが低いプレイヤーの割合を5割前後にすることで投資コストが低いプレイヤーの公共財への投資率が高まると示唆される。また、投資コストが低いエージェントの割合を高めることでプレイヤーの利得の合計は高くなった。投資コストが低いプレイヤーの意思決定に着目すると、公共財を共有する投資コストが低いプレイヤーの数が強い影響を与えており、投資コストが低いプレイヤーが2人のときに特に高い公共財への投資率が観察された。

今後、これらの実験結果から実際の企業における組織での検証実験を計画している。

参考文献

[Olson 65] Olson, Mancur: The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups, Harvard University Press, 1965.

[Samuelson 54] Samuelson, Paul A.: The Pure Theory of Public Expenditure, Review of Economics and Statistics, 1954.

[Brubaker 75] Brubaker, E. R.: Free Ride, Free Revelation, or Golden Rule?, Journal of Law and Economics, 1975.