

# 現代の感染対策を用いる中世に起こった黒死病のシミュレーション

Amalia Mikromah (指導教員：浅本 紀子)

## 1 はじめに

2019年末に世界的に拡大したコロナウィルス感染症(COVID-19)は、人々の日常生活に多大な影響を与えた。しかし、感染症によるパンデミックは、人類の歴史において繰り返し発生してきた現象である。例えば、14世紀にヨーロッパ中心に流行した黒死病(ペスト)、1918年に発生したスペイン風邪(H1N1型インフルエンザ)、さらに2002年に流行した重症急性呼吸器症候群(SARS)など、多くの感染症が歴史的に記録されている。本研究では、感染症の歴史の中でも最も多く死者を出したとされる黒死病(Black Death)を対象に、MASの手法を用いてシミュレーションを行う。また、当時の中世社会において現代の感染対策である「隔離」と「自粛」が実施されていた場合、黒死病による死者率がどのように変化していたかについて考察する。

## 2 MASとは

Multi-Agent Simulation(マルチ・エージェント・シミュレーション)の省略であるMASは、複数のエージェント(人や生物など)が各自のルールに基づき、相互作用を伴いながら同時進行的に動作するシミュレーション(仮想実験)を指す。本研究では、構造計画研究所が開発した、クラウド上でMASを構築・実行可能なプラットフォームである「Artisoc Cloud」を利用する。

## 3 黒死病とは

黒死病(Black Death)は、1346年から1353年にかけてアフロ・ユーラシア地域で大規模なパンデミックを起こした感染症であり、その原因はペスト菌(*Yersinia pestis*)である。感染経路は、ペスト菌を媒介するノミが黒ネズミから人間感染を広げることによる腺ペストと、人から人へ飛沫感染によって伝染する肺ペストの2種類が知られている。主な症状としては、敗血症による皮膚の出血斑が体を黒くさせることがあり、多くの場合、発症から数日後に志望に至るとされる。黒死病による死者数は、当時のヨーロッパ人口の約3分の1に相当すると推定されている。

## 4 モデルの概要

本研究では、人から人への感染を引き起こす空気感染症である肺ペストを対象にシミュレーションを行った。本モデルでは、一定の広さを持つ仮想空間内で人々が共存し、感染者と健康な人というエージェントを設定する。また、空気中の病原体(virus)を変数として導入し、感染の拡大をモデル化する。具体的には、中世社会を想定した「中世モデル」と現代社会を想定した「現代モデル」の2種類のモデルを構築し、それぞれのモデルにおける死者率を比較・検討した。

### 4.1 中世モデル

中世社会においては、病気は神からの罰であるという考え方が広く信じられていた。そのため、黒死病の流行に対して、感染拡大が進んでいるにも関わらず、

人々は教会などでお祈りを捧げるという行動があった。それを表現するために、行動ルールには各エージェントが移動または静止することにする。

#### 4.1.1 感染者のルール

1. 感染者は赤色で表示される。
2. 初期状態では、全人口の3%が感染者とする。
3. 感染者は空間内を自由に移動または静止する。
4. 移動する際、自分が通過した場所に一定量の病原体を放出し、空気を汚染する。
5. 空気中の病原体の濃度が高いほど汚染が進み、時間経過(シミュレーションステップ)に応じて病原体の量が増減する。
6. 感染後7日が経過すると、80%が死亡し、20%が回復する。

#### 4.1.2 健康な人のルール

1. 健康な人はシアン色で表示される。
2. 健康な人も空間内を自由に移動または静止する。
3. 健康な人が通過した場所の空気が汚染されている場合、感染し、赤色エージェント(感染者)に変わる。

### 4.2 現代モデル

従来の中世モデルに「隔離」と「自粛」のルールを追加したモデルである。このモデルでは、健康な人が生活する社会と感染者が隔離された社会という2層の空間を設定し、感染拡大の抑制を模擬する。

#### 4.2.1 感染者のルール

1. 感染者は赤色で表示される。
2. 初期状態では、全人口の3%が感染者とする。
3. 感染者は、発症後隔離層に移動し、その後動かない。
4. 空気中の病原体は、感染者が存在する社会内の最終的に滞在していた場所でのみ汚染される。
5. 空気中の病原体の濃度が高いほど汚染が進み、時間経過(シミュレーションステップ)に応じて病原体の量が増減する。
6. 感染後7日が経過すると、80%が死亡し、20%が回復する

#### 4.2.2 健康な人のルール

1. 健康な人はシアン色で表示される。
2. 健康な人は空間内を自由に移動する。
3. 感染拡大が一定期間続いた後、移動速度を抑制するという自粛行動を実施する。(自粛行動開始のタイミングとその影響については、後述に説明する)

