COVID-19に対する各国対応策の分析評価
～実効再生産数を用いた比較～

第4班
班員：井口 優, 伊関 裕生, WANG HANFEI, 藤野 光希
指導教員：糸井川 栄一

研究背景

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)

COVID-19は多くの感染者・死亡者を出しており大きな問題となっている.

- 本年3月にはWHOによってCOVID-19のパンデミックが宣言され日本でも流行が本格化した.
- 9月24日には全世界で累計感染者が3100万人を超えた.
- 世界最多の感染者数を出している中南米は，累積850万人の感染者数を超えた。また、アジアは9月21日までに700万人の感染者が発見された.

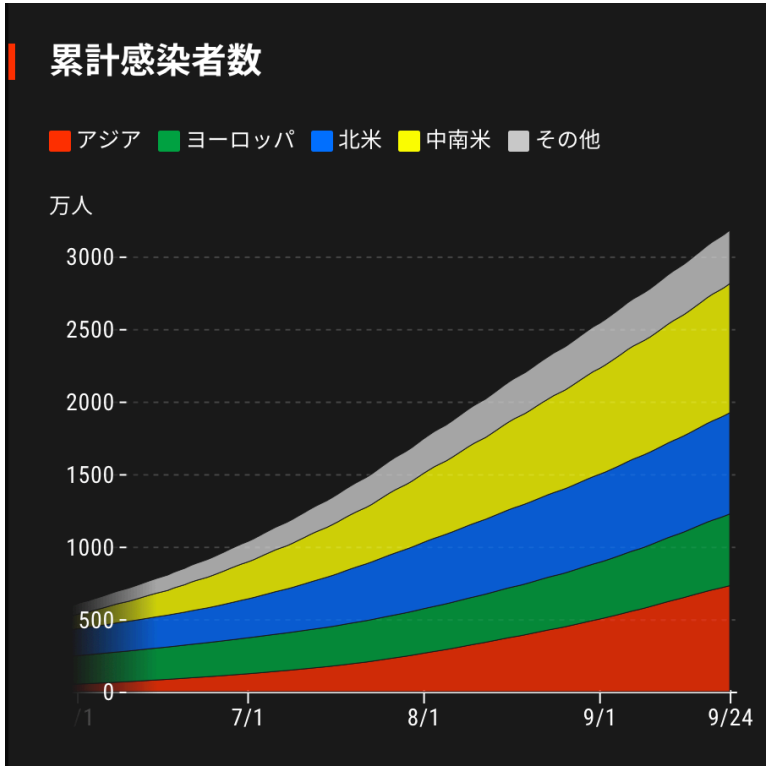


図1. 感染が顕著な国々の累計感染者数[1]

研究背景

世界の感染状況

世界全体で見ると感染は比較的収束には向かっていない.

- アメリカ：一時，日ごとの新規感染者数は2万人以下に下回ったが，今年7月から毎日の新規感染者数も5万人を超えた.
- インド　：新規感染者数は9万人以上の日多く、9月17日には過去最多の9万7894人を記録した.

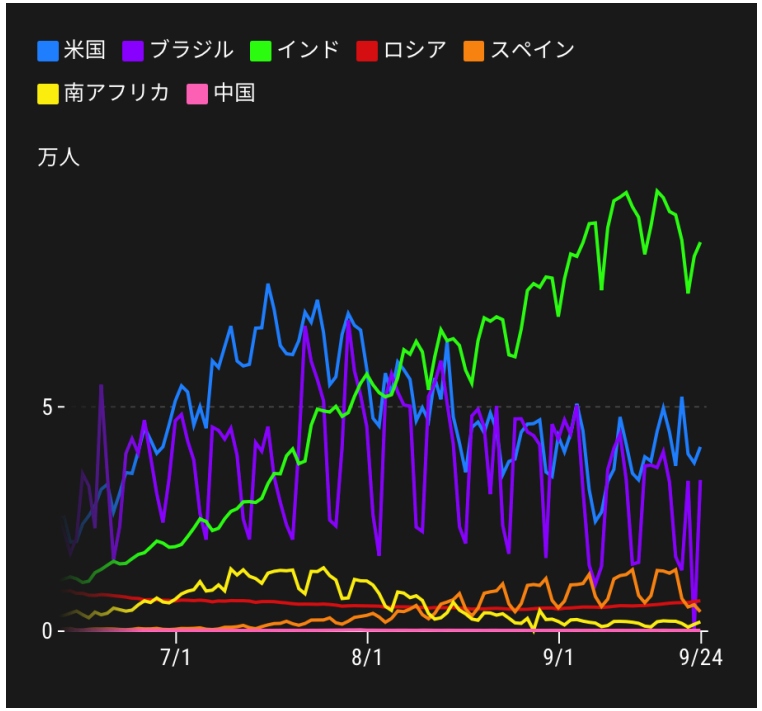


図2. 感染が顕著な国々の一日当たりの新規感染者数[1]

