

Doshisha University Life Risk Research Center

Discussion Paper Series No. 2020-02

なぜロックダウンは、有効とならないのか？
社会均衡モデルによる分析

同志社大学 八木 匡

*Life Risk
Research Center*

Discussion Paper Series

なぜロックダウンは、有効とならないのか？¹

社会均衡モデルによる分析

八木 匡

(同志社大学経済学部)

1. 問題意識

厳しい感染対策を行ったカリフォルニア州と緩やかな感染対策を行ったフロリダ州の感染者数を比較すると、カリフォルニア州の方が大きく感染者数が上回っている² (図1, 図2参照)。

図1 フロリダ州の感染者数³

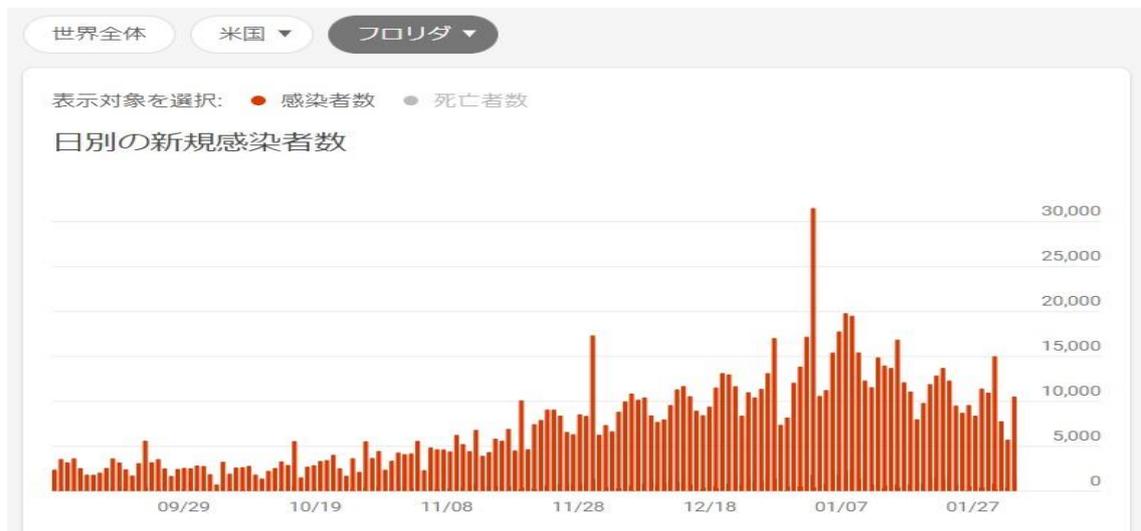


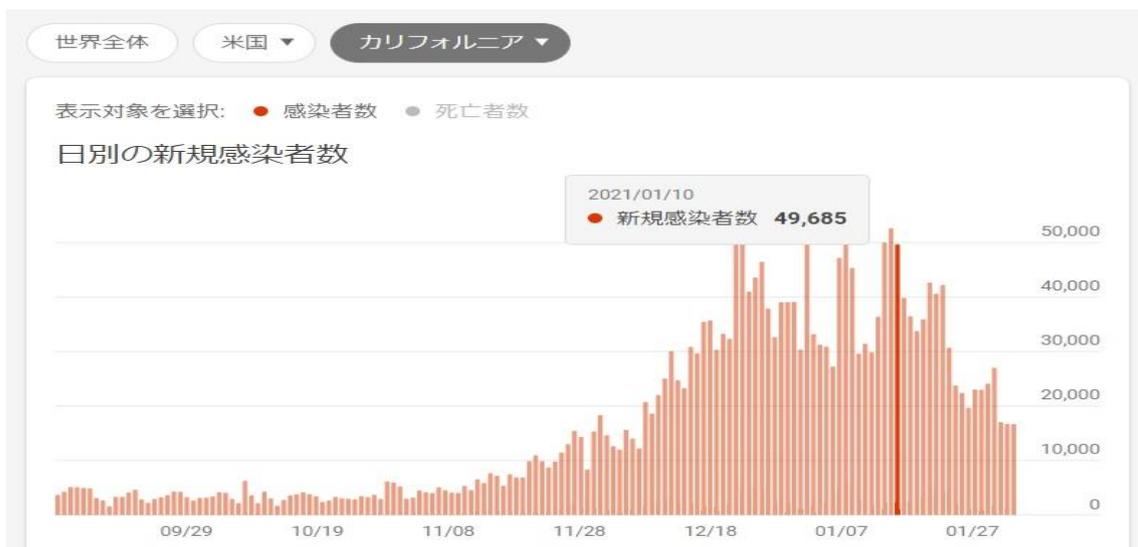
図2 カリフォルニア州の感染者数

¹ 2020年度同志社大学新型コロナウイルス感染症に関する緊急研究課題「COVID19以降の世界におけるSDGsの新たな展開 (New Developments of SDGs in the Post-Covid19 Global Society)」の助成金を用いた成果です。

² Morse (2020)参照。

³ 出所：Bing COVID-19 data sources,

<https://www.bing.com/search?q=%E3%82%B3%E3%83%AD%E3%83%8A%E3%82%A6%E3%82%A4%E3%83%AB%E3%82%B9%E7%B5%B1%E8%A8%88&FORM>



カリフォルニア州の人口は約 4000 万人、フロリダ州は 2160 万人であり、人口一人あたりで計算しても、カリフォルニア州の方が多くなっている。厳密な統計的検定を行わなくとも、ロックダウンの効果に疑義が入るのは当然であろう。

