

世界はいつ、なぜ二極化するのか？

—統計物理学および現象数理学の視点から—

明治大学大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻 博士後期課程 1 年（助成時）

同上 博士後期課程 2 年（現 在）

後藤 大堯

1. 研究背景と目的

本研究では、Heider のバランス理論と呼ばれる人間関係にまつわる社会心理学の仮説に対して、数理モデルによる定式化、拡張、その解析を行なった。社会心理学とは、社会の中に生きる人々の心理や行動の根本原理を追求することにより、様々な社会現象の統一的な理解を目指す分野のことである。心理学では、伝統的に一個人の心理を実験的、理論的に考察することで、その理解を深めてきた。しかし近年、エコーチェンバーを筆頭にした閉鎖的なサイバー空間の出現や、国家内部でのイデオロギー対立、国家間での紛争などが激化し、個人の行動と表層化する集団レベルでの社会現象とを適切に結びつけて議論するための理論的基盤の構築が求められている。

さて、そのような集団レベルでの対立構造や秩序構造の出現を個人レベルの行動から説明できる概念に、「社会的均衡」がある。1900 年代半ばに心理学

者 Heider によって提唱された安定的な 3 者の関係を表す概念であり、「味方の味方は味方」や「敵の敵は味方」といった状況を表す。集団内

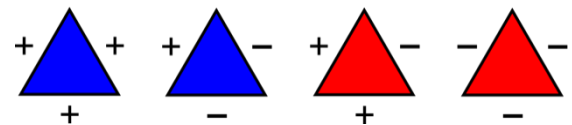


図 1: バランス理論で分類される 4 種の三者関係。+は友好的、-は敵対的な関係を表す。敵対的な関係が偶数個あれば安定、奇数個あれば不安定な三者関係と定義。

に存在する不安定な三者関係が、それを構成するいずれかの二者関係を逆転させる（符号を反転させる）ことで、安定な三者関係へと進化する時、そのような集団内では、全ての関係性が友好的である「一極化」、もしくは内部で結束した二つの対立する小集団が形成される「二極化」のいずれかに至ることが理論的に知られている。現在、さまざまな世界で二極化が起きていることに照らせば、この社会的均衡という概念は、現実の対立構造などの社会の秩序化構造を説明するのに極めて有用であると考えられる。しかし一方で、どのような社会集団も二極化を起こし、分断に向かうわけではない。「どのようなときに集団が分裂に向かうのか？」という問いに答えることは、持続可能な社会の形成や維持に寄与すると考えられる。本研究ではまず、個人の人間関係構築に関わるミクロレベルでの行動を数理モデルによって定式化し、その集団レベルでの振る舞いを統計物理学などの数理的な手法を用いて導出することで、個人-集団間のつながりを明らかにする。その上で、バランス理論という枠組みの中において、どのようなときに二極化が起こるのか、また、どのようなときにそれは妨げられるのか、という点について理論的な解明を目指す。

2. 研究項目

本研究では、主に以下の二つの研究項目を実施した。

(1) 社会的均衡により生じる二極化と集団サイズの関係性を捉えたモデルの構築とその解析

考古学的データの統計的分析[Alberti, *PLoS One*, 2014]によれば、ある一定のサイズを境に分裂に向かう確率が急激に上昇することがわかっている。このように、集団サイズは何らかのメカニズムを通して、集団内部で分断を引き起こす要因となりうるということが以前から指摘されている。そこで、先行研究のバランス理論のモデル[Kulakowski et al., *Int. J. Mod. Phys. C*, 2005; Marvel et al., *PNAS*, 2011]の問題点を改善し、適切に修正することで、前述した関係性について示唆を与えられるモデルを構築・解析した。

(2) 2者間の関係性を3状態に拡張したモデルの構築とその解析

既存の社会的均衡モデルは、一極化もしくは二極化のみしか再現できないという点で限定的である。その原因の一つに、二者関係の関係性が「友好・敵対」の二値表現であることが挙げられる。そこで、関係性が3種類の離散的状態を取りうるという3状態モデルを導入した。この3状態とは、従来の友好・敵対的な関係に加えて、「ゼロ」という第3の状態のことを指す。これは、関係性が中立的であるとも、互いが互いを知らない状況とも解釈可能である。この拡張の最大の特徴は、既存モデルや研究項目(1)を単に拡張するだけでなく、バランス理論を概念レベルから根本的に修正・拡張するという点にある。

3. 研究成果

各項目の成果について簡潔に述べる。

(1) 行列の時間発展方程式を扱うことになるので、通常の力学系には用いられない行列解析の理論などが必要になる。さらに、初期状態はランダム行列となるので、ランダム行列の固有値や固有ベクトルに関する情報も重要になる。

ここで、集団サイズ N とは行列のサイズに相当するが、最

大固有値が行列サイズの平方根に比例して増加するというランダム行列の性質などを用いて理論解析を行った結果、ある集団サイズを超えると中立的状態から二極化が引き起こされることが明らかになった。さらに、jammed state と呼ばれる統計物理学的に興味深い状態が稀に引き起こされ、その出現メカニズムについても部分的な理論的説明を与えた[1]。

(2) 導入されたモデルは確率的に時間発展するため、ミクロスケールでの振る舞いから平均場近似によって、全三者関係（3状態モデルにおいては全10種類）のそれぞれの存在密度に関する決定論的な時間発展方程式を導出した。それをさらに解析し、系の定常状態を特徴づけることで、従来のバランス理論と比較した。その結果、3状態を取り入れたバランス理論のモデルでは、基本的に二極化は引き起こされることがわかった。むしろこのとき、一極化や二極化のような単純な社会構造ではなく、複雑ネットワークに代表されるような均質性の破れた組織構造が自然に出現することがわかった。

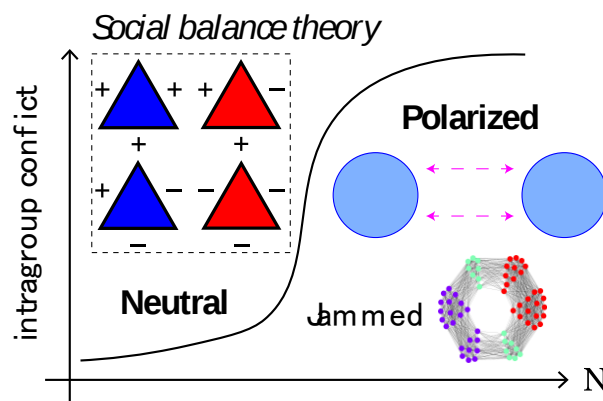


図2: 項目(1)に対応する成果の概念図

[1] H. Goto, M. Shiraishi, and H. Nishimori, Onset of intragroup conflict in a generalized model of social balance, *Physical Review Letters* **133**, 127402 (2024)