

2020年8月11日

財務総研リサーチ・ペーパー

感染症と経済学

財務総合政策研究所 総務研究部
研究官 高橋 済

(ポイント)

目下、新型コロナウイルスによる感染症(COVID-19)が世界的に大きな脅威をもたらしている。本稿では、感染症に関する経済研究の諸潮流を概観しつつ、現在COVID-19がもたらしている経済危機に関する主要な経済研究と直近の研究結果とを補足する形式でサーベイを行った。取り扱う研究としては、スペイン風邪を主な対象とした感染症の社会的影響に関する実証研究、社会的距離拡大戦略(Social Distancing)等の感染症抑止策についての実証研究、感染症を組み込んだ経済モデル分析を含む。本稿の目的は、サーベイを通じて感染症と経済学の関係を把握し、今後の経済を考える上での材料を提供する事にある。

1. はじめに

COVID-19の様な感染症は人類の生命を直接的に脅かすのみにとどまらず、人々の意思決定・経済活動に種々の制約をもたらすことを通じて間接的にも人類社会に負の影響を与えている。感染症が経済にもたらす影響は、人々の行動を学問の対象とする経済学の主要な分析対象の1つであったし、昨今の危機にあたっては経済学者にとって最も関心のある、かつ喫緊の研究課題となっている。本稿は、今までに行われた感染症に関する経済研究のサーベイを行い、経済学者の間で行われている議論を俯瞰する¹ことにより、感染症によって引き起こされる経済事象に対する議論に関する基礎的な知識を提供することを目的としたものである。

本稿は、第2章において感染症に関する経済研究の諸潮流を概観しつつ、本稿の全体構成の中での位置づけを述べる。その後、続く各章においてそれぞれのテーマに関する主要な研究と直近の研究結果とを補足する構成をとる。すなわち、第3章においては20世紀に大流行を起こしたスペイン風邪を主な対象とした、感染症の社会的影響に関する実証研究を取り上げる。続く第4章では、我が国でも実施されている社会的距離拡大戦略(Social Distancing)等の感染症抑止策についての実証研究を紹介する。さらに、第5章においては、COVID-19の流行を踏まえて盛んにおこなわれている感染症のモデル分析の近況を解説してゆく。結論においては、これらの研究をまとめつつ、今後の展望を述べることとしたい。

* 本稿の意見に係る部分は筆者の個人的見解であり、筆者の所属する組織の見解を表すものではない。本稿の記述に関するいかなる誤謬も筆者の責任による。早稲田大学の久保田荘准教授をはじめ、本稿にコメントをくださった方々にここで感謝を申し上げる。

¹ 本稿と同様、諸外国のCOVID-19危機に関する経済分析をサーベイした文献として森川(2020)が挙げられる。ビッグデータを用いた人々の行動様式についての分析や金融市場の動向、財政政策・金融政策の効果等、本稿で扱わなかった分析を含む為参照を強く推奨する。

2. 経済学における感染症研究の諸潮流

本稿の具体的な叙述に入る前に、感染症がもたらす社会事象に関する経済学的研究の諸潮流を概観し、冒頭に紹介した本稿の構成について、やや踏み込んだ概説を加えておきたい。

(1) 感染症の経済影響に関する古典的な研究

経済学において比較的早い時期に感染症に関する研究に取り組んだのは、長期的経済発展を検証する経済成長論の研究者である。例えば、Acemoglu and Johnson (2007)や Weil (2007)などが感染症(健康)と経済の長期的な相互関係に触れている。前者は感染症流行と賃金の正の関係、後者は経済成長と健康寿命の関係の視点²から感染症の排除による経済成長の伸長を分析している。これらの研究は経済成長論における生産関数の推計を主な分析手法としており、この分野におけるサーベイ論文である Boucekine et al. (2008)は、感染症の影響³を評価する上では、生存期間に不確実性が存在し、死亡率の経済的影響を検証することに適した Blanchard-Yaari 型の定式化の下で人的資本蓄積過程を分析する Lucas 型の生産関数を用いる経済成長モデルが最も望ましいと結論付け、両研究の特徴を踏まえた分析手法を提示している。Karlsson et al. (2014)や Barro et al. (2020)等、第3章において紹介する感染症の社会的影響に関する実証研究では、結果の解釈にあたりこれらの経済成長理論に基づいた議論が行われている。

これらのモデル分析に対し、医学的・感染症学的仮説を対象とした、重要な意義をもつ実証諸研究も行われてきており、これらも感染症に関する古典的な研究と位置付けることができる。例えば、アメリカを対象とした Almond(2006)やイタリアを対象とした Percoco (2016)は、胎児・幼少期での感染症の流行が子供の認知能力の形成に影響を及ぼし、さらにその後の学歴にも影響を与えるという、医学上の“胎児起源説⁴(fetal and infant origins)”仮説の検証を行っている。また、本稿のコラムにおいて取り上げる感染症学のモデルである”SIR モデル”を根拠として、直接的に感染症の遷移方程式を推計した実証研究もある(Adda, 2016)。これらの実証的な研究も、感染症に関する経済学的研究の重要な領域を占めるものといえよう。そこで、これらの実証研究、そして、これらの研究に触発された感染症に関する近時の実証的な研究について、第3章、第4章において、感染症の社会的影響に関するものと感染症抑止策に関するものとに領域を分けて取り上げることとし、そのなかで、これらの実証研究において経済モデルがどのように取り扱われているか、その結果と意義について、やや立ち入って紹介することしたい。

(2) COVID-19 流行後のモデル分析

現在、COVID-19 の世界的流行を受け、感染症の社会的な影響に関する経済学的な議論は今までになく広範に行われ、膨大な研究結果が蓄積されつつある。そこで、第3章・第4章の叙述を踏まえ、第5章に

² Acemoglu and Johnson (2007)の解釈には注意を要する。賃金の上昇は、感染症に伴う労働市場における超過需要の発生という市場の機能に由来しており、感染症自体が賃金を上昇させる事を意味しない。Weil (2007)は健康寿命の伸長による人的資本蓄積の促進が経済成長につながると述べている。

³ 但し分析対象の感染症は AIDS となっている為、解釈に注意を要する。

⁴ 青年・成人期における疾病の根源が胎児・乳児期にあるとする説。しかしながら、その直接的な原因ではなく間接的な影響を評価することとまっている。胎児期の感染症の流行と人的資本蓄積に関する詳細な議論は Barker (1986)にまで遡る。米国においてこの仮説を検証した Almond(2006)も参照のこと。

においてこれらの議論を概観することとするが、これらの議論のすべてを把握し紹介すること、特に、その中で経済モデルの取扱いを整理して提示することは、速報性を重視する本稿においては困難である。

もっとも、そのようななかでも、本稿においては、第一に、Eichenbaum et al. (2020a)等が行った一般均衡分析への感染症の導入とそこから得られる含意に注目することとしたい。昨今、感染症流行の長期化により“感染症の抑制と経済活動をいかに両立させるか”という議論が活発化している。これらの研究は、経済活動をどの部門でどの程度まで再開させるかという指針となりうることから、社会的意義が大きいと考えるからである。

第二に、Eichenbaum et al. (2020a)についても、以下の観点から特に着目することとしたい。この論稿は、感染症の流行を、総供給と総需要を同時に変化させるものとして取り扱っている。すなわち、供給面においては、感染リスクに規定されて人々の労働供給が低下することで、需要面においては、購買の際の感染のリスクに規定されて購買意欲が低下することで、経済が両方の局面から抑制されることとなる。このような定式化は、膨大な量の関連研究において若干の差異はあるものの、経済が需給両面における負のショックを経験するという認識は概ね共通している⁵⁶。この状況の下で公的機関が何も対策を行わない場合には、この2つのショック及びその相乗効果によって経済は甚大かつ長期の不況を経験することとなるであろうことは容易に想像できる。

第三に、本稿においては、一連の経済均衡研究における分析の視角の差異にも着目することとしたい。これらの経済均衡研究は、感染症と物質的経済活動の関係を扱う。そして、経済均衡の枠組みにおいて感染症を捉えて感染症への政策対応を分析する上では、人々の行動様式、及び幸福度(効用)と感染症との関係を定式化する必要があるが、分析の上で様々な評価の尺度が提案されている。

すなわち、Hall et al. (2020) は COVID-19 による感染・死亡の可能性があるなかで、功利主義的厚生関数を持つ人々ほどの位消費を諦めるか⁷という視点から、人々の消費行動の変化を評価している。また Jones et al. (2020)や Glover et al. (2020)は各種感染抑制策の分析に当たって、Greenstone and Nigam (2020)における VSL(value of a statistical life)アプローチを採用している。これは、平均的国民が死の可能性ないしは確実な死を避けるためにはどの位の金銭支払⁸を望むのかを経済モデルと健康データを組み合わせて導出するものであり、通常の経済学の枠組みでは難しい感染症関連政策の費用と便益を評価するに当たって有効なツールの一つと評価し得るものである。

一方において、こうした生命の金銭的価値の算定は困難であるとの立場から Acemoglu et al. (2020)は効率性フロンティア(Efficient Frontier)⁹の観点からの政策分析を提唱している。この手法は、所定の政策の下で実現しうる経済損失と感染症による死者数がいかなる組合せとなるのかを複数の経済損失(ないしは死

⁵ COVID-19 に起因する経済ショックは、特定産業に対する供給ショックとそれに引き起こされたより大きな総需要の後退で構成されているのではないかという指摘が Guerrieri et al. (2020)により行われている。また、Faria-e-Castro (2020)は DSGE モデルに需給ショックを導入する形で流行下での短期的経済動向、政策効果を分析しており、一連の研究の嚆矢ととらえられる。目下の経済危機がいかなる性質を持つのか、需要と供給にいかなる条件でどの様な影響を与えるのかについては久保田(2020)も参照されたい。

⁶ 2020 年度世界経済見通し(IMF, 2020)でも将来的な不確実性は大きいもののマクロレベルの総需要と総供給の後退、金融市場や国際貿易を通したショックの世界的な波及が指摘されており、この認識の妥当性は確保された。

⁷ 例えば、相対的リスク回避 $\gamma = 2$ の下で、0.81%の死亡率の上昇は 26%の消費の減退に相当する。

⁸ 例えば、Greenstone and Nigam (2020)は医療資源の枯渇を避ける社会的距離拡大戦略(Social distancing)の実行は約 8 兆ドルの社会便益があると結論付けている。

⁹ Acemoglu et al. (2020)の研究については、第 5 章を参照のこと。

者数)の値について計算し、効率性フロンティアを導出したうえで、どのような政策が最小の損失に対応するフロンティアをもたらすかを検討している。特定の仮定の下で厚生を最大化を考察する VSL アプローチに対して、効率性フロンティアによる研究は広範な仮定の下で厚生を代理変数(経済損失と感染症による死者数)を求めるものであり、目的に応じた使い分けが重要となる。

3. 社会影響に関する経済研究

(1)大流行(Pandemic)について

感染症に関連する実証研究の議論を紹介する前提として、実証研究の対象となる感染症の大流行(pandemic)という社会現象を整理しておく。今回の COVID-19 がそうである様に、感染症の大流行はしばしば人類社会に影響を与えてきた。

ユスティニアヌス皇帝の統治下でのペスト(東ローマ帝国:541-552)、中世の黒死病(ヨーロッパ全土:1346-1353)、20世紀初頭のスペイン風邪(全世界:1918-1920)等が、Percoco (2016)や Barro et al. (2020)等の感染症の実証研究において“大流行”として紹介されている。また、大流行の経済的影響が他の歴史的事象にも匹敵することは共通認識となっており、Barro et al. (2020)は GDP に累計 10%以上の低下をもたらした事象を厄災(disaster)と定義しているが、彼らの議論のなかにおいては、スペイン風邪の大流行は第1次世界大戦、世界恐慌、第2次世界大戦といった厄災に次ぐ事象¹⁰である旨の指摘がある。

黒死病¹¹に関する研究は経済学のみではなく歴史学の範疇にも入るが、著名な研究としては Acemoglu and Robinson (2012)がある。これは黒死病による労働力の減少により(農村)収奪的な社会・経済体系の变革が起きたことをテーマとした研究であり、大流行の下で、社会体制がより収奪的になるケースと大局的に(農村)包括的になるケースとが存在する、と結論付けている。しかしながら、黒死病自体が社会の進歩をもたらすのではなく、黒死病による労働力の減少が労働市場における経済主体間(封建貴族、教会と農奴)の交渉力にもたらした変化が社会進歩の直接的な要因となったことには注意を要する。圧倒的多数の研究のなかでは、感染症自体は依然として人類社会に有害なものとして扱われている。

(2)スペイン風邪に関する経済研究

経済への疫病の直接的な影響の評価が可能となるのは、種々の統計が存在する 1918-1920 年のスペイン風邪以降のことである。日本におけるスペイン風邪の流行については、内務省衛生局が統計や報告書を作成しており、鎮目(2020)はこれらの資料を用いて当時の感染症の流行状況や政府による感染症対策、経済への影響を評価している。鎮目(2020)は感染症の流行面と公衆衛生に対する認識はスペイン風邪と COVID-19 の流行時で共通しているものの、当時の倫理観や国家の役割の違い、第一次世界大戦の戦時経

