

新型コロナウイルス 感染拡大状況とワクチン接種進捗に応じた 医療需要の予測ツール

2021.10.20

京都大学

古瀬 祐気

furusey.kyoto@gmail.com

背景

- 現在用いられている新型コロナウイルス感染症の流行状況に係るステージ分類は、新規感染者数（検査陽性者数）と医療の提供状況（重症対応病床使用率など）をもとに評価されている。しかしながら、ワクチン接種プログラムが開始されて以降、その感染予防および発症/重症化予防効果によって、新規感染者数の増加が直ちには医療提供体制の逼迫へとつながらなくなってきた。一方で、2021年8月頃に全国的な感染者数の増加が起きた際には（第5波）、ワクチン接種率の低い青壮年を中心に酸素投与を要する中等症患者が大量に発生したために医療体制が逼迫し、通常医療の提供が困難になったところも一部であった。
- これからのステージ分類や、強い公衆衛生的対策を実施するタイミングの判断にあたって、どのような指標を用いるべきか、現在検討がなされている。実際には、医療の提供体制が逼迫するよりも前に時機に応じて適切な対策を講じることが肝要である。そのような観点から、ワクチンの接種状況や、重症者だけでなく中等症患者の発生率も考慮して、【先行する新規感染者数】に応じて【その後の医療負荷】がどの程度になるのかをモデル化することができれば、感染状況の評価やその対策に役立つと考えられる。

予測ツールの開発

- 感染拡大（新規陽性者数）と医療体制への負荷（酸素投与を要する患者数および重症者数）の時系列的な関係を数理モデル化した。
- モデルには、パラメータとして、感染規模・感染拡大のスピード・ワクチン接種率・ワクチン効果・治療薬の状況・酸素投与を要する人の割合・重症化率・入院期間を組み込んだ。
- モデルの詳細は、18ページ目に記載

そして、本モデルによる**予測ツール**を開発した。これによって、

【シナリオ】

どのような感染規模・どのような感染拡大スピード・どのようなワクチン接種率のとき（任意の状況を入力）

【予測】

その後に発生する酸素投与を要する人の数や、重症者数がどの程度になるのか

（さらに、必要な病床数はどの程度か）というパターンを検討することができる。

<https://github.com/yukifuruse1217/COVIDhealthBurden>



予測ツールは上記URL（リンク）、QRコードよりダウンロード

機能 1

中期予測

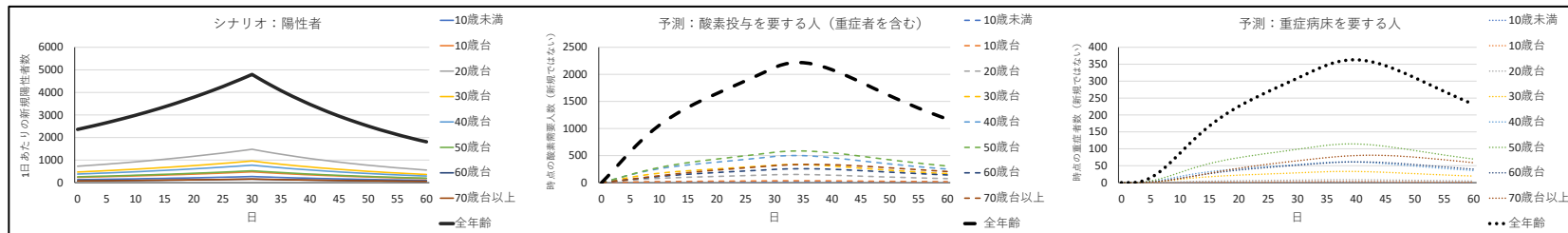
年齢ごとの状況		10歳未満	10歳台	20歳台	30歳台	40歳台	50歳台	60歳台	70歳台以上
1日あたりの検査陽性者数		133	235	728	472	381	259	76	77
ワクチン2回接種率(%)		0	50	60	60	70	70	85	90
(ワクチンなしで)酸素投与を要する率(%)		1	1	1.5	5	10	15	25	30
↑初期値		1.0	1.0	1.5	5.0	10.0	15.0	25.0	30.0
(ワクチンなしの)重症化率(%)		0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	4	8	11
↑初期値		0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	4.0	8.0	11.0
中等症の入院期間(日数)		9	9	9	9	9	10	11	14
↑初期値		9	9	9	9	9	10	11	14
重症者の入院期間(重症病床を占有していないときも含む日数)		14	14	14	14	14	15	17	20
↑初期値		14	14	14	14	14	15	17	20
感染拡大のシナリオ									
1か月目の【週当たり増加率(検査陽性者数の今週/先週比)】		1.18							
2か月目の状況(プルダウンから選択)		制御							
ワクチンの効果(%)									
感染予防		70	70						
入院・重症化予防		90	90						
			↑初期値						
治療薬の効果									
血中酸素濃度低下の前に治療薬の投与を受けられる割合(%)		0	0						
酸素需要を避けられる効果(%)		70	70						
			↑初期値						

