

信頼・不信とメディア効果を考慮したオピニオンダイナミクス理論

Opinion dynamics theory considering interpersonal relationship of trust and distrust and media effects

石井 晃^{*1}

Akira Ishii

川畑泰子^{*2}

Yasuko Kawahata

^{*1}鳥取大学

Tottori University

^{*2}群馬大学

Gunma University

Bounded Confidence Model is well-known for opinion dynamics theory that considers opinions as continuous values. However, this does not include confrontation of people. In this paper, we express a theory which expresses the relation of trust and distrust between people by the sign of interpersonal relationship coefficient and extends the value of opinion on one dimensional axis from positive to negative. In addition, the influence on the mass media was also taken into consideration, and efforts were made to consider. In this paper, we will show examples of 2, 3, 20 and 300 people in computational simulation. The distribution of opinions calculated from this calculation may be comparable to the distribution of opinions measured on social networks.)

1. はじめに

オピニオンダイナミクスは社会（あるいは少数のグループ内）での意見の合意を目指すプロセスを解析する理論として古くから様々な面から研究されている。[?, ?, ?, ?, ?, ?]. 意見の合意にゲーム理論を使う試みも行われた [?]. オピニオンダイナミクス理論の総合報告も参照されたい [?].

定量的な解析に向けたオピニオンダイナミクスの理論は、大きく分けて2つの流れがある。1つの手法は意見を1と0、あるいは1と-1の二値とした離散的な意見を扱う理論である。アメリカやフランスの大統領選挙、あるいはBREXITに見られる国民投票などは投票でかみならずどちらか一方に絞って投票するため、この二値の理論は応用しやすい。もう1つの手法は意見を一次元（あるいは多次元）の連続値で考える理論である。合意形成などはこちらのやりかたで考えることが多い。

離散的な二値の理論としては、代表的なものに Galam による磁性物理学理論の Ising 模型を応用した理論がある [?, ?, ?]. この理論では、人々の意見は1人1人の意見が I_i で表せるとし、意見交換による相互作用を $-J \sum_i \sum_j I_i I_j$ と表し、これが社会の conflict になるとする。conflict が低くなるように社会の動力学が動き、 $J > 0$ ならば、隣り合う人同士の意見が同じに揃う方が conflict は低くなる。

また、理論物理学の繰り込み群の考え方を利用した局所多数決モデルも賛成と反対の二値である [?, ?]. この理論で、Galam はイギリスの EU 離脱 (BREXIT) の国民投票 [?] やトランプの大統領当選 [?] の解析を発表している。

一方、意見を連続値とした理論の代表的なものに Deffuant-Weisbuch Model や Hegselmann-Krause Model として知られる Bounded Confidence Model が挙げられる [?, ?, ?]. Deffuant-Weisbuch Model の拡張として意見の対立による2極化を扱った試みはあるが [?, ?, ?], Hegselmann-Krause Model では合意形成のみを念頭に置いている。意見は0から1までの連続的な値を取るとするが、1は賛成で、0は無関心であり、反対意見を想定していないことに注意されたい。Deffuant-Weisbuch Model の拡張 [?, ?, ?] では N 人の各人相互の影響の受け方は一定であったり、お互いの意見の相違の度合いから

決まるとしていて、各人が元々固有に信頼していたり、反発を抱いていたという要素はあらわに入っていない。

本研究では、理論的に N 人の相互の意見交換を設定しやすい Hegselmann-Krause のモデル [?] に、人々が反発する要素やマスメディアの影響などを含める形で拡張する。

2. 理論

我々の数理モデルは、意見を連続値とした理論の代表的な bounded confidence model [?] から出発する。 N 人の人を想定し、 $1 \leq i \leq N$ として時刻 t でのエージェント i の意見を $I_i(t)$ と書く。Hegselmann-Krause [?] の理論では、エージェント i の意見は次のように定義される。

$$I_i(t+1) = \sum_{j=1}^N D_{ij} I_j(t) \quad (1)$$

ここで、 $I_i(t)$ の値域は $0 \leq I_i(t) \leq +\infty$ である。Hegselmann-Krause の理論では、ここで N 人の中の全ての組み合わせ i, j について、係数 $D_{ij} \geq 0$ である。彼らの定義では $D_{ij} = 0$ はエージェント i の意見はエージェント j の意見の影響は受けないことを意味する。なお、この Hegselmann-Krause の理論では意見を強く持つ人から無関心な人までの間の合意形成を念頭に置いていた。

