

PCR検査はコロナウィルス終息の「特效薬」か

中西正雄



文部科学大臣認定 共同利用・共同研究拠点

関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構

Research Institute for Socionetwork Strategies,
Kansai University

Joint Usage / Research Center, MEXT, Japan

Suita, Osaka, 564-8680, Japan

URL: <http://www.kansai-u.ac.jp/riss/index.html>

e-mail: riss@ml.kandai.jp

tel. 06-6368-1228

fax. 06-6330-3304

PCR 検査はコロナウイルス終息の「特効薬」か

Is the PCR Test a Panacea for COVID-19?

中西 正雄¹ 関西学院大学 名誉教授

(元大学院経営戦略研究科教授)

概要

昨今のメディアを賑わす PCR 検査の拡大は本当にコロナウイルス流行に対する「特効薬」なのだろうか。この小論は、パンデミックを終息に導く諸手段の中で PCR 検査に与えられた役割をシミュレーションによって検討し、その有効な利用について提言を行う。併せて深刻な経済的影響をあたえる外出自粛と三密回避を徹底的な感染者の隔離によって最小限にとどめる方策についても提案を行う。

キーワード：COVID-19、PCR 検査、SIR モデル、隔離率

はじめに

現在のコロナウイルス・パンデミックはわれわれ日本人にとって第2次世界大戦にも比較される大事件であるが、約100年前のスペイン風邪流行以来現代の日本人にとってあまり経験のないタイプの事件である。その経験の少なさゆえにさまざまな問題点が発生し、政府のみならずわれわれ市民の間でもそれらの問題の解決のための試行錯誤が繰り返される状況にある。その中で最近マスメディアを中心にいわゆる「PCR 検査」の不足が連日報道され、国会でも論議的になっている。他国の PCR 検査数がわが国より多いことを挙げて（それらの国々の感染率や死亡率が日本より高くとも）、ひたすら検査数を増やすことを政府に要求する論調が多い。首相を始めとして関係省庁は PCR 検査数を増加するべく種々の方策をとっているようだが、なかなか検査数が増加しないのが現状（5月10日現在）である。

PCR 検査数が増加しない理由としては、初期には検査機器・試薬の不足が挙げられていた。その後機器・試薬はある程度医療の現場に行き渡ったようであるが、次に機器を操作して検査を行う人員の不足が表面化し、各地で検査を必要としている人々が検査を受けられず、また検査を受けてもその結果をなかなか知らせてもらえないという状況が続いている。こうした検査の停滞がマスメディアの批判の対象となっている。他方で同じメディアの報道を信じれば、これまでの不十分な検査状況下で判明した患者（コロナ陽性者）数だけでもすでに**医療崩壊**が危ぶまれているという。もちろんこれ以上 PCR 検査数が増えて行けば、コロナ陽性と確認されて隔離・治療が必要になる患者数も増加することが予想される。そうなった時「わが国の医療体制ははたして機能し続けることができるか」という医療従事者や関係省庁の危惧こそが、PCR 検査がなかなか拡大しない最大の理由であるかもしれない。

自明なのは「PCR 検査をしても感染者が治癒される訳ではなく、非感染者が感染を避けることもでき

¹ 関西大学ソシオネットワーク戦略研究機構非常勤研究員

ない」ということである。PCR 検査はもちろん「万能薬」ではなく、それが疫病対策として有効であるためには、検査の結果コロナウイルス陽性と判明した被検者が直ちに隔離され、治療されねばならない。問題の焦点は陽性者の「迅速な隔離」であって、「検査の有無」ではないのである。しかし今の PCR 検査に関する議論ではなぜかこの当然のことが見過ごされているように思える。

PCR 検査問題が非常に複雑な問題であることは間違いない。この問題に対処するためには、PCR 検査数が隔離・治療必要者数にどんな影響を与えるかを予測し、必要な医療設備と医療従事者の整備計画を立てることが必須である。医療体制の整備が追いつかない状況下では、逆に検査数を抑えるというまさに政策的な判断がなされるかもしれない。この後者の（人道的には望ましくない）判断は今回のコロナウイルス流行においてもすでになされているという事実をわれわれは忘れてはならないだろう。

この小論の目的は PCR 検査数増減に関する判断の一助として、検査数と隔離・治療必要者数との関連を明示的に取り入れた数理的モデルを構築することである。筆者は、伝染病の伝播を記述する SIR モデル (Susceptible-Infected-Recovered Model) ²⁾ を基礎にして、新製品が人口中でどのように普及するかを永年研究してきた³⁾。ここでは古典的 SIR モデルを部分的に拡張し、感染者 (Infected) を他者に伝染する恐れのある伝染者 (Contagious) と伝染の恐れのない隔離者 (Isolated) とに分離して規定するとともに、新規の感染者数を伝染者数の関数としてモデル化した。このモデルにより検査の拡大・縮小が疫病（コロナウイルスに限らない）の流行にどう影響するかを予測することができる。

モデルとシミュレーション

モデルの規定

以下ではいわゆる SIR モデルと簡単なマルコフ連鎖⁴⁾を合体した可変マルコフ・モデルを用いる。まずこのモデルの構造を次のマルコフ遷移行列によって規定する。 $X_1 \sim X_5$ はそれぞれの状態の人口中比率 ($\sum_i X_i = 1$)。 π_{ij} は状態 i から j への遷移確率、 $\pi_{ij}(t)$ はこの確率が時間的に変化することを示す。

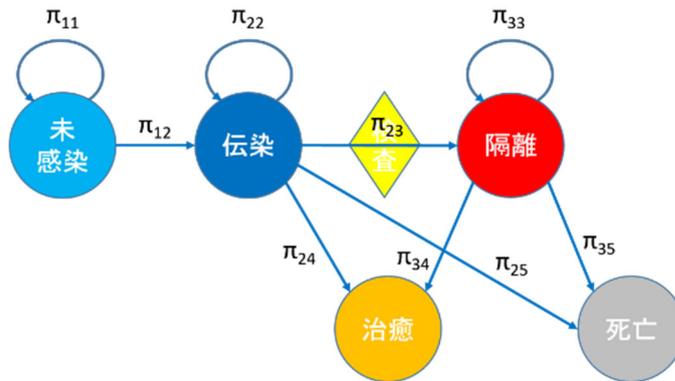
	非感染 (X_1)	伝 染 (X_2)	隔 離 (X_3)	治 癒 (X_4)	死 亡 (X_5)
非感染 (X_1)	$\pi_{11}(t)$	$\pi_{12}(t)$	0	0	0
伝 染 (X_2)	0	π_{22}	π_{23}	π_{24}	π_{25}
隔 離 (X_3)	0	0	π_{33}	π_{34}	π_{35}
治 癒 (X_4)	0	0	0	1	0
死 亡 (X_5)	0	0	0	0	1

