

基本再生産数の変更*

事例研究 新型コロナウイルス感染症

岩本 康志

目次

基本再生産数の変更	1
事例研究 新型コロナウイルス感染症	1
1. 序論	3
2. 基本再生産数の変更	5
2.1 基本再生産数 1.7 の設定 (2020 年 3 月 2 日)	5
2.2 基本再生産数 1.7 の設定の根拠	6
2.3 基本再生産数 2.5 の設定 (2020 年 3 月 19 日)	7
2.4 基本再生産数 2.5 の設定の根拠	8
2.5 基本再生産数 1.7 の設定 (2020 年 6 月 19 日)	9
3. 「作動中の科学的 EBPM」の課題	11
3.1 巨大事業の前提の変化	11
3.2 科学的不確実性のもとでの意思決定	11
3.3 科学的不確実性の提示	13
3.4 専門家集団による熟議	14
3.5 意思決定の所在と責任	14
3.6 想定 of 整合性	15
4. 父権主義と意思決定支援	16
4.1 科学的知見の提示に由来する不確実性	16
4.2 基本再生産数の変更 (2020 年 3 月 19 日)	17
4.3 変化の不十分な説明	18
4.4 基本値のみの提示	19
参考文献	21

* 2024 年 4 月 5 日。

本稿の作成に当たっては、JSPS 科学研究費補助金 (基盤研究 C) JP21K01522 の助成を受けた。

付録 A	基本再生産数 5 の設定 (2021 年 9 月 3 日)	23
付録 B	基本再生産数の推定方法	25
B.1	指数関数的成長モデル	25
B.2	日本での推定	26

政府行動計画を策定する際の根拠となる被害想定については、最新の科学的知見を踏まえ、いたずらに過大なものとするのしないようにすること。

(新型インフルエンザ等対策特別措置法案に対する附帯決議
2012年3月28日 衆議院内閣委員会)¹

(新型インフルエンザ等対策特別措置法案に対する附帯決議
2012年4月24日 参議院内閣委員会)²

1. 序論

感染症数理モデルにおける基本再生産数は、感染症の流行規模を特徴づける重要な変数である。基本再生産数が大きい場合、感染症の流行速度、ピーク時の患者数、流行最終規模が大きくなり、感染症対策にも影響を与える。新しい感染症ではその基本再生産数を計測する必要があり、最初から正確な値が求められるわけではなく、データと分析の蓄積によって、知見が形成されていく。感染症対策は知見が十分に固まるまで待つことは許されない。そうすると、対策に大きな影響を与える科学的知見が塗り替えられていくなかで、どのように対策を講じていけばいいのか、という政策立案についても非常に重要な問題を提起する。藤垣(2021)は、Latour(1987)の「作動中の科学」(science in action)の概念を援用して、COVID-19について、この問題を論じている。

感染症対策としての社会経済活動の制限やワクチン接種のように巨額の費用を要する事業の前提が変化すると、どのような枠組みで政策を決定するかと、変化する科学的知見に対する信頼をどのように確保するのかという問題を生じる。本稿ではCOVID-19の基本再生産数と日本の対策を事例に、このような問題を検討する。

本稿で取り上げる基本再生産数の変更は、2020年3月2日に新型コロナウイルス感染症対策専門家会議で示された「1.7」から3月19日の同会議で示された「2.5」への変更である。COVID-19に対応する病床の整備計画において、入院需要の推計は非常に重要な位置を占める。基本再生産数は、SIRモデルで感染者数のピークを左右する重要な変数であるため、この変更は病床整備計画の立案に大きな影響を与える。

また付録Aでは、2021年9月3日に新型インフルエンザ等対策推進会議新型コロナウイルス対策分科会で示された「5」への変更を取り上げる。これは、デルタ変異株に対する基本再生産数の変更である。基本再生産数はワクチンによって感染症を排除する集団免疫閾

1

https://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_rchome.nsf/html/rchome/Futai/naikakuB70CD52800C6CE25492579D1001711EC.htm

² https://www.sangiin.go.jp/japanese/gianjoho/ketsugi/180/f063_042401.pdf

値（HIT、Herd Immunity Threshold）を左右する重要な変数であり、当時のワクチン接種の帰結に重要な影響をもつ。

本稿の構成は、以下の通りである。2 節は、それぞれの基本再生産数の設定を解説する。3 節は、科学的知見が変化する際に、それを根拠とする政策決定がどのようにおこなわれるべきであるか、科学的知見と政策決定の信頼性をどのように確保するのかを検討する。4 節は、2020 年 3 月の基本再生産数の変更の際に議論された、父権主義と意思決定支援の対比について、新たな論点を提示する。付録 A は、2021 年 9 月の基本再生産数の変更の含意を議論する。付録 B は、基本再生産数の推定方法の技術的な解説である。なお、本稿では付録 A を除き、年号を省略した日付は 2020 年を表す。

2. 基本再生産数の変更

この節では、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議に提出された日本の基本的再生産数の推移を見る。

2.1 基本再生産数 1.7 の設定 (2020 年 3 月 2 日)

基本再生産数 1.7 が示されたのは、2020 年 3 月 2 日に持ち回りで開催された新型コロナウイルス対策専門家会議提出資料「新型コロナウイルス感染症の流行シナリオ (2 月 29 日時点)」³ (以下、「3 月 2 日資料」) においてである。これは、日本医療研究開発機構感染症実用化研究事業 (新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業)「感染症対策に資する数理モデル研究の体制構築と実装」(研究開発代表者:西浦博)の報告書である。この資料では感染症数理モデルによる感染状況のシミュレーションがおこなわれ、その目的は、「本シナリオは、各都道府県において、今後の対策を検討するにあたり地域内の流行状況や年齢構成等の地域性を十分に踏まえて医療体制の整備を行う際の参考にしていただくため、現時点での情報に基づいて示すものである」としている。モデルでの基本再生産数については、「1.4,1.7,および 2.0 と想定したが、現段階で得られる情報からは R_0 を 1.7 とすることが最も妥当と考えられる」としている。

もちろん流行を事前に読み切ることは不可能であり、推計には大きな不確実性がある。報道によれば⁴、3 月 10 日の記者ブリーフィングで、西浦教授は「いずれも科学的にあり得るということで試算をしている。中位がもっともらしいとしているが、中位でも、あるいは低位でさえも、私たちが今、研究している観点からすると、この規模の大流行は起こらないと思っている。いずれも『最悪のシナリオ』であるという見方をするのが、恐らく一番適切」とのべている⁵。

推定結果を見ると、人口 10 万人当たりの発症者、入院患者数、重症者数は以下のように想定された。

³ https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/senmonkakaigi/sidai_r020302.pdf

⁴ 橋本佳子「西浦北大教授「3つの COVID-19 流行シナリオ、いずれも最悪の場合」」医療維新。 <https://www.m3.com/news/open/iryoshin/738238>

⁵ 現実には起こらない「最悪のシナリオ」となる理由は 2 つ考えられる。第 1 に、モデルでは何も感染症対策をとらないことを想定しているが、現実には何等かの対策がとられることになるので、流行を過大に見積もることになる。第 2 に、現実の接触のパターンは限定されることで、流行最終規模はこのモデルの規模よりも小さくなる。西浦(2020)は、「同じ R_0 (基本再生産数:引用者注)でも、年齢や社会構造、接触ネットワークを加味することで累積感染率は小さくなるからだ。」とのべている。岩本(2024)は、接触構造が流行規模に与える影響を議論している。

