

エージェント・ベース・モデルを用いた コロナ対策の分析

2022年11月24日

東京財団政策研究所

千葉 安佐子

サマリー

- **コロナ対策の効果：実施前の効果の推計の必要性**
- **国勢調査個票データを活用した感染症伝播モデルの構築**
- **分析事例**
 - **東京オリンピック開催の感染拡大への影響度（2021年）**
 - **第7波における検査・隔離政策の事後的評価（2022年）**
 - **時短営業、在宅勤務、長距離移動制限の効果の比較（2020年）**

モデルの概要

- 東京都を対象としたエージェント・ベース・モデル
- 個人の属性：年齢・性別・産業・職業・外食頻度
- 対人接触する場面：家庭、学校、職場、高齢者施設、飲食店、その他
- 個人の感染確率は、年齢・接触場面・ワクチン接種状況によって決定

- Chiba, Asako. 2021. "The effectiveness of mobility control, shortening of restaurants' opening hours, and working from home on control of COVID-19 spread in Japan" *Health & Place* 70: 102622.
- Chiba, Asako. 2021. "Modeling the effects of contact-tracing apps on the spread of the coronavirus disease: Mechanisms, conditions, and efficiency" *PLoS ONE* 16(9): e0256151.

- 参考 Kerr et al. (2020)

国勢調査から生成する東京都の人口

- 仮想的な都民／日本国民の人口データ
 - 地域：東京都／全国
 - 規模：72,771人
 - 属性：年齢、性別、職業、従事する産業、職場の規模、外食頻度
 - 国勢調査の匿名データ（約125万人）から、東京都民2.5万人を無作為に抽出し、世帯に関する回答から一人ひとりに対して家族を生成する。
 - 上記の操作によって若年層の複数人世帯が増えるため、年齢間の人口比率を元データと近づけるため、60歳以上の単身世帯数を調整する。
 - 各人に、実際の分布に従って、年齢・性別以外の属性を与える
- 以上の操作から、東京都の人口を模した仮想的な人口データを得る。

東京オリンピック開催に伴う人流増加がもたらす
感染拡大効果

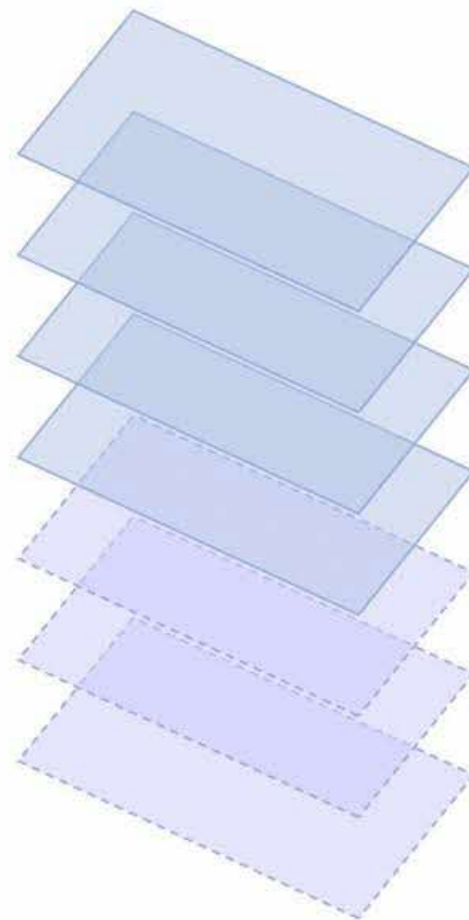
オリンピック開催で感染は広がるのか？

- **オリンピック開催シナリオにおける想定**
 - オリンピック開催で動員される人口の一部が飲食店に立ち寄ることにより、ハイリスクな接触の機会が増える（動員数は、チケット販売数等から推計）。
 - 競技場内では感染対策を十分行うため、伝染しない。
 - 単純化のため東京都のみを対象とし、都道府県間の人々の往来は無視。
- **得られた結果**
 - オリンピック閉会時点での1日の新規陽性者数は、開催しない場合に比べて10%程度多い。

個人の属性と接触

属性

- ・年齢
- ・性別
- ・仕事
- ・外食頻度
- ・感染状態
- ・感染した日
- ・感受性
- ・感染力
- ・病状進行確率



相手が変わらない接触 (日常的接触)

- ①家庭
- ②職場
- ③学校
- ④高齢者施設

相手が日々変わる接触 (流動的接触)

- ⑤対策済み飲食店
- ⑥対策なし飲食店
- ⑦その他 (イベント等)

日常的な接触（家庭、学校、職場、施設）

- 接触する相手は期中を通して変化しない

場の名称	接触グループの生成
家庭	国勢調査の世帯に関する回答から生成
職場	居住する県・産業・職場規模が共通の個人を、職場規模のサイズでグループ化する
学校	居住する県が共通の就学者を最大25人規模でグループ化し、各グループに最大2人の教員を追加する
高齢者施設	居住する県が共通で65歳以上の施設に居住する者を最大20人規模でグループ化し、各グループに最大6人の介護者を追加する

飲食店（対策済み／対策なし）での接触

- 外食頻度

- 週に3回程度外食する人 25%
- 月に2回程度外食する人 44%
- まったく外食しない人 31%

（株式会社野村総合研究所, 新型コロナウイルスが外食・娯楽・旅行関連消費に与えた影響と回復策）

- 飲食店の対策の程度

- 対策済み飲食店 90%
- 対策なし飲食店 10%

（Foodist, 飲食店の95%がコロナ対策のガイドラインを実施）

接触を介した感染の拡大

- 伝染は、未感染者が感染者と接触を持つと確率的に発生する
- 感染者Aが未感染者Bにウイルスを移す確率の決定要因
 1. 二人が接触を持つ場における感染確率
 2. Aの感染力（移しやすさ）
 3. Bの感受性（移されやすさ）
- 感染確率の高い場所で、たくさんの人と接触すると感染リスクが高まる

病状の定義

状態名	定義	PCR検査が 検出可能	感染力を持つ	「感染者」に 含まれる	「有症者」に 含まれる
未感染	感染していない	—	—	—	—
感染直後	感染しているが感染力なし	×	×	○	×
無症状	感染力があるが症状なし	○	○	○	×
軽症	症状があるが入院が必要でない	○	○	○	○
中等症	入院治療等を要する	○	○	○	○
重症	集中治療等を要する	○	○	○	○

- 感染直後の状態から確実に無症状となる
- 無症状以降の各段階では回復する可能性がある

状態遷移に要する日数と遷移確率

	所要日数	遷移確率								
		～10代	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	80代～
(症状の進行)										
感染直後→無症状	~LN(4.6, 4.8)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
無症状→軽症	~LN(1.0, .9)	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900
軽症→中等症	~LN(6.6, 4.9)	0.000	0.000	0.000	0.155	0.151	0.198	0.365	0.360	0.408
中等症→重症	~LN(3.0, 7.4)	0.000	0.000	0.000	0.029	0.029	0.147	0.368	0.491	0.490
重症→死亡	~LN(6.2, 1.7)	0.000	0.000	0.000	0.146	0.182	0.218	0.255	0.291	0.327
(回復)										
無症状→回復	~LN(8.0, 2.0)	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100
軽症→回復	~LN(8.0, 2.0)	1.000	1.000	1.000	0.845	0.849	0.802	0.635	0.640	0.592
中等症→回復	~LN(14.0, 2.4)	1.000	1.000	1.000	0.971	0.971	0.853	0.632	0.509	0.510
重症→回復	~LN(14.0, 2.4)	1.000	1.000	1.000	0.854	0.818	0.782	0.745	0.709	0.673

LN(a,b)は期待値a、標準偏差bのログノーマル分布¹²

シミュレーションの概要

- 期間：7/23（オリンピック開催初日）以降の1か月間の感染動向を計算
- 比較シナリオ：
 - ① オリンピック開催無し
 - ② オリンピック開催（直帰率が予想の2倍）
 - ③ オリンピック開催（予想動員数、予想直帰率）
 - ④ オリンピック開催（動員数が予想の2倍）
- 7/23時点の想定（各シナリオに共通）
 - 都内新規感染者数 400人／日
 - 都内回復者数 200,000人／日
 - 高齢者の50%と医療従事者に2度のワクチン接種が完了
- ②～④の対象期間は、21日間の実施とその後10日間の計1か月間
- 各シナリオの結果は、それぞれ1500回の試行の平均値

シナリオ① オリンピック開催無し

- **テレワークの実施**
テレワーク可能な職種の50%は出勤しない
- **学校は夏季休暇**
学校での接触はゼロに
- **コロナ禍下での外出自粛・制限**
ビフォー・コロナに比べ、飲食やイベント等の外出は50%に
- **検査**
毎日、有症者の30%に検査を実施
翌日結果が出て、陽性者は隔離

シナリオ②、③、④ オリンピック開催

シナリオ①に加え、オリンピック開催に伴い人出が増加

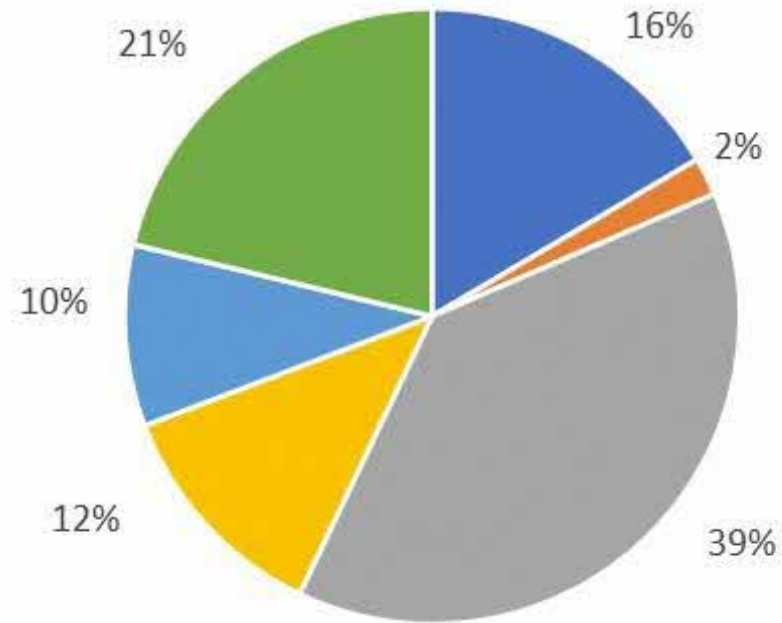
- 都内動員 243,000人／日 (④では2倍)
 - 観客（競技場） 150,000人／日 ※1
 - 観客（パブリック・ビューイング） 67,000人／日
 - ボランティア 26,000人／日 ※2
- 動員の一部が飲食店に立ち寄る
 - 対策なし飲食店への立ち寄り ②7%、③20%、④20%
 - 対策済み飲食店への立ち寄り ②13%、③40%、④40%
 - 直帰（立ち寄りせず） ②80%、③40%、④40%