²⁾ SIR モデルについては稲葉寿、『感染症の数理モデル』培風館、2008 年などを参照。

³⁾ 中西正雄、「個人選択行動の動的モデル」、『マーケティング・サイエンス』No. 22、pp. 15-26、1983 年 12 月など。

⁴⁾ マルコフ連鎖については馬場敬之、『対話で分かるマルコフ過程と確率統計』マセマ出版社、2011 年などを参照。

図示すれば以下のようなになる。



このモデルの各状態について簡単に説明する。

- 非感染 (X_1): 病原菌(たとえばウイルス)にまだ感染していないが、今後感染する可能性のある状態 (Susceptible)
- 伝染 (X_2): 病原菌に感染しているがまだ検査と隔離を受けていない状態 (Contagious)。この状態で放置されると他者(非感染者)に病原菌を感染させる恐れがある。
- 隔離 (X_3): 検査の結果陽性と確認され、隔離・治療されつつある状態 (Isolated)。この状態では他者に感染させることはない。
- 治癒 (X_4): この病気が治癒して他者に感染させる可能性のない状態 (Recovered)
- 死亡 (X_5): この病気で死亡した状態 (Dead)

本モデルの特徴は病原菌感染者を伝染者と隔離者とに分け、その分類の基準として検査をとり入れた点である。(このモデルは一般的な疫病を対象としているので、検査はPCR検査に限らない。) その意味でこのモデルで最も重要なパラメータは π_{23} である。これを「隔離率」とよぼう。ここでは「隔離率は検査数によって影響される」と仮定する。伝染者は隔離されていないから、市中を自由に行動し、病原菌をばらまいて回る。他の条件において等しければ、検査数を増やせば伝染者数が減って隔離者数が増え、その結果新規感染者数は減る。しかし隔離者数が増えただけ、その人たちを隔離・治療する医療体制(施設と従事者)の拡充が必要になる。もし医療体制の拡充が間に合わなかったら、そこで医療崩壊が起こってしまう。隔離率(π_{23})は、医療機関が受け入れ可能な隔離者数の上限を制約条件として、疫病の被害(すなわち罹病範囲や期間、そして究極的には死亡者数)をできるだけ抑えるような値であることが理想だが、現実はそううまくは行かない。このパラメータがどう決まるかは後に詳述するが、隔離率を通して疫病被害の広がりや医療体制の保全の関連を明示的に表現できることが、このモデルの独自性であると言えよう。

モデル・パラメータ

このモデルを用いたシミュレーションを行うに際し、あえて日本におけるコロナウイルス流行の実情に合わせたパラメータ値を使わず、モデルの特性をできるだけ明らかにするようにパラメータ値を設定した。まず新規感染者数を規定するパラメータである「感染率」(λ)を1とする。このパラメータはいわ

ゆる基本再生産数に関連しているが、このモデルでは

$$\text{新規感染者比率}_t (\Delta X_2(t)) = \lambda \times \text{伝染状態比率}_{t-1} \times \text{非感染状態比率}_{t-1} = \lambda X_2(t-1)X_1(t-1)$$

$$\text{非感染状態比率}_t (X_1(t)) = 1 - \text{他の状態比率}_t \text{の合計} = 1 - [X_2(t) + X_3(t) + X_4(t) + X_5(t)]$$

で計算されるので、後述する隔離率、治療率、死亡率との大小関係により λ が 1 であっても基本再生産数は 1 以上にも、以下にもなる場合がある。また伝染状態 (X_2) の初期値として 0.0001 を用いる。すでに人口 10 万人当たり 10 人の伝染者がいると仮定したことになる。

	非感染 (X_1)	伝 染 (X_2)	隔 離 (X_3)	治 癒 (X_4)	死 亡 (X_5)
非感染 (X_1)	$1 - \lambda X_2(t-1)$	$\lambda X_2(t-1)$	0	0	0
伝 染 (X_2)	0	0.65	0.20	0.12	0.03
隔 離 (X_3)	0	0	0.25	0.70	0.05
治 癒 (X_4)	0	0	0	1	0
死 亡 (X_5)	0	0	0	0	1

隔離率(π_{23})を上表では 0.2 としているが、次節ではこの値を変化させて、疫病の流行にどう影響するかに関わっている。 π_{22} の値が低ければ (高ければ) 伝染状態が早く終わり、他に感染する確率が下がる (上がる)。同様に π_{33} が低ければ (高ければ) 病気が早く (遅く) 治り、隔離の期間が短縮 (延長) される。

その他のパラメーターは治療率と死亡率とに関わっている。ここでは隔離されずに放置された伝染者の最終死亡率 (= 死亡者 ÷ (治療者数 + 死亡者数) = 0.03 / 0.15 = 0.2) は隔離者のそれ (0.05 / 0.75 = 0.067) より 3 倍高く設定されているので、隔離率が高くなれば全体的な死亡率は減少する⁵⁾。しかし医療崩壊が発生すれば、隔離者の死亡率が高くなることが予想され、全体としても最終死亡率が高くなるであろう。

シミュレーション結果

感染率(λ)と隔離率(π_{23})が疫病流行全般に与える影響を調べるために、 $\lambda = 1$ とし、 π_{23} に三つの値を選んでシミュレーションを行った。図 1 (a) は $\pi_{23} = 0.1, 0.2, 0.4$ の場合の新規感染者比率、図 1 (b) は累積感染者比率の変化を示している。(作図に使ったデータについては添付資料表 1-1、1-2、1-3 を参照。) 新規感染者比率は通常の伝染病モデル (SIR モデル) にみられる釣鐘型 (山型) カーブである。 $\pi_{23} = 0.1$ の場合は新規感染者比率の最高値は第 16 期に全人口の 16.97% に達し、また累積では第 50 期に全人口の 99.12% が感染している。これに対し、 $\pi_{23} = 0.4$ の場合には最高値は第 22 期に全人口の 7.84%、累積では第 50 期に 76.93% にとどまっている。これを見れば感染率が同じでも隔離率が高ければ、感染者数を抑制できることが分かる。

