

# HJKモデルに基づいたCOVID-19の経済的評価

—日本における感染の第1期を対象として—

細 谷 圭<sup>\*†‡</sup>

## 概要

1. はじめに
  2. Hall-Jones-Klenowモデル概説
    - 2.1. 異質な経済主体から構成されるモデル
    - 2.2. 感染症蔓延下における消費犠牲割合の導出
    - 2.3. 代表的経済主体モデルのカリブレーション
    - 2.4. 異質な特徴をもつ2世代モデルのカリブレーション
  3. HJKモデルの日本への適用
    - 3.1. パラメータの設定
    - 3.2. 日本版・代表的経済主体モデルのカリブレーション
    - 3.3. 日本版・異質な特徴をもつ2世代モデルのカリブレーション
  4. 日本の分析結果の若干の検討
  5. 残されているいくつかの論点
    - 5.1. 時間割引
    - 5.2. HJKモデルの拡張について
  6. 結論
- 参考文献  
補論A～D

---

\*國學院大學経済学部・教授（マクロ経済学，公共経済学）

〒150-8440 東京都渋谷区東4-10-28

Eメールアドレス: khosoya@kokugakuin.ac.jp.

<sup>†</sup>本稿の作成にあたっては，新型コロナウイルスに関する研究プロジェクトをともに進めている宮川努先生（学習院大学経済学部教授），増原宏明先生（信州大学経法学部准教授）との議論が非常に有益であった。記して感謝したい。

<sup>‡</sup>本稿を，2020年3月をもって東北学院大学経済学部を去られた高橋秀悦先生（東北学院大学名誉教授）と仁昌寺正一先生（同名誉教授）に捧げたい。高橋先生には学部3年次より2年間にわたりゼミ生としてご指導いただき，大学院進学後も絶えず学問上の刺激を受け続けてきた。大学院を受験する際にヒックスの『価値と資本』をとくに数学的な内容に注意を払いながら一緒に講読していただいたことが，いまでもよい思い出となっている（最近はこのような院試対策はかなり稀だと思う）。大学院進学後に，指導教官となった鴫田忠彦先生をはじめ，荒憲治郎先生や藤野正三郎先生と親しくさせていただいたのも，高橋先生との関係があってこそのものであったと思う。仁昌寺先生は同郷の誇らしい先達である。仁昌寺先生といえば，やはり「東北経済論」の講義である。自分が生まれ育った東北地方に対して，筆者は自分なりのイメージを抱いていたが，そのことが東北地方の歴史的な歩みとして明確に理解できたことは大変有意義であった。両先生とは，2005年4月～2017年3月の期間に，幸運にも同僚として再びご指導いただく機会に恵まれた。現在まで筆者が研究者として曲がりなりにもやってこられているのは，ひとえに高橋先生と仁昌寺先生のご指導の賜物である。これまでの長年にわたるご指導に対し，ここにあらためて深い感謝の意を表したい。先生方，これからもどうかお元気で活躍ください。

## 概要

本稿では、COVID-19の経済的影響に焦点を当て、マクロ経済との関係性を世界でもいち早く分析したHall *et al.* (2020)に基づき、その結果を日本の状況をふまえながら再検討する。具体的に問うのは、「COVID-19への感染による死亡を回避するために、1年間に行う消費のどの程度を諦めるべきか（消費とのトレードを意味する）」、というものである。Hall *et al.* (2020)における推計結果は、論文のバージョンでいくぶんばらつきがあり、“26%（年間消費の4分の1相当）”、“28%”、“35%（年間消費の3分の1相当）”、および“41%”といった推計値がベンチマークとして得られている。これに対して本稿の日本でのカリブレーションでは、“27%”と、数値の大きさとしては類似の結果が得られる。本稿での推計値は、マクロ経済への負の影響を定量的に指し示すだけでなく、たとえば緊急事態宣言による経済活動の抑制の適切性を評価する、といった政策評価を行ううえでも重要な情報になると考えられる。

JEL classification numbers: E20; I18; J17

キーワード: COVID-19; 消費とのトレード; Hall-Jones-Klenowモデル

## 1. はじめに

2019年から幻のオリンピックイヤーとなった2020年への年の変わり目は、今後折々に語り継がれていくことになるだろう。すべてはそこから始まった。

原因不明の肺炎の症例が中国湖北省武漢市でみつきり、2019年12月31日にWHO中国カントリーオフィスに通報があった。2020年1月8日には、肺炎患者の多くが原因ウイルスをSARS-CoV-2とする新型コロナウイルス感染症（COVID-19）であることが判明した<sup>1)</sup>。この不気味な新感染症は武漢を起点として中国全土に拡散し、さらに海外にも急速なスピードで伝播し、日本でも1月16日に武漢市からの輸入例が報告されている。WHOは、1月30日には「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態Public Health Emergency of International Concern:PHEIC」を宣言し、3月11日には「世界的な大流行Pandemic」に至っているとの認識を明らかにした。その後、流行の中心地は中国からヨーロッパ（イタリア、スペイン等）やアメリカへと移り変わっていった。

WHOの報告によると、2020年7月25日現在、世界全体での感染者は1,558万人を超え、死者は63万5千人を上回った（“Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation report-187”<sup>2)</sup>）。日本では同日時点で28,786人の感染者が報告され、死者は993人にのぼっている。感染者が多い国は、アメリカを筆頭に、ブラジル、インド、ロシア、南アフリカ、メキシコ、ペルー、チリ、イギリスなどである。死者数についてもアメリカが突出しており、ブラジル、イギリス、メキシコ、イタリア、インド、フランス、スペイン、ペルー、イランが続いている。7月19日から25日の一週間での世界の感染確認状況を図1に示しているが、アメリカだけでなく、南アメリカ大陸の国々やインドの伸びが顕著となっている。また図2は、2019年12月30日から2020年7月25日の期間における、日次での世界感染者数の推移を表している。3月下旬から4月上旬で世界的には一回目の急拡大があり、6月中旬から二回目の拡大期に入っているとみることができる。

今般のパンデミックは単に感染症の流行というだけでなく、われわれの社会のしくみやその基盤となる経済活動に極めて深刻な影響をもたらしたことは周知の事実である。その影響は多岐におよんでいるため、感染症疫学・公衆衛生、医学、薬学のみならず、統計学や経済学といったさまざまな分野の研究者が、新型コロナウイルスがもたらす多面的な問題に挑戦している。経済学の分野でも、7月には小林慶一郎・森川正之〔編著〕『コロナ危機の経済学提言と分析』が出版され、合計20の章で新型コロナに関するさまざまな論点が議論されている。この書籍がきっかけとなって、今後日本でもCOVID-19の経済分析が急速に進展していくものと期待される。海外に目を転じると、たとえば*Economics Letters*誌にはすでに数本の論文が掲載されはじめている。そのなかで、Caggiano *et al.* (2020) はVARモデル推定を通じて、COVID-19による年間での世界産出

1) 最初の発現時期に関しては諸説存在するものの、すでに2019年12月上旬の時点で、武漢市ではヒト-ヒト感染が起こっていた可能性が高いと考えられている。

2) 感染動向についてのデータは日々更新されているため、最新の情報は実際にWebサイトを訪れて確認する必要がある。ジョンズ・ホプキンス大学のものをはじめとして、有用なサイトの機関名・サイト名を補論Aにまとめておく。筆者もこれらのWebサイトを日常的にチェックしている。

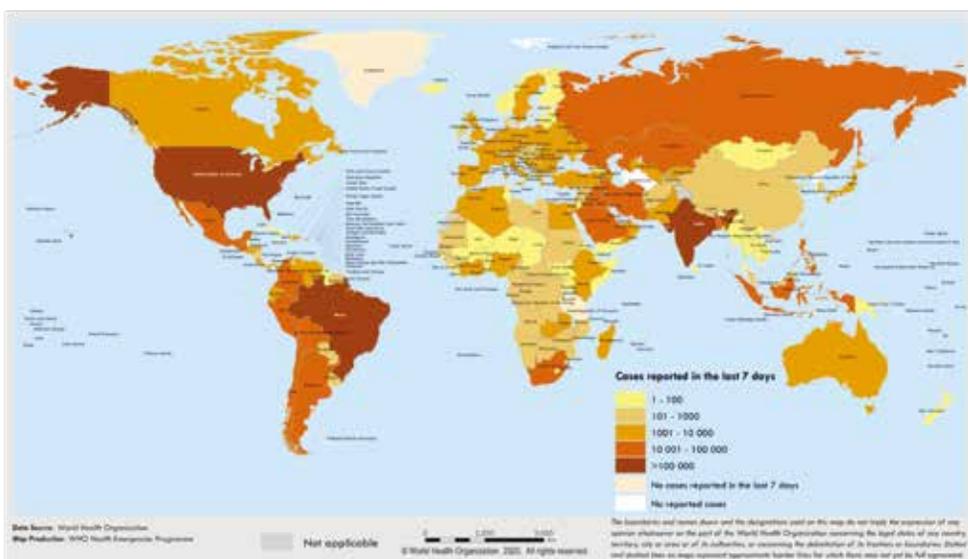


図1：一週間での各国別の感染者の状況（2020年7月19～25日）

注：WHOの“Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation report-187”からそのまま転載している (<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>)。

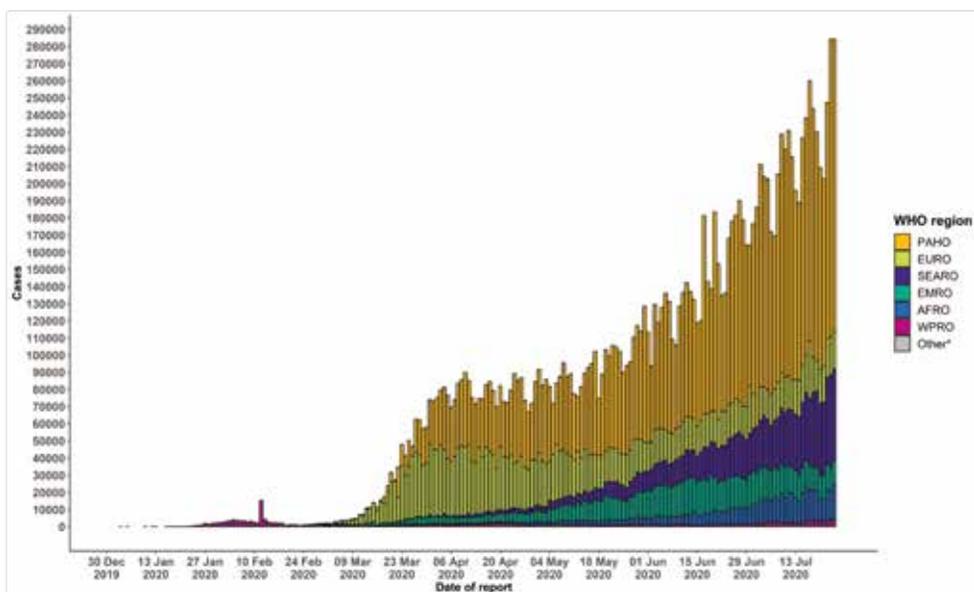


図2：COVID-19世界感染者の日次推移（2019年12月30日～2020年7月25日）

注：WHOの“Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation report-187”からそのまま転載している (URLは図1に同じ)。六つの地域区分は、**PAHO** (Pan American Health Organization), **EURO** (Regional Office for Europe), **SEARO** (Regional Office for South-East Asia), **EMRO** (Regional Office for the Eastern Mediterranean), **AFRO** (Regional Office for Africa), **WPRO** (Regional Office for the Western Pacific) である。

量の落ち込みは14%ほどになると結論づけている。Monte (2020) はアメリカにおけるスマートフォンのデータから人々の移動の状況を分析しており、再びロックダウンが必要となるような場合、その実施や評価を行う際の基本的な情報を提供している。Goulas and Megalokonomou (2020) はパンデミックに対する予防策として学校への出席要件の緩和の影響を実証的に考察している。

このような多様な研究動向のなかでもとくに目立っているのが、COVID-19の感染のプロセスを微分方程式体系で表現するSIRモデルやそのバリエーションとなるモデルを使用した分析であり、おもにマクロ経済学者を中心にして活発な展開をみせている<sup>3)</sup>。そうした研究では、社会・経済政策等の経済に関連するアクションが新型コロナウイルス感染症拡大の動学的プロセスにどのように作用するのが中心的論点として分析されており、研究のボリュームも急速に増しつつある。なかでも代表的なものとして、Acemoglu *et al.* (2020)、先ほど言及したAtkeson (2020)、そしてFernández-Villaverde and Jones (2020)などをあげることができる。

Acemoglu *et al.* (2020) では、経済主体の異質性を取り込んだSIRモデルを展開している。すなわち、感染率や死亡率が世代ごとに異なるマルチリスクSIRモデルを構築し、とくにロックダウン政策について興味深い結果を導き出している。それは、新型コロナウイルスのリスクに最も脆弱な高齢者群に最も厳格なロックダウンを適用することが、医学的見地からも経済的見地からも望ましいというものである。

