

第8波における予防接種シナリオ別の流行シミュレーション

京都大学大学院医学研究科環境衛生学分野

概要

【背景】

日本における2022年秋から冬にかけての流行（いわゆる第8波）は、これまでに予防接種や自然感染で獲得した免疫を回避して感染する免疫逃避性を兼ね備えたウイルスによって起こりつつある。オミクロン株による流行開始以降、日本では流行と予防接種の進捗が時を同じくして進捗してきた。

【目的】

第8波における感染者数および時点入院者数に関して、予防接種の進捗の別によるシナリオ分析を行うこと。高齢者や基礎疾患保持者の第5回接種や12歳以上の第4回接種、4-11歳の第3回接種などがオミクロン株含有ワクチンを使用して実施されると想定し、その接種率や接種スピードに応じた流行動態の違いについて理解を深める。

【方法】

年齢構造を加味した多変量再生産過程モデルを用いた。年齢群間の伝播を記述するために10歳階級別の次世代行列を構築し、2022年に既に発生した流行を基に定量化を行った。入院リスクには第7波の年齢群別・予防接種歴別の推定値を用いた。簡便性のため、医療提供体制の変化による入院リスクの変動は加味せず、重症化リスクは時刻に依存して変化しないものとした。

数値計算は第8波の終了までを扱った。第8波は、現在の日本人口が有する免疫について免疫逃避性を兼ね備えたウイルス（概ねBA.4/5と同等の伝播性）が引き起こすものと仮定した。

概要（続き）

【シナリオサマリー】

3つの流行に関する基本シナリオ（免疫逃避性を備えた変異株によって $R_t = 1.2$ 、 1.3 、 1.4 ）を考え、その患者数（報告数）と時点入院患者数（病床利用者数）を計算した。それぞれの基本シナリオにおいて、過去の予防接種（2回目乃至3回目）の接種率（最終到達率）と接種速度を参考に、予防接種シナリオを5つ検討した。接種率の高さと速さの組み合わせ別の4つのシナリオと極めて速く高い接種率を達成した場合のシナリオ5から成る、計5つのシナリオを検討した。

【結果】

高い予防接種率を速い速度で達成するシナリオで共通して、新規患者数と時点入院患者数が10～20%だけ基本シナリオよりも低下するものと考えられた。 $R_t = 1.3$ の基本シナリオでは1038万人が累積で感染するものと考えられるが、予防接種率が高く速いシナリオ1だと、それが858万人に抑えられるものと考えられた。また、 $R_t = 1.2$ だとより緩徐に流行が進み、予防接種の効果もより高いと考えられた。

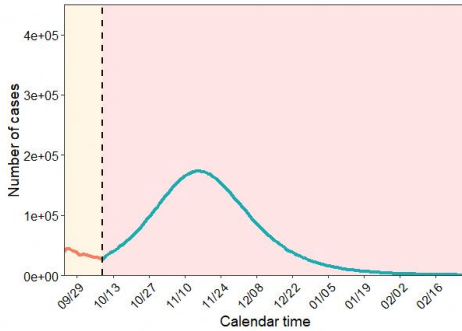
【考察】

- ・現流行は流行の進展と共に予防接種が進むため、流行前から接種が完了している時と比較して間接的効果が極めて顕著な訳ではない。
- ・他方、予防接種の進捗を確実に図ることで、時点入院患者数を20%程度相対的に減少させるなど人口学的なインパクトは大きいものと考えられる。
- ・ $R_t = 1.2$ などの緩徐に進む流行では予防接種の速度が間に合いやすい傾向があり、人口学的な予防接種のインパクトも大きくなりやすいものと思われる。個人および集団での感染予防策の組み合わせがあると、より間接的効果が期待されるものと思われる。その点も含めてシナリオ計算をUpdateするため、今後もリアルタイムでの流行モニタリングが望ましい。

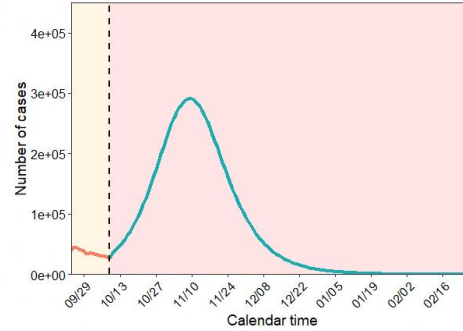
第8波の3つの基本シナリオ

(免疫逃避性を備えた変異株によって $R_t = 1.2$ 、 1.3 、 1.4)

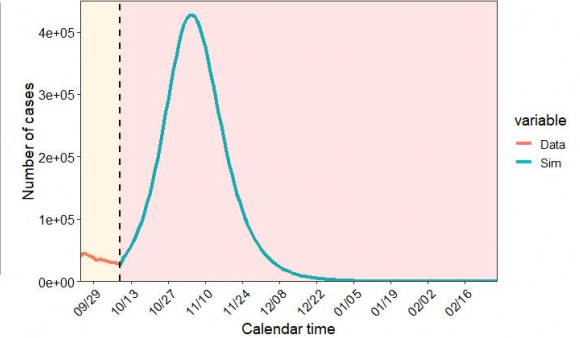
発症日別
報告患者数



$R_t = 1.2$



$R_t = 1.3$



$R_t = 1.4$

【基本シナリオの概念】

- ・ 現行のワクチン接種割合のまま4回目の接種が進行し、5回目の接種は行われなかったとした3つの流行シナリオ
- ・ $R_t = 1.2$ 、 1.3 、 1.4 は想定であり、2022年10月10日時点の値を指す。 $R_t = 1.3$ は第7波立ち上がり時の東京相当、その他の都道府県も $1.2 \sim 1.4$ の範囲が多かった。
- ・ 但し現時点までに確認された観察データでは第8波で一部地域を除いて 1.3 までの上昇は認めておらず、中央値 1.3 のシナリオも流行が顕著に早く進む点では悲観的すぎる可能性あり（予防接種のスピードが流行に追い付きにくい）

シミュレーション期間（2022年10月10日～2023年2月28日）における累積の見積もり

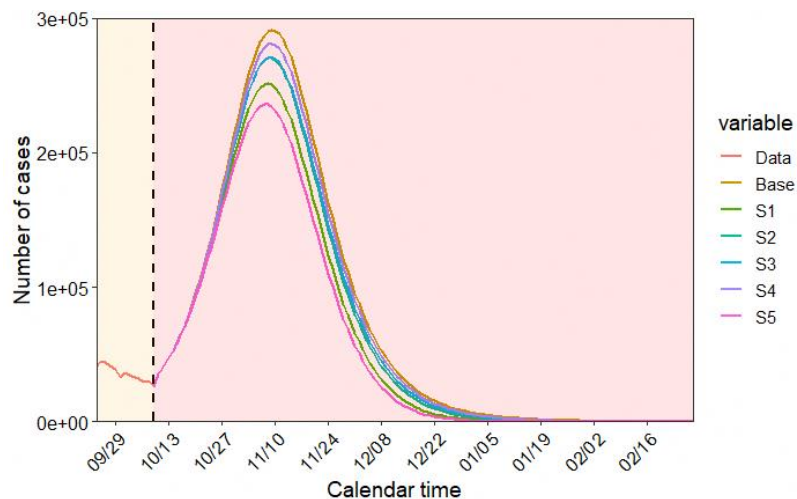
Rt	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
1.2	8,444,226	323,321	266,545	398,991
1.3	10,379,365	410,934	339,088	506,658
1.4	12,073,556	492,407	406,508	606,534

対象期間（2021年10月10日から2023年2月28日）の第8波累積数

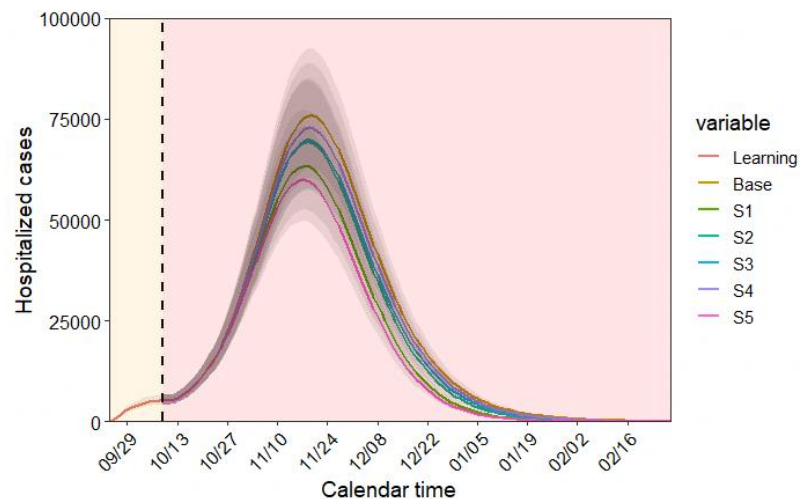
シナリオ	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
基本 (Rt=1.3)	10,379,365	410,934	339,088	506,658
1	8,581,528	325,131	267,863	401,790
2	9,411,074	364,005	300,056	449,366
3	9,569,713	372,824	307,354	460,048
4	9,974,854	391,721	323,084	483,285
5	7,974,614	304,914	251,213	376,789