基本再生産数	発症者	入院患者	重症者
1.4	6458	1379	138
1.7	8987	1782	178
2.0	10613	1987	199

また、都道府県等が医療体制を確保するための目安となる、ピーク時の人口 10 万人あたり発症者、入院患者、重症者数は、基本再生産数が 1.7 のときは以下の様に設定された。

	発症者	入院患者	重症者
小児 (0-14 歳)	181	53	2
成年 (15-64 歳)	294	18	1
高齢者 (65 歳以上)	509	560	18
全年齢平均	339	172	5

都道府県にとって非常時に備えた病床の拡大は簡単な作業ではなく、時間を要する。そのため、いつまでにどれだけの病床を用意すればいいのの見通しを立てたり、最悪の進展にも対応できるようにするには、流行シナリオの作成は重要で意義あることである。日本医師会総合政策研究機構では、このシナリオに基づくピーク時の患者数と各種病床数が都道府県別に示された資料（高橋・江口・石川[2020]）が作成されている。

2.2 基本再生産数 1.7 の設定の根拠

3 月 2 日資料では基本再生産数を推定する手法の一つである指数関数的成長モデル (exponential growth model) が使用されており、基本再生産数は、

$$R_0 = 1 + rT \quad (1)$$

として計算される。 R_0 は基本再生産数、 r は内的成長率 (intrinsic growth rate)、 T は世代時間 (generation time) である。付録では、(1) 式の導出を解説している。基本値を 1.7 にした根拠は、以下のように説明されている。

「想定した基本再生産数は出版物で報告されている値 2.2 程度（例えば Jung et al. J. Clin. Med. 2020, 9, 523）よりも若干だけ低い。これは流行初期に基本再生産数(R_0)を推定するために必要な平均世代時間(T)が未だわからず重症呼吸器症候群 (SARS) 平均世代時間 8.5 日を利用して患者数の増殖度(r/day)から再生産数を計算していたためである。他方、現在までに COVID-19 の平均世代時間は 4.0 日間であることが明らかとなっている (Nishiura et al. Int J Infect Dis 2020, in press)。世代時間が指数分布に従うとすると $R_0=1+rT$ であるが、 r をそのままとし、 $T=8.5$ であったものを 4.0 に修正して得られる R_0 は 1.7 である。」

記述は簡潔だが、学術論文での説明としては妥当な分量である。(1)式に即すると、「 T を8.5として R_0 を2.2と推定していたが、 T を4.0に変更すると R_0 は1.7になった」という説明になる。直ちに問題となるのは、そのような関係を満たす r は存在しないことである。したがって、説明の大枠は正しいとすれば、いずれかの数値に誤記があることが疑われる。実際は、それぞれの数値が不正確であると考えられる。まず、Jung et al. (2020)での推定値は「2.2」ではなく、「2.1」である。Jung et al. (2020)で使用されている T は「8.5」ではなく、Li et al. (2020)が COVID-19 に対して推定した「7.5」である⁶。さらに Nishiura et al. (2020)によれば、世代時間の「4.0」は中央値であって、平均値は「4.7」である⁷。Jung et al. (2020)では r を0.15と推定しており、(1)式にしたがえば、 $1 + 0.15 \cdot 7.5 = 2.125$ から2.1が得られる。そして、7.5を4.7に変更すると、 $1 + 0.15 \cdot 4.7 = 1.705$ となって1.7が得られる。西浦教授のチームの研究を更新していると考えれば、まず基本再生産数を2.1と推定したところ、その後に発症間隔 (serial interval) を推定した研究で短い数値が得られたので、これを使用すると基本再生産数が小さくなった、という流れで解釈できる。

しかし、その説明が、数値のみを抜き出すと「7.5を用いて2.1となった計算で、4.7を用いたら1.7になる」となるべきものが、「8.5を用いて2.2となった計算で、4.0を用いたら1.7になる」となっている。1.7を導く3つの数値がすべて不正確に説明されていることになる。

2.3 基本再生産数2.5の設定 (2020年3月19日)

専門家会議が3月19日にまとめた「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言(3月19日)」⁸には、「基本再生産数 (R_0 :すべての者が感受性を有する集団において1人の感染者が生み出した二次感染者数の平均値)が欧州(ドイツ並み)の $R_0=2.5$ 程度であるとすると」の説明のもとで、新たな推計が現れる(以下、「3月19日資料」)。2.4節で引用した西浦教授の発言にあるように、このときに使用されたモデルは上述の3月2日資料で使用されたモデルとパラメータの設定値が異なっており、岩本(2023b)の再現作業でもそのことが示唆されている。

⁶ medRxiv にある Jung et al. (2020) のプレプリント版 (<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.01.29.20019547v1>)では改訂前の推定結果が報告されており、基本再生産数は2.2で一致するが、平均世代期間は8.4となっている。

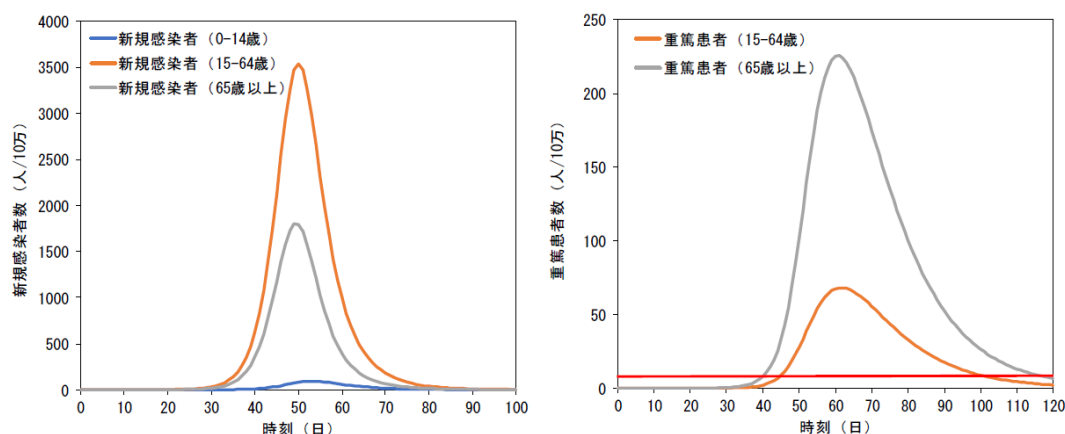
⁷ 非常に細かいが、岩本(2023b)で示されたように、後述する3月19日資料のモデルのソースコードでは、より絞ったサンプルに対してワイブル分布を当てはめた4.8を使用している。

⁸ <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf>

資料には、基本再生産数を 2.5 と置いたときの新規感染者数と重篤患者数の想定が示されている（図 1）。10 万人当たり重篤患者数は、上記の 3 月 2 日資料の重症者数の 10 倍以上になっている。本文には下線つきで、日本のある特定地域（10 万人）が「流行 50 日目には 1 日の新規感染者数が 5,414 人にのぼり、最終的に人口の 79.9% が感染すると考えられます。また、呼吸管理・全身管理を要する重篤患者数が流行 62 日目には 1,096 人に上り、この結果、地域における現有の人工呼吸器の数を超えてしまうことが想定されるため、広域な連携や受入体制の充実を図るべきです。」（下線省略）と書かれている。重篤患者数については、図よりもさらに大きな数値が示されている。新規感染者数は岩本(2023b)の再現作業で再現されている。重篤患者数は再現に必要な情報が公開されておらず、また本文の記述と図の不一致があるなど、信頼の置けないものになっている。