➢ **そこで、各国で様々な感染対策が取られている**

日本：外出自粛,「三密」を避ける
シンガポール：罰則を伴う外出規制
ニューヨーク：都市ロックダウン,病院の建設

研究背景

既往研究

感染拡大に関する様々な研究が行われており，作成されたモデルは数多く存在する．

- **感染拡大・収束の違いは，主に各国の人口・経済・コロナ感染対策・その実施時期の違いに起因すると考えられる．**

その中から国々の動向・政策を比較し定量的分析・評価するには，実効再生産数を算出することが有益であると考えた．

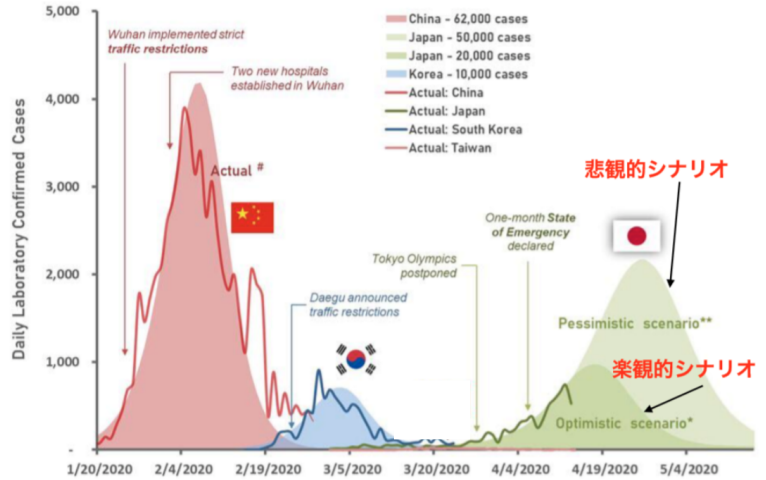


図4. 東アジアのコロナウイルス感染予測モデル
（台湾大学化学系助理教授，Cheng-Chih Hsu, 2020）[3]

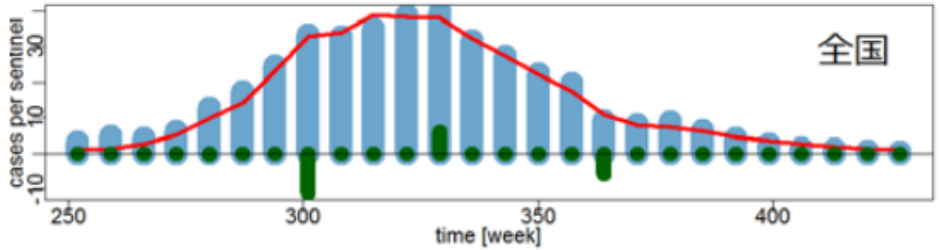


図5. 日本におけるインフルエンザ感染ネットワークモデル
（統計数理研究所，斎藤 正也,2020）[4]

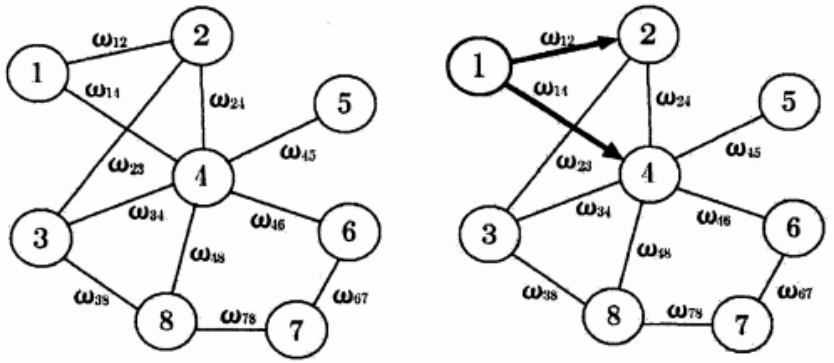
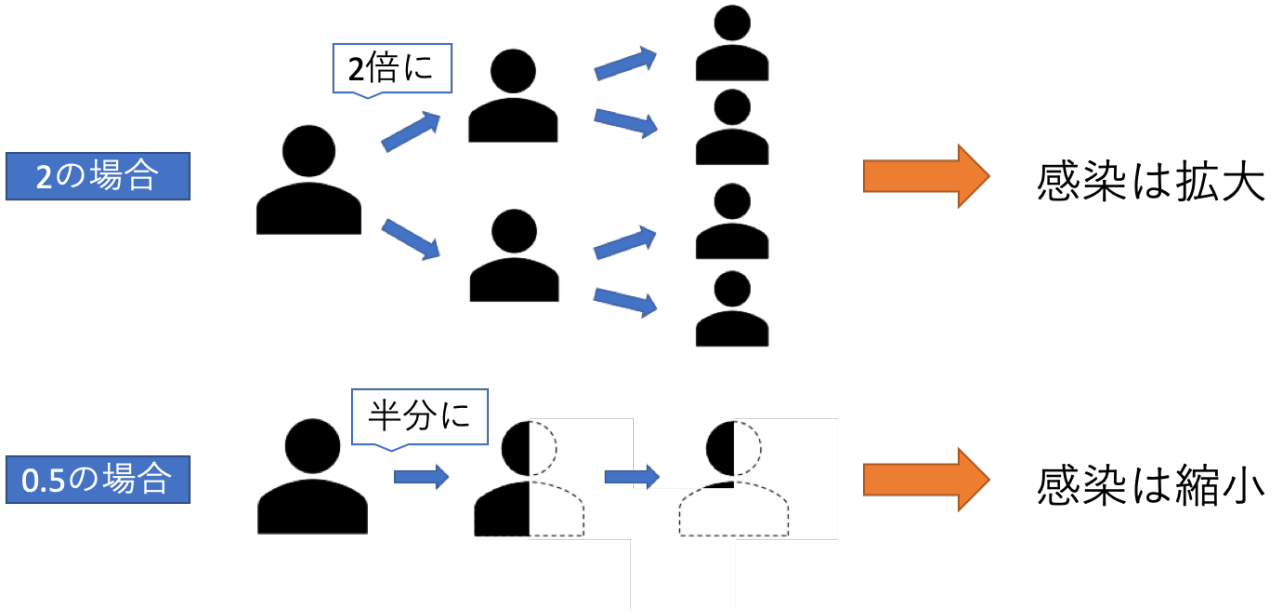


