

オリンピックおよびデルタ株の 感染推定

2021.6.14 r1

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

オリンピック開催に伴い、34万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。東京都での従来型+N501Y変異種において、ワクチン接種を実測数と今後0.8%/dayで行い、6月21日に緊急事態宣言を解除した場合と、解除せずに緩和した規制を継続した場合、そして関係者全員がワクチン接種をした場合のシナリオ推定を行った。

2. 都内への来訪者が全日程で休日並みの15%の場合、感染者は90名程度増加

来訪者全員がワクチン接種する場合と比べて、都外からの来訪者が全日程で年末休日並みの15%(×34万人)の場合、感染者は93名増加し1660名程度*、重症者ピークも60名程度となった。これに対して、緊急事態宣言を全面解除せず緩和した規制(2021年1月の第2次緊急事態宣言相当)を継続した場合、感染者は最大で790名程度、重症者ピーク40名程度に抑えられた。

3. デルタ株の拡大が最大のリスク

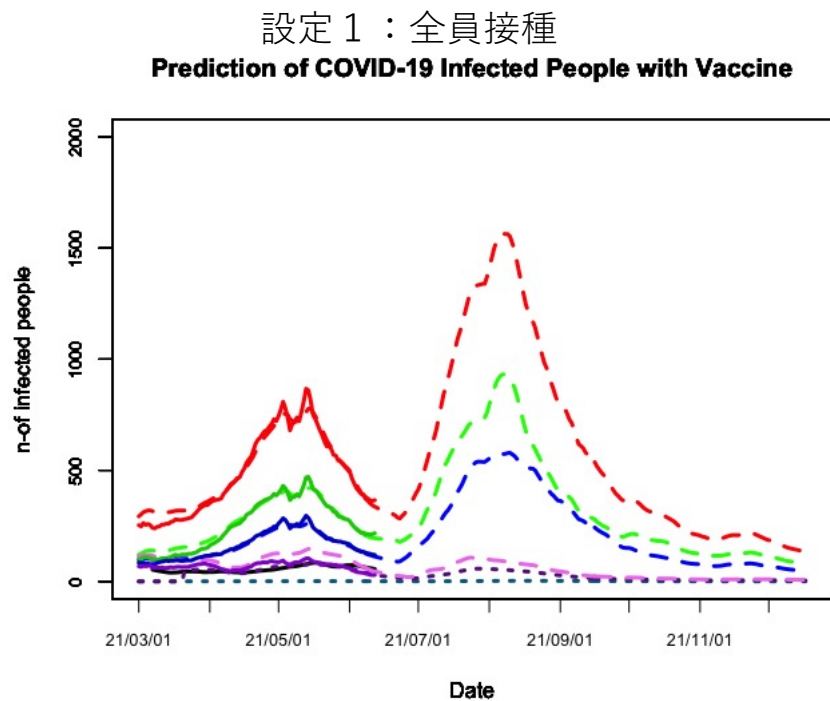
インド由来のデルタ株変異種が、6月1日に都内市中で10名存在した場合、最大で55000人程度の新規陽性者の発生と重症者ピーク1940名となるリスクがある。これに対して、新規陽性者が700名を超える7月末に、第4次緊急事態宣言(2021年5月第3次緊急事態宣言相当)を実施することで、感染者のピークは1000名程度*に抑制できる可能性がある。

*これらは、2020年6月以降の東京都の感染状況(実効再生算数)をベースに試算しており、その当時の都民の緊迫した行動変容(外出自粛)や保健所や店舗による迅速なクラスター対策などが効果を発揮したことを前提としている。