図 1 新規感染者数と重篤患者数（3 月 19 日資料）

図 6. 大規模流行時に想定される 10 万人当たりの新規感染者数（左）と重篤患者数（右）



注：いずれも 10 万人あたりの新規感染者数等。右図の赤実線は日本国内の 10 万人あたりの使用可能な人工呼吸器台数を示す。

（出典）「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言（3 月 19 日）」9 頁。

2.4 基本再生産数 2.5 の設定の根拠

西浦・川端(2020、108–109 頁)で、西浦教授は基本再生産数の 2.5 への設定の変化の事情を以下のように語っている。

「3 月 2 日以降、僕は病床シミュレーションをしていました。（中略）

武漢で僕たちが推定したのが 1.4 から 2.0 ぐらいなので、1.7 に設定しています。その結果はというと、ピークまで流行対策がされなくても、なんとか日本のベッド数内に収まるというような数字が出ていました。でも、イタリア、あるいはスペイン、フランスの状況を見ていると、これが甘いという危機感を覚えました。それらの国では病院内で院内感染の連鎖

が止まらない状態になりましたから。

ヨーロッパでの R_0 が 2.5 ぐらいだと仮定して、また、重症化リスクを最新ののものにした上で計算をし直すと、重症患者が必要とする ICU のキャパシティを簡単に超えてしまうんです。今この瞬間にヨーロッパで起こっていることですから、日本でもオーバーシュートが起こると、ICU が足りなくなる事態がありうるということを伝えないと、と思い、資料に【図 8】（西浦・川端 2020 での図番号。本稿の図 1 と同じ：引用者注）を掲載させていたのですが、これを載せることが、ものすごい反対にあいます。

まず、その病床の仕事を一緒にやっていた若手の厚労省担当者たちがクラスター対策班の部屋に来て、「先生、これはどういうことですか。今までやっていたシナリオと大分違うんじゃないですか。都道府県は混乱しますよ。」という話をしてきました。」⁹

この説明では、2.5 を基本値ではなく最悪のシナリオと考えているとの解釈も考えられなくもない¹⁰が、3月2日資料での説明とその後 2.5 と設定した分析のみが議論されるようになったので、2.5 が基本値となったとみなすのが適当である。なお、ドイツでの 2.5 の推定値の出所は明らかにされていない。

政府側がこの資料の発表を止めようとしたことの含意については、4 節で論じる。

2.5 基本再生産数 1.7 の設定（2020 年 6 月 19 日）

6 月 19 日に持ち回りで開催された専門家会議で、「新型コロナウイルス感染症の医療提供体制確保のための新たな流行シナリオ」が公開された¹¹。これは、日本医療研究開発機構感染症実用化研究事業（新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業）「感染症対策における数理モデルの拡大的活用研究」（研究開発代表者：西浦博）の報告であり、3月2日資料を更新したものである。流行第 1 波の実績を踏まえて、各都道府県でのピーク時入院患者数を再推計している。使用しているモデルは 3 月 2 日資料のものとは大きく異なっているが、基本再生産数は 1.4、1.7、2.0 の 3 つのシナリオを想定している。

基本再生産数は、(1)式ではなく、

$$R_0 = (1 + rTv^2)^{\frac{1}{v^2}} \quad (2)$$

⁹ オーバーシュートは疫学の術語ではない。西浦・川端(2020、107 頁)では、「感染症疫学の言葉でなく、別分野からの転用です。神経生物学の数理モデルで「発火」というものがあります。神経の信号が出る時に、ポンと電位が上がるのを表現したもので、それくらい垂直に近い傾きで感染者が増える、というのを言いたかったんです。」と説明している。

¹⁰ 西浦・川端(2020、182-185 頁)にそのような解釈がある。

¹¹ https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/senmonkakaigi/sidai_r020619.pdf

によって計算されている。ここで ν は、世代期間の変動係数である。基本再生産数の設定について、「再生産数 1.7 は、2020 年 5 月 29 日の新型コロナウイルス感染症専門家会議の現状分析にあるように、実際に 3 月中下旬に観察された東京都などの実効再生産数に相当する程度と考えられる。また、 1.7 ± 0.3 という変動幅は、3 月 2 日に専門家会議において公表したシナリオ（新型コロナウイルス感染症対策専門家会議 第五回資料；https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/senmonkakaigi/sidai_r020302.pdf）でも検討したものである」とのべている。

3. 「作動中の科学的 EBPM」の課題

3.1 巨大事業の前提の変化

病床整備とワクチン接種には、巨額の費用を要する「巨大事業」であるがゆえに、その必要性が科学的な根拠に基づくことが望ましい。これは、EBPM の求めることである。そして、感染症数理モデルは備えるべき被害の想定に利用された。ところが2節で見たように、いったん想定されたシナリオに基づいて事業が進行している途中で、シナリオを規定する基本再生産数の設定が変更され、事業を正当化していた根拠に大きな影響を与えている。これによって政策が大幅に変更される場合、科学的知見の変更が科学の進歩であれば政策の変更は良い方向に向かうと考えられるので、歓迎すべきことのようにも見える。しかし、利害関係者や一般市民からは（場合によっては政策担当者から）「話が違う」という反応が出てしまう。とくにその政策に大きな費用が投じられるときには、社会的波紋も大きい。

COVID-19 対策に限らず、科学的知見に基づき立案される様々な分野の政策で、このような問題が生じるものと考えられる。そのため、科学的根拠が確からしいことを前提にする EBPM ではなく、科学的根拠が不確かで、変化し得るもとの政策決定のあり方を考えなければならない。政策立案の前提の不確実性は、2種類ある。災害の規模を例にとると、第1は、災害の規模がある確率分布にしたがい、政策担当者がその確率分布を知っている場合である。第2は、災害の規模は確定しているが政策担当者には未知であり、政策担当者はある確率分布にしたがうと仮定する場合である。どちらも、災害がどの程度の規模になるかわからないという帰結は同じになる。したがって、リスクのある状況での意思決定の問題になる。また、現実には両者が混在すると考えられる¹²。

ここでは、災害リスクを科学的に評価し、対策を講じる事例（典型的には防災対策、感染症対策）を念頭に、災害による被害規模は（変化しないが）未知であり、それに対する知識が変化する状況で、どのような配慮が必要かを検討しよう。以下では、リスクのある状況での意思決定（3.2節）、科学的根拠と政策決定の信頼性確保、の2つの側面での課題を論じる。後者の課題は細分化され、リスクの存在の説明（3.3節）、意思決定の所在と責任（3.4節）、専門家集団の熟議（3.5節）、分析の整合性（3.6節）、変化が生じた場合の説明（4節）をとりあげる。

3.2 科学的な不確実性のもとでの意思決定

政策立案は、リスクのある状況での意思決定となる。基本値のシナリオから外れる可能性も十分にあるので、1つのシナリオを絶対視すると、シナリオから外れる事態を冷静に受け

¹² 確率が想定できる「リスク」の他に、確率が想定できない「不確実性」がある状況での意思決定も考えられる。仲田(2023)は、このような状況も含めて、不確実なパラメータがあるもとの政策決定の問題を、金融政策との対照も含めて議論している。

止められなくなる。楽観的なシナリオのもとで対策で対応できなかった損失、悲観的なシナリオのもとで対策が空振りに終わることの損失、対策の費用を考慮して、期待損失を小さくする意思決定をすることが求められる¹³。

