

コミュニティ間における多面性と意見形成

Inconsistency between Communities and Opinion Formation.

浅谷 公威^{*1} 鳥海 不二夫^{*1} 大橋 弘忠^{*1}

Kimitaka Asatani

Fujio Toriumi

Hirotsada Ohashi

^{*1} 東京大学工学系研究科

Department of engineering, University of Tokyo

It is often the case that a single person belongs to multiple communities and expresses different opinions by community. However, the lack of consistency of his opinions is subject to criticism when they are uncovered. Recently, opinion formation mainly occurs in online communities instead of real communities and this affects the opinion formation environment as follows: 1) the inconsistency of opinions is easily disclosed and 2) there are some people too sensitive to such inconsistency. Our goal is to reveal the dynamics of opinion formation in multiple communities, considering the dilemma of people between the adaptation to each of communities and the lack of consistency. We make an agent based model based on multiplex network structures. As a result of simulation, it is found that probability of disclosure of the lack of consistency could cause opinion formation processes differently by how agents are sensitive to the lack of consistency.

1. はじめに

コミュニティに所属する個人は、大きな意見の乖離がない限り、周囲の人々と意見を擦り合わせていく [Hegselmann 02]。この意見は必ずしも真意とは限らないが、少なくとも表面上は意見をすりあわせる行動をとる。その結果、コミュニティ内では意見がまとまりコンセンサスが取れる状態となる。この過程は個人のコミュニティ内での適応行動であるといえる。

また、人は基本的に複数のコミュニティに所属しており、その複数のコミュニティで適応するうちにそれぞれのコミュニティの間で意見が異なることが起こりうる。例えば、職場での意見と友人間では異なる意見を言うことは珍しいことではない。このようなコミュニティ間における意見の一貫性の無さは各コミュニティへの適応の結果であるものの、それが発覚すれば社会的に罰則を受けるため忌避される。このように、人はコミュニティ内での適応と、コミュニティ間での一貫性の無さへの忌避という2つのことを考えながら、時にジレンマに陥りつつも行動しているといえる。

オンラインコミュニティでのコミュニケーションが主流となりつつある現在では、このような一貫性の無さが発覚する確率は高くなりつつある。その理由は、そこにおけるオープンで実名のコミュニケーションが一般的になったこと、参加やアクセスが容易であること、さらに、過去の発言を容易に保存/参照することが可能となったからである。また最近では、SNS上の些細な発言でも違和感があれば叩くといった、一貫性のなさへの過度な反応も見受けられる。

このようなコミュニケーションのオンラインコミュニティへのシフトは、全体で形成される意見にどのような影響を与えているだろうか。この一貫性の無さが発覚すると周囲から批判や処罰を受け、場合によっては炎上と呼ばれる多くの人から批判や処罰を受けることも起こりうる。しかし、それはごく一部のことであり、多くは人は一貫性の無さの発覚を恐れて沈黙する。このような場合、コミュニティ全体で表明される意見は影響を受ける。例えば、一貫性の無さの発覚を恐れるあまり多くの人が沈黙し、一部の人がだけが発言する状況が生まれ、その一

部の人の意見がコミュニティ全体の意見となる場合が起こりうる。それはサイレント・マジョリティと呼ばれる状況であり政治的な話題に関する意見形成でよく起こることである。その一方で、あるコミュニティの意見が他のコミュニティと違って極端な意見になった時、そのコミュニティの参加者へ圧力がかけられ沈黙することで、全体の意見がまとまるというメカニズムも考えられる。コミュニケーションがオンラインで行われる傾向が強くなりつつある現在、このような現象が起こるメカニズムについて理解していく必要がある。

しかし、複数のコミュニティにおける意見形成のメカニズムは数理的に十分解明できていないとは言えない。複数のコミュニティ間における意見形成の様子は一部の研究者により明らかにされているが、彼らの着眼点はマルチプレックスネットワーク上の情報伝播と拡散についてである。そのために、意見の一貫性の無さに着目した議論は行われていない(次節で詳説する)。

