

# 接触削減シミュレーションの方法\*

岩本 康志

## 目次

接触削減シミュレーションの方法 .....	1
1. はじめに .....	2
2. 被害想定シミュレーション .....	4
2.1 SIR モデル .....	4
2.2 感染症の流行 .....	5
3. 接触削減シミュレーション .....	7
3.1 接触削減時での新規感染者数の動き .....	7
3.2 接触削減 .....	7
4. 考察 .....	10
4.1 接触削減の設定 .....	10
4.2 接触削減割合への含意 .....	10
5. おわりに .....	11
参考文献 .....	12
付録 A 再生方程式モデル .....	13
付録 B 接触削減 (20 日目開始) のもとでの累積感染者数 .....	14

---

\* 2026 年 3 月 19 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) JP24K04922、JSPS 課題設定による先導的人文学・社会科学研究推進事業 JPJS00123812864 の助成を受けた。

## 1. はじめに

2020 年春に新型インフルエンザ等対策特別措置法に基づく緊急事態宣言が発出された時期に、西浦博教授は感染症数理モデルを用いて、「何も対策をとらなかった場合は 42 万人が死亡する」「接触 8 割削減が必要」との分析結果を発表した。本稿では前者を被害想定、後者を接触削減の分析と呼ぶことにするが、西浦教授は 2025 年のインタビューで、両者の分析の目的が違うために違うモデルを使うことになることを説明している<sup>1</sup>。

しかし、分析の目的が違っても、必然的に違うモデルを使うことになるわけではない。実際には、被害想定計算に用いたモデル (SIR モデル) によって接触削減を分析することは可能である (岩本 2026b は、そのような試みをくわしく検討している)。そして、西浦教授自身も感染症数理モデルを医療関係者向けに解説した鈴木・西浦(2020a、2020b)において、SEIR モデルと SIR モデルによる接触削減のシミュレーションをおこなっている<sup>2</sup>。このことは西浦教授の 2025 年の説明に反しているが、より大きな問題は、この両論文では新規感染者と感染者が取り違えられて説明されていることである。このため、現状では医学関係者に対して誤った解説がされていることになる。

そこで本稿では、この誤りを訂正して、鈴木・西浦(2020a、2020b)を代替する解説論文を目指す。具体的には、モデルのパラメータが明示されている鈴木・西浦(2020b)の接触削減のシミュレーションを再現して、SIR モデルを用いたときの適切な接触削減のシミュレーション

---

<sup>1</sup> 「被害想定時のシミュレーションの目的は、「何も対策を講じなかった場合」の感染者数や入院患者数、死亡者数を把握することです。この場合、基本再生産数は固定されますし、かつ「対策を一切行わない」ため、感受性宿主が人口内で劇的に減少する大規模流行が起こることになります。その実現にあたって最も単純なアプローチが常微分方程式系の SIR モデルであると言えます、被害想定ではそれを利用しました。

ただし、この被害想定の話と 8 割接触削減の話のモデルを混同してはいけません。接触削減では感受性宿主が十分に減る前から対策をして流行自体を抑える訳です。対策の政策シナリオを検討する際に用いるべき数理モデルでは、流行規模が小さい中で実効再生産数 ( $R_t$ ) を対策に応じて柔軟に変化させることが求められるため、自ずと SIR とはアプローチが異なることとなります。」(橋本 2025)。

<sup>2</sup> 他に SEIR モデルによって接触削減のシミュレーションをおこなっているものに、ロンドン大学衛生熱帯医学大学院 (London School of Hygiene & Tropical Medicine、LSHTM) の感染症数理モデルセンター (Centre for Mathematical Modelling of Infectious Diseases、CMMID) が開発している、感染症数理モデルを計算する R 言語のパッケージである epidemics (Gupte, Eggo and van Leeuwen 2025) がある。epidemics は、Epiverse イニシャティブ (<https://epiverse.org/>) で開発されている、疫学のための R 言語のメタパッケージである Epiverse (<https://epiverse-trace.github.io/>) の一部である。

ヨンの方法を解説する<sup>3</sup>。

本稿の構成は、以下の通りである。2節は、本稿で用いる常微分方程式型 SIR モデルを解説し、被害想定シミュレーションをおこなう。3節は、接触削減が起きる瞬間の新規感染者の動きを解説し、接触削減シミュレーションをおこなう。4節は、シミュレーションの分析方法と結果の考察をおこなう。付録 A は再生方程式モデルの解説、付録 B はシミュレーションの補足である。