⁵⁾ ただし今回のコロナウイルスの場合は死亡率 π_{25} と π_{35} とにさほど違いはないかもしれない。

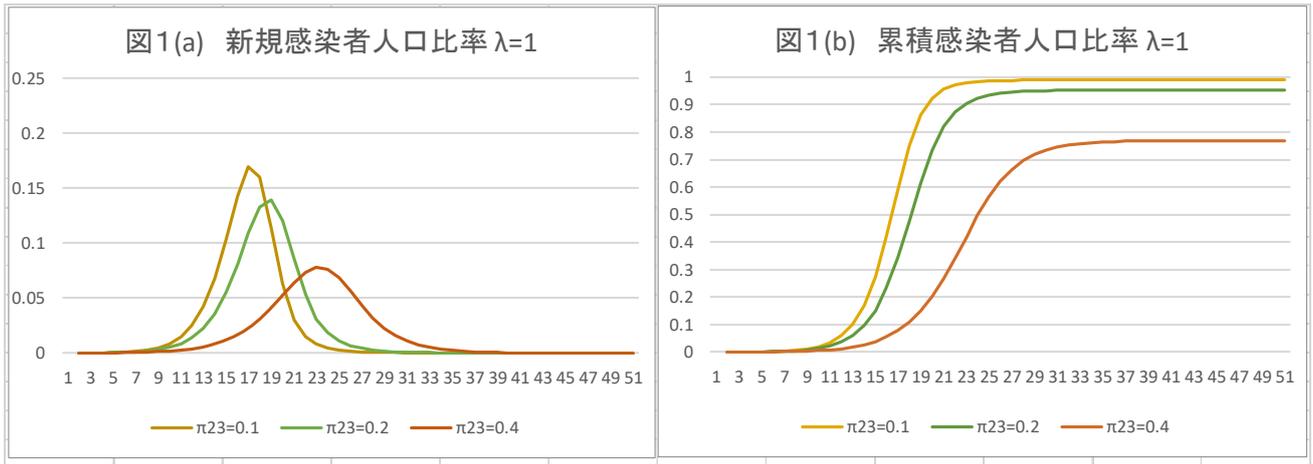
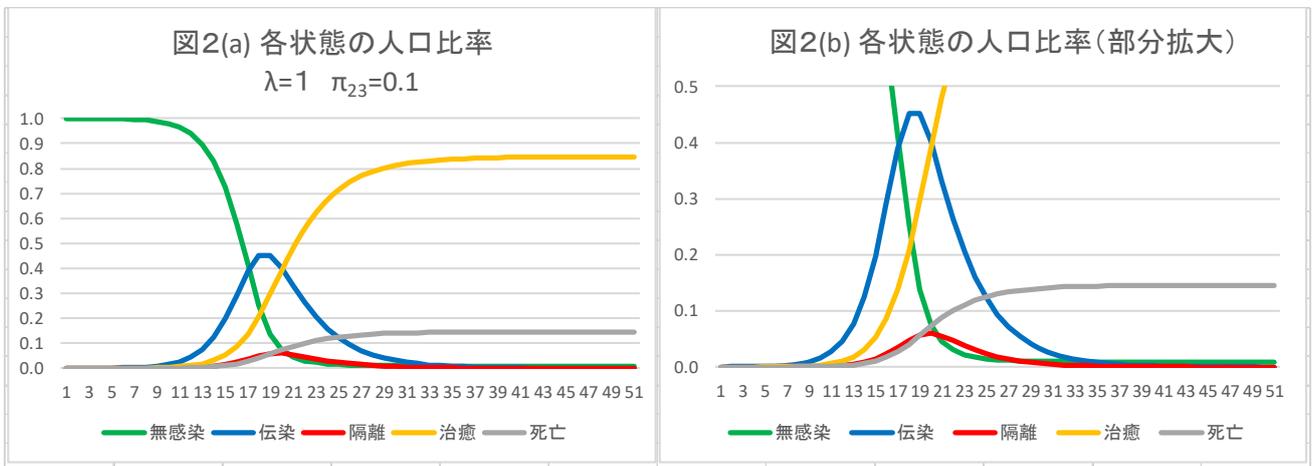


図2、3、4はそれぞれ $\pi_{23}=0.1$ 、 0.2 、 0.4 に対応している（データは添付資料表2～4を参照）。図(a)は伝染、隔離、治癒、死亡各状態の人口中比率、図(b)は(a)の部分拡大図である。各図に表示された曲線のうち、流行の状態を表す鍵となるのは累積感染者、伝染状態、隔離状態それぞれの比率を示すカーブである。累積感染者カーブ（緑色）は感染の広がりと速度を示すのに対し、伝染状態カーブ（青色）は流行の厳しさと期間を示していると言えよう。前者を特徴づけるのは感染率(λ)であり、後者を特徴づけるのは隔離率(π_{23})である。また隔離状態カーブ（赤色）は隔離・治療のための医療施設・従事者の必要量を示している点で重要である。このカーブが実際に利用可能な施設・人員の水準を超えた時、医療崩壊が発生する。



