

新型コロナウイルスの流行状況を勝手に分析する

anmitsu48

2021 年 2 月 7 日

新型コロナウイルスに感染した方が日本で初めて確認されてからもう 1 年が過ぎた。2021 年になり日本国内では 2 度目の緊急事態宣言が発出され、2 月になっても国内の新型コロナウイルス流行状況が改善されていないために、3 月 7 日までの延長となった。本記事は、ただの一大学生が SIR モデルのパラメータを日本国内や東京都内の新型コロナウイルスに関するデータをもとに決定して、MATLAB で数値計算を行った結果を記したものである。

なお、私自身は一大学生であり、感染症や感染症に関連する数理モデルのプロではありません。本記事に記したシミュレーションの結果が正しいという保証はありません。何か内容に関して気になることがありましたら、kouta.nagata.0920@gmail.com まで連絡をお願いします。

目 次

1	日本国内の感染者数の現状	2
2	SIR モデルによる分析（全国）	3
2.1	SIR モデルのパラメータの設定	4
2.2	数値計算	5
2.3	第 2 波の分析	6
2.4	第 3 波の予想	8
3	SIR モデルによる分析（東京都）	9
3.1	東京都の状況	9
3.2	東京都のデータを利用したパラメータの推定	10
3.3	モデルによる分析結果	11
	更新履歴	13
	参考文献	13

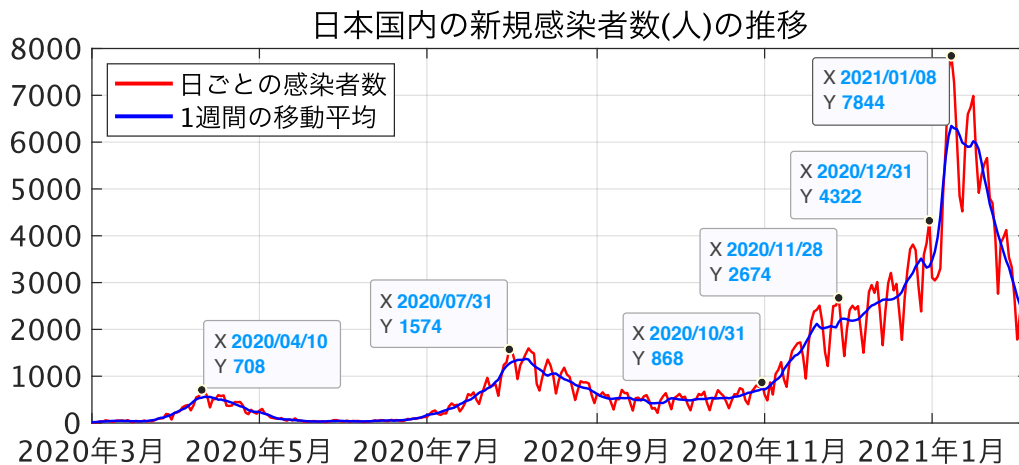


図 1.1 日本国内の新型コロナウイルス感染症の新規感染者数の推移

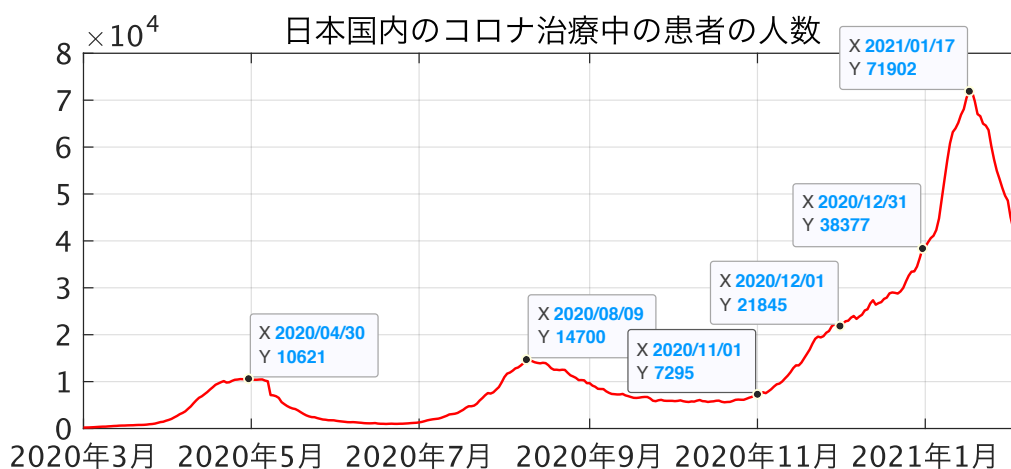


図 1.2 日本国内のコロナ治療中の患者の人数

1 日本国内の感染者数の現状

厚生労働省ホームページ⁽¹⁾には日本国内での新型コロナウイルス感染症の新規感染者数など連日テレビで取り上げられる数値のデータが公開されている。まずは、このオープンデータを可視化することで日本国内でのコロナの流行の状況を把握しよう。

図 1.1 はテレビでよく見る新規感染者数の推移を表すグラフで、日本国内全体で確認された新規感染者数のデータをプロットしている。1 週間分のデータをもとに移動平均を計算することで曜日による検査数の増減の影響を抑えたのが図 1.1 の青色の曲線である。「第 3 波」がこれまでよりも非常に悪いことが一目瞭然である。第 3 波での新規感染者数の急増のせいで、第 1 波や第 2 波がまだ良かったように見えてしまう。

図 1.2 はテレビでは見かけないが、SIR モデルを考える際は重要なものだと私が考えているグラフで、現在新型コロナウイルスの治療を行っている患者の人数、yahoo ページでは「**現在感染者数**」と呼ばれている値である。第 1 波の時は最大で約 10000 人のコロナ治療者がいたことが確認でき、第 2 波ではそれを上回る 15000 人の治療者がいたことがわかる。第 3 波の現在感染者数のピークは 1 月 17 日で 7 万人を超えている。ここまで膨れ上がると東京都や神奈川県で積極的疫学調査の規模を縮小しないとやっていけないのはわかる気がする。