---

<sup>3</sup> 鈴木・西浦(2020b)では一部のパラメータが明示されていないが、結果のグラフから妥当なパラメータを推測した再現作業が、sarkov28 氏によっておこなわれている（「西浦氏の 2020-11 日本内科学会論文のグラフの再現と、正しいグラフの描画」[https://colab.research.google.com/drive/1MznAf\\_DXaIsznXbALcx19CAff2gF38dC?usp=drive\\_link](https://colab.research.google.com/drive/1MznAf_DXaIsznXbALcx19CAff2gF38dC?usp=drive_link)）。

## 2. 被害想定シミュレーション

### 2.1 SIRモデル

SIRモデルでは、社会は未感染者（感受性人口） $S$ 、感染者（感染性人口） $I$ 、感染症からの回復者・死亡者（除外人口） $R$ の3種類の集団から構成されている<sup>4</sup>。個人は、この集団の間を遷移する。当初（時点0）の人口を1に基準化すると、

$$S(0) + I(0) = 1$$

$$R(0) = 0$$

として表される。時点0の直前まで感染者はおらず、時点0でごく少数の感染者が発生して、感染症流行が始まる。 $t$ 時点の人口の流入はないものとする、

$$S(t) + I(t) + R(t) = 1 \tag{1}$$

となる。

常微分方程式型のSIRモデルでは、それぞれの人口が

$$\dot{S}(t) = -New(t)$$

$$\dot{I}(t) = New(t) - \gamma I(t) \tag{2}$$

$$\dot{R}(t) = \gamma I(t)$$

で表されると考える。ここで、 $New$ は新規感染者（未感染者の減少）である。

(2)式では、感染者は、 $\gamma$ の確率で回復または死亡すると仮定している<sup>5</sup>。感染者が感染性を有する平均期間（感染性期間、infectious period）は、 $\gamma^{-1}$ である。付録Aで、これが1次感染者と2次感染者の感染時期の差の平均である世代時間（generation time）となることを説明する。1人の感染者が感染性期間に何人に感染させるか、を示す実効再生産数 $\mathcal{R}$ を、

$$\mathcal{R}(t) \equiv \frac{1}{\gamma} \frac{New(t)}{I(t)}$$

と定義する。これを(2)式に代入して変形すると、

$$\dot{I}(t) = (\mathcal{R}(t) - 1)\gamma I(t) \tag{3}$$

となり、実効再生産数が1より大きければ感染者数は増加し（流行は拡大し）、1より小さければ感染者数は減少する（流行は収束に向かう）。

鈴木・西浦(2020b)は(3)式に相当する式の説明で、感染者 $I$ を新規感染者と書き、その箇所以降、一貫して感染者数と新規感染者数を取り違えた議論をしている。本稿では、これを修正して、モデルを正しく取り扱った議論をする。

新規感染者は未感染者が感染者と接触することによって発生し、

---

<sup>4</sup> 他に感染してから感染性をもつまでの者（暴露人口） $E$ を含むSEIRモデルは、岩本(2026b)で解説されている。

<sup>5</sup> 付録Aは、感染性人口からの除外率が一定でない場合のモデルを、再生方程式を用いて解説している。

$$New(t) = \beta(t)S(t)I(t) \quad (4)$$

で与えられるとする。ここで、 $\beta$ を感染率（または伝播率、transmission rate）と呼ぶ。単純な SIR モデルでは、感染率  $\beta$  は一定であると仮定することが多い<sup>6</sup>。これを民間も政府も何も感染症対策をとらないときの感染率  $\beta_0$  とし、

$$\beta(t) = \beta_0 X(t) \quad (5)$$

とし、 $X$ は接触削減によって変化すると考える。 $X(t) = 1$ は接触削減がない状態とする。感染前の状態で未感染者が人口に等しいとしたときの実効再生産数が基本再生産数  $\mathcal{R}_0 \equiv \beta_0/\gamma$  と呼ばれる。このときの感染者の変化は、(4)式、(5)式を(3)式に代入して、

