

令和 5 年 5 月 14 日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K18074

研究課題名（和文）ソーシャルメディア参加者がハーモニアスに協力するために必要な枠組みに関する研究

研究課題名（英文）The study of the framework necessary for harmonious cooperation of social media participants

研究代表者

大平 哲史 (Ohdaira, Tetsushi)

青山学院大学・情報メディアセンター・助教

研究者番号：60711843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ソーシャルメディアの参加者がハーモニアスに協力するために必要となる枠組みに関する知見を得ることを目的とする。具体的には、個人の合理的な選択が社会にとって非合理的な結果となる社会的ジレンマの理論モデルを用いて、参加者であるプレイヤーの寛容度に個人差があり、プレイヤーの行動戦略と相互依存関係が動的に変化する状況において、協力が成立するかどうかを調べた。その結果、研究代表者が提案した罰のシステムにより、そうした状況においても、高いレベルの協力とプレイヤーの平均利得の大幅な向上を実現できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者が提案した罰のシステムは、既存研究で提案された類似のシステムとは大きく異なり、人間の「不平等な状態を好まない」という選好をうまく表現した、独創的なシステムである。そして、プレイヤーの行動戦略と相互依存関係が動的に変化する状況において、高いレベルの協力とプレイヤーの平均利得の大幅な向上を実現できる。こうした複数の要素が動的に変化する、共進化と呼ばれる状況でも、研究代表者が提案した罰のシステムによって協力が成立することを示せたという点で、本研究の学術的および社会的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to obtain knowledge regarding the framework required to achieve harmonious cooperation among social media participants. Specifically, utilizing the theoretical model of social dilemmas where rational choices by individuals lead to irrational consequences for society, this study investigates whether cooperation is established in a situation where the degree of tolerance of the players (participants) is different and where the strategies and relationships of the players change dynamically. As a result, this study reveals that the system of punishment proposed by the principal investigator can achieve the high-level cooperation and the significant improvement in the average payoff of players even in such a situation.

研究分野：知能情報学、ソフトコンピューティング、生態学および環境学

キーワード：罰 報酬 協力 空間囚人のジレンマゲーム マルチエージェントシステム

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、情報が完全ではなく限定合理的な状況において、各プレイヤーが意思決定を行うとき、協力が促進されるには何が必要なのかという疑問を解明すべく研究を行ってきた。情報が完全ではなく限定合理的な状況は、私たちが日常生活で日々直面するものであり、人間社会における意思決定のモデル化において不可欠な設定である。その中で、研究代表者は「**利得の差に基づく確率的ピア懲罰**」という、ピア懲罰に関する新たな概念を提案した[Ohdaira (2016)]。この概念においても、プレイヤーは自分と隣接するプレイヤーの利得と戦略しか参照できないため、情報は完全ではなく限定合理的な条件下にある。そして、各プレイヤーは自分と相互依存関係のある相手にのみ罰を与える。罰の程度は実際に罰を与えるプレイヤーの利得に比例しており、自分の利得が小さく、相手の非協力的プレイヤーの利得が大きいほど高確率で罰を与える。一方で、相手を罰するプレイヤーも無傷ではいられずに与えた罰と同等の損失を被る。

このピア懲罰の導入により、プレイヤーの性格が一定であり、かつプレイヤー同士の相互依存関係が静的である場合、過度の罰が抑制され、協力的プレイヤー数とプレイヤーの平均利得が大きく増加し、報復行為も抑制でき、既存研究が示すピア懲罰の欠点を解消できた。この結果を踏まえ、ソーシャルメディアの利用において、特定の参加者に対する過度の罰、すなわち誹謗中傷を防止するための枠組みへとこのピア懲罰を応用するため、プレイヤーの寛容度に個人差があり、プレイヤー同士の相互依存関係が動的に変化する状況においても、同様にピア懲罰の欠点を解消できるのかを調べていく必要があるとの着想に至った。