図6. ネットワークの様式およびノード間の感染伝播モデル
（東邦大学理学部生物学科理論生態学研究室一同, 2009）[5]

研究背景

実効再生産数

実効再生産数：時刻tにおける，感染者が新たに生み出す新規感染者数の平均を示す値



$$R(t) = \left(\frac{\text{直近7日間の新規感染者数}}{\text{その前の7日間の新規感染者数}} \right)^{\left(\frac{\text{平均世代時間}}{\text{報告間隔}} \right)}$$

研究目的

感染拡大・縮小している国々の新規感染者数には，比較的大きな違いが見受けられ，主に各国の人口・風土・経済の違いに起因すると仮定.

目的

感染拡大・縮小している国々の**動向・政策を比較し定量的分析・評価する**ことで，感染拡大防止に有効な策を抽出する.

COVID-19 に有効であった対応策を，今後の感染症対策に活かすことができるのではないか.

研究手法

研究対象(国・地域，対応策)

以下の34の国と地域の情報を収集した.

ニューヨーク州(アメリカ)	ロンバルディア州(イタリア)
武漢(中国)	東京(日本)
シンガポール	ベトナム
スウェーデン	台湾地区
韓国	フィリピン
ベルギー	ウズベキスタン
インド	マレーシア
スイス	ロシア
ルーマニア	クロアチア
タイ	オランダ
ネパール	スペイン
ドイツ	バングラデシュ
フランス	イギリス
ニュージーランド	パキスタン
ギリシャ	インドネシア
ノルウェー	エジプト
チリ	オーストリア