基本シナリオRt = 1.3における予防接種シナリオ別の比較

発症日別報告患者数



時点入院患者数

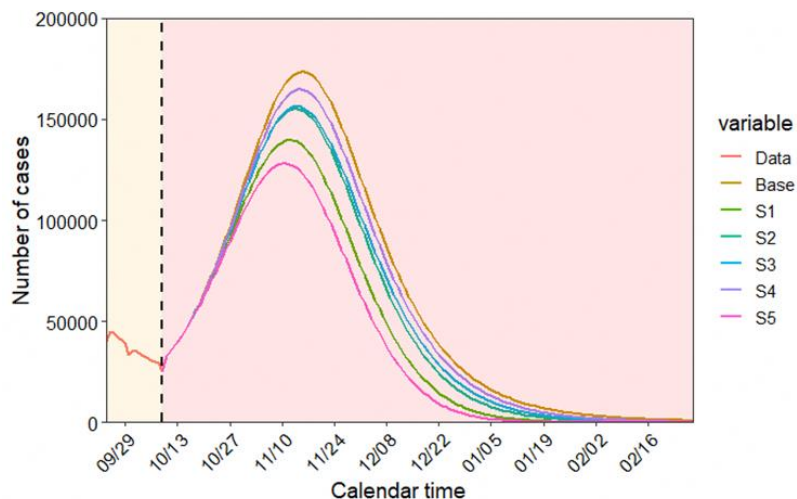


対象期間（2021年10月10日から2023年2月28日）の第8波累積数

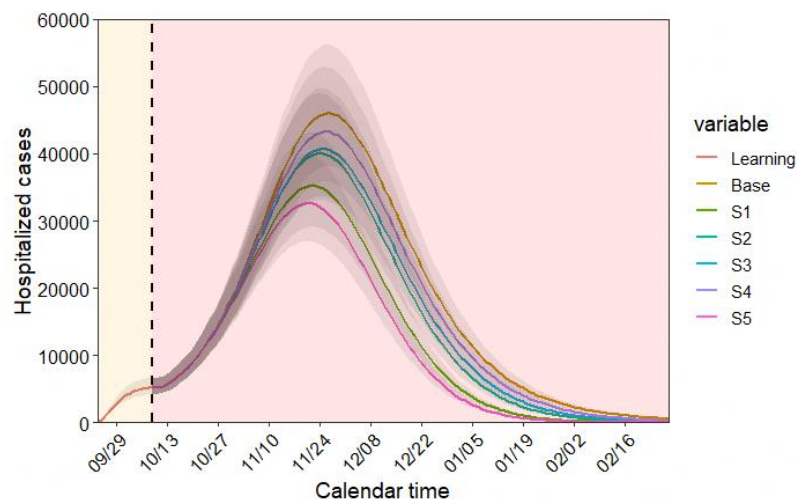
シナリオ	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
基本 (Rt=1.2)	8,444,226	323,321	266,545	398,991
1	6,164,307	221,602	182,220	274,365
2	7,144,817	264,033	217,338	326,434
3	7,386,478	276,258	227,542	341,376
4	7,905,521	298,999	246,351	369,294
5	5,498,507	200,046	164,589	247,652

基本シナリオ Rt = 1.2における予防接種シナリオ別の比較

発症日別報告患者数



時点入院患者数

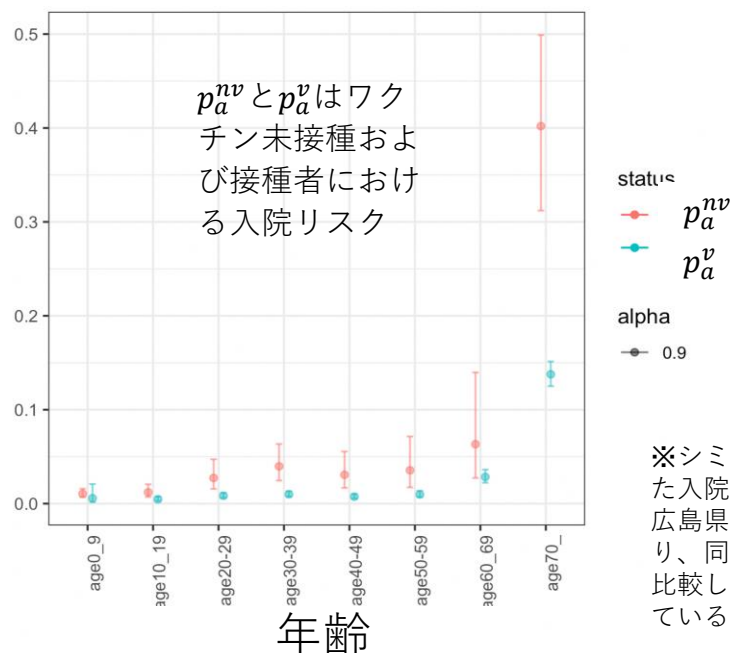


方法の詳細

1.1. 使用した観察データ

- (1)HERSYSに登録された報告日別年齢別感染者数 ー患者数
- (2)VRS登録ワクチン接種人数データ ー免疫ランドスケープ推定
- (3)大阪府対策本部会議 (第79回) ー年齢別平均入院日数(h_τ)の推定
- (4)第94回ADB・広島市提出資料 ー年齢別ワクチン接種回数別入院率(p)の推定
- (5)療養状況等及び入院患者受入病床数等に関する調査 ー入院者数のモデル calibrationに使用 (今回資料では使用せず)

入院
リス
ク



平均入院日数(h_τ)

- d_τ は入院から退院の期間の指数分布

$$d_{\tau,00} \sim \exp(\lambda = 1/4.6)$$

$$d_{\tau,10} \sim \exp(\lambda = 1/6.3)$$

$$d_{\tau,20} \sim \exp(\lambda = 1/6.2)$$

$$d_{\tau,30} \sim \exp(\lambda = 1/6.4)$$

$$d_{\tau,40} \sim \exp(\lambda = 1/6.8)$$

$$d_{\tau,50} \sim \exp(\lambda = 1/7.6)$$

$$d_{\tau,60} \sim \exp(\lambda = 1/7.8)$$

$$d_{\tau,70} \sim \exp(\lambda = 1/8.5)$$

※シミュレーションに使用した入院率は022年7月における広島県の入院率を使用しており、同時期の全国の入院率と比較して高い入院率を使用していることに留意

年齢別ワクチン接種回数別入院リスク

<https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/38215/00430565/ikkatsu.pdf>6

<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000975398.pdf>よりデータ抽出

1.2. 数理モデル

2022年10月16日までにHersysに登録されている報告日別感染者数に7日間移動平均をとり、2日間後ろにずらしそれを発症日とした。データを8年齢群（0-9, 10-19, 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70+）に離散化し、年齢群 a の時刻 t における発症者 $i_{a,t}$ は、以下の式で表される。

$$i_{a,t} = \sum_{b=1}^8 R_{ab,t} \sum_{\tau=1}^{t-1} i_{b,t-\tau} g_{\tau} \quad (\text{式1})$$

ここで、 g_{τ} は発症間隔の確率密度関数（オミクロン株の世代時間は英国での推定値を用いた：ガンマ分布 平均 2.1 日、標準偏差 1.4）であり、次世代行列 $R_{ab,t}$ は時刻依存の感染性をもった1人の年齢群 b から生み出される年齢群 a の2次感染者数の平均値の行列であり：

$$R_{ab,t} = s_a m_{ab} \left(1 - q l_{a,t} - \frac{k C_{a,t-1}}{N_a} \right) \quad (\text{式2})$$

とした。 $s_a m_{ab}$ は次世代行列(K)でMunashinge et al. (2019) の接触行列 m_{ab} を基に、年齢群別の感染に対する相対的な感受性 s_a を大阪における第4波の流行初期データを用いて求めた(Sasanami, Infect. Dis., 2022)。 $l_{a,t}$ は免疫保持者割合（発症予防効果）の免疫ランドスケープでこれまでのADB資料3-3参照。 $C_{a,t}$ はシミュレーション以降に発生した累積報告者数で、2022年10月10日を流行開始時期Tとおいた。報告バイアスを $1/k$ とする。すなわち、報告される感染者 $i_{a,t}$ の k 倍が実際に感染していることを仮定している。 N_a は年齢群別人口、 q は新規変異株を想定した免疫回避割合を表す（ $q < 1$ として対BA.5免疫保持者割合を定数倍することで免疫逃避を捕捉）。

既存の次世代行列 K を流行開始時期 T における初期値として使用するために、流行開始時期 T において式2から推定される $R_{ab,T}$ として、 $R_{ab,T}$ の最大固有値 $\rho(R_{ab,T})$ が、観察データから推定される実際の実効再生産数 R に相当するように式2を調整した。これにより、時刻 t における次世代行列 $R_{ab,t}$ は以下のように表すことができる。

$$R_{ab,t} = \frac{R}{\rho(R_{ab,T})} K \left(1 - ql_{a,t} - \frac{kC_{a,t-1}}{N_a} \right) \quad (\text{式3})$$

ここで R は2022年10月10日頃の全国での実効再生産数である1.3と仮定した。また、感度分析として1.2、1.4の基本シナリオを使用した。予防接種シナリオ別のシミュレーションには主に1.3を採用した。ワクチン接種状態の区別をするために、式(3)によって生成されるシミュレーション上の報告感染者 $i_{a,t}$ を、ワクチン接種者で発症する者 $i_{a,t}^v$ とワクチン未接種者 $i_{a,t}^{nv}$ で発症する者で検討した：

$$i_{a,t} = z_{a,t} i_{a,t}^{nv} + (1 - z_{a,t}) i_{a,t}^v$$

$z_{a,t}$ は未接種者かつ自然感染を経験していない者の割合であり、全体から1回以上のワクチン接種歴がある人の累計割合と $kC_{a,t-1}$ を引いた値である。ただし、実際には高齢者はワクチン接種状況にかかわらず入院が必要である状況が一定数あることを想定して60歳以上においては $z_{a,t}$ の下限を0.2として打ち切った。

時点入院患者数は、時刻 t における年齢群 a の新規入院患者 $h_{a,t}$ を計算した：

$$h_{a,t}^{nv} = p_a^{nv} \sum_{\tau=1}^{t-1} i_{a,t-\tau}^{nv} d_{\tau,a} \quad h_{a,t}^v = p_a^v \sum_{\tau=1}^{t-1} i_{a,t-\tau}^v d_{\tau,a}$$

ここで、 $d_{\tau,a}$ は入院から退院までの期間の指数分布で定式化したpdfである。 p_a^{nv} と p_a^v はワクチン未接種および接種者における入院リスクとする。

