

イノベーションの普及拡散に関する一考察

藤居 誠, 石井 晃

本論では、人間関係の信頼と不信の両方を含む石井らの新しいオピニオンダイナミクス理論を使用し、イノベーションの普及（採用者カテゴリーの意見移行）をシミュレートしている。メディアが市場に一律な影響を与えたとき、人々の意見の分布はメディアが主導する方向に歪むことが示された。また初期採用者の意見の初期値や信頼係数を操作することで市場に影響を与え、イノベーションの普及拡散に影響を与えることを観察した。

キーワード：オピニオンダイナミクス、イノベーションの普及、シミュレーション

1. はじめに

社会の中での拡散は、COVID-19 のような感染症の拡散のほかに情報の拡散がある。本稿では情報の拡散の中でもイノベーションの普及という拡散に焦点を当てて論じる。

多数の人間の意見が、人々の意見交換によってどのように収束するのかを解析する理論として、オピニオンダイナミクスが知られている。オピニオンダイナミクスは、社会物理学の研究テーマの一つであり、社会的合意形成を目指すプロセスを解析する理論として、さまざまな面から研究がなされている [1–6]。

一方、社会科学の領域ではロジャーズの『イノベーションの普及』[7] に代表されるように、人々に新しいと知覚されたイノベーションが社会に普及/伝達される過程の研究がなされている。

オピニオンダイナミクスとイノベーションの普及研究は、ともに対象物、意見交換、コミュニケーション（チャネル）、時間経過を要素として研究が行われているため、親和性が高いと考えられる。

そこで本稿では、オピニオンダイナミクスのモデルに、イノベーションの普及に関する理論を組み合わせ、イノベーションの普及についての考察を試みる。

2. 理論

2.1 オピニオンダイナミクス

オピニオンダイナミクスのモデルとしては、人々の

意見を 2 値（0 か 1 または -1 か 1 ）の離散的な値とする数理モデルと、人々の意見を数値化し連続的に分布すると考えるモデルの二つが知られている。

フランスやアメリカの大統領選挙 [8]、ブレイグジットでみられた国民投票 [9] では、離散的な 2 項理論を適用することができる。2 値理論の代表的な数理モデルとしては、Granovetter によって提案された Voter モデル [10–12] のほか、Galam の磁気物理学の理論 [13] や局所多数派理論があげられる [8,9]。

Voter モデルには多くの発展形が提案されているが、基本は選挙での投票行為に代表される 2 択（採用する/しない）の記述を目的にしている。標準的な Voter モデルでは、意見は $s = \pm 1$ とされる。 i の意見を s_i とする。全体を N 人とし、全体での意見の集合を $S = \{s_i\}$ とする。また S と s_k の値だけ異なっている意見の集合を S^k とする。すると、時刻 t での全体の意見分布が S となる確率を $P(S, t)$ とした場合、以下の方程式で求められる。

$$\frac{d}{dt}P(S, t) = \sum_k [W_k(S^k)P(S^k, t) - W_k(S)P(S, t)]$$

ここで、 $W_k(S)$ はスピン s_k を反転させる確率、 $W_k(S^k)$ は S と s_k だけ異なっているスピンの集合を意味している。

一方、意見を 0 から 1 の連続値で表現するオピニオンダイナミクス理論の数理モデルは、Bounded Confidence Model [14–16] と呼ばれ、人々が意見交換によって合意の妥協点を見つけることが前提となっている。主だったモデルとしては、Deffuant-Weisbuch Model [17,18] と Heselmann-Krause Model [19] が知られている。Bounded Confidence Model [14–16] の基本的な考え方は、個人 i が周囲の人々の意見に影響され、自身の意見も変わるというものである。

Heselmann-Krause Model は以下で定義される。

ふじい まこと
鳥取大学大学院工学研究科
〒 680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地
fjmkt369@gmail.com
いしい あきら
鳥取大学工学部
〒 680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地
ishii@tottori-u.ac.jp

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^N D_{ij} x_j(t)$$

意見 x_i の閾値は $0 \leq x_i(t) \leq 1$

ここでは N 人を想定し、 $1 \leq i \leq N$ として時点 t での個人 i の意見を $x_i(t)$ と書く。係数 D_{ij} は N 人中のすべての組み合わせ i, j について正の実数でさまざまな値を取り、 $D_{ij} = 0$ ならば個人 i は j の意見を無視することを意味する。また意見の閾値が $0 \leq x_i(t) \leq 1$ であることから、このモデルでは係数 D_{ij} が負の値を取ることを想定していない。意見は $0 \sim 1$ の連続値を取り（1 が同意、0 が無関心）、反対意見の仮定はない。つまり暗黙に合意形成を前提としていることがみてとれる。