本論文では、人のコミュニティ内での適応とコミュニティ間での一貫性の無さへの忌避を数理的にモデリングしシミュレートすることで意見形成の様子を観察する。特に、近年のインターネット上のコミュニケーションの方法を踏まえ、各ネットワーク間の接続性及び一貫性のなさへの許容度が全体の意見に与える影響を考察する。

2. 先行研究

2.1 コミュニティ内での意見形成

コミュニティ内での意見形成のメカニズムは Bounded Confidence Mode (BCM) [Hegselmann 02] を代表される様々なモデルとその拡張により数理的に解明されつつある。これらのモデルは基本的には周囲への適応をメカニズムとしている。Voter Model は周囲の人に意見を合わせていくという単純で扱いやすいモデルであるが、連続値を扱うことができないのと、かけ離れた意見を持つ人に対しても意見をすり合わせるなど、現実の事象とは遠いメカニズムが内包されている。

Bounded Confidence Model は、意見のすり合わせのメカニズムに Conformity bias を取り入れることで現実に近づけたモデルである。[Hegselmann 02]。Conformity bias とは、あまりにも意見がかけ離れた人とは意見をすりあわせないバイアスのことである。Hegselmann らはこのモデルを使い、ランダム

連絡先: 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 8 号館 526 号室, asatani@crimson.q.t.u-tokyo.ac.jp, 080-3314-1207

ネットワーク上でのエージェントの相互作用をシミュレートすることで意見形成の様子を観察した。その後、現実に近いネットワークにおけるモデルの挙動の検証するために、スケールフリー性をもつネットワークへ拡張 [Weisbuch 04, Gargiulo 10]、情報の発信者と一般人の相互作用による意見形成メカニズムの解明 [Quattrociochi 14]、等の多くの研究に使われている。このように、BCM モデルを現実に近いべく、そのメカニズムやネットワーク構造等に様々な拡張が行われている。しかし、それらのモデルは現実に近い一方で複雑であるため、シミュレーション結果の考察を複雑にしてしまう。本研究では、各ネットワーク間の接続性による意見形成のメカニズムの変化について解明するため、Hegselmann が提唱した BCM を基本的なモデルとして採用する。

2.2 複数のコミュニティ内での意見形成

複数のコミュニティのネットワーク構造は、マルチプレックスネットワーク上に表現される。マルチプレックスネットワークとは、ノードが複数のネットワークに所属している多層のネットワークである。マルチプレックスネットワークにおける意見形成のモデルの多くは、レイヤー間で意見がどう伝達されるかに焦点を当てたものである。それらのモデルの基本的な考え方は、マルチプレックスネットワーク上の意見形成に、パーコレーション [Cellai 13] や SIR モデル [Gomez 13] に代表される情報伝播のメカニズムを適応したものである。[Nguyen 13, Trpevski 14]

しかし、現実には人は所属するコミュニティごとに異なる意見をもつことがありうる。Halu らの選挙のモデルは [Halu 13] は選挙における投票行動をモデリングしたものであるが、コミュニティ間の一貫性の無さを考慮に入れたといえる数少ないモデルである。Halu らは、レイヤー間のコンフリクトを避けていく中で意見を収束させるメカニズムをシミュレートすることにより、密なネットワークをもつ政党が勝利することをシミュレーションにより示した。このモデルは我々の研究にそのまま応用できそうに思えるが、意見を 2 値で表しているため意見の過激さを表現できないこと、沈黙するというプロセスが考慮されていないということ、コンフリクトの解消のメカニズムが複雑であり直感的な議論に落とし込みにくいことを考慮し、我々はさらに単純な方法を用いてマルチレイヤー間の意見形成をモデリングする。

3. モデル

モデルの概要は図.1 のようになる。エージェント達は n 層のネットワーク内で意見を擦り合わせていく（図では簡単のため 2 層を表示）。この意見のすり合わせは Bounded Confidence Model (BCM) に基づいて行われる。各レイヤーにおける意見のすり合わせの結果、各レイヤーにおける意見が差異が一定の閾値を超えた場合、隣接エージェントからの圧力を感じ沈黙する。例えば、図.1 におけるエージェント A はネットワーク 1, 2 双方に共通の友人がいないため、ネットワーク間で意見の違いが起こっても気にすることは無い。一方で、エージェント B はネットワーク 1, 2 双方に所属する友人がいるため、ネットワーク間での意見の違いが起こった場合は沈黙する。

