
オミクロン株

2021年12月24日

別府正太郎・藤井大輔・川脇颯太・前田湧太・
仲田泰祐・岡本亘（東京大学）

分析

- 前回のプロジェクション（11月2日）の振り返り
 - <https://covid19outputjapan.github.io/JP/>
- オミクロン株が存在しなかった場合の仮想見通し
- オミクロン株が存在する場合の見通し
 - 基本再生産数とワクチンの感染予防効果の関係＜等実効再生産数曲線＞
 - ワクチン予防効果を所与とした、基本再生産数、重症化率、重症患者数の関係＜等重症者数曲線＞
 - 基本再生産数を所与とした、ワクチン予防効果、重症化率、重症患者数の関係＜等重症者数曲線＞
 - 様々なシナリオ

重要ポイント

- 11月・12月の感染の推移は前回（11月2日）に提示した楽観シナリオに近い
- オミクロン株を考慮しない場合には、年末年始に接触機会が一時的に急上昇することを考慮しても、感染・重症患者数の見通しは良好
 - 今後3か月の感染拡大は緩やかである可能性が高い
 - 今後3か月間に重症病床率が50%を超える可能性は低い
- 現時点では、オミクロン株の感染・重症者数見通しへの影響には大きな不確実性
 - 基本再生産数、ワクチンの感染予防効果、重症化率、致死率に関する不確実性

重要ポイント

- オミクロン株の登場は感染の見通しを悪化させるが、重症患者数の見通しへの影響は（まだデータが限定的な）重症化率次第
 - 感染は拡大局面では指数関数的に増加するので、重症化率が大きく下がらないと重症患者数の見通しは悪化する
 - **等重症者数曲線**でこの関係性を定量化・可視化
 - 悪化する場合、どのくらい悪化するかには大きな不確実性
 - このレポートで提示されている中での最悪ケースよりも早く医療逼迫が起きる可能性も排除出来ない
- 他国のオミクロン株に関する情報の日本での含意を考える際には、以下の要素の違いを考慮する必要があることに留意
 - 2回目のワクチン接種率。使われたワクチンメーカー（メーカーによってワクチン効果が異なるから）
 - 2回目接種のタイミング（ワクチン効果が時間と共に減退すると推定されているから）
 - 3回目の接種率
 - 人と人との接触の仕方、個人レベルでの感染予防対策度合い（例えばマスク着用率）

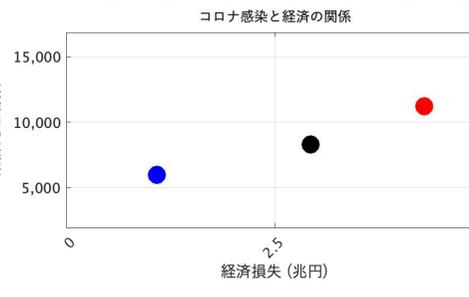
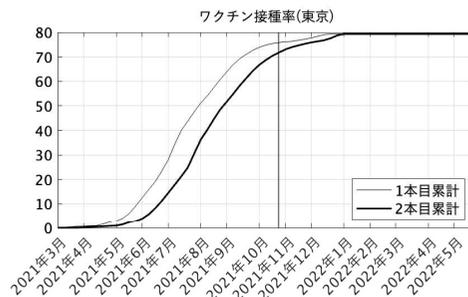
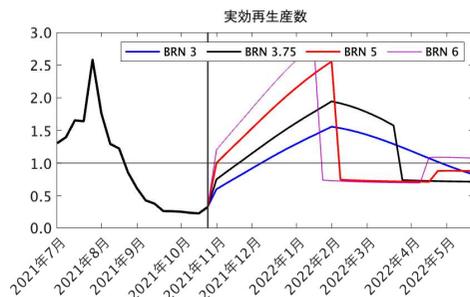
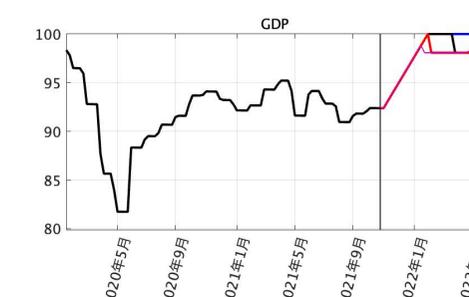
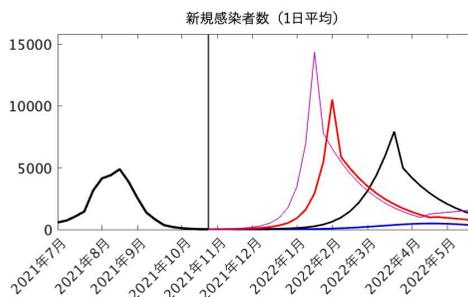
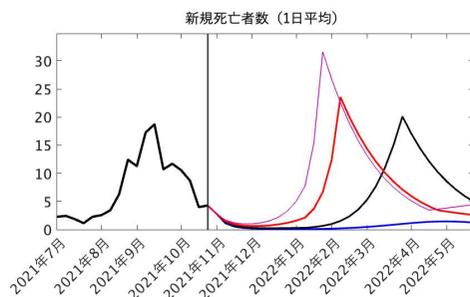
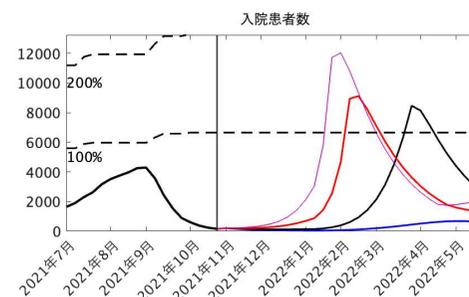
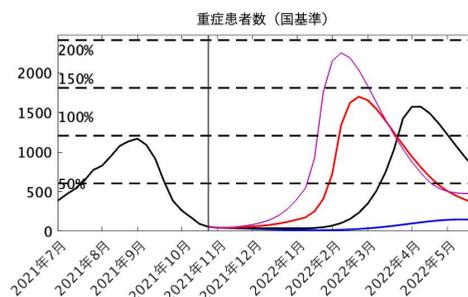
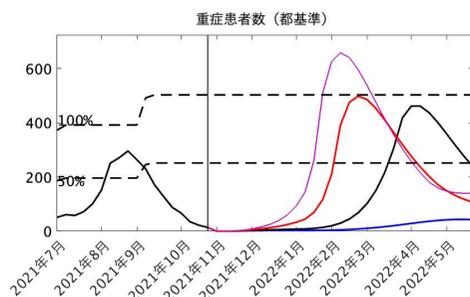
重要ポイント

- 政策を考える際には「感染リスク」と「行動制限に伴う社会・経済・文化・教育へのリスク」の両方を定量的に評価する必要がある
 - このレポートでは前者の評価のみ
- 最適な政策は、この両者に相対的にどの程度価値を置くかという価値判断に依存する
 - したがって、このレポートの分析からは今後どのような政策を打つべきかは何も言えない
- 「感染症対策と社会経済の両立」という観点からは、「感染抑制の視点からは安全寄りの政策」が最適だとは必ずしも言えない
 - 人と人との接触の減少/将来への不安は、消費を低迷させ、失業・貧困・格差の増加などにつながる可能性
 - 人と人との接触の減少/将来への不安は、自殺者数の増加・婚姻率/出生率の低下などにつながる可能性
- 報道には「報道の自由」がある
 - このレポートの最悪のシナリオをもとに注意喚起的な記事を書く事も出来れば、医療逼迫度合いは重症化率に依存することを強調して過度な不安を落ち着かせる記事を書くこともできる

前回（11月2日）のプロジェクト

11月2日のプロジェクション（東京都）

青・黒・赤・紫（基本再生産数3・3.75[基本シナリオ]・5・6）



11月2日のプロジェクトン（東京都）

週	新規感染者数（基本再生産数 3）	新規感染者数（基本再生産数 3.75）	新規感染者数（基本再生産数 5）
2021年10月第1週	115	115	115
2021年10月第2週	60	60	60
2021年10月第3週	31	31	31
2021年10月第4週	25	25	25
2021年11月第1週	27	33	44
2021年11月第2週	22	31	49
2021年11月第3週	19	31	58
2021年11月第4週	18	33	74
2021年12月第1週	18	37	99
2021年12月第2週	19	43	141
2021年12月第3週	20	53	211
2021年12月第4週	22	69	330
2021年12月第5週	26	92	539
2022年1月第1週	31	127	914
2022年1月第2週	38	181	1608
2022年1月第3週	48	268	2921
2022年1月第4週	63	408	5472

