

# 第3次緊急事態宣言および ワクチン接種の効果推定

2021.5.24

2021.5.26 r1

筑波大学 倉橋節也

# サマリー

## 1. N501Y変異種の拡大予測と2021年4月25日からの緊急事態宣言の効果を推定

東京都での従来型、N501Y変異種（東京都の変異種分析結果から、拡大速度を推定）において、ワクチン接種0.5%~1.1%/dayで、新規陽性者数1000人サーキットブレーカーを発出する効果を推定した。CB強度は、第4波を実測値から2020年4月の緊急事態宣言と2021年1月の緊急事態宣言の中間と推定し、第5波以降は、第一次の緊急事態宣言と同等とした。また、CBを解除する感染者数について、100人の場合を推定した。

## 2. 緊急事態宣言解除の延長は、重症患者数抑制に一定程度の効果がある

解除日を6/1とした場合と6/22にした場合を比較したところ、その後のリバウンドを遅らせる効果はあるが、次に来る新規感染者数はそれほど変わらない結果となった。若年層、成年層への早期のワクチン効果は見込めないことが要因と考えられる。一方で、重症患者数のピークを110人から80人程度に抑制する効果は見られた。新規感染者数に対する効果的な抑制戦略は、第1次緊急事態宣言並の強力なサーキットブレーカーであり、発動を500人~800人、解除を100人~200人、期間は40日~60日間程度で著しい効果が見られた。

## 3. 8月以降の重症患者数はワクチン効果が期待できる

高齢者向けのワクチン接種によって、8月以降の重症患者数は大幅に抑えられる可能性が高い。また、成年・若年層へのワクチン効果は、0.8%/日であっても11月以降になる可能性があり、年内の感染予防策は引き続き必要となる。なお、本シミュレーションでは、変異ウイルスはN501Yのみを対象としているため、重症化率が高い変異ウイルスや免疫回避効果などについては、今後注視する必要がある。

# 解除時期比較 新規感染者数

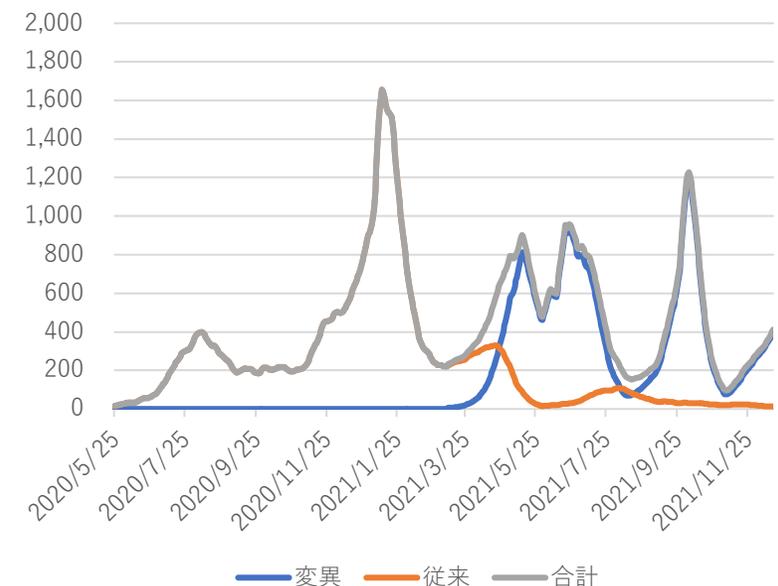
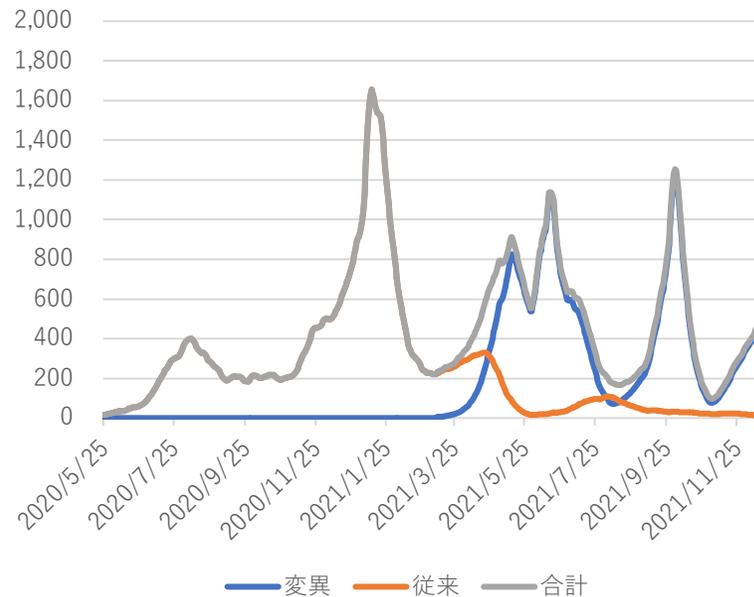
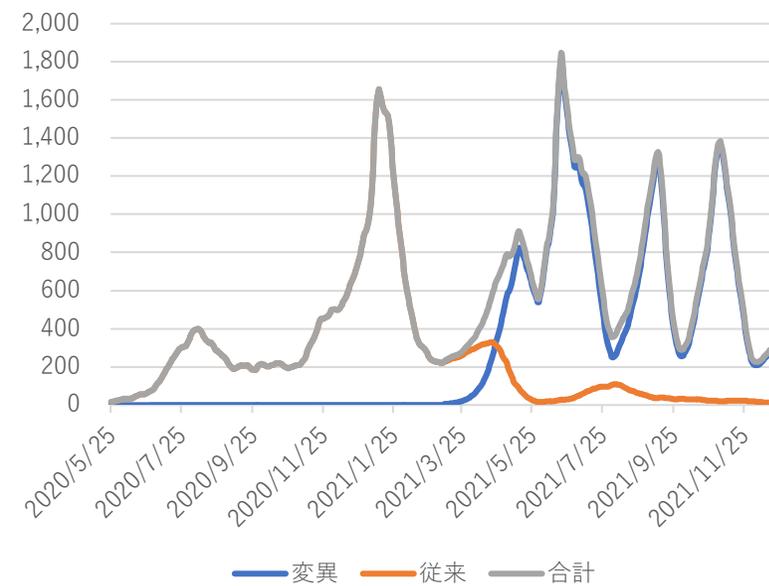
- 6月1日解除
  - 2週間後にリバウンドのピーク1100人程度が来る
- 6月22日解除
  - 下がりきらずに1000程度のピークが来る

