

新型コロナウイルス感染症と経済学

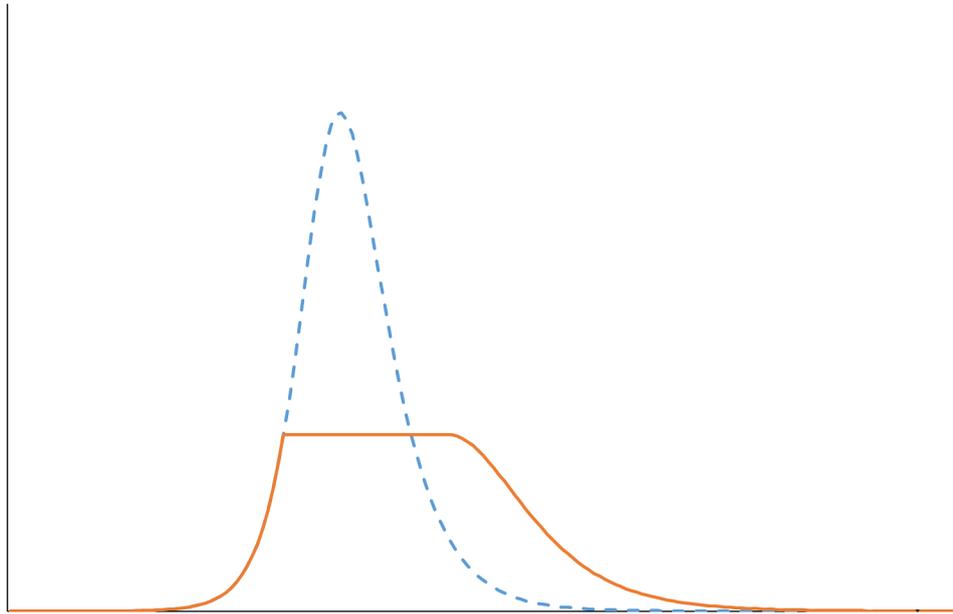
付録 図8の設定

岩本 康志

目次

新型コロナウイルス感染症と経済学.....	1
付録 図8の設定.....	1
付録 図8の設定.....	2
1. 線形費用の場合の感染症対策.....	2
2. 基本再生産数、平均世代期間、統計的生命価値.....	3
3. 感染者の初期値.....	5
4. 致死率.....	5
5. 感染症対策の費用.....	7
6. 最適な感染機会削減行動.....	7
7. ファイルの構成.....	8
参考文献.....	8

図8 線形費用の場合の感染者数の推移



(注) 横軸は時間、縦軸は感染者数を表す。実線は、線形費用のもとで内生的予防行動がとられた場合の感染者数の推移。感染者が増加して感染予防の限界便益が限界費用に達すると、感染者数を一定に維持しようとする。点線は、予防行動がとられず感染率が一定の場合の感染者数の推移。

(出所) 筆者作成。

付録 図8の設定

1. 線形費用の場合の感染症対策

この付録では、図8で示したシミュレーションのモデルとパラメータについて解説する。

Iwamoto (2021, eq.19)で示された貨幣価値化された厚生損失のなかで各時点の感染力削減に関する部分は、感染することの費用と感染症対策の費用となる。未感染者1人当たり費用としては、

$$\lambda_I(t) \text{new}(1-x(t)) + y(x(t))\bar{Y} = \lambda_I(t)\beta_0(1-x(t))I(t) + y(x(t))\bar{Y} \quad (1)$$

と表すことができる。(1)式の感染症対策の費用 y は、感染機会削減率 x の一般的な関数形で表されている。

感染することの社会的費用 λ_I は、SIRモデルでは将来の感染状況に依存し、非常に複雑な形となる (Iwamoto, 2021, eq.30)。個人の選択を考える際には、静学的外部性と動学的外部性に関する項が無視されるので、 λ_I は、

$$\lambda_I(t) = \int_t^{\infty} e^{-(\rho+v+\gamma)(s-t)} (VSL - \lambda_N(s)) \phi(I(t)) \gamma ds \quad (2)$$

となる。これは、感染によって生じる死亡損失の割引現在価値である。死亡損失は将来の所得変動に影響を受けるが、実際に計測する際には統計的生命価値の推計誤差よりも影響は小さいと思われるので、(2)式での λ_I を無視することができると仮定すると、死亡損失の割引現在価値は時間について一定で、

$$\lambda_I(t) = \frac{VSL\phi(I(t))\gamma}{\rho + v + \gamma} \quad (3)$$

となる。 γ は感染性期間の逆数であり、割引率 ρ とワクチン到来確率 v よりもはるかに大きいので、 $\rho + v + \gamma \approx \gamma$ が成立すると考えると、(3)式より、

