

オリンピック22万人来場影響推定  
デルタ株年齢別ワクチン効果推定

2021.6.23

2021.6.27 r1

2021.7.2 r2

筑波大学 倉橋節也

# サマリー

## 1. オリンピックによる感染拡大をシナリオ推定

7/1までの東京都の感染者数から、オリンピック開催に伴い、22万人の新たな人口流動が発生すると想定して感染拡大を推定した。従来型+アルファ株変異種とデルタ株において、6/21以降のワクチン接種を1%/dayで行い、緊急事態宣言解除後の規制を7月11日まで継続した場合のシナリオ推定を行った。

## 2. アルファ株のみで7/11解除の場合、観客22万人で感染者は400名増加

オリンピックでの都外からの来訪者が全日程で50%(×22万人)の場合、感染者は400名増加し1850名\*、重症者ピークも69名となった。新規感染者数が700名を超えた時点で、無観客として2021年1月の2次宣言相当の制限を実施し、300人で解除した場合、新規感染者数が900名、重症者も最大47名となった。

## 3. デルタ株で7/11以降に緊急事態宣言でも、観客22万人で感染者は230～460名増加

インド由来のデルタ株変異種が、6月6日に都内市中で10名存在した場合、8月末に6600人程度の新規陽性者の発生と重症者が200名となるリスクがある(9月以降も増え続ける)。これに対して、新規陽性者が1週間平均で700名を超えた時点で、第3次緊急事態宣言(1次と2次の緊急事態宣言の中間相当)を実施することで、感染者のピークは1300名程度、無観客で1070名程度に抑制できる可能性\*がある。

\*これらは、2020年7月以降の東京都の感染状況をベースに試算しており、オリンピックによる行動変容の緩みのリスクは考慮していない。

## 4. デルタ株での64歳以下の接種は若者優先が効果が高い

デルタ株が拡大する状況で、1) 64歳以下平等、2) 15-39歳優先(3:1)、3) 40-64歳優先(3:1)とした場合、3)の15-39歳優先接種は10月以降の感染拡大リスクがある。1)もしくは2)が推奨される。

r1. 6/24までのデータに更新し、64歳以下年齢別接種の優先効果を追加

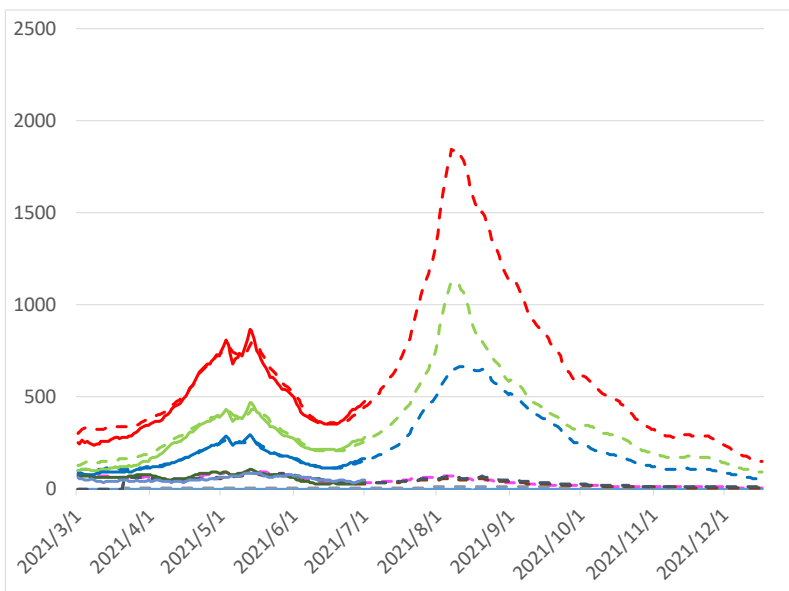
r2. 7/1までのデータに更新し、デルタ株のモデルを実検出数に合わせて更新

# アルファ株＋オリンピック開催の影響評価

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  1. オリンピック開催(22万人)
  2. オリンピック無観客開催