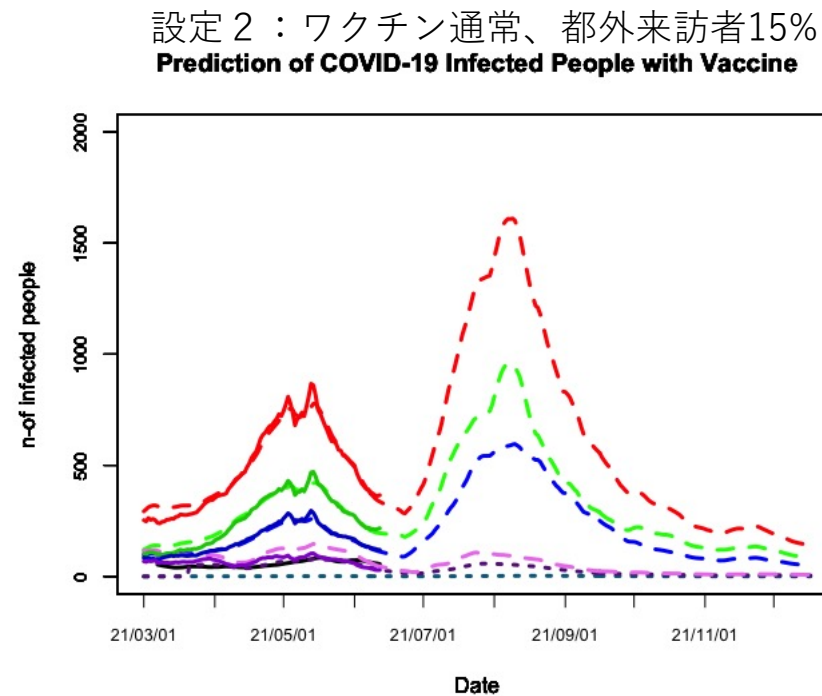
オリンピック開催の影響評価

- 6月21日緊急事態宣言解除
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加
 - 設定1：全員ワクチン接種（=オリンピック中止/延期）
 - 設定2：特別ワクチン接種なし、都外からの来訪者は15%（休日相当）
- 都外からの来訪者が休日相当の場合、感染者は50名程度増加

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



感染者 1566 重症者 59



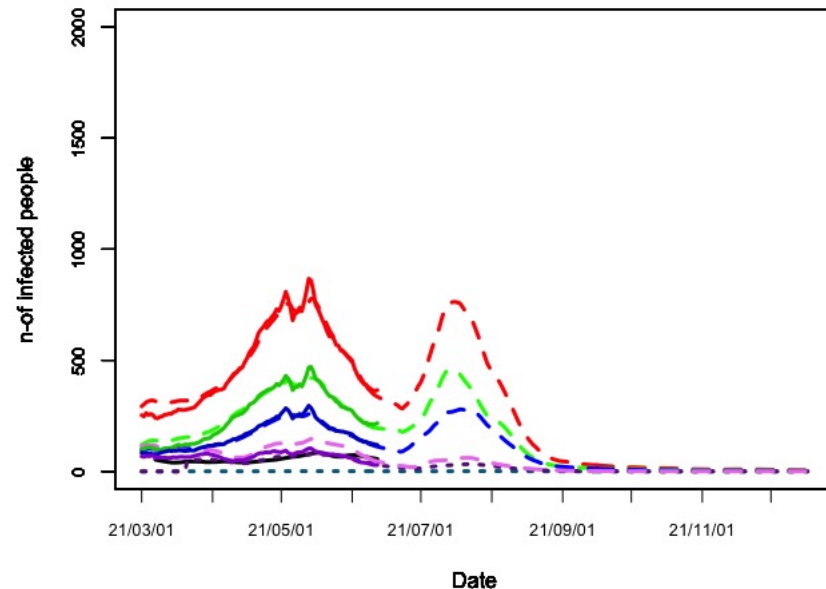
感染者 1659 重症者 60

オリンピック開催の影響評価

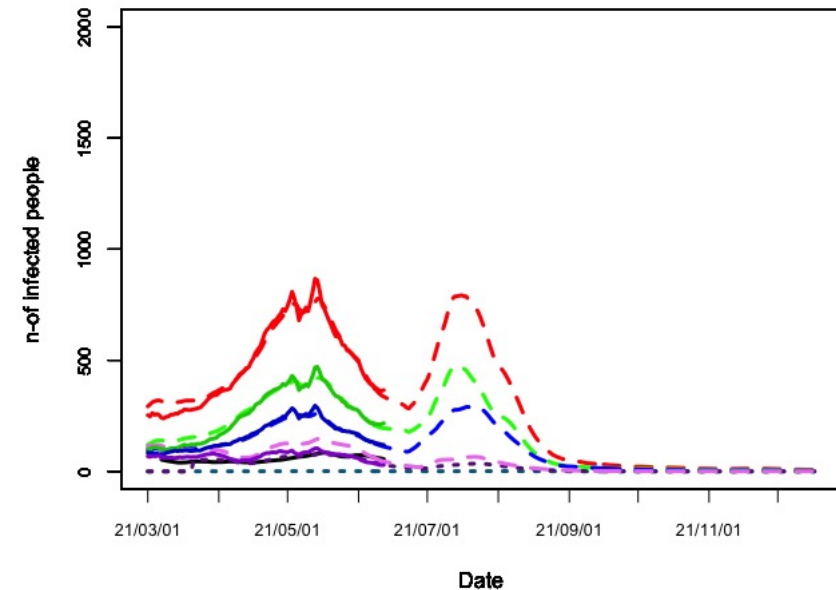
- 6月21日緊急事態宣言を緩和して継続（今年1月相当）
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加（設定は同じ）
- 感染者のピークは790名程度

