

コロナウイルス arXiv* (6) 2020 年 4 月 17 日 黒木登志夫

ついに、全国に緊急事態宣言が出されました(4月16日)。専門家会議の西浦博委員(北大教授)は、人と人の接触を8割下げなければ、重症患者が累計85万3000人になり、その49%(41万8000人)が死亡することを警告しました(4月15日)。しかし、8割減の必要性を理解できなかった人も多かったことと思います。第6報では、Imperial College Londonの研究チームによる分析をお届けします。封鎖(lockdown)以外に感染を食い止める方法はないと言うのがその結論です。私の理解を超えた数学的分析が使われておりますので、学術振興会の同僚、宇川彰先生(素粒子物理学、計算科学)に解説していただきました。最後に、中国と日本の再生産数(1-3の間を上下している)分析から、接触機会の8割減により再生産数を0.2から0.6にするくらいの目標を立てないと、この難敵には勝てないと忠告しています。

今回用いた資料：下記 URL の Report 13(30 March)を開き、PDF にダウンロードしてください。<https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/>

*“arXiv” (アーカイブ) は、未発表科学論文の投稿ネットサイトの一般名です。

コロナウイルス arXiv は、山中伸弥先生の「新型コロナウイルス情報発信」サイト (<https://www.covid19-yamanaka.com/index.html>) に掲載されております。

目次

1. Imperial College of London の研究チーム報告について
2. 緊急事態宣言と接触8割削減の要請 宇川彰

情報提供者

宇川彰 (学振)

1. Imperial College London の分析

Imperial College London、Oxford 大学、WHO などの研究者から構成される研究チームは、武漢以来コロナ感染を数学的に分析しています。その第13報、3月30日版(図1)は、ヨーロッパ11カ国を分析して、コロナ感染を食い止めるには、都市あるいは国の封鎖(lockdown)が有効であることを示しています。詳しくは宇川彰先生に解説していただきましたが、その前に概略について説明いたします。

Estimating the number of infections and the impact of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries

図1: Imperial college London, Oxford 大学、WHO などの 62 名の研究者によるコロナ感染対策の分析論文。

この論文は、死亡者数を基本に、感染拡大の数学的モデルと Bayes 統計学を適用し、膨大なデータを解析したものです。イギリスの例で、この論文のポイントを簡単に説明します。図 2 は、有効再生産数 (R) の時間経過を示したものです。対策をとるまでは、 R は 4 弱、すなわち、一人の感染者が 4 人弱の人に感染させていましたが、3月中旬から、感染者隔離 (\triangle)、social distancing (∇)、学校閉鎖 (\diamond) などの対策をとってききましたが、 R は 2 以下に低下しませんでした。しかし、3月24日に完全な封鎖 (\circ) と公共事業の禁止政策 (\square) をとると、 R は 1 に近いところまで落ちました。

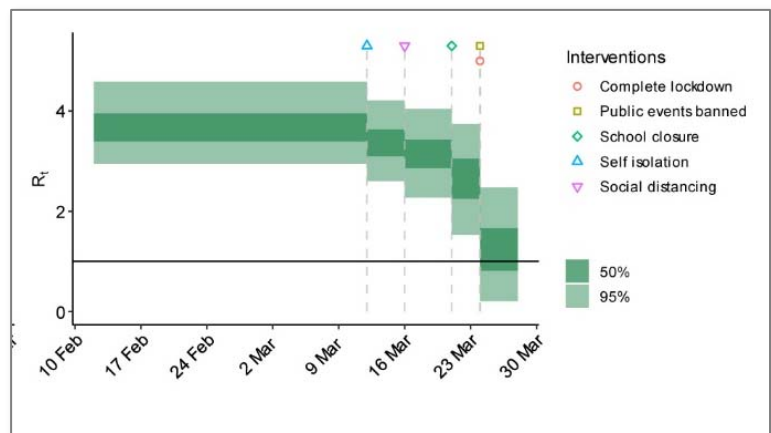
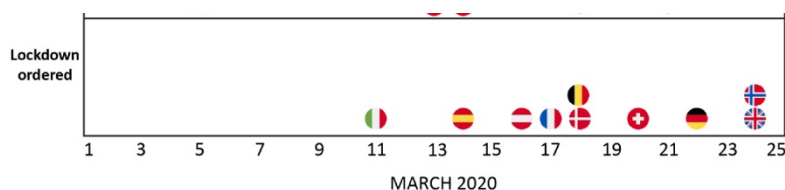


図2: イギリスの対コロナ感染政策。感染者隔離 (\triangle)、social distancing (∇)、学校閉鎖 (\diamond)などは限定的な効果しかなかったが、3月24日の完全な封鎖 (\circ) と公共事業の禁止政策 (\square) によって、再生産数 (R) はやっと 1 に近づいた。

