## 新型コロナウイルスに関するメモ

牧野淳一郎

September 6, 2021

<sup>1../</sup>corona.pdf

# Contents

1	いろいろなモデル計算 $(2020/4/10)$	5				
	1.1 西浦博北大教授	5				
	1.2 大橋順東大教授	6				
	1.3 佐藤彰洋横浜市大教授	8				
	1.4 まとめ	9				
2	交通整理 (2020/4/12)	11				
	2.1 モデルが人口保存を満たしていないこと	11				
	2.2 時間遅れの扱いが標準的なものと違うこと	12				
	2.3 モデルの検証がなされていない	13				
	2.4 予測に「最悪条件」を使うのは適切ではない	13				
	2.5 まとめ	13				
3	交通整理の続き (2020/4/16)	15				
4	交通整理の続きその 2 (2020/4/16)	17				
5	新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解等(新型コロナウイルス感染症) $(2020/4/16)$	8) 19				
6	新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解等(新型コロナウイルス感染症)そ $2(2020/5/2)$	の 23				
7	朝日新聞記事における牧野の文章の不適切な利用について $(2020/7/8;2020/7/11,12$ 追記)					
8	K 値 (2020/7/23)	33				
9	大量検査の感染抑制効果 ( $2020/12/31$ $2021/1/1$ ちょっと追記)	35				
10	指数関数的増加と (片) 対数グラフ ( $2021/6/26$ )	39				
11	東京と日本の現状と今後 ( $2021/8/28$ )	43				

11.1	本当の本当にこんなことになるのか?ということについて。	52
11.2	デルタ株とワクチン	52

# いろいろなモデル計算 (2020/4/10)

コロナウイルス (SARS-CoV-2) の感染がどのように広がるかについては色々なことがいわれています。が、その背景にあるモデルはほぼ同じで、Kermack and McKendrick の SIR モデル A contribution to the mathematical theory of epidemics, 1927, Proceedings of the Royal Society  $A^1$  です。これについての牧野による解説は岩波「科学」5月号掲載予定の原稿 $^2$ に書いた通りなので、まずはそちらを御覧いただければと思います。

基本的にはこのモデルを使っているにもかかわらず、どう対策をする必要があるか、については色々な人が色々なことをいっていて、大きな幅があります。ここでは、そのうち3つを取り上げて、どのような違いが生じているか、それは何故か、どれが信用できるか判断できるか、というあたりを考えます。

#### 考えるのは

- 1. 西浦博北大教授によって「8割の接触削減が必要」として示されているグラフの背景にあると 思われるモデル
- 2. 大橋順東大教授による「ほぼ全ての発症者が行動量を 45%に下げたとしてもわずか 1%でも行動を変えない人がいるとその効果は大きく損なわれる」という主張の根拠となるモデル
- 3. 佐藤彰洋横浜市大教授による、東京では現在の 2% まで接触削減が必要、という主張の根拠になっているモデル

の3つです。以下順番に。

### 1.1 西浦博北大教授

西浦教授は厚労省新型コロナウイルス対策本部クラスター対策班のメンバーでもあり、これまでクラスター対策の有効性を主張してきていましたが、4/7 になって「接触8割減で感染急減」との主張が報道されるようになりました。以下は中日新聞3 からの引用です

北大教授試算「接触8割減で感染急減」 宣言の契機?首相が強い関心

#### (中略)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.iwanami.co.jp/kagaku/Kagaku\_202005\_Makino\_preprint.pdf

<sup>3</sup>https://www.chunichi.co.jp/article/front/list/CK2020040802000061.html

西浦教授は数理モデルと呼ばれる手法を用いて感染状況を推計する理論疫学 の専門家。

教授の試算では、外出を欧米に近い形で厳しく制限し、人と人の接触を八割減らす対策を取れば、十日~二週間後に感染者が一日数千人のピークに達しても、その後に対策の効果が表れ、急速な減少に転じる。

どのようなモデルでなにを計算したのかがあまりきちんと説明されていないこともあり、若干の混乱がありますが、以下のモデルで公開されているグラフをほぼ完全に再現できました。

- 通常の SIR モデル
- $R_o = 2.5$
- ある時刻で R<sub>o</sub> を 20% および 80% 減少させる
- プロットしているのは、「1日あたり新たに発症する人の数」

規格化した方程式系

$$\frac{dx}{dt} = R_o(1 - x - y)x - x,$$

$$\frac{dy}{dt} = x.$$
(1.1)

でいうと、 $R_o(1-x-y)x$  を、おそらく  $x+y \ll 1$  と近似してでてくる  $R_ox$  をプロットしています。ここで、x、y は全人口に対する現在感染している人、感染から回復した人の割合です。x は連続的に変化するのですが、 $R_o$  を突然変えるので新規に発生する感染者の数はその分減るわけです。そのあとは、 $R_o$  が 1 より小さくなれば、新規に発生する感染者数は指数関数的に減少します。

図 1.1 に、再現した結果を示します。縦・横軸をスケールすることでほぼ完全に一致しました。なお、ここでは、20%、80%の他に 60%減少 ( $R_o=1$ ) にした結果も示しています。この場合にも減らないわけでではないのですが、減りかたは遅いことがわかります。

「現在の  $R_o$  が 2.5 であり」「SIR モデルを使い」「  $R_o$  を 80%減らせれば」こうなるよね、というグラフで、数学的にはおかしいところはありません。

もちろん、実際にではある瞬間に  $R_o$  の原因となっている人と人の接触を 80% 減らすことができたとしても、発生する陽性確定者や患者の数はこんなに急には減りません。というのは、感染してから検査して陽性がでる、あるいは発症するまでには何日かかかるからです。

とはいえ、基本的な振舞いとしてこうなることを期待する、というのは大きな問題はないように思 われます。

### 1.2 大橋順東大教授

大橋順東大教授の資料は  $^4$  新型コロナウイルス感染症の流行予測正しく理解し、正しく怖がり、適切な行動をとるために $^5$  です。

1.2. 大橋順東大教授 7

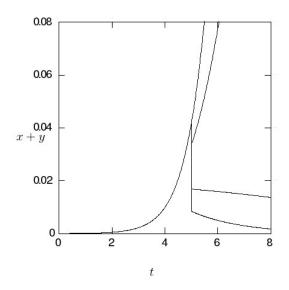


Figure 1.1: 西浦氏のグラフを再現したもの。横軸は感染者が回復するタイムスケール、縦軸は全人口に対する割合で規格化しているので、値自体は一致しない。上から、  $R_o$  が変化しない場合の結果、  $R_o$  を 20, 60, 80 す。

大橋氏は、SEIR モデルと言われる、少し複雑なモデルを使っています。これは、感染してから発症する (厳密には、人にうつすようになる) までに時間がかかる、というモデルです。潜伏期がある、ということの簡単なモデルです。方程式系は、この、感染したけどまだ人にうつさない人の割合を e として

$$\frac{de}{dt} = \alpha(1 - e - x - y)x - \beta e,$$

$$\frac{dx}{dt} = \beta e - \gamma x.$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$
(1.2)

となります。  $\gamma$  は 1 としてよくて、 e,x,y が小さいところでは y の振舞いは e,x に関係ないので、その時のこの方程式の振舞いは行列

$$\begin{pmatrix}
-\beta & \alpha \\
\beta & -1
\end{pmatrix}$$
(1.3)

の 固有値で決まります。固有方程式は

$$(\lambda + \beta)(\lambda + 1) - \alpha\beta = 0 \tag{1.4}$$

で与えられるので、固有値は

$$\lambda = \frac{1}{2} \left( \pm \sqrt{4\alpha\beta + (\beta - 1)^2} - \beta - 1 \right) \tag{1.5}$$

で、大きいほうの固有値が  $\alpha=1$  で 0 になることがわかります。なので、  $\beta$ 、つまり、潜伏期の長さに無関係に、  $\alpha$  の値だけで感染者が増えるかどうかは決まります。では  $\beta$  には意味がないか、というと、これがあることによって固有値は常に  $\alpha-1$  より小さくなります。つまり、遅延があることによって、指数関数的な成長が、 $R_0-1$  で決まるタイムスケールより遅いようにみえる、言い換えると  $R_0$  が小さいようにみえる、ということです。

資料では、単純に  $R_0=2.5$  として、これを 1 程度にした場合を議論しています。西浦氏の議論との最大の違いは、

外出制限など各人の行動量 (他人との接触頻度) をいかに 40%(=1/Ro) に近づけるかが重要 (スライド 24)

として、何故か  $R_o < 1$  を目標としていないことです。このため、西浦氏資料と同じ  $R_o = 2.5$  で議論しているのに、目標とする  $R_o$  の減少の割合が 80% と 55% で大きく違うことになります。

しかし、「科学」の記事でも述べたように、そもそも「 $R_o>1$ でしかも1に近いところ」は外出禁止等によってもっていくべき適切な目標ではありません。これは、 $R_0>1$ を維持すると膨大な死者がでるからです。例えば、55%減らした、という時にはこのスライドの23ページにあるように、全人口の概ね2割が最終的に感染します。死亡率を1%としても、20万人が死亡することになります。これはあまりに膨大な数です。

このことから、西浦氏のモデル計算と大橋氏のモデル計算に本質的な違いはないが、大橋氏の目標設定が55%と西浦氏の80%に比べて厳しくないのは、「多数の死者を容認する」ことと少なくとも結果的には等価であることがわかります。

### 1.3 佐藤彰洋横浜市大教授

佐藤氏のモデルは4月7日の毎日新聞6で紹介されました

福岡 99.8 %、東京 98 % 新規感染減に不可欠な「行動抑制率」 専門家が試算

感染拡大はどうしたら抑えられるのか、専門家によるシミュレーションが相次いで出されている。ただ、緊急事態宣言の発令地域では人の行動を非常に厳しく抑制しなければならず、現実的には極めて難しい。

佐藤彰洋・横浜市立大教授(データサイエンス)は発令地域を含む 15 都道府県を対象に分析。自治体が発表する新規感染者数と、感染・発症後に回復する人の割合を基に、感染した状態の人数の推移を算出した。新規感染者が大幅に増える時期より前の行動を「100%」とし、人と人との直接的な接触を今後 2 週間で何%減らせば、長期間新規感染が確認されない状態に近づくか目標値を示した。

その結果東京都の場合、公共交通機関の乗車時間と面会する人数を各個人が 98 %減らす必要があった。 (後略)