しかしながら、実社会においては、人々の合意形成は時として大変難しいケースもありうることをわれわれは知っている。そこで石井らは、合意形成するのが難しい問題に対処するために、Heselmann-Krause Model [19] を拡張し、オピニオンダイナミクス理論に人々への信頼の欠如を含めたモデルを提唱している [20, 21]。石井らは係数 D_{ij} の意味を信頼係数と修正し、 i と j の間に信頼関係があるなら $D_{ij} > 0$ 、不信の関係なら $D_{ij} < 0$ と仮定している。そして人々は自分たちの意見から遠く離れた意見に対して同意または反発することなく無視するものと見なし、彼/彼女自身に非常に近い意見の影響は特に受けないと仮定している。この二つの過程を含め、Ishii [21] は Heselmann-Krause Model [6] で用いられた $D_{ij} x_j(t)$ 項の代わりに、以下の関数を使用している。

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

I_i は個人 i の意見、 I_j は個人 j の意見であり、正か負の値を取る。ここで、

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

さらに石井らの提唱しているモデルでは、マスメディアの影響とトピックの忘却が加味されている [21, 22]。人間同士の接触（情報交換）のほかにも、マスメディアからもたらされる情報は、世論形成や人々の意見を左右するため、オピニオンダイナミクス理論としても重要な項となる。また時間の推移を考慮した際、問題とされている事項そのものが古くなり人々の関心が薄れていく効果を考慮することもオピニオンダイナミクス理論としては重要なポイントと考えられる。

マスメディア効果に関しては、 $A(t)$ を時間 t におけ

る外部からの圧力、各エージェントの反応差が係数 C_i で表されている。係数 C_i はひとり一人に異なる値をもつことができ、 C_i は正または負になることができる。係数 C_i が正の場合、個人 i はマスメディアの方向に向かって意見を移動する。逆に係数 C_i が負の場合、マスメディアの方向に逆らって人の意見が変わる。また指数減衰関数を導入することで、問題の忘却に対応している。この二つの効果を含めると、エージェントの意見の変化は次のように表すことができる。

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

Fujii and Ishii [23] ではこのモデルをベースに、同意を採用、不信を拒絶と意味を置き換え、シミュレーションの途中からエージェントを追加して意見の推移を観察した。シミュレーション全体を $N = 300$ として、最初から市場に存在する消費者を N_{ini} 、あとからシミュレーションに参入してくる消費者を N_{user} 、つまり $N = N_{ini} + N_{user}$ となる。また消費者の当該市場への後からの参入については、以下のように定義し、順次市場に参入してくると仮定した。

$$N_{user} = \frac{(N - N_{ini})}{2} (\tanh(t) + 1)$$

この研究から、マスメディアが市場に一律な影響を与えたとき、人々の意見の分布はメディア主導に偏っていることが示された。またマスメディアがまず N_{ini} に影響を与え、次いで N_{user} に影響を与えることを確認した。人と人とのつながりが強いと、他人の影響を受けやすくなることも示された。つまり、あとから市場に参入する消費者の意見を採用（プラス）にするためには、事前に市場に存在するプラス意見をもつ消費者、採用を促すマスメディア、そして密集した人々のネットワークが必要であることが示された。

2.2 イノベーションの普及

イノベーションとは、個人あるいはほかの採用単位によって新しいと知覚されたアイデア、習慣、あるいは対象物であり、その普及とはイノベーションが、あるコミュニケーション・チャネルを通じて、時間経過の中で、社会システムの成員間に伝達される過程とロジャーズは定義している [7]。マーケティングの文脈では、携帯電話カテゴリーにおけるスマートフォン (iPhone) やヨーグルト市場でのギリシャヨーグルト Chobani は、イノベーションの好例であるといえる。

