# 意見間の距離に依存した Temporal Newtork による

# オピニオンダイナミクス理論
# Opinion dynamics theory on a temporal network depend on distance of each human opinions

堀尾　優輝†　　石井 晃‡
Yuki Horio　　Akira Ishii

## 1. 序論

近年、情報通信技術の発達等が起因となり、自身の考えを他者に伝達することが容 易になっている。これにより意見の交流の場が増え、また、それらの意見の交流が社 会に与える影響が大きくなっている。さらに、OSN(オンラインソーシャルネットワー ク)上のやり取りでは、音声でのやり取りだけではなく、文字での意見の伝達も多く、意見の交流の過程が、情報として残りやすい仕組みになっている。これらのことから、集団における意見の変動が観測しやすくなっている。同時に、集団における意 見の変動を予測、もしくは分析することの重要性も大きくなってきている。これらの分野はオピニオンダイナミクスとして知られている。オピニオンダイナミクスは集団における意見の交換と合意形成を解析する理論であり、昔から様々な研究がなされている[1,2,3,4,5,6]。

これらのオピニオンダイナミクスの 理論を OSN 上での多数の人間の意見交流のような大規模なデータで扱うにあたって、重要になるのが、意見の定数化である。

これに関する手法として意見の相違を 0 と 1 という離散的な値に二極化し扱うものがある。この理論において代表的なものに Galam による磁性物理学理論を応用した理論がある[7,8,9]。これには原子間のスピンの方向性を+1、-1 として考える Ising 模型が応用されている。また、意見を離散的で なく、連続的に扱う理論も存在する。この理論の代表的なものに Bound Confidence Model が挙げられる[10,11,12]。これは個々人の意見を$I_i(t)$、他者の意見への影響のされやすさの係数を$D_{ij}$としたとき、式(1)のようにあらわすことができる。

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

この Bound Confidence Model は合意形成の理論であるため、反対意見や個々人が反発しあって意見が収束しないということまでは考慮おらず、$I_i(t)$、$D_{ij}$の値は負の値は適応させず正の値のみとされている。

† 鳥取大学　Tottori University
‡ 鳥取大学　Tottori University

これをもとに個々人の反発などと言った Bound Confidence Model に考慮されていなかった要素を取り入れたオピニオンダイナミクス理論が石井らによって提案されている[13,14,15,16,17,18,19]。

ただし、上記の石井らのオピニオンダイナミクス理論においては、意見交換を行う集団における影響を受ける相手や影響の受けやすさなどといった人間関係は変化しないという前提で計算されている。

だが現代社会においては OSN 上などにおいて全く面識のない相手との意見交換も多く、その際に意見交換の相手としてのつながりができたり、反対につながりが切れたりするといった事が容易に行われる。本研究では母集団全体において影響を受ける人間の組み合わせが変化していくと考え、計算する。

## 2. 理論

石井らの提案したオピニオンダイナミクス理論は意見の 7 時間変化が以下の式(2)であらわされる。

$$m\Delta I_i(t) = A(t)$$

$$+\sum_{j=1}^{N}\{D_{ij}(I_i(t) - I_j(t))\varphi(I_i(t), I_j(t))\} \qquad (2)$$

ここでは、$I_i(t)$が時刻 t における i の意見の値となっており、$D_{ij}$が i の j の意見への信頼度となっている。これらは二つとも正と負のどちらの符号にもなる可能性があるようになっている。この場合 I が負であるとは正の意見とは方向性が反対であることを意味する。例を挙げると、日本の幕末における倒幕を正であらわすとすると、佐幕の方向性が負の数であらわされる。この時 I の値の絶対値が大きければ大きいほど強い主張を持ち、小さければ小さいほど中立的な意見であることになる。D が正である場合は相手の意見と同じ方向性に変化し、D が負の場合は相手への不信を表し、相手に反発して相手の意見と反対の方向性に影響を受けるようになる。m は個々人の意志の硬さを表し、この値が高いほど意見交換の場の全員から受ける影響の合計が小さくなる。A は意見交換する人々に外部からかかる影響を表している。これは幕末の日本人の倒幕佐幕の対立でいうと、開国を求める諸外国、黒船であったり、マス

メディアの影響などを表している。よって式(2)は自分と相手の意見の違いの大きさと信頼度合いをかけ合わせたものとマスメディアの影響を合わせた総合的な影響に個々人の影響の受けにくさを考慮した形が基本となっている言える。