シナリオ（現状や将来の想定など）を入力

1. 新規陽性者数
2. ワクチン接種率
3. 感染拡大状況



- A. 感染者数のシナリオ
 - B. 酸素投与を要する人の数の予測
 - C. 重症者数の予測
 - D. ピーク時に必要な確保病床数の推定
- が表示される



シミュレーション結果

ピーク時の酸素投与を要する人(重症者を含む)	ピーク時の重症者数	ピーク時の全療養者数
2220	363	44546
自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、ピーク時に必要と思われる確保病床数(酸素需要者の2.5倍)		
5550		
ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症は基本的に入院させる場合、ピーク時に必要と思われる確保病床数(酸素需要者の4倍)		
8879		

予測ツールの利用例（中期予測）

- 今後、感染状況が下げ止まったときに、「その時点の（1日当たり）新規陽性者数」と「その時点のワクチン接種率」を入力し、「拡大シナリオ：1.0→横ばい」と設定することで、**今後しばらくはこのままの感染状況だったとして医療需要がどの程度か**を検討できる
- 「第5波のピーク時の新規陽性者数の半数」と「当時のワクチン接種率」を入力し、「拡大シナリオ：1.18→制御」と設定することで、**第5波でどの程度の医療需要が実際には生じていたのか（確保病床数は十分であったのか）**を検討できる
⇒ スライド8枚目に方法を紹介
- 今後リバウンドが見られ始めたとき、「そのときの新規陽性者数」と「そのときのワクチン接種率」を入力し、「拡大シナリオ：1.3～1.5→先月と同様」と設定して**第6波で起きうるその後2か月間の（悲観的な）見通し**を検討できる。もう少し現実的な**1～4週間の見通しについては、短期予測の方法（スライド15～17枚目で説明）**で検討できる。これらをもとに、公衆衛生的な強い対策や病床調整の必要性について議論できる
- 「任意の新規陽性者数」と「今冬に想定されるワクチン接種率」を入力し、「拡大シナリオ：1.0→横ばい」と設定することで、**第6波が発生した際に、「どの程度の感染規模だと、どの程度の医療需要が生じるのか」あるいは「現在の医療体制で、どの程度の感染規模まで耐えられるのか」**を検討できる
⇒ スライド9～14枚目に実例

第5波に関する検討方法の例

①第5波のピーク時における

実際の確保病床数（A）、入院者数（B）、重症者数（C）のデータを取得する（NHKウェブサイトでも情報入手可能）

②予測ツールに

「第5波ピーク時の半数の年代別新規陽性者数」

「8月上旬のワクチン2回接種率」

「拡大シナリオ：1.18→制御（波を再現するため。拡大シナリオ1.18は、その後1か月間で検査陽性者数が倍になることを意味する）」を入力して、ピーク時にいたと思われる酸素投与を要する人の数（D）、重症者数（E）を**推定**する



- CとEを比較することで、ツール内のパラメータの妥当性を検討できる
- **【D÷B】**で、「ピーク時の入院者のうちどれだけが酸素投与を要したか」を検証できる
- **【D÷A】**で、「ピーク時に酸素需要者が確保病床のどれだけを占有したか」を計算でき、第5波における医療提供体制逼迫の程度を定量化できる
- 結果をもとに、各自治体において「酸素投与を要する人の数の○倍が確保病床として必要だ」という目安を知ることができる。予測ツールの開発者や地方自治体の協力者とでこれを検証したところ：

自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数は酸素需要者の**2.5倍**、

ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは**基本的に入院**させる場合、必要と思われる確保病床数は酸素需要者の**4倍**程度であると考察できた。

第6波に関する備え

希望者へのワクチン接種が完了し、接種率が

70代～90%、60代～85%、40～50代70%、20～30代60%

になったと想定（国際医療福祉大学が7月に行ったワクチン接種意向に関するアンケートの結果を参考に設定）

※ 実際には上振れも下振れもありうるので、実状に応じて要更新

新規陽性者数に応じて、

どの程度の「酸素投与を要する人」や「重症者」が発生するのかを予測ツールで推定した。

※ 年代別の割合は全国10月第1～2週のものを使用（東北大学集計データ）。

ただし、第6波が起こる際には若年層のワクチン接種率が現在よりさらに上昇していると考えられ、それによって感染者に占める高齢者の相対的な割合は、この例で想定したよりも高くなる可能性がある。

