

「SIRS感染症モデル」から考える日本のCOVID-19対応について

著者	寺内 衛, 寺内 かえで
雑誌名	Hirao School of Management Review
巻	13
ページ	1-17
発行年	2023-03-31
URL	http://doi.org/10.14990/00004469

Hirao School of Management Review 第 13 卷

「SIRS 感染症モデル」から考える
日本の COVID-19 対応について

寺内 衛*・寺内かえで[†]

【要旨】

日本における 2022 年の SARS-CoV-2 感染症による累積死亡者数は速報値で 39,000 名を超え、2023 年 1 月 15 日現在で 1 週間当たり 2,900 名を超えていて未だにピークは見えていない¹ (新規感染確認者数²の増加も同様である)。これは 1 年間で 52 週であることを考えれば、2023 年の間に 10 万人以上の人命が SARS-CoV-2 感染症で失われる可能性があることを意味している³が、そのようなことは全く報道されていない。

ワクチン接種の効果が時間の経過と共に減弱することが明らかになっていくにも拘わらず追加接種率が低迷するなかで迎えた 3 年ぶりの「行動制限の無い年末年始」がもたらすであろうものを 2023 年 1 月末時点で予測する。

【キーワード】

SARS-CoV-2 感染症, S I R モデル, S I R S モデル, 人口動態統計, 死因分類

* 甲南大学マネジメント創造学部

[†] 拓殖大学工学部

¹ 厚生労働省の「データからわかるー新型コロナウイルス感染症情報ー」<https://covid19.mhlw.go.jp/> にあるオープンデータより計算した https://covid19.mhlw.go.jp/public/opendata/deaths_cumulative_daily.csv

² 前稿(寺内衛・寺内かえで(2022)『サイエンス・ギルドー知の分断についての一考察ー』Hirao School of Management Review, Vol.12, pp.1-19. <http://doi.org/10.14990/00004080>)脚注51に明記したように、ウイルスは宿主に寄生して初めて自らの遺伝情報(RNAあるいはDNA)の複製が可能になるため(∴寄生した宿主細胞の持つRNA/DNA複製機構を乗っ取ってウイルス自らの遺伝情報を複製する), **SARS-CoV-2 感染者数が増加すればその“複製工場”が増えることになり、必然的に“変異株”や“組換体”(interlineage recombinants; 例えば, Jackson *et al.*, *Cell* **184**, 5179–5188 (2021) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867421009843> を参照)が発生する確率が高くなってしまふ。**

³ 年間 10 万人以上が亡くなっている死因は、令和 3 年(2021)人口動態統計(確定数)の概況(<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei21/index.html>)第 6 表「性別にみた死因順位(第 10 位まで)別死亡数・死亡率(人口 10 万対)・構成割合」によれば、悪性新生物(381,505 人)／心疾患(314,710 人)／老衰(152,027 人)／脳血管疾患(104,595 人)だけである。ちなみに年間 39,000 人を超えている死因は、前記の 4 死因に加えて、肺炎(73,194 人)と誤嚥性肺炎(49,488 人)までの 6 つである。

1. 感染症に関するS I Rモデル

感染症に関するS I Rモデル⁴は、1927年にKermackとMcKendrickにより提案されたcompartmentモデルの一種である⁵。このモデルでは、考慮している集団（含まれる人数はN）を、ある感染症の未感染者（susceptible；S）／感染者（infected；I）／回復者（recovered；R）の三つの区分（compartment）に分け（従って、 $N = S + I + R$ である）

$$S \text{ (susceptible)} \rightarrow I \text{ (infected)} \rightarrow R \text{ (recovered)}$$

という方向にのみ状態が変わっていく、と考える。ひとたび回復した者（Rとなったもの）はその感染症に対する獲得免疫を終生持ち続けて二度と感染しない、という仮定が含まれていることに留意されたい。S I Rモデルの数学的な表現は、上記S／I／Rを変数として用いると次のようになる：

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

上記3式を辺々加えれば右辺が0になるので、その集団に含まれる人数は時間的には変わらない（ $\because \frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt} = \frac{dN}{dt} = 0$ だから）。ここで、 $\beta =$ （再生産数⁶） $\times \gamma / S$ であり、 γ の逆数は、 $I \rightarrow R$ という状態変化に必要なとなる時間（平均回復期間）である。

S I Rモデルによる計算結果の特徴は、時刻の経過と共に感染者数がピークを迎えてその後は減少に転じ、その感染症に対する免疫を持たない者（＝未感染者；susceptible）が残存するにも拘わらず、最終的には考慮している集団内の感染者が実質的に0人になってしまうことである（下図1を参照）。実際、ある感染症に対する獲得免疫（←感染によるものかワクチン接種によるものかは問わない）が一生継続するものと考えられる感染症では、全員が感染あるいはワクチン接種をしていなくても、ある集団内での感染

⁴ <https://ja.wikipedia.org/wiki/SIRモデル>

⁵ Kermack, W. O. & McKendrick, A. G. A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A 115, 700 (1927) (<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.1927.0118>).の”B. Constant Rates.”節に記載がある。

⁶ 1回の接触でIが何人のSを感染させるか？の指標となる数値

者数を 0 人に保つことができる（集団免疫状態；herd immunity）. その好例が，人類が地上から撲滅することができた唯一の感染症である天然痘（smallpox）である⁷.

以下，SIRモデルの各パラメータを変更した際の計算結果を比較していく．図1から図5において，青線／赤線／緑線は，それぞれ未感染者数S／感染者数I／回復者数Rの時間変化を表わしている．なお，平均回復期間は，SARS-CoV-2 感染症の感染者のウイルス排出期間（≒他者を感染させる期間）とされている 20 日⁸に固定した．

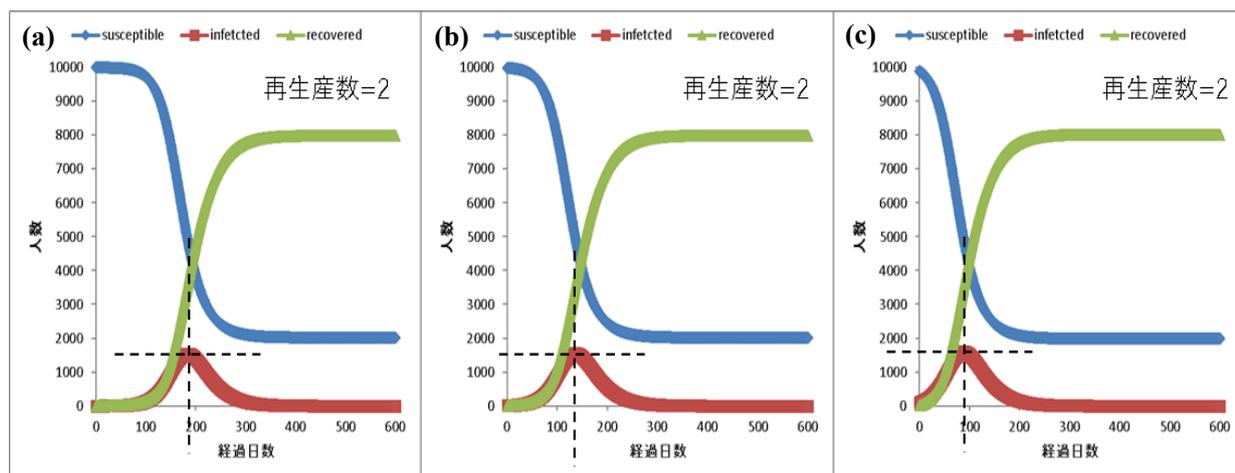


図1 SIRモデルによる数値計算結果．考慮している集団の人数は 10,000 人とし，回復者数の初期値を 0 人，再生産数を 2，平均回復期間を 20 日にそれぞれ固定した上で，初期感染者数を(a) 1 人 / (b) 10 人 / (c) 100 人とした．