3.1 詳細

モデルの詳細は Algorithm 1 のような流れになる。初めに、ネットワークの生成とエージェントにはランダムな意見が割り当てられる。その後、各ステップにおいて各エージェントは、ネットワーク内での意見形成及びネットワーク間での圧力と沈黙を行う。そして、全体の意見が変化しなくなるまでシミュ

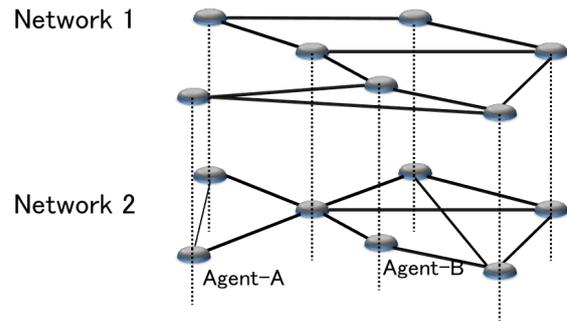


図 1: モデルの概要

レーションを行う。

Algorithm 1 モデルの流れ

```

{ 初期化 } ネットワークの生成とランダムな意見
while 意見が変化するまで do
  for 全エージェントに対して do
    {Step 1} ネットワーク内での意見形成
    {Step 2} ネットワーク間での圧力と沈黙
  end for
end while
    
```

エージェントは $0 < O < 1$ の範囲で定義される意見 O をもつ。エージェントは各ネットワーク間で異なる意見を持ちうる。また、もう一つの変数は「意見の表明」 V であり意見を表明する ($V = 1$) か沈黙する ($V = 0$) かを表している。

3.1.1 Step1: ネットワーク内での意見形成

各エージェントのネットワーク内における意見形成は Bundled Confidence Model (BCM) にしたがって行われる。BCM の基本的な考えは、許容度 以内であれば意見をすり合わせ、そうでない場合は意見を全くすり合わせない。BCM では、意見のすり合わせの際に、単一のネットワーク内の隣接ノードからランダムに 1 つのノードを選んで相互作用を行っている。本研究のモデルでは、各ステップにおいて、すべての所属しているコミュニティのエッジから接続先のエージェントが意見を表明している ($V = 1$) エッジを 1 つランダムに選び、その接続先のエージェントと意見のすり合わせを行う。ネットワーク n において、エージェント i がエージェント j と相互作用した場合の、エージェント i の意見 O_i^n およびエージェント j の意見 O_j^n は以下の式 1, 式 2 ようになる。

[[$O_i^n(t) - O_j^n(t)$] < ϵ の場合]

$$\begin{aligned}
 O_i^n(t+1) &= O_i^n(t) \times (1-a) + O_j^n(t) \times a \\
 O_j^n(t+1) &= O_j^n(t) \times (1-a) + O_i^n(t) \times a
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

[それ以外の場合]

$$\begin{aligned}
 O_i^n(t+1) &= O_i^n(t) \\
 O_j^n(t+1) &= O_j^n(t)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ϵ は他の人の意見の許容度である。他の人の意見との差異が ϵ 以下であればすり合わせを行う。 a は意見をすり合わせる度合いである。今回は Hegselmann [Hegselmann 02] らに従い、 $a = 0.5$ と定義した。各ステップごとに全エージェントがネットワークの隣接エージェントからランダムに人を選び、意見をすり合わせる。

Hegselmann らによる先行研究より、シグマが大きい場合には意見が擦り合わされるが、小さい場合には多数の少数派が存在するという結果となっている。さらに、その後の研究の結果から、ネットワーク構造の変化に対し形成される意見はロバストであることが分かっている [Weisbuch 04]。