このようなロックダウンの効果を検証する時に、基礎となる理論モデルが必要となる。厳しい感染対策とマクロ的な感染者数との関係が明確でないことから、ミクロ的な感染対策行動を積み上げても、マクロ的なデータを説明することは難しいことが理解できる。むしろ、マクロ社会均衡モデルを構築して、均衡状態がどのようなパラメーターによって、どのような影響を受けるかを明確にすることが、政策立案を進める上で重要であると判断できる。本稿では、このようなロックダウンの有効性が疑われる現象が起きるメカニズムをモデルによって説明し、どのような状況においてロックダウンが有効でなくなるのかを明らかにすることを目的としている。

2. 感染社会均衡モデル

感染社会均衡モデルのアイデアは、免疫力と感染力が一致する均衡人口比率を求め、この均衡人口比率がどのような要素によって、どのように影響を受けるかを明確にすることにより、ロックダウン効果の予測を行うという考え方である。

モデルは次のようになる。州のようなある自治体を単位として考え、 h 州には N_h の人口があり、高齢者比率が $P_{old,h}$ であるとする。 N_h の人口の初期免疫力の分布は、 $f(m)$ に従っていると考えられる。

m^i の初期免疫力を持つ個人の免疫力 I^i は

$$I^i = \phi(m^i, k), \quad \frac{\partial \phi}{\partial m^i} > 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial k} < 0$$

で与えられる。免疫力が、感染対策強度 k に関して負の導関数となっている点は、つぎのように説明される。低濃度のウイルスに感染する確率が高い場合には、免疫訓練による免疫力の変化が考えられ、初期の免疫力から免疫力が向上する可能性がある⁴。ロックダウンを行う場合には、低濃度のウイルス暴露の機会が減少するために、免疫訓練が行われず、免疫力の向上が起きない可能性がある。逆に、ロックダウンによって、太陽光を浴びる時間が減少し、運動不足と共に、免疫力が減退する可能性も考えられる。感染対策の強度を k で与えた場合、免疫力は感染対策の強度に対して負の関係となると考えられる。