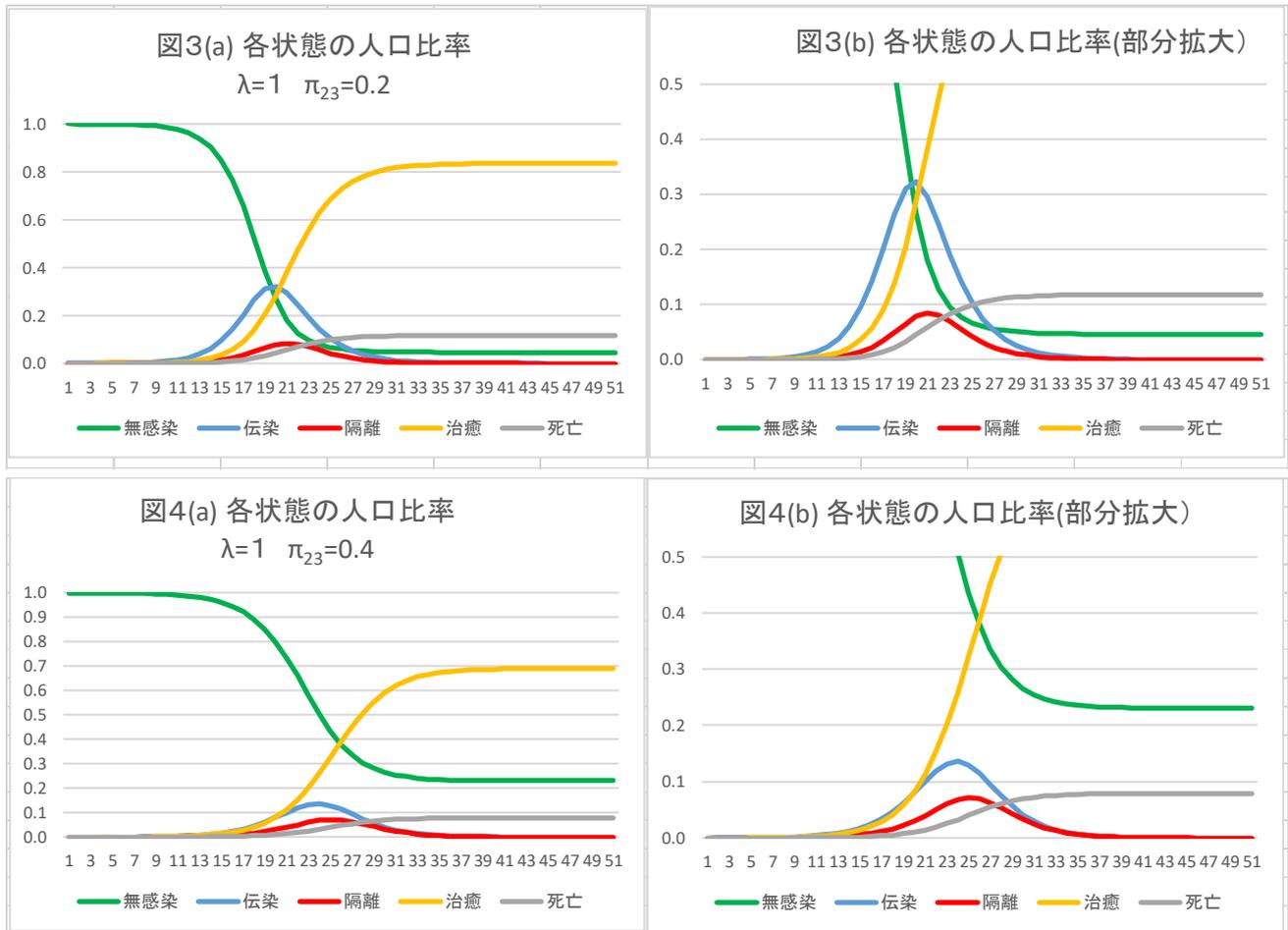


図 2、3、4 を比較すると、隔離率が大きくなるにつれて：

1. 無感染状態で終わる比率が高くなる。
2. 伝染状態比率が最高値に達する時期が遅れ、しかもその値が減少する。すなわち感染拡大が抑えられている。
3. 隔離状態比率については、 $\pi_{23}=0.1$ の場合より $\pi_{23}=0.2$ の場合の方が高くなるが、 $\pi_{23}=0.4$ の場合ではかえって低くなっている。これは流行初期から思い切った隔離を行った方がその後の隔離者数を抑えられることを示唆している。
4. 治癒状態比率は $\pi_{23}=0.4$ の方が $\pi_{23}=0.1$ より低い、これは $\pi_{23}=0.4$ のとき無感染のままで終わる人が多いからである。
5. 死亡状態比率が低くなり、最終死亡率（=死亡状態／(治癒状態+死亡状態)）が下がる。

三つの図を通観して分かるのは、感染率が同じでも隔離率(π_{23}) を上げることで病原菌の蔓延が抑えられ、伝染状態比率や死亡状態比率が低くなるだけでなく、無感染で終わる比率も高くなり、全般的に穏やかに流行が終結するということである。

隔離率と検査基準

前節のシミュレーションにより、隔離率(π_{23}) が疫病流行の初期から終結までの全行程に強い影響を与え、高い隔離率は疫病の蔓延を抑えることが示された。では今後疫病が発生した時、高い隔離率を維持

して流行を抑えるにはどうしたらよいのだろうか。この点について筆者は**検査基準**と検査や隔離に必要な**医療設備・人員**が隔離率の維持に最も重要な要素であるとする。

まず隔離率が検査基準とどのように関連しているかを見よう。この際理解しておくべきは、現在のコロナウィルス流行では PCR 検査は**自己申請制**、つまり受検者本人（または医師）の申請によって実施されるという点である。感染者の人口中比率が非常に小さい疫病の場合、いわゆる無作為標本調査は効率が低すぎて実用的ではない。クラスター感染者の執拗な追跡調査を別にすれば、この自己申請制による検査が最も現実的な検査方法である。自己申請制である以上、非感染者は申請せず、伝染者だけが申請してくれれば理想的だが、現実には不安を持つ非感染者が申請する一方、伝染者であっても感染に気づかず申請しない人や流行病のスティグマを恐れて申請しない感染者がいる。検査の効率を上げるためには、申請者を一定の条件によって事前審査（プリスクリーニング）し、非感染者をできるだけ排除するように検査対象を絞り込む必要がある。事前審査の条件をここでは「**検査基準**」と呼ぼう（厚生労働省は「目安」と呼んでいる。CF. 厚生労働省健康局事務連絡、「新型コロナウイルス感染についての相談・受診の目安」、2020年5月8日）。以下に見るように、隔離率(π_{23})は検査基準によって間接的に調節されるのであって、それ自体を任意に選べるわけではない。

以下の議論を整理するために次の隔離率に関する式を定義する。

$$\begin{aligned} \text{隔離率}(\pi_{23}) &\equiv \text{新規隔離者数} / \text{前期伝染者数} = \Delta X_3(t) / X_2(t-1) & (1) \\ &= \text{申請者数} \times \text{検査率} \times \text{陽性率} / \text{前期伝染者数} \end{aligned}$$

ここで「検査率」＝検査数／申請者数

「陽性率」＝検査陽性者数／検査数と定義する。（検査陽性者数＝新規隔離者数）

この（1）式の1行目はt期における隔離率の定義そのものである。2行目は、前期伝染者数を所与とすると、申請者数、検査率、陽性率のどれかまたは全部を高めることで隔離率を高めることができることを示している。ここに含まれる申請者数、検査率、陽性率それぞれについて、以下で検査基準との関係を詳しく見よう。

疫病流行を防止するには、前期伝染者全員が受検を申請し、検査で陽性と確認されて隔離されることが理想である。（ここでは医師からの申請についてはすべて検査されると仮定し、一般市民からの申請のみを取り上げる。）一般的に検査基準を厳しくすれば、自己申請制では伝染者の一部しか把握できない。厳しい基準は多くの非感染者を排除する効果があるかもしれないが、同時に軽症の伝染者の中で申請をためらう人を増やすかもしれないからである。「より多くの伝染者を把握するためには検査基準を緩和すべきだ」という主張の根拠はここにある。

しかし検査基準を緩めると、感染を心配する多数の非感染者が申請することが予想される。さらなる問題は、申請者数が増えたからと言って隔離率が増加するとは限らないことである。なぜなら検査数（検査率の分子）は当面利用可能な検査設備・人員および陽性者を隔離・治療する医療施設・従事者の規模によっておのずと上限が与えられている。このため申請者数（検査率の分母）が増えるとかえって検査率が下がる可能性がある。申請者数を増やすことで隔離率を上げたいのであれば、申請者数に比例して検査や隔離のための設備・人員を増加させ、検査率を高い水準に維持する必要がある。つまり検査基準の緩和によ

る検査数の拡大は、それに伴う隔離必要者の増加に対応できるだけの医療設備・従事者の拡充がなければ、いたずらに隔離・治療を待つ検査難民や隔離難民を増やすだけである。

次に陽性率と検査基準の関係について検討しよう。一般的に検査基準を厳しくして感染の疑いの高い症状を持つ人に絞り込んで検査をすれば陽性率は上昇し、逆に検査基準を緩めると陽性率は下がると考えられる。しかし、前述のとおり、検査基準を厳しく（緩く）すると申請者数は縮小（拡大）する。つまり申請者数と陽性率は反対の動きをする。検査基準の緩和によって陽性率が下落する主な理由是非感染者の申請が増えることである。（例えばコロナウィルスの場合初期症状は風邪やインフルエンザとあまり変わらない。）この問題に対処するには、できるだけ軽症の感染者を拾い上げつつ類似症状の非感染者を排除するように検査基準を設定する工夫が要る。一方で適切な検査基準の設定によって申請者数が増えなくても陽性率が下がらないようにしつつ、他方で医療施設・従事者を充実させて検査率を高い水準に維持できるなら、初めて申請者数を増やすことが隔離率の上昇に貢献すると言える。

ここでは適切な検査基準が疫病コントロールの一つの手段となりうることを示したが、つけ加えておきたいことは、「一般市民が検査基準が緩和されたことを知らなければ申請者は増えない」という明白な事実である。検査基準を市民の間に周知させることは申請者数の調節に必須の条件である。また検査基準を知っていても伝染性の病気ゆえに自己申請をためらう人もいるかもしれない。一般市民の間にある情報の欠如やためらいを少なくする広報努力なしには自己申請制にもとづく検査体制は有効性を発揮できないだろう。