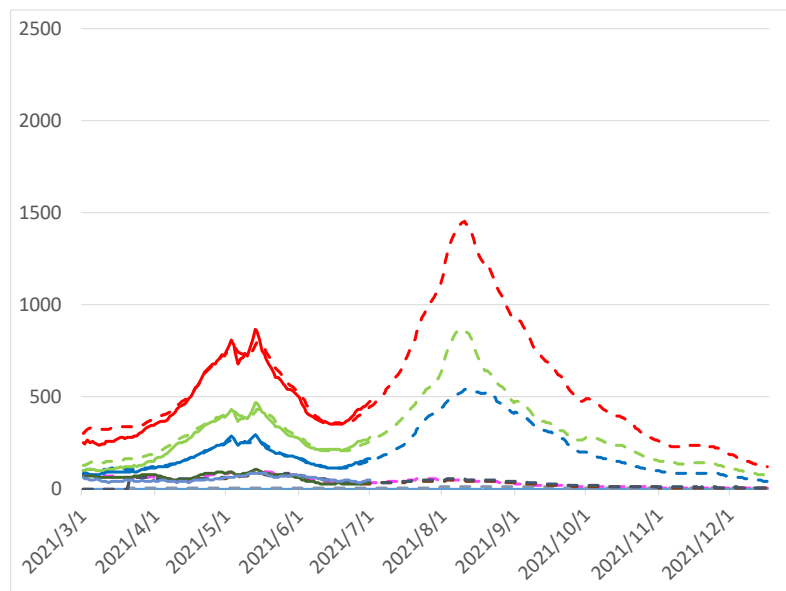
赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
紫：新規陽性者数（65歳～）  
濃紫波線：重症者数  
実線：実測数 波線：推定数

オリンピック開催



8/8 感染者 1850, 重症者 69

オリンピック開催 無観客



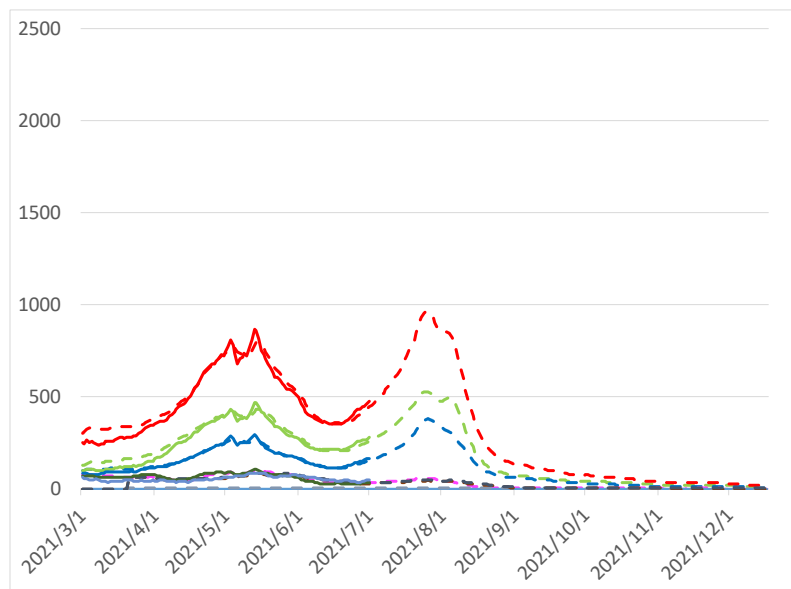
8/11 感染者 1450, 重症者 56

# アルファ株＋オリンピック開催の影響評価

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  - 感染者700人で対策強化（2021年1月の2次宣言相当）300人で解除
    - オリンピック開催(22万人)
    - オリンピック無観客開催

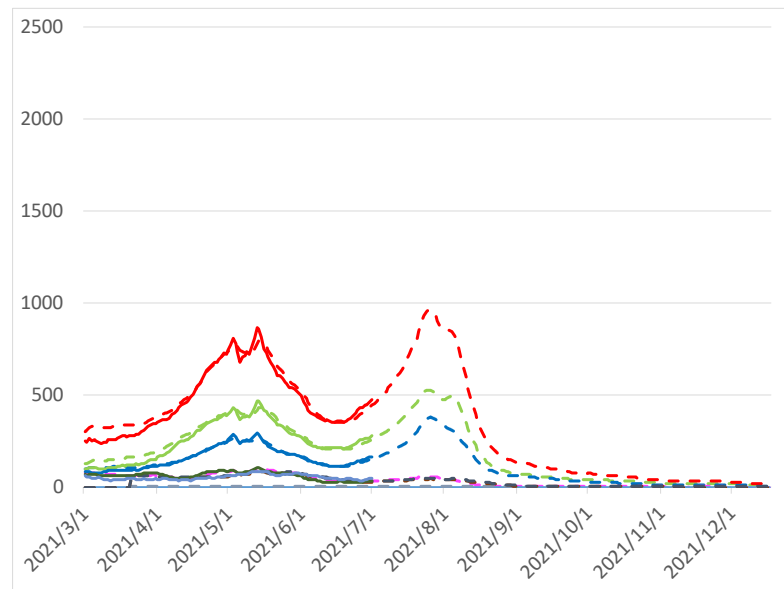
赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
紫：新規陽性者数（65歳～）  
濃紫波線：重症者数  
実線：実測数 波線：推定数