地域内での感染力（再生産係数） Inf^h は、初期免疫力 m^i に依存して決定する接触回数 c_n と接触密度 c_d をもったを持った個人の分布の関数として与えられる。ここで自己選択メカニズムを考え、免疫力が高いと信じている個人は、相対的に多くの接触回数と接触密度を持つと考え、感染力も免疫力の分布に依存することになる。接触回数と接触密度は感染対策強度 k に依存すると考えられる。

また、 m^i の初期免疫力の個人に暴露するウイルス平均は、再生産係数関数を Rpc とすると

$$Rpc^i = \varphi(m^i, k)$$

となり、地域 h 全体での感染力平均 Inf^h は、

$$Inf^h = \int_m^{\bar{m}} \varphi(m, k) c_n(m, k) c_d(m, k) f^{no}(m) dm$$

となる。尚、感染対策レベル k の感染力に与える影響は、

$$\frac{\partial Inf}{\partial k} = \int_m^{\bar{m}} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial k} c_n(m, k) c_d(m, k) + \frac{\partial c_n}{\partial k} \varphi(m, k) c_d(m, k) + \frac{\partial c_d}{\partial k} \varphi(m, k) c_n(m, k) \right) f^{no}(m) dm$$

⁴ 高橋泰, 武藤真祐, & 加藤雅之. (2020)参照。

となり、 $\frac{\partial \phi}{\partial k}, \frac{\partial c_n}{\partial k}, \frac{\partial c_d}{\partial k}$ がすべて負であるため、感染力 Inf は感染対策レベル k に関して負の値を取るようになる。

個人 i が感染発症 ($y=1$) するか否かは、

$$y=1 \text{ if } Inf^h(k) > \phi(m^i, k)$$

で決定され、発症しない ($y=0$) 条件は、

$$y=0 \text{ if } Inf^h(k) < \phi(m^i, k)$$

となる。ここで、

$$Inf^h(k) = \phi(m^*, k)$$

を与える臨界点 m^* を感染社会均衡点と呼ぶことにする。

そこで、感染社会均衡点の決定をグラフで示す。図1では、感染社会均衡点 m^* が免疫力と感染力が一致する初期免疫力として与えられている。図2では、初期免疫力が正規分布に従っているとした時の感染率を与えている。

