

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12137

研究課題名(和文) 互惠性に基づくポジティブコンピューティング基盤の構築

研究課題名(英文) Constructing a Positive Computing Platform Based on Reciprocity

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：利他性はヒトの社会性の中核を構成する。利他性の進化基盤を構成する代表的メカニズムとして互惠性があるが、従来研究では、身体性、リアルタイム性、そして人間心理の果たす役割に関しては未解明であった。本研究では、オンライン被験者実験と仮想生物進化シミュレーションによってそれらに関する基本的知見を得た。さらに、それらの知見に基づいて、日常的な現実・仮想の場面において協力関係を促進する互惠促進アーキテクチャのプロトタイプを、二層化ゲーミフィケーションを用いて作成し、実用化への第一歩とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

犠牲を払って自身の適応度を下げてでも他者を利する行動が進化したのかは謎であり研究がなされてきたが、互惠性による利他行動の進化の説明で不十分であった身体性、リアルタイム性、及び人間心理の果たす役割について、ゲーム論的抽象モデルに基づく創発シミュレーション、リアルタイム相互作用に基づくオンライン被験者実験、仮想物理環境における仮想生物進化実験の3方面からの知見を得た。そして、それらの知見に基づいて、互惠性を促進するアーキテクチャのプロトタイプを試作して、有効性を確認した。今後の実世界への応用の道が切り拓かれたと言える。

研究成果の概要(英文)：Altruism constitutes the core of human sociality, and reciprocity is a key mechanism that forms the evolutionary basis of altruism. However, the roles of embodiment, real-time nature, and human psychology have not yet been fully elucidated in previous studies. In this study, we obtained basic knowledge about these aspects through online human subjects' experiments and evolutionary simulations of virtual creatures. Based on these findings, we developed a prototype platform promoting reciprocity-based cooperation in everyday real/virtual situations, using dual layer gamification, as a first step toward practical application.

研究分野：複雑系科学, 人工生命

キーワード：社会的粒子群モデル 仮想生物進化 互惠促進アーキテクチャ ゲーミフィケーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

「ヒトはなぜ利他行動、つまり犠牲を払って自身の適応度を下げても他者を利する行動をするのか?」という謎は単純な自然選択による適応進化のメカニズムでは説明の難しい、ヒトという社会的生物の本性に関わる重要問題である。数十年に渡る多面的な研究群により解明されてきた利他行動の進化メカニズムは、直接的利益に基づくものと間接的利益に基づくものに2分される[West, 2011]。前者は、協力し合う関係の構築により利得を享受し合うものであり、他者に対する利他行動が後の他者からの利他行動に結びつくという「互惠性」が主要なメカニズムである。後者は、集団構造や個体識別等により、利他行動が、利他行動を促す遺伝子を有する他個体に向けられた結果、そのような遺伝子の包括的貢献の増加をもたらす適応的になるという「正の同類性」に基づくメカニズムであり、古典的な血縁選択や群選択の概念を包含する。

この文脈において、上記2分類の前者の「互惠性」に焦点を絞る。従来の互惠性の進化的基盤(究極要因)を追究する理論的研究は単純な計算論的、数理的、あるいはゲーム理論的モデルを前提としてきた。しかし、互惠性の創発に関する知見を現実世界で生きる知見とするには、従来の多くのモデルにおいて除外されている身体性、リアルタイム性、及び人間心理の果たす役割を知ることは必要不可欠である。さらに、理論的追究に留まらずに、互惠性創発に関わる知見を現実世界の様々な場面における互惠的な協力関係の樹立、促進に結び付けられるかどうかということも未解明であった。

### 2. 研究の目的

第一の目的は、ヒトの社会性の中核である利他行動を生み出す互惠性の進化的基盤における、従来の理論的研究では扱われてこなかった、身体性、リアルタイム性、そして人間心理の果たす役割を新しい構成的手法(ゲーム理論と自己駆動粒子理論に基づいたネットワーク環境を用いたオンライン被験者実験、及び、行動だけでなく形態も仮想物理環境で共進化する仮想生物進化シミュレーション)によって解明することである。

第二の目的は、第一の目的を達成する研究で得られる知見を活用して、日常的な現実・仮想世界の場面において協力関係を促進するオープンな「互惠促進アーキテクチャ」のプロトタイプを、入出力ハードウェアを備えた二層化ゲーミフィケーションを用いて、よりよい生を実現する技術であるポジティブ・コンピューティングとして作成し、実用化への第一歩とすることである。

