部分調整モデルによる接触削減シミュレーション

東京大学　岩本康志

2026年9月8日

2026年度日本数理生物学会年会

報告の目的

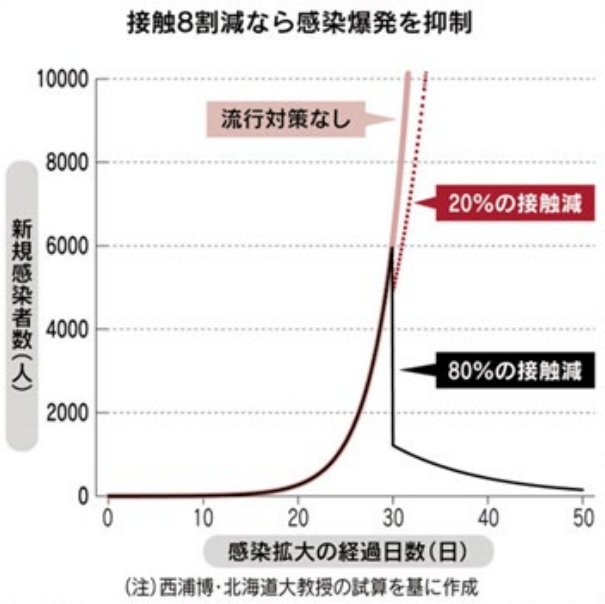
- 2024年度年会での報告「『接触8割削減』モデルでの新規感染者数予測の検証」以降の進展と、追加分析を報告する。
- 2024年度報告の要旨
  - 2020年春の緊急事態措置である「接触8割削減」は、感染症数理モデルの分析結果が根拠となった。しかし、新規感染者と感染者が取り違えられていた。
  - このため、対策の選択に影響が及ぶものとなった。
  - 政策過程の研究では、感染症専門家が提供した分析結果を無批判に受容して、当時の政策過程を研究することは、事実誤認から出発するため、危ういものとなる。
- この話題は、拙著『コロナ対策の政策評価』（岩本2025）第Ⅰ部で扱われたが、第1章について、新たな事実が明らかになった（岩本2026a、2026b）。
  - 接触削減の使用されたモデルはSIRモデルと推測されていたが、別種のモデルであった。
  - 第1章の改訂版を公開。
- 以前の発信を修正し、新事実にもとづく新たな政策評価を提示する。
  - 使用されるモデルについての言及は修正されるが、このモデルを使用することが問題であることの趣旨は維持される。

