

新型コロナウイルス (COVID-19) における ウイルス検査率と検査待機日数の影響推定 - Working paper 2020/3/23b rev. 0.1-

Estimating effectiveness of a virus testing rate and the waiting days for 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19)

倉橋節也*

筑波大学ビジネスサイエンス系

Graduate School of Business Sciences, University of Tsukuba

Abstract: This paper implements the infection process of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) in an agent-based model and compares the effectiveness of a virus testing rate and waiting days. In the model, 1,120 virtual residents agents live in two towns where they commute to office or school and visiting stores. The model simulates an infection process in which individuals were exposed to the risk of transmission of the novel coronavirus. In the experiments, 20 types of virus testing rate experiments and 36 types of test waiting days experiments were conducted in the model. As the results of the simulation, an increase in the consultation rate of mildly ill patients, an increase in the rate of virus testing, and a reduction in the test waiting time have the effect of preventing the spread of infection. Therefore, it affects reducing the number of seriously ill patients. On the other hand, it is estimated that this would affect the decline of medical services for critically ill patients.

1 はじめに

先に報告した「新型コロナウイルス (COVID-19) における PCR 検査の効果推定- Working paper 2020/3/23a」[1] に追加して、PCR 法などによるウイルス検査の効果について実験を行ったので、その結果を報告する。現在、新型コロナウイルスの診断方法は、拡散増幅法 (PCR 法) が主に用いられている [2]。有効なワクチンや抗ウイルス薬が開発されていない状況において、この PCR 法による診断法が唯一と言ってよい診断手法となっている。しかし、検査機器の数や検査機関、保健所などの人員制約から、すべての有症患者に対して PCR 法による検査が実施される状況になっていない。陽性者が特定された場合に、その濃厚接触者を追跡する積極的疫学調査のトリガーとなる極めて重要な検査であることから [3]、検査数の制約下において安易にすべての希望者に対して検査を行うことは得策ではない。しかし、この検査の制約が、感染拡大においてどのような影響を及ぼしているのかについて、明確にされていない。そこで、本報告では、PCR 法に代表されるウイルス検査

のカバー率と検査待機日数が与える影響について、考察を行う¹。

2 新型コロナウイルス (COVID-19) モデル

モデルは、先に報告した新型コロナウイルス (COVID-19) モデル [1] を使用した。

モデルには、隣接する 2 つの町があり、それぞれの住民が通勤や通学、商業施設利用などを定期的に行うことを想定している、一つの町には子供のいる四人家族と、大人だけの二人家族が住んでいる。子供のいる四人家族は 100 世帯あり、2 人の親と 2 人の子供によって構成される。大人だけの二人家族は 80 世帯ある。合計で 560 人の住民が住んでいることになる。そして、同じ構成の町がもう一つあり、全体で 1120 人のモデルとなっている。親の 10 % が別の町に通勤し、他の親は日中に自分の町で働く。すべての子供は学校に通っている。医療サービスを提供する共同の病院が一つあり、各町から 5 人、合計 10 人が同じ病院で働いている。通

*連絡先：筑波大学大学院ビジネス科学研究科
〒112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1
E-mail: kurahashi.setsuya.gf @ u.tsukuba.ac.jp

¹rev. 0.1 結果と影響の表を追記した。

勤をする両親のうち半分は電車通勤をしている [5]。二人家族の大人は高齢者を想定しており、通勤はしない。住民の中の大人は、確率 sr で定期的に商業施設やイベント会場などの人混みのある場所を訪れるように定義されている。

シミュレーションの各ラウンドは、住民全体の相互作用で構成されている。実行順序はランダム化され、住民エージェントは順次アクティブ化される。各ラウンドで住民エージェントがアクティブになると、相互作用として隣人との接触率 cr が確率的に発生し、接触した住民エージェントから伝播確率 tr に従って、感染が発生する。ここで、感染が発生する確率を罹患率 ir とし、次のように定義する。

$$ir = cr * tr \quad (1)$$

感染から 12 日間は潜伏期間だが、感染から 8 日後には、潜伏期間中にもかかわらず他者への感染力を持つ。潜伏期間が終了する 13 日目に発熱、咳、下痢などが出現する。発熱後、ベースモデルでは 50% の確率で病院で受診し、自宅待機となる。残りの 50% の感染者は、症状が重くないことから解熱剤などで自己治療し、通勤通学を続ける。感染から 22 日後に、18% の感染者が重篤となり、病院に搬送され入院する。そして、感染から 26 ~ 28 日の期間で 0.4% が死亡する。この死亡率は、中国の湖北省以外の事例を参考にした。湖北省、特に武漢においては、死亡率は 5% を超えるが、これは多数の感染者が一気に発生し、医療体制が追いつかない状態で死者数が急増したと推定されるため、他の地域の死亡率を採用した [4][6]。残りの感染者は回復し、一時的に免疫を獲得するものとした。

3 ウイルス検査率による影響推定

このモデルに対して、発熱し受診した後でのウイルス検査率を変化させて 20 種類のウイルス検査策を策定した。発熱後の検査待機日数は 5 日間に固定した。それぞれの効果を推定するために、1: 対策なし、r1 ~ r5: 有症状者の病院診断率 25% におけるウイルス検査の効果、r6 ~ r10: 有症状者の病院診断率 50% におけるウイルス検査の効果、r11 ~ r15: 有症状者の病院診断率 75% におけるウイルス検査の効果、r16 ~ r20: 有症状者の病院診断率 100% におけるウイルス検査の効果、の 4 カテゴリーに分けて実験を行うこととした。

3.1 ウイルス検査率設定パラメータ

ウイルス検査カバー率を変化させた 20 種類のウイルス検査策を以下に示す。

1: ベース (対策なし)