現実の社会において人々の中に対立が無いことは存在しない。より一般的に社会の中の意見交換では、全員が合意形成する場合だけでなく、中には反発する人もいて、対立が存在するのが普通である。昨年、石井-川畑によって対立を採り入れた理論が提出された [?]. 石井-川畑の理論では社会の各自の意見 $I_i(t)$ は他の人の意見に影響され、またマスメディアの影響 $A(t)$ を受けるとして、次の形になる。

$$\frac{dI_i(t)}{dt} = c_i A(t) + \sum_{j=1}^N D_{ij} I_j(t) \quad (2)$$

ここで係数 D_{ij} はエージェント i から見たエージェント j に対する信頼度である。

石井-川畑の理論 [?] では、意見は賛成と反対の二値でも Bounded Confidence Model での $0 \leq I_i(t) \leq +\infty$ でもなく、

連絡先: 石井晃, 鳥取大学, 鳥取市湖山町南 4-101, 0857315629, ishii@tottori-u.ac.jp

$I_i(t)$ の値域は $-\infty \leq I_i(t) \leq +\infty$ と拡張し、正の値と負の値がそれぞれある問題に関する賛成と反対に相当するとする。

また、人と人との意見交換の際にどのような影響を受けるかを定義する係数 D_{ij} は人と人との間の信頼と不信を表すとする。即ち $D_{ij} > 0$ であれば、エージェント i はエージェント j を信頼していて、 $D_{ij} < 0$ であればエージェント i はエージェント j に不信感を抱いていると考える。また、係数 D_{ij} は非対称とし、エージェント i から見たエージェント j の信頼・不信とエージェント j から見たエージェント i の信頼・不信は異なる数値で、片方が正でもう片方は負というはあり得るとする。実際の人間関係でそれは十分にあり得るであろう。

先に提出された石井一川畑の理論 [?] では、実際には同調や反発が時間とともに、無限に進行する欠点がある。例えばエージェント A とエージェント B が反発する場合、どこまでも反発して両者の意見は正の無限大と負の無限大に発散してしまう。実際にはあまりにも意見が違う場合、お互いに無視するであろう。また、もう一つの欠点として、自分と同じ意見の人と共鳴する面も考慮する。エージェント A とエージェント B がまったく同じ意見の場合、石井一川畑の理論 [?] では両者がどんどん正の意見の方向（あるいは負の意見の方向）に発散していく。実際には同じ意見であれば、それほど影響は受けないであろう。これは謝辞にも記したパリ政治学院の S Galam 教授からも指摘された。そこで、式 (??) の $D_{ij}I_j(t)$ を次のように変更して上に述べた 2 つの足りない効果を取り入れるれた石井の修正が提案された [?]

$$D_{ij}\Phi(I_i, I_j)(I_j(t) - I_i(t)) \quad (3)$$

$$\Phi(I_i, I_j) = \frac{1}{1 + \exp(\beta(|I_i - I_j| - b))} \quad (4)$$

ここで $\Phi(I_i, I_j)$ は $|I_i - I_j| = b$ 付近でスムーズにカットオフが働く関数であり、統計物理学で言うフェルミ分布関数と同じ関数形である。さらに $I_j(t) - I_i(t)$ によって、 $I_i(t)$ は自分と同じ意見 $I_j(t)$ には影響されないという影響が入っている。

マスメディアの発信や社会のフレームワークを形成する発信者（行政、公的機関など）の情報は社会生活をする私たちの中で伝播する。本論文の理論ではそうしたメディアの影響はヒット現象の数理モデル [?, ?] にならって採り入れた [?, ?]。 $A(t)$ を時刻 t におけるメディアからの情報とし、これが人ごとに受け取り方が異なる可能性を考慮して係数 c_i を付加する。つまり係数 c_i は各エージェントごとにメディアの受け取り方が異なる効果を含めている。もし係数 c_i が正ならばエージェント i はメディア情報の影響を受けて意見を変更し、逆に係数 c_i が負ならば、エージェント i はメディアからの情報に反発して意見を変更することを意味する。

最終的に、本論文で計算に用いるのは以下の方程式である。

$$\frac{dI_i(t)}{dt} = c_i A(t) + \sum_{j=1}^N D_{ij}\Phi(I_i(t), I_j(t))(I_j(t) - I_i(t)) \quad (5)$$

実際のソーシャルメディア上のデータが 1 日ごと、あるいは 1 時間ごとであれば、差分形式では以下になる。

$$\Delta I_i(t) = c_i A(t)\Delta t + \sum_{j=1}^N D_{ij}\Phi(I_i(t), I_j(t))(I_j(t) - I_i(t))\Delta t \quad (6)$$