対策の費用を考えなくてよければ、問題設定は簡単になる。費用をかけた対策が楽観的なシナリオで空振りになる損失を無視できるので、最悪のシナリオに備えた対策をとって、悲観的なシナリオのもとで対応できなかった損失を解消するのが望ましいという結論になる¹⁴。裏返せば、対策の費用が存在することで、ある程度までのリスクは許容して、そのリスクに対応できない損失を受け入れることが望ましくなる。

シナリオから外れる損失は、過大や過小に認識されることがある。例えば堤防（防災目的の社会資本）では、堤防が過剰に大きいとしても洪水が起こらなければ注意を払わないが、洪水が起こると堤防が不十分だった損失を大きくとらえたりする。こうした損失の把握の難易があると、合理的な範囲を超えて、悲観的シナリオへの対応に傾く可能性がある。それを止めるために、見えにくい損失を的確に評価することが科学に求められる。これは、許容されるリスクを決定することになるが、許容したリスクから被害が生じた場合に科学者の責任問題を社会が追及することになれば、それを恐れる科学者が保身のために悲観的シナリオに傾くという問題が生じる。

また、後でより確からしい知見が得られることが期待される場合には、不可逆的な意思決定を遅らせることが考えられる。緊急な対応を要しない場合は、時間をかけて変更することで損失を小さくできる余地がある（オプション価値と呼ばれる¹⁵）。しかし、COVID-19は

¹³ 被害規模には3つのシナリオがあり、 D_1 （最小値）、 D_2 （基本値）、 D_3 （最大値）とし、 $D_1 < D_2 < D_3$ とする。それぞれの値をとる確率を p_1 、 p_2 、 p_3 とする。対策の選択枝は3つあり、選択枝1は費用 C_1 で D_1 までの被害を防ぐことができる。それを超える被害規模 D の場合は、 $D - D_1$ の被害が生じる。選択枝2は費用 C_2 で D_2 までの被害を防ぐことができる。選択枝2は費用 C_3 で D_3 までの被害を防ぐことができる。

選択枝1をとった場合の純便益（何も対策をとらなかった場合との帰結の差）の期待値は、 $(p_1 + p_2 + p_3)D_1 - C_1$ 、選択枝2をとった場合の純便益の期待値は $p_1D_1 + (p_2 + p_3)D_2 - C_2$ 、選択枝3をとった場合の期待値は $p_1D_1 + p_2D_2 + p_3D_3 - C_3$ となる。純便益を最大にする選択枝を求めるには、3つのシナリオの被害規模とその確率が必要である。

¹⁴ 注13の例で費用が非常に小さい場合として、費用が被害を防ぐ規模に比例し、その比例定数 ε が非常に小さいとしよう。選択枝1をとった場合の期待値は $(p_1 + p_2 + p_3)D_1 - \varepsilon D_1$ 、選択枝2をとった場合の純便益の期待値は $p_1D_1 + (p_2 + p_3)D_2 - \varepsilon D_2$ 、選択枝3をとった場合の期待値は $p_1D_1 + p_2D_2 + p_3D_3 - \varepsilon D_3$ である。それぞれの費用が十分に小さくて、その大小が問題とならず、防いだ被害の期待値が大きい選択枝が選ばれるとしよう。この場合、危害規模と確率にかかわらず最大の被害を防ぐ対策を選択することが望ましくなる。

¹⁵ Boardman et al. (2017、第11章、第12章)は、費用便益分析での評価方法を解説してい

政策対応が緊急を要するので、対策を積極的に先延ばしにすることは得策ではない可能性もあるため、難しい判断となる。しかし、当初は大きな不確実性があることを考慮して、できる範囲のことを積極的にするにせよ、長期的な対策の姿は柔軟に想定して、より新しい知見のもとで、長期的な姿を固めていくという方向性が考えられる。

3.3 科学的な不確実性の提示

科学的知見が変化しても科学への信頼を確保するためには、科学が自然・社会現象を完全に理解していないという意味で、科学的な不確実性（分析の曖昧さ）が存在することを政策担当者と利害関係者（感染症対策では一般市民が広く利害関係者に相当するので、以下では一般市民と呼ぶ）に的確に伝える努力が必要になる。一般には、科学的知見は安定している（場合によっては不変である）という認識を持たれがちである。しかし、新しい感染症の特徴は、研究とともに知見が変化していくことは不思議ではなく、そのことの啓蒙が重要である。科学的知見を確からしいものとして伝えることが、逆に問題となる可能性もある。

科学的な不確実性を伝える手段には、複数のパラメータとシナリオの設定、感度分析等がある。基本値に基づき政策を立案する際でも、基本値を絶対視するとこの不確実性が伝わらなくなる。COVID-19 対策の経験では、3月2日資料では最小値 1.4、基本値 1.7、最大値 2.0 が提示されており、知見の不確実性を伝えようとしている。一方、3月19日資料では 2.5 の設定のみが示されている。西浦教授が4月に発表した接触機会削減の分析でも 2.5 のみ が示されている¹⁶。基本値のみが示されることは、政策担当者と一般市民にこれを絶対視させる方向に誘導する形となっている。

第1回緊急事態宣言に関わる基本的対処方針を審議した4月7日の新型インフルエンザ等対策有識者会議基本的対処方針等諮問委員会について、西浦教授の以下のような発言がある。

「不思議なことに「基本再生産数が 2.5 として、医療機関や性風俗のことを考えると、80% 減でない 2 週間で減らない」というシミュレーションの資料を作っていたのですが、私の知らないところで諮問委員会の資料の数値が書き換えられていたのです。

基本再生産数が 2.0 と、私が作った資料より感染力を低く見積もった数字になっていたもので、「これで大丈夫なのか？」という問い合わせを事前に尾身先生からいただきました。

もし、この資料が表に出たならば、僕は自分で「あくまでも 8 割であり、こういうシミュレーションを僕は出していない」と話そうと覚悟していました。」（岩永・千葉 2020）

西浦教授は、政府側が基本再生産数 2.0 を設定しようとすることに拒否反応を見せてい

る。

¹⁶ 一連の分析の詳細は、岩本(2023b)を参照。

る。2.5 を基本値として、2.0 が曖昧さを表現するパラメータの幅の中に入らないという認識であれば、その理由の説明が望まれる。もし合理的な幅の中にあるならば、基本値を選択することを強く主張することは政策担当者の意思決定を尊重していることにはならない。

17。

3.4 専門家集団による熟議

科学的知見について、研究者の間で見解が分かれていることも多いだろう。基本再生産数は様々な推定値が報告されており、どの証拠を重視して評価を与えるのかについて、すべての専門家が同じ結論に至るわけではない。そのような状態では、専門家集団での熟議を経た知見を政策に反映する手続きをとることが考えられる¹⁸。本稿で対象とした基本再生産数の設定は、専門家会議と分科会の資料に掲載されたものであり、形式的には専門家集団での検討を経たものと解釈されるが、議論の過程の公開資料は乏しく、別の見解があつて議論が交わされたか否かは明らかではない。

科学者の見解が分かれている場合、異なった科学的助言が政策担当者に伝えられることは混乱を招く。どれかの意見を黙殺することで意見を統一することも、科学的不確実性を適切に伝えていないことで問題となるので、科学的助言のあり方は難しくなる。パラメータに関する見解の相違についていえば、幅をもって示すことで一つの助言のなかで科学的不確実性を伝達することができるだろう。