※1 全競技会場の収容数、チケット販売数より推計

※2 辞退者を考慮

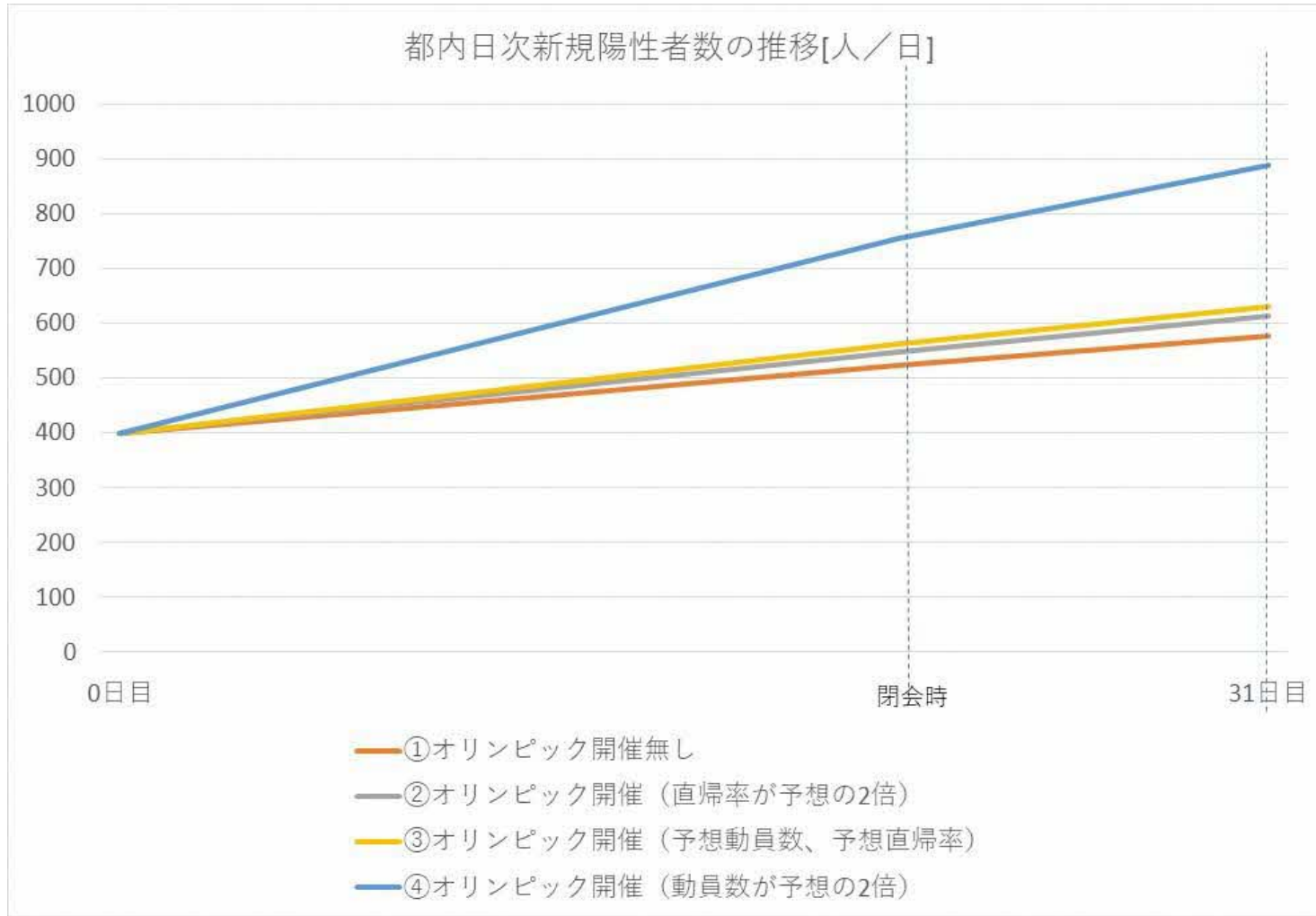
感染経路ごとの感染件数の割合

オリンピック開催無しの場合の
感染経路ごとの感染件数の割合



■ 職場 ■ 高齢者施設 ■ 家庭 ■ 対策済み飲食 ■ 対策なし飲食 ■ その他イベント等

オリンピック開催が感染者数に及ぼす影響



	閉会時点	(対①)	開会式1か月後	(対①)
①オリンピック開催無し	523	-	577	-
②オリンピック開催 (直帰率2倍)	549	+26	613	+36
③オリンピック開催	564	+41	631	+54
④オリンピック開催 (動員数2倍)	755	+232	890	+313

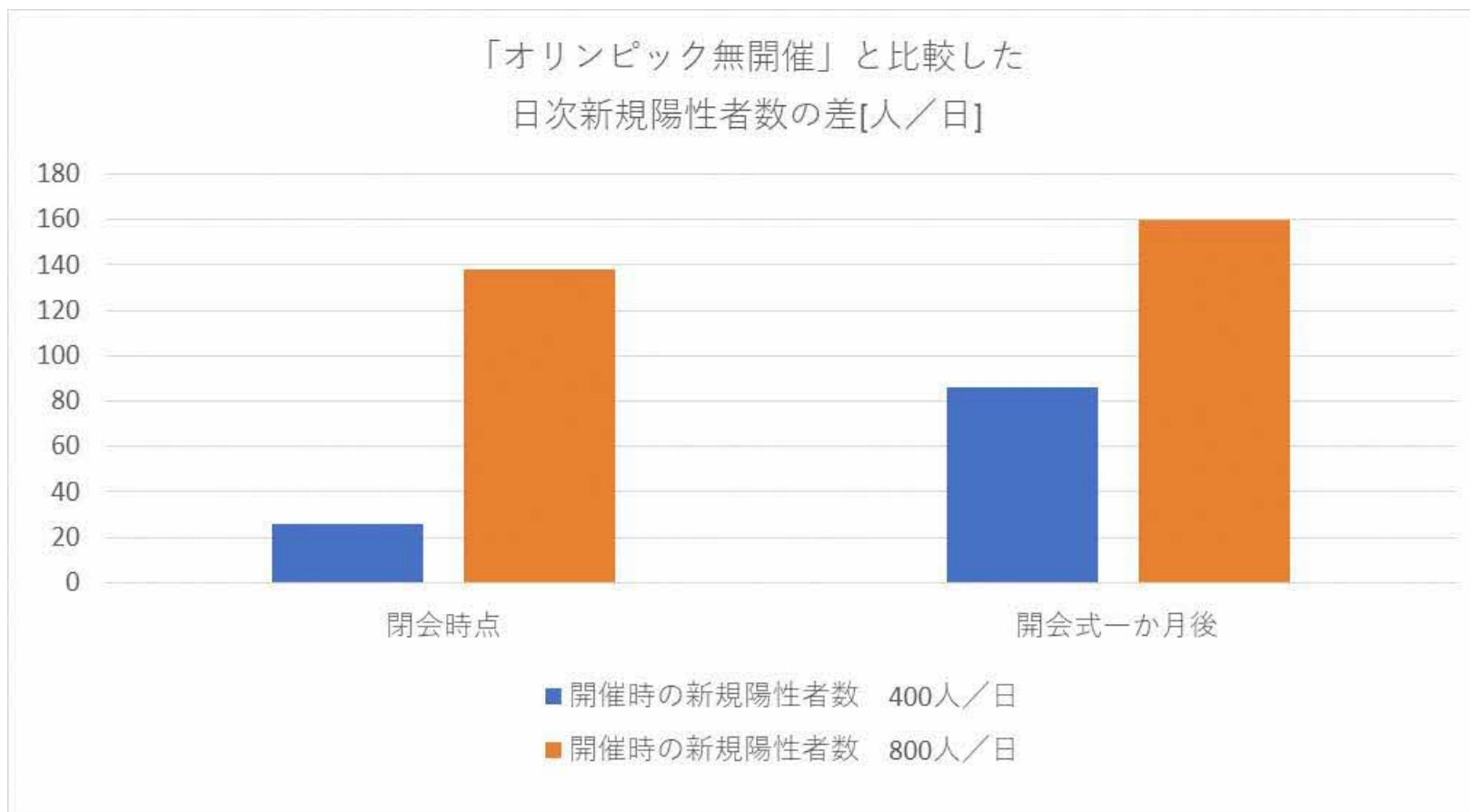
オリンピックで「対策なし飲食」をする個人の感染リスクは、 しない人の約27倍

- リスク量の概算

(単純化のため高齢者施設のリスクは無視)

	家庭	職場	学校	対策なし 飲食	対策済み 飲食	その他 イベント等	リスク量
(a) 相対感染率	0.8	0.04	0.075	25	2	0.3	
(コロナ禍平時における平均的個人)							
(b1) 期待接触人数	2.25	10	0	0.026	0.234	4.5	
相対的リスク量(a)×(b1)	1.8	0.4	0	0.65	0.468	1.35	4.7
(オリンピック開催時に対策なし飲食する個人)							
(b2) 期待接触人数	2.25	10	0	5	0.234	4.5	
相対的リスク量(a)×(b2)	1.8	0.4	0	125	0.468	1.35	129.0

開会時点での感染状況が悪ければ、 感染拡大効果は増加



結果まとめ

- オリンピック開催で、対策なし飲食をする動員（観客とボランティア）の感染リスクは大幅に増加する。
- ただし動員の飲食は、感染状況の大幅な悪化をもたらすわけではない。
- これは、飲食する動員の数が都民数のごく一部であるため。
- 動員の直帰率を高めれば、感染拡大効果はさらに小さくなる。
- 開催時点での感染状況が悪ければ、感染拡大効果は大きくなる。

第7波における濃厚接触者対策と検査

2022年8月16日

東京財団政策研究所

千葉 安佐子

サマリー

- 第7波において東京都で取られている①濃厚接触者対策、及び②検査体制
 - ① 濃厚接触者は、最終接触日から5日間行動自粛（2-3日目に抗原検査で陰性ならば自粛解除）
 - ② 検査はPCR検査を活用
- 本分析では、エージェント・ベース・モデルを用いた反実仮想実験により、上記対策を評価

① 濃厚接触者の追跡・隔離は、感染拡大の防止に効果がある

- ただし、効果の程度は他のパラメータ設定に依存する
 - 一例として、有症者検査率が低ければ、追跡を一切行わなくても感染動向への影響は小さい
- 行動自粛している濃厚接触者はピーク時で10万人
 - 仮に、濃厚接触者の追跡を強めれば、行動自粛する濃厚接触者の数は40～50万人程度にも増加する

② 抗原検査によるPCR検査の代替は、感染拡大の防止に効果がある

- 結果が即日で判明する（早期隔離の）メリットが、感度の低さのデメリットを上回る
- ただし、効果の程度は他のパラメータ設定に依存する
 - 有症者検査率が低ければ、抗体検査による代替による効果は小さくなる

『ベースライン』シナリオと比較シナリオ

- 第7波で取られている対策を『ベースライン』シナリオで再現
- ①濃厚接触者の追跡・行動自粛と②検査について、反実仮想のシナリオを設定

①濃厚接触者の追跡・行動自粛

		実施せず	家族・施設同居者のみを追跡対象とする	学校・職場・その他に追跡対象を拡大
②検査	PCR検査と抗原検査の併用	『追跡なし』	『ベースライン』	『追跡強化』
	抗原検査	『追跡なし (抗原検査)』	『ベースライン (抗原検査)』	『追跡強化 (抗原検査)』

『ベースライン』シナリオ

感染力の推計

ターゲット

- 感染者数、及び入院患者数※

想定

- 感染後、発症、悪化、回復までの日数
 - 接触～感染力保持：2.3日
 - 感染力保持～発症：0.5日
 - 発症～入院：6.6日、発症～回復：8.0日
- 年代別ワクチンの接種率と効果：7/24時点での値（次ページ）

※ <https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/cards/monitoring-number-of-confirmed-cases/>

年代別ワクチン接種状況

年代	完全未接種	2回目まで	3回目まで	4回目まで
～10歳代	27%	39%	35%	0%
20歳代	22%	32%	46%	0%
30歳代	19%	28%	54%	0%
40歳代	17%	21%	62%	0%
50歳代	8%	14%	78%	0%
60歳代	9%	7%	49%	35%
70歳代	8%	4%	53%	35%
80歳代～	1%	5%	59%	35%

