

複雑ネットワーク上の Schelling モデル An Experiment of Schelling Segregation Model on Social Networks

臼井 充瑠[†] 塩谷 勇[‡]
Mitsuru Usui Isamu Shioya

1. はじめに

本論文では、Schelling モデルをグラフ上の辺の近傍に影響されて頂点を自律的に移動する複雑ネットワーク上のエージェントの振る舞いに対応して拡張した Schelling の分居モデルを考察し、WS モデルや BA モデルのグラフについて「分居」が見られるか実験を行ったので報告を行う。

人間社会において人種ごとに分かれて住み、交じり合おうとしない「分居」という現象が見られる。この現象の仕組みについて考察するためにトーマス・シェリングが提案した「Schelling の分居モデル」がある [1]。

提案に従って平面格子状点上にエージェントを配置して近傍との繋がりによる相互作用から、シミュレーションによって分居を確かめることができる。

現代社会では、エージェントの住居の近所という繋がりばかりではない。グラフの頂点をエージェント、辺を二つのエージェントの間の繋がりとするならば、SNS 等のネットワーク社会の現象解明にも利用できる。

2 研究の目的

Schelling の分居モデルでは、チェス盤上でのムーア近傍の関係との関係を調べているが、本論文では複雑ネットワークの特性を利用して人工的に作った社会での分居の様子を測定し、その結果から現実の社会を予測するのが目的である。

3. 複雑ネットワーク上の Schelling モデル

2次元空間に存在するグラフのノード上に赤エージェントと青エージェントの二種類が存在している人工社会を考える。各エージェントの色は特性を表しており、シミュレーションが終了するまで不変である。1つのノードに複数のエージェントが存在することはできない。本研究では各ノードは40%を赤エージェント、40%を青エージェント、20%を空いている状態となるような確率でランダムに配置される。

3.1. 使用するグラフ

本シミュレーションで使用するグラフは以下の4種類である。

- (1) ムーア近傍で接続された格子グラフ
- (2) Watts-Strogatz (WS) モデル
- (3) Barabasi-Albert (BA) モデル
- (4) Facebook の サークルグラフ

各グラフの特徴量を下の表1に示す。

表1 ネットワークの特徴量

	ノード	エッジ	クラスター係数	平均次数	直径
ムーア近傍	441	1640	0.4633	7.4376	20.0000
WSモデル	441	882	0.0902	4	9.0000
BAモデル	441	1314	0.0595	5.9592	6.0000
Facebook	4039	88234	0.6055	43.691	8.0000

(1) ムーア近傍で接続された格子グラフ

21×21の格子グラフであり、Schellingの分居モデルで使われているグラフと同じものである。ノード数は441で、エッジ数は1640である。

(2) Watts-Strogatz (WS) モデル

ノード数は441、平均次数は4、枝の繋ぎ変え確率 $p=0.5$ で生成した Watts-Strogatz モデルのグラフである。確率的に変化するグラフなので、今回の実験では同じ条件で5つのWSモデルのグラフを作成し、使用する。

(3) Barabasi-Albert (BA) モデル

初期状態のノード数3、ノード数は441で生成した Barabasi-Albert モデルのグラフである。確率的に変化するグラフなので、今回の実験では同じ条件で5つのBAモデルのグラフを作成し、使用する。

(4) Facebook の サークルグラフ

Facebook アプリを利用して調査参加者から収集された Facebook の「サークル」または「友達リスト」のグラフである [2]。

ノード数は441で、エッジ数は1640である。

3.2. 各エージェントの行動ルール

赤、青エージェントはそれぞれ次のような行動ルールに従って行動する。

(1) シミュレーション開始時に、各ノード上にエージェントが確率的に発生する。この時決定した色はシミュレーション終了時まで不変である。

(2) 毎ステップ、1つのエージェントを選択する。選択されたエージェントは自分の存在しているノードから接続しているノードを見て、満足度を計算する。満足度がある閾値 θ を超えていた場合はそのエージェントは現状に満足していると判断し、そのノードに留まる。満足度が閾値 θ 未満の場合は現状に場所に満足していないと判断し、空いているノードに移動する。また、満足度は次のように計算する。

自分の存在しているノードから接続しているノードに存在する同種エージェントの数
自分の存在しているノードから接続しているノードに存在する同種エージェントの総数

(3) 各エージェントの移動のルールは3種類あり、この移動ルールはシミュレーションが終了するまで不変である。1つ目はグラフ全体のノードを探索し、空いているノードに移動するという方法である。もともと存在していたノードは移動後に空いているノードになる。2つ目は移動するエージェントが存在するノードから、エッジを辿って2回以内で移動できる範囲の空いているノードに移動する方法である。3つ目は移動するエージェントが存在する