### 3. 研究の方法

研究の全体像を図1に示す。同図ではサブテーマ4つが、物理法則の成立する現実環境を想定するか否か、人間が加わった環境を想定するか否かの2軸の平面に位置付けられており、各サブテーマのターゲットやキーワードも記されている。各サブテーマは知見の流れの中で相互依存しつつ並列実行される。概要を以下に示す。

#### (1) ゲーム論的抽象モデルに基づく創発シミュレーション

ゲーム論的状况設定に基づく抽象モデルを作成し、その進化シミュレーションにより人間の互惠関係の創発(生物・文化進化)ダイナミクスを検討する。特に次の2点に絞る。第一は、互惠性を生み出す複数メカニズムの共進化である。例えば、あるメカニズムが他メカニズムの普及の足場を作る、あるいは複数メカニズムが相補的に働くなど様々な可能性があり、そのような観点から互惠性の進化シナリオを検討する。第二は、他の各サブテーマのベースとしての抽象モデルである。モデルとしては自己駆動粒子モデルとゲーム理論の枠組みを融合したSPS(社会的粒子群)モデル[Nishimoto et al, 2013]を基本とする。これは各粒子(個体)が利得行列で定められる利得を粒子間距離で割った大きさの吸引(または反発)力に基づいて心理的空間を動く、社会的関係性の変化の物理的ダイナミクスに焦点を絞った枠組みである。

これら2つのモデルによる知見を、人間心理、リアルタイム性、身体性の3要因を扱う他のサブテーマの知見と比較検討することにより、それらの要因の果たす役割、あるいは生物進化と文化進化のダイナミクスの差異を検討して、現実での応用のための知見を得る。

#### (2) リアルタイム相互作用に基づくオンライン被験者実験

ネット上の活動が増加し、人間同士のリアルタイムな相互作用における意思決定や振舞いの理解が重要になっている。従来のゲーム理論は離散的相互作用を扱ってきたが、近年、リアルタイムの意思決定の特異性が指摘されている。一方、協力進化のゲーム理論的研究では、プレイヤー間のネットワーク構造が大きな影響を持つことが指摘されている。本テーマでは、ウェブベースの多人数オンラインゲーム技術を用い、被験者が社会的距離を表す空間でリアルタイムに自戦略、及び他者との関係性を連続的に変えうるネットワーク被験者実験環境を構築する。これにより、リアルタイムな社会的相互作用下で人間心理がいかに働いて協力関係を構築しうるか究明する。同時に、被験者の心理的特性を関係流動性尺度[Yuki et al., 2007]等の尺度を用いて調査し、実験での行動特性と固有に持つ心理的特性の関係を明らかにする。

#### (3) 仮想物理環境における仮想生物進化実験

互惠性に基づく協力進化に関する従来のほぼすべての理論的研究では、互惠を支える能力(他個体を識別・記憶する能力、情報伝達する能力等)は所与のものと前提していた。本テーマでは、

互恵主義の創発における身体性を重視し、仮想物理環境において仮想生物の体構造と行動を共進化させることにより、互恵性創発における身体性の果たす役割を追究する。仮想生物はマルチモーダルな感覚（視覚と聴覚）を持ち（重みと構造が進化する）ニューラルネットワークに基づいて行動する。シンプルな生き残りタスクを基本とし、余剰の餌を譲り合うような互恵の関係がいかなる条件下で生まれ、促進されるかについて明らかにする。研究前半では直接互恵を扱い、後期では他も含めた互恵全般の創発へと拡張する。

#### (4) 互恵促進アーキテクチャのプロトタイプ作成

互恵性に基づく協力関係を促進するアーキテクチャのプロトタイプを実装する。2層化ゲーミフィケーションプラットフォームを基盤として採用する。すでにイメージスコアに基づく間接互恵を応用することにより、階層1が従来ゲーミフィケーション技術を用いて自身の利他行為を促進し、付加された階層2は市場原理に基づき他者に利他行為を促す行為を促進していることが示されている。本研究では、上記3テーマの成果を反映させて、VRゴーグルを用いた仮想環境、及び、センサー・アクチュエータを備えた日常的な現実環境で汎用的に動作するオープンな互恵促進アーキテクチャのミニマルなプロトタイプを設計・実装し、被験者実験により評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) ゲーム論的抽象モデルに基づく創発シミュレーション