オミクロン株が存在しない場合の仮想シナリオ

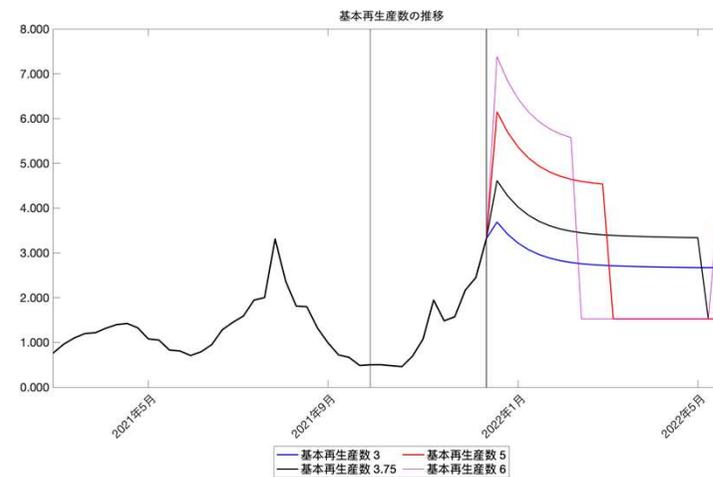
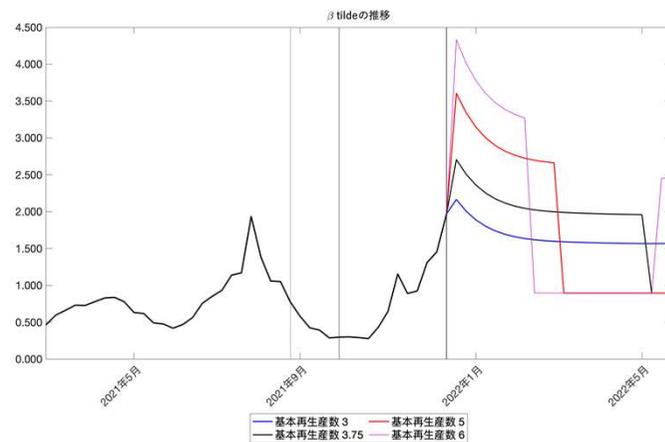
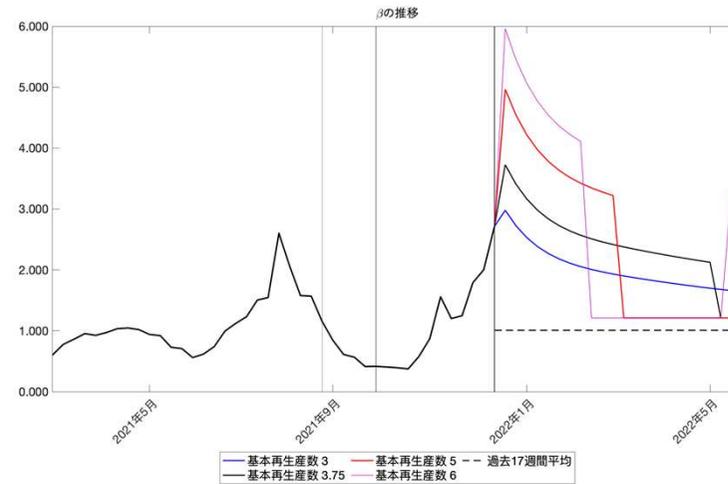
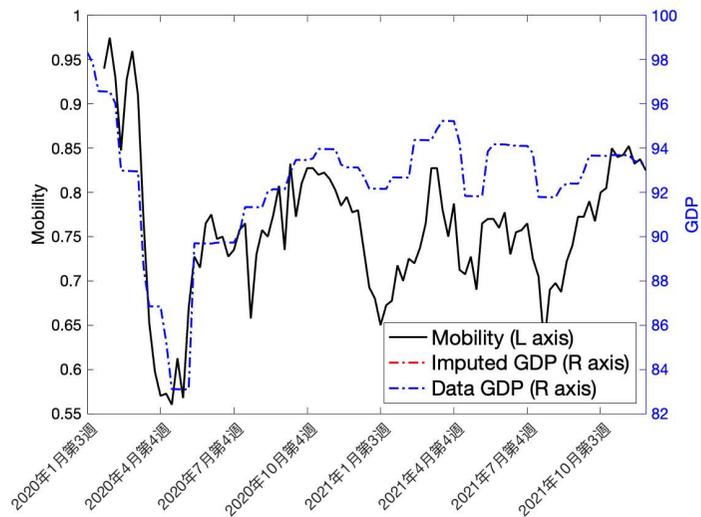
設定

- 12月19日までのデータを使用
- 東京都における分析
- **2022年1月から6か月**かけて「コロナ危機前の人と人の接触・経済活動」に回復
- 人々が許容する最大1日新規感染者数：5,000人
- デルタ株基本再生産数：3, **3.75**, 5, 6
 - 藤井仲田チームが現時点で一番尤もらしいと思う値は**3.75**（根拠：「定常状態の接触率パラメター」分析）
- 季節性：Sine関数を利用して、接触率パラメターの冬場の最大値が夏場の最小値の**1.2倍**に設定
- 将来の重症化率・致死率・入院率の推移
 - 過去17週間の（感染者数を用いた）加重平均
- ワクチンの効果に関してはSPI-M-O (October)を参考
 - 詳細はAppendixの最後のページに記載

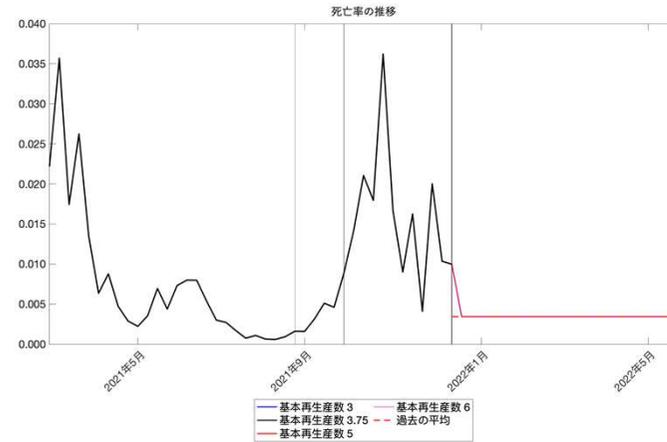
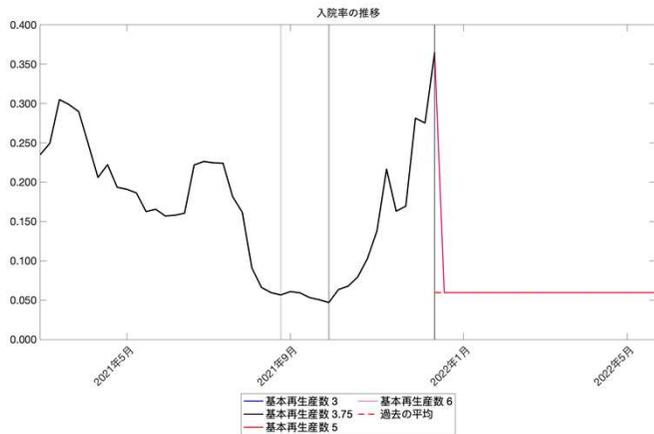
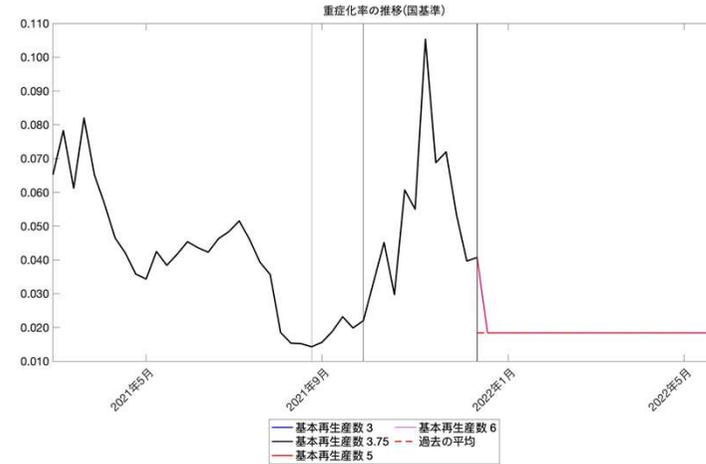
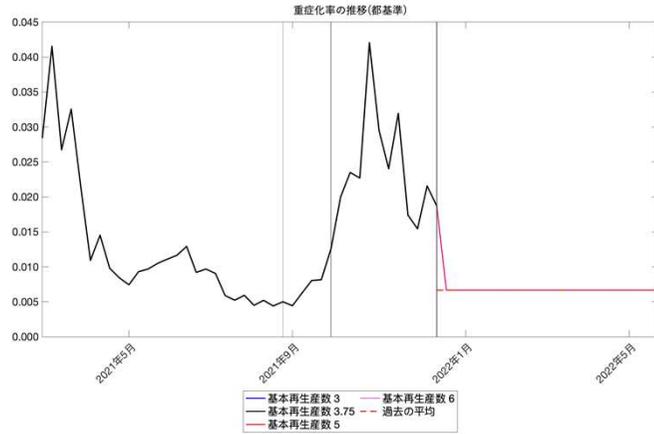
設定(ブースター接種)