2. 研究の目的

人間社会における意思決定を鑑みれば、各プレイヤーの寛容度は一定ではなく、プレイヤー同士の相互依存関係も各プレイヤーの非協力的プレイヤーに対する寛容度に依拠して、時間とともに変化していくのがより自然である。そのため、各プレイヤーの相手の非協力的プレイヤーに対する寛容度に差があり、各プレイヤーは寛容度を超えた場合、非協力的プレイヤーとの相互依存関係を断ち、新たに別のプレイヤーとの相互依存関係を構築する、という要素を新たに導入する。この条件の下で、利得の差に基づく確率的ピア懲罰の導入が、過度の罰を抑制し、協力的プレイヤー数とプレイヤーの平均利得を大きく増加し、報復行為も抑制できるかどうかを調べる。そして、ソーシャルメディアの利用において、その参加者がハーモニアスに協力し、特定の参加者に対する過度の罰に相当する誹謗中傷を防止するために必要となる、参加者間で必要な懲罰や、参加者が従うべき規則といった枠組みに関する知見を得ることを目的とする。

利得の差に基づく確率的ピア懲罰は、既存研究のピア懲罰と異なり、相手の非協力的プレイヤーに与える罰の程度が実際に罰を与えるプレイヤーの利得に比例し、非協力的プレイヤーに罰を与えるか否かという確率が自分の利得と相手の非協力的プレイヤーの利得の差に比例している。このように、人間の「不平等な状態を好まない」という選好をうまく取り入れていることが、他のピア懲罰と大きく異なる独創的な点である。したがって、本研究から得られる結果も、ソーシャルメディアの利用における過度の誹謗中傷を防止するために必要な枠組みを理解する上で、きわめて示唆に富むものになると予想できる。

3. 研究の方法

本研究では、研究代表者が Ohdaira (2016) で提案したエージェントベースモデルを拡張して研究を進める。以下の図 1 に示す通り、プレイヤー同士の相互依存関係については、(a)規則正しいとき(Regular)、(b)ランダムにつなぎ変えられたとき(Random)、(c)限られたプレイヤーがきわめて多くの相互依存関係を持つとき(Scale-free)、の3種類を基本とする。

プレイヤー i の戦略 $s(i)$ は裏切りまたは協力の2種類であり、相互依存関係のあるすべての相手と対戦を行い、合計利得 $P(i)$ を得る。相手と互いに協力した場合の利得は1、相手が協力であるにもかかわらず裏切った場合の利得 $b=1.5$ 、それ以外の場合の利得は0とする。初期状態における裏切り、協力、それぞれのプレイヤー数の比率はほぼ一対一である。

プレイヤー i は自分の利得 $P(i)$ と相互依存関係のある相手プレイヤー j の利得 $P(j)$ を比べ、 $0 < P(i) < P(j) \leq 2P(i)$ かつ相手プレイヤー j の戦略が裏切りであるとき、プレイヤー i は確率 $q_i(j) = (P(j) - P(i)) / P(i)$ で相手プレイヤー j に損害 $rP(i)$ を与える。 r は罰の係数 ($0 \leq r \leq 1$) である。 $P(j) > 2P(i)$ のときは $q_i(j) = 1$ とする。すべてのプレイヤーが罰を与え、また与えられた後、改めて利得を計算し、各プレイヤーは自分自身および相互依存関係のある相手プレイヤーの中で、最高の利得を持つプレイヤーの戦略を模倣する。このプロセスを、世代数が300に到達するまで繰り返す。

初年度は、このエージェントベースモデルに「各プレイヤーの相手の非協力的プレイヤーに対する寛容度」と「各プレイヤーの意思によるプレイヤー同士の相互依存関係の変化」という2つの要素を組み込む作業を行う。これらの要素については、既存研究を参考にして、各プレイヤーをその戦略(裏切り: Defector または協力: Cooperator)と望まない相互依存関係を破棄する傾向において、異なる性格を持つように、 M 種類の異なるタイプ(行動クラス)に分類する。相互依存関係を破棄した場合は、すべてのプレイヤーが固有の確率 α_i ($0.25 \leq \alpha_i \leq 0.75$, 0.01刻み)

