

連続的な社会相互作用ダイナミクスに対するモデル・実験アプローチ Experimental and modeling approaches to continuous dynamics of social interactions

鈴木 麗璽^{*1}
Reiji SUZUKI

有田 隆也^{*1}
Takaya ARITA

^{*1} 名古屋大学 大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Nagoya University

This paper introduces three approaches to continuous dynamics of social interactions: 1) a social particle swarm (SPS) model, in which particles move in a two-dimensional social space according to their social interactions based on the particles' game-theoretical states and positions, 2) a web-based experimental framework for understanding of dynamic social relationships with a real-time decision-making and rewarding environment, 3) a three-dimensional version of the SPS model with a massive population size.

1. はじめに

人は社会を形成して協力しあう種である一方、その構造は安定ではなく、変化し続けている。我々は、社会のネットワーク構造の持つ動的な側面を人間社会の本質であると考え、その仕組みや適応的意義の理解を目指している。

近年の情報技術の進展と普及は人と人との付き合い方を大きく変化させている。特に、ソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)は、従来の物理的な付き合いに比べて大きな自由度をもたらしているといえる。その影響の一つとして、相互作用の連続性の高まりが考えられる。

これには次の二つの意味がある。一つは、相互作用の時間的な連続性である。例えば、スマートフォンなどのデバイスを用いて社会ネットワークに常時接することで、我々は刻一刻と社会的な関係を作り変え、同時に、常にそこから利益や不利益を得ているといえる。もう一つは、相互作用の程度、もしくは、質的な連続性である。例えば、SNSにおける直接的なつながりのネットワークの多くは離散的であるが、つながりそれぞれにおいて相互作用が生じる頻度や内容は様々であり、相互作用の程度や質には違いがある。また、多様なメディアの出現によってネットワークが重なることによって、相互作用の程度に大きな違いが生じているといえる。

社会における動的な協力関係の創発は、進化ゲーム理論やネットワーク科学に基づく数理的・計算論的アプローチ[Pacheco, 2006, Suzuki 2008]や、近年では大規模なウェブ実験を含む被験者実験アプローチ[Rand 2011, Yonenoh 2014]によって理解されてきたが、その多くは離散的な相互作用を想定しており、上記のような意味での連続的な相互作用に注目した研究はまだ少ない。一方、例えば、実時間で利得が得られ続け、戦略の更新が随時可能な囚人のジレンマ状況では、被験者はより協力的に振る舞うことが示される[Friedman 2012]など、連続的な相互作用が社会的関係にもたらす影響について注目が高まりつつある。

我々は、現在、このような意味で連続的に変化する社会的相互作用において、協力的な関係がいかにかに生まれ、また、崩れていくかを明らかにすべく、エージェントベースモデルと被験者実験の両面から取り組んでいる。本稿では、これらの概要をまとめ、情報社会において発展拡大し続ける連続的な社会相互作用ダ

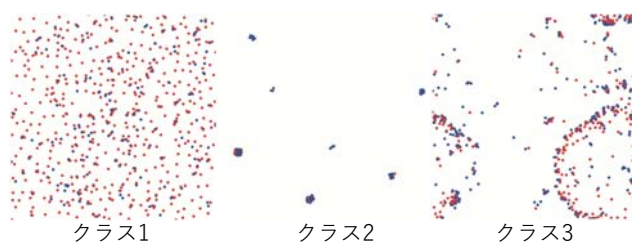


図 1: SPS モデルで生じる 3 種のクラス [Nishimoto 2013]

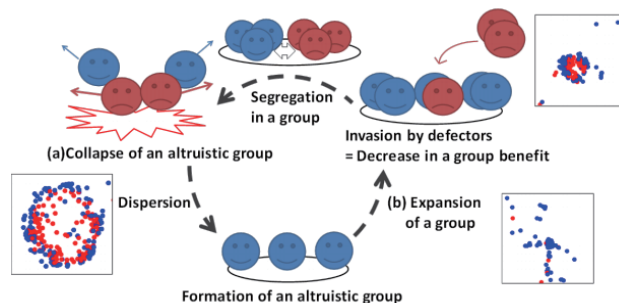


図 2: SPS モデルにおける協力クラスターの生成と崩壊 [Nishimoto 2013]