- 2回目接種と3回目接種の間隔：約8か月
- 医療従事者: 12月1週より、3月10日の週（最初の2回目接種日）から2回目接種者が1週ずつ順に100%打つと仮定
- 高齢者・一般・職域接種: 1月1週より、5月3日の週(最初の2回目接種日)以降の2回目接種者が1週ずつ順に100%打つと仮定
 - 2021年12月1週: 2021年3/10の週の2回目接種者が3回目を接種
 - 2021年12月2週: 2021年3/17の週の2回目接種者が3回目を接種
 - ...
 - 2022年1月1週: 2021年4/14の週の2回目接種者(医療従事者)が3回目を接種
AND 2021年5/3の週の2回目接種者(高齢・一般)が3回目を接種
 - 2022年1月2週: 2021年4/21の週の2回目接種者(医療従事者)が3回目を接種
AND 2021年5/10の週の2回目接種者(高齢・一般)が3回目を接種

重要パラメーターの推移

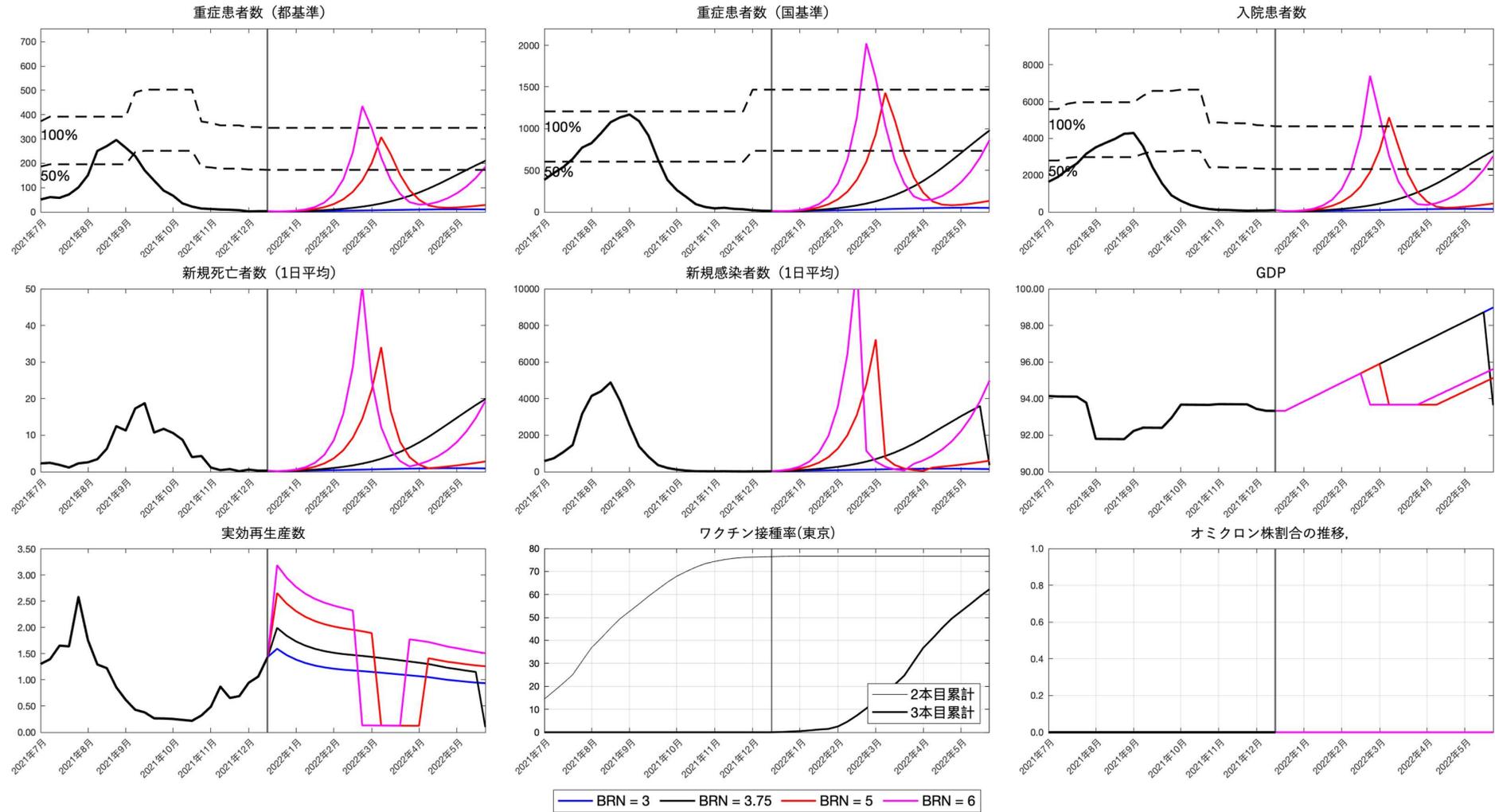


重要パラメターの推移



*過去17週間の（感染者数による）加重平均をプロジェクションに使用。感染者数が非常に低いレベルで推移した11月・12月の数字は上方バイアスがかかる可能性を加重平均を取ることで考慮

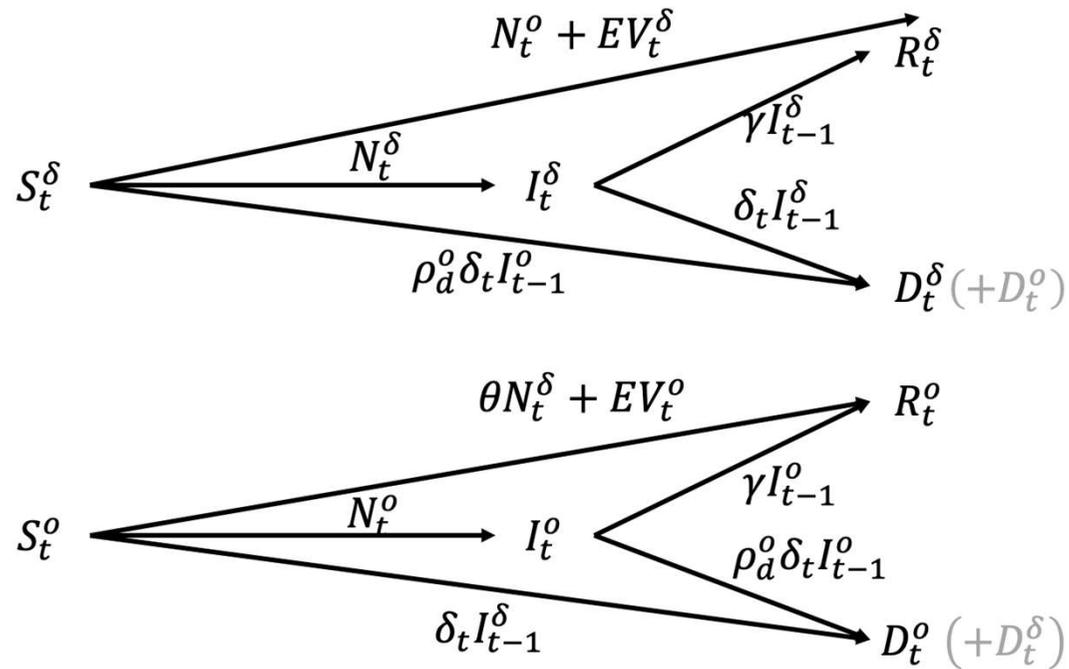
オミクロン株を考慮しない見通し：基本再生産数（3, 3.75[基本シナリオ], 5, 6）