3.1.2 Step2: ネットワーク間での圧力と沈黙

初期にエージェントは全ネットワークで同じ1つの意見を持ち、各ネットワーク内ですり合わせていく。その結果、エージェントが所属する各ネットワーク間でエージェントが持つ意見が異なってくる場合がある。その場合に、ネットワーク間での圧力を感じるようになる。各ネットワーク間で一貫性がなくなった場合、周囲から圧力を感じて発言を控える。

この様子を数理的に表現すると以下ようになる。あるエージェントは、全ネットワークにおけるエッジから1つ選択する。あるエージェントと選択したエージェントの双方が隣接しているネットワークにおいて、あるエージェントの意見の最大と最小の差異が許容度 β を超えた場合に圧力を感じ、その話題に関する発言をエージェントと選択したエージェントの双方が所属するネットワークにおいて控えるようになる。この圧力と沈黙のプロセスは各ステップにおいて確率 α で発生する。[エージェント i, j 双方が所属するネットワークの集合 N_{ij} において、 $\max\{\|O_i^n - O_j^n\|, n \in N_{ij}\} < \beta$ である場合]

$$V_i^n(t+1) = 0 (\forall n \in N_{ij}) \quad (3)$$

パラメータ β は、一貫性の欠如への許容度を表す。政治的な話題のような意見の相違を認めないという厳しい風潮がある場合は β は小さい値を取り、個人の趣味のような少しの許容なら許される場合は β は大きい値をとる。

もう一つのパラメータは、ネットワーク間の圧力が発生する確率 α である。 α は各ネットワーク間の繋がりの深さ (=各ネットワーク間の接続性) を示している。この値が大きい場合、あるネットワーク間の一貫性の欠如は発覚しやすくなる。 α が示すエージェント同士のがネットワーク間の接続性は、エージェントが所属する複数のネットワークの構造を操作することで表現できるが、本論文では簡単のため、ここで定義したパラメータ α を使用する。

3.2 シミュレーション条件

以下の様な条件でシミュレーションを行った。また、各々のパラメータ設定において、100回のシミュレーションを施行しその平均値を分析に使用した。

3.2.1 初期化

初期条件として N_n 個の、ノード数 N_a 個のランダムネットワークを作成する。エージェントはこのランダムネットワークの各ノードに割り当てられる。すべてのエージェントは N 個のネットワークに所属することになる。

エージェントは $0-1$ の範囲で定義される意見 O を、 $0-1$ の間でランダムに割り当てられる。初期において、各ネットワークにおける意見 O は同一の値である。その後、エージェントはネットワーク内での意見形成を通じて異なる意見を持ちうるようになる設計としている。また、全エージェントが意見を表明する「意見の表明」 $V = 1$ という設定としてシミュレーションを開始する。

3.2.2 パラメータと観察項目

以上で説明したパラメータをまとめると以下ようになる。BCMにおける Conformity Bias (ϵ) は単一ネットワークであれば意見が収束しやすい 0.4 とした。これは明らかに好みに影響され収束しない話題ではなく、ネットワーク形状によっては

全員のコンセンサスが取られることが起こりえる話題についてシミュレーションするためである。また、シミュレーションリソースの制約からネットワーク数を $N_n = 8$ 、エージェント数 $N_a = 100$ とした。

表 1: Fixed Parameters and Variables of Simulation

Parameter	Value	
ϵ	BCM Conformity Bias	0.4
a	BCM すり合わせ係数	0.5
N_n	Number of Networks	8
N_a	Number of Agents	100
α	各ネットワーク間の接続性	Variable(0.0 - 1.0)
β	一貫性のなさへの許容度	Variable(0.3 0.4 0.5)

操作するパラメータは、各ネットワーク間の接続性 α と、一貫性のなさへの許容度 β である。一貫性のなさへの許容度 β は、BCM Conformity Bias と同等の $\beta = 0.4$ 以外に、それより小さい場合 ($\beta = 0.3$) と大きい場合 ($\beta = 0.5$) においてシミュレーションを行った。 β が小さい場合は、周囲が一貫性のなさや過度に反応して圧力を受けることを意味しており、大きい場合は一貫性のなさや寛容であるが極端な行動に対しては圧力がかかることを意味している。