（拡大シナリオは「1.0→横ばい」。）

いまの確保病床数で耐えられる感染者数は？

①

例えば、自宅療養や療養施設を積極的に利用している自治体の現在の確保病床数が900なら、

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の2.5倍）	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の4倍）	推定の重症者数のピーク（＝必要と思われる重症病床の確保数）
200	135	339	542	26
250	169	423	677	32
300	203	508	813	39
350	237	593	948	45
400	271	677	1084	52
450	305	762	1219	58
500	339	847	1355	65
550	373	932	1490	71
600	406	1016	1626	78
650	440	1101	1761	84

②

500人台が限界だと判断できる
（そうなる前に、対策が必要。

15～17ページ目短期予測も参照
のこと。）

想定する第6波に備えて必要な病床数は？

②

「基本的に入院」という方針の自治体であれば
コロナ病床1600、重症病床80程度が必要

①

例えば、第5波のピークが500人ほどで、第6波はその1.2倍
(=600人)を想定して備えよう
という議論がある場合、

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数 のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に 利用した場合、 必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の2.5倍)	ハイリスク軽症者や、ハイリ スクでなくとも中等症は基 本的に入院させる場合、 必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の4倍)	推定の重症者数のピーク (=必要と思われる重症病床 の確保数)
200	135	339	542	26
250	169	423	677	32
300	203	508	813	39
350	237	593	948	45
400	271	677	1084	52
450	305	762	1219	58
500	339	847	1355	65
550	373	932	1490	71
600	406	1016	1626	78
650	440	1101	1761	84

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の2.5倍)	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の4倍)	推定の重症者数のピーク (＝必要と思われる重症病床の確保数)
10	7	17	27	1
20	14	34	54	3
30	20	51	81	4
40	27	68	108	5
50	34	85	135	6
60	41	102	163	8
70	47	119	190	9
80	54	135	217	10
90	61	152	244	12
100	68	169	271	13
110	75	186	298	14
120	81	203	325	16
130	88	220	352	17
140	95	237	379	18
150	102	254	406	19
160	108	271	434	21
170	115	288	461	22
180	122	305	488	23
190	129	322	515	25
200	135	339	542	26
250	169	423	677	32
300	203	508	813	39
350	237	593	948	45
400	271	677	1084	52
450	305	762	1219	58

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の2.5倍)	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の4倍)	推定の重症者数のピーク (＝必要と思われる重症病床の確保数)
500	339	847	1355	65
550	373	932	1490	71
600	406	1016	1626	78
650	440	1101	1761	84
700	474	1186	1897	91
750	508	1270	2032	97
800	542	1355	2168	104
850	576	1440	2303	110
900	610	1524	2439	117
950	644	1609	2574	123
1000	677	1694	2710	130
1100	745	1863	2981	143
1200	813	2032	3252	156
1300	881	2202	3523	169
1400	948	2371	3794	182
1500	1016	2540	4065	195
1600	1084	2710	4336	208
1700	1152	2879	4607	221
1800	1219	3049	4878	233
1900	1287	3218	5149	246
2000	1355	3387	5420	259
2100	1423	3557	5691	272
2200	1490	3726	5962	285
2300	1558	3895	6233	298
2400	1626	4065	6504	311

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の2.5倍）	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の4倍）	推定の重症者数のピーク（＝必要と思われる重症病床の確保数）
2500	1694	4234	6775	324
2600	1761	4404	7046	337
2700	1829	4573	7317	350
2800	1897	4742	7588	363
2900	1965	4912	7859	376
3000	2032	5081	8130	389
3100	2100	5250	8401	402
3200	2168	5420	8672	415
3300	2236	5589	8943	428
3400	2303	5758	9214	441
3500	2371	5928	9485	454
3600	2439	6097	9755	467
3700	2507	6267	10026	480
3800	2574	6436	10297	493
3900	2642	6605	10568	506
4000	2710	6775	10839	519
4100	2778	6944	11110	532
4200	2845	7113	11381	545
4300	2913	7283	11652	558
4400	2981	7452	11923	571
4500	3049	7621	12194	584
4600	3116	7791	12465	597
4700	3184	7960	12736	610
4800	3252	8130	13007	623
4900	3320	8299	13278	636