この議論の根拠となるモデル計算は都道府県ごとのシミュレーションによる検討<sup>7</sup>です。

これは、大橋氏のモデルをさらに複雑にした、遅延を微分要素ではなく本当に時間遅れ (感染してからちょうど 2 週間後に発症) とし、さらに確率的なゆらぎをいれたものです。確率的なゆらぎは今回の解析にはほとんど意味がないのですが、遅延モデルと、遅延の大きさには意味ががあります。

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>https://mainichi.jp/articles/20200407/k00/00m/040/269000c

<sup>7</sup>https://www.fttsus.jp/covinfo/pref-simulation/

1.4. まとめ

確率的なゆらぎを無視し、遅延をいれた方程式系は、以下のようになります。

$$\frac{de}{dt} = \alpha(1 - e - x - y)x - \alpha[1 - e(t - \tau) - x(t - \tau) - y(t - \tau)]x(t - \tau),$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha[1 - e(t - \tau) - x(t - \tau) - y(t - \tau)]x(t - \tau) - \gamma x.$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$
(1.6)

ちなみに、佐藤氏の式は e つまり潜伏期の人の割合が明示的に書かれていなくて、 N=S+I+R で dS/dt の第一項が  $\alpha SI/N$ 、つまり、規格化した変数で書くと  $\alpha (1-e-x-y)x/(1-e)$  という少し不思議な形になっているようです。以下の議論では e,x,y が 1 より十分小さい場合を考えるので、振舞いは変わらずここでの結論は同じです。 (最初のバージョンではここの記載に間違いがありました。 @ceptree 様に感謝します)

#### 4/16 追記

@ceptree 様から SEIR epidemic model with  $delay^8$  という論文があることを御教示いただきました。これの 1.3 式から通常の誕生・死亡を除いたものが上の私が修正した方程式系になっています。

#### 4/16 追記終わり

遅延は非線型項なので、大橋氏のものでやったような線型解析はやりにくいのですが、できないわけではありません。e,x,v が1より十分小さいとすれば、この方程式系は単に

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x(t - \tau) - \gamma x,\tag{1.7}$$

です。これに指数関数的な解  $\exp(\lambda t)$  があるとして

$$\lambda = \alpha \exp(-\lambda \tau) - \gamma \tag{1.8}$$

となります。現在までの感染者の増加率と、回復者の増加率をフィットするようにこれらのパラメータを推定するわけですが、佐藤氏は上で述べたように  $\tau$  を 14 日に固定しています。このため、実際のこれまでの増加率をあらわすのに必要な  $\alpha$  の値が 1 以上と極端に大きくなっています。上の式を書換えると

$$\alpha = (\lambda + \gamma) \exp(\lambda \tau) \tag{1.9}$$

となり、 $\exp(\lambda \tau)$  の値の分大きくなるからです。

また、 $\gamma$  (佐藤氏の定式化では  $\beta$ ) は、いくつかの都市で 0.01、つまり、他の人にうつさなくなるまで 100 日程度かかる、という値になっています。これは、退院までの日数から推定したものと思いますが、おそらく日数を過大評価、すなわち、 $\gamma$  を過小評価しています。退院は、本当に確実に治った、というところですが、人にうつす割合はもっと速くさがっているはずだからです。

このモデルでも  $R_o = \alpha/\gamma$  なので、  $R_o$  が 100 を超えるような極端な値になり、1%に落とす必要がある、という結論がでてくるわけです。

### 1.4 まとめ

3 氏の解析を概観しましたが、必要な  $R_o$  の減少率については、大橋氏はモデルパラメータが同じ西浦氏に比べて明らかに過小評価、佐藤氏はモデルそのものが過大評価を与えるものになっていて、信

<sup>8</sup>https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/906A072AA2ACB250ADB0D1D9DCC38D8F/S144618110000345Xa.

頼できる結果とはいえないことがわかります。

西浦氏のモデルは、  $R_o=2.5$  という仮定が正しい限りにおいては、単純化したために現実との比較に注意は必要ですが、結果自体に大きな問題はないようにみえます。但し、  $R_o$  は中国での推定ではもっと大きいようでもあり、また、日本での現在までの検査体制で  $R_o$  を正しく推定できるかどうかは原理的な問題を含んでいます。従って、数理モデルとしては正しいものの、結果の「8割」を無条件に信頼できるとはいえないのではないでしょうか。

# 交通整理 (2020/4/12)

佐藤氏のモデル都道府県ごとのシミュレーションによる検討 $^1$ について、本堂毅氏、佐野雅己氏、松下 貢氏の連名による批判 $^2$ が公開されています。

批判は4点で

- 1. モデルが人口保存を満たしていない
- 2. 時間遅れの扱いが標準的なものと違う
- 3. モデルの検証がなされていない
- 4. 予測に「最悪条件」を使うのは適切ではない

です。 twitter でも議論されていますが、少し話がかみあわなくなっている気もするので以下で整理を試みます。

### 2.1 モデルが人口保存を満たしていないこと

これは満たしていないことは間違いなく、既に 1.3 節で議論した通りです。これは、佐藤氏のモデルでは、潜伏期にある人口が明示的に現れないからです。S, I, R の他に「潜伏期にある人」が存在するのですから、これをいれないと元の総人口にはならないのは明らかでしょう。1.3 節の記法でいうと、

$$\frac{ds}{dt} = -\alpha s x/n$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha s (t - \tau) x (t - \tau) / n (t - \tau) - \gamma x.$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$

$$n = s + x + y.$$
(2.1)

というのが (確率的なゆらぎがないとした時の) 佐藤氏のモデル方程式を規格化したものになります。x の増える分は  $\tau$  前の s の減る分で、時刻が違う以上この 2 つは違うので、 s+x+y は変化して、その変化はもちろん、「潜伏期にある人」の変化であるわけです。

<sup>1</sup>https://www.fttsus.jp/covinfo/pref-simulation/

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/09d5b0d4-bfbf-44a8-8b8a-a9cc316a3dfb/%E4%BD%90%E8%97%A4%E5%BD%B0%E6%B5%A9%E

なので、n=s+x+yと定義するなら、それは潜伏期にある人を除外した人口であり、保存しなくてもかまわないので、方程式系が人口保存を満たしていないようにみえることはそれだけでは方程式系がおかしいということを意味しません。しかし、 $-\alpha sx/n$  という形で係数の規格化に n が使われるのは若干問題で、方程式系の意味を考えるとこれはちゃんと変化しない全人口でなければなりません。例えば、x,y が小さいとして、それらが同じままで s を減らしてその分を「潜伏期にある人」にもっていくと、上の式では  $-\alpha sx/n$  が s n の変化がうちけしあうのでほとんど変わらなくなるのですが、本来は s が減ったことで小さくならなければなりません。

まあその、佐藤氏は出版された論文 $^3$ でもこの式を使っているので、なかなか難しい問題がある気もします。

#### 2.2 時間遅れの扱いが標準的なものと違うこと

佐野氏らの批判では、佐藤氏の文章について「時間遅れの入れ方に誤解があり、物理的にも意味がないモデルになっていると思われます」としています。その根拠は「過去の多くの文献で  $S(t)I(t-\tau)$  を使っているが佐藤氏は  $S(t-\tau)I(t-\tau)$  を使っている」というものです。

過去の文献と違うから間違っているに決まっている、というのは批判としてちょっとどうかと思います。文献が示されていないので過去の論文で実際にどういう扱いがされていたかわからないのですが、おそらくやはり「潜伏期の人口」を明示的にもたないものと思われます。具体的には

$$\frac{ds}{dt} = -\alpha sx(t-\tau),$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha sx(t-\tau) - \gamma x.$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$
(2.2)

という形です。これを、佐藤氏の方程式系

$$\frac{ds}{dt} = -\alpha s x/n, 
\frac{dx}{dt} = \alpha s(t-\tau)x(t-\tau)/n(t-\tau) - \gamma x. 
\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$
(2.3)

と比べてみると、 $\mathrm{ds}$  と  $\mathrm{dx}$  を同じ形にすることで保存則を満たすようにした式であることがわかります。

人口保存はするのですが、佐藤氏の方程式系に比べて解釈ははっきりしないもののように思います。 佐藤氏が指摘しているように、違う時刻の変数が相互作用するのは厳密には意味をなさず、あくまで も近似的なものではないかと思います。

もう少し細かくいうと、この方程式系での x は潜伏期にある人を含むので、これを x+e と置き直して、この式での  $x(t-\tau)$  を x にして書き直すと、私のだした式とは dx/dt の項に  $(S-S(t-\tau))x$  の差がでてきて、そういう近似をしているわけです。

なので、過去の文献と違うから間違いと決めつけるのは問題であり、過去の多くの文献が近似的な 扱いであったのではないかと思います。

<sup>3</sup>https://ieeexplore.ieee.org/document/7364074

### 2.3 モデルの検証がなされていない

これはまあ、十分とはいいがたいと思います。特に、モデルパラメータのうち $\beta$ 、つまり回復する割合は都市毎にフィッテイングパラメータにする、というのは、都市毎に病気が違うのでなければあんまり正当化できないですし、それなら時間遅れ $\tau$ は定数なのか?というのは疑問です。また、 $\tau$ を「潜伏期間+症状が発見されるまでの時間差」としていますが、これはモデルの解釈としては問題で、モデル変数としては $\tau$ は潜伏期間でなければならず、症状が発見されるまでの時間差は別の形で与えなければパラメータ推定に失敗します。 $\tau$ の過大評価は既に議論したように $R_0$ の過大評価に直結するので、あまり安全とはいいがたいです。

### 2.4 予測に「最悪条件」を使うのは適切ではない

ここでの最悪条件を使うというのは、あくまでも「日次感染者数は積算での感染者数を用いた」ことのいいわけですが、回復率の推定はその記載の前に別に行っているのであまり大きな誤差にはなってないように思います。

#### 2.5 まとめ

佐藤氏のモデル方程式系とパラメータ推定に色々問題がないわけではないのですが、大変失礼ないいかたになりますが佐野氏らの指摘は誤解に基づいたものもあり、また、重要なポイントではない細かいところにはいっているように思われました。

## 交通整理の続き (2020/4/16)

前回 2 について、佐野氏から twitter でご意見をいただきました。 twitter は 140 字で式も図も書けないので、科学的・数学的にきちんとした議論にむいているとはいいがたいと思います。ということで、ここでまとめて回答させて下さい。