ワクチン接種0.5%/日  
サーキットブレーカー  
発動1000人、解除300人  
発動800人、解除100人

0601解除0.5%1000\_300

0601解除0.5%800\_100

0622解除0.5%800\_100

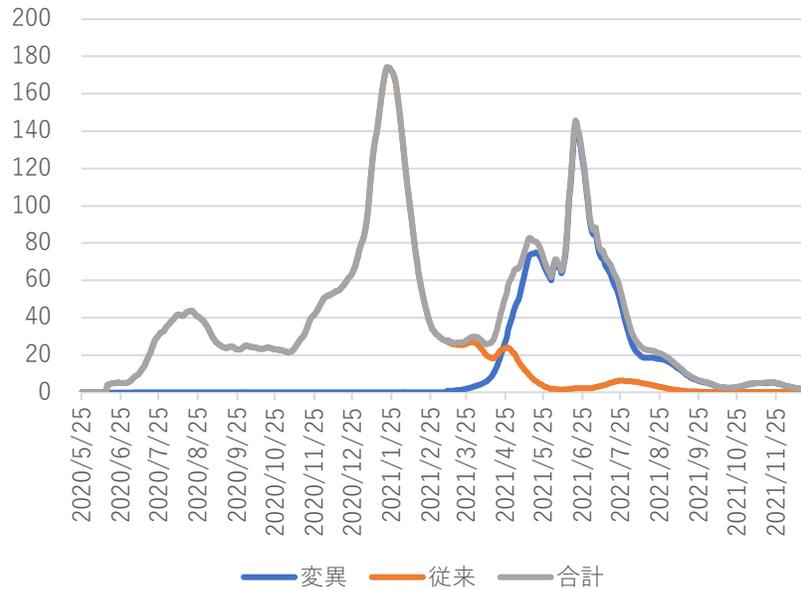


# 解除時期比較 重症患者数

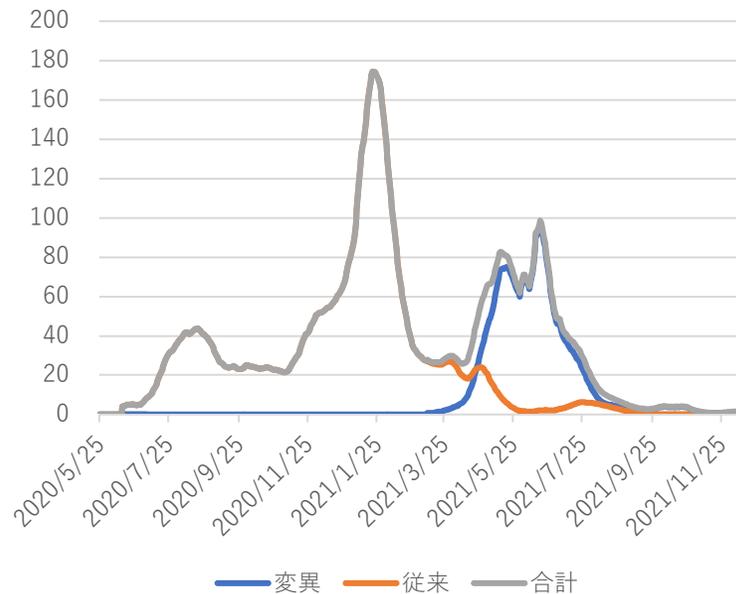
- 6月1日解除
  - 2週間後にリバウンドのピーク100人程度が来る
- 6月22日解除
  - 80人程度のピークに抑制できる

ワクチン接種0.5%/日  
