

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04903

研究課題名（和文）社会的ジレンマの変動に対応するクラウド型オンライン実験とエージェントモデルの融合

研究課題名（英文）Integration of online experiments and agent-based model to dynamic social dilemma

研究代表者

一ノ瀬 元喜 (Ichinose, Genki)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：70550276

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では動的な社会ジレンマに対して以下の成果を得た。まず近年発見されたゼロ行列式戦略において、「ゲームが途中で終わってしまうかもしれない可能性」（割引因子）や「相手のとった行動に対する観測誤差」（観測エラー）を考慮してもゼロ行列式戦略が存在することを明らかにした。次に、群衆避難という動的な社会的ジレンマに対して、エージェントの回転行動が避難時間を早めることを明らかにした。最後に、レヴィ飛行とよばれる特殊な移動をしながら動的な社会的ジレンマゲームを行うシミュレーションにおいて、人が移動しながら良好な関係性を築くことが協力社会の実現につながる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境問題など、自分一人くらいは社会のルールを破っても良いだろうという個人の利己的心理が集団全体を悪い方向に導く社会的ジレンマは実際の人間関係では時間的に変動し、ジレンマ解決が難しくなるが、従来のアプローチではこれに対応できていなかった。本研究では、この動的ジレンマに対応することに成功した。したがって、複雑な人間関係からなる現代社会において、人の移動などによって組織やコミュニティなどの構成要員が時間的に入れ替わっても、これに対応し協力社会を維持する仕組みの構築が可能となる。さらには、大規模災害時の群衆避難やパンデミック時の隔離による感染制御に有効なグループ構成方法に応用することも可能である。

研究成果の概要（英文）：We obtained the following results of a dynamic social dilemma. First, we found that zero determinant strategies can exist even if a discount factor and/or observation errors are considered. Next, in the crowd evacuation dilemma, body turning behaviors were effective to shorten the evacuation time. Finally, in simulations where agents move by Levy flights and play the social dilemma game, we showed that moving with building good relationships with others can contribute to the realization of cooperative societies.

研究分野：社会システム工学

キーワード：社会的ジレンマ 囚人のジレンマゲーム ゼロ行列式戦略 避難群衆 オンライン実験 エージェントベースモデル

1. 研究開始当初の背景

他人の協力行動に『ただ乗り』して利己的に行動する人が多くなることで、社会全体に悪影響を与えてしまう社会的ジレンマは日常生活の至る所に存在する。近年、社会的ジレンマの解決に人々の関係性を表すネットワーク構造が役に立つことが明らかになり、社会心理学に基づくヒトを用いた行動実験と進化ゲームの枠組みによる数理モデルの二つの異なるアプローチによって研究されてきた。

この二つのアプローチは、協力社会の構築を理解する上で多くの成果を挙げたが、それぞれ考慮すべき問題点がある。行動実験では、被験者に偏りが生じ、現実の集団とは異なる構成の特殊な状況となってしまう母集団の問題がある。一方、進化ゲームに基づく数理モデルで出来るのは理論上の理想的設定下での議論に留まる。そのため行動実験の特殊性とモデルの理想化を相互に補完して、現実で発生する社会的ジレンマの解決につながる新たなアプローチを考える必要がある。そして、その新たなアプローチは、現実の人間関係のように時間的に変動する社会的ジレンマに対応できるものでなければならない。

2. 研究の目的

上記の問題点を一挙に解決するために、本研究では、インターネット上の不特定多数の人の知恵によって問題を解決するクラウドソーシングを用いた社会的ジレンマのオンラインタスク実験を行い、ジレンマにおける現実の人間の多様性をビッグデータ分析する。これを進化ゲームの枠組みを用いたエージェントベースモデルによってモデル化し、エージェントの個性を入れたシミュレーションを行うことで、時間的に変動する社会的ジレンマ状況(動的ジレンマ)を解決に導く頑健な人間関係のネットワーク構造を明らかにする。これを大規模災害時の群衆避難やパンデミック時の隔離による感染制御に有効なグループ構成方法に応用する。動的ジレンマと人間関係のネットワーク構造との相関を分析することで、より良い協力社会構築への貢献を目指す。

3. 研究の方法

社会的ジレンマの解決に向けた新たなアプローチとして、(1)クラウドソーシングを用いたオンラインタスク実験と(2)エージェントの個性を入れたシミュレーションを採用する。それぞれの詳細は以下である。