この式(2)における関数$\varphi(I_i(t), I_j(t))$は影響を与える人間と影響を受ける人間の意見が離れれば離れるほど受ける影響が小さくなるということを表した式となっている。$\varphi(I_i(t), I_j(t))$は、$|I_i - I_j| = b$付近でスムーズにカットオフがかかる関数で式(3)のように表すことができる。

$$\varphi\left(I_i(t), I_j(t)\right) = \frac{1}{1+exp\,(\beta|I_i - I_j| - \mu)} \tag{3}$$

このオピニオンダイナミクス理論を誰の意見の影響を受けるのかを変化するように拡張する。現代社会においては実際に身近な位置にいる人や身近な関係である人だけではなくと OSN 上などにおいて全く面識のない相手の意見を知り、相手の意見を参照するようになったりする。それらを考慮して、初期状態においては集団全員がお互いにつながりのない状態とし、意見の値が近い人に近い意見を持つ人との間につながりができるという条件で考える。

その条件での計算を行うため、新しく係数を設定し、式(2),(3)を以下の式(4),(5)のように拡張する。

$$m\Delta I_i(t) = A(t)$$

$$+\sum_{j=1}^{N}\{D_{ij}(I_i(t) - I_j(t))\,\varphi(I_i(t), I_j(t))\}\mathrm{L}_{ij} \tag{4}$$

$$\varphi\left(I_i(t), I_j(t)\right) = \frac{1}{1+exp\,(\beta|I_i - I_j| - \mu)} \tag{5}$$

変更点は係数$L_{ij}$である。これは i が j の意見を参照するのかしないのかもしくは i と j の間にリンクがあるのかどうかを表している。値は 0 または 1 をとり、つながりがある場合は 1 で表され、つながりがない場合は 0 で表される。

この値の変化は式(6)で表す。

$$L_{ij}(t) = 0 \qquad \text{かつ}$$

$$|I_i(t) - I_j(t)| < \alpha \qquad \text{の時}$$

$$L_{ij}(t+1) = 1 \tag{6}$$

これは意見の値が近い場合にはその人に対して興味を持ち、相手の意見を参照するようになるということを表している。

この研究では全員がお互いにつながりを持たない状態、つまり L＝0 の初期条件として、上記の式(4),(5),(6)を用いて計算する。

## 3. 計算結果

以下につながりの有無とその変化が考慮されたオピニオンダイナミクスによる簡単に計算例の一部を示す。

今回の計算では D を-1 から 1 までの乱数で設定し、I の初期値を-5 から 5 までの乱数で設定し、個々人の意見同士による影響がわかりやすいように A は 0 として計算するとする。その条件で、母集団の人数を変化させ、各人数ごとに複数回試行する。

意見の変化は横軸を時間、縦軸を意見の値とした平面上で、各個人ごとに 1 本の曲線で表す。

### 3.1　2 人の場合

まず、2 人の場合を考えるとする。二人の初期の意見が離れている場合においてはお互いにつながりが起きずに初期の意見を保っていることが図 1 よりわかる。これは全く面識のない人通しが、意見が遠く接点がない場合の状況を表していると推測できる。

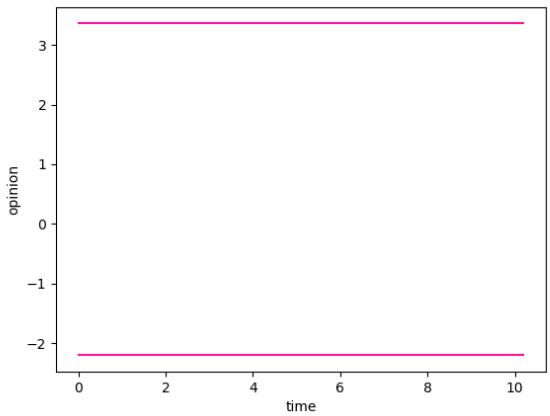


図 1　N=2 で初期値が離れている場合

次は 2 人で初期意見が近い場合を考えるとする。この場合は図 2 より、2 人の間に接点ができ、互いに影響しあう関係になっているのがわかる。またその際にお互いの相性によっては、必ずしも収束するわけではなく意見が分かれる場合もあることが推察できる。