サーキットブレーカー  
発動1000人、解除300人  
発動800人、解除100人

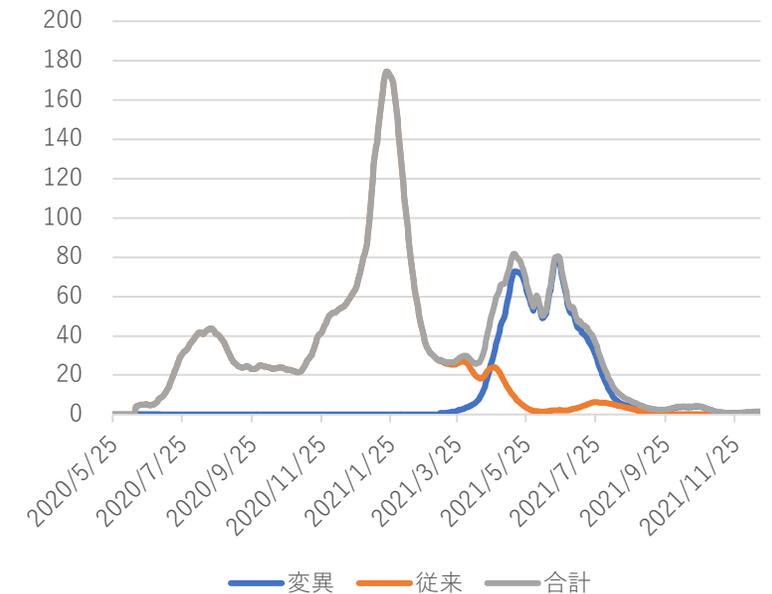
0601解除0.5%1000\_100



0601解除0.5%800\_100



0622解除0.5%800\_100



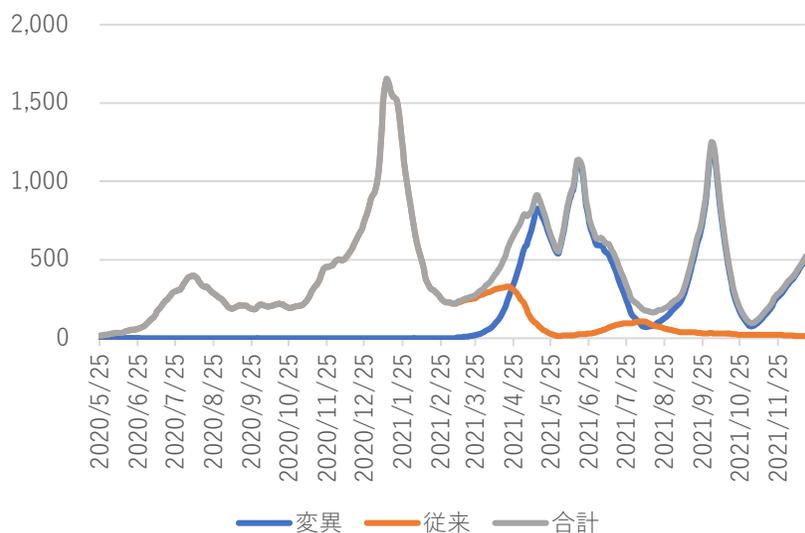
# ワクチン速度比較 新規感染者数

- ワクチン接種速度0.8%/日
  - 8月以降の新感染者数を減少させる効果はある程度ある
- ワクチン接種速度1.1%/日
  - 8月以降の新感染者数を大幅に抑える効果がある