調査したヨーロッパ 11 カ国のうち、3月10日から24日までの間に封鎖(lockdown)政策をとった 10 カ国 (Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, Norway, Spain, Switzerland, UK) (図 3)は、すべて、 R が 1 前後に落ちたのに対し、封鎖政策をとらなかった Sweden は 2-3 の間に留まっています。封鎖政策がただ一つの解決策であることが明らかになりました。

図3 ヨーロッパ10カ国は、3月11日から24日までの間に封鎖政策をとった。



この論文には、この他、今まで知らなかったデータが出ていますので、ご紹介します。

表1は、これらの11カ国の3月28日時点での感染率推定値です。Spainの15%からNorwayの0.41%まで37倍の違いがあります。このような大きな差が何によるのか不思議です。

表1:

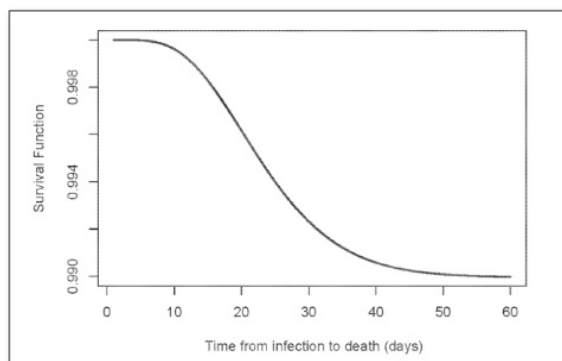
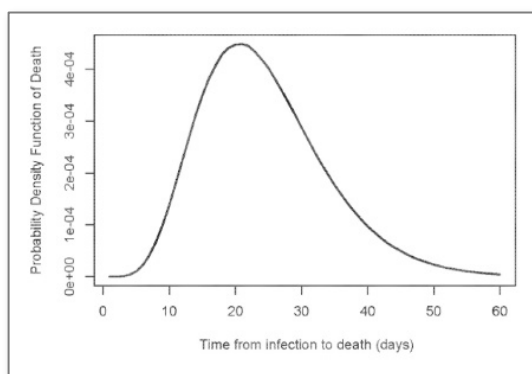
3月28日時点のヨーロッパ11カ国の感染率推定値(人口あたり)。信頼限界は論文を参照のこと。

Country	% Infected
Austria	1.1
Belgium	3.7
Denmark	1.1
France	3.0
Germany	0.72
Italy	9.8
Norway	0.41
Spain	15
Sweden	3.1
Switzerland	3.2
UK	2.7

図4と図5は、数理モデルで仮定された感染してから死亡までの推定日数カーブです。感染から発症までの平均日数を5.1日、発症から死亡までを18.8日として、両者の分布を重ね合わせたカーブです。これまで大雑把に2週間から8週間と言われていましたが、感染から死亡までは平均23.9日としています。図5は、図4を積分して、1から引いたカーブで生存確率を示しています。

図4(左下), 図5(右下):

数値モデルによる感染から死亡までの推測カーブ。図5は、図4の積分値を1から引いて得られたカーブ。



2. 緊急事態宣言と接触8割削減の要請 宇川彰

政府は4月7日に緊急事態宣言を発令して7都道府県を指定地域とし、人と人の接触を8割減らす要請を出している。新型コロナウイルスは飛沫や接触を通じて感染するので、接触を減らすことが必要なことは明白だが、8割を巡って論議が巻き起こっている。

新型コロナウイルスの欧州での爆発的な拡大を受けて、イギリスでは Imperial College London の MRC Center for Global Infectious Disease Analysis を中心とする疫学専門家達が COVID-19 Response Team を作り、感染拡大の分析と対策提言を行っている。欧州11カ国について、新型コロナウイルスによる毎日の報告死者数のデータを使い、感染症拡大の最新の疫学モデルに基づく分析を行っている。図1は3月30日にインターネットで公表された Report-13 に掲載された図のイタリアに関する結果である。真ん中の肌色の棒グラフが分析に使った日毎の死者数、青色の帯がこの死者数データを最もよく説明するモデルでデータを良く再現している。一番左には、このモデルから推定される日毎の感染者数が、そして、一番右に、「再生産数」の推定値が示されている。