接触8割削減のシミュレーション

西浦教授の試算で、接触8割削減時の新規感染者の下落の姿がまったく異なる。

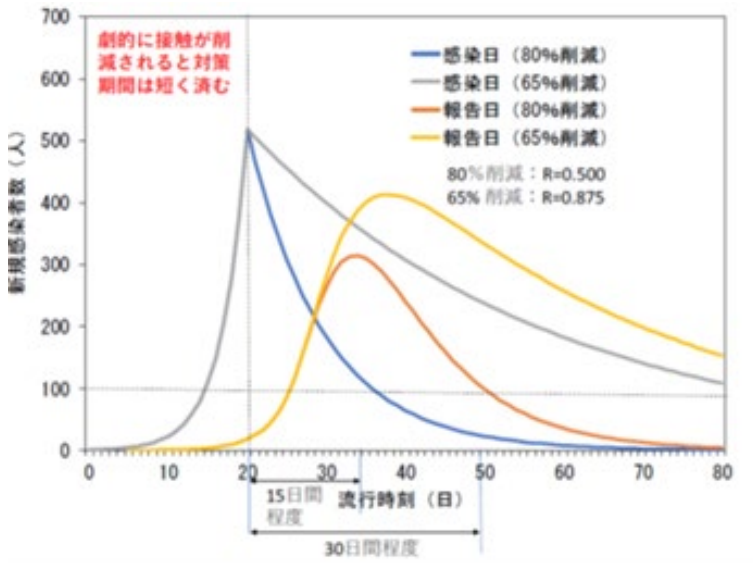
（左）垂直降下　　（右）徐々に降下

4月3日　日本経済新聞、NHK報道



（出所）「欧米に近い外出制限を」　西浦博教授が感染者試算: 日本経済新聞（2020年4月3日）

4月22日　専門家会議



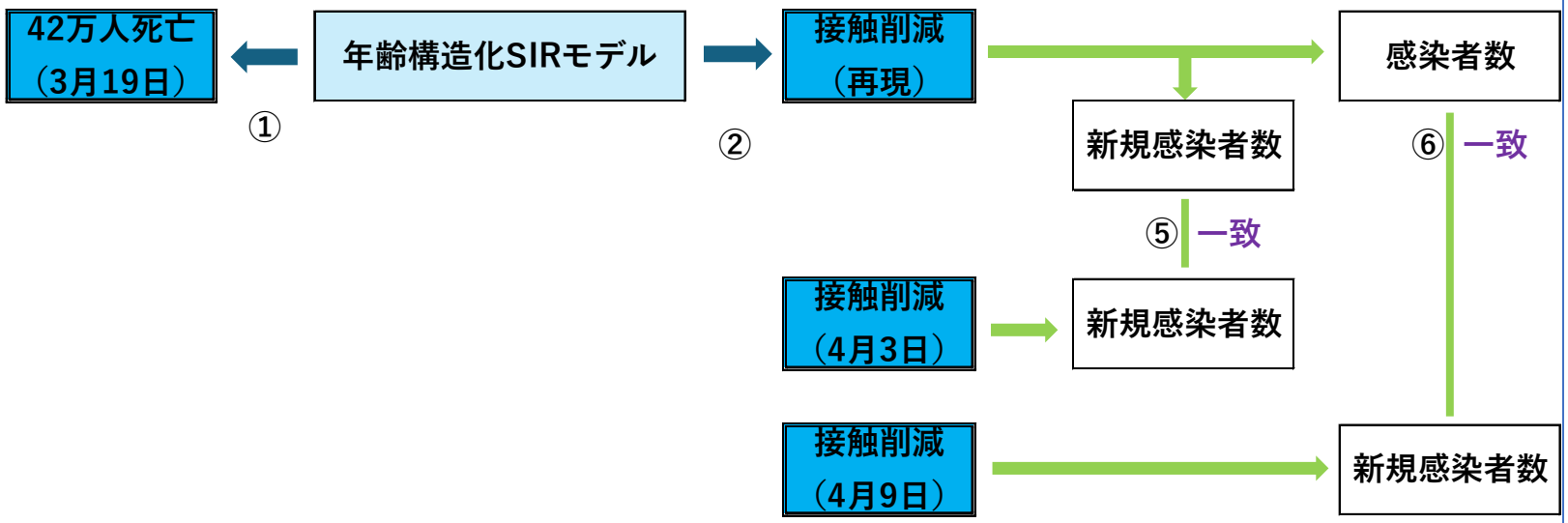
（出所）「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（新型コロナウイルス感染症対策専門家会議、2020年4月22日）

（注）安倍首相の国会答弁（4月29日）の根拠となる。同様の図は4月9日に公開された。

これまでの理解　Citizen science

- 左図（垂直降下）が正しい。
- 右図に示されたのは新規感染者（フロー）ではなく、感染者（ストック）であることが、匿名の市民による再現作業で指摘された。
- 煙人計画氏（2020年5月2日）
  - https://dromozoa.github.io/covid-19/tokyo.html
  - 「1999年の東京ナロードニキ大学（註1）の卒論発表会で、このようなポンチ絵をプレゼンテーションしたら、舟をこいでいた学科長がクワッと眼を見ひらき、「どうして点線が傾いているのですか？」と即座に落第を言いわたされただろう。」
- sarkov28氏（2020年9月8日）
  - https://sarkov28.hatenablog.com/entry/2020/09/28/171523
  - 再現したコードを公開。
- 追加の再現作業は、岩本(2023a、2023b)、仲田・芳賀沼・塚原(2023)でされた。
  - この問題が政策過程でどの程度、重要なのかの評価をおこなった。
  - 岩本は、垂直降下しない理由を接触削減割合を徐々に大きくする設定ではないかと想像して、とくに問題視していなかった（経済学では「部分調整モデル」として知られている設定）。2022年にsarkov28氏の指摘に気づく。

これまでの理解：左図（垂直降下）が正しい



①年齢構造化SIRモデルは「42万人死亡」のもとになる。
②年齢構造化SIRモデルで接触削減のシミュレーションを再現する。
⑤再現された新規感染者は、4月3日発表の新規感染者のグラフと一致する。
⑥しかし、4月9日発表の新規感染者のグラフと一致するのは、再現された感染者数である。
※説明の都合上、番号が飛んでいる。

岩本(2025、第1章)で詳説。

『コロナ対策の政策評価』好評発売中！

- **『読書アンケート 2025――識者が選んだ、この一年の本』**（みすず書房、2026）に掲載されました。
- **『経済セミナー』**　2026年2・3月号に書評が掲載されました。評者は井伊雅子氏です。
- **『日本経済新聞』**　2025年12月27日に2025年の「エコノミストが選ぶ経済図書ベスト10」の第7位に選ばれました。
- **『文藝春秋』**　2025年10月号に書評が掲載されました。評者は橘玲氏です。
- **『日本経済新聞』**　2025年8月23日に短評で取り上げられました。
- **『m3.com』**　2025年8月13日（第1回）、8月20日（第2回）に著者インタビュー記事が掲載されました。
- **『週刊エコノミスト』**　2025年8月12日・19日合併号に書評が掲載されました。評者は土居丈朗氏です。
- **『週刊東洋経済』**　2025年8月9日・16日合併号に書評が掲載されました。評者は河野龍太郎氏です。
- **『SERENDIP』**　2025年8月6日に取り上げられました。
- **『毎日新聞』**　2025年7月29日にブックウォッチングで取り上げられました。
- **『朝日新聞』**　2025年7月26日に書評が掲載されました。評者は酒井正氏です。
- **『毎日新聞』**　2025年6月28日に書評が掲載されました。評者は大竹文雄氏です。