図 1.3 はコロナに感染した人のうち、退院や療養解除になった人、コロナが理由で亡くなった人の合計値である。志村けんさんや岡江久美子さんがコロナで亡くなってしまったのは非常に残念なことであるが、日

⁽¹⁾厚生労働省ホームページ：新型コロナウイルス感染症に関するオープンデータ（2021 年 2 月 6 日参照）<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html>

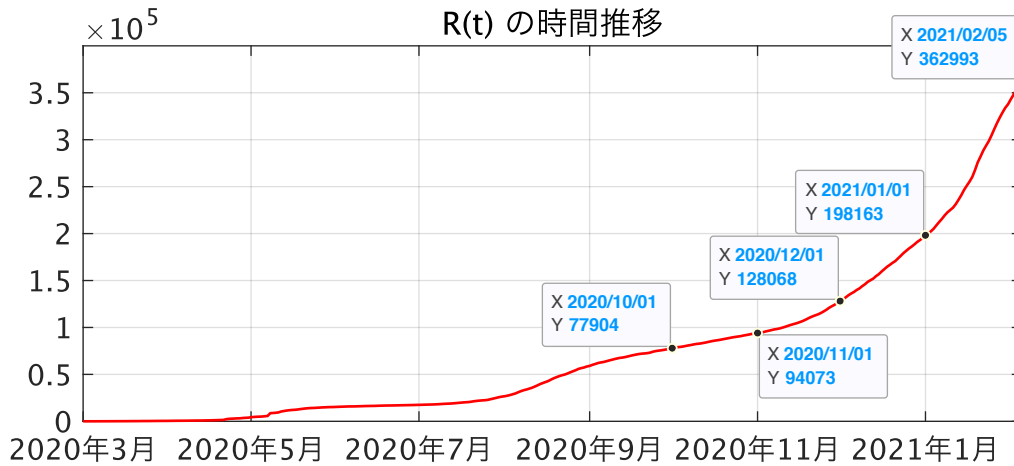


図 1.3 $R(t)$ の時間推移

本ではコロナが理由で亡くなった人は感染者のうちごく一部であるので、図 1.3 はコロナから回復した人の人数の推移と考えると差し支えない。このグラフを見ると、2021 年 1 月 1 日から 2021 年 2 月 5 日までの間に 16 万人以上（日本国内で 2021 年 2 月までに確認されたコロナ感染者の半分近く）も $R(t)$ が増えている。この期間に感染者が急増したことは $R(t)$ にも表れている。

2 SIR モデルによる分析（全国）

感染症の流行の広がり表現するモデルとして **SIR モデル**がある。これは a, k を正の値をとるパラメータとして、次の 3 つの微分方程式で表現される。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -aS(t)I(t) \quad (1a)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = aS(t)I(t) - kI(t) \quad (1b)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = kI(t) \quad (1c)$$

$S(t), I(t), R(t)$ はそれぞれ susceptible（感染していない人）、infected（感染して症状が出ている人）⁽²⁾、recovered（回復した人あるいは亡くなった人）を表す変数で時間 t に依存する。このモデルでは

$$\frac{d}{dt}(S(t) + I(t) + R(t)) = 0 \quad (2)$$

が成立するので、 $S(t) + I(t) + R(t) = \text{const.}$ の関係がある⁽³⁾。この関係式があるので、 $S(t)$ と $I(t)$ の時間変化がわかれば、 $R(t)$ の時間変化もわかる。 $S(t)$ と $I(t)$ の時間微分が $R(t)$ に依存しないことも考慮すれば、SIR モデルでは式 (1a) と式 (1b) だけ考えれば十分である。

ここから、SIR モデルに関する議論を記していくが、SIR モデルで議論する際は、次の制約を設定しておくことが求められる。まあ、この仮定が成り立たないのは明らかである。

- 日本に住んでいる人全員が、毎日精度が 100 % の PCR 検査を受けて自身がコロナに感染したかどうかを毎日把握できるものとする。
- 今回の分析に使用したデータは上記の仮定が成立している下で得られたものとする。

⁽²⁾この $I(t)$ は厳密には感染性宿主であり、症状が現れているかどうかによらず、他者にコロナをうつす可能性のある人全てが含まれる。しかしながら、本記事では簡単のために、何らかの理由で PCR 検査を受けて陽性が確認された人を $I(t)$ とする。

⁽³⁾このことから、SIR モデルでは対象にしている地域における対象にしている感染症以外が原因による死亡（自然死や死因が新型コロナウイルスによらない場合）や外部地域からの人の流入、出産による人口増加は考えないことが前提となっている。また、SIR モデルでは一度感染症疾病から回復した場合、再度感染しないことが前提となっている。しかし、新型コロナウイルスの場合、検査の偽陽性、偽陰性など様々な理由により、再度感染したのではないかと疑われる例がいくらか報告されている。

