

伝播規則にゲーム理論を用いたスケールフリーネットワーク上の技術革新伝播 ～初期状態における技術革新採用者をハブに配置した計算機実験～

谷 研究室 安藤 勇希
Yuuki Andou

概要

ネットワーク上の技術革新伝播において、ゲーム理論を用いてモデル化した研究が行われた。技術革新伝播は情報の伝播と同じく、人のネットワーク上で行われている。そのため、実験ではネットワークのモデルを BA モデルとした。更に、イノベーター理論によると、伝播のためにハブ（アーリーアダプター）が重要になってくるという。そこで、次の 2 点を検証するため、計算機実験を行った。1) 初期状態において、ランダムに技術革新採用者を配置した場合とハブに技術革新採用者を配置した場合とで伝播速度はどのように違ってくるのか。2) ハブが常に技術革新を取り続ける場合とそうでない場合とで伝播速度はどのように違ってくるのか。

1 はじめに

自然現象や社会現象のいたるところに、ネットワークとみなせる事象が存在する。例えば、SNS、電話などの通信網、道路などの交通網などがある。ネットワークは、グラフあるいはその亜種を考える事で、形式的にモデル化することが可能である。このことにより、様々な現象を数理的に解析したり、コンピュータを用いたシミュレーションによる計算機実験を行う事ができる。このような解析対象の一つに、ネットワーク上の情報の伝播がある ([1])。例えば近年、著しく普及して来た Twitter や Facebook などの SNS 上で、噂やデマが短期間で広範囲に伝播していることが多々ある。技術革新の伝播もネットワーク上の伝播とみなすことができる。技術革新とは経済において利益をもたらす技術上の発明、つまり、新しい機器や新しい医療技術など、今までとは違った新しい機器やサービスのことである。

噂やウィルスの伝播と技術革新の伝播では、前者は人の感情などに左右されずに広まっていくが、後者は人の感情、周囲の環境などの影響を受けた上で広まって行くという違いがある。そのような、技術革新の伝播をゲーム理論を用いてモデル化した研究が Andrea Montanaria と Amin Saberib により行われた ([2])。この研究に基づいていくつかのスケールフリーグラフ上での計算機実験を行った。論文 [1] 上では、初期状態における技術革新採用者をランダムに設定するが、本研究の計算機実験では、初期状態における技術革新採用者をノード全体の 16 % のハブノードに設定した。16 % とした理由は、イノベ-

ーター理論に基づく。イノベーター理論とは、1962 年に米・スタンフォード大学の社会学者、エベレット・M・ロジャース教授 (Everett M. Rogers) が提唱したイノベーション普及に関する理論。商品購入の態度を新商品購入の早い順に五つに分類したものである ([3])。早い順に、イノベーター、アーリーアダプター、アーリーマジョリティー、レイトマジョリティー、ラガードである。イノベーター理論の分類の中で、イノベーターは少人数であり、重視するポイントが商品の新しさそのもので、商品のベネフィットにあまり注目していない。一方、アーリーアダプターは新しいベネフィットに注目していて、他の消費者への影響力が大きいことから、新しいベネフィットを自らのネットワークを通じて伝えてくれ、オピニオンリーダーとも呼ばれる。オピニオンリーダーとは、交際範囲が広く、周囲への影響力が大きい人をいう。例をあげると、ファッション業界におけるモデルやタレントや、医療品業界における著名教授などである。この 2 者まで普及するかどうかは次のアーリーマジョリティー、レイトマジョリティーに広がるかどうかの分岐点になる。このことから、ロジャース教授はアーリーアダプターを重視し、「普及率 16 % の論理」として提唱している。これらのことから、実際には技術革新普及の初期の段階で技術革新を採用する者には、ソーシャルネットワーク上のハブとなっている者が多いのではと推察した。そのため、本研究では論文 [2] に基づきシミュレーションプログラムを作成し、初期状態における技術革新採用者を、ハブに配置した場合とランダムに配置した場合とを比較するた

めのシミュレーション計算機実験を行った。また、アーリーアダプターは革新技术から従来技術に戻る事はないと推察し、ハブが常に技術革新を取り続ける場合とそうでない場合との比較するためのシミュレーション計算機実験を行った。

2 定義

2.1 ゲーム理論

ゲーム理論は、経済社会において相互依存関係にある消費者や企業などのプレイヤーたちが、どのようにして戦略を立て行動するのかという、戦略形成の仕組みと原理を学ぶとともに、そのようなプレイヤーたちの闘いの結果、いかなる社会状態が生じるのかを研究する学問分野である ([4])。ゲーム理論では、ある一連の事象を解析するために、以下の4点を定義することが一般的である。

1. ゲームを支配するルール
2. ゲームにおける目的達成に向けた行動 (戦略) の意思決定を行う主体 (プレイヤー)
3. プレイヤーの選択可能な行動 (戦略)
4. プレイヤーの意思決定を左右する情報