オリンピック開催 CB700\_300



7/27 感染者 970, 重症者 50

オリンピック開催 無観客 CB700\_300



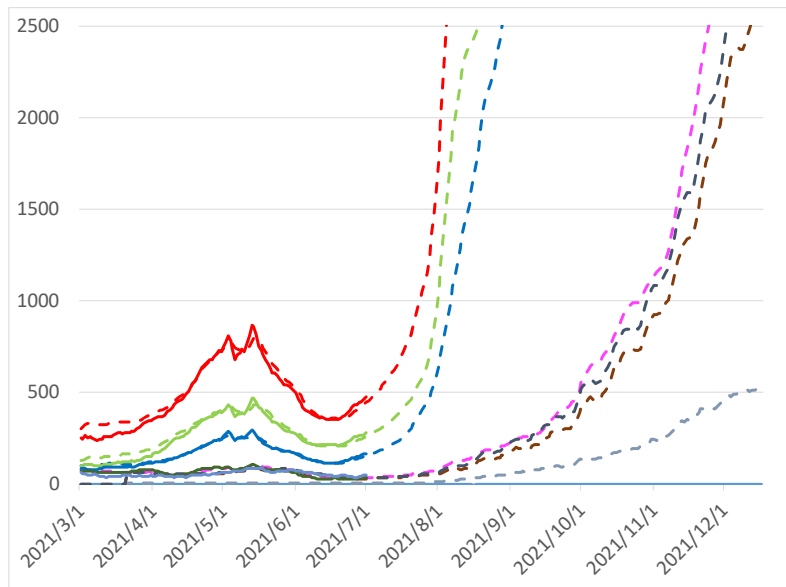
7/25 感染者 900, 重症者 47

# アルファ + デルタ株 + オリンピック開催

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  1. オリンピック開催
  2. オリンピック開催(22万人)、感染者700人で対策強化（2021年1月の2次宣言相当）300人で解除
  3. オリンピック開催(22万人)、感染者700人で対策強化（2020年4月1次と2021年1月2次宣言の中間の強度）300人で解除

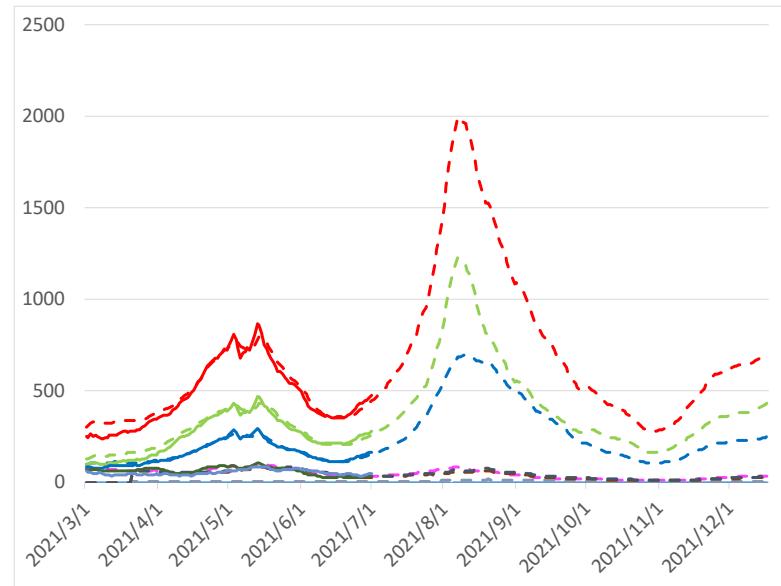
赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
 緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
 青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
 紫：新規陽性者数（65歳～）  
 濃紫波線：重症者数  
 実線：実測数 波線：推定数