方法 予防接種のシナリオについて

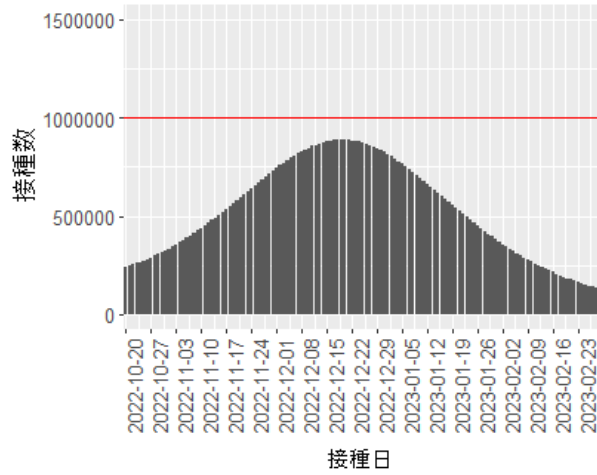
基本シナリオは現行のワクチン接種割合のまま4回目の接種が進行し、5回目の接種は行われなかったとしたシナリオ。基本シナリオに加え、10/20以降のワクチン接種について以下のように予防接種が加速した際の予防接種シナリオを検討した(最終到達接種率 P_{max} 、目標の50%に達するのに要する日数= T 、速度パラメータ= V 。接種見通しのモデル化についてはこれまでのADB資料3-3参照)。

参考：10歳階級毎に計算。参考程度に、 P_{max} は3回目接種で高齢者90%/若年者50%程度、2回目だと高齢者90%超/若年層80%前後。

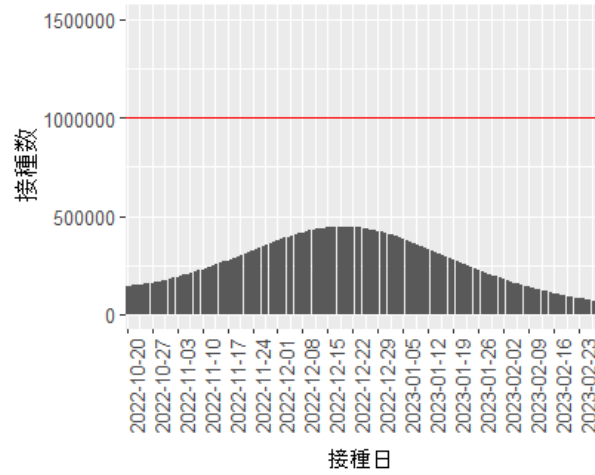
	P_{max}	T	V (2回目比)	接種数ピーク
シナリオ1	3回目比100% (累計8000万回相当)	60日(12/19)	100%	約85万回
シナリオ2	3回目比50% (累計4000万回相当)	60日(12/19)	50%	約42万回
シナリオ3	3回目比100% (累計8000万回相当)	120日(2/17)	50%	約42万回
シナリオ4	3回目比50% (累計4000万回相当)	120日(2/17)	50%	約21万回
シナリオ5	2回目比 100% (累計10000万回相当)	60日(12/19)	100%	約111万回