『ベースライン』シナリオ

第7波発生～現在に至るまでの対策を再現

<検査>

- 有症者の一定割合※がPCRまたは抗原検査を受診（※本分析では、70%の場合と30%の場合を計算）
- 検査の感度は70%
- 受診後、2日後に結果通知 → 陽性者は回復するまで隔離
- 隔離期間中は、一切の接触が絶たれる

<濃厚接触者の追跡・自宅待機>

- 濃厚接触者（陽性者の家族、及び高齢者施設での同居者）は直ちに自宅待機
 - 自宅待機期間は、2日
 - 自宅待機期間中は、家庭と高齢者施設における接触は平時と同様に、それ以外での接触は平時比90%減少する
 - 実施率は80%

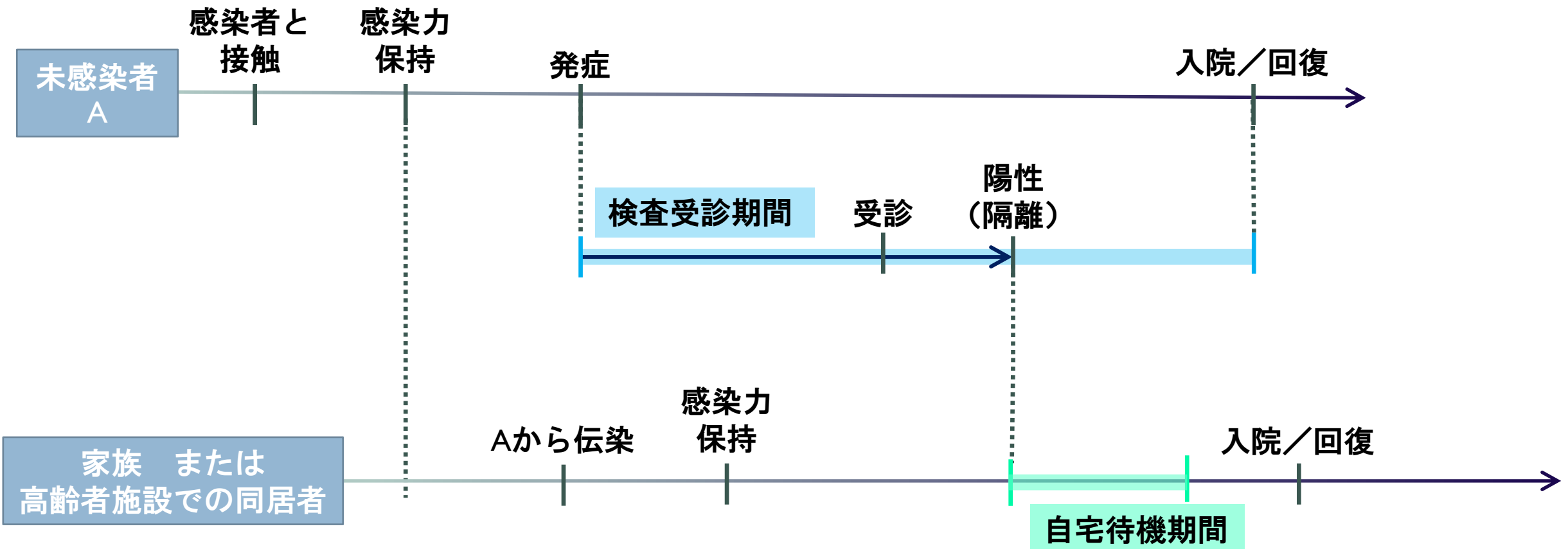
（参考）東京都における濃厚接触者の扱い

https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/tamafuchu/shingata_corona/corona_sesshoku.html

陽性者との最終接触日を0日として5日間（6日目に解除）が原則。

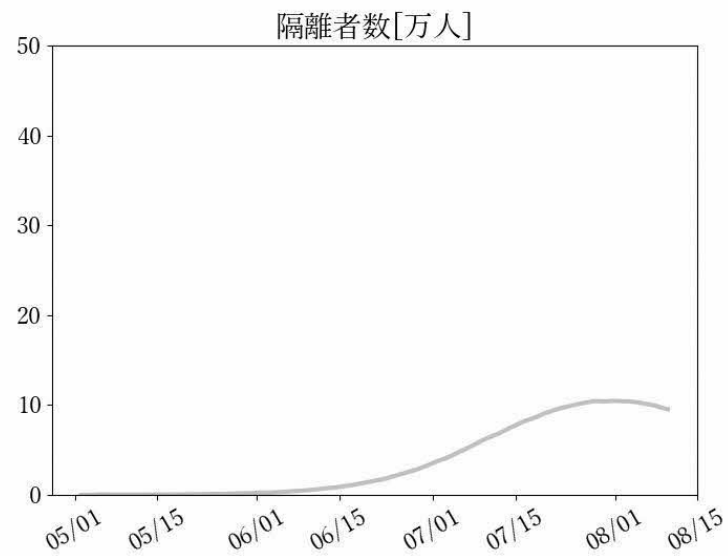
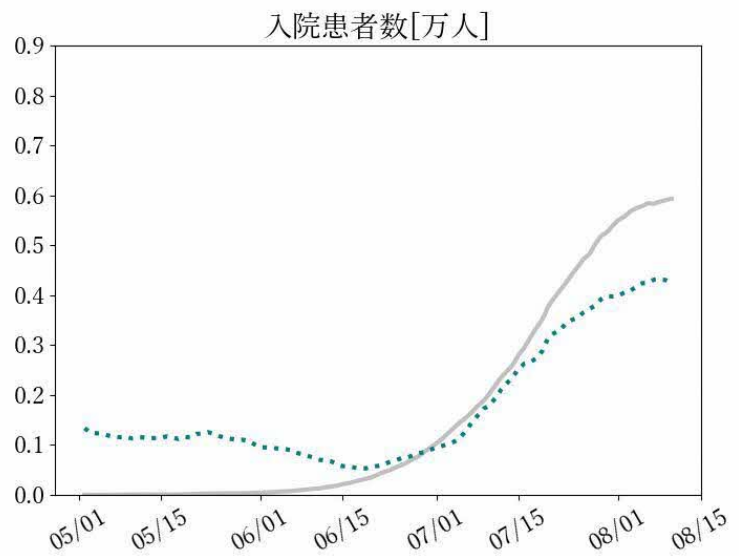
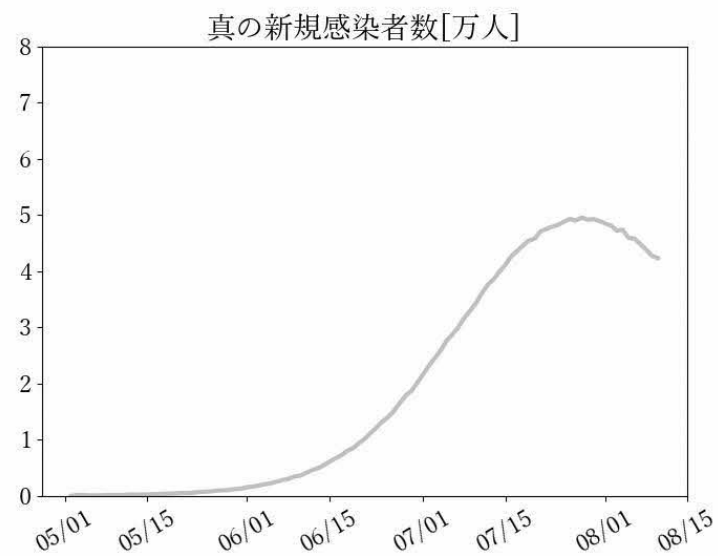
2日目及び3日目に抗原定性検査により陰性が確認された場合は、3日目から待機解除することが可能。

『ベースライン』シナリオにおけるタイムライン

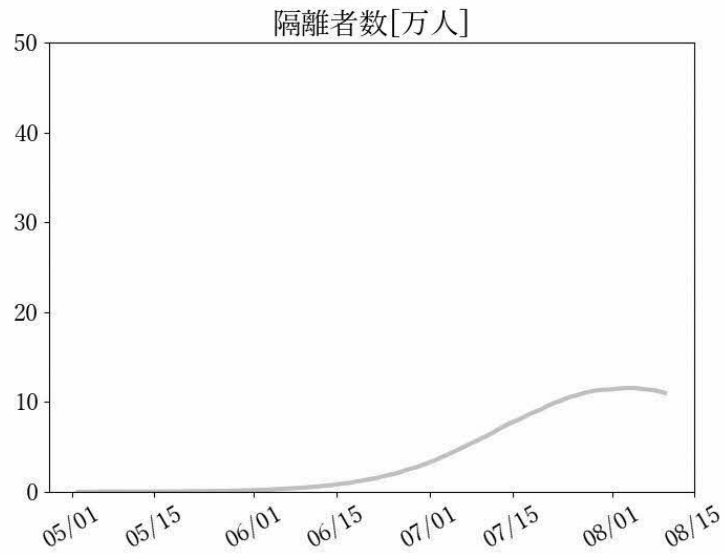
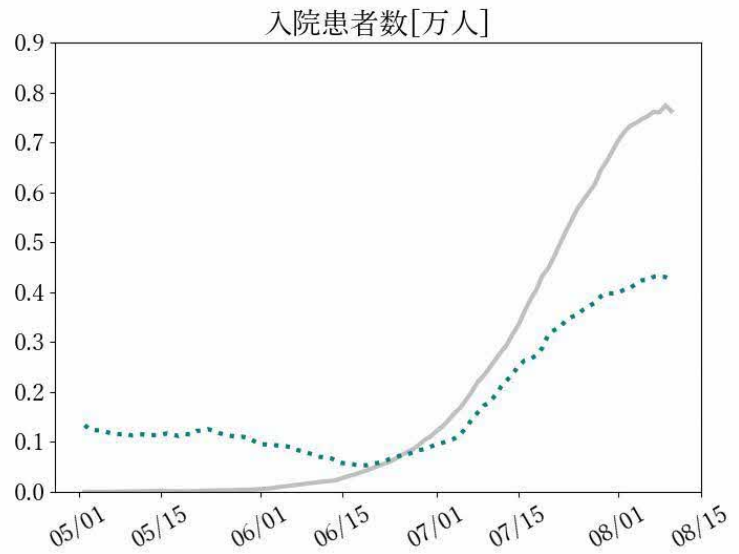
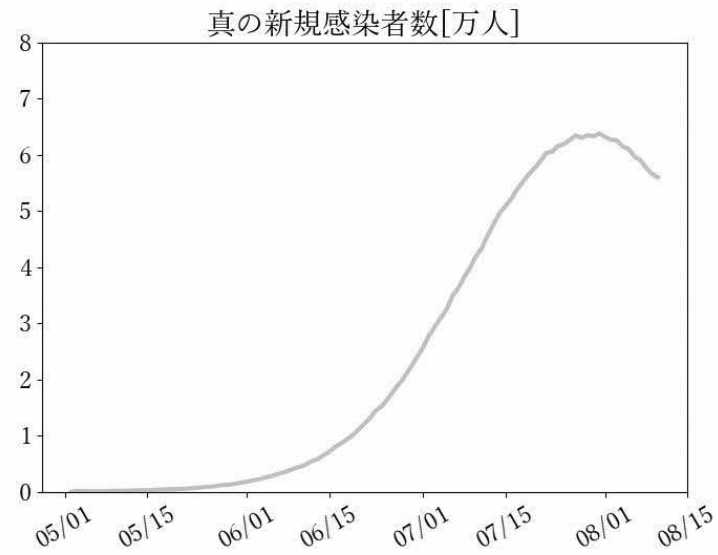
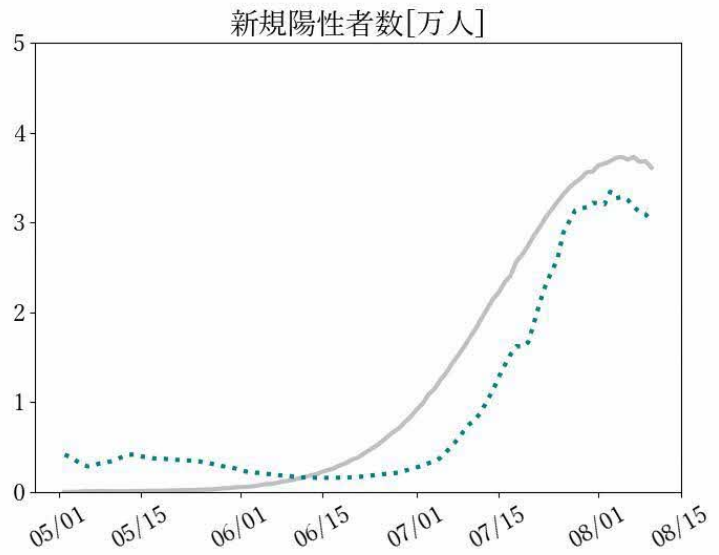