- サポートページは、https://iwmtyss.com/Books/2025-1/index.html



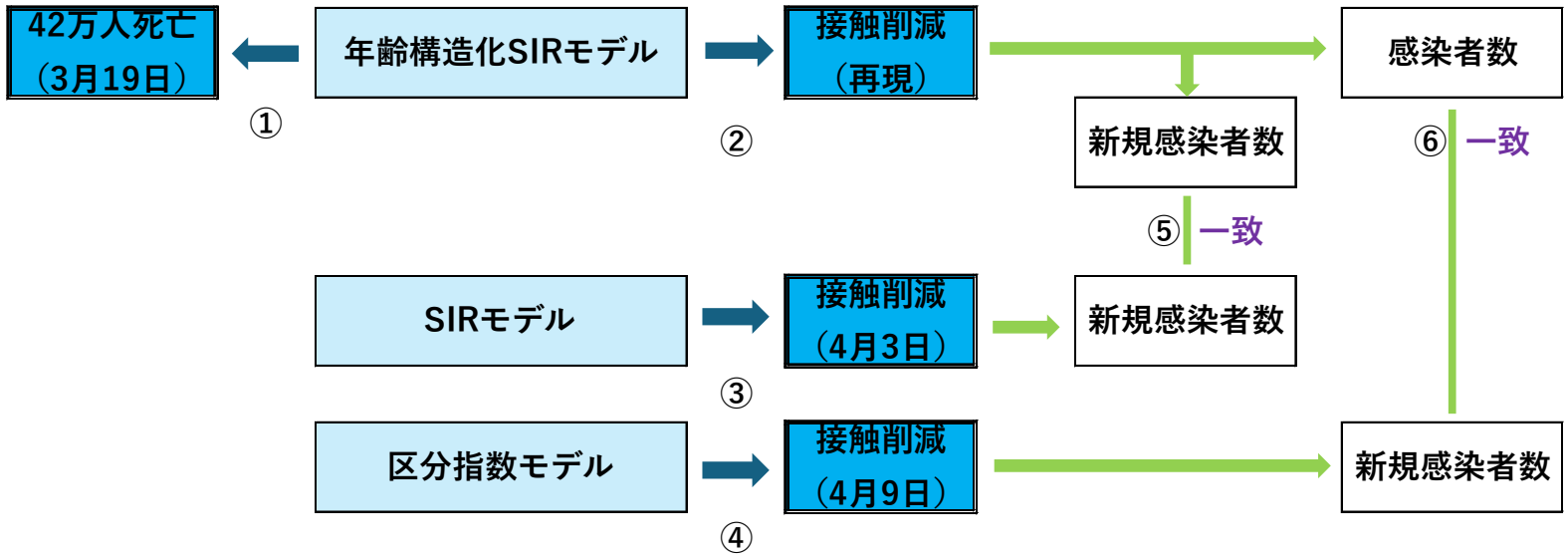
新事実の判明

- 稲葉寿教授が、西浦教授に「感染者ストックとフローの取り違えはあったのかどうか」を問い合わせた。
- 西浦教授から「**取り違えていない**」という回答があり、接触削減のシミュレーションでは**別のモデルを使った**という。
- 岩本は、その回答を稲葉教授から7月28日にメールで教えていただいた。
- 岩本は、8月9日にブログ記事「『接触8割削減』のモデルに関する新事実」を公開。
- 西浦教授は稲葉教授に回答する際に、**当時メディアにブリーフィングする際に使用したスライド**も提供された。稲葉教授はそれも私に転送された。
- スライドの引用方法を相談するために、7月30日に初めて西浦教授にメールでコンタクトをとったが、ご返事をいただいていない。
- 8月26日に、西浦教授のインタビュー記事が公開（橋本2025）

（日付は2025年）

新事実に基づく理解

接触削減では、被害想定とは別のモデルを使っていた（ここでは区分指数モデルと呼ぶ）。



①年齢構造化SIRモデルは「42万人死亡」のもとになる。

②年齢構造化SIRモデルで接触削減のシミュレーションを再現する。

③SIRモデルは4月3日発表の「接触削減」のもとになる。「42万人死亡」モデルと同一かは不明。

④区分指数モデルは4月9日発表の「接触削減」のもとになる。

⑤再現された新規感染者は、4月3日発表の新規感染者のグラフと一致する。

⑥しかし、4月9日発表の新規感染者のグラフと一致するのは、再現された感染者数である。

「接触削減」シミュレーションのモデル

- 区分指数モデル（exponential growth model)と呼ぶことにする。
- 岩本(2026b、付録D)にくわしい記述。
- シミュレーションはt_0時点から始まり、接触削減はt_1時点で起こるとする。
  - 接触削減率は区間（接触削減前と後）ごとに一定とするが、区間の境界では不連続。
- **新規感染者*New*は、区間ごとに指数関数的に増加（減少）する。**区間ごとに変化率一定。
- 接触削減前（$t_0 \leq t \leq t_1$）

$$New(t) = New(t_0)e^{r_1(t-t_0)}$$

- 接触削減後（$t_1 < t$）

$$New(t) = New_1 e^{r_2(t-t_1)}$$

- **不連続モデル**　$New_1 \neq New(t_1)$
- **連続モデル**　$New_1 = New(t_1)$

区分指数モデル（不連続）とSIRモデルとの関係

- SIRモデル

$$New(t) = \beta_0 X(t) S(t) I(t) \quad \text{（未感染者の動学）}$$

$$\dot{I}(t) = New(t) - \gamma I(t) \quad \text{（感染者の動学）}$$

- **人口が全部未感染者（$S(t) = 1$）で近似できるとすると、**

$$New(t) = \beta_0 X(t) I(t), \quad \frac{\dot{I}(t)}{I(t)} = (\mathcal{R}_0 X(t) - 1)\gamma$$

SIRモデルは、区分指数モデル（不連続モデル）になる。

- 新規感染者数と感染者数は比例
- 新規感染者数と感染者数の変化率は等しく、区間で一定
- 接触開始時点で、新規感染者数は接触削減率だけ瞬時に低下する

- 接触削減前（$t_0 \le t \le t_1$）：$X(t) = 1$

$$New(t) = \beta_0 I(t), \quad r_1 = \frac{\dot{New}(t)}{New(t)} = \frac{\dot{I}(t)}{I(t)} = (\mathcal{R}_0 - 1)\gamma$$