予防接種シナリオ別の日別の接種数概観

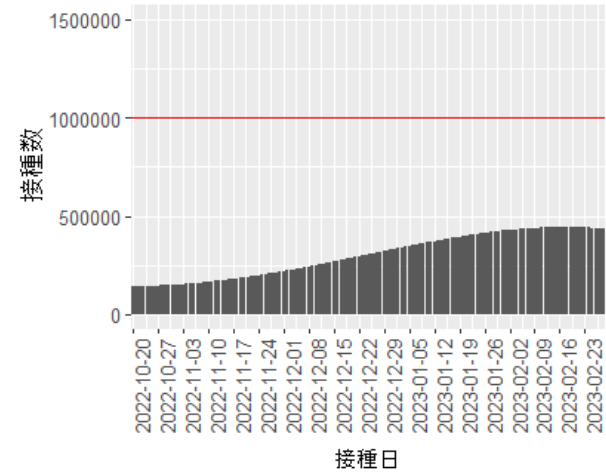
日別接種回数 シナリオ1



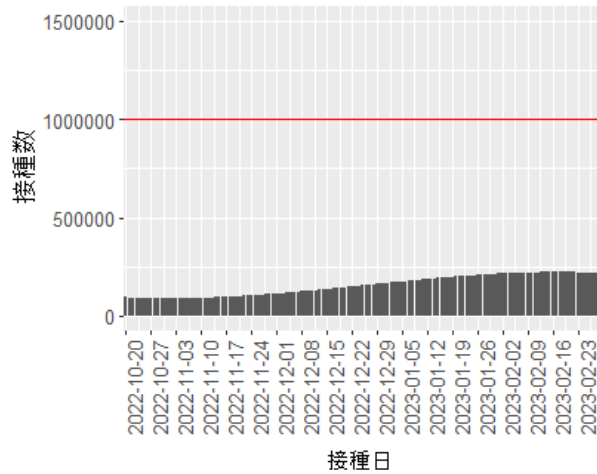
日別接種回数 シナリオ2



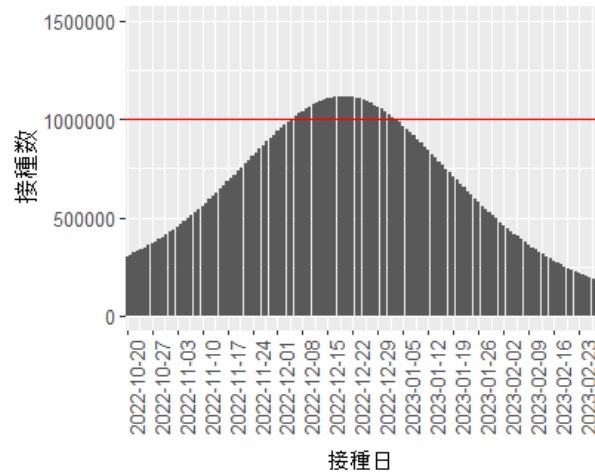
日別接種回数 シナリオ3



日別接種回数 シナリオ4



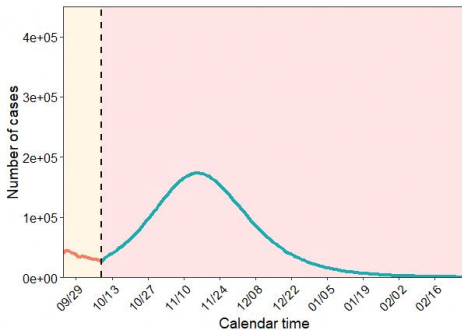
日別接種回数 シナリオ5



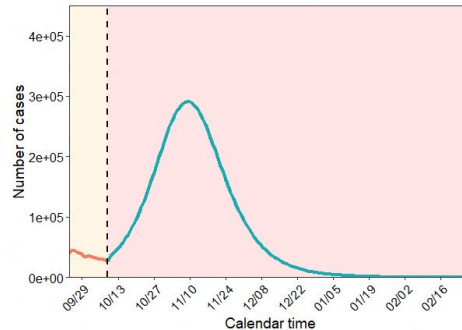
※各図赤線 = 1日100万回ライン 10

結果 基本シナリオの数値計算

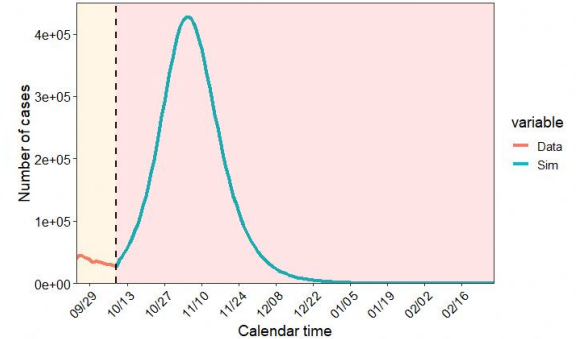
発症日別
報告患者数



$R_t = 1.2$



$R_t = 1.3$



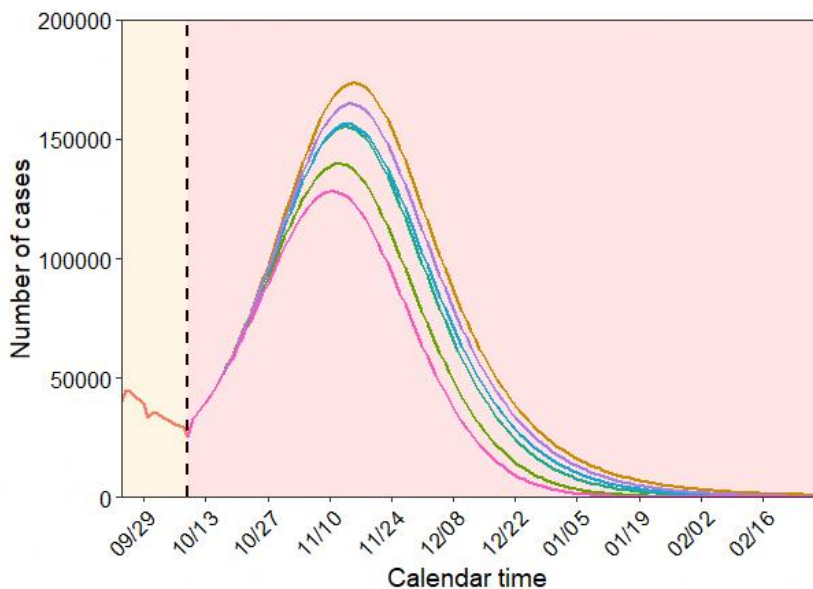
$R_t = 1.4$

シミュレーション期間（2022年10月10日～2023年2月28日）における累積の見積もり

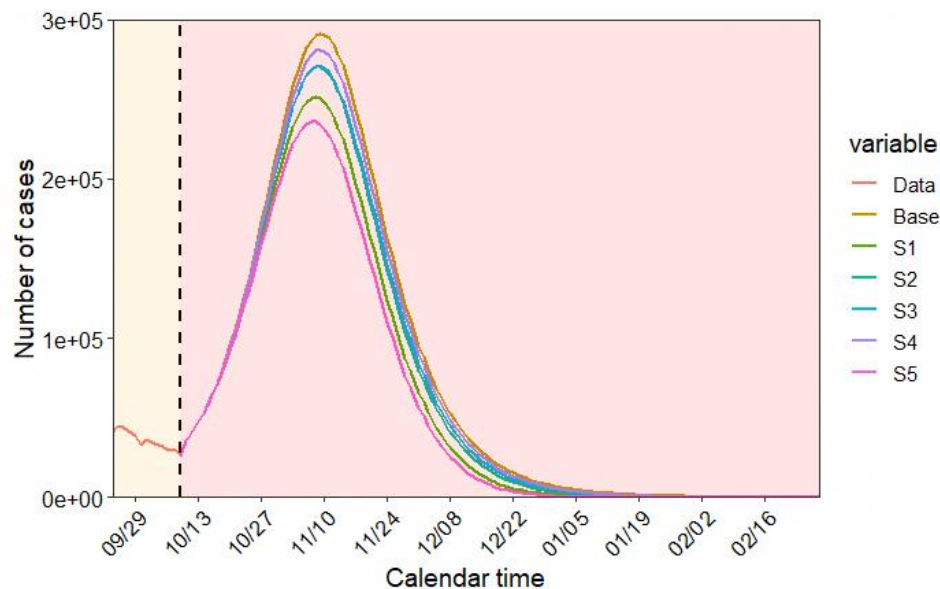
Rt	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
1.2	8,444,226	323,321	266,545	398,991
1.3	10,379,365	410,934	339,088	506,658
1.4	12,073,556	492,407	406,508	606,534

発症日別の報告患者数（合計）

基本シナリオ
($R_t = 1.2$)



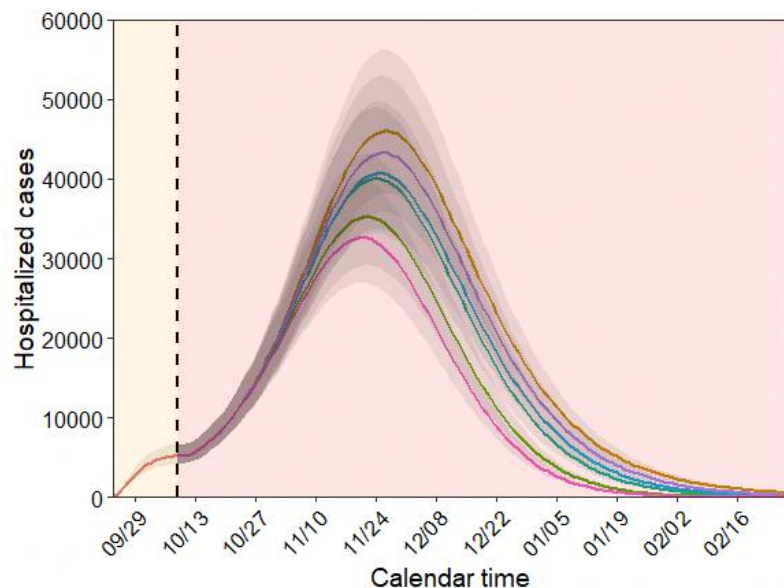
基本シナリオ
($R_t = 1.3$)



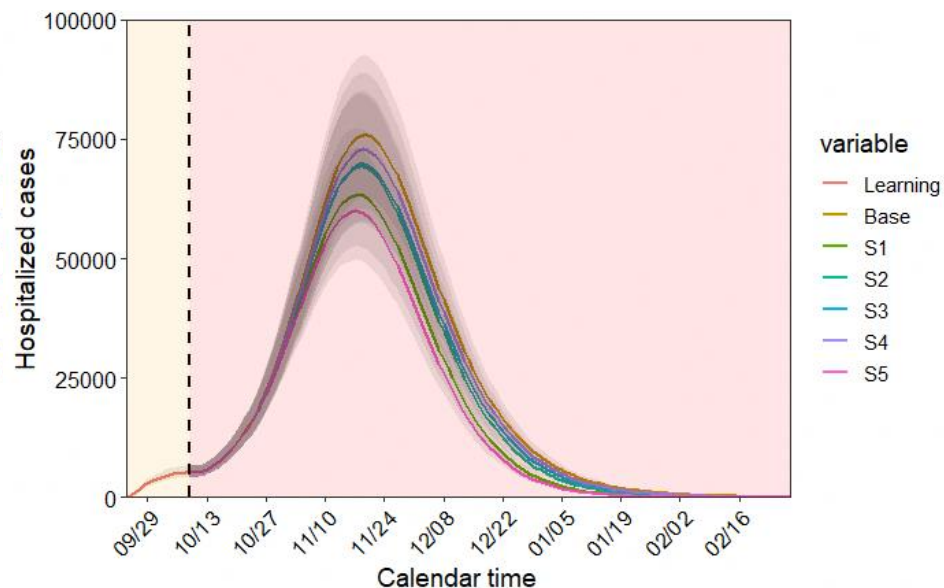
※縦軸のスケールは異なる

時点入院患者数 (合計)

基本シナリオ
($R_t = 1.2$)



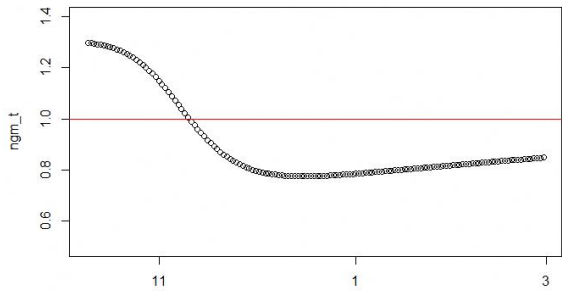
基本シナリオ
($R_t = 1.3$)



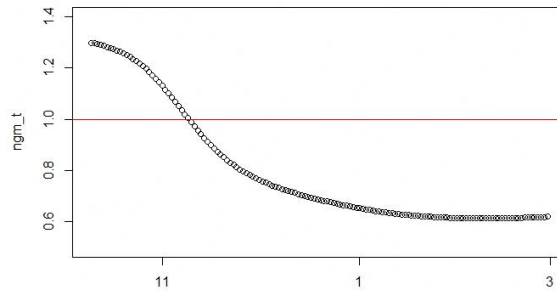
※シミュレーションに使用した入院率は022年7月における広島県の入院率を使用しており、同時期の全国の入院率と比較して高い入院率を使用していることに留意

※縦軸のスケールが左右で異なる

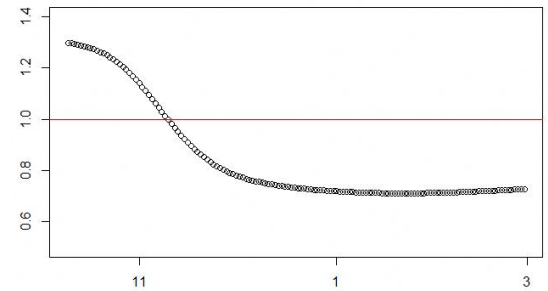
Rt = 1.3シナリオでの実効再生産数（次世代行列の最大固有値）の推移



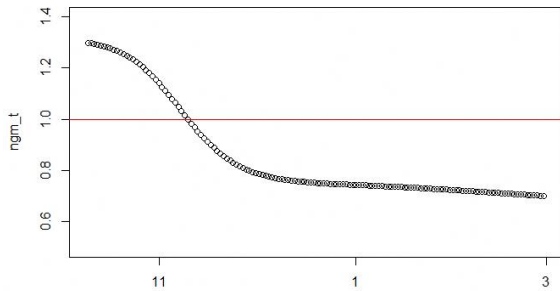
基本シナリオ
($R_t = 1.3$)