$$\lambda_I(t) \approx VSL\phi(I(t)) \quad (4)$$

が求められる¹。つまり、感染することの私的費用は、新型コロナウイルス感染症による死亡者の統計的生命価値と致死率の積で表される。(4)式を(1)式に代入すると、

$$VSL\phi(I(t))\beta_0(1-x(t))I(t) + y(x(t))\bar{Y} \quad (5)$$

となる。したがって、内点解をもつ場合には、(5)式を x で微分して0と置くことで、最適化条件は、

$$\frac{VSL}{\bar{Y}}\phi(I(t))\beta_0I(t) = \frac{dy}{dx}(t) \quad (6)$$

として求められる。

感染機会削減の限界費用が一定の場合には、内点解がなく、最適な感染機会削減行動は、

$$\frac{VSL}{\bar{Y}}\phi(I(t))\beta_0I(t) > \frac{dy}{dx} \text{のとき、} x(t) = 1$$

$$\frac{VSL}{\bar{Y}}\phi(I(t))\beta_0I(t) = \frac{dy}{dx} \text{のとき、} 0 \leq x(t) \leq 1$$

$$\frac{VSL}{\bar{Y}}\phi(I(t))\beta_0I(t) < \frac{dy}{dx} \text{のとき、} x(t) = 0$$

となる。

図8の計算に当たり、パラメータは以下のように設定した。

2. 基本再生産数、平均世代期間、統計的生命価値

CDCのシナリオ²の標準値にしたがい、基本再生産数を2.5、平均世代期間($1/\gamma$)を6

¹ (2)式でワクチン到来確率でも割り引かれる形となるのは、ワクチンが到来した時点で感染者も感染前経済の状態に戻ると仮定されたためである。これはIwamoto (2021)で最適解を議論しやすくするための便宜的な仮定であって、現実的ではない。しかし、最終的に(4)式でワクチン到来確率が消去されるので、ここでの議論に本質的な影響はない。

² COVID-19 Pandemic Planning Scenarios (<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html>)。

日とする。感染率 β_0 は、 $\beta_0 = \mathcal{R}_0\gamma = 2.5/6$ で与えられる。Hall, Jones and Klenow (2020)にしたがい、1人当たり消費の51年分とするが、感染症対策費用がGDP当たりなので、消費はGDPの3分の2とみなし、1人当たりGDPの34年分と設定する。表A.1は、Iwamoto (2021)で紹介された先行研究でこれらの値がどのように設定しているのかをまとめたものである。

表 A.1 基本再生産数、平均世代期間、統計的生命価値の設定

	基本再生産数	平均世代期間 (日)	統計的生命価値 (1人当たり年間消費 当たり)
本稿	2.5	6	51
CDC	2.5	6	
Atkeson	2.5 (p.13)	8 (p.17)	
Hall, Jones and Klenow			51 (Table 1) ⁽¹⁾
Acemoglu et al.	1.9	18	53 ⁽²⁾
Alvarez, Argente and Lippi	3.6 ⁽³⁾	18	30
Chari, Kirpalani and Phelen	2.5 (Table 1)	18 (Table 1)	15 (p.8)
Eichenbaum, Rebelo and Trabandt	1.45 (p.5164)	18 (p.5161)	240 (pp.5162–5163) ⁽⁴⁾
Jones, Phillipon and Venkateswaran	2.0 (p.5200)	20 (p.5200)	75 (p.5201) ⁽⁵⁾

(注) 空欄は、該当する数値が無いことを示す。括弧内は、出典の所在を示す。太字は、本稿で設定された数値の根拠となったものである。

- (1) 0.81%の死亡リスクを避けることの支払意思額が年間消費の41%であることから、 $41\%/0.81\% \approx 51$ となる。
- (2) GDPの35年分。
- (3) $\beta/\gamma = 0.2 \times 18$ 。
- (4) 統計的生命価値が930万ドル、年間労働所得（消費に相当すると仮定）が58,000ドル。
- (5) 統計的生命価値の5%がGDPの2.5年分。

Acemoglu et al. (2021)、Eichenbaum, Rebelo and Trabandt (2021)は表A.1では小さい値となっているが、初期の版から下方に変更されている。平均世代期間については、Atokeson

(2020)の初期の版が発症期間の18日を用いていて、他の研究はそれを踏襲している。しかし、新型コロナウイルス感染症では、平均世代期間は発症期間よりも短いとされている。

3. 感染者の初期値

シミュレーションでは、人口は1に基準化され、感染者の初期値 $I(0)$ に小さな値を与える。各研究では、表A.2のように設定されている。Atkeson (2020)をのぞく先行研究は0.1%から1%で設定している。これは患者が確認されたときにはすでに市中感染が進行していた欧米諸国には適しているが、日本では、2020年1月15日に最初の患者が確認されて以降、感染は警戒されており、累積感染者が人口の 10^{-6} （100万分の1）を超えて、135人になったのは2月22日、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議が「これから1～2週間が瀬戸際」とする見解を発表したのが2月24日、政府がイベント等の自粛を要請したのは2月26日であった。このような日本の状況に合わせるために、本稿では初期値を 10^{-6} とした。

