

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00304

研究課題名(和文) 協力行動に関する多重進化ダイナミクス解明と促進システム構築

研究課題名(英文) Exploring and utilizing the coevolutionary dynamics of reciprocity-based mechanisms promoting cooperation

研究代表者

有田 隆也 (Arita, Takaya)

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：40202759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、協力が創発するメカニズムが生物進化・文化進化するダイナミクスを解明し、応用することを目的とした。まず、進化シミュレーションにより直接互惠と間接互惠が協働的に動作して裏切りの侵入を防ぐことが示された。次に、マルチプレイヤー型オンラインゲーム型実験環境により、ゲーム内挙動と心的特性の関係を明らかにした。また、大規模ソーシャルゲームの行動データを統計分析し、コストが大きいコミュニケーションが協力行動につながる可能性を示した。さらに、間接互惠に基づく協力行動を二重化ゲーミフィケーションによって促進するプラットフォーム概念を提唱、実装し、被験者実験によりその効果を確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand the dynamics of biological/cultural evolution of cooperation, and its application. First, we showed that direct and indirect reciprocity operate cooperatively preventing defective individuals from invading. Second, using a web-based experimental framework for dynamic and cooperative social relationships with real-time decision-making and rewarding environment, we showed that psychological characters of players might reflect their behavioral characteristics in the game. Third, our statistical analysis of players behavior in a social networking game showed that communication with a rather significant cost tends to lead to cooperation. Fourth, we presented a conceptual platform of gamified system with a dual layer structure, which was shown to promote reciprocity-based cooperation in targeted social contexts.

研究分野：複雑系科学, 人工生命

キーワード：協力の進化 間接互惠 進化シミュレーション エージェントベースモデリング 囚人のジレンマゲーム
ゲームフィケーション

1. 研究開始当初の背景

我々はなぜ犠牲（コスト）を払ってでも他者を助けたり、協力関係を築いたりするのだろうか？ これは、自然選択によって進化してきたと容易には考えにくい難問であると同時に、ヒトという社会的生物の本性に関わる問題である。そのため、多くの研究者がこの問題に取り組んできたが、未解明な点も多く、今後解明すべき 25 問題の一つとして列挙されるなど、重大問題と言える。

数十年に渡る研究群により解明されてきた協力進化のメカニズムは次のように 2 分できる。第一には、利他行為をすると後に見返りが戻ってくるというメカニズム（「直接互惠」「間接互惠」等）である。特に、広く認知されている間接互惠の原理は、『A が B に対して利他行動すると、それを見た C や噂を伝え聞いた D の内面で A に対する評価が向上し、将来、A に対して利他行動する確率が上がる』ならば、A の利他行動は適応的となる」と説明される。Nowak らは、他個体に対する評価をイメージスコアとして表現したモデルを作り、間接互惠が適応進化し得ることを示し、利他行動者に対して利他行動する心理的傾向の存在も被験者実験で確認されている。第二のメカニズムは、「利他行動の受け手も利他行動を促す遺伝子を持つ場合、利他行動がそのような遺伝子全体の包括的な適応度貢献の増加をもたらす、適応的となる」というメカニズム（「血縁選択」「マルチレベル選択」等）である。

ただし一方で、相互に関連する次の 3 つの意味において、従来研究には現実との乖離が歴然と存在するという問題点が存在することが否めない。

(1) 現実の人間行動は、多様な協力メカニズムが複雑に相互作用した結果のはずである。しかし、ほとんどの従来研究は焦点を合わせるメカニズム一つに絞って議論し、環境条件に応じた、多様な潜在的メカニズム群からの生物進化・社会進化による選択、共存の過程は議論しない。つまり、無視されがちで重要な点は、複数のメカニズムが同時並行的に作用するという点である。

(2) 近年の計算機シミュレーション、あるいは数理モデルを用いた協力の生物進化・文化進化へのアプローチは大きな成果を残してきた。しかし、依存している抽象性が必然的にもたらす現実の人間行動との乖離は小さくない。一方、被験者実験を用いる研究のほとんどは、対象とする仮説の検証のために設定された意図的な閉じた実験環境に基づいており、実社会での自然な人間行動との間の実験バイアスを無視しがたい側面がある。