イナミクスに関して論ずる。まず、出発点として Nishimoto らが提案した social particle swarm (SPS) モデル[Nishimoto 2013, 2014]を紹介し、自己駆動粒子系で表現された連続的な社会関係の変化過程において、協力者集団のクラスターの創発と爆発的な崩壊が生じることを示す。次に、SPS モデルと同様のゲームの状況設定を想定した多人数 Web 被験者実験を用いて、類似の現象の創発や人間の行動規則の分析に基づくモデルの妥当性の検討、および、人の心理傾向とゲーム上での行動との関係の予備的分析について述べる。最後に、実世界の SNS のように無数の主体が相互作用する状況として、SPS モデルに準じた 3D モデルにおいて、集団のスケールを大きくした場合のその影響について予備的知見を示す。

2. Social particle swarm (SPS) モデル

Nishimoto らは、ゲーム戦略と社会的関係性が連続的に変化する状況を自己駆動粒子系を用いて表現した social particle swarm (SPS) モデルを提案した[Nishimoto 2013, 2014]。

このモデルでは、 700×700 の二次元トーラス平面を用いて各人とその間の社会的・心理的關係を抽象的に表現する。平面

上での連続的な相互作用を仮定するのは、主体間の社会的関係にはある程度の相関があると考えられるため、また、実世界に多数存在するような相互作用関係のチャネルの縮約として自然な表現の一つであると考えられるためである。各粒子は囚人のジレンマゲームの戦略を状態として持ち、決められた半径内の近傍の協力粒子割合が、各粒子が固有に持つ閾値を超えた場合に自身も協力を選択する一般化しつぺ返し戦略従うものとする。各粒子は近傍粒子と戦略の組み合わせに基づきジレンマゲームの利得を得るが、粒子間距離が短いほど、すなわち社会的影響が強いほど利得の絶対値が大きくなるものとする。正の利得を得る相手に対して近づく方向に、負の利得を得る相手に対して遠ざかる方向に、それぞれ利得の絶対値に比例した力を受けるとみなし、その合力の方向に向かって一定速度で移動するものとした。

上記の設定で粒子数 700 の条件で実験を行うと、集団全体は図 1 に示すような 3 種のクラスのいずれかに至ることがわかった。クラス 1 は全体の半数以上が裏切りを選択し、多くが反発しあっている状況、クラス 2 はほぼ全個体が協力戦略をとり、いくつかのクラスタを安定して形成する状況である。

クラス 3 は我々が特に注目する状況であり、図 2 に示すような協力クラスタの生成と爆発的な崩壊の繰り返しが頻繁に観測された。まず、数個体の協力粒子が集まることで協力者の小集団が形成され、その高い協力率から他個体も協力的にして取り込みながらより大きな協力集団へと成長する。しかし、しばらくすると、裏切り傾向の強い(しつぺ返し閾値の高い)粒子も加わり蓄積することで、集団の内部で裏切り個体が居座る状況が生じる。裏切り個体から逃げる力と、協力者同士で繋がる力のバランスが崩れ後者が上回ると、裏切り者が協力者を追いかけるようにして集団が崩壊する。これが別の場所で再び協力者集団が生じるきっかけになり、このような過程が繰り返される。

我々は、このような過程が現実社会における集団の動的な変化の側面を反映していると考えている。

3. 多人数 Web 実験

SPS モデルで観察された相互作用ダイナミクスは、人同士の相互作用において実際に生じるだろうか。伊藤らは、人の集団において同様なゲームの設定を用いた際に、上記のような協力クラスタの生成と崩壊を含むようなダイナミクスが観測されるかを明らかにすることを目的とし、多人数が同時に参加可能な Web 実験環境を構築し、分析を行っている[伊藤 2018]。

