

人流増加・ブースター接種
接種率アップ・接種証明制限
効果の推定
沖縄県

2021.9.6

筑波大学 倉橋節也

サマリー

1. 13時の繁華街滞留人口が感染増減に強い影響を持つ

県内繁華街（那覇市国際通り、石垣島美崎町）の時間帯別滞留人口および県外からの流入人口で実効再生産数を統計的推定をした結果、13時と19時の繁華街滞留人口、県外からの流入人口および感染者流入が有意となり、中でも短期的には13時繁華街人口増減が強い影響を持っていることが示された。

2. 13時繁華街滞留人口が1.4倍に増加すると2022年春に感染拡大のリスクがある

現在のワクチン接種では、接種180日以降の予防効果減衰リスクが回避できず、2022年1月から4月にかけて600名を超える感染拡大の可能性がある。

3. ブースター接種・ワクチン接種率向上によって感染者数を一定程度抑制可能

3回目のワクチン接種と、若年者のワクチン接種率向上（75%）によって、来春以降の感染拡大を一定程度抑制（440名）できるが、流入リスクや滞留人口増加（1.4倍）の影響で完全な感染終息は難しい。

4. ブースター接種に加えて、ワクチン接種証明の活用が効果的

職場、飲食店、イベント会場へのワクチン接種証明による入場制限を実施することで、感染拡大を効果的に抑制できる可能性がある。全体の60%以上が接種証明を活用できれば、来春の感染者数は70名程度に抑制できる。

陽性者数比較

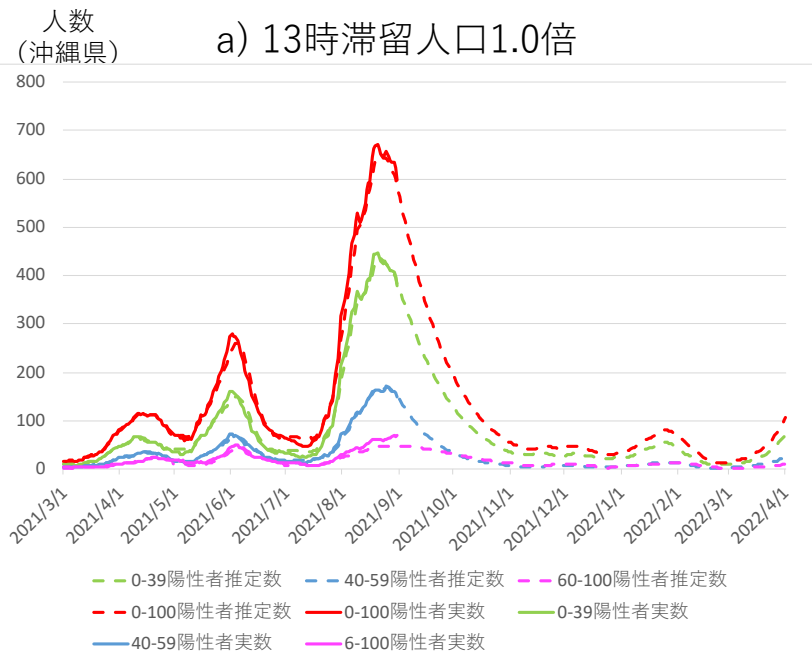
人流増加・ブースター接種・接種率アップ・接種証明制限

人流増加による陽性者数の推定

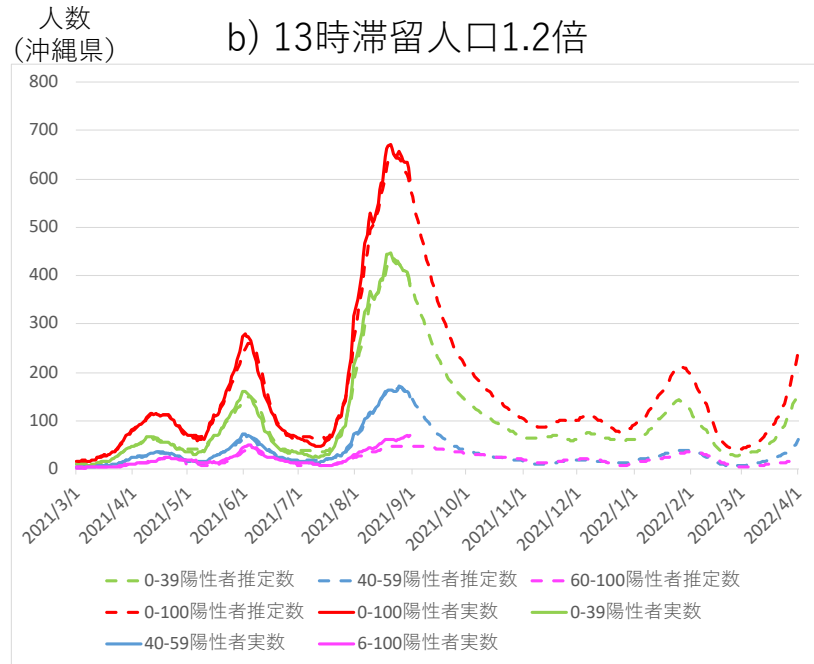
- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍(2021/7/15-21相当)
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍(2021/1/18-24相当)

*1 ワクチン感染予防効果 接種後85%, 180日後70%, 260日以降50%
 *2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

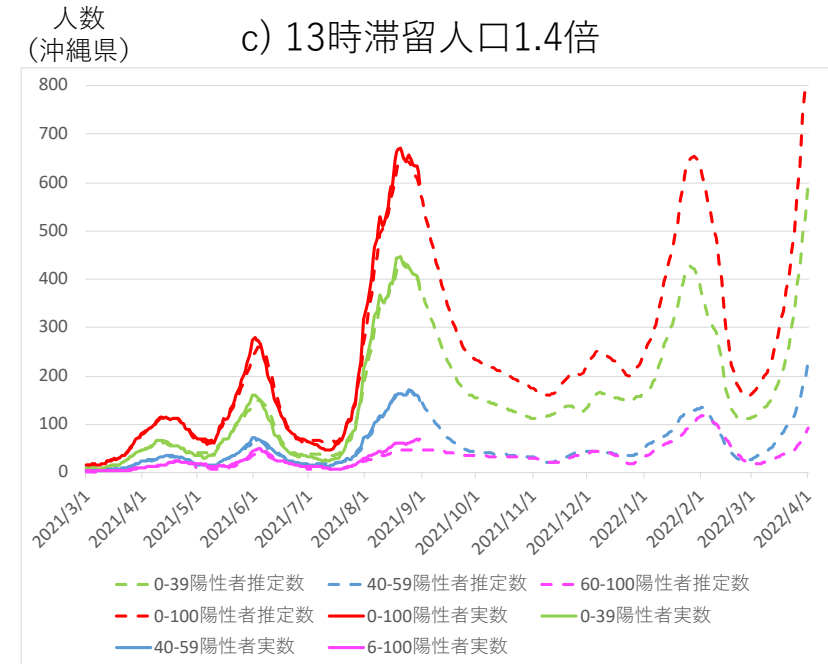
赤：新規陽性患者数 (0歳以上)
 緑：新規陽性患者数 (0歳~39歳)
 青：新規陽性患者数 (40歳~59歳)
 紫：新規陽性患者数 (60歳~)
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/4/2
653	106