第一に、計算論的アプローチとして、バランス理論に基づく社会心理ダイナミクスを自己駆動粒子群モデルで表現した計算論モデル（図2）を作成し、社会的関係性と社会的嗜好によるルーブリダイナミクスを発見した。また、囚人のジレンマ2D戦略の移動による特性を明らかにした。それらの知見を踏まえて、4番目のサブテーマに合流した。

#### (2) リアルタイム相互作用に基づくオンライン被験者実験

利他行動でのリアルタイム性と人間心理の果たす役割解明用のオンライン実験環境を構築した。被験者実験で社会的関係の変更機敏性の多様性が大域的協力集団を生むことを発見した。社会的粒子群モデルにより、IoT機器を用いて人間集団が動き回って戦略をリアルタイムに切替える実験（図3）を行い、リアルタイム性と人間心理を反映した知見を得た。最終年度には、被験者実験を繰り返して詳細なデータ分析をした。

#### (3) 仮想物理環境における仮想生物進化実験

運動に伴う音を利用する仮想生物の体構造と行動を共進化させる仮想物理環境を構築した。進化実験で音を利用した集団行動創発を確認した。種間個体間の音競合で棲分けが生じる音響ニッチ仮説を検証し、運動で発する音周波数の二極化、第3種の複雑な挙動を明らかにした。さらに、資源獲得タスク実験（図4）での行動を移動エントロピーで解析し、音による競争調整を確認した。

#### (4) 互恵促進アーキテクチャのプロトタイプ作成

互恵性に基づく協力関係促進アーキテクチャ DERC を VR 会議に導入した。評価実験で議論の質向上や情報量増を示した。そして、議論（ビデオ議論、テキスト議論）日常生活、ヘルスケア（歩数）での利他行動を促進する統合プラットフォーム（図5）を試作し有効性を確認した。また、第二のサブテーマと合流し、エージェント介入によって会話を引き出す近接ボイスチャット型コミュニケーション環境も実現した。



図1 研究の全体像

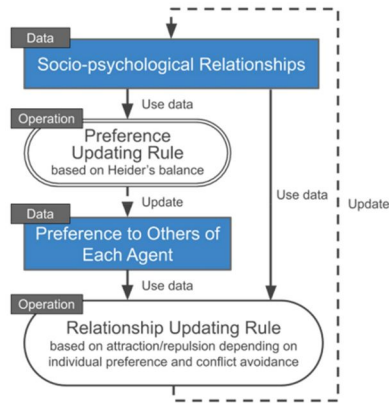


図2 社会心理ダイナミクスを自己駆動粒子群モデルで表現した計算論モデル



図3 社会的粒子群モデルに関する Raspberry Pi Zero WH を用いた被験者実験

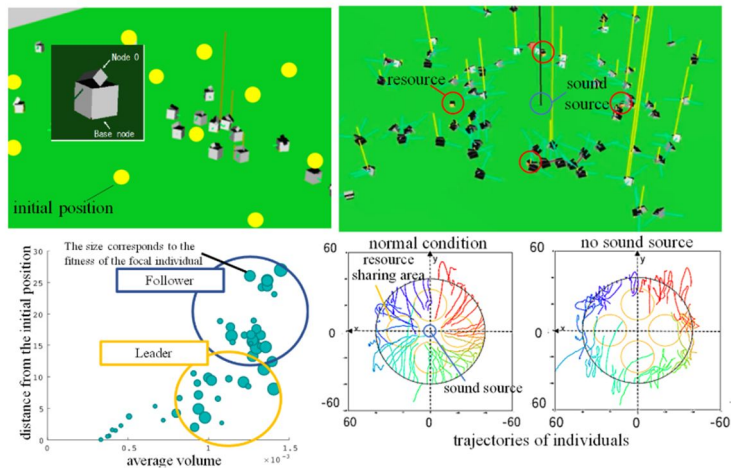


図4 音を利用した協調行動を創発する仮想生物進化：集合タスク(左)と資源獲得タスク(右)

