

社会的ネットワークを考慮した感染対策のシミュレーション分析

香川大学 賛助会員 ○池奥啓太 香川大学 正会員 紀伊雅敦

1. はじめに

新型コロナウイルス感染症は、パンデミックを引き起こし、多くの犠牲者を出してきた。その感染症対策検討の基礎情報として、SIR モデル等の集計的モデルによるシミュレーションが活用され、この知見に基づき、政府は不要不急の外出自粛要請や緊急事態宣言などの対策を実施し、人流や人々の接触機会が抑制されてきた。これまでの接触機会の抑制は、感染を抑制する一方、経済活動も抑制するため、経済活動と両立しうる感染対策が求められている。本研究では、感染のマイクロシミュレーションモデルを用い、経済活動と両立しうる感染対策の可能性を検討する。

2. マイクロシミュレーションモデルの概要

本モデルでは、エージェントの人的ネットワークをスケールフリーネットワークで表現し、そのネットワーク上でエージェント間の COVID-19 の感染をシミュレートする。

エージェントの感染の推移は、Truskowska et al.¹⁾のモデルに基づく。エージェントは、健康な状態 (S)、感染しているが無症状の状態 (E)、感染していて有症状の状態 (Sy)、感染から回復し免疫を持っている状態 (R) の4つのいずれかの状態をとる。健康な人が感染すると、まず無症状の状態となり、潜伏期間終了までその状態を保つ。本モデルでは潜伏期間は6日であり²⁾、潜伏期間中でも感染力を持つと仮定している。潜伏期間が終了し、次の状態に移行する際、エージェントは27.7%の確率で発症し、72.3%の確率で無症状のまま回復し免疫を持つ³⁾。発症したエージェントは10日間その状態を保ち²⁾、その期間が終了すると回復し、免疫を持つ。エージェントの状態の推移の概要を図2.1に示す。

本モデルでは、無症状の状態のエージェントは10%の確率で、有症状の状態のエージェントは90%の確率で検査され、新規感染者とカウントされた後、10日間隔離されると仮定する。この検査の検出率は100%と仮定する。

シミュレーションではステップ Δt で、スケールフリーネットワーク上で異なるエージェントと接触し、感染確率が計算され、次のタイムステップでの状態が決定される。具体的には、時刻 t において健康な状態であるエージェント i が次のタイムステップで感染する確率 $p_i(t)$ は、次式で与えられる。

$$p_i(t) = 1 - e^{-\Delta t \Lambda_i(t)} \quad (2.1)$$

ここで、 $\Lambda_i(t)$ は時間 t での感染性関数であり、エージェント i は時刻 t で場所 l に滞在しているとする。時刻 t で場所 l に滞在するエージェントは n_l 人であり、 $\Lambda_i(t)$ は次式となる。

$$\Lambda_i(t) = \frac{1}{n_l} \sum_{k=1}^{n_l} (E_k \rho_k \beta_k + S y_k \Psi_l c_k \rho_k \beta_k) \quad (2.2)$$

E_k と $S y_k$ は、エージェント k がそれぞれ状態 E, S ならば1、そうでなければ0をとる状態変数である。また、 Ψ_l , c_k , ρ_k , β_k は感染率を表すパラメータであり、Truskowska et al. と同じ値を用いる。

