

一般口演 | 医療データ解析

一般口演13 モデル構築・検証

2021年11月20日(土) 14:10 ~ 16:10 D会場 (2号館1階212)

[3-D-1-01] システムダイナミクスを用いた新型コロナウイルス感染症の伝播予測 —高齢者率の変化による感染伝播の予測—

*北 龍樹¹、上田 龍一郎¹、森井 康博¹、小笠原 克彦¹（1. 北海道大学大学院保健科学研究院）

*ryuki kita¹, ryuichirou ueda¹, yasuhiko morii¹, katsuhiko ogasawara¹（1. 北海道大学大学院保健科学研究院）

キーワード：system dynamics, covid-19, Mean Square Error

【背景と目的】新型コロナウイルス感染症における陽性者数の予測に感染症伝播の数理モデルが使用される。従前の数理モデルでは、新たな情報を組み込むのが困難という課題があった。近年、モデルに新たな情報を柔軟に追加してシミュレーション可能なシステムダイナミクスが注目されている。本研究では、高齢者率の高い地域での感染伝播を予測するため、数理モデルに死亡率を追加情報として組み込み、システムダイナミクスを用いた新型コロナウイルス感染症の感染拡大の伝播予測を行うことにより、人工に対する高齢者の割合がどのように感染伝播に影響するか検証した。【方法】人口5万人の仮想地域において、高齢者率を38、28、18%に変化させ、新型コロナウイルス感染者1名が発生した瞬間から365日間のシミュレーションを行い、高齢者の割合の違いによる累計感染者数の変化を推計した。本研究ではシミュレートソフト Vensim PLEを用いた。Mean Square Error (MSE)を用いて死亡率の関係から構築したモデルの妥当性を評価した【結果】累計感染者はそれぞれ39,157人（38%）、39,378人（28%）、39,594人（18%）であった。また感染ピーク時の感染者数はそれぞれ4,760人（38%）、4,859人（28%）、4,960人（18%）であった。モデルの妥当性を示す MSEは0.32であった。【結論】本研究の結果は、高齢者率が高い地域では高齢者率が低い地域に比べて累計での死亡者数が多いため、感染者との接触機会が減ることで累計の感染者数が減少し、感染のピークを迎えた時点での新規感染者が減少することを示している。一方、新型コロナウイルスの感染伝播に関する情報は依然として不確定な要素が含まれており、システムダイナミクスにおいて詳細な情報が追加されることによって、より妥当性の高い感染伝播モデルとなることが期待される。

システムダイナミクスを用いた新型コロナウイルス感染症の伝播予測

-高齢者率の変化による感染伝播の予測-

北龍樹、上田龍一郎、森井 康博、小笠原 克彦

北海道大学大学院保健科学研究院

Predicting the spread of covid-19 using system dynamics

- Predicting by changes in the elderly population rate -

Ryuki Kita, Ryuichirou Ueda, Yasuhiro Morii Katsuhiko Ogasawara

Hokkaido University Graduate School of Health Sciences

In this study, we attempted to predict the spread of a new coronavirus infection using system dynamics by incorporating mortality rates as additional information in the SEIR (Susceptible—Exposed—Infectious—Recovered) model, a mathematical model of infectious disease transmission, and analyzing scenarios. We simulated 365 days from the moment of the outbreak of one new coronavirus case and estimated how the cumulative number of cases would change with different proportions of elderly people. The validity of the model was assessed by the difference between the published estimates and the measured values. The simulation software used was Vensim. As a consequence, a high elderly population reduced contact between susceptible person S and affected person I by causing more deaths of affected person I than in the low case. This tended to result in a lower cumulative number of infected persons and a lower peak number of cases.

Keywords: system dynamics, covid-19, Mean Square Error

1 序論

1.1 新型コロナウイルスの将来予測の現状

現在行われている新型コロナウイルスの感染の規模、感染者数の動向などの将来予測の多くは、相関分析や回帰分析などのシミュレート手法を用いて行われている¹⁾²⁾。これらの統計的なシミュレート手法の欠点として、使用するモデルに対して新たな情報、パラメータを組み込むことが困難であるというもの³⁾⁴⁾が存在する。

これらの現状での将来予測の課題を解決できるシミュレート手法として、システムダイナミクスというシミュレート手法がある。この手法はモデルに対し簡単に追加のパラメータなどを組み込めるので自身で設定したシナリオに対してシナリオ分析が容易に行えるという利点がある⁵⁾。そのためシステムダイナミクスによる将来予測はこれまでの予測に前例のなく重要な不確実性、要因を考慮した予測が可能になり、これからの新型コロナウイルスの将来予測の課題に対して有効な手段であると考えられる。現在 60 歳以上の高齢者人口陽性者が重篤化しやすいという状況が示されており⁶⁾、重篤化した発症者が増えることで医療崩壊などが起きてしまう可能性がある。