これらを数学的に見れば、あるゲームを以下の4つの要素で定義できる。

1. プレイヤー及びゲーム全体の制約条件
2. プレイヤーの集合
3. 書くプレイヤーの取りうる行動の集合
4. 各プレイヤーの行動の関数となる利得集合

2.2 スケールフリー性

一部のノードが他のたくさんのノードとエッジで繋がっており、大きな次数を持っている。その一方で、多くのノードはごくわずかなノードとしか繋がっておらず、次数は小さいという性質である。次数の大きなノードは「ハブ」とも呼ばれる。ある性質は人間のソーシャルネットワークも持ち合わせていると言われているため、今回の研究に採用した ([5])。

2.3 論文 [2] の定義

各ノード i が取る戦略 $x_i \in \{+1, -1\}$ がランダムグラフ上を拡散していくには i に隣接するノード $N(i)$ が取る戦略に影響される。隣接するノード $N(i)$ と i との行動に

よる i の利得は 2×2 の行列で表される。

$$\begin{pmatrix} a & c \\ d & b \end{pmatrix}$$

隣接するノード $N(i)$ が戦略 $+1$ を取る時 $N_+(i)$ 、戦略 -1 を取る時 $N_-(i)$ とする。 $a > d$ 、 $b > c$ 、 とすると、 $(a-d)N_+(i) \geq (b-c)N_-(i)$ となる時 i は 戦略 $+1$ を取り、それ以外時は戦略 -1 を取る。 $h = \frac{a-d-b+c}{a-d+b-c}$ 、 $h_i = h|N(i)|$ とすると、 x_i の符号は $h_i + \sum_{j \in N(i)} x_j$ と等しくなる。ここで $a-b > d-c$ を仮定すると 0 以外の次数を持つ全ての i に対して $h_i > 0$ となる。この環境でノイズがある最適対応ダイナミクスを調べていく。ノイズとは、人の感情や周囲の環境などの影響から発生するものである。このダイナミクスでは、ノードが行動を改める時、最適な対応行動を 1 に近い確率で選択する、それでも劣る利得と代替戦略を選択する小さな確率がある。ノイズを表す数値として β を指定する。 $0 \leq \beta \leq \infty$ とし、 $\beta = \infty$ の場合はノイズが無く、最適対応ダイナミクスを取る。ノード i が行動 y_i を取る確率は、

$$p_{i,\beta}(y_i|x_{N(i)}) = \frac{e^{\beta y_i(h_i + \sum_{j \in N(i)} x_j)}}{e^{\beta(h_i + \sum_{j \in N(i)} x_j)} + e^{-\beta(h_i + \sum_{j \in N(i)} x_j)}}$$

であるので、 y_i を取る確率は $\frac{1}{2} \sim 1$ となるのが分かる。最終的にすべてが戦略 $+1$ を取る事を目的とし、そのことを $T+$ とする。

3 実験

3.1 スケールフリーグラフ

今回は同じ谷研究室の蔡延安氏の作成したプログラムを使用して、ネットワークを生成した。モデルはBAモデルである。BAモデルは、1999年にBarabasiとAlbertによって提案されたモデルで、2人の頭文字をとってBAモデルと呼ばれる ([5])。BAモデルでは、成長と優先的選択によって、ベキ分布に従う次数分布を持つグラフを得る事ができる。

3.2 プログラムの作成

各ノードがどちらの戦略を取るのかをゲーム理論を用いて決定するため、隣接するノードが取る戦略に基づき利得を計算し、選択する戦略を決定するアルゴリズムを使用。その後ノイズによって、逆の戦略を取りうるようにした。ハブが常に技術革新を取り続ける場合のプログラムも作成した。

3.3 シミュレーション

まず、ノード数 10 万のスケールフリーグラフを 100 個生成する。そして、利得行列とノイズの指標 β の組み合わせ 9 パターンに対して、前述のシミュレーションプログラムで 100 回ずつ試行した。利得設定行列のパターンは、周囲に戦略 +1 を取るノード $N_+(i)$ の割合が 5% 以上、20% 以上、33% 以上あればノード i は +1 を取るという 3 パターンと、 β の値が 4, 3.37, 2.84 という 3 パターンで、合計 3×3 の 9 パターンとなる。さらに、ハブが常に技術革新を取り続ける場合も考慮し、そちらもパターンごとに 100 回ずつ試行した。尚、初期状態における技術革新配置がランダムの場合との比較のために 10.5% 以上、 $\beta = 4, 3.37$ の 2 パターンも用意した。何回目で T_+ に収束するかを計測し、平均、最大値、最小値を比較する。比較の対象は、技術革新採用者をランダムに配置した場合とハブが常に技術革新を取り続ける場合である。

4 実験結果

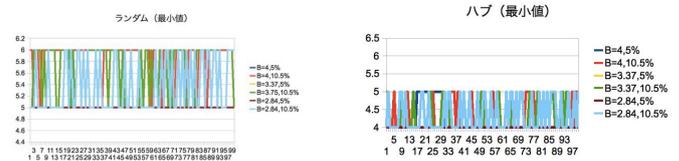


図 3:ランダム (最小値) と ハブ (最小値)