また普及過程の本質は情報交換であり、情報交換を

通じて人は新しいアイデアをほかの人たちに伝達する。イノベーションが存在しているという情報を潜在的に伝達するのに最も早く効率的な方法はマスメディアであり、人を説得して新しいアイデアを受入れさせるには、対面的な情報交換が有効だとされている。対象物の伝播・伝搬という点においては、インフルエンザや新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) と同様に捉えることも可能かもしれないが、イノベーションを認知したあと、それを自身の判断で採用または拒絶できるという点においては大きく異なる。採用/拒絶の選択において、イノベーションの優劣や需要は普及に大きな影響をあたえるが、本論ではイノベーションの優劣自体は議論せず、オピニオンダイナミクスを活用したイノベーションの普及に焦点を当てる。

Fujii and Ishii [23] では、エージェントを N_{ini} と N_{user} に分けてシミュレーションを実行したが、イノベーションの普及においてロジャーズは、消費者を革新性に基づいた採用者カテゴリー五つに分類している。そこで本研究ではエージェントを五つの採用者カテゴリーに分類し、イノベーションの伝播 (採用と拒絶) の推移を考察する。

採用者カテゴリーとは、個々人の革新性に基づいて社会システムの成員を区別したものであり、革新性とは社会システムに属する他の成員と比較して、自身が新しいアイデアや製品を相対的に早期に採用する度合いとしている [7]。

五つの採用者カテゴリーとは、①イノベータ、②初期採用者、③初期多数派、④後期多数派、⑤ラガードである。

イノベータは冒険的であり、社会システムのゲートキーパーの役割を果たしている。つまり、五つの採用者カテゴリーの中で最も早くイノベーションを採用する層である。初期採用者は、潜在的な採用者にとってイノベーションに関する情報源となるオピニオンリーダー的存在である。初期多数派はイノベーションの採用に際しては慎重派ではあるが、普及過程におけるつなぎ役であり、対人ネットワークにおける相互連絡役も担う重要なカテゴリーでもある。後期多数派は、イノベーションに対して懐疑的であるといわれており、採用率が 50% を超えてからイノベーションを採用する。後期多数派にとって、仲間内の圧力はイノベーション採用を動機づけるのに必要とされている。ラガードは、社会システムのなかで最後にイノベーションを採用するカテゴリー。イノベーションの採用に最も時間の掛かるカテゴリーである。

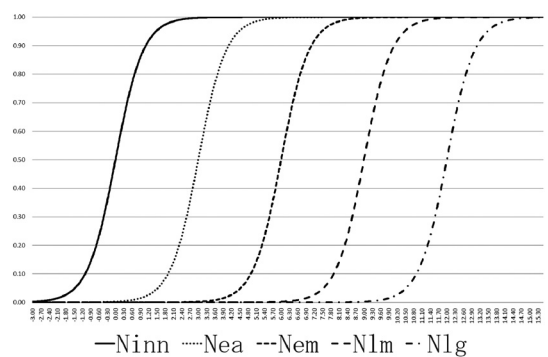


図 1 各採用者カテゴリーのイノベーション採用タイミング

3. モデリング

エージェントのシミュレーションへの投下については、本研究でも Fujii and Ishii [23] と同じ関数を採用するが、各採用者カテゴリーがイノベーションを採用するタイミングについては以下のとおり時間差を考慮している (図 1)。

$$\text{イノベータ: } N_{inn} = \frac{(\tanh(t)+1)}{2}$$

$$\text{初期採用者: } N_{ea} = \frac{(\tanh(t-3)+1)}{2}$$

$$\text{前期多数派: } N_{em} = \frac{(\tanh(t-6)+1)}{2}$$

$$\text{後期多数派: } N_{lm} = \frac{(\tanh(t-9)+1)}{2}$$

$$\text{ラガード: } N_{lg} = \frac{(\tanh(t-12)+1)}{2}$$

Ishii [21] モデルをベースに、エージェントを五つの採用者カテゴリーに分類し、意見の初期分布、信頼係数、メディア係数の接続確率の操作を行い、イノベーションの伝播の変遷を計算する。