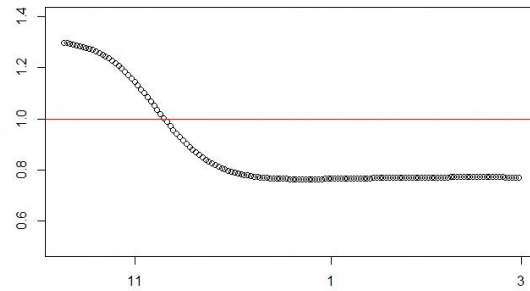
シナリオ 1



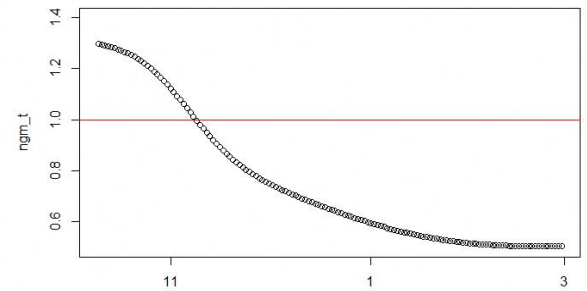
シナリオ 2



シナリオ 3



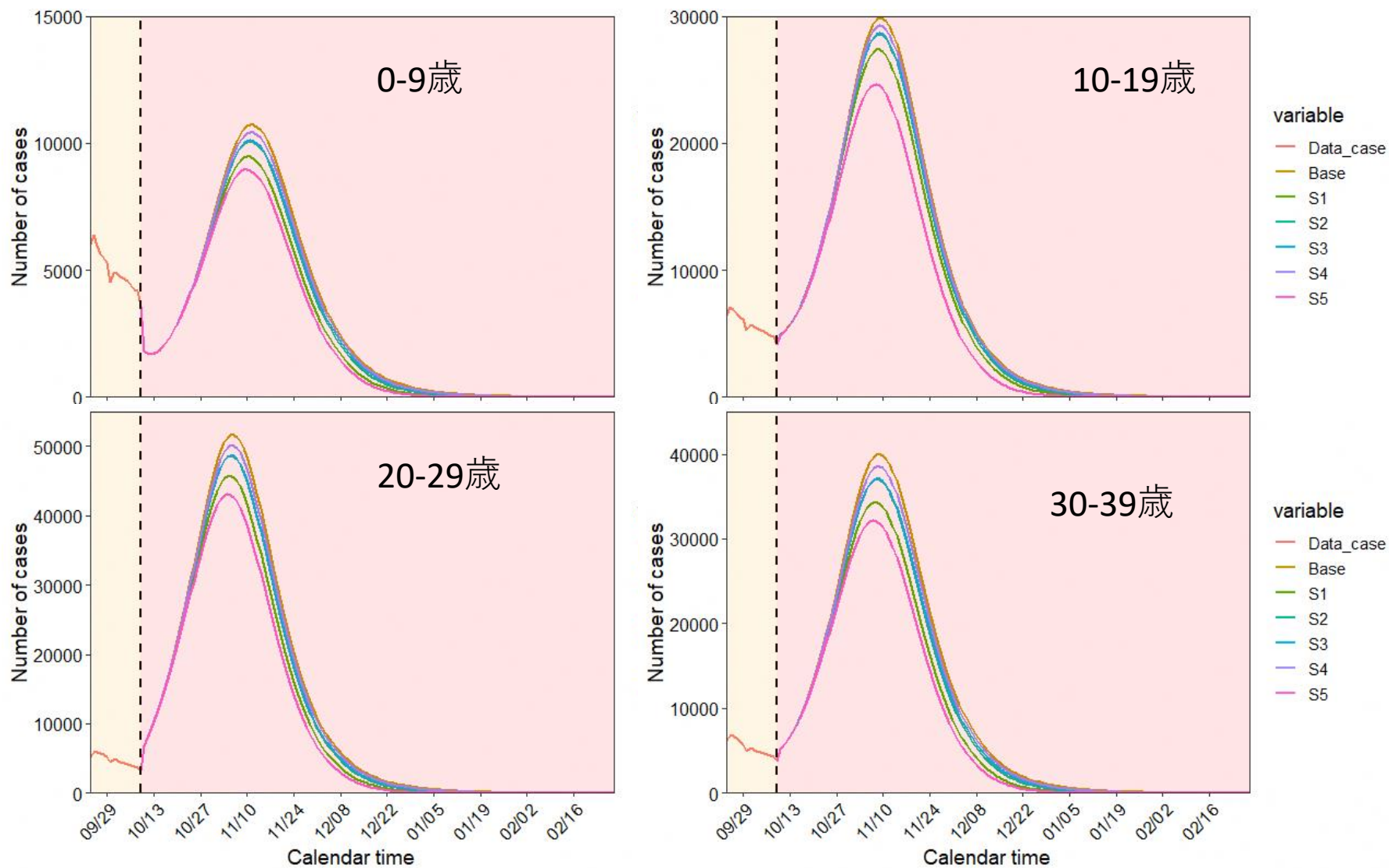
シナリオ 4



シナリオ 5

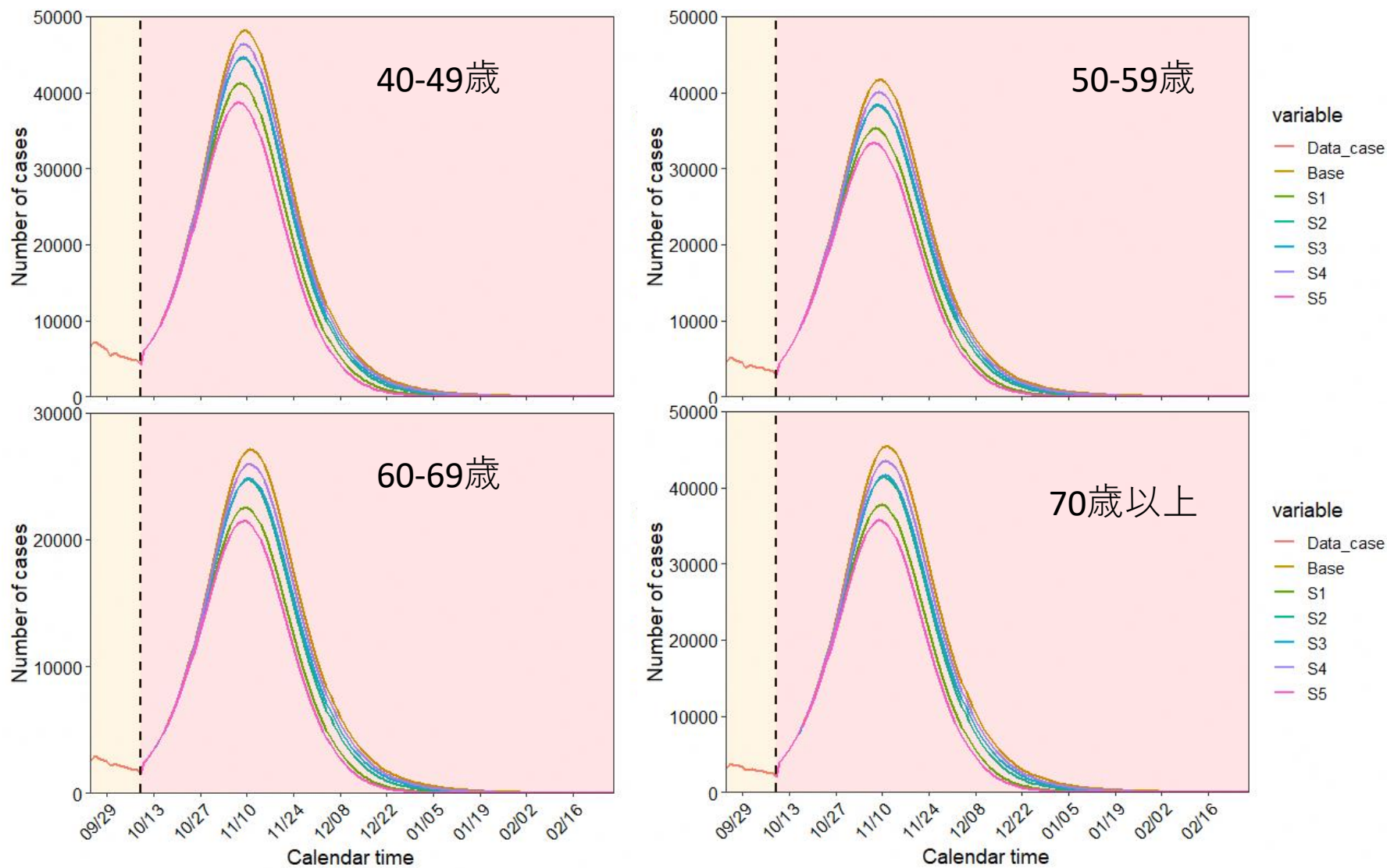
※縦軸は実効再生産数、横軸はカレンダー時刻（月）

発症日別報告患者数 (Rt=1.3) 1



※縦軸のスケールは年齢群で異なる

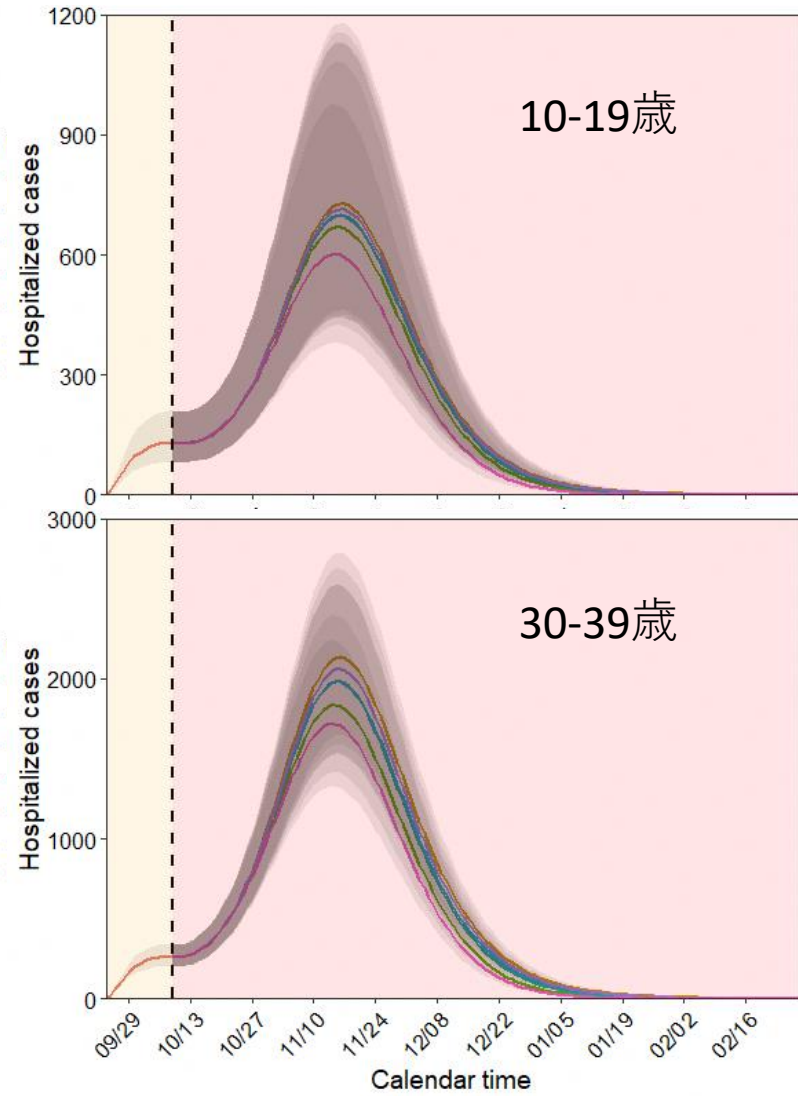
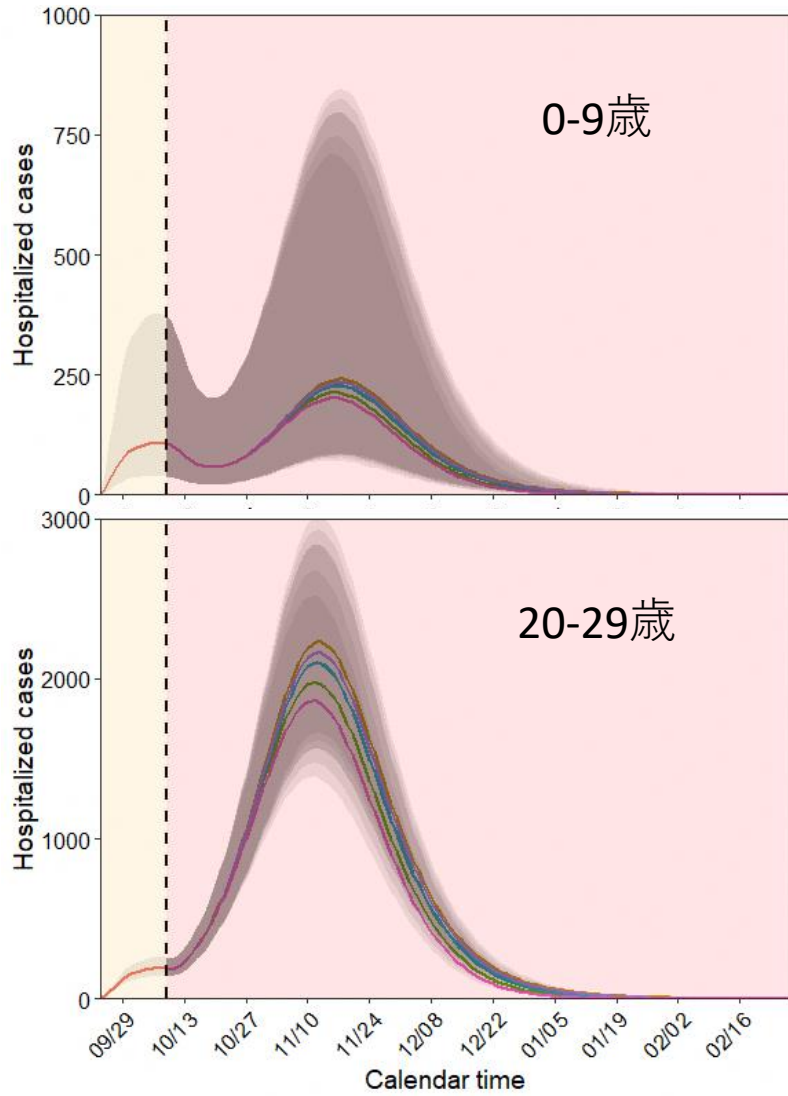
発症日別報告患者数 (Rt=1.3) 2