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/4/2
653	244



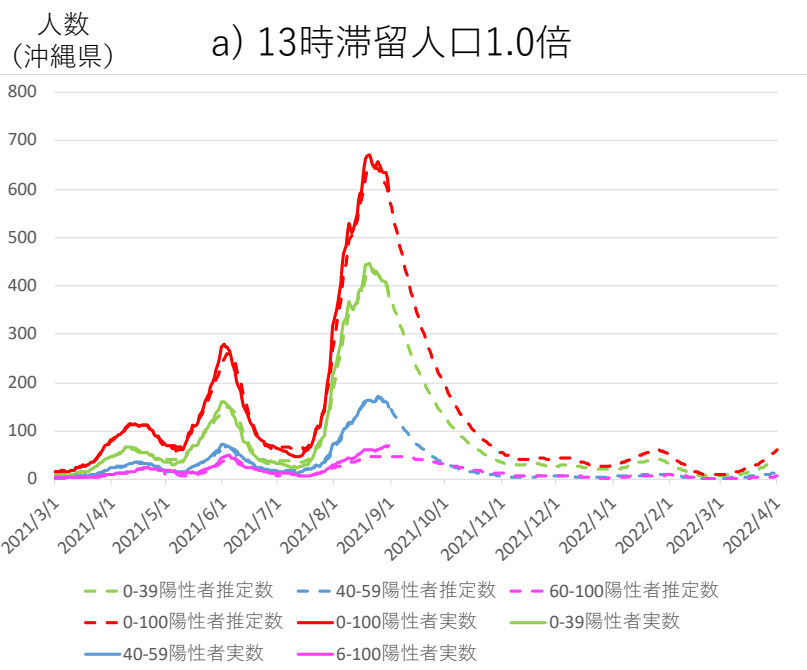
感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/4/2
653	919

ブースター接種による陽性者数の推定

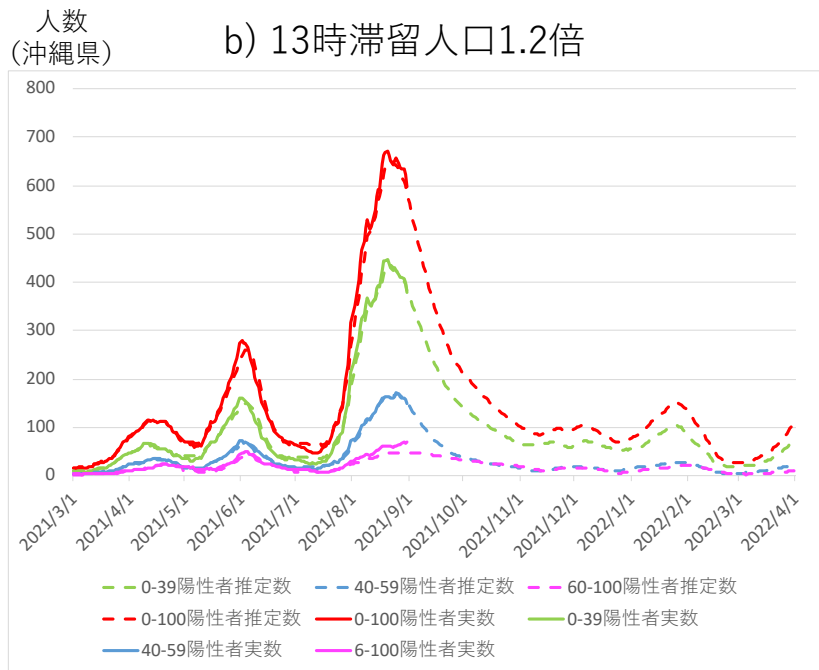
- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍

- *1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持
- *2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

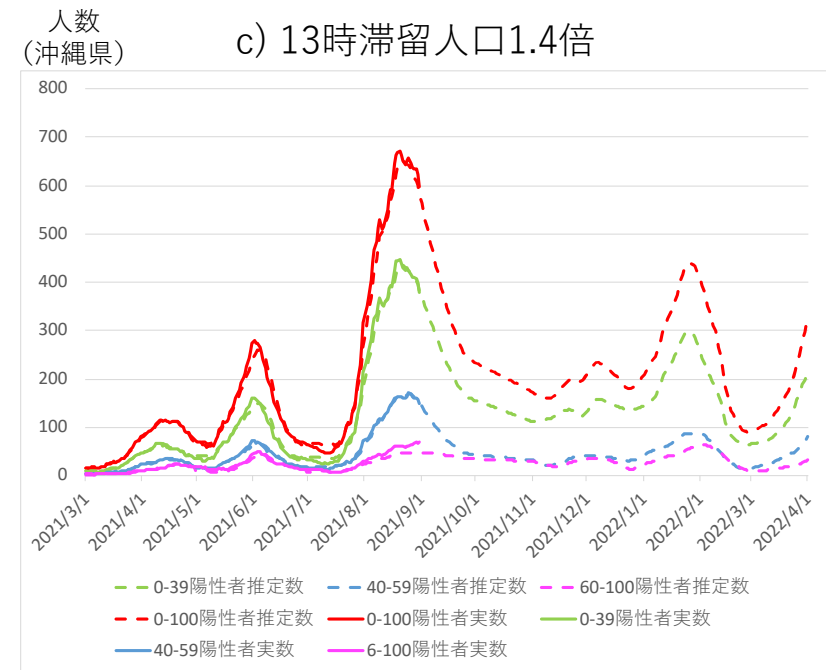
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳～39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳～59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳～）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/25
653	61