これと同様に、Fernández-Villaverde and Jones (2020) についても、いわば感染症疫学と経済学の融合モデルと位置づけることができる。特徴的な点は、人々の接触率が時間とともに変化することを許容していることであり、これによって社会的距離 (social distancing) に関連する人々の行動変容や政策変化の影響を分析することが可能となる。ニューヨーク、マドリッド、ストックホルムをはじめとして、世界の他の都市、アメリカの各州、そして感染が蔓延した世界中の国々や地域を対象として、集団免疫の程度の潜在的影響をふまえて近い将来における感染状況のシミュレーションが提示されている。この推計において鍵となる感染した人々の致命割合は、かなり不確実性の高いパラメータであり、適切な社会的距離を考えるうえで重要であるが、Fernández-Villaverde and Jones (2020) は1.0%を基本として、0.5%と1.2%のケースも試している。

現時点において研究者の関心が感染動向の把握に向けられていることは当然のことであるが、これから経済データや疫学データが公表・蓄積されてくると、COVID-19の経済への影響をさまざまな視点で分析する研究が現れてくるものと思われる<sup>4)</sup>。マクロ経済への本質的影響という点では、やはり生産や所得 (GDP, GNI 等) の落ち込みと回復がいかなるパスを辿るかという問題、また長期的経済成長への影響なども重要である。そして、今回のコロナ禍では、海外の都市での

3) 感染症疫学の専門家によるSIRモデルを解説した基本文献として稲葉 (2008) がある。またCOVID-19のパンデミックを契機として、経済学の立場から書かれた解説的論考として日本銀行金融研究所 (2020) や関沢 (2020) を挙げることができる。また第一線で活躍する経済学研究者が、専門家向けにSIRモデルを紹介している文献としてAtkeson (2020) が有名である。

4) たとえば上で指摘したGoulas and Megalokonomou (2020) による学校教育への影響を探る研究などは、中・長期的な人的資本の獲得への影響といったかたちで今後さらに深められていくことが期待されるテーマである。

ロックダウンや日本での緊急事態宣言の発令などによって、消費者の行動や生活が恐らくは近年経験したことがないレベルで制約を受けたことは間違いないであろう。つまり、新型コロナウイルスとの長期戦がいわれるなかで、消費行動自体への直接的影響や、余暇が制約されることによる消費への間接的影響などは、経済学的に検証が急がれるべき最重要テーマのうちの一つであると考えられる。

この問題に世界でいち早く着手したのが、卓越したマクロ経済学研究で知られるロバート・ホール (Robert E. Hall), チャールズ・ジョーンズ (Charles I. Jones), そしてピーター・クレノウ (Peter J. Klenow) の三名の手によるHall *et al.* (2020) である (本稿では、Hall-Jones-Klenowモデル、略してHJKモデルとよぶ)。彼らは「COVID-19への感染、そしてそれによる最悪の結末である死を回避するために、消費やGDPの減少をどの程度まで甘んじて受け入れるべきか」との問いを立て、功利主義的効用関数 (utilitarian welfare function) に基づいた分析を行っている。消費とのトレードという観点から、COVID-19の影響や問題点を論じようとする非常に興味深い研究である。彼らは理論的な考察から、新型コロナウイルスの感染指標や平均余命に依存するかたちで、甘受すべき年間消費の削減割合を導出しており、本稿ではこれを「消費犠牲割合」とよぶことにする。そしてこの値について、いくつかの状況を設定し、カリブレーションを試みている。Hallらの分析における代表的な結果は、この犠牲割合がおおよそ28~71%のあいだに入ってくるというものであった。効用関数の定式化および世代構造の違いによって結果はだいぶ異なるものの、最も低い犠牲割合でも年間消費の4分の1以上となることから、COVID-19によるネガティブインパクトの大きさを改めて確認することができる。

本研究は、Hall *et al.* (2020) をふまえ、それを日本の現状評価に応用するものである。そうした評価を行うに当たって、新型コロナウイルス感染症の収束 (終息) が見通せないなか、分析の対象となる期間設定を行っておくことは重要である。われわれが見慣れたPCR検査 (後述) の陽性者数の推移を表したグラフを思い出してもらうと、2020年夏頃までの段階で感染の波は大きく二つ確認できる。最初の波は3月下旬から5月中旬頃にかけて生じたもので (ピークは4月上旬)、したがって、5月までを一つの区切りとすることは適切であろう。これをわれわれは「感染の第1期」と定め、本稿の日本についての分析は基本的にこの期間を対象とする。

Hallらの分析と同様にして、代表的経済主体モデル、2世代モデルの順番でカリブレーションを行っていく。ただし、Hallらと異なり、パラメータや外生変数に関しては、日本の各種のデータをふまえて、その設定値を慎重に吟味する。日本とアメリカの感染状況の違いについては周知のとおりであるが、意外にもわれわれの結果はHallらのものと比較的近い結果が得られた。つまり、感染状況が両国でだいぶ異なっている割には、消費犠牲割合の推計値にあまり違いはみられなかったのである。その原因は、新型コロナウイルス感染者の致命割合の捉え方にあることが明らかにされる。上記に加えて、本稿では分析のプラットフォームとなっている効用関数に関わる要素について議論し、追加的・拡張的なカリブレーションを試みる。いずれにせよ、2020年6月前後という比較的早期の段階で、ソリッドな経済モデルに基づいて日本の状況を定量的に分析す

ることは、COVID-19と経済活動の今後の展開をみていくうえでも重要な取り組みと思われる。

本稿の残りの構成は以下のとおりである。第2節では、Hall *et al.* (2020) に依拠して、Hall-Jones-Klenowモデルの理論的フレームワークを紹介し、彼らのカリブレーションにおける主要な結果を提示・検討する。続く第3節では、詳細に検討した日本のデータをHJKモデルのフレームワークに当てはめ、単一世代からなる代表的経済主体モデルと複数の異質な世代からなる2世代モデルのそれぞれの場合について、カリブレーションを試みる。分析結果の多角的な検討は第4節で行う。第5節では、感染症に関する実態をふまえ、効用関数にまつわる論点を深める。第6節で結論をまとめる。

## 2. Hall-Jones-Klenow モデル概説

はじめに代表的個人を仮定した最も基本的な設定となるモデルを紹介する。いま年齢が $a$ 歳である個別経済主体の生涯効用を $V_a$ とし、それが以下のような効用和として表現できるものと考ええる。

$$V_a = \sum_{t=0}^{\infty} \bar{S}(a, t) u(c) \quad (1)$$

議論を単純なものとするため、時間割引（時間選好）や経済成長（消費 $c$ の成長）は考えないことにする。瞬時的効用関数は $u(c)$ であり、一つの解釈としてこれには余暇の価値も含まれるものと考えておくのがよいだろう。スタート時点（日付0）で $a$ 歳の個人が、来たる将来の $t$ 年まで生存している確率（生存確率）を $\bar{S}(a, t)$  とし、次のように表す。

$$\bar{S}(a, t) = S_{a+1} \cdot S_{a+2} \cdot \dots \cdot S_{a+t}$$



図3：年代別感染確認者数

注：NHKによる「特設サイト・新型コロナウイルス」(<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/datarate/>) から転載（図3、表1ともに）。

年代	死亡率	年代	死亡率
30代	0.1%	60代	1.7%
40代	0.1%	70代	5.2%
50代	0.4%	80代以上	11.1%

表1：年代別死亡率

たとえば $S_{a+1}$ は $a$ 歳個人が $a+1$ 時点で生存している確率を表すことになる。基本的なモデル設定はこれだけである<sup>5)</sup>。

## 2.1. 異質な経済主体から構成されるモデル

上で紹介した代表的個人を想定したモデルを異質な経済主体から構成されるモデルへと拡張する。異質性に関して何を想定するかは分析目的によって異なる。今回はCOVID-19が異なる属性の個人に与える影響を考えるのが主目的であり、少なくともこれまで得られている疫学的知見から、COVID-19は子どもを含めた若壮年代と、たとえば65歳以上や70歳以上といった高齢世代とでは、それぞれに異なる影響を及ぼすようである。

発生源となった中国やヨーロッパ、アメリカでもこのような傾向がみられ、日本でも同様である。図3は年代別の感染者数を、表1は年代別の死亡率を表している。これらのデータは少し古いですが、2020年5月末時点においても年代別死亡率の概況は変わっていない。このことをふまえると、異質性については年代の違いに着目することが合理的と考えられる<sup>6)</sup>。

生涯効用関数をベースとした評価モデルを検討する。いま $a$ 歳の個人の生涯効用関数 $V_a$ を次のように表せるものと仮定しよう。

$$\begin{aligned} V_a &= \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \cdot S(a, t) \cdot u(c_t), \\ &= u(c_0) + \beta \cdot S(a, 1) \cdot V_{a+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

ただし $\beta$ はこの個人が有する時間割引因子を表す（異時点間にわたる問題を考えるので、基本設定を拡張し、この段階で時間に関する割引が考慮される）。またすでに述べているように、 $S(a, t)$ は、時点0において年齢が $a$ 歳の個人が $t$ 年間生存する確率に対応する。

これまでの議論をふまえて、年齢階層による区別を考える。報道等によれば、COVID-19では子どもは大人とは異なる免疫特性（相対的に罹患しにくい、また罹患しても軽症や無症状が多いなど）や病態（いわゆる川崎病に類似した症状がみられるなど）を示すようであるが、さきほどの死亡率のデータなどをふまえると、子どもは若壮年に含めても問題ないと考えられる。したがって、総人口を「若壮年者」と「高齢者」とに分ける。総人口を $N$ とすると、若壮年は $N-1$ 、高齢者は1となり、次の関係が成立する。

$$\underbrace{N}_{\text{総人口}} = \underbrace{(N-1)}_{\text{若壮年者}} + \underbrace{1}_{\text{高齢者}}$$

5) この基本モデルについては、原論文に対応するスライドに説明がある。

6) 異質性をモデルに考慮する際の他の候補として、今回の新型コロナウイルスCOVID-19に限れば、糖尿病や心臓疾患などの基礎疾患の有無、性別の違いなどがあげられるだろう。人種の違いやBCG接種（株の違いも含めて）の有無などに関しては、後ほどモデルに導入されるパラメータ $\delta$ に影響を与える可能性のある要因として捉えるべきであろう。

よって、人口に占める高齢者の割合は $1/N$ となる。ここでCOVID-19の実態をふまえた設定を導入する。すなわち、表1からも明らかのように、高齢者、とくに70歳以上での死亡率は格段に上昇している。このことは生存確率 $S$ の低下として表現できる。高齢者の生存確率は、COVID-19によって1期間で $S$ から $S - \delta$ に低下するものと仮定する。

Hall *et al.* (2020) が設定した具体的な分析課題は、「COVID-19のパンデミックに直面し、その罹患・死亡リスクを回避するために、人々は消費行動をどの程度まで抑制しようとするか」というものである。理論モデルに基づくカリブレーションによって、「新型コロナと交換(トレード)される消費割合 $\alpha$ 」を求めていく。

消費に関するスケールパラメータ $\lambda$  (のちほど登場するが、このパラメータはCOVID-19の影響からもたらされる消費犠牲割合と関連する)を導入し、先のCOVID-19固有の死亡率 $\delta$ を考慮すると、功利主義的(ベンサム的)社会厚生関数 $W(\lambda, \delta)$ は、各世代の効用の和として次のように表現できる。

$$W(\lambda, \delta) = (N - 1) \cdot V_y + 1 \cdot V_o \quad (3)$$

ただし $V_y$ と $V_o$ は、それぞれ若壮年世代(young)と高齢世代(old)の効用を表している。ここで(2)式を考慮し、高齢者の生存確率の低下をふまえると、 $V_y$ と $V_o$ は次のようになる。

$$\begin{cases} V_y = u(\lambda c_0) + \beta S_y V_{F,y} & (\text{若壮年世代}) \\ V_o = u(\lambda c_0) + \beta(S_o - \delta)V_{F,o} & (\text{高齢世代}) \end{cases}$$

これらを(3)式に代入し整理すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} W(\lambda, \delta) &= (N - 1)\{u(\lambda c_0) + \beta S_y V_{F,y}\} + \{u(\lambda c_0) + \beta(S_o - \delta)V_{F,o}\} \\ &= Nu(\lambda c_0) - u(\lambda c_0) + (N - 1)\beta S_y V_{F,y} + u(\lambda c_0) + \beta(S_o - \delta)V_{F,o} \\ &= Nu(\lambda c_0) + (N - 1)\beta S_y V_{F,y} + \beta(S_o - \delta)V_{F,o} \end{aligned} \quad (4)$$

ただし $V_F$ はそれぞれの世代が将来において享受する連続的な効用和である。

## 2.2. 感染症蔓延下における消費犠牲割合の導出

感染症による死亡を回避することと一般的な消費行動とのあいだには、少なくとも短期的にはトレードオフがあると想定される。いま、(4)式を利用して、以下の関係が成立すると考えることにする。

$$W(\lambda, 0) = W(1, \delta)$$

すなわち、これは等価変分(equivalent variation)の考え方を応用したものであり、COVID-19に関係する死亡率の上昇が高齢者層に認められる状況下で、その死亡率がゼロである状況