- r1. 受診 25% PCR20% 発熱時の受診&自宅待機率 25% における有症状者へウイルス検査率 20%
- r2. 受診 25% PCR40% 発熱時の受診&自宅待機率 25% における有症状者へウイルス検査率 40%
- r3. 受診 25% PCR60% 発熱時の受診&自宅待機率 25% における有症状者へウイルス検査率 60%
- r4. 受診 25% PCR80% 発熱時の受診&自宅待機率 25% における有症状者へウイルス検査率 80%
- r5. 受診 25% PCR100% 発熱時の受診&自宅待機率 25% における有症状者へウイルス検査率 100%
- r6. 受診 50% PCR20% 発熱時の受診&自宅待機率 50% における有症状者へウイルス検査率 20%
- r7. 受診 50% PCR40% 発熱時の受診&自宅待機率 50% における有症状者へウイルス検査率 40%
- r8. 受診 50% PCR60% 発熱時の受診&自宅待機率 50% における有症状者へウイルス検査率 60%
- r9. 受診 50% PCR80% 発熱時の受診&自宅待機率 50% における有症状者へウイルス検査率 80%
- r10. 受診 50% PCR100% 発熱時の受診&自宅待機率 50% における有症状者へウイルス検査率 100%
- r11. 受診 75% PCR20% 発熱時の受診&自宅待機率 75% における有症状者へウイルス検査率 20%
- r12. 受診 75% PCR40% 発熱時の受診&自宅待機率 75% における有症状者へウイルス検査率 40%
- r13. 受診 75% PCR60% 発熱時の受診&自宅待機率 75% における有症状者へウイルス検査率 60%
- r14. 受診 75% PCR80% 発熱時の受診&自宅待機率 75% における有症状者へウイルス検査率 80%
- r15. 受診 75% PCR100% 発熱時の受診&自宅待機率 75% における有症状者へウイルス検査率 100%
- r16. 受診 100% PCR20% 発熱時の受診&自宅待機率 100% における有症状者へウイルス検査率 20%
- r17. 受診 100% PCR40% 発熱時の受診&自宅待機率 100% における有症状者へウイルス検査率 40%
- r18. 受診 100% PCR60% 発熱時の受診&自宅待機率 100% における有症状者へウイルス検査率 60%
- r19. 受診 100% PCR80% 発熱時の受診&自宅待機率 100% における有症状者へウイルス検査率 80%

r20. 受診 100%PCR100% 発熱時の受診&自宅待機率 100%における有症状者へウイルス検査率 100%

表 1 に、それぞれの対策の設定パラメータを示す。他の設定パラメータは、ベースモデル(対策なし)を用いた(表 2)。

3.2 ウイルス検査率によるシミュレーション実施結果

これらのパラメータを使用して、それぞれの対策毎に 100 回のシミュレーションを実施した。それぞれの試行で一様分布の乱数シードを変更する確率変数の対象は、最初の 1 名の感染者の属性と住居、通勤先の職場内の座席位置、通学先の学校内の座席位置、通勤電車内の乗車位置、商業施設(イベント会場)内の訪問位置、病院内の在室位置とした。

ウイルス検査カバー率の影響を比較したシミュレーション実験結果を表 3、表 4、図 1、図 2 に示す。

1:ベース(対策なし)と比較して、r1~r5, r6~r10, r11~r15, r16~r20 のそれぞれにおいて、発熱後の受診率&自宅待機率を 25%から 100%へ増加させるのにつれて、1 日当たりの重度入院者数が減少してきている。一方で、r5:受診&自宅待機率 25%PCR 検査率 100%, r9:受診&自宅待機率 50%PCR 検査率 80%, r10:受診&自宅待機率 50%PCR 検査率 100%, r14:受診&自宅待機率 75%PCR 検査率 80%, r15:受診&自宅待機率 75%PCR 検査率 100%において、軽度入院者数と重度入院者数の総数が、対策なしの場合より増加している。最大値の比較においても同様の傾向である。これは、軽度入院者数の増加が重度入院者数の減少を大幅に上回った結果であり、例えば r10 においては、中央値において 1.91 倍、最大値において 1.84 倍、r15 においては、中央値において 2.19 倍、最大値において 2.25 倍の増加となっている。

4 ウイルス検査待機日数による影響推定

次に、発熱し受診した後でのウイルス検査待機日数を変化させて 36 種類のウイルス検査策を策定した。発熱後の検査待機日数は 1 日, 3 日, 5 日, 7 日とし、それぞれ、ウイルス検査(PCR)率を 20%, 60%, 100%に変化させた。それぞれの効果を推定するために、1:対策なし, d1~r12: 有症状者の病院診断率 25%におけるウイルス検査の効果, d13~r24: 有症状者の病院診断率 50%におけるウイルス検査待機日数の効果, r25~r36: 有症状者の病院診断率 75%におけるウイルス検査待機

日数の効果の 3 カテゴリーに分けて実験を行うこととした。

4.1 ウイルス検査待機日数モデルパラメータ

ウイルス検査待機日数を変化させた 36 種類のウイルス検査策を以下に示す。

1:ベース(対策なし)

w1. 受診 25%PCR20%d1 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 1 日

w2. 受診 25%PCR60%d1 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 1 日

w3. 受診 25%PCR100%d1 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 1 日

w4. 受診 25%PCR20%d3 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 3 日

w5. 受診 25%PCR60%d3 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 3 日

w6. 受診 25%PCR100%d3 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 3 日

w7. 受診 25%PCR20%d5 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 5 日

w8. 受診 25%PCR60%d5 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 5 日

w9. 受診 25%PCR100%d5 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 5 日

w10. 受診 25%PCR20%d7 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 7 日

w11. 受診 25%PCR60%d7 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 7 日

w12. 受診 25%PCR100%d7 発熱時の受診&自宅待機率 25%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 7 日

w13. 受診 50%PCR20%d1 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 1 日

w14. 受診 50%PCR60%d1 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 1 日

w15. 受診 50%PCR100%d1 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 1 日

w16. 受診 50%PCR20%d3 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 3 日

表 1: ウイルス検査率モデルパラメータ

対策	1:ベース (対策なし)	r1:受診 25%PCR	r2:受診 25%PCR	r3:受診 25%PCR	r4:受診 25%PCR	r5:受診 25%PCR	r6:受診 50%PCR	r7:受診 50%PCR	r8:受診 50%PCR	r9:受診 50%PCR	r10:受診 50%PCR
発熱後受診&自宅待機率	50%	25%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%
PCR 検査待機日数	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
PCR 検査カバー率	0.5	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
対策	r11:受診 20%PCR	r12:受診 40%PCR	r13:受診 60%PCR	r14:受診 80%PCR	r15:受診 100%PCR	r16:受診 20%PCR	r17:受診 40%PCR	r18:受診 60%PCR	r19:受診 80%PCR	r20:受診 100%PCR	
発熱後受診&自宅待機率	75%	75%	75%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	
PCR 検査待機日数	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
PCR 検査カバー率	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.0	