## 5 実行結果

### 5.1 シミュレーションの実行画面

シミュレーションを実行するには、コントロールパネル(図1)、実行画面(図2を参照)、グラフなどの出力が得られる。

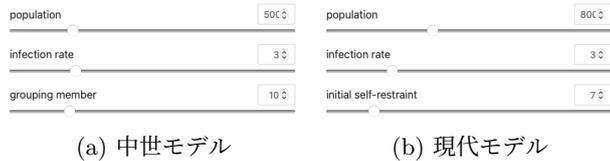


図 1: コントロールパネル

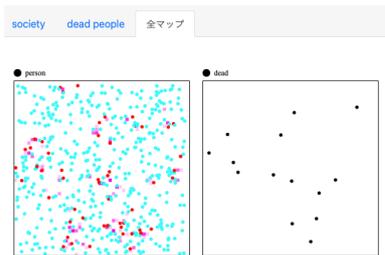


図 2: 中世モデルの実行画面

コントロールパネルで設定可能なパラメータについて以下に説明する。

1. population : 人口数
2. infection rate : 初期状態における感染率
3. grouping member : 人々が立ち止まる人数
4. initial self-restraint : 自粛行動の開始タイミング

中世モデルの実行画面では、人々の動きを妨げないように、死亡したエージェント(黒色)は別の層に移動し静止する。一方で、現代モデルでは、感染者および死亡者を隔離層に移動させる。

これらのモデルにおいて、人口数、立ち止まる人数、自粛開始のパラメータを変化させながら、それぞれのモデルにおける死者率を比較する。

### 5.2 シミュレーションの実行結果

#### 5.2.1 隔離ルールの効果

隔離ルールの効果を検証するため、各モデルにおいて人口数を増加させ、死者数の変化を観察した。本研究で定義する死者率とは、シミュレーション開始から感染者数がゼロになるまでに死亡した人数の全人口に対する割合を指す。

シミュレーションの結果、中世モデルと現代モデルの両方で、人口数が増加するにつれて死者数も増加することが明らかになった。この理由として、*society*の範囲を一定に保ったまま人口数を増加させることで、人口密度が高くなり、感染症が拡大しやすくなることが挙げられる(図3を参照)。

さらに、現代モデルにおける隔離ルールの効果を検証した結果、中世モデルと比較して、死者率が60~70%低下することが確認された。

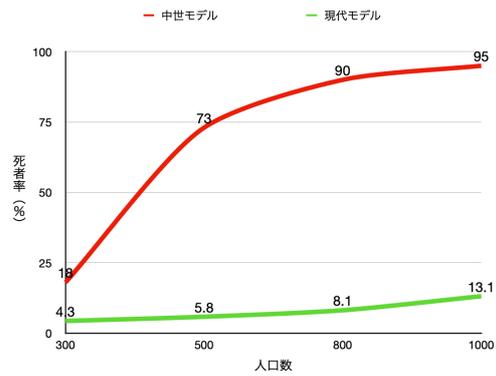


図 3: 死者率の比較

#### 5.2.2 自粛ルールの効果

自粛ルールの効果を調べるため、現代モデルを使用した。さらに、人口数を固定した上で自粛開始時期のパラメータを変動させた。その結果、自粛開始が早ければ早いほど人口密度にも関わらず死者率が減少することが確認された(図4を参照)。

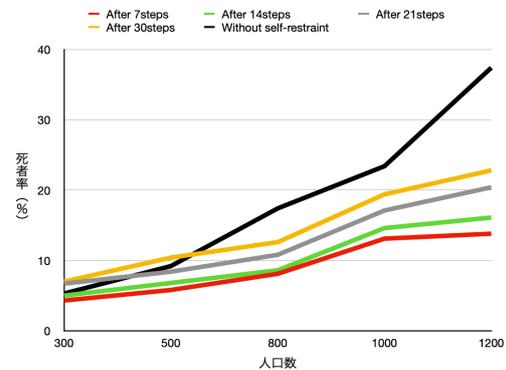


図 4: 自粛開始による死者率の変化

## 6 まとめと今後の課題

本研究では、空間感染症モデルを用いる中世モデルと現代モデルを通じて隔離と自粛の効果について検証した。今後の課題としては、黒死病の感染症をより現実に近づけたシミュレーションを目指した腺ペストの感染モデルの構築に取り組む。具体的には、ペスト菌を媒介するノミと黒ネズミをエージェントとして新たに追加する。次に、ノミが黒ネズミから人間へ感染を拡大させる腺ペストの伝播メカニズムを再現するシミュレーションモデルを検討する。

### 参考文献

- [1] 山影 進. 人口社会構築指南. 書籍工房早山, 2007.
- [2] Kathryn A. Glatler. History of the Plague : An Ancient Pandemic for the Age of Covid-19. The American Journal of Medicine. 2020.
- [3] "Plague". World Health Organization. 2022. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/plague> (参照 2024-11-1)