佐野先生の、私に対するツィートのうち私が答えるべきものは以下

 $1^{1} 2^{2} 3^{3} 4^{4} 5^{5}$ 

のうち、3-5だと思います。以下順番に。

3 lt

他の2名から科学的な議論は遠慮せず行うべき、とのことですので、誤解について説明します。長いので、3回に分けて。1)人口保存は、反応速度論的には守らないと物理的な意味が脆弱。感染者が少ない時は誤差は少ないが、爆発が起こる場合は変動が1のオーダーになるので致命的。2)は長いので最後に。

です。これについては、私も 2.1 で同じことを、されている近似はどのようなものでどう問題が起こるかまで含めて書いています。

爆発が起こる場合は変動が1のオーダーになるので致命的

というのは、ここに現れる誤差は潜伏期にある人の全人口に対する割合だけなので、通常はそこまで大きくなることはないはずです。佐藤氏の  $\tau=14$  日だとかなり大きくなりえるのですが、これはパラメータが適切ではないと思います。

4 は

4)東京都の予測で、(増幅率:  $\alpha$ =0.57010、回復率  $\beta$ =0.0137)としていますが、単純な SIR モデルなら、R0=43 となり大きすぎます。遅延がある場合、R0 は単純に  $\alpha$  /  $\beta$  ではありませんが、多くの都市で、退院までの日数約100日は平均としては長く取りすぎです。そもそも入院したら感染はさせません。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>https://twitter.com/sano\_msk/status/1249526051132198913

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://twitter.com/sano\_msk/status/1249532161109028864

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>https://twitter.com/sano\_msk/status/1249581419912781824

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>https://twitter.com/sano\_msk/status/1249586213217943554

 $<sup>^5 \</sup>mathtt{https://twitter.com/sano\_msk/status/1249589195045081088}$ 

です。これは、 1.3 で既に書いた通りであり、このこと自体に意見の相違はありません。 2.4 に書いた通り、これと「最悪条件」は別の話です。

5 は

2) t=0 で感染した人が $\tau$ 日後に感染させる感染させる確率を  $f(\tau)$  とすると、拡張した SIR モデルは次の式になります。ここで簡単のために  $f(\tau)$ = $\delta$  ( $\tau$ —h) の $\delta$  関数とすると、積の項は S(t)I(t-h) になります。(h は 佐藤氏の遅延 $\tau$ に相当します。) それでも近似ですが、佐藤氏のように S(t-h)I(t-h) にはなりません。

これも 2.2 で議論した通りで、上の近似では佐藤氏の式にはならないのですが、私がいっているのはそれは出版された論文 $^6$  の図 1 の状態遷移図にあるように「inapparent infection」がモデル方程式に実効的にはいっている (のに変数として陽的に書かれていない) からである、ということです。一次遅れ (線型遅延) ではない、固定時間の非線型遅延をいれた SEIR モデルであるともいえます。

それを考慮すれば(さらに上の総人口が保存しないという問題も解消する形に方程式系を修正すれば)、佐藤氏の方程式系はコンシステントなものであり、S(t)I(t-h) でないから間違いである、というのはいかがなものか、というのが (繰り返しですが) 私の主張です。(総人口が適切にはいっていない、というのはその通りで、それは上で議論したものです)

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>https://ieeexplore.ieee.org/document/7364074

## 交通整理の続きその2 (2020/4/16)

本堂毅氏、佐野雅己氏、松下 貢氏の連名による批判<sup>1</sup>に対して、 佐藤氏の公開質問状に対するコメント<sup>2</sup>が公開されているので、以下簡単に。

問題点^^e2^^91^^a0 数理モデルについて

実は、SIR モデルについては、総人数 N(t) については質量保存則を必ずしも満足しなければならないわけではありません。このモデルはある領域(この場合都道府県)における、人口を N(t) として、そのうち未罹患者数 S(t) , 感染者数 I(t) , 回復者または死亡者 R(t) として分類してモデル化しています。

移入を考えると、S(t), I(t), R(t) は出入りすることにより時間的に変化し、その結果、ある領域内の総人口 N(t) についても、時間的に変化します。このモデルは社会系のモデルであり、物理系のモデルと異なるのです。移入の問題を考えると、このモデルの文脈においては、必ずしても質量保存則 dN/dt=0 を満足しなければならないというものでは本来ないはずということは判断付くと思います。

ご専門が物理の方であるので、この社会的な問題について前提条件に対して 大きな誤解をされての質問であると考えます。

これはそういう問題ではないことは 2.1 で書いた通りで、上の「移入を考えると」云々は意味をなしていません。E として明示的に潜伏期にある人口を表現すればもちろん人口は保存します。

問題点^^e2^^91^^a1 時間遅れの扱いについて

(中略)

今回の COVID-19 では、症状がそれほどない状況において、感染者として確定される 14 日以上前の一見健康そうに見える状況でも感染力を有していると考えるほうが状況証拠的に妥当です。

これは、もしもそうであるとするなら佐藤氏の方程式系は適切ではない、ということで、これは、佐 藤氏のモデルが

#### • 感染力をもつこと

https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/09d5b0d4-bfbf-44a8-8b8a-a9cc316a3dfb/%E4%BD%90%E8%97%A4%E5%BD%B0%E6%B5%A9%E2https://www.fttsus.jp/covinfo/answers/

• 感染者として観測されること

を区別する能力をもっていない、もうちょっと正確にいうと前者だけを表現しているのにパラメータフィッテイングには後者を使っているという矛盾があることに由来します。

3、4については科学的というかモデルの内容についての議論ではないので省略します。

# 新型コロナウイルス感染症対策専門家 会議の見解等(新型コロナウイルス感 染症)(2020/4/18)

ここまで、新型コロナウイルス感染症対策本部 クラスター対策班 西浦氏の見解の他、いくつかの研究者の見解とその間の議論をみてきました。西浦氏は政府の対策班のメンバーではあるものの、その見解は政府公式のものではありません。ここでは、政府公式の見解、すなわち、内閣総理大臣を本部長とする新型コロナウイルス感染症対策本部の下に設置された新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解をみていくことにします。

ここでは、特に、R (実効再生産数) の推定値に注目します。専門家会議の資料ではこの言葉を使っていますが、SIR モデルをみる限り、 $R_0$  と R の区別に意味が発生するのは、回復者や感染者の全人口に対する割合が無視できなくなったところであり、4 月現在の日本はまだそうではないとすれば、2 つを区別する意味はありません。

3月9日資料1に、実効再生産数の文字があります。内容は

また、実効再生産数 (感染症の流行が進行中の集団のある時点における、1 人の感染者から二次感染させた平均の数) は日によって変動はあるものの概 ね1程度で推移しています。

というものです。ここではデータは何もなく、極めて重要な判断ですがどのようにしてなされている のかは全く不明です。さらに

北海道での対策については、北海道での緊急事態宣言から少なくとも約2週間後からでなければその効果を推定することが困難です。その後、複数の科学的な指標(感染者数の変化、実効再生産数、感染源(リンク)が明確な患者数)を用いて、約1週間程度かけて、この対策の効果を判断し、3月19日頃を目途に公表する予定です。

とあるので、3月 19日資料 $^2$  をみてみましょう。北海道の話は省略して、日本全体についてみると、以下のように書かれています。

<sup>1</sup>https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000606000.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf

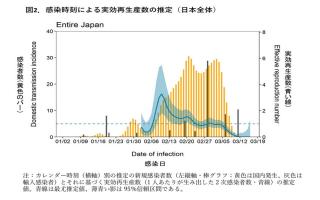


Figure 5.1: 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議 3 月 19 日資料図 2。

図2に示したように、日本全国の実効再生産数は、日によって変動はある ものの、1をはさんで変動している状況が続いたものの、3月上旬以降をみ ると、連続して1を下回り続けています。

この根拠になる「図2」を図5.1に示します。

実効再生産数 R は「青い線」で、確かに 3 月にはいってから 1 より小さくなっています。しかし、ここでは、2 つ問題があります。

- 1. そもそもこの値はどうやって計算されてものか
- 2. 「3月上旬以降1以下」は本当か

1の問題はより重要なのですが、まず、答が明らかな 2 のほうをみます。確かに、R は 3 月にはいってから 1 以下ですが、そのままどんどん小さくなって、3 月 12 日にはゼロになります。これが本当になら、流行は収束していて 4/18 日現在で国内でほぼ 1 万人もの感染者が発生しているはずはないですから、なにかおかしいわけです。

何がおかしいかというと、Rを計算するベースになっている「感染者数」が、「感染日」によっていることです。つまり、例えば 3 月 18 日に 44 名の感染者が確認されたとして、その人達はこのグラフでは 3 月 18 日ではなく、推定される「感染日」に割り当てられています。それはもちろん 3 月 18 日より前です。言い換えると、3 月 18 日の「感染者」の本当の数は 3 月 18 日には分からないわけで、それからおそらく 2 週間程度たってわかるということになります。

つまり、図 5.1 の、3 月以降のデータはまだ確定した数字ではなく、必ず本当の数より小さいのです。その結果、3 月 12 日には感染者も R もゼロになっています。

極めて信じ難いことですが、「専門家会議」は、全く意味がないデータをもってきて、

3月上旬以降をみると、連続して1を下回り続けています

という見解をだした、ということになります。実際、4月 1日資料 をみると、その時までのデータで再計算された R のグラフがあります。図 5.2 に示します。

図 5.1 と 5.2 を比べると、3 月にはいってからは基本的にあってない、ということがわかります。これは上に述べた理由で極めて当然のことで、図 5.2 も 3 月 10 日以降は R が小さくでていると思ってよいでしょう。しかし、この見解の本文には

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000617992.pdf

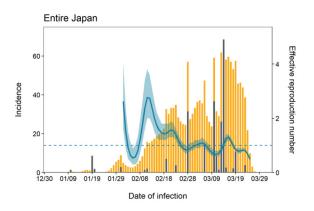


Figure 5.2: 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議 4 月 1 日資料から、日本全体での感染者数と 実効再生産数

日本全国の実効再生産数(感染症の流行が進行中の集団のある時刻における、1人の感染者が生み出した二次感染者数の平均値)は、3/15 時点では1 を越えており、その後、3 月 21 日から 30 日までの確定日データに基づく東京都の推定値は 1.7 であった。今後の変動を注視していく必要がある。

