

# 社会ネットワークにおける感染症伝染シミュレーション

笠井賢紀<sup>†1</sup> 赤松正教<sup>†1</sup> 古川園智樹<sup>†2</sup> 井庭崇<sup>†1</sup>

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学 総合政策学部

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

## 1 はじめに

近年、AIDS や SARS の伝染に代表されるように、感染症が大きな脅威となっている。感染症では地理空間的な近接性だけではなく、社会ネットワーク上での繋がりも大きく影響する。しかし、社会ネットワークには様々な構造があり、その構造によって感染の過程や有効な対策は異なる。そこで、本研究では、ネットワークの構造が感染過程や対策にどのような違いをもたらすかを明らかにする。

社会ネットワーク上での感染症伝染は、より抽象的にいうならば、情報の伝播と捉えることができる。そのため、本研究で明らかにされた成果は他分野にも適用可能だと期待される。

## 2 モデル

本研究では、成長するネットワークの研究における代表的なネットワーク形成方式である「ランダム追加方式」、「優先的追加方式」、「適応度を付与した優先的追加方式」で作られたネットワークを用いる[1][2]。用いるモデルは、初期ノード集団が徐々に感染して単調減少（または不変）するモデルとしても、成長するネットワーク上での感染症伝染モデルとしても用いることができる<sup>1</sup>。

一定のステップ  $s$  ( $s$  は任意の自然数) が経過すると、感染性ウィルスが一つのノードに潜伏する。潜伏期間  $lp$  ( $lp$  は任意の範囲内の乱数) が過ぎると発症し、発症が確認された  $i$  ステップ後 ( $i$  は任意の自然数) に当該ノードはネットワークから隔離される。潜伏期間中と発症期間中のどちらでも、関係を結んでいるノードに一定間隔  $pt$  ( $pt$  は任意の自然数) で感染する<sup>2</sup>。このとき、感染相手は関係を結んでいるノードからランダムに選択される (図 1)。

本研究で構築したモデルでは、関係を結んでいるノードのうち一定数  $in$  (受検決定基準  $in$  は任意の自然数) が発症している場合に「検査」に行く。検査に行くと潜伏期間の場合でも、一定の割合  $cr$  ( $cr$  は 0

<sup>1</sup>成長するネットワーク上で行う場合、シミュレーションのステップごとにノードが追加され、新規ノードは選択したネットワーク形成手法に従って既存ノードと関係を結ぶ。

<sup>2</sup>ここまでのモデルは感染症研究の伝統的なモデルである SIR モデルと同様である (S = susceptible: 未感染ノード, I = infectious: 感染ノード, R = removed: ネットワーク外に排除されたノードの意味)。SIR モデルでは、感染症は「低成長期」、「爆発的成長期」、「衰退期」の各段階を経る [3]。

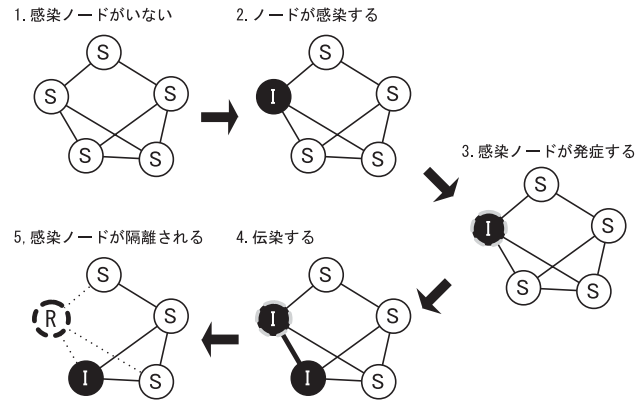


図 1: モデルの概略図

から 100 までの整数) で陽性だと認定し、そのノードが隔離される<sup>3</sup>。

本研究ではシミュレーションの開始時に、いずれかの追加方式で形成された  $N$  個 ( $N$  は自然数) のノードが既にあるネットワークを用いる。

## 3 シミュレーションの結果と考察

### 3.1 実験 1: ネットワークの構造と感染ノード数の変遷との関連

潜伏期間  $lp$  を 50 から 120 ステップの範囲、 $i$  を 10 ステップ、 $s$  を 15 ステップに設定して、「検査無し」で、ネットワークの構造を変えてシミュレーションを行った<sup>4</sup>。この実験では「ランダム追加方式」、「優先的追加方式」、「適応度を付与した優先的追加方式」の各方式で 300 ノードのネットワークを初期状態として準備した。

成長を続けるネットワークと続けないネットワークのそれぞれでシミュレーションを行ったところ、総ノード数の変遷は図 2 に示すグラフのようになった。

ノード数の変遷は「維持期」、「減少期」、「安定期」に分けられる。維持期は本実験では 0 ステップから 150 ステップ前後までである。維持期は感染症の低成長期であり、発症ノードが無いためにネットワークが

<sup>3</sup>本研究で用いるモデルでは、関係を結んでいるノードに発症者がいない場合に自動的に検査に行くことを想定していない。従って偽陽性 (false positive) は発生しない。

<sup>4</sup>本研究では Boxed Economy Project が開発している Boxed Economy Simulation Platform を用いてシミュレーションを行う。