で新しい相互依存関係を構築することとする。

次年度以降は、以下の手順で順次研究を進めていく。まず、性格 M が 2 種類の場合を考える。slow な性格であれば望まない相互依存関係を長く維持するが、fast な性格であれば望まない相互依存関係はすぐに破棄する。次に、性格 M が 50 種類の場合を考える。そして、図 1 で示す 3 種類のプレイヤー同士の相互依存関係を初期状態とし、 $M=2$ 、 $M=50$ いずれの場合においても、利得の差に基づく確率的ピア懲罰の導入によって、過度の罰が抑制され、協力的プレイヤー数とプレイヤーの平均利得が大きく増加し、報復行為も抑制することができれば、研究目的を達成することができる。

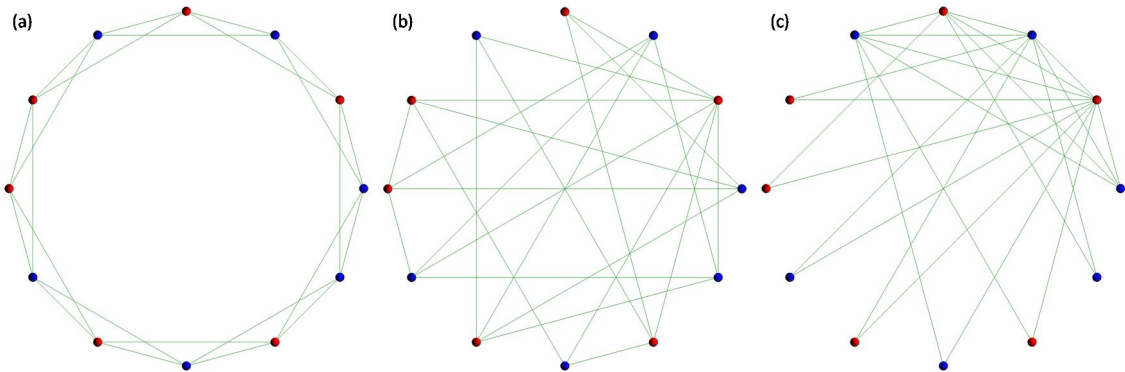


図 1 左から、(a)Regular、(b)Random、(c)Scale-free、各場合について、初期状態におけるプレイヤー同士の相互依存関係を示す（青：協力、赤：裏切り）。分かりやすくするため、全プレイヤー数 $N=12$ としているが、実際は $N=1000$ である（Ohdaira (2017) Figure 1 より）。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

平成 29 年度は、「研究の方法」で記した通り、研究代表者が Ohdaira (2016) で提案したエージェントベースモデルの拡張を行った。具体的な拡張内容は、各プレイヤーの相手の裏切り者に対する寛容度と、各プレイヤーの意思によるプレイヤー同士の相互依存関係の動的変化という 2 つの要素を組み込んだことである。当初は、平成 29 年度にモデルの拡張のみを行い、翌年度に各プレイヤーの相手の裏切り者に対する寛容度と、各プレイヤーの意思によるプレイヤー同士の相互依存関係の動的変化の双方が同時に起こる場合の効果を調べる予定であったが、研究がかなり順調に進んだため、その効果を Ohdaira (2017) として発表した（図 2, 3）。

平成 30 年度は、人間の熟考が果たして協力を促進するのか否かという議論の中で、意思決定のコストが協力者数に与える影響をテーマとする研究が急速に発展してきた背景を踏まえ、新たな観点から研究を進めた。すなわち人が意思決定をしなければならない状況を、その人に対して心理的な負担を強いるものであると考え、これを新たに意思決定のコストと定義し、Ohdaira (2016) のモデルに意思決定のコストを導入して研究を進めた。この新たなテーマに関する研究も順調に進み、最終的な成果を Ohdaira (2019) として発表した。