図1より明らかのように，考慮している集団内に新規感染者が最初に何人存在するかによって，感染者数のピークに到達するまでの経過日数と感染者数のピーク値そのものが，（集団サイズが同一であるにも拘わらず）変わってくる．

初期感染者数	最大感染者数	最大感染者数となるまでの経過日数
1 人	1,544 人	182.5 日
10 人	1,548 人	136.0 日
100 人	1,594 人	87.5 日
1,000 人	2,074 人	35.0 日

これは，日本のような島国では，空港や港でなされている国境検疫が新規感染症の防疫という面では非常に重要であることを示唆する計算結果であると筆者は考える．なぜなら，水際対策を厳しくして新規感染症の流入数を最低限にすることで，感染拡大のペースを下げ，感染者数のピークが到来するまでの時間を稼ぐことができるからである．

⁷ 国立感染症研究所『天然痘(痘そう)とは』

<https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/445-smallpox-intro.html>

⁸ Puhach, O., Meyer, B. & Eckerle, I. “SARS-CoV-2 viral load and shedding kinetics.” *Nat Rev Microbiol* (2022). <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00822-w> 及び，厚生労働省『新型コロナウイルス感染症 診療の手引き 第 8.1 版』(2022.10) p.70 <https://dcc.ncgm.go.jp/information/index.html>

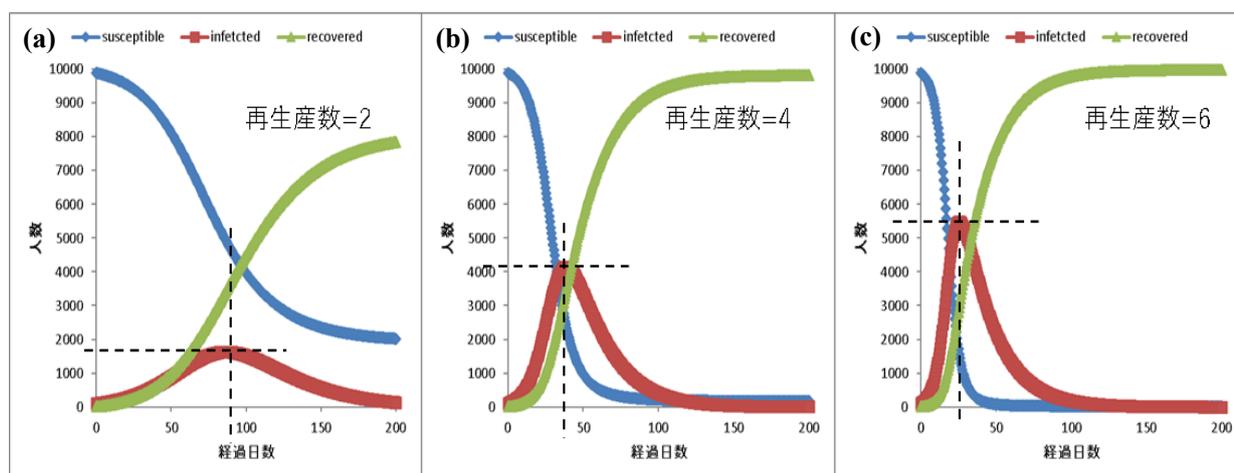


図2 SIRモデルによる数値計算結果. 考慮している集団の人数は10,000人とし, 回復者数の初期値を0人, 初期感染者数を100人, 平均回復期間は20日にそれぞれ固定した上で, 再生産数を(a) 2 / (b) 4 / (c) 6 とした.

図2並びに下表より明らかなように, 一人の感染者が何人の未感染者に感染させるかを表わす指標である「再生産数」が増大すると, 最大感染者数が増大し, 同時に最大感染者数となるまでの経過日数が短くなる. すなわち感染拡大のペースが早まる.

再生産数	最大感染者数	最大感染者数となるまでの経過日数
2	1,628人	86.5日
4	4,145人	38.5日
6	5,483人	25.5日
8	6,309人	19.0日

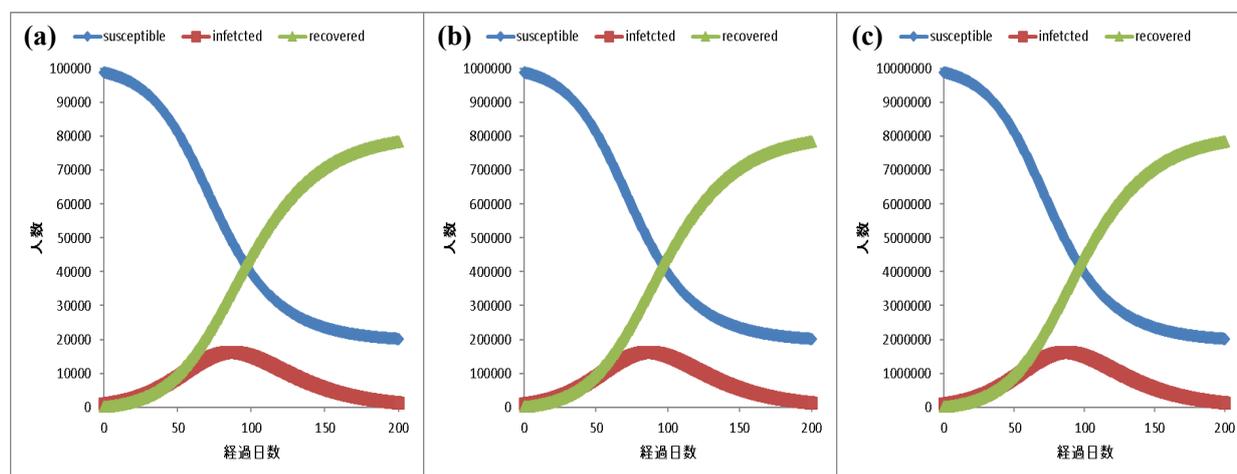


図3 SIRモデルによる数値計算結果. 回復者数の初期値を0人, 再生産数を2, 初期感染者数を100人, 平均回復期間は20日にそれぞれ固定した上で, 考慮している集団の大きさ及び初期感染者数を(a) 100,000人及び1,000人 / (b) 1,000,000人及び10,000人 / (c) 10,000,000人及び100,000人 とした.