と、3月15日の数値に意味があると思っているようにみえる記載があり、この見解を作文した人は データの意味がわかっていないように思われます。

より大きな問題である「そもそもこの値はどうやって計算されてものか」ですが、全くなにも記載がないので判断しようがありません。同時期のデータに対する牧野の推定は、2 倍になる時間が 10日、回復までの時間が 25日として、N  $\beta$  -  $\gamma$  =0.07、 $\gamma$  =0.04 とすれば N  $\beta$  /  $\gamma$  =0.11/0.04=2.7 というところです。回復まで 10日とすれば 1.7 です。これは岩波「科学」 5月号掲載予定の原稿 に書いたのと基本的に同じ (原稿の計算は雑なので小さいめにでる) です。SIR モデルでいうところの N  $\beta$  -  $\gamma$  の値は新規感染者数とこれまでの感染者の累積 (回復者は除く) から決まって、これはあまり動かせませんが、回復していく速度  $\gamma$  の見積もりは難しく、そのあたりに問題があるようにみえます。 (黒川先生から指摘があり修正しました。2020/4/19)

まとめると、専門家会議の R の推定は、そもそも使えるはずがない期間の値を意味があるように議論するという初歩的な間違いと、どうやって計算したのか不明だがおそらく過小評価になっている、という問題があり、全く信頼できないものである、ということになります。

いうまでもなく、現在までのの R がいくつか、特に 1 より大きいかどうか、という推定は対策の立案にとって決定的に重要です。 R が 1 に極めて近い、ないし 1 より小さいなら、「対策は上手くいっている」ということになるからです。なので、もしも本当は R が 2、あるいは 1.2 である時に 1.0 と思い込むと、対策は失敗します。

既に述べたように、クラスター対策班には推定ができる研究者もいるようなのですから、それらの方を起用し、ただちに専門家会議の体制を見直して初歩的な間違い等が起きないようにする必要があります。

専門家会議資料を御教示いただいた高橋様 @kentarotakahash に感謝いたします。

<sup>4</sup>https://www.iwanami.co.jp/kagaku/Kagaku\_202005\_Makino\_preprint.pdf

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解等(新型コロナウイルス感染症)その2(2020/5/2)

5 では、3月 19 日資料<sup>1</sup> について

まとめると、専門家会議の R の推定は、そもそも使えるはずがない期間の値を意味があるように議論するという初歩的な間違いと、どうやって計算したのか不明だがおそらく過小評価になっている、という問題があり、全く信頼できないものである、ということになります。

と批判しました。昨日公開された5月1日資料2でどうなっているかを以下簡単にみていきます。

要点は、一見指摘された問題点を理解しているようにみえるのに実際には明らかに間違った解析結果になっており、全く信頼できないことには変わりがない、ということになります。

以下、理由を簡単にまとめます。

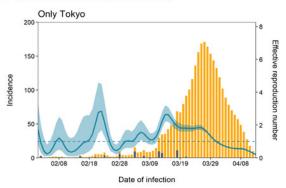
資料に「【図 4. 東京都における実効再生産数】」なるグラフがあります。 これから、以下のように議論しています

東京都においては、感染者数が増加しはじめた 3 月 14 日における実効再生産数は2.6(95%信頼区間:2.2、3.2)であった。3 月 25 日の東京都知事による外出自粛の呼びかけの前後から、新規感染者数の増加が次第に鈍化し、その後、新規感染者数は減少傾向に転じた。この結果、4 月 1 日時点での直近 7 日間における東京都の倍加時間は 2.3 日 (95%信頼区間:1.8,3.8)であったが、5 月 1 日時点での直近 7 日間の倍加時間は 3.8 日 (95%信頼区間:2.6,6.7)となった。また、4 月 10 日の実効再生産数は 0.5 (95%信頼区間:0.4,0.7)に低下し、1 を下回った。4 月 10 日時点のみならず、引き続き、実効再生産数の水準がこのまま維持されるかを注視していく必要がある。

ここで、まず注意するべきことは、図の説明に

<sup>1</sup>https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000627254.pdf



【図 4. 東京都における実効再生産数】

※ 横軸は推定感染時刻. 黄色が推定感染者数、青が実効再生産数(青い影が95%信頼区間)である。 実効再生産数の推定においては右側打ち切りを考慮した推定を実施しているが、潜伏期間と発病から 報告までの遅れのため、直近20日間は推定感染者数と実効再生産数を過小評価する可能性があるため、データを省略している。不顕性感染者を除く。

Figure 6.1: 5月1日専門家委員会見解の図 4。東京都の日毎の感染者数 (黄色棒グラフ) と推定実効再生産数 (青曲線)

実効再生産数の推定においては右側打ち切りを考慮した推定を実施しているが、潜伏期間と発病から報告までの遅れのため、直近 20 日間は推定感染者数と実効再生産数を過小評価する可能性があるため、データを省略している。

と書いてあることで、これは、5で

図 5.1 と 5.2 を比べると、3 月にはいってからは基本的にあってない、ということがわかります。これは上に述べた理由で極めて当然のことで、図 5.2 も 3 月 10 日以降は R が小さくでていると思ってよいでしょう。

と書いたことが意識されているかどうかはともかく、明らかにおかしなことは修正した、というふうにみえます。

まず、このことは、「3月19日資料の見解は全く間違っていた」ということを専門家会議は認めたに等しいですがそう明確には書いていない、ということであることに注意して下さい。逆に、「実効再生産数の推定においては右側打ち切りを考慮した推定を実施している」と書くことで、我々は3月19日資料の見解の間違いを認めない、と宣言しています。

では、今回の見解は大丈夫なのでしょうか?

明らかに奇妙なのは、日毎の感染者の数が、 3 月 28 日頃に 180 人ほどのピークを迎え、それから 急速に減少して 4 月 12 日には 10 人以下となっていることです。

図 6.2 に、東京での陽性確定者数のグラフを示します。まず、4 月 22 日から 5 月 1 日までの 10 日間だけで、1000 人以上の陽性者がでています。この多くはこのグラフを延長した 4 月 12 日から 22 日の間に感染したと考えられ、この期間には平均的に 1 日 100 人程度の感染者がでていなければ数があいません。しかし、このグラフを延長するなら、0 と 10 人の間、となり、完全に矛盾しています。もうちょっと前に感染していたとしても事情は変わりません。

おそらく、陽性確定者数から推定感染者数をだすモデルになんらかの誤りがあるものと思われます。 図 6.3 に、資料図 2 にある発症者数と図 4 にある感染者数を重ねたものを示します。これは数日ずれていてそのこと自体はよいのですが、なぜか 4 月後半ではずれが大きくなっていきます。

(ここ最初に追加したものは間違いがあったので修正しました)

### 陽性患者数

## 165人

5/1 実績値 (前日比: +119 人)

- (注) 医療機関が保険適用で行った検査も含む
- (注) チャーター機帰国者、クルーズ船乗客等は含まれていない

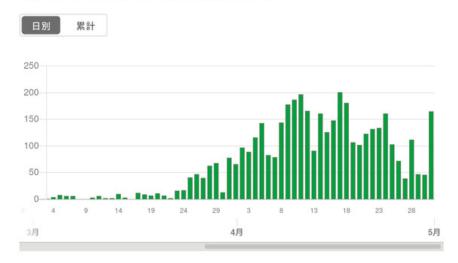


Figure 6.2: 5月1日までの東京での陽性確定者のグラフ。https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/から。

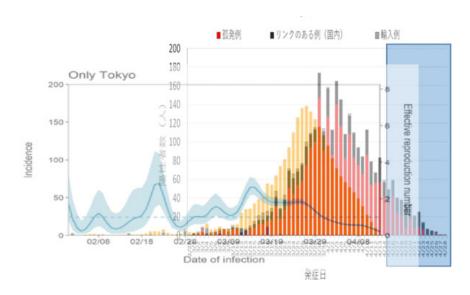


Figure 6.3: 5月1日専門家委員会見解の図2と図4を重ねたもの。



Figure 6.4: 5月1日専門家委員会見解の図2と図4を重ねたもの。感染日と発症日の違いを考慮して横にシフトしている。

図 6.4 に、図 6.3 で横軸をシフトしたもの (あと縦軸も同じスケールに合わせています) を示します。ピークの左側はよくあっているのですが、右側で図 4 の黄色の線のほうが速く落ちることがわかります。感染日と発症日の間隔のモデルによってはこういうことがおこってもよいのですが、それが現実を表現しているかどうかは別の問題です。

一つの可能性は、本来は、最新のデータまでの陽性確定者データを使って、20 日前の 4 月 12 日までの感染者数を推定しないといけないのですが、間違えてどこか以降の陽性確定者数をゼロにしてしまったのではないか、というものです。そんな馬鹿なことをしているはずはないと思いたいのですが、、、

もうひとつの大きな問題は、実際の陽性確定者数が感染者の全てである、ないしは少なくともその割合は一定であると仮定しているようにみえることです。これは西浦氏が 4月 24日におこなった説明会<sup>3</sup> 「診断バイアスを補正しないといけない」と明言していることと矛盾するものです。

西浦氏の発表資料を録画から図 6.5 と 6.6 に示します。補正率は次第に大きくなっていて、3 月 27 日には 2 倍以下だったのが 4 月 12 日には 3.5 倍程度と、おそらく 2 倍程度に増えていることがわかります。