3.5 意思決定の所在と責任

科学的根拠に基づいて政策がおこなわれても、政策担当者が意思決定をするのであり、政策の責任は政策担当者にあつて、科学者にはない。科学者が政策担当者の意思決定を尊重するならば、科学的不確実性を踏まえて、政策の複数の選択肢を示し、そのなかから何を選択するのは政策担当者の意思決定であり、民主主義での意思決定過程としてその結果を尊

17 このときの接触削減割合については、8 割削減としたい専門家と 7 割削減としたい政府側との意見の相違があつたが、この議論と基本再生産数の設定は直接の関係はない。ここでの問題設定は、新規感染者数を 500 人から 100 人まで（8 割）減少させるために必要な接触削減割合であつた。単純な SIR モデルでは新規感染者数は接触機会に比例するので、新規感染者を 8 割減少させるために必要な接触削減割合は 8 割となり、基本再生産数が 2.5 か 2.0 には依存しない。当時の接触削減割合の議論の詳細については、岩本(2023a、2024)を参照。

18 分野は異なるが、金融政策では、経済の将来動向の判断が重要になるが、日本銀行では 9 人の政策委員がそれぞれ将来見通しを立て、議論を経て金融政策を決定している。将来動向が客観的に定まるのであれば、1 人で十分である。複数の見通しが公表されることで、将来動向が不確実性ななかでも、政策決定の透明性を高めることがされている。

重する態度が求められる。

しかし、政策を選択する道筋が科学的に固まっている場合には、政策担当者の裁量の余地は狭まっている。病床整備ではピーク時の重症患者数が整備目標となり、ワクチン接種では集団免疫閾値が接種水準の目標になる。このとき科学には政策を決定する権限はなくても、大きな影響力をもっている。選択肢を規定するパラメータの基本値を設定すると、政策担当者の選択余地を著しく狭めてしまうことになるので、選択肢の設定に関する理念と実践の乖離をどのように埋めていくのかは難しい課題である。

3.6 想定の整合性

6月19日資料が3月2日資料の基本再生産数1.7の設定を継承していることから、3月19日資料での2.5の設定は変更ではなく、想定の分裂ととらえる方が適切である。つまり、病床整備のための分析は1.7を基本値に設定し、まん延防止措置のための分析は2.5を設定して、両者が併存している。2.4節で引用した、病床整備の厚労省担当者の「混乱しますよ」との発言に対して、西浦教授は「都道府県に出す医療体制のシナリオと今回の重症患者のキャパシティは切り離せませんか」（西浦・川端2020、109頁）と答えているが、これが実現した形となっている。新しい分析は提示されたが、進行中の事業を変更するにはいたらなかったことになる。

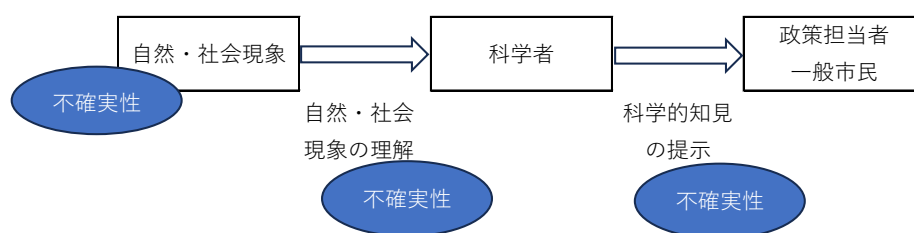
しかし、これらは同じ感染症に対する対策であるので、感染症の性質を規定するパラメータが異なって設定されることに対しては、対策が首尾一貫していないとの批判が当然起こり得る。結果として、一般市民には厳しい対策を求め、医療提供側にはそれよりも緩い対策を求めることになる。

4. 父権主義と意思決定支援

4.1 科学的知見の提示に由来する不確実性

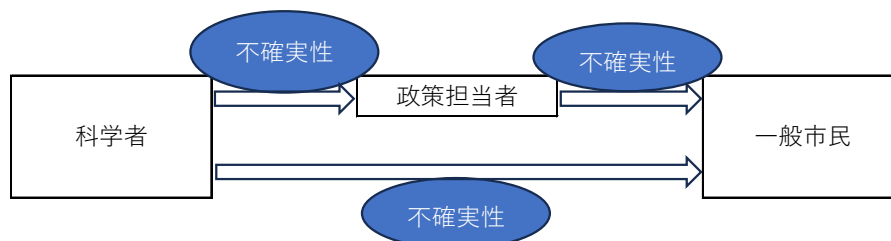
信頼確保の課題に関連するが別の論点として、科学的知見が正確に提示されないことから生じる不確実性、それによって生じる政策担当者と一般市民に生じる情報格差の問題がある。前述した自然・社会現象に内在する不確実性、自然・社会現象の理解に由来する不確実性に加えて、科学的知見の提示に由来する不確実性が存在することになり、図2はその関係を整理したものである。最後の種類の不確実性において、一般市民への科学的知見の提示は科学者から直接の場合と政策担当者を経由しての場合があるので、不確実性の所在は図3のように3箇所が生じるが、すべてを1つの図に示すと煩雑になるので、図2と図3のように段階的にとらえることにする。どの不確実性もなければ、政策担当者と一般市民には自然・社会現象の正確な知見が与えられるが、正確でない・曖昧さをもつ知見が与えられるとすれば、その発生箇所は大きく3箇所（最後の箇所は3箇所に細分化もできる）にあることになる。本節は、この最後の不確実性（科学的知見の提示に由来する不確実性）に関わる問題を議論する。

図2 科学的知見に関わる3種類の不確実性



(注) 科学者は科学的知見（自然・社会現象の理解）を政策担当者と一般市民に伝達する。そのなかで、自然・社会現象に内在する不確実性、自然・社会現象の理解に由来する不確実性、科学的知見の伝達に由来する不確実性がある。

図3 科学的知見の提示に関わる不確実性



(注) 3箇所の提示経路のそれぞれで、科学的知見の提示に由来する不確実性がある。

4.2 基本再生産数の変更（2020年3月19日）

西浦・川端(2020、112-113頁)では、3月19日資料をめぐっての厚生労働省とのやりとりが伝えられている。

「この図を出すかどうか議論しながら、つくづく思ったのは、今までの厚労省でのシナリオ分析は、常に パターンナリスティック 父権主義的な発想でやってきたということです。被害想定として何人重症化して死ぬみたいな話が出たとしても、それは密室で共有されて対策が決まるだけで、厚労省から地方に通知を打つ時には、もう科学的概念の説明もなく、ただ冷たい事務連絡通知になっています。「これが想定だからこれだけの数のベッドを用意せよ」ときわめて行政的な上から目線のメッセージです。すごく難しい高度な日本語で書かれた事務連絡の文書で、参考資料として僕の計算したものが入るような形です。ほらよ、と数値をわたして、やりなさい、と各自治体に命令するような形の意味伝達です。

(中略)

でも、僕は厳しいシナリオを伝えた上でコミュニケーションしなければと強く感じていて、それを主張しました。現に武漢や北イタリアでは医療崩壊が起こったのですから。その現実と向き合って、それだけは避ける策を皆で考えないといけない。リスク・インフォームド・ディシジョンといって、きちんとしたリスクの認識の下に意思決定してもらう。医療の世界では「意思決定支援」と訳されることもあります。つまり、今ヨーロッパで起こっている流行がどんなレベルのもので、本質的な問題としては、ボトルネックとなる医療の崩壊の可能性があるので、日本でもどのくらいリスクで病院が崩壊しうるのか、そうなったらどうなるか、きちんと伝えたいのです。

