

新型コロナウイルスの第3波に備える

科学教育総合研究所 小田垣 孝

1. はじめに

日本における新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) の蔓延は、新規陽性者数の曲線を見る限り、4月上旬と7月下旬に二つのピークをもって増減し、現在はゆっくりと緩和しているように見える。このことから、政府や各自治体は、接触機会削減を求めた種々の制限を緩めて、Go To キャンペーンなど経済を活性化させる取り組みを加速させている。一方、市民の多くは第3の波が来ることを危惧し、今なお「巣ごもり」生活を送っている人も多い。

先に提案した SIQR モデル[1,2]は、多くの国の感染状況の分析に用いられている。須田[3]は、主要9カ国の感染状況を分析し、各国の対策の比較を行っている。また、並木[4,5]は、「実効感染機会人口」の考え方を SIQR モデルに導入し、日本のいくつかの都市の感染曲線の分析と最終観測日以後の感染者の予想を行っている。さらに、楨[6]は、SIQR モデルに潜伏期間を導入した改良を試みている。また、海外でもインド[7,8]、イタリア[9]、スウェーデン[10]、ブラジル[11]の研究者が、独自に SIQR モデルを用いてそれぞれの国の感染状況を分析している。

現在日本で見られている感染曲線の波は、1918年-1920年に世界で流行したスペイン風邪で見られた第1波～第3波と同じものかどうかは、今後の分析に基づく判断が必要である。ここでは、一つの可能性として、メディアによる大量の情報に接する市民が、自主的に行っている行動制限と接触自粛が変動することによっても感染者数の波が生じることを示す。また、9月20日以後、様々な制限が緩和されており、そのことによって生じるであろう感染者数の増加(第3波)を抑えるためには、安価で容易に受けられる PCR 検査を導入して、感染者を自宅やホテルで確実に隔離することが必要であることを示す。

2. 9月までの新規陽性者数の変化

SIQR モデルは、全人口(N)を未感染者(S)、市中感染者(I)、隔離感染者(Q)、回復者(+死者)(R)に分類し、感染者数の時間変化を

$$\frac{dI}{dt} = \beta S \frac{I}{N} - qI - \gamma I \quad (1)$$

で表わす。ここで、 β は未感染者と市中感染者が接触したときの感染係数[12]、 q は市中感染者の隔離率、 qI は感染が確認されて、隔離された人の数 $\Delta Q(t)$ を表し、 γ は感染者の治癒(+死亡)率である。感染者数が少ない初期では、 $I + Q + R \ll N$ が成立し、 $S \approx N$ と近似できるので感染者数の満たす微分方程式は

$$\frac{dI}{dt} = \beta I - qI - \gamma I \equiv \lambda I \quad (2)$$

となる。ただし、 $\lambda = \beta - q - \gamma$ は、感染者数の増減率を決定する量である。増減率が時間に依存し $\lambda(t)$ と表される場合、(2) 式の解は、

$$I(t) = I(0)\exp(\int_0^t \lambda(t')dt') \quad (3)$$

で与えられる。

増減率 $\lambda(t)$ を決めるパラメータの中で、 γ はほぼ一定であるのに対して、 $\beta(t)$ は都市封鎖などが行われると小さくなり、また市民が接触を自粛すれば小さくなる。一方、隔離率 $q(t)$ は、PCR 検査の対象を広げることにより、大きくできる。

(3) 式の $I(t)$ は市中感染者数であるが、潜伏期間の分布関数が一山をもつ滑らかな関数の場合、新規陽性者数 $\Delta Q(t)$ は平均潜伏期間前の市中感染者数に比例することが示される[13]。そこで、

$$\Delta Q(t) = \Delta Q(0)\exp(\int_0^t [\beta(t') - q(t') - \gamma]dt') \quad (4)$$

を仮定し、3月26日 ($\Delta Q(0) = 96$ 人) から9月19日までの全国の新規陽性者数の変化[14]を(4)式で合わせたのが図1(a)である。図1(b)は、このフィッティングに用いた $\beta(t)$ 、 $q(t)$ およびそのときの増減率 $\lambda(t)$ の変化を示す($\gamma = 0.04$)。

