

民間の有識者等のシミュレーション結果概要

| 作成者 | 前提 ※6月20日緊急事態宣言解除は共通 | 結果（新規感染者数）※[]内は重症者数 |
|-------------------------|---|---|
| ①日本大学 大前先生他 | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：解除後1.3倍 ・ワクチン：15万回/日（105万回/週） ・デルタ株：6/10から4週かけて8割まで置換 | <ul style="list-style-type: none"> ・五輪で人流10%増の場合、8月上旬頃に1,600人程度でピーク。人流5%増の場合は1,400人程度でピーク。 ※重症者の試算なし |
| ②筑波大学 倉橋先生 | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：解除後都外からの流入15%増 ・ワクチン：人口比0.8%/日 ・デルタ株：6/1で10名感染者。感染力1.5倍（8月初旬に8割程度まで置換） | <ul style="list-style-type: none"> ・五輪で34万人の人流増の場合、700人を超えた時点で緊急事態宣言を発令することによりピークを1,330人[67人]程度に抑制可。 ・デルタ株を考慮しない場合、五輪なしで8/11に2,527人[77人]、開催で2,797人[88人]（五輪開催で+270人[11人]）。 |
| ③国立感染症研究所 鈴木先生他 | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：①解除後10%増 ②解除後10%増+その後1ヶ月で15%まで増 ・ワクチン：15万回/日（105万回/週） ・デルタ株：4週かけて8割まで置換（影響大ケース） 8週かけて8割まで置換（影響小ケース） | <ul style="list-style-type: none"> （デルタ株の影響大・緊急事態宣言ありケース） ・人流に関わらず7月上旬に1,000人を超えて緊急事態宣言を発令。 ・その上で、人流が15%増、五輪で人流が追加10%増の場合、7月末頃に2,000人[8月中旬に350人]を超える。五輪による人流増が無い場合は8月半ばで1,700人[250人]程度。 （デルタ株の影響小・緊急事態宣言なしケース） ・人流が10%増、五輪で人流が追加5%増の場合、9月上旬に1,800人[130人]程度となる。 |
| ④東京大学 仲田・藤井先生 (1) | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：12週かけて昨年2月の水準まで戻る ・ワクチン：105万回/週 ・デルタ株：7月末に約4割、8月末に約8割まで置換 | <ul style="list-style-type: none"> ・五輪で人流10%増の場合、9月中旬頃に1,300人[500人（重症病床使用率50%未満）]程度でピークアウト。 ・五輪による人流増が無い場合、9月中旬頃に1,100人[400人]程度でピークアウト。 |
| ⑤東京大学 仲田・藤井先生 (2) | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：12週かけて昨年2月の水準まで戻る ・ワクチン：全国で1日に75万回/日と100万回/日 ・デルタ株：6月末に2割、7月末に5割、8月末に8割まで置換 | <ul style="list-style-type: none"> ・全国で1日75万回の場合、9月上旬で1,500人程度に達し、緊急事態宣言を発令後に1,600人[600人（重症病床使用率50%）]程度で反転して収束。 ・1日100万回の場合、9月下旬に1,200人[500人]程度でピーク。 |
| ⑥三菱総研 | <ul style="list-style-type: none"> ・人流：解除後20%増 ・ワクチン：15万回/日（105万回/週） ・デルタ株：6月末1割、7月末7割まで置換（最大ケース） | <ul style="list-style-type: none"> ・五輪で人流30万人増・海外から7.7万人増の場合、8月下旬頃に1,400人[9月中旬頃に230人]程度。人流10万人増の場合、1,200人[9月上旬頃130人]程度。 |

① 日本大学 大前先生他

○ 4パターンのシミュレーション

五輪 2 ケース（人流1.05倍、1.10倍）×デルタ株 2 ケース（ある、なし）

○ 主な前提

・緊急事態宣言解除日: 6/20

・人流

解除後1.3倍

五輪期間中は追加人流発生（1.05倍、1.10倍）

・ワクチン

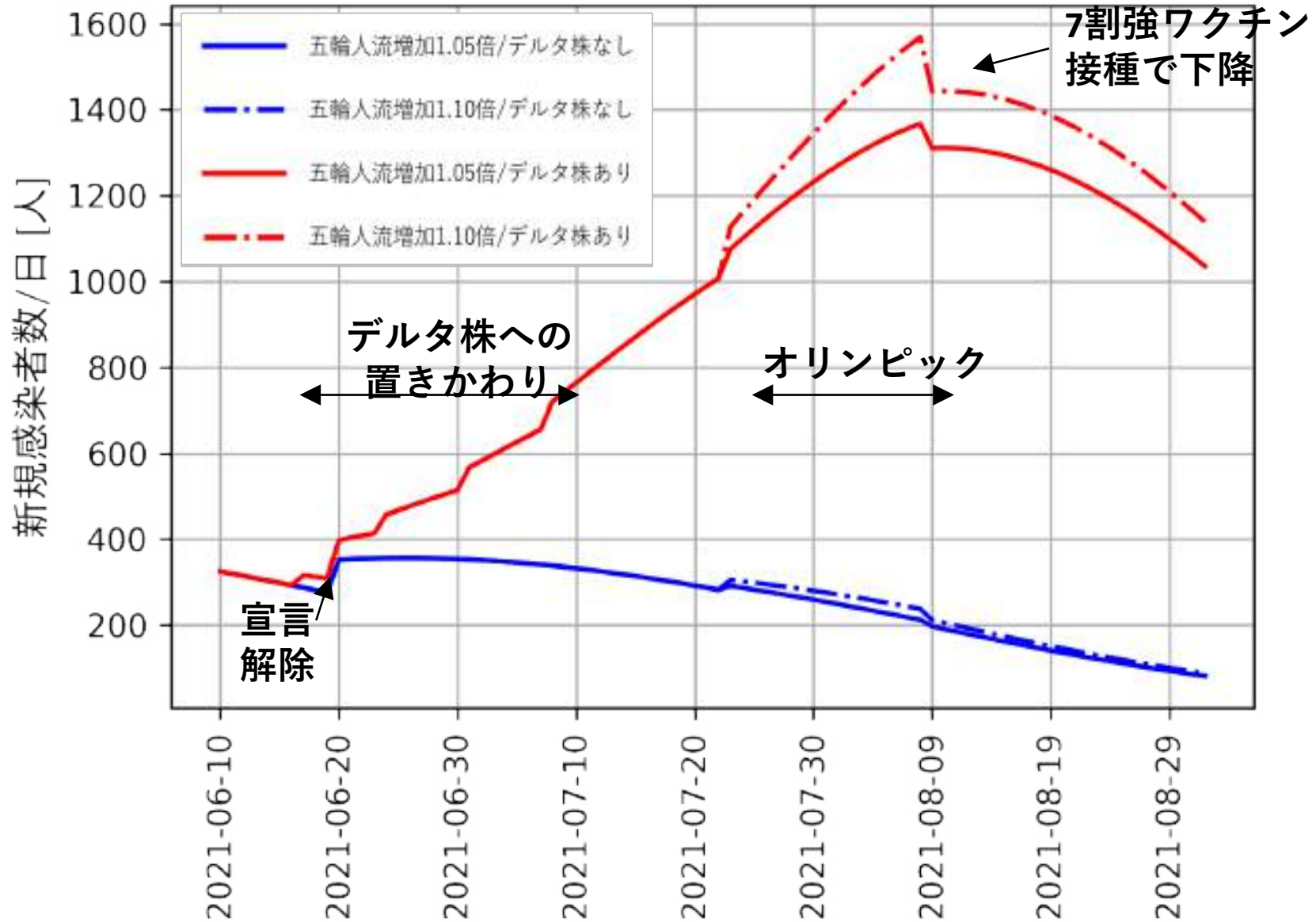
接種スケジュール: 15万回/日

・デルタ株

「あり」の場合: 6/10から1週間毎に2割ずつ置換され、最終的にデルタ株8割

新規感染者数

備考:
 スムージング処理を入れると滑らかになりますが、本結果は非実装なので、
 ガタついています。また、感染からPCR検査までの遅延性は考慮していません。



緊急事態宣言なし

②筑波大学 倉橋先生

○10パターンのシミュレーション

- ・五輪 6 ケース（緊急事態宣言 2 ケース（解除、緩和して継続）
×オリンピック人流 3 ケース（あり（ワクチン接種通常）、あり（関係者・観客ワクチン100%）、なし））
- ・デルタ株 4 ケース（緊急事態宣言 2 ケース（追加発令あり、なし）×オリンピック人流 2 ケース（あり、なし））

○ 主な前提

- ・緊急事態宣言解除日: 6/20
- ・人流
解除後、都外からの流入15%増
五輪期間中は追加人流発生（34万人）
- ・ワクチン
接種スケジュール: 人口比0.8%/日
- ・デルタ株
6/1で10名感染。感染力1.5倍（8月初旬に8割程度まで置換）

10パターンのうち、「デルタ株の影響あり」かつ「緊急事態宣言の実施あり」に属する2パターンを内閣官房において抜粋

②筑波大学 倉橋先生

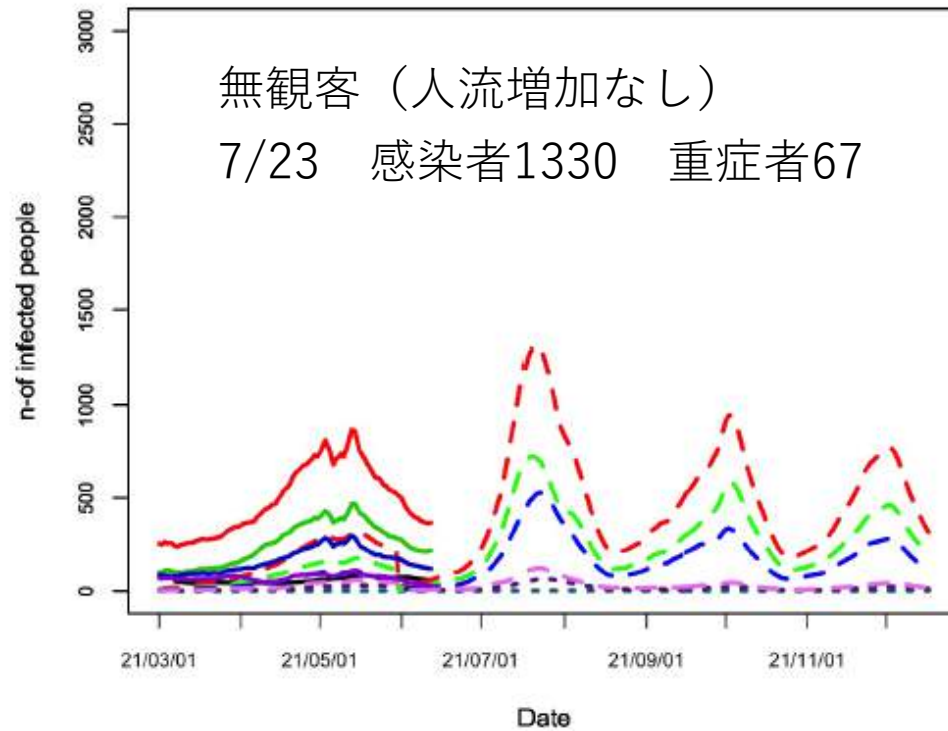
緊急事態宣言あり

デルタ株の影響評価

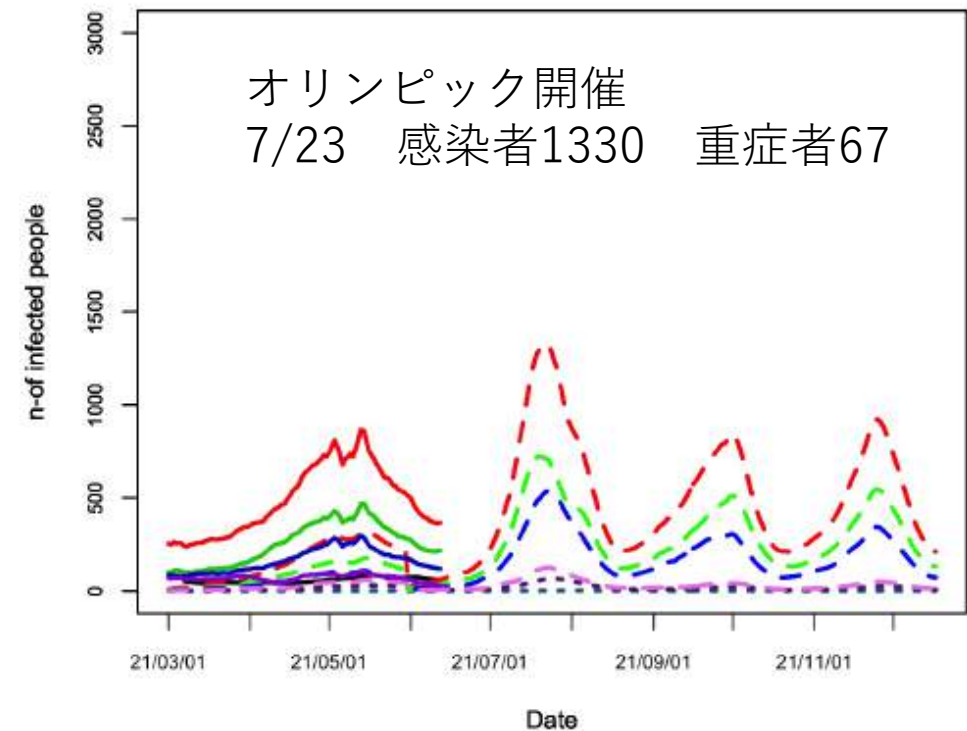
- 6月21日緊急事態宣言を緩和後、感染者700名で緊急事態宣言（1次2次の中間程度の強度）発動し300名で解除
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加（設定は同じ）
- 6月1日時点で10名のデルタ株感染者が市中に存在と仮定
 - 感染力はアルファ株の1.5倍、ワクチン効果は0.9倍と仮定
- 感染者のピークは1330名程度

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

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



10パターンのうち、「デルタ株の影響なし」かつ「緊急事態宣言の実施なし」に属する3パターンを内閣官房において抜粋

②筑波大学 倉橋先生

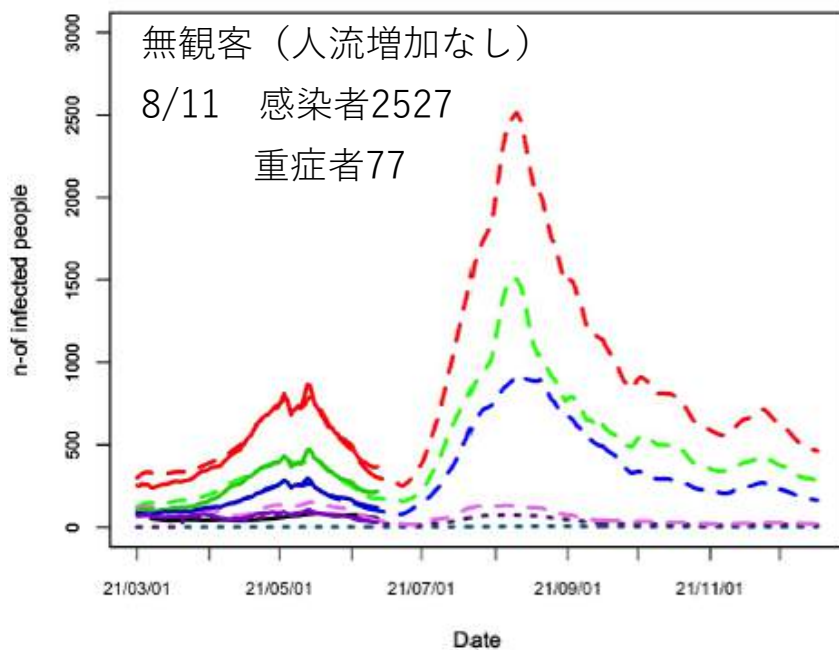
緊急事態宣言なし

オリンピック開催の影響評価

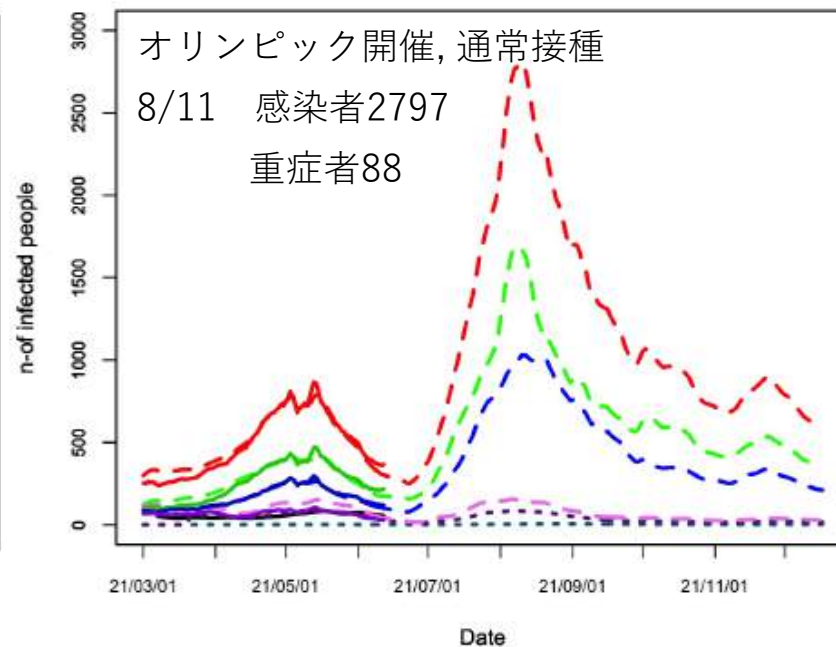
- 6月21日緊急事態宣言解除
- 7月23日～8月8日に34万人の人口流動が増加
 - 設定1：無観客開催などで人流が増加しない場合
 - 設定2：オリンピック開催 ワクチン接種通常
 - 設定3：オリンピック開催 関係者・観客ワクチン接種100%
- 開催(設定2)で270名増加、接種100%(設定3)で83名減少

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

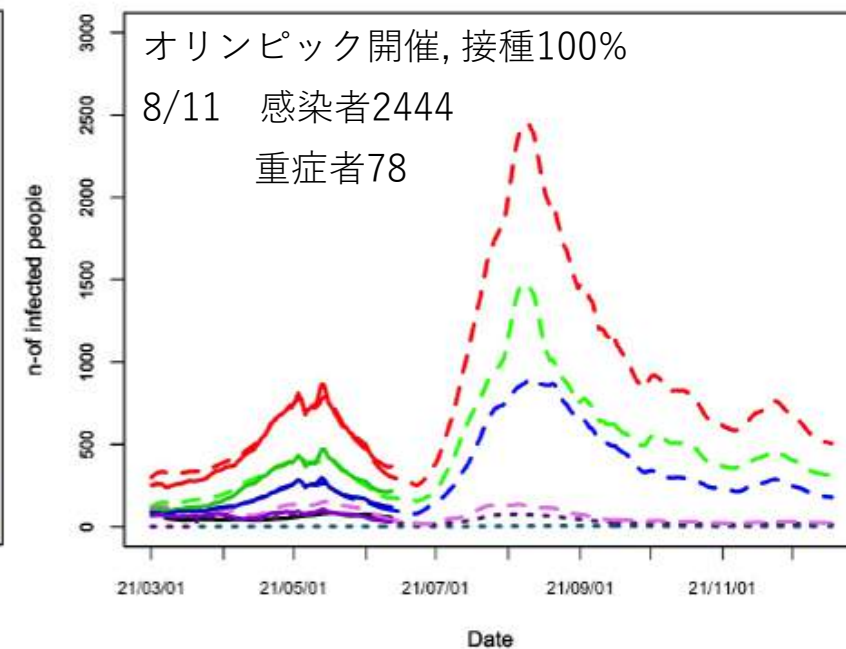
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



③ 国立感染症研究所 鈴木先生他

○ 36パターンのシミュレーション

五輪3ケース（人流影響なし、5%増、10%増）

×人流2ケース（解除後人流10%増、10%増から1か月かけて15%まで増）

×デルタ株3ケース（影響大、影響小、なし）

×緊急事態宣言2ケース（新規感染者数1,000人で発令、なし）

○ 主な前提

・緊急事態宣言解除日: 6/20

・人流

上記のとおり

・ワクチン

接種スケジュール: 15万回/日

・デルタ株

影響大: 感染力1.5倍、病原性2倍の株が、4週間かけて8割置換

影響小: 感染力1.2倍、病原性1.2倍の株が、8週間かけて8割置換

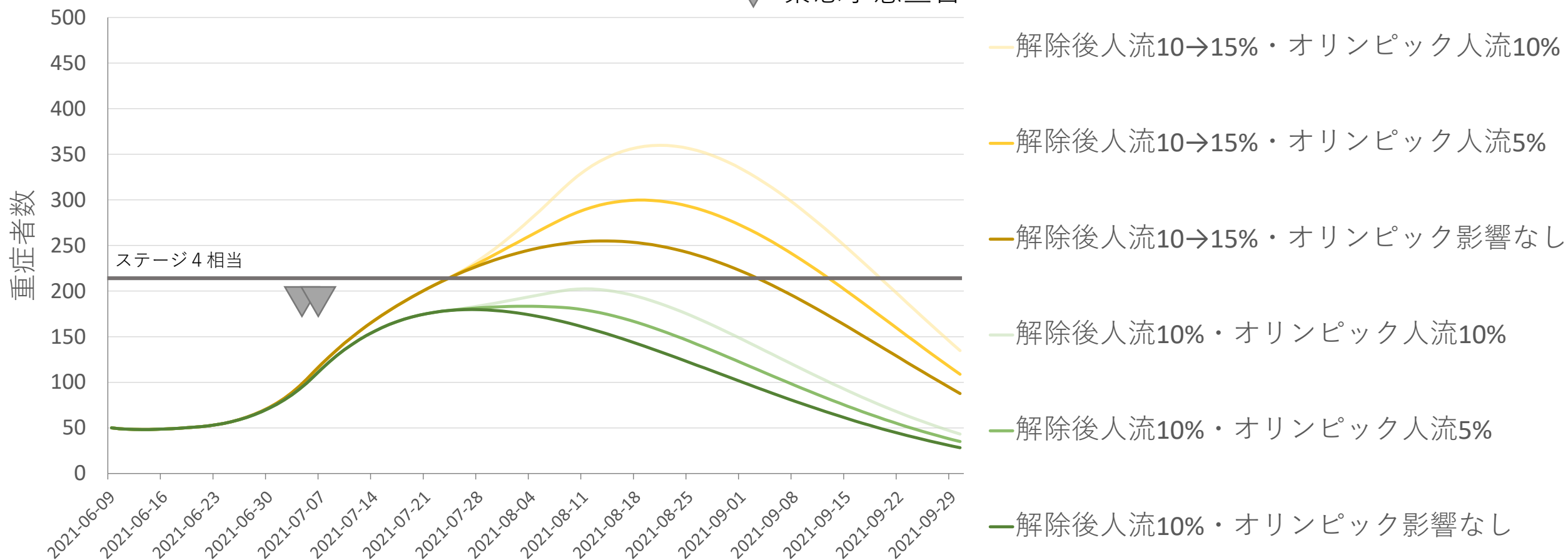
36パターンのうち、「デルタ株の影響大」かつ「緊急事態宣言の実施あり」に属する6パターンを内閣官房において抜粋