オミクロン分析

モデル

- デルタ株とオミクロン株を同時に考慮した統合SIRモデル
 - 詳細はAppendix

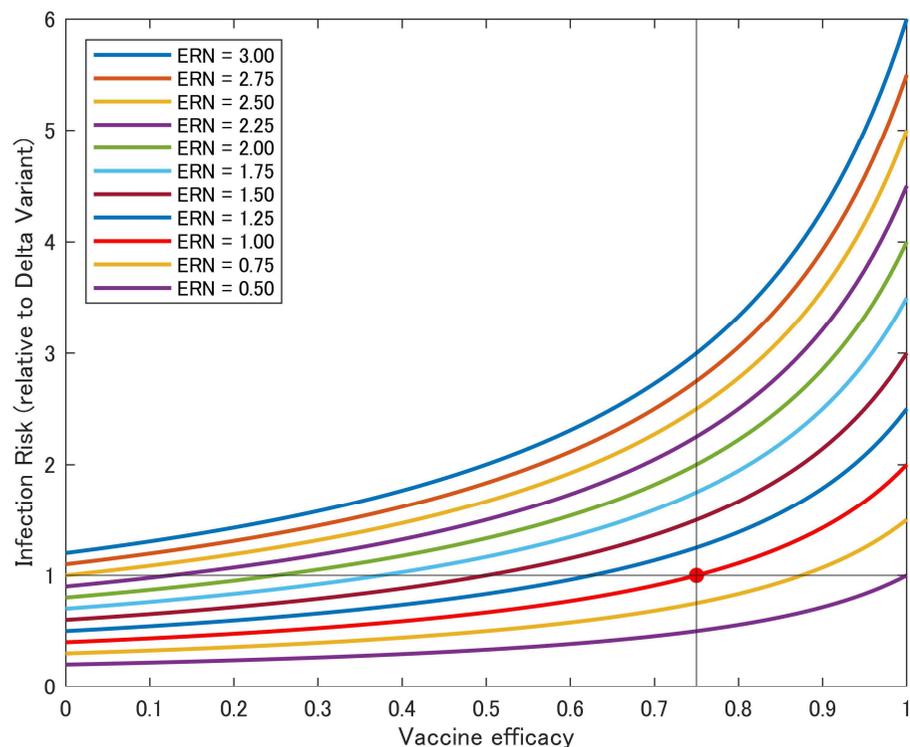


- オミクロン株割合は内生的に決定： $\frac{N_t^o}{N_t^\delta + N_t^o}$

設定

- 2021年12月26日に東京都にオミクロン株の感染者が10名存在すると仮定
- オミクロン株の（デルタ株に対する）相対的基本再生産数
 - 1.0, 1.25, 1.5
- オミクロン株の（デルタ株に対する）相対的な二本目のワクチン有効性（Vaccine Efficacy）
 - 0.2, 0.6, 1
- オミクロン株の（デルタ株に対する）相対的重症化率
 - 0.25, 0.5, 1

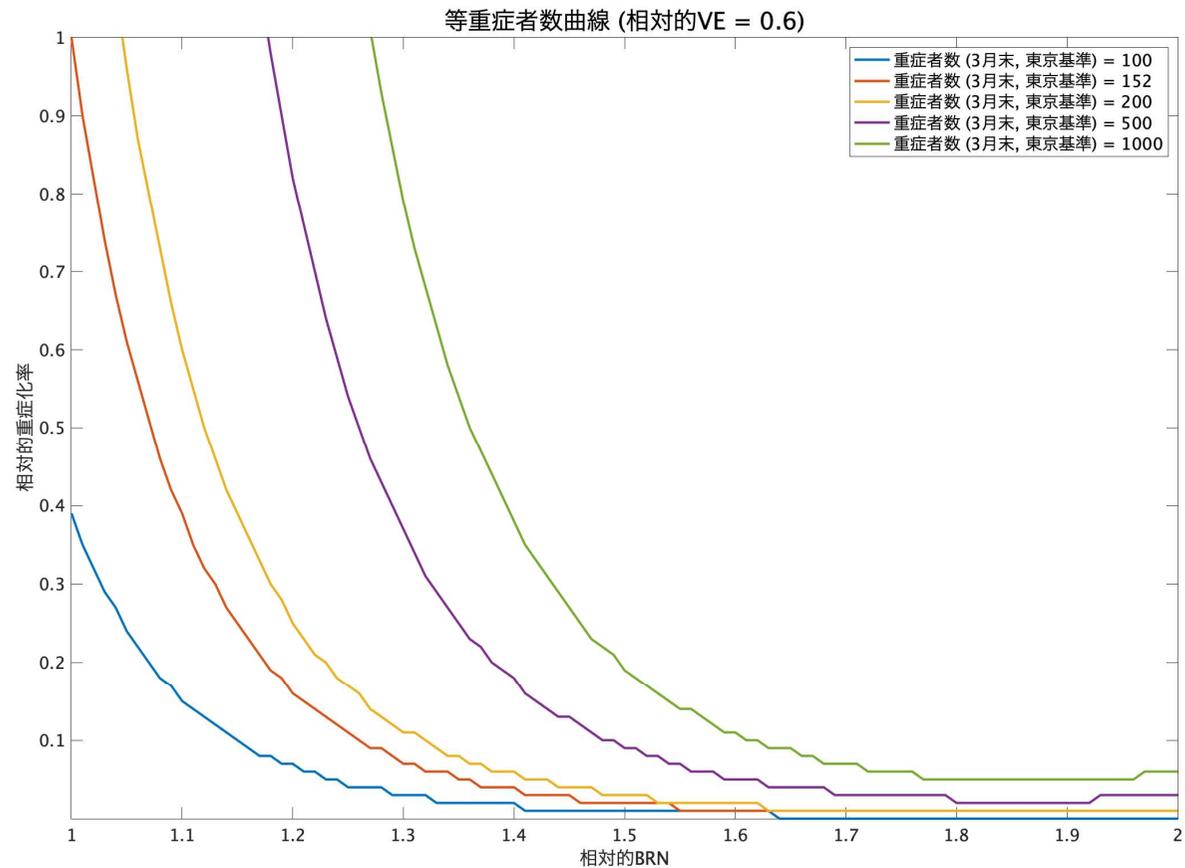
等実効再生産数曲線（基本再生産数、感染予防効果、実効再生産数の関係）



- 赤い点は、いくつかの仮定の下に、11月中旬から12月中旬にかけてデルタ株が蔓延する状態で実効再生産数が約1程度で推移したことを示す
 - いくつかの仮定：人流が定常状態の8割、デルタ株の基本再生産数が3.125、人口の8割が2本目接種完了、Vaccine Efficacyが75%
 - シミュレーションに基づく図ではなく、上記変数を繋げる簡易な恒等式に基づく図である事に留意
- それぞれの線は「ある特定のERNと整合的なく相対的な基本再生産数・VE」のペアを示す

- 等実効再生産数曲線は以下の（自明の）事実を可視化
 - 基本再生産数が一定でVEが低下すると、実効再生産数が上昇する
 - 赤い点から左に移動すると、高いERN線上に移動する
 - VEが一定で基本再生産数が上昇すると、実効再生産数が上昇する
 - 赤い点から上に移動すると、高いERN線上に移動する
 - 基本再生産数が低下してもVEが低下したら実効再生産数は変わらない
 - それぞれの曲線が右肩上がりである事と整合的

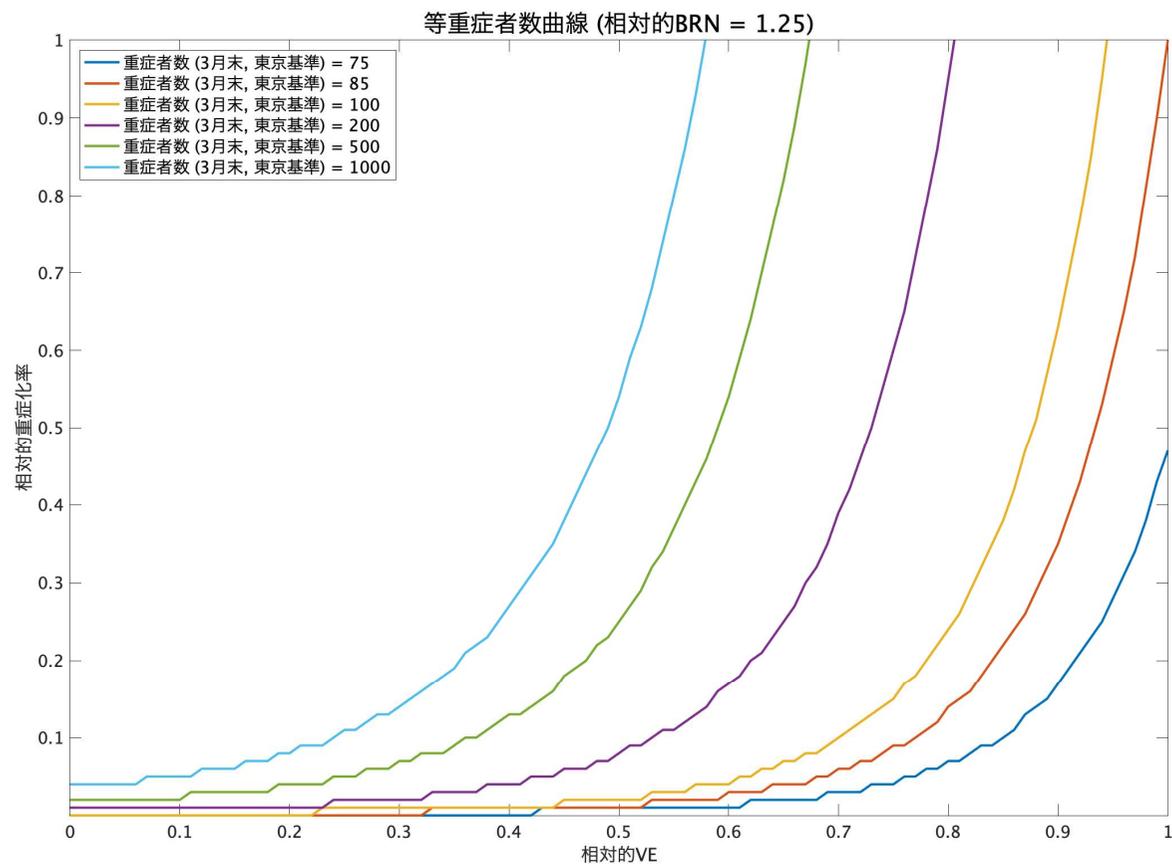
等重症者数曲線 (感染予防効果を所与とした、基本再生産数、重症化率、重症者数の関係)