$$\dot{I}(t) = (\mathcal{R}_0 X(t)S(t) - 1)\gamma I(t) \quad (6)$$

となる。

## 2.2 感染症の流行

「何も対策をとらない」もとの被害想定シナリオを、実際に計算してみよう。

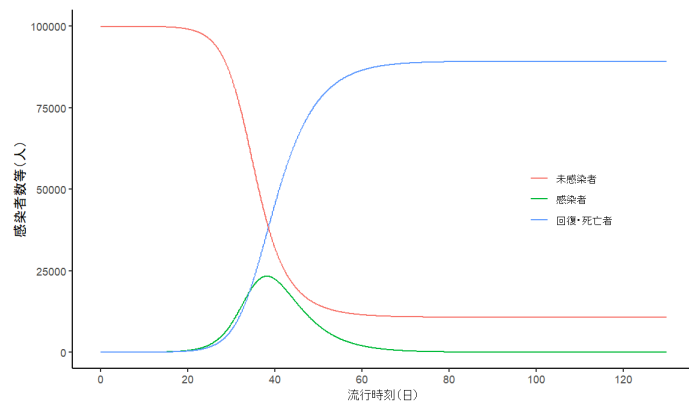
図1は、接触削減がない場合の未感染者、感染者、回復者・死亡者の推移を示したものである。人口を100,000人、感染者の初期値を1人、基本再生産数を2.5、平均世代時間を4.8日として、130日までを計算している<sup>7</sup>。そして、終息したときの累積感染者数が被害想定となる<sup>8</sup>。

図1 接触削減がない場合の感染症の流行

<sup>6</sup> 鈴木・西浦(2020a、2020b)も同様である。

<sup>7</sup> ミュレーションをおこなう R のコードは、GitHub で公開している ([https://github.com/iwmtys/covid/blob/master/COVID\\_Basic\\_2026a\\_results.qmd](https://github.com/iwmtys/covid/blob/master/COVID_Basic_2026a_results.qmd))。これは岩本(2026b)で使用したコードで、本稿で考察するシナリオを計算したものである。SIRモデルを計算するコードの構造については、岩本(2026b、付録C)を参照されたい。

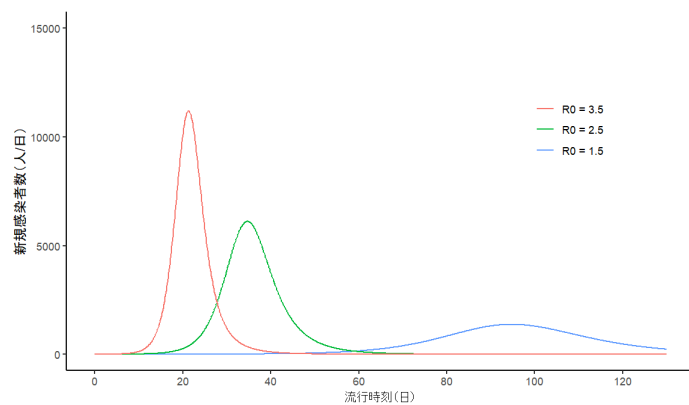
<sup>8</sup> この他に、モデルを解析的に解いて得られる、最終的な累積感染者数を示す最終規模方程式 (final size equation) から被害想定を計算する方法がある。Miller (2012)は、様々なモデルの最終規模方程式を示している。



(注) 筆者計算。人口を 100,000 人、感染者の初期値を 1 人、基本再生産数を 2.5、平均世代時間を 4.8 日とする。

図 2 は、基本再生産数を 1.5、2.5、3.5 と変えた場合の新規感染者数の動きを示している。基本再生産数が高いほど、流行が早く拡大し、ピークが大きく、また終息も早くなる。