平成 31 (令和元) 年度からは、平成 29 年度に発表した先の Ohdaira (2017) のモデルへの報酬の導入に取り組んだ。報酬がもたらす協力への効果について扱った既存研究は存在するが、研究代表者は利得の差に基づく確率的ピア懲罰と反対となる概念、すなわちより貧しいものに対し、

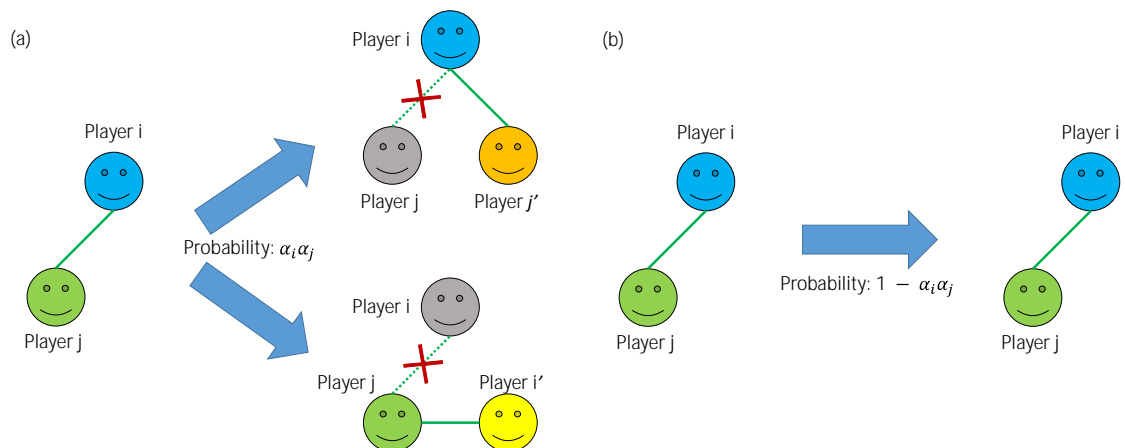


図 2 プレイヤー i と j の間で相互依存関係が破棄される、あるいは構築される場合の説明。プレイヤー i または j が、プレイヤー j または i との相互依存関係を破棄するとき、(a)プレイヤー i または j のいずれかが、ランダムに選択されたプレイヤー $j' \in O(i)$ または $i' \in O(j)$ と確率 $\alpha_i \alpha_j$ で新たな相互依存関係を構築するか、(b)確率 $1 - \alpha_i \alpha_j$ で再び同じ相手と相互依存関係を構築する。 $O(i)$ はプレイヤー i と相互依存関係のあるプレイヤーの集合（Ohdaira (2017) Figure 2 より）。