だから、3月19日の専門家会議の提言書の中に、意図してそのシミュレーション結果を入れてもらった時には、サイエンス・コミュニケーションに挑戦する意識がありました。今までパターンナリスティックにやってきたところを、僕らはリスク・インフォームド・ディシジョンに挑戦してみたいんです、と話をして、呑んでもらいました。

考えてみると、僕の専門である感染症の数理モデルというのは、リスク・インフォームド・ディシジョンと親和性が高いものなんですね。そもそも、数理モデルで感染症の制御をする方法自体が、それを前提としていて、広く今後の予測を知らしめて、それを避けるために対策をしていくわけですから。」

また、河合（2020、95頁）にも西浦教授と厚生労働省とのやりとりが記されている。

「図には、日本国内の10万人あたりの使用可能な人工呼吸器台数が赤実線で示されていた。65歳以上の重篤患者数が10万人あたり200人を超えたとしても、人工呼吸器の台数は下方で一定になっている。

この赤実線について、厚労省は「こんなものは入れる必要はない。入れてどうするんだ」と言い、西浦らクラスター班のメンバーは、事実だから書くべきだと反論。しかし、役所は、「それがわかっただらどうなるんだ」と応じなかった、とクラスター対策班でこのやり取りを見ていた斎藤（斎藤智也氏：引用者注）は言う。「役所はパターンリスティックな考え方をし、対策がすぐにできないことを市民に伝えても不安にさせるだけだと捉えたのでしょう。一方、西浦さんはインフォームド・デシジョンを促すべきだという立場でした」¹⁹

3月19日資料の公表をめぐる西浦教授と厚生労働省の確執は、父権主義（パターンリズム）と意思決定支援（リスク・インフォームド・デシジョン）の対比と見立てられている。病床整備の文脈では、意思決定者（政策担当者）は国（厚生労働省）と地方（都道府県）の2段構成になっている。国が地方を差し置いて政策を決定して、それに沿った科学的知見のみしか地方に提示しないという態度をとることは問題である²⁰。政策にとって都合の良い範囲で研究結果を発表してもらおうという態度も、科学を政策に従属させてしまうという意味で問題である。

ただし、他にも見過ごされている重要な問題点がある。西浦教授が意思決定に必要な内容をきちんと提示していたか、このとき何が地方および一般市民に提示されるべきだったのか、という論点について、検討したい。

4.3 変化の不十分な説明

第1の課題は、政策担当者が科学者から受ける助言が1か月をまたずに変わってしまったことである。科学者は、研究の進歩によって知見が塗り替えられ、それを反映して事業の前提が変化しただけと軽く考えるかもしれないが、科学的知見が安定しているものと考えていた政策担当者がそのまま受け入れるとは限らない。政策への助言・提言は様々な個人や団体によってされており、なかにはいい加減なものもある。政策担当者は、助言・提言をする個人や団体が信頼できるかどうかを吟味している。その見分け方のひとつに、言ってるこ

¹⁹ 引用文中の「事実」の指す意味は詳らかではないが、本稿では、日本の基本再生産数が2.5であるという事実ではなく、日本の基本再生産数を2.5と想定した分析が存在するという事実と解釈しておく。

²⁰ 2009年にイタリアのラクイラで発生した地震で、リスク評価委員会のメンバーである官僚と科学者が罪に問われ、いったんは下級審で全員に有罪判決が出た（上級審で官僚1名のみ有罪で確定した）。ここで問われたのは、地震を予知できなかったことではなく、行政当局が科学者の見解とは異なった安全宣言ととれる内容の発表をしたため、住民が避難せず死亡したことの責任である（詳細は、瀬瀬・大木2015を参照）。政策当局が科学者の知見を適切に伝達しないという構図は類似している。

とが変わる、というものがある。整合性 (integrity) を重視する人が「科学者がいまこう言っている、後で別のことを言い出すのではないか、そのときに助言が変わったことを気にしていない」と考えるようになると、いまの助言を受け入れることも躊躇することになる²¹。説明不足のまま受け入れてもらうことを期待するのではなく、政策担当者に信頼してもらうために、このような状況ではなぜ科学的知見が変更されたのかを丁寧に説明することが望まれる。

上述したように、3月2日資料と3月19日資料では、基本再生産数の設定の説明が不十分である。基本再生産数を1.7と設定した説明は、根拠が示されているように見えても内容はつじつまが合っていない。2.5に変更になった根拠も曖昧である。3月19日資料では、上で引用した箇所直前に「欧州（ドイツ並み）のR0=2.5程度であるとする」と書かれているのみである。流行初期の基本再生産数を推定した文献の系統的レビュー (Billah, Miah and Khan 2020、Dhungel et al. 2022) では、ドイツの基本再生産数を2.5とする文献は公表されていない。各国の基本再生産数を推定する研究は多数出ているなかで、なぜ2.5が説得的であるかの議論はない²²。その後も2.5の設定の根拠にくわしい記述がされることもなく、本文と図の不整合の訂正もされることはなかった。訂正されず、内容が理解できないものであれば、それは政策決定の根拠として採用できるだけの信頼性はない。

意思決定支援であれば、政策担当者には十分な情報が与えられるべきであるが、実際にとられた説明では不十分であり、この意味で意思決定支援になっていない。また、分析結果の共有だけでなく、その結果が導かれた過程についても共有が必要である。それが共有されていない場合、専門家の分析を盲目的に信じることを要請されていることになり、情報格差から生じる父権主義となっている。

4.4 基本値のみの提示

3月19日資料以降は基本再生産数2.5のみが示されるようになったことが、第2の課題である。これが基本値か最悪のシナリオなのかには解釈の余地があるが、いずれにしても問題である。まず基本値であれば、それが絶対視される形で提示されていることが問題である(3.3節、3.5節)。最悪のシナリオと解釈した場合には、最悪のシナリオのみが提示されていることが問題となる(3.2節)²³。最悪のシナリオの提示のみで十分な場合とは、対策の

²¹ 2.4節で引用した厚生労働省の担当者の「先生、これはどういうことですか。今までやっていたシナリオと大分違うんじゃないですか」という反応には、この側面もあり得る。

²² 西浦・川端(2020、107頁)に「19日の専門家会議に先立つ48時間ぐらい、僕は寝てないんです」とあるように、この資料の作成に厳しい時間的制約があったことが説明不足の原因かもしれない。その場合、専門家の層がもう少し厚くなり、十分な人的資源が確保されるようになることが将来の課題である。

²³ 3月2日資料の基本再生産数1.4、1.7、2.0の設定に加えて、新しいリスクシナリオとし

費用が存在せず、最悪のシナリオに対応する対策を準備すればよい場合である。本稿の問題設定が巨額の費用を要する事業であるので、これは的を射た想定といえない。西浦教授の援用した数理モデルには対策の費用が存在しない。これは現実的ではない設定であり、そこから導かれる含意をそのまま政策提言とすることは現実的ではない。

また、対策の利害関係者（一般市民）への説明についても、難しい問題をはらむ。公衆衛生的介入が行動変容を目的とする場合、最悪のシナリオしか提示されていないことは意思決定支援ではなく、過剰な対策を誘導する父権主義になるだろう。