抽出した対応策

☒・海外からの入国規制
・都市のロックダウン
・外出規制
・学校の閉鎖
・医療従事者の派遣
・病院の建設
・飲食店の営業停止
・在宅勤務の奨励

研究手法

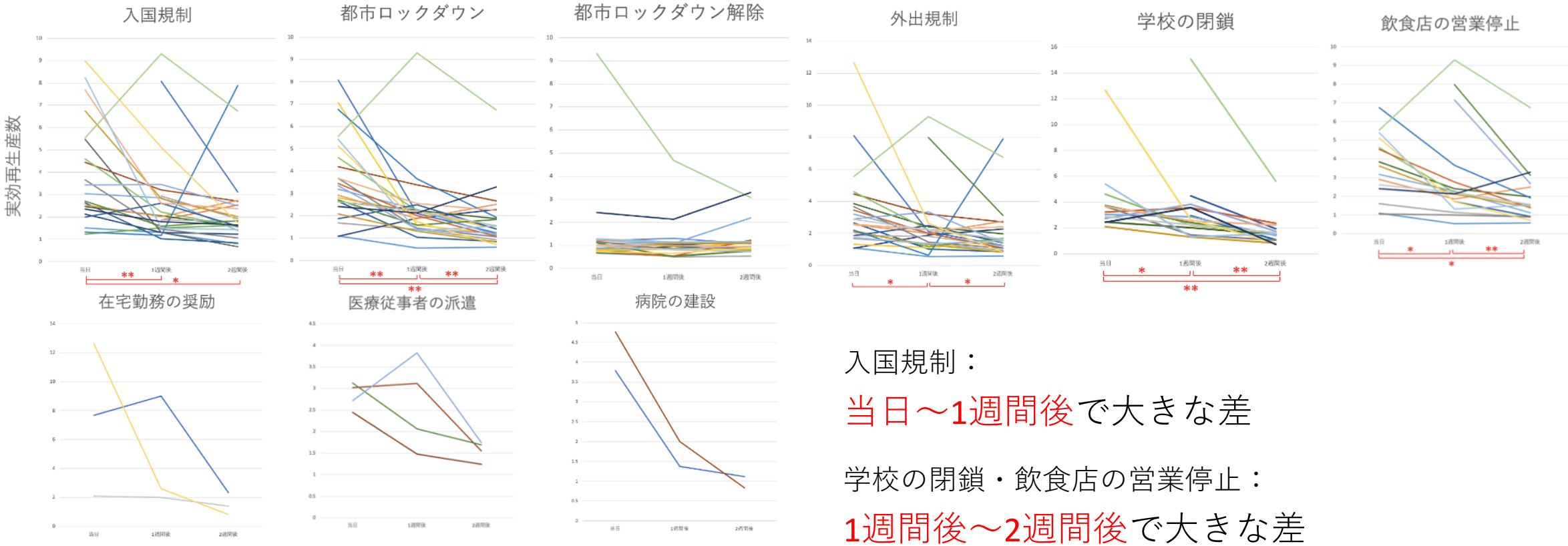
分析手順

1. 施策前後での実効再生産数の差異の比較

   それぞれの対応策実施後の各国の当日, 1週間後, 2週間後の実効再生産数を列挙し，3項間でそれぞれ対応のあるt検定を行う.
   この結果を用いて，対応策ごとに効果の有無や施行から実際にその効果が現れるまでの期間を調査する.

研究結果および考察

t 検定



入国規制：

当日～1週間後で大きな差

学校の閉鎖・飲食店の営業停止：

1週間後～2週間後で大きな差

- 対応策によって効果を発揮する期間が異なる
- 施策期間が重複しているため，各対応策ごとの効果がわからない

研究手法

重回帰分析

1. 各種施策の組み合わせを考慮した重回帰分析

本研究では，国・地域ごとの対応策の効果の違いを考察するため，
それぞれの国・地域における対応策実施1週間後，2週間後，3週間後の実効再生産数を目的変数とし，
対応策の実施の有無を1と0のダミー変数を用いた説明変数とした重回帰分析を行う．
計算式は以下の通りである．

$$y_{it} = a_0 + \sum_j a_j \, \delta_{ij(t-7n)}$$

a_0: 定数
a_j : 対応策jの係数
i: 国
j: 対応策
t: 時間(日)
δ: ダミー変数
n: 対応策実施n週間後

日付	実効再生産数	対応策1	対応策2	対応策3	…	対応策j
4/1	2.54	0	0	0	…	0
4/2	2.87	0	1	0	…	1
4/3	2.89	1	1	0	…	1
…	…	…	…	…	…	…
4/20	1.15	1	1	1	…	1
4/21	1.04	1	0	1	…	1
…	…	…	…	…	…	…