最初の計算例として、1,000 人で計算された結果を図 2 に示している。イノベータの初期の意見分布は ± 30 、人々のネットワークはリンク接続確率が 50% のランダムネットワークと設定している。1,000 人の間の D_{ij} 値は、 $-1 \sim 1$ の均一乱数により決定される。図からわかるように、人々の意見はポジティブとネガティブであるが、人々の意見は完全に散らばっている。マスメディア効果 $A(t)$ を 0 と設定して計算しているため、意見分布はバイアスがなく正と負になる。そして人の意見が正負に一律に分布しているにもかかわらず、全体としてはある程度の均衡が取れているように見える。また計算された分布からわかるように、意見分布の均一な分布から始めて、わずかな差のある計算はある程度広がり均衡しているが、最終的な意見の分布は均一ではない。計算された分布からいくつかの意見グループを見つけることができる。そして採用曲線 (赤) と拒絶曲線 (青) はともに S 字曲線を描いていること

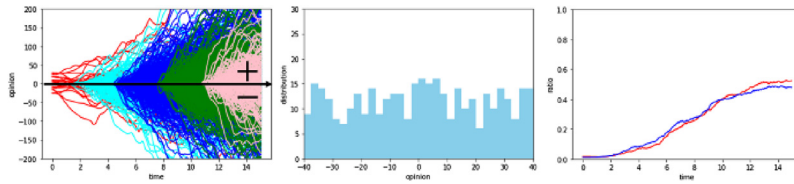


図2 $N = 1,000$ の計算結果. 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. 左図は各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). 中図は本計算の最終時点での意見の分布. 右図は採用 (+) と拒絶 (-) の比率の時系列変化 (赤: 採用, 青: 拒絶). D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定されているため, すべての人がすべての人を信頼または不信している. メディア効果はゼロ ($A(t) = 0$).

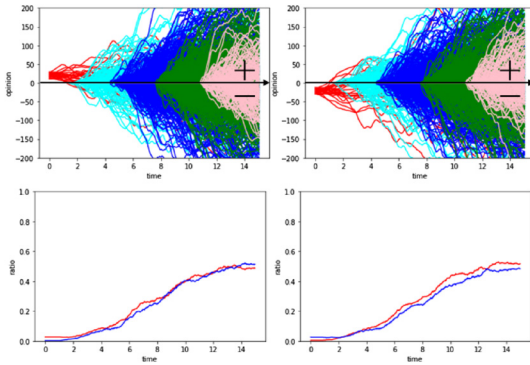


図3 $N = 1,000$ の計算結果. 左図: イノベータの初期の意見分布 = $10 \sim 30$. 右図: イノベータの初期の意見分布 = $-10 \sim -30$. 各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定されているため, すべての人がすべての人を信頼または不信している. メディア効果はゼロ ($A(t) = 0$).

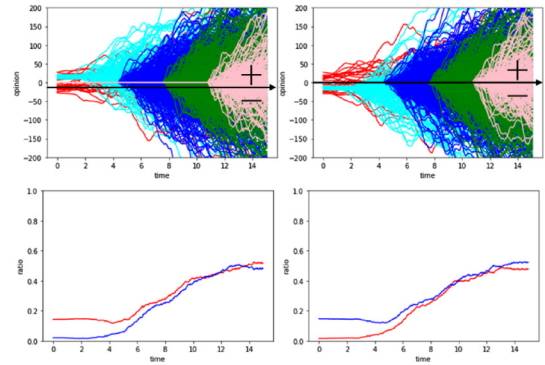


図4 $N = 1,000$ の計算結果. 左図: 初期採用者の初期の意見分布 = $10 \sim 30$. 右図: 初期採用者の初期の意見分布 = $-10 \sim -30$. 各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). イノベータの初期の意見分布 ± 30 . 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定されているため, すべての人がすべての人を信頼または不信している. メディア効果はゼロ ($A(t) = 0$).

も確認できる. 本論では, この計算結果をベースにシミュレーションを実行する.

4. シミュレーション

4.1 意見の初期分布の操作

図2ではイノベータの初期の意見分布を ± 30 に設定したが, $10 \sim 30$ と $-10 \sim -30$ とバイアスをかけ, 普及の伝播を観察する. 図3の左図はプラス, 右図はマイナスからイノベータの意見分布をスタートさせているが, 採用 (プラス) と拒絶 (マイナス) のシェアは拮抗しているようにみとれる. これは信頼係数 D_{ij} がランダム ($-1 \sim 1$) に設定されているうえ, プラスまたはマイナスに偏らせるバイアス変数が意見の初期値以外に存在しないため, 人々が意見交換をしている過程で均一化されていくからだと考えられる.

また採用者カテゴリーのうち, 初期採用者が普及の鍵を握るとされているため, 初期採用者の意見分布も

偏らせ計算した結果が図4である.