( $\delta = 0$ ) と現在の消費がまったく犠牲にならずに済む状況 ( $\lambda = 1$ ) とが等価になることを意味するものである。

$$\underbrace{Nu(\lambda c_0) + (N-1)\beta S_y V_{F,y} + \beta S_o V_{F,o}}_{\delta=0} = \underbrace{Nu(c_0) + (N-1)\beta S_y V_{F,y} + \beta(S_o - \delta)V_{F,o}}_{\lambda=1}$$

この等価関係を整理して表現すると、次のようになる。

$$N[u(\lambda c_0) - u(c_0)] = -\beta\delta V_{F,o} \quad (5)$$

ところで、目下の瞬時的効用関数  $u(\lambda c_0)$  について、1次のテイラー展開 ( $f(x) \approx f(a) + f'(a)(x-a)$ ) を適用して、 $\lambda = 1$  のまわりで関数を線形近似すると、次式を得ることができる。

$$u(\lambda c_0) \approx u(c_0) + u'(c_0)(\lambda c_0 - c_0) = u(c_0) + u'(c_0)c_0(\lambda - 1) \quad (6)$$

(6)式を(5)式に代入して得られる  $Nu'(c_0)c_0(\lambda - 1) = -\beta\delta V_{F,o}$  より、これを  $1 - \lambda$  について解くと以下の関係が得られる。

$$1 - \lambda = \frac{\beta\delta}{N} \cdot \frac{V_{F,o}}{u'(c_0)c_0} \quad (7)$$

(7)式において、 $1 - \lambda$  が表すのは、直面する事態の影響で犠牲にせざるを得なくなる消費の割合(消費犠牲割合)である。Hall *et al.* (2020) ではこの割合を  $\alpha$  で表現しており、 $\alpha \equiv 1 - \lambda$  となる。この  $\alpha$  が効用関数ベースで導出されていることをふまえると、それは心理的経済費用 (psychological economic cost) として位置づけられるだろう。

基本的にはこの(7)式に基づいてカリブレーションを行っていくわけであるが、そのためにはいくつかの構成要素についてさらに意味づけを明確にしておく必要がある。まず高齢者層の将来の効用  $V_{F,o}$  であるが、初期時点での効用、すなわち現在において享受している効用  $u(c_0)$  と、COVID-19に感染も発症もせずに死亡せず生存できる場合の高齢者の余命  $LE_o$  との積として表現できると仮定する。したがって、 $V_{F,o} \equiv u(c_0) \cdot LE_o$  と単純なかたちで定式化する。本来は高齢期の生存期間におけるオーバータイムの効用を考えることが基本になると考えられるが、生存期間で一定の消費フローからもたらされる効用  $u(c_0)$  を適用することで単純化が図られている (つまり、単年の価値で代替させている)。カリブレーションを行っていく上では、こうした単純化によるベネフィットがある。つまりオーバータイムでの定式化をあえて考えないことで、時間割引の問題を回避することが可能になると考えられる。将来の効用も現在の効用と同等に扱うことが理論的には正当化される (世代間衡平性の仮定)。よってHall *et al.* (2020) では  $\beta = 1$  と仮定し、分析が進められている。本稿ではのちほどHJKモデルのカリブレーション分析の結果を紹介しつつ追加的な解析作業を行っていくが、この単純化に関しては再検討することにしたい。

次に年単位でみた消費に対する生命 (life) の価値  $v$  を定義する。これを  $v \equiv u(c)/u'(c)c$  とす

る。ここで $u(c)$ は、効用単位で計測される生命の価値と考えることができる。そしてそれを限界効用 $u'(c)$ 割ることで消費単位の価値に変換できる。したがって全体として、 $v$ は消費水準 $c$ に対する生命価値の割合を表すことになる (Jones, 2016)。消費行動は生命維持によって可能となる生活の一部であることを考慮すると、この値は当然ながら1を上回ると想定できる。Hall *et al.* (2020)でもこの値を変化させながら考察を行っているが、実際の設定についてはカリブレーションのパートのところで検討する。またすでに述べているように、COVID-19に関連した死亡のリスクを除いては、時間割引は行わないものとし、 $\beta = 1$ として考える。

これまでの議論をふまえると、この段階において消費犠牲割合は次のように表すことができる。

$$\alpha = \frac{\delta \cdot v \cdot LE_o}{N} \quad (8)$$

この表現から読み取れる顕著な特徴は次のとおりである。消費犠牲割合 $\alpha$ は、COVID-19による死亡率 $\delta$ の上昇によって高まることになるが、これは当然の結果と考えられる。年間消費単位でみた生命の価値の大きさ $v$ も $\alpha$ を高める要因となる。加えて、平均余命が長いことも、消費犠牲割合を高める方向に作用する。換言すると、代表的個人もしくはソーシャルプランナーがCOVID-19による死亡確率の上昇を回避するために自ら放棄する消費の割合は、生命の価値 $v$ と感染症による命の危機に直面する高齢者層の残存余命 $LE_o$ との積によって特徴づけられる<sup>7)</sup>。

### 2.3. 代表的経済主体モデルのカリブレーション

次節で本来の目的である2世代モデルでの分析を行うが、その前にモデルの基本的な特性を把握するために1世代のみ、すなわち代表的経済主体のみから経済が構成されるケースを考えていく。ここでのカリブレーションはHall *et al.* (2020)らの結果をさらに補強するかたちで綿密に行っていく。

いま $N = 1$ としよう。このとき経済は高齢者層のみからなると考えることもできるため、必然的に彼らはみなCOVID-19での死亡リスクに直面する。したがって、そのリスクを回避しようとして本来は消費に充当するはずだった資源の何割かを断念(放棄)する選択意思決定がなされる。以下では重要なパラメータの基本設定について個別にみていく。

#### δのベンチマーク値

Hall *et al.* (2020)は、インペリアル・カレッジ・ロンドン (Imperial College London) のニール・ファーガソン教授らの研究(Ferguson *et al.*, 2020)をふまえて $\delta$ を設定している。すなわち、彼らの研究では感染防御をまったく行わない場合のCOVID-19による死亡割合(全年齢)は0.81%と推定されており、Hall *et al.* (2020)はベンチマーク値として $\delta = 0.0081$ を採用している。これは、年齢階級を考慮した死亡割合と、感染防御策を何もとらないとした場合に、すべての年齢階級の

7) このバージョンのモデルでは外部性等は考慮していないため、意思決定主体は代表的個人でもありソーシャルプランナー(たとえば政府)でもあると位置づけることができるだろう。

75%がCOVID-19に感染するという仮定との積としてはじき出された値である。これは感染者致命割合の定義に対応する値である。死亡者の割合に関しては、マスコミの報道やときに研究者の発言でも混同がみられるが、 $\delta$ の設定においては非常に重要なポイントとなるので、3.1節で正確な定義を説明する。

ところで、Hall *et al.* (2020) には4月6日リリース版と6月1日リリース版があるが、前者では  $\delta = (0.41, 0.81, 1.62)$  が、後者では  $\delta = (0.44, 0.81)$  のケースがテストされている<sup>8)</sup>。後で指摘するように、これらを日本の状況に照らしてみると無視できないギャップが存在することが知られている。今般のCOVID-19では、国や地域ごとに感染状況に大きな違いがみられる。同じ国内でさえ、だいたい様相が異なることも普通にみられる（日本でもたとえば首都圏と地方では違いがみられる）。したがって、パラメータの設定にあたってはそのような実情に十分配慮したものでなければならない。しかしながら現段階では、 $\delta$ のベンチマーク値についてHall *et al.* (2020) らの想定を基本的に踏襲して考察を進めていくことにしたい。

#### $v$ のベンチマーク値

次に重要になってくるのが、消費との対比でみた生命の価値である。難しい問題を数多く内包するパラメータであることは想像に難くないが、おもに支払意思額 (willingness to pay; WTP) アプローチをベースとした統計的生命価値 (value of a statistical life; VSL) という文脈で、内外でそれなりに多くの先行研究が存在している。Hall *et al.* (2020) の4月6日リリース版では Viscusi and Aldy (2003) に基づいて  $v = 3$  が設定されている。ところが6月1日リリース版では  $v = 6$  とベンチマーク値が変更されている。1年間の生命の価値が年間消費の3倍とか6倍とかの価値を有するものとして考えられていることになる。本稿の範囲で当該パラメータ値の適切性を詳細に議論していくことは本来の目的からは外れてしまう。よって  $v = 3$  と  $v = 6$  の両方をベンチマークとし、それら周辺で他の可能性もふまえながらカリブレーションを行っていくことにしたい。

#### 高齢時平均余命 $LE_0$ のベンチマーク値

アメリカの生命表から得られるデータに基づくものではあるが、ひとまずHall *et al.* (2020) で設定されたベンチマーク値を基準としたい。それによると、高齢者の平均余命は14.47年と推定される。したがって  $LE_0 = 14.47$  と設定する。

#### 注意すべき事柄と本稿の方針

テイラー展開に基づいた効用関数の線形化は、分析を容易にする一方で、そうした単純化がもたらす問題にもわれわれは留意しておく必要がある。とくに、カリブレーションの結果を評価す

8) Hall *et al.* (2020) はこれら二つのワーキングペーパー版を経て、FRBの *Quarterly Review* で公刊された。詳細は参考文献リストを参照のこと。

際には慎重に臨まなくてはならない。Hall *et al.* (2020) では、相対的危険回避度一定のCRRA (constant relative risk aversion) 型効用関数を使用したケースについても考察が行われている。具体的には、 $1/\gamma$  を異時点間の代替の弾力性 ( $\gamma$  はその逆数) として、以下のような定式化を行っている。

$$u(c) = \bar{u} + \frac{c^{1-\gamma}}{1-\gamma}$$

これを用いることで、単純な線形化の場合よりも分析の一般化が図られるわけであるが、別の問題が生じてくる。すなわち、パラメータ  $\gamma$  はこれまでのマクロ経済動学研究の蓄積のなかでよく知られているように、分析結果を左右する影響力をもつと考えられるが、その適切な値を定めることが難しいのである。Hall *et al.* (2020) では、比較的よく用いられる  $\gamma=2$  を仮定しているが、今回の分析のような文脈でこの値が妥当かどうかはさらなる検討が必要である。そこで、線形近似による過度の単純化のおそれは認識しつつも、死亡率  $\delta$  や生命価値  $v$  も不確実性の高いパラメータであることもふまえて、本稿ではCRRA型効用関数のケースは取り扱わないことにする<sup>9)</sup>。

### カリブレーション結果

すでに述べたように、現在の状況は若年者層は存在しないもっとも単純なケースを考えているため、 $N=1$  とする。すると(8)式より、以下の結果を得ることができる。

$$\alpha = \frac{0.0081 \cdot 3 \cdot 14.47}{1} = 0.352 \quad (v = 3 \text{ の場合})$$

$$\alpha = \frac{0.0081 \cdot 6 \cdot 14.47}{1} = 0.703 \quad (v = 6 \text{ の場合})$$

生命の価値が消費の3倍であると仮定した上のケース ( $v = 3$  の場合) では  $\alpha = 0.352$  である。これをモデルの設定をふまえて正しく読むと、「代表的経済主体 (ソーシャルプランナー) は、新型コロナウイルスCOVID-19による感染死を回避するために、年間消費の35.2%、換言すれば3分の1以上を犠牲にしても構わない (とのスタンスでいる)」となる。ここで「犠牲にする」は、少し見方を変えれば、目的達成にあたって「断念する」とか「放棄する」といった解釈もできよう。あくまで直感の域を出ないが、この数値は今般の事態の重大性に鑑みたときに、ある程度妥当なものといえるのではないだろうか。

当然のことであるが、生命の価値が3倍から6倍へと変化すると、下のケース ( $v = 6$  の場合) が示すように  $\alpha$  も倍になっている。犠牲割合は70%を超えるという結果になる。本来の30%以下の消費に甘んじざるを得ないことになり、消費生活とのバランスの観点からはいくぶん大きすぎる割合であるというのが率直な見解である。

9) 経済主体の厚生の問題と大きく関係する今回のようなテーマでは、効用関数の定式化の影響はきわめて重要であり、今後の研究で深く立ち入らざるを得ないポイントである。

2020年2月頃から5月頃まで、日本だけでなくパンデミックに見舞われた世界各国で都市のロックダウン等の厳しい経済活動抑制措置が講じられた。つまり、人々は2~3ヶ月ほどの経済生活の犠牲を余儀なくされたことになる。こうした実際の状況をふまえた場合、3分の1程度の犠牲を伴ったとの結果 ( $v = 3$  の場合) は感覚的に理解できる値であり、一定の妥当性を有するものと考えられる。

次にHall *et al.* (2020) の4月版と6月版で提示されたすべての想定死亡率 ( $\delta$ ) と筆者が追加したいくつかについて、生命の価値 ( $v$ ) を1~7まで変化させた場合の消費犠牲割合 (%表記) の計算結果を表2にまとめて示そう。