感染率の影響

ここではモデルのもう一つの重要パラメーターである感染率(λ)について検討する。このモデルでは、伝染者（すなわち未隔離感染者）数が流行の広がりや期間を決める主要な要素であり、伝染状態比率が増えれば流行は拡大し、減れば流行は収束に向かう。伝染状態の増減を式で表すと、

$$\Delta X_2(t) = \lambda X_2(t-1) X_1(t-1) - (\pi_{23} + \pi_{24} + \pi_{25}) X_2(t-1)$$

$\Delta X_2(t)$ は伝染状態の第 t 期の増分である。 $X_2(t)$ が減少するためには $\Delta X_2(t)$ の値が負でなければならない。すなわち

$$\lambda X_2(t-1) X_1(t-1) - (\pi_{23} + \pi_{24} + \pi_{25}) X_2(t-1) < 0$$

である。両辺から $X_2(t-1)$ を除いて整理すると

$$\lambda X_1(t-1) < (\pi_{23} + \pi_{24} + \pi_{25})$$

となる。疫病流行初期には $X_1(t-1)$ はほとんど1であるから、初期において

$$\lambda < (\pi_{23} + \pi_{24} + \pi_{25})$$

であれば感染は拡大しない。さらに

$$\lambda / (\pi_{23} + \pi_{24} + \pi_{25}) < 1$$

と表せば、左辺の比率が SIR モデルの基本再生産数に相当する。この比率が1以上であれば流行は拡大し、1以下であれば終息する。⁶⁾

⁶⁾ 今回のコロナウィルス流行に関して、前節で示した隔離率の計算式に仮に検査率=0.3、陽性率=0.1、申請者数/前期伝染者数=1を代入すると、隔離率=1/30くらいの小さな値になってしまう。い

基本再生産数の分母は 1 期間中に感染者が感染状態を離れる確率である。感染拡大を防ぎ、流行を終息させるには、隔離率(π_{23}) が基本再生産数を 1 以下にするだけの大きさ、すなわち

$$\pi_{23} > \lambda - \pi_{24} - \pi_{25}$$

でなければならない。隔離率(π_{23}) が 0 であっても治癒率(π_{24}) と死亡率(π_{25}) との合計が λ より大きければ (すなわち罹病期間が短ければ)、流行は拡大しないが、一期間を短くとると (例えば週) これらの値は小さくて、合計しても λ より大きくならないかもしれない。シミュレーションに使った π_{23} の値 (0.1, 0.2, 0.4) のいずれも ($\lambda - \pi_{24} - \pi_{25}$) = 0.8 を下回っているので流行が拡大したのである。

感染率(λ)の値は社会一般の衛生状態や個人の生活習慣 (手洗い、マスク着用、頻繁な除菌など) によって影響されるだけでなく、今回のコロナウィルスの場合には社会的距離を大きく保つことで低く抑えられると言われている。社会的距離を大きくする方策としてはいわゆる「三密」(密閉、密集、密接)を避けることが推奨されるだけでなく、そのための政府の具体的施策として、個人に対しては外出の自粛、企業・組織に対しては三密条件の回避が要請された (4月7日)。現在 (5月上旬) のコロナウィルスに関する統計 (東洋経済 ONLINE、「新型コロナウイルス国内幹線の状況」、2020年5月10日) を見る限り、これらの方策が λ の値を劇的に下降させたと考えられる。しかしその代償として全国的に経済活動の急激な縮小をもたらし、多くの企業を存立の危機にさらした。こうして見ると λ の劇的な下降には厳しい経済的悪影響が伴うので、比較的経済的影響の少ない隔離率(π_{23}) の調整とどのようにうまく組み合わせて疫病の流行をコントロールするかが課題になる。この点は次章において触れる。

政策的含意の検討

現在喫緊課題のいくつかについて、上のモデルから政策的な含意を導くことにしたい。以下で取り上げるのは、(1) PCR 検査を増加することでコロナウィルスの蔓延を抑えられるか、(2) 日本政府による緊急事態宣言の早期の解除は可能か、(3) コロナウィルスの感染状況を的確に検知する方法はあるか、の三つである。

PCR 検査の必要性

この小論の冒頭で述べたように、日本における PCR 検査の少なさが各方面から非難の的になっている。国内で PCR 検査を拡大するよう望む一部の論者はまるで PCR 検査を拡大すればコロナウィルスの蔓延を防ぐことができると考えているようである。また別の論者は現在の日本国内におけるコロナウィルス感染の実情を把握するために PCR 検査を拡大すべきだと主張する。この二つの主張はいずれも PCR 検査の主な目的を取り違えている点で共通している。

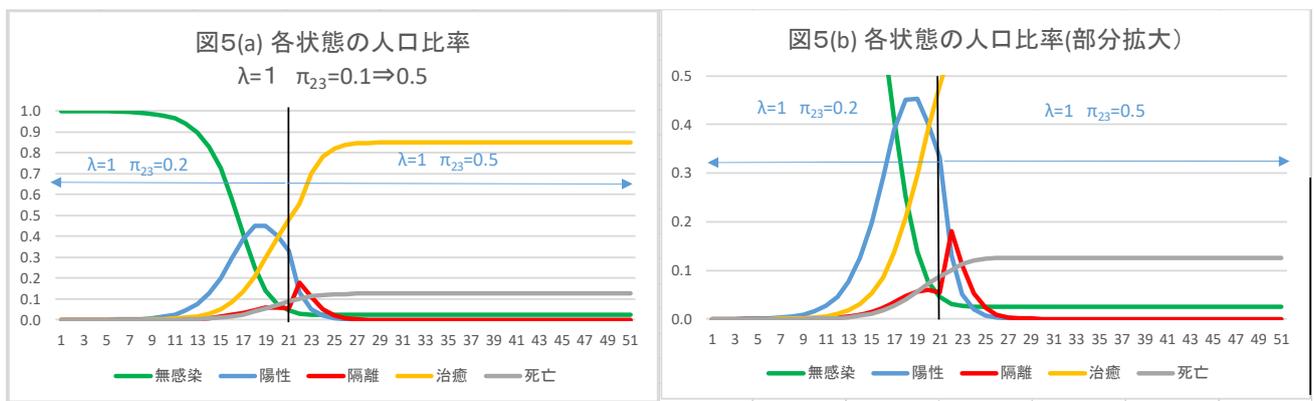
ったん感染すると罹病期間は数週間、長ければ5週間にも及ぶことから、治癒率と死亡率の和 ($\pi_{24} + \pi_{25}$) について逆算すると 0.5 よりやや小さい値である。また実効再生産数は3月中旬か4月中旬までは1以上、4月中旬から5月下旬にかけては約0.7と報じられている。(NNG STAFF、専門家会議資料 (2020年5月1日)) これから察するに今回の流行初期における λ の値は精々0.5から1までの値だったと思われるが、隔離率が低かったためにウィルスの流行が避けられなかったと推察される。