初期採用者の意見をプラスからスタートさせたシミュレーションの前半ではプラスの比率が高く, マイナスの場合はマイナスの比率が高いが, シミュレーション後半ではプラス/マイナスの比率は同程度という結果を得た. こちらも信頼係数 D_{ij} がランダム ($-1 \sim 1$) に設定されているうえ, プラスまたはマイナスに偏らせるバイアス変数が意見の初期値以外に存在しないため, 人々が意見交換をしている過程で平準化されていくものと考えられる.

4.2 信頼係数 D_{ij} の操作

では初期採用者がほかの採用者カテゴリーから信頼されていたらどうであろうか. ここでは基本条件は図4と同じとしつつも, 初期採用者, 初期多数派, 後期多数派, ラガードから初期採用者への信頼係数を $1 \sim 2$ (非負) と設定し, シミュレーションを実行する (図5).

初期採用者の初期の意見分布がプラスの場合はプラス、マイナスの場合はマイナスの比率が上をいっていることが確認できる。これは初期採用者がイノベータ以外の採用者カテゴリーから信頼されているので、初期採用者の意見が他3カテゴリーに影響を与えていると考えられる。しかしながら初期採用者が信頼されているという状態は、イノベーションを普及させたい側からすると、毒にも薬にもなるということを示唆しており、初期採用者を味方につけておくための施策（採用方向に歪める変数）が必要ということになる。

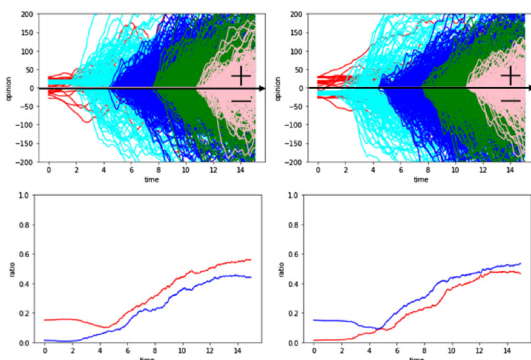


図5 N = 1,000 の計算結果. 左図: 初期採用者の初期の意見分布 = 10~30, 右図: 初期採用者の初期の意見分布 = -10~-30. 各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). イノベータの初期の意見分布 ± 30 . 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. 初期採用者, 初期多数派, 後期多数派, ラガードから初期採用者への D_{ij} はランダムに 1 から 2, それ以外の D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定. マスメディア効果はゼロ ($A(t) = 0$).

4.3 マスメディア効果の操作

一定のマスメディア効果をオピニオンダイナミクス理論に適用し、その影響が各採用者カテゴリーと採用（プラス）と拒絶（マイナス）の比率にどのような影響を与えるのか考察する。すなわち、 $A(t) = Ac$ であると想定する。ここで Ac は定数値である。図 6 は図 2 と同じ計算条件で計算したものだが、メディア効果 $A(t)$ はゼロではない。ここで図 6 では、 $A(t) = 2.5, 5, 10$ であると仮定している。 $A(t) = 2.5$ と 5 を比較して、 $A(t) = 5$ の意見分布は、正の意見に向かってよりバイアスがかかっているように見える。

$A(t) = 10$ のケースでは、計算された意見分布は明らかに正方向に歪んでいる。これは石井らのオピニオンダイナミクス理論において、メディア効果が市場の意見をメディア主導の方向に偏らせる現象を、定性的に説明していることがみとれる [22]。その効果は、イノベータだけではなく、後から参入してくる採用者カテゴリーにも同様の効果を示している。また先に市場に存在し、より長くマスメディアに接触している採用者カテゴリーの方が、より強くメディアの効果を受けるようにみとれる。その結果、より多くの採用（プラス）意見の人と接触することで、後から参加してくる採用者カテゴリーの意見に影響を与えと考えられる。

ほかのシミュレーション条件が同じである場合、より大きなマスメディア（広告）変数を投下することによって、メディアが主導したい方向に採用者カテゴリーの意見を歪ませることができることを示唆している。また $A(t) = 2.5, 5, 10$ の比率（図 6 下折れ線グラフ）を比較した場合、2.5 と 5 の差と比較して、5 と 10 の比率差が大きいことが確認できる。これはマスメディ