オリンピック 開催



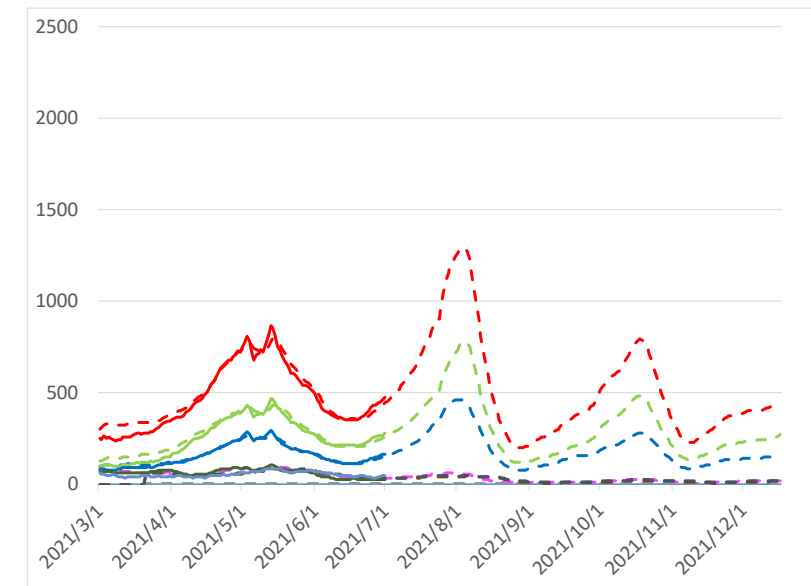
8/31時点 感染者 6600, 重症者 203

オリンピック開催 2次CB700\_300



8/8 感染者 2000, 重症者 76

オリンピック 1.5次CB700\_300



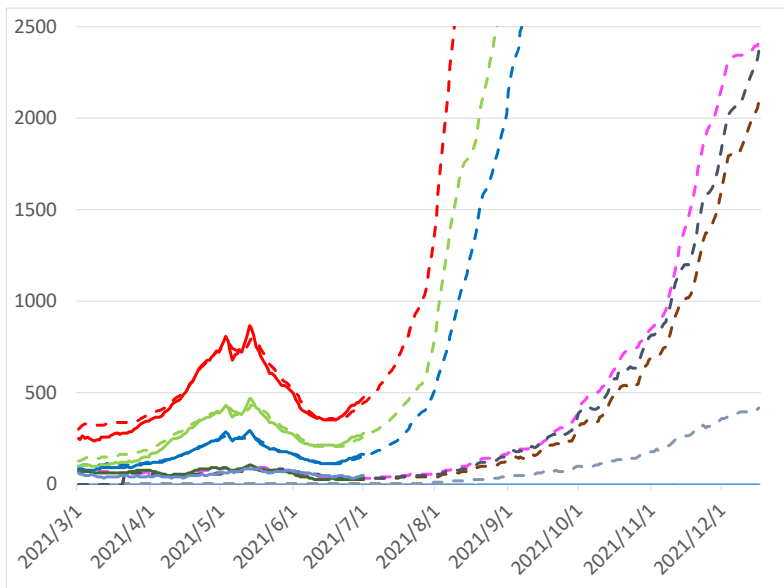
8/4 感染者 1300, 重症者 50

# アルファ + デルタ株オリンピック開催

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  1. オリンピック無観客開催
  2. オリンピック開催(無観客)、感染者700人で対策強化（2021年1月の2次宣言相当）300人で解除
  3. オリンピック開催(無観客)、感染者700人で対策強化（2020年4月1次と2021年1月2次宣言の中間の強度）300人で解除

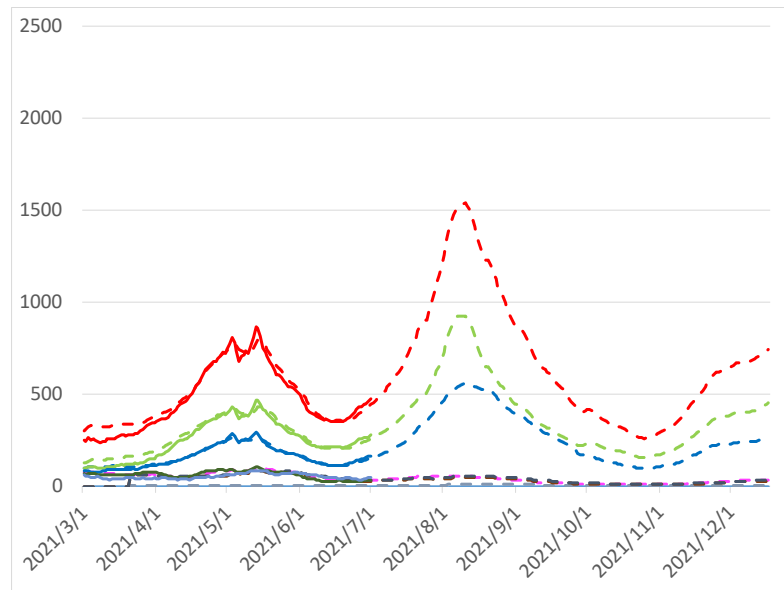
赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
 緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
 青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
 紫：新規陽性者数（65歳～）  
 濃紫波線：重症者数  
 実線：実測数 波線：推定数