※縦軸のスケールは年齢群で異なる

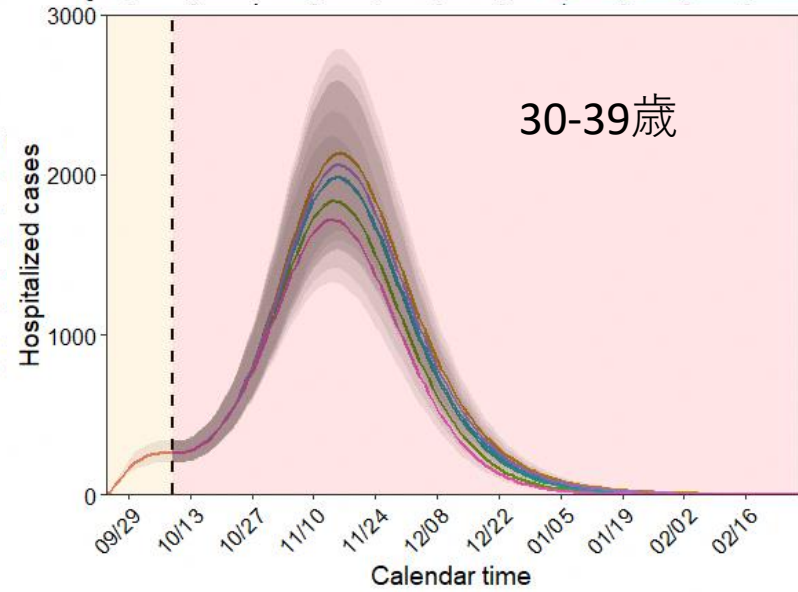
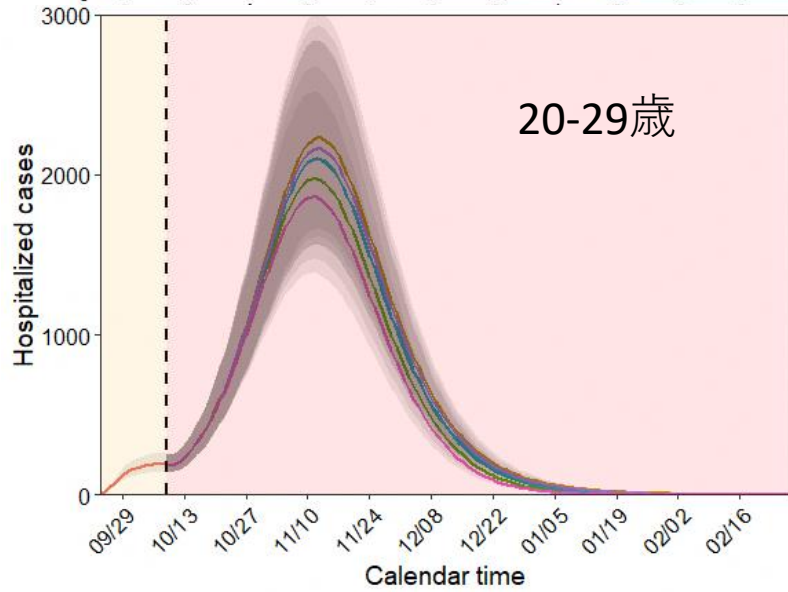
時点入院患者数 (Rt=1.3) 1