以下ではこの式を用いて数値計算を行う。

3. 計算

この新しいオピニオンダイナミクス理論による計算例を示す。計算例は 2 人の場合、3 人の場合、そして多人数の計算例として 300 人の場合の計算例を示す

3.1 2 人の場合

まず、二人の場合で計算をしてみよう。二人を A, B としよう。二人の場合、式 (??) は以下の連立方程式となる。

$$\begin{aligned} \Delta I_A(t) &= -\alpha I_A(t)\Delta t + c_A Adv(t)\Delta t \\ &+ D_{AB}\Phi(I_A(t), I_B(t))(I_B(t) - I_A(t))\Delta t \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta I_B(t) &= -\alpha I_B(t)\Delta t + c_B Adv(t)\Delta t \\ &+ D_{BA}\Phi(I_B(t), I_A(t))(I_A(t) - I_B(t))\Delta t \end{aligned} \quad (8)$$

係数 $D_{AB} > 0$ 、 $D_{BA} > 0$ と設定すると、両者の意見の間に収束するように二人の意見が推移していくことが計算結果 (Fig.??) からわかる。これはお互いに信頼している友人同士の意見交換と考えると自然に理解されたと推察される結果となった。合意に達したあとにわずかに正の方向に意見が動いているのは、マスメディアの影響 $Adv = 0.5$ による。

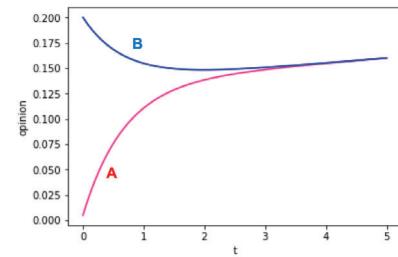


図 1: N=2 の場合の計算。 $Adv = 0.5$, $D_{AB} = 1.0$, $D_{BA} = 0.5$. 初期値は $I_A(0) = 0.005$, $I_B(0) = 0.2$.

次に二人で、お互いに不信感を抱いて反発している場合、係数 $D_{AB} < 0$ 、 $D_{BA} < 0$ と設定する。この場合は Fig.?? に示すように、お互いに反発するけれど、ある程度意見が離れてしまったり、お互いを無視する形で影響を受けなくなっていることが再現された。

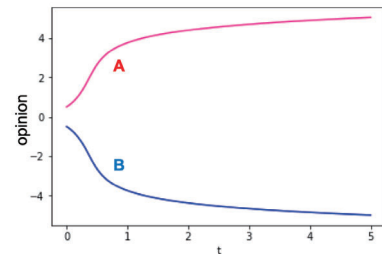


図 2: N=2 の場合の計算。 $Adv = 0.5$, $D_{AB} = -2.0$, $D_{BA} = -2.0$. 初期値は $I_A(0) = 0.005$, $I_B(0) = 0.2$

3.2 3人の場合

次に3人の場合を考えよう。この場合も式(??)で、これを3人で連立させて考える。ここでは3人はA,B,Cの3エージェントで、AとBはお互いに不信感を抱いていて反発しているが、AもBもエージェントCには大きな信頼を持っているとする。つまり、Cは反発対立しているAとBの仲介者の役割になる。計算した結果がFig.??である。AとBのCに対する信頼(係数 D_{AC} 、 D_{BC} の値)が大きく正となると、対立していたAとBがCの意見に収束していく様子がわかる。これは仲介者が対立している両者から絶大な信頼を寄せられていると仲介が上手く行くという、日常生活でも経験するような事に対応していることが推察される。

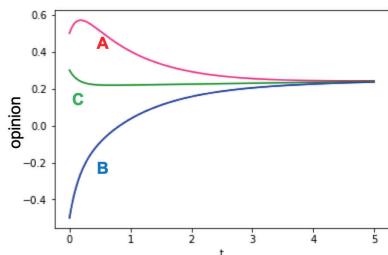


図 3: 3人の場合の計算。 $\text{Adv} = 0.005$, $b = 5.$, $\beta = 1.0$, $D_{AB} = -2.0$, $D_{AC} = 5.0$, $D_{BA} = -2.0$, $D_{BC} = 5.0$, $D_{CA} = 1.0$, $D_{CB} = 1.0$. 初期値は $I_A(0) = 0.5$, $I_B(0) = -0.5$, $I_C(0) = 0.2$.