オリンピック無観客開催



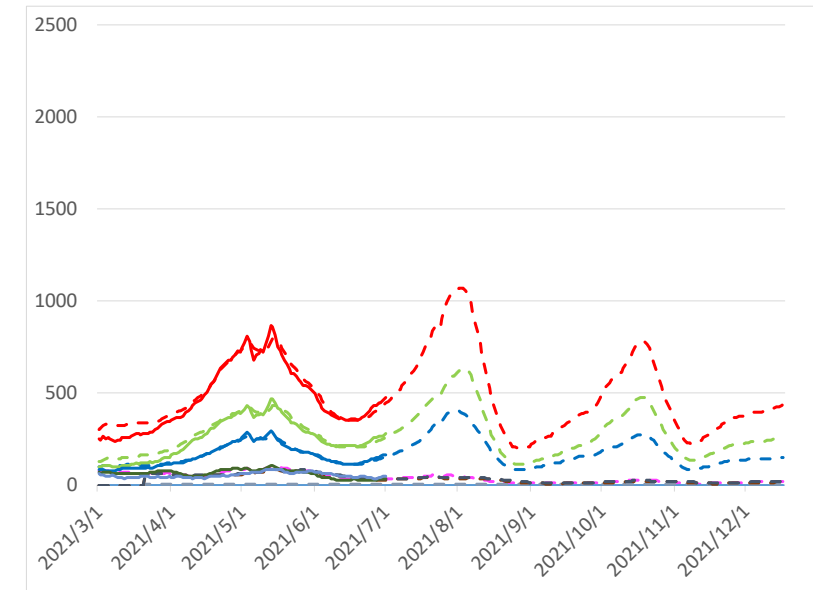
8/31時点 感染者 4790, 重症者 152

オリンピック無観客 2次CB700\_300



8/11 感染者 1540, 重症者 58

オリンピック無観客 1.5次CB700\_300



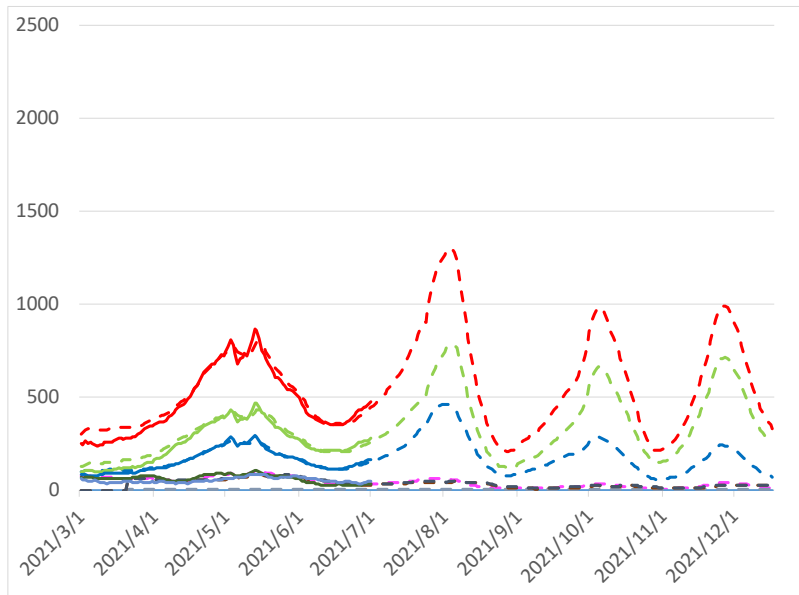
8/3 感染者 1070, 重症者 42

# デルタ株年齢別接種の影響評価

- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  - 感染者700人で対策強化（1次2次宣言中間相当）300人で解除
  - 65歳以上最優先接種、高齢者9割接種で64歳以下に接種開始
    - 15-39歳 0.25, 40-64歳 0.75 (40歳以上9割接種で39歳以下へ全数)
    - 15-39歳 0.5, 40-64歳 0.5 (平等)
    - 15-39歳 0.75, 40-64歳 0.25 (39歳以下9割接種で40歳以上へ全数)