Hall *et al.* (2020) では、計算結果を読んでいく際に死亡率 ( $\delta$ ) が0.41%や0.44%のケースを基本としている。 $v = 3$  とすると、 $\alpha$ は20%弱、 $v = 6$  とすると40%弱になると計算されている。生命価値の倍率から考えると、これらの予測値はある程度妥当なものと考えられる。死亡率と生命の価値との組み合わせが高い値をとるケースでは、「COVID-19感染防御への捨石」としての消費の犠牲は100%を上回るような状況もみられる。

これらのシナリオを詳細に検討すること自体も興味深いのだが、とくに推定死亡率に関しては日本の実績をふまえたものではない。したがって日本の時々のデータおよび状況に即したかたちで分析を進める必要がある。単一の代表的経済主体 (COVID-19のリスクに不可避免的に直面せざるを得ない高齢者の特徴を有している) の存在を仮定し、日本の状況をふまえた分析についてはこの後の3.2節で行う。

#### 2.4. 異質な特徴をもつ2世代モデルのカリブレーション

本来のモデルの展開に即し、前節のカリブレーションを拡張する。ここでもHall *et al.* (2020) によって提示された計算結果を確認しながら分析を進めていくことにしよう。カリブレーションのための基本設定環境について、生命の価値は前節と同様に  $v = 3$  と  $v = 6$  を基準値として考える (周辺の値もあわせてテストする)。次に、推定死亡率であるが、2世代モデルの構造で高齢者層のみがCOVID-19のリスクに直面すると考えるため (このような単純化は実際の感染率や死亡

表2：代表的経済主体を想定した場合の消費犠牲割合 ( $\alpha$ )

		$v$						
		1	2	3	4	5	6	7
$\delta$ (%)	0.10	1.4	2.9	4.3	5.8	7.2	8.7	10.1
	0.41	5.9	11.9	17.8	23.7	29.7	35.6	41.5
	0.44	6.4	12.7	19.1	25.5	31.8	38.2	44.6
	0.81	11.7	23.4	35.2	46.9	58.6	70.3	82.0
	1.20	17.4	34.7	52.1	69.5	86.8	104.2	121.5
	1.62	23.4	46.9	70.3	93.8	117.2	140.6	164.1
	2.00	28.9	57.9	86.8	115.8	144.7	173.6	202.6

注：数値は%表記である。Hall *et al.* (2020) に掲載されたものについても再計算した。

割合のデータからはおおむね支持されると思われる), これに対応する65歳以上の高齢者の死亡率は, 感染防御対策が何もとられなかった場合に3.86%と推定される。高齢者層の死亡割合に焦点を当てている点を除いては, 推計方法は以前と同じである。最後に平均余命についてはアメリカのデータに基づき, 65歳以上の高齢者について $LE_o = 10.9$ としている。すなわち, 65歳以上の高齢者はCOVID-19を回避できた場合には平均的に10.9年程度生存する, ということの意味している。

2.3節と異なり, ここでは2世代の構造となっているため $N$ の値が問題となる(以前は $N = 1$ と仮定していた)。Hall *et al.* (2020)によると, 2018年のアメリカの全人口に占める65歳以上の高齢者人口の割合は約16%であり,  $N = 6$ と考えている<sup>10)</sup>。こうすると全人口の6分の1(16.7%)が高齢者であり, 6分の5(83.3%)が若壮年という年代構成になる。上で述べた感染者死亡割合, 平均余命, 人口サイズをふまえ, 生命の価値が倍率3( $v = 3$ )であるとした場合, 消費犠牲割合 $\alpha$ は(8式)に基づいて次のように計算できる。

$$\alpha = \frac{\delta \cdot v \cdot LE_o}{N} = \frac{0.0386 \cdot 3 \cdot 10.9}{6} = 0.210$$

本来の設定である2世代モデルのもとでは, 消費犠牲割合は21%である。ではこの値は誰にとっての値と解釈できるだろうか。以前の結果とあわせて考えると, 興味深い考察が可能となる。全員がCOVID-19のリスクに直面する高齢者のみによるモデルという解釈も可能だった2.3節の代表的経済主体モデルでは,  $\alpha$ は約35%であった(ただし $\delta = 0.81\%$ ,  $v = 3$ として)。この35%のうち, その6割( $21/35=0.6$ )は高齢者に関連づけられる消費犠牲割合と考えることもできるだろう。そうするとこの4割( $14/35=0.4$ )は人口の多くを占める若壮年者と関連づけられる。この背景にあるメカニズムは, 瞬時的効用関数 $u(\lambda c_0)$ の部分に関係しており, 感染症の蔓延は若壮年と高齢者双方の初期時点での消費, すなわちCOVID-19の感染が蔓延しているまさにその時期の消費を低減させてしまうため, 若壮年にとっても無関係ではないのである<sup>11)</sup>。

本節を締めくくるにあたって, 表2と同様の計算を行った結果を表3にまとめて示すことにしよう。生命価値 $v$ は以前と同様に1~7とするが, 感染者死亡割合については高齢者層の状況を考慮して変更する必要がある。具体的には, 実情に鑑みて高齢者層の $\delta$ はより高い値に設定されるべきであろう。Ferguson *et al.* (2020)の結果に基づくHall *et al.* (2020)では, 65歳以上では2%を上回り, 80歳台以上となると10%程度になると考えている。本稿ではそれを考慮して, 2~10%の範囲で分析してみることにした。

10) 詳細は<https://www.statista.com/statistics/270000/age-distribution-in-the-united-states/>を参照されたい。正確な値は15.81%である。

11) われわれが今回経験したことと整合的である。

表3：異なる2世代を想定した場合の消費犠牲割合（ $\alpha$ ）

	$v$							
	1	2	3	4	5	6	7	
	2.00	3.6	7.3	10.9	14.5	18.2	21.8	25.4
	3.86	7.0	14.0	21.0	28.0	35.1	42.1	49.1
	4.00	7.3	14.5	21.8	29.1	36.3	43.6	50.9
$\delta$ (%)	5.00	9.1	18.2	27.3	36.3	45.4	54.5	63.6
	7.00	12.7	25.4	38.2	50.9	63.6	76.3	89.0
	8.50	15.4	30.9	46.3	61.8	77.2	92.7	108.1
	10.00	18.2	36.3	54.5	72.7	90.8	109.0	127.2

注：数値は%表記である。Hall *et al.* (2020) に掲載されたものについても再計算した。

$\alpha$ を求める(8)式についてその構造面に着目すると、分子の $\delta$ は大きくなるが、代表的個人モデルと比較して平均余命 $LE_0$ は短くなる。ただしここで人口サイズでの調整が組み込まれるため、全体としては $\alpha$ の値は小さくなっている。年齢階層と関連づけられる消費犠牲割合について、先ほどはHall *et al.* (2020) が行った結果を紹介した。非常にラフな推定となってしまうことに十分留意したうえで、ここでも追加的な考察を行ってみることにしよう。

他の状況を変更せずに、感染者死亡割合が3.86%から5%へと1パーセントポイント強高まったケースを考えてみる。表3をみると、 $\alpha$ は27.3%となる<sup>12)</sup>。代表的経済主体モデルでの $\alpha$ が35.2%であったことから、 $27.3/35.2 \approx 0.78$ となる。よって高齢者に関連づけられる消費犠牲割合は約8割、若壮年者のそれは約2割と計算できる。これを以前のHall *et al.* (2020)の結果と比較して考えると、年齢階層別での影響度合いの違いは死亡割合の動向によってかなり大きく左右されることがわかる。

### 3. HJK モデルの日本への適用

本節では、HJKモデルを日本に適用し、COVID-19に突然の襲撃を受けた日本経済のダメージを経済学的に評価する。日本のデータをきちんとふまえることが重要であるから、まずはパラメータの設定を吟味することからはじめたいと思う。

PCR検査が長期にわたって円滑に実施されていなかったことは周知の事実である<sup>13)</sup>。そのため、実証分析やシミュレーション分析の基礎となる市中感染率や種々の死亡割合のデータに全幅の信頼を置くことはできない。このことは明確に述べておきたい。しかしながら、市中の感染状況や

12) これより、消費犠牲割合は4分の1程度と見積もられる。

13) PCR (Polymerase Chain Reaction; ポリメラーゼ連鎖反応) 検査は新型コロナウイルス検査の代表的検査法であり、ウイルスの遺伝子を増幅することによって検出を行う手法である。PCR検査を限定的に実施するのがよいのか、それともなるべく広く実施するのがよいのか、といった検査件数の是非を論じることは本稿では行わないものの、臨床医が検査を推奨する患者でさえすみやかに受検できない時期が続いたことは確かであり、問題である。

患者の動態と真の状況が著しく乖離しているようなことがあったとしたら、データと符合しない実際の医療現場の状況や極端に多い超過死亡数などから、看過できない「異常」を察知できるはずである。いまのところ、そこまでの状況にはない。こうしたことから、公表データがまったくあてにはならないほどではない、というのが本稿の現時点（2020年6月頃）でのスタンスである。

### 3.1. パラメータの設定

生命の価値 $v$ に関しては、カリブレーションにおける位置づけの重要性は認識するものの、本稿の範囲では深掘りを行うことはせず、Hall *et al.* (2020) を踏襲することにした。するとここで再検討すべきは、死亡割合 $\delta$ 、高齢者平均余命 $LE_0$ および時間割引率 $\beta$ である。順にみていくことにしよう。

#### $\delta$ の設定にあたっての留意点

具体的な $\delta$ の設定の段階に移る前に、マスコミ報道などで一貫性なく取り扱われている感のある種々の死亡割合（死亡率）について明確にしておくのがよいだろう。Ferguson *et al.* (2020) に依拠したHall *et al.* (2020) で使用されているのは、以下に基づく感染者致命割合（infection fatality ratio; IFR）である。

$$\text{IFR} : \frac{\text{感染による死亡者数}}{\text{全感染者数}}$$

偽陽性・偽陰性の可能性はもとより、検査態勢やそのキャパシティーにも大きく影響を受けることから、そもそも感染者全員をくまなく検出することは不可能であることに留意しておきたい。そのような場合、感染力や感染の広がりに関して何らかの仮定を置き、全感染者数や年齢階級別の感染者数を推計するのである。

感染者致命割合としばしば混同されて用いられているのが致命割合（case fatality ratio; CFR）であり、その定義から類推されるように病原性の強さの代表的な指標としても用いられる。これは以下のように表される。

$$\text{CFR} : \frac{\text{感染による死亡者数}}{\text{確定診断済み感染患者数}}$$

IFRとの違いは分母であり、確定患者数は実数が明確に把握できるところが特徴である。

三つめの指標が、私たちがよく耳にする死亡率（mortality rate ないしはdeath rate）であり、死亡割合を意味している。これについては以下のように表すことができる。

$$\frac{\text{感染による死亡者数}}{\text{全人口}}$$

当然ながら、三つのなかでは分母のサイズが最も大きなものとなる。この指標は人口1,000人当たりとか10万人当たりの率（割合）として報告されることが多い。

分母の違いによって三つの指標の違いを説明したのだが、これから時間が経過していくと（執

筆時点は2020年6月である), 分子にも変更が生じる可能性がある。すなわち, 毎年のインフルエンザの場合などと同様に, 「COVID-19関連死」を考慮する必要性が生じてくるかもしれない。それは当該期間の超過死亡数の状況などから判断されることになるだろう。いずれにせよ, 分析の目的に応じて3種類の指標を適切に使い分けることが必要である。

### 日本における $\delta$

感染による死亡者数の問題をひとまず考慮の外に置き, 必要な基礎的データにアクセスが可能だとすると, CFRと死亡率は計算が可能である。しかしながら, Hall *et al.* (2020) もそうであるように, 基本的にはIFRを何らかの仮定のもとで推計し, 分析に使用するのが標準的である。したがって分析結果を比較可能なものとするためにも, IFRに基づいた  $\delta$  の値を使いたいところである。

NHK (日本放送協会), 厚生労働省の公表する「死亡率」は上記の説明との対応では, 致命割合CFRに対応するものである (表4)。したがって全年齢階級でみた「死亡率」は, 1.9%とかなり高い値を示している。他方, われわれの必要とするIFRを計算する際に難所となるのが, 全感染者数の予測である。わが国の場合, PCR検査をはじめとして, 徹底した検査がとくに量的に満足のいくものではなかったことから, 適切な予測は大変難しい作業となる<sup>14)</sup>。本稿では次のようなステップでIFR, つまり  $\delta$  の推測を行う。

**ステップ1** Ferguson *et al.* (2002) や基本再生産数  $R_0$  と集団免疫閾値などを考慮すると, 日本の実情からは極端ではあるものの, 人口に占める感染者割合の最大値は60~75%程度としておく<sup>15)</sup>。一方で, 同割合の最小値は, 後述する種々の抗体検査の情報から, 0.05~0.1%程度とする。これらを使用して人口から予測感染者数を計算し, 死者数との関係からIFRを推計する。

