

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ランダムに配置した計算機実験～

谷 研究室 帆苅裕貴
Yuuki Hokari

概要

ネットワーク上の技術革新の伝播において、ゲーム理論を用いて技術革新採用の要因を周囲の影響に限定してモデル化した研究がなされている。その研究では、人が真に合理的な行動するわけではないことから、技術革新を採用するかどうかの意思決定にノイズが混入する場合の技術革新伝播が議論されている。また、技術革新伝播は人のソーシャルネットワーク上で行われている。人のソーシャルネットワークはスケールフリー性を持つと言われており、BA モデルはスケールフリーネットワークを生成する手法の 1 つである。そこで、技術革新を採用するかの基準となる利得やノイズが発生する確率を変更することで、すべての人間が技術革新を取り入れるまでの時間がどのように変化するかを検証するため、BA モデルで生成したネットワーク上でシミュレーション計算機実験を行った。

1 はじめに

自然現象や社会現象の中にネットワークとみなすことができる現象が多々ある。鉄道路線や高速道路などの迂回可能な交通網、人間や組織のつながりによる社会的ネットワークがその例である。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できる。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 1 つに、ネットワーク上の情報の伝播がある。

技術革新とは新たな技術のひろがりの事をいう。技術革新の採用の要因として値段、実用性、必要性、将来性、周囲からの影響などが考えられる。今回は技術革新の採用の要因を周囲からの影響に限定したモデルを扱う。周囲からの影響が技術革新採用者に影響する例として、携帯型ゲームがあげられる。携帯型ゲームは友人と同じゲームと一緒に遊びたくなる、周囲の携帯型ゲームを持っている人が増えるほど自分も買いたくなる。これは、周囲に技術革新採用者がいると自分も採用した方が利得が高くなる。このような周囲からの影響により、自分の利得を最大化する最適行動戦略をゲーム理論を用いてモデル化し、技術革新の伝播の解析を行う研究が知られている。しかし、人間は常に自分の利得を最大化する最適行動戦略を選択するとは限らない。例えば、感情に影響され、最適行動に反する意思決定を行うこともありうる。それを一定の確率で最適な行動を選択しないノイズとしてモデル化した研究

が Andrea Montanaria と amin Saberi により行われた ([2])。そこで本研究ではこの研究に基づき、技術革新を採用するかの基準となる利得やノイズが発生する確率を変更することで、すべての人間が技術革新を取り入れるまでの時間がどのように変化するかを検証するため、シミュレーション計算機実験を行った。人のソーシャルネットワークはスケールフリー性を持つと言われてるため、本研究ではスケールフリーネットワークを生成する手法の 1 つである BA モデルを用いてシミュレーションを行うネットワークを生成した。初期状態における技術革新採用者をランダムに全体の 16 % のノードに設定した場合に、すべてのノードが技術革新を採用するまでにかかる時間を利得とノイズを変えて比較するため、いくつかのスケールフリーグラフ上でのシミュレーション計算機実験を行った。

2 ゲーム理論

ゲーム理論とはある特定の条件下において、お互いに影響を与え合う複数のプレイヤーの間で生じる戦略的な相互関係を研究する数学の一分野である。

3 スケールフリー性

スケールフリー性は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いるが、それ以外の大多数のノードは限られたノードとしかエッジで繋がっておらず、エッジ数が少ないという性質である。人間関係をみると一部の人間は非常に多くの知人をもっているが大多数の

人間は知人の数が限られており、人間関係のスケールフリー性を持つと言われている。そこで今回の技術革新のネットワークのモデルにスケールフリー性をもつ BA モデル。

4 利得

ここでの利得は周囲のプレイヤーの戦略と自分の戦略で決まる。技術革新を採用することを +1, 採用されないことを-1 で表わす。

定義

各ノード i の戦略を $x_i \in \{+1, -1\}$ i に隣接するノードを $N_{(i)}$ が +1 をとるとき $N_{+(i)}$, -1 をとるとき $N_{-(i)}$ とする。
 $a > d, b > c$ とすると $(a - d)N_{+(i)} - (b - c)N_{-(i)}$ となるときは +1, それ以外の場合は -1 をとる。