まず「PCR 検査の不足が今回の日本におけるコロナウィルス感染者の蔓延をもたらした」という議論は、「PCR 検査をただけではコロナウィルス患者は治らないし、未感染者への感染も防げない」という単純な事実を無視している。PCR 検査は**感染を確認する方法**であって、治療方法ではない。ウィルスの蔓延を防ぐには、検査の結果感染が確認された患者を**確実に隔離し、治療する**ことが必要である。感染が確認された患者を適切に隔離・治療するための医療施設（端的に言えば病床）と看護にあたる医療従事者が十分に用意されていなければ、PCR 検査を実行する意義はない。

「検査の目的は治療ではなく、伝染者（未隔離感染者）の隔離を行うためのものだ」として、「ではどの程度の数の検査を行えばよいか？」という質問が当然出てくるであろう。上述のように自己申請制の下でできるだけ隔離率を上げるように検査数を設定するには検査基準を調節しなければならない。しかし新しい疫病の場合、それに対応した適切な検査基準は試行錯誤によってしか見出せないのが実情である。以下では「検査基準を緩めて申請者数を増やせば隔離率(π_{23})も線形に（比例して）上昇する」という単純な仮定の下で分析を行う。もちろんこの仮定が妥当であるためには、検査数の増加に対応して検査・隔離のための医療体制が拡充され、検査率が高く維持されるという条件が必要であること言うまでもない。

すでに行ったシミュレーションの一つの結果として、隔離を十分に実施した場合（ $\pi_{23}=0.4$ の場合。図 4 参照）には明らかに疫病の感染は低く抑えられ、伝染、隔離、死亡のどの状態比率も三つのケースの中で最低に抑えられている。これは PCR 検査拡大主義者の主張を支持するように見える。しかし重要なのは、この結果は**疫病流行の初期から広範な検査と適切な隔離を実施したこと**によってもたらされたという点である。直近にも韓国で流行初期に圧倒的な数の PCR 検査を実行し、ウィルスの蔓延を食い止めた成功例があり、シミュレーション結果はこれを支持するものである。

現在の日本のコロナウィルス流行はすでに初期段階を過ぎ、意図的にまたは不本意に検査に漏れた多くの人々がこのモデルで言う伝染状態（青色カーブ）になっていると思われる。この段階で急に PCR 検査を増やした場合、検査拡大主義者の言うようにコロナウィルスの流行は抑えられるのであろうか。この点を検証するために π_{23} の値が 0.1 のケース（図 2 参照）の途中第 21 期に π_{23} を 0.1 から 0.5 に上げてシミュレーションを行った。その結果が図 5（データは添付表 5）である。



もちろんこれは極端な事例であり、検査資源の見地から PCR 検査数を一挙に 5 倍にすることなど現実にはあり得ない。しかし図 2 と図 5 の比較から示唆されることは明白である。検査数の拡大によってそ

の後の伝染状態（青色カーブ）が急低下し、流行の終息が早まったので、一応この措置の目的は達したように見える。しかし最も影響されたのは隔離状態（赤色カーブ）であり、その最高値は図 2 の 0.047 から図 5 では 0.179 へと急増している。つまり隔離・治療の必要な患者数が一挙に 3.8 倍にも増加している。この結果は伝染者が市中に多く存在するときに検査数を急増させたために起こった。もし隔離・治療のための医療設備・従事者がこの患者数の急増に追いつかなかつたら、おそらく医療崩壊の悪夢が具現化するであろう。そうなれば隔離必要者であっても治療が受けられなかったり、院内感染が増加して入院患者の死亡率が上がったりする可能性があり、結果的にこの図が示すような早い流行終息を達成できるかどうかは不明である。このシミュレーション結果は、医療機関と従事者の十分な準備もなく、ひたすら PCR 検査数を増加するのは危険であることを示唆している。

緊急事態宣言解除の影響

安倍首相による緊急事態宣言（4月7日）からすでに4週間以上が経過し（5月10日現在）、政府は5月6日に一部地域でこの宣言を解除することを決めた。この節では本稿のモデルを用いて、いったん外出規制が緩和された後のウィルスの流行がどのように変化するかシミュレーションしてみよう。

次のシミュレーションの中心パラメーターは感染率(λ)である。既に4月中旬以降の新規感染者数の減少によって、今回の日本の経験から、外出自粛によって λ の値が小さくなることは実証済みだが、外出自粛が緩和された後に λ の値が再度どこまで大きくなるかは予想がつかない。以下では外出自粛によって第16期から λ の値が1から0.65に下がった場合と0.2に下がった場合の二つのケース（図6と7。データは添付表6と7）について、それぞれ外出自粛の緩和により第26期から元の1に戻ったという仮定の下にシミュレーションする。大まかな言い方だが、 $\lambda=0.65$ は人的接触の35%減、 $\lambda=0.2$ は人的接触の80%減に対応している。どちらの場合も比較のために他のパラメーターは図3と同じ（ $\pi_{23}=0.2$ ）にしてある。

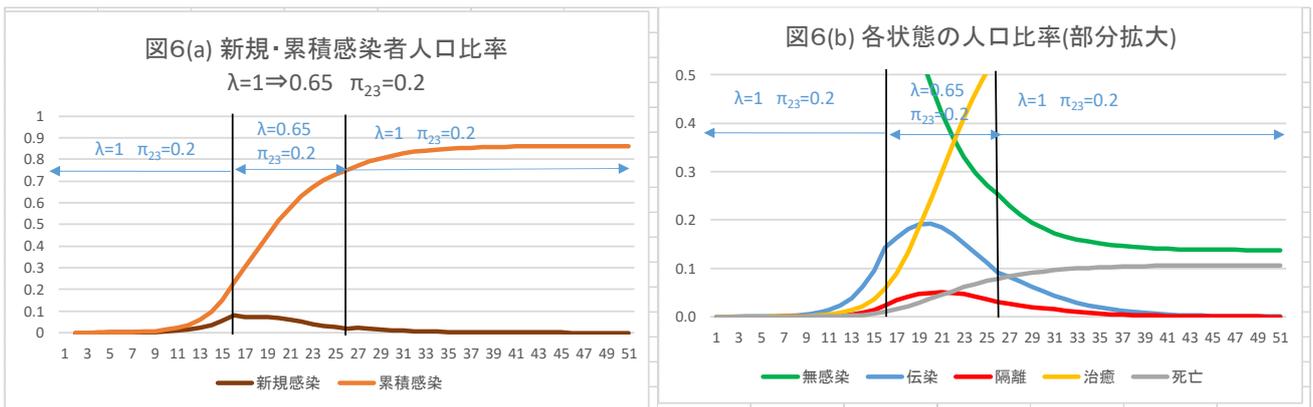


図 6 は $\lambda=0.65$ に下がったケースのシミュレーション結果である。図 6 (a)と図 1 とを比較すると新規感染者数を示すカーブは第 15 期をピークにその後減少し、累積感染者数も低下している。しかし伝染者数について図 6 (b)と図 3 (b)とを比較すると伝染状態（青色カーブ）の右側テールは図 6 (b)の方が長く、かえって流行終息時期が遅れているように見える。人的接触の 35%減程度では疫病の流行に大きな影響を与えていないことがわかる。