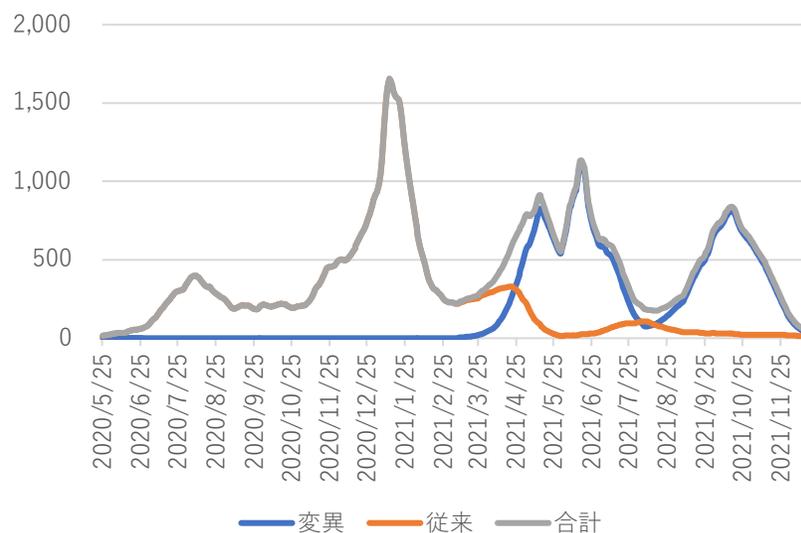
0601解除,ワクチン0.5%, CB開始800人解除100人	0601解除,ワクチン0.8%, CB開始800人解除100人	0601解除,ワクチン1.1%, CB開始800人解除100人
医療従事者6/22終了,高齢者10/15終了	医療従事者6/22終了,高齢者9/1終了	医療従事者6/22終了,高齢者8/13終了