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/26
653	151

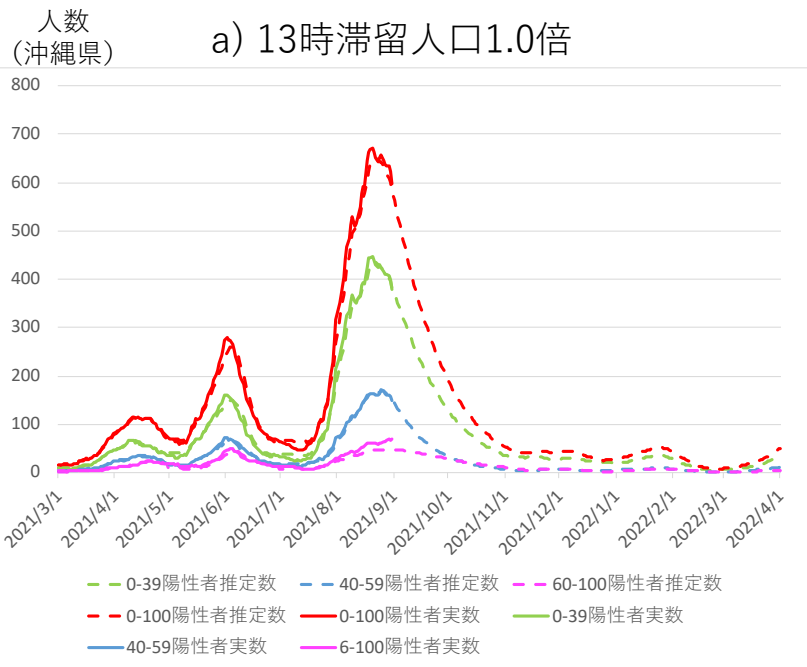


感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/27
653	439

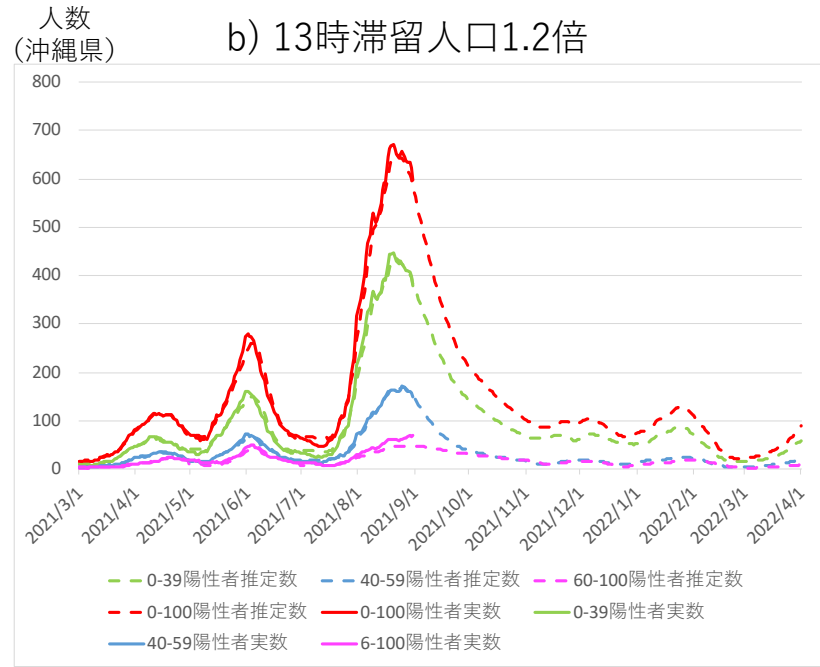
接種率up,ブースター接種による陽性者数の推定

- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍
- *1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持
- *2 ワクチン接種率 39歳以下**75%**, 40~59歳**85%**, 60歳以**90%**

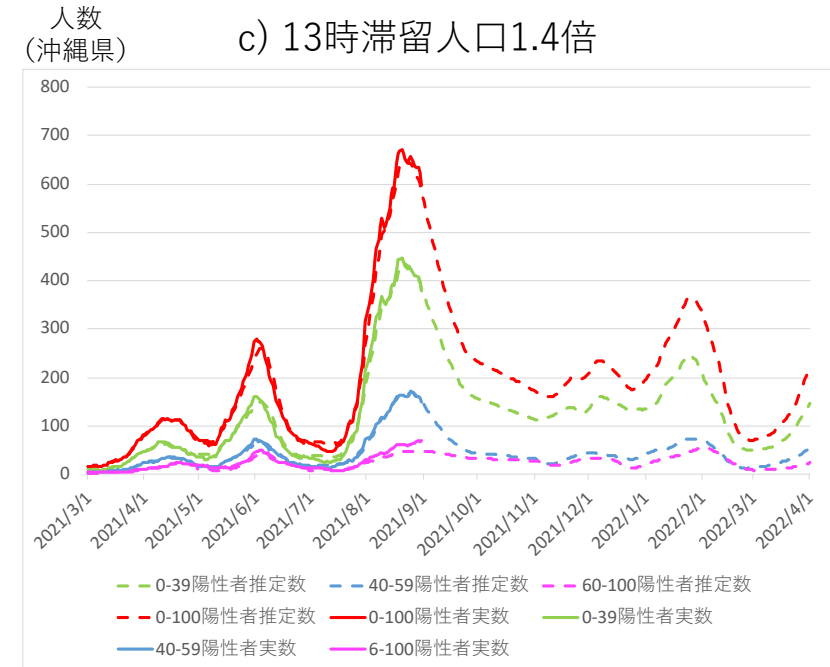
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳～39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳～59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳～）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/25
653	53



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/25
653	128



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/26
653	365

接種証明制限, ブースター接種による陽性者数の推定

a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持

b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍

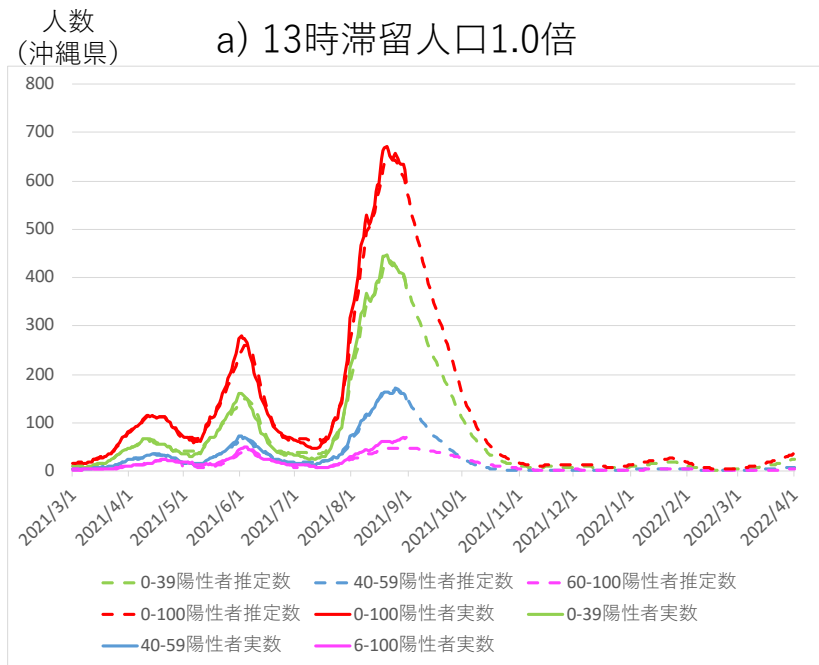
c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍

*1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持

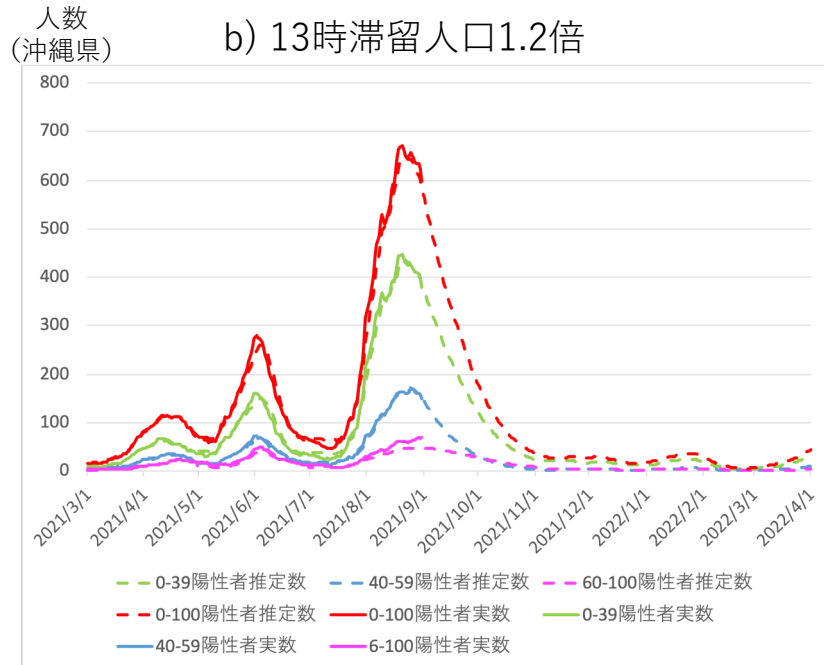
*2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

*3 **ワクチン接種証明**による職場・飲食店・イベント入場**制限率60%**

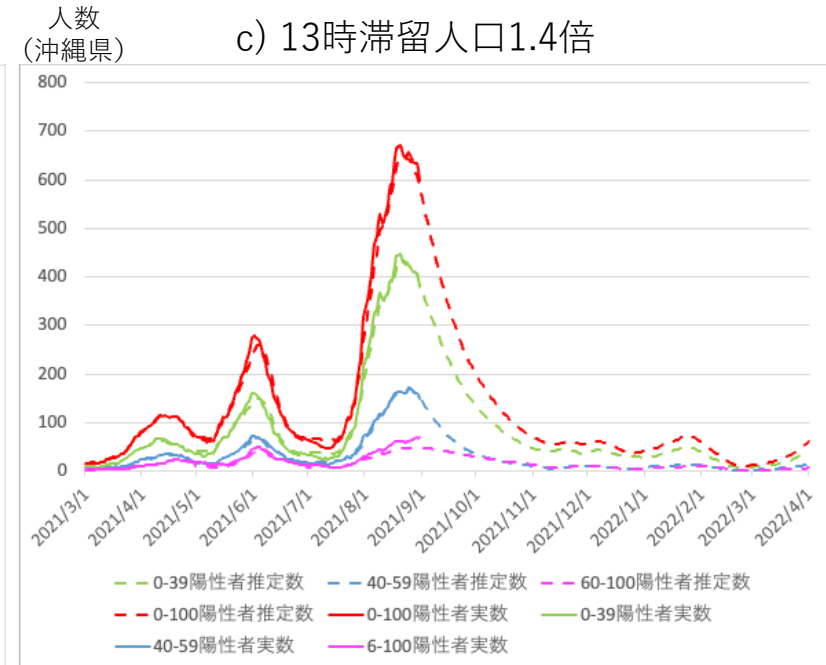
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳~39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳~59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳~）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/4/2
653	36