(1) オンライン実験による動的ジレンマ解決に有効なネットワーク構造の解明

本研究ではクラウドソーシングサービスの Amazon Mechanical Turk (MTurk) 上で社会的ジレンマのオンラインタスク実験を行う。初期設定には HITs (MTurk 上のタスクのこと) の詳細を決めることが必要となる。HITs として社会的ジレンマ状況を表すシナリオの文面を佐山弘樹氏(研究分担者)の助言を受けて作成する。シナリオは公共財ゲームをベースにしたものを想定している。その後、3人の助言者から再度、文面に関するコメントをもらい、シナリオを完成させる。次に、オンライン被験者の参加資格、募集期限、報酬等を設定し、HITs を完成させる。ここで、こちらの設定意図通りに実験ができるか確かめるため、数十人規模の予備実験を実施する。予備実験の問題点を洗い出し、必要ならシナリオの修正を行う。最終版を完成させて、本実験へと移る。本実験は、全体で数百人規模を想定している。無気力回答を避けるため、被験者に実験の状況の理解を問う質問を課し、正答した良質な被験者のデータのみ採集する。同一被験者グループで実験を複数回行うことにより、他被験者が過去に採った戦略の情報に基づいて自分の戦略を変更するため、時間的に変化する人間関係にも対応できる。実験後、ビッグデータの統計分析を行って、動的なジレンマの解決に有効なネットワーク構造を明らかにする。

(2) 個性を入れたシミュレーションによるネットワークの頑健化と具体的問題への応用

MTurk 実験で明らかとなったネットワーク構造が多様な人間に対して協力関係を保ち続けられるか明らかにするため、個性を入れたエージェントベースモデル (ABM) を伊東啓氏(研究分担者)の助言を受けて構築し、その頑健性を検証する。エージェント数は普遍性を持たせるため 5,000 程度とする。MTurk で発見したネットワーク構造をモデルに導入する。進化ゲームの枠組みでエージェントには初期状態として戦略を割り当てる。囚人のジレンマゲームを基本モデルとして用いるため、戦略は協力と裏切りとする。エージェントの個性は、ゲームの利得に対しての鋭敏性を表す感度パラメータで表現する。各エージェントはゲームで高得点を得たエージェントの戦略を真似することで、集団中の戦略の割合が均衡状態に達するまで計算機シミュレーションを実行する。動的ジレンマを解決できるネットワーク構造について MTurk で発見したものをベースにした上で構造を改変していく。シミュレーションで明らかとなったネットワーク構造を動的ジレンマ状況の典型例である災害時の群衆避難やパンデミック時の隔離による感染制御の 2 次元モデルに応用する。それらの緊急時に、どのようなグループ構成方法にすれば、ジレンマにおかれた集団のマクロな挙動である脱出時間の短縮や感染の拡大阻止に貢献す

るかについて定量的に明らかにする。

4. 研究成果

以下の側面から時間的に変動する実際の人間関係で生じる社会的ジレンマを捉えることに成功した。

(1) ゼロ行列式戦略の拡張

社会的ジレンマにおいて近年ゼロ行列式戦略と呼ばれる戦略が発見された。この戦略は2人プレイヤーのゲームにおいて、どんな戦略を持つ相手にも必ず負けることはない戦略である。本研究では、動的に変動する社会的ジレンマの具体的な設定として、「ゲームが途中で終わってしまうかもしれない可能性」(割引因子)と「相手のとった行動に対する観測誤差」(観測エラー)を考え、これらを考えた場合でもゼロ行列式戦略が存在するかを解析的に調査した。その結果、この2つの要因があってもゼロ行列式戦略は存在する(図1)ことが分かった。この結果は、*Journal of Theoretical Biology*誌に掲載された。