**ステップ2** 今度は視点を変えて, 公衆衛生や感染症の専門家, 医師の経験に基づく「肌感覚」の情報を活用する。これによって確定済み感染者数に乗じられる「倍率」を予想し, 予測

表4 : (厚生労働省発表の) 死亡率 (%)

全体	10歳未満	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	80代以上
1.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	1.9	5.7	11.5

注 : 厚生労働省ウェブサイトで公開された資料 (「新型コロナウイルス感染症の国内発生動向」[令和2年4月26日18時時点]) から筆者作成。

14) PCR検査はウイルスの存在を直接検出するのに対し, 抗体検査は感染後にウイルス抗体ができてくるかを調べることで過去の感染歴を確かめるものである。

15) 基本再生産数と集団免疫閾値との理論的關係については, 補論Bを参照されたい。

感染者数を計算する。そしてステップ1と同様にIFRを推計する。

**ステップ3** 最後にステップ1とステップ2の状況から考えて、妥当と考えられるIFRの範囲を特定する。

ステップ1から考える。今回の新型コロナウイルスの場合、疫学理論でいわれる集団免疫理論をそのまま適用して感染動向を分析することは適切ではない可能性がある。しかしながら、感染者割合の上限値を定めるにあたって、そうした理論に基づくことは妥当であると思われる。他方、下限値を画するための基礎的情報としては、少数ながら行われるようになってきた抗体検査の結果を活用できる。主要なものについて新聞報道を紹介しながらみていくことにしよう。

国内において比較的大規模な調査として注目されるのがソフトバンクの4万人検査であり、陽性割合は0.43%だった。サンプルの偏りは多少懸念されるものの、検査数の観点からは貴重である（下記参照のこと）。

ソフトバンクグループ（SBG）は9日、グループの社員や医療従事者ら約4万人を対象に実施した新型コロナウイルスの感染歴をみる抗体検査の結果を公表した。抗体を保有していた陽性率は0.43%だった。これまで東京都などで実施した検査結果と同じレベル。国内における感染者の割合は低いことが改めて示された。（『日本経済新聞』2020年6月10日朝刊より一部抜粋）

次に、山形大学の検査結果も注目に値する。山形県内の確定感染者数は2020年6月19日時点で69人で、感染が比較的少ない地域と見てよいだろう。やはり陽性率は0.5%と低く、ソフトバンクのものに近いが、サンプルサイズは小さい（下記参照のこと）。

山形大医学部は15日、新型コロナウイルス抗体検査の調査結果を発表した。1009人のうち5人から陽性とみられる値を検出。陽性率は0.5%で、県民の推定感染者数は670~1万人とみている。現在の県内の感染者69人を大幅に上回るが、上野義之医学部長は「多く見積もっても県民の1%以下しか感染していない」としている。（『日本経済新聞』2020年6月16日朝刊より一部抜粋）

国が行ったある程度包括的な比較研究としては、東京、大阪、宮城での調査がある。感染の広がりを把握する目的で、人口の多い自治体のなかでも、感染者数が多い自治体として東京と大阪、少ない自治体として宮城を調査対象地域に選定した。20歳以上の合計7,950人を無作為に選び抗体検査を行った結果、平均的には約0.1%の陽性率であった（下記参照のこと）。

厚生労働省による新型コロナウイルスの初の大規模な抗体検査の結果が16日、公表された。過去に感染したことを示す抗体保有率は東京0.1%、大阪0.17%、宮城0.03%で、欧米の報告より低い。多くの人が免疫を獲得し感染が終息に向かう「集団免疫」まで時間がかかると見込まれ、感染が再び広がる「第2波」への警戒が必要だ。（『日本経済新聞』2020年6月17日朝刊より一部抜粋）

以上の考察をふまえて、想定感染率を0.05～75%とし、表5の情報を利用して予測感染者数からIFRを計算した結果が表6のパネル(a)に示されている。現時点では、想定感染率について予断をもって判断することは適切ではなく、したがって変動の範囲はかなり大きく設定されている。

表5：予測のための基礎データ

基礎データ：		
総人口（人）	125,900,000	（2020年5月1日時点）
確定感染者数（人）	17,529	（2020年6月14日時点）
死者数（人）	927	（2020年6月14日時点）

表6：感染者致命割合（IFR）の予測

(a)			(b)				
	予測感染者数	IFR (%)		予測感染者数	IFR (%)		
	75%	94,425,000	0.0010	2倍	35,058	2.6442	
	60%	75,540,000	0.0012	4倍	70,116	1.3221	
	50%	62,950,000	0.0015	6倍	105,174	0.8814	
	40%	50,360,000	0.0018	8倍	140,232	0.6610	
	20%	25,180,000	0.0037	10倍	175,290	0.5288	
	10%	12,590,000	0.0074	12倍	210,348	0.4407	
	5%	6,295,000	0.0147	14倍	245,406	0.3777	
	1%	1,259,000	0.0736	16倍	280,464	0.3305	
想定感染率	0.5%	629,500	0.1473	想定感染者倍率	18倍	315,522	0.2938
	0.45%	566,550	0.1636		20倍	350,580	0.2644
	0.4%	503,600	0.1841		24倍	420,696	0.2203
	0.35%	440,650	0.2104		28倍	490,812	0.1889
	0.3%	377,700	0.2454		32倍	560,928	0.1653
	0.25%	314,750	0.2945		36倍	631,044	0.1469
	0.2%	251,800	0.3681		40倍	701,160	0.1322
	0.15%	188,850	0.4909		44倍	771,276	0.1202
	0.1%	125,900	0.7363		48倍	841,392	0.1102
	0.05%	62,950	1.4726		50倍	876,450	0.1058

注：公表データに基づき、筆者作成。

続いて、上とはまったく異なる観点から予測感染者数を考えていきたい（ステップ2）。報道等では、「実際の感染者は10倍以上いる」といった言説がしばしば述べられていた。その根拠になっていたと思われるのが、「8割おじさん」として知られることになった西浦教授の見解である（下記参照のこと）。

新型コロナウイルスの感染者数について、政府の専門家会議に試算を提示している北海道大学の西浦博教授（理論疫学）は25日までに、「現在確認されている感染者数は氷山の一角。実際は10倍以上」との見解を示した。（『日本経済新聞』2020年4月26日朝刊より一部抜粋）

これは疫学研究者としての肌感覚を率直に表明したものとみることができるだろう。接触機会の8割削減の意味するところを正しく理解するのが難しかった一般の人々でさえも、この10倍以上という数値については感覚的に「おそらくそれくらいはいるだろう」と思う人が多かったのではないだろうか。同様の見解は、専門家会議の尾身茂副座長からも表明されている（下記参照のこと）。

政府・新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の尾身茂副座長（地域医療機能推進機構理事長）は11日、国内の感染者総数の実態について「症状が軽い、ない人が多くいる。（実際の人数は）10倍か15倍か20倍というのは誰も分からない」と述べ、10日現在で約1万6千人との報告数を大きく上回る可能性があるとの見方を示した。（『日本経済新聞』2020年5月12日朝刊より一部抜粋）

これらから注目すべきなのは、日本の感染の状況を総合的に観察すると、専門家の見解としても倍率は10～20倍ほどであって、40倍、50倍といったものではないと予想されていることではないだろうか。

以上の考察より、想定感染者倍率について10～20倍を含むあたりで広く設定し、先ほどと同じく表5の情報を利用して予測感染者数からIFRを計算した結果が表6のパネル(b)にまとめられている。

最後はステップ3であり、ステップ1と2から妥当と考えられるIFRの絞り込みを行うことにする。抗体検査の結果から判断すると、想定感染率は数パーセントや数十パーセントといったものではなく、0.1～0.2%程度と考えるのが妥当である。そうすると感染者致命割合IFRは、表6のパネル(a)から0.4%とか0.5%といった値になることが確かめられる。そして表6のパネル(b)に目を転じると、0.4～0.5%程度のIFRは、想定感染者倍率で10～20倍程度で実現する値であることがわかる。すでに述べたように、このくらいの倍率は西浦教授や尾身副座長をはじめとした専門家の肌感覚に合致するものである。

これまでの探索作業をふまえて、われわれはIFRのベンチマーク値として0.5%をまずは選択する。したがって日本の状況にフィットするパラメータ $\delta$ を、 $\delta = 0.5\%$ として定めることにする。

## 日本における $v$

統計的生命価値に関しては、非常に興味深い要素であり、(8)式の構成からみても消費犠牲割合 $\alpha$ に無視できない影響を及ぼすことは間違いない。また、宗教観や社会的な倫理規範などの違いに端を発して、その値について国ごとにばらつきがある可能性も否定できるものではない。しかしながら、すでに述べたように、これを詳しく検討することは本稿の範囲を超えるものである。よって $v$ の設定値に関してはHall *et al.* (2020) を踏襲し、 $v = 2\sim 6$  で考えることにしたい。

## 日本における高齢時平均余命 $LE_0$

HJKモデルの設定に立ち戻って考えることにしよう。単一の代表的経済主体（分析目的に照らすと全員がCOVID-19に対してリスクのある高齢者であると考えるのがリーズナブル）のみからなる設定であれ、若壮年と高齢者の2世代からなる設定であれ、明確なかたちで大きなリスクに見舞われる年代を特定し、その人々の平均余命をモデル設定上の $LE_0$ に対応させるのが適切であると考えられる。

ここですでに示した表4の死亡率（致命割合CFRに対応）を参考にしてみよう。50代までは平均を大きく下回るが、60代で平均的となり、70代以上で顕著な上昇がみられる。2020年3月～5月頃のテレビインタビューなどでも、70代以上の人々は自らが直面する感染リスクにより強い懸念を抱いている傾向があった。重症化や死亡のリスクが相対的に低いとされた若壮年の人々であっても、高リスクの高齢者に感染させないよう行動を律する（いわゆる行動変容）といった意識が明確にあった。こうしたことをふまえると、70代の平均余命に注目することは適切である。

具体的には、生命表と人口統計から計算を行う。まず平成30年の「簡易生命表」（厚生労働省）より、70歳平均余命について、男性は15.84年、女性は20.10年であった。次に平成30年の「人口推計」（総務省統計局）より、70歳男女の人口構成割合を得る（男性47.7%、女性52.3%）。これらから加重平均値は18.07年となるので、 $LE_0 = 18.07$  と定める。

表7：日本における消費犠牲割合（代表的個人モデル）

	$v$					
	2	3	4	5	6	
	0.2	7.2	10.8	14.5	18.1	21.7
	0.3	10.8	16.3	21.7	27.1	32.5
	0.4	14.5	21.7	28.9	36.1	43.4
$\delta$ (%)	0.5	18.1	27.1	36.1	45.2	54.2
	0.6	21.7	32.5	43.4	54.2	65.1
	0.7	25.3	37.9	50.6	63.2	75.9
	0.8	28.9	43.4	57.8	72.3	86.7

注：数値は%表記である。

### 3.2. 日本版・代表的経済主体モデルのカリブレーション

日本の状況を考慮して設定したパラメータ値を使ってカリブレーションを行っていく。まず本節では代表的経済主体を仮定し、 $N = 1$  として分析を行う。Hall *et al.* (2020) と比較するために、 $v = 3$  の場合に注目しよう。

$$\alpha = \frac{0.005 \cdot 3 \cdot 18.07}{1} = 0.271 \quad (v = 3 \text{ の場合})$$

1年間の生命の価値が年間消費の3倍であると仮定したもとの、 $\alpha = 0.271$ が得られる。すなわち、「代表的経済主体は、新型コロナウイルスCOVID-19による感染死を回避するために、年間消費の27.1%、換言すれば4分の1以上を犠牲にしても構わない」と読むことができる。Hall *et al.* (2020) では3分の1程度であったので日本での $\alpha$ は小さくなるものの、感染状況の大幅な違いを考えると、そのギャップは小さいといえるかもしれない<sup>16)</sup>。しかしながら、この結果の読み方には非常に重要な留意点が存在しており、後の第4節で総括的に言及したい。

いずれにせよ、2020年2月頃から5月頃までを日本における感染の第1期と捉えると、この期間、個人事業主などを中心として2~3ヶ月ほどの経済生活の犠牲を余儀なくされたことは記憶に新しい。こうした状況をふまえると、実際に生じた事態は極めて大きなネガティブショックあり、4分の1程度の犠牲という推計結果はある程度妥当なものと考えられる。

表7には、感染者致命割合IFRと生命価値を変化させて $\alpha$ を推計した場合の結果がまとめて示されている。Hall *et al.* (2020) で使用された生命価値である $v = 6$ を想定すると、現在採用している感染者致命割合では年間消費の50%以上が犠牲になる可能性があることを意味している。

ここでのアプローチは自発的な支払許容額 (Willingness to Pay) に基づくものであるため、経済統計に実際に表れる状況そのものとは一定の距離を置いて考える必要があるが、それにして甚大なマクロ経済的被害を予見させる結果である。とはいえ、GDP統計 (国民経済計算) の直近の動向やInoue and Todo (2020) などから考えると、犠牲割合は過大である可能性が高い。この原因はもちろん統計的生命価値の大きさにあり、 $v = 6$ は再考が必要である。アドホックな考え方ではあるが、結果だけからみると、明らかに $v = 3$ の方が妥当性が高いといえるだろう。