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/4/2
653	44



感染者数21/3/1-12/31	感染者数22/1/1-3/31
2021/8/23	2022/1/25
653	72

重症者数比較

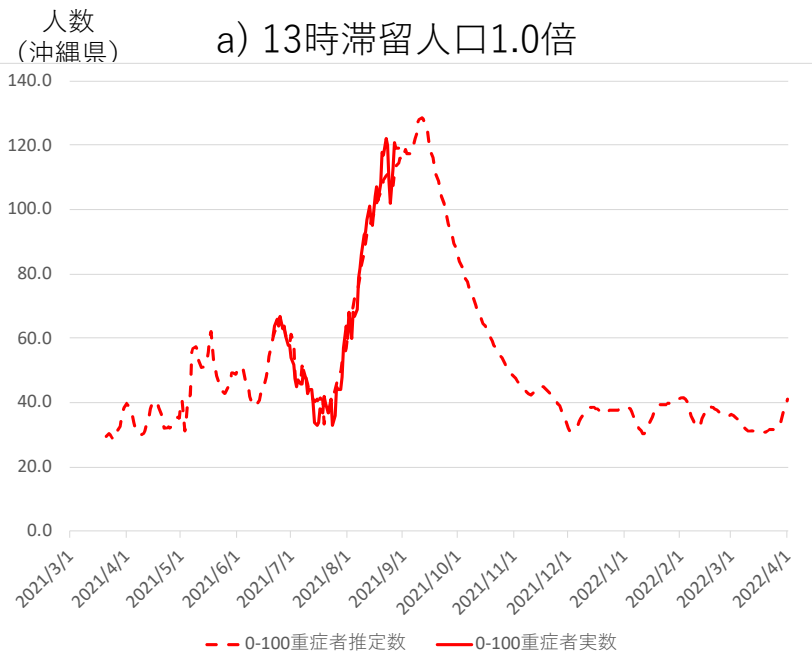
人流増加・ブースター接種・接種率アップ・接種証明制限

人流増加による重症者数の推定

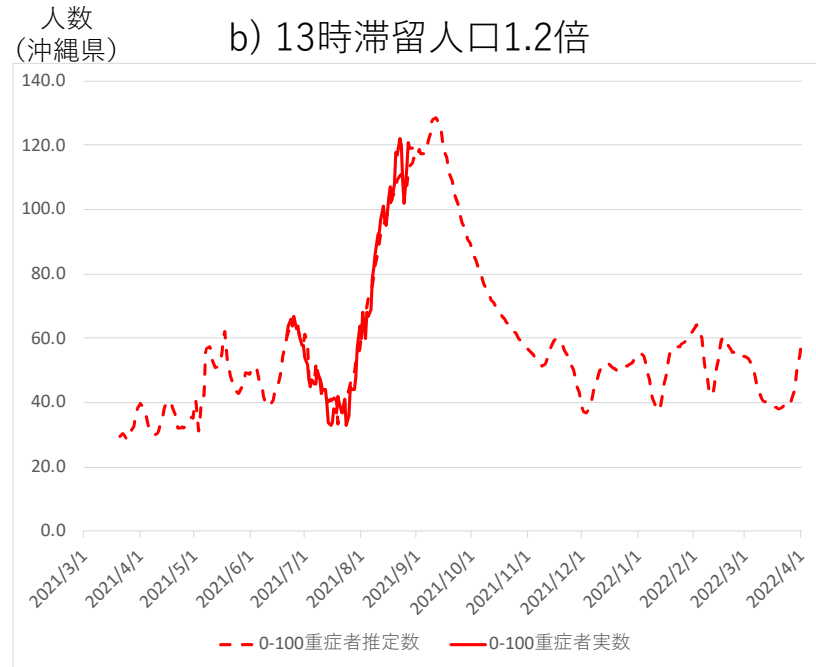
- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍

*1 ワクチン感染予防効果 接種後85%, 180日後70%, 260日以降50%
 *2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

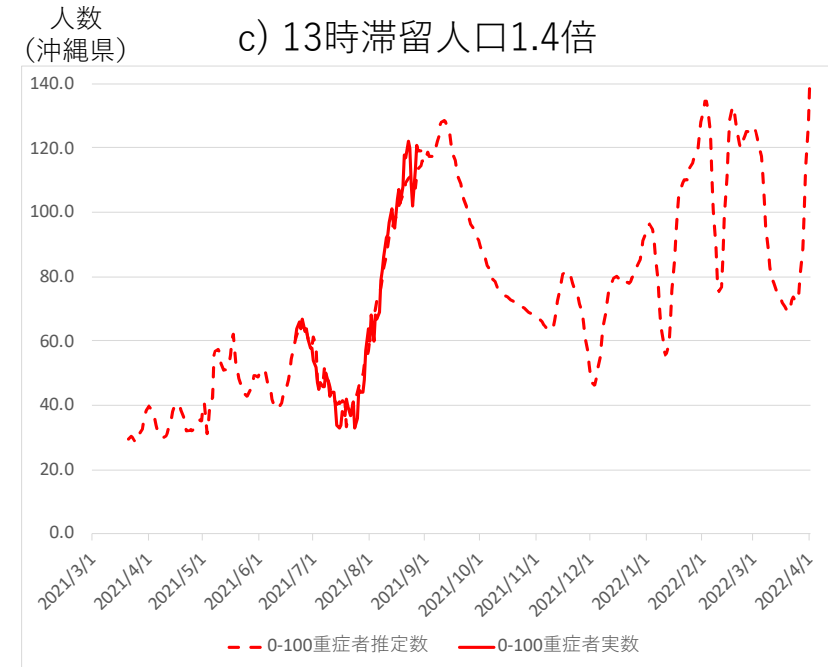
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳～39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳～59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳～）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	42



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	64

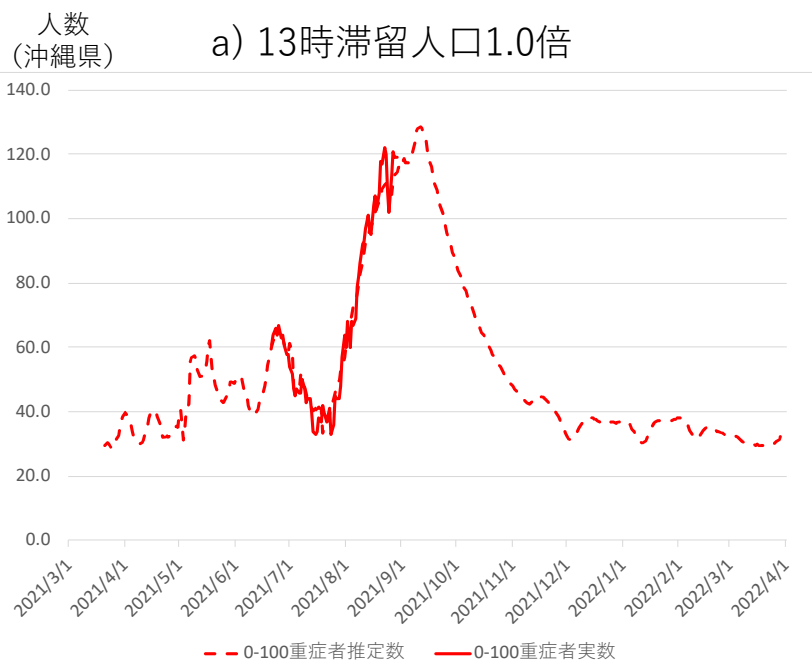


重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/4/2
129	141

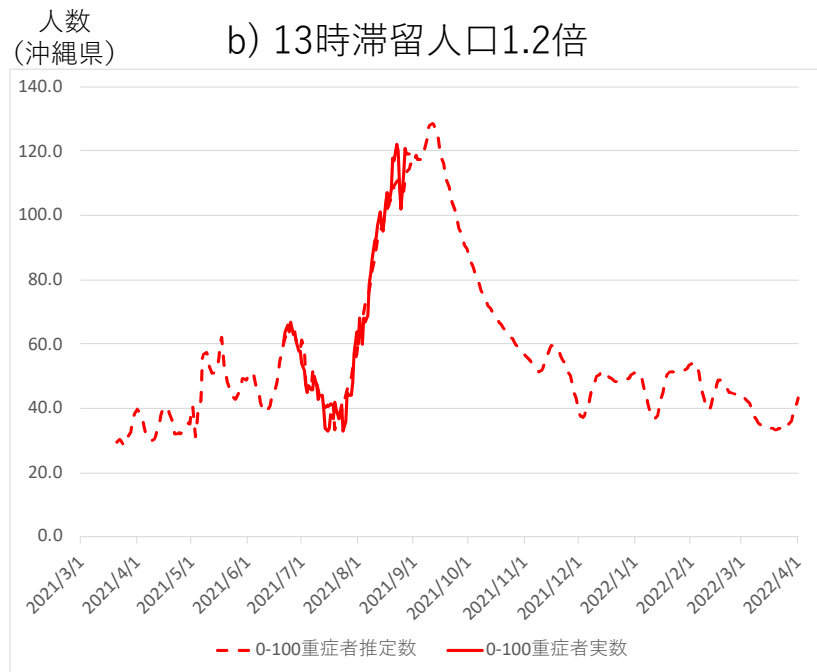
ブースター接種による重症者数の推定

- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍
- *1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持
- *2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