前述のような事由を、実際に起きた事例に置き換えて解釈すると、例えば幕末の日本史で、Aを薩摩藩、Bを長州藩、Cを坂本龍馬と考えると、薩長同盟を仲介した坂本龍馬に両藩から寄せられた信頼の大きさが理解できるケースである(実際の日本史研究では坂本龍馬の果たした役割の大きさには諸説あるが、ここでは単純な通説に従った)。また、現代史で言えば、人種差別政策撤廃後の南アフリカ共和国大統領のネルソン・マンデラの役割がCに似ていると推察する。ネルソン・マンデラは人種差別政策撤廃後に黒人優位の政策を採らず、黒人も白人も平等という宥和政策に徹して、南アフリカ共和国をうまくひとつにまとめた実績がある。

3.3 300人の場合

次に、人数を増やして300人とした場合の計算を示そう。300人で計算した理由は、意見の分布が上手く描ける程度に多数の人間という程度の意味合いで、300という数字自体に意味はない。計算にあたって、係数 D_{ij} は全て、 $-1 \sim 1$ の乱数で決めている。結果はFig.??に一例を示す。左図が時間経過による300人の意見の軌跡で、青線は任意抽出の一人の軌跡をわかりやすくするために色を変えてある。右図は計算の最終の時点でこのシミュレーション計算から算出した意見の分布である。

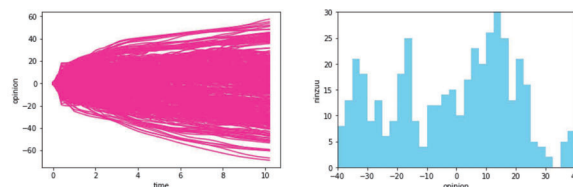


図 4: 300人の場合の計算。係数 D_{ij} は全て $-1 \sim 1$ の乱数で決めている。左図が時間経過による300人の意見の軌跡である。右図は計算の最終の時点での意見の分布。

この計算からわかるのは、式(??)で求められた分布はある時間から先は有限の範囲内に留まるということである。

3.4 カリスマ的存在がいた場合

次に、多くの人から強い信頼感を持たれているカリスマ的な人物が1人いる場合を考えよう。計算にあたって、係数 D_{ij} でカリスマ的な人物に対して残り299人からは高い信頼を寄せられているとする。Fig.??の例なら5.0の値である。他の全ての係数 D_{ij} は、 $-1 \sim 1$ の範囲の乱数で決めている。計算結果の一例をFig.??に示す。左図が時間経過による300人の意見の軌跡で、青線はカリスマの人の軌跡である。カリスマの人も他の人の意見への対応は、同じく $-1 \sim 1$ の範囲の乱数で決めている。右図は計算の最終の時点でこのシミュレーション計算から算出した意見の分布である。計算結果を見ると、カリスマ的人物の意見に近い意見の人の分布は大きいことがわかる。

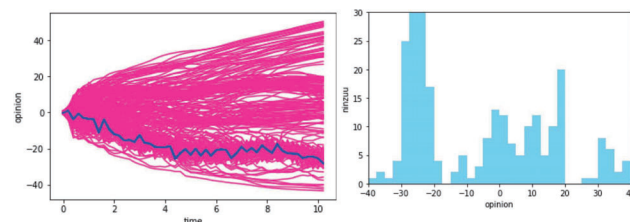


図 5: 300人の場合の計算。係数 D_{ij} は299人からカリスマの一人に対しての信頼度は5.0で、それ以外の係数は全て $-1 \sim 1$ の乱数で決めている。左図が時間経過による300人の意見の軌跡で、青線はカリスマの人の軌跡。右図は計算の最終の時点での意見の分布。

4. 結論

Bounded Confidence Modelを拡張する形で、社会の人々の間の信頼関係と不信関係を同時に考慮し、さらにメディア効果も含めた新しいオピニオンダイナミクス理論を提案した。3人の計算では仲介者が反発する両者から強い信頼を寄せられていると仲介が成功することが計算から示された。300人で計算すると、意見の分布はクラスターごとに分かれる傾向が見出された。また、全員から強い信頼を寄せられる人がいると、その人の意見に近い人が多くなる傾向があることが計算で示された。