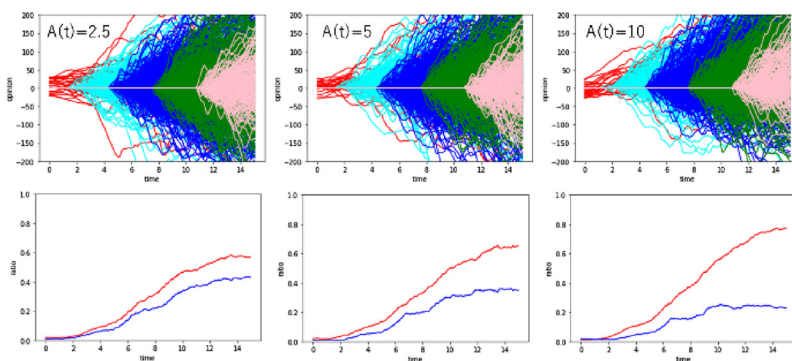


図6 N = 1,000 の計算結果. 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. 上図三つは各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). 下折れ線グラフは採用 (+) と拒絶 (-) の比率の時系列変化. D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定されているため、すべての人がすべての人を信頼または不信している。マスメディア効果は左より $A(t) = 2.5, 5, 10$.

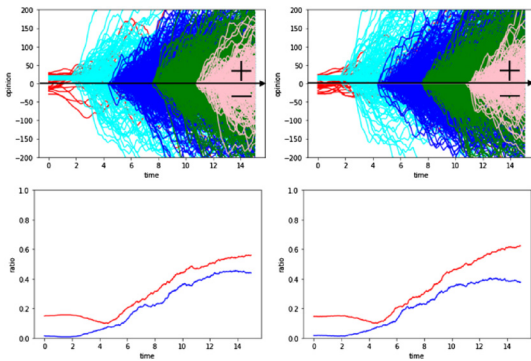


図7 N = 1,000 の計算結果. 左右図とも、イノベータの初期の意見分布 ± 30 . 初期採用者の初期の意見分布 = 10~30, 各採用者カテゴリーの意見軌跡の時間発展 (左より, Ninn, Nea, Nem, Nlm, Nlg). 人的ネットワークはリンク接続確率 0.5 のランダムネットワーク. 初期採用者, 初期多数派, 後期多数派, ラガードから初期採用者への D_{ij} はランダムに 1 から 2, それ以外の D_{ij} はランダムに -1 から 1 に設定. メディア効果: 左図 $A(t) = 0$. 右図 $A(t) = 5$.

ア (広告) 変数が, イノベーションの普及 (伝播) に機能する閾値が存在する可能性を示唆している (今回のケースでは 5~10 の間).

ついで初期採用者の信頼係数が非負の設定でマスメディア変数を操作したシミュレーションを実行する. イノベーション伝播の鍵となる初期採用者が当該イノベーションの採用にプラスで, イノベータを除く採用者カテゴリーが初期採用者を信頼している環境下で, 採用 (プラス) 方向のマスメディア変数を設定した場合のシミュレーションとなる (図 7).

マスメディア変数が投下されているので, 左図と比較して, 右図の方が正にバイアスがかかっていることが確認できる. また採用 (プラス) と拒絶 (マイナス) の比率の時系列グラフでは, シミュレーション前半の動きは左右ともに同じような動きをしているが, 後半では拒絶 (マイナス) が失速し, 採用 (プラス) の比率が伸びていることが確認できる. オピニオンリーダーと目される初期採用者がイノベーションの採用にプラスで, ほかの採用者カテゴリーから信頼を得ており, メディアが正の意見に投下される好環境が構築できれば, 多数派の取り込みが期待できることを示唆している結果といえる.

5. 議論

人間関係に信頼と不信の両方を組み込んだ, 石井らの新しいオピニオンダイナミクス理論をベースに, 採用者カテゴリー (イノベータ, 初期採用者, 初期多数派,

後期多数派, ラガード) を組み込んだシミュレーションを実施した. 今回のシミュレーションでは, エージェントを 1,000 に設定し, 人々を結ぶ信頼度係数 D_{ij} を 2 パターンで実行している. 一つは D_{ij} を -1~1 の乱数に設定した. したがって, D_{ij} が正の値をとる確率と負の値をとる確率は, それぞれ 50% となる. もう一方では, 初期採用者, 初期多数派, 後期多数派, そしてラガードから初期採用者への信頼係数を 1~2 の乱数に設定した. 人から人への接続は, 完全なネットワークの一部であるランダムネットワークで, ノード間のリンクの確率は 50% に設定した.