図3の計算結果からも明らかなように, SIRモデルは線型微分方程式なので, 考慮している集団の大きさを拡大しても変数である未感染者数(S) / 感染者数(I) / 回

復者数 (R) の時間変化の形状は (実際の数値は異なるものの) 比率では変わらない。すなわち, 考慮すべき集団の大きさを小さくすれば, 感染者数は少なくなることになる。

以上のことから, 感染症感染者の拡大を抑制するには

- ・再生産数を可能な限り下げること
- ・考慮すべき集団の大きさを小さくすること
- ・日本国内での感染者はいないが, 海外には感染者がいることがわかっている感染症に対しては, 検疫体制を強化して可能な限り国内への感染者の流入 (並びにその頻度) を避けること

が重要である, ということがわかる。

2. S I R Sモデル

上記S I Rモデルに従った数値計算のみでも, SARS-CoV-2 感染症感染者を増大させないための方策, すなわち「感染者と未感染者との接触を避ける」「感染者はもちろんのこと, 未感染者であっても他者との接触を避ける」という方策 (←それぞれ「再生産数」を小さくすることに対応する), さらに「考慮すべき集団の大きさを小さくする (具体的には, 県境を越える移動を制限するなど)」(←感染症が拡がる範囲を限定することに対応する) が, 感染者数 (ひいては当該感染症に起因する死亡者数) を減らすために有効であることがわかる。このことは, 日本政府が過去に発出してきた「緊急事態宣言」⁹等の「人流を極力削減する」という方策が, 人と人との「接触」によって感染が広がる, という SARS-CoV-2 感染症の感染者数を削減するための方策としては間違っていなかったことを意味している。

ところが, 過去3年間の COVID-19 パンデミックの経験を踏まえれば,

- ・一度 SARS-CoV-2 による COVID-19 感染症に感染した者であっても再感染すること¹⁰
- ・2回のワクチン接種が済んでいる者であっても感染すること (Breakthrough 感染)¹¹

⁹ 過去にどのような宣言を出したか? については, 2023年1月4日現在では, 「日本国内の感染者数<詳細データ>(NHK)」(https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/#graph--infect-death__infect)に記録として残っている(2023年1月4日に作成した“ウェブ魚拓”並びに“Internet Archive”は以下の通り:
<https://megalodon.jp/2023-0104-1123-19/https://www3.nhk.or.jp:443/news/special/coronavirus/data-all/>及び

<https://web.archive.org/web/20230104022627/https://megalodon.jp/2023-0104-1123-19/https://www3.nhk.or.jp:443/news/special/coronavirus/data-all/>).

¹⁰ Pulliam, J. R. C. *et al.* “Increased risk of SARS-CoV-2 reinfection associated with emergence of Omicron in South Africa.” *Science* **376**, eabn4947 (2022).

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abn4947>

という事実が明らかになっているため、麻疹（はしか）のように感染あるいはワクチン接種によってその個人のほぼ一生に亘る免疫が獲得されて複数回感染することはほとんど無いとされている感染症¹²に対応したSIRモデルでは、SARS-CoV-2 感染症感染者数の推定や感染者数を増大させないための対策の構築には不十分である。そのため、以下では、回復した者（R）が再び未感染者（S）に戻ってしまう、というSIRSモデルを用いた考察を行なう。R→Sという状態移行を免疫という言葉を用いて言い換えれば、感染あるいはワクチン接種によってある感染症に対する獲得免疫を得た者（R）が、時間の経過と共に免疫を失って、再びその感染症に感染し得る状態すなわち獲得免疫の無い状態（S）になってしまう、ということに対応する¹³。

SIRSモデルは1979年にAnderson & Mayによって報告されている¹⁴が、今般のCOVID-19に関しては、少なくとも日本ではあまり喧伝されていない。恐らく「R（獲得免疫有り）→S（獲得免疫無し）」という状態移行が、日本におけるワクチン接種開始初期に喧伝された「ワクチン接種の三つの効果（感染予防効果¹⁵・発症予防効果・重症化予防効果）の一部（具体的には感染予防効果）を毀損するもの」と理解されてしま

¹¹ Accorsi, E. K. et al. Association between 3 doses of mRNA COVID-19 vaccine and symptomatic infection caused by the SARS-CoV-2 Omicron and Delta variants. JAMA 327, 639–651 (2022). <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2788485>

¹² <https://www.mhlw.go.jp/topics/2007/07/tp0710-2.html>

¹³ 季節性インフルエンザは、MSD マニュアルプロフェッショナル版の記述

(<https://www.msmanuals.com/ja-jp/プロフェッショナル/13-感染性疾患/呼吸器系ウイルス/インフルエンザ>)に依れば、『A型及びB型のインフルエンザウイルスによって引き起こされ』、年1回のワクチン接種が推奨される。その理由は、『インフルエンザワクチンは毎年、世界保健機関(World Health Organization)および米国疾病予防管理センター(Centers for Disease Control and Prevention)の勧告に基づき、最も流行しているウイルス株(通常はA型インフルエンザの2株とB型インフルエンザの1~2株)がカバーされるように変更されている。』からであることになっている。すなわち、ワクチン接種あるいは実際の感染によって得られた獲得免疫は明らかに有限の期間しか維持されない。インフルエンザワクチンの接種を毎年定期的に行う人が多いが、「今期に流行が予想されるインフルエンザは○×だから昨期とは違う」という説明で納得して受けているように思われる(≒昨期のワクチン接種による獲得免疫が減弱しているから、とインフルエンザワクチン接種者全員が理解しているわけではないように思われる)。

¹⁴ Roy M. Anderson, Robert M. May, “Population biology of infectious diseases: Part I” *Nature* Vol.280, p.361(1979). <https://www.nature.com/articles/280361a0> (←室谷義昭『SIR感染症モデルからSIRS感染症モデル、および関連するモデルへの大域漸近安定性』システム/制御/情報 59巻12号 pp.440-445(2015) https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/59/12/59_KJ00010120128/_article/char/ja/ に「感染症モデルの主な先行研究」がまとめられている)

¹⁵ 日本の教育課程では「免疫」は高等学校『生物基礎』で学ぶことになっているが、平成23年3月30日検定済『生物基礎』(数研出版, 104/数研/生基 306) p.133の記述は以下の通りであり、ワクチンに感染予防効果があるとは全く記載されていない: 獲得免疫では、一度かかった感染症に対して強い抵抗力を長くもち続ける。この性質を利用して、弱毒化した病原体やその産物(ワクチン)を接種し、抗体をつくる能力を人工的に高めて免疫を獲得させる方法を予防接種という。同様に、獲得免疫についての記述(p.130)は『獲得免疫では、体液性免疫と細胞性免疫という2つのしくみがはたらく。これらは自然免疫とは異なり、体内に侵入した異物を区別した上でからだから排除する。』であり、異物であるvirusが、最初に侵入した細胞内で増殖してその細胞外の体液中に放出される前に抗原抗体反応を起こして細胞への侵入が阻止されたり(すなわち、最初の1つのvirusの細胞内への侵入は防げない場合がほとんどである)、キラーT細胞によってvirusが直接破壊されたりするわけではない。従って、ワクチンは感染予防効果は持たない(発症予防効果はあるものもある)。

うからであろう¹⁶。筆者が調べることができた範囲では、国内でのSIRSモデルに対する公的な言及は、2022年8月18日開催厚生労働省第95回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード¹⁷の資料3-3 p.176以降及び同日付の医療従事者向けm3.comの「医療維新」記事¹⁸並びに同年8月20日付BuzzFeedNews記事¹⁹のそれぞれで京都大学大学院医学研究科の西浦教授が述べているもの（内容は基本的に同一）、並びに2023年1月11日開催第113回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード²⁰の資料3-3 p.162以降に同じく京都大学大学院の西浦教授が述べているもののみ²¹である。