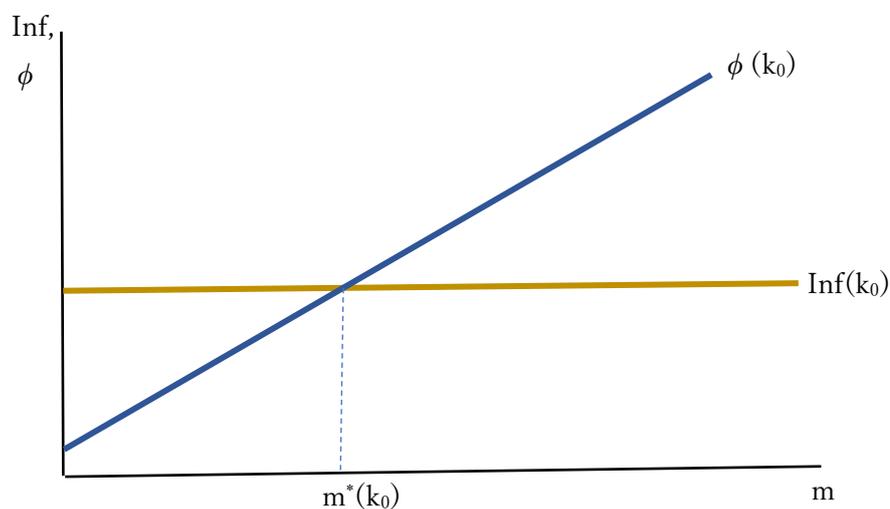


図1 感染社会均衡点の決定

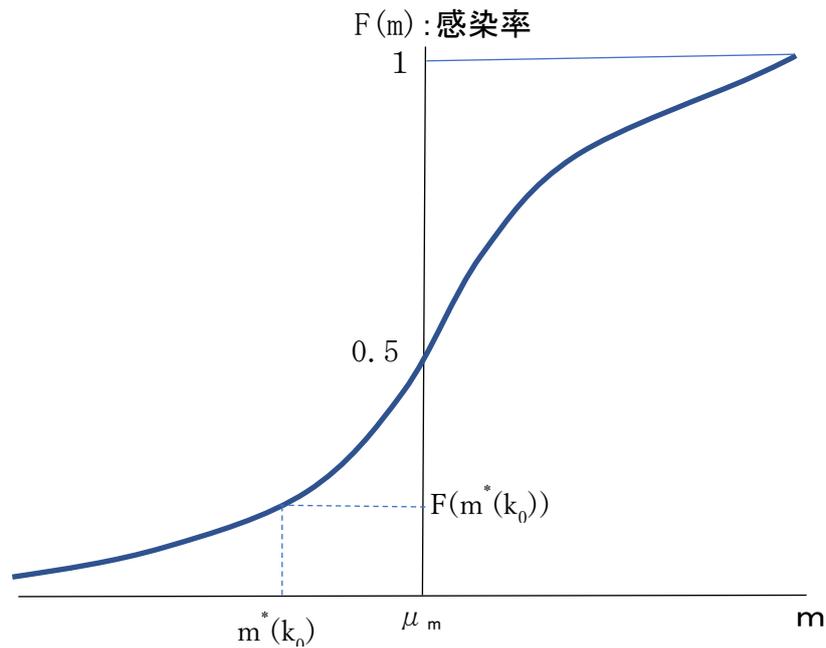


図2 感染社会均衡点の下での感染率
(m に関して、平均 μ_m 分散 σ の正規分布を仮定)

3. 感染対策レベル強化の影響

感染対策強化を行った場合、低濃度のウイルス暴露の機会が減少するために、免疫訓練が行われず、免疫力の向上が起きない可能性がある。また、ステイホーム等によって、太陽光を浴びる時間が減少し、運動不足と共に、免疫力が減退する可能性も考えられる。感染対策の強度を k で与えた場合、免疫力は感染対策の強度に対して負の関係と考えられる。感染力は感染対策の強度を k に関して負の関係となっているため、図3のように、下方シフトすることになる。

図3および図4で示されているように、感染対策レベルを強化したときに免疫力が低下すれば、感染力が低下しても、感染社会均衡点は右方にシフトし、感染率が上昇することになる。