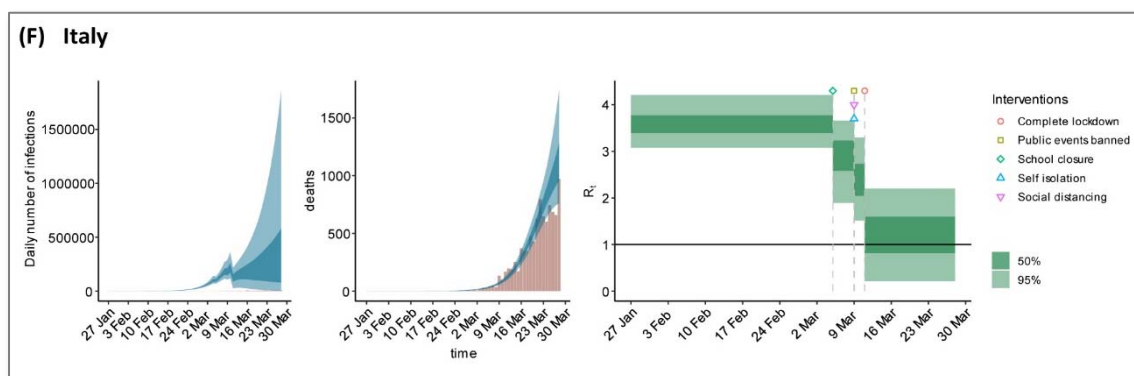


図1 COVID-19 感染拡大の疫学分析。欧州11カ国について、毎日の報告死者数（中央の棒グラフ）に基づき、感染者数（左）、死者数（中央）、有効再生産数（右）を推定した結果のイタリア分。イギリスの Imperial College COVID-19 Response Team の Report-13（3月30日）から <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/covid-19-reports/>。

新型コロナウイルスは飛沫や接触により感染するので、一人の感染者から何人の感染者が発生するかが基本的な指標となる。この数 R を再生産数と呼ぶ。 R 人の感染者のそれぞれが R 人の感染者を産み、さらにまたそれぞれが R 人の感染者を産んで行くことを繰り返すので、感染者の数は R 倍、 R^2 倍、 R^3 倍・・・となり、 R が1より大きい場合には指数関数

的な増加をする。これが感染爆発である。感染爆発は R が大きいほど早くなる。逆に、 R を 1 以下にすることができれば、感染は縮小し収束に向かうことが期待できる。その場合も、 R が小さいほど収束は早い。

再生産数 R を 1 以下にするには、ワクチンによって多くの人に免疫を保有してもらうのが一番だが、新型コロナウイルスにはまだワクチンはない。それに替わって、ロックダウン等の人々の接触を減らすことによって R を 1 以下にしようとする抑止策が各国で行われている。

イタリアでは 3 月 5 日に学校が閉鎖になり、9 日にイベントが禁止され、11 日には全土にロックダウンが宣言された。図 1 の一番右のグラフを見ると、流行の初めには 3.6 程度あった再生産数が抑止策によって急激に低下し、ロックダウン後は 1.3 程度になっている。推定値には統計的に大きな幅があるが、60% から 70% 程度の接触削減が行われたことになる。再生産数が十分 1 以下になったとは言えないものの、その後イタリアでは感染者数や死亡者数が頭打ちになり、4 月に入って減少傾向も見られるようになった。抑止策が効果を表したのである。

抑止策を実施しなかったら何が起こったろうか？図 1 の一番左は感染者の推定値だが、3 月 9 日あたりでその数が突然低下しているのが見える。これがロックダウンに至る抑止策実施の効果である。もし対策を取らなかったならば、感染者数は 3 月 9 日より前の部分のカーブを延長する割合で増加し続け、その結果遥かに多くの人々が感染し亡くなったであろう。Covid-19 Response Team の Report-13 の Summary には次の文章がある。

Overall, we estimate that countries have managed to reduce their reproduction number.
…… With current interventions remaining in place to at least the end of March, we estimate that interventions across all 11 countries will have averted 59,000 deaths up to 31 March [95% credible interval 21,000-120,000]. Many more deaths will be averted through ensuring that interventions remain in place until transmission drops to low levels.

中国では、そして日本では、どういう状況になっているのだろうか？感染症のモデルを使えば、感染データを使って日毎の再生産数を推定することができる。図 2 は、中国（左）と日本（右）の日毎の報告感染者数データ (<https://ourworldindata.org/coronavirus>) と、それを使って推定した日毎の再生産数である。

中国は一月なかばから武漢を中心に爆発的な感染が起きた。これに対応するために中国政府は 1 月 23 日に武漢市及び湖北省に厳しいロックダウンを敷いた。その効果は再生産数に

如実に現れている。当初 4 を超えていた再生産数は激減し、二月半ばから三月半ばまで約一ヶ月に渡って 0.5 を下回る状態が続いた。極めて厳しいロックダウンによって 90% 以上というほぼ完璧な効果が得られたと言って良いだろう。これを反映して、新規感染者数は二月以降急速に減少し、約一ヶ月で数十人の水準になった。しかしながら、三月中旬以降は再生産数が 1 を超える日も現れるようになり、報告される感染者数は再び増加の兆しがある。