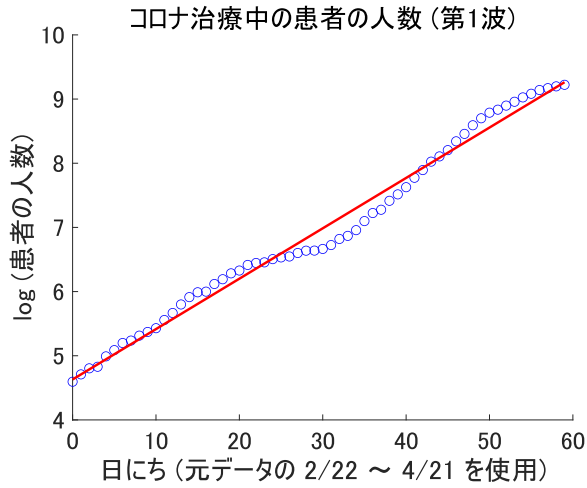


図 2.1

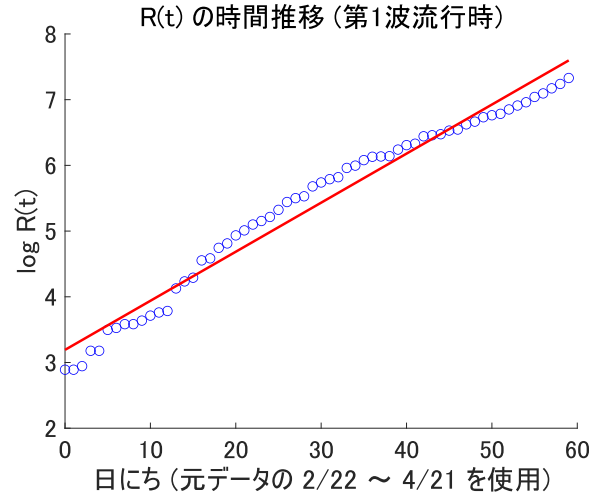


図 2.2

2.1 SIR モデルのパラメータの設定

SIR モデルによる分析が実りあるものとなるには適切に a と k を設定する必要がある。 a と k を適切に設定するには感染症と数理モデルに関する深い理解が必要である。今回は簡単のためにうまく近似を導入して考えることにする。新型コロナウイルスに感染した人は、今のところ日本の全人口と比べたら十分小さいので、式 (1b) の $S(t)$ の変化は無視できると仮定すると、式 (1b) の解は近似的に次のようであると考えることができる。

$$I(t) = I_0 \exp[(aS_0 - k)t] \quad (3)$$

ここで、 S_0, I_0 は $t = 0$ における S, I の値である。図 1.2 の値が増加する部分を近似的に指数関数でみなして、 $aS_0 - k$ の値を推定する⁽⁴⁾。式 (3) を式 (1c) に代入すると、

$$\frac{dR(t)}{dt} = kI_0 \exp[(aS_0 - k)t] \quad (4)$$

となるから、この式を積分することで

$$R(t) = \frac{kI_0}{aS_0 - k} \exp[(aS_0 - k)t] \quad (5)$$

が得られる。今回は簡単のため、積分定数は 0 とした。

さて、式 (3) より、

$$\log I(t) = \log I_0 + (aS_0 - k)t \quad (6)$$

と書くことができる。実際のデータを横軸に時間 t 、縦軸に $\log I(t)$ を取ってプロットして、適切な範囲のデータを式 (6) でフィッティングする。今回は 2 月 22 日～4 月 21 日の部分のデータを使用した。MATLAB で計算したところ、 $\log I_0 = 4.6303$ 、 $aS_0 - k = 0.0785$ であることがわかった。図 2.1 はフィッティングの結果を表す図である。

同様に式 (5) が次のようにかけることを使って、 t と $\log R(t)$ の間の関係についてもフィッティングを行う。

$$\log R(t) = \log \left(\frac{kI_0}{aS_0 - k} \right) + (aS_0 - k)t \quad (7)$$

⁽⁴⁾ この方法は最も単純に感染症の流行状況を把握する方法である。しかし、 $S(t)$ の変化を無視できるのは流行の初期に限ることは考慮する必要がある、いくつかの注意すべき点がある。詳細は『感染症の数理モデル 増補版』（培風館、2020）などを参照してほしい。

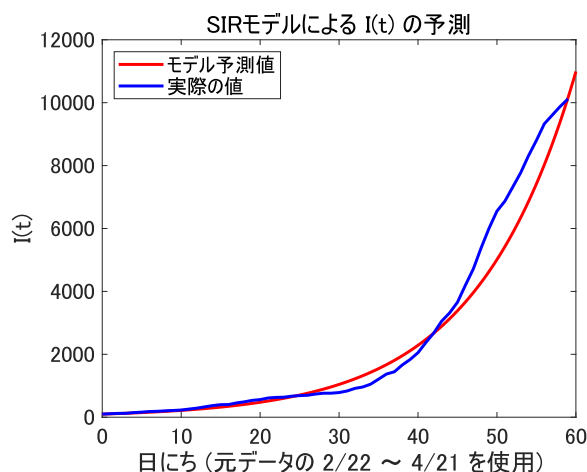


図 2.3

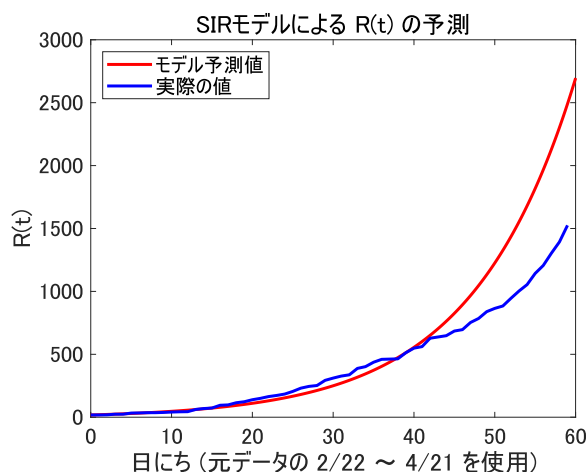


図 2.4

MATLAB の計算結果は、 $\log\left(\frac{kI_0}{aS_0 - k}\right) = 3.1924$, $aS_0 - k = 0.0747$ となった。 $I(t)$ のフィッティングと $R(t)$ のフィッティングで $aS_0 - k$ の値が一致することは全く保証されていない。そうであるにもかかわらず、 $aS_0 - k$ の値が近くなったのは驚きである。ここでは、 $I(t)$ のフィッティングで得られた $aS_0 - k = 0.0785$ を採用する⁽⁵⁾。

$aS_0 - k = 0.0785$ と $\log\left(\frac{kI_0}{aS_0 - k}\right) = 3.1924$ より、

$$k = \frac{aS_0 - k}{I_0} e^{3.1924} = \frac{0.0785}{99} e^{3.1924} = 0.0193$$

となる。これを使って a を計算する。 S_0 としては新型コロナウイルス感染症の流行が始まる時点 ($t = 0$) の日本の人口が 1 億 2596 万 2000 人であるとして、2 月 22 日のときの $S(t)$ の値を利用することとする。すると、

$$a = \frac{0.0785 + k}{S_0} = \frac{0.0785 + 0.0184}{125962000} = 7.7659 \times 10^{-10}$$