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の2.5倍）	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅰは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の4倍）	推定の重症者数のピーク（＝必要と思われる重症病床の確保数）
5000	3387	8468	13549	649
5100	3455	8638	13820	662
5200	3523	8807	14091	674
5300	3591	8976	14362	687
5400	3658	9146	14633	700
5500	3726	9315	14904	713
5600	3794	9485	15175	726
5700	3862	9654	15446	739
5800	3929	9823	15717	752
5900	3997	9993	15988	765
6000	4065	10162	16259	778
6100	4133	10331	16530	791
6200	4200	10501	16801	804
6300	4268	10670	17072	817
6400	4336	10839	17343	830
6500	4404	11009	17614	843
6600	4471	11178	17885	856
6700	4539	11348	18156	869
6800	4607	11517	18427	882
6900	4675	11686	18698	895
7000	4742	11856	18969	908
7100	4810	12025	19240	921
7200	4878	12194	19511	934
7300	4945	12364	19782	947
7400	5013	12533	20053	960

1日当たりの新規陽性者数	推定の酸素投与を要する人数のピーク	自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の2.5倍)	ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症！は基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数 (酸素需要者の4倍)	推定の重症者数のピーク (＝必要と思われる重症病床の確保数)
7500	5081	12702	20324	973
7600	5149	12872	20595	986
7700	5216	13041	20866	999
7800	5284	13211	21137	1012
7900	5352	13380	21408	1025
8000	5420	13549	21679	1038
8100	5487	13719	21950	1051
8200	5555	13888	22221	1064
8300	5623	14057	22492	1077
8400	5691	14227	22763	1090
8500	5758	14396	23034	1103
8600	5826	14565	23305	1115
8700	5894	14735	23576	1128
8800	5962	14904	23847	1141
8900	6029	15074	24118	1154
9000	6097	15243	24389	1167
9100	6165	15412	24660	1180
9200	6233	15582	24931	1193
9300	6300	15751	25202	1206
9400	6368	15920	25473	1219
9500	6436	16090	25744	1232
9600	6504	16259	26015	1245
9700	6571	16429	26286	1258
9800	6639	16598	26557	1271
9900	6707	16767	26828	1284

機能 2

短期予測

年齢ごとの状況		10歳未満	10歳台	20歳台	30歳台	40歳台	50歳台	60歳台	70歳台以上
1日あたりの検査陽性者数		133	235	728	472	381	259	76	77
ワクチン2回接種率（％）		0	50	60	60	70	70	85	90
（ワクチンなしで）酸素投与を要する率（％）		1	1	1.5	5	10	15	25	30
↑初期値		1.0	1.0	1.5	5.0	10.0	15.0	25.0	30.0
（ワクチンなしの）重症化率（％）		0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	4	8	11
↑初期値		0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	4.0	8.0	11.0
中等症の入院期間（日数）		9	9	9	9	9	10	11	14
↑初期値		9	9	9	9	9	10	11	14
重症者の入院期間（重症病床を占有していないときも含む日数）		14	14	14	14	14	15	17	20
↑初期値		14	14	14	14	14	15	17	20
検査陽性者数の今週/先週比		1.4							
現在の酸素投与を要する人の数（重症者を含む）		700							
現在の重症者数		150							
現在の全療養者数		16000							
ワクチンの効果（％）									
感染予防		70	70						
入院・重症化予防		90	90						
↑初期値									
治療薬の効果									
血中酸素濃度低下の前に治療薬の投与を受けられる割合（％）		0	0						
酸素需要を避けられる効果（％）		70	70						
↑初期値									

現状を入力

1. 新規陽性者数
2. ワクチン接種率
3. 感染拡大状況（陽性者数 今週/先週比）
4. 医療提供状況



1～4週間後の

- A. 酸素投与を要する人の数の**予測**
- B. 重症者数の**予測**
- C. 必要な確保病床数の**推定**

が表示される

シミュレーション結果

酸素投与を要する人（重症者を含む）		重症者		全療養者	
1週間後	981	1週間後	147	1週間後	24923
2週間後	1510	2週間後	190	2週間後	35341
3週間後	2159	3週間後	272	3週間後	49526
4週間後	3041	4週間後	389	4週間後	69349

自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の2.5倍）

1週間後	2452
2週間後	3776
3週間後	5397
4週間後	7601

ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症は基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の4倍）

1週間後	3923
2週間後	6041
3週間後	8635
4週間後	12162

短期予測の利用：警戒/対策レベル判断の参考に

シミュレーション結果											
酸素投与を要する人（重症者を含む）				重症者				全療養者			
1週間後	981			1週間後	147			1週間後	24923		
2週間後	1510			2週間後	190			2週間後	35341		
3週間後	2159			3週間後	272			3週間後	49526		
4週間後	3041			4週間後	389			4週間後	69349		
自宅療養や療養施設を積極的に利用した場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の2.5倍）											
1週間後	2452										
2週間後	3776										
3週間後	5397										
4週間後	7601										
ハイリスク軽症者や、ハイリスクでなくとも中等症Ⅱは基本的に入院させる場合、必要と思われる確保病床数（酸素需要者の4倍）											
1週間後	3923										
2週間後	6041										
3週間後	8635										
4週間後	12162										