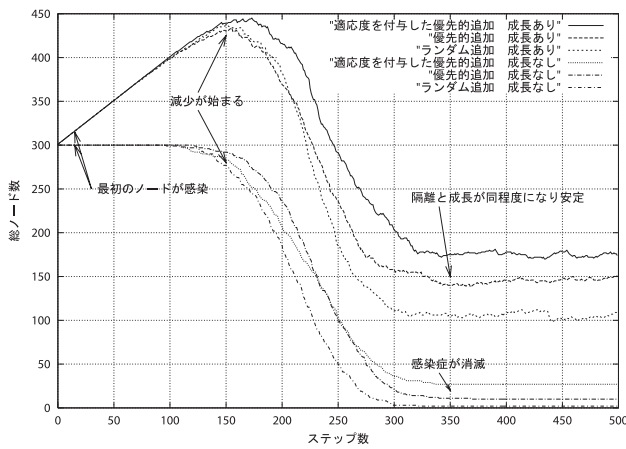


図 2: ネットワークの構造とノード数の変遷

構造とノード数を維持し続ける。

減少期は 150 ステップから 300 ステップまでである。減少期は感染症の爆発的成長期にあたり、感染と、維持期に感染したノードの発症が同時に起きるために大幅にノード数が減少する。減少期の傾きは成長の有無に関わらず、どのネットワークでもほぼ平行である。

安定期では成長の有無によって大きな違いが見られる。成長しないネットワークの安定期は、感染症の衰退期であり、感染経路の消滅によって感染症が存続しない。成長するネットワークでは、新しくネットワークに加わるノードが、既存のノードと関係を結んで感染経路が確保されるので、感染症が存続している（約半数が感染ノードである）。発症したノードの隔離と新しいノードの追加（1 ステップにつき 1 ノード）が同程度になってノード数が安定したものと思われる。

また、ネットワークの形成方式によって安定する総ノード数が異なる。成長の有無に関わらず、適応度を付与した優先的追加方式が総ノード数が最も多くなり、ランダム追加方式が最も少ない。適応度を付与した優先的追加方式によるネットワークはハブが隔離されると、ネットワーク内で孤立するノードが多く、ランダム追加方式によるネットワークではハブが無いために孤立するノードが少ないためにこのような結果が見られる [4]。

### 3.2 実験 2: 受検決定基準 $in$ と最終非感染ノード数の関連

実験 1 で用いた適応度を付与した優先的追加方式によるネットワーク（成長無し）で、受検決定基準  $in$  を 1 から 10 まで変更する試行を行った<sup>5</sup>。

検査を行わない場合に比べ、 $in$  が 1 から 3 のとき

<sup>5</sup>  $in$  以外の値は実験 1 と同様。 $in$  を 0 にすると、すべてのノードが毎ステップ検査に行くので、 $cr$  が十分な割合であれば感染症は未然に防ぐことができる。

は最終非感染ノード数が 1~2 倍程度まで増えた。 $in$  が 4 から 6 のとき、最終非感染ノード数は検査を行わない場合より少なかった。ハブが早く隔離されるほど感染は防げるので、 $in$  が 4 から 6 のとき、感染の経路が変わってハブへの感染が遅かったと思われる。 $in$  が 7 以上のときは検査を行うノードは存在しなかった。

## 4 おわりに

実験により、ネットワーク構造が感染症の伝染過程に及ぼす影響の一端が見られた。示した 2 つの実験のほかにも、シミュレーションの設定を変更することで様々な示唆が得られると思われる。今後は免疫をノードに付与したり、感染ノードが治癒するといったことをモデルに加えたい。

本研究で構築したモデルは、社会ネットワーク上で感染症伝染だが、感染性ウィルスを情報と捉えれば、情報伝播のモデルとしてそのほかの社会現象にも適用可能であると考えられる<sup>6</sup>。

## 謝辞

本研究に貴重なアドバイスをくださった、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの小堤音彦さんと岩崎未央さんに感謝したい。

## 参考文献

- [1] Albert-László Barabási, Linked: The New Science of Networks, Persus Publishing, 2002 (アルバート=ラズロ・バラバシ, 新ネットワーク思考: 世界のしくみを読み解く, 日本放送出版協会, 2003)
- [2] 古川園智樹, 石元龍太郎, 小林慶太, 笠井賢紀, 赤松正教, 井庭崇「社会ネットワークの形成過程シミュレーション: マルチエージェント・モデルによる表現と拡張」情報処理学会: SIG-ICS&人工知能学会: SIG-KBS 合同研究会, 軽井沢, 2004 年 8 月
- [3] Duncan J. Watts, Six Degrees: The Science of a Connected Age, W.W.Norton & Company, 2003 (ダンカン・ワッツ, スモールワールド・ネットワーク: 世界を知るための新科学的思考法, 阪急コミュニケーションズ, 2004)
- [4] 赤松 正教, 古川園 智樹, 笠井 賢紀, 青山 希, 井庭 崇, 「成長するネットワークのシミュレーションとその拡張: 世代交代モデルの提案」, 情報処理学会 MPS シンポジウム「複雑系の科学とその応用」, 名古屋, 2004 年 10 月

<sup>6</sup> 今後モデルに加える「免疫」は「情報を受け取らない」ことであるし、「治癒」は「受け取った情報を破棄する」ことである。