と求められた。

2.2 数値計算

パラメータ a と k の値として、第 1 波のときは $a = 7.7659 \times 10^{-10}$, $k = 0.0193$ と決定することができた。この値を利用して、SIR モデルを表現する 3 つの微分方程式を数値的に解いてみよう。時間幅 Δt を 0.01 とし、元のデータ（ダウンロードしたデータ）の 2 月 22 日のときの値をそれぞれ初期値としたときの時間発展を陽的 Euler 法により計算した結果は図 2.3 と図 2.4 のようになった。

日にちが 0 ~ 40 のとき（2 月下旬 ~ 3 月末）はモデルと実際の値は近くなっているが、日にちが 40 を過ぎてから（4 月）になると、モデルと実際の値の間に違いが生じている。 $I(t)$ の増加については、モデルが過小評価しているというよりは、現状がモデルを超えるぐらいひどかったと評価するのが適切なのかもしれない。一方で $R(t)$ の増加については実データはモデルの計算値を下回っていた。

上記の結果は、モデルが実データに整合しているという点で、かなり良いようにみえるかもしれないが、実はそうではない。というのも、今回は 2 月 22 日 ~ 4 月 21 日のデータだけを使ったので、モデルはその範囲ではできる限り実データに一致するモデルになることが期待されるが、その外側もモデル通りに変化すること自体は全く保証していない。

⁽⁵⁾ この $I(t)$ のフィッティングで得られた数値を利用する方針はこれ以降も採用することとする。2 つのフィッティングで得られた値の平均値を利用してもよいのかもしれないが、本ノート内ではそういうことはしない。

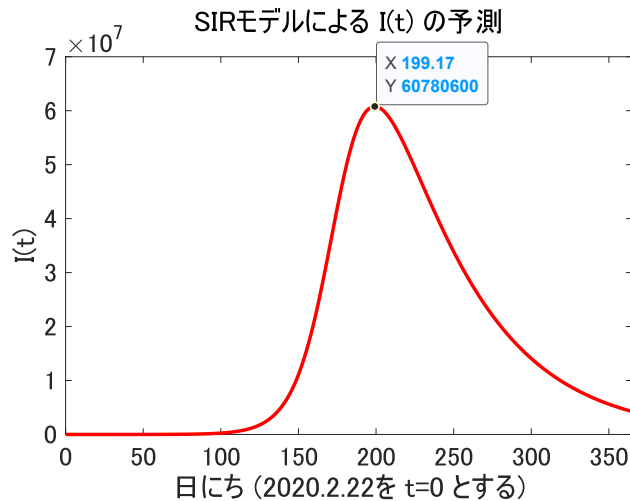


図 2.5

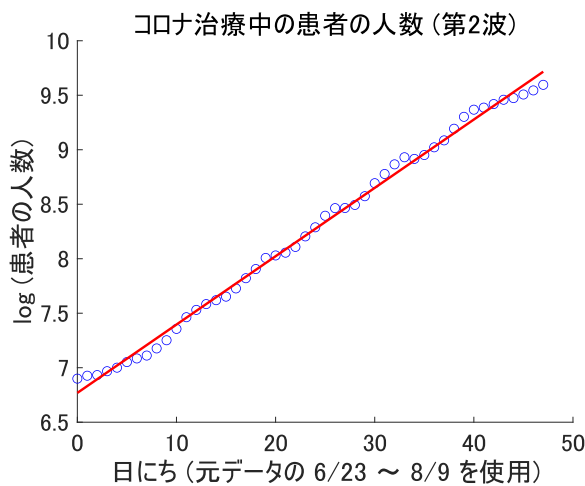


図 2.6

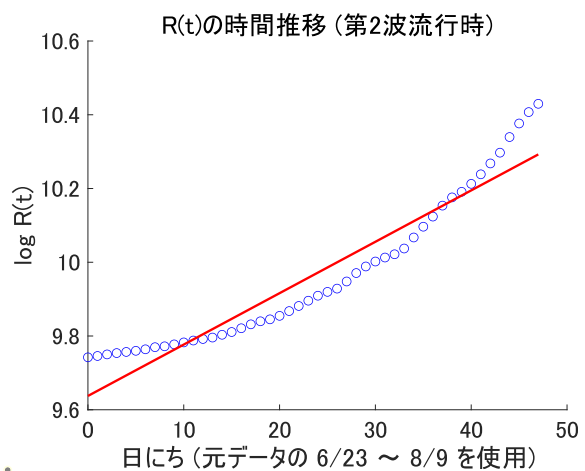


図 2.7

4月22日（2月22日を $t=0$ としたときの $t=60$ ）以降の $I(t)$ の時間変化を見てみると、図2.5のようになる。計算結果では、約7ヶ月後（2020年9月下旬）にはコロナに感染して治療中の人が6078万人になるという結果が得られた。しかし、図1.3を見る限り、2021年2月時点で新型コロナウイルスに感染した方は36万人であり、6078万人という値は明らかにおかしい。「4月初めの緊急事態宣言により生活習慣が変わって感染率が下がったことがモデルと異なる結果につながったと考えられる」と言いたいけれど、少し注意したい。今回 a や k を導出する際は $S(t)$ の変化が日本の総人口よりも十分小さいことを仮定していた。そのため、この過程が崩れたあとのモデルの予測値の信用性は低くなっているのである。最悪な場合6078万人に感染者が膨れ上がる可能性があることをモデルは示唆していると考えればよいのだろうが、さすがに6078万人は実際に起こらないと誰もが考えてしまう。

2.3 第2波の分析

「第1波」と同様に「第2波」についてもパラメータを設定して数値計算を行ってみよう。第2波については新規感染者数が第1波を上回っていて不安になってしまいそうだが、第1波の時よりもPCR検査の体制、医療体制が変化してきていて、感染者の年齢層も第1波の時よりも異なっているなど感染状況の特徴が変わってきているので、冷静に情報を理解すれば怖がる必要はない。