¹⁰ 上に述べた IMF(2020)では、COVID-19 の流行による経済的後退は 2008 年度の金融危機以上のものとなり、世界恐慌(1929年)以来の規模のマイナス成長となる事が予測されている。

¹¹ ユスティニアヌスのペストは地域的(エジプト、中東、トルコ)ではあるものの、東ローマ帝国の中枢部にて大流行(皇帝が罹患、人口の半数が死亡)し、東ローマ帝国の国家機能を喪失に追い込んだ為、著者の知る限りデータ及び経済学的検証は存在しない(全盛期のローマ帝国は原始的だが国勢調査を行っていた)。

済に起因する需給の量的不整合と現在の消費需要の変容に伴う需給の質的不整合の違い等、異なる点も多いことから、当時は実施されなかった長期的な経済対策が重要となることを指摘している。

同様に、Velde (2020)は1910年代から20年代までの国内総生産の推計値、鉱工業生産高、消費耐久財(自動車)出荷数、ニューヨークにおける卸売業営業指数と銀行決済数、州別雇用統計、倒産件数や連邦準備銀行による経済見通し等各種統計を用いて、スペイン風邪が全米経済、地域経済に与えた影響を検討している。各種変数の推移を踏まえ、Velde (2020)は、スペイン風邪は労働供給の減少を通じて経済に負の影響を与えたものの、その影響は実体経済についても金融市場についても軽微であり、その変動の一部は戦時から戦後への移行とそれにあたっての財政・金融政策に起因すると結論付けている。

但しこの大流行に対し、経済的影響や政策的含意を評価する実証研究を実施する場合、注意を要することが知られている。スペイン風邪の開始年(1918)は第1次世界大戦の終了年と重複¹²することから、単純な死者数や傷病者数の統計のみによってはこの大流行の影響を評価することは困難であるからだ。これらの研究は、この点に関し、戦死者数をコントロールする、不参加国を対象にする、感染症の地域別データを用いるなどの工夫を行っている。また、スペイン風邪については特定国内の地域ごとに影響が大幅に異なることも知られており、地域別のデータを用いることによって研究の精度の向上を図る研究も多い。以降においては、各実証研究の政策的含意に加え、これら実証研究の識別上の特徴に注目した研究のサーベイを行う。

(3)所得への影響-スウェーデンのケース

Karlsson et al. (2014) はスウェーデンにおいて、スペイン風邪に起因する死亡率の上昇がいかなる経済的影響をもたらしたのかについて、地域別データを用いて検証している。この研究は、世界大戦における中立国のスウェーデンの各種統計データを用いた上で、大戦による物流変化の影響を注意深く除去することによって、前述の問題に対する結果の信頼性を確保している。

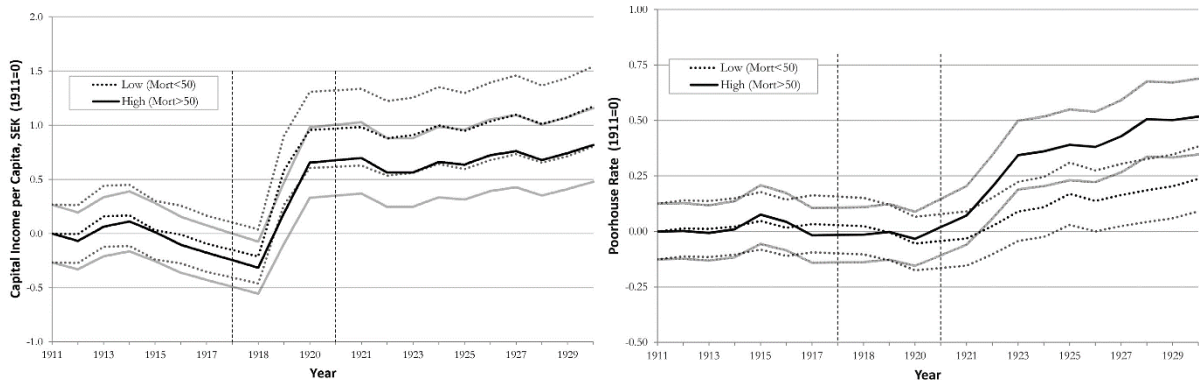
この研究は、経済成長理論の仮説に基づき、流行前後における資本所得と労働所得に対するスペイン風邪の死亡率の影響を検証している。その結果、スペイン風邪は資本所得に有意の負の影響、貧困世帯率¹³に有意に正の影響をもたらす一方において、労働所得に対しては有意の影響をもたらさなかったことが確認された、としている。(図.1)はスウェーデンにおけるスペイン風邪流行前後の一人当たり資本所得と貧困家計率の推移¹⁴である。図から明らかなように、スペイン風邪流行時に資本所得の著しい後退、流行後の貧困家計率の上昇が観測されている。(図.2)はスペイン風邪に伴う超過死亡率の四分位偏差(第1四分位数と第3四分位数の距離)上昇の各変数に対する影響を考察している。ここからも、流行中・流行後における資本所得の低下と流行後における貧困家計率の上昇がスペイン風邪によりもたらされたことが分かる。

¹² 人類史における初の総力戦であった第1次世界大戦によりスペイン風邪が大流行したとの見方もある。物資、人員の移動の激化や戦場での兵員の集中による感染、前線での衛生環境、終戦に伴う兵員の除隊による各地方への伝播等の種々の要因が考えられている(Percoco, 2016)。

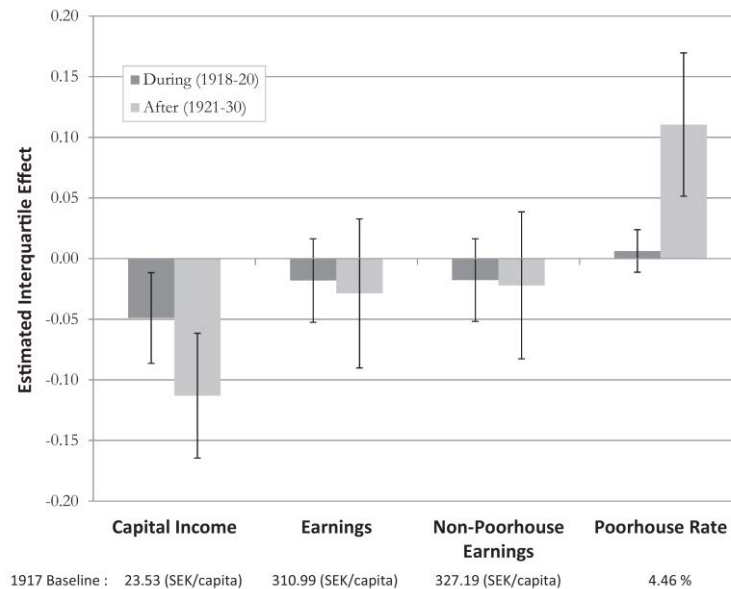
¹³ スペイン風邪の犠牲者に対しておよそ4倍の貧困者の拡大が観測されており、犠牲者の家族や親類の貧困化を考えると多い。この為 Karlsson et al. (2014)は経済的要因により貧困家庭が増大しているのではないかと指摘している。

¹⁴ なお、(図.1)には全国平均値、死亡率の高い地方の平均値、死亡率の低い地方の平均値が掲載されている。スペイン風邪の疫病流行前は当該変数の各地域のトレンドに差は無かったが、流行後には違いが生じている事が分かる。

(図.1) スペイン風邪流行時の所得及び貧困世帯率の成長率(Sweden)(Karlsson et al. 2014)



(図.2) スペイン風邪流行時の超過死亡率の各変数に対する影響(Sweden) (Karlsson et al. 2014)



これらの結果における貧困世帯率と労働所得の挙動は経済成長理論を支持しないが、Karlsson et al. (2014)は労働市場での追加的推計を行い、その結果を踏まえて、特に流行後の工業部門における労働者の増加¹⁵が影響したのではないかと仮説を提示している。資本装備率の上昇に反して、急激な労働力補充の影響で資本と労働のミスマッチが発生し、女性・年少者の労働市場において特に労働力の質が低下したという解釈である。

(4) 胎児起源説-イギリスとフランスのケース

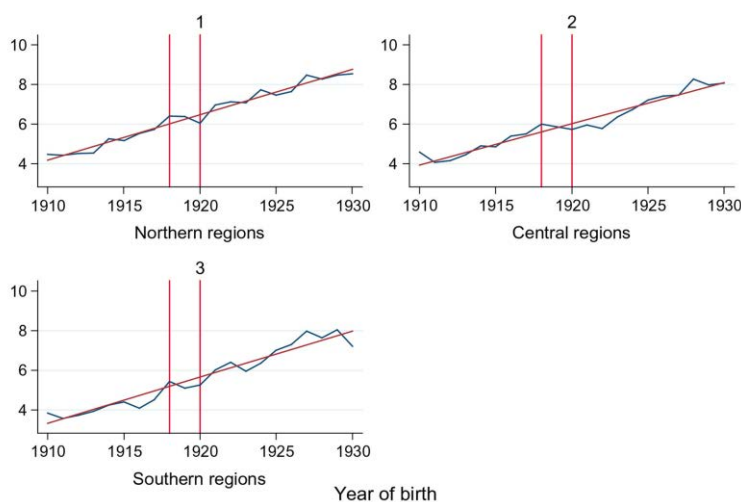
Almond (2006) はアメリカ、Percoco (2016)はイタリアでの流行の地域格差を利用して、胎児・幼少期の

¹⁵ ただし、Karlsson et al. (2014) はこの時期のスウェーデンにおける部門別労働力統計の不足を指摘した上で、留保付きの仮説である事を述べている。

感染症の流行がその後の認知能力・健康状態に影響を与えるという”胎児起源説”の検証を行っている。Percoco(2016)は、スペイン風邪流行の前後の時期におけるコホートの平均教育年数の減少(図.3)を根拠とし、流行の前後に出生し影響を受けたと思われる1977年から1987年までの個人データを分析対象としている。

推計において、Percoco (2016)はスペイン風邪による死亡率上昇の就学期間、高校卒業率、大学卒業率への影響を評価する事で胎児起源説の検証を行う。スペイン風邪の子供の教育への悪影響は、(図.3)における流行の前後の時期に出生した子供の平均教育年数の動向を見ても明らかであり、推計結果からも流行時期のコホートにおける教育年数、大卒率の低下、地域別累積死亡率の教育年数、高卒率、大卒率への負の影響が観測された、としている。最終的に、Percoco (2016)は、この推計結果と各地域における死亡率を用いて、スペイン風邪の流行はその流行期に0~4歳であった児童の平均就学年数を0.15年から0.44年引き下げたと結論付けている。また、Almond (2006)はスペイン風邪の流行の影響が学業面にとどまらないことを指摘しており、Percoco (2016)と同様の結果に加え、上記のコホートの所得や社会的地位は相対的に低く、社会給付を多く受け取っていることを明らかにした。ただし、“胎児起源説”を支持するこれらの結果の解釈に関しては、現在に至るまで活発な議論¹⁶が行われていることに注意が必要であり、今後のさらなる研究の進展が期待される。

(図.3) スペイン風邪流行時出生コホートの教育年数(Italy)(Percoco, 2016)



(5)マクロ経済への影響-アメリカのケース

Barro et al. (2020) は COVID-19 の大流行を受けて行われた実証的研究の1つである。この研究は、第1次世界大戦の被害をコントロールしつつ1901年から1929年の最大43か国のデータを用いて、スペイン風邪に起因する死亡率の上昇の経済成長、株式収益率、国債収益率及びインフレ率に対する影響を考察するシンプルな推計を実施したものである。

¹⁶ Parman (2015)はスペイン風邪流行時に生まれた兄弟を持つ子供の教育水準が高い傾向にある事を以って、この結果は家計内における教育投資の再配分によると結論付けている。また、Brown and Duncan (2018)は流行時に生まれた子供の親の教育指標・所得が低い事が原因であるとの仮説に対して反論を行っている。これに対し、Beach et al. (2018)はコホートが青年を迎える時期の徴兵用の健康診断・身上調査票を利用してデータの精度を改善した場合、子供の将来的教育指標と社会的地位は流行によりやはり低くなっている結果が得られるとして再反論を行っている。胎児起源説をはじめとした大流行の長期的影響については中田(2020)が詳しい。

推計の結果、スペイン風邪は全世界の一人当たり GDP¹⁷を 6%、消費を 8%押し下げた上、その後の経済成長に影響を及ぼしていたことが判明した。経済の金融部門に対しても、スペイン風邪は全世界平均で株式収益率を 26%、国債収益率を 14%引き下げ、インフレ率を 20%引き上げたとの結果が得られている。実体経済の影響に対して、金融経済の効果はやや不明瞭であり、株式収益率及び国債収益率の低下は人々の期待安全利子率の低下と戦時経済による物価統制の影響に起因しているとの見解が示され、またこの部門における長期的な影響は存在しない事が述べられている。この結果は前述の Velde(2020)とは異なるが、Barro et al. (2020)は各国比較、Velde (2020)は 1 国分析及び地域比較を行っている点で異なることから、解釈には更なる考察を要する。