(自宅待機期間も、それ以外においても、Aと同様、発症すれば検査を受診する)

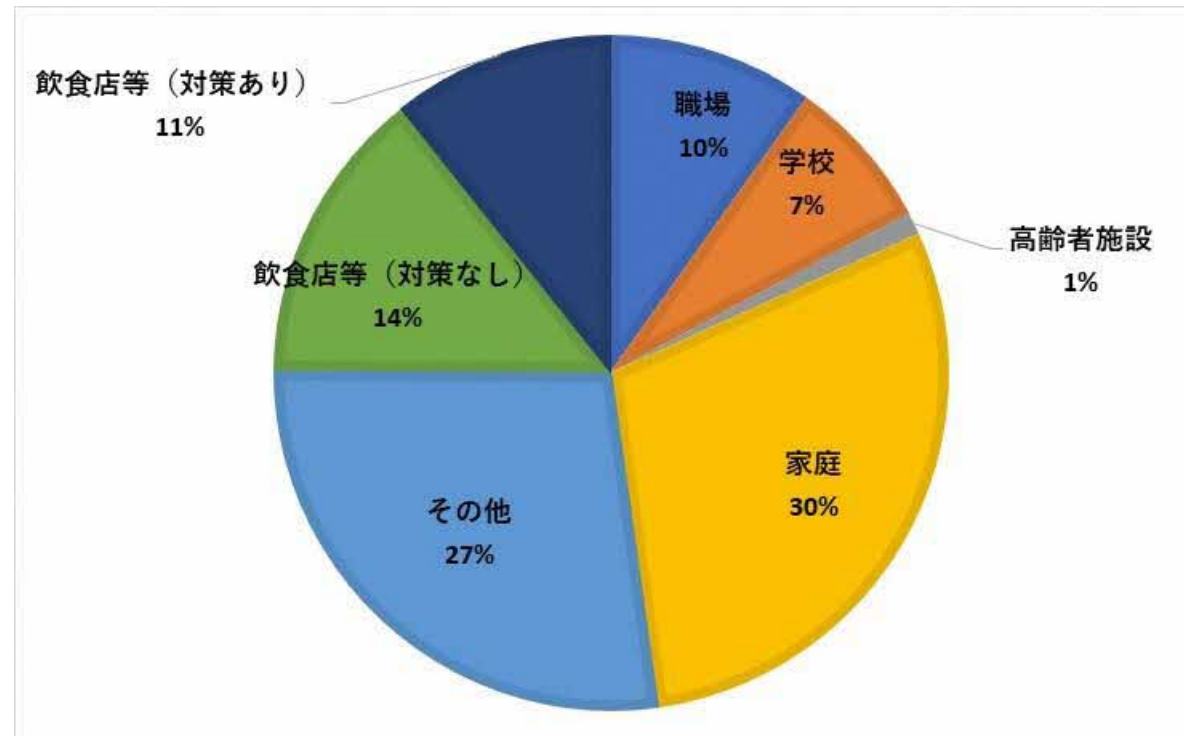
ベースライン（有症者検査率70%）



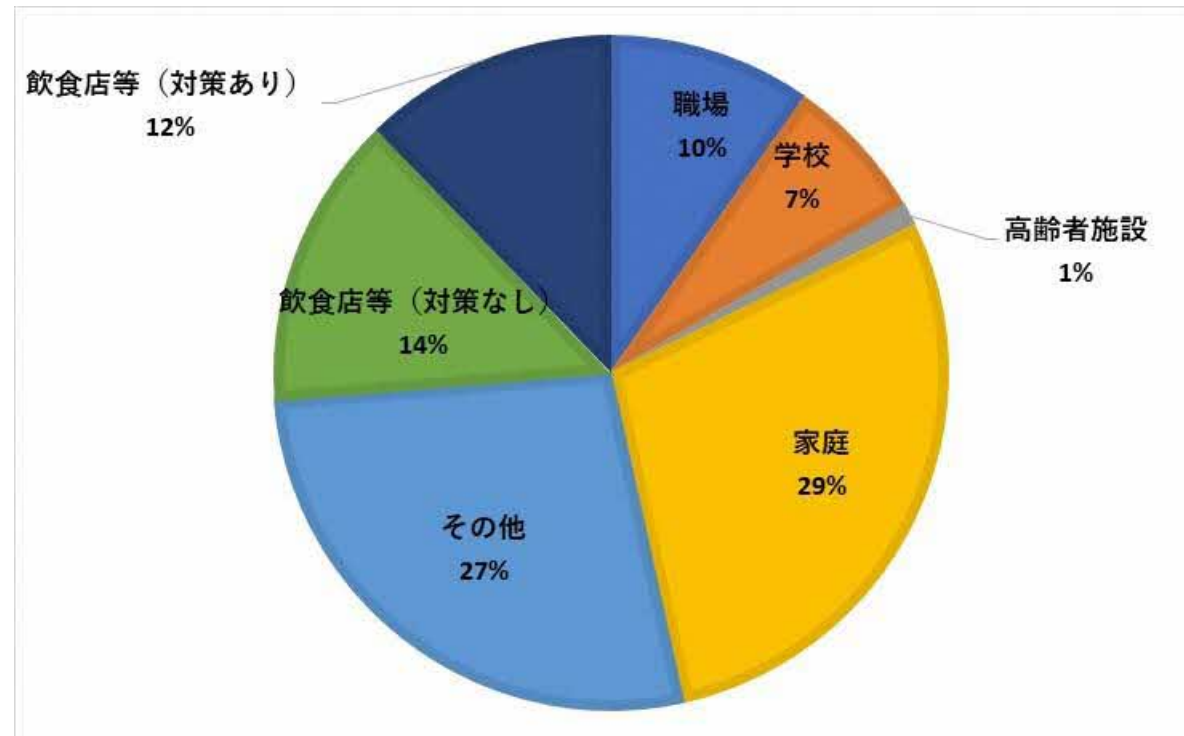
ベースライン（有症者検査率30%）



ベースラインにおける感染経路別感染件数 (有症者検査率70%)



ベースラインにおける感染経路別感染件数 (有症者検査率30%)



①濃厚接触者対策

『追跡強化』シナリオ

仮に、同居者以外を含めて濃厚接触者を積極的に追跡していた場合（第6波以前）

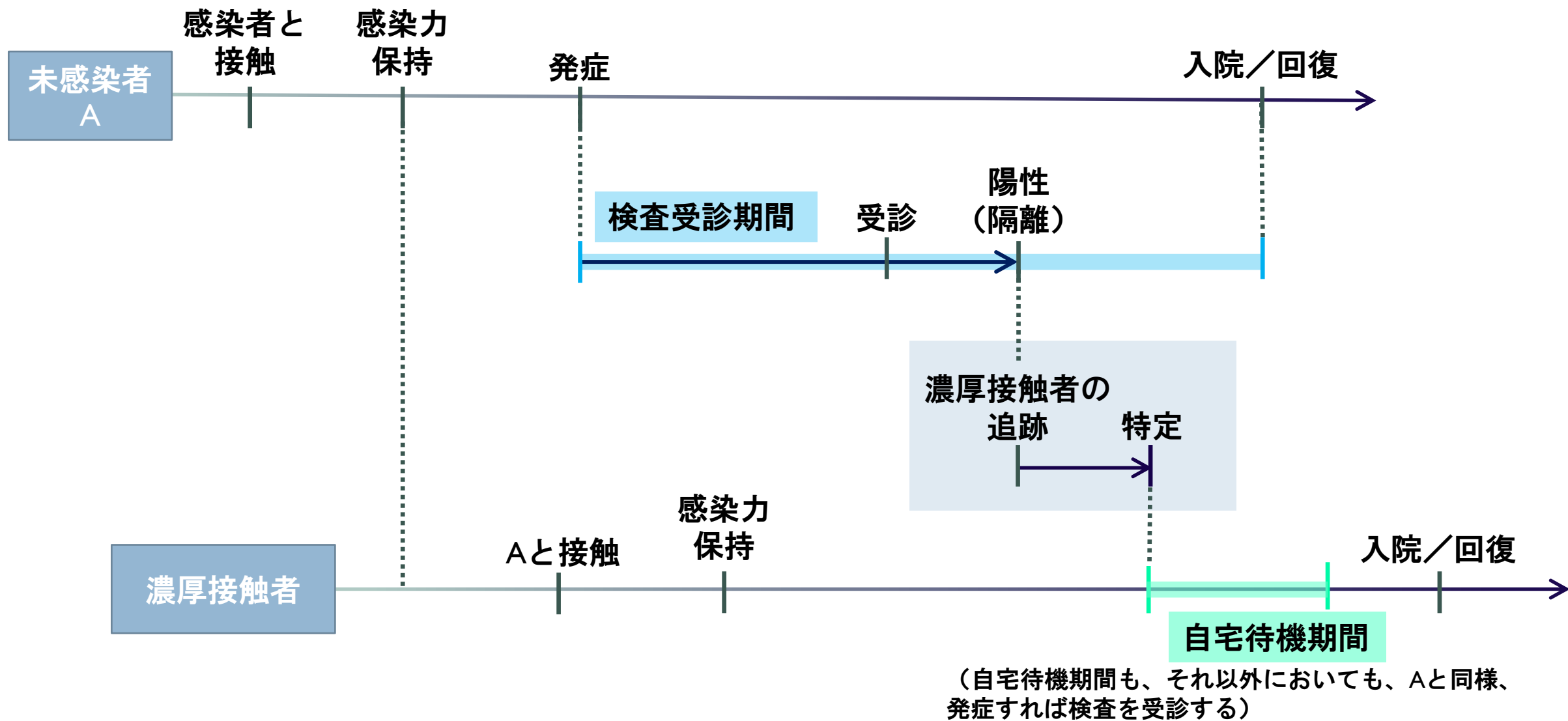
<検査>

- 有症者の一定割合※がPCRまたは抗原検査を受診（※70%または30%）
- 検査の感度は70%
- 受診後、2日後に結果通知 → 陽性者は回復するまで隔離
- 隔離期間中は、一切の接触が絶たれる