少なくとも西浦氏はこの補正を行わないと意味がない推定になる、といっているにもかかわらず、 専門家会議の推定はそれすら考慮されていないようにみえるわけです。

繰り返しになりますが、ただちに専門家会議の体制を見直して初歩的な間違い等が起きないように する必要があります。

<sup>3</sup>https://youtu.be/OM6gpMlssPM

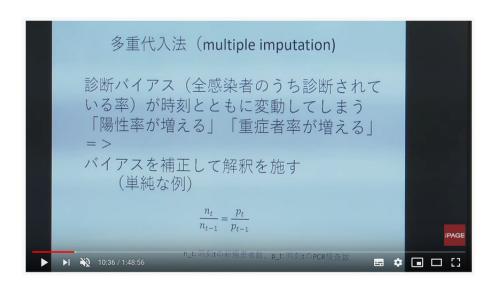


Figure 6.5: 西浦氏 4月 24日説明会録画から。多重代入法について

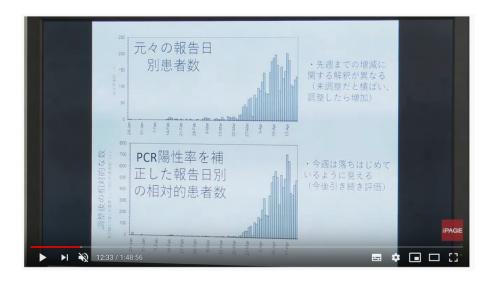


Figure 6.6: 西浦氏 4月 24日説明会録画から。多重代入法によって推定した結果

# 朝日新聞記事における牧野の文章の不 適切な利用について(2020/7/8; 2020/7/11、12追記)

朝日新聞7月7日記事新型コロナ、第2波来てる? 基準になる数字を整理した<sup>1</sup>(伊藤隆太郎) に、以下の文章があります。

神戸大の牧野淳一郎教授は科学誌の連載で実効再生産数について「専門家会議はまったく意味がないデータをもってきて、見解を出したことになる」と批判した。

これは「科学誌の連載」と書いてあって出典が示されていないので、私のどの文章なのか明らかではないのですが、おそらく、岩波「科学」2020年6月号の記事の以下の文章

極めて信じ難いことですが、「専門家会議」は、全く意味がないデータをもってきて、

3月上旬以降をみると、連続して1を下回り続けています

という見解をだした、ということになります。

を改変した上で利用したものと思われます。

これには、以下の問題があります。

- 1. 「」をつけて引用であるかのごとくみせているが、「3月上旬以降をみると、連続して1を下回り続けています」の部分が断りなしに削除されており、内容が改変されている。その他にも文章に勝手な変更がされている。元々の私の文章は「3月上旬以降をみると、連続して1を下回り続けています」という特定の記述、主張に対するものであるが、その部分を勝手に削除することによってそのことがわからなくなっている。
- 2. 岩波書店の雑誌「科学」6月号記事からの引用であるにもかかわらず、適切な出典が示されていない。

<sup>1</sup>https://digital.asahi.com/articles/ASN766QPCN73ULBJ00F.html

30CHAPTER 7. 朝日新聞記事における牧野の文章の不適切な利用について (2020/7/8; 2020/7/11、12追記)

これは、朝日新聞社サイトの「著作権について」2の「引用」の部分にある

引用部分がはっきり区分されていること。引用部分をカギかっこでくくるなど、本文と引用部分が明らかに区別できることが必要です。

さらに、「出所の明示」も必要です。通常は引用部分の著作者名と著作物名を挙げておかなければなりません。朝日新聞デジタルの場合は「○○年○月○日朝日新聞デジタルより」といった表示が必要になります。

に反するものであり、私の文章に対する著しく不適切な利用であると考えます。

朝日新聞社にはただちに適切な対応をすることを求めます。

(以下 7/11 追記)

上の趣旨で朝日新聞に意見を送っていたところ、昨日回答・記事の修正がありました。記事の修正は

神戸大の牧野淳一郎教授は科学誌の連載で実効再生産数について「専門家 会議はまったく意味がないデータをもってきて、見解を出したことになる」 と批判した。

#### の部分が

神戸大の牧野淳一郎教授は岩波書店の科学誌「科学」の連載で実効再生産数について、専門家会議の見解は数値を過小評価していると批判。3月19日に専門家会議が「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」として出した資料についても「専門家会議はまったく意味がないデータをもってきて、3月上旬以降をみると、連続して1を下回り続けていますという見解をだしたことになる」と批判した。

となっています。朝日新聞の基準であるところの

朝日新聞デジタルの場合は「○○年○月○日朝日新聞デジタルより」といった表示が必要になります。

と比べると、「岩波書店の科学誌「科学」の連載」は「岩波書店の科学誌「科学」6月号で」等であるべきと思いますが、改善はされています。一方、西浦氏が同じ記事について今日のツィート<sup>3</sup>で

ここの「」引用部について直接記事のための取材は受けたことがありません。「取ってかわられた」という表現もしていません。再生産数の要件なら対応するのに。。

と述べており、この記事にはまだ他にも同様な問題があるようです。

(以下 7/12 追記)

西浦氏のところも

厚生労働省クラスター対策班の北海道大学の西浦博教授は「我々は最初、再 生産数で議論していたが、いつしか倍加時間に取って代わられた」と明かす。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.asahi.com/policy/copyright.html

<sup>3</sup>https://twitter.com/nishiurah/status/1281769955633926144

#### であったものが

厚生労働省クラスター対策班の北海道大学の西浦博教授は、5月12日に日本科学技術ジャーナリスト会議が開いた会見で「実効再生産数を使って報告をしていたのが、倍加時間というものに置き換わって評価が進んでいる」と述べた。

と修正されました。

# K値(2020/7/23)

色々話題となっている「K値」について、medRxiv にある元論文 $^1$  の内容を検討します。

まず、K 値自体は、K(d) = 1 - N(d-7)/N(d) と定義されます。d は日を単位とした時間、N はある時刻での累積の患者数です。回復した人を除くのかどうかは明記されていませんが、減ることはないとされているので除かないものと思われます。

K 値自体は単に1週間でどれだけの割合で累積患者数が増えたか、というものですが、次に「モデル」ないし仮定がはいります。

$$N(d+1) = \exp[a(d)]N(d) \tag{8.1}$$

$$a(d+1) = ka(d) (8.2)$$

で、k は定数とされています。そうすると、  $a(d)=a_0k^d$  と  $N(d)=\exp[\sum a(i)]N_0$  で、  $\sum_0^d a(i)=a_0(1-k^d)/(1-k)$  なので、<N(d) = N\_0\exp[a\_0/(1-k)]\exp[-(a\_0/(1-k))k^d]\$; となって、  $d\to\infty$  の極限で必ず収束する、という「モデル」であることがわかります。

(2020/7/25 追記)

この k は論文では a constant dumping factor とされていて 1 より小さいことが暗黙に仮定されていますが、しかし実際のデータでは必ずしもそうはならないのではという疑問はあります (永井宏幸氏からご指摘いただきました)。

これはその通りですが、論文では k<1 が「前提」です。とはいえフィットしたら 1 を超えたりしないのか?そもそもモデルおかしいんでは?というのは実はそうなのですが、論文の図 1I の日本のケースでやっているように、累積患者数をある日でリセットする、とすれば、指数関数的に増えていても初期に見かけ上 K が減少するように見えるので、データが実際には指数関数的上昇であっても「収束する」と予言することになります。

なお、この図1を見ると、確かに色々な国で K 値が時間とともに減少しているように見えるわけですが、これは自然現象で減っているわけではなく、ロックダウン等の対策をとった効果、あるいは指数関数的増加が検査が追いつかなくなって減速しているように見える効果と考えられます。

(2020/7/25 追記終わり)

さらに、理論モデルとして「SI」モデル、つまり、回復者を考慮しない 単純なロジスティック曲線を用いて、それで実際のデータをフィットすること で、極限の N、つまり、収束した時の患者数を推測する、という考え方に なっています。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.25.20080200v2

ここまでの議論では、要するに累積患者数がロジスティック曲線になる、というだけですが、それでもは上手くフィットできない場合には複数の「ソース」を導入する、と書かれています。但し、この「ソース」を導入した時の方程式は書かれていないので、何が起こっているのかわからないですが、おそらく、単純に複数の初期値とkをもつモデルの和とするのではないかと想像されます。そうすると、それぞれが1つピークを与えるので、ソースをつぎたしていけばどんな観測結果でもフィットできます。但し、1つのソースからの累積患者数は比較的短時間で必ず収束するので、このK値による予測はつねに、「もうすぐ収束する」という楽観的なものになります。このため、対策しなくても収束すると思いたいメディア、自治体等が取り上げたものと推測されます。

これは、周転円と同じでなんの科学的な根拠もない、というべきでしょう。そもそも K が指数関数 的に減る、ということに (集団免疫が達成されるケース以外での) 根拠がありません。

思い付きで論文を書くことは自由なので、このような論文があってはいけない、とはいいませんが、medRxiv が (レフェリーされていない論文一般に) コメントとしてつけている

It reports new medical research that has yet to be evaluated and so should not be used to guide clinical practice.

(牧野仮訳) この論文はまだ評価されていない新しい医学研究の結果をレポートするものであり、医療の実践を導くことに使われてはならない

を、これを指標・予測に使おうとする自治体当局はちゃんと考慮すべきでしょう。まあ、レフェリー 通ってたら信用できる、というものでもありません。

まとめると、K値による「予測」は、その数学的構造から必ず、対策しなくても早期に収束する、という楽観的な予測をだすものになっており、そのため対策が不要、事態は深刻ではない、と信じたいメディアや自治体によって取り上げられる、という構造になっているように思われるが、予測事態はこのためにつねに「早期収束する」としか予言できない、実際の予言能力をもたないものになっている、ということがいえます。

# 大量検査の感染抑制効果 (2020/12/31 2021/1/1 ちょっと追記)

2020年は「東京で1日の新規陽性者1300人以上」というニュースでしめくくられる、コロナウイルスの拡大に政府・都が適切に対応できないことが明らかになった1年でした。

ここでは、原理的にどのような方法で感染を収束させることができるのか、について、数理モデルから(というほどではないのですが)改めて検討します。いくつかの論文等ですでに提案されていることでもありますが、現在の日本・東京ではどうか、ということです。

SEIR 的なモデルがよいという気もしますが、とりあえず SIR で考えます。

規格化した方程式系

$$\frac{dx}{d\tau} = R(1 - x - y)x - x,$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x.$$
(9.1)

ここで、R は「現在の」実効再生産数、 τ は元々の方程式系

$$\frac{dx}{dt} = N\beta(1 - x - y)x - \gamma x,$$

$$\frac{dy}{dt} = \gamma x.$$
(9.2)

で

$$\tau = \gamma t \tag{9.3}$$

としたものです。  $1/\gamma$  が、感染者が減る時間スケールを与えます。これは 5 日と最近いわれていますが、和歌山県のデータをみるともうちょっと長い、7 日程度かもしれません。

この時、例えば東洋経済の 新型コロナウイルス国内感染の状況 $^1$  にある推定再生産数は、  $\gamma=1/5$  としたもので、12 月にはいってから最大で 1.2 程度です。  $1/\gamma$  が 7 日だとこれを 7/5 乗する必要が