以上、本章においては、スペイン風邪の流行と経済の関係に着目した実証研究を列挙してきた。これらの研究は今後 COVID-19 の社会経済に対する影響を考えていく上での重要なベンチマークとなるであろう。一方、日本を含む各国においては、いかにして感染症の拡散を減速させるかが目下の課題となっている。拡散抑制の主な手段には、人々の社会的距離を離す事で感染者と非感染者の接触を回避する社会的距離拡大戦略(Social Distancing)の実施、学校等の公共施設の閉鎖等の公衆衛生上の対策である非医薬的介入(Non-pharmaceutical Intervention)等がある。次の章においては、これらの手段に対する経済学の研究成果を特に取り上げてゆく。

4. 感染症抑止策に関する実証分析

(1)感染症抑止策の概論

本章においては、今次の感染症のまん延を踏まえて盛んに議論されている社会的距離拡大戦略に関する経済学的議論を取り扱う。厳密に言うと、現在議論されている社会的距離拡大戦略と非医薬的介入は異なる概念であるものの¹⁸、疫学等の議論においては、社会的距離拡大戦略は検疫の実施などの公衆衛生上の政策である非医薬的介入として扱われるケースが多い(Ferguson et al. 2020, Correia et al. 2020, etc.)。

社会的距離拡大戦略を議論する上での注意点として留意すべきは、その施策の目標である。現在議論されている主な施策目標は、感染抑制(Suppression)、感染緩和(Mitigation)に大別される(Atkeson, 2020)。感染抑制は感染症の再生産数を 1 以下に抑制する事で感染者数を低水準に留める、ないしは感染を社会から全く除去することを指しており、この場合、介入は有効なワクチンが全人口に導入されるまで実施される必要がある。一方で、感染緩和は汎発流行の医療的影響を削減することを意味し、完全に感染を削減する強度は要請されない。この場合、介入は感染症への集団免疫(population immunity, herd immunity)が形成される、ワクチン・治療薬が開発されること等を通じて、感染者数及び感染の影響が減少するまで続行さ

¹⁷ Barro et al. (2020) は死亡率の効果を検証している為、死亡率の異なる国々に対する統計的影響は異なる。この為、Barro et al. (2020)は追加的に国別の考察も行っている。特に、インドやカナダにおいてはスペイン風邪の影響は実際の経済縮小のほとんどを説明するが、米国の 1918 年から 1921 年の不況の要因の一つではあるにしろ全ての要因ではない事が言及されている。

¹⁸ ワクチンや抗ウイルス薬を用いた対策を公衆衛生の文脈では医薬的対策と呼ぶ。しかしながら、医薬的介入と非医薬的介入の区別は難しい。たとえば、公共機関の閉鎖は社会的距離拡大戦略と非医薬的介入の両者に含まれるが、混雑を避ける、店舗を閉鎖する等、人的接触を一般的に回避することを意図した社会的距離拡大戦略に対して、公衆衛生政策の一環としての非医薬的介入(検疫などの実施を含む)はやや対象範囲の異なる概念である。一方で、免疫パスポートの発行など医薬的介入と非医薬的介入の包括的・複合的実施を重視する議論もある為、本稿でも厳密な区別は行わない。

れる。感染抑制の例としては今次の COVID-19 の流行下における武漢市の対応が挙げられるが、過去に実施されてきた介入の大部分が感染緩和であり、1918 年のスペイン風邪流行時における米国の対応、2000 年代の新型インフルエンザ流行時の各国の対応等実施例は枚挙に暇がない。定義からも明らかなように、どの目標を採用するかにより、介入の強度及び実施期間は大幅に異なる為、政策的な議論の際には明確な区別が必要である。

以下においては、社会的距離拡大戦略・非医薬的介入の感染抑制手段に関する実証研究として、フランスの 1984 年から 2010 年までの感染症、教育施設、鉄道網に関するデータを用いた Adda(2016)、米国におけるスペイン風邪の死亡率と都市レベルでの NPI のデータを用いた研究である Barro (2020)と Correia et al. (2020)を紹介する。前者は学校の休校や交通機関のストライキ等の影響から間接的に社会的距離拡大の影響を推定しているのに対し、後者はスペイン風邪流行時の米国における非医薬的介入の実施の影響を対象とする直接的な推計であるが、両者とも現在の感染症抑制に示唆を与える研究となっている。

(2)平時の感染抑止-フランスのケース

Adda (2016)は感染症学における SIR モデル(コラムも参照)の遷移方程式を用い、(1)感染拡大の経済的影響、(2)対人接触抑制の感染症への効果、(3)感染症抑制への社会資源の最適配分を検証する実証研究である。Adda (2016)の対象とする感染症は、インフルエンザ、感染性胃腸炎、水疱と複数にわたり、流行期の分析ではないが、長期の週単位、都市単位の年齢別の発病者数のデータを用いて季節性や異なる年齢階層¹⁹毎の影響を評価している点にこの研究の特徴がある。この研究のさらなる特徴としては、学校の休校時期・期間及び鉄道のストライキの発生件数・期間を用いて、社会的距離の拡大がこれらの感染症の発病率に与える影響を考察している点、鉄道網の発達及び物流網の進展により感染症の地域間の伝播(発病率の地域的相関関係)がいかに影響を受けたかを検証している点等が挙げられる。

Adda (2016)は予備的推計として休校及びストライキの感染者数に対する直接的な影響のイベント分析を行っている。その結果を示したものが(図.4)であるが、学校の休校は児童及び成年のインフルエンザ発病者数を 4 週間にわたって有意に抑制する一方、老年世代の感染者数に影響を与えないことがこの表から見受けられる。また、鉄道ストライキは児童及び成年発病者数を 1 週間抑制するにとどまっている。

次に、Adda (2016)は、感染症学の SIR モデルを用いて地域内伝播及び地域間伝播の検証を行っている。この推計においては、被説明変数は引き続き年齢層別の発病者数であるが、説明変数が感染者と感受性者の積(地域内)、隣接地域の感染者と感受性者の積の加重平均(地域間)となっており、感染症の伝播過程を検証できるモデルとなっている。感染遷移式に関する推計結果に基づき、Adda(2016)は学校の休校はすべての感染症の地域内伝播に対し有意に抑制力を持つことを指摘している²⁰。また、インフルエンザの地域間伝播について休校は子供の発病に対して有意な抑制力を持つ他、交通関連のストライキについては、子供への地域内伝播以外の伝播に有意の抑制力を発揮しているとする。

¹⁹ 児童(children: 0-18)、成人(adults: 18-64)、老年(elderly: 64-)を指す。

²⁰ インフルエンザにおいては問題とはならないが、他の感染症においては社会的距離拡大戦略が特定の年齢層に対して感染の促進に繋がってしまっているケースがいくつか存在する。例示をすると、本来外部で労働する成年人口や学習を行う児童が家庭にいる事により、家庭における感染率、特に老年世代の感染率が上がる場合がある。

(図.4) 各種感染症に対する教育機関閉鎖の効果(France)(Adda, 2016)

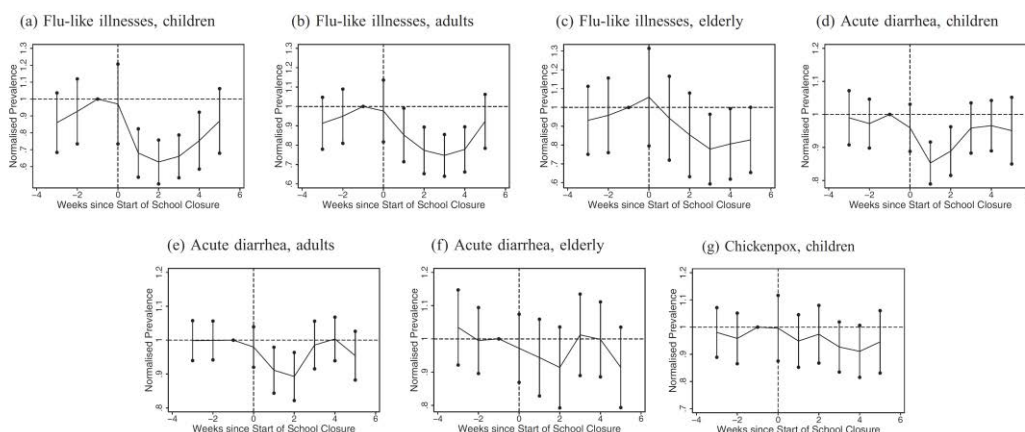


FIGURE V
Event Analysis: School Closures

The different panels display the estimates of equation (2) and show the weekly incidence of the disease within a region as a function of the time since the first week of school holidays. Results obtained from a regression controlling also for region, year and week effects. Standard errors are clustered by region. The incidence is normalized by the average incidence one week before the strike (labeled as -1). School closures last typically for one or two weeks, except for the 8-week summer break. Solid line is the mean effect by week, 95 percentiles are shown as vertical bars.

最終的に、Adda (2016)はフランスの労働統計(INSEE)から計算された各抑制手段の社会的コストと感染抑制による便益(VSL)を比較することを通じて、抑制手段の実行を通じた純便益は死亡率に依存して大きくなること、高齢者に対して逆進的となることを指摘している。このように、Adda (2016)は流行時の推計ではないものの、公共施設の閉鎖や交通手段の規制等の社会的距離拡大戦略の実施の効果の指標となる研究となっている。

(3)流行下での抑止策-アメリカのケース

Barro (2020)と Correia et al. (2020) は、Barro et al. (2020) と同様に COVID-19 の大流行を受けて発表された研究である。これらの研究は、スペイン風邪への感染抑制手段としてアメリカで自治体単位の裁量で非医薬的介入(NPI: Non-pharmaceutical Intervention)が実施され、非医薬的介入の開始時期及び度合いに違いが生じたことを利用して感染抑制政策の効果を検証している。研究で用いられているのは、経済変数に加え、1918年における30州および66都市におけるインフルエンザの死亡率と同年の米国の43都市における非医薬的介入(NPI)のデータである。ここでの非医薬的介入には、学校閉鎖、公共の場での集会の禁止、個人の隔離及び交通遮断等が含まれており、これらに関するデータは Markel et al. (2007)に集計されている。

Barro (2020)は、非医薬的介入が実施された各都市における流行のピーク時における死者数と累計死者数を用いて、この介入がいかなる効果をもたらしたのかを検証している。ここでの課題は、非医薬的介入と死亡率の同時決定性である。即ち、非医薬的介入の結果死者数が抑制された可能性がある一方において、死者数の増加を受けて地方政府が非医薬的介入の実施を決定するというシナリオも想定される。Barro(2020)は、当時感染症が最初に観測された海軍施設のあるボストンからの距離を操作変数とした2段階最小二乗法を用いて同時決定性による推計結果バイアスの除去を試みている。

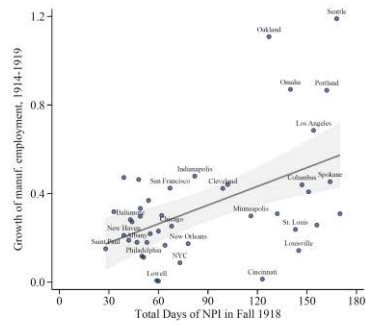
推計の結果、非医薬的介入は流行のピーク時の死亡率を相対的に抑制した一方において、流行時期に

おける総計死亡率の抑制には至らなかったとしている。Barro (2020)は、この結果について、非医薬的介入の実施期間が短いことによると指摘し、今回の大流行の犠牲者の抑制のためには十分な実施期間を確保すべきであると主張している。

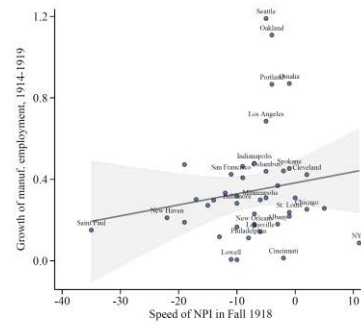
Correia et al. (2020) の主要推計では2種類の推計が行われている。1つは1916年から1923年までの製造業雇用、製造業生産高、民間銀行資産、国立銀行資産の評価損益等の経済変数を1918年の地域別インフルエンザ死亡率に回帰させるといった一般的な経済推計である。結果、1918年のスペイン風邪の流行及びその死亡率はこれらの経済変数に対して長期的な負の効果を与えていることが分かった、としている。そして、この結果はBarro et al. (2020)の国際間比較とも整合的である。もう1つの推計は、非医薬的介入の実施が実体経済にどのような影響を及ぼすのかを取り扱うものであり、こちらにこの論文の貢献がある。(図.5)は、インフルエンザが流行を始めてから非医薬的介入開始までの迅速さ(NPI Speed)及び介入の強度(NPI Duration)²¹と各種経済変数の関係に関する推計結果を図示したものである。この図からは、一般的な懸念に反して非医薬的介入が製造業雇用、製造業生産高、国立銀行資産に負の影響は与えなかったことが分かる。

²¹ 迅速さはインフルエンザの死亡者数が例年の2倍を超えた時点から非医薬的介入のための何らかの施策の実施までの期間、強度は非医薬的介入の実施期間にて定義される。

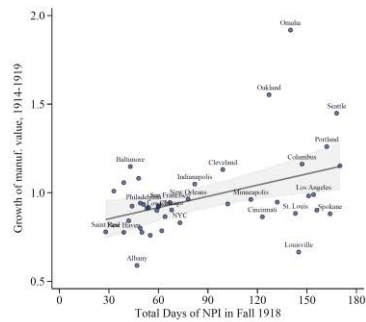
(図.5) 非医薬的介入(NPI)と各種経済変数の成長率の対応(US)(Correia et al. 2020)



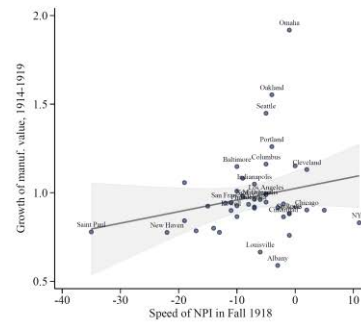
(a) Growth of city-level employment from 1914 to 1919 by the number of days with NPIs in fall 1918.