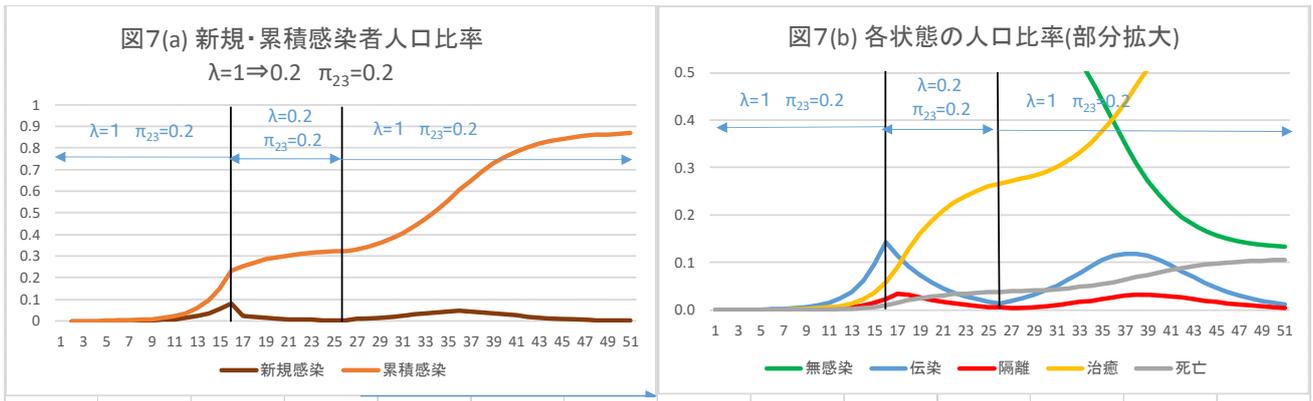


図7は $\lambda=0.2$ に下がったケースである。図7(a)を図1、図6(a)と比較すると、大変興味深い現象が見られる。たしかに $\lambda=0.2$ になれば第16期から新規感染者数は急減し、第25期では流行が一応終息したように見える。人的接触を80%削減したことの効果は間違いなく現れている。しかし第25期を底に新規感染者数はまた増加して、流行の第二波が始まっている。この現象の理由は、第25期における累積感染者数は人口の約3分の1(32.3%)に過ぎず、感染の可能性が残る非感染者が多数残存しているからである。(これに対して図6(a)の場合には第25期ですでに累積感染者数は74.8%に達していて流行の第二波を起こすだけの非感染者人口が存在しないと考えられる。)図7のように比較的早期に疫病の流行を抑えたとしても、未感染者が多数残っている限り、再流行の可能性は拭き切れない。

それでは、流行の第二波が発生すると予見される場合、経済的な影響が甚大な外出自粛・三密回避を繰り返す以外に打つ手はないのだろうか。そんなことはない。第一波がいったん終息した後に続いて第二波が発生する可能性があるというなら、事前に検査体制と医療体制を十分に準備しておいて**第二波の初期に徹底的な検査を行って蔓延の芽を摘んでしまえばよい**のである。つけ加えれば、ここで「徹底的に」というのは単に「大量の」という意味ではない。「思い切った検査基準緩和により、隔離率を望ましい値まで上げるように検査数を拡大する」という意味である。次のシミュレーションでは第26期以降に検査数を2倍に増やす、すなわち隔離率 π_{23} を0.2から0.4へ上げるという対策を試みよう。図8(データは添付表8)がその結果である。

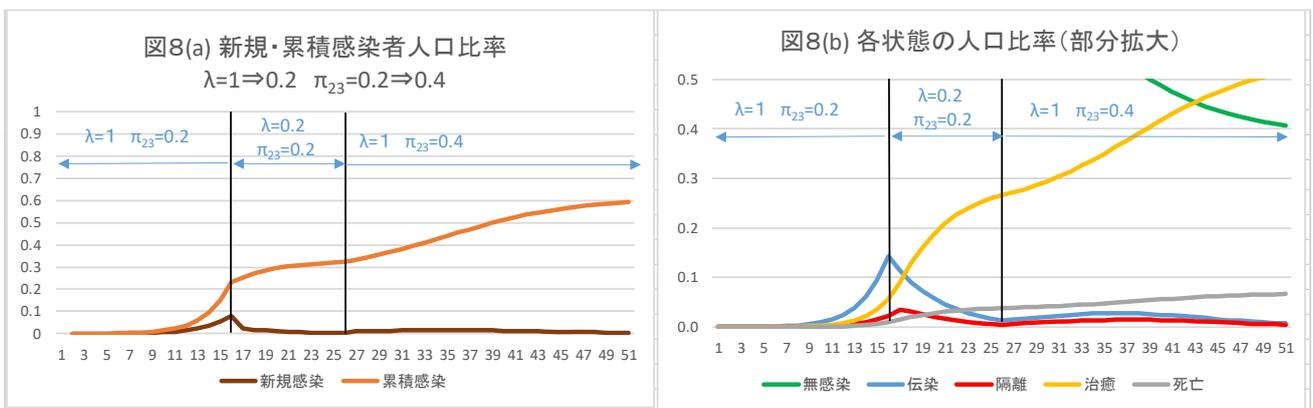


図7と図8を比べると結論は明らかであろう。隔離率を上げたことで流行の第二波を完全に封じ込めたとは言えないが、その影響は低く抑えられ、第50期には第二波も終息している。このシミュレーション結果から学べることは、「かならずしも対人接触を少なくするための方策を長期にわたって行う必要はなく、必要な時に隔離率を上げる方策と併用すべきである」ということである。図7と図8は、むしろ「外出自粛・三密回避」と「徹底的検査」という疫病コントロールの二つの武器を**適時に適量だけ使い分ける**ことで、流行拡大を抑える可能性があることを示唆している。

感染状況の把握

ここでは疫病蔓延の実情をどうやって把握するかについて手短かに私見を述べたい。現在(5月10日)でもPCR検査数が不足しているためにコロナウィルス流行の実態が把握できていないという不満が噴出している。海外からも「日本で感染者数や死亡者数が少ないのは、単に検査数が少ないからだ」という批判が寄せられ、日本の感染者数は実は報告されている数より10倍以上多いであろうと推測する研究者もいる。

しかし流行の実態を把握するためにもっとPCR検査を行えという論法には無理がある。まずPCR検査は非常に高コストの検査方法である。機器・試料の高価さに加えて検査の実施に高度の技術を持つ人材を投入する必要があるし、検体の採取や輸送には防護服が必要である。それに加えて検査とその結果の評価に長い時間がかかるので短期間に結果を得ることはできない。繰り返して言うが、PCR検査は感染者を発見して隔離するための手段であり、速やかな情報収集手段とみなすべきではない。