図 2 基本再生産数と感染症の流行



(注) 筆者計算。図 1 を計算したモデルで、基本再生産数を 3.5、2.5、1.5 と変化させている。

### 3. 接触削減のシミュレーション

#### 3.1 接触削減時での新規感染者数の動き

計算期間の途中の $t_1$ から $t_2$ まで接触を一定率 $x$ で削減するものとする、(5)式の $X$ は、

$$X(t) = 1 - x \quad (t_1 < t \leq t_2)$$

と表される。接触削減開始時の新規感染者数は、

$$New(t_1) = \beta_0 S(t_1) I(t_1) \quad (7)$$

である。接触削減後の新規感染者数は

$$New(t) = \beta_0 (1 - x) S(t) I(t)$$

となるので、 $t_1$ 時点の極限をとると、

$$New_1 = \beta_0 (1 - x) S(t_1) I(t_1) \quad (8)$$

となる（未感染者数と感染者数は連続的に動いている）。(7)式と(8)式から

$$New_1 = (1 - x) New(t)$$

となる。新規感染者数は接触削減時に不連続に動き、接触削減割合だけ瞬時に減少することになる。接触削減が終了する時点には、逆に新規感染者が瞬時に増加することになる。

#### 3.2 接触削減

特措法成立時には特措法に基づく第45条措置（不要不急の外出の自粛等の要請、学校等の使用制限等の要請等）の期間は1~2週間と想定されていた<sup>9</sup>。そこで本稿では、14日間の接触削減のシナリオを検討する。また、実際の緊急事態宣言発出時に予定された期間である30日間<sup>10</sup>のシミュレーションもおこなう。

図3(A)は、シミュレーション開始から20日目<sup>11</sup>に、2週間の接触削減をおこなったときの新規感染者数の動きを示している。20日目に瞬間的に接触が減少することにともない、新規感染者数も瞬間的に低下する。ただし、流行がまだ拡大していないときに接触削減をおこなうので、その変化はグラフでは小さくしか現れない。削減期間が終わる34日目に接触はもとに戻り、新規感染者数は瞬間的に上昇する。接触削減の割合に応じて、波の形には違いが生じる。(A)では、接触削減割合が大きいほど、流行の波はより長く先送りされるが、

---

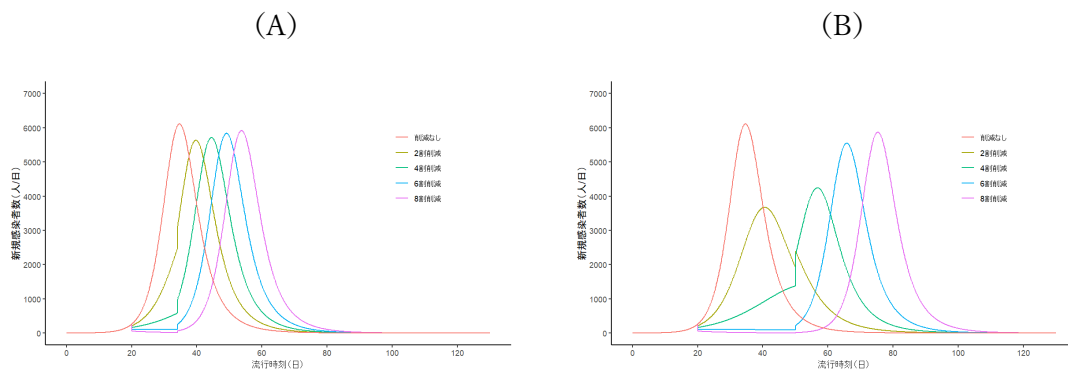
<sup>9</sup> 期間についての法制定時の議論は、岩本(2024)を参照。

<sup>10</sup> 当初は、4月7日から5月6日までの期間とされた。緊急事態宣言の発出が決定された政府対策本部の会議は4月7日夕刻に開催され、安倍首相の記者会見は19時から開始されたため、厳密には緊急事態宣言に反応した行動変容は翌日から始まったと考えるのが妥当であるが、慣習にしたがい4月7日から期間を数えている。また緊急事態の期限は5月4日に、5月31日まで延長されたが、実際には5月25日に東京都を最終に、全面的に解除された。

<sup>11</sup> 鈴木・西浦(2020b)と同じ設定である。

先送りされた波はより大きくなる。削減期間を 30 日間とした図 3 (B) では接触削減割合の違いがより大きく現れ、2 割削減では削減期間中でも流行がかなり進行し、削減終了後の波は大きくない。4 割削減の場合は削減期間中でも緩やかに流行が進行し、終了後の波と合わせると、流行の波を時間をかけて平準化している。一方で、8 割削減の場合は、流行の波を先送りするが、何も対策を取らなかった場合の波に近い大きさの波が現れている。

