

コロナウイルス感染 Kinetics (1) 2020年3月28日

医学研究に長年関わってきた一人として、コロナウイルス感染について多大の関心をもって情報を集めております。私の関心の一つは、感染の Kinetics です。学振の同僚、宇川彰先生(素粒子物理学、前京コンピュータ副機構長)と情報交換しながら分析を進めておりますので、その一端を友人の皆さんと共有したいと思い、解析結果をお知らせする次第です。ご参考になれば幸いです。

黒木登志夫

1. 感染者は指数関数的に増加している。

(1) 対数計算で考える

毎日、メディアに感染者の増加を示すグラフがでていますが、対数グラフを用いた図は見たことがありません。一方、New York Times(3月20日)は対数による分析の重要性を指摘しています*。事実、対数分析を用いると、感染動態が浮かび上がってきます。

* <https://www.nytimes.com/2020/03/20/health/coronavirus-data-logarithm-chart.html>

コロナ感染のように次々に感染が広がるとき、感染者数は指数関数 ($Y=a^X$) に従って増加します。片対数グラフ (縦軸が対数) にプロットすると直線が得られます。直線の傾きを示す底数 a が1より大きければ、 Y は a 倍の累積で増えることとなります。傾きから、倍増する時間も計算できます(後述)。

図1は普通目盛りのグラフです。イタリアなどの欧米諸国が急速に増加しているのに対し、日本とシンガポールはゆっくりと増加しているのが分かります。しかし、この図からは、増え方の Kinetics は見えてきません。

図1: 感染者数の増加曲線(普通目盛り) 専門家会議報告にも対数分析のデータは出ていない。

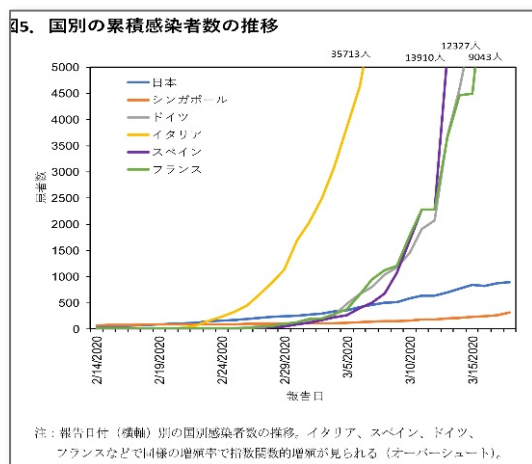


図2は、3月8日から21日までの2週間の7カ国の感染者数の増加曲線です(片対数グラフ)。図2から指数関数的に増加していることが分かります。このグラフから回帰曲線を計算し、 $Y=a^X$ の底数 a の値を求めますと次のようになります。

図 2 縦軸を対数にすると直線になる (3月8日から21日までの2週間の成績)。黒木原 図

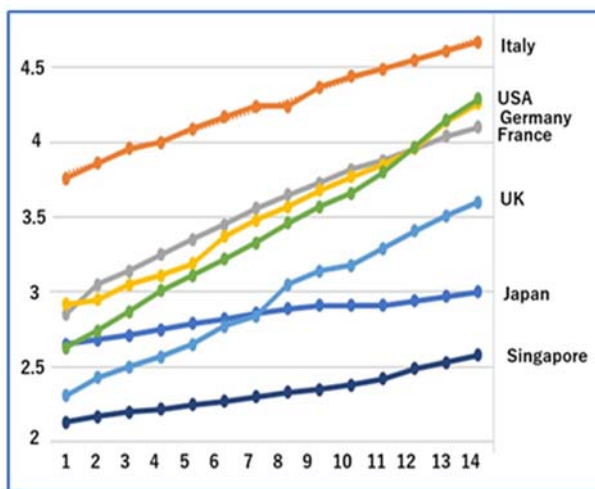


表 1

図 2 から求めた $Y=a^x$ の a 値。中国は、1月22日から1週間の数値。

	底値 a
Italy	1.24
USA	1.33
Germany	1.27
France	1.27
UK	1.26
Japan	1.06
Singapore	1.08
China	1.49

