

同一空間内における感染拡大シミュレーションと ヒト動きモデルの検討

和光 佑紀, 有川 正俊, 高橋 秋典, 佐藤 諒

秋田大学 大学院理工学研究科

1. はじめに

感染症はヒトとヒト同士が接触することにより感染が広がっていく。感染の仕方の例として、飛沫感染や空気感染、接触感染等が挙げられる。つまり、感染の仕方には距離や、接触の時間が大きく関係することが分かる。現在、感染症の拡大に関するシミュレーション[1]は数多く存在する。同一空間内モデルやエージェントベースモデル[2]など様々であり、さらに感染症の予想を行う数理モデルや空気感染モデルが存在する。

本研究では、同一空間内シミュレーションに数理モデルを組み合わせることにより、マクロ数理モデルをミクロな視点で見ることが可能になる。発展すれば、現実的な新たなシミュレーションを試作することも可能になると考えられる。本稿では、シミュレーションの結果とモデルを比較し、ヒトの動きモデルについて検討を行う。さらによりミクロな視点な空間による空気感染の基礎シミュレーションを行い、各値の変化を比較するとともに必要なパラメータについて提案する。

2. 数理モデルと空気感染モデルの式

今回比較する数理モデルは SEIR モデル[3]であり、これはケルマック・マッケンドリック理論に基づいて作成されたものである。SEIR モデルの式は以下の連立常微分方程式で表せられる。

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -\beta S(t)I(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} &= \beta S(t)I(t) - \varepsilon E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \varepsilon E(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \gamma I(t) \end{aligned}$$

SEIR モデルとは、SIR モデルの感染者の中で感染力を持たない時期 (Exposed:以下感染待機者) と感染力を持つ時期 (Infectious:以下感染者) に分ける

An Experimental Simulation of The Spread of Infectious Diseases in The Same Space and Model of Human Movement Examination

Wako Yuki, Akita University

Arikawa Masatoshi, Akita University

Takahashi Akinori, Akita University

Sato Ryo, Akita University

モデルのことである。感受性者 (Susceptible), 回復者/隔離者 (Removed) がそれぞれの S と R に当たる。ここで β は感染率, ε は感染性を得る確率である。 $1/\gamma$ は感染性期間である。遷移の様子は図 1 のようになり、本研究で扱うシミュレーションもモデルの遷移を行うものとする。



図 1 SEIR モデルの遷移の様子

また空気感染モデルは Wells-Riley モデル[4]であり、感染確率 P は式のように表せられる。

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{Iqpt}{Q}\right)$$

I は室内の感染者数, q は人の呼吸率, p は quanta 生成量, t は時間, Q は室内の換気量となっている。

3. シミュレーションの基本モデル

今回のシミュレータは Python および C++ を使用言語として作成した。実行画面の様子を図 2 に表す。

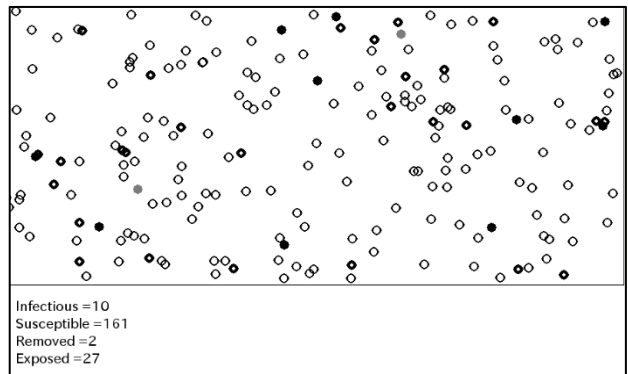


図 2 シミュレータの実行画面

図 2 のシミュレータにおいて、黒い円は感染者、白い円は感受性者、少し縁が太い円は感染しているが感染待機者、灰色の円は回復者/隔離者を表している。

シミュレータは人数、感染率、感染に必要な時間、感染時間、空間の広さを設定する。それと同時に値を SEIR モデルの式に代入する。実験 1 では個体の初期位置はランダムとした。感染時間、感染に必要な時間は個体によりランダムに幅を与えるものとする。

時間ステップを更新し、個体はランダムに与えら

れたパラメータに応じた行動をとる。感染個体は、感受性者に接触した際に感染率に応じて感染状態に更新する。接触回数に応じて感染のしやすさは増加するものとした。

さらに同一空間内によるシミュレートのため、時間ステップが更新されるごとに感染率が増加する設定にした。換気が十分に行われていない空間を想定しており、その場合感染率が上昇するためである。感染者及び感染待機者が0人になったらシミュレート終了し、増減のグラフを表示する。