サーキットブレーカー発動800人、解除100人

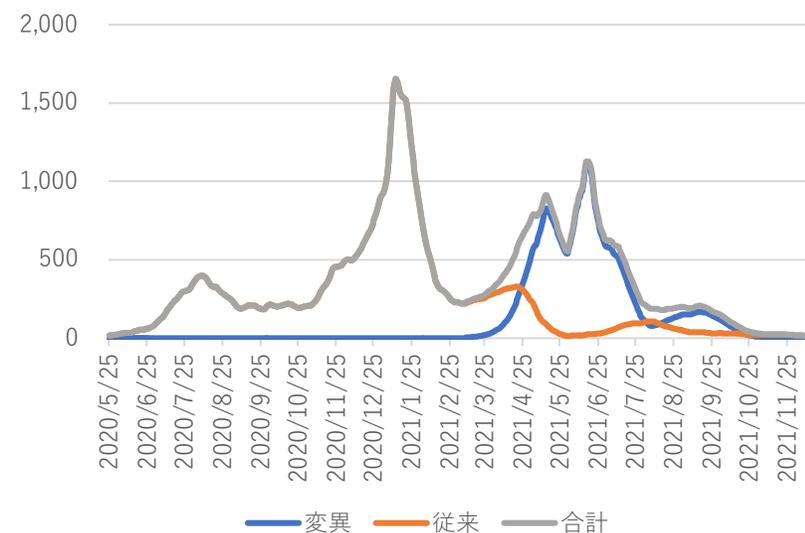
0601解除0.5%800\_100



0601解除0.8%800\_100



0601解除1.1%800\_100

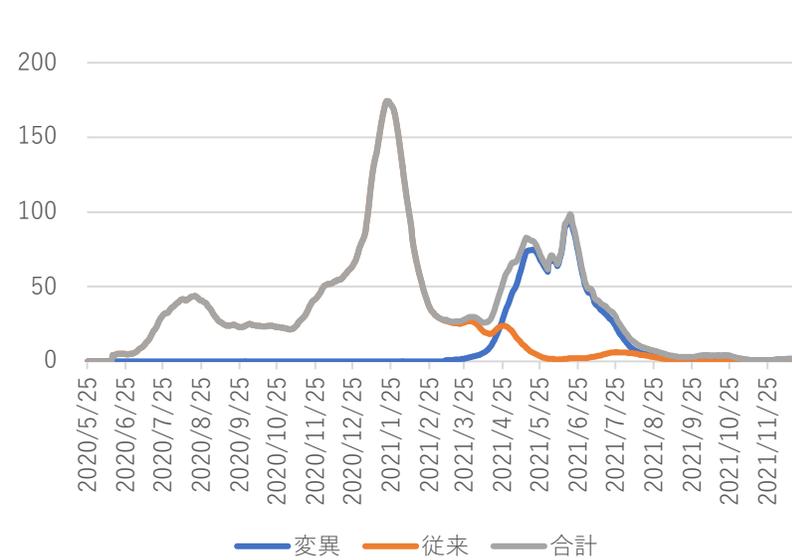


# ワクチン速度比較 重症患者数

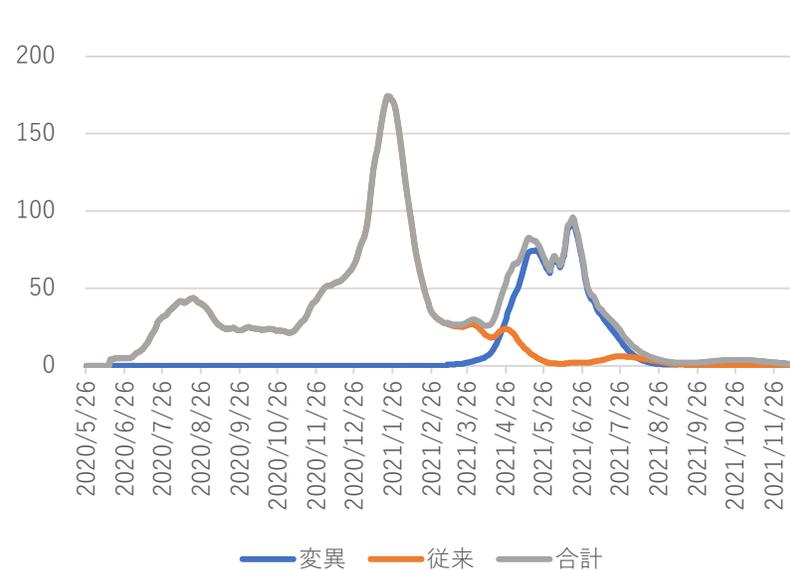
- ワクチン接種速度0.5%/日, 0.8%/日, 1.1%/日
  - いずれも8月以降の重症患者数を大幅に減少させる効果がある

サーキットブレーカー発動800人、解除100人

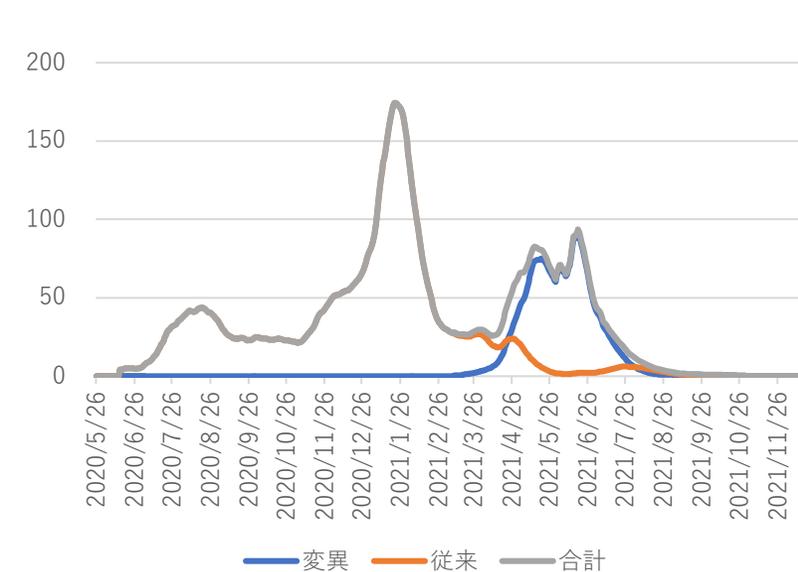
0601解除0.5%800\_100



0601解除0.8%800\_100



0601解除1.1%800\_100



# ワクチン速度比較 新規感染者数

- ワクチン接種速度0.8%/日
  - 8月以降の新感染者数を減少させる効果はある程度ある
- ワクチン接種速度1.1%/日
  - 8月以降の新感染者数を大幅に抑える効果がある