中国は、感染のピーク時1月22日から1週間の数字

表 1 の底数 a が小さいと思うかもしれませんが、指数関数ですので、いわゆるねずみ算によって、とんでもない数字になります (表 2)。

表 2 (宇川彰先生の計算)

$Y=a^x$ の底数 a 値が 1.1-1.5 のときの 4 週間後までの増加率。イタリア、アメリカなどは 1.3 前後の数値のとき、4 週間後に 1550 倍まで感染者が増えることになる。

a 値	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1 週間後	2	4	6	11	17
2 週間後	4	13	39	111	292
3 週間後	7	46	247	1171	4988
4 週間後	14	165	1550	12348	85223

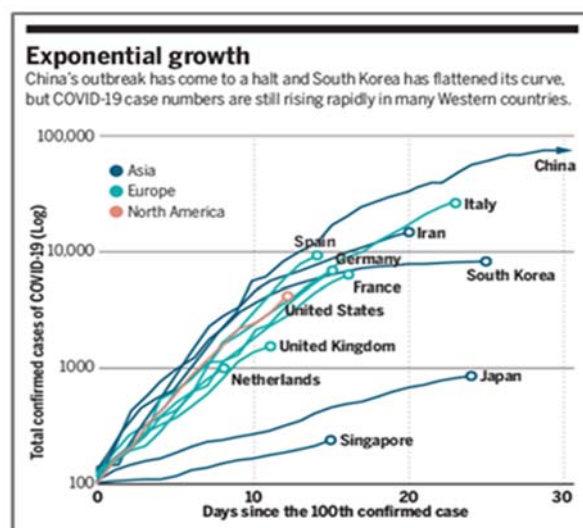
(2) いつかは頭打ちになる。

指数関数による感染の広がりには止まるところを知らないように思うかもしれませんが、人類は、これまで、いくつも感染症の流行をくぐり抜けてきました。感染症は必ず、いつか止まります。その理由は、感染に抵抗性のある人が存在すること、感染に弱い人が死んで

集団から淘汰されること、治癒した人が免疫をもつことです。このバランスにより、感染はいつか止まるのです。Kermack-McKendrick model(1927年)は、このことを数学的に証明しています。

指数関数で分析すると、普通のグラフでは分からなかった増加の変化も見えてきます。図3から中国と韓国は、増加が頭打ちになっていることが分かります。NYTimesはイタリーも減少傾向に入ったと指摘しています。

図3：感染者が100例に達してからの感染者増加カーブ(片対数グラフ)。日本とシンガポールは他の国と比べて増加スピードが遅い。それ以外の国は、急速に増加しているが、カーブは次第に寝てきている。



減少傾向をよりはっきり示すためには、短い期間(たとえば1週間)で計算し、その底数の推移を見る必要があります。中国の罹患者数を1週間ごとに計算したところ、底数 a は、1月22日から毎週、 $1.49 \rightarrow 1.21 \rightarrow 0.08$ と低下し、3月には、 1.04 になっていました。北海道でも同じような経過をたどっていることは(5)で説明します。

(3) 日本とシンガポールの感染者

図1-3のいずれも、日本とシンガポールの感染者の増加率が他の国と比べると非常に低いことを示しています。欧米の国の a 値が 1.3 前後であるのに対し、日本とシンガポールは $1.06-1.08$ です。前者が2-3日で倍増するのに対して、日本は12日で倍増することになります。

日本の底数 a が小さいのは、本当でしょうか。

- 日本のPCR検査が他の国よりも非常に少ないため：しかし、このときは直線が上下に平行移動するだけ。勾配は変わらないので、PCR検査の反映ではない。3.でもう一度説明します)
- 感染拡大対策がうまくいっている。可能性あり。
- きれい好き。ハンカチで鼻をかまない。握手、ハグのように直接体に触れるあいさつをしない。可能性あり。
- 急速に増加する前段階にすぎない。(4)で述べるように、東京では変曲点に入った可

能性もあります。

- シンガポールと日本に共通する何らかの理由があるのかもしれませんが。

日本が何故低いのかについて、欧米からも注目されています。時事通信社の記事(最終ページ)でも、欧米の専門家も理由をつかみかねているようです。ニューズウィーク誌の記事と共に、最後に紹介します。