デルタ株の影響・大、1000人で緊急事態宣言

重症者数

▼ 緊急事態宣言

緊急事態宣言あり

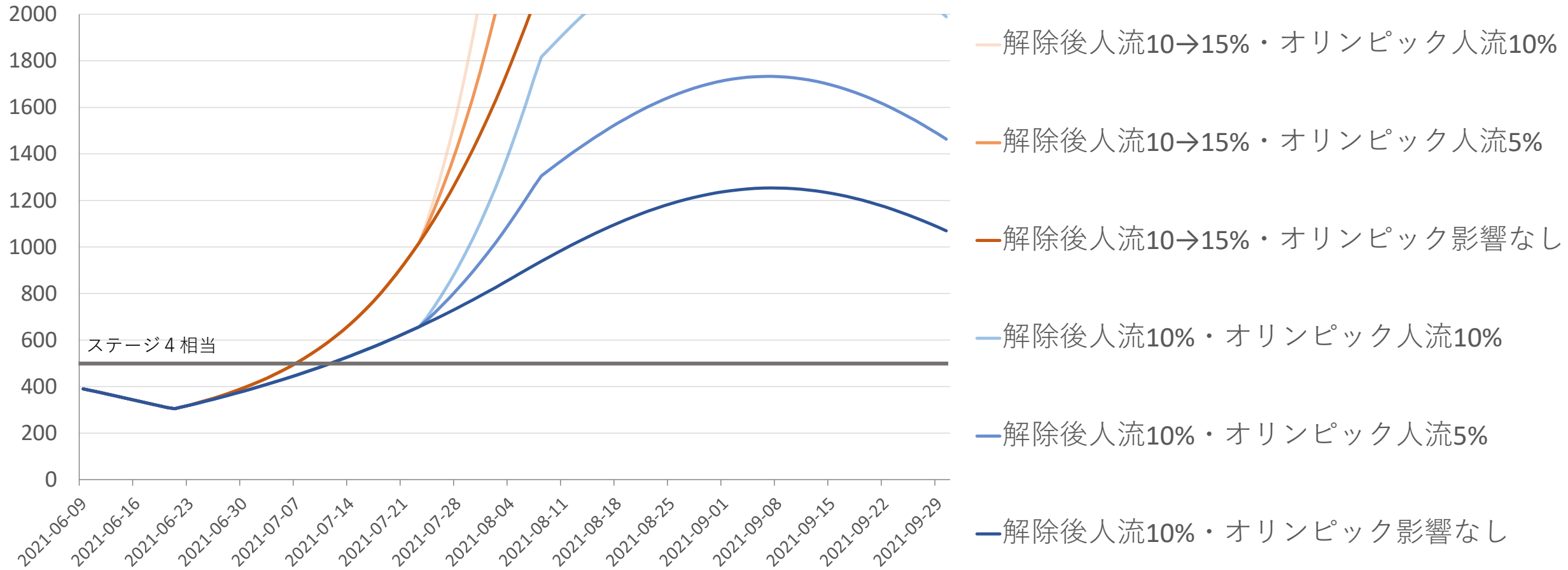


36パターンのうち、「デルタ株の影響小」かつ「緊急事態宣言の実施なし」に属する6パターンを内閣官房において抜粋

デルタ株の影響・小、緊急事態宣言なし

新規感染報告者数

緊急事態宣言なし

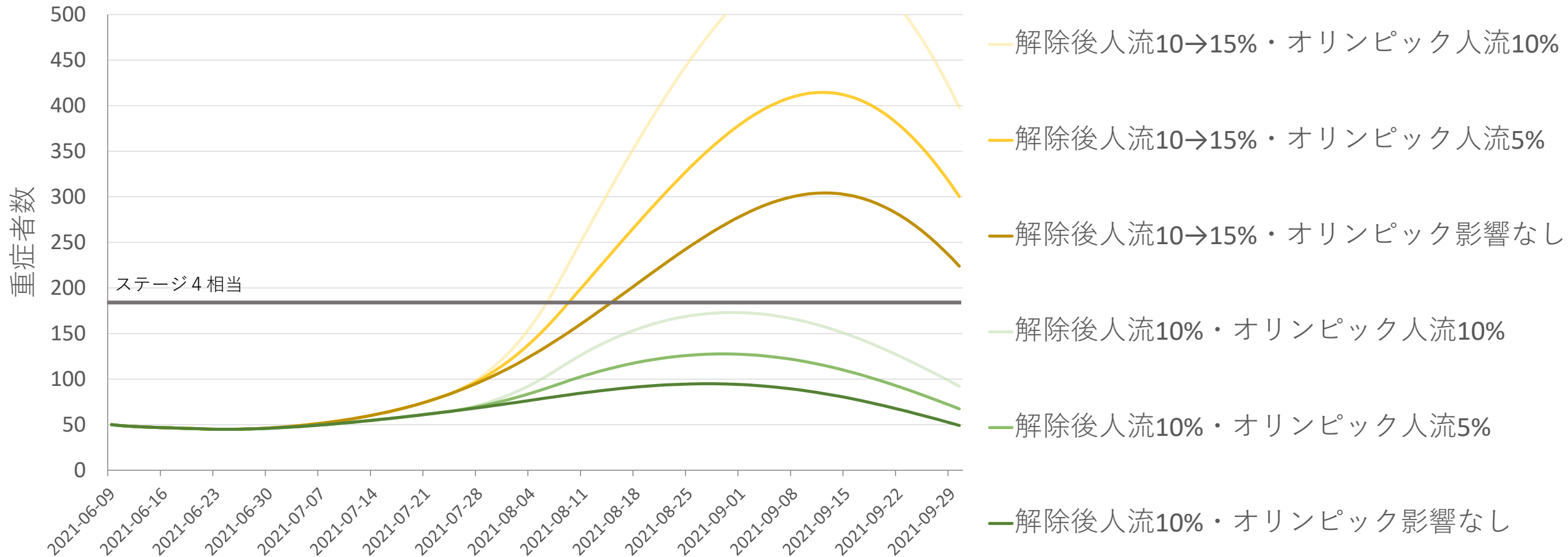


36パターンのうち、「デルタ株の影響小」かつ「緊急事態宣言の実施なし」に属する6パターンを内閣官房において抜粋

デルタ株の影響・小、緊急事態宣言なし

重症者数

緊急事態宣言なし



④ 東京大学 仲田先生・藤井先生 (1)

○ 9 パターンのシミュレーション

五輪 3 ケース (人流影響なし、5%増、10%増)

×デルタ株 3 ケース (7月末 6%・8月末 7%、7月末に約 4 割・8月末に約 8 割、7月末に約 8 割・8月末に約 9 割)

○ 主な前提

・緊急事態宣言解除日: 6/20 (6月第4週に経済促進開始)

・人流

12週かけて昨年2月の水準まで戻る

・ワクチン

接種スケジュール: 105万回/週

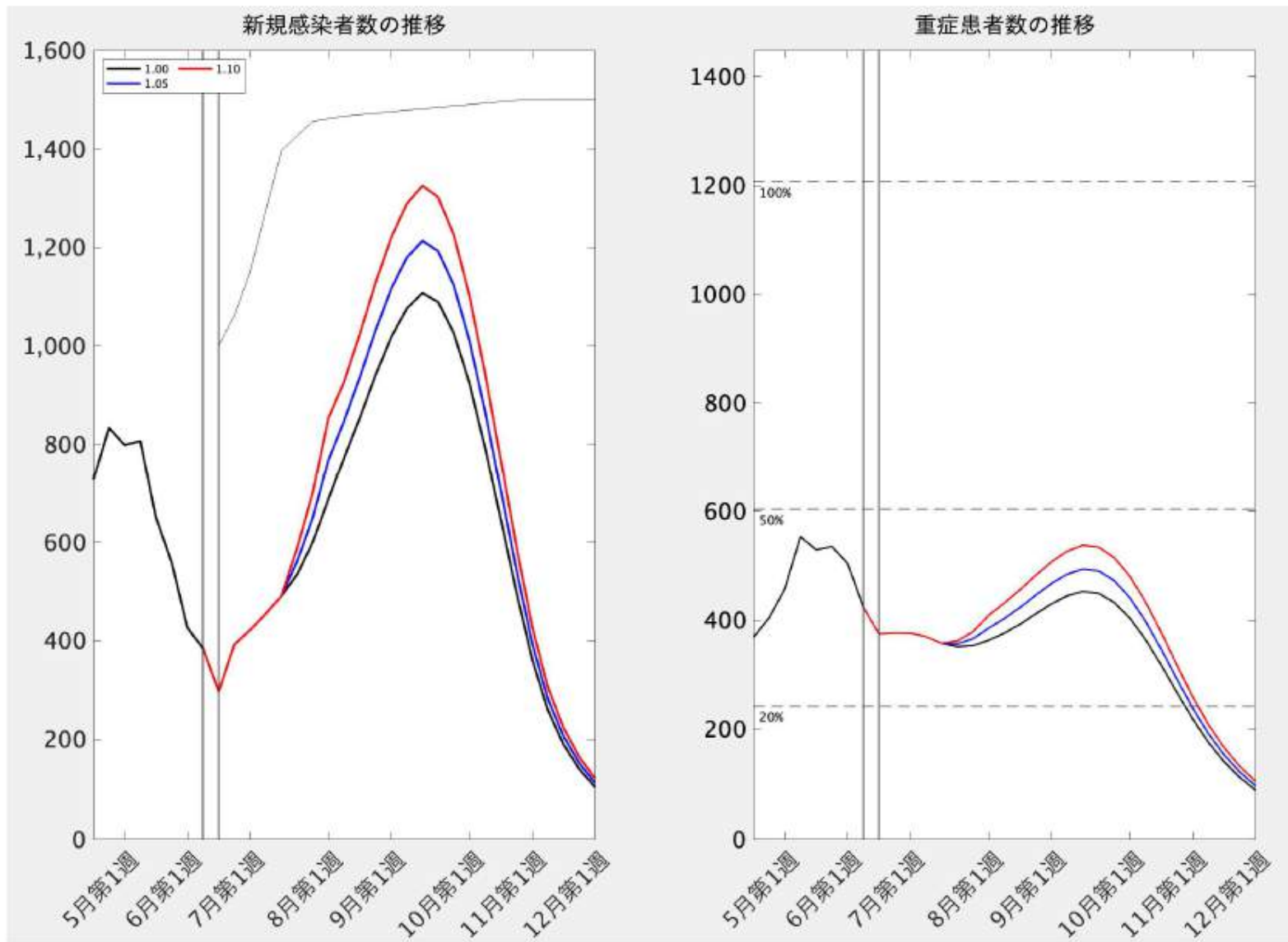
・デルタ株

上記のとおり

9パターンのうち、デルタ株への置き換わりが「7月末に約4割・8月末に約8割」の類型に属する3パターンを内閣官房において抜粋

B. 7月末に4割・8月末に約8割

緊急事態宣言なし



⑤ 東京大学 仲田先生・藤井先生 (2)

○ 2 パターンのシミュレーション

ワクチン2ケース (全国で525万回/週、700万回/週)

○ 主な前提

・緊急事態宣言解除日: 6/20 (6月第4週に経済促進開始)

・人流

12週かけて昨年2月の水準まで戻る

・ワクチン

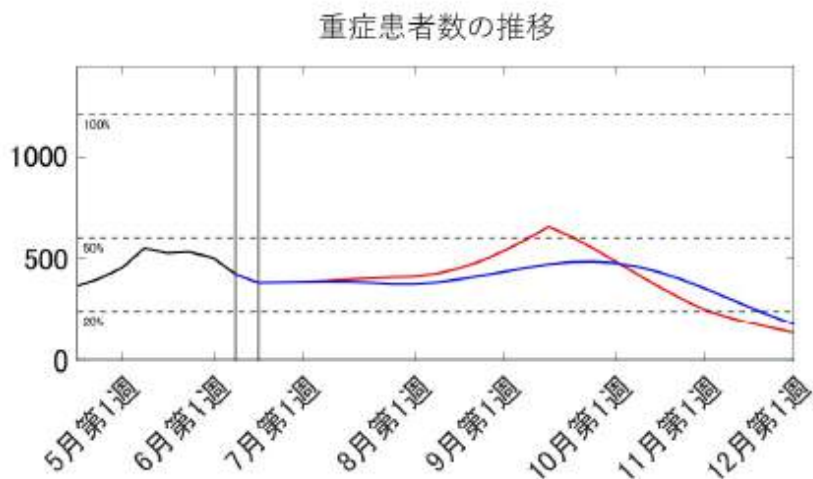
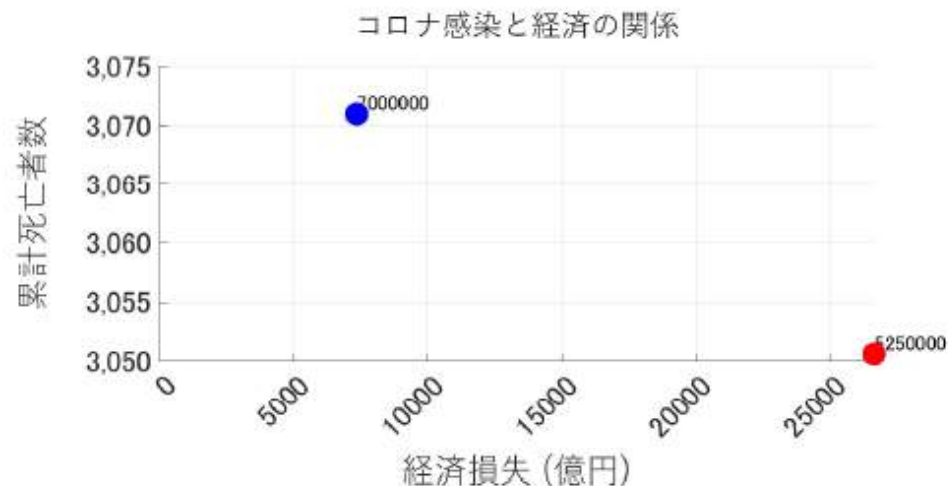
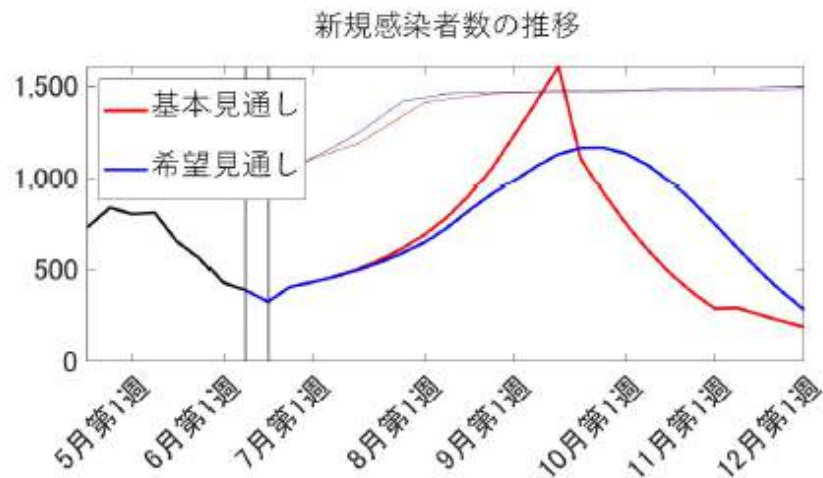
上記のとおり

・デルタ株

6月末に2割、7月末に5割、8月末に8割まで置換

東京都: ワクチン見通しの比較

「基本見通し」は緊急事態宣言あり
 「希望見通し」は緊急事態宣言なし



- 基本ワクチン見通し: 週525万本
- 希望ワクチン見通し: 週700万本
- 左上のパネルは、一日の新規感染者数の推移。左(右)の黒の縦実線が現在時点(6月第3週)。細い線は宣言再発令タイミング
- 右上のパネルは、基本(赤)・希望(青)ワクチン見通しにおける1年後の累計死者数(これまでの死亡者数を含む)と経済損失
- 左下のパネルは、重症患者数(定義は国基準)の推移。左(右)の黒の縦実線が現在時点(6月第3週)

⑥ 三菱総研

○ 18パターンのシミュレーション

ワクチン2ケース（10万回／日、15万回／日）

×五輪3ケース（人流10万人増、20万人増、30万人増）

×その他3ケース（追加想定無し、五輪開催中に追加人流増10%、デルタ株増）

○ 主な前提

・緊急事態宣言解除日: 6/20

・人流

解除後20%増

・ワクチン

上記のとおり

・デルタ株

6月末1割、7月末7割まで置換

(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ② ワクチン15万回

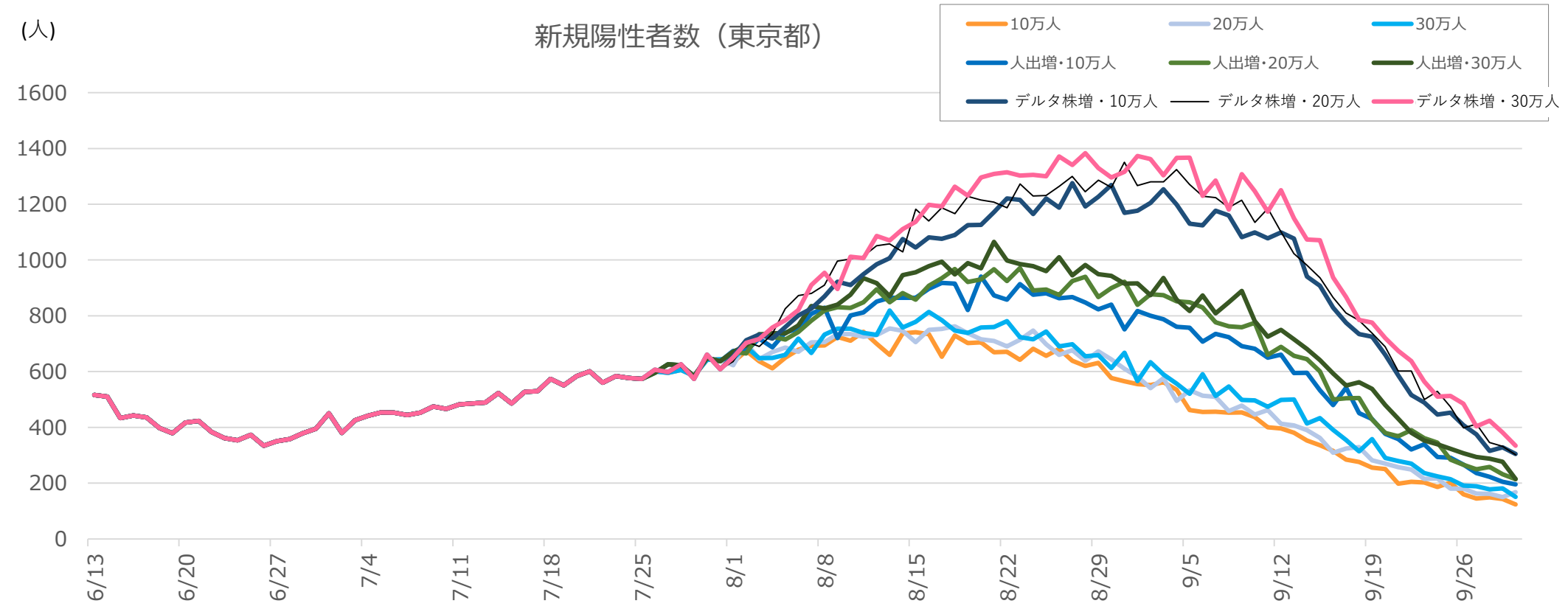
提供：三菱総合研究所
 協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- オリンピック・パラリンピック関係者・観客30%増、デルタ株増（実効再生産数Rt1.8）を考慮したものを示す。
- 国内からの関係者10/20/30万人、海外から7.7万人が東京に流入する影響はあまりない。
- デルタ株増でも8月下旬から9月上旬をピークに9月末にはほぼ収束する。

■ 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
 ■ 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
 ■ ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