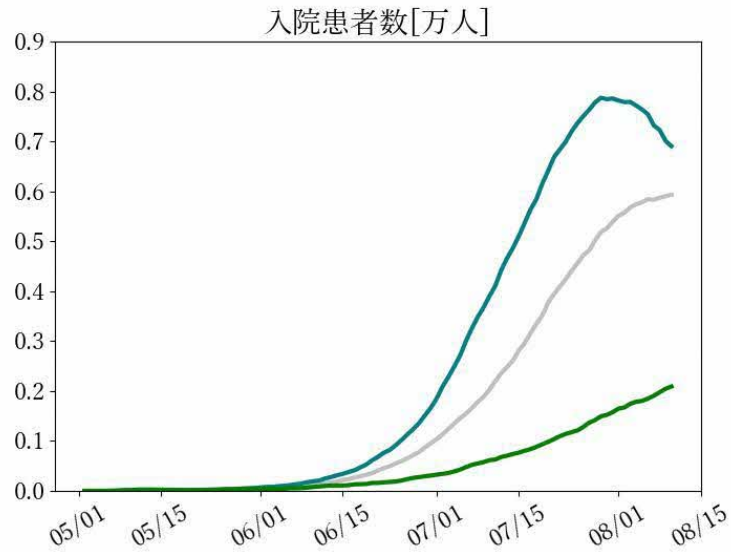
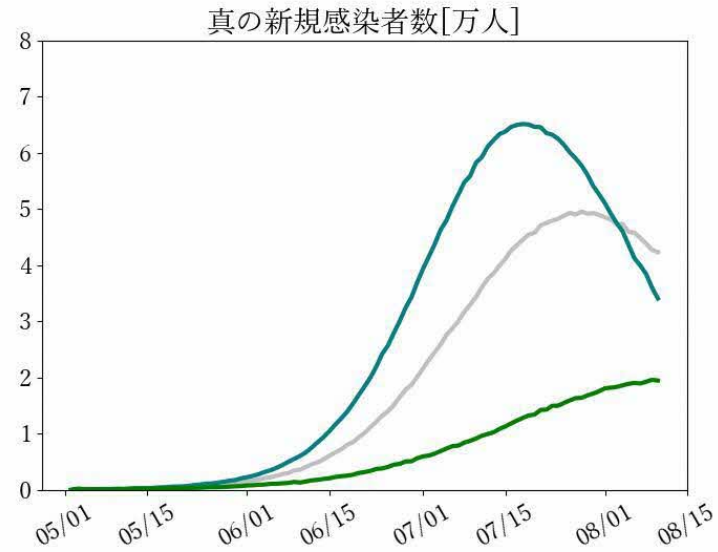
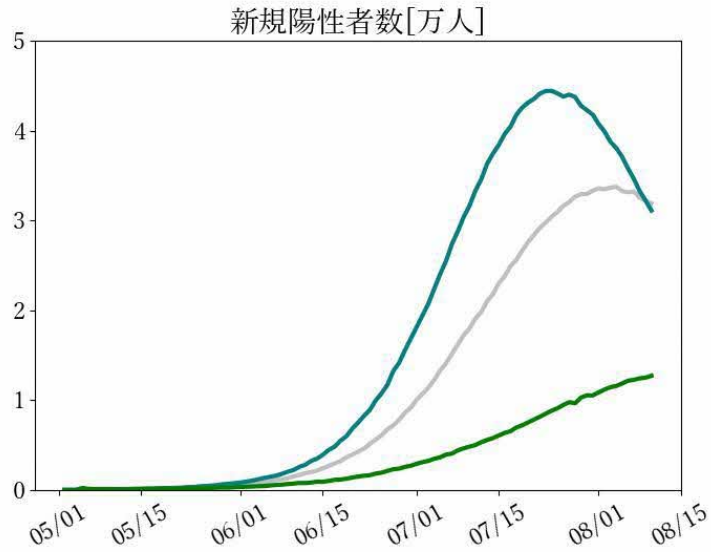
<濃厚接触者の追跡・自宅待機>

- 濃厚接触者の追跡：陽性者について、過去3日間の濃厚接触者の接触を調査
 - 追跡作業の所要日数は、1日
 - 濃厚接触者を特定できる確率は、家庭・高齢者施設で90%、学校・職場で70%、その他で30%
- 特定された濃厚接触者は、隔離に入る
 - 隔離期間は、2日
 - 自宅待機期間中は、家庭と高齢者施設における接触は平時と同様に、それ以外での接触は平時比90%減少

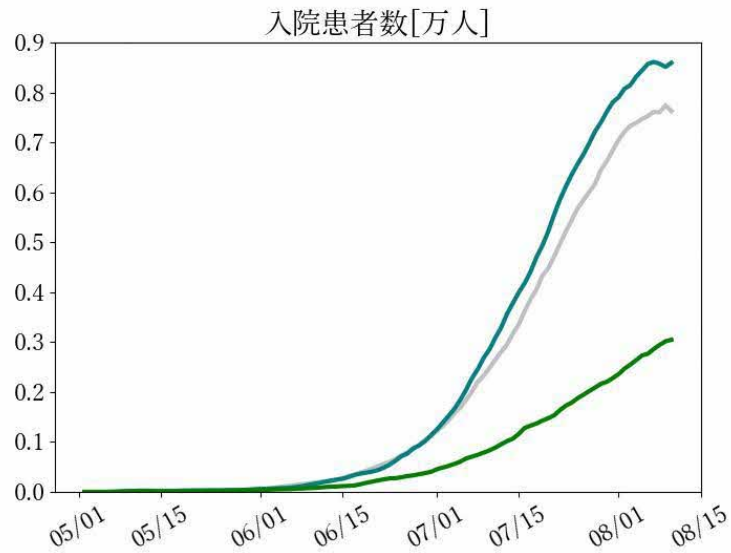
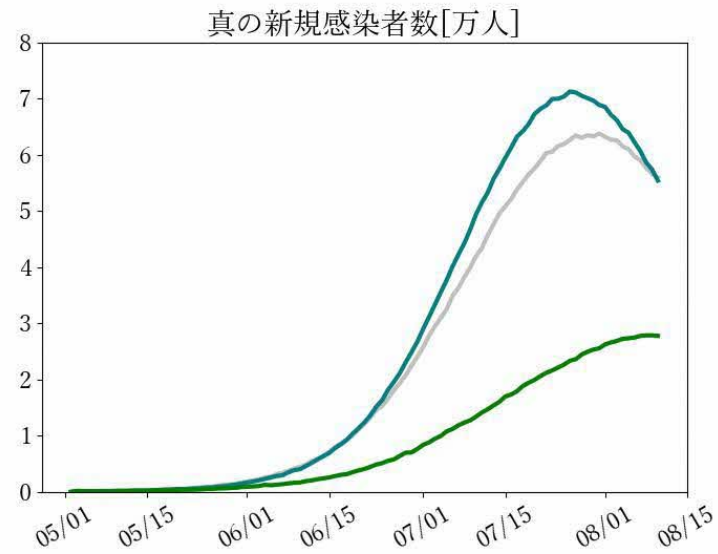
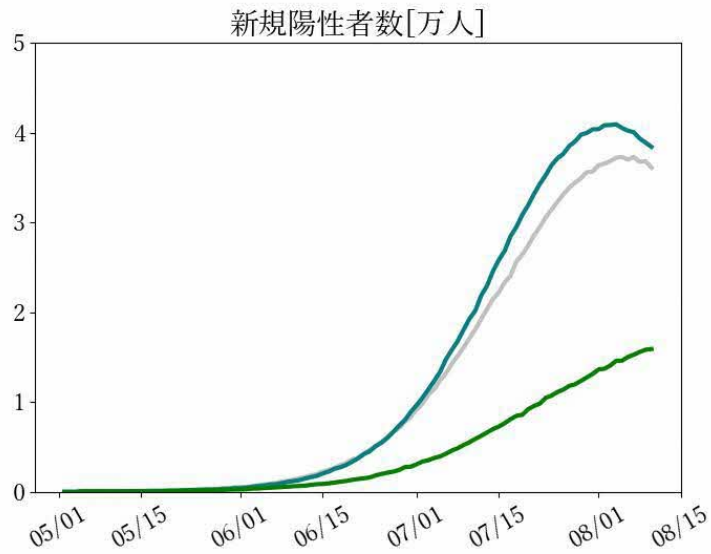
『追跡強化』シナリオにおけるタイムライン



追跡なし／追跡強化（有症者検査率70%）



追跡なし／追跡強化（有症者検査率30%）



②検査

『ベースライン（抗原検査）』シナリオ

仮に、抗原検査のみを実施していた場合

（感度は低いものの、結果が当日に判明する）

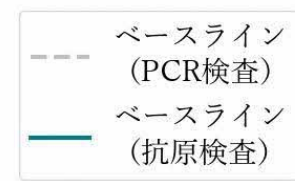
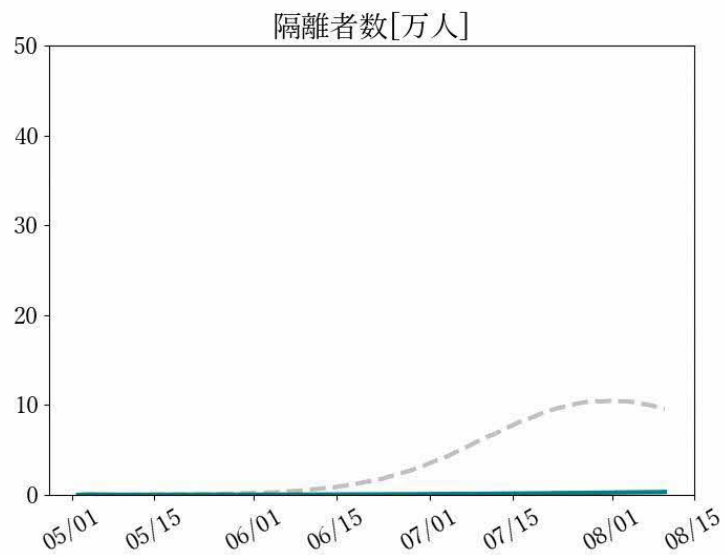
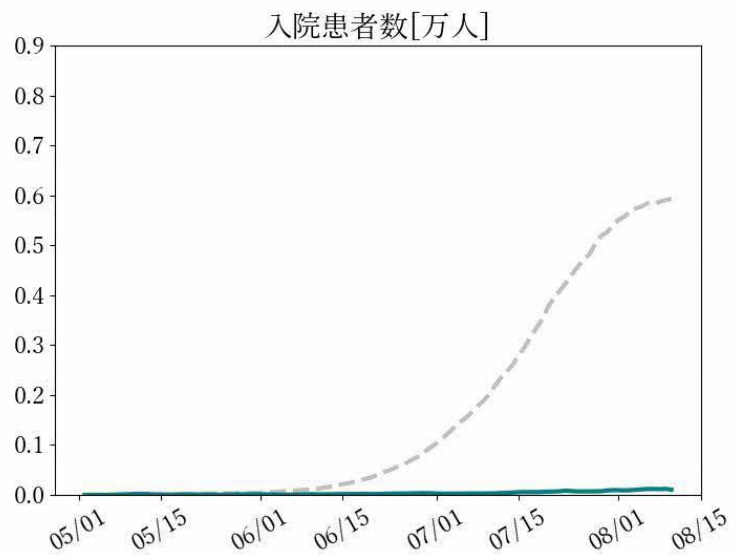
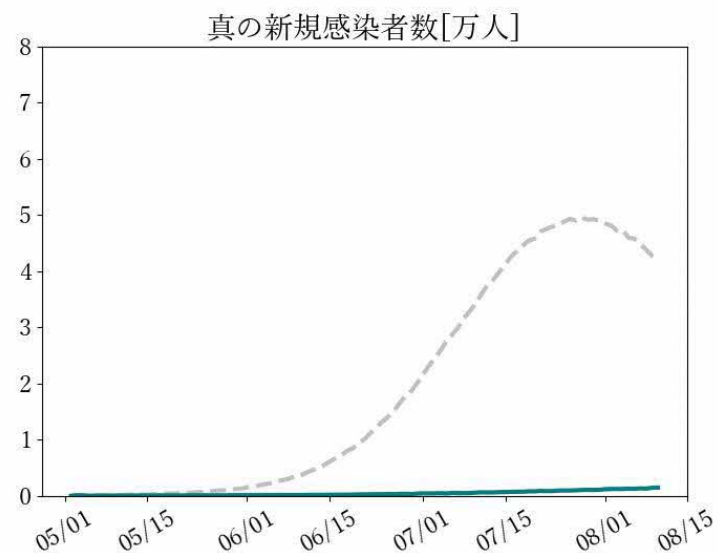
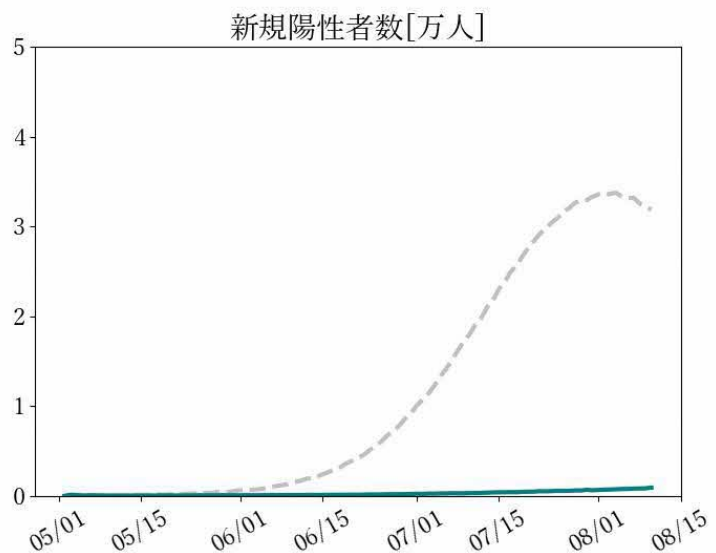
<検査>