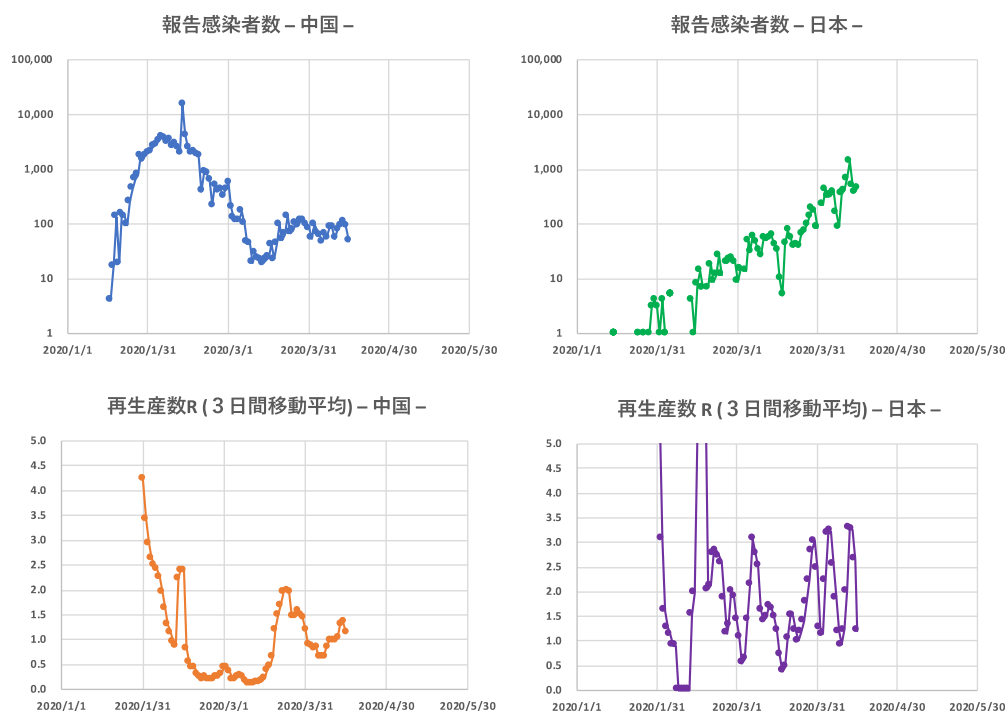


図2 中国と日本の日毎の報告感染者数（上側）と再生産数 R の推定値（下側）。感染者数グラフは片対数表示をしているので直線は指数関数的増加を意味することに注意。日本の再生産数グラフ(右下)に山と谷が目立つが、山は土曜日、谷は月曜日に一致する。

日本の特徴は、感染の拡大が中国・欧米諸国に比して大変ゆっくりだが、しかし二ヶ月以上も長く続いていることである。図2の右上側のグラフに見るように、報告感染者数の増加のペースは2月以降ほぼ一定である。この間、再生産数は概ね1から3の間を上下動しつつ、それでも三月半ばまでは全体的には少し減少していたが、その後は逆に増加の傾向にある。再生産数の推定値が上下動しているのは報告感染者数が日毎に揺れるからである。また、実際の感染から報告までは1-2週間のラグがあるので再生産数の推定値も1-2週間前の値と考えるのが妥当である。しかし、日本の再生産数が概ね2程度の値を持ち、結果としてゆっくりではあるが感染の指数関数的拡大が続いていることに疑問の余地はない。

日本の感染拡大はゆっくりだからと言って、のんびり構えている余裕はない。このペースで拡大が進むと、現在（4月15日）8,300人の感染者数は5月15日には140,000人に増え、死亡者は3,000人に近付くことになる。再生産数が1を超えている限り、感染爆発はゆっくりとではあれ確実に起こるのである。さらに、今後感染者数が増えて行くと、経路不明感染者の増加によって人々がもはや接触を避けることができなくなり、再生産数が増加して、現在までより遥かに急激な拡大が起こる可能性も否定できない。

接触を8割減らすと、1から3の再生産数は0.2から0.6程度になる。中国の二月半ばから三月半ばの水準である。これによって中国ではピーク時に毎日3,000人の感染が報告されていたところを約一ヶ月で数十人のレベルまで下げることができた。それでも、感染者数はその後横ばいから緩増加の傾向にある。四月半ばになって武漢のロックダウンはある程度解除されたが収束には程遠い。

接触8割削減は大変厳しい要請である。7割か6割でも良いのではないかと考えるかもしれない。しかし、削減割合は、時間的に、地理的に、そして社会的に、バラツキがある。実際の削減割合が小さいほど収束には時間がかかり、また、再生産数が1を超える部分が残れば感染症はそこから再び指数関数的に拡大する。厳しい削減に国民が納得して取り組めるように、政府は情報公開と説明を徹底し、同時に支援策を早期に実行に移すことが重要ではないだろうか。