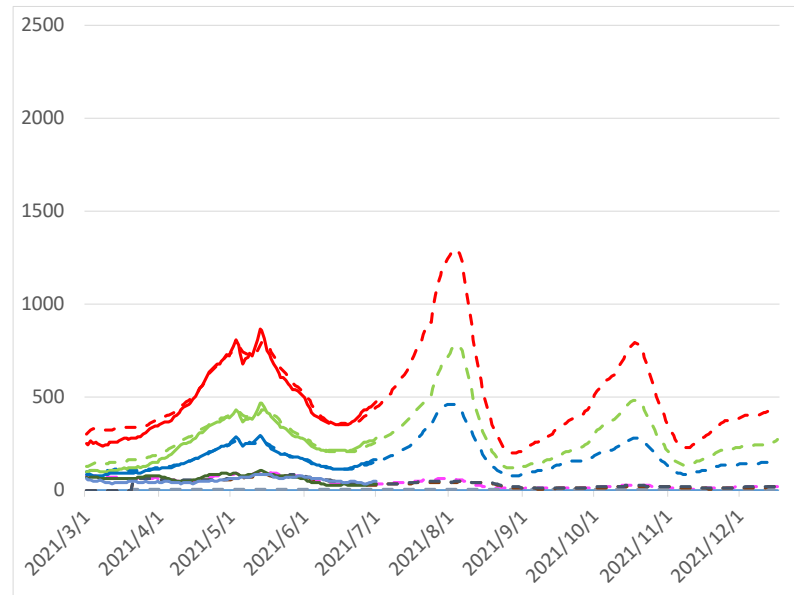
赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
 緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
 青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
 紫：新規陽性者数（65歳～）  
 濃紫波線：重症者数  
 実線：実測数 波線：推定数

15-39歳 0.25, 40-64歳 0.75



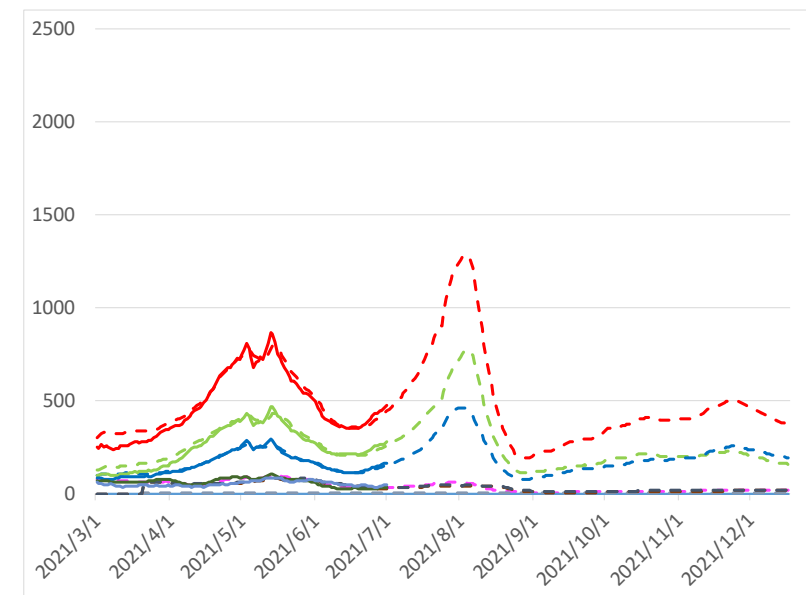
8/4 感染者 1300, 重症者 50

15-39歳 0.5, 40-64歳 0.5



8/4 感染者 1300, 重症者 50

15-39歳 0.75, 40-64歳 0.25



8/4 感染者 1290, 重症者 50

# デルタ株年齢別接種の影響評価

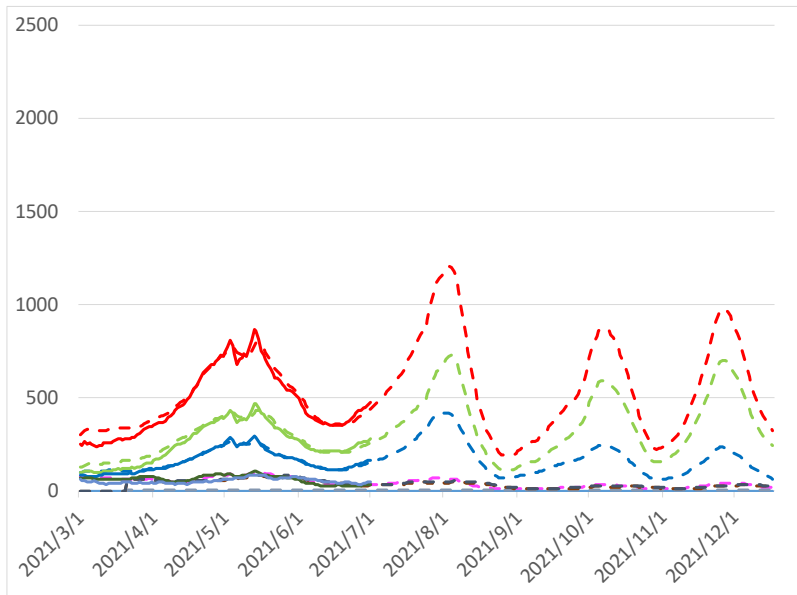
- 6/21に緊急事態宣言を緩和して7/11まで継続  
7月23日～8月8日に22万人/日（50%が都外）の人口流動増加
  - 感染者700人で対策強化（1次2次宣言中間相当）300人で解除
  - 64歳以下にも10%同時接種、高齢者9割接種で64歳以下に接種開始
    - 15-39歳 0.25, 40-64歳 0.75 (40歳以上9割接種で39歳以下へ全数)
    - 15-39歳 0.5, 40-64歳 0.5 (平等)
    - 15-39歳 0.75, 40-64歳 0.25 (39歳以下9割接種で40歳以上へ全数)