4. シミュレーション結果と考察

各ネットワーク間の接続性 α 、一貫性のなさへの許容度 β を変更しながらシミュレーションを行い、表明されている意見のネットワーク全体における意見の分散 (図.2) および、形成される意見のネットワーク間の乖離 (図.3) を観察した。(図.2,3)の縦軸は全エージェント全ネットワークにおける意見の値の分散を示しており、横軸は各ネットワーク間の接続性 α ($0.0 < \alpha < 1.0$) を、各ラインは一貫性のなさへの許容度を $\beta = 0.3, 0.4, 0.5$ とした時の結果を表している。

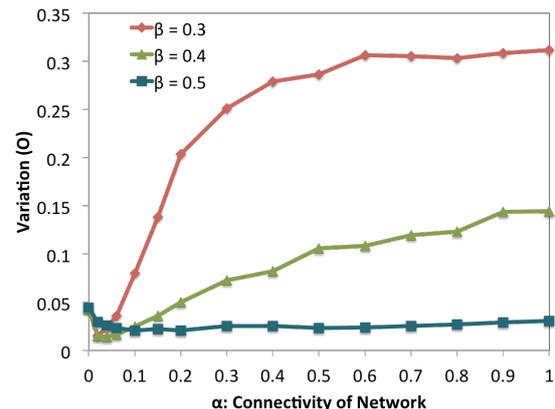


図 2: ネットワーク全体における意見の分散

一貫性のなさへの許容度が高い場合 ($\beta = 0.5$)、各ネットワーク間の接続性が高まるにつれて、全体での意見の多様性を減少 (図.2) させ、形成される意見のネットワーク間の乖離 (図.3) も比較的起こらないことが分かった。これは一貫性の無さへの圧力により、他のコミュニティで極端な意見を発言しようとするエージェントに圧力がかった結果であると考えられ

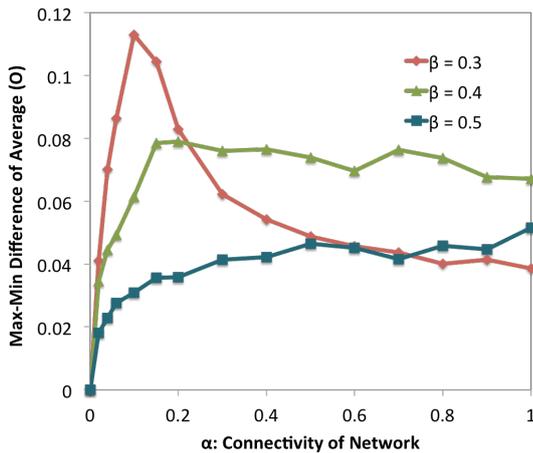


図 3: 形成される意見のネットワーク間の乖離

る。また、意見を発言している各ユーザー間の関係性を観察したところ、ほぼ全ての関係で意見の齟齬 (2 者の意見 O の差異が ϵ 以上) が見られなかったことから、一貫性のなさへの許容度が高い場合には全ネットワークで意見がまとまっていく様子が観察されたといえる。この結果は、一貫性のない発言に過度に反応しないことが重要であることが、社会における合意形成に必要であることを数理的に裏付けているといえる。

その一方で、一貫性のなさへの許容度が低い場合 ($\beta = 0.3$)、少しでも各ネットワーク間の接続性がある場合 ($\alpha \approx 0.15$) においては、全体の意見の分散が大きく (図.2)、形成される意見のネットワーク間の乖離が大きい (図.3)。この状態では、各ネットワークで沈黙しているエージェントの数が 87% 程と多く、さらに意見を表明しているエージェント間の関係性も約 85% が意見の齟齬がない。この状況は、政治的な話題について意見を形成される時のように、ネットワーク間の圧力が強くなることでサイレント・マジョリティの意見が全体の意見に代表される現象を表していると言える。