### 3.3. 日本版・異質な特徴をもつ2世代モデルのカリブレーション

ここでの分析が本稿のハイライトとなる。これまでの分析や議論をふまえながら、カリブレーションに必要な要素を確定していくことにしよう。生命価値は前節でのものをベンチマークとする。すると事前に決定すべきは、 $v$ を除いた三つの値である。

まず、高齢者、とくに日本でいうところの後期高齢者に関する感染者致命割合を確定させる。

16) 生命価値に国ごとに差異がないとすると、先進国では平均余命にも大差はなく、したがって $\alpha$ の推計値を左右するのは感染者致命割合の違いである。結果的に、アメリカ (Hall *et al.*, 2020) と日本 (本稿) で似通った $\delta$ の値が採用されているため、最終的な結果にも大きな違いはないことになっている。

Hall *et al.* (2020) の設定を振り返ってみよう。代表的個人モデルでは0.81%, 2世代モデルでは3.86%であり、倍率は $3.86/0.81 \approx 4.8$ である。つまり、Hallらは全年齢階層と比べて高齢者は約5倍のIFRを想定していたことになる。われわれの一つの推論の方法として、3.1節で試みた方法を適用して高齢者の感染者数（非確定診断者も含む高齢者の感染者全体）を求め、そこからIFRを計算することができるだろう。もう一つの方法は、Hallらの倍率を日本にも適用してみることである。高齢者に限定した抗体検査の結果については、筆者の知るかぎりでは未だ明らかではない。すると、高齢者の感染者母集団の予想は一層不確実性が増すことになる。よって前者の方法は状況が整った際の課題とし、本稿では後者の簡便法を採用する。日本の場合の代表的個人モデルでは、IFRは0.5%, つまり  $\delta = 0.005$  であった。したがって、日本の高齢者のIFRはその5倍の2.5% ( $\delta = 0.025$ ) とする<sup>17)</sup>。

次は高齢者の平均余命である。これまでの代表的個人モデルでも、高齢者全般を代表させる平均余命の値として70歳時点のものをを用いていた。後期高齢者を条件として課すと、75歳以上のものが候補となり得る。ただ、75歳時点とすると、代表的個人のケースと5歳分しか差がないことを考えると、80歳時点のものをを使うのがよいであろう。そこでまず平成30年の「簡易生命表」（厚生労働省）より、まず80歳平均余命について、男性は9.06年、女性は11.91年であった。次に平成30年の「人口推計」（総務省統計局）より、80歳男女の人口構成割合を得る（男性42.8%, 女性57.2%）。これらから80歳平均余命の男女での加重平均値は10.69年となる。

最後に決定しなければならないのは人口サイズ  $N$  である。これに関しては全人口に占める高齢者人口の割合を使用するが、目下の状況に鑑みて二つのケースを考えることにする。一つは通常のように65歳以上で構成割合をとるケースである。もう一つは、上記の平均余命について80歳の後期高齢段階のものをを使用することをふまえ、75歳以上で構成割合をとるケースである。まず前者に関して、2018年の日本の全人口に占める65歳以上の高齢者人口の割合は約28%であるから、 $N = 3.55$  を想定する。こうすると全人口の3.55分の1 (28.2%) が高齢者であり、3.55分の2.55 (71.8%) が若壮年という年代構成になる<sup>18)</sup>。次に後者に関して、75歳以上の割合は全人口の約14%であり、これより  $N = 7$  とする。したがって、7分の1 (14.3%) が高齢者であり、7分の6 (85.7%) が若壮年という年代構成になる。

17) ところで、この約5倍の倍率は日本のデータで考えるとどうみえるだろうか。先に示した表4の致命割合CFRのデータから考えてみることにしよう。CFRは全体では1.9%だが、70代で5.7%, 80代で11.5%である。後期高齢段階ではCFRは急激な上昇を示しているので、75~80歳くらいで考えてみると、日本でも対応する倍率は約5倍程度と見積もることは十分に妥当な線であると思われる。

18) アメリカの高齢者割合は約16%であったので、その違いは顕著であり、消費犠牲割合の推計においても無視できない影響を及ぼす可能性がある。

表8：日本における消費犠牲割合1（2世代モデル）

	$v$					
	2	3	4	5	6	
	1.50	9.0	13.6	18.1	22.6	27.1
	2.00	12.0	18.1	24.1	30.1	36.1
	2.50	15.1	22.6	30.1	37.6	45.2
$\delta$ (%)	3.86	23.2	34.9	46.5	58.1	69.7
	4.00	24.1	36.1	48.2	60.2	72.3
	5.00	30.1	45.2	60.2	75.3	90.3
	7.50	45.2	67.8	90.3	112.9	135.5

注：数値は%表記である。人口サイズを $N = 3.55$ としている。

全体の状況を紹介する前に、まずは代表的な結果を示すことにしよう。生命価値を $v = 3$ として、以下の二つの結果が得られる。

$$\alpha = \frac{\delta \cdot v \cdot LE_o}{N} = \frac{0.025 \cdot 3 \cdot 10.69}{3.55} = 0.226 \quad (N = 3.55 \text{ の場合})$$

$$\alpha = \frac{\delta \cdot v \cdot LE_o}{N} = \frac{0.025 \cdot 3 \cdot 10.69}{7} = 0.115 \quad (N = 7 \text{ の場合})$$

これらのカリブレーションの結果に基づいて、Hall *et al.* (2020) で行われたシミュレーションをここでも試みてみよう（本稿2.4節参照のこと）。計算された $\alpha$ をとくに高齢者に関連づけられる消費犠牲割合と位置づけてみるのである。

65歳以上の人々を「高齢者」として一括りにした場合（ $N = 3.55$ ）の消費犠牲割合 $\alpha$ は22.6%となった。日本の状況にフィットさせた代表的経済主体モデルでは、 $\alpha$ は27.1%であった（ただし $\delta = 0.5\%$ 、 $v = 3$ として）。大まかには、この27.1%のうち、その約83%（ $22.6/27.1 \approx 0.834$ ）は高齢者に関連づけられる消費犠牲割合、そして残りの約17%（ $22.6/27.1 \approx 0.166$ ）は若壮年者に関連づけられる消費犠牲割合と考えることができるだろう。感染者致命割合IFRを1.5～7.5のあいだで動かす、妥当と考えられる各生命価値のもとで $\alpha$ を計算した結果を表8にまとめて示してある。なお、すでに述べたように、 $\delta$ に関しての本稿のベンチマーク値は2.5%であり、 $\delta = 3.86\%$ はHall *et al.* (2020) がわれわれと同様の状況下で選択した値である。

次に分析上の高齢者の定義をさらに限定した場合に推計結果がどうなるか検討してみよう<sup>19)</sup>。すでに示したように、75歳以上の人々を現在の状況下での高齢者として一括りにした場合（ $N = 7$ ）の消費犠牲割合 $\alpha$ は11.5%と計算された。上と同様に、代表的経済主体モデルの $\alpha = 27.1\%$ （ただし $\delta = 0.5\%$ 、 $v = 3$ として）との対比でこの推計値を読み解いてみる。すると大まかには、

19) COVID-19 への感染動態やその予後の違いだけに止まらず、日本において65歳の人を「高齢者」「老人」に分類し、若壮年者と区別するのは実態を反映していない可能性がある。この点は今後の検討事項である。

表9：日本における消費犠牲割合2（2世代モデル）

	$v$					
	2	3	4	5	6	
	1.50	4.6	6.9	9.2	11.5	13.7
	2.00	6.1	9.2	12.2	15.3	18.3
	2.50	7.6	11.5	15.3	19.1	22.9
$\delta$ (%)	3.86	11.8	17.7	23.6	29.5	35.4
	4.00	12.2	18.3	24.4	30.5	36.7
	5.00	15.3	22.9	30.5	38.2	45.8
	7.50	22.9	34.4	45.8	57.3	68.7

注：数値は%表記である。人口サイズを $N=7$ としている。

27.1%のうち、その約42%（ $11.5/27.1 \approx 0.424$ ）は高齢者に関連づけられる消費犠牲割合、そして残りの約58%（ $15.6/27.1 \approx 0.576$ ）は若壮年者に関連づけられる消費犠牲割合と考えることが可能である。表9は、 $N=3.55$  から $N=7$ として、表8の各結果を計算し直したものである。

日本に即したカリブレーションで明らかになったことをここで一度まとめておきたい。

- 感染の実態についての多角的な検討より、2020年6月頃の日本全体での感染者致命割合IFRは0.4～0.5%程度になると予想できる。
- 代表的経済主体モデル（ $N=1$ ）を日本に適用した場合、適切と考えられるパラメータのもとで、消費犠牲割合 $\alpha$ は27.1%となった。つまり、COVID-19への感染死を回避するために犠牲となる消費は、年間消費の4分の1強と見積もられる。
- 2世代モデル（ $N>1$ ）を日本に適用し、高齢者層を65歳以上の人々と想定した場合（ $N=3.55$ ）、消費犠牲割合 $\alpha$ は22.6%となった。かりに代表的経済主体モデルの結果を全世代での結果と位置づけるならば、当該の高齢者に関連づけられる消費の犠牲は約83%、若壮年者に関連づけられる割合は約17%と計算できる。
- 2世代モデル（ $N>1$ ）を日本に適用し、高齢者層を75歳以上の人々と想定した場合（ $N=7$ ）、消費犠牲割合 $\alpha$ は11.5%となった。かりに代表的経済主体モデルの結果を全世代での結果と位置づけるならば、当該の高齢者に関連づけられる消費の犠牲は約42%、若壮年者に関連づけられる割合は約58%と計算できる。

#### 4. 日本の分析結果の若干の検討

HJKモデルを活用して、消費への影響ということに焦点を当て、経済分析を試みてきた。得られた主要な結果は、前節で要約したとおりである。医学的分析であれ経済学的分析であれ、

COVID-19を評価する際の重要な留意点は、この感染症の広がりが現在も進行中（2020年7月時点）であるということである。医学的には、単に感染動態だけでなく、ウイルスの変異といった問題も注視していく必要がある。経済分析をする場合も、依拠する多くの基礎的なデータは十分に信頼できるものではない可能性もあり、今後事態が進行していくなかで使用するデータや分析アプローチ法についてもより良いものにアップデートしていかなければならない。

新型コロナウイルスCOVID-19については、医学や公衆衛生の観点からは、高齢者のリスクが強調されてきた。それは疫学的には正しい認識であろう。しかしながら、経済の担い手への影響という視点も同程度に重要で、それを何らかの方法で定量的に把握する努力がなされるべきである。借り物のモデルに基づく経済分析ではあるが、本稿はその第一歩である。Hall *et al.* (2020)もモデルの多方面への拡張を示唆していることからうかがえるように、こうした経済分析はさまざまなかたちでこれから一気に進展していくものと期待できる。一つの感染症が生命を危険にさらしているが、経済的にも大変な危機に直面しており、政策決定に資する提案をはじめとして、経済学の知見に基づいた研究の必要性は極めて高いといえる。

### 日本におけるCOVID-19の経済的影響

本稿が導いた「年間消費4分の1相当（27.1%）の犠牲」をどう捉えたらよいただろうか。たとえば、国際通貨基金（IMF）は、各国の2020年の実質GDP成長率予測を公表しており、日本については-5.2%と予測している。このことは、2019年と比較して総所得が約30兆円吹き飛んでしまうことを意味している（500兆円程度までの落ち込み）。経済予測に関するわれわれの常識の範囲を大きく逸脱するものであり、今般のコロナ禍の深刻さをうかがわせる予測である。

また、総務省の「家計調査報告」によると、2020年4月の消費支出（実質、前年同月比）は11.1%の減少を示した。また同5月も前月を上回る減少幅で16.2%の減少となった。今後、消費の反動増が見込まれるが、感染症の性質上、基本的には有効なワクチンや治療薬の普及が本格的な経済回復の鍵になると考えられる。そうだとすると、いわゆる第2波や第3波が軽少であった場合でも、消費の低迷はしばらく続くものと思われる。後から振り返って4月や5月が「底」だったとしても、旺盛な消費の回復はまだ先のことになるだろう。さらに「家計調査報告」からは、金額的な規模感も把握することが可能となる。2019年は消費税率の引き上げがあったことから、2015～2019年の平均値で考えてみる。消費支出の月平均額の平均値は約28万7千円であり、年間では約344万円となる。したがってこれの27.1%は約93万2千円となる。緊急事態宣言の前後も含め、とくに4月と5月の経済活動が著しく抑制され低迷した影響として、これはある程度妥当な水準のように思える。

本稿の分析は精緻な予測を謳うものではないが、一連のカリブレーション結果はCOVID-19による影響の深刻さを物語っており、一定の説得力を有するものと考えられる。

次に緊急事態宣言の問題にふれておきたい。その内容や発令のタイミングおよび宣言期間などの適切性については今後十分な検証がなされなければならないが、上で紹介したように経済への