変化の理由の説明が十分でなかったこと、基本値のみが提示されていることから見て、3月19日資料をめぐる西浦教授の態度を意思決定支援の試みと見立てることは難しい。

て2.5を設定したということであれば、科学的不確実性を提示する妥当な方法と考えることもできる。しかし、3月2日資料からパラメータが変わっており、2つの資料は連携しておらず、シナリオの追加という形にはなっていない。

参考文献

- Billah, Arif, Mamun Miah and Nuruzzaman Khan (2020), “Reproductive Number of Coronavirus: A Systematic Review and Meta-analysis Based on Global Level Evidence,” *PLoS ONE*, Vol. 15, No. 11, e0242128.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242128>
- Boardman, Anthony E., et al. (2018), *Cost–Benefit Analysis: Concepts and Practice*, 5th ed., Cambridge: Cambridge University Press.
- Dhungel, Bibha, et al. (2022), “Reliability of Early Estimates of the Basic Reproduction Number of COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19, Issue 18, September, 11613. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811613>
- 藤垣裕子(2021)「作動中の科学と科学的助言：時間軸と責任境界をめぐって」『研究 技術 計画』第 36 巻第 2 号、108–115 頁。 https://doi.org/10.20801/jsrpm.36.2_108
- 岩本康志(2023a)「『接触 8 割削減』の科学的根拠」 CIRJE Discussion Paper CIRJE-J-306. <https://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2023/2023cj306ab.html>
- 岩本康志(2023b)「『接触 8 割削減』の科学的根拠の再現」 CIRJE Discussion Paper CIRJE-J-307. <https://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2023/2023cj307ab.html>
- 岩本康志(2024)「なぜ緊急事態措置は想定以上となったのか：数理モデル分析の影響について」 CIRJE Discussion Paper CIRJE-J-309. <https://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2024/2024cj309ab.html>
- 岩永直子・千葉雄登(2020)「「このままでは 8 割減できない」 「8 割おじさん」 こと西浦博教授が、コロナ拡大阻止でこの数字にこだわる理由」 Busfeed News。
<https://www.buzzfeed.com/jp/naokoiwanaga/covid-19-nishiura>
- Jung, Sung-mok, et al. (2020), “Real-Time Estimation of the Risk of Death from Novel Coronavirus (COVID-19) Infection: Inference Using Exported Cases,” *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 9, Issue 2, February, 523.
<https://doi.org/10.3390/jcm9020523>
- 河合香織(2021)『分水嶺：ドキュメント コロナ対策専門家会議』岩波書店
- 瀬戸川一樹・大木聖子(2015)「ラクイラ地震裁判：災害科学の不定性と科学者の責任」『科学技術社会論研究』第 11 号、50–67 頁。 https://doi.org/10.24646/jnlsts.11.0_50
- Latour, Bruno (1987), *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Li, Qun, et al. (2020), “Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia,” *New England Journal of Medicines*, Vol. 382, p. 1199–1207. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>

- Liu, Ying, and Joacim Rocklöv (2021), “The Reproductive Number of the Delta Variant of SARS-CoV-2 is Far Higher Compared to the ancestral SARS-CoV-2 Virus,” *Journal of Travel Medicine*, Vol. 28, Issue 7, October, taab124.
<https://doi.org/10.1093/jtm/taab124>
- Lipsitch, Marc (2003), “Transmission Dynamics and Control of Severe Acute Respiratory Syndrome,” *Science*, Vol 300, Issue 5627, June 20, pp. 1966–1970.
<https://doi.org/10.1126/science.1086616>
- 仲田泰祐(2023)「パンデミック対策のEBPM」CARF Working Paper CARF-J-119.
<https://www.carf.e.u-tokyo.ac.jp/research/j119/>
- 西浦博(2020)「特別寄稿：西浦博・北大教授「8割おじさん」の数理モデル」『ニューズウィーク日本版』、6月9日号。
<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2020/06/8-39.php>
- 西浦博(2021a)「マスコミが伝えない「集団免疫」の“本当の意味”…ワクチン接種で流行は収まるのか？」<https://gendai.media/articles/-/81092>
- 西浦博(2021b)「西浦博教授が考える「ワクチン接種が進む日本」でこれから先に見込まれる“展開”」<https://gendai.media/articles/-/86584>
- 西浦博編(2022)『感染症流行を読み解く数理』日本評論社
- 西浦博・川端裕人(2020)『理論疫学者・西浦博の挑戦 新型コロナからいのちを守れ!』中央公論新社
- Nishiura, Hiroshi, Natalie M. Linton and Andrei R. Akhmetzhanov (2020), “Serial Interval of Novel Coronavirus (COVID-19) Infections,” *International Journal of Infectious Diseases*, Vol. 93, April, pp. 284–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.02.060>
- 高橋泰・江口成美・石川雅俊(2020)「地域の医療提供体制の現状-都道府県別・二次医療圏別データ集-(2020年4月第8版)」日医総研ワーキングペーパー、No. 443。
https://www.jmari.med.or.jp/research/research/wr_697.html

付録 A 基本再生産数 5 の設定 (2021 年 9 月 3 日)

2021 年にワクチン接種が始まると、ワクチン接種で集団免疫が獲得され、流行が終息することが期待されるようになった。西浦編(2022、202 頁)では、基本再生産数 2.5、ワクチンの感染予防効果を 95%として、単純な SIR モデルのもとで人口の約 63%がワクチンを接種すれば集団免疫を獲得できるという計算を紹介している²⁴。しかし、デルタ株の出現により「その期待は専門家内ではほんの一時的なものにすぎなかった。」として、以下のように記されている。

「2021 年 4 月にインドの流行状況が劇的に悪化し、5 月にその流行を引き起こしたデルタ株が英国でも猛威を奮い始めた。感染性の上昇は確からしく R_0 は従来株の 2.3 倍程度である 5.75 であることがわかった。また、次第に予防接種による免疫を回避することもわかり、mRNA ワクチンは未だよく効くが 2 回接種でも $\varepsilon = 0.80$ (感染予防効果：引用者注) に留まることがわかった。これらの数値を入れると (中略) 人口の 100%が接種をしても流行が止まらないだろうという見通しがわかった。」(西浦編 2022、203 頁)

西浦教授は 8 月 26 日 (この付録のみ年号を省略した日付は 2021 年を表す) に、基本再生産数の上昇によって集団免疫の獲得が困難になったことを解説している (西浦 2021b)。政府の会議で公式に言及されたのは、新型インフルエンザ等対策推進会議新型コロナウイルス感染症対策分科会が 9 月 3 日に発表した「ワクチン接種が進む中で日常生活はどのように変わり得るのか?」のなかであり、「我が国において全ての希望者がワクチン接種を終えたとしても、社会全体が守られるという意味での集団免疫の獲得は困難と考えられる。」(2 頁)²⁵と記された。この資料では、古瀬祐気教授による基本再生産数を 5、ワクチンの感染予防効果を 70%²⁶と仮定した分析結果が示されている²⁷。基本再生産数の設定の根拠は示されていない。西浦教授はこれに先立つ 8 月 3 日に、デルタ株の基本再生産数が 5、高く

²⁴ 西浦教授は 2021 年 3 月 26 日に、集団免疫に関する論考 (西浦 2021a) を発表しているが、アルファ株で基本再生産数が 1.5 倍 (3.75) になったとの想定で、集団免疫を獲得する接種率が 73%程度となる議論を紹介している。

²⁵ https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/taisakusuisin/bunkakai/dai7/vaccine_nichijou.pdf