しかし、さらに全体の意見の分散が大きく ($\alpha > 0.15$) になると、全体の意見の分散が大きくなり (図.2)、形成される意見のネットワーク間の乖離 (図.3) が小さくなる。この状態では、意見を表明しているエージェント間の関係性の約 40 ~ 50% に意見の齟齬がある状態である。つまり、ネットワーク間の接続性が高くなりすぎ、各ネットワークないでコンセンサスがとれなくなった状態である。この結果は、自身の意見の一貫性にとらわれるあまり各ネットワークでの適応ができなくなった状態である。この状況は、オープンなコミュニティにおいて意見形成を行うときに、各個人が自分の立場を守ることによって、意見が擦り寄らないことを表現している。このような現象は立場を持った人が公開の場で討論をするといった場所ではよく起こりうる状況ではあるが、各コミュニティの接続性が高まるとこの状況があらゆる場面で起こりうるということがシミュレーション結果より示唆される。

5. 結論

本研究において我々は、人の所属する各ネットワーク内で適応とそれによる一貫性の無さへの忌避を考慮して、意見が形成される様子を考察した。これまでの研究の多くは意見形成のメカニズムを単一のネットワークで扱うか、複数のコミュニティを考慮した場合でもその間の意見の伝播に着目していた。この

ような複数のネットワーク間のコンフリクトを単純なメカニズムで数理的にモデリングしたことは、これまでにない取り組みである。

提案したモデルによるシミュレーションにより、どのような場合にネットワーク全体で意見が収束するか、各ネットワーク間で形成される意見の乖離が発生するのかを数理的に実証することが出来た。一貫性のなさへの許容度が高い場合と低い場合で、各ネットワーク間の接続性が高まるということが意見形成のメカニズムに真逆の影響を与えることは、特に着目すべき結果である。

本論文では、複数ネットワーク内での意見形成に関する数理的な枠組みを示したが、今後はデータを用いて理論を裏付ける必要がある。また、ネットワーク毎に個人が適応する度合いを変えるなど、モデルを現実起こりうる事象に近づけて個別の事象を議論していく。

参考文献

- [Cellai 13] Cellai, D., López, E., Zhou, J., Gleeson, J. P., and Bianconi, G.: Percolation in multiplex networks with overlap, *Physical Review E*, Vol. 88, No. 5, p. 052811 (2013)
- [Gargiulo 10] Gargiulo, F. and Huet, S.: Opinion dynamics in a group-based society, *EPL (Europhysics Letters)*, Vol. 91, No. 5, p. 58004 (2010)
- [Gomez 13] Gomez, S., Diaz-Guilera, A., Gomez-Gardeñes, J., Perez-Vicente, C. J., Moreno, Y., and Arenas, A.: Diffusion dynamics on multiplex networks, *Physical review letters*, Vol. 110, No. 2, p. 028701 (2013)
- [Halu 13] Halu, A., Zhao, K., Baronchelli, A., and Bianconi, G.: Connect and win The role of social networks in political elections, *EPL Europhysics Letters*, Vol. 102, No. 1, p. 16002 (2013)
- [Hegselmann 02] Hegselmann, R. and Krause, U.: Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 5, No. 3 (2002)
- [Nguyen 13] Nguyen, D. T., Zhang, H., Das, S., Thai, M. T., and Dinh, T. N.: Least Cost Influence in Multiplex Social Networks: Model Representation and Analysis, in *Data Mining (ICDM), 2013 IEEE 13th International Conference on*, pp. 567–576 IEEE (2013)
- [Quattrociocchi 14] Quattrociocchi, W., Caldarelli, G., and Scala, A.: Opinion dynamics on interacting networks: media competition and social influence, *Scientific reports*, Vol. 4, (2014)
- [Trpevski 14] Trpevski, I., Stanoev, A., Koseska, A., and Kocarev, L.: Discrete-time distributed consensus on multiplex networks, *New Journal of Physics*, Vol. 16, No. 11, p. 113063 (2014)
- [Weisbuch 04] Weisbuch, G.: Bounded confidence and social networks, *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, Vol. 38, No. 2, pp. 339–343 (2004)