赤：新規陽性者総数（15歳以上）  
 緑：新規陽性者数（15歳～39歳）  
 青：新規陽性者数（40歳～64歳）  
 紫：新規陽性者数（65歳～）  
 濃紫波線：重症者数  
 実線：実測数 波線：推定数

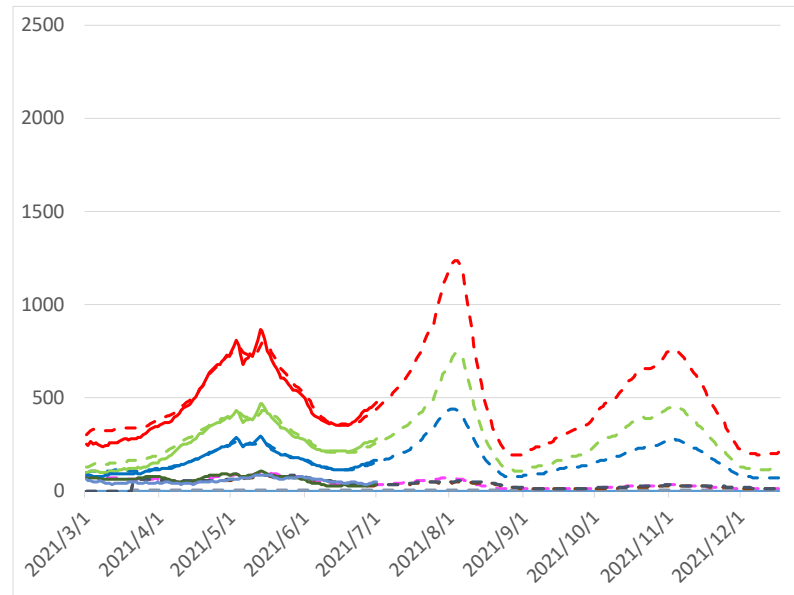
64歳以下10%並行接種  
 15-39歳 0.25, 40-64歳 0.75

64歳以下10%並行接種  
 15-39歳 0.5, 40-64歳 0.5

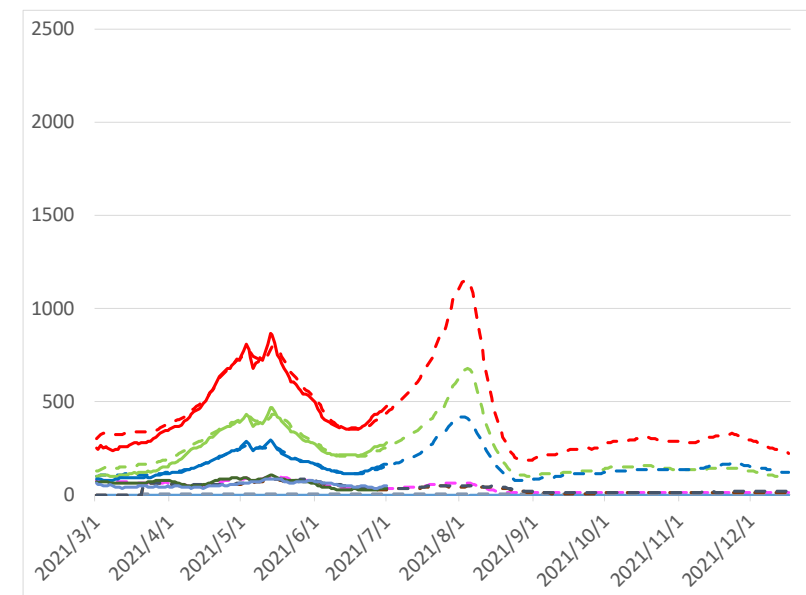
64歳以下10%並行接種  
 15-39歳 0.75, 40-64歳 0.25