緊急事態宣言なし

東京都 ベースケースアルファ株Rt1.4-1.5/人出増/デルタ株増Rt1.8 ワクチン 15万回/日



(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ② ワクチン15万回

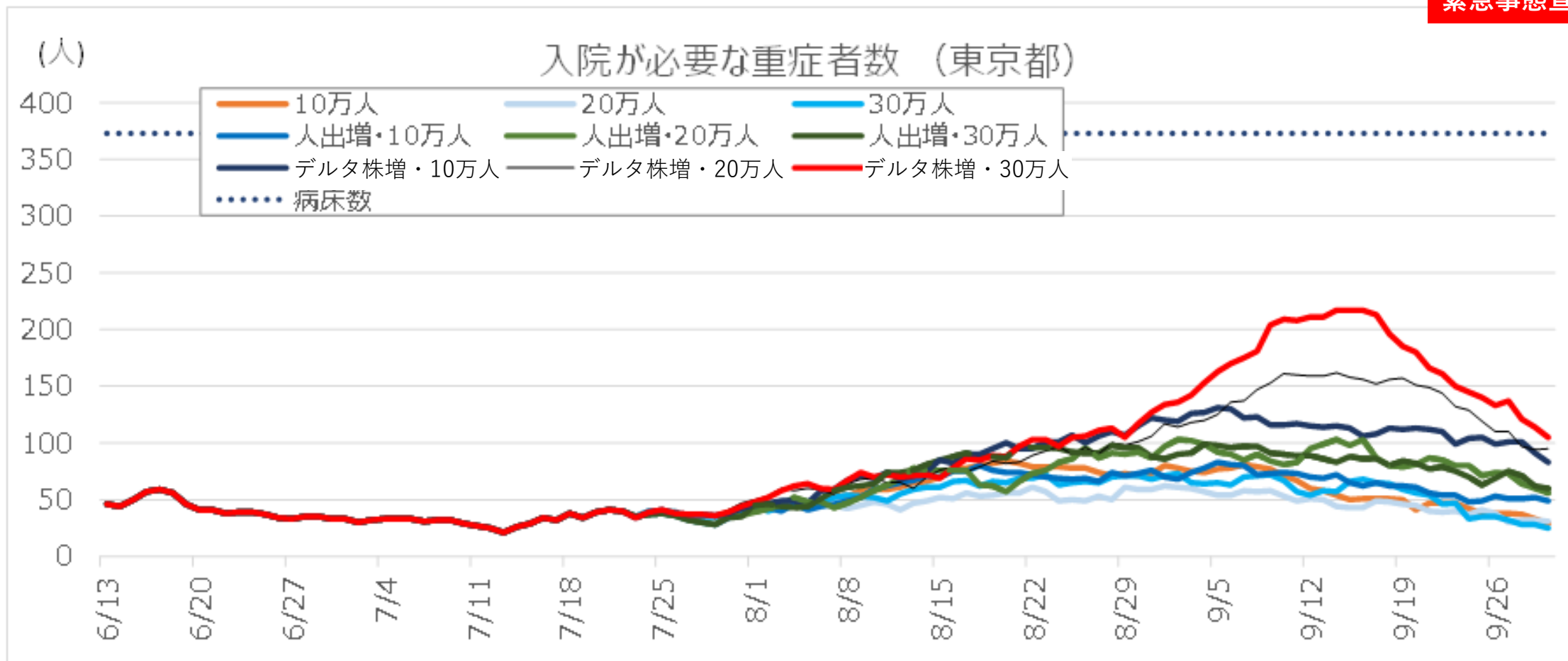
提供：三菱総合研究所
 協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- 前ページの条件に合わせて医療リソースを示したもの。感染率の増加に伴い、中軽症用病床がひっ迫する。
- 感染力が40%増（実効再生産数1.7-1.8）になると重症者病床が不足する。

- 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
- 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
- ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

東京都 ベースケースアルファ株Rt1.4-1.5/人出増/デルタ株増Rt1.8 ワクチン 15万回/日

緊急事態宣言なし



COVID-19伝播シミュレーション

2021年6月10日～8月31日

日本大学生産工学部 人工知能リサーチセンター

大前佑斗, 博士 (工学)

佐々木真, 博士 (理学)

前提条件

シミュレーション手法: SIRVDモデル (一部、改良)
シミュレーション期間: 6/10 ~ 9/1

ワクチン効果

接種スケジュール: 10万/日(6/10~6/20), 15万/日 (6/21~)

接種比率 (1回目:2回目) = 7:3

1回目接種済み: 126万人, 2回目接種済み: 44万人

ワクチン発症予防: 0.50 (1回目接種)、0.90 (2回目接種)

ワクチンの効果は消失しないと仮定 (短期間の計算のため)

人流効果

緊急事態宣言解除日: 6/20 (解除後、人流: 1.3倍)

オリンピック期間: 7/23~8/8

デルタ株効果

「あり」・「なし」の場合で計算 (「なし」は非現実的?)

「あり」の場合: 6/10から1週間毎に20%ずつ既存株へ

最終的に、既存株20%、デルタ株80%として算出

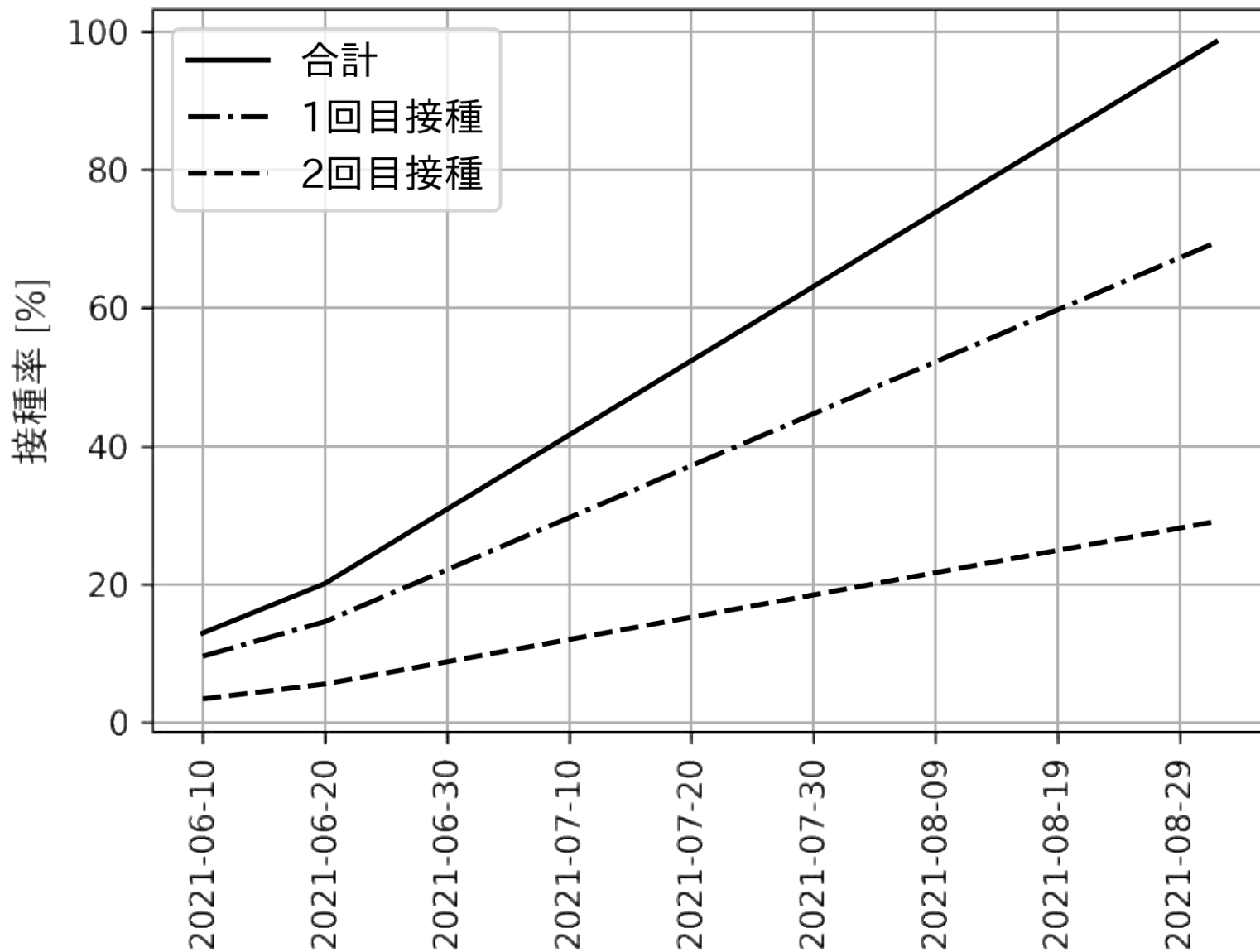
| | オリンピック による人流増加 | 変異株効果 |
|--------|-------------------|--------|
| シナリオXA | 1.05倍 | デルタ株なし |
| シナリオYA | 1.10倍 | デルタ株なし |
| シナリオXB | 1.05倍 | デルタ株あり |
| シナリオYB | 1.10倍 | デルタ株あり |

計算初期条件

東京都人口: 1396万人、

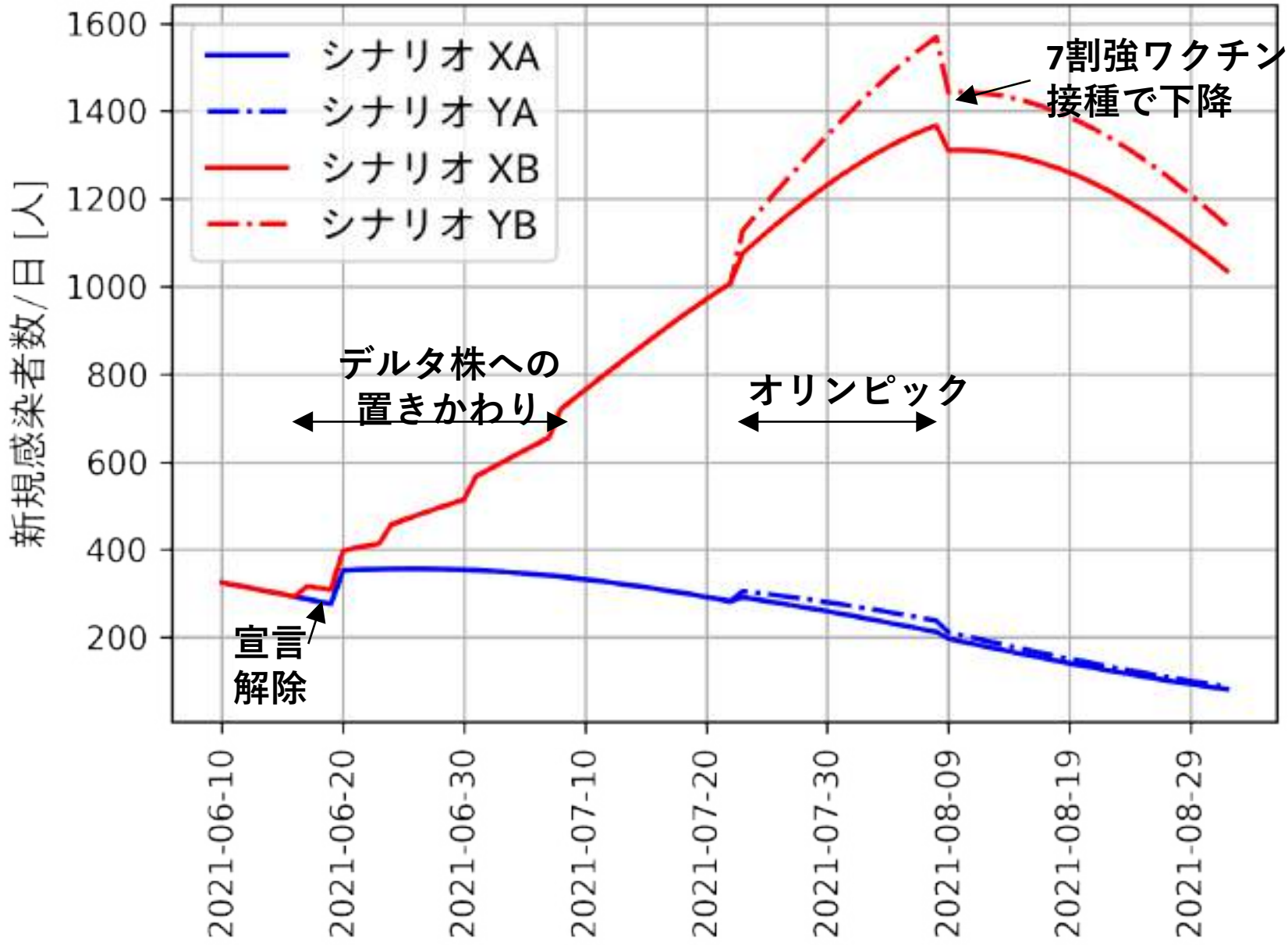
実効再生産数 (6/10時点) : 0.87

ワクチン接種率



新規感染者数

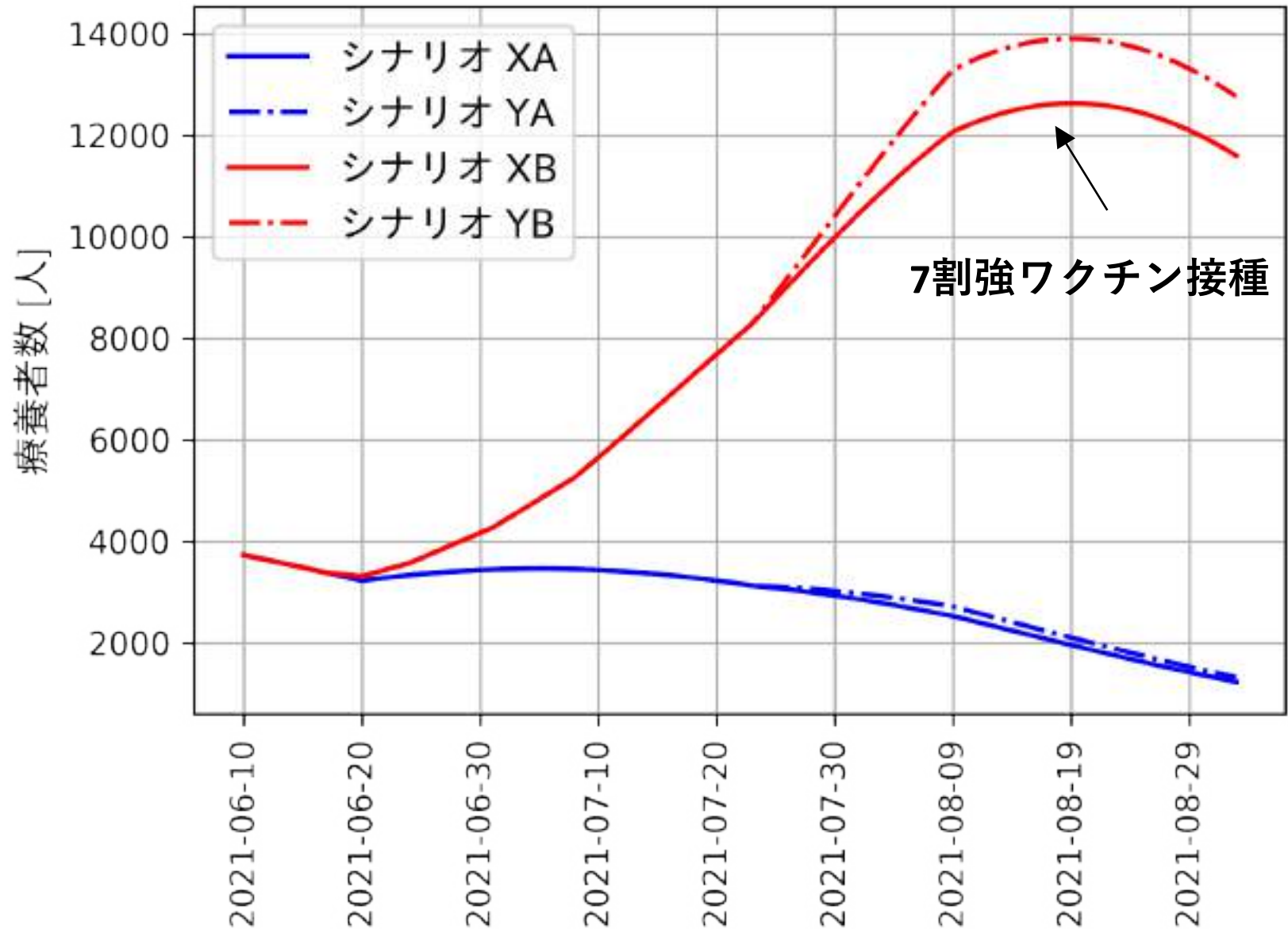
備考:
スムージング処理を入れると滑らかになりますが、本結果は非実装なので、ガタついています。また、感染からPCR検査までの遅延性は考慮していません。



療養者数

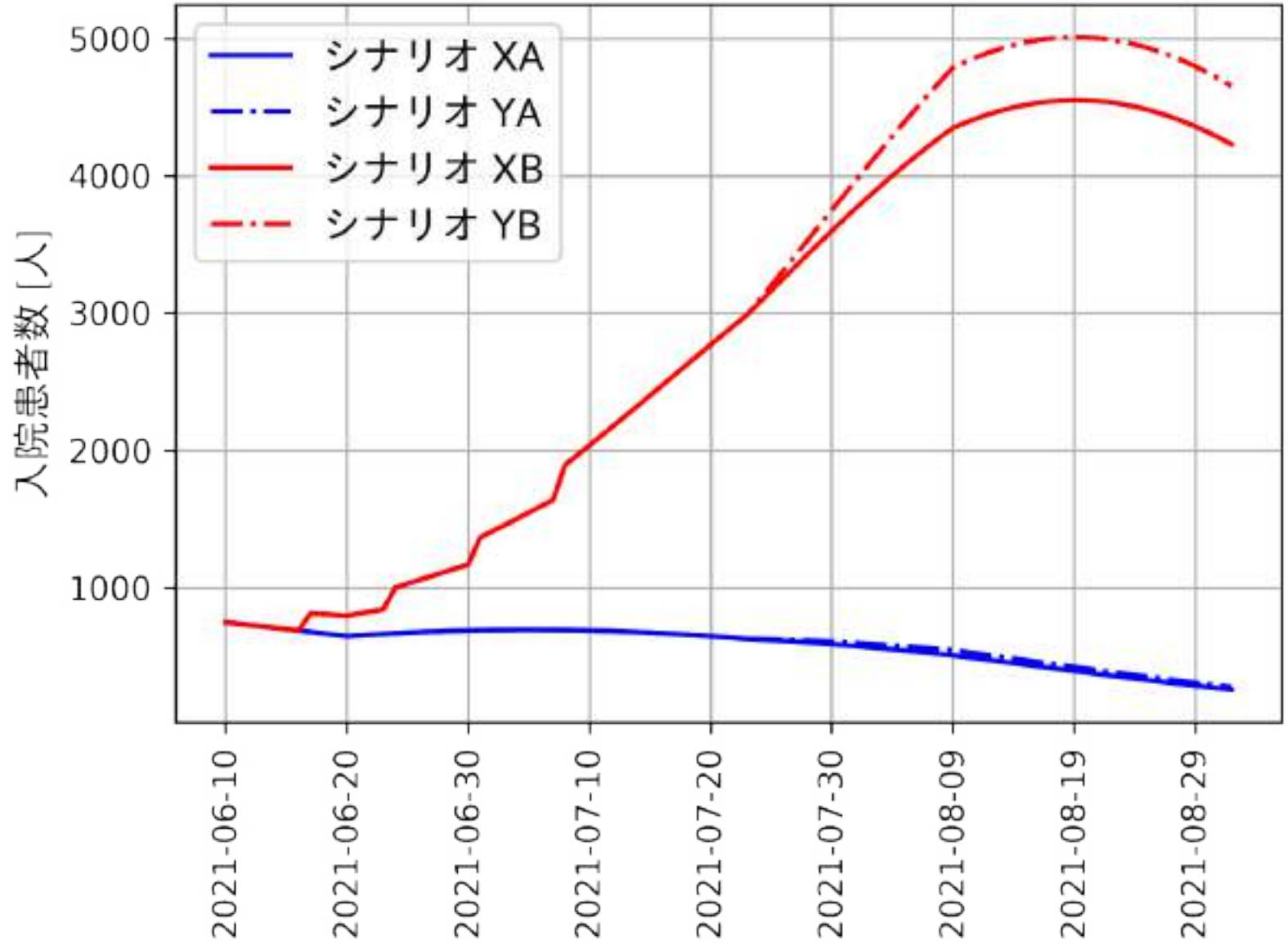
備考:

・療養者とは、感染後、回復も死亡もしていない人を意味する。



入院者数

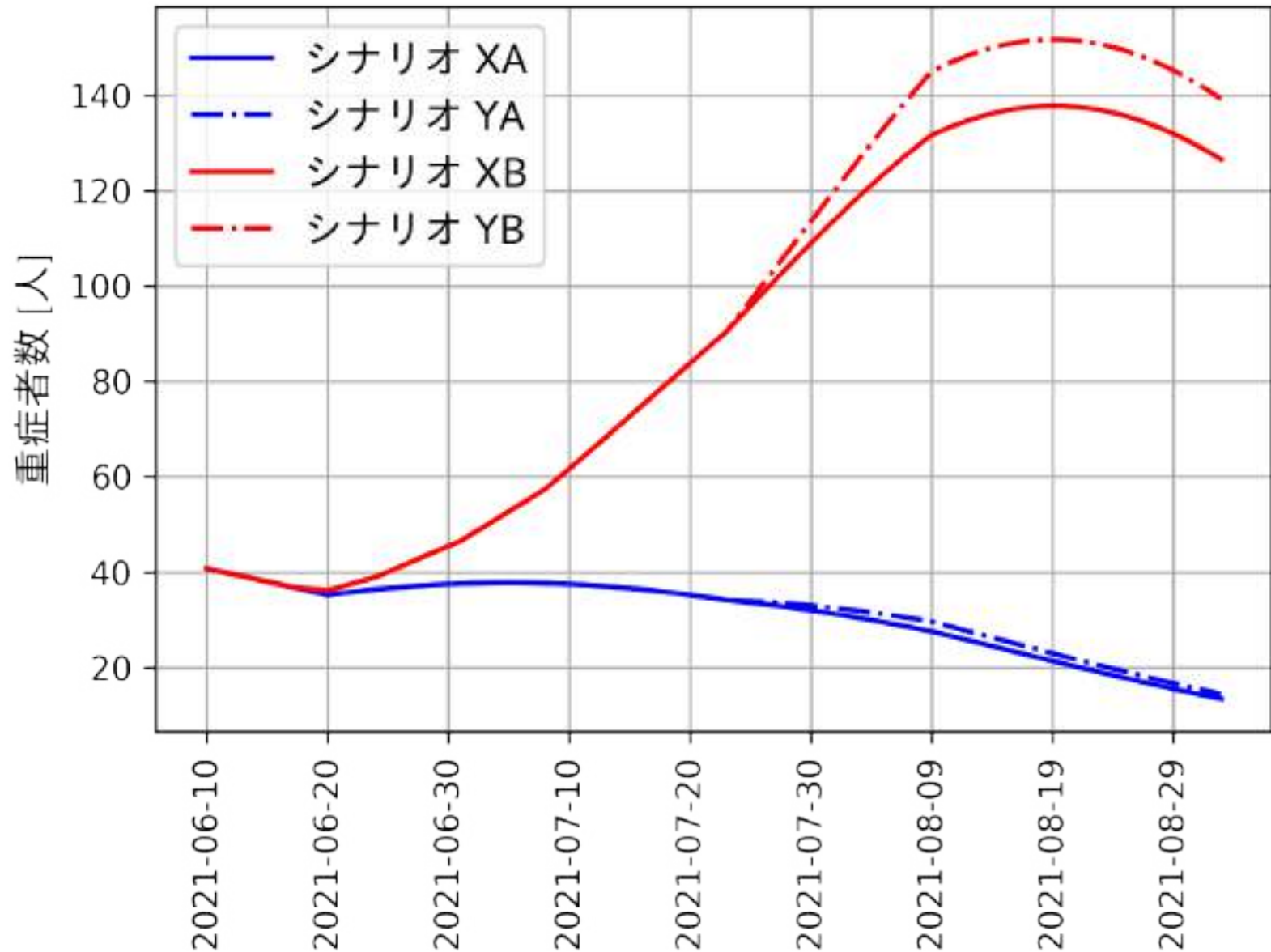
備考:
・既存株の入院率を20% (東京都の近状の傾向)
・デルタ株の入院率を40% (wordの資料より)
・入院可否の判断は、病床の空き状況などによることに注意



重症者数

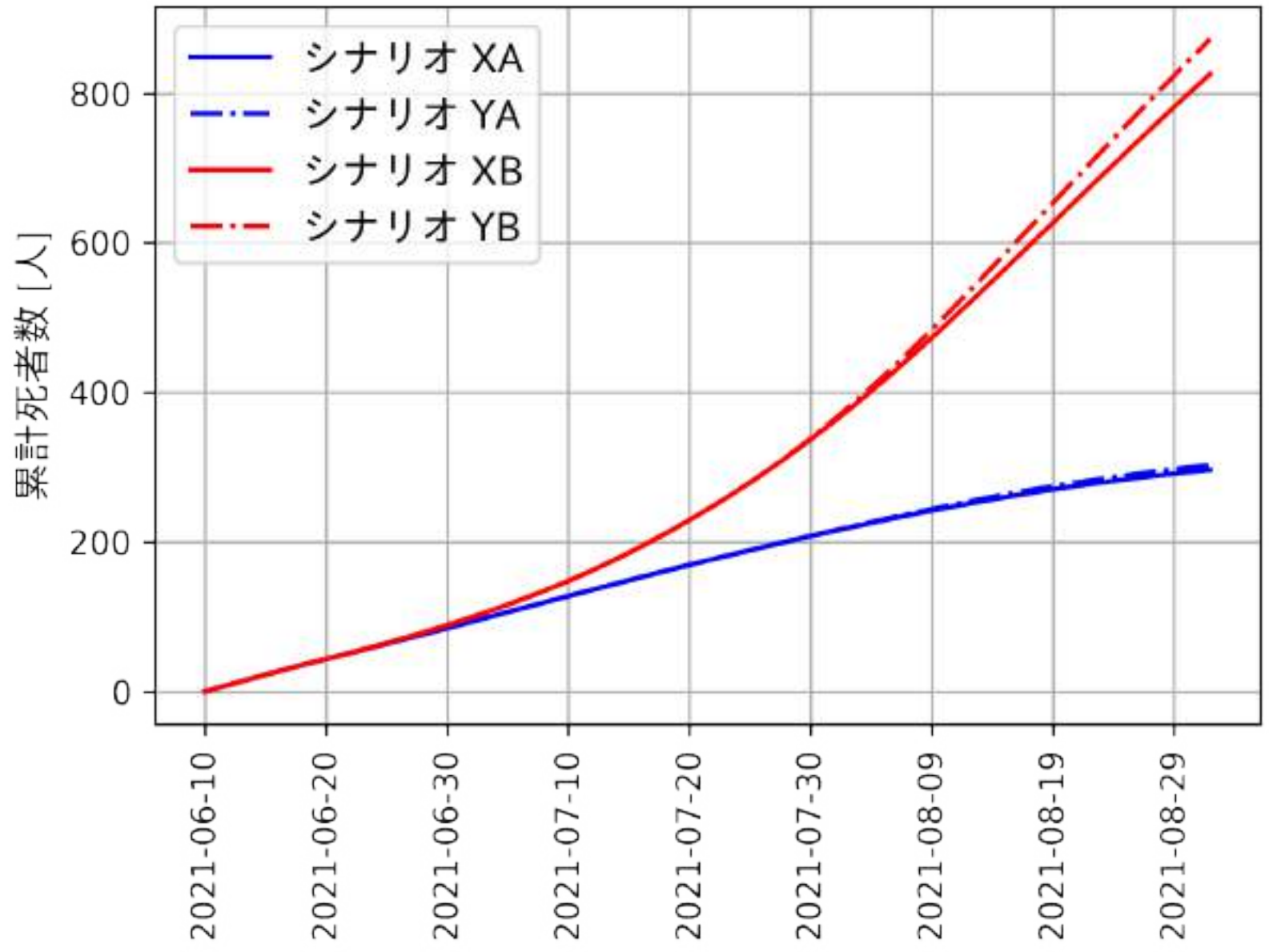
備考:

- ・高齢者の10%、それ以外の1%を重症者として評価 (cf. word資料)
- ・東京都と国で重症者の定義が異なるので注意が必要



累計死者数

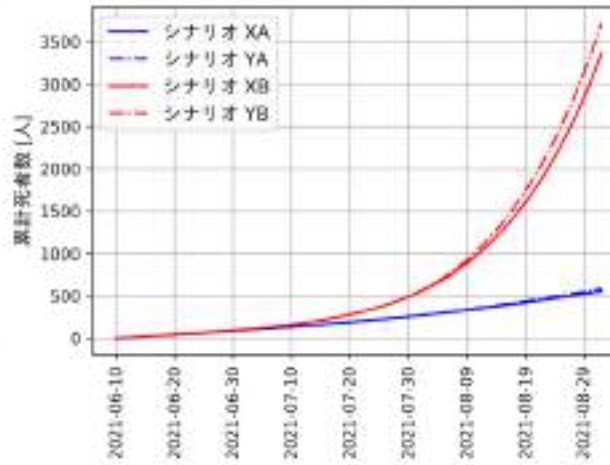
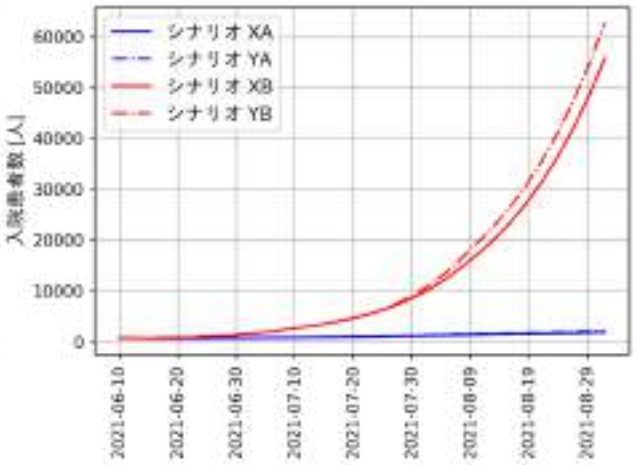
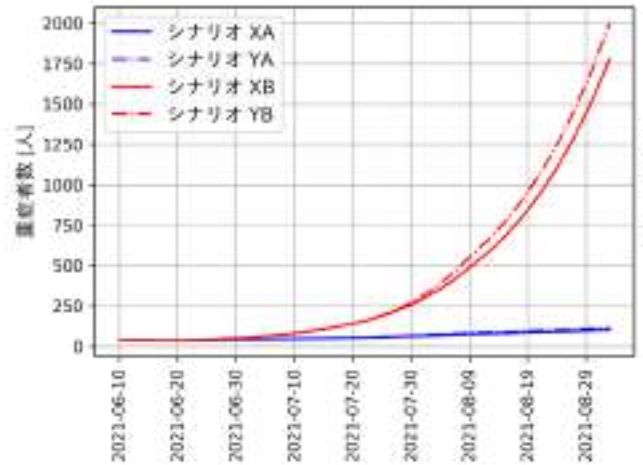
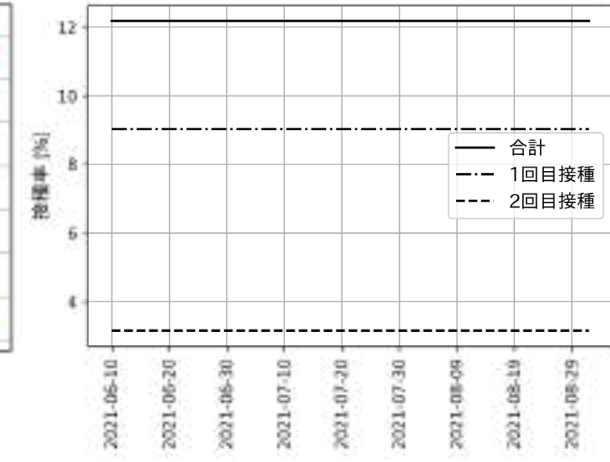
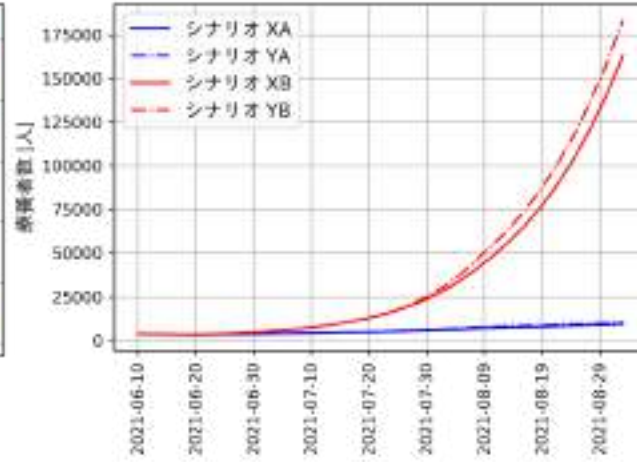
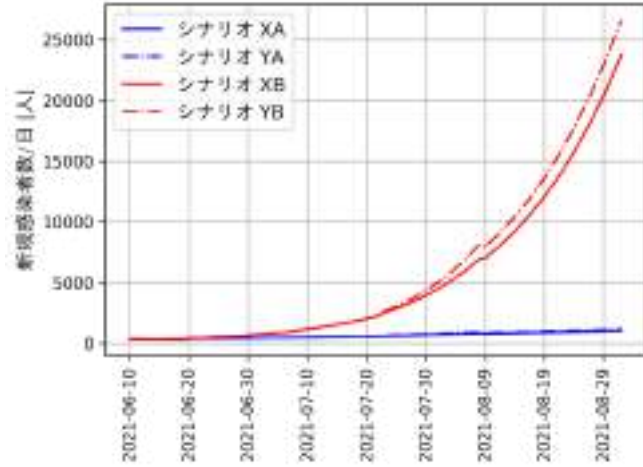
備考:
デルタ株 (XB, YB) の累計死者数は、比例的な増加に見えるが、シミュレーション期間を10月ごろまで延長すると、対数的増加に変化していく。
→ XB, YBシナリオであっても、収束に向かう



ワクチンなしの場合（参考）

備考:

- ・ワクチン効果を見るために、接種が全く進まなかった場合を計算
- ・実際には、感染者数の急増に対し人々が恐れると思われるので、より少なくなる可能性もある。



オリンピックおよびデルタ株の 感染推定

2021.6.14 r2b

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300名増加

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270名増加し2800名程度*、重症者ピークも88名程度となった。オリンピック関連来訪者全員に100%ワクチン接種をした場合、80名程度感染者が減少した。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800名程度、重症者ピーク30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、8月末に17800人程度の新規陽性者の発生と重症者が490名となるリスクがある。これに対して、新規陽性者が700名を超えた時点で、第4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*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・店舗による迅速なクラスター対策などが実施された状況を前提としている。また、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。

r1: 誤記訂正

r2: 都外からの移動リスク効果を改訂(未感染者、潜伏期間感染者を追加)

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：無観客開催などで人流が増加しない場合
 - 設定2：オリンピック開催 ワクチン接種通常
 - 設定3：オリンピック開催 関係者・観客ワクチン接種100%
- 開催(設定2)で270名増加、接種100%(設定3)で83名減少

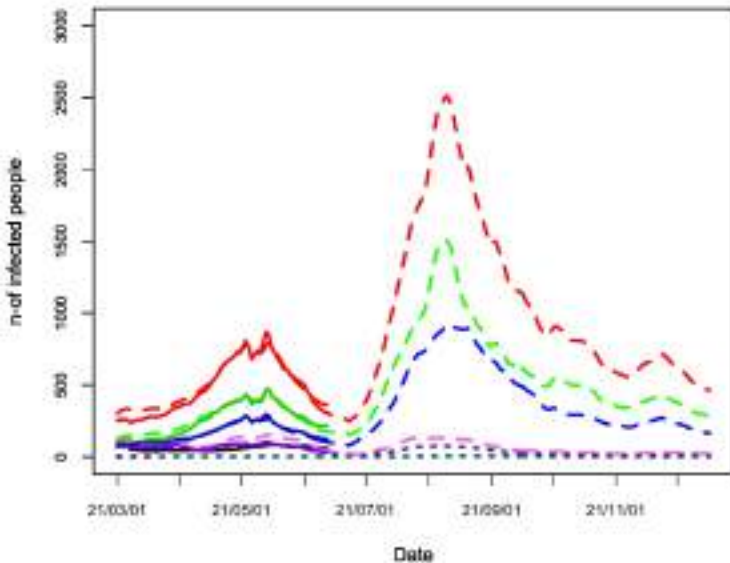
赤：新規陽性者総数（15歳以上）
 緑：新規陽性者数（15歳～39歳）
 青：新規陽性者数（40歳～64歳）
 紫：新規陽性者数（65歳～）
 濃紫波線：重症者数
 実線：実測数 波線：推定数

設定1:無観客(人流増加なし)

設定2:オリンピック開催,接種通常

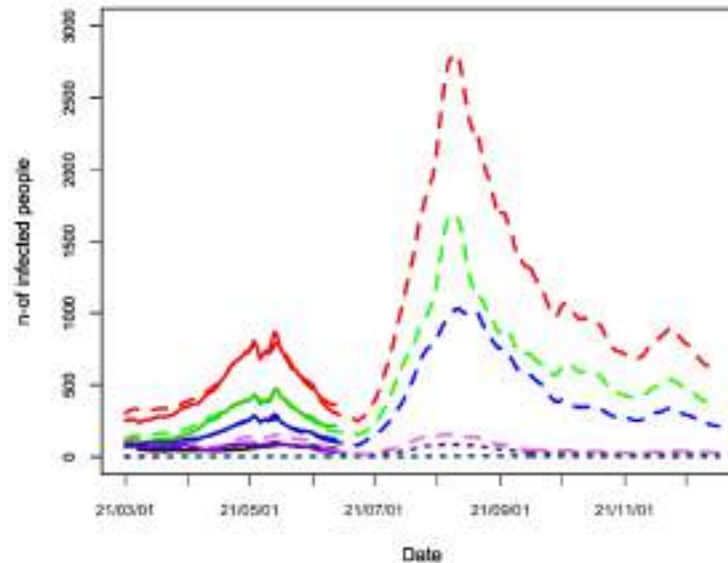
設定3:オリンピック開催,接種100%

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



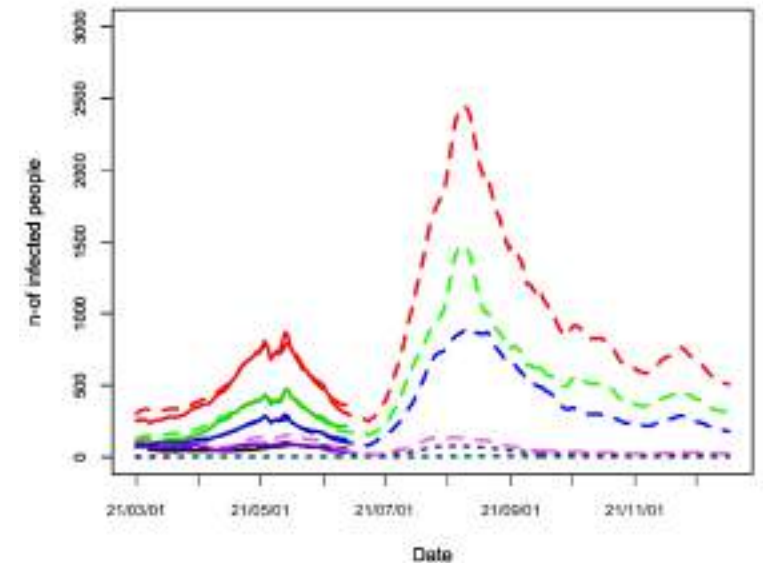
8/11 感染者 2527, 重症者 77

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



8/11 感染者 2797, 重症者 88

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



8/11 感染者 2444, 重症者 78

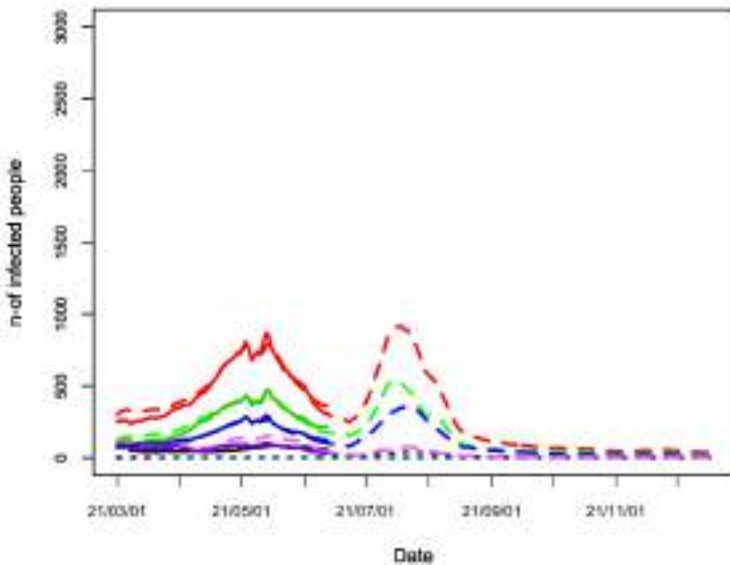
オリンピック開催の影響評価

- 6月21日緊急事態宣言を緩和して継続し、感染者500人で対策強化（2021年1月の2次宣言相当の強度）
- 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800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:無観客(人流増加なし)

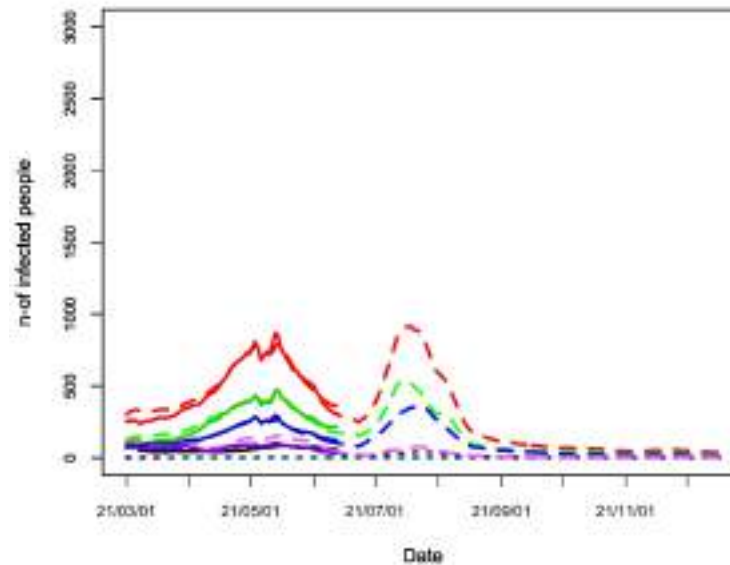
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