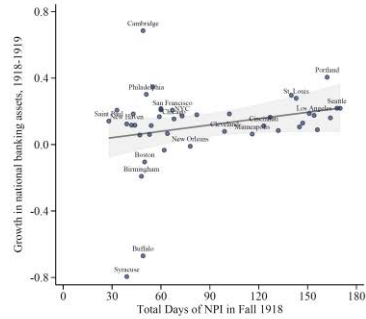
(b) Growth of city-level employment from 1914 to 1919 by the speed NPI implementation in fall 1918.



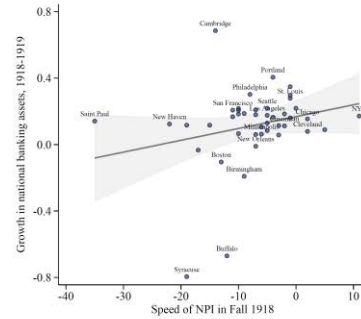
(c) Growth of city-level manufacturing output from 1914 to 1919 by the number of days with NPIs in fall 1918.



(d) Growth of city-level manufacturing output from 1914 to 1919 by the speed NPI implementation in fall 1918.



(e) Growth of city-level national bank assets from October 1918 to October 1919 by the number of days with NPIs in fall 1918.



(f) Growth of city-level national bank assets from October 1918 to October 1919 by the speed of NPI implementation in fall 1918.

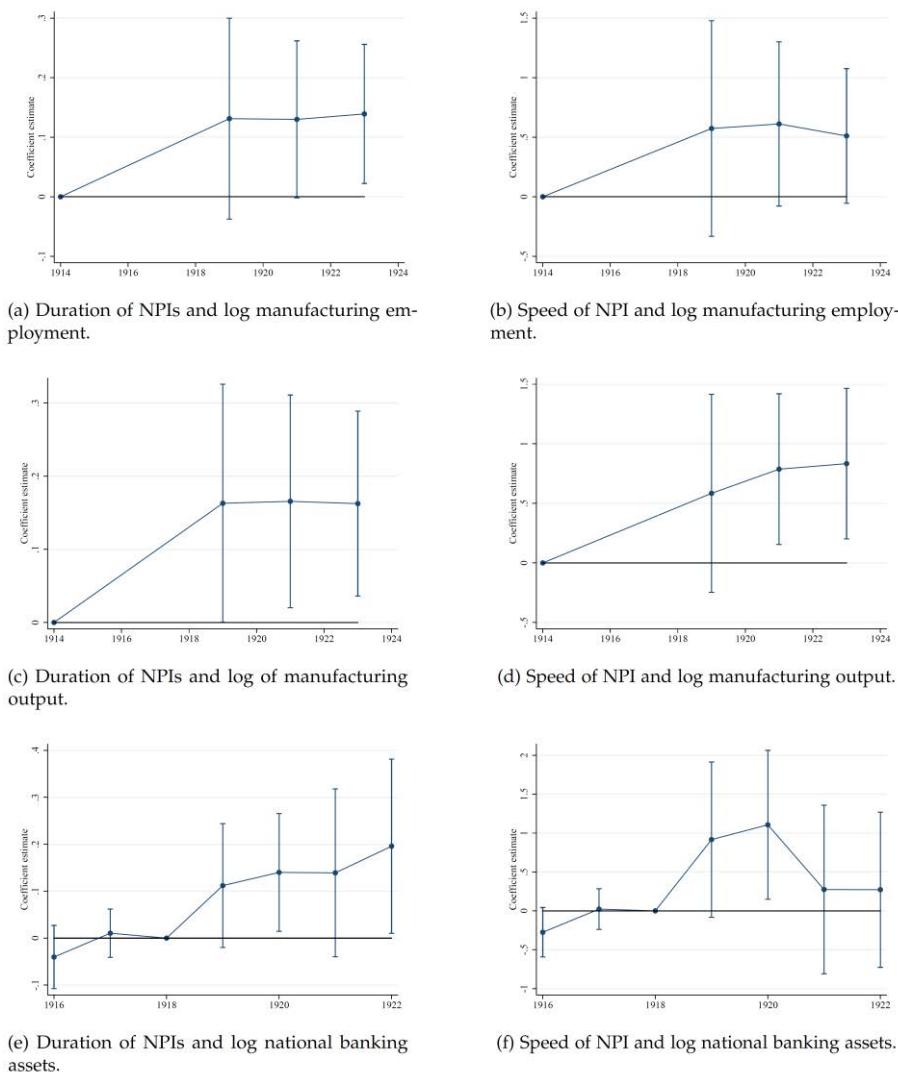
23

さらに Correia et al. (2020)は、追加的推計により流行後の経済の回復過程における非医薬的介入の効果 を明らかにしている。この推計においては、追加的な説明変数として前述の「非医薬的介入実施開始の迅速さ」及び「実施の強度」が導入されている。推計結果は(図.6)にまとめられているが、非医薬的介入が 早期に実施された場合及び介入の実施期間が長期にわたった場合²²において、他の地方に比して流行時の 経済活動の減退及び流行後の経済成長がどのように変化するのかがイベント分析を用いて図示されてい る。この分析からは、非医薬的介入の早期の実施ないしは長期の実施は、製造業の雇用者数及び生産高、

²² それぞれ標準偏差分(8日早く実施、46日長く実施)を指す。

国立銀行資産等の経済変数の回復過程に強い正の効果を発揮していることが理解できる。Correia et al. (2020) は、これらの分析の結果として、非医薬的介入の実施は流行中の経済活動の減退を有意に加速させるものではなく、むしろ流行後の経済の回復を促進する効果があると結論付けている。スペイン風邪の流行は1世紀以上前のことであり、現在と当時とでは医療技術の進展を含め社会経済状況は異なるものの、Correia et al. (2020)は現在の非医薬的介入実行の長期の経済的帰結に対して一定の知見を与えるものである。

(図.6) 各種経済変数の成長率への非医薬的介入(NPI)の効果推定(US)(Correia et al. 2020)



しかしながら、この研究については幾つかの反論が存在する。Lilley et al. (2020)は Correia et al. (2020)と同種のデータを用いつつ、時系列を1890年代から1920年代後半まで拡張した上で、(1)都市特有の線形トレンド(2)NPIの強度と迅速さと線形トレンドの交差項を導入することを通じて、NPIの雇用への影響が消滅する点を指摘している。Lilley et al. (2020)は、非医薬的介入の各種指標と雇用成長率が感染症流行前における都市ごとのトレンドを通じて相関していることがこの結果の違いの原因であると示し、交絡因子の制御を主張している。また、長期を対象とするか短期を対象とするかの違いはあるものの、Velde(2020)はBarro (2020)と同様死者数の抑制に関する非医薬的介入の効果を肯定しつつも、経済に対し

ては限定的な影響しか持たなかったと主張している。ただし、これらの研究で検証されているのは Correia et al. (2020)が提示した仮説の一部にすぎず、経済の様々な面への非医薬的介入の効果については、今後も注目していく必要がある。

以上、昨今において議論となっている感染症の抑制策に関する実証研究を取り上げた。対象となっている事象、期間は異なるものの、概してこれらの研究の含意は、COVID-19 の流行を抑えるための社会的距離拡大戦略及び非医薬的介入が感染抑制、社会経済の面でどのような効果を発揮するのかを検討する際の一つの指標となるであろう。

5. 感染症に関する経済モデル分析

これまでに述べてきた研究の大半は、純粋に経済学的な観点から感染症の経済への影響を評価することを目的としていた。一方で、感染症自体を対象とする感染症学(epidemiology)の分野においても昨今の感染拡大は注目を浴びている²³。この流れを受け、2020 年初頭より感染症学の基本モデルである SIR (Susceptible, infective, and removed)モデルを応用した経済分析が蓄積されている(コラムも参照の事)。これらのなかでも感染症学及び SIR モデルに関する知見、取扱の注意を与えることを目的として執筆された論文が、Atkeson(2020)及び Stock(2020)である。これら2つの論文の紹介を通じて、COVID-19 の感染症学特性上の扱いについて議論を行う。

(1)疫学モデルによる感染抑止策のシミュレーション

Atkeson(2020)は SIR モデルを確率過程の一種である Markov 過程と捉え直し、感染者が人口の1%(医療の人的資源が不足する水準)と10%(経済全体の人的資源が不足する水準)を超えた場合の経済に対する累積的超過コストを導出した上で、社会的距離拡大戦略の効果を分析している。そこで、ここでの議論のベンチマークとなっている Anderson et al. (2020)の分析をまず取り上げたい(図.7)。

Anderson et al. (2020)の議論は、社会的距離拡大戦略の実行に当たっては感染症に関する正確な情報の集積を通じた介入の強度と実施期間の総合的な判断が必要であるというものである。正確な情報を要する要因としては、不確実性の存在がある。感染の最盛期の開始時期及びその期間は主に情報の不足と地域性の要因から予測は困難であることが知られている。特に感染者の少ない初期段階においては、伝播は確率に支配されるうえ、接触パターンや地域性等の影響も受ける。この不確実性は、社会的距離拡大戦略の解除時期の決定に重大な影響を与える。社会的距離拡大戦略の効果は疫病モデル(図.7)上でも自明であるが、この戦略に基づく介入を早期に解除してしまうと、いかに強度の高い介入を実施しようが、再度感染の拡大が発生することが確認されている。Atkeson (2020)においては、主としてこの再感染を中心に社会的距離拡大戦略の実施経路が議論されている。即ち、感染を有効に抑制するためには12~18か月の長期の社会的距離拡大戦略が必要であること、感染による人的損害と抑制策による経済的損害はトレードオフとなること、社会的距離拡大戦略の早期解除は感染再拡大をもたらすことが述べられている。

²³ Stock (2020)が引用する Li et al. (2020)や Qui et al. (2020)等、感染症学においては無症候性の感染者を定式化した分析手法の開発、実施が急務とされている。また、Imperial College の COVID 緊急対応チームが非医薬的介入による医療崩壊の抑止に関する論文を発表している(Ferguson et al. 2020)。

(図.7) COVID-19 伝播のシミュレーション(Anderson et. al, 2020)

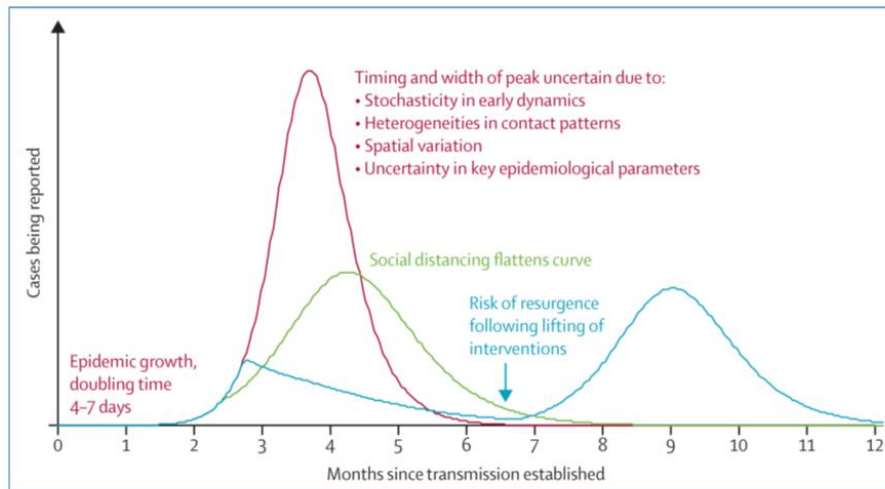


Figure: Illustrative simulations of a transmission model of COVID-19
 A baseline simulation with case isolation only (red); a simulation with social distancing in place throughout the epidemic, flattening the curve (green), and a simulation with more effective social distancing in place for a limited period only, typically followed by a resurgent epidemic when social distancing is halted (blue). These are not quantitative predictions but robust qualitative illustrations for a range of model choices.