- 接触削減後（$t_1 < t$）：$X(t) = 1 - x$　（8割削減なら$x = 0.8$）

$$New(t) = (1 - x)\beta_0 I(t), \quad r_2 = \frac{\dot{New}(t)}{New(t)} = \frac{\dot{I}(t)}{I(t)} = [\mathcal{R}_0(1 - x) - 1]\gamma$$

どうして違うモデルを使うのか

西浦教授は、接触削減で被害想定と違うモデルを用いる理由を以下のように説明。

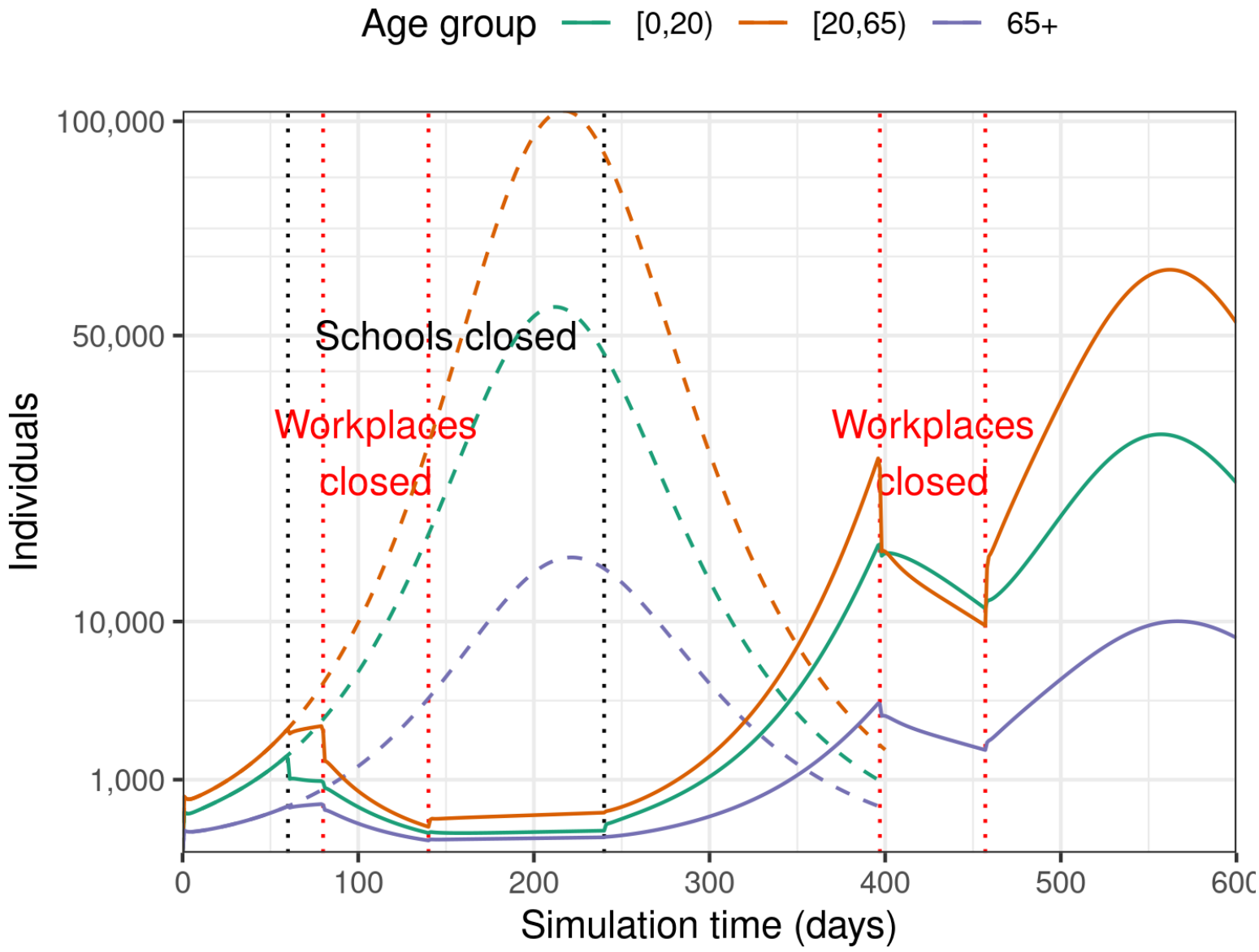
「**被害想定の分析では**、常微分方程式系のSIRモデルに相当するものに３つの年齢群を加味して記述しました。というのも、被害想定時のシミュレーションの**目的は、「何も対策を講じなかった場合」の感染者数や入院患者数、死亡者数を把握すること**です。この場合、基本再生産数は固定されますし、かつ「対策を一切行わない」ため、感受性宿主が人口内で劇的に減少する大規模流行が起こることになります。その実現にあたって最も単純なアプローチが**常微分方程式系のSIRモデル**であると言え、被害想定ではそれを利用しました。

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（Rt）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**ことになります。」（橋本2025、強調は引用者）

SIRモデルで接触削減は分析できる

- これまでの再現作業に加えて、以下の事例がある。

1. 経済学では、実効再生産数を対策に応じて柔軟に変化させることを、常微分方程式系のSIRモデルで研究してきている（展望論文にIwamoto 2021）。
   - 疫学でできないとされているならば、疫学と経済学で対話が必要かもしれない。
2. London School of Hygiene & Tropical Medicineが開発している、R言語パッケージepidemicsは、SEIRVモデルで接触削減を分析する（Gupte, Eggo and van Leeuwen 2025）。
3. 鈴木・西浦(2020a、2020b)ではSIRモデル、SEIRモデルで接触削減のシミュレーションをしている。
   - ここでは、新規感染者と感染者数の取り違えが起こっているとの指摘がある（sarkov28 2021）。