各実験参加者(プレイヤー)は相互の社会的関係の強さを抽象化した 500×500 の二次元トラス平面を共有し、それぞれ平面上の粒子で表現される。各プレイヤーには図 3 に示す Web インターフェイスが提示され、中心の粒子が自身を、半径 100 の円内の粒子が視界円内の近傍プレイヤーを表す。また、各プレイヤーは囚人のジレンマゲームの戦略(協力(青色)または裏切り(赤色))のいずれかを状態として持つ。

実験は 0.5 秒間隔のステップ更新頻度で進行し、各プレイヤーは任意のタイミングで自身の戦略と位置を変更できる。具体的には、マウスのカーソルを円の中心から離れた場所へ移動させると、プレイヤーはその方向に一定の速さだけ進むことができ、また、戦略はキーで切り替えられる。

各ステップにおいて、各プレイヤーは近傍の個体それぞれとの関係から、利得を得る。このとき、基本的にはプレイヤー間のジレンマ戦略の組み合わせに応じた利得が得られるが、距離が近いプレイヤー同士ほど利得行列の得点の絶対値が大きく、社会的な影響が大きい状況を想定する。各プレイヤーの目的は、ゲーム期間中の累積得点を最大化することである。また、実験

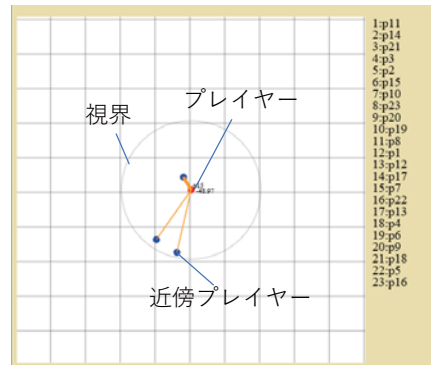


図 3: Web 実験のインターフェイス[伊藤 2018]

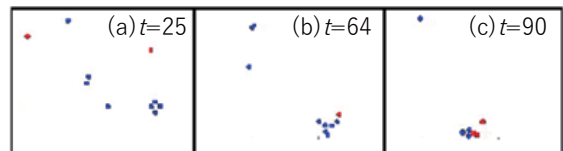


図 4: Web 実験での協力クラスタの生成と裏切り者の侵入 [伊藤 2018]

終了時に、個人の心理傾向を 5 つの次元で計測する Big Five 尺度の日本語版 TIPI-J[Oshio 2012]と、個人の属する社会の中での関係形成の形成および解消の自由度を計測する関係流動性尺度[Schug 2010]に関するアンケートを行なった。

23 名、および、13 名の名古屋大学の学部生と大学院生を対象に予備実験を試行したところ、次のことがわかった。まず、集団全体は協力者が裏切り者の数を平均的に上回り、協力行動が創発した。この時、図 4 に示すように、少数の協力者のクラスタが形成されたのちに、裏切り者への寝返りや侵入をきっかけにクラスタが解散する過程が局所的に繰り返され、SPS モデルでの協力クラスタの生成と崩壊に類する挙動が観察できた。

また、一般的な傾向として、協力者が近傍に多い場合に自身も協力しやすく、その場にとどまる傾向があった。これらは、一般化しつぺ返し戦略に基づき、正の利得を互いに得る場合には近くいて関係が維持されやすい SPS モデルの行動規則の妥当性の一端を示しているといえる。

さらに、心理指標に関するアンケートとゲーム中の行動指標の相関の分析からは、実験を行った集団に応じて異なる相関関係が観察された。例えばある集団では、ゲーム中に近傍個体数が多い人ほど協調的な心理傾向が高いことや、ゲーム中協力が少ない人ほど外交性が低く、日常において関係形成・解消が不自由な環境に置かれている傾向があった。また、別の集団では、ゲーム中戦略を頻繁に変更する人ほど周囲の刺激に敏感な傾向が見られたり、集団間で逆の傾向も観察された。個人の心理傾向がこのような仮想的な社会環境の行動においても反映されることが示唆されたが、参加者の構成やゲーム設定など様々な要因が影響しうると考えられるため、より詳細な実験と検討が必要である。