(3) なぜヒトは利他行動するようになったのかという謎に対して答えを出すことを目的とした、サイエンスとしての研究は長年に渡

ってなされてきたが、そこで得られた知見を応用して実社会での協力関係を維持・促進するようなシステムを構築することを目的とする、情報工学的、あるいは社会工学的なアプローチは、少なくとも申請者の知る限りなされてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、上記問題点 3 つのそれぞれに対して、互いに成果をフィードバックしながら、次のように解決することにより、なぜヒトは利他行動を行い協力関係を築くのかを解明するサイエンスを行いつつ、実社会における協力促進の枠組みを提案し、システムを構築する。

(1) 複数の協力進化メカニズムが多重に創発・進化しうる計算論的モデルを構築し、生物進化・文化進化シミュレーションに基づく構成論的研究を行うことにより、協力進化メカニズム間の相互作用がもたらす進化ダイナミクスや協力を維持・促進するヒトの心理的進化的基盤を明らかにする。その際、規範の出現現象や複数規範からの選択過程を議論している数少ない計算論的研究や被験者実験研究を参考にする。

(2) 従来型の閉じた被験者実験を離れ、現実を指向する 2 レベルを創設し、実社会における協力促進システムの実現につなげる。第一は、研究室実験の枠を超え、日常生活の文脈に埋め込んだ実験であり、携帯電話、パソコンを使用した非同期の情報伝達に基づく。第二は、数万、数十万人規模のプレイヤーをもつソーシャルゲームにおけるプレイヤーの操作から協力関係に関わる挙動データを抽出し分析する。実験バイアスをなくすることができ、またコマンド体系が単純なためユーザ挙動データを完全収集できる。アバター(分身像)を動かすタイプのゲームを対象とした従来研究は存在するが、プレイヤー行動の解析は容易ではない。

(3) 協力促進システムの基本的アイデアは、心理メカニズムに基づく協力促進に関わる印象、感情を明示化、共通化、可操作化し、さらに文化進化ダイナミクスを利用することにより、ヒトの持つ協力関係を築く先天的な心理傾向の強化を狙うというものである。その際、ゲーミフィケーション(ゲーム的思考やゲームメカニクスをゲーム外の文脈に導入してユーザ行動をデザインすること。2008 年に言葉として登場、IEEE は 2020 年までに日常生活の 85% がゲーム化されると予測。ゲームが生み出すダイナミクスは対象の行動に魅力を与え、様々な思考や学びを促す)を、その問題点である相互監視の息苦しさを軽減し、かつシステムを魅力的にするために、二層構成に拡張した上で導入する。

3. 研究の方法

複数の協力進化メカニズムが同時並行的に生物進化・文化進化するダイナミクスを解明し、応用するために、閉じた計算論的モデルによる分析から実社会での応用までを4層に分けて設定した4サブテーマを相互作用させつつ実行する。

(1) 協力進化メカニズムが多重に作動しうる計算論的モデルを構築し、生物進化・文化進化ダイナミクスを調べる。

(2) 被験者が日常の文脈で実験に参加する日常埋込み型協力実験環境を構築した上で(1)に関わる実験を行う。

(3) 大量のプレイヤーがいるソーシャルゲームを選択し、そこでの協力行動を定義した上で、プレイヤー行動の統計分析により、協力行動のメカニズムを探る。

(4) 協力する先天的心理傾向を強化し、文化進化ダイナミクスを利用する協力促進プラットフォームをゲーミフィケーションを導入して構築する。

4. 研究成果

人間の協力行動に焦点を合わせ、閉じた理論・実験から開かれた実社会での応用に向けた展開のために、4テーマ、(1) 多重協力進化の計算論的モデル、(2) 日常埋込み型協力実験環境、(3) 大規模ソーシャルゲーム協力環境、(4) 協力促進プラットフォーム、を相互関連させながら構成的研究を行った[発表(8)、(9)]。それぞれについて以下に記す。