ではもっと簡便に流行の実情を調べる方法はあるのか。この目的のためにはPCR検査に代えて抗体検査を行えという議論もあるが、抗体検査の問題は陽性者が過去(または現在)にコロナウィルスに感染したことを示すに過ぎない点である。現時点での伝染状態比率を推定するには、私見では次に述べる**PCR検査と一般市民に対する面接・質問票調査の併用**が望ましいと考える。

すでに指摘したように今のPCR検査は自己申請制なので、事前審査(プリスクリーニング)が必要である。事前審査では申請者(または医師)が口頭または文書で一連の質問(検査基準)に答え、それにもとづいて検査機関が検査の必要性の高い申請者を選んで検査を実施するという方法をとる。もちろん申請者本人でなく医師が申請する場合にはもっと高度の医療検査結果が添付されているかもしれないが、現在の政府の方針は検査基準を緩くしてなるべく多くの人に検査を受けてもらうという方向なので、検査基準として複数の質問を用いることはこれからも続けられるであろう。

もし検査基準が一連の質問群に限られるなら、同じ質問群を使えば検査を申請しない人の間でも検査必要者を識別することができるはずである。つまり通常の市場調査の方法論のアナロジーとして、一般市民(伝染者に限らない)から標本抽出し、熟練した市場調査員を使って面接調査を行えばよい。例えば、一定の検査基準によって自己申請者中で検査が必要とされる人にPCR検査を行い、その内10%が検査で陽性と判明したとしよう。また並行して行われた一般市民対象の面接調査でも同じ検査基準を質問票に用いて、一般市民サンプル中に検査が必要とされる人が3%いたとしよう。PCR検査の事前審査項目

と一般市民調査の質問項目が一致しているならば、一般市民の 0.3%が伝染者であるということになる。

あまりに単純な論理だとの批判があるだろうが、PCR 検査をいくら多く行っても自己申請制のゆえの標本の偏りを修正する方法はないのが実情である。ここで提唱する一般市民の面接・質問票調査を併用する調査方法論にも多くの問題点があるが、標本抽出方法を工夫し、調査員の訓練と指示を十分に行い、さらに回答拒否に対してそれを補正する方法を考慮するなどして高品質の市場調査を行えば、高い精度で疫病の流行状態を確認することができる。しかもかなり高品質な市場調査であっても比較的安価に行うことができることが利点であろう。一億円単位の資源を投入するなら、回答者一万人規模の標本採取を行うことも可能である。また質問票調査なら検体の採取や搬送に防護服や特殊車両を使用する必要もない。様々な利点を考えると、できるだけ早くここで提案した一般市民調査が実施されることを望みたい。

結論と考察

この小論の当初の目的は PCR 検査のような感染者確認方法が疫病の流行に与える影響を検討することであった。とくに検査を大規模に行うことで疫病のコントロールをできるかどうかという疑問に答えることがこの研究の焦点であった。それに加えて、感染率の変化が疫病流行の趨勢にどのような影響をもたらすかを見たいという問題意識から可変マルコフ型の疫学的モデルを構築し、様々なシミュレーションを行ったところ、次のような結論が出た。

まず隔離率(π_{23})の向上はたしかに疫病の流行を抑える効果がある。とくに疫病流行の初期に思い切った検査と隔離とを行えばその後の流行を鎮静化できることも確認できた。もちろん検査により感染者を伝染者と隔離者に分離する場合、後者を確実に隔離して治療を施すことが前提条件になっている。すなわち流行初期の大量検査作戦が成功するためには、疫病の発生の前にすでに相当数の隔離者が発生することを予想して、それに対する医療施設・従事者が準備されている必要がある。つまり不断の準備が必要なのである。そのことを如実に示した例が、今回のコロナウィルス・パンデミックにおける台湾と韓国であった。われわれは謙虚にこれらの国の経験に学び、今後の我が国の疫病政策に取り入れる必要がある。

しかし PCR 検査数を無暗に増加させるだけで疫病が沈静化するわけではないことも強調しておきたい。流行の初期を過ぎて市中に未隔離感染者が多く放置されている状況で PCR 検査を行えば、当然多くの隔離必要者を確認することになる。PCR 検査を希望する自己申請者に対する事前審査はこれまでかなり厳しいもので、コロナウィルスに感染している可能性の高い人に絞り込んで検査を行ってきた結果検査陽性率は通算で 7%以下である。それでも現在一部の論者が要求している一日 2 万件以上の検査がもし実行されたら、その結果毎日最大で 1400 件の隔離必要者が確認される可能性があることをこの人たちは理解しているのだろうか。多分その人たちは「これが実情なのだ。隔離必要者がどんなに多くても適切な医療施設と看護を与えるのは政府の責任だ」というに違いないが、それはあまりに無責任な発言と言わざるを得ない。PCR 検査拡大主義者がまず政府・地方自治体に要求すべきは「隔離必要者のための医療施設・従事者の確保」であろう。施設・人員の充実に合わせて PCR 検査を拡大して行くのが最も安全な方向であるのは言うまでもない。

以上の議論に対して、「そんなことでは現在のコロナウイルス流行の実態を把握できず、将来の政策立案もできない」と主張する人がいるだろう。しかしすでに述べたように PCR 検査は隔離必要者確認のための方法であって、流行の実態を調べる手段としては不適切である。自己申請制のために PCR 検査には標本の偏りがあるからである。ウイルス流行の実態を調べるなら、上に述べた PCR 検査と面接質問票調査との併用の方がはるかに合理的であり、またお金をかければ調査の精度も高めることができる。ぜひこの方法の実現を望みたい。

最後に感染率(λ)を通してコロナウイルス流行を抑えるための政策について考察したい。明らかに感染率は市民の衛生意識と社会的距離のとり方に左右される。今回の政府と地方自治体による外出自粛・三密回避の諸方策が λ の削減にかなりの効果があったことも事実であろうが、そのために日本社会全体が深刻な経済的打撃を受けたことも間違いない。結論を言えば、経済的打撃を避けながら感染率を下げる特効薬のようなものは存在しないのである。上のシミュレーションのように λ の値が 0.2 になるような厳しい外出規制は日本では不可能だし、またそんなことは経済的に望ましくもない。個人レベルでできるだけ衛生状態を管理し、三密を避ける行動をとって感染率を下げつつ、一方で適切な検査によって隔離率を上げる努力を続けることが必要である。

しかしどうしても新規感染者数の増加が止まらないようなら、適当な間隔を置いて外出自粛を呼び掛けてはどうだろうか。たとえば毎週金曜日と土曜日を外出自粛の日とするとか、祭日は「おうち遊び」の日とするといった案である。その代りウェブを使った人的交流を促進して、社会的距離を保ったまま心理的距離を縮める方法を模索することも必要である。企業・組織においても在宅勤務やウェブによる営業活動など、極力人的接触を減らす方法を検討すべきである。いずれも疫病流行対策としては弥縫策に過ぎないという論者もあるだろうが、3月20日からの3連休がどれほどコロナウイルスの感染を拡大したかを考えれば、その逆に短期の外出自粛も、それを繰り返せば、あながち無効果とは言い切れないように思われる。