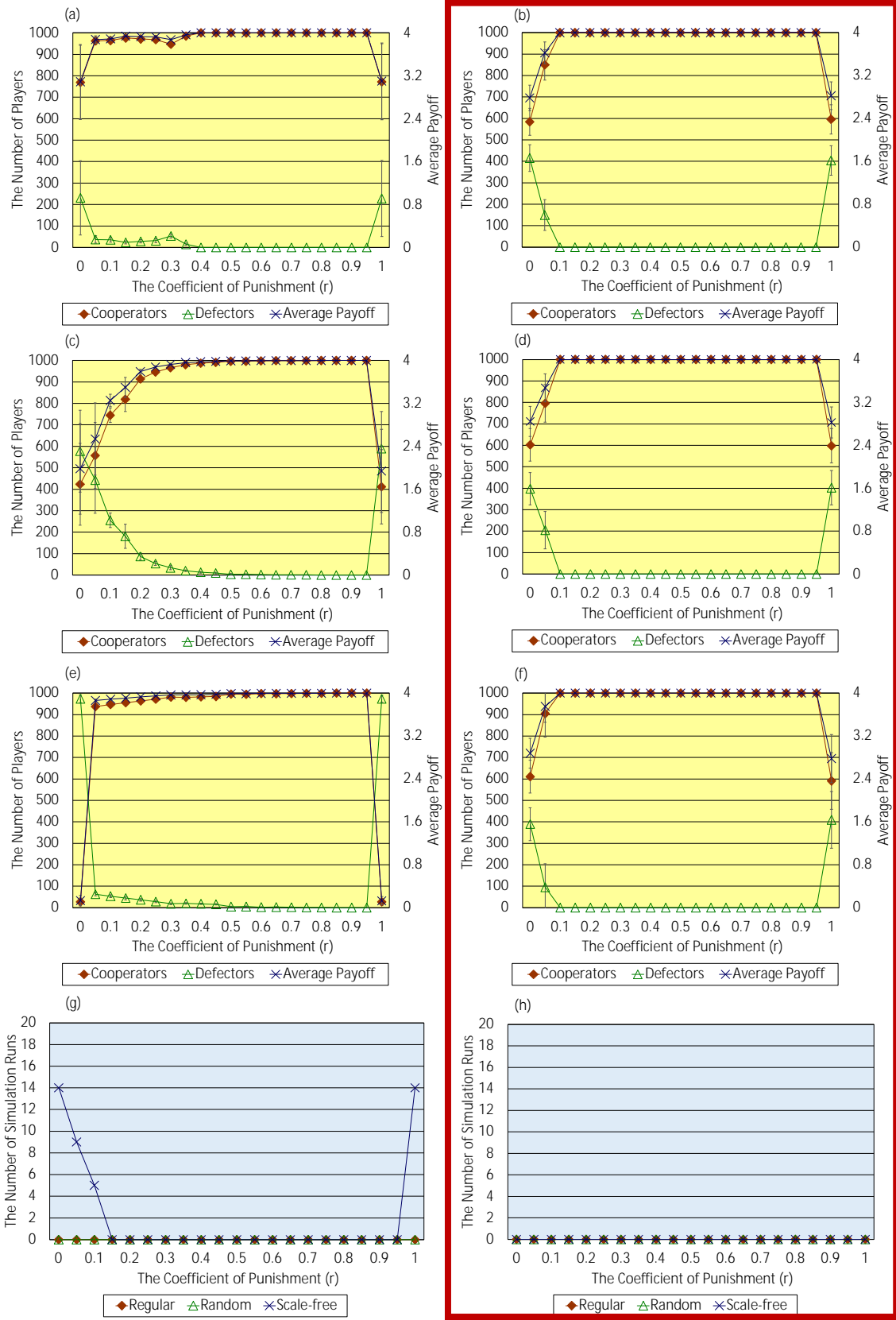


図3 6つのパネル(a-f)は、平均相互依存係数 $\langle k \rangle = 4$ で、初期状態がRegular(a, b)、Random(c, d)、Scale-free (e, f)の各相互依存関係の場合の結果を示す。下の2つのパネル(g, h)は、裏切り者が優勢となる(95%以上のプレイヤーが裏切り者となる)シミュレーション実行数と罰の係数 r との関係を示す。20回のシミュレーション実行のうち、裏切り者が優勢となるシミュレーションの実行数が9回以下の場合に協力の進化が生じたとみなす。左の列のパネル(a, c, e, g)は、相互依存関係の破棄と構築がない場合、赤枠で囲まれた右の列のパネル(b, d, f, h)は、相互依存関係の破棄と構築がある場合を示す(エラーバーは標準偏差を示す)。相互依存関係の破棄と構築がある場合の方が、初期状態がいずれの相互依存関係の場合であっても、安定した協力進化が得られている(Ohdaira (2017) Figure 3より)。

より高い確率で報酬を与えるという、利得の差に基づく確率的報酬を新たに提案した。このテーマを遂行するにあたり、予想よりもモデルの定式化が困難であったため、まずはプレイヤー同士の相互依存関係が静的、すなわち変化しない場合について研究を進めた。

この間、とりわけ令和2年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大による影響を大きく受けたが、参加者同士が空間的な相互依存関係を持った、空間囚人のジレンマゲームにおいて、利得の差に基づく確率的報酬の導入によって協力が進化するかどうかを調べた。その結果、平均相互依存関係数 $k=4$ のRegularとScale-freeの相互依存関係において、特に協力が進化することがわかり、この結果をOhdaira (2021)として発表した。