²⁶ この時期の厚生労働省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は、西浦教授が感受性人口割合の推計を報告しており、最初はデルタ株を考慮しないワクチン効果を 90%と設定していたが、8 月 11 日にデルタ株に対する効果を 80%と設定した。

²⁷ 分析の詳細は、当日の会議の参考資料 3 に示されている。
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/taisakusuisin/bunkakai/dai7/gijisidai.pdf#page=56>

ても 7 という見解を示している²⁸。また、デルタ株の基本再生産数を推定した研究を集めた総説論文である Liu and Rocklöv (2021)が 8 月 9 日に出版され、基本再生産数を 5 とまとめている。

それまでは集団免疫の獲得を念頭に置いた議論がされており、例えば、尾身茂新型コロナウイルス感染症対策分科会会長は 7 月 29 日の参議院内閣委員会で、集団免疫の獲得について「なかなか実際には 70% ぐらいでは無理で、じゃ何%かというのは難しいけど、我々は、もう少し接種率を上げる努力は、やっぱり何とかして皆さんの理解を得ながらやっていく必要があるんじゃないかと思います。」と答弁している²⁹。尾身氏は、8 月 10 日のウェブ配信番組では「集団免疫は幻想」と発言して、集団免疫の達成に否定的な立場に転じた³⁰。

基本再生産数の変化の経緯は 2020 年 3 月とは違いがあるが、巨大事業の進行中にその前提となる科学的知見に変化が生じた点は共通している。ワクチン接種による集団免疫の獲得に期待していた政策担当者と一般市民は、ワクチン接種が進んだところで集団免疫の獲得が困難であるという見解が出されたことに対しては、戸惑い、失望、場合によっては怒り、という感情をもって不思議ではない。分科会の淡白な説明は冷静ではあるが、こうした反応には無神経とも受け止められかねない。この事例は、科学的知見の提示について難しい課題を投げかけている。

²⁸ 西浦博教授が描く「私が最も恐れ、怯えているシナリオ」の“中身”（西浦 博） | 現代ビジネス <https://gendai.media/articles/-/85823>

²⁹ <https://kokkai.ndl.go.jp/txt/120414889X00220210729/83>

³⁰ https://twitter.com/nico_nico_news/status/1425084527609749512

付録 B 基本再生産数の推定方法

B.1 指数関数的成長モデル

基本再生産数の推定方法のなかで、よく使われ、本稿と関係する方法は、指数関数的成長モデルである。

t 時点の新規感染者は、再生方程式 (renewal equation) と呼ばれる、

$$New(t) = \int_0^{\infty} \mathcal{R}(t)g(\tau)New(t-\tau)d\tau \quad (3)$$

で表される。右辺の New (1次感染者) から感染させられた者 (2次感染者) が左辺の New となる。 τ は感染齢 (感染してからの時間) であり、(3)式では1次感染者と2次感染者の感染時期の差を表すので、世代時間となっている。 g は感染齢ごとの感染性を表し、

$$\int_0^{\infty} g(\tau)d\tau = 1$$

と規格化しており、世代時間の確率密度関数となっている。 \mathcal{R} は瞬時的再生産数 (instantaneous production number) と呼ばれる、実効再生産数の一種である。

流行初期で新規感染者が指数関数的に増加しているとすると、

$$New(t-\tau) = New(t)e^{-r\tau} \quad (4)$$

となり、瞬時的再生産数を一定で \mathcal{R}_0 と置き、(3)式に(4)式を代入すると、

$$New(t) = \mathcal{R}_0 \int_0^{\infty} g(\tau)New(t)e^{-r\tau}d\tau \quad (5)$$

となる。ここで、 \mathcal{R}_0 は基本再生産数、 r は内的成長率 (intrinsic rate of growth) と呼ばれる。

(5)式の両辺を新規感染者で除すると、オイラー-ロトカ方程式

$$1 = \mathcal{R}_0 \int_0^{\infty} e^{-r\tau}g(\tau)d\tau = \mathcal{R}_0 M(-r) \quad (6)$$

が得られる。 M は、 g のモーメント母関数 (ラプラス変換) である。

新規感染者数の日次データ (流行曲線 epidemic curve) から内的成長率を推定し、積極的疫学調査から発症間隔の確率密度関数を推定し、これを世代時間に代用することで、基本再生産数を推定することができる。

感染者が単位時間当たり γ で感染性を失う場合は、 g は指数分布になり、 γ^{-1} が世代時間となる。単純な SIR モデルは、この想定を置いている。より一般的な分布として、 g をガンマ分布であると仮定し、 Γ をガンマ関数として、

$$g(\tau) = \frac{k\gamma}{\Gamma(k)} \tau^{k-1} e^{-k\gamma\tau}$$

と置くと、平均は γ^{-1} 、分散は γ^{-2}/k 、変動係数の自乗 (形状パラメータの逆数) は $1/k$ となり、モーメント母関数は、

$$M(-r) = \left(1 + \frac{\gamma^{-1}}{k} r\right)^{-k} \quad (7)$$

となる。(7)式を(6)式に代入すると、

$$\mathcal{R}_0 = \frac{1}{M(-r)} = \left(1 + \frac{\gamma^{-1}}{k} r\right)^k \quad (8)$$

で表される。本文の(2)式は、(8)式での世代期間とその変動係数の記号を変えたものである。 g が指数分布 ($k = 1$) の場合は、(8)式はより簡単な形で、

$$\mathcal{R}_0 = 1 + \gamma^{-1} r \quad (9)$$

となり、世代時間と内的成長率の積に 1 を加えたものが基本再生産数となる。本文の(1)式は、(9)式での世代時間の記号を変えたものである。

B.2 日本での推定

西浦教授のチームは以下のように基本再生産数を推定した。

西浦教授のチームの COVID-19 に関する研究の第 4 報³¹になる Jung et al. (2020)では、中国外への移出例のデータから中国（武漢）での内的成長率を推定し、1 日当たり 0.15 とした。世代時間は、Li et al. (2020)による発症間隔の推定値 7.5 日を当てはめている³²。世代時間が指数分布にしたがうとした(9)式に当てはめ、 $1 + 7.5 \cdot 0.15 = 2.125$ となり、論文では 2.1 と報告されている。

この後、第 6 報となる Nishiura, Linton and Akhmetzhanov (2020)は、28 例の感染リンクに対数正規分布を当てはめ、発症間隔を中央値 4.0 日、平均 4.7 日、標準偏差 2.9 日と推定した。かりに Jung et al. (2020)の世代時間を 4.7 日に変更すると、 $1 + 4.7 \cdot 0.15 = 1.705$ と下方修正される。これは、3 月 2 日資料の基本値と整合的であるが、3 月 2 日資料ではこのように計算されたとの説明になっていないため、西浦教授のチームがここでの説明のように計算したかどうかは定かではない。

³¹ 西浦・川端(2020、72-75 頁)の呼称による。

³² 流行初期の研究では発症間隔のデータが整わず、過去の類似の感染症の分析を利用している。SARS での発症間隔を分析した Lipsitch et al. (2003)は、シンガポールでの疑い例 205 件の積極的疫学調査のデータにワイブル分布を当てはめ、平均 8.4 日、標準偏差 3.8 日と推定した。Li et al. (2020)は、この結果を事前分布として武漢の 6 人の COVID-19 の感染リンクのデータにガンマ分布を当てはめ、平均 7.5 日、標準偏差 3.4 日と推定した。このガンマ分布の形状パラメータを計算すると、変動係数の自乗の逆数として、 $7.5^2/3.4^2 \approx 4.87$ となる。