- 図はシミュレーションに基づく
- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

- **等重症者数曲線**（VEを所与）は以下の関係を定量化・可視化
 - 基本再生産数が低い・もしくは重症化率が低いと（図の左下に行けば行くほど）、ある時期（図では3月末）における重症者数は低くなる
 - それぞれの線は、基本再生産数が増加した際に**重症化率がどのくらい低下すると3月末の重症者数が一定に保たれるか**を示している
- 例えばオレンジ色の線では以下の事が読み取れる
 - 仮にオミクロン株に対する（2本目の）相対的VEが0.6だとする
 - もし、オミクロン株の基本再生産数と重症化率がデルタと同じであれば、3月末の重症者数は152人
 - オレンジ色の線をたどると、**仮にオミクロン株の基本再生産数がデルタ株のX倍だった場合、どのくらい重症化率が低下すれば3月末の重症者数が152人に保たれるか**が読み取れる
 - 感染者数は（拡大局面では）指数関数的に増加するので、基本再生産数がX倍になった場合に重症化率がX分の1に低下しただけでは、重症者数は増加
 - **オレンジの曲線の傾斜が急であることから言えること**

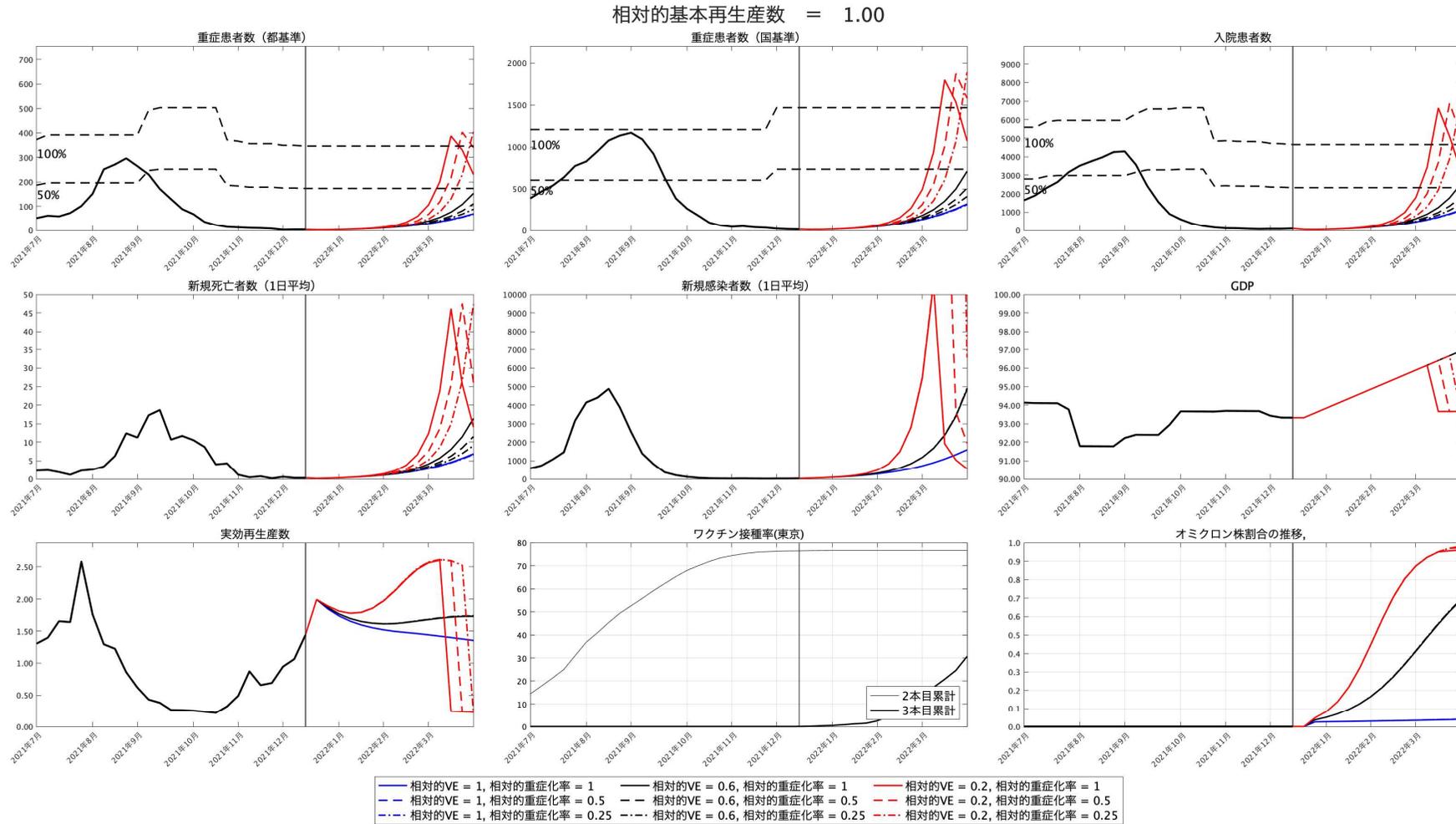
等重症者数曲線（基本再生産数を所与とした、感染予防効果、重症化率、重症者数の関係）



- 図はシミュレーションに基づく
- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

- **等重症者数曲線**（基本再生産数を所与）は以下の関係を定量化・可視化
 - VEが高い、もしくは重症化率が低いと（図の右下に行けば行くほど）、ある時期（図では3月末）における重症者数は低くなる
 - それぞれの線は、**VEが減少した際に重症化率がどのくらい低下すると3月末の重症者数は一定に保たれるか**を示している
- **例えばオレンジ色の線では以下の事が読み取れる**
 - 仮にオミクロン株のデルタ株と比べて相対的な基本再生産数が1.25だとする
 - もし、オミクロン株のVEと重症化率に変化が無ければ、3月末の重症患者数は85人
 - オレンジ色の線は、**仮に2本目ワクチン接種のオミクロン株に対するVEがデルタ株に対するVEのX倍（ $X < 1$ ）だった場合、どのくらい重症化率が低下すれば3月末の重症患者数が85人に保たれるか**を示す
 - 感染者数は（拡大局面では）指数関数的に増加するので、オミクロン株に対するVEがX倍（ $X < 1$ ）になった場合には、重症化率がX倍に低下しただけでは、重症者数は増加
 - **オレンジの曲線の傾斜が急**であることから言えること