(1) テーマ1では、互惠主義に関して、直接互惠と間接互惠、さらに、一般化互惠と第三者効果を加えた4つの協力進化のメカニズムが同時に働きうるモデルを作成し、進化シミュレーションを行った。その結果、直接互惠と間接互惠が協働的に動作することにより、裏切りの侵入を防いで協力を達成することや、その過程で一般化互惠が一定の役割を果たしうることを発見した[発表(7)]。また、同様の構成論的アプローチにより、互惠に基づく協力進化を支える心理的基盤と考えられる実行機能が2次学習の進化によって創発しうること[論文(2)]やエージェントの属するネットワークを多重化すればするほど協力行動が促進されること。その増加はネットワーク選択戦略と協力行動のサイクリックな共進化によってもたらされること[論文(3)]をそれぞれ明らかにした。

(2) テーマ2では、まず、被験者の生活スタイルに即した実験が容易に可能なWebアプリケーションを作成した。そして、被験者実験により初期の目的を達成していることを確認した。次に、当初の構想を進展させ、四人

のジレンマゲームと自己駆動粒子系の理論を融合するアイデアに基づいたマルチプレイヤー型オンラインゲーム型実験環境(図1)を構築して、ゲーム論的設定に基づく人間関係の連続的変化を観察可能とした[発表(4)]。さらに、ゲームプレイ実験だけでなく、心的特性の調査も同時に実施する被験者実験を行った。その結果、理論的に示されてきた知見との整合性が高いことが示された。また、ゲーム内挙動に個人の心的特性が反映されている側面に関しても、統計分析により示された[論文(1)]。

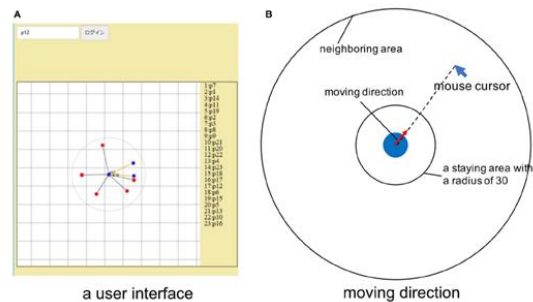


図1 マルチプレイヤー型オンラインゲーム型実験環境

(3) テーマ3では、大規模ソーシャルゲームの行動データを統計分析し、ユーザ間コミュニケーションの手段が協力行動に与える影響を明らかにした。特に、コストが大きい挨拶が協力行動につながる可能性や、グループ構成員の一部だけ盛り上がる状況はグループ構造のもろさにつながりやすいという可能性を示唆する知見を得た[発表(3)]。さらに、本研究の発展として、社会的バースト現象に着目した。ソーシャルゲームの得点の急上昇をバーストと定義した上で、得点の推移やユーザの行動を統計分析したり、個別のユーザ行動を詳細に分析したりした結果、ゲーム内で起こるバーストが内的バースト・外的バーストに2分できることや、バーストを起こす要因がスコアリングにある可能性を明らかにした[発表(2)]。

(4) テーマ4では、間接互惠理論で提唱された概念であるイメージスコアを明示化・共有化した上で、内的モチベーションを新たに提唱している二重化ゲーミフィケーションによって高めることにより、間接互惠に基づいた協力行動を促進することを目指す協力促進プラットフォームの概念を DERC (Dual layer gamification Encouraging Reciprocity-based Cooperation)として、提唱した[発表(5)]。そして、DERCに基づいた試作システム(図2)を構築し、学内サークル活動における協力行動の促進を対象とした初期的評価実験により基本的効果を確認した[発表(6)]。さらに、これらの知見を活かして、議論の活性化に焦点を合わせたリアルタイム議論促進システムを構築して評価