<sup>1</sup>https://toyokeizai.net/sp/visual/tko/covid19/

ありますが、それでも 1.3 程度であることがわかります。そうすると、大雑把にいって、新規に陽性になった人が、7日の間に、平均 1.3 人に感染させることによって感染が拡大しているわけです。

(2021/1/3 追記。上の 2 パラグラフ、  $\gamma$  についての記述が混乱していたのを修正しました) では、再生産数を 1 より小さくすることで収束させるにはどういう方法があるか、が問題です。 考えられる方法は以下のようなところでしょう。

- 1. 新規に見つかった感染者の行動履歴から、その人に感染させた人、その人が感染させた人の両方を徹底的に洗いだし、可能性がある人を広く検査する
- 2. 人々の接触機会を減らす。
- 3. 感染させる可能性が高い行動について (だけ) 積極的に抑制する
- 4. マスク・手洗い・換気等の対策の推奨
- 5. ワクチンでなんとか (これは再生産数を変えるのではなくて y を大きくするものですが)
- 6. 幅広い (感染者かどうかを問わない) 検査をする
- 7. それ以外

1 の問題は、現在の感染者数では少なくとも東京都では実現不可能なことでしょう。1 日 10 人とかならできそうなものですが、1000 人ができるとは思えないです。原理的には、COCOA のような接触確認アプリでもうちょっと人手をかけずにできそうなものですが、ダウンロード数がまだ全国で 2200万と圧倒的に不足しています。陽性者、接触者とも 1/5 しか発見できないとすると、全体では接触者の 4% しか発見できないことになります。人口の 7 割程度でやっと半分で、この程度でないと効果は期待できません。

2 は、4月の緊急事態宣言でみるように極めて有効で、Rを大きく下げる効果が確実にあります。少なくとも 2020 年 12 月末の現在の東京都・首都圏ではこれ以外に有効な対策がみえていないのが現状でしょう。

3 はもちろん、現在行われている、飲食店の営業時間短縮で、これは実際に大きな効果をあげていると考えられます。但し、R を 1 以下にするには十分ではない、というのが現在示さされている、と考えられます。

4 も、実際かなりの効果がある、と考えるべきですが、3 と同じで現状十分ではないし、強化にも限界がある、ということに見えます。

5 はもちろん抜本的ですが、まだ楽観的にみても1年ほどの時間がかかるのではないでしょうか。

ということで、6 の「幅広い検査」です。非常に極端な話、毎日日本国民全員に PCR 検査ができたとすれば、検査の精度がなんであれほとんどの感染者を感染を広げる前に発見できるわけで、R を 0 に近づけることができます。

では、毎日ではなくて、例えば 1ヶ月で全員、ならどうでしょうか?これは、SIR モデルの範囲で考えるなら、 $\gamma$  を 1/30 だけ大きくすることに相当します。今、  $1/\gamma$  を 7 日としていたので、 $\gamma$  が 23% 大きくなるわけです。言い換えると、R が 1.23 より小さいなら、「1ヶ月で全員検査」を行なうだけで R を 1 以下にできることがわかります。もうちょっとちゃんと数式を書くと、全員検査するのにかかる日数を n とすると、それを考慮した  $\gamma$  は

$$\gamma' = \gamma + 1/n \tag{9.4}$$

で与えられるので、Rが

$$R' = \frac{R\gamma}{\gamma'} = R \frac{n\gamma}{n\gamma + 1} \tag{9.5}$$

になるわけです。

発見された陽性者の隔離のコストも見込む必要はありますが、 $1 \ominus 100$  万人検査して陽性者が 1000 人 (より少ないと思いますが) 見つかるのが 2 週間続く程度で、のべ 1 万人程度を 2 週間隔離ですから、一人  $1 \ominus 3$  万円としても 50 億円です。

仮に検査の感度が低く、陽性者の 90%程度しか発見できなかったとしても上の議論にはほとんど影響がないことに注意して下さい。30日で全員、を 10%短くした 27日で全員、にすれば同じ効果があるからです。従って、感度 90%とかの抗原検査でも問題ありません。とにかく、安く、大人数を定期的に検査できればいいのです。

日本全体でも、多くの地域はこの対応が必要なわけではなく、北海道の一部、首都圏の東京、神奈川、千葉、埼玉、愛知、大阪とその周辺程度で人口としては 4000 万程度とすれば、日本全体で上の 4 倍、1000 億円程度で収束可能、ということです。

国内の会社の試薬や機械を使えば景気対策にもなり、また検査所の設置は失業対策にもなるわけですから、、コロナ対策予算として計上されている金額のほんの一部を幅広い検査に回すことで収束させられる、ということはちゃんと理解される必要があるでしょう。

なお、同様な主張の論文は例えば Test sensitivity is secondary to frequency and turnaround time for COVID-19  $screening^2$  (2021/9/6 リンク修正) で、タイトルから感度はあんまり重要ではない、と主張しています。

単純に $\gamma$ に繰り込むのではなくて、ちゃんと感染力の時間変化モデルを使って検査のRへの影響を評価してます。3日間隔でRが 1/10-1/5、週毎で大体半分、2 週間おきでは 25%減る、という結果です。SIR 方程式系ベースの単純な解析だと特に検査間隔が長い時に効果を若干過大評価していそうです。

この項についてコメントをいただいた杉本先生 @SciSugi に感謝します。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abd5393

## Chapter 10

# 指数関数的増加と(片)対数グラフ(2021/6/26)

図 10.1 に、イスラエルでの去年 2 月から 6 月 24 日までの新型コロナウィルス新規感染者の日毎の数のグラフを示します。データ出典 $^1$ 

左側は「片対数」グラフと呼ばれるもので、グラフの縦軸が「対数」というものになっています。 一方、右側が実際の数をそのまま縦軸にとっています。

左側を見ると、2021年6月後半はすごくグラフが急になっていて危ない感じがする一方、右側だとちょっと増えてるだけで大したことがないように見えます。ここでは、どっちの印象が正しいか、それは何故か、をなるべくやさしく解説しようと思います。

まず対数とはなにか、ということですが、左側のグラフの目盛りを見るとわかるように、1,10,100,1000,10000と 10 倍になると 1 つ目盛りが増えるものです。算数としては、1 の対数が 0,10 の対数が 1,100 の対数が 2 で、あとは順番に 100 万の対数なら 6,1 億なら 8,1 兆なら 12、という具合です。どんなに大きな数でもその対数は計算できます。逆に、0.1 の対数は -1,0.01 なら  $-2,\ldots$ とこちらもどんな小さな数でも計算できます。0 や負の数に対しては対数は計算できません。

1、10の対数が0、1になるとして、じゃあ2とか3とかはどうするのか?逆に、対数が0.5にな

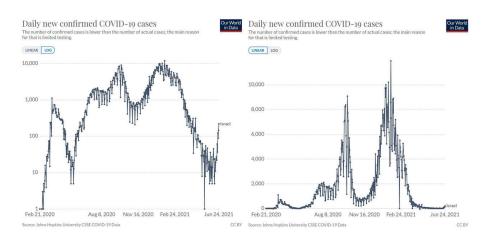


Figure 10.1: イスラエルの日毎の新規感染者数。 2021/6/24 まで

<sup>1</sup> https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer?zoomToSelection=true&time=2020-02-23..latest&pickerSort=asc&p

るような数はなにか?ということが気になる人がいると思います。前者は少し難しいのでまずは後者 から説明します。

答から先にいうと、対数が 0.5 になる数は 10 の平方根  $\sqrt{10}$  です。10、100、1000、、、の対数が 1、 2、3、、、である、ということを、「もとの数に 10 を掛ける」ということが「対数に 1 を足す」といことに対応する、と言い換えてみます。そうすると、「対数に 0.5 を足す」のは 2 回繰り返すと「対数に 1 を足す」になるわけです。

なので、「対数に 0.5 を足す」が「元の数になにかを掛ける」にやはり対応するとすると、そのなにかは 2 回掛けると 10 になる数、つまり 10 の平方根である、ということになります。

この議論から、対数が 1/3=0.333... や 1/4=0.25 になる数、一般に n が 1, 2, .... の数、つまり自然数として対数が 1/n になる数は n 回掛けると 10 になる数であればよいことがわかります。これは 10 の n 乗根に対応する対数が 1/n だということです。さらに、有理数、つまり m、n がどちらも自然数として分数 m/n で表わされる数が対数になるようなもとの数は 10 の n 乗根を m 回掛けたもの、つまり m 乗であることがわかります。例えば、対数が 0.3 になる数は、10 の 10 乗根 1.2589... の 3 乗で 1.995... となります。

ここまでの議論は、 10 の何乗、というもの、つまり 10 のべき乗を、整数だけでなくて有理数に拡張した、と考えることもできます。 10 の 0.31 乗なら、10 の 100 乗根の 31 乗なわけです。そうすると、対数は、10 のべき乗の「逆関数」つまり、ある数 y に対して 10 の y 乗を  $10^y$  と書くと、ある数 x の対数とは

$$10^y = x \tag{10.1}$$

になる y である、ということです。つまり、対数関数を  $\log(x)$  と書くと、 $y=\log(x)$  は上の式を満たす y である、ということです。

では2の対数は?というと、100 m/n 乗がぴったり2になる有理数 m/n は存在しませんが、無限小数でどこまでも2に近くなるものは存在するので、それが2の対数だ、ということになります。

このような対数でグラフを書くとどういう良いことがあるか、ということですが、例えば感染者の数が毎日 10%づつ増えているとしましょう。そうすると、これは、ある日の感染者数に対して次の日の感染者数は 1.1 をかけたものである、ということです。そうすると、感染者数の対数を考えると、ある日の数に対して次の日の数は  $\log(1.1)=0.042$  を足したものになる、ということです。つまり、「10%づつ増える」が、対数で見ると「0.042 づつ増える」になって、単に直線に見えることになります。

新型コロナに限らず、感染症は、基本的に現在感染している人が周りの人を感染させることで広がっていくので、特に対策がないと、今1日10%増えていたら明日も明後日も1週間後も1日10%増える、つまり、対数で目盛りをとると直線で増えていきます。

左側のグラフはそういう、軸が対数のグラフになっていて、 10,100,1000 と目盛りが書いてありますが実はこれらは対数で 1,2,3 で、対数のままではわかりにくいので値だけもとの 10,100,1000 が書いてあるわけです。