ダメージはやはり極めて深刻だったといっただろう。HJKモデルは消費のみに依存する効用関数と生存確率によって構成されるシンプルな構造であるため、緊急事態宣言をモデルの分析結果と直接関連づけることはあまり適切ではない<sup>20)</sup>。しかしながら、効用に消費だけでなく余暇や経済生活全般の価値も含まれると考えるならば、分析で明らかになった経済的損失には宣言の影響の一端も投影されているとみることができるだろう。

加えて、2世代モデルにおける若壮年者の効用の低下には、感染症による生存確率の低下の影響は限定的である。むしろ、緊急事態宣言による経済活動の低迷の影響の方がはるかに大きいだろう。過去は過去とし、これから先を見据えるならば、人々の効用を大幅に低下させる再度の宣言発令を避けるべく、医療供給態勢（体制）を含む広い意味での健康・公衆衛生政策と経済政策を適切に組み合わせることによって事態に臨まねばならない。とくに強調したいのは、経済合理性を欠く施策は決して長続きしないという点である。

他国との比較では、当然ながらHall *et al.* (2020) のアメリカの分析結果との関係性について言及しておかなければならない。本稿と同様に多くの推計結果が示されているが、同論文でとくに強調された結果は、 $\alpha = 35.2\%$ （線形近似、 $\delta = 0.81\%$ 、 $v = 3$ ）、 $\alpha = 26.0\%$ （CRRA、 $\delta = 0.81\%$ 、 $v = 3$ ）、 $\alpha = 70.5\%$ （線形近似、 $\delta = 0.81\%$ 、 $v = 6$ ）、 $\alpha = 38.4\%$ （線形近似、 $\delta = 0.44\%$ 、 $v = 6$ ）、 $\alpha = 41.3\%$ （CRRA、 $\delta = 0.81\%$ 、 $v = 6$ ）、 $\alpha = 27.7\%$ （CRRA、 $\delta = 0.44\%$ 、 $v = 6$ ）である。一部を除き、消費犠牲割合は20%台後半から40%台前半であり、アメリカと日本で感染状況がまったく異なっている割には、本稿の結果と類似したものになっている（表7を参照のこと）。その理由は、結果的に採用された感染者致命割合（IFR）の $\delta$ がそれほど変わらなかったためである。

しかしその背景は大きく異なることに注意しなければならない。Hall *et al.* (2020) では、Ferguson *et al.* (2020) に基づき、感染防御なしで全体の75%の人々が感染するとの想定で感染者母集団を予測し、そこからIFRを計算している。これまでの感染状況からわかるように、日本にこのような想定を当てはめることは適当でなく（諸検査が広く行われているわけではないため、実際の感染者数はよくわからないのが実態である）、したがって3.1節のような方法をとったのである。試しに日本に75%の感染想定を適用すると、表6よりIFRは0.001%となり、 $\alpha$ は次のように計算できる（代表的経済主体モデル）。

$$\alpha = \frac{0.00001 \cdot 3 \cdot 18.07}{1} = 0.000542$$

消費犠牲割合は約0.05%と計算でき、年単位でみたCOVID-19の日本経済への影響はほとんど皆無に等しいことになってしまう。被った経済的ダメージに照らしてみると、このオーダーの結果を受け入れることは当然できないのだが、現時点でわれわれがいえることはここまでである。

20) Hall *et al.* (2020) でも指摘されているように、COVID-19の所得やGDPへの影響も当然検討すべき課題である。ただし、消費とGDPは基本的には平行に動くことも確かであり、近年のそれらの推移を補論Cの図C1に示してある。

感染症の蔓延がそれなりに急速に進むと想定した場合でも、Hallらの結果はごく短期でのものというよりは、感染の広がりほぼ終息する段階の長期的なものとしてみるができるだろう（人口の75%もの人々が感染し終えるという点において）。それに対して本稿第3節の日本のカリブレーションは、現在進行の状況下でのものとみるべきである。当然のことだが、消費犠牲割合 $\alpha$ が、どういった時間視野を想定して推計されているかということには十分注意すべきである。この点で、日本での推計も、結果が定常的になるまで、将来の各時点において継続してなされるべきである<sup>21)</sup>。

最後に、異なる年齢階層への影響も興味深いものであり、2世代モデルに基づく分析には大きな意義があったと考えている。通常の高齢者の区分（65歳～）においては、アメリカと比べて日本では若壯年者が負う新型コロナによる消費の犠牲は小さかった（約17%）。原因として少子高齢社会の構造が影響しており、とくにリスクに瀕する高齢者の人口シェアが高く、したがって若壯年への影響は小さくなるのである。これに対して、同じ高齢者でも60代の人々は相対的にリスクが低いことをふまえて（表1および表4を参照のこと）、75歳以上の後期高齢者を二つに区分される世代のなかの上の方に位置づけると、結果は一変する。若壯年者に帰着する消費の犠牲が、約58%へと大幅に増加するのである。

これらの結果を総合すると、かりにCOVID-19が若壯年者の生命に決定的な影響を及ぼす可能性は小さいとしても、緊急事態宣言発令による経済的犠牲といったルートでこの世代にかなり大きな負荷がかかった可能性は否定できないといえよう。経済の担い手である若壯年者へのマイナスの影響が固定化したり長期化したりすることは、何としても避けなければならない。

## 5. 残されているいくつかの論点

### 5.1. 時間割引

経済成長モデルをはじめとした種々の動学モデルにおいて、時間選好率（時間割引率）の果たす役割の重要性は広く知られている（Barro and Sala-i-Martin, 2003）<sup>22)</sup>。異時点間にわたる問題を取り扱うHJKモデルは、すでに説明したように時間の割引因子 $\beta$ を含む設定となっているが、カリブレーションを単純にするために $\beta = 1$ としていた（不確実性のある将来を割引かず、確定している現在と同等に扱う）。このパラメータ自体の重要性に鑑み、またその大きさの違いが消費犠牲割合 $\alpha$ にどのような影響を与えるかを知るために、 $\beta$ を適切な範囲で動かしてみる（割引因子と時間選好率との対応関係については補論Dにある表D1を参照されたい）。

$\beta$ の適切な範囲を決めるにあたって、経済成長の分野や時間選好が密接に関わる環境経済の分

21) ここでの定常の意味は、大局的にみて、新規感染者数もほぼゼロになり、死亡者数の増加も止まる状態を指す。

22) Barro and Sala-i-Martin (2003) の第2章第7節では時間選好率に関係する近年の研究が詳しく検討されている。ちなみに1995年刊行の同書初版にはこれに関する記述はなく、このテーマが古くて新しい問題を含んでいることを物語っている。

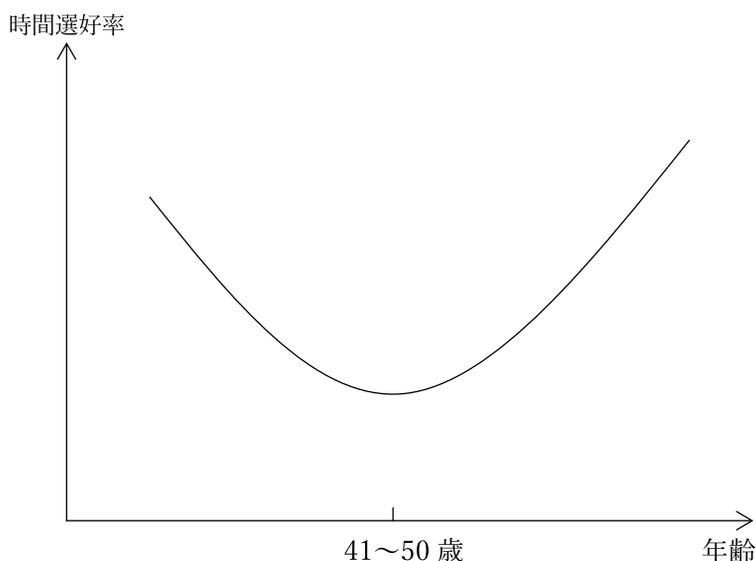


図4：年齢階級による時間選好率の変化

注：Harrison *et al.* (2002) に基づき、筆者作成。

野における基本文献の事例に依拠することとしたい。 $\rho$ との対応で見ると、Barro *et al.* (1995) では0.02~0.03, Stokey and Rebelo (1995) では0.01~0.034, Ortigueira and Santos (1997) では0.05, Park and Philippopoulos (2004) では0.1, Nordhaus (2008) では0.015, そしてJones (2016) では0.02となっている<sup>23)</sup>。またHall and Jones (2007) は $\beta$ として0.983を使用している。

ところで、Greiner and Hanusch (1998) は例外的に高い値である0.2を仮定しているが、われわれの研究にとってそれは重要な意味をもつと考えられる。すなわち、経済主体が困難な状況からの生き残りを図る場合、将来よりも現在への選好が平時に比べて高くなるのは自然であると考えられるからである。こうしたいわば近視眼的行動は、より高率の時間選好率によって表現される。加えて、より高齢の人ほど現在への選好が強まることも、有限時間の範囲内で生きることを余儀なくされる人間にとってはもっともらしい想定である。時間選好率に関する実証分析のなかでも基本文献として位置づけられるHarrison *et al.* (2002) は、デンマークにおけるフィールドサーベイデータを使った包括的な研究であるが、それによると時間選好率は40歳代で低く高齢になると高くなり、図4に示すようなU字型の関係が示唆される。

23) Park and Philippopoulos (2004) が用いた値は相対的に高めであるが、Hosoya (2017) でも同じ値が使用されている。

表10：時間割引の影響

	$v$				
	2	3	4	5	6
0.833	15.1	22.6	30.1	37.6	45.2
0.855	15.4	23.2	30.9	38.6	46.3
0.925	16.7	25.1	33.4	41.8	50.1
$\beta$ 0.950	17.2	25.7	34.3	42.9	51.5
0.975	17.6	26.4	35.2	44.0	52.9
0.985	17.8	26.7	35.6	44.5	53.4
0.991	17.9	26.9	35.8	44.8	53.7

注：数値は%表記である。

以上より、ここでの分析では、無視できない感染リスクに直面する高齢者が相対的に高い時間選好率を有する可能性にも配慮することとしたい。したがって補論Dの表D1より、 $\beta$ として0.833～0.991の範囲の値を想定する。

$\beta$ の違いがもたらす影響に焦点を当てるため、ここでは異質な2世代のモデルではなく代表的経済主体モデルで考えることにしよう ( $N = 1$ )。他のパラメータについては、まず感染者致命割合IFRはすでに使用している0.5%を再び適用する ( $\delta = 0.005$ )。高齢時の平均余命に関しても、やはり以前に使用した $LE_0 = 18.07$ で固定する。以上の準備のもとで、本来のHJKモデルに含まれていた時間割引因子の影響を考慮した消費犠牲割合 $\alpha$ は、表10のように計算できる。

おそらく標準的な $\beta$ と考えられる0.950～0.985あたりに注目すると、その違いが $\alpha$ に与える影響は比較的軽微であるといえよう。たとえば $v = 3$ では、この範囲内での $\alpha$ の違いはちょうど1パーセントポイントに過ぎない。 $v = 4$ としても、1.3パーセントポイントである。しかしながら、われわれが設定した範囲での上端と下端では、無視できない差異が生じることも確認できる。 $v = 4$ の場合、 $\beta = 0.833$ のもとでは30.1%、 $\beta = 0.991$ のもとでは35.8%となり、5.7パーセントポイントもの格差が生じてしまう。これらの結果より、時間割引因子（時間選好率）の消費犠牲割合への影響は、状況によっては非常に大きなものとなる。

## 5.2. HJK モデルの拡張について

より新しいバージョンである6月1日版のHall *et al.* (2020) では、当初のバージョンからいくつかの変更がなされているが、大きなものとしてはより詳細な世代（年齢階級）構造をモデルに導入している点が挙げられるだろう。これにより、全世代での消費犠牲割合が各年齢階級にどのくらい関連づけられるかが明らかにされている。とはいえ、本稿で示したような2世代モデルの結果とそれほど大きく相違するわけではない。このように、HJKモデルは扱いやすいシンプルな構造ゆえに汎用性が高く、Hall *et al.* (2020) でも指摘されているように、多様な拡張の可能性を有していると考えられる。

本節では一つの試みとして、効用関数において生存確率にマイナスに作用する死亡率 $\delta$ について工夫してみたい。カリブレーションにおいては、3.1節で整理したように、感染者致命割合IFRを想定・適用してきた。しかし実際には、経済主体が効用に影響する要素として $\delta$ を認識する場合、もう少し状況は複雑であると考えられる。