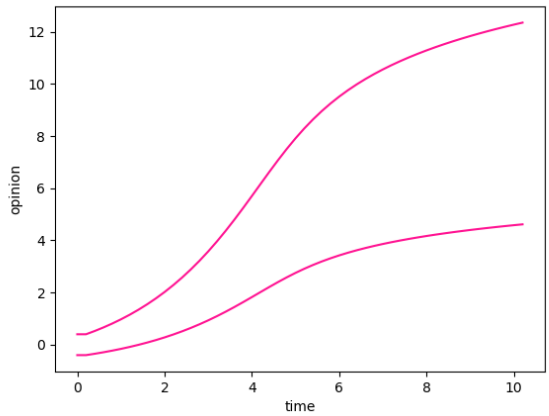


図 2　N=2 で初期値が近い場合

### 3.2　3 人の場合

次に 3 人の場合を考える。3 人の場合においては、2 人の時と同じく、3 人の全員の初期意見が近くなく互いに影響を受けない場合と、全員の初期意見が近く全員がお互いに影響を受けあうといった単純なものだけではなく、互いにつながりを持ち、影響を与え合い、2 人が意見を変化させることで 3 人目の意見に途中から近づき、3 人目ともつながりが生じるといった事も考えられる。

その結果の例が以下の図 3 である。

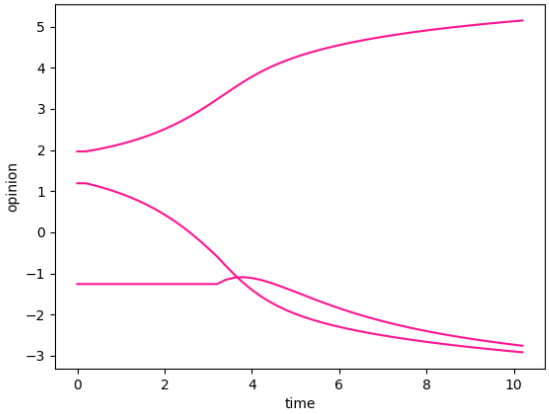


図 3　N=3 の場合

図 3 では、3 人のうち、つながりのできた 2 人が反発した結果、そのうちの片方が最後の一人と近い意見を持つようになり、影響を与え合う関係になり、2 人で近い意見に収束していっている。

これは、意見を収束させるには、最初の意見が近いことだけではなく、相手への信頼などの関係性も重要になるという日常生活でも経験するようなことに対応していると考えることができる。

今回の計算においてはこれらの 2 人の場合と 3 人の場合で示した、意見の初期値が近いことによって、つながりができることと、つながりができたもの同士で互いに影響しあい、その結果意見が変化し、それによりほかの近い人に目が行き、新しくつながりができるというつながりの拡散が連鎖することと、誰ともつながらないことによって誰からも影響を受けない状態が続くことの 3 つの状態が基本となる。人数が増えれば増えるほど、それが複雑に入り混じることになる。それらを考慮して少しずつ人数を増やしながら、変化と特徴を推察する。

### 3.3　5 人の場合

次に 3 人から少しだけ増やして少人数集団といえる 5 人で計算した結果の一部を以下の図 4 に示す。

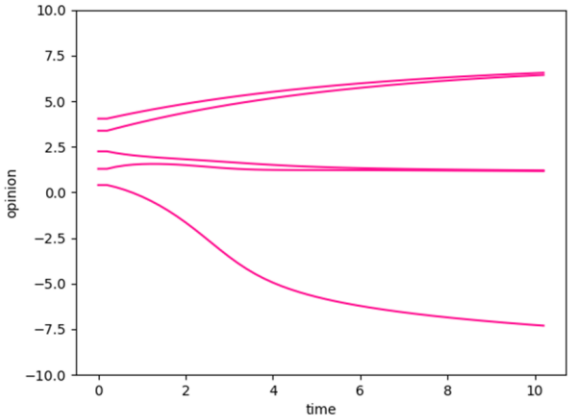


図 4　N=5 の場合

5 人の場合においては図 4 のように最終的には意見がおおよそ 3 つに分かれる傾向にあった。また 3 人の時と自覚して誰ともつながりを持たない人があまりでなくなる傾向にあった。これらの結果は人数が増えたことにより、近い意見を持った他者が存在する可能性が高まったことが理由だと考えられる。

今回の試行では、最終的な意見を参照しあう人の組み合わせの数は最大の組み合わせ、つまり全員がお互いに影響を与え合うつながりを持っている場合の 1 割から 3 割のつながりが築かれていた。