4週間後の状況が、現在の確保病床数を超える場合、「警戒の強化」。
2週間後の状況が確保病床数を超える場合、迅速で効果的な「対策の強化」が必要、といった判断の参考に用いることができる。

※ 4週間にわたって同じ感染拡大スピードでありつづける、と想定したときの予測です。実際には、感染状況に応じて市民の行動が変化するため、その通りになる蓋然性は高くありません。未来になるほど感染拡大スピードの変化によって予測のずれが大きくなる可能性があります。

モデルの詳細

- 年代ごとの感染者数が再生産方程式にもとづき変化するとし、日々の感染者数に応じてそこから「酸素投与を要する人」と「重症者」が下記の率で発生（流入）し、1～2週間程度の入院期間を経て流出していくという常微分方程式モデル

- 年代ごとのパラメータ

（一部の自治体およびHER-SYSからデータ提供を受け算出。予測ツール内で変更可能。10歳未満・10歳台についてはデータが十分でなく仮置きの初期値。）

	10歳未満	10歳台	20歳台	30歳台	40歳台	50歳台	60歳台	70歳台以上
（ワクチンなしで）酸素投与を要する割合	1.0%	1.0%	1.5%	5%	10%	15%	25%	30%
中等症の入院日数	9	9	9	9	9	10	11	14
（ワクチンなしの）重症化割合	0.1%	0.1%	0.1%	0.6%	1.5%	4%	8%	11%
重症の入院日数	14	14	14	14	14	15	17	20

※ なお、第5波のときには上記よりも2日間程度の入院期間短縮がみられた。また、医療提供体制の逼迫時に重症化率が上昇することが報告されているが、その影響は本モデル内で考慮していない。

- ワクチンの効果は、国内外の科学論文より抽出。初期値として以下を設定。（予測ツール内で変更可能）

ワクチンの感染予防効果：70%

ワクチンの入院・重症化予防効果：90%

- モデルのソースコード：https://github.com/yukifuruse1217/COVIDhealthBurden/blob/main/COVIDhealthBurden_code_forGit.R

ツールの限界・注意点

※ **重症化率**は、いくつかの自治体のデータを参考に初期値を設定しています。自治体や医療機関によっては、ICUを積極的に使用する方針があったり、そうではなくなるべくICUに入室しないでネーザル・ハイフローで対応することもあるかと思います。予測モデルと実際のデータに乖離がみられる場合、前者の場合には重症化率を高くしたり、後者の場合には低くしたりと調整が必要になる可能性があります。それぞれの自治体の状況やデータに応じて、予測ツール内にあるオレンジ色のセルの値（特に重症化率）を変更することを考慮してください。

※ **ワクチン効果**の初期値は、2021年8月ごろにいくつかの国で報告されたデルタ株に対する有効性を参考にしています。今後、新しい変異株が出現したり、免疫の経時的な減弱でワクチンの効果が弱まった場合には修正（有効性の値を小さくする）を考慮してください。

※ 過去の波のピーク頃には、医療提供体制の逼迫によると思われる「重症化タイミングの遅れ」や「重症化率の上昇」が一部で見られました。これらの点は試算に考慮されていません。**医療提供体制の逼迫が起こった場合、酸素投与を要する人や重症者の予測ピークは右上にずれる**可能性があります。

※ 本手法で推定される中期予測の酸素需要者および重症者ピークのタイミングよりも、実際に観察されるピークはもう少し遅れる（後ろにずれる）ことが経験的に分かっています。時間的な解釈をする際にはご注意ください。

さいごに

- 本予測ツールを用いた解析結果の公表や報道を行う際に、開発者から許可を取得する必要はありません。
- 予測ツールの開発および検証は
古瀬 祐気（京都大学）、和田 耕治（国際医療福祉大学）、押谷 仁（東北大学）、
高 勇羅、鈴木 基、脇田 隆字（左3人、国立感染症研究所）
が、さまざまな自治体の協力のもとに行いました。
- 本説明資料の文責は古瀬にあります。
- 予測ツールおよび本資料は、みなさまからのフィードバックをもとに修正・更新される可能性があります。その場合は、ウェブサイト（<https://github.com/yukifuruse1217/COVIDhealthBurden>）に掲載しますのでチェックいただけると幸いです。