4. 超多個体モデル

上記のような動的な社会関係の変化が小規模な抽象モデルと実際の人間の集団内で生じることが示された。では、このような状況に基づく相互作用が、SNS のように何十万人のような大きなスケールの集団で生じたらどのような現象が創発するだろうか。

我々は、現在、GPGPU を用いたマルチエージェントモデル開発環境である FLAME-GPU [Richmond 2011]を用いて、SPS モ

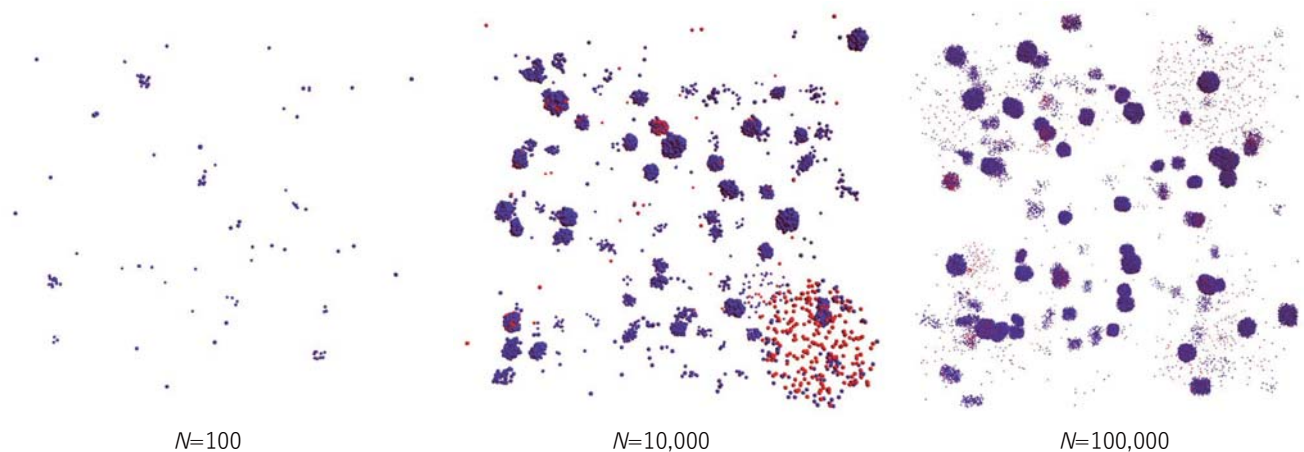


図 5: 3D 版 SPS モデルにおける個体数 N の影響 ($N=100,000$ の場合, 各粒子の半径を小さく表示)

デルに準じた 3D 自己駆動粒子系モデルを実装し, 基本的な挙動を分析している. 現在のモデルにおける SPS モデルとの相違は, 3 次元空間を想定したこと, および, 移動に関しては, 自身の現在の総利得が正の(負の)場合は近傍の粒子の重心の方向(から離れる方向)へ移動し, 移動時には利得の大きさに応じた速度の変化と慣性が加わっていることである.

異なるスケールの個体数で行なった予備実験から次のことがわかってきた(図 5). 粒子数が少ない 100 個体程度の場合, 個体間での相互作用の機会が少なく, 協力者同士が引き合っても少数・小規模で, 慣性などの影響で解消される場合もあった. 粒子数が 1,000 程度になると協力者が多くを占める球状のクラスタが多数形成され, 10,000 程度になると, SPS モデルで観察されたような協力クラスタの爆発的な崩壊が頻繁に生じることがわかった. さらに, 粒子数が増えるに従い, 例えば 100,000 を超えると, 安定して存在する密で大規模なクラスタと空間上を浮遊する小規模なクラスタに分化する傾向が見られた. 大小クラスタ間の相互作用により大規模なクラスタに発展したり, 爆発的な崩壊が生じて多数の小規模クラスタの発生を招くことなども観察された. これらは, 集団における個体数が系全体の構造や多様性に大きく影響しうることを示している. 現在, クラスタの分布や特性, クラスタ同士の相互作用について詳しい分析を進めている.