- 有症者の一定割合※が抗原検査を受診（※70% または 30%）
- 検査の感度は50%
- 受診後、当日中に結果通知 → 陽性者は翌日から回復するまで隔離
- 隔離期間中は、一切の接触が絶たれる

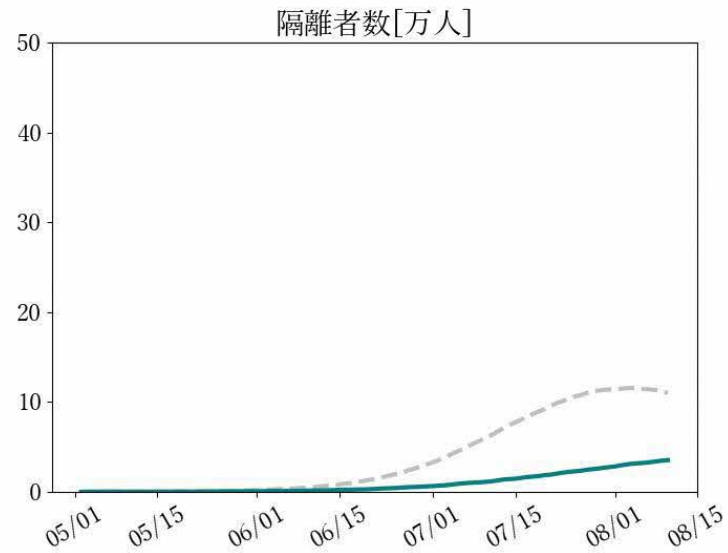
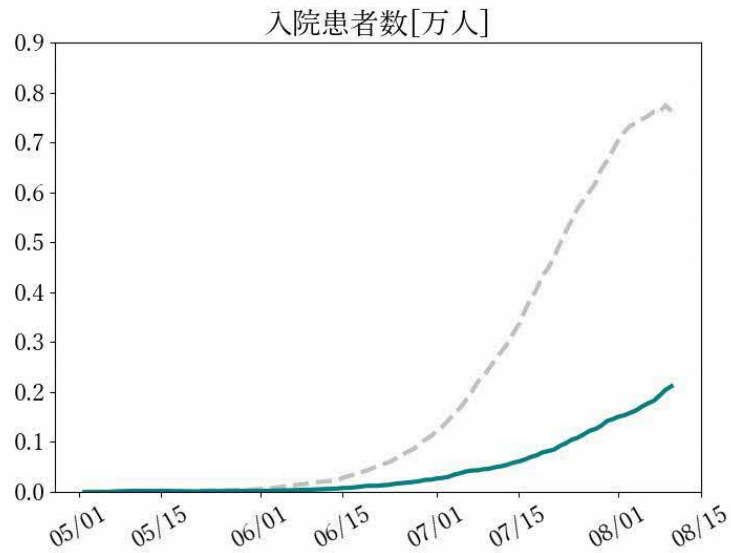
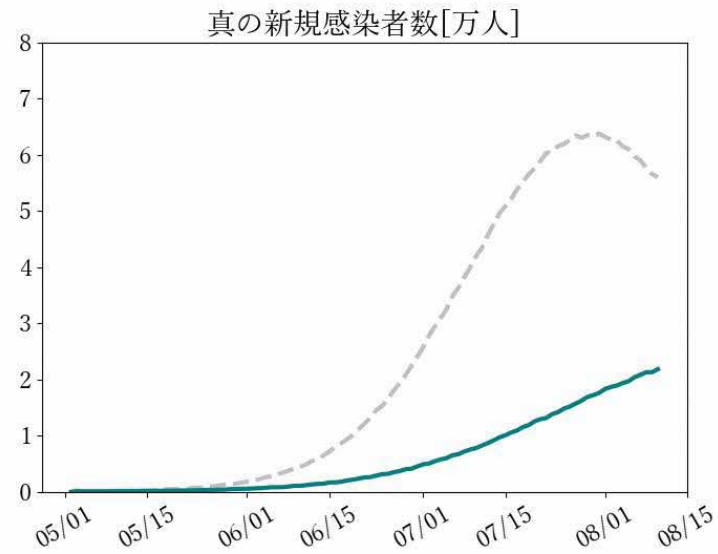
<濃厚接触者の追跡・自宅待機>

- ベースラインと同内容

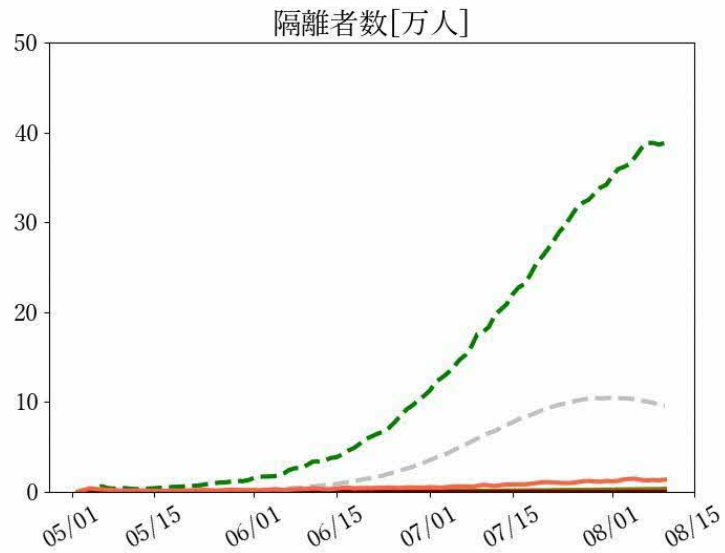
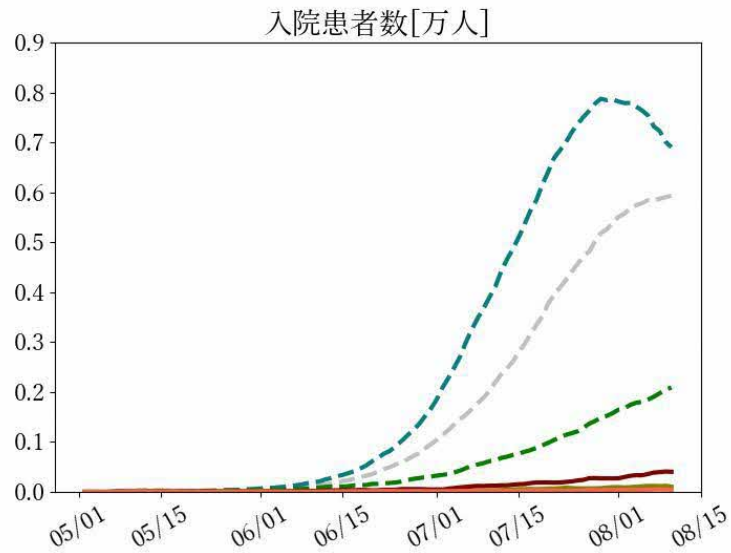
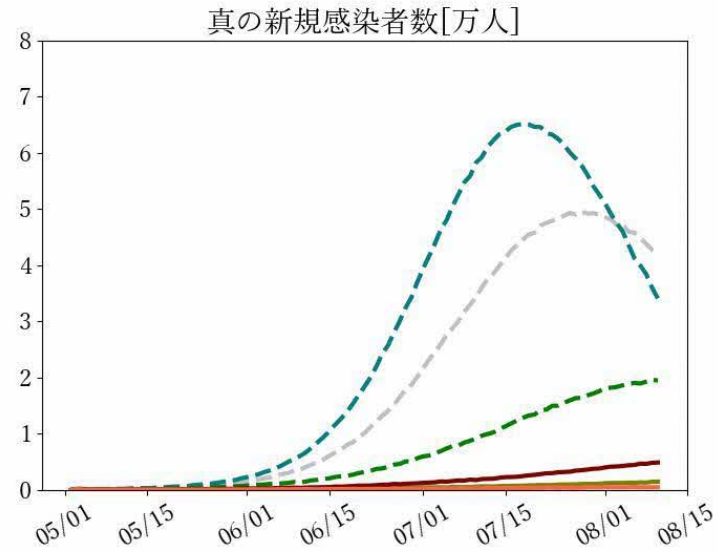
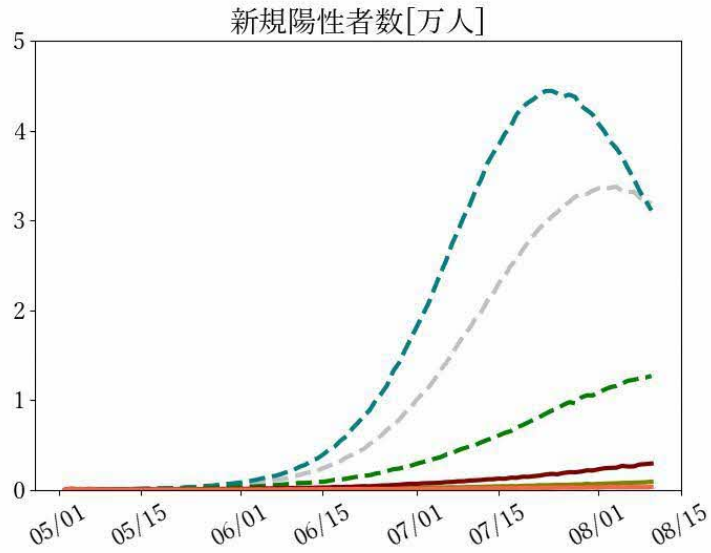
ベースライン（検査種類別）（有症者検査率70%）