以下の図 5 は図 4 と同じ施行における最終的なリンクを図で表したものである。

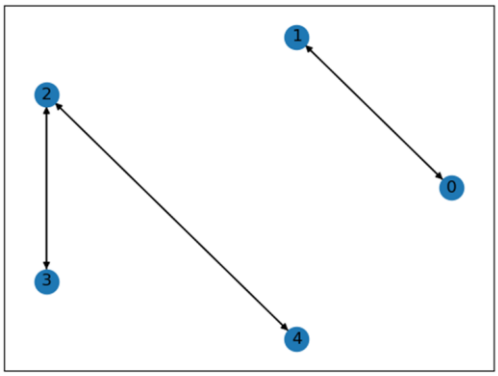


図 5　N=4 の場合の最終的なリンク

図 5 より明らかにつながっている人数が少ないことが読み取れる。

### 3.4 10 人の場合

さらに人数を増やして 10 人の集団で計算する。10 人での計算結果の傾向としては図 6 より読み取れるように意見の変化が複雑化し、意見がばらける傾向がよりとれる。これは、全員が 5 人の場合よりも影響を受ける他者からが増えたことでお互いに干渉しあった結果うまく収束しにくくなったのだと推測される。

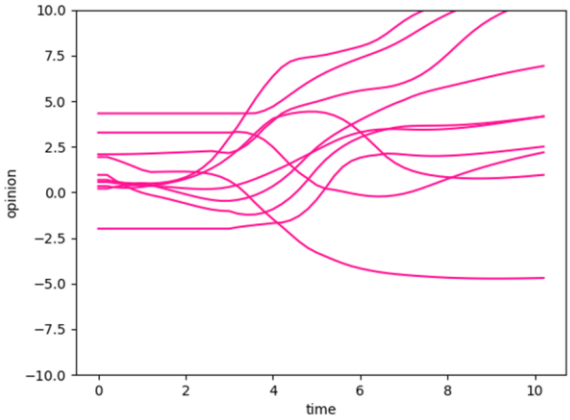


図 6　N=10 の場合

図 6 の試行の最終的なリンクに関しては図 7 に表す。

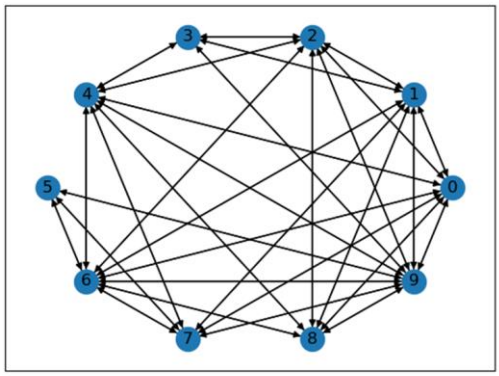


図 7　N=10 の場合の最終的なリンク数

10 人の場合の計算の最終的なリンク数は、最大の組み合わせの数に対しておよそ 4.5 割から 7.5 割の範囲に収まった。この数字は 5 人の場合と比べてかなり大きく、またぶれも大きくなっている。5 人の集団に比べて 10 人の集団では、意見がまとまりにくくなり他者とのつながりも不安定であると推察できる。

### 3.5　50 人の場合

10 人の場合では意見の変化が乱雑に行われていたが、増やすごとに少しずつ最終結果においていくつかのグループに分かれるような傾向が目視でみられるようになる。50 人の場合の例を図 8 に示す。図 8 からも中盤では複雑な変化を行いながらも最終定期はいくつかのクラスタが形成されるのが見て取れる。これは人数が増えたことで信頼できかつ、意見が近い相手を一定人数見つけられるようになったためだと推測される。、