研究結果および考察

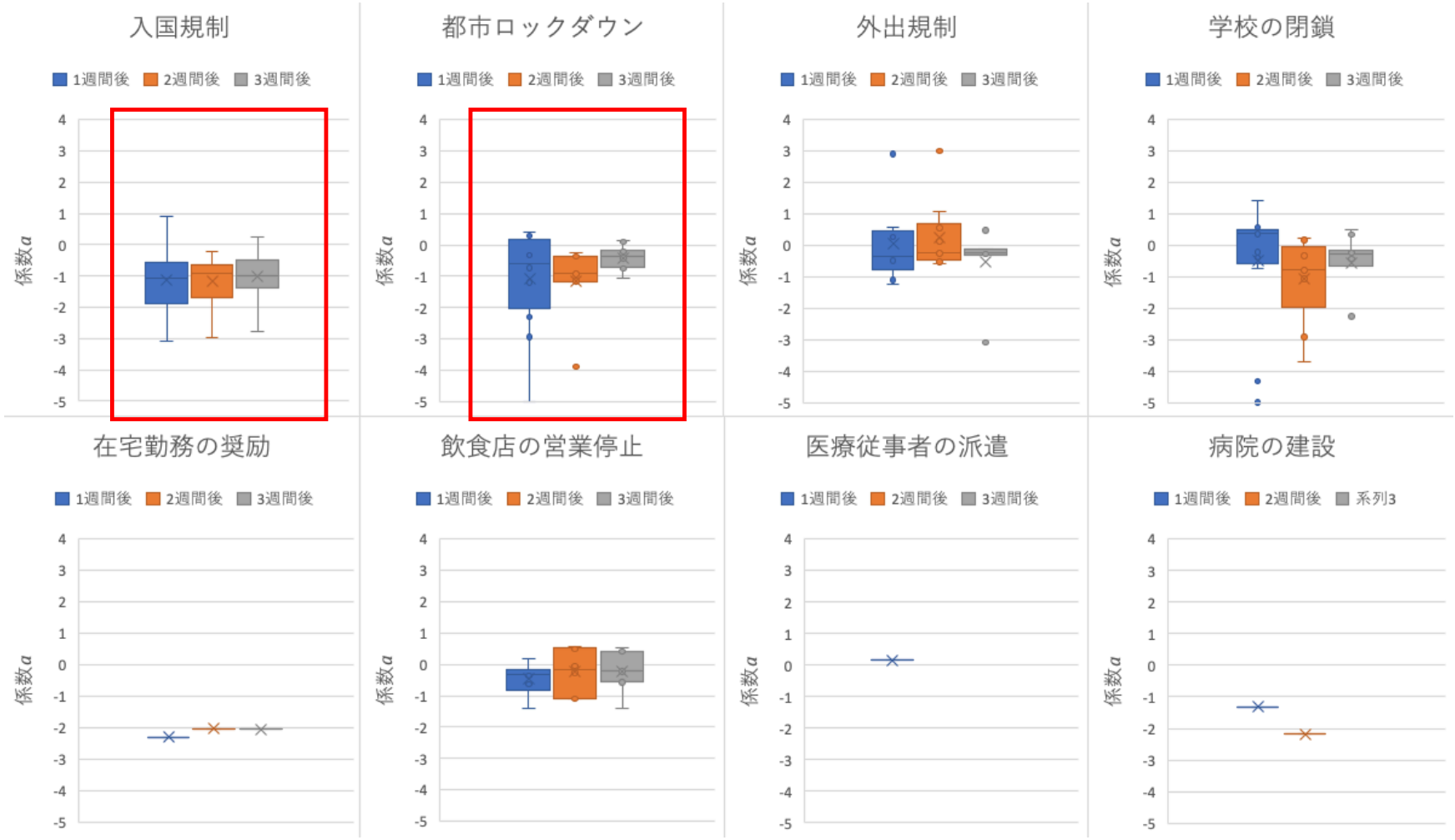
重回帰分析

強制投入法	補正R^2	分散分析p値	定数	入国規制	ロックダウン	外出規制	医療従事者の	病院の建設	飲食店の営業	在宅勤務の奨	学校の閉鎖
NY	0.943	0.000	7.429	0.386	-4.986	0.253		-1.325		-0.703	
ロンバルディア	0.838	0.000	0.881	-0.049	除外	除外	0.157		-1.406		1.447
台湾	-0.017	0.862	1.122								0.103
フィリピン	0.13	0.000	1.135		0.011						0.405
シンガポール	0.61	0.001	1.105		-0.001						0.382
ベトナム	0.124	0.000	1.578	-0.56					-0.476		-0.545
スウェーデン	0.512	0.000	4.139	-3.098							
武漢	0.29	0.141	1.119		-0.269		1.303	0.642			
韓国	0.108	0.000	0.929	0.85		-0.355					-0.197
東京	0.641	0.000	2.239	-0.895		-1.106					0.579
ベルギー	0.339	0.000	2.064	-1.23		0.265					-0.027
ウズベキスタン	0.301	0.000	0.694	-0.136	0.3	-0.476			0.168		0.473
インド	0.058	0.004	1.485	-0.005	-0.316	0.269					
イラン	-0.005	0.581	1.262		-0.031	-0.157					
マレーシア	0.052	0.008	1.356	除外	除外	0.132			-0.219		-0.379
スイス	0.29	0.000	1.637	-0.173	-0.589						
オーストリア	0.795	0.000	3.868	-2.817	除外				0.026		
ロシア	0.475	0.000	3.577	-2.595	0.072						0.376
ルーマニア	0.144	0.000	1.820	-0.689	-0.727	0.317					0.427
クロアチア	0.068	0.001	1.870		-0.299				-0.63		
タイ	0.143	0.000	1.207	-0.038	-0.257	-0.205					
オランダ	0.128	0.000	1.479	除外	-0.586	0.342			-0.02		
ネパール	-0.002	0.405	1.342		0.094						
スペイン	0.199	0.000	2.171		-1.201				-0.166		0.004
ドイツ	0.084	0.000	1.805	-0.701	-0.444	0.343					
バングラデシュ	0.593	0.000	0.420	0.916	-2.942	2.904			-0.262		0.527
フランス	0.121	0.000	1.953	-0.9	除外	-0.049					
イギリス	0.317	0.000	3.339		-0.005	0.178			-0.141	-2.304	
ニュージーランド	0.093	0.002	3.047	-1.355	-0.502	0.187					-0.61
パキスタン	0.689	0.000	5.966	-0.049	0.384						-4.966
ギリシャ	0.51	0.000	2.676	-1.498	0.187	0.565			-0.283		-0.726
インドネシア	0.064	0.004	1.526		-0.361	-0.427			0.351		
ノルウェー	0.523	0.000	2.836	-1.646	0.409				-0.356		-0.049
エジプト	0.384	0.000	5.182	0.296	0.355	-0.348					-4.302
チリ	0.826	0.000	4.681		-2.288	-1.254					