表 A.2 感染者の初期値の想定

	感染者の初期値 $I(0)$	回復・死亡者の初期値 $R(0)$
本稿	10^{-6}	0
Atkeson (p.8)	10^{-5}	0
Acemoglu et al.	0.005	0.005
Alvarez, Argente and Lippi	0.01	0.01
Chari, Kirpalani and Phelen (p.8)	0.005	0
Eichenbaum, Rebelo and Trabandt (p.5162)	0.001	0
Jones, Phillipon and Venkateswaran (p.5201)	0.01	0

(注) 括弧内は、出典の所在を示す。括弧内は、出典の所在を示す。

4. 致死率

CDCのシナリオでの死亡率は、年齢階層別に推計したLevin et al. (2020)に準拠しているが、本稿では人口の平均の死亡率を用いるので、Meyerowitz-Katz and Merone (2020)をもとに0.68%を出発点とする。そして、感染のピーク時に死亡率が2～3倍に高まると設定している研究が多いことから、本稿では出発点の2.5倍の1.7%とした。表A.3は、先行研究での致死率の設定を示したものである。また、図A.1には、 I が増加すると死亡率が高まることを想定した、Alvarez, Argente and Lippi (2020)、Eichenbaum, Rebelo and Trabandt (2021)、Jones, Phillipon and Venkateswaran (2021)の想定での致死率の動きを図示したものである。

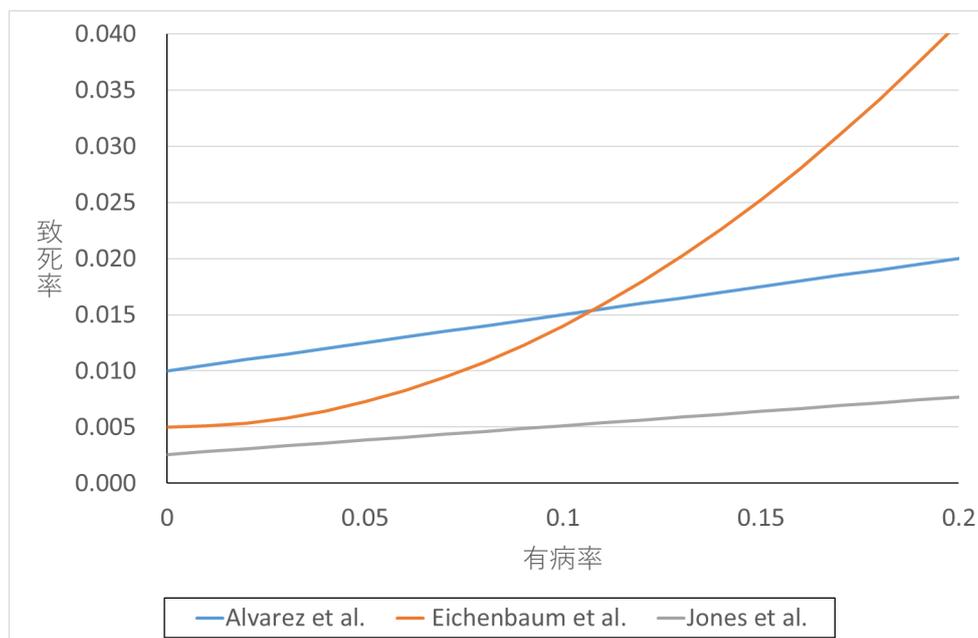
表 A.3 致死率の設定

	致死率 $\phi(I)$	設定の説明
本稿	0.017	ピーク時の想定として、Meyerowitz-Katz and Merone (2020)の 2.5 倍。
CDC		Levin et al. (2020)に基づき年齢に依存。
Meyerowitz-Katz and Merone	0.0068	(p.143)
Acemoglu et al.		多次元 SIR モデルで年齢に依存。
Alvarez, Argente and Lippi	$0.01 + 0.05I$	(p.12) ベース 1%、I が 40%のとき 3%。
Chari, Kirpalani and Phelen	0.005	(p. 8)
Eichenbaum, Rebelo and Trabandt	$0.005 + 0.9I^2$	(p.5163) Medical preparedness model。ピーク時に 2 倍。
Jones, Phillipon and Venkateswaran	$\frac{0.15\delta}{0.15\delta + 0.35}$	(p.5200) ベース 0.25%、I が 20%のとき 3倍。
	$\delta = 0.006 + e^{0.4 \cdot 0.15I} - 1^{(1)}$	

