

群れモデルに基づく意見形成ダイナミクスの分析 Analyzing Opinion Dynamics Based on Collective Motion Model

鈴木優伽[†]
Yuka Suzuki

斉藤和巳[†]
Kazumi Saito

風間一洋[‡]
Kazuhiro Kazama

1. はじめに

ソーシャルメディアの登場により、Web空間内に大規模なソーシャルネットワークが形成されている。ソーシャルネットワークでは、オピニオン・ニュース等の多様な情報が形成・拡散されるため、意見形成 [Even-Dar 07, Wu 08] や情報拡散 [Kemp 03, Leskovec 07] の研究がされている。本研究では、ソーシャルネットワーク上における人々の意見形成過程を分析するために、意見形成 (以下、オピニオン形成) の数理モデル化を考える。このような問題の分析に行われるモデルの1つとして、投票者モデルがある [Even-Dar 07]。投票者モデルは、ノードがその近傍ノードのオピニオンに基づいて、自身のオピニオンを変更する最も基本的な確率過程モデルであり、[Sood 05] らの研究によって、様々な拡張モデルが提案されている。これらのモデルでは、各ノードが自身の近傍ノードのオピニオンのみを参考にすると仮定している。しかしながら、人々が実際にオピニオンを決める際、友人のオピニオンだけではなく、自身が属する集団のオピニオンを考慮すると考えられる。また、基本的には多数派の意見に従うが、稀に少数派の意見に従う者が出現する [Rollin 07]。我々は、これらをソーシャルネットワークという集団に対する個人の行動特性とみなし、自然科学における「群れ行動」の特性で表現可能と仮定する。すなわち、群れにおける個体の行動特性モデル (以下、群れモデル) [Raynolds 87, Vicsek 95] をベースに、人々のオピニオン形成をモデル化し、分析を行う。

2. 群れモデル

非捕食者である小型の鳥や魚は、天敵から自身を守るために、一定の群れをなし行動する。従来の研究において、それら群れでの各個体の行動は、以下の3つの特性をもつ群れモデルで妥当に表現可能とされている。(1) 整列: 近傍個体に合わせて行動する。(2) 分離: 近傍個体に近づきすぎたら、逆の行動をとる。(3) 結束: 群れの中心に合わせて行動する。今我々は、近傍ノードのオピニオンを考慮する特性を整列で、少数派の意見を採用する特性を分離で、自身の属する集団のオピニオンを考慮する特性を結束で表現し、人々のオピニオン形成を、各特性を混合した投票者モデルとして定義する。

3. 群れモデルに基づく混合投票者モデル

$G = (V \cup I, \mathcal{E})$ の二部グラフを仮定する。ここで、 V はノード全体の集合、 $I = \{1, 2, \dots, I\}$ はアイテム集合、 $\mathcal{E} (C \cup V \times I)$ はリンク全体の集合である。ノード $u \in V$ とノード $v \in V$ が同じアイテム $i \in I$ に対してオピニオンを形成している場合、ノード u とノード v 間へリンク (u, v) を付与する。このとき、アイテム i に対するノード v の近傍ノード全体の集合を $C(v, i) = \{u \in V; (u, i) \in \mathcal{E}\}$ とする。ただし、 $v \in C(v, i)$ である。 G 上での、オピニオンを $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ とし、各ノードは任意の時刻 $t (> 0)$ で、各アイテム i に対して K 個のオピニオンのうち一つのオピニオンをもつと仮定する。ここで、 $f_i(i): V \rightarrow \{1, 2, \dots, K\}$ を時刻 t でのアイテム i のオピニオン分布とすると、 $f_i(v, i)$ は時刻 t でのノード v のアイテム i に対するオピニオンを表す。

時刻 t にノード v のアイテム i に対するオピニオン形成が行われるとき、任意の $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ に対して、時刻 t の直前にアイテム i に対してオピニオン k をもっているノード v の近傍ノード数を $n_k(t, v, i) = |\{u \in C(v, i); \psi(u, i) = k\}|$ とする。ここで、 $\psi(u, i)$ は、ノード u が時刻 t の直前にもっているアイテム i に対するオピニオンを表す。今、時刻 t においてノード v が整列特性に従うと仮定すると、ノード v のアイテム i に対するオピニオン k は確率 $p_k(t, v, i)$ に従って

形成される。

$$p_k(t, v, i) = \frac{n_k(t, v, i)}{\sum_{j=1}^K n_j(t, v, i)} \quad (1)$$

また、ノード v が分離特性に従うとすると、ノード v のアイテム i に対するオピニオン k は確率 $q_k(t, v, i)$ に従って形成される。

$$q_k(t, v, i) = \frac{1 - p_k(t, v, i)}{K - 1} \quad (2)$$

そして、ノード v が結束特性に従うとすると、ノード v のアイテム i に対するオピニオン k は確率分布 g_k に従って形成される。ただし、 m_k は、全時刻におけるオピニオン k の出現頻度とする。

$$g_k = \frac{m_k}{\sum_{j=1}^K m_j} \quad (3)$$

このとき、群れモデルに基づく混合投票者モデルを以下で定義する。

$$P(f_t(v, i) = k) = (1 - \alpha_i - \beta_i)p_k(t, v, i) + \alpha_i q_k(t, v, i) + \beta_i g_k \quad (4)$$