7/13 感染者 802, 重症者 29

設定2:オリンピック開催,接種通常

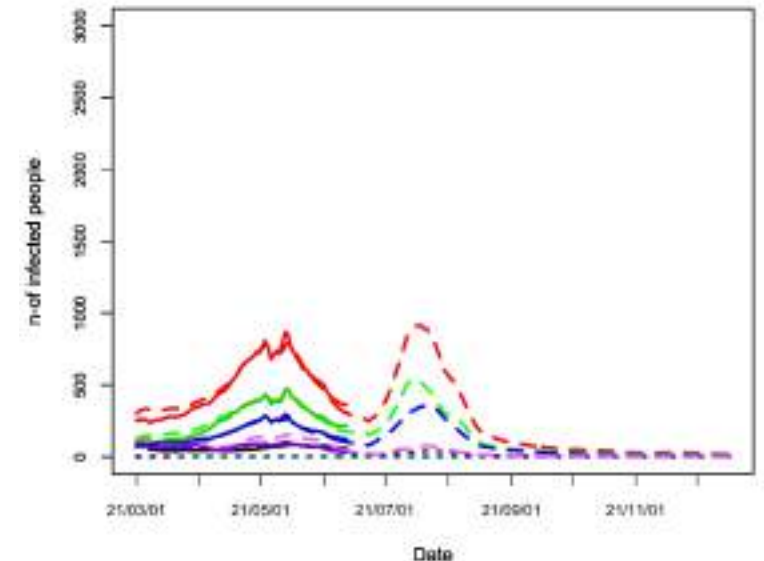
Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



7/13 感染者 802, 重症者 29

設定3:オリンピック開催,接種100%

Prediction of COVID-19 Infected People with Vaccine



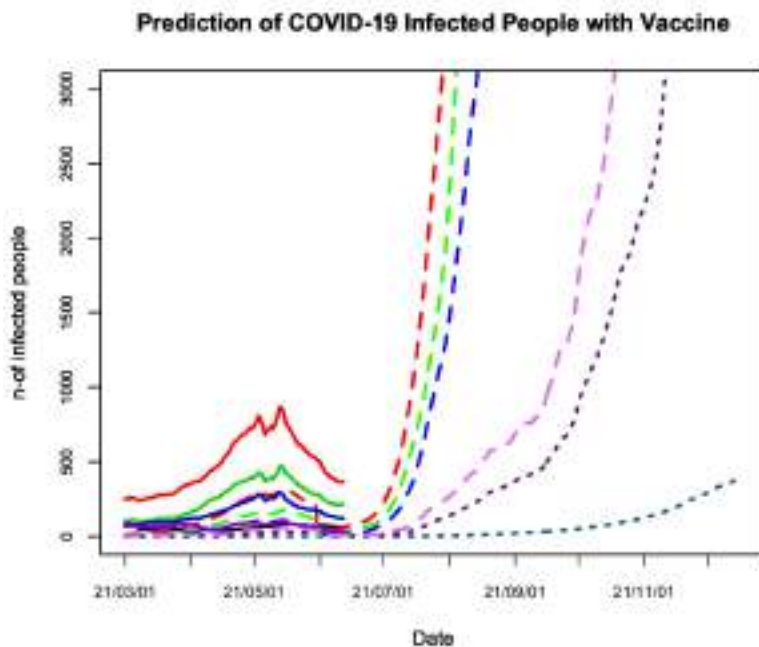
7/13 感染者 802, 重症者 29

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
- 8月31日までの感染者のピークは17800名程度

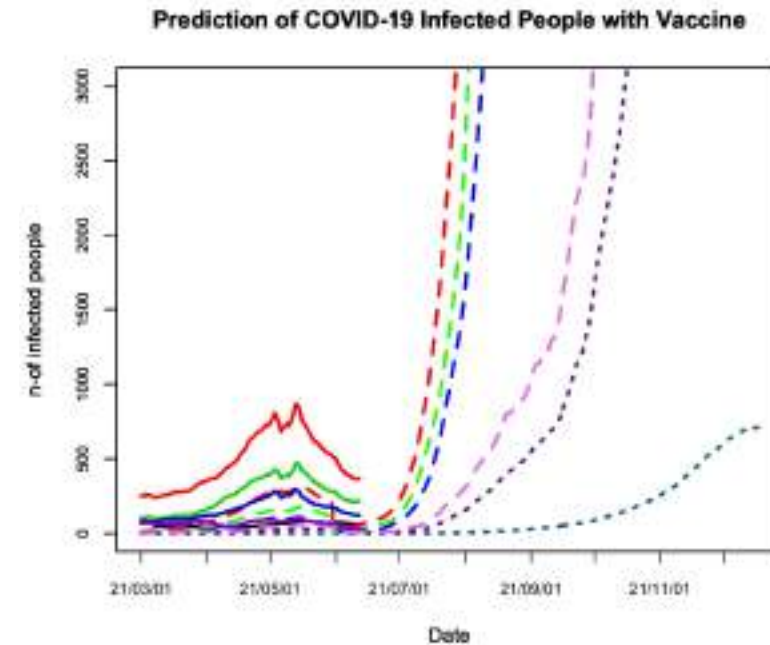
赤：新規陽性者総数（15歳以上）
緑：新規陽性者数（15歳～39歳）
青：新規陽性者数（40歳～64歳）
紫：新規陽性者数（65歳～）
濃紫波線：重症者数
実線：実測数 波線：推定数

無観客(人流増加なし)



9/1 感染者 17800 重症者 490

オリンピック開催



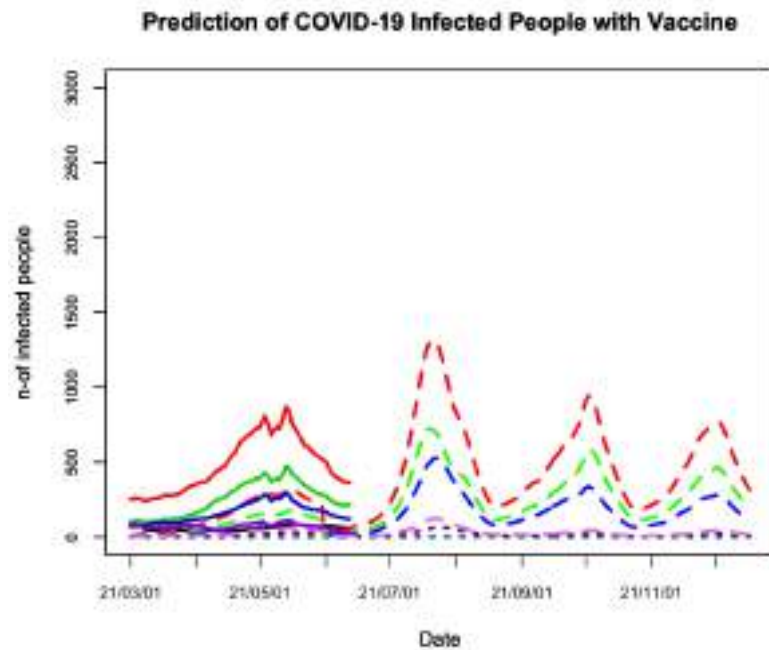
8/31 感染者 17800 重症者 490

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（1次2次の中間程度の強度）発動し300名で解除
- 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1330名程度

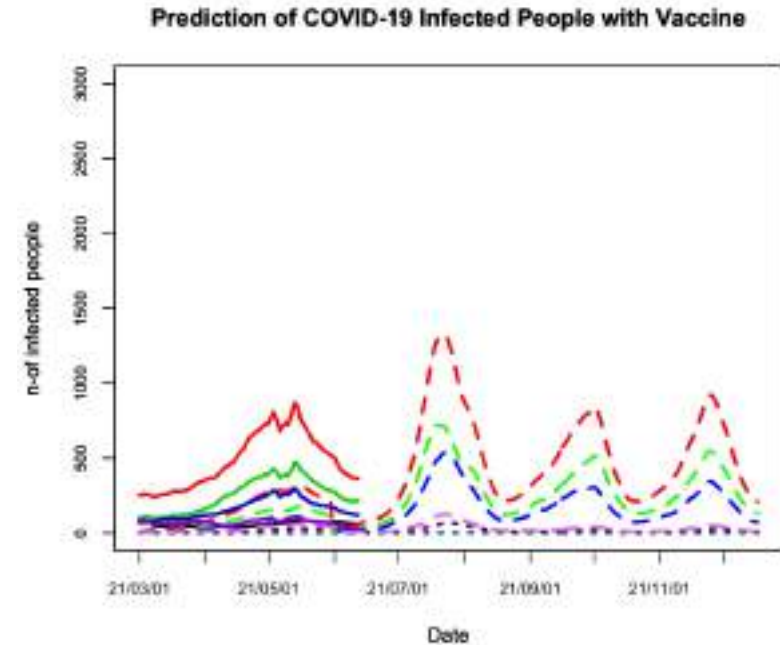
赤：新規陽性者総数（15歳以上）
緑：新規陽性者数（15歳～39歳）
青：新規陽性者数（40歳～64歳）
紫：新規陽性者数（65歳～）
濃紫波線：重症者数
実線：実測数 波線：推定数

無観客(人流増加なし)



7/23 感染者 1330 重症者 67

オリンピック開催



7/23 感染者 1330 重症者 67

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

*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。

年代別ワクチン効果SEIRモデル

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

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

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

$$\frac{dR_i}{dt} = gI_i - mR_i + \sum_k \sigma_{i,k} \lambda_{i,k} N_i$$

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

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

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

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

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

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

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

緊急事態宣言、ワクチン展開、
オリンピック、デルタ変異株などにもとづく
6～9月東京における流行プロジェクト

古瀬祐気¹、高勇羅^{2,3}、押谷仁²、鈴木基³

1. 京都大学ウイルス・再生医科学研究所
2. 東北大学大学院医学系研究科微生物学分野
3. 国立感染症研究所感染症疫学センター

2021.Jun.13

決定論的SIRモデルを用いたシミュレーション

① ポピュレーション

東京都の人口：1390万人

(うち16歳未満170万人、16～64歳900万人、65歳以上320万人)

② 感染者数初期値

6/9時点での新規感染報告者数390人、うち10%が65歳以上。

重症者が50人、うち30人が65歳以上

③ 感染伝播

感染の世代期間は5日間。6/10～6/20までは実効再生産数が0.9。

65歳未満が流行拡大の主流であることを考慮し、65歳未満の感染力は65歳以上の1.5倍とした。

6/20に緊急事態宣言が解除され、6/21から「人流が10%増加する」「人流がまず10%増加し、その後1か月かけて15%まで増加する」の2パターンを検討。また、2020年の同時期のデータにもとづき、人流1%増加でRtが0.025上昇するとした。

④ 重症化

これまでの国内データを参考に重症化率は65歳未満0.4%、65歳以上3.0%とした。重症者は感染後に遅れて重症化し、その後2週間ベッドを占有するとした。

⑤ ワクチン

ワクチン効果は感染予防80%・重症化予防90%とした。

「ひとり当たり2回の接種が必要で、平均として初回接種の4週間後に一定の効果（感染予防80%・重症化予防90%）を示す。ただし、人によってはそれよりも早かったり遅かったりする」とすることで、「2回接種完了前でも低いながら効果がある」と、集団としては似たような効果が想定される状況をモデルに組み込んだ。

シミュレーション開始時点でのワクチン接種状況を下図のように設定。ワクチンは6/20までは一日10万回、それ以降は一日15万回を接種できるとした。8割の高齢者が接種を完了するまで一日10万回分は高齢者へ用いられ、それ以外の方は非高齢者にも接種されるものとした。

現時点の接種状況

| | 人口 | 1回のみ接種済 | 2回接種済 |
|--------|---------|---------|-------|
| 高齢者 | 320万人 | 76万人 | 7万人 |
| 16～64歳 | 900万人 | 50万人 | 37万人 |
| 合計 | 1,220万人 | 126万人 | 44万人 |

⑥ オリンピック

オリンピック期間（7/23～8/8）に、**接触機会が変化しない（A）**・**人流が5%増加する（B）**・**人流が10%増加する（C）**の3パターンをシミュレーションした。

また、「有観客の場合、一日21万人+ライブビューイング3万7千人。このうち半数が都外からの人とみなし、都内の人流として約13万人÷約1300万人=1%増加する」とすることで、**観客の有無**で累計の感染者数や重症者数がオリンピックの開催以降にどの程度の差が出るのかを検討した。

（シナリオA: 無観客0% vs. 有観客1%

シナリオB: 無観客4% vs. 有観客5%

シナリオC: 無観客9% vs. 有観客10% でそれぞれの差分を検討した。

つまり、例えばシナリオBの場合、たとえ無観客であっても人流は4%増加し、有観客であったときに+1%の増加が見込まれるという想定である。）

⑦ デルタ株

- ・ 影響なし
- ・ 感染力1.2倍・病原性1.2倍の株が、これから8週間かけて8割置き換わる（影響・小）
- ・ 感染力1.5倍・病原性2倍の株が、これから4週間かけて8割置き換わる（影響・大）

の3パターンをシミュレーションした。

⑧ 緊急事態宣言

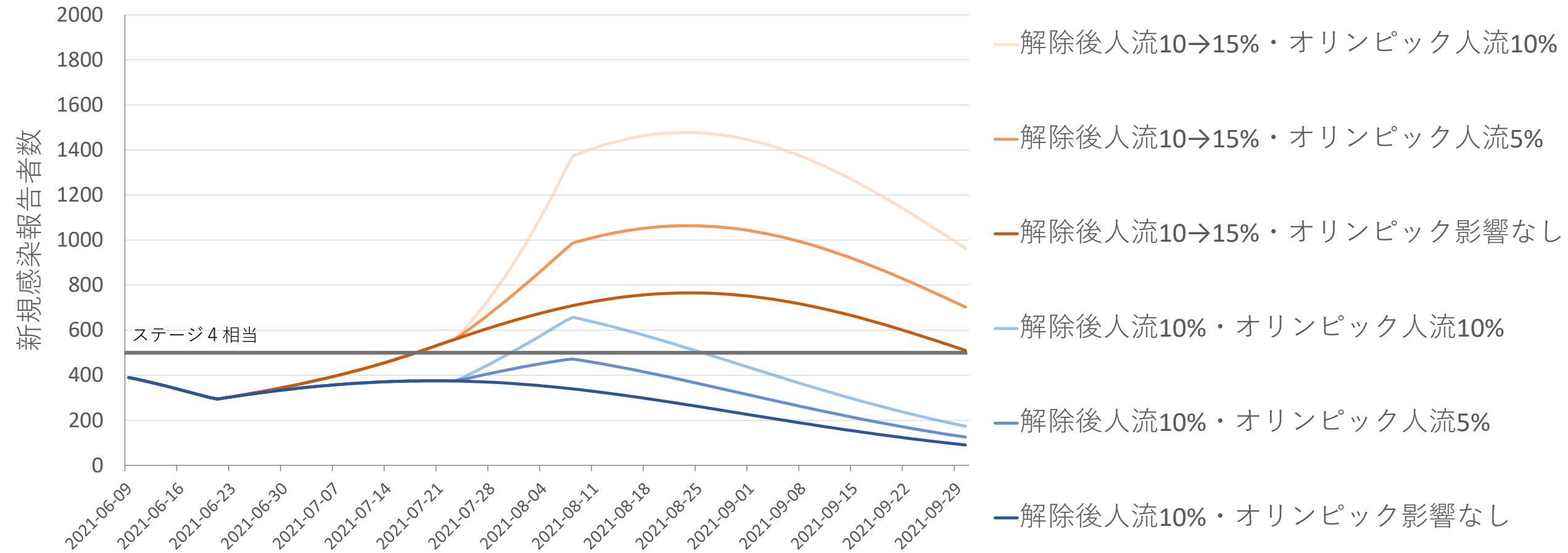
→ 新規感染報告者数が1000人の時点で緊急事態宣言が出され、Rtが30%低下とするシナリオを検討した。（ただし、その後の解除時期は未検討。）