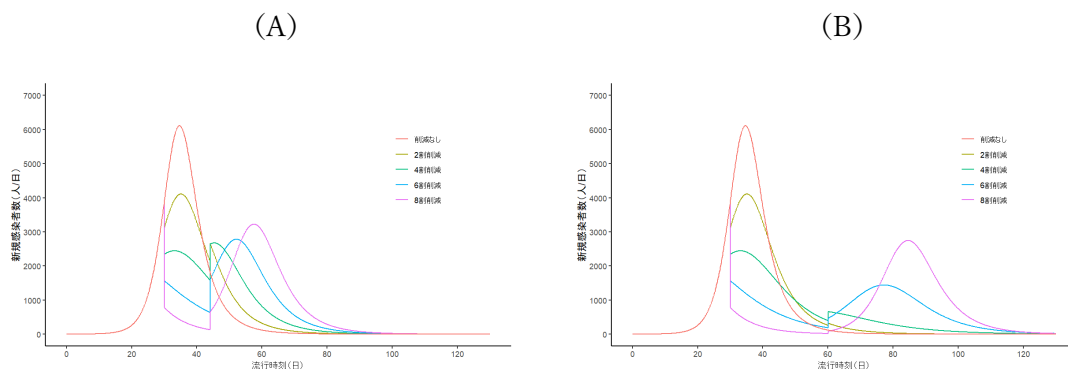
図 3 接触削減 (20 日目開始) のもとでの新規感染者数の推移



(注) 筆者計算。接触削減の期間は、(A) は 14 日間、(B) は 30 日間。

図 4 は、図 3 よりも 10 日遅れて、接触削減が始まる場合の結果を示している。接触削減が始まるまでに流行がかなり拡大しているため、接触削減割合によって、削減期間中と終了後の波の形に大きな違いがある。ただし共通して観察されるのは、接触削減によって先送りされた波の大きさは、何も対策をとらなかった場合に比較してかなり小さくなっている。図 3 のように介入が早すぎると、流行のピークを抑える効果が大きくは現れないことになる。

図 4 接触削減 (30 日目開始) のもとでの新規感染者数の推移

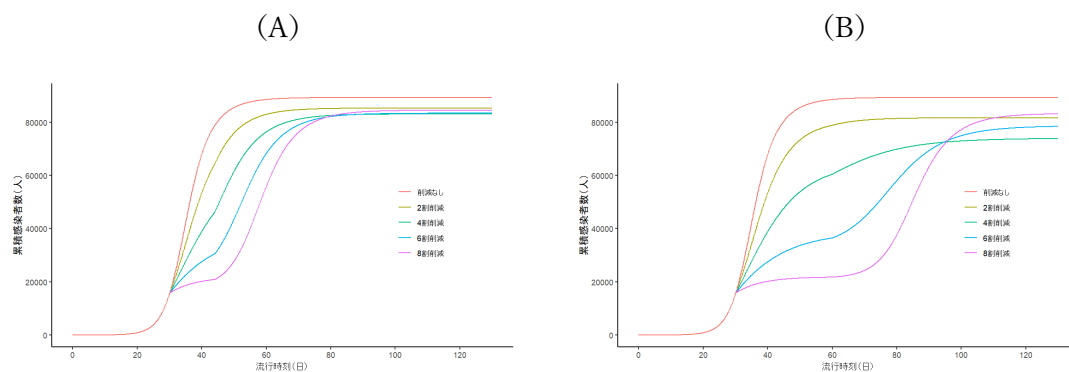


(注) 筆者計算。接触削減の期間は、(A) は 14 日間、(B) は 30 日間。

図 5 は、図 4 のシナリオのもとでの累積感染者数 (そのときまでに感染した者の総数。そのときの未感染者でない人口でもある) の推移である (付録 B には、図 3 のシナリオで

の同様の図が示されている)。接触削減期間中は接触削減割合が大きいほど累積感染者数はより強く抑制されるが、削減が終了すると再び流行が強まり、長期的には対策による差は小さくなっていく。興味深いのは、長期的には接触削減割合が大きいほど累積感染者数が小さくなるとは限らないことである。(B)では、その結果がより見やすく現れている。

図5 接触削減（30日目開始）のもとでの累積感染者数の推移



(注) 筆者計算。接触削減の期間は、(A)は14日間、(B)は30日間。

## 4. 考察

### 4.1 接触削減の設定

鈴木・西浦(2020a、2020b)は、計算期間の終わり（それぞれ300日間と130日間）まで接触削減が続くと設定している。しかし、社会に大きな負荷をかける接触削減をこれだけの長期間続けることは、社会的には受け入れがたい。新型インフルエンザ等対策有識者会議では、法・社会的な側面から見れば特措法第45条措置を長期間続けるわけにはいかず、法・社会的バランスの上で1~2週間を想定したという政府側の説明があった<sup>12</sup>。これを大幅に超えた実際の対策は社会的なバランスが崩れるものとなり、批判の声が大きくあがるのは、ある意味当然であった。