ベースライン（検査種別）（有症者検査率30%）

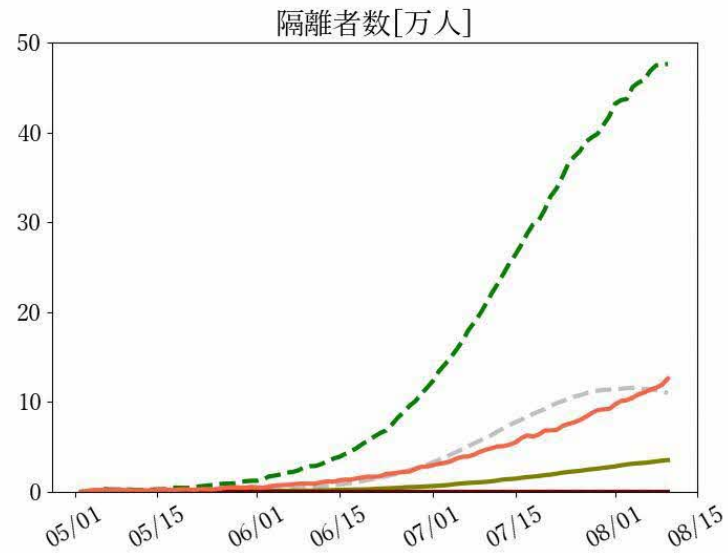
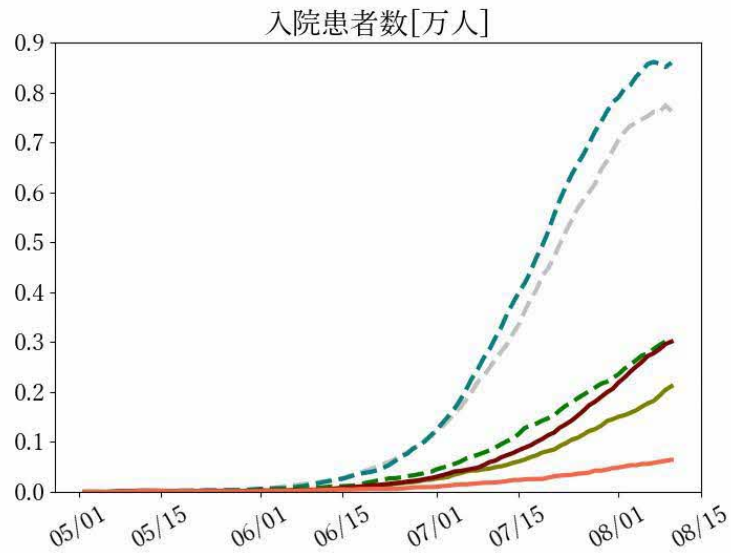
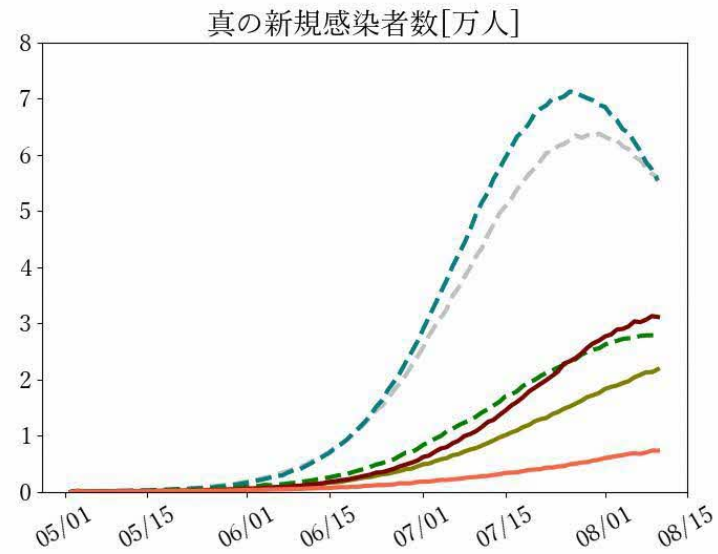
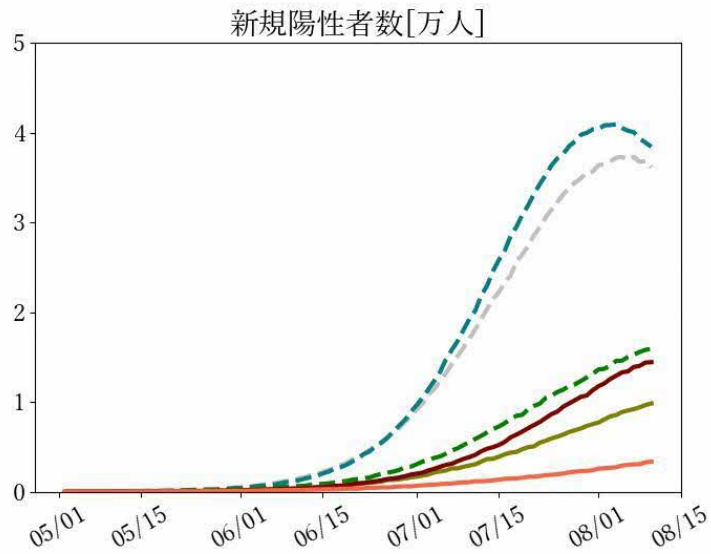


追跡なし／積極追跡（検査種類別、有症者検査率70%）



- ベースライン (PCR検査)
- - - 追跡なし (PCR検査)
- - - 追跡強化 (PCR検査)
- ベースライン (抗原検査)
- 追跡なし (抗原検査)
- 追跡強化 (抗原検査)

追跡なし／積極追跡（検査種類別、有症者検査率30%）



- ベースライン (PCR検査)
- - - 追跡無し (PCR検査)
- - - 追跡強化 (PCR検査)
- ベースライン (抗原検査)
- 追跡無し (抗原検査)
- 追跡強化 (抗原検査)

③検査陽性者の隔離期間

サマリー

- 9月7日、第7波における陽性者の隔離期間が短縮化（有症者の場合、10日→7日に）
<https://www.mhlw.go.jp/content/000987035.pdf>
- 本分析では、エージェント・ベース・モデルを用いた反実仮想実験により、上記対策を評価
『仮に第7波初期から隔離期間を短縮化していた場合、感染拡大はしていたのか』

仮定

- 8月中旬のピーク時までの感染者数・入院患者数にターゲット
- 有症者検査率（値は不明）に関して、①低い場合と②高い場合を考慮

結果

- 隔離期間短縮化の影響は有症者検査率に依存する
- ①有症者検査率が低い場合、隔離期間は7日でも10日でも感染動向がほとんど変わらない
- ②有症者検査率が高い場合、隔離期間を10日から7日すると、感染はやや拡大
 - 入院患者数（日々ベース）が2,000人程度増加

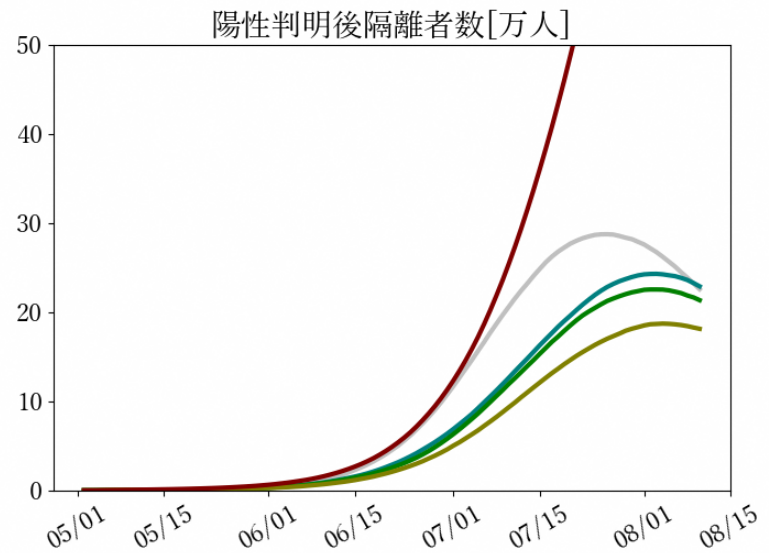
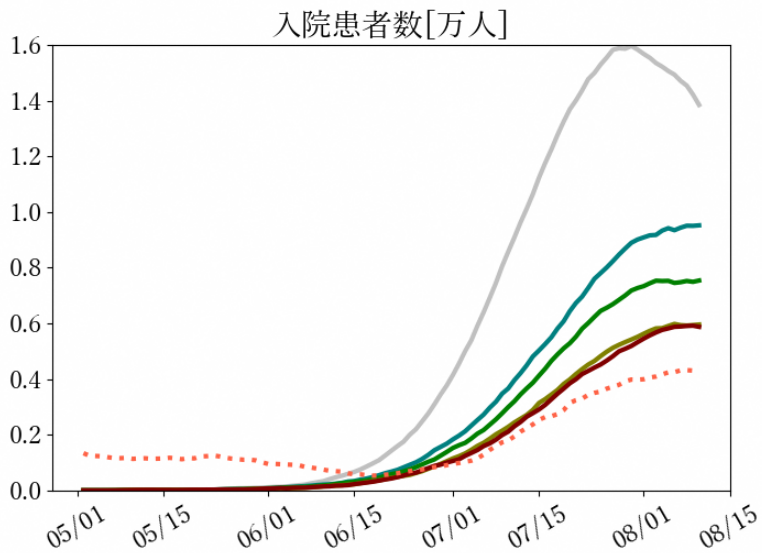
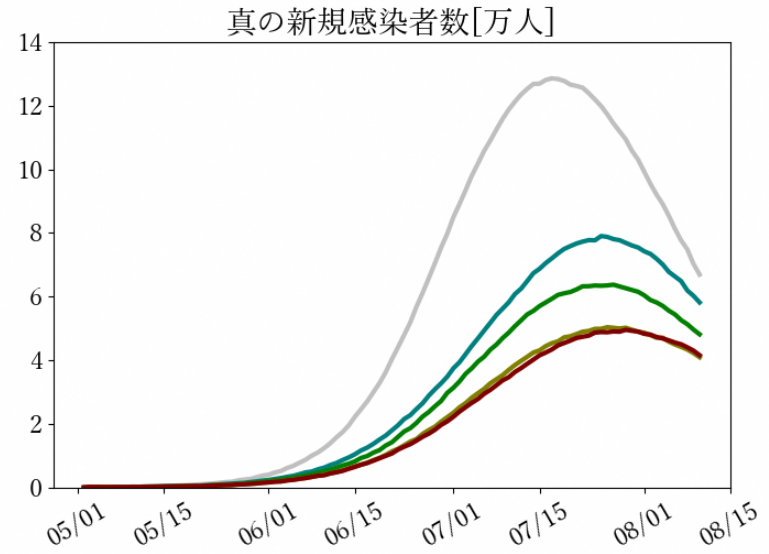
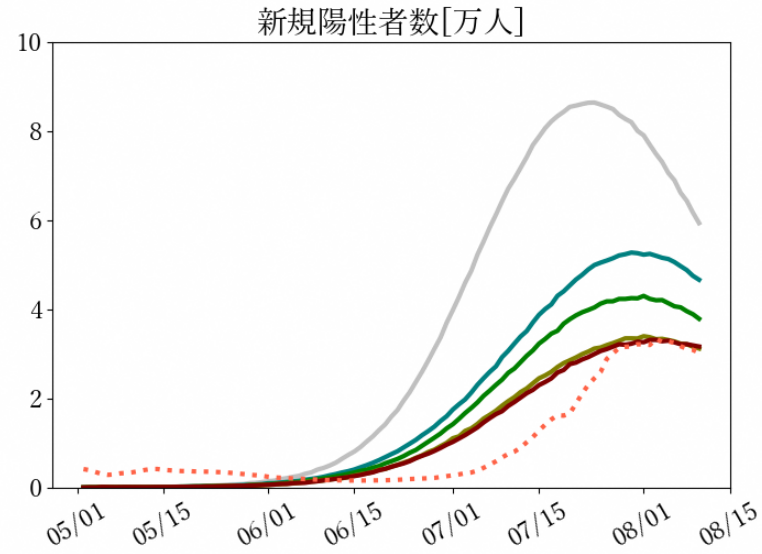
解釈