0622解除, ワクチン0.5%,  
CB開始800人解除100人  
医療従事者6/22終了, 高齢  
者10/15終了

0622解除, ワクチン0.8%,  
CB開始800人解除100人  
医療従事者6/22終了, 高齢  
者9/1終了

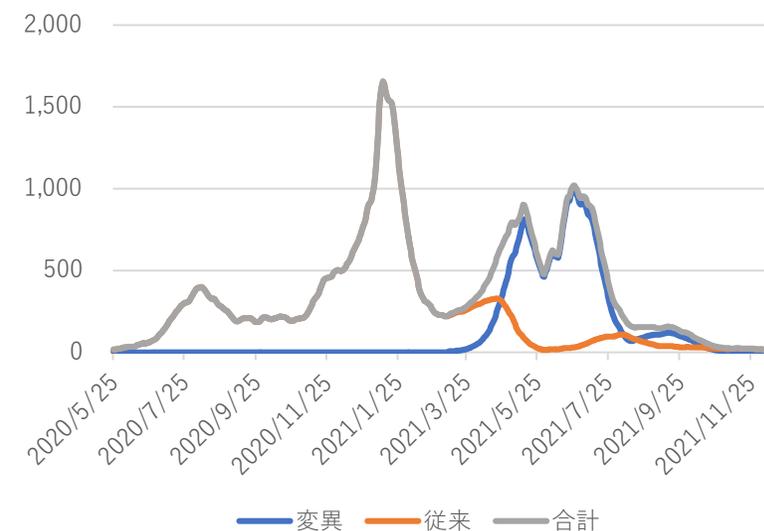
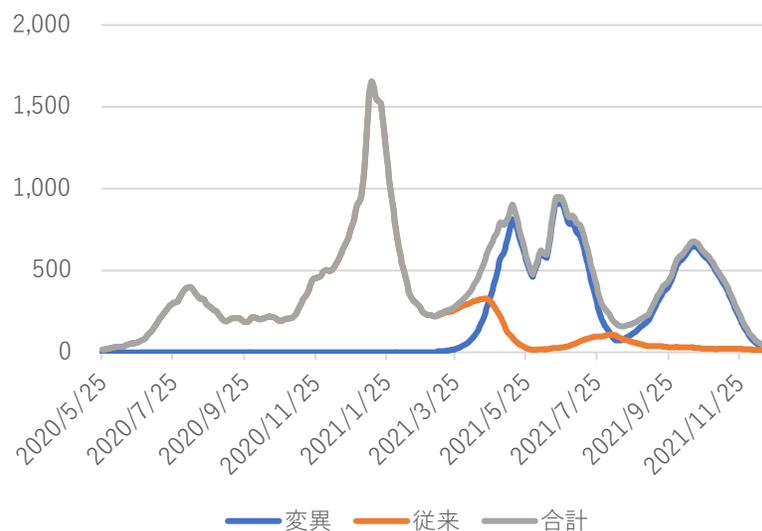
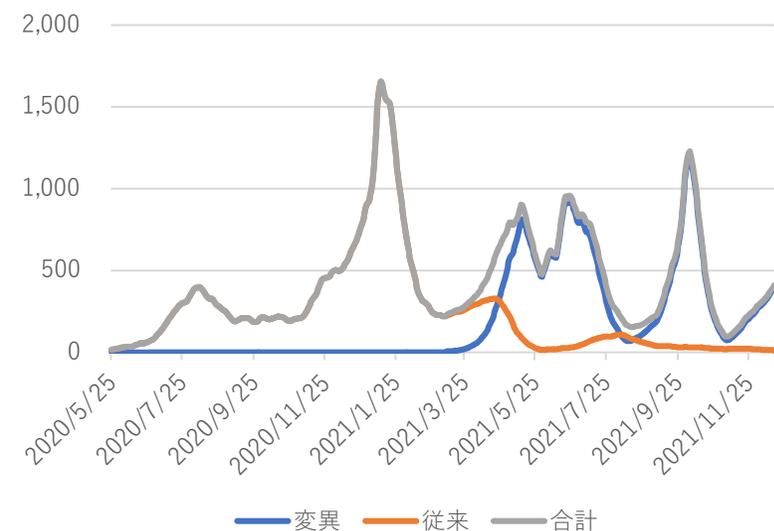
0622解除, ワクチン1.1%,  
CB開始800人解除100人  
医療従事者6/22終了, 高齢  
者8/13終了