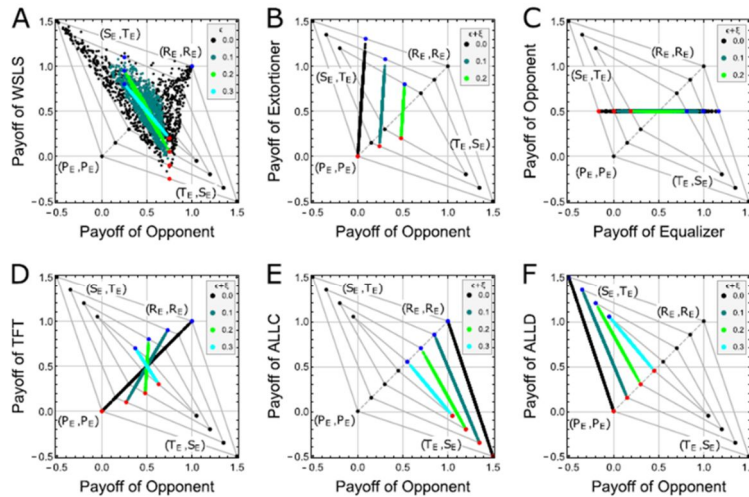


図1 割引因子と観測エラー存在下でのゼロ行列式戦略

(2) 回転行動が群衆避難に与える影響

災害時の群衆避難では、人々が我先に部屋から抜け出したいが皆がそうしてしまうと唯一の出口で混雑が起き、誰も避難できなくなる可能性がある。そうなってしまうよりは、皆が他人に道を譲る行動をとったほうがよいというジレンマがあり、これは時間的に変動する社会的ジレンマであると考えることができる。我々は、この時間的に変動するジレンマにおいて、人々を長方形で表すことで回転や横歩きといった行動の多様性を考慮した。シミュレーションの結果、回転行動が避難時間を早めることに貢献することを明らかにした(図2)。この結果は、*Physica A*誌に掲載された。

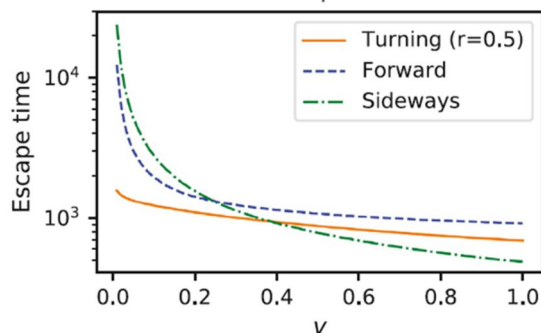


図2 回転行動による避難時間の減少

(3) ゼロ行列式戦略の存在条件

(1)の研究により、割引因子や観測エラーがあってもゼロ行列式戦略は存在することが明らかになったが、この研究では、この2つの要因によってゼロ行列式戦略の存在条件がどのように変化するかを解析的に調査した。その結果、割引因子や観測エラーがあるとゼロ行列式戦略が存在できる範囲が狭くなることが明らかとなった。具体的には、観測エラー率が上昇すると割引因子が高い状況(ゲームの割引率が少ない状況)でしか、ゼロ行列式戦略は存在できなくなった。

また観測エラー率が上昇したり割引因子が減少したりすると、ゼロ行列式戦略が相手に強いことができる期待利得の操作能力が減少することも明らかにした。この結果は、*Journal of Theoretical Biology* 誌に掲載された。ゼロ行列式戦略は実際の人を使った被験者実験も行われており、今後はクラウド型オンライン実験を進める予定である。

(4) 適応的レヴィ飛行による協力の進化

コンピュータ内の人を模したエージェントがレヴィ飛行とよばれる特殊な移動をしながら囚人のジレンマゲームを行いながら戦略を進化させる場合のエージェント同士の協力の成立条件について調査した。特に裏切りに対する鋭敏性、レヴィ飛行の強度、人口密度の3つの関係性が協力の進化に与える影響について着目した。進化シミュレーションの結果、中程度の鋭敏性の時に協力は最も進化することがわかった。また鋭敏性が多様な時にレヴィ飛行が協力とともに創発する可能性を示した。最後に密度が高くなると高い鋭敏性が協力に有利に働くことも示した。以上により、動的な社会的ジレンマ状況において、人が移動しながら良好な関係性を築くことが協力社会の実現につながる可能性を示した。