（出所）“Modelling overlapping and sequential interventions targeting social contacts” https://epiverse-trace.github.io/epidemics/articles/modelling_multiple_interventions.html

区分指数モデルを使用する理由

- SIRモデルを使うデメリットは、ほぼない。
  - 区分指数モデルより計算は複雑だが、一つのシナリオは数秒で計算できる。
- 区分指数モデルを使うデメリットはある。
  1. 「42万人死亡」のモデルは、標準的な考え方に立脚している。したがって、**「42万人死亡」の論理と「接触削減」の論理は矛盾する**。
  2. 感染対策として接触を減らそうとするのは、接触と新規感染が関係をもつと考えているからである。しかし、その根拠とされる連続モデルがそのような関係をもたないと、**対策は自己矛盾を起こす**。言い換えると、「接触削減」の実践の論理と「接触削減」の根拠の論理は矛盾する。

漸次的削減

Research question

「接触と新規感染が比例する関係を維持しながら、連続モデルのような結果を出せないか?」

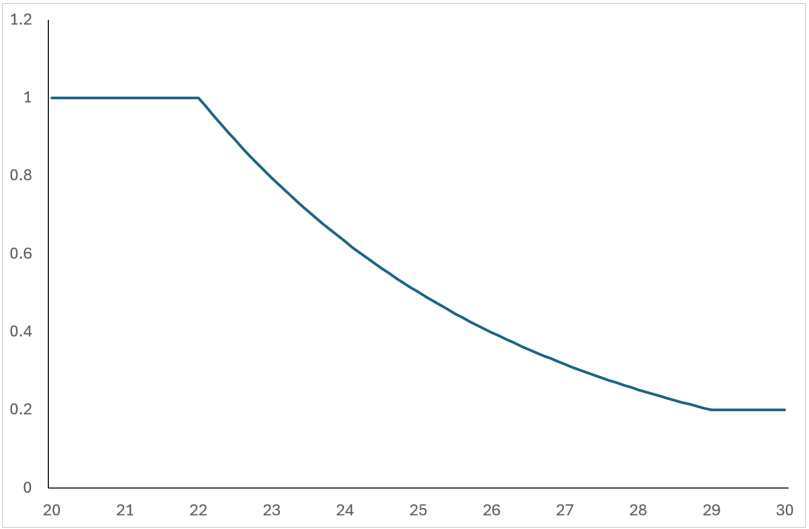
- 連続モデルを感染症専門家が問題視しなかったのは？
  - 何らかの合理性を感じたのかもしれない。
- 標準的考え方とは違う、対策内部で矛盾を起こす、という批判から逃れることができる。

- 接触が不連続に削減されるのではなく、連続に次第に削減すると定式化すればよいのでは？
  - 在宅勤務の切り替えは緊急事態宣言発出翌日にすぐできないので、数日かけて目標達成を目指す、という行動変容は自然に見える。
  - 経済学ではこれは自然な発想であり、「部分調整モデル」と呼ばれる定式化が色々な場面で使用される。

漸次的削減のシナリオ

「接触を、直ちに◯割削減した後、◯日間かけて◯割まで削減する。」

- ここで考える設定
  - 直ちに {0割、4割}
  - {7日間、14日間}かけて
  - {8割、7割}



部分調整モデルの定式化

- 年齢階層iの新規感染者

$$New_i(t) = \beta_0 X_i(t) \frac{S_i(t)}{N_i} \sum_j I_j(t)$$

- 削減期間中は、目標水準と現在の水準の乖離の一定割合を調整する。

$$\dot{X}_i(t) = \theta\left(\bar{X}_i - X_i(t)\right)$$

- 「計算始期はt_0。削減開始時 t_1 に接触を、直ちに$\boldsymbol{x_1}$だけ削減…」

$$X_i(t) = (1 - x_1) X_i(t_0) e^{-\theta(t - t_1)}$$

- 「…した後、 $\boldsymbol{(t_2 - t_1)}$の時間をかけて$\boldsymbol{x}$まで削減する。」

$$X_i(t_2) = (1 - x_1) X_i(t_0) e^{-\theta(t_2 - t_1)}$$
$$= \bar{X}_i = (1 - x) X_i(t_0)$$

- 調整率は、

$$\theta = -\frac{\log \frac{(1 - x)}{(1 - x_1)}}{t_2 - t_1}$$

コード

- Rで作成。
- deSolveパッケージを用いて、時間依存の係数をもつ微分方程式を解く。
- パラメータは、2025年3月19日の専門家会議資料を再現するもの。
- $t_0 = 0$
- $t_1 = 22$（1日当たり新規感染者数が500人を超える日。西浦教授の接触削減シミュレーションの20日とは違う。詳細は岩本2026b）

図2　削減期間の比較

接触削減の最初はわずかしか接触が減少しないので、「実効再生産数>1」。削減期間7日間の場合はすぐに減少に転じるが、14日間の場合は新規感染者が減少に転じるまでにかなり大きくなる。