1. $x(i)$ の戦略 +1, $x(j)$ の戦略 +1 のとき, 利得は a
2. $x(i)$ の戦略-1, $x(j)$ の戦略-1 のとき, 利得は b
3. $x(i)$ の戦略-1, $x(j)$ の戦略 +1 のとき, 利得は c
4. $x(i)$ の戦略 +1, $x(j)$ の戦略-1 のとき, 利得は d

$$h = \frac{a - d - b + c}{a - d + b - c}$$

$$h_i = h|N(i)|$$

とすると x_i の符号は $h_i + \sum_{j \in N_{z(i)}} x_j$ の符号と等しくなる。

5 ノイズ

ノイズは、人間が感情や環境から受ける影響により、最適行動戦略に反した意思決定を行う場合をモデル化したものである。ノイズにより、一定の確率で最適行動戦略に反して行動を決定する計算を行う。

定義

1. ノイズ $(0 \sim B)$
2. $B = 0$ のとき、ノイズ最大
3. $B = \infty$ のとき、ノイズフリー

ノード i が行動 y_i となる確率は
 $e^{h_i + \sum_{j \in N_{(i)}} x_j}$ に比例している。条件付き分布が

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

となるので、 y_i となる確率は $\frac{1}{2} \sim 1$ となる。すべてのノードが +1 となる時間を T_+ とする。

6 実験内容

1. 谷研究室の蔡延安氏作成のスケールフリーネットワークのプログラムを使用し、ノード 10 万のスケールフリーネットワークを 100 個作成する。
2. 利得パターン A: $a = 100, b = 30, c = 20, d = 5$
 利得パターン B: $a = 100, b = 30, c = 20, d = 15$
 ノイズ $B = 4, 3.37, 2.84$
 $B = 4$ の場合がノイズフリーに近い状態に設定した。以上の 6 パターンを用意。
3. BA 法で生成したノード数 10 万の 100 個のネットワークに対して、すべてのノードが +1 になるまえにかかる時間 T_+ を計測するシミュレーション計算機実験を 100 回試行した。

7 実験結果

- 利得パターンA, T_+ の平均
- 利得パターンB, T_+ の平均

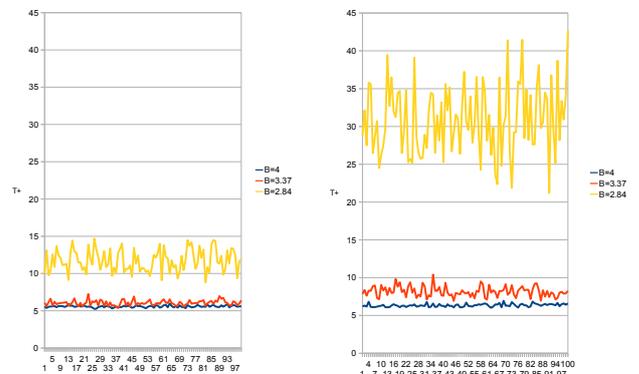


図 1: 利得パターン A と利得パターン B の T_+ の平均

- 利得パターンA, T+の最大値
- 利得パターンB, T+の最大値



図 1:利得パターン A と利得パターン B の T+ の最大値

8 考察

の差が大きくなるほど伝播速度が早くなるという結果が得られた。これは a と b の差が大きいほど +1 を持つ周囲のノードの割合が少なくてすむため,+1 を取りやすくなると考えられる。

ノイズフリーに近づくほど伝播速度が早くなるという結果が得られた。これは利得が +1 を取りやすいように設定してあるため、最適行動戦略をとる確率が高いほうが +1 を取りやすくなると考えられる。

今後の課題として、利得が +1 を取りにくい場合のノイズの影響を検証するため、利得を細かく設定し、伝播速度を観察する。

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] 佐々木宏夫 : “ 入門 ゲーム理論 戦略的試行の科学 ” (2003)
- [4] 今野紀雄・井出勇介 : “ 複雑ネットワーク入門 ” (2008)