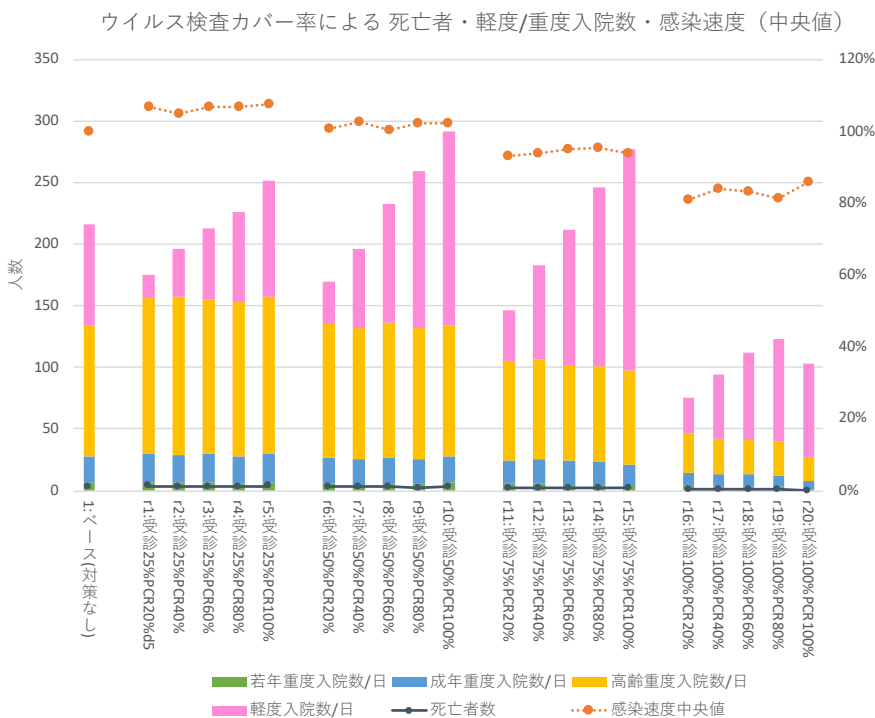


図 1: ウイルス検査率による死亡者・軽度/重度入院者数/日・相対感染速度（中央値）の影響比較

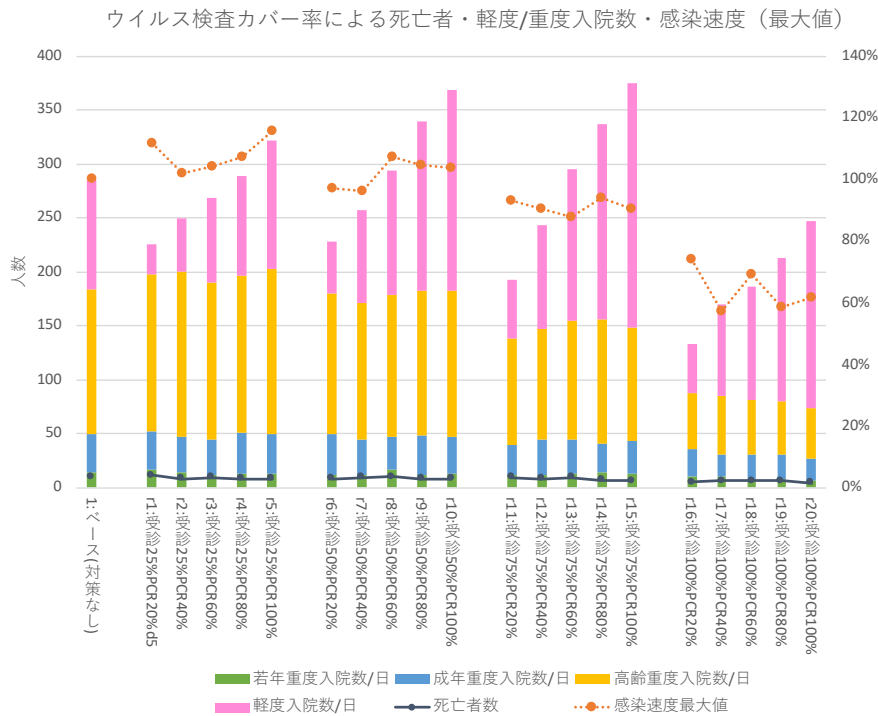


図 2: ウイルス検査率による死亡者・軽度/重度入院者数/日・相対感染速度（最大値）の影響比較

表 2: 基本モデルパラメータ	
パラメータ名	設定値
テレワーク	0.00
学校閉鎖	0.00
発熱後自宅待機	0.50
時差通勤	-
店舗等外出/日	0.50
電車接触率	0.07
職場学校接触率	0.13
店舗接触率	0.07
自宅接触率	0.41

- w17. 受診 50%PCR60%d3 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 3 日
- w18. 受診 50%PCR100%d3 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 3 日
- w19. 受診 50%PCR20%d5 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 5 日
- w20. 受診 50%PCR60%d5 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 5 日
- w21. 受診 50%PCR100%d5 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 5 日

- w22. 受診 50%PCR20%d7 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 7 日
- w23. 受診 50%PCR60%d7 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 7 日
- w24. 受診 50%PCR100%d7 発熱時の受診&自宅待機率 50%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 7 日
- w25. 受診 75%PCR20%d1 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 1 日
- w26. 受診 75%PCR60%d1 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 1 日
- w27. 受診 75%PCR100%d1 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 1 日
- w28. 受診 75%PCR20%d3 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 3 日
- w29. 受診 75%PCR60%d3 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 3 日
- w30. 受診 75%PCR100%d3 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 3 日
- w31. 受診 75%PCR20%d5 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 5 日