これらの背景から、本研究ではシミュレート手法としてシステムダイナミクスを用いて、感染症の数理モデルである SEIR (Susceptible, Exposed, Infectious, Recovered) モデルに追加情報として死亡率を追加し変化させて期間内の感染者数、死亡者数の動向をシミュレーションすることで人口に対する高齢者の割合がどのように感染伝播に影響するかを確認でき高齢者の割合が高い地域においてどのような感染伝播が起きるか確認できると考えた。

1.2 本研究の目的

以上の背景により、本研究ではシステムダイナミクスを用いて新型コロナウイルス感染症における高齢者率が高い地域での伝播を予測し、新型コロナウイルスが蔓延している中でも医療崩壊などを防ぎ安定した医療を提供し続けるため、SEIR モデルに追加情報として死亡率を追加し新型コロナウイルスにおいて人口に対する高齢者の割合がどのように感染伝播に影響するかを検証した。

2 方法

2.1 シナリオの作成

シミュレートを行うにあたって、以下のシナリオを作成した。人口 50,000 人の地域を想定し、60 歳以上の人口率を変化させた 2 つのパターンを設定した。

高齢者率を設定する際に 2019 年度厚生労働省の国民生活基礎調査を参考にした。日本の都道府県で高齢者率が高い地域の例として山口県の高齢者率と死亡率、高齢者率が低い地域の例として東京の高齢者率と推計での死亡率⁷⁾を使用し 2 パターンの高齢者率を 32.1%と 22%、推計での死亡率を 2.1% 0.81%に設定した。さらに、追加情報として SEIR モデルに死亡率を追加し、高齢者率の違いによる死亡率の変化を変化させられるように拡張した。このようにモデルを拡張し新型コロナウイルス感染者 1 名が発生した瞬間から 365 日間シミュレーションを行い高齢者の割合により人口推移にどのような差があるか確認した。

2.2 モデルの拡張

既存の SEIR モデルに追加情報として死亡率 α を追加できるようにモデルを拡張した。

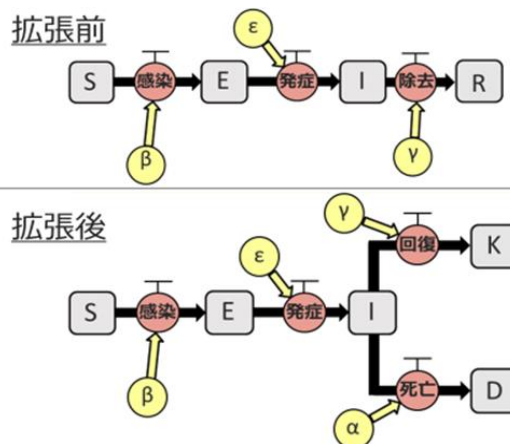


図 1 拡張前と拡張後モデルのストック・フロー図

S:免疫をもたない者 E:潜伏期間中の者
 I:発症者 K:回復者(免疫獲得者) D:死亡者
 β :一日当たりの感染率 ε :一日当たりの発症率
 γ :一日当たりの回復率 α :一日当たりの死亡率

従来の微分方程式に死亡率 α を導入し、免疫獲得者 R を回復者 K と死亡者 D に分けたモデルに拡張をした。また、コロナウイルスが再発するのを考慮していない理由については先行研究から、再陽性患者の感染の可能性については、先行研究より SARS-CoV-2 への再感染の可能性は低いと示されている⁸⁾⁹⁾ため今回のモデルでは再発は考慮しなかった。

2.3 妥当性の検討

今回、MSE (Mean Square Error): 平均二乗誤差を用いて死亡率の推計値と測定値の関係からモデルの妥当性を検討した。

MSE の式は以下になる。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (f_i - y_i)^2$$

MSE とはモデルの性能を数値化する効果的な手法の一つで、実際の値とモデルによる予測値との誤差の平均値であり値が小さければ小さいほどモデルの妥当性は高いと評価される。

3 結果

3.1 妥当性の検討の結果

今回のシミュレートの結果、各高齢者率での死亡率の推計値は高齢者率 32.1% で 2.1% となり、高齢者率 22.0% で推計死亡率 0.81% であった。また、今回のシミュレーションでの測定値は高齢者率 32.1% で死亡率 2.100002%、22.0% で死亡率 0.8100005% となりこの結果から算出した MSE は、1.31E-16 となった。