左側のグラフでは、イスラエルの感染者数が大きく増えたのは昨年3月、7月、9月、12月と現在6月後半の5回ですが、1日あたりの増えかたが急なのは昨年3月と今で、どちらも10日で10倍程度になっていることがわかります。昨年3月にはイスラエルは3/19にロックダウンして、急激な増加を抑え込むことに成功しましたが、現在の増加に対してはまだ有効な対策を打ち出せておらず、非常に危険な状況であることがわかります。

なお、 1 日 10%増える、ということは、ある日に n だったとして i 日後の数は  $n1.1^i$  ということで、これを「指数関数的増加」といいます。数学で指数関数というと  $e^x$  で、e は「自然対数の底」と呼ばれる数で 2.71828... です。何故この形のものを特別に「指数関数」というかというと、色々な重要な関係式があるからですが、そのうちの 1 つは、 $e^x$  の微分は  $e^x$  そのものである、ということです。

ここまで、対数は 10 の x 乗の逆関数、としていましたが、これを、任意の数 n の x 乗の逆関数として、  $\log_n x$  と書くことにします。そうすると、例えば  $10^x$  は、  $\exp(\log_e 10 \cdot x)$  と書き直せることがわかり、(  $e^x$  を  $\exp(x)$  とも書きます) さらに一般の  $n^x$  の微分が  $\log_e n \cdot n^x$  であること、さらに、線型微分方程式

$$\frac{dy}{dx} = ay \tag{10.2}$$

の解が

$$y = y_0 \exp(ax) \tag{10.3}$$

であることがわかります。最後の 2 つの式は、例えば「1 日 10%増える」は a=0.1 ということで、日付を t とすると  $y_0 \exp(0.1t)$  で振舞いがあらわされる、ということです。対数にすると  $\log_e(y_0)$ +0.1t で、直線がでてきます。

つまり、片対数グラフで直線がでてくると、放置しておくとそのまま将来も直線が続いて、あっというまに10倍とか100倍になりかねない、ということなのです。

## Chapter 11

# 東京と日本の現状と今後(2021/8/28)

7月にはいってから8月末の現在まで、東京だけでなく日本全体で、新型コロナウイルス感染者の急速な増加が続いています。

図 11.1 に東京、図 11.2 に日本全体での、新型コロナウイルス新規感染者の日毎の数のグラフを示します。横軸の「0」は8月1日です。なので、-30が7月2日、30が8月31日となります。東京のほうは、6月第2週あたりから増加に移り、7月最終週くらいまで増加が指数関数的なものより加速したあと、8月にはいってほぼ増加が止まって一定になっているようにみえます。

一方、全国のデータは、少し遅れて6月第3週くらいから増加に移り、やはり7月最終週まで増加率が加速したあと、8月にはいってから増加のペースは落ちたものの指数関数的な増加が続いているようにみえます。8月最終週は増加が止まっているかもしれません。

まず問題なのは、これらののデータは本当に実態を表しているのかどうかです。今年の 4 月から 5 月にかけての大阪では、図 11.3 に見られるように、指数関数的な増加が突然止まって、感染者の数が 3 週間に渡って 1200 人程度に貼りつく、という現象がありました。

これはおそらく十分な数の検査ができなかったからで、この期間検査数も週の最大が 18,000 くらいで一定のままでした。もっとも、現在は 3000 近い陽性者数になっていて、検査数は 2 万程度と増えていないので、なにか検査対象者の選びかたが変わっているようにみえます。

東京の検査数はやはり8月にはいってから最大で2万を超えない数になっており、検査数が増えていないせいで感染者を発見できなくなっている、という可能性を否定できません。とはいえ、このデータだけでは、本当に感染者数が増えなくなっているので必要な検査数も変わっていない、という可能性も否定できません。従って、何か独立なデータがあればそれを使って検証したい、ということになります

そういった、「独立なデータ」として使えそうなものはなかなかなかったのですが、都の検査件数 $^1$  のページに、「(2) 戦略的検査強化事業」という項目がありました。これは、東京都の資料 $^2$  によれば、

- ○感染者がいた場合にクラスターとなりやすい集団等に、 定期的に検査を実施し感染者を早期に探知
- ○比較的感染リスクの高い人流のある場所・交通結線などで 検査を実施し感染の予兆を探知
- 国と連携したモニタリング検査

繁華街・飲食店・事業所・駅前・空港など、順次拡充中 無症状者への検査を 約4,500件/週 実施中

 $<sup>^{1} \</sup>verb|https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo/kansen/kensa/kensuu.html|$ 

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://bit.ly/38jCW8S

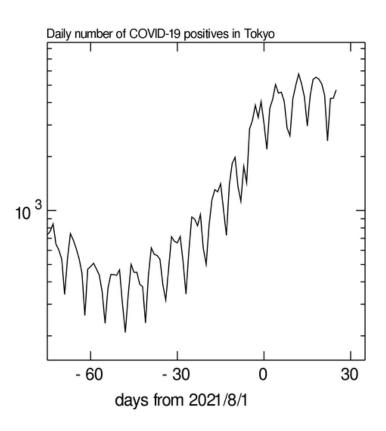


Figure 11.1: 東京の日毎の新規感染者数。 2021/8/26 まで

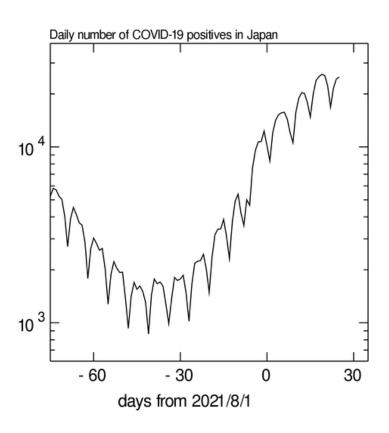


Figure 11.2: 日本全体の日毎の新規感染者数。 2021/8/26 まで

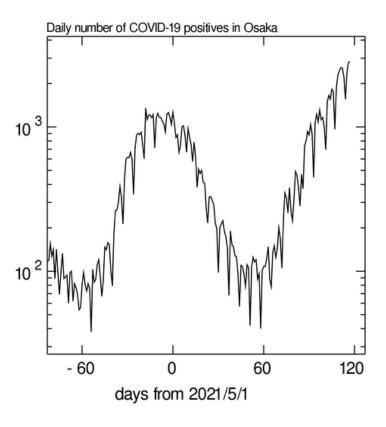


Figure 11.3: 大阪の日毎の新規感染者数。 2021/8/26 まで

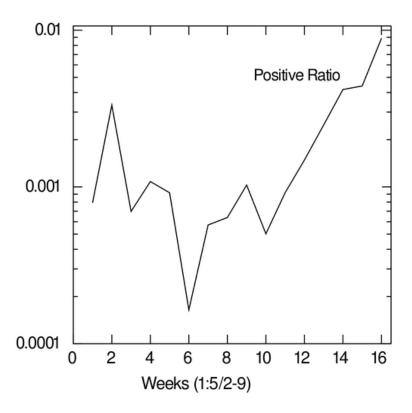


Figure 11.4: 東京の戦略的検査強化事業での週毎の陽性率の推移。5/2 の週から 8/16 の週まで。

感染動向に応じた対象への検査 各局等との連携等により 機動的・効果的に実施(都単事業)

というものです。これのデータをプロットしてみたのが図 11.4 です。横軸の単位は週で、16 週が 8 月 16 日からの週です。なので、13 週が 7 月 26 日からの週です。縦軸は陽性率です。

これは上にあるように「繁華街・飲食店・事業所・駅前・空港など」での検査で、実際にどのように検査をうける人が選ばれているかの詳細が不明なのですが、特別に感染していそうな人を選ぶとかその逆はない、また、仮にその傾向があったとしてもそれが週毎にすごく変わったりはしない、と期待してもいいかもしれません。つまり、元々「比較的感染リスクの高い人流のある場所・交通結線などで検査」が目的なので、陽性率の絶対値自体はそれほど意味がないかもしれないですが、時間変化自体は東京都で実際に発生している陽性者の数の変化をほぼ再現しているかもしれません。つまり、例えば新規陽性者が 1日 1000 人だった時にこのデータでの陽性率が 0.1% だったら、このデータでの陽性率が 1% になった時には新規陽性者が 1日 1万人になっている可能性があるわけです。この観点でデータを見ると、東京都の陽性者数は (週の中の最大の値をとるとして) 7/12、19、26 の週にそれぞれ 1500、2500、4000 というところです (19 の週はオリンピックで休日が多かったので、休日がなかったらこれくらいかな、という数字です)。一方、陽性率のほうは対応する週で 0.09%, 0.15%, 0.25% で、比をとると非常に綺麗に 1% が 16000-17000 人で比例している、ということがわかります。

そうすると、8月にはいってもちゃんと十分に検査できていればこの関係が成り立っているのでは

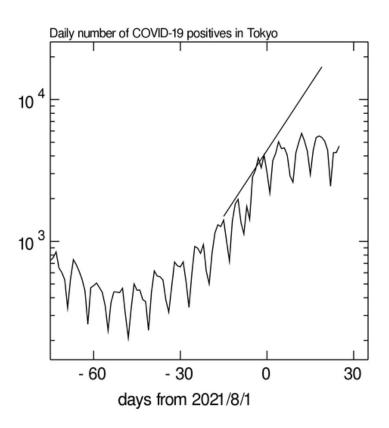


Figure 11.5: 東京の日毎の新規感染者数。 2021/8/26 まで。直線は、戦略的検査強化事業の陽性率と新規陽性者数が比例しているとした時にみつかると期待される陽性者の数

ないかと考えられます。この関係に合わせた直線をひいてみたのが図 11.5 です。当たり前ですが 8 月にはいっても増えつづけて、8 月 16 日の週で 17000 人程度、8 月末には 2 万をはるかに超えて 3 万に達するであろうことがわかります。

そうはいっても1日の感染者数が東京だけで1万7千人というのはあまりに巨大で、にわかに信じられる数ではありません。

図 11.6 は、同じ東京都の調査ですが今度は高齢者施設等への集中検査の陽性率をプロットしたものです。8月に相当する 13 週以降を見ると、図 11.4 ほどではありませんがやはり増えています。高齢者はワクチン接種が進んでいることもあり、全体の傾向からずれる可能性があります。元々、7月でもこちらの増加率は小さいめになっています。従って、繁華街等をモニタリングしている戦略的検査強化事業の数値のほうが全体を反映しているのか可能性が高いと考えられます。