(4) 東京都の感染者数

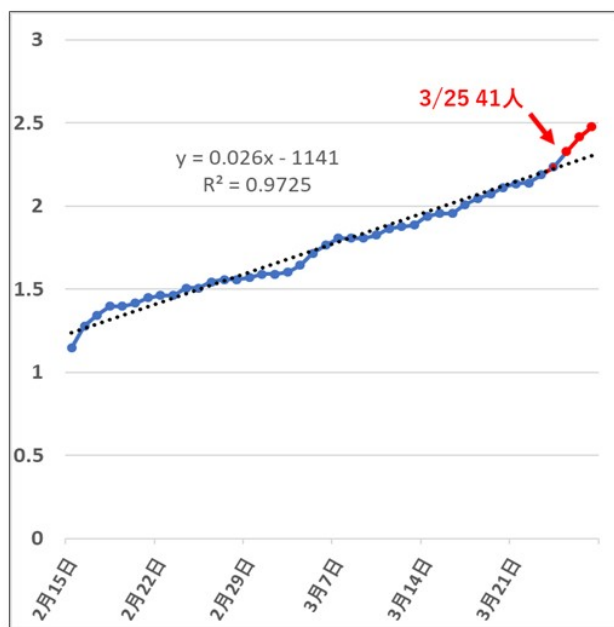
東京都の感染者数の推移を都のホームページのデータを用いて計算しました(図4)。感染者数が10名を超えた2月13日から3月27日までのグラフの底数 a は1.061です。この値は、図3の a 値(1.061)と同じです。すなわち、日本の中で東京が特に増えているというわけではないことが分かります。

3月25日小池都知事は、「感染爆発重大局面」として、注意を勧告し、3月28, 29日の外出自粛を要請しました。3月25日の41人増、26日47名増、28日40名増というのは、それまでと比べると高い数字です。実際、この日を境目にカーブが上向きに変わってきたように見えます(図4)。今後の経過について、後日報告したいと思います。

感染は複雑系ネットワークの一つであることを考えれば、予想できない創発(emergence)が起こっても不思議ではありません。

図4

東京都の感染者数の推移。3月25日以降、赤丸のように、回帰曲線から離れて、増加する傾向がある。なお、図中に示す一次関数の係数0.026(log値)を実数に直すと1.061が得られる。一人の患者が一日に1.061人に感染させていることを示す。

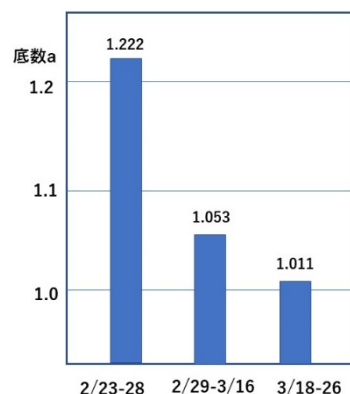


(5) 北海道の感染者推移。外出禁止令は正しかったか？

北海道は、2月に入ってから急速に感染が拡大しました。鈴木道知事は、週末の外出禁止令を2回出しました。最初は2月終わり、二回目は3月の連休です。この判断が正しかったかどうかを検証するため、北海道の感染者推移を分析しました。煩雑になるため、グラフ

は示しません、回帰曲線は、2月22日から2月28日まで、2月29日から3月16日まで、それ以降の3期に分けられます。最初は急速に増加したのですが、次第に増加は緩くなり、現在はほとんど増えていません。このことは、a値の推移ではっきりと分かります(図5)。外出禁止令は有効と思えます。