8/4 感染者 1200, 重症者 54



8/4 感染者 1240, 重症者 54



8/4 感染者 1150, 重症者 51



# モデル設定

## 1. SEIR数理モデルとAI最適化手法による感染モデル

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15歳～39歳、40歳～59歳、65歳以上の3つの年代内および年代間での感染推定を行った\*。都外からの感染者流入推定値をモデルに組み込み、2021年3月1日～7月1日の感染者数からモデルを学習させた。重症者数は、過去3ヶ月のデータから統計モデルを構築し、それぞれの年代の感染者数推移から推定した。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7月12日以降の実効再生産数と都内流動人口データを適用して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

アルファ株（従来株残存）とデルタ株を対象に、緊急事態宣言緩和の強度を第1次と第2次の緊急事態宣言の中間に設定した。

## 3. ワクチン効果設定

- デルタ株は、アルファ株に対して実効再生産数を50%アップさせるとした。  
ワクチン効果は、アルファ株に対して、第1回で57%、第2回で94%の発症予防効果があるとし、デルタ株に対してはそれぞれ0.9倍とした。  
3/1 - 6/22 の実効再生産数・人口流動数の推移は実測値を使用。6/23～7/22は、直近の7日間移動平均Rtを使用し、7/23以降は2020/7/23以降と同等と仮定。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  
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210610/k10013077751000.html>  
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000787862.pdf>
- 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） 0.08%, 0.065%（高齢者1回目, 2回目見込み）  
6/21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）  $k=1.0\%$

\*モデルの感染者数は、都内で感染した人全員の数となっているため、都外からきて感染したのち、都外へ戻ってそこで陽性者にカウントされる人も含んでいる。

\*\* 新規感染者の合計は、15歳以上の新規陽性者数（公表日）の合計としている（14歳以下は含まない）

# モデル詳細

## 年代別ワクチン効果SEIRモデル

$$\frac{dS_i}{dt} = mN_i - mS_i - \sum_{i'} \frac{\alpha_{i,i'} b_{i,i',t} S_i (I_{i'} + in\_risk_{i',t})}{N_i} - \sum_k \sigma_{i,k} \lambda_{i,k} N_i$$

$$\frac{dE_i}{dt} = \sum_{i'} \frac{\alpha_{i,i'} b_{i,i',t} S_i (I_{i'} + in\_risk_{i',t})}{N_i} - (m + a) E_i$$

$$\frac{dI_i}{dt} = a E_i - (m + g) I_i$$

$$\frac{dR_i}{dt} = g I_i - m R_i + \sum_k \sigma_{i,k} \lambda_{i,k} N_i$$

$$S_i \leftarrow S_i + \sum_j S\_leave_{i,j,t} - \sum_j S\_leave_{j,i,t}$$

$$E_i \leftarrow E_i + \sum_j E\_leave_{i,j,t} - \sum_j E\_leave_{j,i,t}$$

$$I_i \leftarrow I_i + \sum_j I\_leave_{i,j,t} - \sum_j I\_leave_{j,i,t}$$

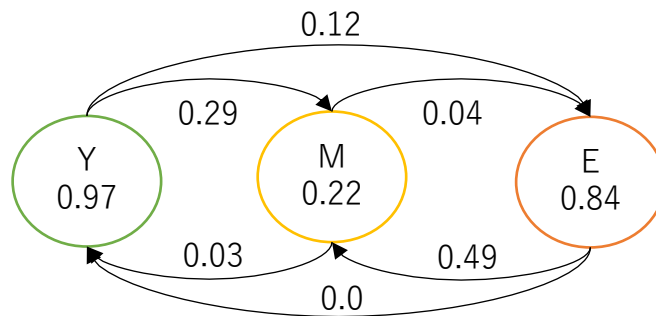
$$R_i \leftarrow R_i + \sum_j R\_leave_{i,j,t} - \sum_j R\_leave_{j,i,t}$$

$$N_i \leftarrow S_i + E_i + I_i + R_i$$

- $N_i$  = 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
- $\alpha_{i,i'}$  = 年代間感染率
- $b_{i,i',t}$  = 時刻  $t$  における感染率
- $a$  = 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

## 年代別感染推移確率 (右から左へ伝播)

	Age_Y	Age_M	Age_E
Age_Y	← 0.97	0.03	0.0
Age_M	← 0.29	0.22	0.49
Age_E	← 0.12	0.04	0.84



## 逆シミュレーションモデル

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

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

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

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