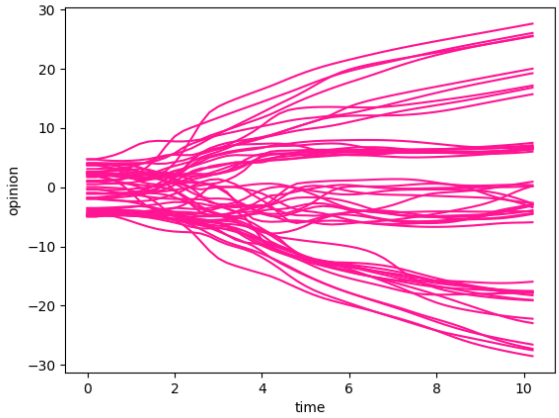


図 8　N=50 の場合

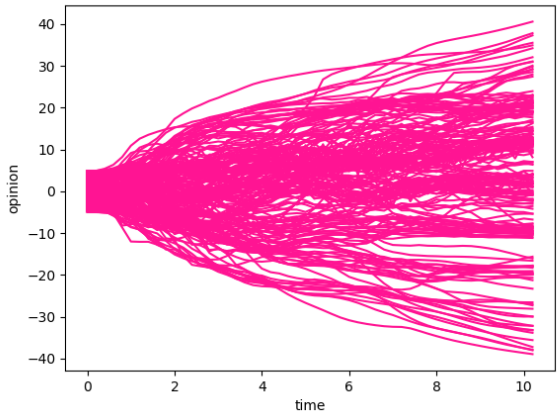


図 9　200 人の場合

リンクの図は人数が増えすぎて見えにくくなるため以降は省略する。最終的なリンクの数はリンクの最大数と比較しておよそ 5 割から 6 割とぶれはかなり小さくなり、また 10 人の場合の時よりも割合でいえば少なくなっていました。これは、比較的早い段階で相性がよく、なおかつに体験を持つ人たちを複数人見つけられることで、その人たちで固まり意見の変動が小さくなっているという現実でも見かけることのあることに対応していると推測することができる。

### 3.6　200 人の場合

200 人の集団での計算になると、200 人の場合の試行の結果の一例である図 9 の色の濃淡から読み取れるように最終的な意見の分布においてはいくつかのグループに分かれながらも全体に広がるように分布するようになる。また、分布する意見の最終的な最大値、最小値についてかなり安定するようになっている。今回の計算ではおおよそ最終的な意見の値域が-40 から 40 程度になる傾向があった。図 9 でも実際にそれが見て取れる。

最終的な意見を参照するリンクの全員の総数は最大数のおおよそ 6 割から 7 割であり、割合は 50 人から人数を増やすにつれて増加していく傾向にあった。また、総リンク数の最大リンク数に対する割合も少しだけ小さくなる傾向がみられた。これは、人数が膨大になることでできるグループの数が増えて、各個人単位ではなく、集団単位で影響を受ける機会が増えるためだと推測できる。

### 3.7　300 人の場合

300 人での計算での結果の一例を図 10 に示す。

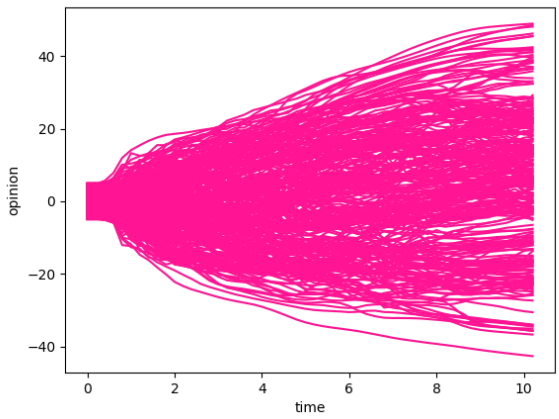


図 10　N=300 の場合

300 人の多人数での集団を想定した計算となると、図 10 のように色のない空隙の部分も見当たるがある程度色の濃い中心といってよいところから離れるにつれて、線が見えるようになり数が減っていっているのがわかる。この中心は複数回の試行の中では 10 から-10 ぐらいの間にほとんど発生し、細かな違いはあれど中心から離れるにつれて線が目視できるようになるという大まかな外形は変わらなかった。最終的な意見の値域はおおよそ 40 から-40 であり、200 人の場合と比べてほんの少し大きくなったが、あまり変化はなかった。また、リンクについては、最終的な総リンク数が、全員が影響を受けあう最大リンク数に対しておおよそ 6.5 割から 7 割で 200 人の場合よりもさらに試行ごとのブレは小さなものになり、割合は増加している。

500 人での計算を行った際にはさらに最終的なリンクの総数の最大リンク数に対しての割合は増加し、試行ごとのブレも小さくなっていたため、5 人、10 人、20 人などの少人数を除けば、人数が大きくなるにつれて、母集団全体に対してつながりを持つ人んの割合が増加すると推測される。これは、SNS（ソーシャルネットワークサービス）において、利用者が増えるほどに、皆がそれを頻繁に利用してコミュニケーションをとるようになる構図と対応していると考えることもできる。