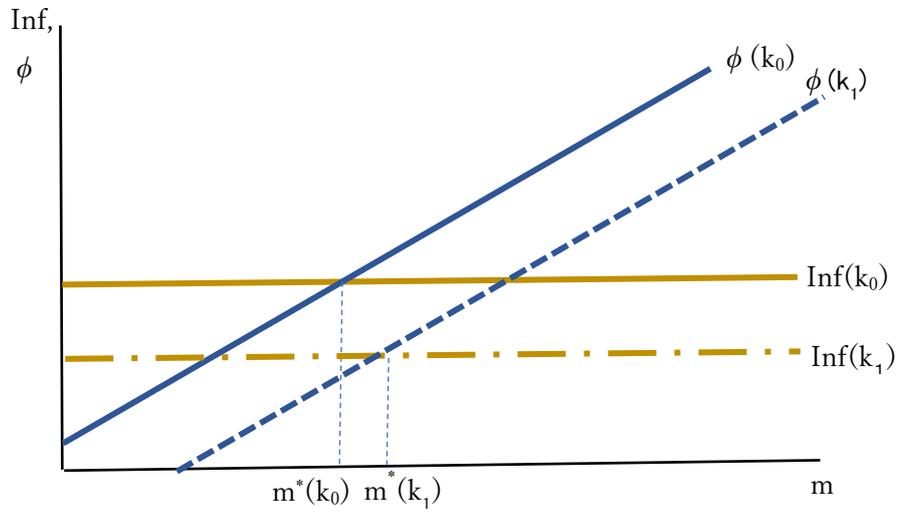


図3 感染対策強化による感染社会均衡点の変化

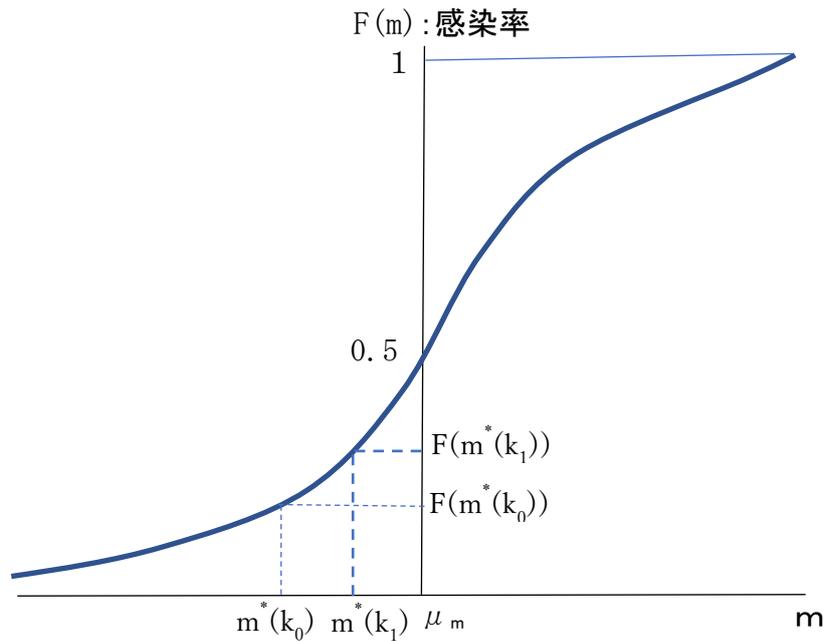


図2 感染社会均衡点の下での感染率
(m に関して、平均 μ_m 分散 σ の正規分布を仮定)

4. 最適感染対策水準

社会的厚生は、経済水準と感染率の関数と考える。経済水準は感染対策レベル k に関して負の関数であり、感染率は感染対策レベル k に関して符号は確定していない。社会的厚生を最大化するように感染対策レベル k を決定する。すなわち、

$$\max_k SW(GDP(k), m^*(k))$$

となる。最適条件は、

$$\frac{\partial SW(GDP(k), m^*(k))}{\partial k} = \frac{\partial SW}{\partial GDP} \frac{dGDP}{dk} + \frac{\partial SW}{\partial m^*} \frac{dm^*}{dk} = 0,$$

$$\frac{\partial SW}{\partial GDP} > 0, \frac{dGDP}{dk} < 0, \frac{\partial SW}{\partial m^*} < 0, \frac{dm^*}{dk} > 0$$