[†] 法政大学 Hosei University

[‡] 法政大学 Hosei University

ノードから、エッジを辿って3回以内で移動できる範囲の空いているノードに移動する方法である。

(4) 移動が終了したら(2)に戻り、これを繰り返す。満足していないエージェントが存在しなくなるか、10万ステップ後にシミュレーションを終了する。

(5) シミュレーション終了後に分居度を計算する。分居度とは全エージェントの満足度の平均のことである。

4.シミュレーション結果とモデルの評価

上記の行動ルールに従って、満足度の閾値 θ を20%から90%まで10%刻みで変化させて実験を行った。

(1) ムーア近傍で接続された格子グラフ

まず、ムーア近傍で接続された格子グラフにおいて、それぞれの移動方法で10回のシミュレーションを行い、要求満足度 θ と分居度の関係の平均値を図1に示す。

ムーア近傍で接続された格子グラフでは先行研究と同じように分居の存在が確認できた。どの移動方法を用いても、要求満足度 θ が70%までは θ が上がると分居度も増加していたが、80%以上になると低下した。このような結果は要求している水準が高すぎるために集団の形成が上手く出来ないことが原因であると考えられる。

移動方法による変化はほとんど確認できなかった。

(2) Watts-Strogatz (WS) モデル

同様に、それぞれの移動方法で Watts-Strogatz (WS) モデルの各グラフに対して10回のシミュレーションを行い、要求満足度 θ と分居度の関係の平均値を図2に示す。

WSモデルの結果はとして特徴的なのは、 θ が60%の時、分居度が最大になり、それ以上 θ の値を上げると分居度は低下するということである。このような結果はムーア近傍で接続されたグラフに比べて、直径と平均次数が小さいことが原因であると考えられる。

全体のノードから移動先を決める方法での結果のほうがグラフを辿って移動する方法の結果に比べて、分居度が小さくなる傾向が確認できた。

(3) Barabasi-Albert (BA) モデル

Barabasi-Albert (BA) モデルでのシミュレーション結果の詳細は公演地時に述べる。

結果として特徴的なのは、WSモデルと比較して分居度の最大値が小さくなっていることである。これは、BAモデルがスケールフリー・ネットワークなのでハブになっているノードに存在するエージェントの色の影響を多くのエージェントが受けることが原因であると考えられる。移動方法による変化はほとんど確認できなかった。

(4) Facebook の サークルグラフ

Facebook のサークルグラフでのシミュレーション結果の詳細は公演地時に述べる。

結果として特徴的なのはWSモデルやBAモデルと同じように、 θ が60%までは分居度が単純に増加するが、 θ が70%を超えると大幅に減少する点である。また、ほかのグラフと比較して θ が20%~30%の時の分居度が小さい。この原因として考えられるのは、平均次数とクラスター係数が高く、少量のエージェントのつながりで高い満足度が出てしまっているノードが少なくなっているからであると考えられる。

5.結論

本研究は地理的なエージェントの分居だけではなく、社会の変化によって実現されたネットワークにおけるエージェントの分居を Schelling モデルによるシミュレーションを用いて検討した。今回の WS モデルと BA モデルの結果と、現実のデータである Facebook の友達リストによるモデルの振る舞いを比較すると、現実の社会の一面を上手く再現しているように思える。本論文ではそれぞれのモデルの振る舞いの一例であり、グラフ生成のためのパラメータを変更することによって、どの程度結果の変化が生じるのかということや、現実に存在するエージェント同士のつながりとの比較については十分分析できていない。それらは今後の課題としたい。

このようなシミュレーションは現実に発生している問題を考えるうえで、問題の理解の手助けになる有効な手段の一つである。

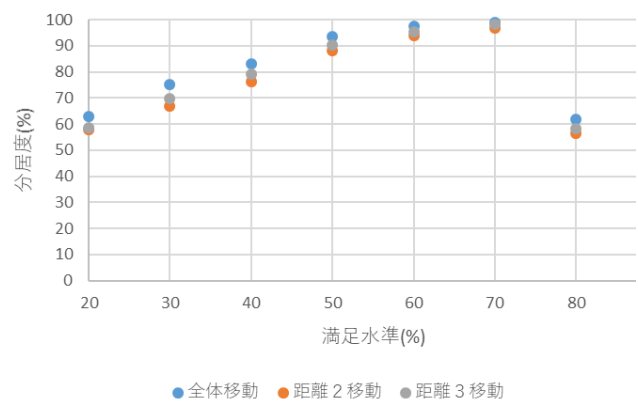
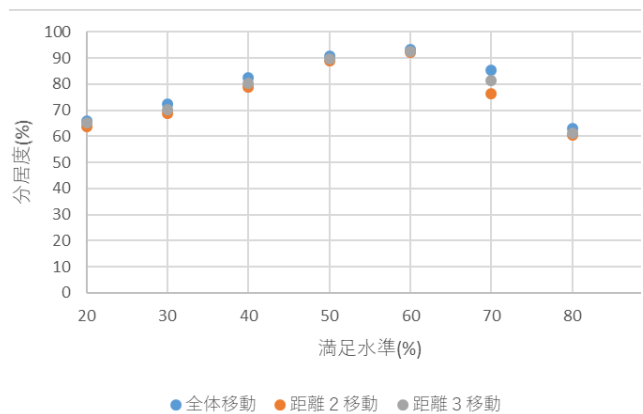


図1 ムーア近傍で接続された格子グラフ



4
図2 WSモデル

参考文献

- [1] Thomas SCHELLING, 1969, "Models of Segregation," American Economic Review, Vol.59, No.2, pp.488-493.
- [2] SNAP - Social circles: Facebook (<https://snap.stanford.edu/data/egonets-Facebook.html>)