表 3: ウイルス検査率シミュレーション結果

		1:ベース (対策なし)	r1:受診 25%PCR 20%	r2:受診 25%PCR 40%	r3:受診 25%PCR 60%	r4:受診 25%PCR 80%	r5:受診 25%PCR 100%	r6:受診 50%PCR 20%	r7:受診 50%PCR 40%	r8:受診 50%PCR 60%	r9:受診 50%PCR 80%	r10:受診 50%PCR 100%
死亡者数	中央値	3	4	3	3	3	4	3	3	3	2	3
	最大値	9	11	8	9	8	8	8	9	10	8	8
終息日数	中央値	138	129	131	129	129	128	137	134	137	135	135
	最大値	175	157	172	168	163	151	180	182	163	167	169
軽度入院数/日	中央値	82	19	39	58	73	94	34	65	97	128	157
	最大値	101	28	50	79	93	118	48	86	116	156	186
重度入院数/日	中央値	130	152	154	151	151	151	133	133	132	130	132
	最大値	158	174	182	181	172	188	161	157	155	160	159
若年重度入院数/日	中央値	7	7	7	7	6	7	6	5	6	6	7
	最大値	14	16	14	12	13	13	12	12	16	12	13
成年重度入院数/日	中央値	21	23	22	23	22	23	21	20	21	20	21
	最大値	35	36	33	33	38	37	37	32	31	36	34
高齢重度入院数/日	中央値	106	126	128	126	125	127	108	107	109	106	107
	最大値	135	145	153	145	145	153	131	127	131	135	135
		r11:受診 75%PCR 20%	r12:受診 75%PCR 40%	r13:受診 75%PCR 60%	r14:受診 75%PCR 80%	r15:受診 75%PCR 100%	r16:受診 100%PCR 20%	r17:受診 100%PCR 40%	r18:受診 100%PCR 60%	r19:受診 100%PCR 80%	r20:受診 100%PCR 100%	
死亡者数	中央値	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	
	最大値	9	8	9	7	6	5	6	6	6	4	
終息日数	中央値	148	147	145	144	147	170	164	166	170	161	
	最大値	188	194	199	186	194	236	305	253	300	284	
軽度入院数/日	中央値	41	77	110	146	180	29	52	71	83	77	
	最大値	55	96	140	181	227	45	85	105	133	173	
重度入院数/日	中央値	100	103	101	98	97	47	44	40	39	29	
	最大値	127	125	135	141	125	71	69	68	64	60	
若年重度入院数/日	中央値	6	6	5	5	5	4	3	3	3	1	
	最大値	12	11	13	14	13	10	10	8	8	7	
成年重度入院数/日	中央値	18	19	19	18	16	11	10	10	9	7	
	最大値	27	34	32	27	30	25	21	22	22	20	
高齢重度入院数/日	中央値	81	81	78	78	77	32	30	28	28	19	
	最大値	99	102	110	115	105	53	54	51	50	47	

表 4: ベースに対するウイルス検査率の影響 (比)

		1:ベース (対策なし)	r1:受診 25%PCR 20%	r2:受診 25%PCR 40%	r3:受診 25%PCR 60%	r4:受診 25%PCR 80%	r5:受診 25%PCR 100%	r6:受診 50%PCR 20%	r7:受診 50%PCR 40%	r8:受診 50%PCR 60%	r9:受診 50%PCR 80%	r10:受診 50%PCR 100%
死亡者数	中央値	1.00	1.17	1.00	1.00	1.00	1.17	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00
	最大値	1.00	1.22	0.89	1.00	0.89	0.89	0.89	1.00	1.11	0.89	0.89
終息日数	中央値	1.00	0.94	0.95	0.94	0.94	0.93	0.99	0.97	1.00	0.98	0.98
	最大値	1.00	0.90	0.98	0.96	0.93	0.86	1.03	1.04	0.93	0.95	0.97
軽度入院数/日	中央値	1.00	0.23	0.48	0.71	0.89	1.15	0.41	0.79	1.18	1.55	1.91
	最大値	1.00	0.28	0.50	0.78	0.92	1.17	0.48	0.85	1.15	1.54	1.84
重度入院数/日	中央値	1.00	1.17	1.18	1.16	1.16	1.16	1.02	1.02	1.02	1.00	1.02
	最大値	1.00	1.10	1.15	1.15	1.09	1.19	1.02	0.99	0.98	1.01	1.01
若年重度入院数/日	中央値	1.00	1.00	1.00	0.93	0.86	1.00	0.86	0.71	0.86	0.86	0.93
	最大値	1.00	1.14	1.00	0.86	0.93	0.93	0.86	0.86	1.14	0.86	0.93
成年重度入院数/日	中央値	1.00	1.10	1.05	1.10	1.05	1.10	1.00	0.95	1.00	0.95	1.00
	最大値	1.00	1.03	0.94	0.94	1.09	1.06	1.06	0.91	0.89	1.03	0.97
高齢重度入院数/日	中央値	1.00	1.19	1.21	1.18	1.17	1.20	1.02	1.01	1.03	1.00	1.01
	最大値	1.00	1.07	1.13	1.07	1.07	1.13	0.97	0.94	0.97	1.00	1.00
		r11:受診 75%PCR 20%	r12:受診 75%PCR 40%	r13:受診 75%PCR 60%	r14:受診 75%PCR 80%	r15:受診 75%PCR 100%	r16:受診 100%PCR 20%	r17:受診 100%PCR 40%	r18:受診 100%PCR 60%	r19:受診 100%PCR 80%	r20:受診 100%PCR 100%	
死亡者数	中央値	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00	
	最大値	1.00	0.89	1.00	0.78	0.67	0.56	0.67	0.67	0.67	0.44	
終息日数	中央値	1.08	1.07	1.05	1.05	1.07	1.24	1.19	1.20	1.23	1.17	
	最大値	1.07	1.11	1.14	1.06	1.11	1.35	1.74	1.45	1.71	1.62	
軽度入院数/日	中央値	0.50	0.93	1.34	1.78	2.19	0.35	0.63	0.87	1.01	0.93	
	最大値	0.54	0.95	1.39	1.79	2.25	0.45	0.84	1.04	1.32	1.71	
重度入院数/日	中央値	0.77	0.79	0.78	0.75	0.75	0.36	0.34	0.30	0.30	0.22	
	最大値	0.80	0.79	0.85	0.89	0.79	0.45	0.44	0.43	0.41	0.38	
若年重度入院数/日	中央値	0.86	0.86	0.71	0.71	0.71	0.57	0.43	0.43	0.43	0.14	
	最大値	0.86	0.79	0.93	1.00	0.93	0.71	0.71	0.57	0.57	0.50	
成年重度入院数/日	中央値	0.86	0.90	0.90	0.86	0.76	0.52	0.48	0.48	0.43	0.33	
	最大値	0.77	0.97	0.91	0.77	0.86	0.71	0.60	0.63	0.63	0.57	
高齢重度入院数/日	中央値	0.76	0.76	0.73	0.73	0.72	0.30	0.28	0.26	0.26	0.18	
	最大値	0.73	0.76	0.81	0.85	0.78	0.39	0.40	0.38	0.37	0.35	

w32. 受診 75%PCR60%d5 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 5 日

w33. 受診 75%PCR100%d5 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 5 日

w34. 受診 75%PCR20%d7 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 20%, 検査待機 7 日

w35. 受診 75%PCR60%d7 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 60%, 検査待機 7 日

w36. 受診 75%PCR100%d7 発熱時の受診&自宅待機率 75%, ウイルス検査率 100%, 検査待機 7 日

表 5 に, それぞれの対策の設定パラメータを示す. 他の設定パラメータは, ベースモデル(対策なし)を用いた(表 2)。

4.2 ウイルス検査待機日数によるシミュレーション実施結果

これらのパラメータを使用して, それぞれの対策毎に 100 回のシミュレーションを実施した. それぞれの試行で一様分布の乱数シードを変更する確率変数の対象は, 最初の 1 名の感染者の属性と住居, 通勤先の職場内の座席位置, 通学先の学校内の座席位置, 通勤電車内の乗車位置, 商業施設(イベント会場)内の訪問位置, 病院内の在室位置とした。