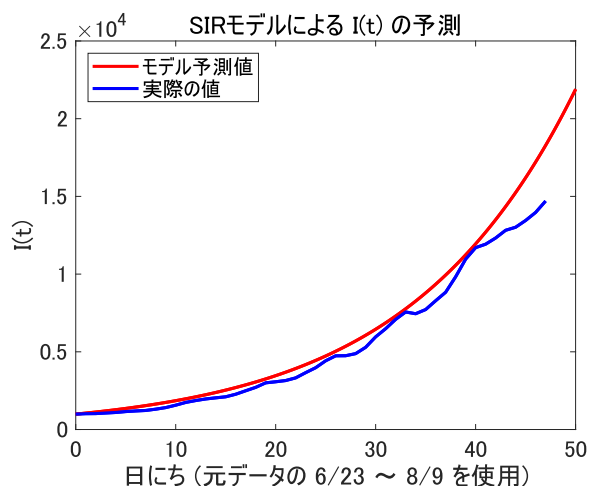


図 2.8

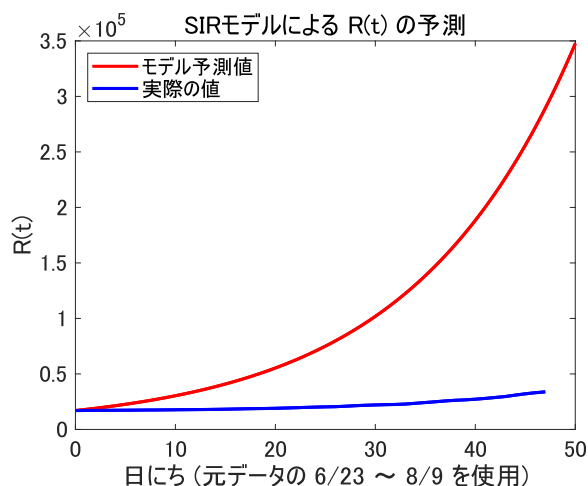


図 2.9

まず、 $I(t)$ のフィッティングを行う。6月23日～8月9日の部分のデータを使用したところ、 $\log I_0 = 6.7689$ 、 $aS_0 - k = 0.0627$ であることがわかった。図 2.6 はフィッティングの結果を表す図である。

$R(t)$ については図 2.7 を見ると、式 (7)

$$\log R(t) = \log \left(\frac{kI_0}{aS_0 - k} \right) + (aS_0 - k)t$$

でフィッティングするのは適切ではないと考えるべきである。しかし、ここでは（簡単のために）この関数でフィッティングする。MATLAB で計算すると、 $\log \left(\frac{kI_0}{aS_0 - k} \right) = 9.6374$ 、 $aS_0 - k = 0.0139$ となった。

$aS_0 - k$ については、ここでは $I(t)$ のフィッティングで得られた $aS_0 - k = 0.0627$ を採用する。 $\log \left(\frac{kI_0}{aS_0 - k} \right)$ については $R(t)$ のフィッティングにしか現れないので、 $R(t)$ のフィッティングで得られた値を利用することにしよう。6月23日における $S(t), I(t)$ の値を S_0, I_0 に代入すると、

$$k = \frac{aS_0 - k}{I_0} e^{9.6374} = \frac{0.0627}{992} e^{9.6374} = 0.9689$$

$$a = \frac{0.0627 + k}{S_0} = \frac{0.0627 + 0.9689}{125943987} = 8.1909 \times 10^{-9}$$

と第2波でのパラメータを決定することができる。

この a, k を使って、再び SIR モデルを表現する3つの微分方程式を数値的に解いてみよう。第1波の場合と同様に、時間幅 Δt を 0.01 とし、元のデータの6月23日の値をそれぞれ初期値としたときの時間発展を陽的 Euler 法により計算した結果は図 2.8 と図 2.9 のようになった。 $I(t)$ のデータを使ってパラメータを決定したこともあり、 $I(t)$ についてはモデルが実データをうまく反映していることがあるが、 $R(t)$ については全然一致していない。

ちなみに6月23日からの時間発展を見てみると、図 2.10 のようになり、最大で約24万人の人が（同時に）コロナに感染した状態になることがモデルから推定されるという結果になる。先ほどの6000万人を超えよりはだいぶマシになったといえる。第1波の時は検査体制が脆弱で検査すべき人全てにPCR検査を行うことができなかった。そのときのデータを使用しても、コロナ流行の状況を正確に把握することはできず、良いモデルを構築できなかったことが「6000万人」という数字につながったのだろう。

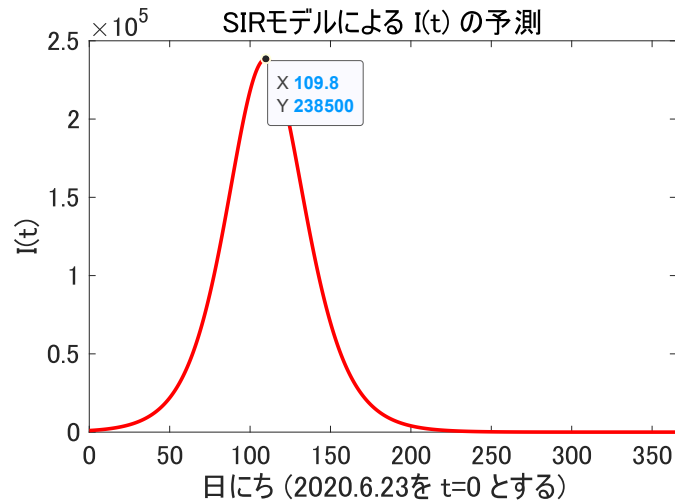


図 2.10

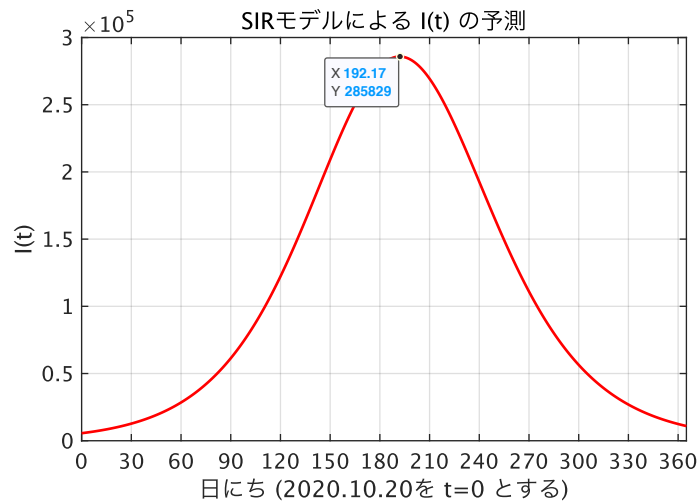


図 2.11 SIR モデルによる $I(t)$ の予測 (第 3 波)