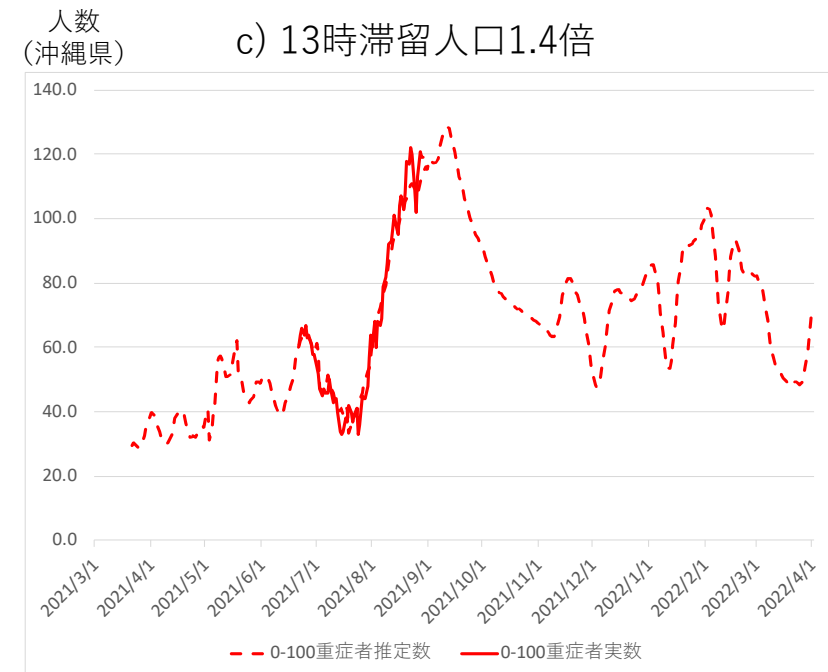
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳～39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳～59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳～）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	38



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	54

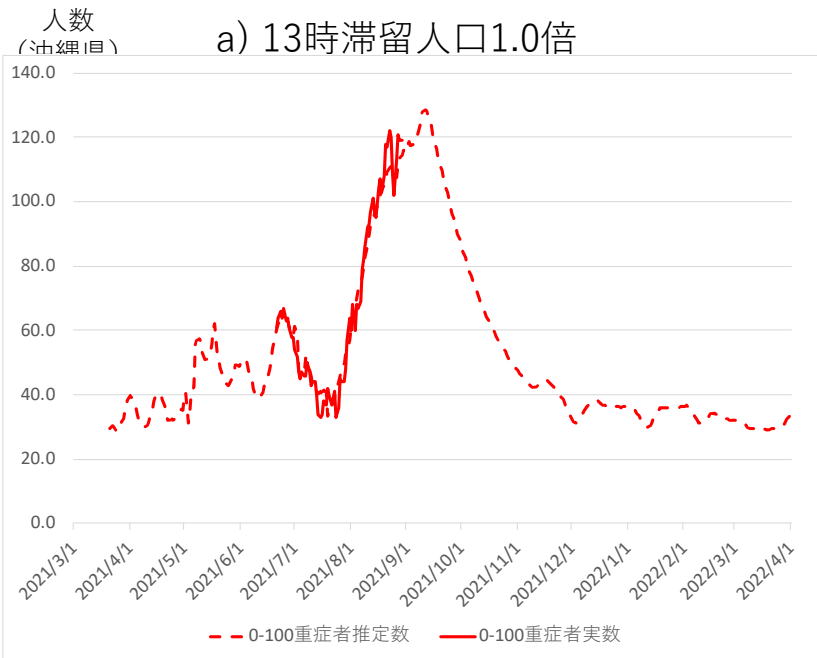


重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	103

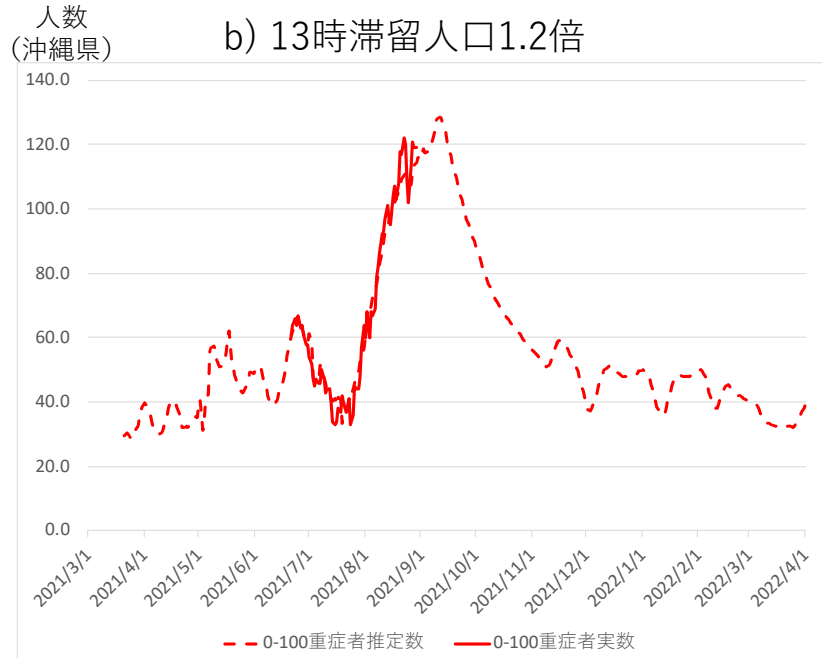
接種率up,ブースター接種による重症者数の推定

- a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持
- b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍
- c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍
- *1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持
- *2 ワクチン接種率 39歳以下**75%**, 40~59歳**85%**, 60歳以**90%**