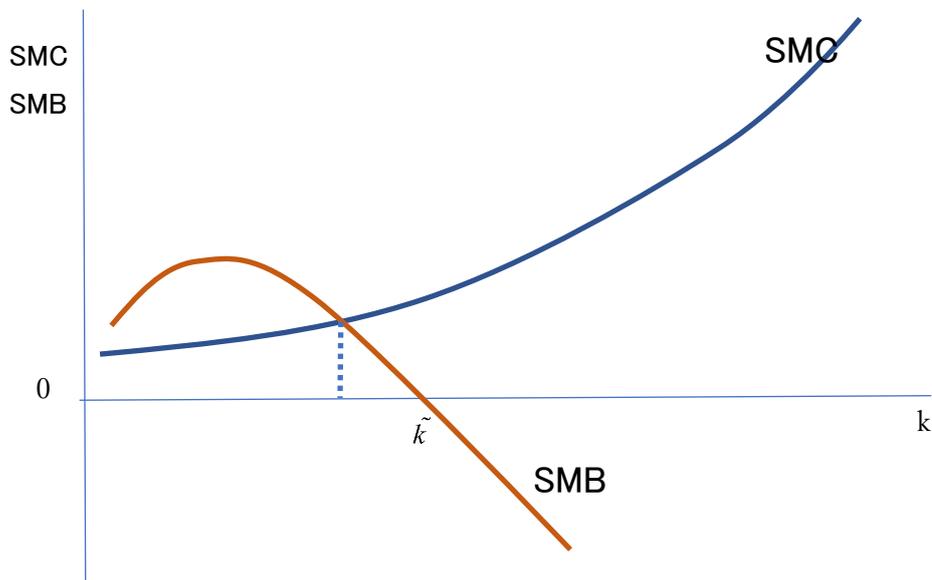
となる。 $\partial m^* / \partial k < 0$ の場合には、

$$-\frac{\partial SW}{\partial GDP} \frac{dGDP}{dk} = \frac{\partial SW}{\partial m^*} \frac{dm^*}{dk}$$

が成立する感染対策レベル k を選択することになる。左辺は感染対策の社会的限界費用 $SMC(k)$ 、右辺は感染対策の社会的限界便益 $SMB(k)$ となる。

図 3 では、最適感染対策レベルの決定条件を示している。 $\partial m^* / \partial k < 0$ の領域が $0 \leq k \leq \tilde{k}$ とする。この場合、 \tilde{k} 以上では $SMB(k)$ は負となる。従って、社会的最適な感染対策のレベル k^* は、 $\partial m^* / \partial k < 0$ の領域で、社会的限界費用と社会的限界便益が一致する点で決定されることになる。

ロックダウンは、 $\partial m^* / \partial k < 0$ の領域から外れている $\tilde{k} < k$ の状態となっていると理解でき、この場合には感染率を下げる効果も無ければ、単に社会的コストを無意味に増大させている可能性が示唆される。



5. 結語

本稿では、ロックダウンのような厳しい感染対策の有効性を理解するためのモデルを構築することを目的とし、分析を行った。分析の結果、感染対策が持つ社会および個人の免疫システムへの影響を考慮した場合、ロックダウンのような厳しい感染対策は、感染率を高め、社会的コストのみを高め、社会的最適から大きく外れることを示唆している。このような点から、日本において採られた感染対策のレベルは、欧米に比して圧倒的に低い感染率を達成してきたと共に、社会的最適性を達成してきたと解釈することも可能であろう。

本稿は、静学的分析のみ行っており、そのためにモデルに組み込むことができない問題も数多く残されている。例えば、低濃度ウイルス暴露に伴う免疫訓練効果をモデルに内生化することにより、集団免疫が高速に進み、再生産係数が急速に減少するメカニズムを入れるためには、感染社会均衡モデルを動学化する必要がある。人工的な免疫力向上はワクチン接種によって可能となるため、有効なワクチンが開発されれば、感染収束が急速に進むことが予想される。このような動学的側面をモデルに組み込むことにより、モデルを精緻化でき、感染爆発と感染収束を高い精度で予測することが可能になると考えられる。

6. 参考文献

高橋泰, 武藤真祐, & 加藤雅之. (2020), 「新型コロナウイルスの実態を再考する: 感染 7 段階モデル ver. 2 の紹介」, 社会保険旬報, (2799), 6-16.

社会保険研究所

Morse, Brandon (2020), “Graph Showing Difference in Case Rates Between Florida and California Is a Wake-Up Call for America”, RedState,

https://redstate.com/brandon_morse/2020/12/28/graph-shows-lockdowns-of-california-causing-covid-to-thrive-while-free-florida-is-far-better-off-n300807, as of Dec 28, 2020.