

SIRVD モデルによる感染力とワクチン接種が新規感染者数に与える

影響の分析

05000412	日本大学	*羅 勇奇	LUO Yongqi
	日本大学	柿本 陽平	KAKIMOTO Yohei
	日本大学	大前 佑斗	OMAE Yuto
	日本大学	豊谷 純	TOYOTANI Jun

1. はじめに

新型コロナウイルスが出現してからの2年間、アルファ株やデルタ株などの変異株が発見された。COVID-19は、約2週間に1箇所ほどの頻度で変異が発生し[1]、将来、感染力が増加する、かつ、ワクチンの効果を弱めてしまう未知の変異株が登場する可能性がある。COVID-19の拡大を防止するために、ワクチン接種は世界各国で進んでいる。ただし、ワクチン接種が従来株と変異株の伝播に与える影響は、複数の研究が進んでいるものの、十分ではない。そのため、ワクチン接種がもたらす効果に関する研究をさらに進めることが望ましい。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]、従来株だけではなく、感染力が従来株の2倍になった変異株が登場する場合の感染拡大状況をシミュレーションする。これにより、ワクチン接種は感染拡大への抑制効果があるか、検討する。

2. シミュレーション

2.1 SIRVD モデル

SIRVDモデルは、人々を5つの状態(S: ワクチン非接種、かつ、感染する可能性がある者、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)に分類して、感染伝播をシミュレーションする手法である。時間tにおけるS, I, R, V, D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 はワクチン接種者が得た抗体の減衰率、 ν 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。

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

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

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

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

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

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。

- ・総人口数=1億2000万人
- ・シミュレーション期間=30日間
- ・除去率 $\gamma=0.15$ を採用する。[3]
- ・致死率 $d=0.0008$ (潜在感染者を考慮した推計値)
- ・ワクチン有効期間 $\theta^{-1}=180$ 日間
- ・回復者の免疫の持続期間 $\nu^{-1}=180$ 日間($\nu=1/180$)
- ・ワクチンの有効率 $1-\sigma=60\%$, 90%
- ・従来株感染力 $\beta^1=1.73 \times 10^{-9}$ (2020年10月1日から3ヶ月間のCOVID-19感染力の平均値)、変異株感染力 $\beta^2=2 \times 1.73 \times 10^{-9}$
- ・1日目に存在したワクチン接種者数 V_0 =総人数の20%, 50%または0である。

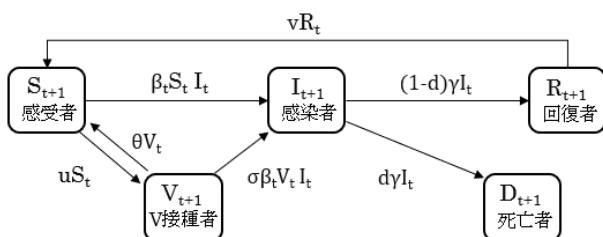


図1 SIRVDモデル模式図

表 1 新規感染者数の最大値 (左:従来株, 右:変異株)

	ワクチン有効率60%	ワクチン有効率90%		ワクチン有効率60%	ワクチン有効率90%
$V_0=0$	1.12	1.12	$V_0=0$	481.97	481.97
$V_0=$ 総人口数の20%	0.52	0.35	$V_0=$ 総人口数の20%	142.52	75.92
$V_0=$ 総人口数の50%	0.16	0.11	$V_0=$ 総人口数の50%	20.6	3.67

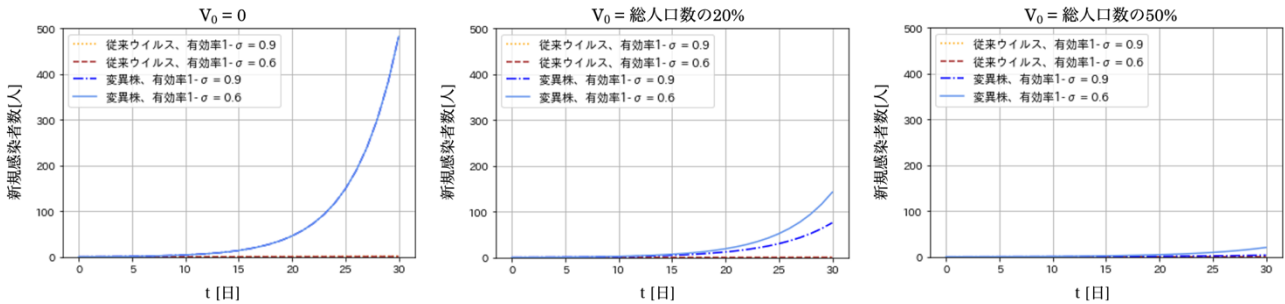


図 2 新規感染者数の推移

2.3 結果と考察

得られた結果を表 1 と図 2 に示す. 表 1 は新規感染者数の最大値であり, 図 2 は新規感染者数の時系列的な推移である. 異なる接種率の場合のグラフを比較して, ワクチンの普及率が大きいほど, 変異株の新規感染者数が少ないことがわかる. 表 1 からみれば, 変異株の状況において, 有効率 90% のワクチンを全人口の 50% に接種させた場合, 新規感染者数がワクチンなしの場合の 1/131 ほどに抑えられる. また, 有効率が 90% のワクチンを人口全体の 20% だけに普及しても, 変異株の新規感染者数を 85% 削減できる.

表 1 から従来株の場合の新規感染者数の最大値をみれば, 有効率 90% のワクチンを人口全体の 50% に接種させた場合, 新規感染者数の最大値がワクチンなしの場合の 10% になることがわかる. なお, ワクチン有効率が高いほど, 感染拡大防止の効果が大きいことが確認できる.

3. まとめ

本研究では, SIRVD モデルを利用し, ワクチン接種者数と有効性が感染拡大に与える影響を分析した. 有効率 60% のワクチンを全人口の 50% に接種させた場合, ワクチンがない場合と比べ, 新規感染者数を大幅に削減できることがわかった. 現在既存のワクチンの従来株への効果は 90% 以上であるため, 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. さらに, 感染力が強い変異株に対しても, ワクチン接種の効果は大きいことが確認できた. また, 将来, 未知の変異株が出現した場合, 有効率が高いワクチンを開発するのは重要であることが確認できる.

なお, 本研究ではいくつかの仮定を設定している. これらは COVID-19 の臨床的・疫学的な研究により定まることが想定される. 年齢や性別といった要素は, 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.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K04535, 電気通信普及財団の支援を受けたものである.

参考文献

- 1) 厚生労働省, 新型コロナウイルス感染症(変異株)への対応, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000833573.pdf>
- 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(採録決定)
- 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)