※全体を通じて

このシミュレーションに、診断や報告の遅れは加味されていない。緊急事態宣言が解除/開始された日やオリンピックが始まるその日から感染者数の動態が変化する。

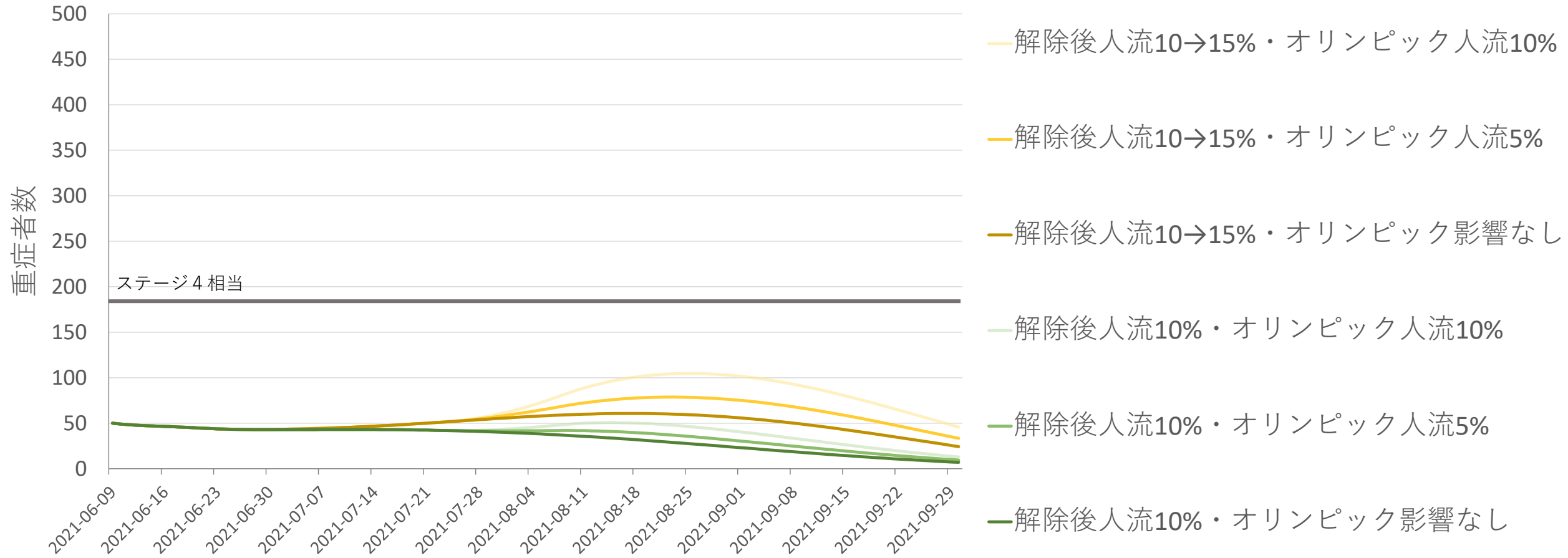
デルタ株の影響なし、緊急事態宣言なし

新規感染報告者数



デルタ株の影響なし、緊急事態宣言なし

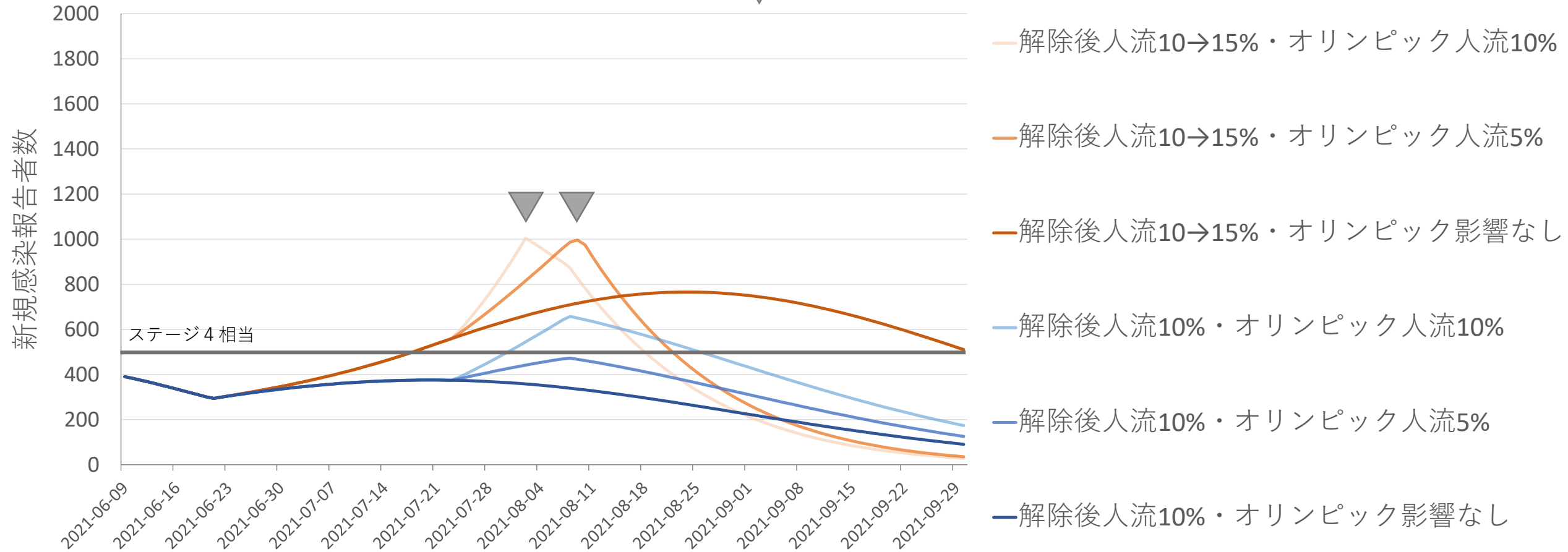
重症者数



デルタ株の影響なし、1000人で緊急事態宣言

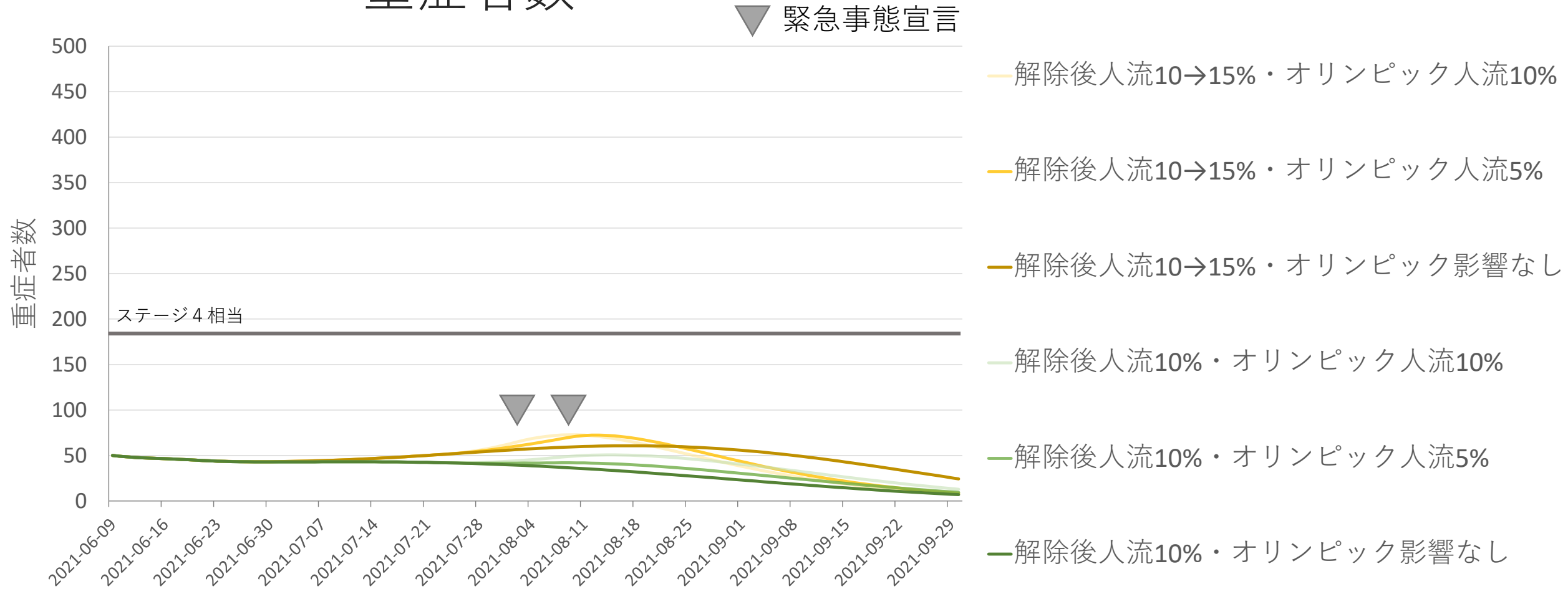
新規感染報告者数

▼ 緊急事態宣言



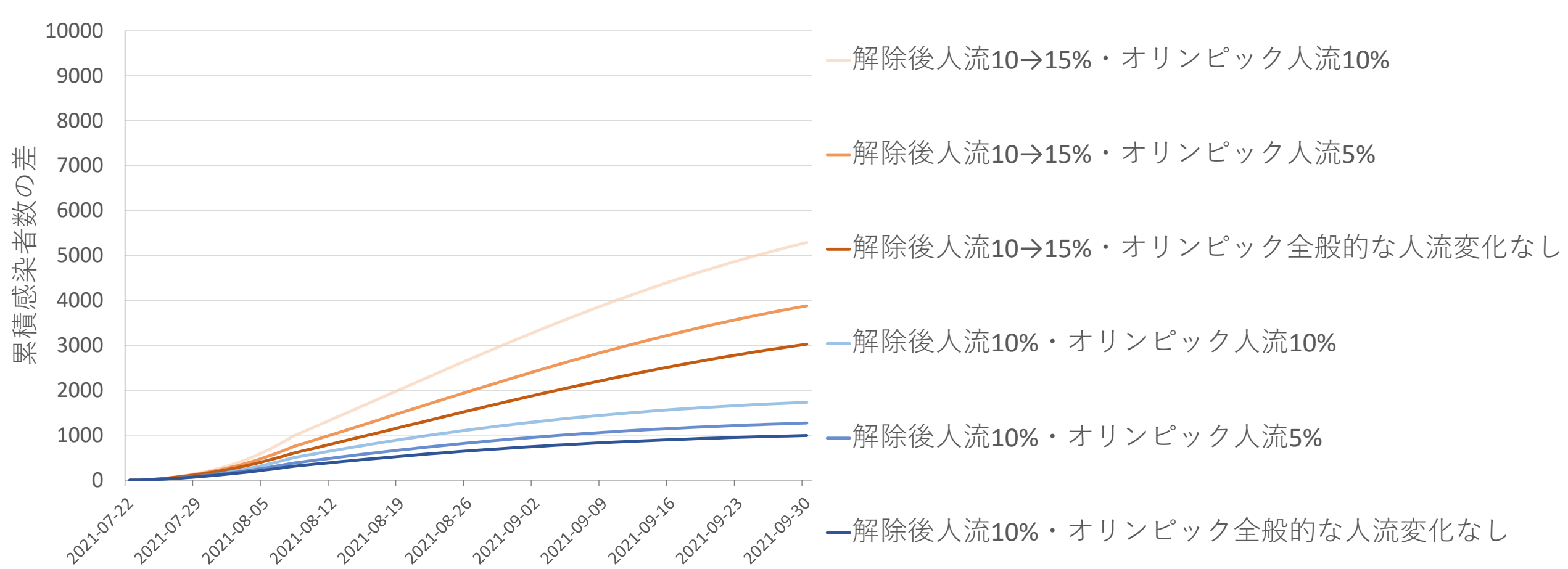
デルタ株の影響なし、1000人で緊急事態宣言

重症者数



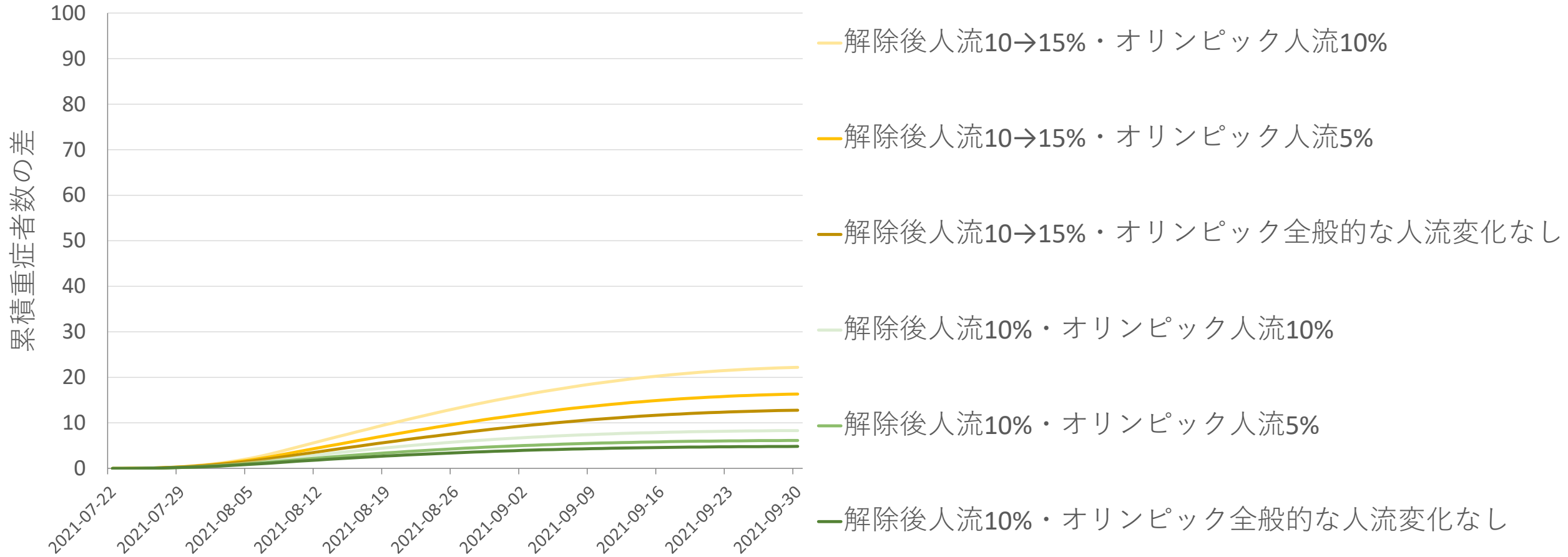
デルタ株の影響なし、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積感染者数の差**



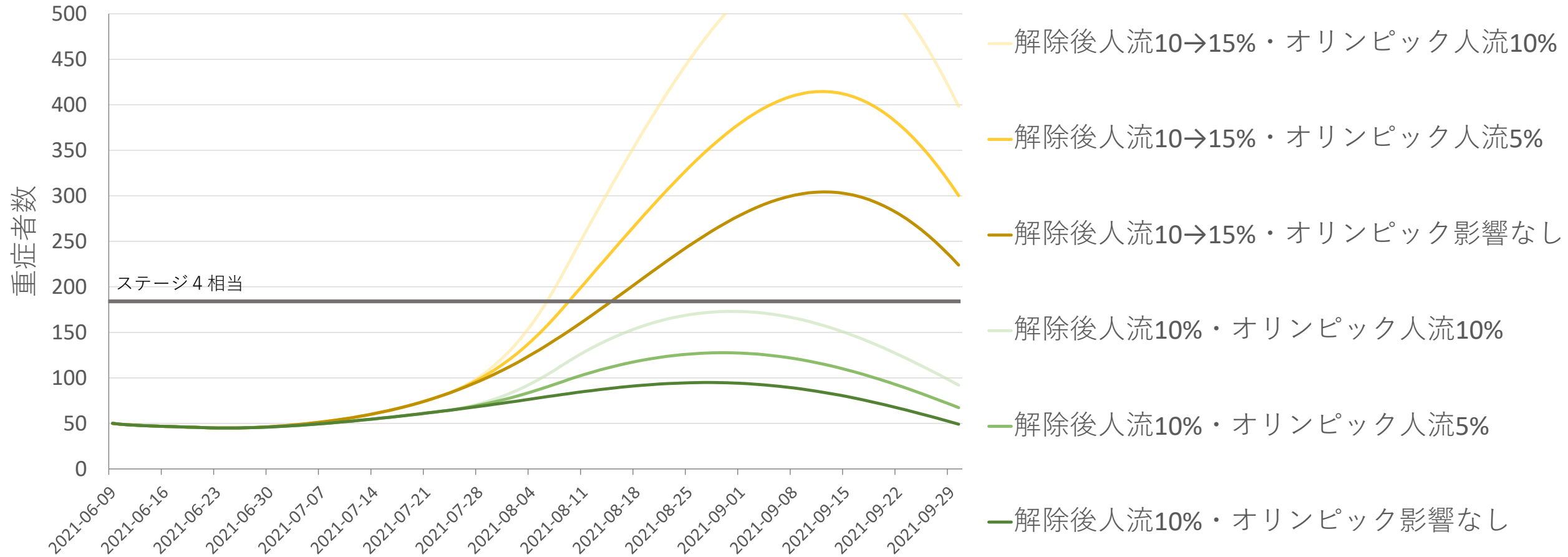
デルタ株の影響なし、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積重症者数の差**



デルタ株の影響・小、緊急事態宣言なし

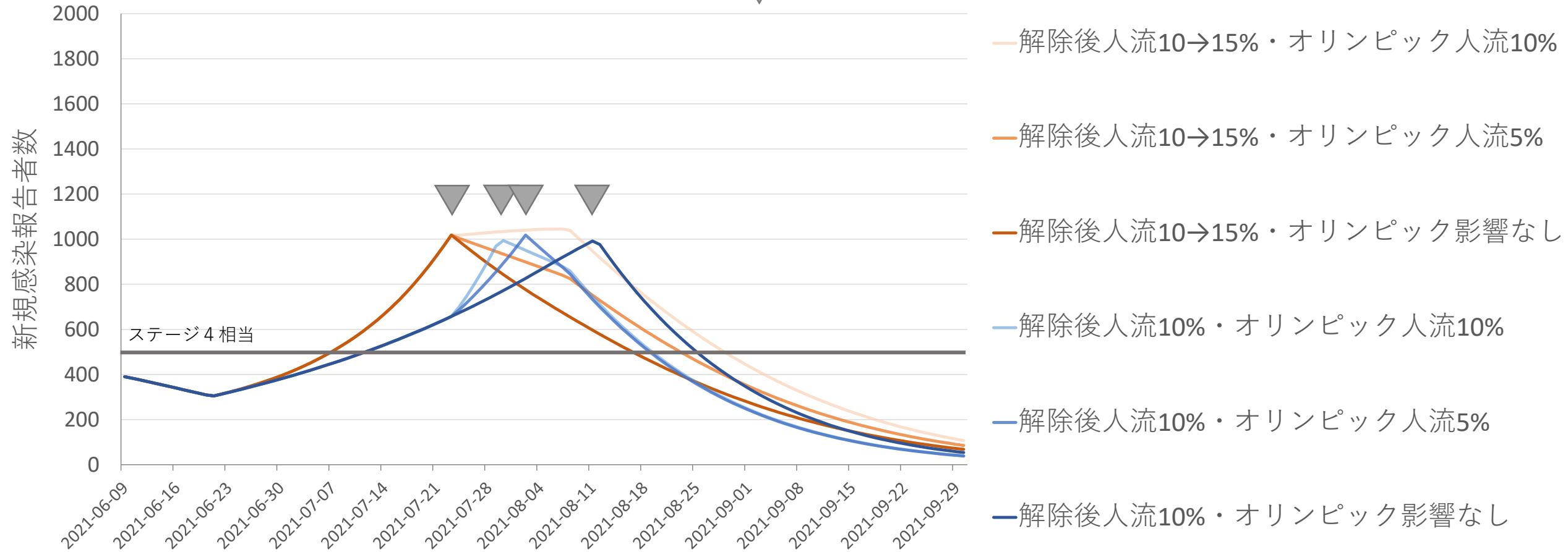
重症者数



デルタ株の影響・小、1000人で緊急事態宣言

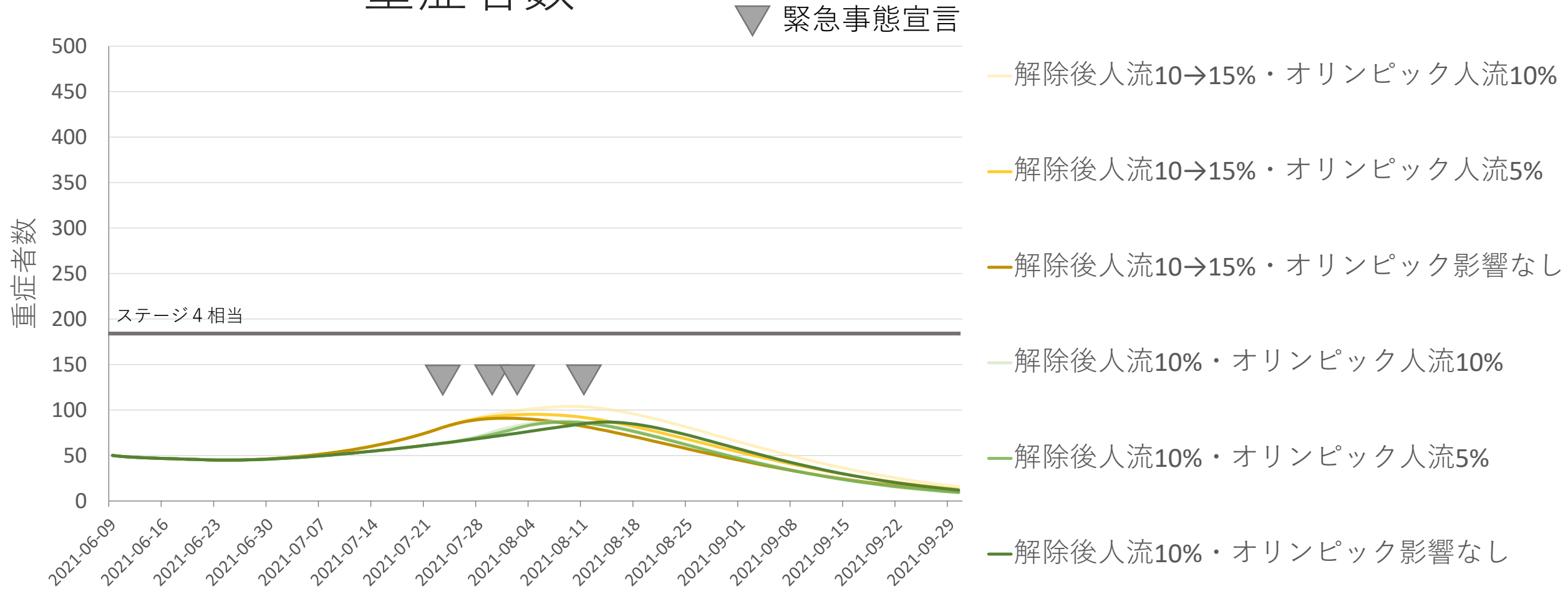
新規感染報告者数

▼ 緊急事態宣言



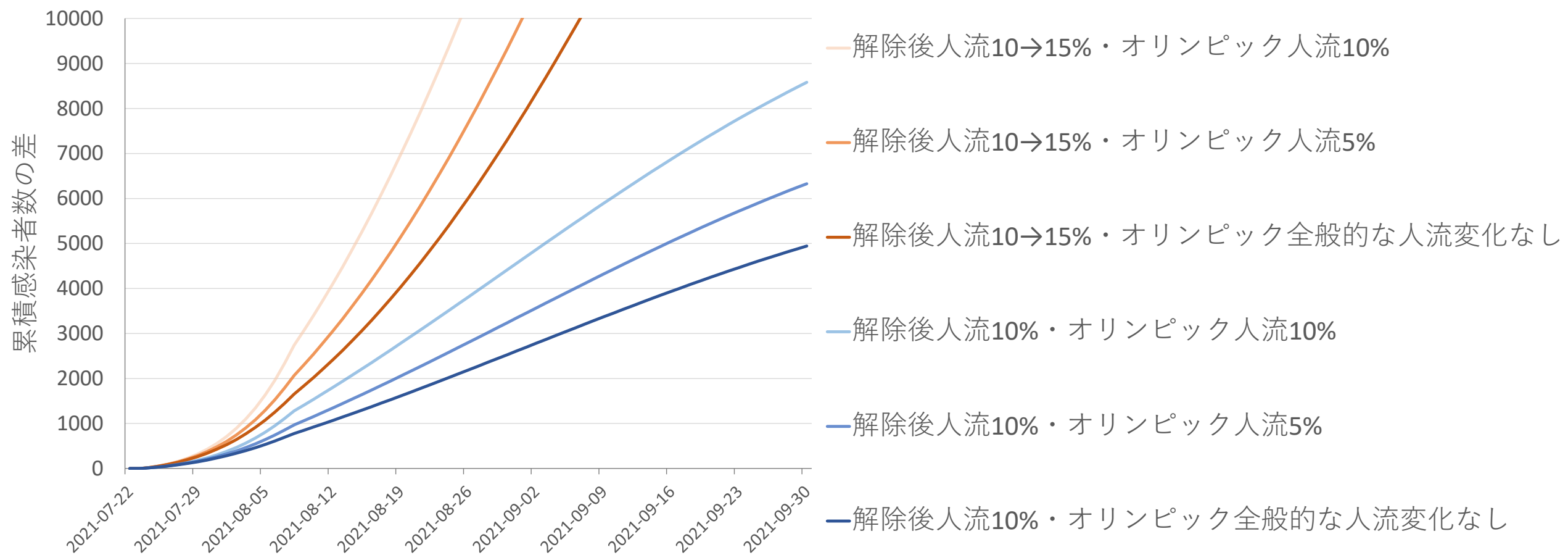
デルタ株の影響・小、1000人で緊急事態宣言

重症者数



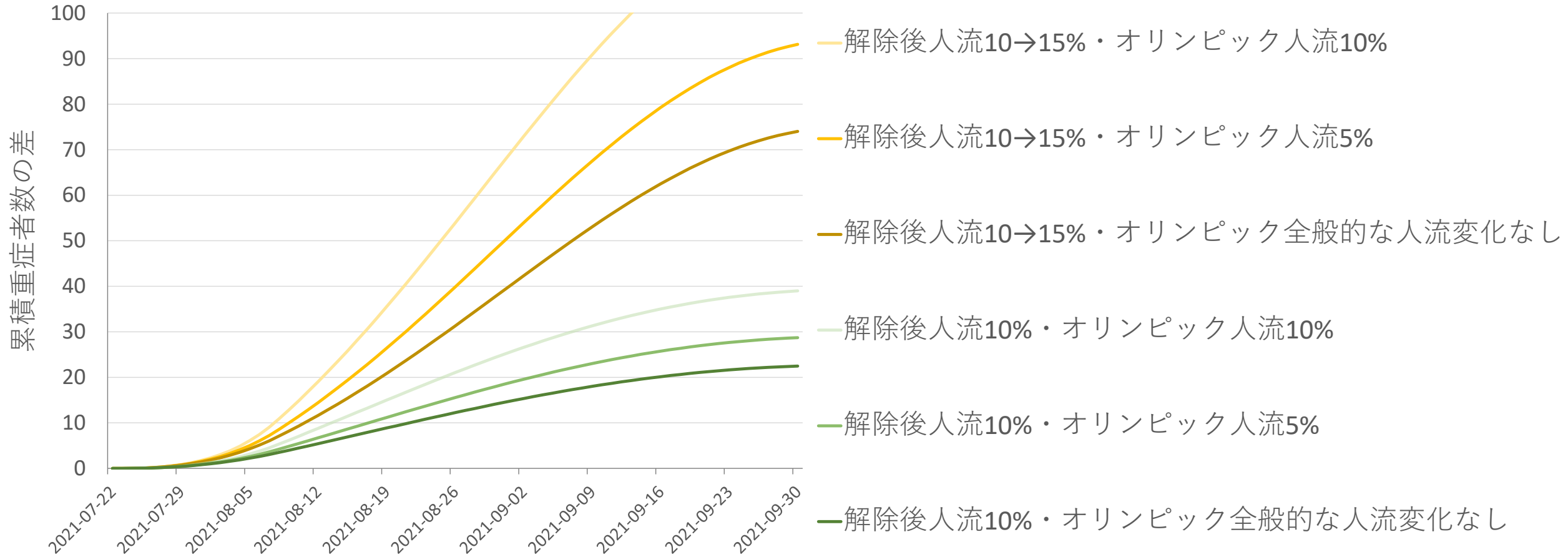
デルタ株の影響・小、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積感染者数の差**



