

SIRVD モデルによる新型コロナウイルス感染症に対する ワクチン接種の効果検証

日大生産工(院) ○羅 勇奇 日大生産工 豊谷 純
日大生産工 大前 佑斗
日大生産工 柿本 陽平

1. はじめに

現在、新型コロナウイルス感染症は世界各国で拡大している。日本国内では、新型コロナウイルス感染症対策として重要な手段であるワクチン接種が2021年2月17日に始まった[1]。

本研究では、感染症の拡大を予測する SIRVD (Susceptible-Infected-Recovered-Vaccination-Death) モデルを用いて[2]、ワクチン接種率、有効性、感染拡大状況などの分析を行ない、効果的な活用方法について検討する。

2. シミュレーション

2.1 SIRVD モデル

SIRVD モデルは5つの状態 (S: 感受性宿主で感染する可能性のある者、I: 感染して感染性を有する者、R: 感染後に回復して免疫を獲得した者、V: ワクチン接種を受けた者、D: 死亡者) に区画で分けて検討する。

時刻 t における感受者数、感染者数、回復者数、ワクチン接種者数、死亡者数をそれぞれ S_t 、 I_t 、 R_t 、 V_t 、 D_t として、図1に示されるような相互関係を考える。

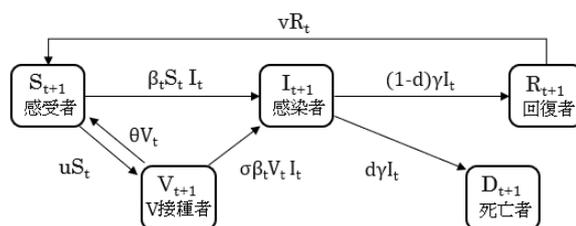


図1 SIRVD モデル模式図

図1において、 u は1日あたりの感受者のワクチン接種率、 β は感受者が1日あたりに感染させる確率、 θ がワクチン接種者が得た抗体の減衰率、 v は回復者が獲得した免疫を失う割合、 γ 、 d は除去率、致死率、 $1-\sigma$ ($\sigma \in [0, 1]$) はワ

クチンの有効率を表す。図1の相互関係は次式で記述できる。

$$S_{t+1} = S_t - uS_t - \beta_t S_t I_t + \theta V_t + vR_t \quad (1)$$

$$I_{t+1} = I_t + \beta_t S_t I_t + \sigma \beta_t V_t I_t - \gamma I_t \quad (2)$$

$$R_{t+1} = R_t + (1-d)\gamma I_t - vR_t \quad (3)$$

$$V_{t+1} = V_t + uS_t - \theta V_t - \sigma \beta_t V_t I_t \quad (4)$$

$$D_{t+1} = D_t + d\gamma I_t \quad (5)$$

2.2 パラメータの設定

新型コロナウイルスの感染力、致死率などのパラメータを下記の通りに設定した。

- 日本国内の総人口数=1億2000万人。
- 除去率 $\gamma=0.15$ (Kobayashi et al.[3]は、新型コロナウイルスの γ は0.15程度と推計している。)
- 致死率 $d=0.019$ (2020年9月8日時点、日本国内の累計感染者数は72861人、死亡者数は1398人数である[4])
- ワクチン有効期間 $\theta^{-1}=210$ 日間 (ワクチン効果減衰率 $\theta=1/210$)
- 回復者の免疫の持続期間 $v^{-1}=210$ 日間 ($v=1/210$)
- ワクチン接種率 $u=0.00625$ 、 0.0125
- ワクチンの有効率 $1-\sigma=0.95$ 、 0.8 、 0.5
- 感染力 β_t の値は固定的な値ではない。損失関数 (loss function) を用いて新型コロナウイルスの感染力を求める。

2.3 結果と考察

得られた結果は図2と図3に示されており、中央の図は新規感染者数(未発覚含む)を示す。違う接種率の場合のグラフを比較して、接種率が大きいほど、新規感染者数が少ないことがわかる。青い線はワクチンなしの場合の結果である。 $u=0.00625$ では、第一波の感染拡大は4月