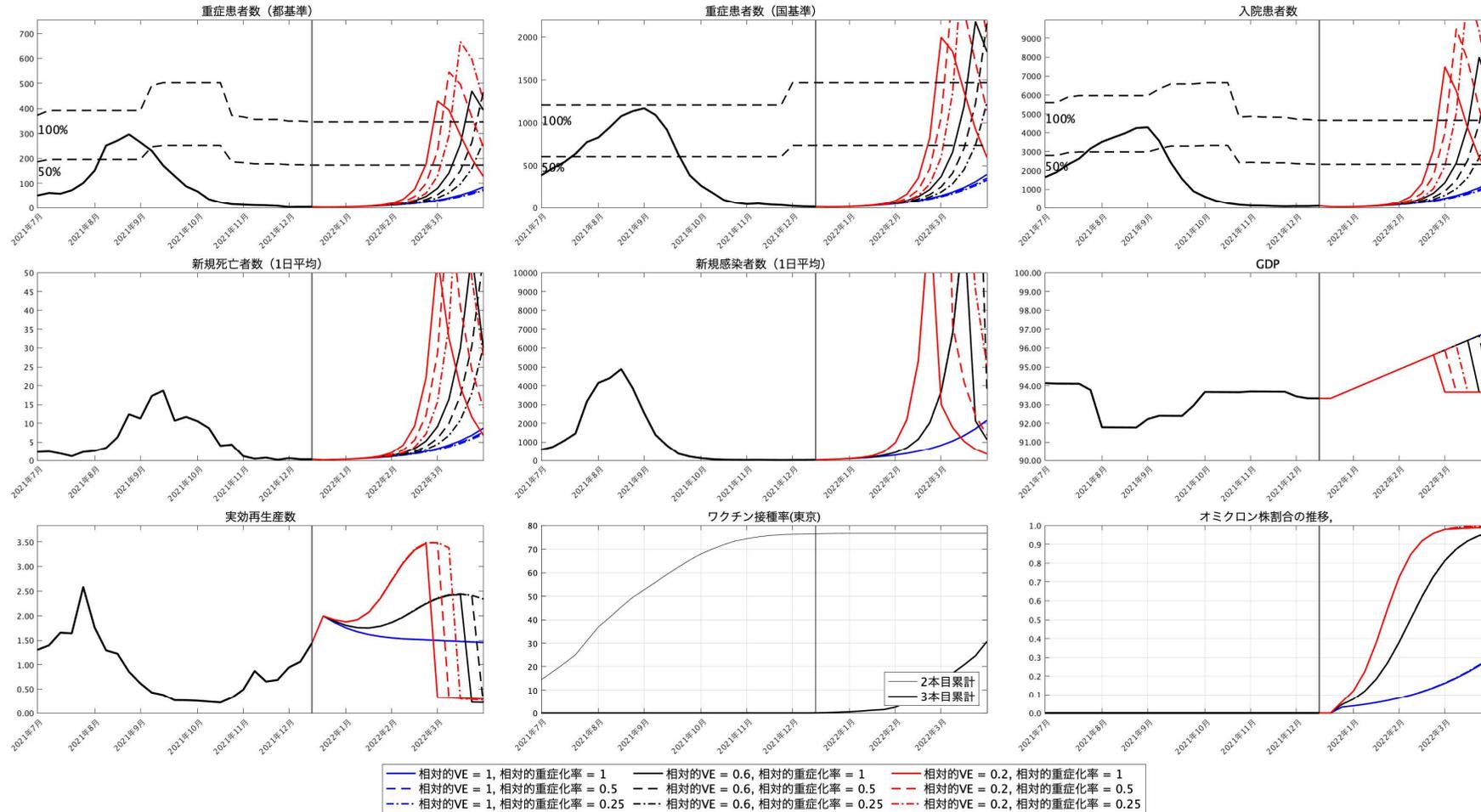
様々なシナリオ（オミクロン株の相対的BRN=1）



- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

様々なシナリオ（オミクロン株の相対的BRN=1.25）

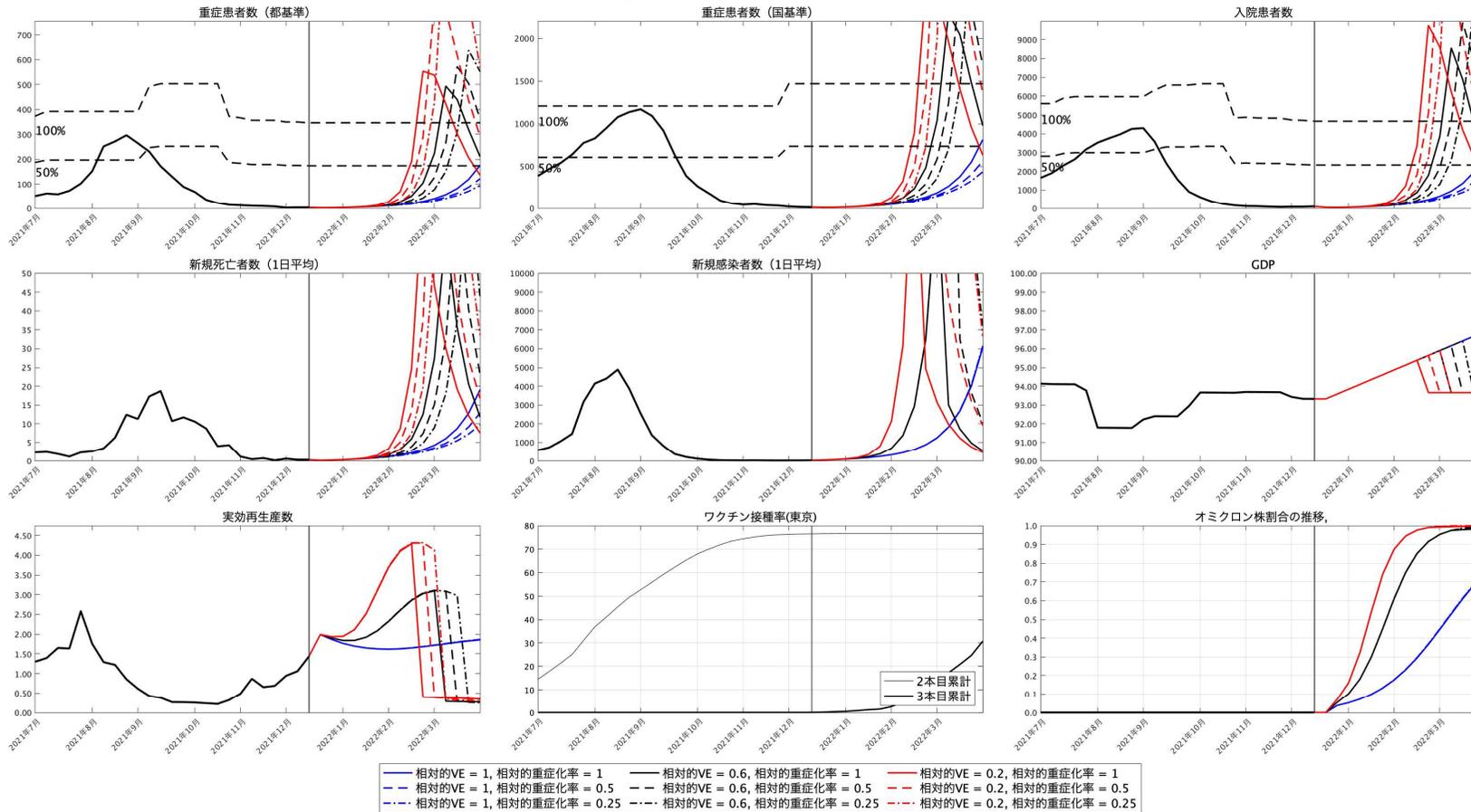
相対的基本再生産数 = 1.25



- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

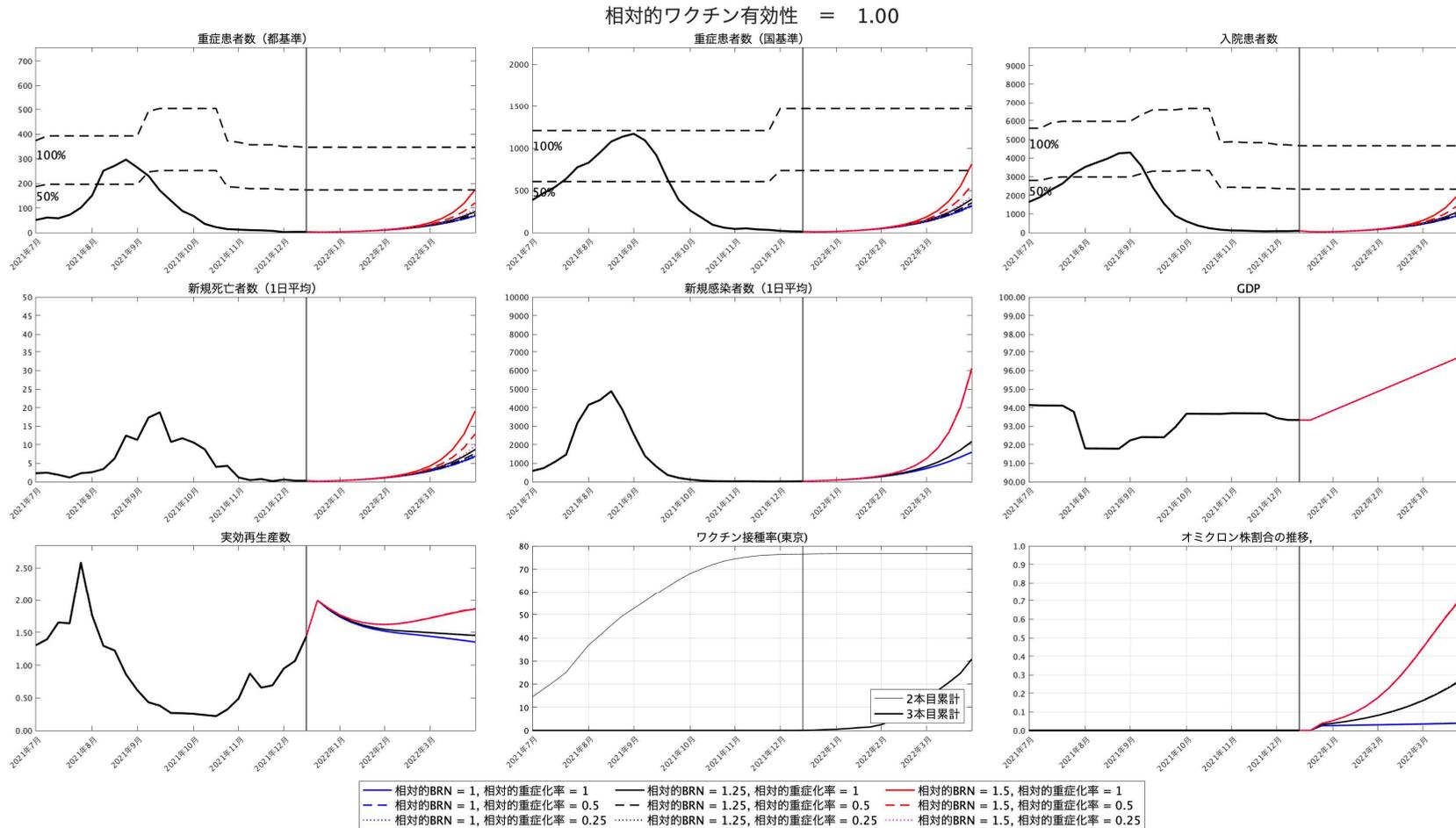