(注) 空欄は、該当する数値が無いことを示す。括弧内は、出典の所在を示す。

(1) 論文では $e^{0.4I}$ としているが、設定された数値が再現できないので、修正している。

図 A.1 医療資源制約による致死率の上昇



(注) 表 A.3 を基に筆者作成。

5. 感染症対策の費用

Doti (2021)は、2020年の米国の州の横断面データを用い、州の Oxford stringency index (厳格度指数)がGDPに与える影響と死亡者数に与える影響を推計しており、この2つの関係から、感染症対策の効果と費用の関係を導くことができる。岩本(2021)は、Doti (2021)の推計より、

$$y(t) = 0.02x(t)$$

を求めており、本稿でもこれを採用し、

$$\frac{dy}{dx} = 0.02$$

する。これは、接触機会を1%削減することで1人当たりGDPが0.02%低下することを意味している。

6. 最適な感染機会削減行動

以上のパラメータの設定を(6)式に代入すると、

$$34 \cdot 0.017 \cdot \frac{2.5}{6} I(t) = 0.02$$

となる。これを満たす I は、約0.083である。したがって、最適な感染機会削減行動は、

$$I(t) > 0.083 \text{ のとき、} x(t) = 1$$

$$I(t) = 0.083 \text{ のとき、} 0 \leq x(t) \leq 1$$

$$I(t) < 0.083 \text{ のとき、} x(t) = 0$$

となる³。図8は、このときの0~180日の約半年間の感染者数の推移を表したものである。

7. ファイルの構成

本文の図8とこの付録の図A.1を作成したSIRモデルのExcelファイル「COVID_Basic_JHEA2021.xlsx」は、GitHub (<https://github.com/iwmttyss/covid>) に格納されている。ワークシートは以下のように構成される。

SIRモデルのパラメータは、「Parameters」ワークシートで設定されている。「Parameters 2」では、5節と6節で示された計算をおこなっている。

「本文_図8」は、本文の図8で使用したグラフである。そのデータとなるSIRモデルの計算は、微分方程式を差分方程式化して、「Simulated-SIR」でおこなわれている。

「図1」は、この付録の図A.1で使用したグラフである。「図1_data」は、図に使用したデータをまとめている。

参考文献

- Acemoglu, Daron, et al. (2021), “A Multi-Risk SIR Model with Optimally Targeted Lockdown,” *American Economic Review: Insights*, forthcoming.
- Alvarez, Fernando E., David Argente and Francesco Lippi (2020), “A Simple Planning Problem for COVID-19 Lockdown,” *American Economic Review: Insights*, forthcoming.
- Atkeson, Andrew G. (2020), “On Using SIR Models to Model Disease Scenarios for COVID-19,” *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, Vol. 41, No. 1, June, pp. 1–33.
- Chari, Varadarajan V., Rishabh Kirpalani and Christopher Phelen (2021), “The Hammer and the Scalpel: On the Economics of Indiscriminate versus Targeted Isolation Policies during Pandemics,” *Review of Economic Dynamics*, Vol. 42, October, 2021, Pages 1–14.
- Doti, James L. (2021), “Benefit-cost Analysis of COVID-19 Policy Intervention at the State and National Level”, *COVID Economics*, Issue 67, February, pp. 94–127.
- Eichenbaum, Martin S., Sergio Rebelo and Mathias Trabandt (2021), “The Macroeconomics of Epidemics,” *Review of Financial Studies*, Vol. 34, Issue 11, November, pp. 5149–5187.
- Hall, Robert E., Charles I. Jones, and Peter J. Klenow (2020), “Trading off Consumption

³ I が約8.3%のとき、致死率が1.7%と想定していることになる。この致死率の想定は、図A.1に示された3つの研究の想定よりも若干、高い。

and COVID-19 Deaths,” *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, Vol. 42, No. 1, June, pp. 2–13.

岩本康志(2021)、「感染症対策の厚生経済学：都市封鎖の事後評価」。

Iwamoto, Yasushi (2021), “Welfare Economics of Managing an Epidemic: An Exposition,” *Japanese Economic Review*, Vol. 72, No. 4, October, pp. 537–579.

Jones, Callum J., Thomas Philippon and Venky Venkateswaran (2021), “Optimal Mitigation Policies in a Pandemic: Social Distancing and Working from Home,” *Review of Financial Studies*, Volume 34, Issue 11, November, pp. 5188–5223,

Levin, Andrew T., et al. (2020), “Assessing the Age Specificity of Infection Fatality Rates for COVID-19: Systematic Review, Meta-analysis, and Public Policy Implications,” *European Journal of Epidemiology*, Vol. 35, Issue 12, December, pp. 1123–1138.

Meyerowitz-Katz, Gideon, and Lea Merone (2020), “A Systematic Review and Meta-analysis of Published Research Data on COVID-19 Infection Fatality Rates,” *International Journal of Infectious Diseases*, Vol. 101, December, pp. 138–148.