ここに、 $\alpha_i (0 < \alpha_i < 1)$ と $\beta_i (0 < \beta_i < 1)$ は、アイテム i に対する各特性の傾向を表すパラメータである。 $0 < 1 - \alpha - \beta < 1$ であることに注意。すなわち、 α_i が高いほど、各ノードのアイテム i に対するオピニオンは、反多数派に従う傾向をもち、 β_i が高いほど、各アイテムに対する平均的オピニオンに従う傾向をもつ。

4. パラメータ推定

各パラメータを、期間 $[0, T]$ における観測データ \mathcal{D}_T から同定する。ここで \mathcal{D}_T は、 $0 < t < T$ なる時刻 t に、ノード v がアイテム i に対してオピニオン k を形成したことを表す (v, t, i, k) の集合である。本投票者モデルのオピニオン形成仮定に基づく対数尤度関数を式 (4) に基づいて次式で表す。

$$\mathcal{L}(\mathcal{D}_T; \mathcal{A}, \mathcal{B}) = \log \left(\prod_{(v, t, i, k) \in \mathcal{D}_T} P(f_t(v, i) = k) \right) \quad (5)$$

$\mathcal{A} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_I\}$, $\mathcal{B} = \{\beta_1, \dots, \beta_I\}$ であることに注意。したがって、目的関数 $\mathcal{L}(\mathcal{D}_T; \mathcal{A}, \mathcal{B})$ の最大化からパラメータを推定し、観測データ \mathcal{D}_t におけるオピニオンの形成過程の傾向を分析する。

5. 評価実験

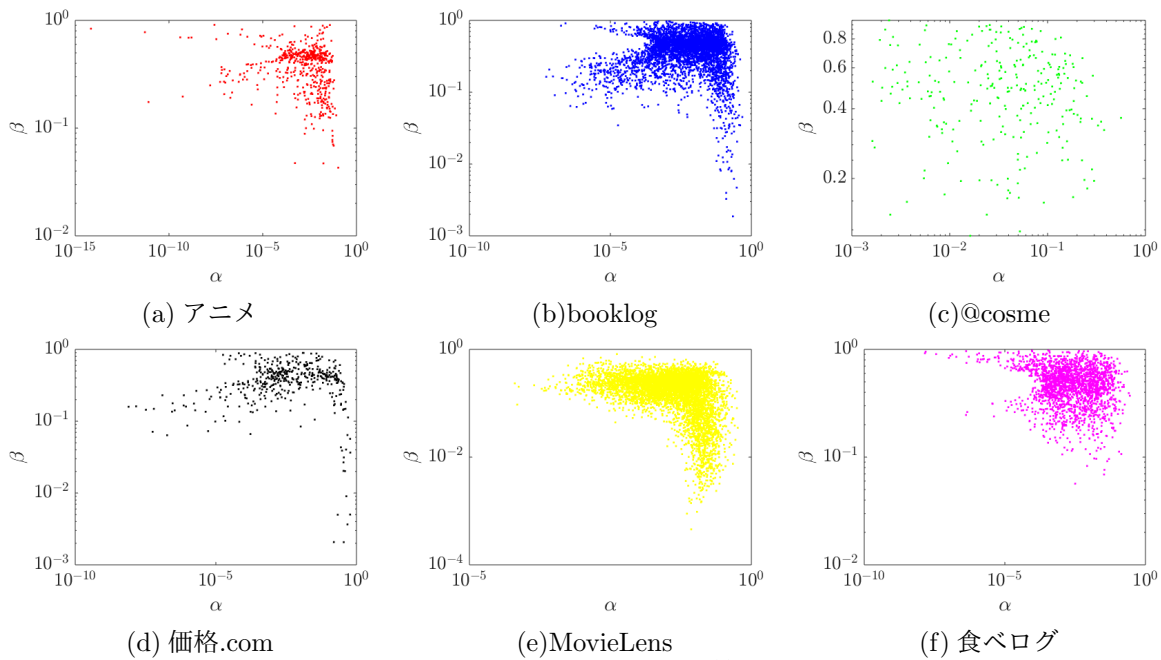
5.1. データセット

実験には、6つのネットワークデータを用いる。レビューサイト@cosme, booklog, 食べログ, 価格.com, アニコレ、及びにデータセット MovieLens[§]でのユーザのレビュー関係ネットワークであり、ユーザをノード、同アイテムをレビューしたノード同士にリンクを付与した無向ネットワークである。ただし、本実験ではレビュー数が100以上のアイテムに限定したネットワークとする。レビューの得点は1~Kまでの整数値をとるため、オピニオン $k \in \{1, \dots, K\}$ とする。ノード数は順に、56666, 176043, 26804, 171806, 69878, 301086, アイテム数は、1790, 178432, 48548, 75519, 10677, 449447 である。