2.4 第 3 波の予想

2020 年 10 月下旬から新規感染者数が再び全国各地で増加していき、「第 3 波」が始まった。2021 年 1 月に緊急事態宣言が発出されたせいか、積極的疫学調査の範囲を縮小したことが原因かはわからないが、1 月後半になると徐々に新規感染者数が減少し始めた。今度の「第 3 波」は (いわゆる) 「コロナ疲れ」による中だるみ、ハロウィンの影響、「Go to トラベル」キャンペーンによる人の大移動などが様々な影響が積み重なった結果と思われる。これに加えて、もう自粛することに国民が限界を感じていることや、状況は悪化しているともいえるにもかかわらず、政府が Go to キャンペーンを全国的に停止しないことなどから、国民の行動がイマイチ感染抑止の方へ向かないせいで、なかなか第 3 波の収束に向かわなかった。

これまでと同様の方法で、第 3 波でのパラメータ a, k の値を決定する。2020 年 10 月 20 日～2021 年 1 月 17 日までのデータを用いて計算したところ、

$$a = 3.3182 \times 10^{-9}, \quad k = 0.3901$$

と決定することができた。この a, k を使って、SIR モデルをもとに新型コロナウイルス感染症の流行がどう拡大するかを予想した結果が図 2.11 である。

さて、10 月 20 日からの時間発展を見てみると、最大で約 28 万 6000 人の人が (同時に) コロナに感染

した状態になることがモデルから推定されるという結果になっている。これは 2.3 節に記した第 2 波の結果（約 24 万人）（図 2.10）より 4 万人以上多い。第 3 波は第 2 波よりもひどいというのは、このシミュレーションからも当たっている気がする。「第 3 波」も「約 28 万 6000 人」という数字が実際の数字となることはなかった。ただ、図 1.2 では最大で 71900 人の治療患者が第 3 波ではいたというのは事実でシミュレーションの 1/4 であった。もし、「第 4 波」が来た場合、今度は実際の値がシミュレーションの何分の 1 になるだろうか。

SIR モデルによる推定を見ると一つ気がかりな点もある。それは、第 2 波の時よりもピークを迎えるまでに時間を要するという点である。このことは、第 3 波は収束まで長引くことを示唆しているのかもしれない。第 2 波の時はかなり新規感染者数が少ない段階から一気に上昇した。しかし、第 3 波は、特に東京都のように新規感染者数が恒常的に確認されているなかで、徐々に増えているという状況なのである。このことがパラメータ a の値に影響を与えていて、感染のしやすさを表す指標である a の値は第 2 波の時の 8.1909×10^{-9} よりも小さい。患者が 10 人から 100 人に増えることも、100 人から 1000 人に増えることも、どちらも「10 倍に増加した」という意味で共通であるが、患者が 90 人増えるか、900 人増えるかで医療現場の負担は全然違う。 a の値だけで新型コロナウイルス感染症の状態を把握するのは妥当なのか？

3 SIR モデルによる分析（東京都）

突然の安倍首相の辞任により、新しく菅義偉氏が首相となった。菅氏は官房長官時代にコロナの流行について「東京問題」と発言した。東京問題かどうかはおいておいて、3 節では東京都のデータを用いて 2 節と同様の分析を行った結果をまとめた。

筆者自身は全国のデータより東京都のデータを使った方が正確な分析が可能だと思っている⁽⁶⁾。日本の場合、幸運なことに東京都以外ではコロナ感染者が出ているとはいえ規模は小さい（？）。実際、岩手県は日本国内で第 1 波が拡大している際も感染者がゼロという奇跡的な状況が起きていた。「Go to トラベル」キャンペーンで東京都だけが初めは除外されていたことは日本国内での感染状況が東京都とそれ以外で様相が異なるからである。東京都以外の感染が少ない地域のデータを組み合わせると正確な分析をすることはできない。東京都は（残念なことに）数理モデルを使った分析ができてしまうぐらい感染が拡大しているので、東京都だけのデータを用いて分析した結果はそれなりに意味のある結果だと思われる。

3.1 東京都の状況

東京都のデータ⁽⁷⁾を可視化してみよう。

図 3.1 はテレビでよく見る東京都の新規感染者数の推移を表すグラフである。筆者自身は現在千葉県に住んでいるため、毎日ニュースで東京都のデータを見ることもあり、（悪い意味で）親近感を感じている。東京都や大阪府、および大都市圏に隣接する都道府県以外はクラスターが発生したら一時的に新規感染者数が急増するというイメージがあり、このように第 1 波、第 2 波、第 3 波がはっきりと表れることはないように思える。第 3 波の状況をプロットしてしまうと、第 1 波、第 2 波は全然マシだったように見えてしまう。

図 3.2 は現在感染者数の推移を表すグラフである。第 2 波では集団検査により無症状の陽性者が多数確認されたことが挙げられる。そのため、新規感染者が多くても、何日もの入院治療を要する患者自体は数字の割には多くないことは第 2 波の 1 つの特徴ということもできるだろう。これが現在感染者数が第 1 波の時よりも倍になっていないことにつながっていると考えることができる。でも、無症状とはいえ、PCR