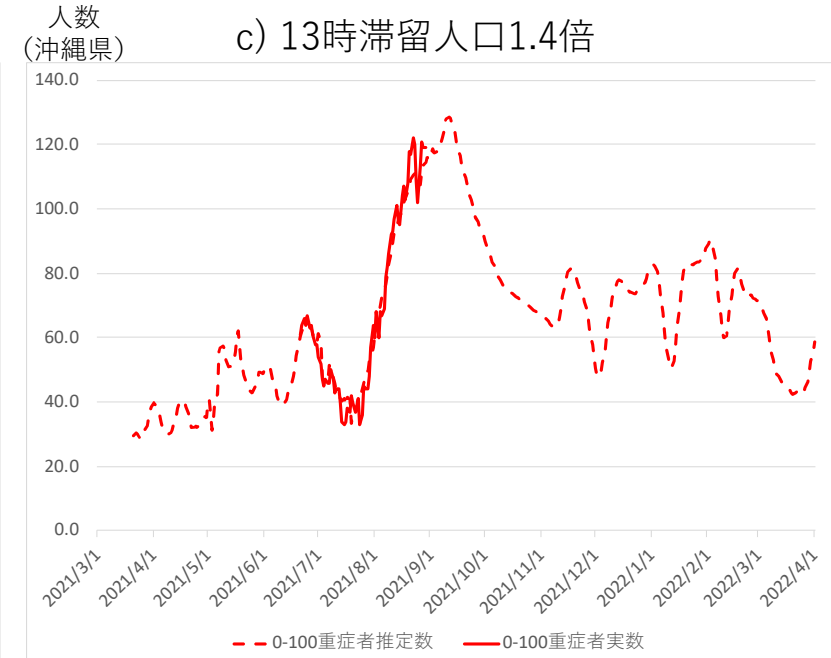
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳～39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳～59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳～）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	37



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	50



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	90

接種証明制限, ブースター接種による重症者数の推定

a) 13時繁華街の滞留人口は8/31を維持

b) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.2倍

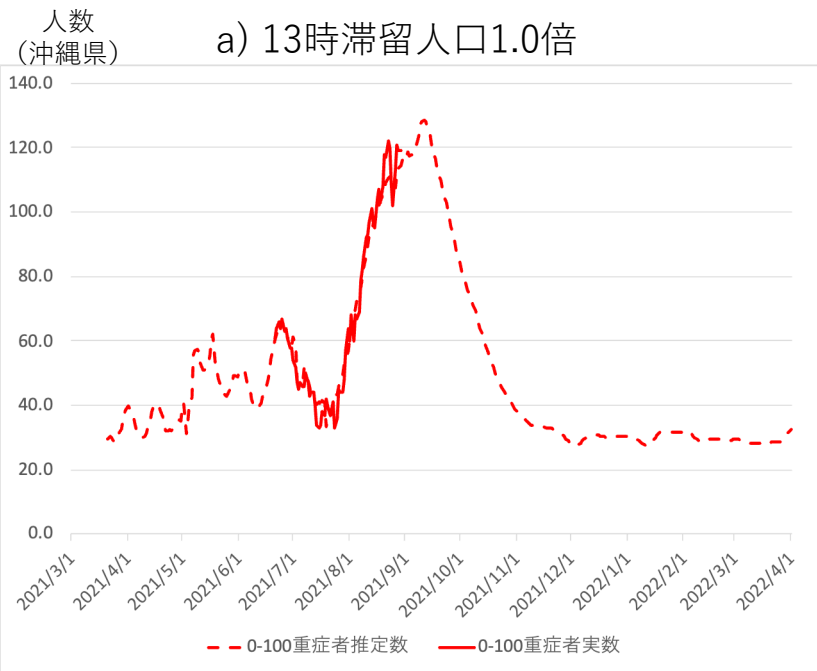
c) 9/20以降, 13時繁華街の滞留人口は8/31の1.4倍

*1 **ブースター接種**でワクチン感染予防効果**85~76%**を維持

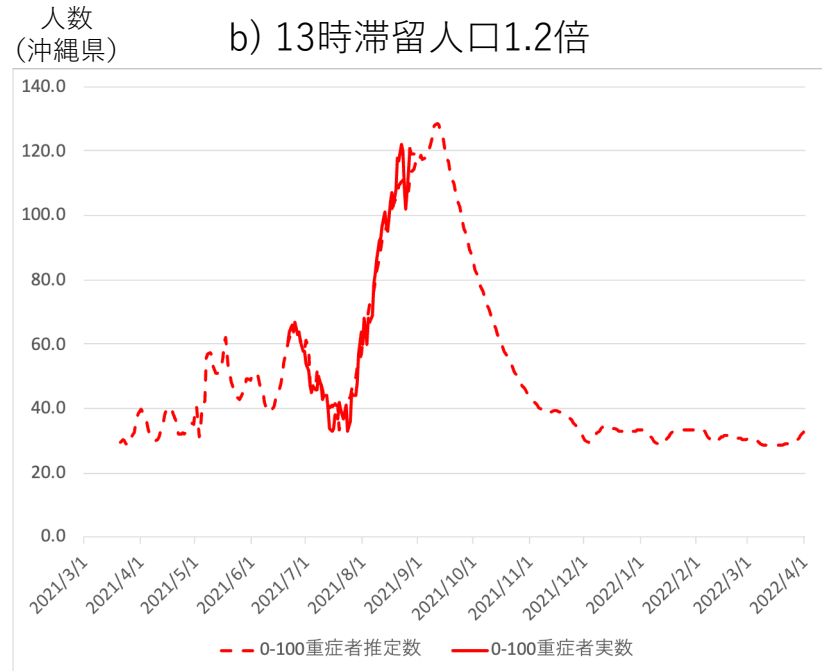
*2 ワクチン接種率 39歳以下65%, 40~59歳75%, 60歳以上85%

*3 **ワクチン接種証明**による職場・飲食店・イベント入場**制限率60%**

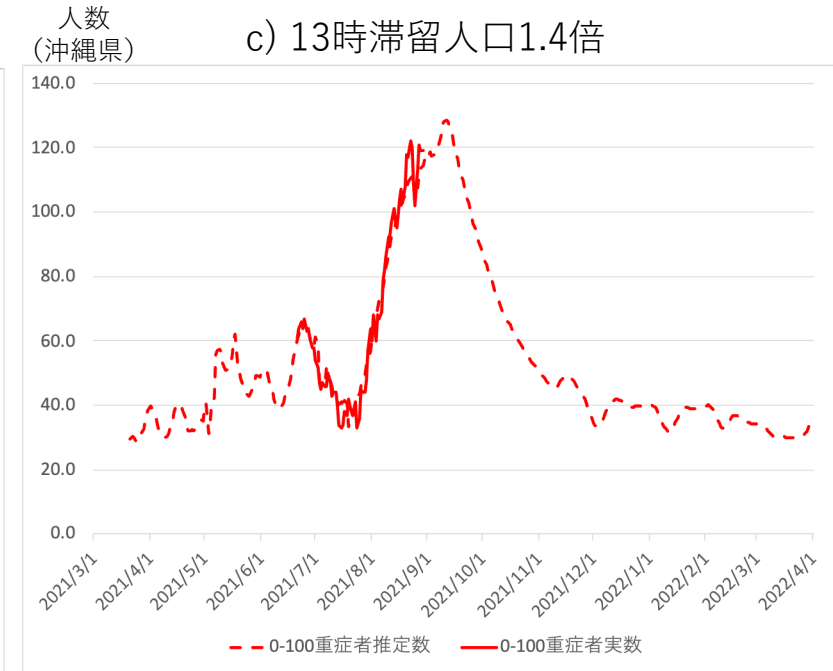
赤：新規陽性患者数（0歳以上）
 緑：新規陽性患者数（0歳~39歳）
 青：新規陽性患者数（40歳~59歳）
 紫：新規陽性患者数（60歳~）
 実線：実測数 波線：推定数
 *数値は7日間移動平均