¹⁶ 政府分科会の尾身茂会長は、ご自身が2022年12月12日に新型コロナウイルス感染症に感染(https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/committee/detail/detail_55.html)した後のNHKのインタビュー(https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/eighthwave/detail/detail_43.html)で『(この3年間で初めて行動制限のない年末年始があり、感染は拡大しています。亡くなる人も過去最多の状況が続いていますが、現状をどう見えていますか。』という問いに対して)…。亡くなる人たちがどういう人が多いのかというと、60代以上の高齢者で基礎疾患を持っている人たちだということがデータではっきりしています。肺炎になったことがきっかけになり、嚥下(食べ物などを飲みくらすこと)機能が低下するなどして亡くなる人たちも多い状態です。日本は世界に最たる高齢社会で、こうしたことも死者が増える要因になっています。また、例えばイギリスでは献血のデータを見ると国民の8割くらいが、すでに感染しています。日本では正確には分らないが、感染を経験したのはイギリスの3分の1くらいです。自然感染した人が他の国に比べて少ないことで感染が広がっています。…。』と答えてしまっている。まるでワクチン接種の意義を否定するような発言である。本来なら『自分も注意していたのですが感染してしまいました。ただ、ワクチンを5回接種しているので重症化は免れましたが。』と発言するべきであろう。

¹⁷ https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00348.html

¹⁸ <https://www.m3.com/news/open/iryoshin/1071012> ← このURLでは「ログイン」画面が出てきてしまってその先を読むことができないが、Googleのキャッシュ

(<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PKXnLff0E8MJ:https://sp.m3.com/news/iryoshin/1071012>)では2023年1月2日現在では全ての内容を閲覧できた。Googleのキャッシュは永続的に存在するものでは無いため、Internet Archive(<https://archive.org/web/>)並びにウェブ魚拓(<https://megalodon.jp/>)にそれぞれアーカイブしておいたもののURLを以下に示す：

(<https://web.archive.org/web/20230102033836/https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PKXnLff0E8MJ:https://sp.m3.com/news/iryoshin/1071012>)

(<https://megalodon.jp/2023-0102-1222-10/https://www.google.com:443/url?sa=t&rcrt=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj6mIOL96f8AhWidd4KHRo1DtMQFnoECAGQAQ&url=https%3A%2F%2Fsp.m3.com%2Fnews%2Firyoshin%2F1071012&usg=AOvVaw0XBk551P-eu8ExAlJFHiM2>)

¹⁹ <https://www.buzzfeed.com/jp/naokoiwanaga/covid-19-nishiura-20220819-1>

²⁰ https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00395.html

²¹ 本稿の脱稿直前に、BuzzFeedNews内に(前回同様BuzzFeed岩永直子氏による)西浦教授へのインタビュー記事が2本掲載されたが(<https://www.buzzfeed.com/jp/naokoiwanaga/nishiura-2023-jan-1>及び<https://www.buzzfeed.com/jp/naokoiwanaga/nishiura-2023-jan-2>)、(特に後者において)世界の中で先行してCOVID-19に関する規制の緩和を進めたイギリスの事例(医療逼迫の状況)やSIRSモデルへの言及が(注20の)2023年1月11日開催第113回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボードの資料3-3 p.162以降を用いてなされている(極めて正しい認識と指摘だと筆者には思われる―但し、なぜSIRSモデルを使用しなければならぬのか⇒ワクチンの発症予防効果・重症化予防効果がワクチン接種からの時間の経過とともに減弱することには全く言及がなされていない)。同記事2本はいずれもYahoo!ニュースに転載されているが

(<https://news.yahoo.co.jp/articles/506fadad5b83094753788f6b9031ca93121fb975>及び<https://news.yahoo.co.jp/articles/b7a41953b3ee37d55c9baf4a21d59882b9496980>)、その記事に対するコメント(例えば、前者へのコメント

<https://news.yahoo.co.jp/articles/506fadad5b83094753788f6b9031ca93121fb975/comments>)は散々である。『「ヤフコメ民」のコメント』(≡コメントは匿名で書き込めるので、かつての“2ちゃんねる(www.2ch.net→www.2ch.se)”(現在は“5ちゃんねる(https://5ch.net/)”もある)のように使われている)は『一般の人』の現状認識を理解するのに利用できると筆者は考えているが、一度『8割おじさん』と揶揄されるようになってしまった人(確かに、その後に「なぜ自分の予測が

今回検討したS I R Sモデルでは、R（回復者）がある時間（ $1/\alpha$ ）でS（未感染者）に戻る（＝その感染症に対する免疫が失われること）を次のように表わしている：

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI + \alpha R$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \alpha R$$

なお、S I Rモデルの場合と同様に、上記3式を辺々加えれば右辺が0になるので、その集団に含まれる人数は時間的には変わらない。

外れたのか？」についての一般国民向けの真摯な釈明(説明)を行なっていないが、その後別な事象に対していくら正しい説明をしても誰も信じない状態になっている(≡『オオカミ少年』と同列の扱い)、という事例は『科学ミスマコミュニケーション』の典型的な事例として明記されるべきであると筆者は考えている。これらも全て前稿(寺内・寺内(2022))に指摘した、日本において一般大衆が持つ『“科学はお上(お上)が下賜するもの”という意識(≡国民一人ひとりが主体的に知を獲得していくべきである、という考え方は正反対の従属的意識)が払拭できていないこと』に起因する(←『8割おじさん』のことはお上の言説だから正しいと思って従ったのに、ぜんぜん当たってなかったじゃないか!?!という怨嗟の声が聞こえてきそうではある)。

図4に示すSIRSモデルでの計算結果²²で特徴的なことは、感染あるいはワクチン接種によって獲得された免疫が早期に消失してしまう場合には、感染拡大初期段階での感染者数（I）の振動が収まると、常にほぼ一定数の感染者が残存し続けることである（エンデミック状態）。また、免疫が失われるまでの期間が充分長くないと、集団免疫は獲得できないことも図4より明らかである。実際に SARS-CoV-2 感染症では、再感染したり Breakthrough 感染したりする人が存在するので、SARS-CoV-2 感染症に対する集団免疫の獲得は事実上不可能であることがこの計算結果からも理解される。