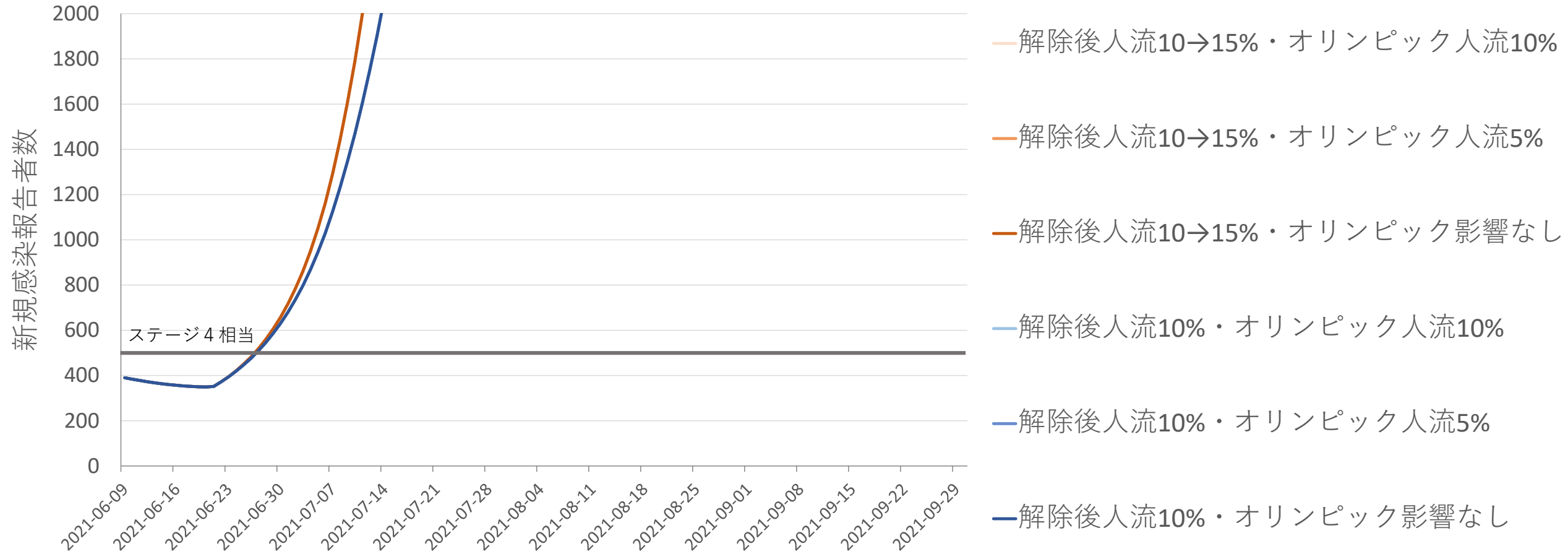
デルタ株の影響・小、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積重症者数の差**



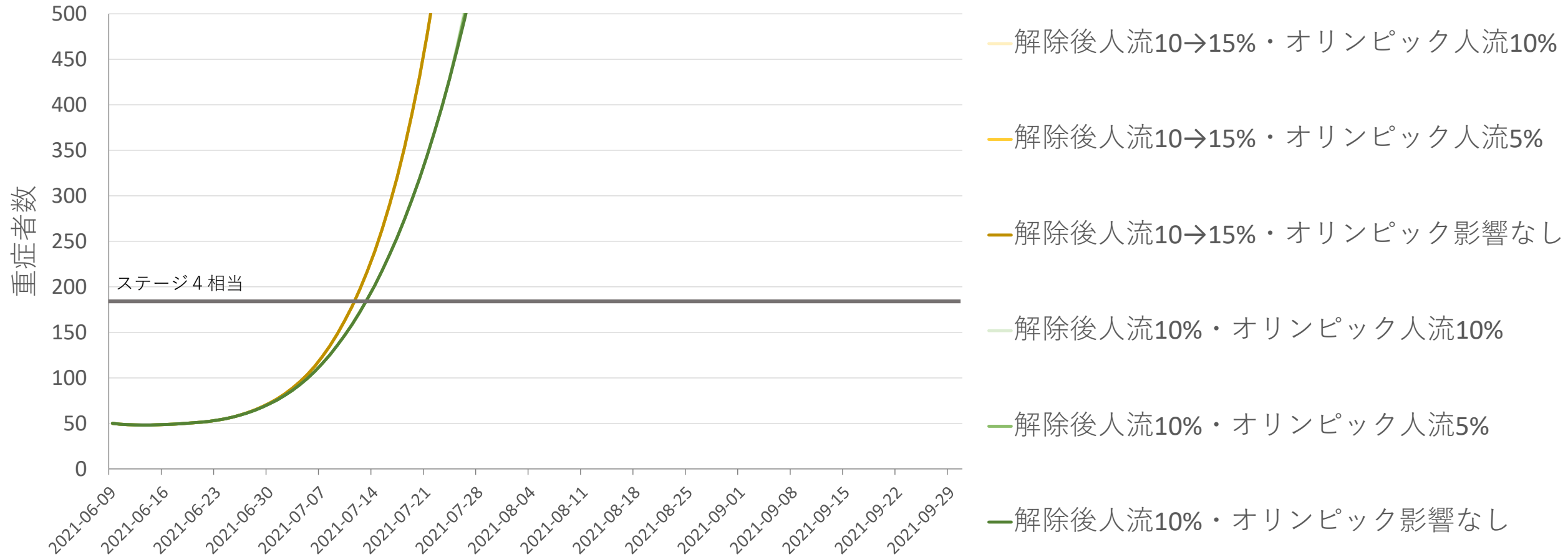
デルタ株の影響・大、緊急事態宣言なし

新規感染報告者数



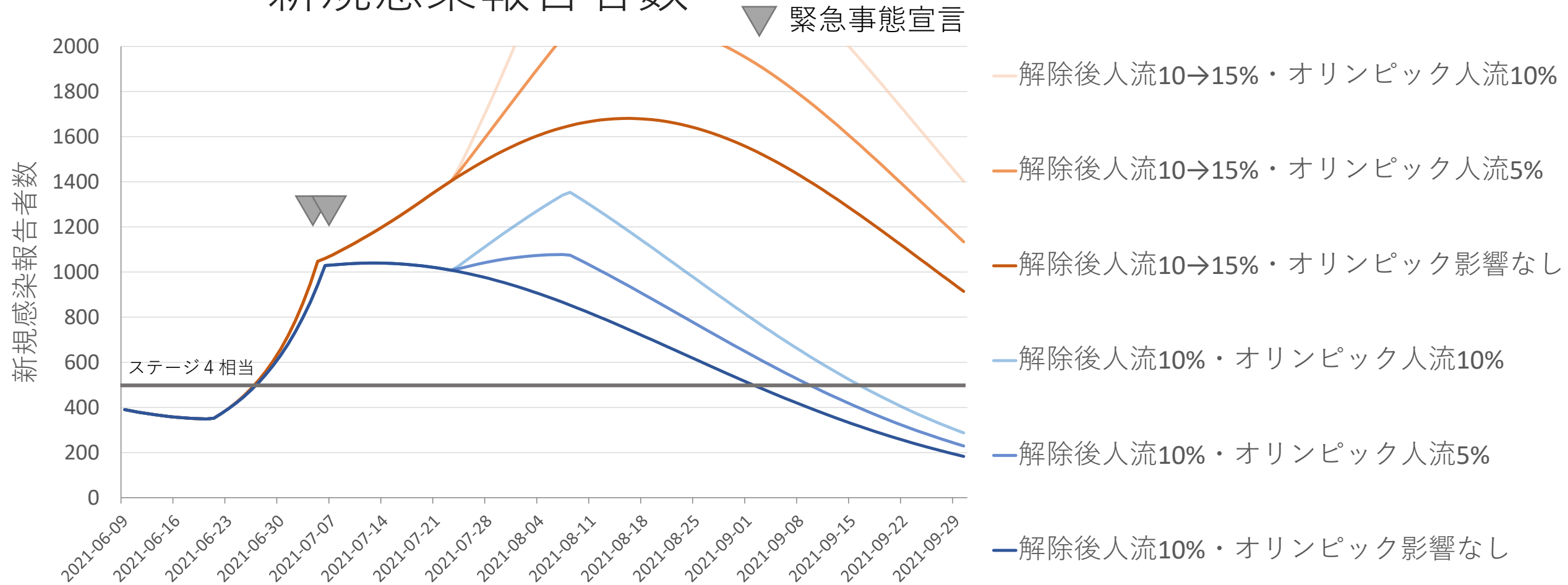
デルタ株の影響・大、緊急事態宣言なし

重症者数



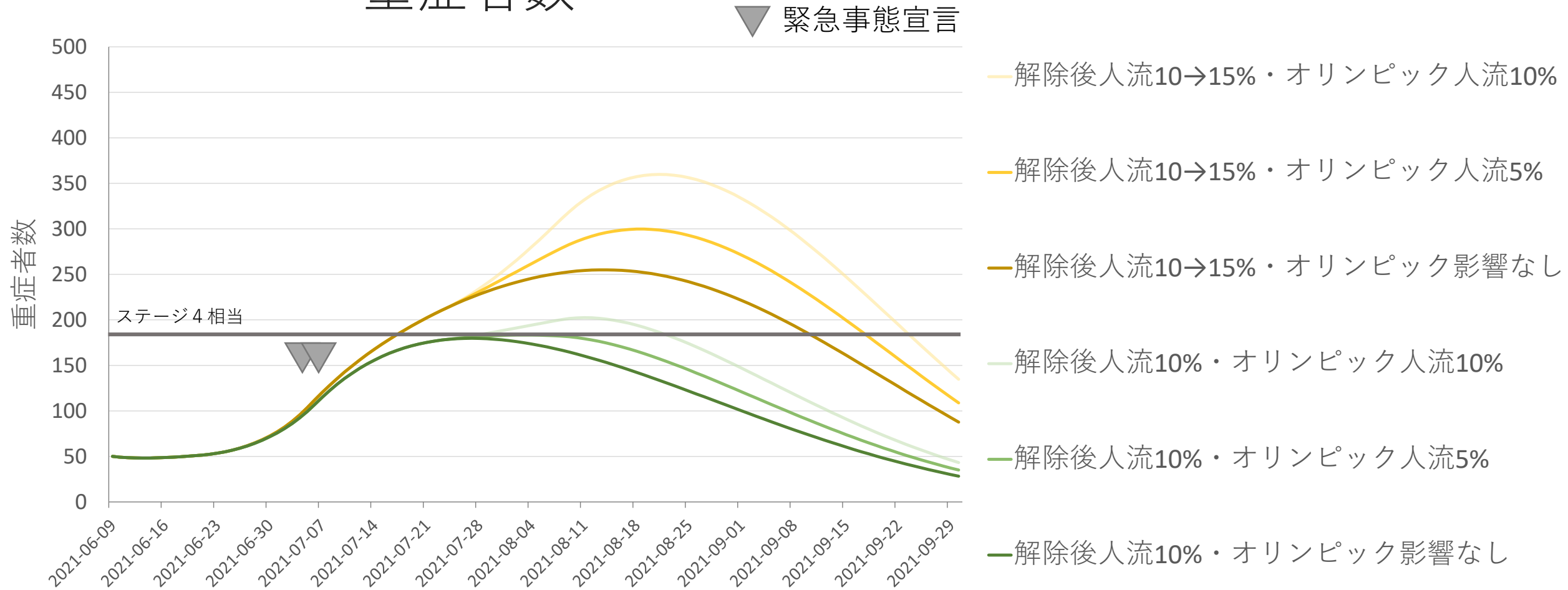
デルタ株の影響・大、1000人で緊急事態宣言

新規感染報告者数



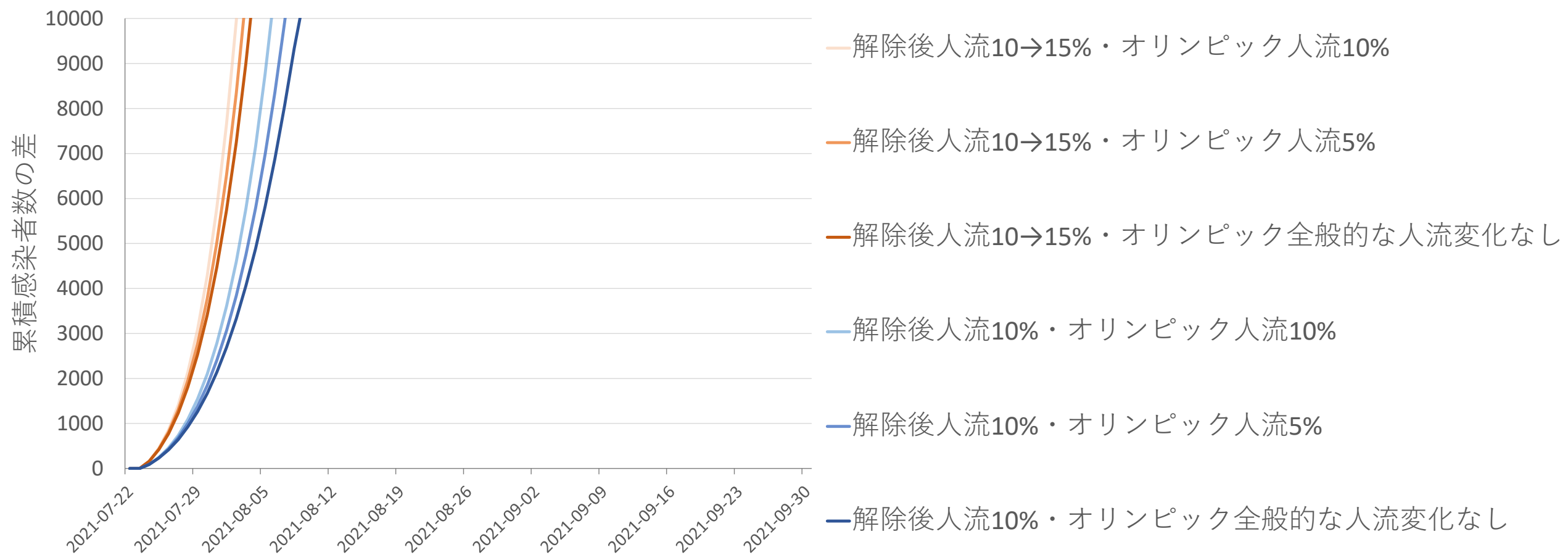
デルタ株の影響・大、1000人で緊急事態宣言

重症者数



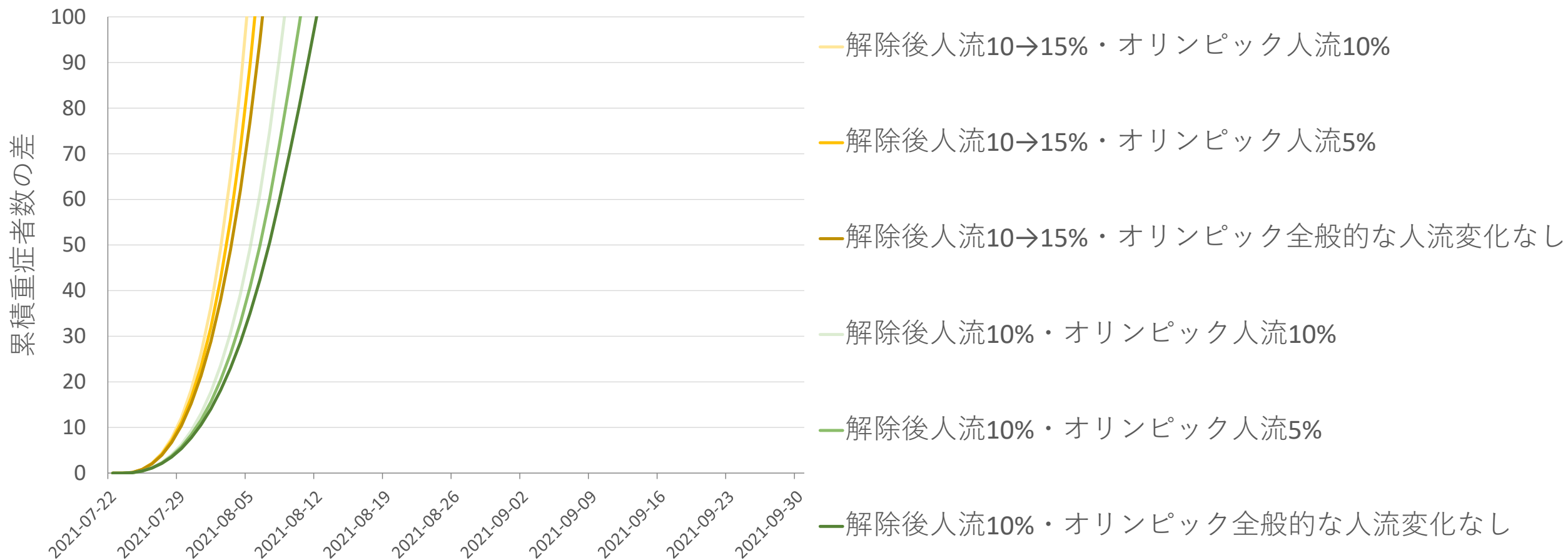
デルタ株の影響・大、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積感染者数の差**