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/4/2
129	33



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/2/3
129	34



重症者数21/3/1-12/31	重症者数22/1/1-3/31
2021/9/12	2022/1/2
129	40

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、0歳～39歳、40歳～59歳、60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。県外からの陽性患者流入者数をモバイル空間統計データ(NTTドコモ)およびLocationMind xPop*1から推定してモデルに組み込み、2021年3月1日～8月31日のデータからモデルを学習させた。

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

デルタ株を対象に、人流の増加率を設定した。9/20以降に人流抑制が緩和するとした。

3. ワクチン効果と行動変容効果

- 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 - 8/31の実効再生産数・人口流動数の推移は実測値を使用。9/1以降は、直近の7日間移動平均、11/1以降は直近2日と昨年の感染変化率の平均を使用した。
- 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） $k=0.9\%$
8/15以降1.3%
- ワクチン減衰効果
2回目ワクチン接種後180日で感染抑制効果が64%(イスラエル保健省)まで減衰するとした。免疫効果についてはデータがないため、同等とした。

*1 「LocationMind xPop」データは、NTTドコモが提供するアプリケーション(※)の利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報を、NTTドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータ。位置情報は最短5分毎に測位されるGPSデータ（緯度経度情報）であり、個人を特定する情報は含まれない。※ドコモ地図ナビサービス(地図アプリ・ご当地ガイド)等の一部のアプリ

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

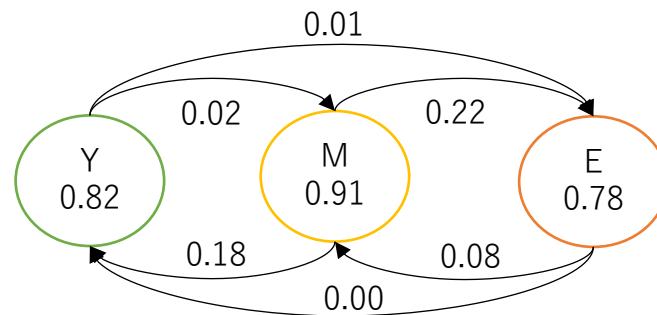
g = 感染症からの回復率

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

年代別感染推移確率 (右から左へ伝播)

		Age_Y	Age_M	Age_E
Age_Y	←	0.82	0.18	0.00
Age_M	←	0.02	0.91	0.08
Age_E	←	0.01	0.22	0.78



Yは0歳以上39歳以下、Mは40歳以上59歳以下、Eは60歳以上を表す。

逆シミュレーションモデル

$$flow_risk_t = \frac{\sum_{i=1}^j flow_{i,t} * c_{pt} * ur}{pop}$$

$$b_{i,j} = a_{i,j} (R_0 d_t^i c_1^i - c_2^i)$$

$$\min \sum_{t=1}^{now} (pred_t(b_{i,j}, S_0, E_0, I_0, R_0) - observ_t)^2$$

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_0 : 基本再生産数

$$d_t^i : \text{感染増加率} = \frac{ma_t^w ip}{ma_{t-1}^w ip}$$

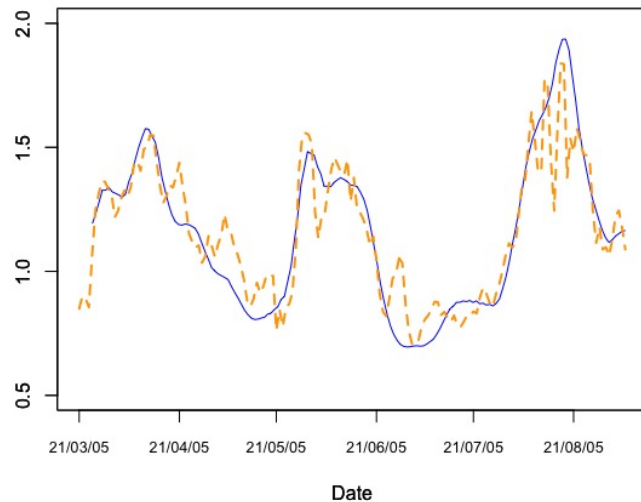
ma_t^w : 7日間移動平均

ip : 感染者数

c_k^i : 増加率補正係数

$a_{i,j}$: 年代間感染係数

沖縄県滞留人口による感染変化率推定



LocationMind xPop © LocationMind Inc.

$$D_t = b_0 + \sum_{i=1}^n f(b_{i,t}, x_{i,t+5})$$

D_t : 感染変化率 = $\sum_{t=1}^7 I_t / \sum_{t=1}^7 I_{t-1}$, (I :感染者数)

x_1 : 13時の沖縄県繁華街滞留人口

x_2 : 19時の繁華街滞留人口

x_4 : 県外からの流入感染者数

x_5 : 県外からの流入人口

繁華街: 那覇市国際通り・石垣島美崎町

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(ma13)	6.875	7.909	20.588	< 2e-16 ***
s(ma19)	6.560	7.652	2.906	0.00649 **
s(maex_risk)	5.644	6.726	5.905	8.78e-06 ***
s(maex_pop)	6.772	7.822	13.243	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.747 Deviance explained = 78.6%

GCV = 0.028292 Scale est. = 0.023823 n = 170

東京近郊市街地個体ベースモデル

- 東京郊外の世帯構成に基づいて2つの街で構成された1348人のエージェントで表現したモデルを構築
- ワクチン接種証明による職場、飲食店、イベント会場への入場制限を20%~100%各500回試行からRt変化率を測定
- 感染者数20人/10万人(≒3000人/東京)

各街の世帯構成	世帯数
高齢单身	18
高齢夫婦	30
3世代同居	6
成年单身	40
成年夫婦	35
親1人子供1人	4
親2人子供1人	21
親2人子供2人	12