サーキットブレーカー発動800人、解除100人

0622解除0.5%800\_100

0622解除0.8%800\_100

0622解除1.1%800\_100

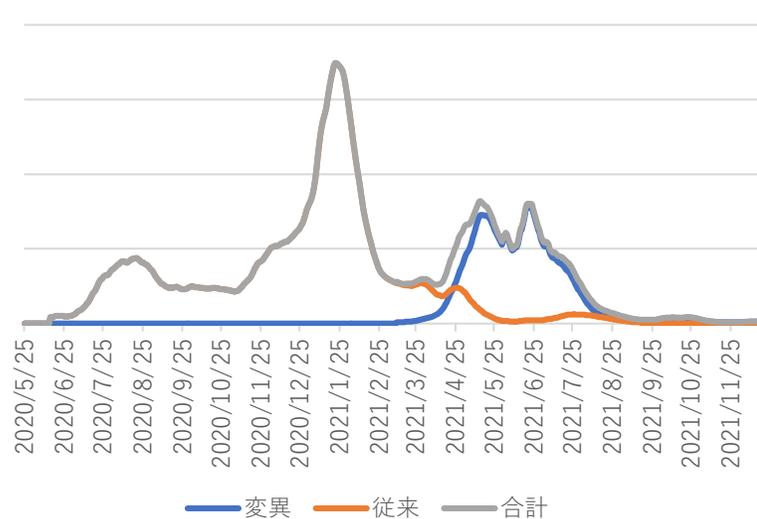


# ワクチン速度比較 重症患者数

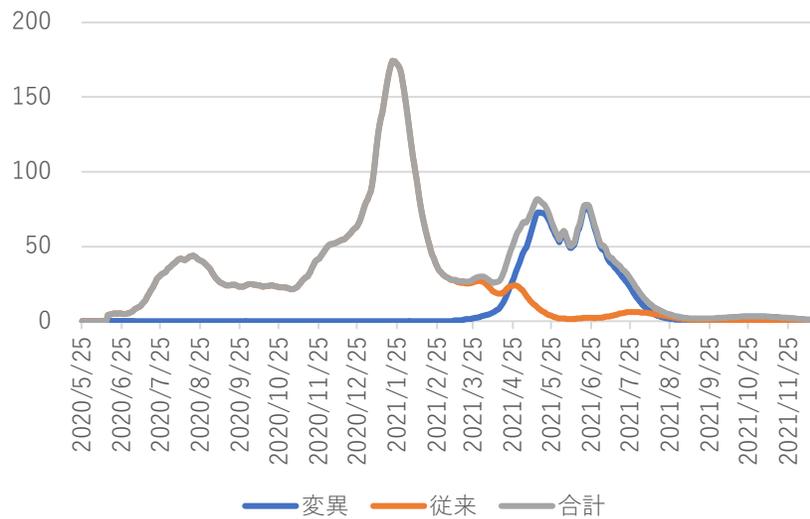
- ワクチン接種速度0.5%/日, 0.8%/日, 1.1%/日
  - いずれも8月以降の重症患者数を大幅に減少させる効果がある

サーキットブレーカー発動800人、解除100人

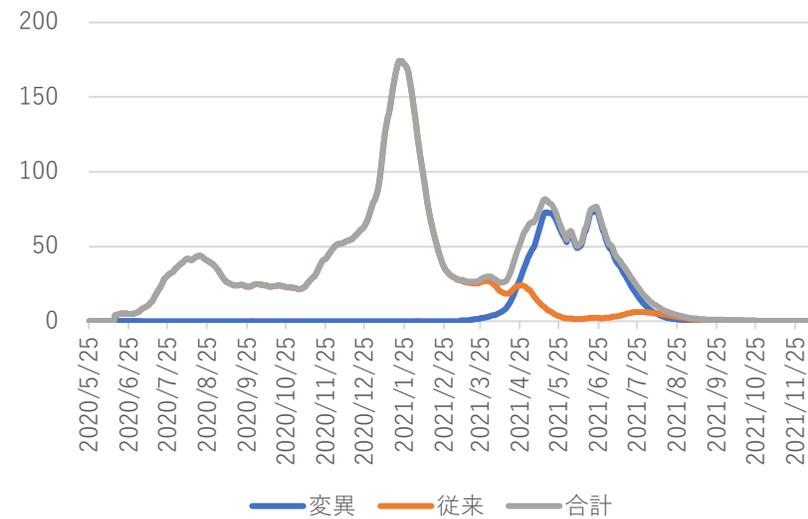
0622解除0.5%800\_100



0622解除0.8%800\_100



0622解除1.1%800\_100



# モデル設定

## 1. 数理モデルとAIの融合による感染モデル

人口流動を考慮したSEIRモデルとAI技術（進化的最適化+準ニュートン法）を用いて感染モデル推定の最適化を行うことで、2.6名/日の精度で60歳以上と59歳以下の2つの年代内および年代間での感染推定を行った。人口流動に伴う感染者流入リスクを一部考慮することで、市中感染者の滞留と加速度的な感染拡大現象を表現した。

東京都のN501Y変異株スクリーニング結果から変異ウイルスの拡散回帰モデルを構築し、それぞれの感染者数推移を実測値から推定した。これらの結果から、N501Y変異ウイルスと従来型ウイルスの2つの感染モデルを連携させる合成モデルを構築した。

また、昨年（2020年）の第1次緊急事態宣言解除と同等の都民の行動変容があったとして、昨年6月1日以降の実効再生産数と都内流動人口データを適用し、シミュレーションを実施した。

## 2. サーキットブレーカーの強度とワクチン接種効果を推定

東京都での従来型ウイルスとN501Y変異ウイルスを対象にして、第3次緊急事態宣言の強度を第1次と第2次の緊急事態宣言の中間に設定した。また、第5波以降は第1次緊急事態宣言の強度に設定した。