※シミュレーションに使用した入院率は022年7月における広島県の入院率を使用しており、同時期の全国の入院率と比較して高い入院率を使用していることに留意



variable

- Learning
- Base
- S1
- S2
- S3
- S4
- S5



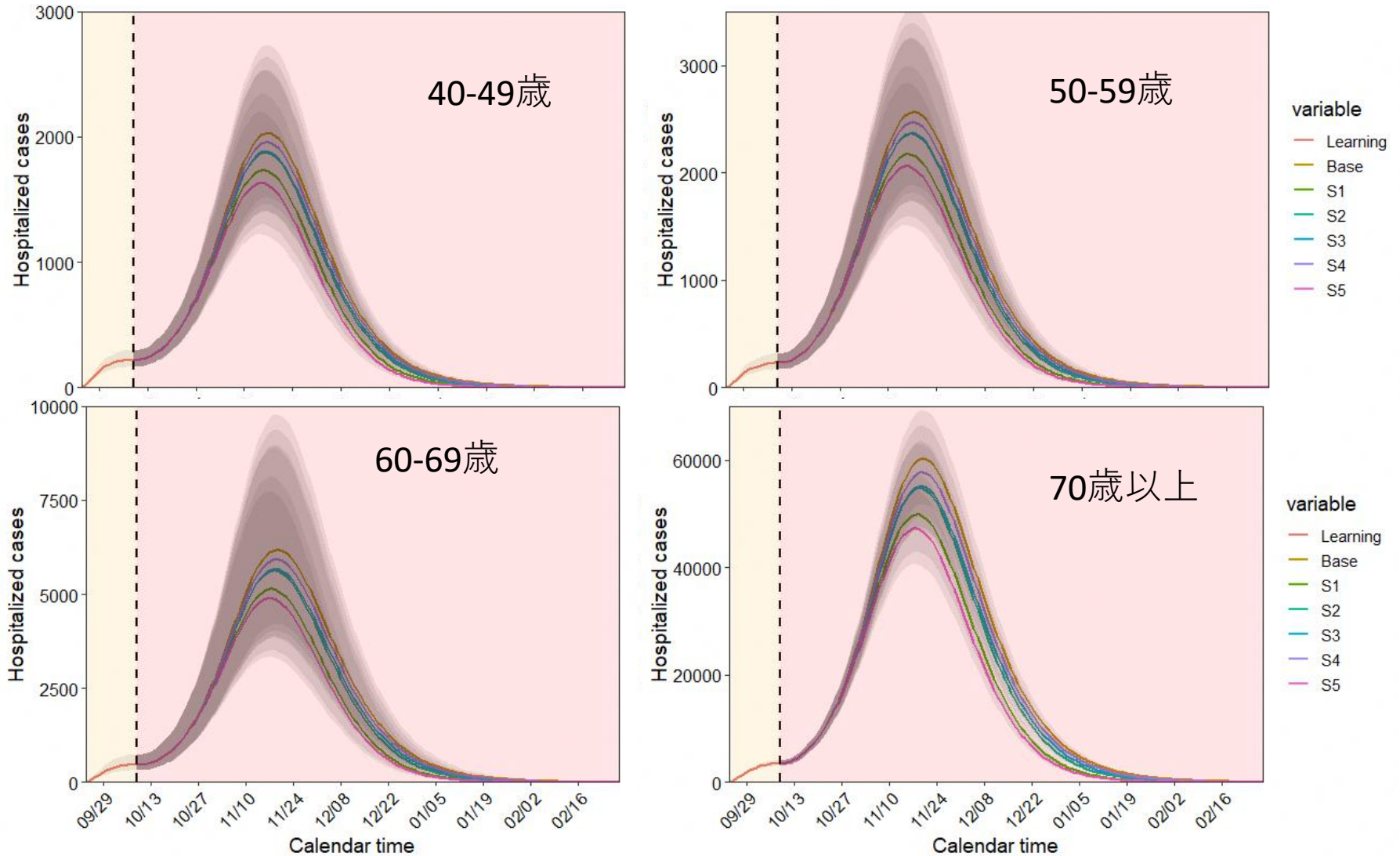
variable

- Learning
- Base
- S1
- S2
- S3
- S4
- S5

※縦軸のスケールは年齢群で異なる

時点入院患者数 (Rt=1.3) 2

※シミュレーションに使用した入院率は022年7月における広島県の入院率を使用しており、同時期の全国の入院率と比較して高い入院率を使用していることに留意



※縦軸のスケールは年齢群で異なる

ある時刻における報告患者数（発症日）および 時点入院患者数 1

日付	年齢群	基本シナリオ(Rt=1.3)				シナリオ1			
		感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値	感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値
2022/12/30	Total	7819.8	9143.5	7652.2	11018.7	1883.6	4313.1	3610.1	5196.3
2022/12/30	a0009	365.9	16.7	6.0	58.7	120.8	8.1	2.9	28.5
2022/12/30	a1019	744.3	49.9	31.6	80.7	297.8	31.4	19.8	50.8
2022/12/30	a2029	863.2	101.1	75.5	136.9	212.7	48.5	36.2	65.6
2022/12/30	a3039	997.7	147.3	113.7	192.2	249.4	69.8	54.0	91.1
2022/12/30	a4049	1257.6	157.2	117.7	212.0	312.6	76.3	57.2	103.0
2022/12/30	a5059	1116.2	232.4	170.7	319.9	228.3	109.2	80.2	150.4
2022/12/30	a6069	907.9	698.3	476.6	1105.8	167.9	312.6	213.4	495.0
2022/12/30	a70	1566.9	7740.5	6660.4	8912.5	294.1	3657.0	3146.3	4211.8
2023/1/29	Total	774.1	890.4	746.3	1070.3	19.6	163.6	137.9	195.0
2023/1/29	a0009	35.8	1.5	0.5	5.2	1.5	0.1	0.1	0.5
2023/1/29	a1019	72.6	4.3	2.7	6.9	4.1	0.8	0.5	1.4
2023/1/29	a2029	89.3	9.0	6.7	12.2	2.1	1.0	0.7	1.3
2023/1/29	a3039	99.4	13.0	10.0	16.9	2.5	1.6	1.2	2.1
2023/1/29	a4049	123.6	13.8	10.3	18.6	3.2	1.9	1.5	2.6
2023/1/29	a5059	109.7	21.0	15.4	29.0	2.0	3.3	2.4	4.5
2023/1/29	a6069	89.3	65.5	44.7	103.8	1.4	9.9	6.8	15.7
2023/1/29	a70	154.4	762.3	655.9	877.8	2.6	144.9	124.7	166.9
2023/2/28	Total	114.0	103.3	86.5	124.3	0.2	5.0	4.2	5.9
2023/2/28	a0009	5.2	0.2	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a1019	10.6	0.5	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a2029	13.7	1.2	0.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a3039	14.7	1.6	1.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a4049	18.1	1.7	1.2	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a5059	16.1	2.5	1.8	3.4	0.0	0.1	0.1	0.1
2023/2/28	a6069	13.0	7.7	5.2	12.1	0.0	0.2	0.2	0.4
2023/2/28	a70	22.6	88.0	75.7	101.3	0.0	4.6	3.9	5.3

ある時刻における報告患者数（発症日）および 時点入院患者数 2

日付	年齢群	シナリオ2				シナリオ3			
		感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値	感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値
2022/12/30	Total	3931.4	6265.4	5245.7	7549.0	5168.1	7222.9	6045.8	8703.5
2022/12/30	a0009	214.0	11.7	4.2	41.2	266.8	13.5	4.8	47.5
2022/12/30	a1019	475.1	39.6	25.1	64.2	577.3	43.6	27.6	70.7
2022/12/30	a2029	442.4	70.3	52.4	95.0	549.6	78.1	58.2	105.7
2022/12/30	a3039	513.5	101.8	78.6	132.9	664.2	116.2	89.6	151.7
2022/12/30	a4049	644.0	109.7	82.1	147.8	836.6	124.9	93.5	168.3
2022/12/30	a5059	525.1	159.3	117.1	219.3	709.0	182.5	134.0	251.2
2022/12/30	a6069	408.5	466.7	318.6	739.1	573.3	545.4	372.2	863.0
2022/12/30	a70	708.8	5306.4	4567.7	6109.6	991.3	6118.9	5265.9	7045.3
2023/1/29	Total	127.1	342.4	287.8	409.9	219.3	471.9	396.3	565.7
2023/1/29	a0009	7.4	0.5	0.2	1.6	12.3	0.7	0.2	2.4
2023/1/29	a1019	17.2	1.8	1.1	2.9	27.7	2.4	1.5	3.9
2023/1/29	a2029	14.5	2.8	2.1	3.8	24.0	3.9	2.9	5.3
2023/1/29	a3039	16.7	4.2	3.2	5.5	28.5	6.0	4.7	7.9
2023/1/29	a4049	20.8	4.7	3.6	6.4	35.5	6.7	5.0	9.0
2023/1/29	a5059	16.2	7.5	5.5	10.3	28.6	10.5	7.7	14.4
2023/1/29	a6069	12.5	22.9	15.6	36.3	22.8	32.8	22.4	51.9
2023/1/29	a70	21.8	298.0	256.5	343.2	39.8	408.9	351.9	470.9
2023/2/28	Total	4.5	15.0	12.6	17.8	6.9	22.6	19.0	27.0
2023/2/28	a0009	0.3	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1
2023/2/28	a1019	0.6	0.1	0.0	0.1	1.0	0.1	0.1	0.2
2023/2/28	a2029	0.5	0.1	0.1	0.1	0.8	0.2	0.1	0.2
2023/2/28	a3039	0.6	0.1	0.1	0.2	0.9	0.2	0.2	0.3
2023/2/28	a4049	0.7	0.2	0.1	0.2	1.1	0.3	0.2	0.4
2023/2/28	a5059	0.6	0.3	0.2	0.4	0.8	0.4	0.3	0.6
2023/2/28	a6069	0.4	0.9	0.6	1.4	0.6	1.4	1.0	2.2
2023/2/28	a70	0.8	13.3	11.4	15.3	1.1	19.9	17.2	23.0

ある時刻における報告患者数（発症日）および 時点入院患者数 3

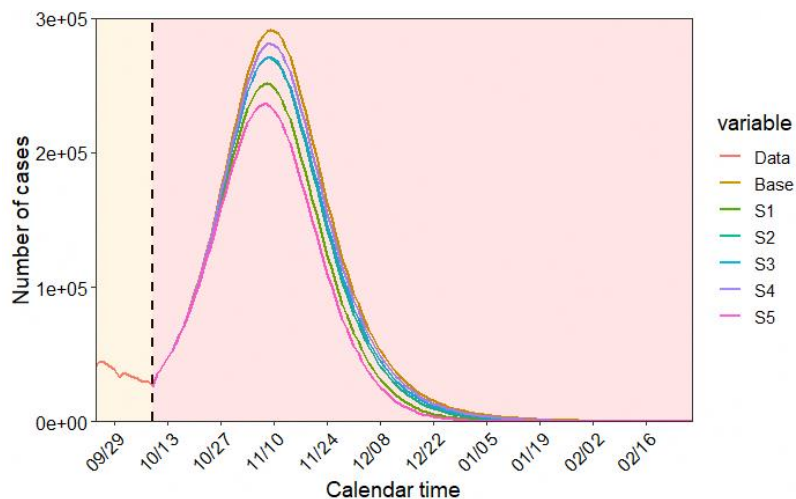
日付	年齢群	シナリオ4				シナリオ5			
		感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値	感染者数	入院患者数	95%下限値	95%上限値
2022/12/30	Total	6440.7	8165.0	6833.5	9839.7	1025.6	3535.4	2962.6	4252.6
2022/12/30	a0009	315.6	15.1	5.6	53.2	75.3	6.1	2.2	21.3
2022/12/30	a1019	660.7	46.8	29.7	75.8	123.9	19.5	12.4	31.6
2022/12/30	a2029	711.4	90.6	67.6	122.7	107.7	35.2	26.3	47.6
2022/12/30	a3039	823.6	131.6	101.6	171.6	137.7	52.3	40.4	68.3
2022/12/30	a4049	1037.0	140.8	105.5	189.9	172.2	58.2	43.5	78.5
2022/12/30	a5059	901.4	207.1	151.9	285.0	131.5	88.0	64.6	121.2
2022/12/30	a6069	730.0	620.1	423.1	981.8	104.3	260.6	177.9	412.5
2022/12/30	a70	1261.0	6912.8	5948.6	7959.6	173.0	3015.5	2595.3	3471.6
2023/1/29	Total	422.6	647.4	543.1	777.3	3.5	117.5	99.2	139.6
2023/1/29	a0009	21.5	1.0	0.4	3.6	0.3	0.1	0.0	0.2
2023/1/29	a1019	45.6	3.2	2.1	5.3	0.5	0.3	0.2	0.5
2023/1/29	a2029	48.3	6.1	4.5	8.2	0.3	0.5	0.4	0.6
2023/1/29	a3039	54.6	8.9	6.9	11.6	0.5	0.8	0.6	1.1
2023/1/29	a4049	67.9	9.7	7.2	13.0	0.6	1.1	0.8	1.5
2023/1/29	a5059	57.7	14.9	10.9	20.5	0.4	2.2	1.6	3.0
2023/1/29	a6069	46.5	46.3	31.6	73.3	0.3	7.1	4.9	11.3
2023/1/29	a70	80.6	557.3	479.6	641.8	0.5	105.4	90.7	121.4
2023/2/28	Total	28.7	45.5	38.2	54.6	0.0	3.4	2.9	4.0
2023/2/28	a0009	1.5	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a1019	3.3	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a2029	3.4	0.4	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a3039	3.8	0.6	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a4049	4.6	0.7	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
2023/2/28	a5059	3.8	1.0	0.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.1
2023/2/28	a6069	3.0	3.1	2.1	5.0	0.0	0.2	0.1	0.2
2023/2/28	a70	5.3	39.4	33.9	45.4	0.0	3.1	2.7	3.6