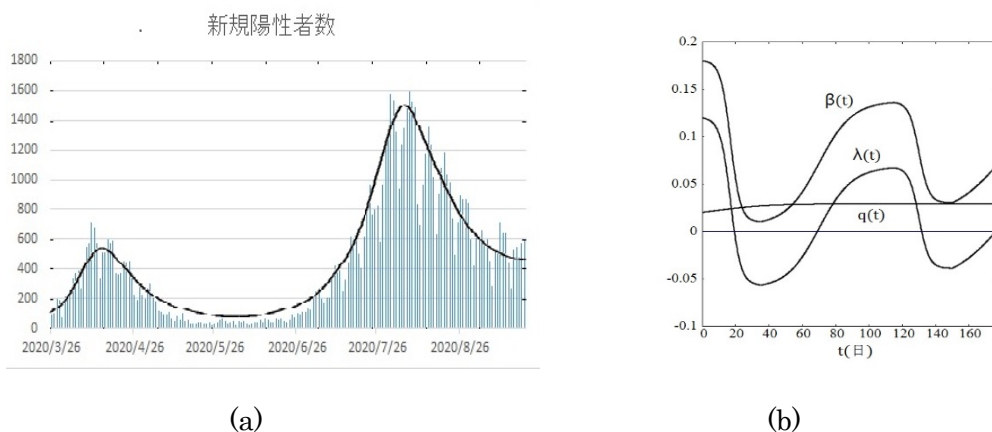


図1 (a) 全国の新規陽性者数の日ごと変化。実線は、(4)式によるフィッティング。データは厚生労働省による[14]。(b) フィッティングに用いた $\beta(t)$ 、 $q(t)$ および増減率 $\lambda(t)$ の変化。 $\gamma = 0.04$

新規陽性者数の変化は、(3)式から $\lambda(t)$ のみによって決まるので、 γ が一定としても、それを $\beta(t)$ 、 $q(t)$ に分けるのは一意的ではない[15,16]。ここでは、 $\beta(t)$ と $q(t)$ が共に双曲線正接関数 ($\tanh(x)$) に従って区間毎に二つの値の間を滑らかに変化するものと仮定し、できるだけ観測データを再現するようにパラメータを決定した。

図1は、人々の接触自粛の変動によって、新規陽性者数の波打った変化が説明できることを示唆している。

3. 第3波を起こさないために

政府や東京都、各自治体は、新規陽性者数が9月は減少傾向にあるとして、経済活動を活性化させるために種々の制限を緩和しようとしている。しかも、対策は市民が十分な感染予防対策をすることだけであり、これまで十分な感染予防対策を行ってきた市民はさらに何をすれば良いのかと戸惑いが広がっている。ここでは、三つの想定で新規陽性者数の変化を予想したものを図2に示す。図2の曲線(1),(2),(3)は次の条件で求めたものである。

(1) 9月とほぼ同じ状況が続く場合：

($\beta \sim 0.03, q \sim 0.03$)。

(2) 検査体制は同じで、大幅な制限緩和により、

接触頻度が3倍になった場合： $(\beta \sim 0.09, q \sim 0.03)$ 。

感染係数が増加し、第3波が起こることが予想される。

(3) (2)の大幅な制限緩和と同時に、PCR検査体制を充実して隔離率を3.3倍にした場合： $(\beta \sim 0.09, q \sim 0.1)$ 。

明らかに(3)の場合の対策により、感染を収束に向かわせることができる。

4. おわりに

感染者数の増加や減少は、ウイルスが変異しない限り、人々の行動や、検査による隔離の効率に大きく依存し、それらのバランスによって増加あるいは減少が決まっている。この小論では、日本で見られる新規陽性者数の波は、このバランスの微妙な変化によっても説明できることを明らかにした。