謝辞

本研究には、パリ大学パリ政治学院のSerge Galam教授と行われた議論が大きく貢献しているので、Galam教授に深く

感謝します。また、本研究の計算面で鳥取大の堀尾優輝君に感謝します。

参考文献

- [1] French J R P (1956) A formal theory of social power., *Psychological Review* 63. pp. 181-194.
- [2] Harary F (1959) “ A criterion for unanimity in French ’ s theory of social power ” . In Cartwright D (Ed.), *Studies in Social Power*. Institute for Social Research, Ann Arbor.
- [3] Abelson, R P (1964), “Mathematical models of the dis-tribution of attitudes under controversy” . In Frederiksen, N and Gulliksen H (Eds.), *Contributions to Mathemat-ical Psychology*, New York, NY: Holt, Rinehart, and Winston.
- [4] De Groot M H (1974) Reaching a consensus. *J. Amer.Statist. Assoc.* 69. pp. 118 - 121.
- [5] Lehrer K (1975) Social consensus and rational agnoiology. *Synthese* 31. pp. 141 - 160.
- [6] Chatterjee S (1975) Reaching a consensus: Some limit theorems. *Proc. Int. Statist. Inst.* pp.159 -164.
- [7] 谷本圭志、喜多秀行、三ッ国 篤志「合意形成の場における雰囲気形成とその下での住民の発言行動に関するゲーム論的考察」 土木計画学研究 ・ 論文集 Vol.18no.1 2001 年 9 月, 89 — 95
- [8] Sirbu A., Loreto V., Servedio V.D.P., Tria F. (2017) Opinion Dynamics: Models, Extensions and External Effects. In: Loreto V. et al. (eds) *Participatory Sensing, Opinions and Collective Awareness. Understanding Complex Systems*. Springer, Cham
- [9] Galam, *Physica A* 238, 66 (1997).
- [10] Sznajd-Weron and J. Sznajd, *Int. J. Mod. Phys. C* 11,1157 (2000)
- [11] Sznajd-Weron, M. Tabiszewski, and A. M. Timpanaro, *Europhys. Lett.* 96, 48002 (2011).
- [12] Galam S, ”Application of statistical physics to politics” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 274, 1999, Pages 132-139
- [13] Galam S, ”Real space renormalization group and totalitarian paradox of majority rule voting” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 285, Issues 1-2, 15 September 2000, Pages 66-76
- [14] Galam S, “ Are referendums a mechanism to turn our prejudices into rational choices? An unfortunate answer from sociophysics” Chapter 19 of *The Routledge Handbook to Referendums and Direct Democracy* edited by Laurence Morel and Matt Qvortrup, (Taylor & Francis, London, 2017)
- [15] Galam, S, ”The Trump phenomenon: An explanation from sociophysics”, *Int. J.Mod. Phys.B31* (2017) 1742015
- [16] Hegselmann R and U Krause, ”Opinion Dynamics and Bounded Confidence Models, Analysis, and Simulation” *Journal of Artificial Society and Social Simulation* 5 (2002)
- [17] Guillaume Deffuant, David Neau, Frédéric. Amblard, and Gérard Weisbuch. *Mixing Beliefs among Interacting Agents. Advances in Complex Systems*, 3:87-98, 2000.
- [18] Gérard Weisbuch, Guillaume Deffuant, Frédéric Amblard, and Jean-Pierre Nadal. *Meet, Discuss and Segregate! Complexity*, 7(3):55-63, 2002.
- [19] Wander Jager and Frédéric Amblard, ”Uniformity, Bipolarization and Pluriformity Captured as Generic Stylized Behavior with an Agent-Based Simulation Model of Attitude Change”, *Computational and Mathematical Organization Theory* 10 (2004) 295-303
- [20] Wander Jager and Frédéric Amblard, ”Multiple attitude dynamics in large populations” presented in the Agent 2005 Conference on Generative Social Processes, Models and Mechanisms, October13-15, 2005 at The University of Chicago.
- [21] Evaguenii Kurmyshev, Héctor A. Juárez, Ricardo A. González-Silva, ”Dynamics of bounded confidence opinion in heterogeneous social networks: Concord against partila antagonism” *Physica A* 390 (2011) 2945-2955
- [22] A Ishii and Y Kawahata, “Opinion Dynamics Theory for Analysis of Consensus Formation and Division of Opinion on the Internet ”, *Proceedings of The 22nd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2018)*, 71-76; arXiv:1812.11845 [physics.soc-ph]
- [23] A. Ishii, ”Opinion dynamics theory considering trust and suspicion in human relations” *Proceeding of 19th International Conference on Group Decision and Negotiation in 2019 a Joint GDN-EWG/BOR meeting*, submitted
- [24] Ishii A, Arakaki H, Matsuda N, Umemura S, Urushidani T, Yamagata N and Yoshida N, “ The ‘hit’ phenomenon: a mathematical model of human dynamics interactions as a stochastic process ”, *New Journal of Physics* 14 (2012) 063018
- [25] A Ishii and Y Kawahata, ”Sociophysics Analysis of the dynamics of peoples’ interests in society” *Frontiers in Physics*, 08 October 2018 — <https://doi.org/10.3389/fphy.2018.00089>