4. シミュレーション結果

グラフの結果は、左上を感受性者、右上を感染待機者、左下を感染者、右下を回復者とする。

4.1 同一空間内モデルの動き制限の有無

試作シミュレーション[5]では個体の動きに対して角度の制限が存在した。現実空間においてはヒトの動きに角度の制限は存在しないため、この制限をなくし結果の比較を行った。結果は図3となった。また制限あったモデルの結果を図4に示す。

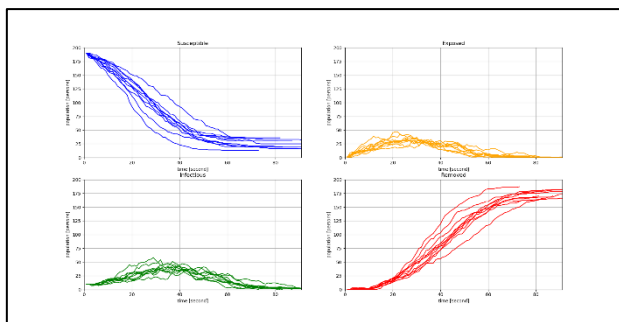


図3 制限をなくしたモデルの結果

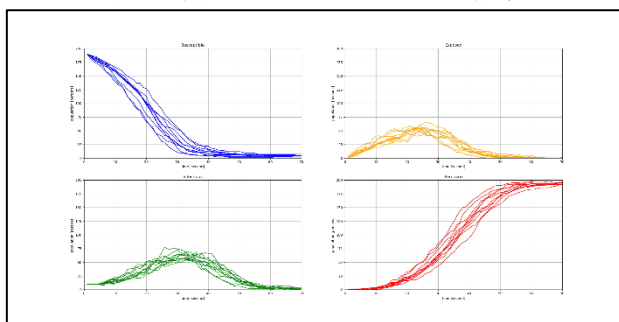


図4 制限されていたモデルの結果

それぞれのモデルの結果より、制限があるモデルよりも変化にバラつきが出た。これは制限をなくしたため、個体同士の接触にもバラつきが出たためである。この結果から、ヒトの動きは感染症の拡大に影響を及ぼすことが確認できた。

4.2 空気感染モデルを用いたシミュレーション

空気感染モデルの式を用いて、現実にある空間を再現し、シミュレーションを行った。空間は秋田大学工学5号館1階101号室を基にし、個体同士の直接的な接触はない状況とした。室内の初期感染者

数は4人、ヒトの呼吸率は0.6[6]、quanta生成量は10、時間は1.5時間、室内換気量は160とした。結果は図5に示す。

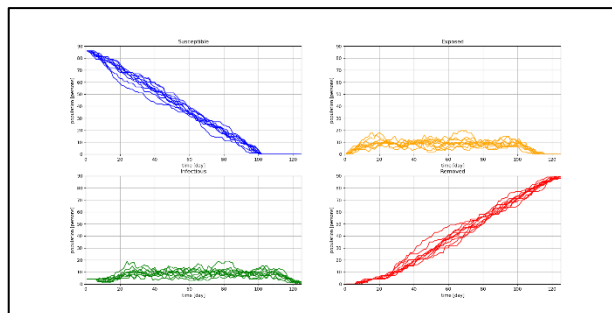


図5 空気感染モデルの結果

動きがあったモデルと比較して、空気感染のみによる感染しか起こらないこのシミュレーションは、変化自体に大きな動きがない。感染待機者や感染者が爆増することはないが、徐々に感染が広がり結果的には半分の人が感染をしていることが確認できた。

5. おわりに

今回のシミュレーションでは、以前までのシミュレーションにあったヒトの動きについての検討、またミクロな視点に立ったシミュレーションの作成から、より現実空間に近いシミュレーションを行いその変化を確認することができた。しかし、空気感染モデルのシミュレーションは空間のみの再現となっているため、個体に関してのパラメータに触れられていない。

今後の課題として、個体に必要なパラメータを解析し、追加していくことが挙げられる。またミクロの空間での個体の動きや個体同士の接触にも検討を行い、より現実空間に近い同一空間内によるエージェントベースモデルの構築を検討していく必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H04120, JP17H00839, JP16H01830, JP19K20562 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Harry Stevens (2020) Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to flatten the curve, The Washington Post.
- [2] 市川 学 出口 弘 (2013) 感染症実用シミュレーションにおける仮想都市構築法の違いによる結果への影響分析—日常生活スポット内包セル型仮想都市モデルの必要性—
- [3] 長田 直樹 (2020) 区画に無症状感染者を持つ感染症の数理モデル
- [4] 倉渕隆(2020) 新型コロナ対策として換気量はどのように決めるべきか
- [5] 和光佑紀 有川正俊(2021) 同一空間内における感染拡大のミクロ・シミュレーションとマクロ数理モデルとの比較
- [6] Snyder, WS. et al.(1975) Report of the Task Group on Reference Man.