(2)無症状者と抑止効果のモデル分析

それでは、感染症に係るデータはいかにして収集され活用されるべきなのか。これに関して、Stock(2020)は SIR モデルを社会的距離拡大戦略の政策分析に適用し、執筆時点(2020年3月)で最新のデータを用いたシミュレーションを行っている。Stock(2020)においては、COVID-19の分析に合わせて、分析に当たって留意すべき点がいくつか述べられている。

第一の留意点は、各種抑制政策が伝播係数 β にのみ影響を与える点である。このため、感染症下での最適政策の導出過程は、(1)所定の伝播係数 β に対する経済コストの最小化問題、(2)経済コストと感染症リスクのトレードオフの下での政策経路(伝播係数 β)の選択問題から構成されるのが望ましいとされている。無症状者の存在が COVID-19 の特色であり、対処を難しくしている点であることも特に指摘されている。ただし、データは現時点では症状などにより選択された母集団²⁴から得られているため、陽性率と実際の感染率との間には乖離があることに注意が必要である点、無症状者の存在により陽性反応率の解釈はベイズの定理²⁵を用いて行われるべきである点を Stock(2020)は指摘する。母集団が有症状者に限定される

²⁴ Stock(2020)の執筆時点(2020年3月)から一定の時間が経過し NY 州等アメリカの一部地域や武漢市での全数検査、アイスランドの国全体での検査等、発症を条件としない検査(ランダム化検査)の事例が増えてきている。これらの地域における感染率の導出が望まれる。

²⁵ ベイズの定理を用いて陽性反応率(有症状者中の感染率)を表記すると以下の様になる。

$$\Pr[I_t | \text{Symptomatic}_t] = \frac{\Pr[I_t | \text{Symptomatic}_t] \Pr[I_t]}{\Pr[\text{Symptomatic}_t]} = (1 - \pi_a) \frac{\Pr[I_t]}{\Pr[\text{Symptomatic}_t]}$$

ここで、 $\Pr[I_t | \text{Symptomatic}_t]$ は陽性反応率、 $\Pr[\text{Symptomatic}_t]$ は全人口に対する有症状者割合、 $\Pr[I_t]$ は感染率である。また、 $\pi_a = 1 - \Pr[\text{Symptomatic}_t | I_t]$ は無症状率であり有症状者割合は以下の様に導出される。

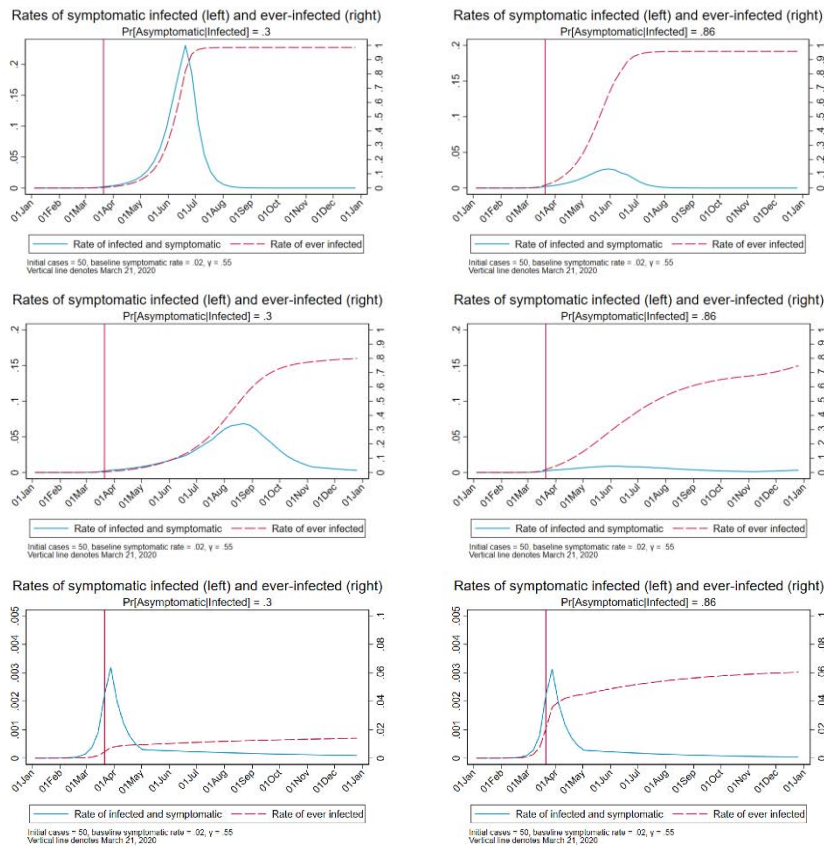
場合には検査による陽性反応率は有症状者中の感染率にすぎず、全人口に対応する感染率を導出する上では、追加的に(1)感染者に対する無症状者の割合、(2)全人口に対する有症状者の割合についての情報を入手し、ベイズの定理を適用する必要がある、無症状者の割合は慎重に導出される必要²⁶がある。

(図.8)は(A)2020年4月時点から順次感染緩和を解除するケース、(B)2020年11月まで感染緩和を実施するケース、(C)5週間の感染抑制実施後、強度の高い感染緩和策を継続するケースにおいて、有症状者に対する陽性反応率と全人口の感染率がどのように対応するのかを、無症状率が30%の場合と86%の場合について検証したものである。上段(A)のケースでは、無症状率が低い場合には検出される有症状者がかなりの数にのぼることとなるために、医療システムに負荷がかかる結果となる。中段(B)では、無症状率が高い場合には検出される有症状者は極めて少なく、逆に余分な経済的負担が生じることが判明している。下段(C)は感染抑制と感染緩和策の併用である。この場合には感染率は抑えられるものの、甚大な経済コストが生じる。このように、無症状者の存在は最適な社会的距離拡大戦略の選択に大きな影響を与える可能性があり、COVID-19の正確な情報を集める事は経済社会的にきわめて大きな意義があるといえる。

$$\begin{aligned}
 \Pr[\text{Symptomatic}_t] &= \Pr[\text{Symptomatic}_t|I_t]\Pr[I_t] + \Pr[\text{Symptomatic}_t|S_t]\Pr[S_t] \\
 &\quad + \Pr[\text{Symptomatic}_t|R_t]\Pr[R_t] \\
 &= (1 - \pi_a)\Pr[I_t] + s_0(\Pr[S_t] + \Pr[R_t])
 \end{aligned}$$

²⁶ 無症状者数の推定方法に関しては、Hortaçsu (2020)や Manski and Molinari (2020)等の研究がある。前者は地域で最初の発症例が観測された時点、国ごとの流行中心地から当該地域への移動者の数、ランダム化検査から得られた感染率を用いて、ある地域への移動者からの感染数を推定し、実際の地域の感染者数と比較する事で無症状者数を導出している。後者は、部分識別法(partial identification)と検査や感染症に関する一般的な特性に関する各種仮定、想定される無症状率の範囲を用いて累積感染率や感染重症化率に関する範囲推定を行う研究である。但し、両研究ともランダム化検査の広範の実施がCOVID-19の実態の把握に不可欠であること、これらの手法はあくまで次善に過ぎないことを強調している事に注意を要する。

(図.8) 無症状者割合が感染率推定に与える影響(Stock, 2020)



(3)マクロ経済に関するモデル分析-感染症遷移式の導入

最後に Atkeson(2020)や Stock(2020)で明示されなかった社会経済的コストを取り扱った研究として、Eichenbaum et al. (2020a)を取り上げる。この研究は SIR モデルを一般均衡分析に導入した研究であり、これまでの感染症研究をサーベイする一方、新規研究においても頻繁に引用されており、今後の経済モデル研究の指標となる可能性がある。この論文においては、感受性者(susceptible)、感染者(Infected)、快復者(recovered)それぞれの効用関数²⁷が定式化され、SIR モデルに基づいて各種経済主体の人口割合が変動するメカニズムが組み込まれている。経済主体の消費、労働供給は SIR モデルの接触機会と連動しており、経済主体は消費、労働供給の際に感染のリスクに晒される²⁸。(図.9)は感染症が経済活動から独立した動学を持っている従来の感染症モデルと、Eichenbaum et al. (2020a)による感染症と経済活動が相互依存するモデルを、政府介入が存在しない下で比較したものである。

²⁷ 効用関数は再帰的(recursive)形状をしており、感受性者は一定確率で感染者に、感染者は一定確率で死亡、ないしは快復者となる。快復者個人の効用関数には不確実性は存在しないが、感受性者の感染確率は個人消費と個人労働供給に依存するため最適化の対象となる。用語に関してはコラムも参照。

²⁸ Kermack and McKendrick (1927)における新規感染者 T_t は

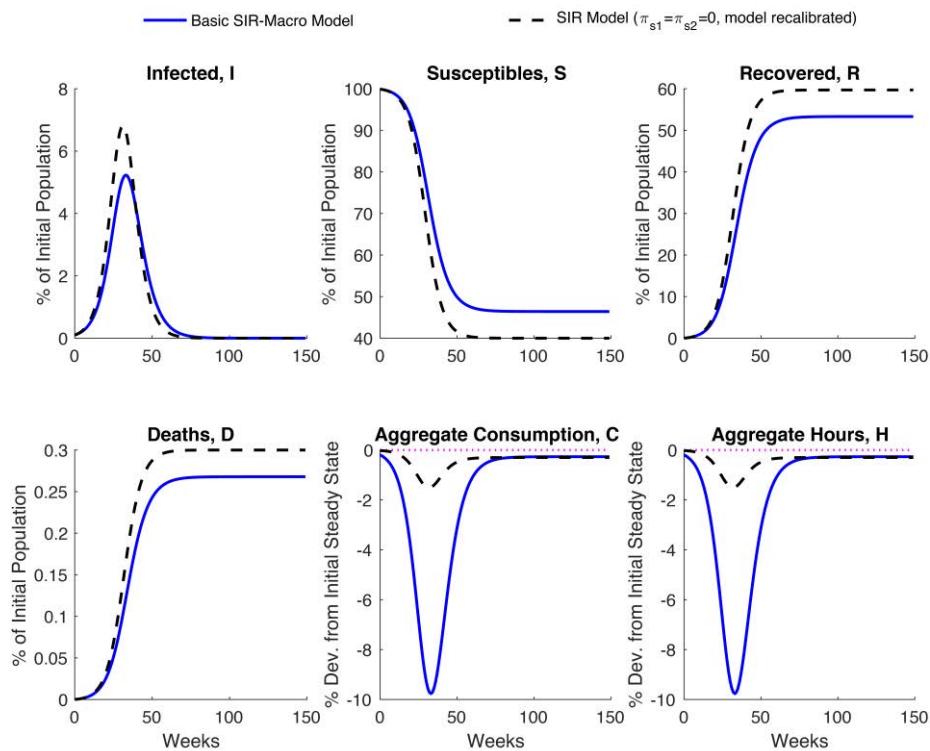
$$T_t = \pi S_t I_t.$$

で定義されている(記号は異なるがコラムも参照)。Eichenbaum et al. (2020)は追加的に消費を通じた感染 π_{1t} 、労働供給を通じた感染 π_{2t} を定義し、以下の様な定式化を行っている。

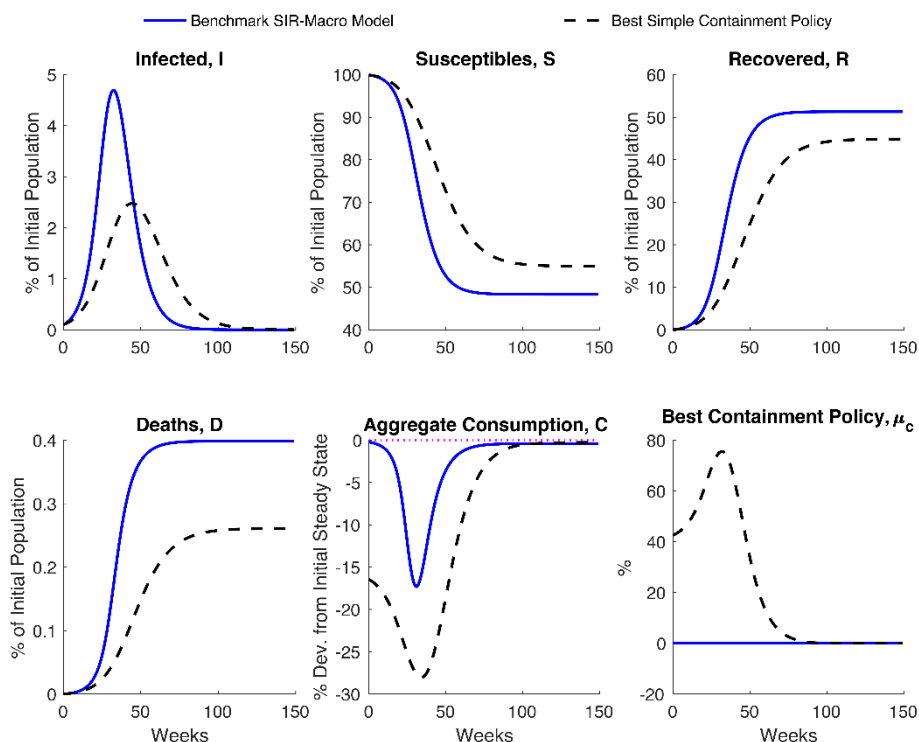
$$T_t = \pi_{s1}(S_t C_t^s)(I_t C_t^i) + \pi_{s2}(S_t N_t^s)(I_t N_t^i) + \pi_{s3} S_t I_t.$$