## 3. ワクチン効果設定

- N501Y変異は、実効再生産数を50%アップさせるとした  
Investigation of novel SARS-CoV-2 variant Variant of Concern 202012/01 Technical briefing 5
- ワクチン効果は、第1回で57%、第2回で94%の発症予防効果があるとした  
Noa Dagan, et al., BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine in a Nationwide Mass Vaccination Setting, The New England Journal of Medicine, 2021
- 3/5～4/26は、東京都のN501Y変異ウイルス感染者数を使用。4/27以降は従来型に対して実効再生産数を50%アップさせるとした。  
<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/saigai/1013388/1013645.html>
- 3/21解除後の実効再生産数・人口流動数の推移は2020/6/8以降と同等と仮定（ただし2021/4/26まではそれぞれ実測値を使用）  
第4波および第5波でピーク後の減少は、感染拡大に伴う外出自粛などの住民の行動変容に起因するとした
- ワクチン接種速度の設定  
3/5以降人口の0.05%（医療従事者1回目実測数）  
3/27日後 0.032%, 0.033%（医療従事者1回目, 2回目実測数）  
4/12以降 0.069%, 0.030%（医療従事者1回目, 2回目実測数） 0.01%（高齢者1回目実測数）  
5/4以降 0.064%, 0.078%（医療従事者1回目, 2回目実測数） 0.065%, 0.006%（高齢者1回目, 2回目実測数）  
6/1以降 0.064%, 0.078%（医療従事者1回目, 2回目見込み） k/2%, 0.065%（高齢者1回目, 2回目見込み）  
m/d以降 k/2%, k/2%（医療従事者1回目, 2回目見込み） k/2%, k/2%（高齢者1回目, 2回目見込み）  
医療従事者2回目接種完了6/22, 高齢者2回目接種完了: k=0.5% 10/16, k=0.8% 9/2, k=1.1% 8/14

# 年代別ワクチン効果SEIRモデル

$$\begin{aligned}\frac{dS_i}{dt} &= mN_i - mS_i - \sum_{i'} \frac{b_{i,i',t} S_i (I_{i'} + in\_risk_{i',t})}{N_i} - \sum_k \sigma_{i,k} \lambda_{i,k} N_i \\ \frac{dE_i}{dt} &= \sum_{i'} \frac{b_{i,i',t} S_i (I_{i'} + in\_risk_{i',t})}{N_i} - (m + a)E_i \\ \frac{dI_i}{dt} &= aE_i - (m + g)I_i \\ \frac{dR_i}{dt} &= gI_i - mR_i + \sum_k \sigma_{i,k} \lambda_{i,k} N_i\end{aligned}$$

$N_i$  = 年代  $i$  の人口

$S_i$  = 年代  $i$  の免疫を持たない人の数

$E_i$  = 年代  $i$  の潜伏期間の人の数

$I_i$  = 年代  $i$  の発症者の数

$R_i$  = 年代  $i$  の回復者の数

$t$  = 時間

$m$  = 出生率=死亡率

$b_{i,i',t}$  = 時刻  $t$  における年代  $i, i'$  間接触による感染率

$a$  = 感染症の発症率

$g$  = 感染症からの回復率

$\sigma_k$  =  $k$  回目の単位時間当たりのワクチン接種割合パラメータ

$\lambda_k$  =  $k$  回目のワクチンによる免疫獲得確率パラメータ

# SEIR逆シミュレーションモデル

- 都内人口流動データを考慮したSEIRモデル

cp:感染者数, ur:スマホ利用率

$$flow\_risk_t = \frac{\sum_{i=1}^j flow_{i,t} * cp_t * ur}{pop}$$

- 進化的探索アルゴリズムと準ニュートン法を組み合わせた最適化手法で、実効再生産数 $R_t$ に基づいて変換した感染率 $b$ を生成する $\mathbf{a}, \mathbf{x}$ を逆シミュレーション法で推定

$$b_{i,j} = a_{i,j}(R_t^i x_1 - x_2)$$

$$\min \sum_{t=1}^{now} (pred_t(\mathbf{R}_t, \mathbf{a}, \mathbf{x}) - observ_t)^2$$

subject to.

$$x_1^i > 0$$

$$1 \geq a_{i,i} \geq 0$$

$$a_{i,i} + \sum_{j,i \neq j} a_{i,j} = 1$$

$R_t^i$  = 実効再生産数

$x_k$  = 感染率係数

$a_{i,j}$  = 年代間感染係数