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 2件）

1. 著者名 Takashi Nagatani and Genki Ichinose	4. 巻 2020
2. 論文標題 Diffusively-coupled rock-paper-scissors game with mutation in scale-free hierarchical networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 6976328
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2020/6976328	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 Azumi Mamiya and Genki Ichinose	4. 巻 102
2. 論文標題 Zero-determinant strategies under observation errors in repeated games	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 32115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.102.032115	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 Genki Ichinose, Daiki Miyagawa, Junji Ito, Naoki Masuda	4. 巻 15
2. 論文標題 Winning by hiding behind others: An analysis of speed skating data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0237470
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0237470	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 Mamiya Azumi, Ichinose Genki	4. 巻 477
2. 論文標題 Strategies that enforce linear payoff relationships under observation errors in Repeated Prisoner's Dilemma game	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology	6. 最初と最後の頁 63~76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jtbi.2019.06.009	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 Miyagawa Daiki, Ichinose Genki	4. 巻 549
2. 論文標題 Cellular automaton model with turning behavior in crowd evacuation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 124376 ~ 124376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2020.124376	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17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Daiki Miyagawa, Genki Ichinose, Erika Chiba, and Hiroki Sayama
2. 発表標題 How Levy Flights triggered by presence of defectors affect evolution of cooperation in spatial games
3. 学会等名 2020 Conference on Artificial Life (ALIFE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Azumi Mamiya and Genki Ichinose
2. 発表標題 Zero-determinant strategies under observation errors
3. 学会等名 2020 Conference on Artificial Life (ALIFE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Miyagawa, Koki Okamoto, and Genki Ichinose
2. 発表標題 Robustness of football passing networks against cascading failure
3. 学会等名 NERCCS 2021: Fourth Northeast Regional Conference on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川大樹, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 Hawkes過程による連鎖的なゲーム実施を導入した空間囚人のジレンマゲーム
3. 学会等名 第6回数理生物学交流発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間宮安曇, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 観測エラー付き繰り返し囚人のジレンマゲームにおけるゼロ行列式戦略
3. 学会等名 第6回数理生物学交流発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川大樹, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 Hawkes過程による連鎖的なゲーム実施を導入した空間囚人のジレンマゲーム
3. 学会等名 第16回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊駿介, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 Mapperネットワークに基づくバスケットボールプレイヤーの分類
3. 学会等名 第16回ネットワーク生態学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本光輝, 宮川大樹, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 連鎖的崩壊に対するサッカーパスネットワークの耐性
3. 学会等名 第10回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋智央, 宮川大樹, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 パスネットワークに基づくサッカーのモード分類
3. 学会等名 第10回スポーツデータ解析コンペティション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Genki Ichinose
2. 発表標題 Zero-determinant strategies and their relation to agent-based modelling
3. 学会等名 2019 International Workshop on Agent-Based Modelling of Human Behaviour (ABMHuB) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azumi Mamiya and Genki Ichinose
2. 発表標題 Only two types of strategies enforce linear payoff relationships under observation errors in Repeated Prisoner's Dilemma Games
3. 学会等名 2019 Conference on Artificial Life (ALIFE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川大樹, 一ノ瀬元喜, 長谷隆
2. 発表標題 体の回転行動を考慮した群衆避難のセルオートマトンモデル
3. 学会等名 FIT 2019 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 間宮安曇, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 観測エラー付き繰り返し囚人のジレンマゲームにおけるゼロ行列式戦略
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 Azumi Mamiya and Genki Ichinose
2. 発表標題 Only two types of strategies enforce linear payoff relationships under observation errors in repeated Prisoner's dilemma games
3. 学会等名 Conference on Complex Systems 2019 (CCS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮川大樹, 一ノ瀬元喜
2. 発表標題 体の回転行動を考慮した群衆避難のセルオートマトンモデル
3. 学会等名 第25回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Ichinose and Hiroki Sayama
2. 発表標題 Sensitivity and Levy flights in spatial cooperation
3. 学会等名 NetSci-X 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一ノ瀬元喜, 千葉衿香, 佐山弘樹
2. 発表標題 裏切りに対する鋭敏性によって生じるレヴィ飛行が協力進化に与える影響
3. 学会等名 ゲーム理論ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

静岡大学工学部数理システム工学科一ノ瀬研究室ホームページ https://wpp.shizuoka.ac.jp/ichinose/ 静岡大学工学部数理システム工学科一ノ瀬元喜 (個人ページ) https://sites.google.com/site/igenki/

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
研究分担者	佐山 弘樹 (Sayama Hiroki) (30345425)	早稲田大学・商学大学院・教授 (任期付) (32689)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	伊東 啓 (Ito Hiromu) (80780692)	長崎大学・熱帯医学研究所・助教 (17301)	

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