新規感染者数が100人を切るのは7日間と14日間で10日の開きがある。

感染日から報告日まで2週間の遅れがあると考えると、1か月以内に100人を切ることを確認することは、7日間では可能だが、14日間ではできない。

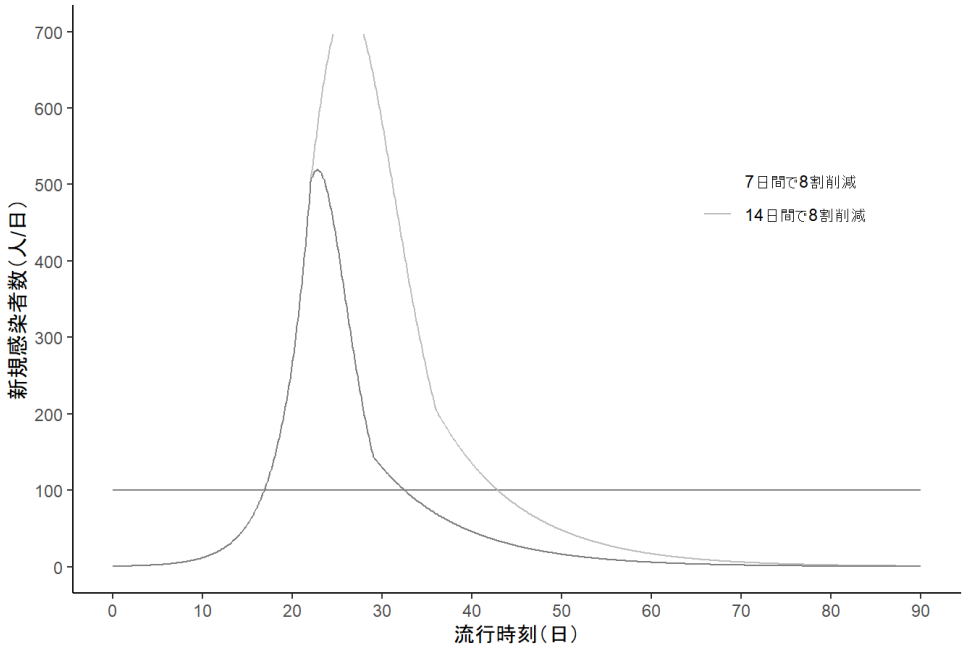


図3　即時4割削減の場合

すぐに新規感染者が減少するように、削減開始時に瞬時に4割削減する（実効再生産数が2.5の場合、1.5に減少）。

100人を切るのは、7日間と14日間で6日の違いがある。

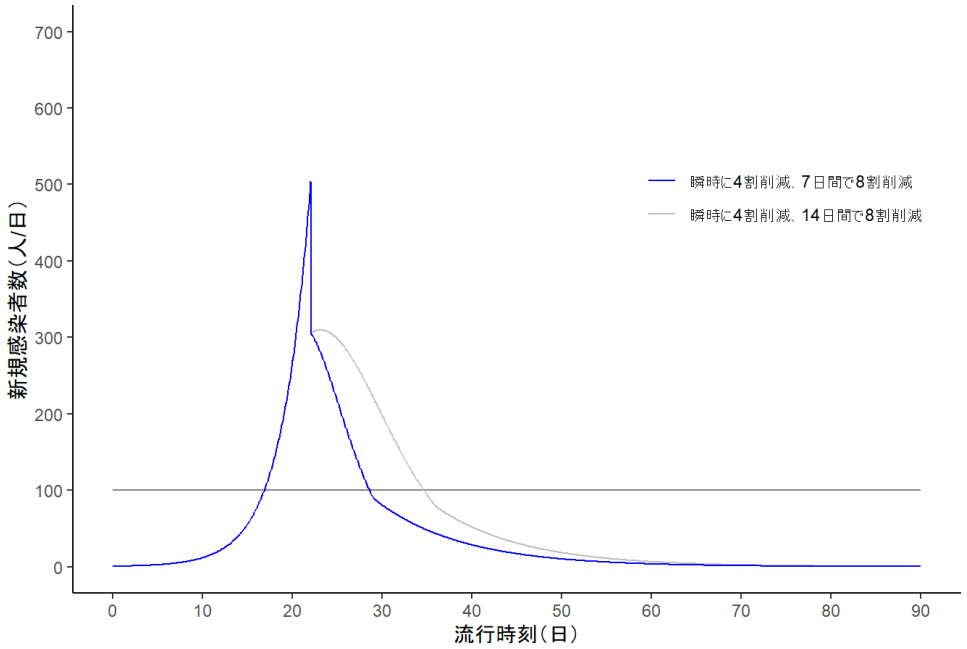


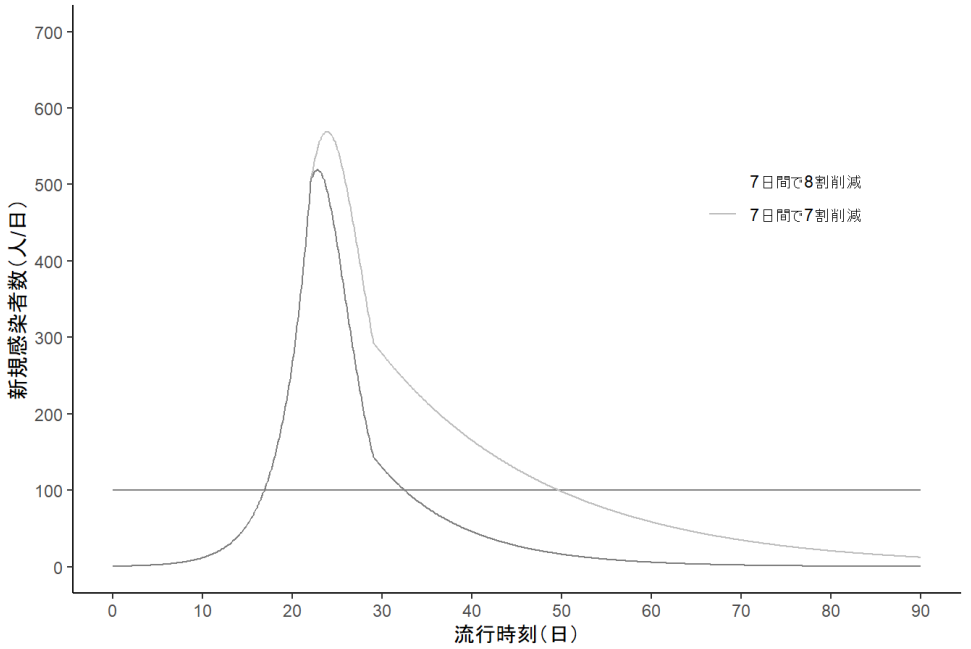