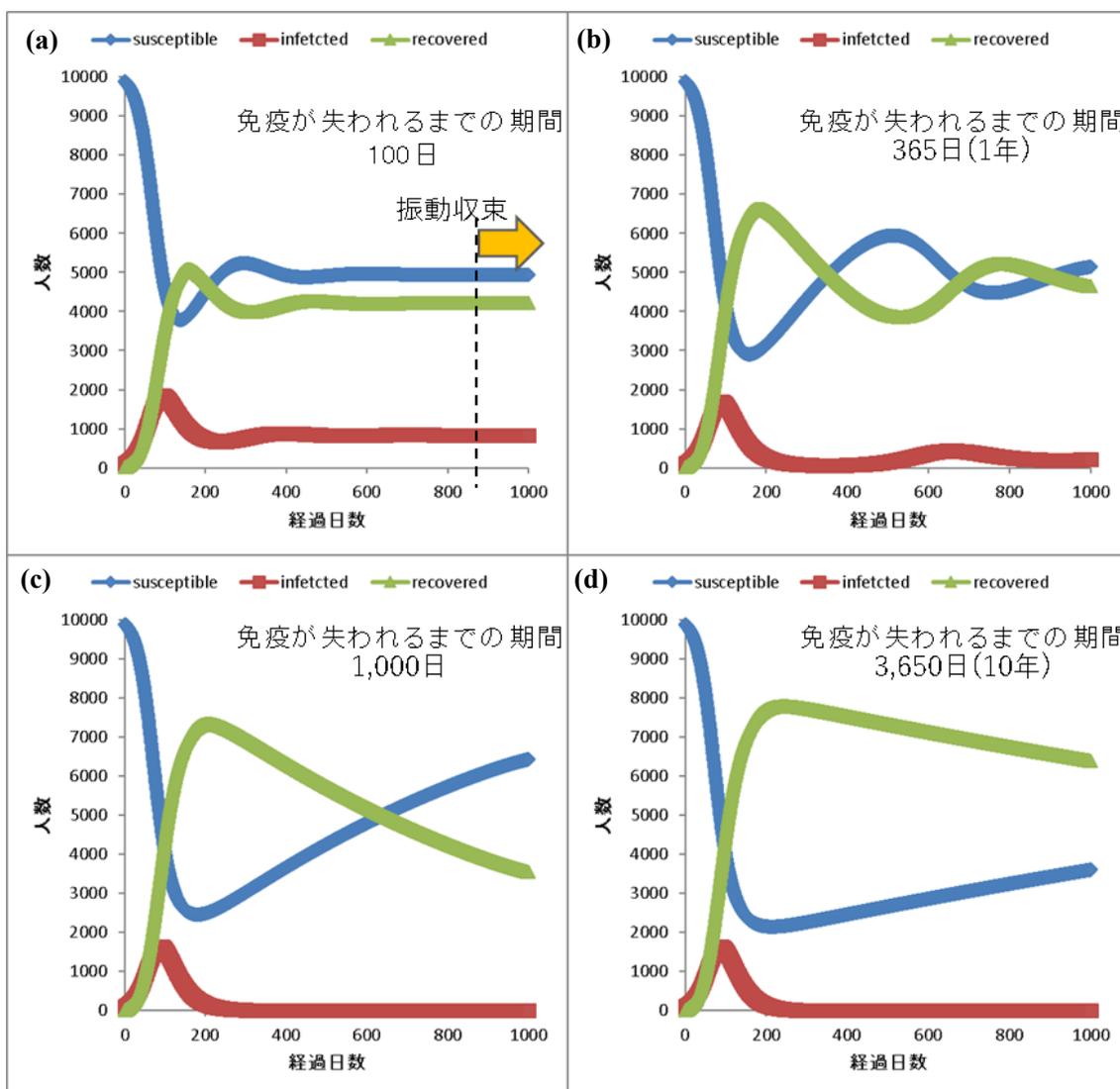


図4 SIRSモデルによる数値計算結果。考慮している集団の人数は10,000人とし、感染者数の初期値を100人、回復者数の初期値を0人、再生産数を2、平均回復期間を20日にそれぞれ固定した上で、回復者→未感染者に戻るまでの期間を(a) 100日 / (b) 365日 / (c) 1,000日 / (d) 3,650日とした。

²² 付録に示された Visual Basic for Applications のコードで計算したもの

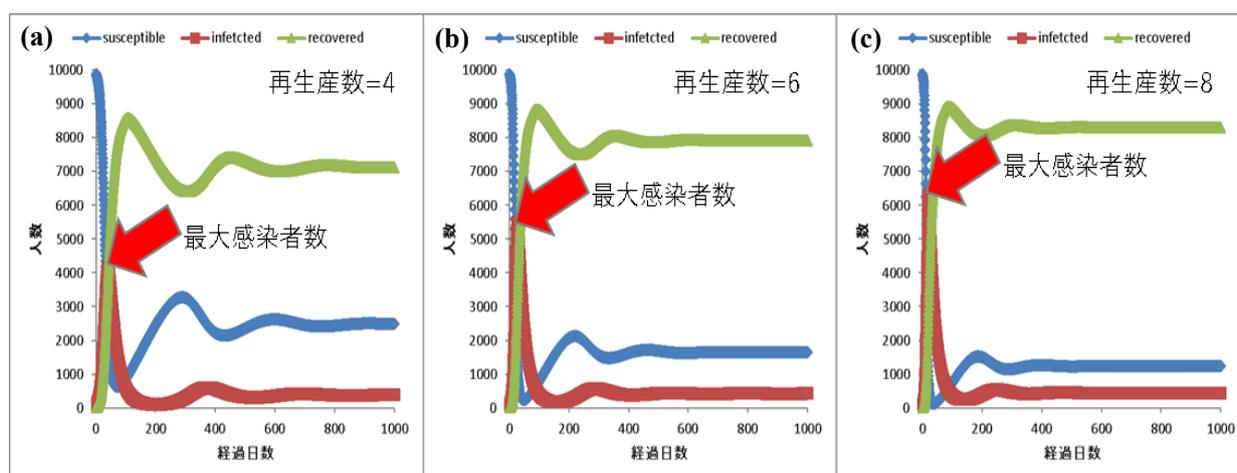


図5 SIRモデルによる数値計算結果。考慮している集団の人数は10,000人とし、感染者数の初期値を100人、回復者数の初期値を0人、平均回復期間を20日、回復者→未感染者に戻るまでの期間を100日にそれぞれ固定した上で、再生産数を(a) 4 / (b) 6 / (c) 8とした。

図5に示す計算結果は、感染者数の初期値／回復者数の初期値／平均回復期間／回復者→未感染者に戻るまでの期間を図4(a)の場合と同一にして、再生産数のみ4/6/8と変化させた場合のものである。ここで示した計算結果では、エンデミック状態で残存し続ける感染者数は再生産数にあまり大きく依存していないように思われるが、最大感染者数及びそこに至るまでの経過日数は再生産数に強く依存しており、再生産数を小さくするための対策が感染者数を抑えるために重要であることがわかる。

再生産数	最大感染者数	最大感染者数となるまでの経過日数	1,000日後の感染者数
2	1,845人	93.0日	841
4	4,182人	39.0日	397
6	5,506人	22.5日	433
8	6,324人	19.0日	455

SARS-CoV-2 に関しては、オミクロン株になっても致死率は「普通の風邪」や「季節性インフルエンザ」とは異なる²³ため、残存し続ける感染者数が多ければ、その分死亡者数も多くなってしまう。

²³ 2022年12月21日開催の厚生労働省第111回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボードで提示された資料4「新型コロナの重症化率・致死率について」

(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/001027743.pdf>)の記載を以て「SARS-CoV-2 感染症の致死率は季節性インフルエンザと変わらないレベルになった」という報道がなされたが(例えば、『新型コロナ致死率「第7波」は「第5波」と比べ大幅減少 厚労省(2022年12月21日 23時12分)』
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20221221/k10013930651000.html> 及び
<https://web.archive.org/web/20221228114744/https://www3.nhk.or.jp/news/html/20221221/k10013930651000.html>), 季節性インフルエンザのデータは全国の2017年8月～2020年7月までの感染者数31,665,539人を対象にしているのに対し、新型コロナウイルス感染症のデータは2022年1月～2022年8月までの石川県・茨城県・広島県の771,366人を対象にしたものに過ぎず、対象とする人数に対する死亡者数はそれぞれ27,679人及び1,006人であって、死亡者数／感染者数で計算した死亡率はそれぞれ0.08741%及び0.1304%であった。SARS-CoV-2 感染症で特徴的なのは、下表の黄色の背景色のところから如実にわかるように、20歳代以下の

3. SARS-CoV-2 感染症による死亡者数

2022年9月26日から日本においてもSARS-CoV-2新規感染者の全数把握という方針が転換され²⁴、都道府県ごとに取り扱いが異なるようになった。そのため、日本における日々の新規感染者数のデータの連続性は同日を以て途切れたことになる。但し、厚生労働省の人口動態統計に

若年層の死亡者がほとんどいないことである(全世代の死亡者数総計1,006名に対し、1名のみ)。これは、季節性インフルエンザで総計27,679名の死亡者中383名が20歳代以下の死亡者であったことと非常に異なっている。