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

設定1：全員接種
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



設定2：ワクチン通常、都外来訪者15%
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



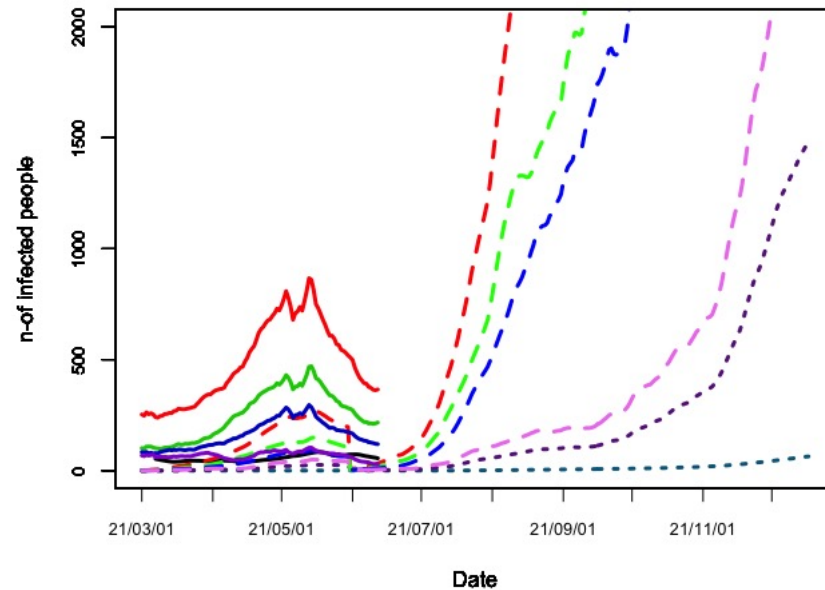
デルタ株の影響評価

- 6月21日緊急事態宣言を解除
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加（設定は同じ）
- 6月1日時点で10名のデルタ株感染者が市中に存在と仮定
 - 感染力はアルファ株の1.5倍、ワクチン効果は0.9倍と仮定
- 感染者のピークは5800名程度

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

設定1：全員接種

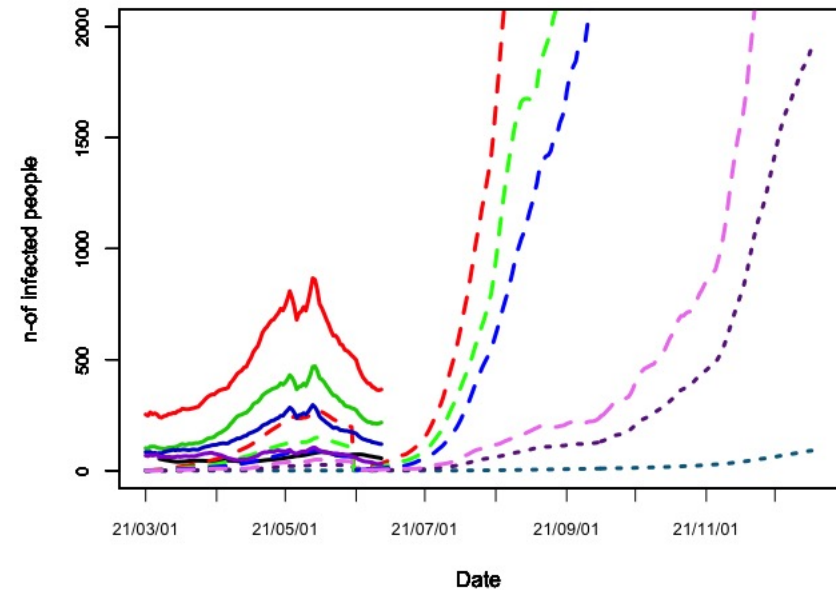
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