図4（A）　接触削減割合の比較

新規感染者数が100人を切るのは、

8割の場合は10日目

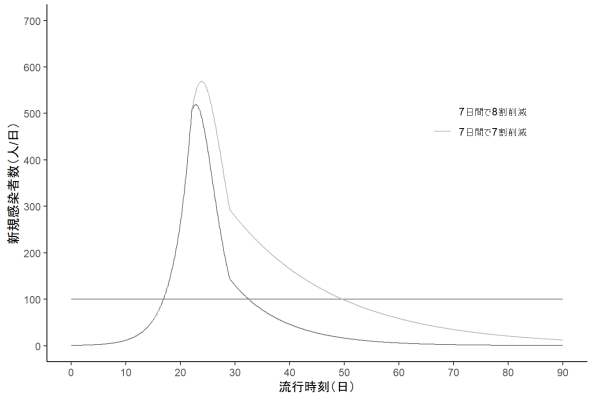
7割の場合は27日目。

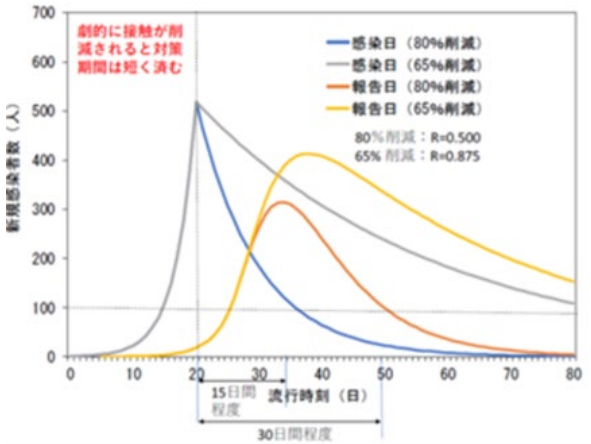
本稿で示す図のなかで、8割削減と7割削減の差が最も目立つ。



まとめ

- 漸次的な接触削減を想定すると、新規感染者が緩やかに減少する現象を示すことができる。
- その形状は設定によるが、西浦教授が区分指数モデルによって示したような形状と似たものも表すことができる。
  - モデルの標準的な考え方と矛盾するものより、モデルの枠内で分析が拡張されているものが望ましいだろう。