ウイルス検査待機日数の影響を比較したシミュレーション実験結果を表 6, 表 7, 図 3, 図 4 に示す。

1:ベース(対策なし)と比較して, 発熱後の受診率&自宅待機率 25%に設定した w1~w12 は, 1 日当たりの重度入院者数が増加している. 一方で, 発熱後の受診率&自宅待機率 75%に設定した w25~w36 は 1 日当たりの重度入院者数が減少している. これは, 受診率の影響によるものと考えられる. 同じ受診率の中で比較してみると, ウイルス検査率が 20%から 60%, 100%と増加するにつれて, 軽度入院者数が増加している. これは, 前章で確認した受診率の影響となる. 一方で, 検査待機日数が 1 日から 3 日, 5 日, 7 日を増加すると, 軽度入院者数が減少している. その変化は, 待機 1 日の w14 と待機 7 日の w23 において 43%の減少率となっている。

5 議論

どのようなメカニズムで, それぞれのウイルス検査策の影響が現れるのかを検討する. 図 1, 図 2 から, 発熱後の受診率&自宅待機率の増加が 1 日当たりの重度入院者数の減少に影響していることが示されたが, そ

の原因としては, 発熱時の受診率の増加によって自宅待機率および陽性判定後の入院率の増加に影響し, それが総感染者数の減少とその結果としての重度入院者数も減少したものと考えられる. また, 受診率の増加に伴い軽度入院者数/日が増加しているのは, 感染者をより高い率で発見していることによる. この図で示した軽度入院者数は総感染者数ではないため, 受診率が低い場合は, 市中に不顕生あるいは軽度の感染者が多数いることを示唆している。

図 3, 図 4 から, 検査待機日数が 1 日から 3 日, 5 日, 7 日を増加すると, 軽度入院者数/日が減少していることを確認した. その原因としては, 検査待機日数が増え自宅待機期間が伸びることで, その間に自然治癒に向かう軽度の感染者が増加するためと考えられる. 一方で, 自宅待機中に家族に感染させてしまうリスクも高くなるが, その差は待機 1 日の w14 と待機 7 日の w23 において 5%程度の増加であり, 予想以下である. 自宅待機の効果は大きいものと思われる。

これらを総合すると, ウイルス検査率の増加と検査待機時間の短縮は, 重度入院者数/日の減少には強くは結び付かず, 逆に軽度入院者数/日の増加に影響すると言える. 一方で, 発熱時の受診率は 50%近辺で最も入院者を増やす傾向にあり, 75%以上に受診率を増加させることが, 重度入院者数を減らすためには効果的である. しかし, 新型コロナウイルスの場合, 不顕生感染者の割合が 50%近くに達することが, ダイヤモンドプリンセス号の分析によって示されており, さらにはより多くの若年者が存在する市中においては, 不顕生あるいはごく軽度な感染者の割合はさらに多いものと思われる. このため, 受診率を高めることには限界があるものと推定される。

まとめると, 軽症者の受診率の増加とウイルス検査率の増加, そして検査待機時間の短縮は, 感染者を減少させる効果があるが, 一方で軽度入院者数の増加に結びつき, 重篤患者への医療サービスの低下に影響することが推定された. このことから, 受診・検査体制の強化と合わせて, 軽度の陽性判定者を一時的に隔離する病院以外の施設の確保が重要と考えられる。

6 まとめ

本報告では, 新型コロナウイルスの感染プロセスをエージェントベースモデルに実装し, PCR 検査法に代表されるウイルス検査の検査率と検査待機日数の影響についての比較検討を行った. モデルでは, 1120 人の仮想的な住民エージェントが通勤通学および店舗等への訪問を行い, 新型コロナウイルスの感染リスクに晒されている状態を模擬した. 実験では, 20 種類の検査率比較実験と 36 種類の検査待機日数比較実験を行った。

表 5: ウイルス検査待機日数パラメータ

対策	1:ベース (対策なし)	w1:受診 25%PCR 20%d1	w2:受診 25%PCR 60%d1	w3:受診 25%PCR 100%d1	w4:受診 25%PCR 20%d3	w5:受診 25%PCR 60%d3	w6:受診 25%PCR 100%d3	w7:受診 25%PCR 20%d5	w8:受診 25%PCR 60%d5	w9:受診 25%PCR 100%d5
受診自宅待機	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
PCR 検査待機日数	3	1	1	1	3	3	3	5	5	5
PCR 検査カバー率	0.50	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00
対策	w10: 受診 25%PCR 20%d7	w11: 受診 25%PCR 60%d7	w12: 受診 25%PCR 100%d7	w13: 受診 50%PCR 20%d1	w14: 受診 50%PCR 60%d1	w15: 受診 50%PCR 100%d1	w16: 受診 50%PCR 20%d3	w17: 受診 50%PCR 60%d3	w18: 受診 50%PCR 100%d3	w19: 受診 50%PCR 20%d5
受診自宅待機	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
PCR 検査待機日数	7	7	7	1	1	1	3	3	3	5
PCR 検査カバー率	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20
対策	w20: 受診 50%PCR 60%d5	w21: 受診 50%PCR 100%d5	w22: 受診 50%PCR 20%d7	w23: 受診 50%PCR 60%d7	w24: 受診 50%PCR 100%d7	w25: 受診 75%PCR 20%d1	w26: 受診 75%PCR 60%d1	w27: 受診 75%PCR 100%d1	w28: 受診 75%PCR 20%d3	w29: 受診 75%PCR 60%d3
受診自宅待機	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
PCR 検査待機日数	5	5	7	7	7	1	1	1	3	3
PCR 検査カバー率	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60
対策	w30: 受診 75%PCR 100%d3	w31: 受診 75%PCR 20%d5	w32: 受診 75%PCR 60%d5	w33: 受診 75%PCR 100%d5	w34: 受診 75%PCR 20%d7	w35: 受診 75%PCR 60%d7	w36: 受診 75%PCR 100%d7			
受診自宅待機	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75			
PCR 検査待機日数	3	5	5	5	7	7	7			
PCR 検査カバー率	1.00	0.20	0.60	1.00	0.20	0.60	1.00			