Eichenbaum et al. (2020a)では、感染の拡大に応じて人々は消費行動・労働供給を抑制するために、感染拡大が抑えられる一方で経済活動の後退は大きくなる。しかしながら、感染者は最大で人口の5%に上ることから、医療資源の問題は依然として存在する。(図.10)では、感染者の死亡率が感染者数に依存して増加する一方において、ワクチン及び治療薬が一定の確率で開発される現実的な定式化の下で、社会的距離拡大戦略の効果が検討されている。この戦略の下では、医療資源の枯渇により(図.9)よりも死者数が増加しているものの、感染者の増加に対応した封じ込め策“Best Simple Containment Policy”を通じて死者数をおよそ半分に減らすことに成功する。しかしながら、封じ込め策により経済的コストはさらに上昇してしまうことも明らかとなっている。

(図.9) 新規感染率と経済活動の連動(Eichenbaum et al. 2020a)

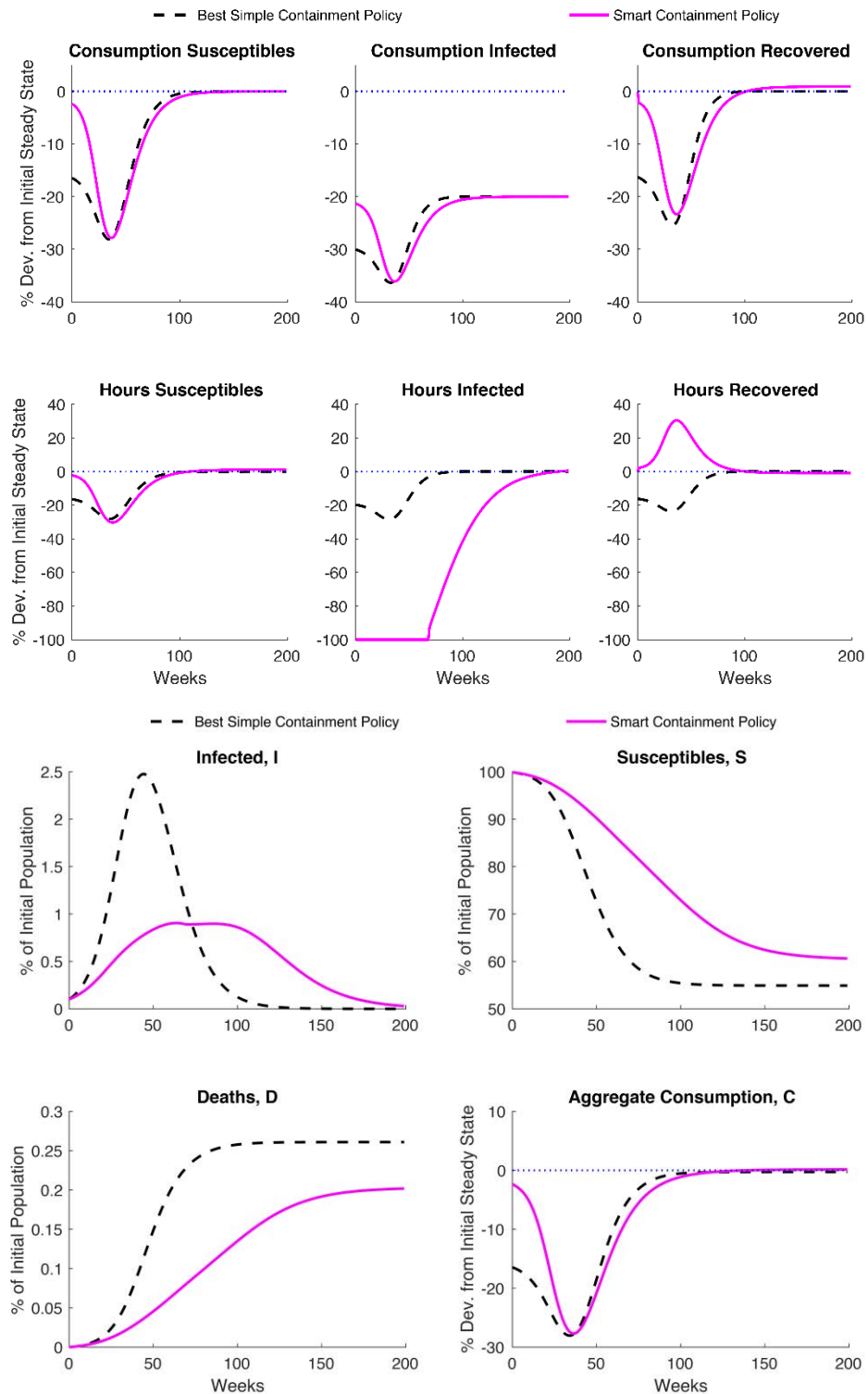


(図.10) 感染抑制策の効果(Eichenbaum et al. 2020a)



この分析を受け、Eichenbaum et al. (2020a)は社会計画者が全ての状態の経済主体の消費、労働供給を選択する社会計画問題の解として、“賢い抑制策”の在り方を議論する。ここでは、感受性者が労働供給を抑制する一方、快復者による労働供給は従来以上のものとなる、と仮定される。また、感染者は感染のリスクを避けるために全く労働を行わない。(図.11)はこのような“賢い抑制策”における各状態下での人々の経済行動及び経済全体の動向を示している。“賢い抑制策”の下での適切なリスク共有により、特に初期時点での消費の低下が抑えられると同時に、各状態間での消費の不平等が解消されていることが分かる。また、感染者は労働を行わないことから、感染の拡大は回避され、死者数は通常の抑制政策よりもさらに抑えられている。社会計画問題は実際に政策を行う上での外部性の問題を浮き彫りにするが、ここでは、(1)人々は自らの感染リスクのみを考慮して、自分の行動が社会に与える影響について考えない、(2)人々は医療資源の枯渇による死亡率上場の影響を考えない、という2つの外部性が存在することが明らかにされている。Eichenbaum et al. (2020a)の研究は、政策決定者が感染情報を正確に把握することに加え、社会を構成する個人が感染症の情報を適切に共有することの必要性も示唆している。

(図.11) “賢い抑制策”の効果(Eichenbaum et al. 2020a)



(4) マクロ経済に関するモデル分析-感染症抑制か経済か

上に述べた Eichenbaum et al. (2020a)において明らかにされたように、感染症の抑制と経済コストの抑制との間には避けがたいトレードオフが顕在化する。SIR モデルを用いた経済モデル分析は現在急速に発展

しており、膨大な研究成果が蓄積されつつある。そして、そのほとんどの研究は、如何にしてこの感染症と経済のトレードオフを緩和できるかに焦点を当てている。ここでは、膨大な研究のなかから注目すべき研究を抽出して紹介する。

まず、COVID-19 に関する検査の実施と感染者隔離(testing and quarantine)政策に関する研究である。Eichenbaum et al. (2020a)が指摘した、政策担当者と国民との感染に関する情報の非対称性を解消する手段として、上記の政策を提示したのが Piguillem and Shi (2020)である。彼らは COVID-19 の特性を踏まえ、感染無症状者(exposed)の存在を定式化した拡張 SIR モデル(SEIR モデル)の下で、経済活動(労働時間)と死亡者数で定義される政策目標を最適化する政策担当者の問題を分析している。ここでは、死亡率²⁹は医療機関の許容量の関数となっており、患者数が一定以上となると治療が不可能となり死亡率は上昇する。また、感染有症状者(infected)は直ちに隔離対象となり、さらに、感染無症状者は観測可能な症状を有しない点で感受性者と同様であることから、感受性者と同様の強度で隔離される。

このような想定の下で、政府が検査を行わない一律隔離(quarantine)を実行した場合には、死亡率は1%から0.01%程度に抑制されるものの、感受性者と無症状者の59%から99%までが27日から59日間³⁰隔離対象となり、経済に大きな支障が出る。これに対し、検査を行った上で感染者と判定された者を隔離する場合、感染無症状者のなかで陽性となった者は直ちに隔離され、感受性者と陰性の感染無症状者に対して適用される隔離率が12%から94%となり、隔離期間も1日から59日の範囲まで緩和される。一律隔離と検査からの隔離の2つのシナリオにおける死亡者数、死亡率に違いはほとんど存在せず、後者の場合において前述のトレードオフが緩和されたこととなる。

検査と隔離の組み合わせを対象とした分析は他にも存在する。情報の非対称性の解消手段を検査に求め、政府が人口の一定割合の検査を実施する形で Eichenbaum et al. (2020a)を拡張した Eichenbaum et al. (2020b)は、(1)検査で陽性となった者の感染リスクが消滅し、経済活動を抑制する意義がなくなることから、検査のみでは経済と感染症のトレードオフがやや悪化すること、(2)陽性者を隔離すると経済活動による感染と感染リスクを同時に減らせることから、検査と隔離の実施によりトレードオフが大幅に改善することを指摘している。また、Berger et al. (2020)は SEIR モデルをさらに拡張し、感受性者と無症状者³¹を検査の有無により2つのグループに分割している。感受性者への検査は陰性検査と呼ばれ、感染していない無症状者を検出する。無症状者への検査は陽性検査であり、無症状者のなかから感染者を検出する。(I)どのグループに属するか、(II)隔離されているか否かに依存して変化する各主体間の感染率を定義した上で、Berger et al. (2020)は2種の検査の実施の便益を述べている。即ち、陰性検査により確実に感染していないと判明した集団に対する隔離の緩和により経済への負の影響は緩和され、陽性検査により確実に感染したとされる集団に対する隔離を強化することで医療機関に対するピーク時の負荷を緩和することができる。

トレードオフを緩和するもう一つの政策は、年齢や社会属性に応じて隔離の強度やタイミングを変更する政策である。Ferguson et al. (2020)の研究において明らかにされたように、COVID-19 感染による入院

²⁹ 当時十分な検査数が確保されていたイタリアと韓国のデータが用いられている。

³⁰ VSL(Value of Statistical Life)定式化の違いによる。

³¹ この場合の無症状者は Piguillem and Shi (2020)の感染無症状者(exposed)と異なる。Piguillem and Shi (2020)は感染者が発症し有症状者(infected)となる前の段階の者を指すが、Berger et al. (2020)では感受性者と感染無症状者の両者を無症状者と呼んでいる。

率、重症化率、死亡率は年齢階層ごとに大きく異なり、10代から30代までの若年者では重症化する可能性は低いのに対して、特に70代以上の高齢者では重症化率と死亡率が跳ね上がることが知られている。高齢者の労働時間は若年者に比して短いことから高齢者に強度の高い隔離を長期間適用し、若年者に対しては流行時に短期間の、強度の低い隔離を適用する。そして、このことを通じて、初期における医療資源のひっ迫を回避した後は適宜経済活動を再開するといった政策が考えられる。また、産業毎に業務上での接触の機会異なることも想定されるため、感染を媒介する可能性の高い業種に対する補償を充実させる代わりに、これらの業種における経済活動を控えてもらう形で、感染症抑制と経済活動の両立を図ることも検討されるべきである。

この分野の初期の研究には、Rampini (2020)がある。ここでは、(1)隔離を全人口に対して早期に解除するケース、(2)隔離を全人口に対して長期間継続するケース、(3)若年者に対する隔離を早期に解除し、高齢者に対する隔離を長期間継続するケースの3つが検討されている。Rampini (2020)は広範なパラメータ設定の下で、(3)のケースが感染症による犠牲者、医療資源のひっ迫、経済的損失を回避する上で最も良好に結果を示す、としている。これは、感染症の影響の少ないグループが早期に経済活動に復帰することに加え、これら若年者の一定割合が免疫を獲得するために、後に復帰する高齢者の感染数が減少することに由来する。また、高齢者が復帰するタイミングでの医療体制の整備や治療技術の進歩がより期待される点もこの政策のメリットとして挙げられている。