3.2 累計死亡者数・累計感染者数

累計死亡者数、累計感染者数についてのグラフを示す。

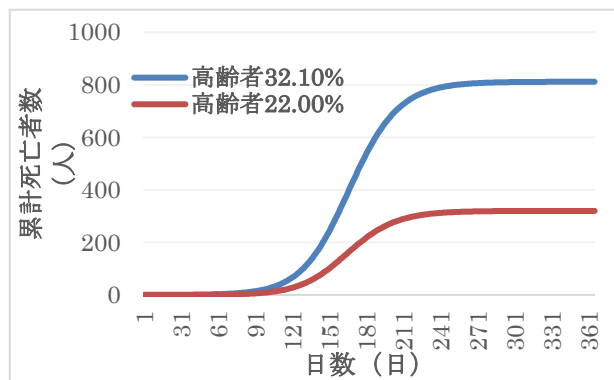


図2 各高齢者率での累計死亡者数

累計死亡者数は高齢者率が 32.1% で 811 人、22.0% で 320 人、となっており高齢者率が高い程累計死亡者数が多く、また累計感染者数では高齢者率 32.1% で 39,453 人、22.0% で 39,812 人と高齢者率が高い程累計感染者が少なかった。

3.3 感染のピーク

感染のピークを迎えた日前後 2 週間の発症者数についてのグラフを示す。

まず感染のピークを迎えた日の発症者数は、高齢者率が 32.1% で 4,891 人、22.0% で 5,059 人と高齢者率が高い程感染のピーク時での発症者数が少なかった。

感染ピークを迎えた時点は 32.1% で 165 日目、22.0% で

164 日目、となり各パターン間で一日や二日の違いしか見られなかった。このことより今回は高齢者率を変化させることにより感染のピークを迎える日数に大きな差は出ないとした。

4 考察

4.1 妥当性の検討

今回のシミュレートの MSE を算出すると、1.31E-16 となった。MSE は、0.1 以下を示すとモデルの性能が良いとされ、今回は 0.1 を大きく下回る結果となった。このことから今回のシミュレーションのモデルは正確性があるということが確認できた。さらに、これから新型コロナウイルスについての情報がアップデートされていくのと共に今回のモデルに使用したパラメータを更新していくことでより正確な予測が行えると考えた。

4.2 本研究の展望

本研究のモデルでは人の行動の変化に伴う感染率の変化や、ワクチン接種状況による感染率の変化について考慮したパラメータを使用することが出来なかった。このような感染の伝播の要因となるようなパラメータを追加し用いることでより正確な、現実に即したシミュレートが行えると考えた。

5 結論

本研究では新型コロナウイルス感染症における高齢者率が高い地域での伝播を予測するためシステムダイナミクスを用いて人口に対する高齢者の割合がどのように感染伝播に影響するかを検証した。

高齢者率が高い程累計の感染者数が少なくピーク時の発症者数が少ないという傾向にあるという結果が得られ、今後はさらに人の行動に対応したパラメータを追加していくことで正確な予測が行えると考えた。

参考文献

- 1) Toshikazu Kuniya, Prediction of the Epidemic Peak of Coronavirus Disease in Japan, 2020, J Clin Med. 2020; 9(3): 789.
- 2) Smita Rath, Alakananda Tripathy, Alok Ranjan Tripathy, Prediction of new active cases of coronavirus disease (COVID-19) pandemic using multiple linear regression model, Diabetes Metab Syndr, 2020;14(5):1467-1474
- 3) 西浦 博・稲葉 寿 感染症流行の予測: 感染症数理モデルにおける定量的課題 統計数理(2006) 第 54 巻第 2 号 461-480
- 4) K C Santosh, COVID-19 Prediction Models and Unexploited Data, J Med Syst 2020 13;44(9):170.
- 5) 池田 謙一, 野城 真理 システムダイナミクスと医療システム 医用電子と生体工学 1976 年 14 巻 2 号 p. 95-103
- 6) Sachiko Kodera, I Essam A. Rashed, I, 2 and Akimasa Hirata, Correlation between COVID-19 Morbidity and Mortality Rates in Japan and Local Population Density, Temperature, and Absolute Humidity, Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(15): 5477
- 7) 厚生労働省, 国民生活基礎調査 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/20-21.html>
- 8) Sayak Roy, COVID-19 Reinfection: Myth or Truth?, SN Compr Clin Med, 2020;29:1-4
- 9) Thi Loi Dao, Van Thuan Hoang, Philippe Gautret, Recurrence of SARS-CoV-2 viral RNA in recovered COVID-19 patients: a narrative review, Eur J Clin Microbiol Infect Dis, 2021;40:13-25