実験を行った。その結果、ユーザに楽しみを与えながら議論活性化が実現されていることが確認された[発表(1)]。

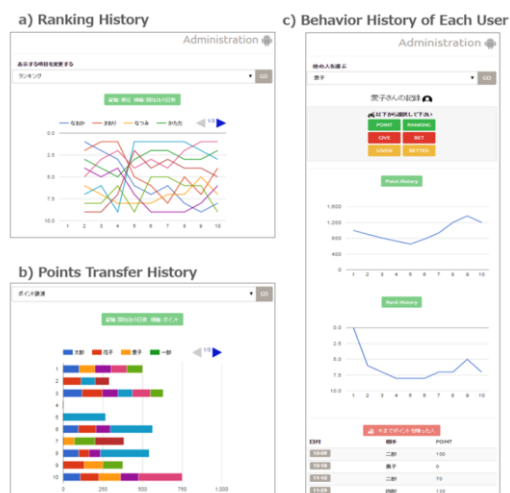


図2 DERCシステムのユーザ画面例

さらに、これらの4テーマの研究と並行して、協力創発の基盤である適応プロセス間の相互作用を解き明かすために、仮想生物の進化実験を行っており、生態-発生-進化 (eco-evo-devo) 間の関係に関する知見が得られた[論文(4)]。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- (1) Reiji Suzuki, Momoka Ito, Shunnya Kodera, Keita Nishimoto, Takaya Arita, "A web-based experimental framework for dynamic and cooperative social relationships with a real-time decision-making and rewarding environment", *Frontiers in Ecology and Evolution*, 査読有 (in press). DOI: 10.3389/fevo.2018.00074
- (2) Keisuke Daimon, Solvi F Arnold, Reiji Suzuki and Takaya Arita, "The Emergence of Executive Functions by the Evolution of Second-order Learning", *Artificial Life and Robotics*, 査読有, Vol. 22, Issue 4, pp. 483-489, 2017. DOI: 10.1007/s10015-017-0389-7
- (3) K. Hayashi, *R. Suzuki and T. Arita, "Coevolution of Cooperation and Layer Selection Strategy in Multiplex Networks", *Games (Special Issue on Evolutionary Games and Statistical Physics of Social Networks)*, 査読有,

Vol. 7, No. 4, 34 (13 pages). 2016.
DOI: 10.3390/g7040034

- (4) Takaya Arita, Michal Joachimczak, Takashi Ito, Atsushi Asakura and Reiji Suzuki, "ALife Approach to Eco-Evo-Devo using Evolution of Virtual Creatures", *Artificial Life and Robotics*, 査読有, Vol. 21, No. 2, pp. 141-148, 2016. DOI: 10.1007/s10015-016-0278-5

[学会発表] (計9件)

- (1) 渡辺 真広, 花木 真美, 鈴木 麗麗, 有田 隆也: 二層化ゲーミフィケーションに基づく議論活性化システム, 第45回知能システムシンポジウム, 2018.
- (2) Mitsuki Murase, Masanori Takano, Reiji Suzuki and Takaya Arita: A statistical Analysis of Behavioral Burst Occurring in a Social Networking Game, *The 2nd International Workshop on Application of Big Data for Computational Social Science (IEEE BigData 2017 Workshop)*, 2017.
- (3) Shunya Kodera, Reiji Suzuki, Keita Nishimoto and Takaya Arita: A Multiplayer Online Game-based Experimental Framework for Observing Continuous Dynamics of Human Social Relationships", *The 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2017)*, 2017.
- (4) Takenobu Ito, Reiji Suzuki and Takaya Arita: Evolution of Four Forms of Reciprocity in the Prisoner's Dilemma Game, *The 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2017)*, 2017.
- (5) Mitsuki Murase, Masanori Takano, Reiji Suzuki, Takaya Arita: A statistical analysis of play data in a social network game: Effects of communication on cooperative behavior, *The 31st International Congress of Psychology (ICP2016)*, Poster Presentation, RC-05-2, 2016.
- (6) Takaya Arita and Nozomi Ogawa: Promoting Reciprocity-based Cooperation by Dual Layer Gamification, *Gamification and Social Game Mechanics track, The European Simulation and AI in Games*

Conference (GAMEON 2016), 2016.

- (7) 小川 望美, 有田 隆也: ゲーミフィケーションに基づく間接互惠促進システムの構築, 第 43 回知能システムシンポジウム, B4-1, 2016.
- (8) 有田 隆也: 協力行動の理解と促進を目指す構成論的な試み, 国際高等研究所プロジェクト研究会「総合コミュニケーション学」, 2016 (特別講演) .
- (9) 有田 隆也: 計算機の中からヒトの心の中へ, 日本心理学会第 79 回大会準備委員会企画シンポジウム「余白の心理学: 人間理解への回復力」, 2015 (依頼講演) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有田 隆也 (ARITA, Takaya)
名古屋大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号: 4 0 2 0 2 7 5 9

(3) 連携研究者

鈴木 麗璽 (SUZUKI, Reiji)
名古屋大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号: 2 0 3 6 2 2 9 6