様々なシナリオ（オミクロン株の相対的BRN=1.5）

相対的基本再生産数 = 1.50



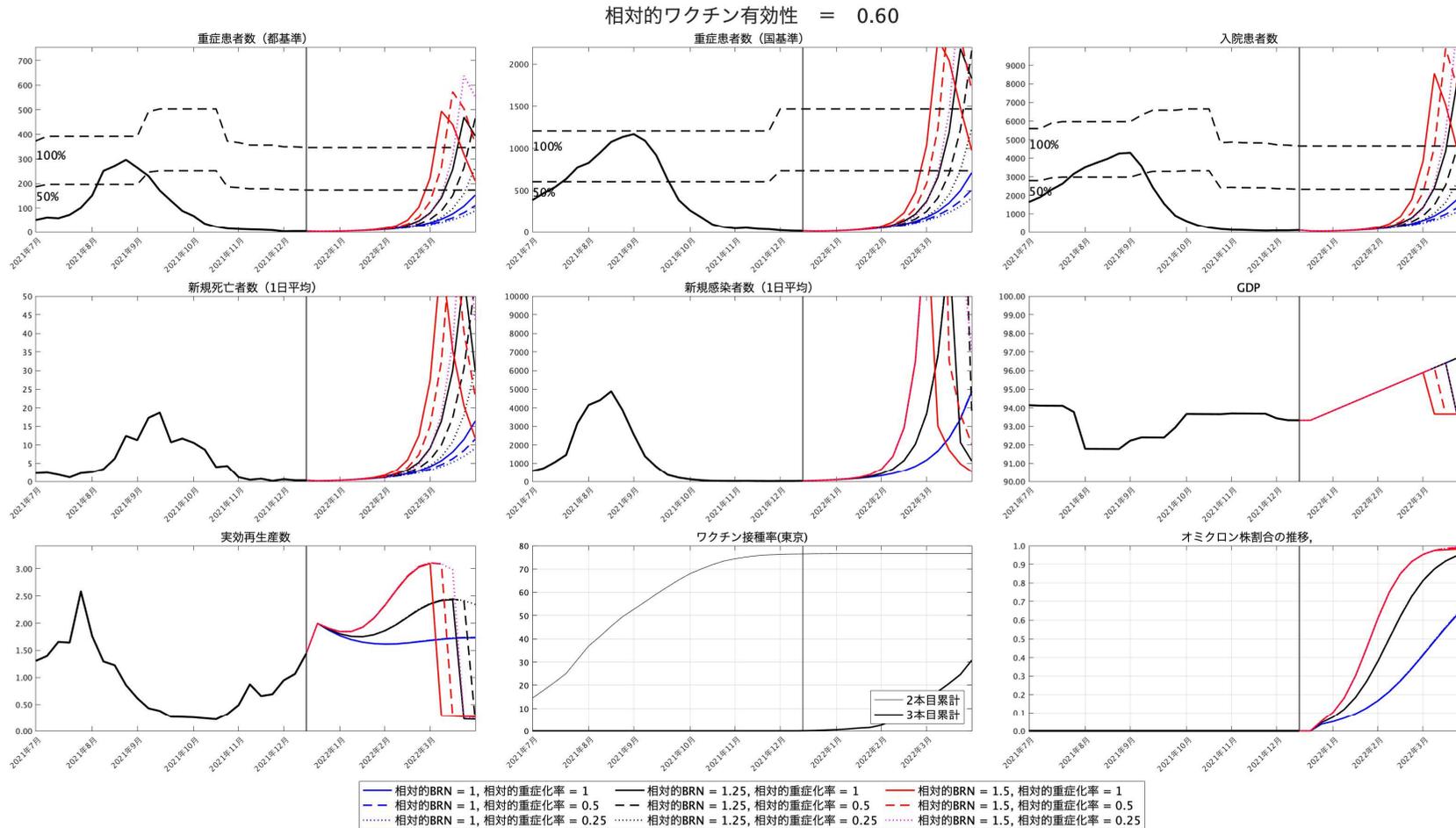
- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

様々なシナリオ（オミクロン株に対する相対的ワクチン有効性=1.0）



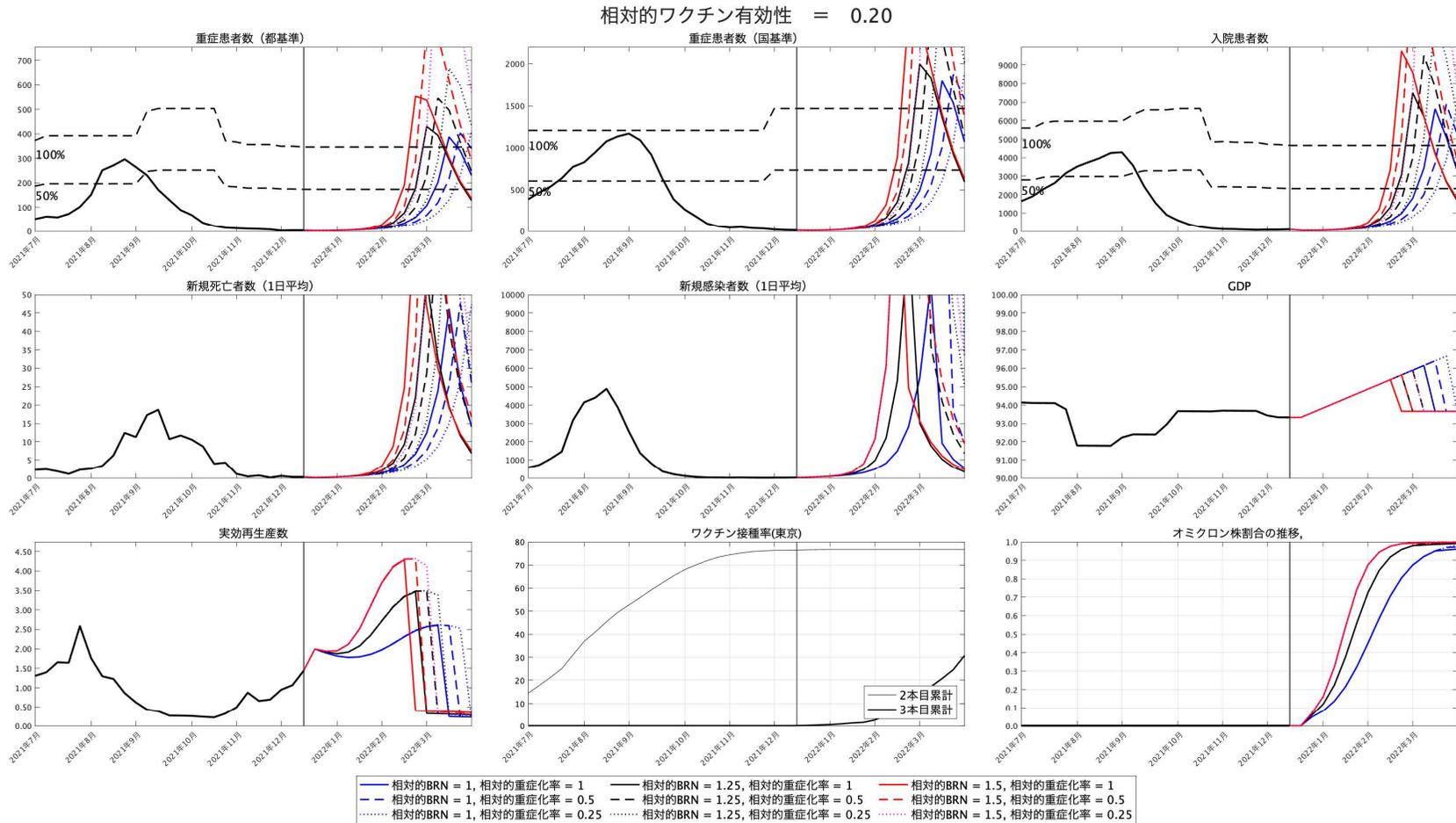
- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