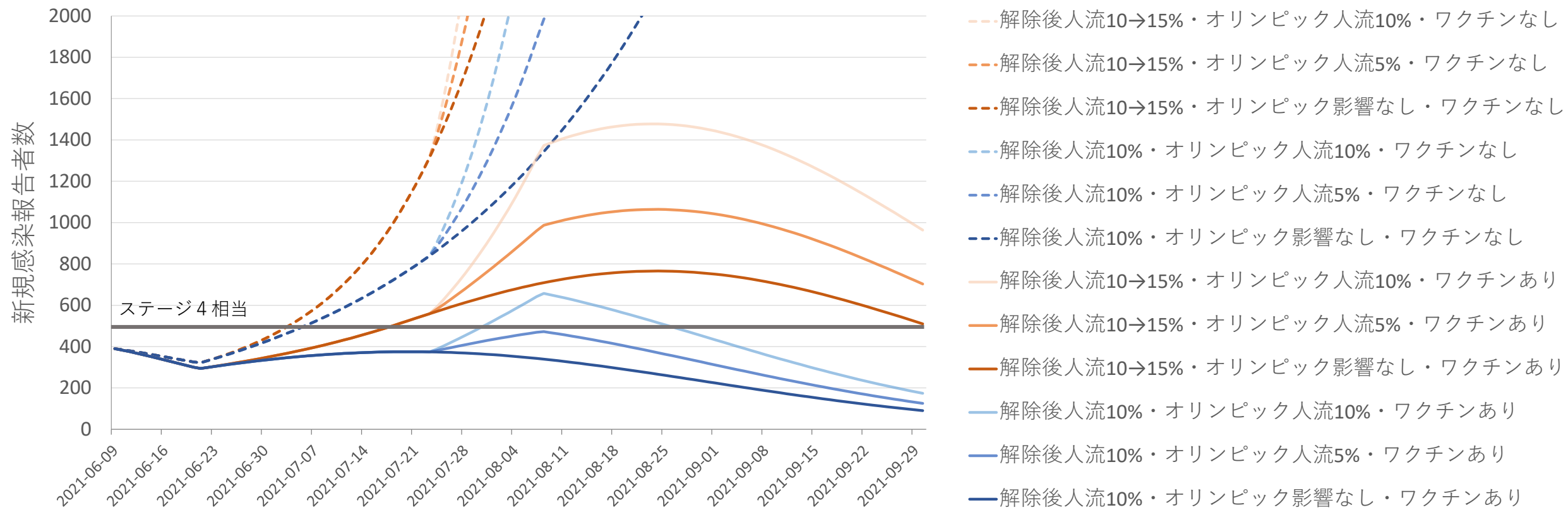
デルタ株の影響・大、緊急事態宣言なし

オリンピックを有観客で行ったときに、無観客のときと比べて発生する**累積重症者数の差**



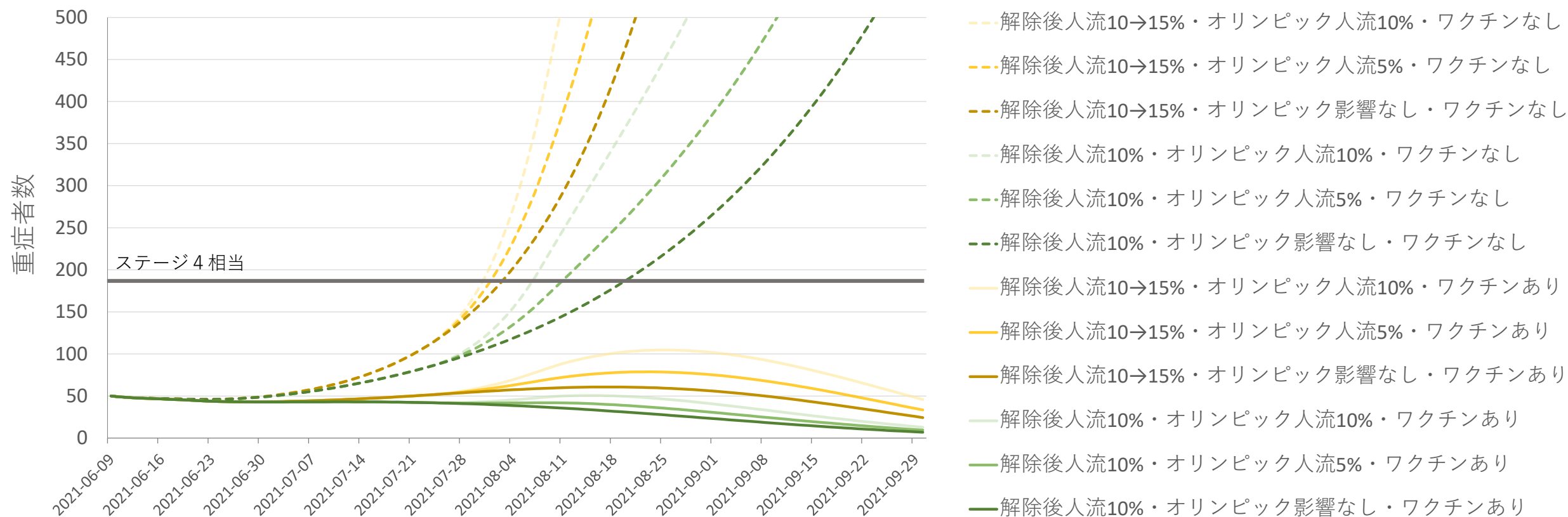
参考：もしワクチンがなかったら（デルタ株の影響なし & 緊急事態宣言なし）

新規感染報告者数



参考：もしワクチンがなかったら（デルタ株の影響なし & 緊急事態宣言なし）

重症者数



考察・まとめ

- 9月末までにデルタ株の影響がなく、宣言解除後の人流増加をオリンピック期間中も含めて+15%程度以下に抑えることができれば、宣言の再発令（新規感染報告者数が1日1000以上相当）を回避できる可能性がある（最も楽観的なシナリオ）。
- デルタ株の影響が小さくある場合は、宣言解除後の人流増加をオリンピック期間中も含めて+10%程度までに抑えても、7月後半から8月前半に宣言の再発令が必要となる可能性がある。
- デルタ株の影響が非常に大きい場合は、7月前半～中旬にも宣言の再発令が必要となる可能性がある（最も悲観的なシナリオ）。ただし、実際には感染報告者数がシミュレーションのように急増した場合には宣言が発令される前の段階でも市民が自粛モードとなり、新規感染者数の鈍化が起これると考えられる。
- オリンピックの有観客開催が感染者数および重症者数に及ぼす影響は、その時点での感染者数、デルタ株の状況、そしてオリンピック期間中やその後の人流によって大きく左右される。
- 重症化リスクの高い層に広くワクチンが接種されることで、重症者数は（ワクチンがないとする仮定の状況よりも）劇的に減少する。しかし、爆発的な感染拡大が起こった場合には、ワクチン接種が今後も順調に進むと仮定してもやはり重症者数は相当数発生することになる。

医療および検査リソースの最適化シミュレーション #22
- 東京都におけるオリンピック・パラリンピック対応・ワクチン接種効果-

2021/06/13

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

(1) 第4波に対する緊急事態宣言効果 シミュレーション条件と予測

- 6/12までのデータを用いて、6/13以降9月末までのシミュレーション結果を示す
 - α株（英国種：従来株より感染力20%増加:実効再生産数1.4-1.5）をベースケースとしたシミュレーションを実施
 - 人出や各種個人による対策などを反映した感染力を緊急事態宣言中は20%低下を想定。
 - 第4波に対する第3次緊急事態宣言解除は6/20とし、解除までの期間の効果をシナリオベースで推定。
- 解除後は徐々に自粛を緩和して、生活を元に戻していく方式を想定。実効再生産数に反映する。
- オリンピック・パラリンピック開催時には、経済活動が活発化し、感染力が10%増加するシナリオを示す。
- 偽陽性を0.5%としているので、平均数十人程度の偽陽性が発生。

- オリンピックの関係者・観客としては、10/20/30万人を想定し、パラリンピックの規模はその1/2とする。
- 開会式初日から東京都内に流入し、期間中毎日入れ替わることを想定、閉会式まで毎日流出する。
- 官房事業PCR検査実績に基づき、関係者の市中感染率0.1%を想定
- 海外からのオリンピック関係者は 7.7万人については、感染直後の検査の偽陰性など検疫での見逃しを考慮して陽性率0.1%を想定

(1) 第4波に対する緊急事態宣言効果 シミュレーション条件と予測

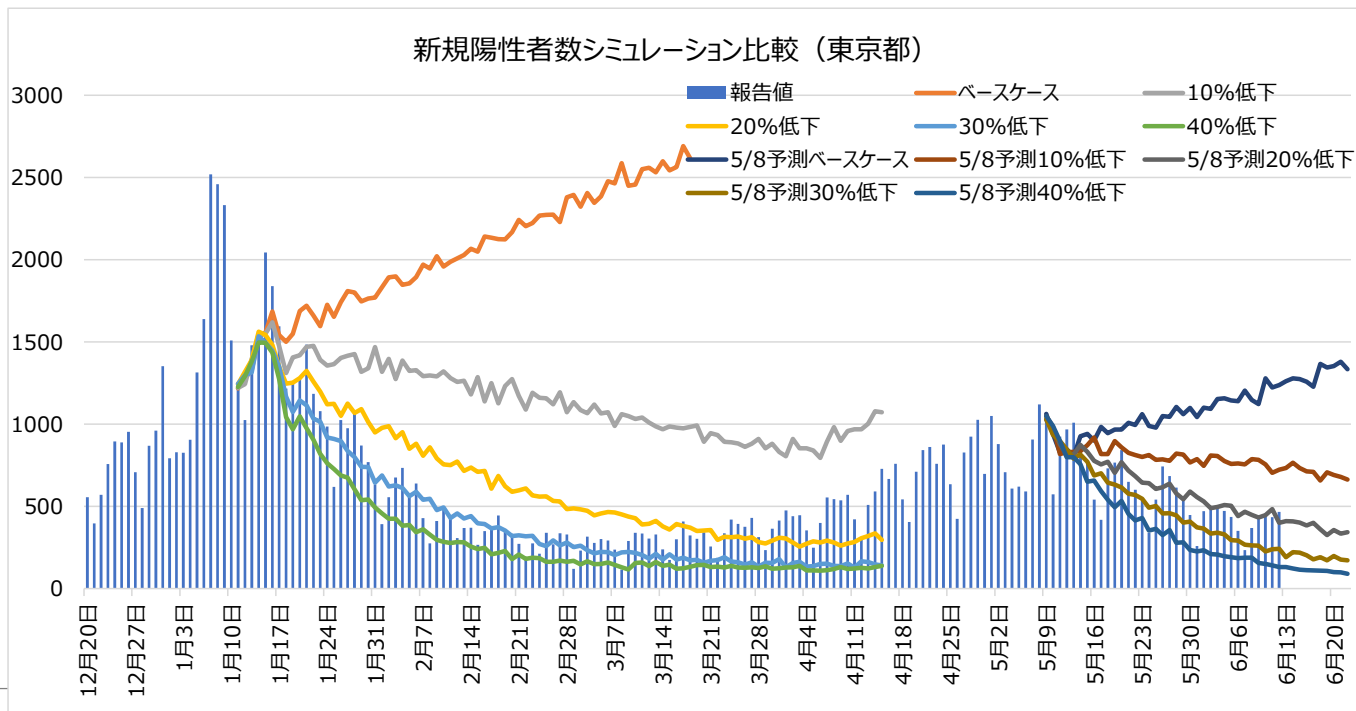
ワクチン接種速度については、

- 6月12日現在で、1回目接種125万人、2回目接種49万人を初期状態とする。
- 6月15日以降2回目接種を含めて件数として、1日当たり（1日約10万回または15万回）を想定。
- 都内では高齢者360万に対する接種完了は、7月中旬から7月末前後を目標しているが、本シミュレーションでは全世代に対して一様に接種するものとする。
- オリンピック開始 7/23時点では、全人口の25%が2回接種完了
- 9月末までに全人口の約60%（接種人数としては、1日0.5%ベース）が接種完了。
- ファイザー製ワクチンを想定し、1回目接種後3週間目に2回目を接種、接種後2週間経過後に効果が得られる。

(1) 第4波に対する緊急事態宣言効果 ②緊急事態措置の効果（東京都）

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- シミュレーション結果と報告されている陽性者数等の比較を継続的に行っており、実際にどの程度感染率が低下したシナリオとなっているのかを調査した。
- 5/8に実施したシミュレーション結果と実際の報告値を比較すると、感染率は20%程度低下していると考えられる。



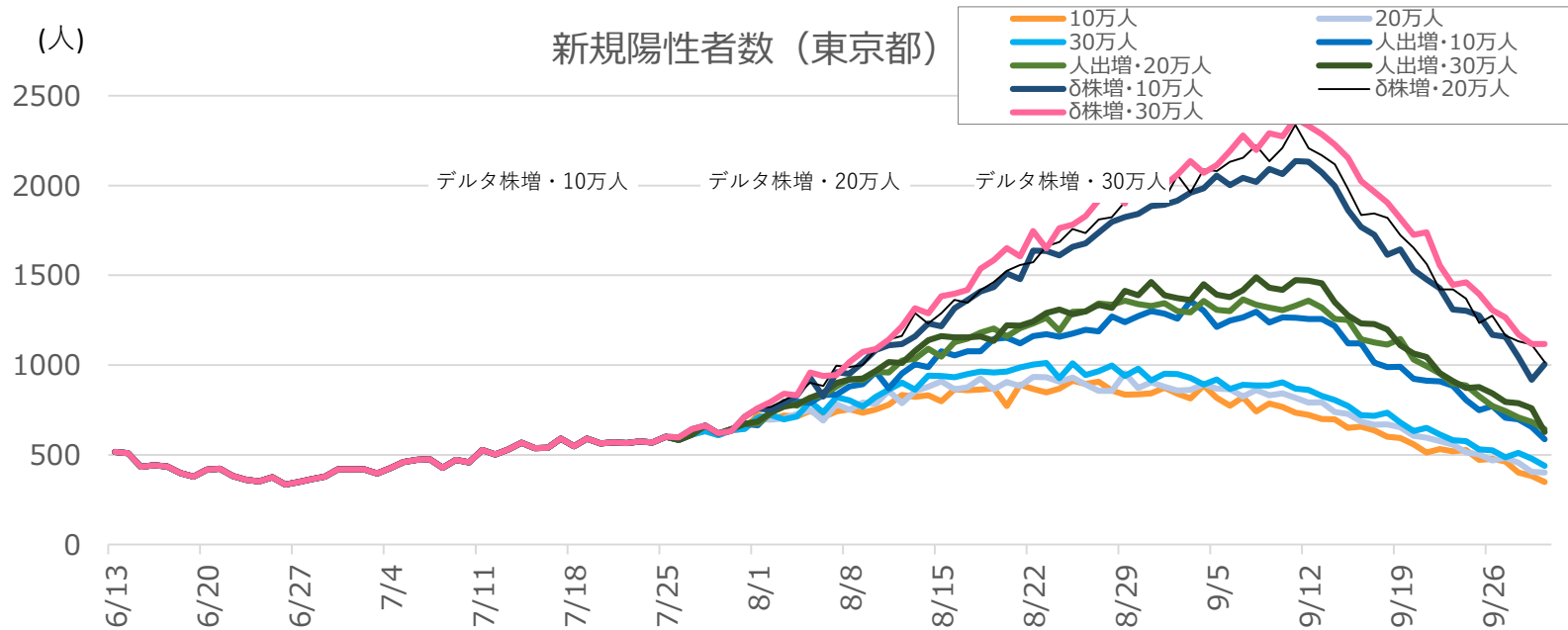
(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ① ワクチン10万回

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- オリンピック・パラリンピック関係者・観客30%増、 δ 株増 (実効再生産数 R_t 1.8) を考慮したものを示す。

- 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
- 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
- ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

東京都 ベースケース α 株 R_t 1.4-1.5/人出増/ δ 株増 R_t 1.8 ワクチン 10万回/日



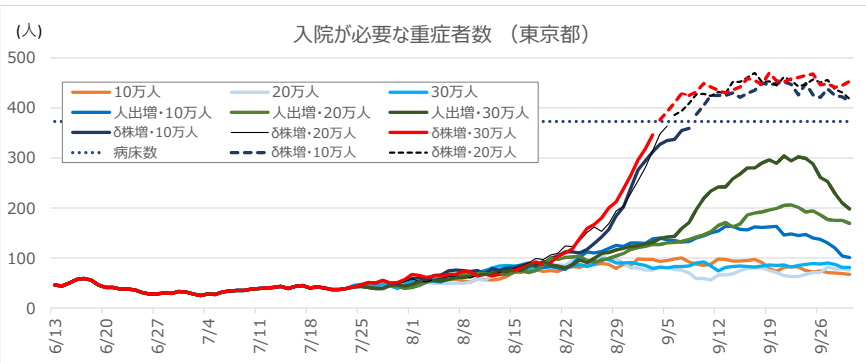
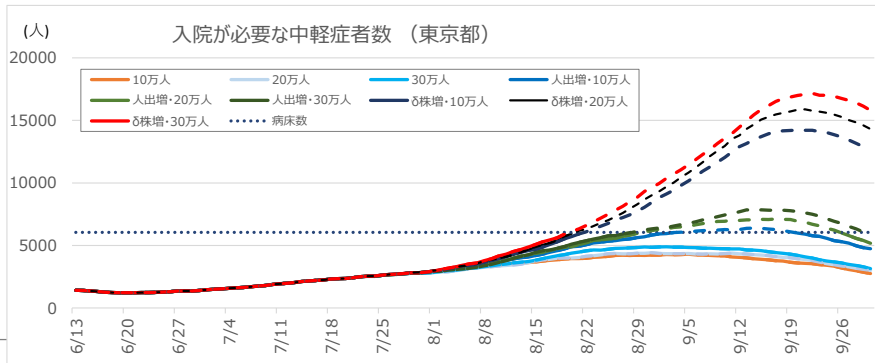
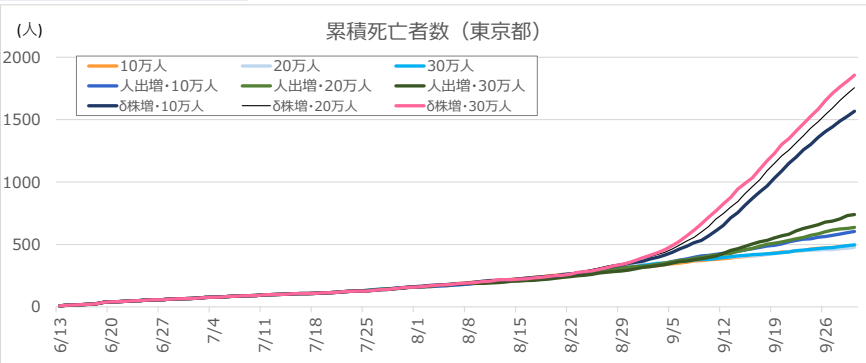
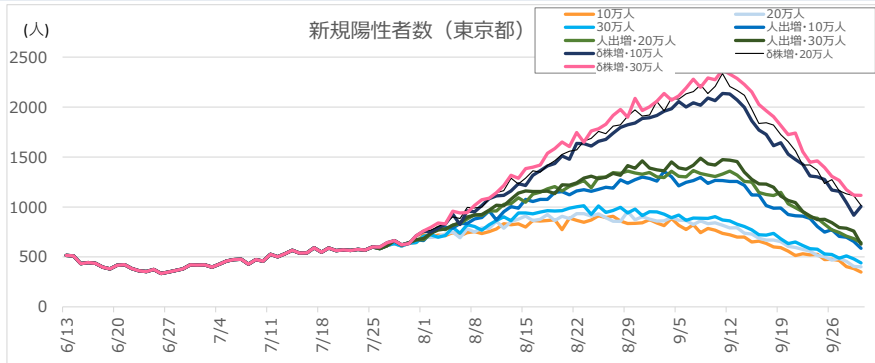
(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ① ワクチン10万回

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- 前ページの条件に合わせて医療リソースを示したものの。感染率の増加に伴い、中軽症用病床がひっ迫する。
- 感染力が40%増 (実効再生産数1.7-1.8) になると重症者病床が不足する。

■ 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
■ 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
■ ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

東京都 ベースケースα株Rt1.4-1.5/人出増/δ株増Rt1.8 ワクチン 10万回/日

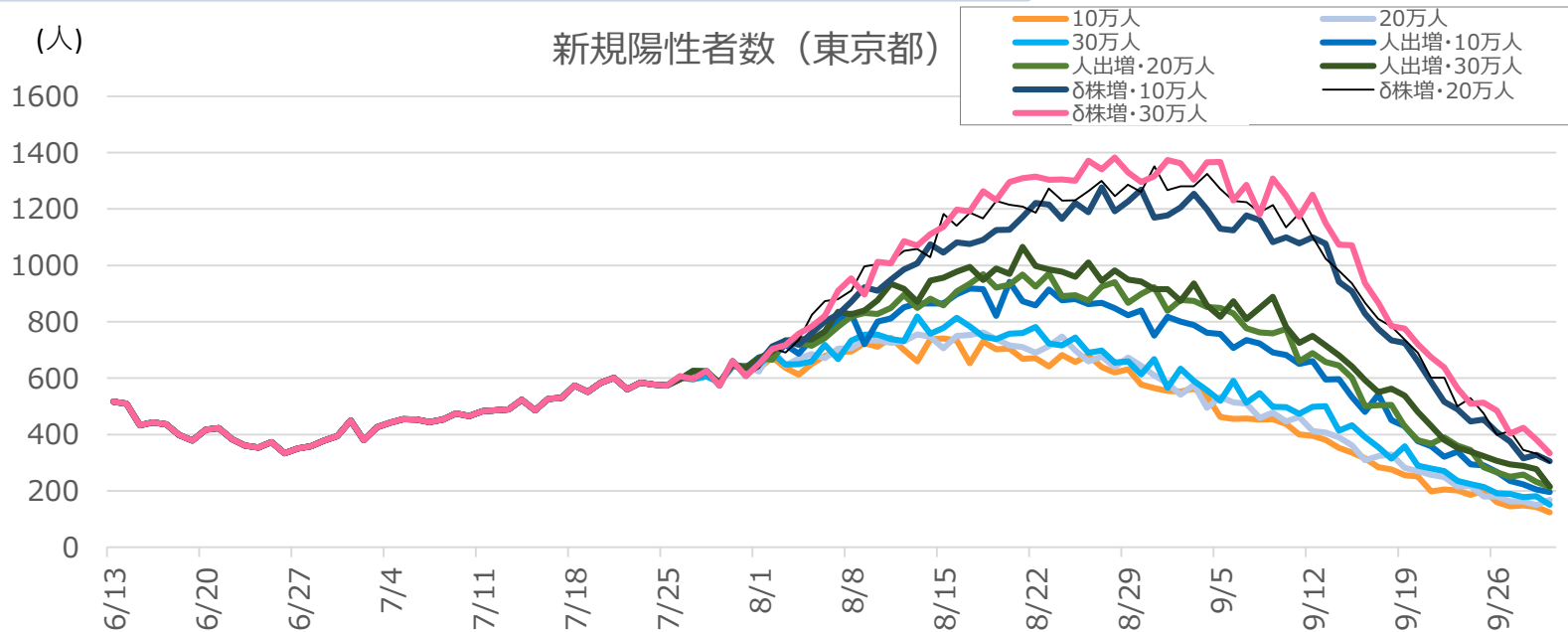


(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ② ワクチン15万回

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- オリンピック・パラリンピック関係者・観客30%増、 δ 株増（実効再生産数 R_t 1.8）を考慮したものを示す。
- 国内からの関係者10/20/30万人、海外から7.7万人が東京に流入する影響はあまりない。
- δ 株増でも8月下旬から9月上旬をピークに9月末にはほぼ収束する。

- 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
- 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
- ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

東京都 ベースケース α 株 R_t 1.4-1.5/人出増/ δ 株増 R_t 1.8 ワクチン 15万回/日

(2) オリンピック・パラリンピック時期の人流影響予測 (東京都) ② ワクチン15万回

提供：三菱総合研究所
協力：芝浦工業大学・電気通信大学

- 前ページの条件に合わせて医療リソースを示したものの。感染率の増加に伴い、中軽症用病床がひっ迫する。
- 感染力が40%増 (実効再生産数1.7-1.8) になると重症者病床が不足する。

- 検査結果が出るまでの日数は3日の場合
- 擬陽性は平均1%、偽陰性は平均20%
- ワクチン接種は、感染状況の変化は考慮していない

東京都 ベースケースα株Rt1.4-1.5/人出増/δ株増Rt1.8 ワクチン 15万回/日