目的変数を1週間後の実効再生産数としたときの分析結果

研究結果および考察

重回帰分析



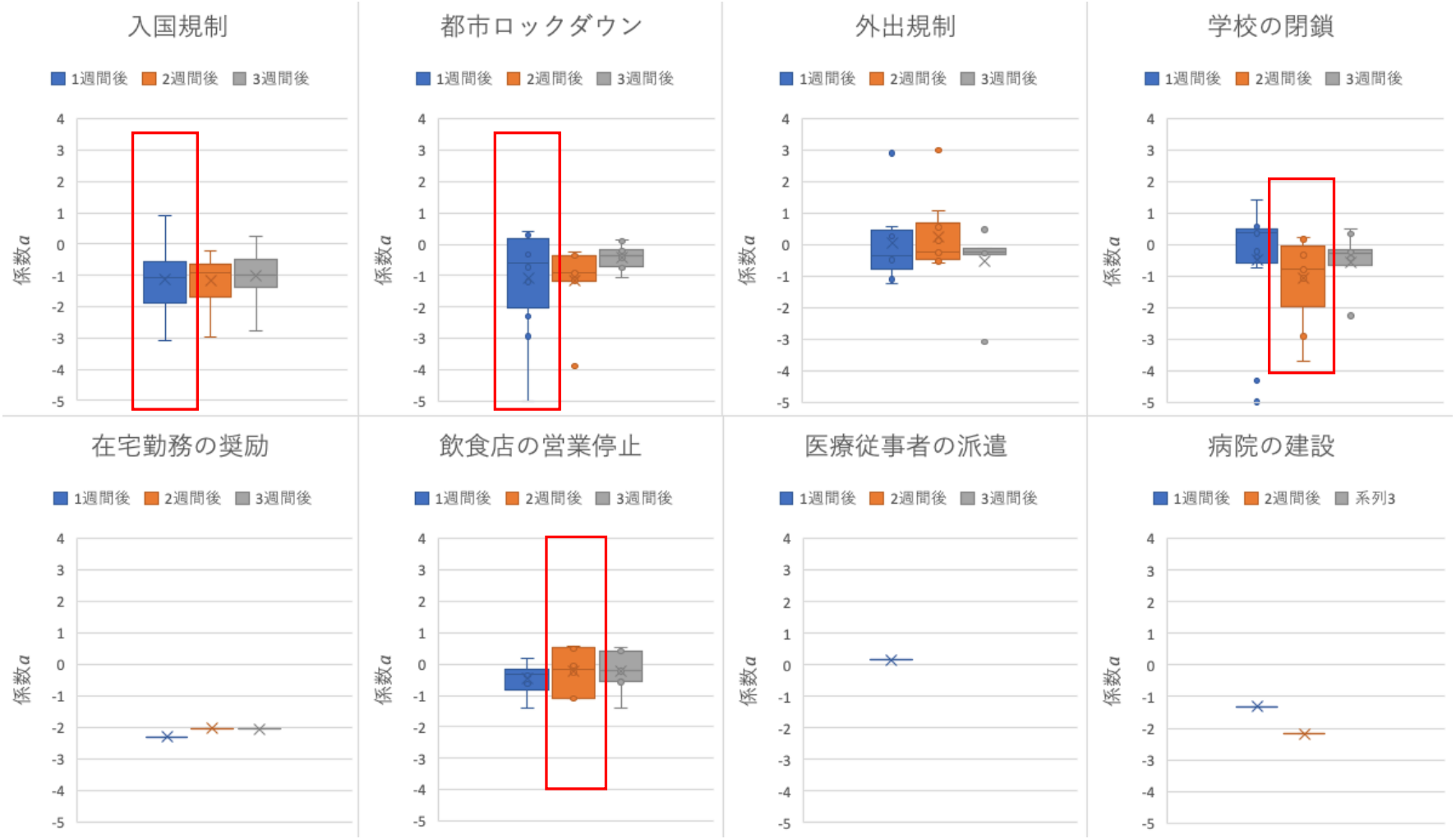
入国規制とロックダウンは
0より下に多く存在

↓

これらの対応策は
実効再生産数を減少させる
のに大きく影響している

研究結果および考察

重回帰分析



・入国規制とロックダウンは1週間後に負の方向に大きくなる

・飲食店の営業停止や学校の閉鎖は2週間後に低くなっている

↓

t検定の時と同様の結果を示している.

研究結果および考察

重回帰分析

一週間後

国名	一人当たりのGDP(USドル)	最も大きく実効再生産数をさげた対応策
スイス	82,796.55	ロックダウン
ノルウェー	81,697.25	入国規制
NY	62,794.59	ロックダウン
スウェーデン	54,608.36	入国規制
オランダ	53,024.06	ロックダウン
オーストリア	51,461.95	入国規制
ドイツ	47,603.03	入国規制
ベルギー	47,518.64	入国規制
イギリス	42,943.90	在宅勤務
ニュージーランド	41,945.33	入国規制
フランス	41,463.64	入国規制
東京	39,289.96	外出規制
ロンバルディア	34,483.20	飲食店営業停止
スペイン	30,370.89	ロックダウン
ギリシャ	20,324.25	入国規制
チリ	15,923.36	ロックダウン
クロアチア	14,909.69	飲食店営業停止
ルーマニア	12,301.19	ロックダウン
ロシア	11,288.87	入国規制
タイ	7,273.56	ロックダウン
インドネシア	3,893.60	外出規制
エジプト	2,549.13	学校の閉鎖
インド	2,009.98	ロックダウン
バングラデシュ	1,698.26	ロックダウン
ウズベキスタン	1,532.37	外出規制
パキスタン	1,482.40	学校の閉鎖