図2から分かるように、第3波が起こるか起こらないかは、行動制限の緩和と感染者の隔離をどれだけ効率的に行うかによっている。経済を活性化させるために制限緩和して、人々の接触機会が増えると、いくら個人がコロナ対策をしていても、感染係数が増加した地域で感染が広がり、そこがエピセンターとなってさらなる感染拡大に繋がるのが予想される。

現在の状況で感染拡大を抑制し、経済を活性化させるためには、既に定説化しつつあるように、閉鎖された空間に人が集まる場所では、PCR検査陰性者のみの集まりにすることが重要である。さらにサービスを提供する人々がPCR検査陰性であることが保証されれば、人々は安心してそのサービスを利用することができ、自ずと経済も活性化するであろう。感染者を見つけ出し隔離することは、一種の予防医療であり、これまでの医療行政の考え方とも合っている。

図2の結果は、極端な状況がわかるようにパラメータを設定して求めたものであるが、実際には、自粛によるコスト関数と隔離数増加による医療費・社会的経費のコスト関数を用いて、目的に合った最適の対策を考える必要がある。

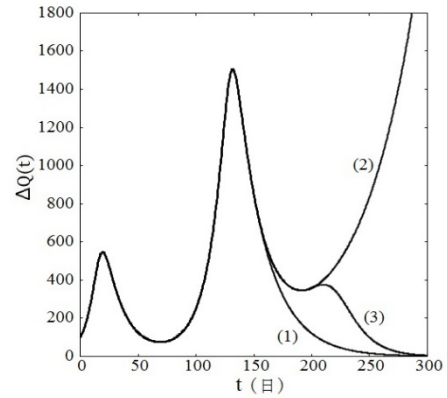


図2 新規陽性者数の予測。極端な状況がわかるようにパラメータを設定したものの。(1) 現在の接触制限を保った場合、(2) 制限緩和だけを行った場合。(3) 制限緩和に加えて、隔離を充実した場合。

そのために必要な数学的枠組みを別の論文[17]で提案している。

参考文献

- [1] H. Hethcote, M. Zhien and L. Shengbing, *Math. Biosciences* **180**, 141-160 (2002).
- [2] 小田垣孝, 物性研究・電子版 Vol. **8**, No. 2, 082101 (2020年5月号).
<http://mercury.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~bussei.kenkyu/wp/wp-content/uploads/2020-082101v5.pdf>
- [3] 須田礼二、「新型コロナについて語る--サイエンスの立場から」(中山他編、花書院、2020) .
- [4] 並木正夫、新型コロナ第2波感染の予測 <https://www.ecoledz.jp/120702.html>
- [5] H. Isshiki, M. Namiki, T. Kinoshita and R. Yano, (2020)
<https://arxiv.org/search/?query=Hiroshi+Isshiki&searchtype=all&source=header>
- [6] K. Maki, (2020) <https://doi.org/10.1101/2020.08.18.20177709>
- [7] A. Tiwari, (2020) <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062794>
- [8] A. Tiwari, (2020) <https://doi.org/10.1101/2020.06.08.20125658>
- [9] M. G. Pedersen and M. Meneghini, (2020) <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11753.85600>
- [10] L. Sedov, A. Krasnochub and V. Polishchuk, (2020)
<https://doi.org/10.1101/2020.04.15.20067025>
- [11] N. Crokidakis, *Chaos, Soliton and Fractals* **136** 109930 1-6 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109930>
- [12] 両辺の示量性を明確にするために、文献[2]の βN を、ここでは改めて β と表す.
- [13] T. Odagaki, *Infectious Disease Modelling*, **5**, 691-698 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.08.013>
- [14] 厚生労働省, オープンデータ 2020.
https://www.mhlw.go.jp/content/pcr_positive_daily.csv
- [15] K. Hashiguchi, (2020) <https://doi.org/10.1101/2020.08.04.20167882>
- [16] K. Hashiguchi, (2020) <https://doi.org/10.1101/2020.09.01.20185611>
- [17] T. Odagaki, (2020) <https://arxiv.org/abs/2007.12846v2>