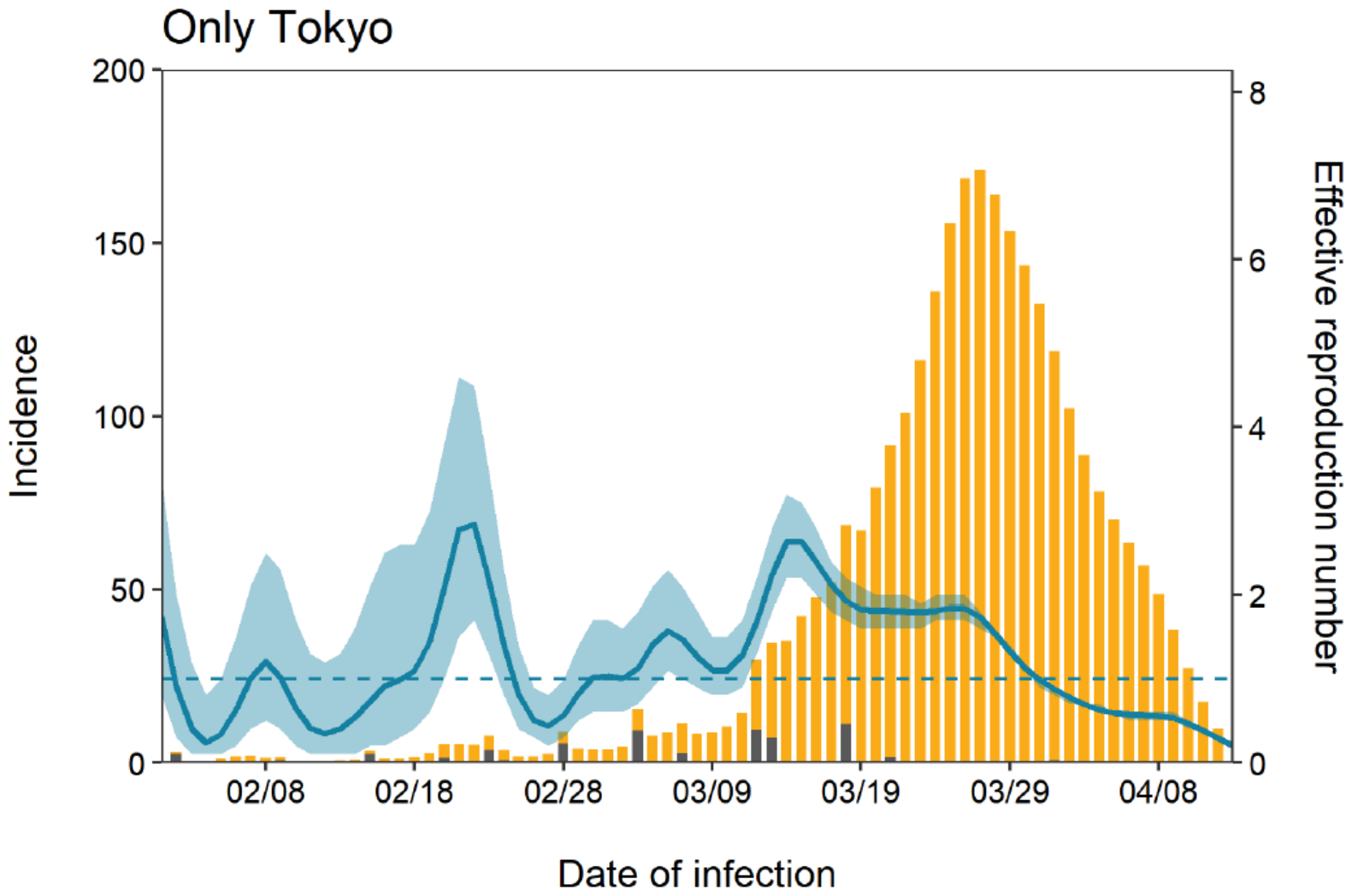
2020年春の政策過程への含意

- 漸次的な削減を現実的な選択肢として考慮すべきではないか。
- 削減の帰結は自明ではなくなり、シミュレーションを政策担当者に示す価値は一層、高まる。
- どのようなシナリオを考えているのか、すべてのパラメータが明示される必要がある。
  - パラメータが2つ増えたので、最終目標（8割削減か、7割削減か）だけを抜き出しても、シナリオを表現できていない。
- 別のモデルで支持されるから当時の感染症専門家の発信に問題がなかった、とは言えない。
  - 科学的助言は、帰結に至るまでの論理的整合性が問われる。
  - 最終目標だけが示され追加パラメータが無視されることで、選択肢が歪められており、意思決定は混乱する。

現実妥当性

- 漸次的削減モデルが現実を説明できているかは、さらに注意深い検討が必要である。
- 2020年春の接触削減により実効再生産数や新規感染者数が低下したとはいえない。
- 本稿は、漸次的削減モデルが2020年の流行を説明すると主張するものでもない。
  - ピークの原因の候補となる接触削減の分析手法を深めただけである。

【図 4. 東京都における実効再生産数】



出所）「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（新型コロナウイルス感染症対策専門家会議、2020 年5 月1 日）（強調は引用者）
https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000627254.pdf

経済学での感染症数理モデルの利用

- Gersovitz and Hammer (2004)
  - SIRモデルでの接触と経済活動をリンクさせる。感染症対策の費用を明示的に考慮。
  - 執筆はSARS1前。
- Atkeson (2020)
  - SIRモデルの解説論文
  - 2020年3月に、世界的に影響力のあるプレプリントサーバー（NBER Working Paper）で公開。
  - 時間依存の β が導入される。部分調整モデルを使用。
- その後の進展
  - 感染症の流行を見て、人々は予防的に行動する。
  - 年齢階層、産業を多次元化

行動SIRモデルでの最適化問題の設定

（経済学での感染症対策の基本的分析のご紹介。詳細は Iwamoto 2021）

- SIRDモデルでの伝播率を経済活動の関数とすることで、感染症対策の費用（所得の低下）を考慮する。

$$\dot{I}(t) = \beta\big(1 - y(t)\big)S(t)I(t) - \gamma I(t)$$
$$\dot{R}(t) = \gamma I(t)$$
$$S(t) + I(t) + R(t) = 1$$
$$\dot{N}(t) = -\phi\big(I(t)\big)\gamma I(t)$$

  - y:所得の低下率、ϕ:致死率
- 所得の低下と、死亡者の統計的生命価値を損失とする。SIRDモデルの動学の制約のもとで、損失を最小化する。

$$\min_{y(t)} \int_0^{\infty} e^{-\rho t}\left[N(t)y(t)\bar{Y} + \left(-\dot{N}(t)\right)\mathrm{VSL}\right]dt$$

  - ρ:割引率、$\bar{Y}$:潜在GDP、VSL:統計的生命価値

参考文献

- Atkeson, Andrew (2020), “What Will Be the Economic Impact of COVID-19 in the US? Rough Estimates of Disease Scenarios,” NBER Working Paper No. 26867, March. https://doi.org/10.3386/w26867
- Gersovitz, Mark, and Jeffrey S. Hammer (2004). “The Economical Control of Infectious Diseases,” Economic Journal, Vol. 114, No. 492, January, pp. 1-27. https://doi.org/10.1046/j.0013-0133.2003.0174.x
- 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/iryoishin/1292682
- 稲葉寿(2025)私信。
- Iwamoto, Yasushi (2021), “Welfare Economics of Managing an Epidemic: An Exposition,” *Japanese Economic Review*, Vol. 72, Issue 4, September, pp. 537–579. https://doi.org/10.1007/s42973-021-00096-6
- 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(2025)『コロナ対策の政策評価　日本は合理的に対応したのか』慶応義塾大学出版会。
- 岩本康志(2026a)「『接触8割削減』の科学的根拠（改訂版）」https://iwmtyss.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
- 仲田泰祐・芳賀沼和哉・塚原悠貴(2023)「第一波感染シミュレーションの再現性」。https://www.bicea.e.u-tokyo.ac.jp/policy-analysis-65/
- 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、pp. 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、pp, 195-201。