対策は効果のみならず費用（社会経済への影響）を考量して総合的に判断するべきであり、実装可能な対策をシミュレーションすることが重要である。実際にとられた対策よりもはるかに強力な対策をシミュレーションしても、現実的な選択肢を検討すべき政策立案の場面にはまったく役に立たない。そして、そのような分析をあたかも現実にも実装するような姿勢を公に示すことは、専門家の識見に一般市民が疑問を呈することになるだろう。

### 4.2 接触削減割合への含意

計算期間の終わりまで接触削減を続けると、あたかも流行の波は消えたように見えるが、実際には病原体が存在したまま多数の未感染者がいれば、接触削減をやめると感染症の流行が再び始まる。接触削減の期間を限定したシミュレーションでは、対策は流行を消すのではなく、先送りするものであることが可視化される。

そして、3節では、接触削減は流行接触削減割合が大きいほど最終的な累積感染者数が高くなるという結果が得られた。強い対策をとるほど流行を抑制して累積感染者数が減少すると直感的には考えたいが、それに反する結果となっている。モデルが非線形微分方程式で表されているため、対策の強度と効果が単調な関係にはないことが示唆される<sup>13</sup>。

しかし、この結果をもとに接触削減割合は小さい方が望ましいと結論づけるのは拙速である。単純化されたモデルが現実をとらえ損ねた部分からこのような結果が生じている可能性もある。モデルの結果を鵜呑みにするのではなく背後のメカニズムを深く考察して、そのモデルがどの程度現実に妥当し、対策の評価に資するだけの精度をもつかを検討することが必要であろう。

---

<sup>12</sup> 岩本(2024)で解説されている。

<sup>13</sup> 類似の現象として、epidemics パッケージの解説では、接触削減手段の組み合わせによっては、採用する手段が少ない方が最終的な累積感染者数が小さくなることに注目している（“Modelling intervention scenarios.” [https://epiverse-trace.r-universe.dev/articles/epidemics/modelling\\_scenarios.html](https://epiverse-trace.r-universe.dev/articles/epidemics/modelling_scenarios.html)）。

## 5. おわりに

本稿では、感染症数理モデルを用いて、被害想定と接触削減を統合的に分析する方法を解説した。その内容は、2020年に西浦教授から発信されていた内容とは異なるものとなった。まず、接触削減時における新規感染者の動きが異なる。このことが当時の対策の選択に本質的な影響を与えることは、岩本(2026a)で解説されている。また、接触削減のシナリオでは、社会的な制約を考慮に入れると、期間を限定した接触削減を想定すべきである。そのなかで、接触削減の期間と最終的な感染症流行の規模がかならずしも単調な関係にないことがわかった。

新規感染者数が瞬時に低下する現象や、対策を強めると効果が弱くなる現象は、直感に反するように見える。このようなときには、モデルと直感のどちらか、あるいは両方が現実の重要な側面をとらえ損ねている可能性に目を向けるべきである。モデルによる現実の近似がどこまでの確なものなのか、われわれがどこまで現実を理解しているのかを問うことが、現実社会での感染症対策の帰結についての理解を深めることにつながるだろう。

## 参考文献

- Gupte, P., R. Eggo, and E. van Leeuwen (2025), epidemics: Composable Epidemic Scenario Modelling. R package version 0.4.0.9000, <https://github.com/epiverse-trace/epidemics>
- 橋本紀子(2025)「緊急事態宣言「8割接触削減」の計算過程、改めてご説明します- 西浦博・京都大学大学院教授に聞く」医療維新 (2025年8月26日)。  
<https://www.m3.com/news/open/iryoshin/1292682>
- 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、3月。<https://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2024/2024cj309ab.html>
- 岩本康志(2026a)「『接触8割削減』の科学的根拠(改訂版)」  
[https://iwmtys.com/Books/2025-1/chap1\\_rev.html](https://iwmtys.com/Books/2025-1/chap1_rev.html)
- 岩本康志(2026b)「『接触8割削減』の科学的根拠の再現(再検討)」CIRJE Discussion Paper CIRJE-J-315、2月。<https://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2026/2026cj315ab.html>
- Miller, Joel C. (2012), "A Note on the Derivation of Epidemic Final Sizes." *Bulletin of Mathematical Biology*, Vol. 74 No. 9, September, pp. 2125–41.  
<https://doi.org/10.1007/s11538-012-9749-6>.
- 鈴木絢子・西浦博(2020a)「感染症の数理モデルと対策」『日本内科学会雑誌』第109巻第11号、11月、p. 2276–2280。<https://doi.org/10.2169/naika.109.2276>
- 鈴木絢子・西浦博(2020b)「新型コロナウイルス感染症の疫学について」『インフルエンザ』第21巻第4号、12月、p. 195–201。