図5 北海道の感染者の伸び率(a値)。次第に低くなり、現在はほとんど増えていない。外出禁止令とクラスター対策が効を奏したと思われる。



2. 高齢感染者の15%が2-8週間内に死亡する。

日本のコロナ感染者の死亡率は、3.45% (53/1536、3月28日現在)。インフルエンザより10倍以上高いのは確かです。

図6: 10カ国の死亡率。国によって大きな差がある。日本は平均より少し低い程度。

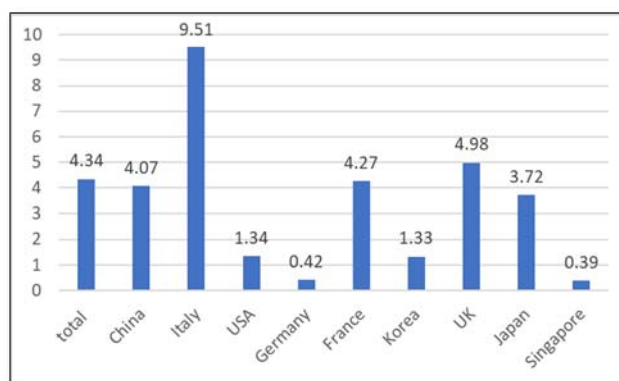


図6のように、死亡率は、国によって大きく異なります。それは、その国の医療インフラレベルの反映でもあります。日本が高めなのは、PCR検査数が少なく、したがって感染者数(死亡率計算の母数)が少ないことによる可能性があります(後述)。加えて、超高齢化社会も一つの理由でしょう。

コロナの死亡率は、図6のように、年齢と共に高くなるのが一つの特徴です。>80歳は、の死亡率は、中国では14.8%、日本のデータでは、16.7% (20 / 120) に達します(NewsDigest)。しかも、WHOの報告によると、感染してから2-8週間内に死亡します。

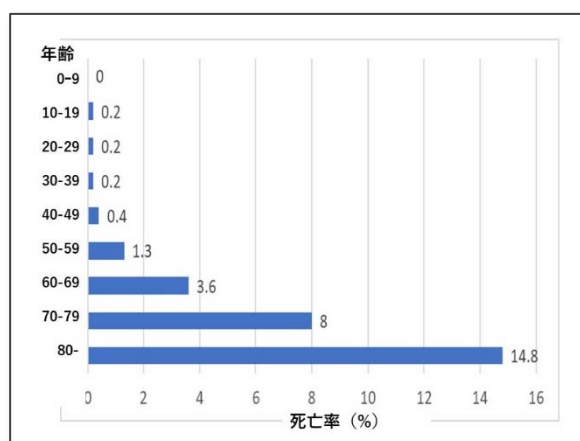


図7 年齢別死亡率。>80歳以上が非常に高い。(中国のデータから)。

このような高い急性期死亡率は、急性心筋梗塞、くも膜下出血、大動脈解離などに匹敵しま

す。膵臓がんも死亡率は高いのですが、数週間と言うことはめったにありません。

死亡リスクとなる基礎疾患は、次のような病気があげられています。

- 循環器、高血圧：血圧調整メカニズムのアンギオテンシン系（ACE-II）が、コロナウイルスのレセプターとして働いている。（Cell、NEJM に報告あり）
- 呼吸器疾患、喫煙者：肺炎になりやすい。
- 糖尿病、がん：免疫力低下、

3. PCR 検査数の問題

コロナウイルス感染の確定診断は PCR 検査によります。別な言い方をすれば、PCR 検査数以上の感染者は出ないことになります。日本の検査数は、図 8、9 から明らかのように、諸外国に比べると圧倒的に少ないのが現状です。人口 100 万あたり 117 件。これに対して、韓国は 6150、その差は、50 倍強です。東京都のホームページで驚いたのは、3 月 26 日（感染者数 47 人の日です）の PCR 検査実施者数 95 人、検査件数 108 件しかなかったことです（保険適用分を除く）。これでは、感染の実態は分かりません。

日本では、一定の条件（濃厚接触者、継続発熱者など）の下に、選択的に PCR 検査を行っていますので、無症状、軽い感染者は、PCR 検査からもれてしまいます。このため、実際の感染者は、報告よりもかなり多いと想像されます。感染対策の抜け道になり、潜在感染者からの感染を増やすこととなります。

しかし、PCR 検査の基準に大きな変化がなければ、各測定時点の数字も一定のバイアスがかかったままになります。したがって、片対数グラフの傾きには影響を与えません。このことから、日本とシンガポールの低い伸び率は、PCR 検査のためではないという結論になります。