採用者カテゴリーの構成については, イノベータ 2.5%, 初期採用者 13.5%, 初期多数派 34%, 後期多数派 34%, ラガード 16% に設定している. 各採用者カテゴリーの革新性について採用順序は明確であるが, 各採用者カテゴリーの採用曲線については $\tanh$ にて逐次的にシミュレーションに加わるよう設定した. 各採用者カテゴリーの詳細な採用曲線については, カテゴリーなどによっても大きく異なることが想定されるので, 目安となる軸を設定し, 詳細に検討する必要がある.

図 3, 4 では, 意見の初期分布を操作したシミュレーションとなっている. 図 3 ではイノベータを, 図 4 では初期採用者の初期の意見分布をそれぞれ採用 (プラス) と拒絶 (マイナス) に設定してシミュレーションを実行している. イノベータや初期採用者の初期の意見分布が採用 (プラス) でも拒絶 (マイナス) でも, どちらでスタートさせても, 採用/拒絶の比率に大きな差をみることができなかった. マスメディアの影響や信頼係数を操作しない限り, 市場の人々の意見は平準化されていくと推察される. 市場がホットなときは油を注ぎ, 炎上している場合は (適切な対応は必要だが) 過度な対応は取らずとも, いずれ落ち着く可能性を示唆している.

図 5 は信頼係数 D_{ij} を操作したシミュレーションとなっている. イノベーションの普及において, 初期採用者は, オピニオンリーダーの役目を期待されている採用者カテゴリーである. そこでイノベータを除く採用者カテゴリーは初期採用者を信用する (非負) とした. 結果, 初期採用者の初期の意見分布が採用 (プラス) の場合, 採用 (プラス) の比率が高い傾向にあり, 拒絶 (マイナス) にある場合は, その逆の傾向にあることを確認した. 初期採用者が常に味方である保証はないので, 初期採用者を対象としたキャンペーンの実施など, きめ細やかな対応が必要なことを示唆している.

図 6 と 7 では、メディア効果の操作によるシミュレーションとなっている。ここではメディアの効果により、人々の意見はメディアに向かって歪むことが示された。特にメディア効果 $A(t) = 5$ と 10 では大きな差を確認した。メディアが効果を発揮する閾値の存在を示唆していると考えられる。しかしながら今回は、マスメディアやデジタルメディアなど、複数のメディアを想定したシミュレーションまでは実行できていないので、今後検討を重ねていきたい。

図 7 では、初期採用者の初期の意見分布、信頼係数、そしてメディア効果を加えたシミュレーションとなっている。信頼されている初期採用者が、イノベーションの普及に対してポジティブであり、さらにメディアの影響でプラスに向かってバイアスがかかっていくので、イノベーションの普及に関しては絶好の環境といえる。初期採用者の正の初期意見分布、他採用者カテゴリーからの信頼、正方向へのメディアバイアス、それぞれを構築していくことが重要であるといえる。

6. むすびにかえて

本稿では、石井らの提案する人間関係への信頼と不信の両方を含む新しいオピニオンダイナミクス理論を使用して、採用者カテゴリーの意見推移の影響を確認した。マスメディアの影響が一律に市場に影響を与えると、人々の意見分布はメディア主導の方向に偏っていることが示された。その際には、まず先に市場にいる人に影響を与え、その後イノベーションを採用するカテゴリーに影響を与えることが観察された。先行して市場に存在するプラスの意見をもった初期採用者の存在、採用を促す一定数以上のマスメディア、そして初期採用者への信頼が普及を促進することが確認された。

オピニオンダイナミクス理論に基づいた採用者カテゴリーの意見推移のメカニズムの解明は、マーケティングやマスメディアの研究に役立つ、今回はその計算社会科学手法を提供した。しかしながら、人の意思決定に影響を与えるメディアの影響はマス広告、デジタル広告、SNS など多岐にわたり、その影響力は一律ではない。また人々の採用タイミングも消費者個々人の関与の高低による部分が大きい。本論では便宜上一定としている。メディア効果の異質性、そして本論では紙面の都合上割愛した人々のネットワークとその接続確率を考慮したモデルの構築が残された課題といえるだろう。