## 4　考察

2 人と 3 人の計算結果は、もっととらしい計算結果だと思われる。意見が近いなどといった何らかの接点がなければ、全く面識のない相手の意見をいきなり影響を受け続けることもなく、もしきっかけがあり影響を受ける関係になったとしても相手との相性次第では近い意見だったとしても反発したりすると思われる。また、自分の意見が変わることで価値観が変わり、どんな人に影響を受けるのかが変化すると考えられる。これらの状態が 2 人、3 人の計算結果に表れていると思われる。

また、5 人においては、5 人の中でいくつかのグループにばらけて、10 人になると個人ごとにばらける傾向があると思われる。

そして、50 人になると安定していくつかのグループに分かれるようになり、200 人、300 人など人数が大きくになると中心のような部分ができて、一回、一回の試行ごとのブレも小さくなっていっていると思われる。

OSN 上においてなどでは、大多数の人間が自分の興味のある事柄について面識のない相手と意見交換をすることも頻繁にあるため、ほかのつながりができる条件やつながりが切れる条件などの考慮は必要だが、今回の条件を利用することができると考える。

## 5　結論

社会の人々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られている石井らのオピニオンダイナミクス理論を拡張した。意見を持つ者の集団内における影響を受ける、受けないを表現する係数を用意し、集団内で互いにつながりがない状態から、意見が近いと相手の意見を参照するようになるという条件で計算した。3 人以上では他者の意見から影響を受け、それによる意見の変化によってつながりを持っていなかった相手との間につながりができ、影響しあうといった事がたびたび行われ、人のつながりが拡散していく様子が見て取れた。


## 謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究 C(JP19K04881)によって行われた。

また、本研究にあたり、鳥取大学の安部大河君や余村一平君から多くの刺激を受けました。厚く感謝します。


## 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] Galam, Physica A 238, 66 (1997).
[8] Sznajd-Weron and J. Sznajd, Int. J. Mod. Phys. C 11,1157 (2000)
[9] Sznajd-Weron, M. Tabiszewski, and A. M. Timpanaro, Europhys. Lett. 96, 48002 (2011).
[10] Hegselmann R and U Krause, ”Opinion Dynamics and Bounded Confidence Models, Analysis, and Simulation” Journal of Artificial Society and Social Simulation 5 (2002)
[11] Guillaume Deffuant, David Neau, Fr´ed´eric. Amblard, and G´erard Weisbuch. Mixing Beliefs among Interacting Agents. Advances in Complex Systems, 3:87-98, 2000.
[12] G´erard Weisbuch, Guillaume Deffuant, Fr´ed´eric Amblard, and Jean-Pierre Nadal. Meet, Discuss and Segregate! Complexity, 7(3):55-63, 2002
[13] 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 Evolu- tionary Systems (IES2018), 71-76; arXiv:1812.11845 [physics.soc-ph]
[14] Ishii A. (2019) Opinion Dynamics Theory Considering Trust and Suspicion in Human Relations. In: Morais D., Carreras A., de Almeida A., Vetschera R. (eds) Group Decision and Negotiation: Behavior, Models, and Support. GDN 2019. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 351. Springer, Cham
[15] Akira Ishii and Yasuko Kawahata, “Opinion dynamics theory considering interpersonal relationship of trust and distrust and media effects”, The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2019, 33 (2019) Volume JSAI2019 2F3-OS-5a-05
[16] N Okano and A Ishii, "Isolated, untrusted people in society and charismatic person using opinion dynamics", Proceedings of ABCSS2019 in Web Intelligence 2019, 1-6
[17] A Ishii and Y Kawahata, "New Opinion dynamics theory considering interpersonal relationship of both trust and distrust", Proceedings of ABCSS2019 in Web Intelligence 2019,43-50
[18] N Okano and A Ishii, "Sociophysics approach of simulation of charismatic person and distrusted people in society using opinion dynamics", Proceedings of the 23rd Asia-Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems” (Springer, 2019). 238-252
[19] Akira Ishii and Nozomi Okano, "Two dimensional opinion dynamics of real opinion and official stance" Proceedings of NetSci-X 2020: Sixth International Winter School and Conference on Network Science, Springer Proceedings in Complexity. 139-153