対象期間（2021年10月10日から2023年2月28日）の第8波累積数

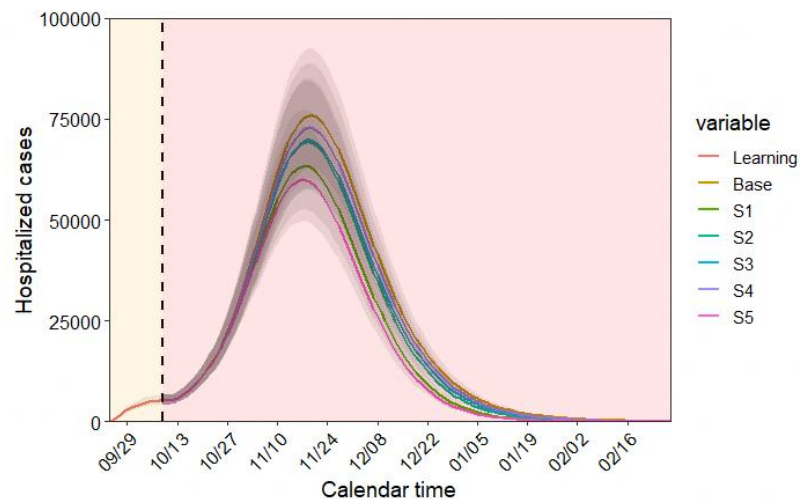
シナリオ	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
基本 (Rt=1.3)	10,379,365	410,934	339,088	506,658
1	8,581,528	325,131	267,863	401,790
2	9,411,074	364,005	300,056	449,366
3	9,569,713	372,824	307,354	460,048
4	9,974,854	391,721	323,084	483,285
5	7,974,614	304,914	251,213	376,789

基本シナリオ Rt = 1.3における予防接種シナリオ別の比較

発症日別報告患者数



時点入院患者数

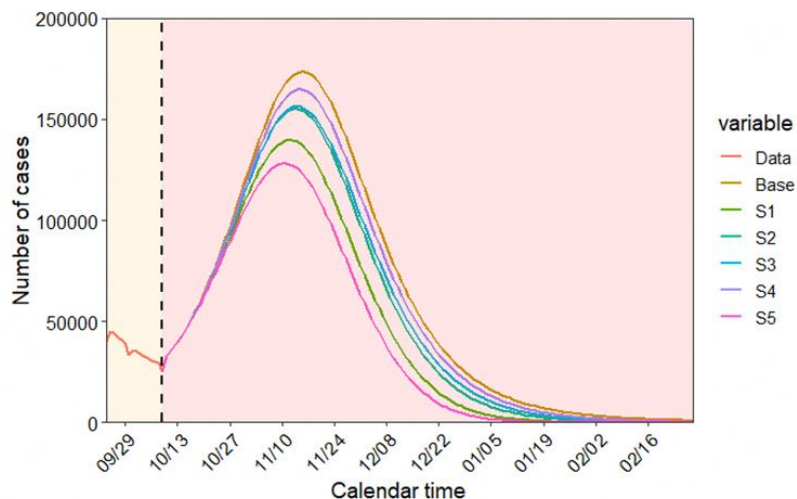


対象期間（2021年10月10日から2023年2月28日）の第8波累積数

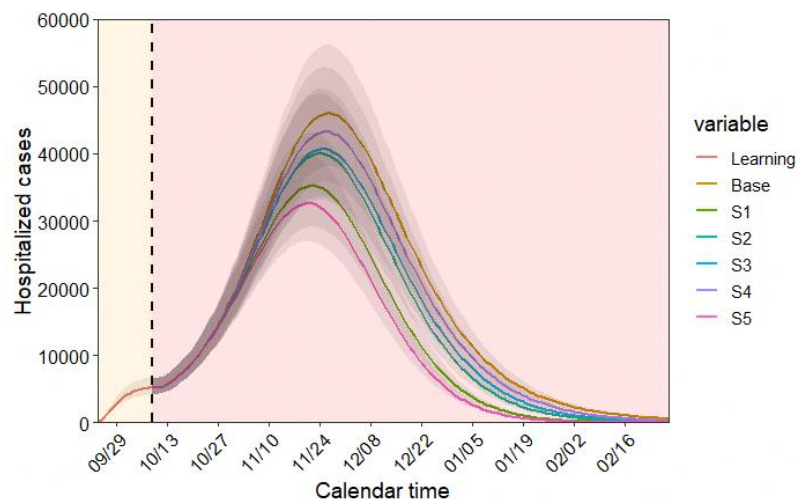
シナリオ	発症別報告患者数	新規入院患者数		
		推定値	95%下限値	95%上限値
基本 (Rt=1.2)	8,444,226	323,321	266,545	398,991
1	6,164,307	221,602	182,220	274,365
2	7,144,817	264,033	217,338	326,434
3	7,386,478	276,258	227,542	341,376
4	7,905,521	298,999	246,351	369,294
5	5,498,507	200,046	164,589	247,652

基本シナリオRt = 1.2における予防接種シナリオ別の比較

発症日別報告患者数



時点入院患者数



【考察】

- ・基本シナリオ $R_t = 1.3$ では11月後半に時点入院患者数のピークが訪れ、 $R_t = 1.2$ だとそれよりも若干だけ遅くピークも低い傾向を認めた。
- ・いずれの基本シナリオにおいても、予防接種がシナリオ5で進むと最も患者数・入院患者数が少なく、次にシナリオ1が少なくなる。その際、新規患者数と時点入院患者数が約20%強だけ基本シナリオよりも低下するものと考えられた。
- ・ $R_t = 1.3$ の基本シナリオでは1038万人が累積で感染するものと考えられるが、予防接種率が高く速いシナリオ5だと、それが797万人に抑えられるものと考えられた。
- ・ $R_t = 1.2$ の基本シナリオでは844万人が累積で感染するものと考えられるが、予防接種率が高く速いシナリオ5だと550万人に抑えられるものと考えられた。
- ・ $R_t = 1.3$ と比較すると、 $R_t = 1.2$ のほうがより緩徐に流行が進むため、予防接種の効果もより高いと考えられた。
- ・現流行は流行の進展と共に予防接種が進むため、流行前から接種が完了している時と比較して間接的効果が極めて顕著な訳ではない。
- ・他方、予防接種の進捗を確実に図ることで、時点入院患者数を20%程度相対的に減少させるなど人口学的なインパクトは大きいものと考えられる。
- ・ $R_t = 1.2$ などの緩徐に進む流行では予防接種の速度が間に合いやすい傾向があり、人口学的な予防接種のインパクトも大きくなりやすいものと思われる。個人および集団での感染予防策の組み合わせがあると、より間接的効果が期待されるものと思われる。
- ・現時点までに確認された観察データでは第8波で一部地域を除いて1.3までの上昇は認めておらず、中央値1.3のシナリオも流行が顕著に早く進む点では悲観的すぎる可能性があり（予防接種のスピードが流行に追い付きにくい）シナリオ計算をUpdateするため、今後もリアルタイムでの流行モニタリングが望ましい。

【限界点・モデルの留意点】

パラメータの不確実性について

k (報告バイアス)は0.25(Sanada, J Epidemio,2022)としたが、第8波での推定は観察情報の限界によりリアルタイムでは困難である。実際に報告されている患者数が感染者数に対して少ない場合は式3からより急速に $R_{ab,t}$ が小さくなり、感染はより早く収束に向かう。

パラメータ q (流行variantによる免疫回避)はデフォルト設定で0.5とした。本モデルはあくまでBA4.5相当の感染とBA4.5に対する2価ワクチンの発症予防効果を基に構築されている。今後国内で流行する変異variantがBQ1型など、より免疫回避が強固なものである場合は q はより小さくなり、ワクチン効果が期待できず、シナリオ間の差は小さくなる。

確率質量関数 g は英国でのオミクロン株の世代間隔平均2.1日を利用しているが、より長いとする報告もあり更新時に検討すべき事項である。ワクチン接種と自然感染が並列している状態では g の長短が流行規模に大きく影響する可能性がある。

入院リスク p はワクチン回数別・年齢別入院リスクである。感染者のワクチン接種回数別の内訳は、モデル内で不確実性が大きいため、 p_a^{nv} と p_a^v のように2分化した。推定値は比較病床に余裕があり入院率が高めであった広島市の第7波のデータに依存している。一般に病床が逼迫するとき、入院リスクは低くなるため、シミュレーションと実測値に乖離が生じる可能性がある。広島県の第7波の入院率は同時期の全国の入院率と比較して高い入院率を使用していることに留意する必要がある。

h は平均入院日数。大阪府の第7波データを利用しておりワクチン接種状況は加味されていない。

【限界点・モデルの留意点（つづき）】

モデルの不確実性について：

世代間行列の基礎となる接触調査は2019年に施行された研究によるもの、年齢別の相対的な感受性変化は既存の研究実績のある2021年の大阪府のアルファ株蔓延状況でのものを反映している。このため、相対的に子供の感受性や感染性を過小評価している可能性がある。免疫ランドスケープは年齢ごとの相対的な免疫状況を反映する手段ではあるが、絶対値については、感染による免疫とワクチン接種による免疫との重複を完全には反映できないため、常に過小評価の可能性はある。また、基本はオミクロンBA4.5に対する2価ワクチンに対する発症予防効果と減衰速度を基に計算されているため、新規のvariantに対してワクチン効果を過大評価している。その点をパラメータ q で調整しているが、現実のデータからはまだ情報が不十分であり q の根拠に客観性はない。提示した、入院者の信頼区間は入院リスクの推定値の分散からbootstrap法により生成してあるため、上述した不確実性は考慮されていない。シナリオは全て累積のワクチン接種がロジスティック曲線に沿って進行することを仮定している。同じワクチン接種量であっても、より前半にワクチン接種を進めた場合は感染者の総数を削減できる可能性がある。