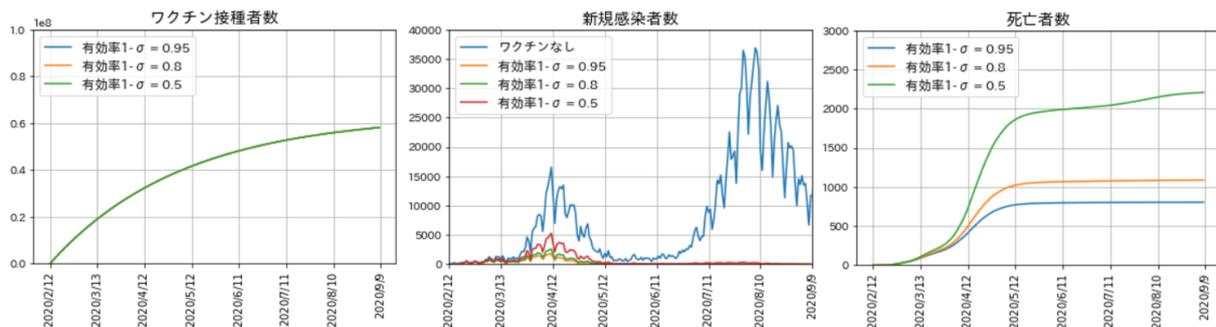


図2 ワクチン接種率 $u=0.00625$ の場合の各状態

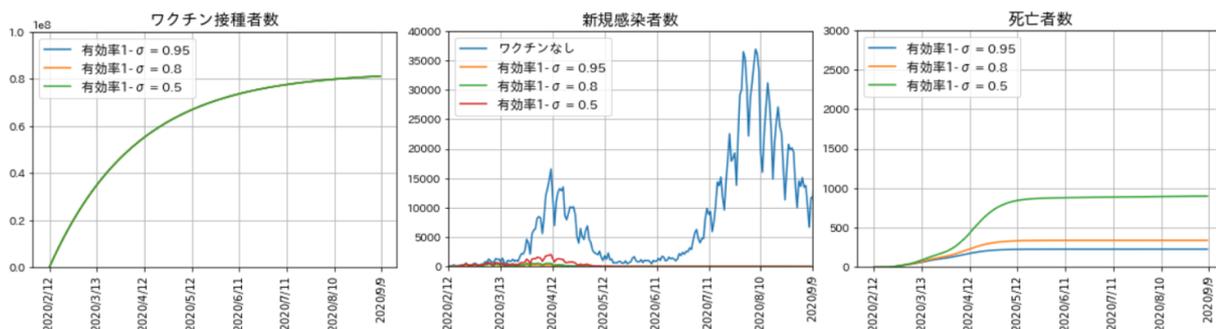


図3 ワクチン接種率 $u=0.0125$ の場合の各状態

付近に発生し、5月時点で収束する。ワクチンなしの場合と対照すれば、強い削減効果が認められる。 $u=0.0125$ では、感染拡大がほとんど発生していない。なお、ワクチン有効率 $1-\sigma$ が高いほど、感染拡大防止の効果が大きいことが確認できる。

右側のグラフは死亡者数を示すものである。式(5)より、死亡者の推移は感染者数と直接関係がある。そのため、死亡者数は4月付近に急増し、5月に安定するようになる。なお、ワクチン接種率 u と有効率 $1-\sigma$ が高いほど、死亡者数が減少していく。

3. まとめ

本研究では、SIRVDモデルを利用し、ワクチンの接種率と有効性が感染拡大に与える影響をシミュレーションした。接種率 $u=0.00625$ では、感染者数と死亡者数がワクチンなしの場合と比べて大幅に削減できた。この接種率は現実のワクチン接種率に近い値であるため、現在の日本国内におけるワクチン接種戦略は感染拡大防止に強い効果があるといえる。接種率 $u=0.0125$ では、ピーク時の新規感染者数は3000人以下に抑えられ、死亡者数は1000人以下になった。そのため、医療機関の接種能力

の範囲内で、ワクチンの普及ができる限り速い方が良いことが確認できる。

なお、本研究では多くのパラメータと仮定を設定している。これらは最終的には新型コロナウイルスに関する研究の結果によって定まるべきものである。無症候性キャリアや年齢といった要素は、まだ考慮に入れていない。今後はそれらについて注目し、より詳細な分析結果を報告したい。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 新型コロナウイルスの接種実績, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/vaccine_sesshujisseki.html
- 2) 大前佑斗他, SIRVDモデルによるCOVID-19 ワクチン接種を考慮した日本国内の感染伝播シミュレーション, 日本経営工学会論文誌(投稿中)
- 3) Kobayashi, G. et al., Predicting Intervention Effect for COVID-19 in Japan: State Space Modeling Approach, *BioScience Trends*, Vol.14, No.3, pp.174–181 (2020)
- 4) 厚生労働省, 新型コロナウイルス感染症情報, <https://covid19.mhlw.go.jp/>