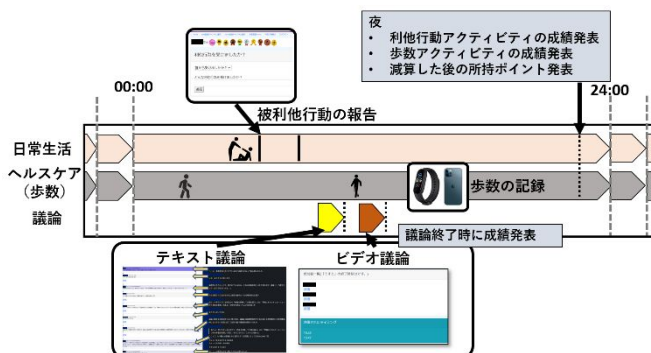


図5 互惠促進アーキテクチャのプロトタイプにおけるアクティビティ管理

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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Doi Asami, Suzuki Reiji, Arita Takaya	4. 巻 26
2. 論文標題 A particle swarm model of socio-psychological dynamics based on Heider's balance theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 84 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00639-x	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 -

1. 著者名 Seki Ryohei, Omomo Yoshiyuki, Chiba Naoaki, Suzuki Reiji, Arita Takaya	4. 巻 25
2. 論文標題 A 3D simulation framework based on body-controller coevolution of virtual creatures for investigating the origin of acoustic interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 419 ~ 426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00601-x	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 -

1. 著者名 Chen Huanxin, Suzuki Reiji, Arita Takaya	4. 巻 25
2. 論文標題 The evolution of cooperation based on indirect reciprocity and spatial locality in continuous space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 407 ~ 418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00589-4	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 -

1. 著者名 Lai G., Leymarie F.F., Latham W., Arita T., Suzuki R.	4. 巻 40
2. 論文標題 Virtual Creature Morphology A Review	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computer Graphics Forum	6. 最初と最後の頁 659 ~ 681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/cgf.142661	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 該当する

1. 著者名 鈴木 麗璽、関 峻平、坂野 孝広、河合 恒輝、有田 隆也	4. 巻 37
2. 論文標題 音声コミュニケーションの起源に対する仮想生物進化アプローチ	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 35 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11517/jjsai.37.1_35	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 7件)

1. 発表者名 Zineb Elhamer, Reiji Suzuki and Takaya Arita
2. 発表標題 A hybrid approach to understanding the continuous social dynamics based on a large-scale modeling and a face-to-face experiment
3. 学会等名 The 2020 Conference on Artificial Life (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤雄大, 鈴木麗璽, 有田隆也
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第48回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤雄大、鈴木麗璽、有田隆也
2. 発表標題 二層化ゲーミフィケーションによるVR会議活性化の試み
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鶴田盟人, 鈴木麗璽, 有田隆也
2. 発表標題 社会的粒子群モデルを用いたオンラインコミュニケーションを活性化する仮想エージェントの設計
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Asami Doi, Reiji Suzuki, and Takaya Arita
2. 発表標題 A particle swarm model of socio-psychological dynamics based on Heider's balance theory
3. 学会等名 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Momoka Ito, Reiji Suzuki, and Takaya Arita
2. 発表標題 How individual variations of the mobility in social relationships can affect cooperation in real-time decision-making environments
3. 学会等名 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Hayashi, Reiji Suzuki, and Takaya Arita
2. 発表標題 Behavioral robustness and evolved evolvability of virtual developmental soft robots
3. 学会等名 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Meito Tsuruta, Reiji Suzuki and Takaya Arita
2. 発表標題 A design of a virtual agent that facilitates a spatial and online communication by use of social particle swarm model
3. 学会等名 2021 Conference on Artificial Life (ALIFE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro BANNO, Reiji SUZUKI and Takaya ARITA
2. 発表標題 Evolution of Acoustic Signaling Generated by Movement of Artificial Creatures in Cooperative/Competitive Resource Acquisition Tasks
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Reiji SUZUKI, Ryohei SEKI, Takahiro BANNO, Kohei KAWAI and Takaya ARITA
2. 発表標題 An artificial life approach to the origin of acoustic communication
3. 学会等名 2021 Conference on Artificial Life (ALIFE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉川純輝, 鈴木麗璽, 有田隆也
2. 発表標題 間接互惠促進プラットフォームのプロトタイプ構築
3. 学会等名 第49回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2022年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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		
英国	Goldsmiths, University of London		