様々なシナリオ（オミクロン株に対する相対的ワクチン有効性=0.6）



- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

様々なシナリオ（オミクロン株に対する相対的ワクチン有効性=0.2）



- 2回目ワクチン接種のデルタ株に対するVEは70%. デルタ株のBRNは3.75. デルタ株の重症化率は「重要パラメターの推移」を参照

- **火曜日に分析更新・Zoom説明会**：<https://Covid19OutputJapan.github.io/JP/>
- **参考資料**：<https://covid19outputjapan.github.io/JP/resources.html>
- **Zoom説明会動画**：<https://covid19outputjapan.github.io/JP/recording.html>
- **経済セミナー連載**
 - <https://note.com/keisemi/n/n9d8f9c9b72af>、<https://note.com/keisemi/n/n7f38099d0fa2>
 - <https://note.com/keisemi/n/nd1a6da98f00e>、<https://note.com/keisemi/n/n430f8178c663>
- **論文**：<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs42973-021-00098-4>
- **Twitter**: <https://twitter.com/NakataTaisuke>
- **質問・分析のリクエスト等**
 - taisuke.nakata@e.u-tokyo.ac.jp

Appendix: モデルの詳細

モデル(オミクロン株とデルタ株の新規感染者数)

- For $x \in \{\delta, o\}$, (デルタ株・オミクロン株)に対して、

$$N_t^x = ERN_t^x * (\gamma_t^x + \delta_t^x) * I_t^x,$$

$$ERN_t^x = \frac{S_t^x}{Pop_0} BRN_t^x$$

$$BRN_t^x = \rho^x \frac{\beta_t (1 - h\alpha_t)^k}{\gamma_t^x + \delta_t^x}$$

$$\beta_t = 3.5 * \frac{(\gamma_t^\delta + \delta_t^\delta)}{(1 - h\alpha_t)^k} * seasonality_t$$

$$\rho^\delta = 1, \quad \rho^o \in \{1.25, 1.5, 2.0\}$$

- N … 新規感染者, S … 感受性者, I … 感染者, Pop_0 … 初期人口
- γ … 回復率, δ … 致死率, β … 感染率, α … 経済損失率
- ρ … 相対的基本再生産数

モデル

- $x \in \{\delta, o\}$ (デルタ株・オミクロン株)に対して、

$$S_{t+1}^x = S_t^x - N_t^x - \theta^x N_t^{-x} - EV_t^x$$

$$EV_t^x = \rho_v^x E_1 V_{1,t-2} + \rho_v^x (E_2 - E_1) V_{2,t-2}$$

$$I_{t+1}^x = I_t^x + N_t^x - (\rho_d^x \delta_t^x + \gamma_t^x) I_t^x$$

$$R_{t+1}^x = R_t^x + \gamma_t^x I_{t+1}^x + EV_t^x + \theta^x N_t^{-x}$$

$$D_{t+1}^x = D_t^x + \rho_d^x \delta_t^x I_t^x$$

$$ICU_{t+1}^x = ICU_t^x - \gamma_t^{ICU} ICU_t^x + \rho_d^x \delta_t^{ICU,x} I_t^x - \rho_d^x \delta_t^x I_t^x$$

- S … 感受性者, I … 感染者, R … 免疫保持者, D … 死亡者, ICU … 重症者,
- EV … ワクチンによる免疫保持者, N … 新規感染者
- γ … 回復率, δ^{ICU} … 重症化率, δ … 致死率
- θ … 自然感染による免疫保持者, ρ_v … 相対的ワクチン有効性, ρ_d … 相対的重症化率

モデル(緊急事態宣言)

- $ICU_t^\delta + ICU_t^o > \kappa^{on}$ (重症者数がある人数を超えた) 次の週から

$$\beta_t = c_1 * \sum_{\tau=T-17+1}^T \beta_\tau$$

$$\alpha_t = \alpha^{on}$$

- $ICU_t^\delta + ICU_t^o < \kappa^{off}$ (重症者数がある人数を下回れば) 緊急事態宣言を解除し、次の週から

$$\beta_t = \xi_t * 3.5 * (\gamma_t^\delta + \delta_t^\delta) * seasonality_t$$

$$\xi_t = \max \left\{ \frac{1}{DR + 1} (t - T_{SoEoff})(1 - c_2) + c_2, \quad 1 \right\}$$

$$\alpha_t = \min \left\{ \alpha_{on} + \frac{1}{DR + 1} (t - T_{SoEoff})(\alpha_{off} - \alpha_{on}), \quad \alpha_{off} \right\}$$

初期値設定

- 初期値

- 過去のワクチン接種者と感染者のうち、オミクロン株に対するワクチン有効性と免疫保持率を元に R_0^o, S_0^o を決定。

$$R_0^o = E_1^o V_{1,0} + (E_2^o - E_1^o) V_{2,0} + (E_3^o - E_2^o) V_{3,0} + \theta (R_0^\delta - E V_0^\delta)$$

$$S_0^o = (Pop_0 - D_0^\delta) - (I_0^o + R_0^o + D_0^o)$$

$$I_0^o = 10, \quad D_0^o = 0$$

- $V_{n,t}$... n 回目のワクチン接種を受けた人数, E_n^o ... n 回目の接種のオミクロン株に対する有効性

パラメーター	シンボル	値	データソース・ターゲット・仮定
回復率（週次）	γ	7/12	12 日
重症からの回復率（週次）	γ_{ICU}	7/12	19 日
入院からの回復率（週次）	γ_H	7/10	17 日
致死率（週次）	δ	0.0034	過去4ヶ月の死亡者/過去4ヶ月の感染者
流動性の経済活動に対する反応度	h	2.2	Fujii & Nakata, 2021
感染率の流動性に対する弾力性	k	2	Quadratic matching
緊急事態宣言発令の重症者基準	κ_{on}	174.5	50% of available beds
緊急事態宣言解除の重症者基準	κ_{off}	87.25	25% of available beds
季節性の強さ		0.1	冬に秋・春の1.1倍、夏に0.9倍

パラメーター	シンボル	値	データソース・ターゲット・仮定
ワクチン有効性 (1回目)	E_1	0.475	SPI-M-O Summary (October 2021)を参考
ワクチン有効性 (2回目)	E_2	0.70	SPI-M-O Summary (October 2021)を参考 <感染予防効果減退を考慮して低めに設定>
ワクチン有効性 (3回目)	E_3	0.85	SPI-M-O Summary (October 2021)を参考
デルタ株の基本再生産数	BRN_t^δ	3.75	仮定
緊急事態宣言時の感染率の過去平均からの減少度合い	c_1	0.25	仮定
経済回復にかかる週数	DR	26	仮定
経済回復後の2020年1月のGDPと比較した経済損失	α_{off}	0	仮定
緊急事態宣言下の経済損失	α_{on}	0.0634	2021年10月のGDP
（デルタ株感染者の）オミクロン株に対する自然免疫率	θ^o	0.2	Ferguson et al. (2021)
（オミクロン株感染者の）デルタ株に対する自然免疫率	θ^δ	1	仮定