また、平成30年度から研究と並行して取り組みを進めていた、WindowsおよびMacの双方に対応したシミュレータについては、利得の差に基づく確率的ピア懲罰の基本的なモデルをJavaScriptにより実装し、令和4年3月初めに研究代表者のWebサイトで公開した。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

平成29年度の主な研究成果であるOhdaira (2017)では、既存研究とは一線を画す、プレイヤーの戦略のみならずプレイヤー同士の相互依存関係もプレイヤーの好みに応じて進化する共進化を導入し、プレイヤー間の相互依存関係が比較的疎である場合に、協力が進化するか否かという点について調べた。その結果、研究代表者が提案した罰と共進化機構の組み合わせが、協力進化が生じにくいとされる状況でも、高いレベルの協力進化とプレイヤーの平均利得の大幅な向上をもたらすという新しい知見が得られた。Ohdaira (2017)は、2023年5月現在1254件のアクセスと10件の被引用数がある。

平成30年度の主な研究成果であるOhdaira (2019)では、意思決定を心理的な負担とみなし、意思決定のコストが協力者数に与える影響を調べた。Ohdaira (2019)は、2023年5月現在1500件のアクセスと5件の被引用数があるが、協力の進化に関する数理モデルを扱う研究者が多く集う2019年度日本数理生物学会年会ポスターセッションにおいても、その結果の要点を分かりやすく説明し、多数の研究者と有意義な議論を行った。

平成31/令和元年度からの主な研究成果であるOhdaira (2021)では、報酬がもたらす協力への効果を扱った既存研究とは一線を画す、より貧しいものに対して、より高い確率で報酬を与えるという、利得の差に基づく確率的報酬を導入し、参加者同士が空間的な相互依存関係を持った、空間囚人のジレンマゲームにおいて協力進化が生じるかどうかを調べた。Ohdaira (2021)は、2023年5月現在751件のアクセスと3件の被引用数があり、The European Physical Journal Bの2021年11月号の表紙でも、同号を代表する研究として紹介された。

(3) 今後の展望

まず、平成31(令和元)年度から取り組んでいる利得の差に基づく確率的報酬に関する研究については、令和3年度に発表したOhdaira (2021)を発展させ、貧しい協力者のみならず貧しい裏切り者にも報酬を与えるという、より普遍的な確率的報酬によっても協力が進化することが分かっている。この結果は、今後学術誌へ投稿する予定である。

一方で、本研究課題開始時より研究代表者が提案してきた利得の差に基づく確率的ピア懲罰が、平成30年度に研究を行った意思決定のコストや、令和2年度から研究を進めてきた利得の差に基づく確率的報酬といった要素よりも、個人の合理的な選択が社会としての最適な選択に一致しない、社会的ジレンマの理論モデルの一つである空間囚人のジレンマゲームにおいて、協力進化の面で優位であることが明らかとなった。こうした理論モデルで得られた、確率的ピア懲罰の協力進化における優位性は、本務校の授業「情報スキルII」において実施したアンケートにより得られた、学生のソーシャルメディア利用実態に基づいてより精緻化、大規模化したモデルであっても、きわめて多数の学生同士の相互依存関係の中から、真に影響のある相互依存関係を抽出することによって、理論モデルの場合と同様に示されるものと予測できる。

さらに、利得の差に基づく確率的ピア懲罰の基本的なモデルを含む研究代表者のWebサイトについて、国内学会あるいは国際会議の参加時に周知し、その内容を広く公開することで社会に還元したい。また、青山学院大学総合研究所2019年度採択研究ユニットの共同研究プロジェクトを通して築いた関係を活かし、他分野の研究者との連携も積極的に進めていきたい。

<引用文献>

Ohdaira, T. (2016), Evolution of cooperation by the introduction of the probabilistic peer-punishment based on the difference of payoff, Sci. Rep., vol.6, art. no.25413.