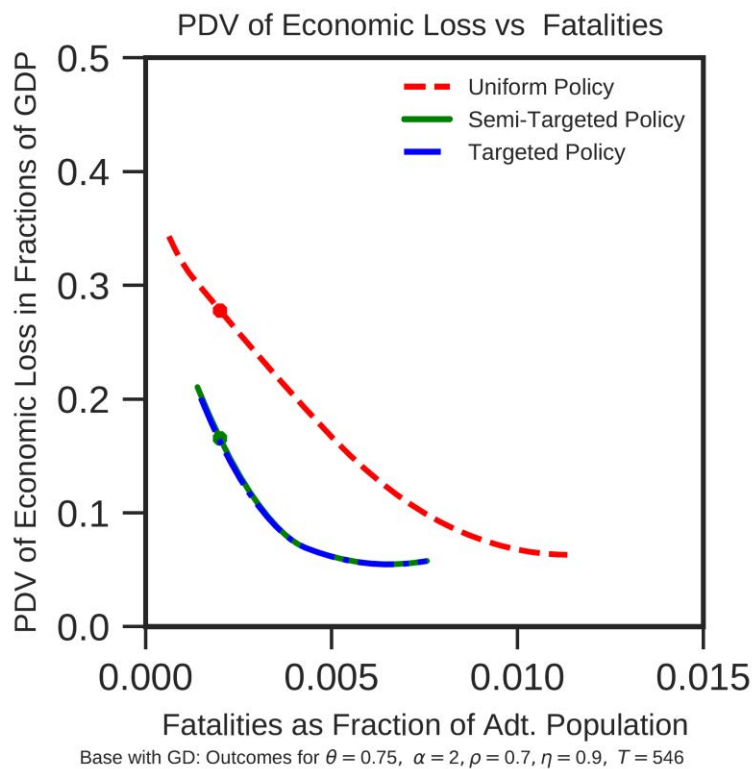
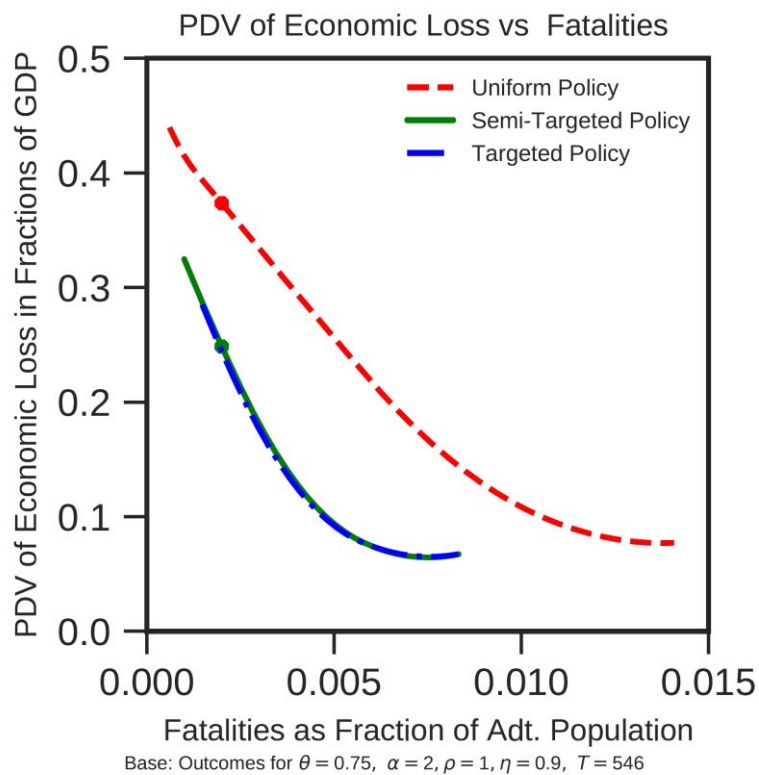
Acemoglu et al. (2020)も、人口を若年者、中年者、高齢者に分割した上で、各年齢グループ間の接触機会を定式化する手法を用いて、年齢別の隔離政策、及び社会一般に適用される社会的距離拡大戦略や追跡調査の効果、効率性フロンティア³²を用いて分析している。彼らの研究の含意は、経済と感染抑制のトレードオフを規定する効率性フロンティアは年齢ごとに異なる強度の隔離を適用する事で大幅に改善するというものである。また、改善効果の大半は、隔離政策を通じて最も感染症の影響を受ける高齢者の長期の隔離からもたらされていること³³も指摘されている(図.12 上)。最後に Acemoglu et al. (2020)は、こうした年齢別の隔離政策は、年齢グループ内、グループ間の感染機会を抑制する社会的距離拡大戦略や追跡調査³⁴と組み合わせることによって最大の効果を発揮すると主張している(図.12 下)。

³² 2章の記述も参照のこと。(図.12)では、感染症による死者数と経済的損失が少ない左下にフロンティアが存在する程、トレードオフが改善している事を示す。

³³ 一律隔離政策(Uniform Policy)に比して、各隔離政策のフロンティアは改善している。一方で、若年者、中年者、高齢者を厳密に区別する集中隔離政策(Targeted Policy)と高齢者のみを区別する準集中隔離政策(Semi-Targeted Policy)の結果実現するフロンティアに大きな違いはない。従って COVID-19 のケースでは、若年者と中年者の区別に大きな経済学的意義はない事になる。

³⁴ これらの施策の効果は感受性者と感染者の接触機会を表すパラメータ(ρ)の低下に表れている。

(図.12) 効率性フロンティアを用いた感染症と経済のトレードオフ分析(Acemoglu et al. 2020a)



Favero et al. (2020)は、イタリアの2地方(ロンバルディア州・ヴェネト州)における感染症の拡散過程の違いに着目し、各地域の人口密度、9段階の年齢構成、3種類の行動履歴(通勤、移動、購買)を用いて、人々の自粛行動、地域の年齢・産業構成、人口密度の感染拡大への寄与度を求めた上で、年齢・業種(低リスク・高リスク)の間で隔離のタイミングを様々に変更する政策の効果を求めている。結果、高リスクの産業に従事する高齢者から開始して低リスクの産業の若年者に対して徐々に隔離を適用してゆく政策が、最も望ましい効率性フロンティアをもたらすことが示されている。

最後に、SIR(SEIR)モデルとこれを応用したモデル分析についての留意点を述べる。これらのモデルは、快復者が免疫を獲得し再感染が発生しないとの仮定を置いている。しかしながら、WHO(2020)の指摘によると、COVID-19を発生させるウイルスであるSARS-CoV2においてこの仮定を支持する証拠は存在しない。逆に、Shaman and Galanti (2020)においてはCOVID-19の感染者が永続的に免疫を得ることに関する否定的な証拠が提示されている。Acemoglu et al. (2020)やEichenbaum et al. (2020b)等この仮説に関する頑健性確認を行う研究も存在するものの、大半の研究は社会の集団免疫の獲得かワクチンの開発を感染症抑止政策の目標としていることから、この仮定が仮に満たされない場合には新たな検討が必要となる可能性がある。

以上、この章においては、感染症を経済学的に解釈する際に有益な示唆を与えると思われる諸研究についての紹介を行った。各節にて紹介した通り、Eichenbaum et al. (2020a)が本格的に導入した感染症の遷移方程式と一般均衡に関する研究は様々な方向に拡張されつつある他、経済学のその他の分野においても感染症を扱った研究が急速に蓄積されつつあり³⁵、今後の感染症研究の発展が期待される。

³⁵ Eichenbaum et al. (2020)以外にも、Jones et al. (2020)の実践学習(learn by doing)を用いた在宅勤務の分析や、HANKモデルを用いたKaplan et al. (2020)等をはじめとする多数の研究が存在する。また、先述のFaria-e-Castro(2020)やGuerrieri et al. (2020)はニューケインジアン枠組みで感染症を記述する初期の研究である。前述のGlover et al. (2020)も複数部門からなる経済における最適な政策を効用最大化の観点から解析している研究である。SIRモデル自体の注目度も高く、Toda (2020)が実質変数に加え株式市場の分析を行っている他、Toxvaerd (2020)は均衡モデルを用いて社会的距離拡大戦略についてのより深い議論を行っている。実証研究においても、労働力の欠乏や予備的貯蓄等の仮説に関して長期時系列を対象に検証したJorda et al. (2020)等、感染症に対する注目が高まっている。

コラム：感染疫学(Epidemiology)について

感染疫学では、感染症の拡散・収束過程が数理モデルによって記述されている。現在の感染疫学で基本となっている SIR モデル(Susceptible, infected, and recovered)は、Kermack and McKendrick (1927)によって提示された、感染症の流行を記述するモデルである。人口は感染症に起因する特性を除いて均質であり、病状の進行に応じて3つの小集団に分割される。

1. 感受性人口(Susceptible)

病気に罹患しておらず、罹患する可能性のある個体からなる人口。

2. 感染性人口(Infected)

病気に罹患しており、他者をその病気に感染させる可能性のある個体からなる人口。

3. 除去人口(Recovered)³⁶

罹患した後に、免疫を得ている、または死亡や隔離状態にある個体からなる人口。

各集団に時刻 t において属している個体の数をそれぞれ $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$ と表すことにする。時刻 t における総人口を $P(t)$ と表す。この時式(1)が成立する。さらに、人口が一定数である状況下でモデルは系(2)で表されることが知られている。

$$S(t) + I(t) + R(t) = P(t) \quad (1)$$

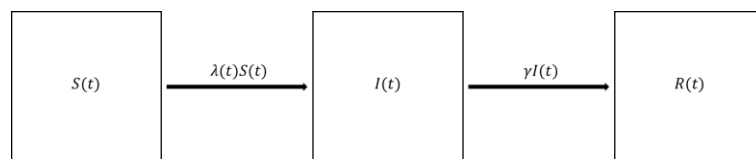
$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -\lambda(t)S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \lambda(t)S(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \gamma I(t) \\ S(0) &= S_0, \quad I(0) = I_0, \quad R(0) = R_0 \end{aligned} \quad (2)$$

仮定により、 $S_0 + I_0 + R_0 = P$ が成立している。遷移方程式系の各パラメータは以下を意味する。

感染力: $\lambda(t)$ 感受性の個体が病気に罹患し、感受性人口へと移動する率。

除去率: γ 感受性の個体が集団から離れ、除外された人口へと移動する率。

系(2)に記述された方程式は(図 A.1)のような遷移方式で表記が可能であり、SIR モデルではこの遷移方式で感染症の流行のプロセスが記述されることとなる。



(図 A.1) SIR モデルの遷移方式(イアネリ他, 2014)

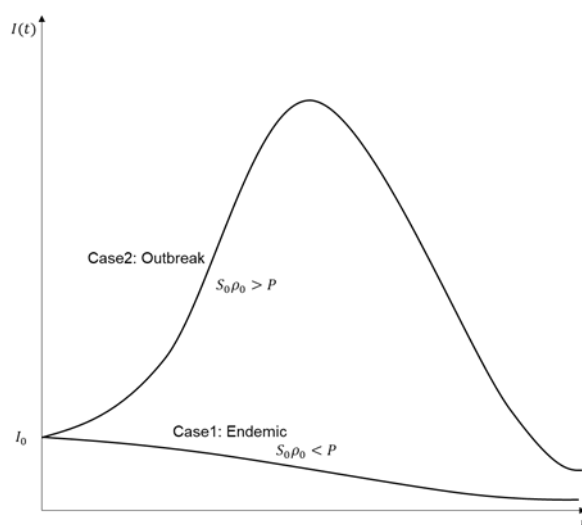
特定の感染症の感染メカニズムは感染力(force of infection) $\lambda(t)$ の数学的定式によって表現される。 $\lambda(t)$ の典型的構成的形式は、以下のように記述される。

$$\lambda(t) = c\phi \frac{I(t)}{P} = kI(t) \quad (3)$$

³⁶ 本文中では快復者と表記。

c は接触率であり、1個体の単位時間当たりの集団内の他個体への接触率を意味する。また、 ϕ は感染性であり、感染症の個体との1回の接触によって感染が起こる確率を表す。項 $I(t)/P$ は、接触した個体が感染症の個体である確率を意味する。

SIRモデルの特徴として、閾値現象(threshold phenomenon)が観測される点があげられる。これは、パラメータ $\rho_0 = c\phi/\gamma$ と初期時点の感受性人口割合の逆数(P/S_0)の大小関係に依存して感染者数の挙動が異なる³⁷という現象である。このパラメータが逆数に対して小さい感染症は地域流行(endemic)と呼ばれており、特定地域に継続的に一定割合の感染者が観測される状態を指す。このパラメータが大きい感染症は、流行の突発(outbreak)をもたらす。突発はさらに、特定地域内・集団内で急速に感染者が拡大する流行(epidemic)と、国内・世界全域で感染者が拡大する汎発流行(pandemic)の二段階に分かれる。地域流行と突発のケースにおける感染者数の挙動は(図 A.2)に描写されている。この特有の動学が感染症の大流行の要因そのものであり、感染力の正確な把握や感染症抑制の為の各種の議論に決定的な意義をもたらしているといえるだろう。



(図 A.2) SIRモデルの遷移方式(イアネリ他, 2014)