⁽⁶⁾最近では、大阪府の日ごとの新規感染者数が東京都を上回ることも時々あるので、大阪府のデータを使った分析もしてみるのが良さかもしれない。大阪府は東京都よりも重症者数が多いと報道されているが、これがパラメータ k に現れてくる可能性もある。大阪府のデータの分析も日本国内の新型コロナウイルス感染症の流行を把握するには興味深いように思える。

⁽⁷⁾東京都のデータは下記から入手した（2021 年 2 月 6 日参照）。

- Yahoo! JAPAN 「東京都 新型コロナ関連情報」：<https://hazard.yahoo.co.jp/article/covid19tokyo>
- NHK web ページ「特設サイト 新型コロナウイルス 東京都の新型コロナデータ」：<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/pref/tokyo.html>

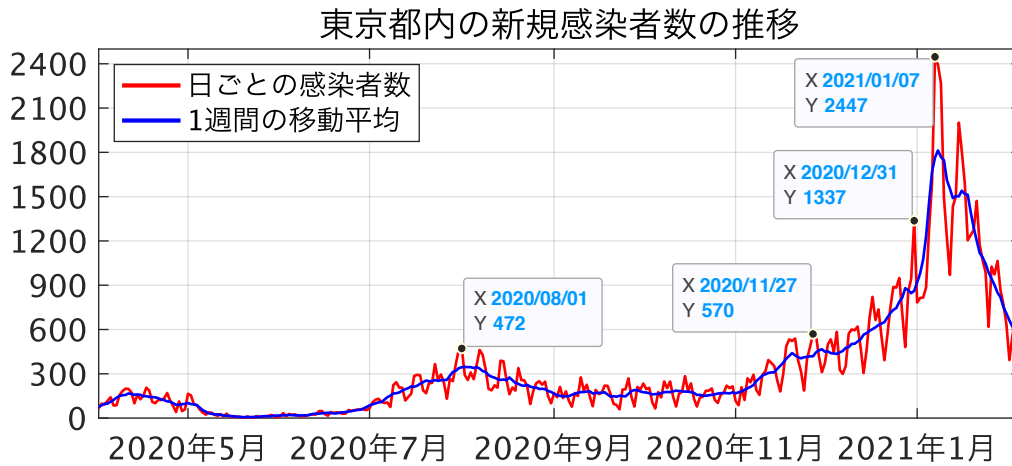


図 3.1

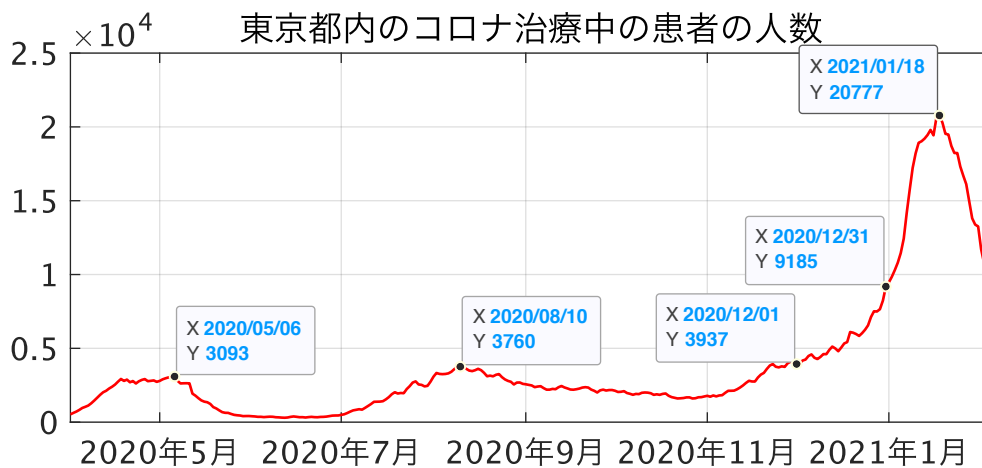


図 3.2

検査の結果が陽性になったら、病院でなくてもホテルで一時的に隔離する必要があって、隔離用ホテルは逼迫することになり、現在感染者数が急増していないからといって嬉しいことは何一つない。そして、第3波になると第1波や第2波を超える現在感染者数が医療現場をさらに逼迫させている。第1波や第2波の6倍以上の感染者の治療を取り組まなければならなかったらしい。保健所や医療機関がパンクしてしまうのもわかる気がする。

3.2 東京都のデータを利用したパラメータの推定

2節に記した方法を用いて、適切な範囲のデータを利用してパラメータ a, k を推定した。その結果は表 3.1～表 3.3 のようになる。

パラメータ a はコロナに感染する可能性を表すパラメータで、値が大きいほどコロナに感染しやすいといえる。一方でパラメータ k はコロナに感染した後の回復のしやすさを表すパラメータで、値が大きいほどコロナから回復しやすいといえる。東京都の方が全国よりも a の値が大きいことは全国のデータにはコロナの流行が広がっていない都道府県のデータも含まれていることによると思われる。東京都の a の値は全国の10倍ということは、新型コロナウイルスに感染する可能性は東京都が全国平均の10倍であるということである。最近ではイギリス型やアフリカ型など感染力の強い変異ウイルスも確認されている。 k の値が第2波から第3波で小さくなっているのはこのようなことも関係していそうと思ってしまう。

表 3.1 第 1 波のときのパラメータ a, k の値

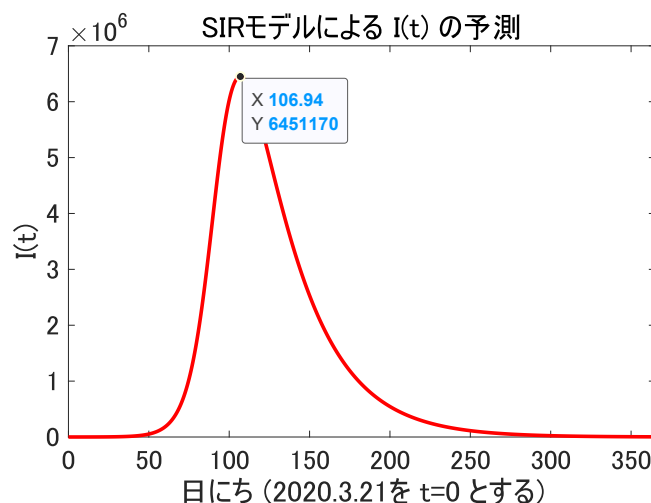
	全国	東京都
a	7.7659×10^{-10}	1.1265×10^{-8}
k	0.0193	0.0330