5. おわりに

本稿では, 連続的な社会的相互作用のダイナミクスの理解を目的とした取り組みとして, SPS モデルにおける協力集団の生成と爆発的な崩壊のダイナミクスを示し, Web 実験においても類似の行動傾向が観察されることや, 心的傾向が行動に影響する可能性を示した. 超多個体モデルにおいては, 系を構成する個体数のスケールの増大が系の構造や多様性に影響しうることを予備の実験で示した.

これらの連続的な社会的相互作用に関する様々なアプローチを組み合わせ, 人間の心的傾向から巨大な仮想社会にまで通じる普遍的な知見を得たいと考えている.

謝辞

伊藤百夏氏, 小寺俊哉氏, 西本恵太氏, Zineb AlHamer 氏(名古屋大学)の実験と執筆への協力に謝意を表す. 本研究の一部は, 科研費・特設分野・基盤研究(B)17KT0001「紛争と協力の文化進化的基盤に関する学際的研究」, および, 日本学術振興会・課題設定による先導的人文学・社会科学研究推

進事業(領域開拓プログラム)「予測的符号化の原理による心性の創発と共有-認知科学・人文学・情報学の統合的研究-」17J0011b の支援を受けた.

参考文献

- [Friedman 2012] Friedman, D. and Oprea, R. (2012): A continuous dilemma, *American Economic Review*, 102 (1), 337-363.
- [伊藤 2018] 伊藤百夏, 鈴木麗璽, 小寺俊哉, 西本恵太, 有田隆也: 多人数 Web 実験における協力行動と社会的関係性の相互作用の統計的・心理分析, 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集, 3Q-01 (2 pages) (2018).
- [Nishimoto 2013] Nishimoto, K., Suzuki, R. and Arita, T.: Social Particle Swarm: Explosive Particle Dynamics on Cooperative/Defective Forces, *Proceedings of IEEE ALIFE 2013 (IEEE SSCI 2013)*, pp. 134-139 (2013).
- [Nishimoto 2014] Nishimoto, K., Suzuki, R. and Arita, T.: Where do the dynamics of social relationship come from? - An analysis based on social particle swarm, *Proceedings of AROB2014*, pp. 86-91 (2014).
- [Oshio 2012] Oshio, A., Abe, S. and Cutrone, P.: Development, reliability, and validity of the Japanese version of Ten Item Personality Inventory (TIPI-J), *The Japanese Journal of Personality*, 21, 1, 40- 52 (2012).
- [Pacheco 2006] Pacheco, J. M., Traulsen, A. and Nowak, M. A.: Coevolution of strategy and structure in complex networks with dynamical linking, *Physical Review Letters*, 97, 258103 (2006).
- [Rand 2011] Rand, D. J., Arbesman, S. and Christakis, N. A.: Dynamic social networks promote cooperation in experiments with humans, *Proceedings of National Academic Science of the United States of America*, 108, 19193-19198 (2011).
- [Richmond 2011] Richmond, P.: FLAME GPU Technical Report and User Guide, *University of Sheffield, Department of Computer Science Technical Report*, CS-11-03.
- [Suzuki 2008] Suzuki, R., Kato, M. and Arita, T.: Cyclic coevolution of cooperative behaviors and network structures. *Physical Review E*, 77(2), 021911 (2008).
- [Schug 2010] Schug, J., Yuki, M., & Maddux, W. Relational mobility explains between- and within-culture differences in self-disclosure to close friends, *Psychological Science*, 21(10), 1471-1478 (2010).
- [Yonenoh 2014] Yonenoh, H. and Akiyama, E.: Selection of opponents in the prisoner's dilemma in dynamic networks: An experimental approach. *Journal of Theoretical Biology*, 351, 25-36 (2014).