参考文献

- [1] J. R. P. French, "A formal theory of social power," *Psychological Review*, **63**, pp. 181–194, 1956.
- [2] F. Harary, "A criterion for unanimity in French as theory of social power," *Studies in Social Power*, D. Cartwright (ed.), Institute for Social Research, Ann Arbor, 1959.
- [3] R. P. Abelson, "Mathematical models of the distribution of attitudes under controversy," *Contributions to Mathematical Psychology*, N. Frederiksen and H. Gulliksen (eds.), New York, NY: Holt, Rinehart, and Winston, 1964.
- [4] M. H. De Groot, "Reaching a consensus," *Journal of the American Statistical Association*, **69**, pp. 118–121, 1974.
- [5] K. Lehrer, "Social consensus and rational agnolology," *Synthese*, **31**, pp. 141–160, 1975.
- [6] S. Chatterjee, "Reaching a consensus: Some limit theorems, In *Proceedings International Statistical Institute*, pp. 159–164, 1975.
- [7] E. M. Rogers *Diffusion of Innovations*, 5th Edition, Free Press, 2003. (三藤利雄 訳『イノベーションの普及』, 翔泳社, 2020)
- [8] S. Galam, "The Trump phenomenon: An explanation from sociophysics," *International Journal of Modern Physics B*, **31**, 1742015, 2017.
- [9] S. Galam, "Are referendums a mechanism to turn our prejudices into rational choices? An unfortunate answer from sociophysics," *The Routledge Handbook to Referendums and Direct Democracy*, Chapter 19, L. Morel and M. Qvortrup (eds.), Taylor & Francis, London, 2017.
- [10] M. Granovetter, "Threshold models of collective behavior," *The American Journal of Sociology*, **83**, pp. 1420–1443, 1978.
- [11] P. Clifford and A. Sudbury, "A model for spatial conflict," *Biometrika*, **60**, pp. 581–588, 1973.
- [12] R. Holley and T. Liggett, "Ergodic theorems for weakly interacting infinite systems and the voter model," *The Annals of Probability*, **3**, pp. 643–663, 1975.
- [13] S. Galam, "Rational group decision making: A random field Ising model at $T = 0$," *Physica*, **A238**, p. 66, 1997.
- [14] W. Jager and F. 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**, pp. 295–303, 2004.
- [15] W. Jager and F. Amblard, "Multiple attitude dynamics in large populations," Presented in the Agent 2005 Conference on Generative Social Progress, Models and Mechanisms, October 13–15, 2005 at The University of Chicago.
- [16] E. Kurmyshev, H. A. Juarez and R. A. Gonzalez-Silva, "Dynamics of bounded confidence opinion in heterogeneous social networks: Concord against partial antagonism," *Physica*, **A390**, pp. 2945–2955, 2011.
- [17] G. Deffuant, D. Neau, F. Amblard and G. Weisbuch, "Mixing beliefs among interacting agents," *Advances in Complex Systems*, **3**, pp. 87–98, 2000.

- [18] G. Weisbuch, G. Deffuant, F. Amblard and J. P. Nadal, “Meet, discuss and segregate!” *Complexity*, **7**(3), pp. 55–63, 2002.
- [19] R. Hegselmann and U. Krause, “Opinion dynamics and bounded confidence: models, analysis and simulation,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, **5**(3), 2002.
- [20] A. Ishii and Y. Kawahata, “Opinion dynamics theory for analysis of consensus formation and division of opinion on the internet,” In *Proceedings of the 22nd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2018)*, pp. 71–76; arXiv:1812.11845 [physics.soc-ph], 2018.
- [21] A. Ishii, “Opinion dynamics theory considering trust and suspicion in human rerations,” *Group Decision and Negotiation: Behavior, Models, and Support: GDN 2019. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 351, D. Morais, A. Carreras, A. de Almeida and R. Vetschera (eds.), Springer, Cham, pp. 193–204, 2019.
- [22] A. Ishii and N. Okano, “Sociophysics approach of simulation of mass media effects in society using new opinion,” In *Advances in Intelligent Systems and Computing as the Proceedings of IntelliSys 2020*, pp. 13–28, 2021.
- [23] M. Fujii and A. Ishii, “The simulation of diffusion of innovations using new opinion dynamics,” The 5th International Workshop on Application of Big Data for Computational Social Science (ABCSS2020 @ WI-IAT 2020).