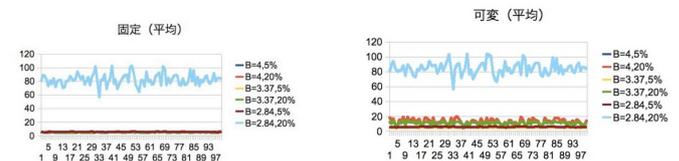


図 4:固定 (平均) と 可変 (平均)

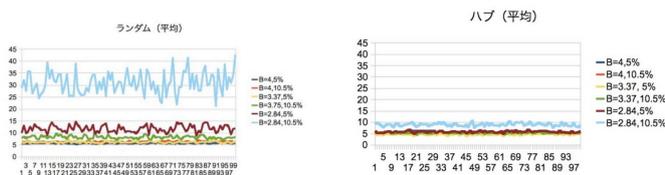


図 1:ランダム (平均) と ハブ (平均)

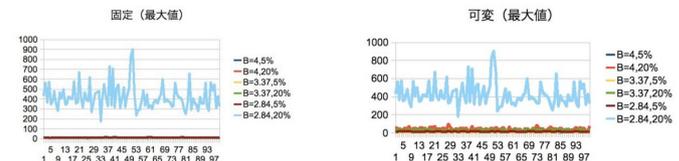


図 5:固定 (最大値) と 可変 (最大値)

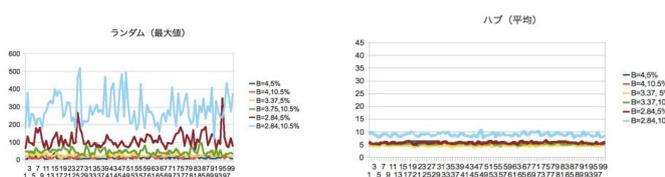


図 2:ランダム (最大値) と ハブ (最大値)

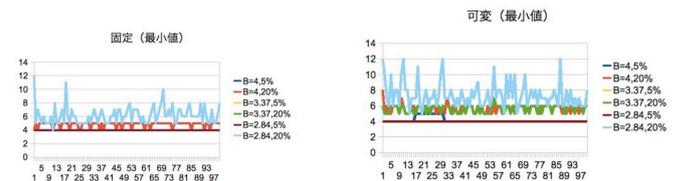


図 6:固定 (最小値) と 可変 (最小値)

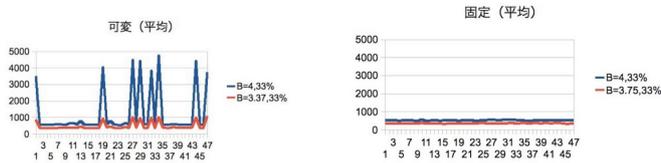


図 7:固定 (33 %) と 可変 (33 %)

5 考察

初期状態で技術革新採用者をランダムに配置する場合とハブに配置する場合とでは，明らかにハブに配置する場合の方が伝播速度が早くなるという結果が得られた。これは，ハブ（アーリーアダプター）がオピニオンリーダーとして機能すると考えられる。ハブが常に技術革新を取る場合とそうでない場合は，伝播条件が良い場合は前者の方が伝播速度が早くなった。しかし，伝播条件によっては，伝播速度が同等，もしくは逆転する結果も出た。更に， β が大きいほど伝播速度は早くなると考えていたが，利得設定が悪くなるにつれて， $\beta=4$ と 3.37 の伝播速度が逆転してしまった。これは常に技術革新を取る場合とそうでない場合の両者に該当した。

今後の課題のための疑問を 2 つ挙げる，1 つは伝播条件に差があるにもかかわらず，伝播速度が同等，もしくは逆転したこと。もう 1 つは，ノイズがある程度発生する伝播条件の方が，ノイズフリーに近い伝播条件より伝播速度が早くなったこと。このことから，今後の課題として，伝播条件を細かく設定し，伝播速度の傾向を観察することがあげられる。また，伝播状況を観察するシミュレーションプログラムを作成し，ノイズの有益性について検証することも今後の課題である。

参考文献

- [1] E.Bakshy, I.Rosenn, C.Marlow, L.Adamic, “The Role of Social Networks in Infomation Diffusion”, ar Xiv : 1201.4145(2012)
- [2] A.Montanaria, A.Saberi : “On the Spread of Innovations in social networks”, PNAS, 107(47) (2010), PP.20196-20201.
- [3] G.A.MOORE, “Crossing the Chasm: Marketing and Selling High-Tech Products to Mainstream Customers” , Harper Business Essentials (1991).
- [4] 佐々木宏夫：“入門 ゲーム理論 戦略的試行の科学”，(2003)
- [5] 今野紀雄・井出勇介：“複雑ネットワーク入門”，(2008)