## 付録 A 再生方程式モデル

本文で解説した常微分方程式型モデルは、より一般的なモデル（再生方程式型モデル）の特殊形として得られる。補論では、一般的なモデルから常微分方程式型モデルが導かれる過程を解説する。

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

$$New(t) = \int_0^{\infty} A(t, \tau) New(t - \tau) d\tau \quad (9)$$

で表される。ここでは式を簡単にして説明するため、モデルの初期値は無限の遠い過去にあるという便宜上の仮定を置いている。初期値（時点 0 の値）を明示的に考慮した式は、(9)式よりも少し複雑になる。(9)式右辺の  $New$ （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。 $\tau$  は感染齢（感染してからの時間）であり、(9)式では 1 次感染者と 2 次感染者の感染時点の差になる。 $A(t, \tau)$  は感染齢  $\tau$  の 1 次感染者が  $t$  時点にどれだけの 2 次感染者を生み出したかを示している。 $A$  が変数分離型と仮定すると、

$$A(t, \tau) = \mathcal{R}(t)g(\tau) \quad (10)$$

と表される。 $g$  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、確率密度関数となっている。 $\mathcal{R}$  は瞬間的再生産数 (instantaneous reproduction number) と呼ばれる、実効再生産数の一種である。(9)式に(10)式を代入すると、再生方程式は、

$$New(t) = \mathcal{R}(t) \int_0^{\infty} g(\tau) New(t - \tau) d\tau \quad (11)$$

で表される。

感染者が単位時間当たり  $\gamma$  で感染性を失う場合は、(2)式が導かれる。そして、(2)式を解くと、

$$I(t) = \int_0^{\infty} e^{-\gamma t} New(t - \tau) d\tau \quad (12)$$

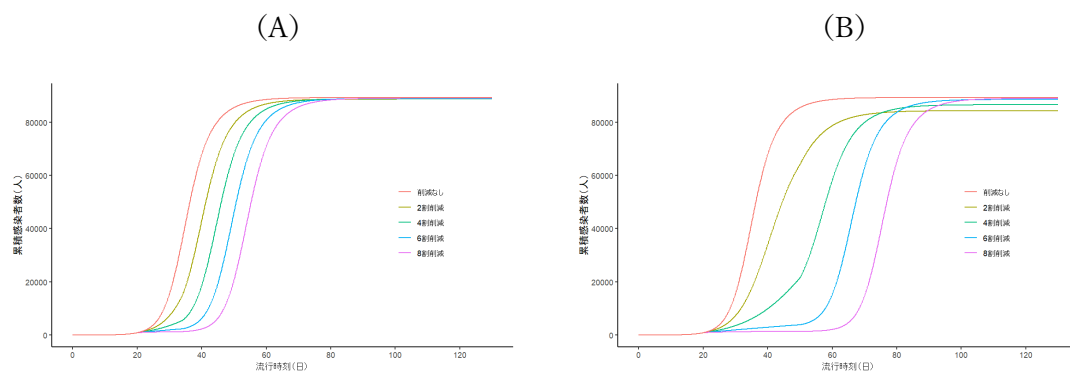
が得られる。感染者である期間で感染性が一定であるとする、 $g$  は指数分布の確率密度関数であり  $g(\tau) = \gamma e^{-\gamma \tau}$  となるので、 $\gamma^{-1}$  は 1 次感染者と 2 次感染者の感染時点の差の平均値となり、世代時間と呼ばれる。このとき再生方程式は、(11)式に(12)式を代入して、

$$New(t) = \mathcal{R}(t) \gamma \int_0^{\infty} e^{-\gamma t} New(t - \tau) d\tau = \mathcal{R}(t) \gamma I(t)$$

と表すことができる。

付録 B 接触削減（20 日目開始）のもとでの累積感染者数

図 B.1 接触削減（20 日目開始）のもとでの累積感染者数の推移



(注) 筆者計算。接触削減の期間は、(A) は 14 日間、(B) は 30 日間。