つまり、都の戦略的検査強化事業のデータ、東京の高齢者施設等への集中検査のデータはどちらも、東京都の本当の感染者数は 8 月にはいっても指数関数的増加が継続しているということを示唆しており、全体の感染者数をより良く反映していると考えられる戦略的検査強化事業から推測すると 8 月 8 日からの週の 1 日の新規陽性者数は最大で 1 万 9 千人程度であろう、ということになります。これはあくまでも 9 月 9 日からの週までのデータで、これからどうなるかはわかりません。お盆の影響があって 9 日からや 9 日からの週は少し増加が遅くなるかもしれませんし、そろそろ夏休みが終わるので学校でクラスターが発生してさらに速く増えるかもしれません。

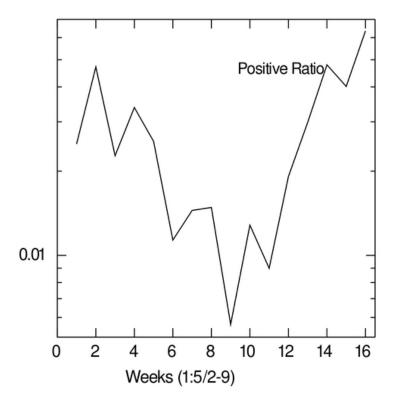


Figure 11.6: 東京の高齢者施設等への集中検査での週毎の陽性率の推移。5/2 の週から 8/16 の週まで。縦軸はパーセント。

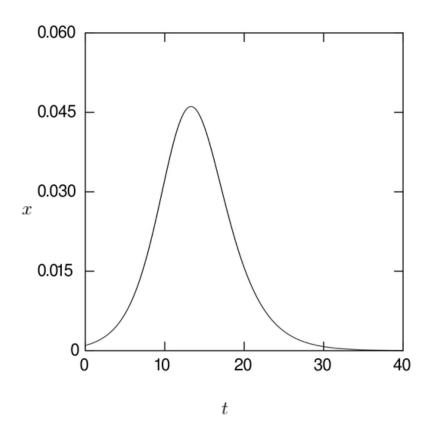


Figure 11.7: 実効再生産数 R=1.4 の時の SIR モデルで得られる感染者 (ある瞬間の感染している人数の全人口に対して割合) の推移。横軸の時間の単位は SIR モデルでいうところの  $1/\gamma$  で、5 日程度に相当する。初期条件は x=0.001

ここでは、これまでの増えかたがあまり変わらないとして、今後東京はどうなるかを推測してみます。戦略的検査強化事業のデータは、新規陽性者数が 5 週間で 10 倍になることを示しています。これは 1 週間で 1.6 倍、また、簡易的に実効再生産数を見積もる時に最近広く使われる 5 日では 1.4 になります。R=1.4 でそのまま感染拡大が続くとどうなるかをもっとも簡単な SIR モデルで予測すると図 11.7 のようになります。

東京の人口が 1400 万に対して感染者数が最大で 4.5%、60 万人に達することがわかります。 (1300 万だったのを 1400 万に修正しましたが、60 万は元々丸めてたので変わりません。ご指摘ありがとうございます〉 dankogai 様) なお、ワクチンうっている人はあまり感染しないとすると (最近この主張も怪しいですが)、現在 2 回接種が終わった 500 万をひいた 900 万で考えるべきかもしれません。とはいえ、人数で 1.5 倍、時間では 1 週間のずれです。

もうひとつ注意が必要なのは、これは感染力がある人の人数で入院治療が必要な人々の人数ではありません。回復までの時間は5日とかではないので、そちらはファクターで大きい可能性がありますが、もちろんそのほとんどは入院できません。

一方、8月16日の週の感染者数は、1万7千人の5倍だとすると既に8万5千人ですが、これは実際にはおそらく全く検査されていない無症状者が入っていないのでさらに2-3倍、おそらく20万人程度というのが妥当でしょう。すると、t=8あたりです、感染者数がピークに達するのはt=13あたりですから、9月10日あたりということになり、この時には新規感染者数は10万人程度です。

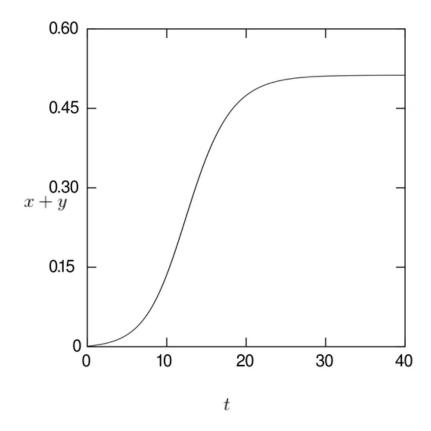


Figure 11.8: 実効再生産数 R=1.4 の時の SIR モデルで得られる累積の感染者の推移。

実際に東京全体が単純な SIR モデルで表されるかというとそんなことはもちろんないわけで、局所的に感染率が高い (速く進む) ところとか遅く進むところとか色々あり、速く進むところは既に飽和しており、遅いところはまだ先、といったふうになっているとすると、おそらく 8/23 の週くらいから増加がゆるやかになり、9/13 か 9/20 の週あたりにピークになって、そこからは自然免疫の効果でゆるやかに感染者数がが減っていく、ということになります。これは、図 11.8 に示すように、ワクチンを打っていない人のおよそ半分が感染する、ということでもあります。ワクチンを打ってもいてもある程度の確率で感染はします。

行政が直ちに非常に厳しいロックダウンを施行しない限り、時期に多少の差はあっても、このような東京だけで数百万人が感染する、という結果は避けられないようにみえます。

私達がいまできることは、ひとつはもちろん行政に対して対応を要求することですが、自然免疫が成立するまでなんとか感染しないでやりすごす、ということを考えないといけない状況です。。要するに、これから3週間の間可能なかぎり他人との接触を避けることです。原理的には、十分多くの人が十分接触を減らせれば実効再生産数が1より小さくなるわけですから、これは単に個人の利益を優先した行動というわけではなくて、感染爆発を収束させる可能性を高める、社会に貢献する行動でもあります。

日本全体でも、指数関数的上昇が続いており、同じような行動が必要になっていると考えられます。

#### 11.1 本当の本当にこんなことになるのか?ということについて。

ここでの基本的な仮定はもちろん、今まで指数関数的増加が続いてきている、ということで、これ は都の戦略的検査強化事業とは矛盾していません。が、行政検査とは全く矛盾しています。従って、もしも本当に行政検査のほうが実態でサンプリング調査、高齢者施設の調査が全然間違った値をだしていれば、ここで書いたようなことは起こりません。

あるいは、矛盾してなくて 8/16 の週まで増えてるけどその辺がピークでそろそろ減少を始めているという可能性はあります。例えば全人口の 1/5 とかが特に感染させやすい/しやすいグループを作っているとすれば、既に現在もう飽和していることになります。具体的には、現在感染の主体である 15-39 歳の人口は 420 万しかなくて、総人口の 1/3 以下です。ワクチン接種あまり進んでないとはいえ多少はできてるとして未接種のこの年代の人は総人口の 1/4 くらいです。一方感染者はこの年代が大体 6 割を占めるので、全人口でみるより 2.5 倍くらい感染者の割合が高くなっています。従って、ピークアウトが 2 週間後とかではなく、「今」である可能性はあります。

この場合、起こることは、通常の SIR モデルから期待されるよりゆっくり減っていく、ということになると考えられます。特に、学校再開等でまた全体として増加に移る可能性があります。また、ちょっと減ってきたと思って行動抑制が減るとまた増加にうつります。。これは、減り出すと行動抑制が減って R が増えてまた増加にうつる、ということです。。東京は現在非常に強い行動抑制 (自粛) とマスク着用等でデルタ株の 5 とか 6 かもしれない R を 1.4 にしているわけなので、ちょっとしたことで R は大きくなると考えられます。。

つまり、理論的には今からもうそんなに急速には増えない、という可能性があって、それは逆にいうと 15-39 歳の年齢グループの多く、具体的には 0.4/1.4=28% くらいが既に感染した (一部はワクチンの効果もあって) から、ということになります。

この場合、ピークアウトしたとしてもまだ1日1万人程度の感染者の発生がしばらく続くことになって、最終的な感染者数は結局あまり変わらないですが、早めに医療崩壊から回復できれば(非常に難しいですが)死者は減らせるかもしれません。私達の行動としては、新規感染者が減るまで他人との接触を避けるしかないのは同じです。

### 11.2 デルタ株とワクチン

今回、緊急事態宣言がでても減少にうつらないような爆発的感染拡大が続いた要因の一つはデルタ株が支配的になったことです。東京 iCDC における変異株スクリーニング検査について<sup>3</sup> にある健安研におけるゲノム解析等による都内の変異株の発生状況  $(モニタリング会議資料抜粋)^4$  では、7/19から 25 の週にほぼ半分、8/2 から 8 の週では 72%がデルタ株となっています。これは、ここまででデルタ株に変わったことによる実効再生産数の増加が進み、それ以上には増えない、ということであるはずです。

一方、65 歳以下へのワクチン接種は同じ時期に進んだわけで、8 月末には東京都の65 歳以下人口でワクチン 2 回接種が終わったのは 1/4 程度、7 月始めにはまだほぼゼロでリニアに増えた、としてよいとすると、8 月に 12%程度、あるいは 87.5% から 75% へとすると 14% 程度接種が進み、実効再生産数をそれだけ減らす効果があったことになります。これだけで実効再生産数が 1 以下にはならないですが、自粛による行動抑制の強化等と組み合わさった結果 1 前後になる、ということはありえるかもしれません。

非常に楽観的には、さらにワクチン接種が増えることで実効再生産数を1以下に維持できる可能性がある、ということになります。但し、学校の夏休みが終わる等の拡大要因はあります。また、そもそも現在の新規感染者の発生率が高すぎて、これが1ヶ月継続するだけで都民の1割程度が感染するわけで、ワクチン接種率が増えるのをのんびりまっている場合ではないことは確かです。

 $<sup>^3</sup>$ https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo/kansen/corona\_portal/henikabu/screening.html

<sup>4</sup>https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo/kansen/corona\_portal/henikabu/screening.files/screening\_082602.pdf