以上のモデルを用い、本研究では、以下の前提条件で感染状況をシミュレートした。

- ・人口1万人の独立した10個の都市を対象とする
- ・シミュレーション期間は365日間

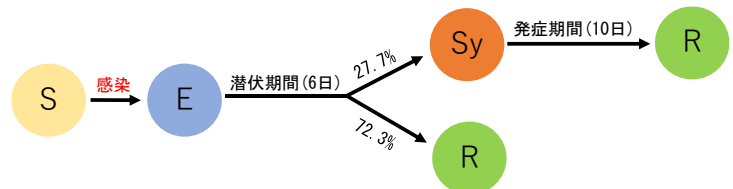


図2.1 エージェントの状態の推移の概要

- ・1日目に各都市で1人が感染する
- ・週平均の新規感染者数が0人の都市では、新たに1人の感染者が発生すると仮定

3. シミュレーション結果

上記のモデルをもとに、下記の対策の要素を加えたモデルによるシミュレーションを行った。

(1) 人流抑制による対策

(2) 濃厚接触者の特定及び隔離の徹底による対策

(1) は、週平均の新規感染者数が一定数を超えると外出を制限、一定数を下回ると制限を解除することで感染状況を再現している。この制限は、普段の外出率からさらに4%程低下させるものとしている。(2) は、新規感染者が陽性と判定される2日前から濃厚接触者となったエージェントを特定し外出制限することで、他のエージェントとの接触を遮断する対策を想定している。これらのシミュレーションによる新規感染者数の推移を図3.1に、累計感染者数の推移を図3.2に、非外出者の推移を図3.3に示す。図中において、黒線は(1)、緑線は(2)のシミュレーション結果を示している。

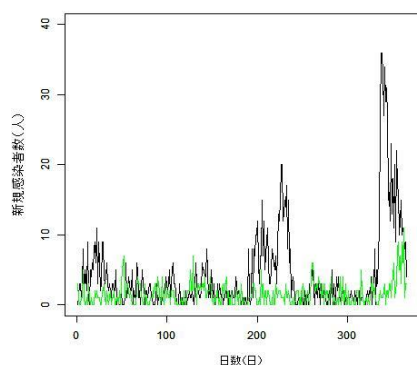


図 3.1 新規感染者数の推移

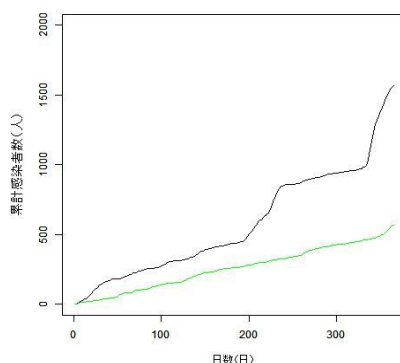


図 3.2 累計感染者数の推移

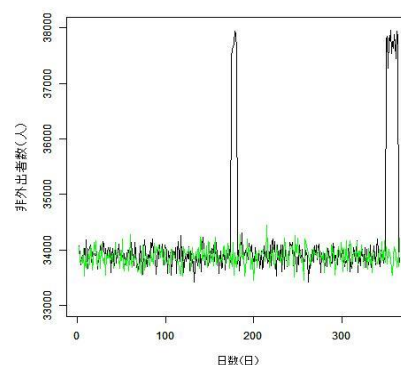


図 3.3 非外出者数の推移

4. 考察

以上より、陽性が判明したエージェントとの濃厚接触者の特定・外出制限を徹底すると、全体としてはわずかな接触機会の抑制により、感染を抑制できることが示された。特に、この方策では自覚症状がない感染者からの感染を抑えられている。また、感染者と濃厚接触者以外の接触機会を維持でき、経済活動と両立しうると考えられる。このことは、接触確認の重要性を示している。現在の濃厚接触者の特定方法は、感染者の申告に依存した方法が主流である。接触確認アプリなどIT技術の活用と、それと連動した保健行政が、感染拡大防止と経済活動の両立に有効と考えられる。

ただし、本研究では仮想的な社会を想定しており、今後、より実態に沿ったシミュレーション条件の設定が必要である。

参考文献

- 1) Agnieszka Truszkowska et al. High-Resolution Agent-Based Modeling of COVID-19 Spreading in a Small Town
ADVANCED THEORY AND SIMULATIONS Volume 4 Issue 3 pp.3-9 2021
- 2) 北海道大学大学院 医学研究院・医学院 社会医学分野 医学統計学教室
感染症数理モデル ; Sequential SEIR model <https://biostat-hokudai.jp/seirmodel/>
- 3) 健栄製薬 SARS-CoV-2 感染のうち無症状の割合
<https://www.kenei-pharm.com/medical/academic-info/overseasthesis/2021/15013/>