図 8: 人口 100 万人あたりの PCR 検査数。日本(赤→)は非常に少ない

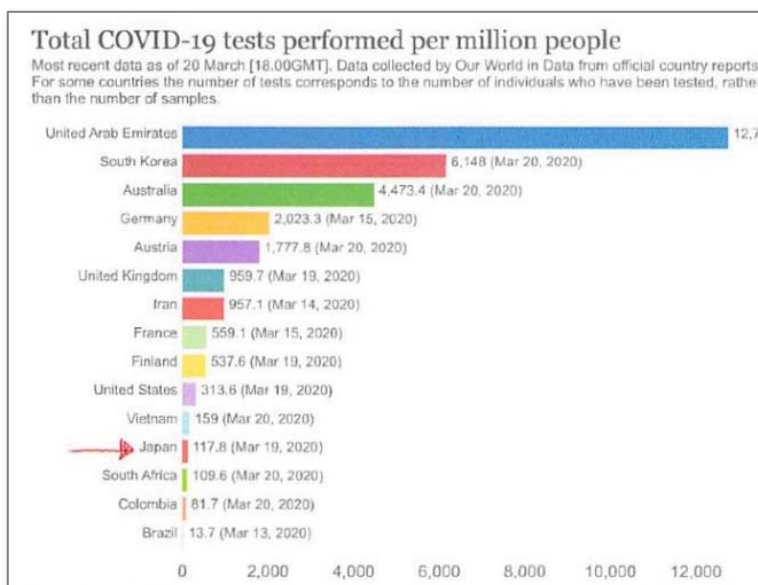
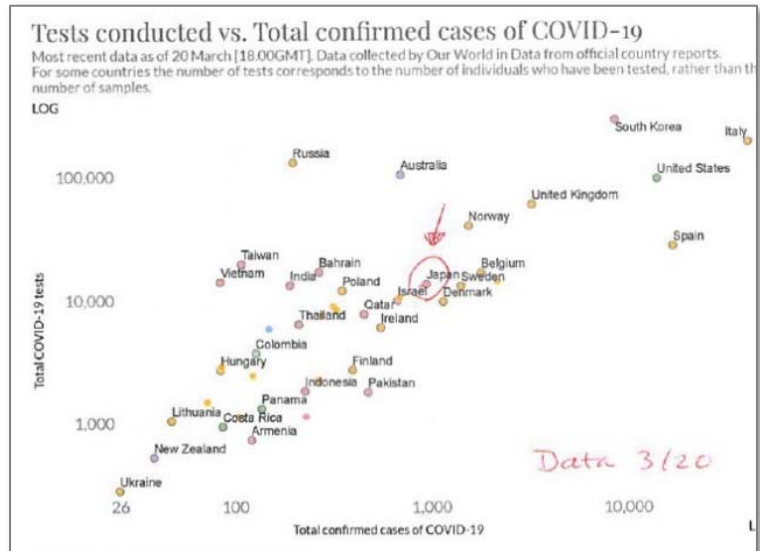


図 9：感染者数(縦軸)と PCR 検査件数(横軸)。両者間に直線関係が成立する(両対数グラフ)



資料

- 図 1：厚労省専門家会議資料 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf>
- 図 2： <https://ourworldindata.org/coronavirus> を元に計算し、図化した。
- 図 3： *Science March 20, 2020.*
- 図 4：東京都ホームページ
- 図 5：北海道庁ホームページデータから計算した。
- 図 6：Johns Hopkins 大学データベース
- 図 7：WHO ホームページ
- 図 8, 9： <https://ourworldindata.org/coronavirus>

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

以下は、日本のコロナ感染者の少ないことについての、外国の報道である。はっきりとして結論は出ていない。

「日本のコロナの謎」 検査不足か健闘か、欧米注視
 3/25(水) 7:09 配信



【ベルリン時事】日本の新型コロナウイルスの感染者数が統計上は先進国中で圧倒的に少ないことをめぐり、感染が急増中の欧米のメディアは、日本は検査不足で実態が反映さ