二週間後

国名	一人当たりのGDP(USド	最も大きく実効再生産数をさげた対応策
スイス	82,796.55	入国規制
ノルウェー	81,697.25	入国規制
シンガポール	64,581.94	外出規制
NY	62,794.59	入国規制
スウェーデン	54,608.36	入国規制
オランダ	53,024.06	ロックダウン
オーストリア	51,461.95	入国規制
ドイツ	47,603.03	入国規制
ベルギー	47,518.64	入国規制
イギリス	42,943.90	在宅勤務
ニュージーランド	41,945.33	入国規制
フランス	41,463.64	入国規制
東京	39,289.96	入国規制
ロンバルディア	34,483.20	飲食店営業停止
スペイン	30,370.89	入国規制
ギリシャ	20,324.25	入国規制
チリ	15,923.36	ロックダウン
クロアチア	14,909.69	飲食店営業停止
マレーシア	11,373.23	学校の閉鎖
ロシア	11,288.87	入国規制
武漢	9,770.85	ロックダウン
タイ	7,273.56	ロックダウン
インドネシア	3,893.60	学校の閉鎖
フィリピン	3,102.71	入国規制
エジプト	2,549.13	学校の閉鎖
インド	2,009.98	ロックダウン
バングラデシュ	1,698.26	ロックダウン
ウズベキスタン	1,532.37	外出規制
パキスタン	1,482.40	学校の閉鎖

三週間後

国名	一人当たりのGDP(USドル)	最も大きく実効再生産数をさげた対応
スイス	(Ctrl),796.55	入国規制
ノルウェー	81,697.25	入国規制
シンガポール	64,581.94	外出規制
NY	62,794.59	入国規制
スウェーデン	54,608.36	入国規制
オランダ	53,024.06	ロックダウン
オーストリア	51,461.95	入国規制
ドイツ	47,603.03	入国規制
ベルギー	47,518.64	入国規制
イギリス	42,943.90	在宅勤務の奨励
ニュージーランド	41,945.33	入国規制
フランス	41,463.64	入国規制
東京	39,289.96	入国規制
ロンバルディア	34,483.20	学校の閉鎖
スペイン	30,370.89	入国規制
ギリシャ	20,324.25	学校の閉鎖
チリ	15,923.36	入国規制
クロアチア	14,909.69	飲食店の営業停止
ルーマニア	12,301.19	外出規制
マレーシア	11,373.23	学校の閉鎖
ロシア	11,288.87	入国規制
武漢	9,770.85	外出規制
タイ	7,273.56	ロックダウン
イラン	5,627.75	外出規制
インドネシア	3,893.60	学校の閉鎖
フィリピン	3,102.71	入国規制
エジプト	2,549.13	学校の閉鎖
インド	2,009.98	ロックダウン
バングラデシュ	1,698.26	外出規制
ウズベキスタン	1,532.37	ロックダウン
パキスタン	1,482.40	学校の閉鎖