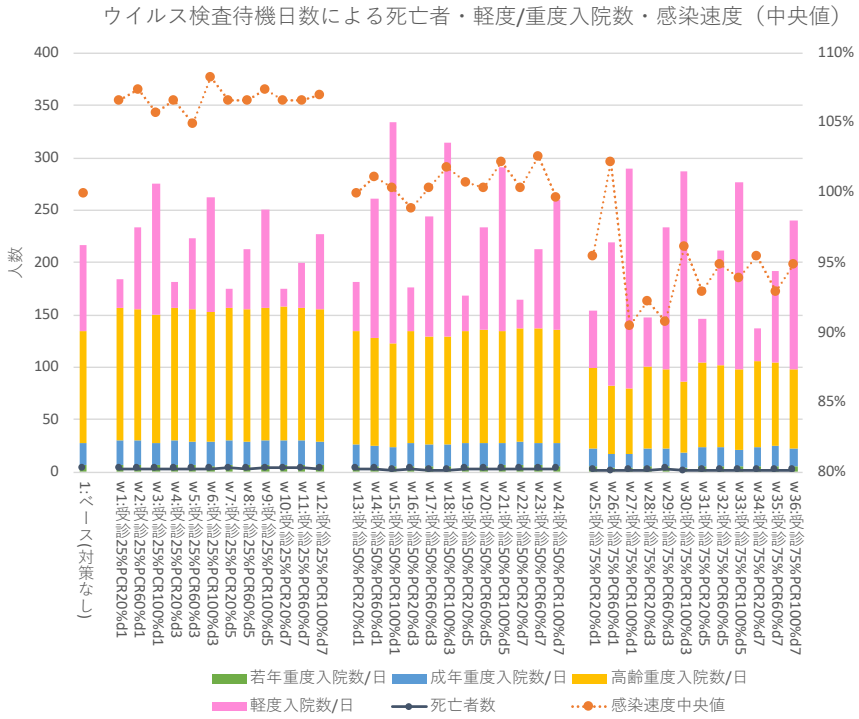


図 3: ウイルス検査待機日数による死亡者・軽度/重度入院者数/日・相対感染速度（中央値）

表 6: ウイルス検査待機日数シミュレーション結果

		1:ベース (対策なし)	w1:受診 25%PCR 20%d1	w2:受診 25%PCR 60%d1	w3:受診 25%PCR 100%d1	w4:受診 25%PCR 20%d3	w5:受診 25%PCR 60%d3	w6:受診 25%PCR 100%d3	w7:受診 25%PCR 20%d5	w8:受診 25%PCR 60%d5	w9:受診 25%PCR 100%d5
死亡者数	中央値	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4
	最大値	9	11	9	10	10	9	11	11	9	8
終息日数	中央値	138	129	128	130	129	131	127	129	129	128
	最大値	175	164	156	162	180	180	163	157	168	151
軽度入院数/日	中央値	82	27	78	126	25	68	109	19	58	94
	最大値	101	44	100	149	37	97	134	28	79	118
重度入院数/日	中央値	130	152	151	147	153	152	151	152	151	151
	最大値	158	183	178	176	181	181	167	174	181	188
若年重度入院数/日	中央値	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7
	最大値	14	14	13	15	17	14	16	16	12	13
成年重度入院数/日	中央値	21	23	23	21	23	22	23	23	23	23
	最大値	35	38	37	35	33	40	31	36	33	37
高齢重度入院数/日	中央値	106	127	126	122	127	126	124	126	126	127
	最大値	135	145	152	145	152	152	146	145	145	153
		w10: 受診 25%PCR 20%d7	w11: 受診 25%PCR 60%d7	w12: 受診 25%PCR 100%d7	w13: 受診 50%PCR 20%d1	w14: 受診 50%PCR 60%d1	w15: 受診 50%PCR 100%d1	w16: 受診 50%PCR 20%d3	w17: 受診 50%PCR 60%d3	w18: 受診 50%PCR 100%d3	w19: 受診 50%PCR 20%d5
死亡者数	中央値	4	4	3	3	3	2	3	2	2	3
	最大値	10	12	12	7	9	8	8	9	8	8
終息日数	中央値	129	129	129	138	136	137	139	137	135	137
	最大値	159	157	159	173	216	173	177	179	170	180
軽度入院数/日	中央値	16	44	72	47	132	211	41	115	185	34
	最大値	24	60	91	63	157	241	57	149	225	48
重度入院数/日	中央値	153	152	151	131	127	122	131	128	128	133
	最大値	170	186	175	159	148	154	156	156	157	161
若年重度入院数/日	中央値	7	7	7	6	6	5	6	6	6	6
	最大値	16	15	14	17	13	13	15	13	14	12
成年重度入院数/日	中央値	24	23	22	21	20	19	21	20	20	21
	最大値	32	39	33	35	32	32	31	36	33	37
高齢重度入院数/日	中央値	128	126	127	108	103	99	108	103	103	108
	最大値	143	150	148	130	129	126	131	127	125	131
		w20: 受診 50%PCR 60%d5	w21: 受診 50%PCR 100%d5	w22: 受診 50%PCR 20%d7	w23: 受診 50%PCR 60%d7	w24: 受診 50%PCR 100%d7	w25: 受診 75%PCR 20%d1	w26: 受診 75%PCR 60%d1	w27: 受診 75%PCR 100%d1	w28: 受診 75%PCR 20%d3	w29: 受診 75%PCR 60%d3
死亡者数	中央値	3	3	3	3	3	2	1	2	2	3
	最大値	10	8	7	6	8	8	6	6	9	8
終息日数	中央値	137	135	137	134	138	144	135	152	149	152
	最大値	163	169	172	238	187	188	177	226	193	212
軽度入院数/日	中央値	97	157	27	76	124	55	137	210	47	136
	最大値	116	186	41	96	162	74	180	255	66	167
重度入院数/日	中央値	132	132	134	134	132	99	85	79	99	97
	最大値	155	159	163	162	161	126	118	123	120	128
若年重度入院数/日	中央値	6	7	7	7	6	5	4	4	5	5
	最大値	16	13	15	15	15	13	11	12	13	12
成年重度入院数/日	中央値	21	21	22	21	21	18	14	14	18	17
	最大値	31	34	33	35	30	30	25	29	30	28
高齢重度入院数/日	中央値	109	107	109	109	109	77	65	62	77	76
	最大値	131	135	137	131	134	102	90	102	95	103
		w30: 受診 75%PCR 100%d3	w31: 受診 75%PCR 20%d5	w32: 受診 75%PCR 60%d5	w33: 受診 75%PCR 100%d5	w34: 受診 75%PCR 20%d7	w35: 受診 75%PCR 60%d7	w36: 受診 75%PCR 100%d7			
死亡者数	中央値	2	2	2	2	2	2	2			
	最大値	8	9	9	6	7	7	6			
終息日数	中央値	143	148	145	147	144	148	145			
	最大値	192	188	199	194	189	201	220			
軽度入院数/日	中央値	201	41	110	180	32	87	142			
	最大値	266	55	140	227	44	106	172			
重度入院数/日	中央値	86	100	101	97	105	101	97			
	最大値	125	127	135	125	131	134	132			
若年重度入院数/日	中央値	4	6	5	5	5	6	5			
	最大値	12	12	13	13	13	13	13			
成年重度入院数/日	中央値	15	18	19	16	19	19	18			
	最大値	29	27	32	30	30	30	29			
高齢重度入院数/日	中央値	67	81	78	77	82	80	76			
	最大値	98	99	110	105	107	108	104			