SARS-CoV-2	10歳未満	10歳代	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	60歳代	70歳代	80歳代	90代以上	累計	
2022.01-02	18,511	17,400	18,549	18,274	17,354	10,598	6,887	5,357	3,949	2,159	119,038	
死亡者数	0	0	0	0	3	3	20	66	145	134	371	
2022.03-04	28,020	25,422	20,055	23,085	21,106	10,957	5,864	3,711	2,287	1,112	141,619	
死亡者数	0	0	0	0	2	5	6	35	61	45	154	
2022.05-06	14,036	13,564	12,285	12,855	11,318	6,059	3,571	2,683	1,591	757	78,719	
死亡者数	0	0	0	0	1	2	2	7	17	15	44	総計
2022.07-08	59,685	58,331	61,437	65,130	68,434	47,458	30,098	22,355	13,032	6,030	431,990	771,366
死亡者数	0	0	1	4	2	11	21	76	165	157	437	1,006
季節性インフルエンザ												
2017.09-2020.08	7,467,200	5,692,400	2,784,700	3,602,400	4,354,700	2,975,300	2,247,100	1,423,000	853,300	265,400	31,665,539	
死亡者数	156	60	67	130	401	692	2,019	4,856	11,184	8,114	27,679	

(前掲の厚生労働省第111回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボードで提示された資料4「新型コロナの重症化率・致死率について」(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/001027743.pdf>)から、感染者数と死亡者数のみをまとめた)

但し、注意しなければならないのは、それぞれの致死率を死亡者が単純な二項分布に従う(すなわち、当該疾患で「死亡する」か「死亡しない」の2状態しか無い)として考えると、二項分布についての一般的な知識(例えば、東京大学教養学部統計学教室編『人文・社会科学の統計学』(東京大学出版会, 1994, ISBN978-4-13-024066-2) pp.26-29)によれば、95%信頼区間はそれぞれ $\pm 0.001029\%$ ($=\sqrt{0.0008741 \cdot (1-0.0008741)/31,665,539}$)及び $\pm 0.008054\%$ ($=\sqrt{0.001304 \cdot (1-0.001304)/771,366}$)となるので、2022年12月21日開催の厚生労働省第111回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボードで提示された資料4「新型コロナの重症化率・致死率について」に記載された季節性インフルエンザの死亡率と新型コロナウイルス感染症の死亡率のデータとの比較は、より統計学的に正確に記述すると

季節性インフルエンザの死亡率: $0.08741 \pm 0.001029\%$ (95%信頼区間)

新型コロナウイルス感染症の死亡率: $0.13042 \pm 0.008054\%$ (95%信頼区間)

とされなければならない。すなわち、95%信頼区間を考慮しても、2022年1月～2022年8月までの累計死亡者数で見た場合の新型コロナウイルス感染症の死亡率は季節性インフルエンザの死亡率よりも有意に高い。なお、第7波だけ(2022年7月～8月)で見た場合には、感染者数/死亡者数は431,990人/437人なので、新型コロナウイルス感染症第7波での死亡率は95%信頼区間で $0.1012 \pm 0.009480\%$ となり、第7波までの累計よりは有意に低い、季節性インフルエンザの場合よりは有意に高い。さらに、後に本文中に明示するJohns Hopkins大学の週計データ(<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/85320e2ea5424dfaaa75ae62e5c06e61>)から明らかなように、日本の第7波の死亡者数のピークは2022年9月4日までの週であって第7波の死亡者数と考えるべき死亡者数は少なくとも10月9日の週末までの集計であるべきであり、2022年12月21日開催の厚生労働省第111回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボードで提示された資料4「新型コロナの重症化率・致死率について」に記載された新型コロナウイルス感染症の第7波の死亡者数のデータとされているもの(2022年7月～8月の集計値)は、日本における第7波の死亡者数を正確には表わしていない(だいたい6割くらいであろう)。

²⁴ 例えば、<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20220926/k10013837221000.html>を参照。

おける死亡者数の確定のさせ方²⁵には変更が無いため、SARS-CoV-2によるCOVID-19パンデミックが始まってからの死亡者数の増減は経時的に正しく追うことはできている、と現状では考えられる。

Johns Hopkins 大学が公表しているグラフ²⁶ (図6及び図7)からは、日本における週当たりの死亡者数がまだまだ増加してしまうことが推定される(∵ 週当たりの死亡者数のピークは週当たりの新規感染者数のピークより1週間から4週間程度は遅れて発生するが、第8波の新規感染者数のピークが未だに到来していないため—厚生労働省が発表している新規感染者数に含まれない感染者(≡有症状で自主的な自宅療養をしている人たち)が相当数存在するはずであるが、保健所からその人々を捕捉することを止めているため²¹に実際の感染者数が全くわからない状態になっている)。これらの図に示されたデータを見る限り、SARS-CoV-2感染症の第8波による死亡者数は、1月15日現在では、残念ながらもまだまだ増えるものと想定される。2023年1月15日までの1週間で、全世界での週当たりのSARS-CoV-2感染症による死亡者数が17,100人なのに対し、日本では同じ1週間で2,900人がSARS-CoV-2感染症で亡くなっている。これは、人口比率(全世界で80億人以上なのに対し、日本は1億2千万人)を考慮すると異様に多い死亡者数である²⁷。厚生労働省「データからわかる—新型コロナウイルス感染症情報—」²⁸によれば、SARS-CoV-2感染症による死亡者の年齢構成は60歳代以降の高齢層が圧倒的であり、日本国内においてオミクロン株による感染が主流となった後の2022年1月～8月の石川・茨城・広島 の3県における771,366名の感染者(総計1,006名の死亡者)のなかで20歳代以下の死亡者はわずか1名(0.10%)である²³。これは、全国での2017年9月～2020年8月までの季節性インフルエンザ感染者31,665,539名(死亡者27,679名)のなかに20歳代以下の死亡

²⁵ 日本では、医師または歯科医師が「死亡診断書(死体検案書)記入マニュアル」(令和4年度版は<https://www.mhlw.go.jp/toukei/manual/>で公開されている)に基づいて死亡診断書に死因を記入する。死亡診断書は厚生労働省の「人口動態統計」(<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html>)の基礎になるものであり、その記載に疑義があれば発行した医師あるいは歯科医師に照会がなされる仕組みになっている。日本の「疾病、傷害及び死因の統計分類」(<https://www.mhlw.go.jp/toukei/sippeil/>)はWHOのInternational Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD)の第10版に基づいたものであり、『ICD—10(2013年版)準拠 死因分類表』(https://www.mhlw.go.jp/toukei/sippeil/dl/instruction_all.pdf)に従って死因が記載される。緩和ケア医である大津秀一氏が公表している解説(<https://news.yahoo.co.jp/byline/otsushuichi/20210528-00239905>)にも明快に記載されているように、各々の死亡診断書を作成する医師が意図的に実際とは異なる死因を記載することは考えにくく、人口動態統計の確報値と厚生労働省から日々報告されている同一日付分の死亡者数(<https://covid19.mhlw.go.jp/>)との乖離があまりないことから、『データからわかる—新型コロナウイルス感染症情報—』(<https://covid19.mhlw.go.jp/>)で公表される死亡者数をSARS-CoV-2感染症による死亡者数と考えることに問題は無いと考えられる。

²⁶ <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> の Mobile version (現地時間2023年1月1日までに獲得されたデータを集計したものである)。

²⁷ もちろん「ゼロコロナ政策」を放棄した中華人民共和国が上記ICD準拠の基準で報告していないため、全世界でのSARS-CoV-2感染症による死者数が過小である、という事実は考慮しなければならない(例えば、2023.01.04付の『China Covid: WHO warns about under-representing Covid deaths』という表題の配信記事<https://www.bbc.com/news/world-asia-china-64167052>を参照)。