[§]<https://movielens.org/>

[†]静岡県立大学 経営情報イノベーション研究科

[‡]和歌山大学 システム工学部

図1: α と β の相関図

6. 実験結果

図1に、各データでの、アイテムごとの α, β の値を示す。ここで、x軸が α 値、y軸が β 値である。図1から、各データでの α, β の分布は以下の特徴を持つことが分かる。まず、 α が大きい領域では垂直上の分布になる。次に、 β が大きい領域では水平状の分布になる。最後に、 α, β が少し小さい領域では斜めの分布になる。すなわち、アイテムに対して、平均的オピニオンの増減に関係なく、一定の割合で反多数派オピニオンが形成される一方で、反多数派オピニオンの増減に関係なく、普遍的に平均的オピニオンが形成されると考えられる。また、 α, β の両性質を持つが、多くは近傍ノードの多数派に従ってオピニオン形成するアイテムも存在することが示唆される。よって、各ノードのオピニオン形成は、大きく以下の過程で分類できると考えられる。(1) 反多数派の意見に従う。(2) 集団全体の意見に従う。(3) 基本は自身の近傍ノードに従うが、稀に反多数や集団全体の意見に従う。ただし、これら形成過程の傾向は図1からも見て取れるように、オピニオン形成対象のアイテムに強く依存することが確認できる。例えば、意見の割れる趣味性の強いアイテムは(1)に従う傾向が強く、比較的誰でも使う一般的なアイテムは(2)に従う傾向が強いと考えられる。

@cosmeでの結果を見ると、 α, β の分布が他のデータと異なる傾向をもつことが分かる。詳細には、各アイテムごとの α と β の相関関係が多様であり、アイテムごとに異なる意見形成過程が活発に見られる。この理由として、オピニオン形成時にノードの属性(肌質、年齢など)と、類似属性同士で形成されるクラスターが強い影響を与えていることが考えられる。すなわち、敏感肌等のデリケートな肌質のノードは、他のノードよりも批判的(反多数派的)オピニオンを形成しやすく、普通肌のノードは、平均的なオピニオンを形成しやすいと考えられる。

また、各データ結果を詳細にみると、 α, β の分布傾向は類似しているが、値の強さは各データごとに異なることが確認できる。例えば、アニメ・食べログでは、 α 値の平均が0.009, 0.011, β 値の平均が0.395, 0.496であり、MovieLensでは、 α 値の平均が0.071, β 値の平均が0.202である。よって、アニメ・食べログでは、MovieLens等と比べ、オピニオン形成時に多数派を採用しやすい傾向があり、逆にMovieLensは、他のデータと比べ反多数派傾向を採用しやすい傾向があることが確認できる。すなわち、ノードのオピニオン形成過程は、

ネットワークの構造にも依存していると考えられる。

7. おわりに

本研究では、群れモデルに基づいた意見形成モデルを提案し、ノードの意見形成過程を分析した。実験から、意見形成過程がアイテムに依存し、ネットワークそのものの影響を受けていることが確認できた。今後は、ネットワーク構造毎の意見形成に対する影響度や、ネットワーク(群れ)の中心となるような重要ノードの選定を行う。

謝辞 本研究は、科研費(No.26330345)の補助を受けた。

参考文献

- [Even-Dar 07] Even-Dar, E. and Shapira, A.: A note on maximizing the spread of influence in social network, In WINE 2007, pp281-286, 2007.
- [Wu 08] Wu, F. and Huberman, B.A.: How public opinion forms, In WINE 2008, pp334-341, 2008.
- [Kemp 03] Kempe, D. and Kleinberg, J. and Tardos, E.: Maximizing the spread of influential through a social network, In WINE 2007, pp137-146, 2007.
- [Leskovec 07] Leskovec, J. and Krause, A. and Guestrin, C. and Faloutsos, C. and VanBriesen, J. and Glance, N.: Cost-effective outbreak detection in networks, In KDD 2007, pp420-429, 2007
- [Sood 05] Sood, V. and Render, S.: Voter model on heterogeneous graphs, Phys.Rev.Lett., 94, 178701, 2005
- [Rollin 07] Rollin, A.: Translated poisson approximation using exchangeable pair coupling, Ann, pp1596-1614, 2007
- [Raynolds 87] Reynolds, W.: Flock, herds, and schools A Distributed behavioral model, ACM, pp25-34, 1987
- [Vicsek 95] Vicsek, T. and Czirok, A. and Ben-Jacob, E. and Cohen, I. and Shocet, O.: Novel type of phase transition in a system of self-driven particles, Phys.Rev.Lett. 75, 1226, 1995