表 7: ベースに対するウイルス検査待機日数の影響 (比)

		1:ベース (対策なし)	w1:受診 25%PCR 20%d1	w2:受診 25%PCR 60%d1	w3:受診 25%PCR 100%d1	w4:受診 25%PCR 20%d3	w5:受診 25%PCR 60%d3	w6:受診 25%PCR 100%d3	w7:受診 25%PCR 20%d5	w8:受診 25%PCR 60%d5	w9:受診 25%PCR 100%d5	
死亡者数	中央値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.17	1.00	1.17	
	最大値	1.00	1.22	1.00	1.11	1.11	1.00	1.22	1.22	1.00	0.89	
終息日数	中央値	1.00	0.94	0.93	0.95	0.94	0.95	0.92	0.94	0.94	0.93	
	最大値	1.00	0.94	0.89	0.93	1.03	1.03	0.93	0.90	0.96	0.86	
軽度入院数/日	中央値	1.00	0.33	0.95	1.54	0.30	0.82	1.33	0.23	0.71	1.15	
	最大値	1.00	0.44	0.99	1.48	0.37	0.96	1.33	0.28	0.78	1.17	
重度入院数/日	中央値	1.00	1.17	1.16	1.13	1.17	1.17	1.16	1.17	1.16	1.16	
	最大値	1.00	1.16	1.13	1.11	1.15	1.15	1.06	1.10	1.15	1.19	
若年重度入院数/日	中央値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	0.93	1.00	
	最大値	1.00	1.00	0.93	1.07	1.21	1.00	1.14	1.14	0.86	0.93	
成年重度入院数/日	中央値	1.00	1.10	1.10	1.00	1.10	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10	
	最大値	1.00	1.09	1.06	1.00	0.94	1.14	0.89	1.03	0.94	1.06	
高齢重度入院数/日	中央値	1.00	1.20	1.18	1.15	1.19	1.19	1.17	1.19	1.18	1.20	
	最大値	1.00	1.07	1.13	1.07	1.13	1.13	1.08	1.07	1.07	1.13	
		w10: 受診 25%PCR 20%d7	w11: 受診 25%PCR 60%d7	w12: 受診 25%PCR 100%d7	w13: 受診 50%PCR 20%d1	w14: 受診 50%PCR 60%d1	w15: 受診 50%PCR 100%d1	w16: 受診 50%PCR 20%d3	w17: 受診 50%PCR 60%d3	w18: 受診 50%PCR 100%d3	w19: 受診 50%PCR 20%d5	
死亡者数	中央値	1.17	1.17	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	0.67	0.67	1.00	
	最大値	1.11	1.33	1.33	0.78	1.00	0.89	0.89	1.00	0.89	0.89	
終息日数	中央値	0.94	0.94	0.93	1.00	0.99	1.00	1.01	1.00	0.98	0.99	
	最大値	0.91	0.90	0.91	0.99	1.23	0.99	1.01	1.02	0.97	1.03	
軽度入院数/日	中央値	0.20	0.54	0.88	0.57	1.61	2.57	0.50	1.40	2.26	0.41	
	最大値	0.24	0.59	0.90	0.62	1.55	2.39	0.56	1.48	2.23	0.48	
重度入院数/日	中央値	1.18	1.17	1.16	1.01	0.98	0.94	1.01	0.98	0.98	1.02	
	最大値	1.08	1.18	1.11	1.01	0.94	0.97	0.99	0.99	0.99	1.02	
若年重度入院数/日	中央値	1.00	1.00	0.93	0.86	0.86	0.71	0.86	0.86	0.86	0.86	
	最大値	1.14	1.07	1.00	1.21	0.93	0.93	1.07	0.93	1.00	0.86	
成年重度入院数/日	中央値	1.12	1.10	1.05	0.98	0.93	0.90	1.00	0.95	0.95	1.00	
	最大値	0.91	1.11	0.94	1.00	0.91	0.91	0.89	1.03	0.94	1.06	
高齢重度入院数/日	中央値	1.21	1.19	1.19	1.01	0.97	0.93	1.02	0.97	0.97	1.02	
	最大値	1.06	1.11	1.10	0.96	0.96	0.93	0.97	0.94	0.93	0.97	
		w20: 受診 50%PCR 60%d5	w21: 受診 50%PCR 100%d5	w22: 受診 50%PCR 20%d7	w23: 受診 50%PCR 60%d7	w24: 受診 50%PCR 100%d7	w25: 受診 75%PCR 20%d1	w26: 受診 75%PCR 60%d1	w27: 受診 75%PCR 100%d1	w28: 受診 75%PCR 20%d3	w29: 受診 75%PCR 60%d3	
死亡者数	中央値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	0.67	0.67	1.00	
	最大値	1.11	0.89	0.78	0.67	0.89	0.89	0.67	0.67	1.00	0.89	
終息日数	中央値	1.00	0.98	1.00	0.97	1.00	1.05	0.98	1.11	1.08	1.10	
	最大値	0.93	0.97	0.98	1.36	1.07	1.07	1.01	1.29	1.10	1.21	
軽度入院数/日	中央値	1.18	1.91	0.33	0.93	1.51	0.67	1.67	2.55	0.57	1.66	
	最大値	1.15	1.84	0.41	0.95	1.60	0.73	1.78	2.52	0.65	1.65	
重度入院数/日	中央値	1.02	1.02	1.03	1.03	1.01	0.76	0.65	0.61	0.76	0.75	
	最大値	0.98	1.01	1.03	1.03	1.02	0.80	0.75	0.78	0.76	0.81	
若年重度入院数/日	中央値	0.86	0.93	1.00	1.00	0.86	0.71	0.50	0.57	0.71	0.71	
	最大値	1.14	0.93	1.07	1.07	1.07	0.93	0.79	0.86	0.93	0.86	
成年重度入院数/日	中央値	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	0.86	0.67	0.64	0.86	0.81	
	最大値	0.89	0.97	0.94	1.00	0.86	0.86	0.71	0.83	0.86	0.80	
高齢重度入院数/日	中央値	1.03	1.01	1.02	1.03	1.03	0.72	0.61	0.58	0.73	0.72	
	最大値	0.97	1.00	1.01	0.97	0.99	0.76	0.67	0.76	0.70	0.76	
		w30: 受診 75%PCR 100%d3	w31: 受診 75%PCR 20%d5	w32: 受診 75%PCR 60%d5	w33: 受診 75%PCR 100%d5	w34: 受診 75%PCR 20%d7	w35: 受診 75%PCR 60%d7	w36: 受診 75%PCR 100%d7				
死亡者数	中央値	0.50	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67				
	最大値	0.89	1.00	1.00	0.67	0.78	0.78	0.67				
終息日数	中央値	1.04	1.08	1.05	1.07	1.05	1.08	1.05				
	最大値	1.10	1.07	1.14	1.11	1.08	1.15	1.26				
軽度入院数/日	中央値	2.45	0.50	1.34	2.19	0.39	1.06	1.73				
	最大値	2.63	0.54	1.39	2.25	0.44	1.05	1.70				
重度入院数/日	中央値	0.66	0.77	0.78	0.75	0.80	0.78	0.75				
	最大値	0.79	0.80	0.85	0.79	0.83	0.85	0.84				
若年重度入院数/日	中央値	0.57	0.86	0.71	0.71	0.71	0.86	0.71				
	最大値	0.86	0.86	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93				
成年重度入院数/日	中央値	0.71	0.86	0.90	0.76	0.90	0.90	0.86				
	最大値	0.83	0.77	0.91	0.86	0.86	0.86	0.83				
高齢重度入院数/日	中央値	0.63	0.76	0.73	0.72	0.77	0.75	0.71				
	最大値	0.73	0.73	0.81	0.78	0.79	0.80	0.77				