表 3.2 第 2 波のときのパラメータ a, k の値

	全国	東京都
a	8.1909×10^{-9}	6.0768×10^{-8}
k	0.9689	0.7942

表 3.3 第 3 波のときのパラメータ a, k の値

	全国	東京都
a	3.3182×10^{-9}	3.3160×10^{-8}
k	0.3901	0.4331

図 3.3 SIR モデルによる $I(t)$ の予測（東京都：第 1 波）

3.3 モデルによる分析結果

第 1 波の場合

3.2 項に記したパラメータを用いて SIR モデルによる分析を行った。3 月 21 日から 1 年間の $I(t)$ の時間変化をモデルで推定した結果は図 3.3 のようになる。3 月 21 日から 106.94 日後、つまり 7 月上旬に現在感染者数がピークとなり、約 645 万人となるという計算結果が得られた。全国のデータでは第 1 波のデータを使ったモデルの推測は 9 月下旬にピークがくるということだったが、東京都のデータの場合は 7 月上旬にピークがくるという結果になり、全国のデータを用いた場合と予測に違いが見られた。7 月上旬に東京都内の感染者の合計が何百万人レベルになったというニュースは聞いていない。でも、7 月上旬になって、徐々に新規感染者数や現在感染者数が増加傾向に転換し始めたのは事実である。

第 2 波の場合

第 2 波についても計算したところ図 3.4 のようになった。6 月 23 日の 109.33 日後、つまり 10 月中旬にピークを迎え、現在感染者数が最大で約 28000 人になるという結果が得られた。この結果が正しいなら、コロナに対応できる病床は 30000 床は確保しないとイケないということになる。なんか本当にそうなりそうで怖い値が出てきてしまった。

第 3 波の場合

第 3 波についても計算したところ図 3.5 のようになった。赤い線は SIR モデルによる予測値で、青い線は実際の東京都の $I(t)$ の値である。実際の値がモデルの予測値を超える部分もあり、第 3 波の流行の酷さが視覚的にわかる。ピークについては、2020 年 10 月 20 日の 143.4 日後、つまり 2021 年 3 月中旬で、現在

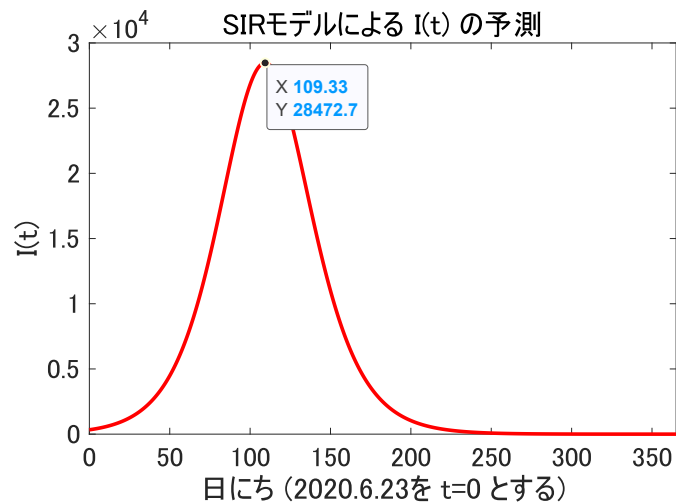


図 3.4 SIR モデルによる $I(t)$ の予測（東京都：第2波）

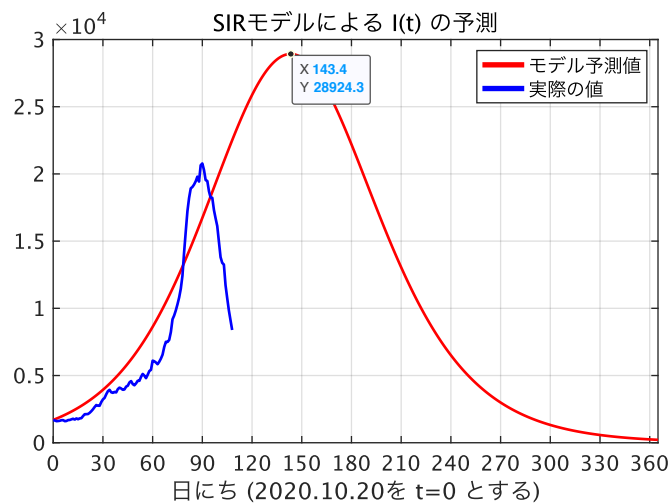


図 3.5 SIR モデルによる $I(t)$ の予測（東京都：第3波）

感染者数が最大で約 29000 人になるという結果が得られた。この 2021 年 3 月中旬は（延長された）緊急事態宣言が解除される時期とちょうど重なる。自粛の我慢が限界になって、人々の活動が元に戻って、感染再拡大も起こりそうな時期である。

更新履歴

本ノートの新状況は下記のようになる。

- 2020 年 9 月 15 日：本ノートの version.1 を公開。
- 2020 年 9 月 22 日：version.2 を公開。
 - － 図番号の表記方法の修正
 - － グラフの修正
 - － 東京都のデータを解析した結果を追加（3 節）
- 2020 年 11 月 15 日：version.3 を公開。
 - － 目次を冒頭に追加
 - － 日本国内の第 3 波の拡大の予想をした結果を追加 (2.4 項)
- 2021 年 2 月 7 日：version.4 を公開。
 - － 日本国内、東京都の第 3 波のデータを解析した結果を追加
 - － フィッティングの結果を表す一部の図を削除

参考文献

- [1] 稲葉寿（編著），『感染症の数理モデル 増補版』，培風館，2020.