6. 結び

本稿においては、感染症がもたらした社会的事情の経済学的な扱いと今後の議論の方向性が概観されている。冒頭では、感染症が経済分析の枠組においていかに定式化されてきたのかをサーベイした。次に、感染症に関する実証経済学を、20世紀に猛威を振るったスペイン風邪に関するものを主体として列挙した。その上で、我が国において議論になりつつある社会的距離拡大戦略、非医薬的介入に関する実証研究を抽出し、独自の章を設けて紹介した。最後に、2020年に入ってから感染症学の経済学への応用の流

³⁷ このパラメータを解釈すると、罹病した個体が死去するか快復するまでの間に何名の感染を引き起こすかに対応している。すなわち、地域流行の場合は罹病した個体は1名未満の感染を引き起こすのに対し、突発のケースでは1名以上の感染者が発生し、感染症は拡大してゆく。この指標は再生産数(Reproduction number)と呼ばれ、感染症学の最重要パラメータとして取り扱われる。

れを述べている。このように、経済学における従来からの知見の蓄積及び今後の研究の進展は、感染症をいかに抑制し、経済活動と抑制を両立させてゆくかという議論に一定の方向性を与えるものである。特に先進国においては、COVID-19の抑制に加えて、感染症の抑制と経済活動の両立を目指した”新しい生活様式”に関する議論が始まっている。本稿の記述を経済学と感染症の関係性に関する理解の助けとし、今後の経済の行く末を考える際に経済学を役立てて頂くならば、また今後の経済学における研究成果・経済学の社会への貢献に読者が注目して頂く一つの契機に本稿がなるならば、筆者の幸いである。

参考文献

1. イアネリ・稲葉寿・國谷紀良 (2014)「人口と感染症の数理-年齢構造ダイナミクス入門」東京大学出版会
2. 久保田 荘 (2020)「コロナ危機は需要ショックなのか供給ショックなのか?-新型コロナウイルス感染に関する経済学研究の概説」, <http://www.waseda.jp/prj-wishproject/covid-19.html>, 2020年7月1日閲覧
3. 中田大悟 (2020)「パンデミックは収束すれば「終わり」ではない: 長期的影響にどう備えるか」, https://www.rieti.go.jp/jp/columns/a01_0570.html, 2020年4月27日閲覧
4. 鎮目雅人 (2020)「感染症の社会経済史的考察 -新型コロナウイルス(COVID-19)感染拡大への含意を念頭に-」, RIEB Discussion Paper Series No.2020-J07
5. 森川正之 (2020) 新型コロナ危機と経済政策」, RIETI Policy Discussion Paper Series 20-P-014.
6. Acemoglu, D., Chernozhukov, V., Werning, I., and Whinston, M.D. (2020) “Optimal Targeted Lockdowns in a Multi-Group SIR Model,” *NBER Working Paper*, No.27102, National Bureau of Economic Research.
7. Acemoglu, D. and Johnson, S. (2007) “Disease and Development: The Effect of Life Expectancy on Economic Growth,” *Journal of Political Economy*, Vol.115 (6), pp.925-985.
8. Acemoglu, D. and Robinson, J. (2012) “*Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity and Poverty*,” Crown Publishers, New York.
9. Adda, J. (2016) “Economic Activity and the Spread of Viral Diseases: Evidence from High Frequency Data,” *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.131 (2), pp.891-941.
10. Almond, D. (2006) “Is the 1918 Influenza Pandemic Over? Long-Term Effects of in Utero Influenza Exposure in the Post-1940 U.S. Population,” *Journal of Political Economy*, Vol.114 (4), pp.672-712.
11. Alvarez, F., Argente, D., and Lippi, F. (2020) “A Simple Planning Problem for COVID-19 Lockdown,” *mimeo*.
12. Anderson, R.M., Heesterbeek, H., Klinkenberg, D., and Hollingsworth, T.D. (2020) “How Will Country-based Mitigation Measures Influence the Course of the Covid-19 Epidemic?” *The Lancet*.
13. Atkeson, A. (2020) “What Will Be the Economic Impact of COVID-19 in the US? Rough Estimates of Disease Scenarios,” *NBER Working Paper* No.26867, National Bureau of Economic Research.
14. Barro, R.J. (2020) “Non-Pharmaceutical Interventions and Mortality in U.S. Cities during the Great Influenza Pandemic, 1918-1919,” *NBER Working Paper*, No.27049, National Bureau of Economic Research.
15. Barro, R. J., Ursula, J. F., and Weng, J. (2020) “The Coronavirus and the Great Influenza Pandemic: Lessons from the “Spanish Flu” for the Coronavirus’s Potential Effects on Mortality and Economic Activity,” *NBER Working Paper*, No.26866, National Bureau of Economic Research.
16. Beach, B., Ferrie, J., and Saavedra, M.H. (2018) “Fetal Shock or Selection? The 1918 Influenza Pandemic and Human Capital Development,” *NBER Working Paper* No.24725, National Bureau of Economic Research.
17. Berger, D., Herkenhoff, K. and Mongey, S. (2020) “An SEIR Infectious Disease Model with Testing and Conditional Quarantine,” *Working Paper* No.2020-25, Macro Finance Research Program.
18. Boucekkine, R., Diene, B., and Azomahou, T. (2008) “Growth Economics of Epidemics: A Review of the Theory,” *Mathematical Population Studies*, Vol.15 (1), pp.1-26.
19. Brown, R. and Duncan, D. (2018) “On the Long-Term Effects of the 1918 US Influenza Pandemic,” *mimeo*.
20. Correia, S., Luck, S., and Verner, E. (2020) “Pandemics Depress the Economy, Public Health Interventions Do Not: Evidence from the 1918 Flu,” *mimeo*.
21. Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., and Trabandt, M. (2020a) “The Macroeconomics of Epidemics,” *NBER Working Paper*, No.26882, National Bureau of Economic Research.
22. Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., and Trabandt, M. (2020b) “The Macroeconomics of Testing and Quarantine,” *NBER Working Paper*, No.27104, National Bureau of Economic Research.
23. Faria-e-Castro, M. (2020) “Fiscal Policy During a Pandemic,” *manuscript*, Federal Reserve Bank of St. Louis.
24. Favero, C., Ichino, A., and Rustichini, A. (2020) “Restarting the Economy while Saving Lives under COVID-19,” *manuscript*.
25. Ferguson, N. M., Laydon, D., Nedjati-Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cucunubá, Z., Cuomo-Dannenburg, D., Dighe, A., Dorigatti, I., Fu, H., Gaythorpe, K., Green, W., Hamlet, A., Hinsley, W.,

- Okell, L. C., Elsland, v. S., Thompson, H., Robert, V., Vols, E., Wang, H., Wang, Y., Walker, P. GT., Walters, C., Winskill, P., Whittaker, C., Christl, A. D., Riley, S., and Ghani, A. C. (2020) “Impact of Non-pharmaceutical Interventions (NPIs) to Reduce COVID-19 Mortality and Healthcare Demand,” *manuscript*, Imperial College, London.
26. Glover, A., Heathcote, J., Krueger, D., and Rios-Rull, J.-V. (2020) “Health versus Wealth: On the Distributional Effects of Controlling a Pandemic,” *manuscript*, University of Pennsylvania, 2020.
27. Greenstone, M. and Nigam, V. (2020) “Does Social Distancing Matter?” *Working Paper* No.2020-26, Becker Friedman Institute for Economics, University of Chicago.
28. Guerrieri, V., Lorenzoni, G., Straub, L., and Werning, I. (2020) “Macroeconomic Implications of COVID-19: Can Negative Supply Shocks Cause Demand Shortages?” *manuscript*, University of Pennsylvania.
29. Hall, R.E., Jones, C.I., and Klenow, P.J. (2020) “Trading Off Consumption and COVID-19 Deaths,” *manuscript*, Stanford University and NBER.
30. Hortaçsu, A., Liu, J., and Schweg, T. (2020) “Estimating the Fraction of Unreported Infections in Epidemics with a Known Epicenter: An Application to COVID-19,” *NBER Working Paper* No.27028, National Bureau of Economic Research.
31. Iannelli, M. (2014) “*Mathematical Theory of Age-Structured Population Dynamics*”, Giardini Editori e Stampatori in Pisa, Italy.
32. Johnson, N. P. A. S. and Mueller, J. (2002) “Updating the Accounts: Global Mortality of the 1918-1920 ‘Spanish’ Influenza Pandemic,” *Bulletin of the History of Medicine*, Vol.76, pp.105-115.
33. Jones, C., Philippon, T., and Venkateshwara, V. (2020) “Optimal Mitigation Policies in a Pandemic,” *Technical Report*, NYU.
34. Jorda O., Singh, S.R. and Taylor, A.M. (2020) “Longer-run Economic Consequences of Pandemics,” *Federal Reserve Bank of San Francisco Working Paper Series* No.2020-09, Federal Reserve Bank of San Francisco.
35. Kaplan, G., Moll, B., and Violante, G. (2020) “Pandemics According to HANK,” *manuscript*, University of Chicago.
36. Karlsson, M. , Nilsson, T., and Pichler, S. (2014) “The Impact of the 1918 Spanish Flu Epidemic on Economic Performance in Sweden: An Investigation into the Consequences of an Extraordinary Mortality Shock,” *Journal of Health Economics*, Vol.36, pp.1-19.
37. Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927) “A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics,” *Proceedings of the Royal Society of London*, S. A115, No.772, pp.700-721.
38. Li, R., Pei, S., Chen, B., Song, Y., Zhang, T., Yang, W. and Shaman, J. (2020) “Substantial Undocumented Infection Facilitates the Rapid Dissemination of Novel Coronavirus (SARS-CoV-2),” *Science*, published online, <https://science.sciencemag.org/content/early/2020/03/13/science.abb3221>.
39. Lilley, A., Lilley, M. and Rinaldi, G. (2020) “Public Health Interventions and Economic Growth: Revisiting the Spanish Flu Evidence,” *manuscript*, Harvard University Economics Department and Harvard Business School.
40. Manski, C.F. and Molinari, F. (2020) “Estimating the COVID-19 Infection Rate: Anatomy of an Inference Problem,” *Journal of Econometrics, Article in Press*.
41. Markel, H, Lipman, H. B., Navarro, J. A., Sloan, Michalsen, J. R., Stern, A. M., and Cetron, M. S. (2007) “Nonpharmaceutical Interventions Implemented by US Cities During the 1918-1919 Influenza Pandemic,” *JAMA* No.298(6), pp.644-654.
42. Parman, J. (2015) “Childhood Health and Sibling Outcomes: Nurture Reinforcing Nature during the 1918 Influenza Pandemic,” *Explorations in Economic History*, Vo.58, pp.23-43.
43. Percoco, M. (2016) “Health Shocks and Human Capital Accumulation: The case of Spanish Flu in Italian Regions,” *Regional Studies*, Vol.50 (9), pp.1496-1508.
44. Piguillem, F. and Shi, L. (2020) “The Optimal COVID-19 Quarantine and Testing Policies,” *EIEF Working Paper* No.20/04, Einaudi Institute for Economics and Finance.
45. Qui, J. (2020) “Covert Coronavirus Infections Could be Seeding New Outbreaks,” *Nature News*, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00822-x>.
46. Rampini, A.A.(2020) “Sequential Lifting of COVID-19 Interventions with Population Heterogeneity,” *NBER Working Paper*, No.27063, National Bureau of Economic Research.
47. Shaman, J. and Galanti, M. (2020) “Risk of Coronavirus Reinfection Remains After Recovery -Community Health, Infectious Disease,” Mailman School of Public Health, Columbia University, <https://www.publichealth.columbia.edu/public-health-now/news/risk-coronavirus-reinfection-remains-after-recovery>, 2020年7月17日閲覧
48. Stock, J. H. (2020) “Data Gaps and the Policy Responses to the Novel Coronavirus,” *NBER Working Paper* No.26902, 2020.
49. Toda, A.A. (2020) “Susceptible-Infected-Recovered (SIR) Dynamics of COVID-19 and Economic Impact,” *manuscript*, University of California San Diego.
50. Toxvaerd, F. (2020) “Equilibrium Social Distancing,” *Cambridge-INET Working Paper Series* No: 2020/8, Cambridge Working Papers in Economics: 2021, Institute for New Economic Thinking, University of Cambridge.

51. Velde, F.R. (2020) “What Happened to the US Economy During the 1918 Influenza Pandemic? A View through High-Frequency Data,” *Working Paper*, WP2020-11, Federal Reserve Bank of Chicago.
52. Weil, D. N. (2007) “Accounting for the Effect of Health on Economic Growth,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol.122, pp.1265-1306.
53. World Health Organization (2020) “Immunity Passports in the Context of COVID-19,” *Scientific Brief*, 24.
54. International Monetary Fund (2020) “World Economic Outlook, April 2020: The Great Lockdown.”

財務省財務総合政策研究所総務研究部
〒100-8940 千代田区霞が関 3-1-1
TEL 03-3581-4111 (内線 5223, 5222)