黄色ハイライト；年間３万人以上の海外旅客は訪れる国

１人当たりのGDPの大小で最も有力な対応策が変化した理由は、
グローバル化による先進国，発展途上国の経済力の差が考えられる．

- **一人当たりの GDPが高い国々**では、**人々の国境を越えた往来が盛んになる**ことで、感染症の拡大リスクが上昇した可能性がある。

研究結果および考察

重回帰分析

各国が「学校の閉鎖」を実施した結果、
実施当時から一週間、二週間、三週間経過後の回帰係数と
人口の割合には、反比例の関係にあることが分かった。

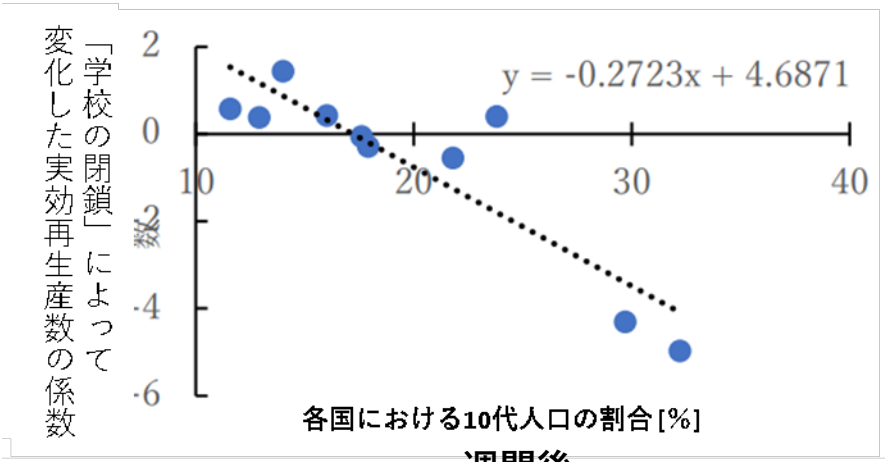
10代の人口が約25％以下：標準回帰係数はそこまで変化していない

- **対応策の効果があまり見られない**

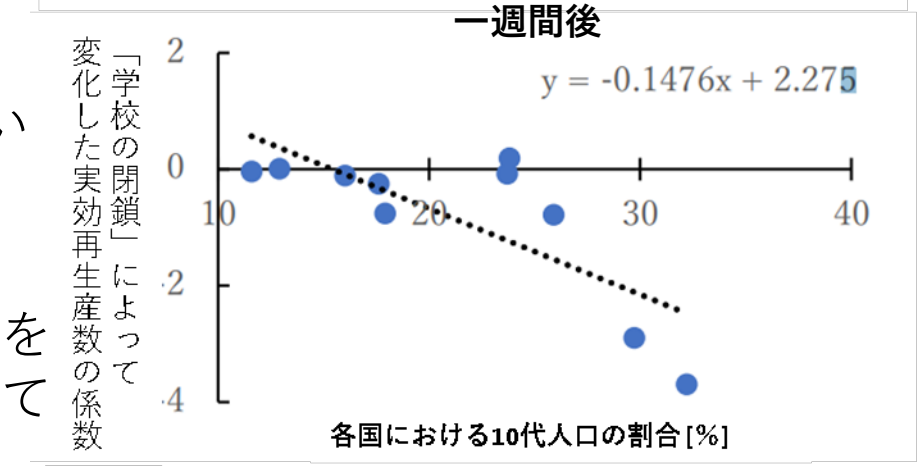
10代の人口が約25％以上：実効再生産数の標準回帰係数は負の値を占めており、特に30％付近では他と比べて大きく下回っている。

- **「学校の閉鎖」の効果が確認できる**

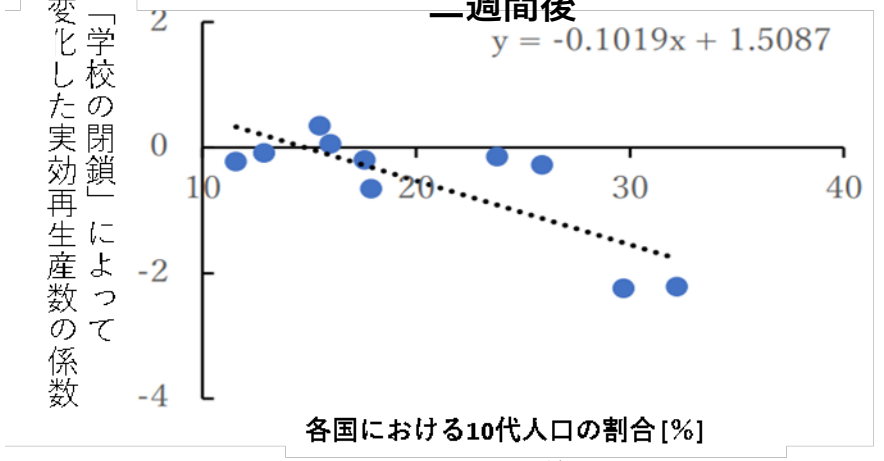
- **10代人口が約30％よりか大きければ、「学校の閉鎖」は非常に有効となることが示唆される。**



一週間後



二週間後



三週間後

結論

本研究では、t検定及び重回帰分析を行ったことで以下のことがわかった。

t検定からの結果

- **入国規制**は施策後**1週間程度**で効果が現れはじめた.
- **学校の閉鎖**や**飲食店の営業停止**は施策後**2週間程度**で効果が出た.

重回帰分析からの結果

- GDPが高い国々：**入国規制**
- GDPが低い国々：**国内の人的接触を抑える対応策**
- 10代人口割合が30％以上の国々：**学校の閉鎖**

以上のような対応策を優先して行うことが望ましいことが分かった。

今後の課題

- 同じような対応策でも国ごとに罰則の有無や，規制の厳しさなどが異なっているため，効果に差がある可能性

- 各国のPCR検査数の違いによって，正確な感染者数を把握できていない可能性

↓

正確なデータの入手や，より細かい分析手法の検討が重要と考えられる.

参考文献

1. 日本経済新聞：チャートで見る世界の感染状況　新型コロナウイルス
2. 世界保険機関(WHO)：ホームページ
3. NHK特設サイト：新型コロナウイルス日本国内の感染者数
4. 韓国中央防疫対策本部：コロナウイルス感染症-19（COVID-19）
5. 台湾地区：新型コロナウイルス疫病動態
6. 斎藤 正也：日本におけるインフルエンザ感染ネットワークモデル.2013
7. 白川 康一：ネットワーク構造を考慮した感染症拡散モデルの構築と効果的なワクチン接種の検討.2009
8. Cheng-Chih Hsu：新型コロナウイルス収束予想グラフ.2020
9. JNTO: 世界各国・地域への外国人訪問者数ランキ ング, https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/visitor_statistics. html（最終アクセス：2020.10.01）

ご清聴ありがとうございました