感染者 53100 重症者 1860

設定2：ワクチン通常、都外来訪者15%

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



感染者 55200 重症者 1940

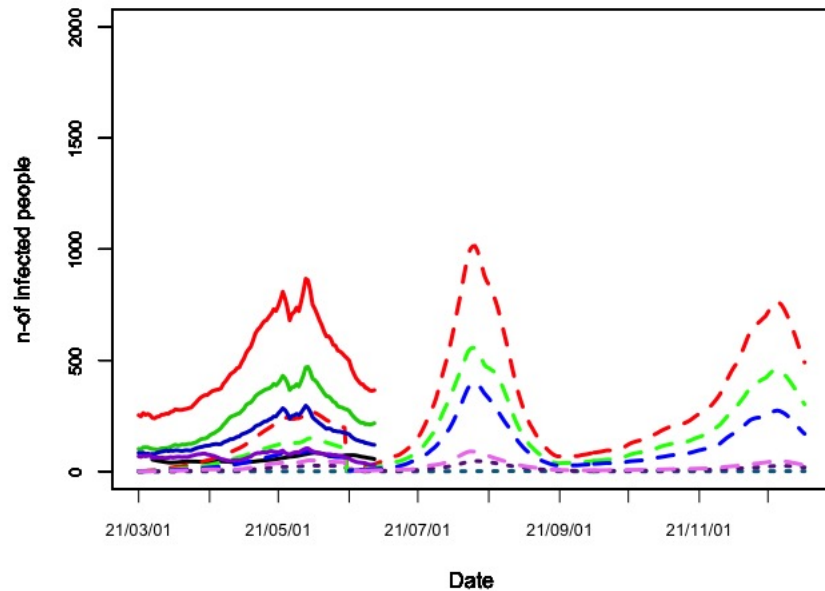
デルタ株の影響評価

- 6月21日緊急事態宣言を緩和後、感染者700名で緊急事態宣言
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加（設定は同じ）
- 6月1日時点で10名のデルタ株感染者が市中に存在と仮定
 - 感染力はアルファ株の1.5倍、ワクチン効果は0.9倍と仮定
- 感染者のピークは1000名程度

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

設定 1：全員接種

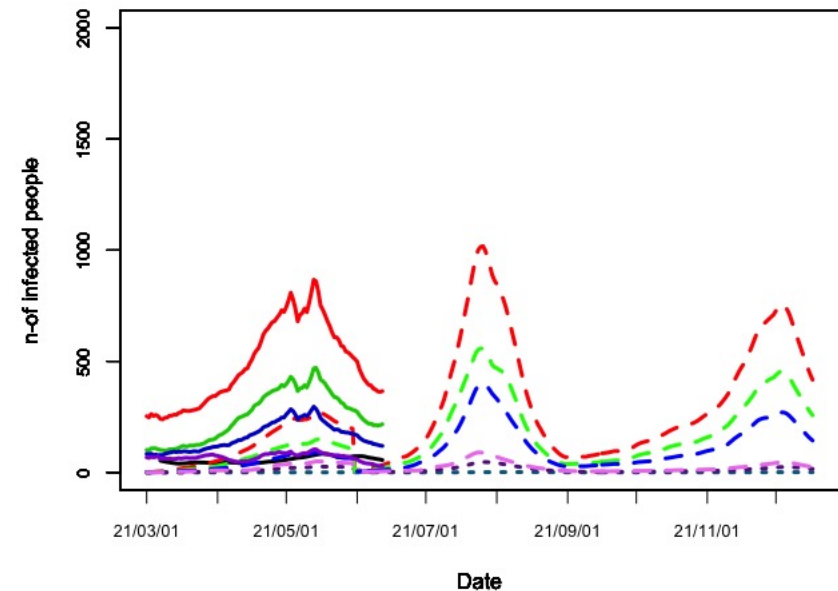
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



感染者 1015 重症者 48

設定 2：ワクチン通常、都外来訪者15%

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



感染者 1018 重症者 48

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～6月12日の感染者数からモデルを学習させた。重症者数は、過去6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6月21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。また、デルタ株に対しては第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

- 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 - 6/12 の実効再生産数・人口流動数の推移は実測値を使用。6/13～6/20は、直近の7日間移動平均Rtを使用し、6/21以降は2020/6/21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） 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

σ_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

λ_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