Ohdaira, T. (2017), A remarkable effect of the combination of probabilistic peer-punishment and coevolutionary mechanism on the evolution of cooperation, Sci. Rep., vol.7, art. no.12448.

Ohdaira, T. (2019), Coevolution between the cost of decision and the strategy contributes to the evolution of cooperation, Sci. Rep., vol.9, art. no.4465.

Ohdaira, T. (2021), Cooperation evolves by the payoff-difference-based probabilistic reward, Eur. Phys. J. B, vol.94, no.11, art. no.232.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tetsushi Ohdaira	4. 巻 94
2. 論文標題 Cooperation evolves by the payoff-difference-based probabilistic reward	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal B	6. 最初と最後の頁 232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1140/epjb/s10051-021-00239-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tetsushi Ohdaira	4. 巻 9
2. 論文標題 Coevolution between the cost of decision and the strategy contributes to the evolution of cooperation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports (Nature Publishing Group)	6. 最初と最後の頁 4465
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-41073-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tetsushi Ohdaira	4. 巻 7
2. 論文標題 A remarkable effect of the combination of probabilistic peer-punishment and coevolutionary mechanism on the evolution of cooperation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports (Nature Publishing Group)	6. 最初と最後の頁 12448
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-017-12742-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tetsushi Ohdaira	4. 巻 12
2. 論文標題 The probabilistic pool punishment proportional to the difference of payoff outperforms previous pool and peer punishment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports (Nature Portfolio)	6. 最初と最後の頁 6604
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-10582-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 大平哲史, 稲葉美里, 大林真也, 清成透子	4. 巻 64
2. 論文標題 オンライン公共財の提供と引き出しの分布に潜む規則性の説明	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 594 ~ 602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00224277	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 利得の差に比例する確率的プール罰による協力の進化
3. 学会等名 2021年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsushi Ohdaira
2. 発表標題 The evolution of cooperation induced by the probabilistic pool-punishment proportional to the difference of payoff
3. 学会等名 The 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 27th 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 利得の差に基づく普遍的な確率的報酬が促進する協力進化
3. 学会等名 2020年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平哲史, 稲葉美里, 大林真也, 清成透子
2. 発表標題 公共財的側面を持つサービスの維持に関する分析
3. 学会等名 第69回数理社会学会大会 (JAMS69online)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 スケールフリーネットワークにおける意思決定のコストの導入に基づく協力の進化
3. 学会等名 2019年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsushi Ohdaira
2. 発表標題 The effect of the probabilistic reward based on the difference of payoff on the evolution of cooperation
3. 学会等名 The 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 25th 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 熟考のコストの導入が促進する協力の進化
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018 (JAWS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 確率的罰と共進化機構の組み合わせにより促進される協力進化
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2017 (JAWS2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tetsushi Ohdaira
2. 発表標題 The difference of the kurtosis of the average degree distribution between cooperators-dominant and defectors-dominant cases
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 23rd 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大平哲史
2. 発表標題 利得の差に比例する二次の確率的プール罰による協力の進化
3. 学会等名 2022年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsushi Ohdaira
2. 発表標題 The second-order probabilistic pool punishment proportional to the difference of payoff can solve the problem of punishment of previous studies
3. 学会等名 The 28th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 28th 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究代表者の個人ホームページ
<https://sites.google.com/view/tetsushi77/>

研究代表者がこれまで提案してきた確率的ピア懲罰の基本的なシミュレータ
<https://sites.google.com/view/tetsushi77/home/ppbdp-network-simulator>

大平 哲史 (Tetsushi Ohdaira) - マイポータル (researchmap)
<https://researchmap.jp/7000026933>

研究代表者の所属研究機関による研究者情報Webページ (2022年度まで)
<https://raweb1.jm.aoyama.ac.jp/aguhp/KgApp?kyoinId=yddgdggeggy>

2020年12月、2022年11月および12月
Nature Portfolio (Nature Publishing Group) が発行するオープンアクセスの電子ジャーナルであるScientific Reportsに投稿された論文の査読を担当

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------