- 検査の効果は、感染者の特定・隔離によってさらなる感染拡大を防ぐこと
- 陽性者の隔離期間短縮化は、検査の効果を弱める
- 有症者検査率が低い場合、検査の感染動向への寄与度が小さい→隔離期間を短縮化しても全体の感染動向に大きな影響がない

含意

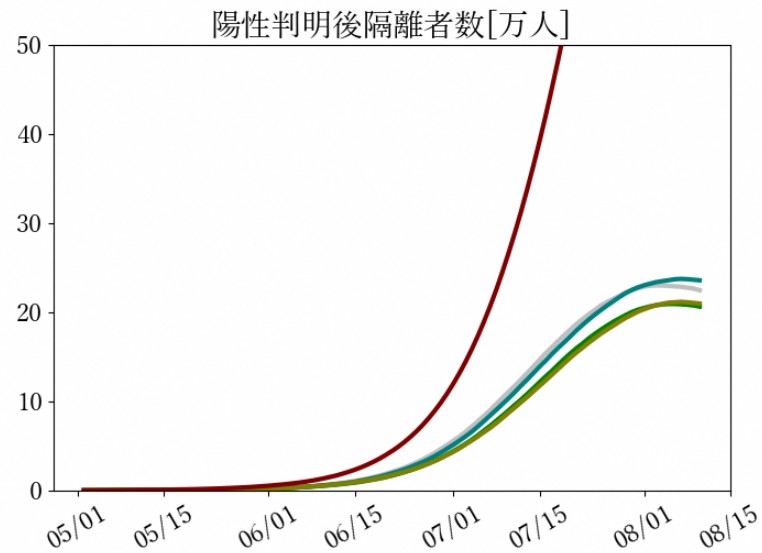
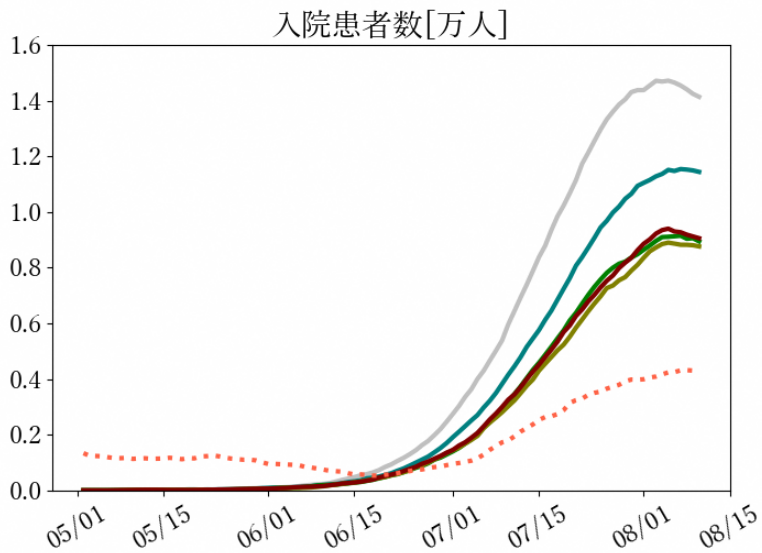
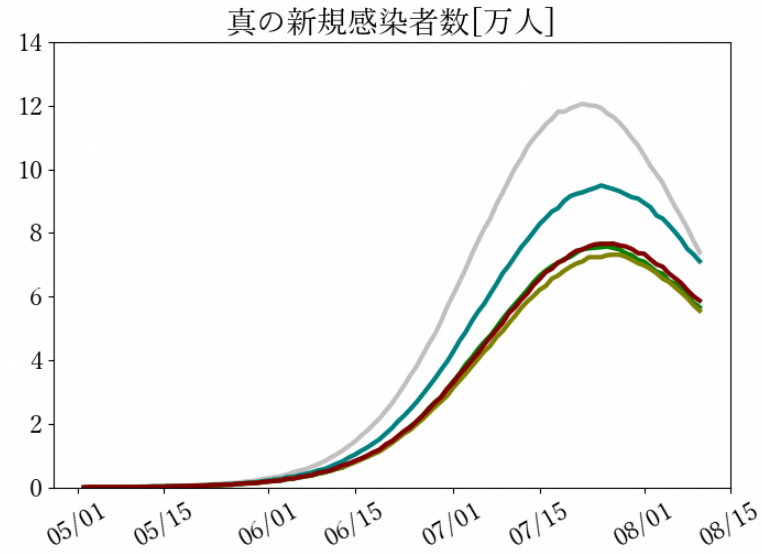
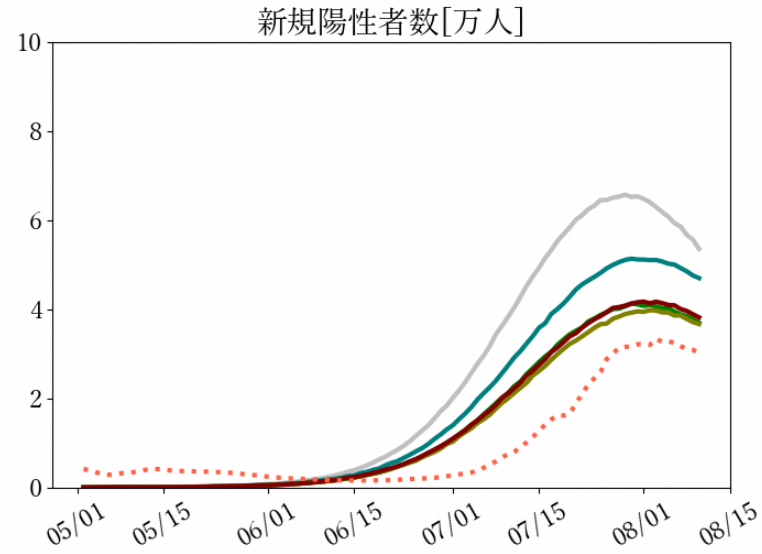
- 8月時点で検査は逼迫（有症者検査率の低下につながる）→隔離期間の短縮化は9月より前に実施していても良かった可能性
- 仮に検査数の拡大により感染拡大を防止するならば、隔離期間の短縮化には慎重になるべき

ベースライン（有症者検査率70%）



- 隔離期間3日
- 隔離期間5日
- 隔離期間7日
- 隔離期間10日
- 隔離期間無制限
- 実際

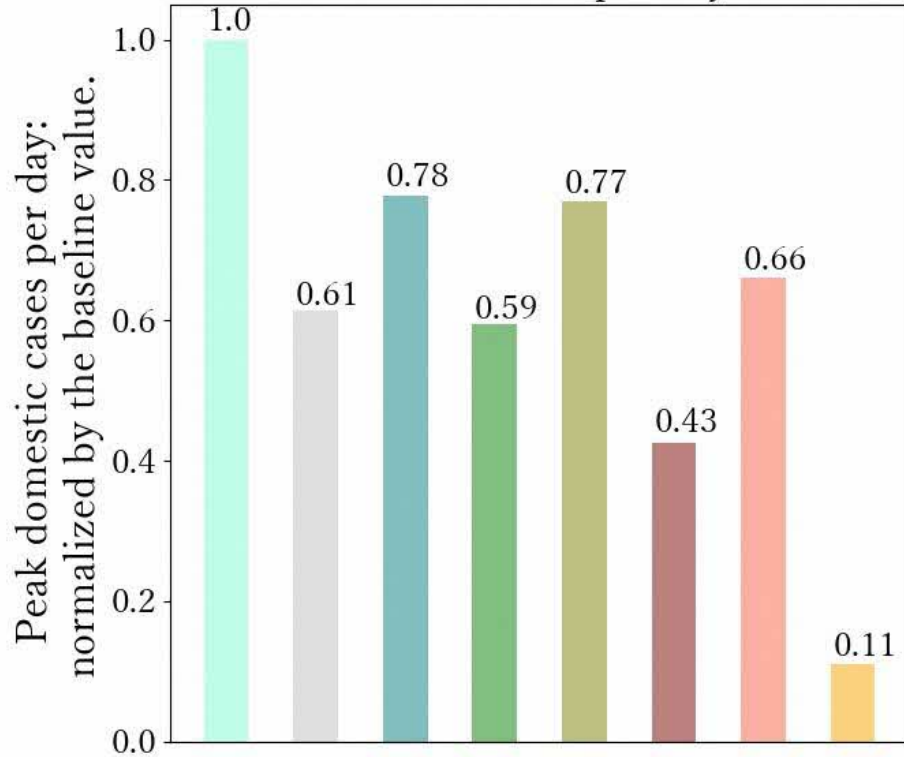
ベースライン（有症者検査率30%）



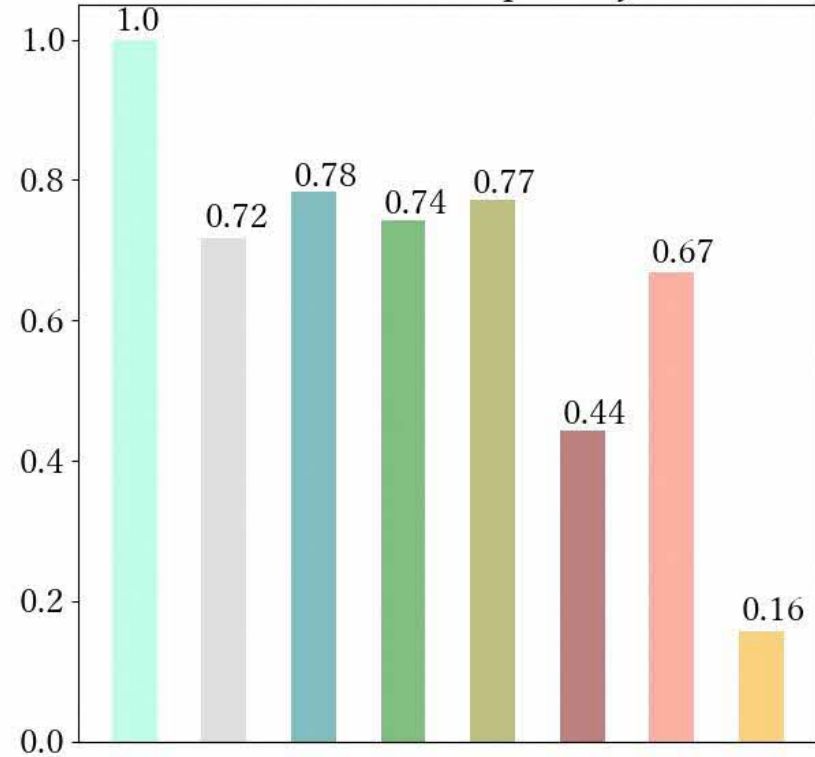
- 隔離期間3日
- 隔離期間5日
- 隔離期間7日
- 隔離期間10日
- 隔離期間無制限
- 実際

時短営業、在宅勤務、長距離移動制限の効果の比較

Initial domestic cases per day is 3000.



Initial domestic cases per day is 9000.



まとめ

- **コロナ対策の効果：実施前の効果の推計の必要性**
- **国勢調査個票データを活用した感染症伝播モデルの構築**
- **分析事例**
 - **東京オリンピック開催の感染拡大への影響度（2021年）**
 - **第7波における検査・隔離政策の事後的評価（2022年）**
 - **時短営業、在宅勤務、長距離移動制限の効果の比較（2020年）**