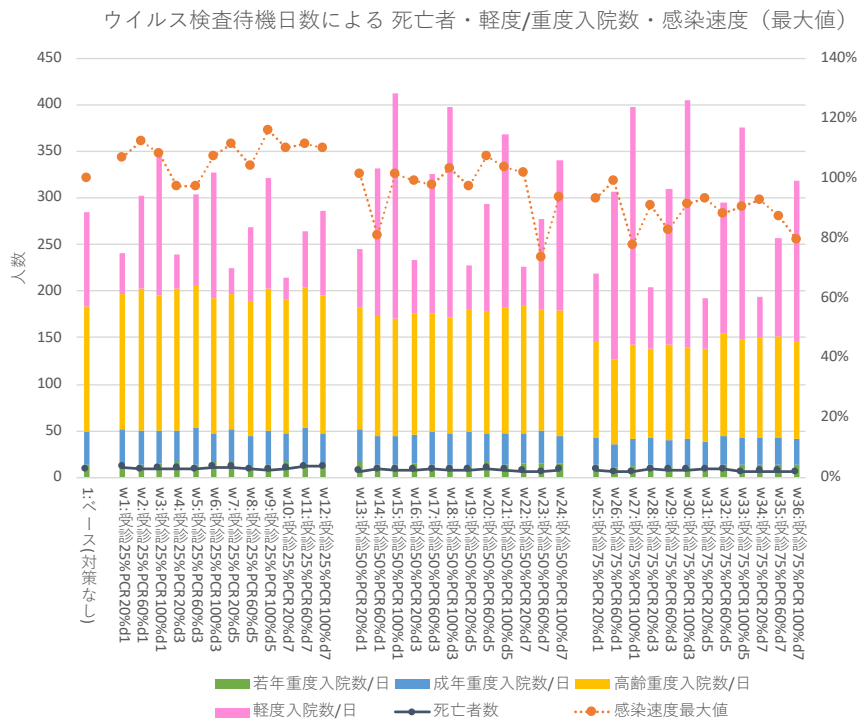


図 4: ウイルス検査待機日数による死亡者・軽度/重度入院者数/日・相対感染速度（最大値）

実験の結果からは、軽症者の受診率の増加とウイルス検査率の増加、そして検査待機時間の短縮は、感染拡大を防ぎ重篤患者数を減少させる効果があるが、一方で軽度入院者数の増加につながることから、重篤患者への医療サービスの低下に影響することが推定された。

本報告では、速報性を重視することから、できる限り最新のデータを使用したが、日々新しい報告が届いており、現在までの限られた情報に基づいていることは、この報告の限界である。

参考文献

- [1] 倉橋節也: 新型コロナウイルス (COVID-19) における感染予防策およびイベント開催による影響の推定- Working paper 2020/3/23a rev.2 -,
- [2] 厚生労働省: 新型コロナウイルスに関する Q&A, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/dengue_fever_qa_00004.html#Q5, 2020.3.11 (2020)
- [3] 国立感染症研究所: 新型コロナウイルス感染症患者に対する積極的疫学調査実施要領(2020年3月12日暫定版), <https://www.niid.go.jp/niid/images/epi/corona/2019nCoV-02-200312.pdf>
- [4] The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team: The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) China, 2020 China CDC Weekly, 41(2):145-151. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.003 (2020)
- [5] 総務省統計局: 利用交通手段, 2000年国勢調査, <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/jutsu1/00/04.html> (2020)
- [6] WHO-China: Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), WHO-China Joint Mission Members, <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>, (2020)
- [7] 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議: 新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言(2020年3月19日), <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf> (2020)