²⁸ <https://covid19.mhlw.go.jp/>

者が 283 名 (1.02 %) 含まれていたことと極めて大きな違いである²⁹。若年層の死亡者数が少ない (死亡者数に占める若年層の割合が小さい)²⁹ので、学校閉鎖などの強い対策 (≒学校や友達同士での外出などによる感染者クラスターの発生と家庭内感染の蔓延とを防止するための施策) を積極的に打ち出すことができず、SARS-CoV-2 感染症による死亡者数を抑制することができていないのが 2023 年 1 月時点での日本の現状である。

もう一点、非常にまずい状況だと筆者が考えているのは、各社の報道における「見出し」と「中身」(=報道内容) が乖離しているものが、SARS-CoV-2 感染症に関連したものでは多く存在するように感じられることである。ファクトチェックを行なって正しい情報を発信することはもちろんのこと、誰が読んでも読み違いをすることの無い文章を作成することが報道機関の使命であるはずだが、記者による内容の理解が伴っていないのではないかと、と思われるような (∵ 新型コロナウイルスの詳細を記者が完全に理解できているとは推定しにくい) 記事では、公衆の理解を意図的にミスリードしているのではないかという懸念を抱かざるを得ないもの³⁰が現実存在している。事実を正確に表現する文章力も含めた『科学リテラシー』『技術リテラシー』の重要性をこれまで以上に認識しなければならない。

²⁹ NHK の報道でも直近の死亡者数増について採り上げられている:

https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/eighthwave/detail/detail_39.html

³⁰ 直前の脚注と同じく NHK の報道になるが、『12 月に警察が扱った遺体 新型コロナ感染確認が 901 人 過去最多』という見出しの記事 (<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20230112/k10013948241000.html>) を見出しから順に読むと、当然のように“新型コロナウイルス感染症が死因の 901 人を 1 ヶ月で扱ったのだな”と思ってしまうが、記事内容を読み進めてみると、最終行に「また、死因が判明した人のうち、新型コロナが原因で死亡したのは 255 人で、肺炎は 32 人だったということです。」とあるので、死亡診断書に明記された死因が新型コロナウイルス感染症である人は 901 人ではなくてわずか 255 人であったことがようやくわかる。

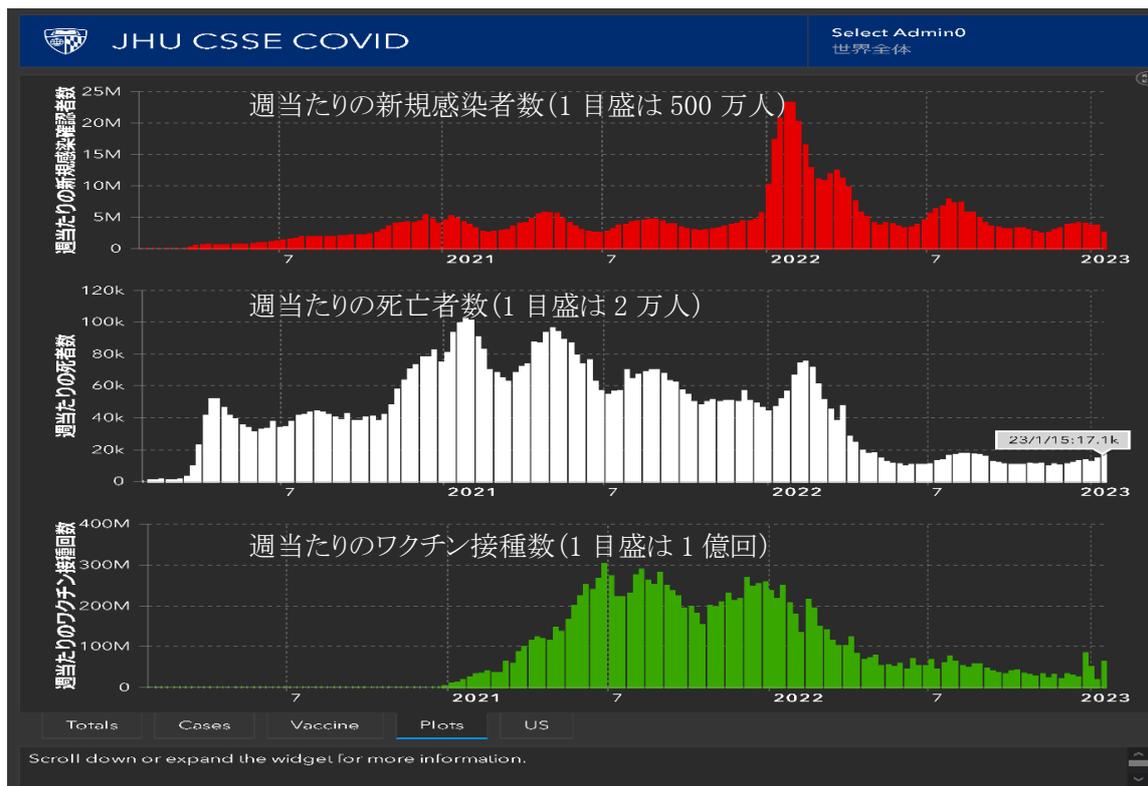


図6 週当たりの新規感染者数/死亡者数/ワクチン接種回数の推移 (世界全体)

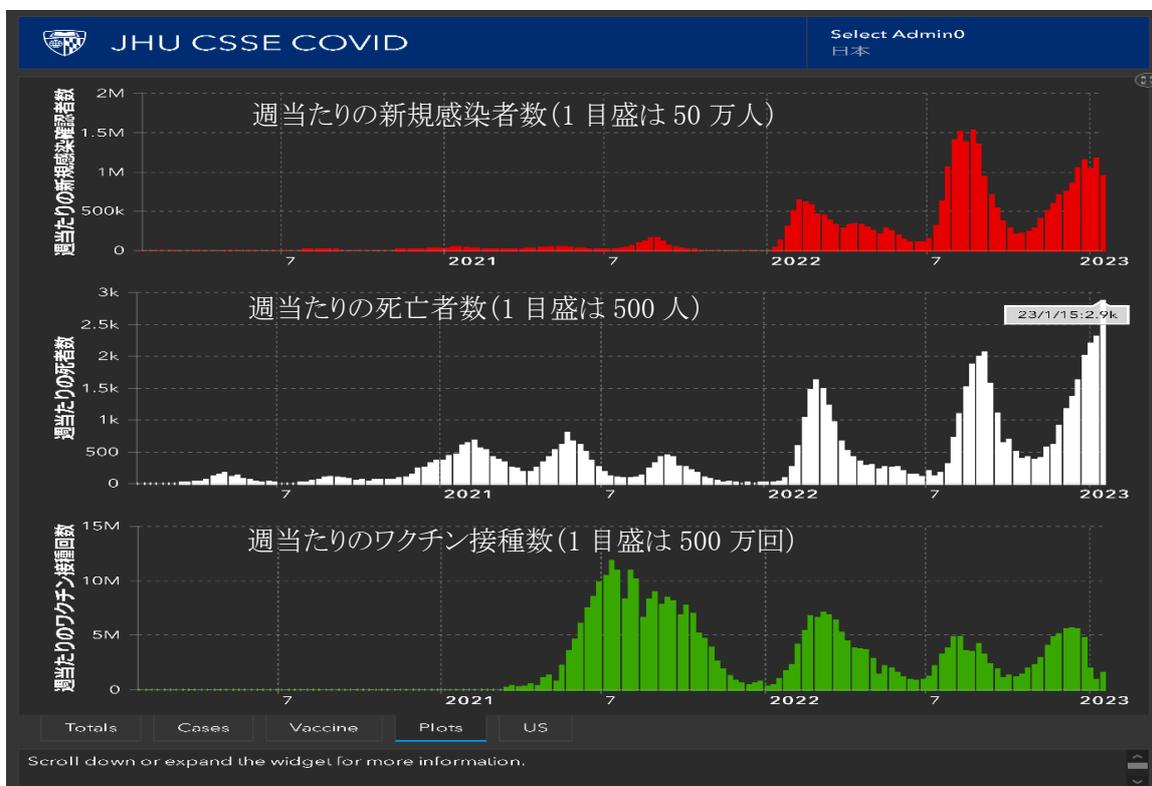


図7 週当たりの新規感染者数/死亡者数/ワクチン接種回数の推移 (日本)

参考文献

- 寺内衛・寺内かえで(2009)『“科学”“リテラシー”に関する一考察』「政経研究」No.93 71-78.
- 寺内衛・寺内かえで(2012)『今、知らなければならないことー被曝の被害と防護をめぐる“科学リテラシー”についてー』「政経研究」No.98 78-92.
- 寺内衛・寺内かえで(2015)『教養としての科学ーNewton 力学/古典電磁気学/量子力学と「技術」との関連についてー』 Hirao School of Management Review, Vol.5, pp.25-36.
- 寺内衛・寺内かえで(2021)『今、知らなければならないことーSARS-CoV-2 感染症(COVID-19 パンデミック)についての基礎知識ー』 Hirao School of Management Review, Vol.11, pp.101-122.
- 寺内衛・寺内かえで(2022)『サイエンス・ギルドー知の分断についての一考察ー』 Hirao School of Management Review, Vol.12, pp.1-19.

(付録³¹)

Visual Basic for Application (VBA)で記載した、SIRS コンパートメントモデルによる数値計算マクロ例。初期値として、B2/B3/B4/B5/B6/B7/B8 の各セルに、それぞれ考慮している集団の未感染者数 (S) / 初期感染者数 (I) / 回復者数 (R) / 再生産数 (saiseisan_suu) / 平均回復期間 (heikin_kaihuku_kikan) / 計算期間 (keisan_kikan) / 免疫消失期間 (meneki_syoushitsu_kikan) をそれぞれ入力し、以下の関数を call すると、E 列/F 列/G 列に S / I / R の数値計算結果が入力され、自動的にグラフも作成される。

Sub SIRS()

```

If ActiveSheet.ChartObjects.Count = 1 Then ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete ; 以前の計算結果を消去
Range(Columns(4), Columns(7)).Clear
S = Range("B2").Value ; この行以下の 7 行は初期値の定義
I = Range("B3").Value
R = Range("B4").Value
saiseisan_suu = Range("B5").Value
heikin_kaihuku_kikan = Range("B6").Value
keisan_kikan = Range("B7").Value
meneki_syoushitsu_kikan = Range("B8").Value

Dim beta As Double ; この行以下の 8 行は変数の定義
Dim gamma As Double
Dim alpha As Double

Dim deltaS As Double
Dim deltaI As Double
Dim deltaR As Double
Dim deltaT As Double
Dim myCount As Integer ; MyCount は、ループするごとにインクリメントされるダミー変数

gamma = 1 / heikin_kaihuku_kikan
beta = saiseisan_suu * gamma / S
alpha = 1 / meneki_syoushitsu_kikan

deltaT = 0.5 ; 半日(=0.5day)刻みで時刻を進めて計算する(deltaT=1とすれば 1 日刻み)

myCount = 0
Cells(1, 4) = "days"
Cells(1, 5) = "susceptible"
Cells(1, 6) = "infected"
Cells(1, 7) = "recovered"

For myTime = 0 To keisan_kikan Step deltaT ; 以下, "Next myTime"までが差分演算ループ

deltaS = -beta * S * I * deltaT + alpha * R * deltaT
deltaI = (beta * S * I - gamma * I) * deltaT
deltaR = gamma * I * deltaT - alpha * R * deltaT

S = S + deltaS ; deltaT だけ時間が経過後の値を計算(この行を含む 3 行)
I = I + deltaI
R = R + deltaR
Cells(2 + myCount, 4) = myTime ; 計算結果を D 列のセル~G 列のセルに入力(この行を含む 4 行)
Cells(2 + myCount, 5) = S
Cells(2 + myCount, 6) = I
Cells(2 + myCount, 7) = R
myCount = myCount + 1 ; ダミー変数をインクリメント
Next myTime

```

³¹ @BMJr 氏による SIR モデルの Visual Basic for Applications (VBA)実装

(<https://qiita.com/BMJr/items/fd343ed56d50ef63e552>)を元に、筆者が SIRS モデルでの計算を実行するように追加実装したもの。この際、VBA の実行方法(e.g. ワークシート上にボタンコントロールを貼り付けて、それに上記関数を関連付ける方法など)については井ノ上氏による解説(<https://www.ex-it-blog.com/Macro-exe>)を、SIR モデルによる数値計算結果の概要については Wikipedia 日本語版(<https://ja.wikipedia.org/wiki/SIRモデル>)並びに同英語版(https://en.wikipedia.org/wiki/Compartmental_models_in_epidemiology#The_SIR_model)の記述を、それぞれ参照した。

```

Set trange = Worksheets("Sheet1").Range(Cells(1, 4), Cells(1 + myCount, 7)) ; この行以下でグラフ描画

Charts.Add
With ActiveChart
    .HasLegend = True
    .Legend.Position = xlLegendPositionTop
    .ChartType = xlXYScatterLines
    .SetSourceData Source:=trange, PlotBy:=xlColumns
    .Location Where:=xlLocationAsObject, Name:="Sheet1"
End With
With ActiveChart
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "人数"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.AutoScaleFont = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "経過日数"
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.AutoScaleFont = True
    .PlotArea.Interior.ColorIndex = 2
    .Axes(xlValue).MajorGridlines.Delete
End With
With ActiveSheet
    .ChartObjects(1).Top = 50
    .ChartObjects(1).Width = 600
    .ChartObjects(1).Height = 500
    .ChartObjects(1).Left = 500
End With
End Sub

```

(付録) 1 階の常微分方程式の解を数値計算で求める際の差分化のやり方の一例

1) 元の方程式を形式的に次のように変形する(=左右両辺に dt を掛ける):

$$\text{例: } dS/dt = -\beta SI + \alpha R \Rightarrow dS = (-\beta SI + \alpha R) \cdot dt$$

2) 微分の記号(d)を差分の記号(Δ)に置き換える:

$$\text{例: } dS = (-\beta SI + \alpha R) \cdot dt \Rightarrow \Delta S = (-\beta SI + \alpha R) \cdot \Delta t$$

3) ある時刻 t_n での値 S_n を元に, Δt だけ離れた時刻 $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ での値 S_{n+1} を, 元の値 S_n に時刻 t_n での各パラメータの値から求めた差分 ΔS_n を加えたものとして求める:

$$\text{例: } S_{n+1} = S_n + \Delta S_n = S_n + (-\beta S_n I_n + \alpha R_n) \cdot \Delta t$$

4) 3)の計算を所定の回数(≒所定の時刻に達するまで)反復する