周知のようにわが国では感染の検査態勢（体制）が脆弱であったために、IFRの推計値に対してはつねに疑念が伴うものの、たとえば公的機関がそれを公表したとすると、それは個別経済主体にとっては外生的に与えられた貴重な疫学的情報となるだろう。これに対して、経済主体が自ら内生的に形成する死亡リスクというものも当然あるだろう<sup>24)</sup>。たとえば全国的に感染が蔓延していてIFRが高まったとしても、居住県や隣県で感染者がほとんどいない場合には、外生的死亡リスクとしてのIFRは高いが、プライベートな死亡リスクは低いものとして効用を形成することがあり得るだろう。IFRからの影響は間接的であるものの、流行中の感染症なので無視はできないのである。逆の場合として、全国的には感染が落ち着いていてIFRが低い割合であったとしても、局所的に発生したクラスターの渦中にある状況などでは、今回のCOVID-19の感染力の強さをふまえるとプライベートリスクは著しく高いものとなるであろう。

このような複合要因に基づく経済主体の主観的な想定死亡割合を $\delta_c$ とし、IFRに対応する（外生的な）死亡割合を $\delta_{IFR}$ 、プライベートリスクを反映した死亡割合を $\delta_p$ とする。いま $\mu$ をウェイトとすると、 $\delta_c$ は次のように表せる。

$$\delta_c = \delta_{IFR}^\mu \delta_p^{1-\mu}$$

ただし $0 < \mu < 1$ である。これを以前に導出した(7)式に $\delta = \delta_c$ として代入すると、以下の表現が得られる。

$$1 - \lambda = \frac{\beta \delta_c}{N} \cdot \frac{V_{F,o}}{u'(c_0)c_0} = \frac{\beta (\delta_{IFR}^\mu \delta_p^{1-\mu})}{N} \cdot \frac{V_{F,o}}{u'(c_0)c_0} \quad (9)$$

(8)式で表現された消費犠牲割合 $\alpha$ は、(9)式をふまえると次のように書き換えることができる（ただし $\beta \neq 1$ とする）。

$$\alpha = \frac{\beta \cdot (\delta_{IFR}^\mu \delta_p^{1-\mu}) \cdot v \cdot LE_o}{N} \quad (10)$$

本来の代表的経済主体モデルの設定をいくぶん柔軟に解釈し、ここで二つの異なるシナリオを

24) このことに密接に関係する感染症のマクロ的な動態的特性とミクロの観点からの個別経済主体の行動にも言及しておきたい。自分の感染リスク、ひいては死亡リスクが低減していると認知すると、手指衛生やマスク着用をはじめとした感染予防行動への意識が薄まる可能性がある。当然ながら、そのことは感染症が再び社会的に蔓延するきっかけになってしまうのである。人間の行動特性は、感染動態が一般的にジグザグのプロセスを辿る背景要因の一つである。死亡リスクの認知・認識という問題は、こうしたこととも密接に関係していると考えられる。

想定してみることにしよう。

**シナリオ1 (楽観シナリオ)** 全国的な感染状況が、急増も急減もしていないという意味において安定的に推移しているなかで、当該の経済主体が自身の感染リスクは全国の平均的な状況よりもかなり低いと認知し得るケースである。つまり、居住する自治体やその周辺自治体でも感染はほとんどみられず、感染クラスターも発生していない状況に対応する。この状況に対応する  $\delta_{IFR}$  と  $\delta_p$  の値として、0.005 (0.5%) と 0.0001~0.0015 (0.01~0.15%) を想定する。 $\mu$  は0.5で固定する。他のパラメータおよび変数は  $(N, \beta, v, LE_o) = (1, 0.975, 3, 18.07)$  とする。

**シナリオ2 (警戒シナリオ)** 上と同様に全国的には安定しているなかで、当該経済主体の認知する感染リスクがかなり高いケースである。つまり、自身の周辺に感染者が発生したり、居住自治体でクラスターが発生している状況などがこれに該当する。したがって、 $\delta_p$  の値として、0.005~0.047 (0.5~4.7%) を想定する。 $\delta_{IFR}$  には上のシナリオと同じく0.005 (0.5%) を、 $\mu$  も同じく0.5で固定する。他のパラメータおよび変数  $(N, \beta, v, LE_o)$  も同一の値とする。

シナリオ1とシナリオ2に基づいて計算した消費犠牲割合  $\alpha$  を表11にまとめて示すことにしよう。経済主体が国内の感染状況を所与として自分の感染リスクは相対的に低いと認知するケースがシナリオ1である。全国での感染者致命割合IFRは0.5%であり、自分自身が認知する  $\delta_p$  は最も高い場合で0.15であるから、実際の感染リスクは低いだろうと楽観的に考えているケースである。このもとで計算される  $\alpha$  は、やはり前節までの結果と比較するとだいぶ低水準となっている (3.7~14.5%)。

これに対して、自分が相対的にハイリスクな状況に直面していると思っているケースに対応す

表11：異なる感染リスクシナリオでの  $\alpha$

シナリオ1			シナリオ2		
$\delta_p$	$\delta_c$	$\alpha$	$\delta_p$	$\delta_c$	$\alpha$
0.01	0.07	3.7	0.5	0.5	26.4
0.03	0.12	6.5	1.1	0.74	39.2
0.05	0.16	8.4	1.7	0.92	48.7
0.07	0.19	9.9	2.3	1.07	56.7
0.09	0.21	11.2	2.9	1.2	63.6
0.11	0.23	12.4	3.5	1.32	69.9
0.13	0.25	13.5	4.1	1.43	75.7
0.15	0.27	14.5	4.7	1.53	81.0

注：すべての数値は%表記である。

るのがシナリオ2の方である。このとき自らが認知・形成する  $\delta_p$  について、その下限値を  $\delta_{IFR}$  と同一の0.5%とし、上限の4.7%まで上方に動かしている。結果的に、致命リスクが環境的にかなり高まり、死への恐怖と隣り合わせのようなシナリオ2の状況下では、交換に差し出す経済的価値は年間消費のかなりの割合に相当することが確認できる（26.4～81%）。

本節の分析からまず確かめられたのは、HJKモデルは多方面での有益な拡張の可能性を秘めているということである。そして、未知の感染症特有の複雑な（死亡）リスク環境に対して理論的にも注意を払うことで、現実に関わり得る状況を意味のあるかたちで詳細に分析・議論することが可能になる点もとくに強調しておくべきであろう。

## 6. 結論

本稿では、Hall *et al.* (2020) で提示された理論的フレームワークであるHJKモデルの多角的な検討を通じて、COVID-19の急襲に見舞われた日本のマクロ経済状況の一端を理解すべく分析を展開してきた。日本の結果を総括する前に、アメリカ経済をベースとしたHallらの分析結果の要点をまとめておく。

すでに述べたように、Hall *et al.* (2020) には4月版と6月版があり、基本的な主張はもちろん同じであるが、結果の細部が異なる部分もある。また効用関数を線形近似した結果に加えて、相対的危険回避度一定のCRRA型効用関数に基づいた結果も示されている。本稿では4月版と6月版の両方をふまえるが、線形近似の方の結果をベンチマークとし、CRRA型効用の方は取り扱わないことにした。 $N = 1$  とした代表的経済主体では、ハイライトである消費の犠牲割合 ( $\alpha$ ) について、年間消費の35.2%や70.3%といった結果が得られている。われわれのものに対比する上では、35.2%が一つの基本線になる。次に2世代モデル ( $N > 1$ ) では、人口統計等を活用した現実的な想定のもとで、 $\alpha$  は21%であった。いくぶんアドホックなやり方となっているが、上記の計算結果を使用すると、新型コロナウイルスによる悲劇を回避するために強いられる経済的犠牲の6割は高齢者たちにのしかかる、と解釈することができる。のこりの4割は若壮年者に帰着すると考えられる。

これらの結果を、日本を想定したカリブレーションの結果と比較してみる。まずわれわれの場合は、Ferguson *et al.* (2020) の「75%感染想定」を安易に使うのではなく、限られた情報からではあるが日本の実態にできるだけ即して感染者致命割合IFRを導き出した。その値は2020年6月頃で0.4～0.5%程度と見積もられ、実際の推計には0.5%を使用した。代表的経済主体モデルのカリブレーションからは $\alpha$ の値として27.1%を得た。つまり、消費の犠牲は年間消費の4分の1強ということになる。アメリカと比べて日本の平均余命は長い、それでもこのような結果となったのは、感染者も死亡者も日本の方が少なく、とりわけ死亡者が明らかに少数に止まっていることが当然のことながら影響している（比較対象として適当なアメリカの値は35.2%）。次に日本版の2世代モデル ( $N > 1$ ) について分析したが、65歳以上を高齢者とする場合と、75歳以上を高

齢者とする場合の二つのケースを考慮した。前者での $\alpha$ は22.6%, 後者でのそれは11.5%となった。65歳以上で高齢者群を構成した場合には、消費の犠牲はおもに高齢者に関連づけられ、若壮年への影響は相対的な意味で軽微であった。これに対して、75歳以上の場合は、経済における高齢者群の人口シェアが小さくなることを反映して、COVID-19に際しての消費でみた経済的犠牲は若壮年者へもかなりの影響（約6割）を及ぼすことが認められた。

現時点（2020年6月頃）において、日本についてのカリブレーションからの一つの重要な結果は、COVID-19にともなう年単位でみた経済的犠牲が全消費の4分の1程度であるということである。すでに指摘したように、われわれが得た $\alpha$ の値自体は、Hall *et al.* (2020) のものと極端に異なるものではなく、両国の感染状況の大きな違いをふまえると、「意外な結果」であったといえる。その原因は、計算に使用したIFRの値にそれほど差異がなかったからである。第4節で詳しく検討したが、かりにIFRの想定をHallらのものと同様に考えるならば、今般のウイルスの蔓延にともなう年間消費でみた日本の経済的犠牲はほぼ皆無といってよいレベルになってしまう。これは留意しておくべきポイントである。

HJKモデルは汎用性の高い理論的フレームワークであり、さまざまな拡張的分析が期待できる。本稿では第5節において二つの試みを行った。一つは時間割引の要素を明示的にカリブレーションに考慮するものであった。ワクチンや明らかに有効な治療薬も未だ存在しない状況では、人々は平時に比して現在選好がかなり強まる可能性があるだろう。かりにそうした高率の時間選好率を許容すると、消費犠牲割合でみて5パーセントポイント程度の無視できない違いが生じることが示された。もう一つは感染者致命割合の認知に関係するものであり、その定式化を工夫した。日々の報道等で外から与えられる感染・死亡リスクにだけでなく、自身の周辺環境等に応じて形成される内的要因も加味することで、経済主体が抱く主観的な感染者致命割合が複合的に形成されると想定したのである。結果的に、置かれている状況の違いによって、消費犠牲割合 $\alpha$ にかなりの違いが生じることが明らかになった。

新型コロナウイルスCOVID-19の勢いは未だ収まらず、日本国内に限定しても2020年7月時点で「第2波」襲来の様相を呈している。したがって、当然のことではあるが、本稿で示した推計結果はあくまで暫定的なものとして捉えるべきである。このCOVID-19禍をなるべく早期に克服するため、感染症疫学・公衆衛生の研究者だけでなく、医学、薬学、統計学、経済学といったさまざまな分野の研究者のさらなる努力が必要である。第1節で取り上げたAcemoglu *et al.* (2020)などを先駆けとして、SIRモデルに依拠しながら、社会・経済政策等の経済に関連するアクションが新型コロナウイルス感染症拡大の動学的プロセスにどのように影響するのかを考察する研究は今後ますます進展していくものと思われる。加えて、消費や所得といった経済の本質的部分に、COVID-19がいかなる影響をもたらすのかを経済モデルに即して分析する研究もSIRモデル分析と同程度に重要であると考えられる。試みはまだ緒に就いたばかりであるとはいえ、経済学的アプローチの有用性の一端は、Hall *et al.* (2020) や本稿の分析を通じてある程度明らかになったといえるだろう。さらに本稿に限るならば、比較的早期の段階で日本の状況を定量的に分析でき

た意義は小さくないと思われる。

#### 参考文献

- Acemoglu, D., Chernozhukov, V., Werning, I., Whinston, M.D. (2020) Optimal targeted lockdowns in a multi-group SIR model. NBER Working Paper 27102.
- Atkeson, A.G. (2020) On using SIR Models to model disease scenarios for COVID-19. *Quarterly Review* (Federal Reserve Bank of Minneapolis), **41**(1), 1-35.
- Barro, R.J., Sala-i-Martin, X. (2003) *Economic Growth*, 2nd ed. Cambridge, MA, MIT Press.
- Barro, R.J., Mankiw, N.G., Sala-i-Martin, X. (1995) Capital mobility in neoclassical models of growth. *American Economic Review*, **85**(1), 103-115.
- Caggiano, G., Castelnuovo, E., Kima, R. (2020) The global effects of Covid-19-induced uncertainty. *Economics Letters*, **194**, 109392.
- Fernández-Villaverde, J., Jones, C.I. (2020) Estimating and simulating a SIRD model of COVID-19 for many countries, states, and cities. Manuscript, University of Pennsylvania and Stanford University (May 2, 2020).
- Ferguson, N.M., Laydon, D., Nedjati-Gilani, G., Imai, N., Ainslie, K., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cucunubá, Z., Cuomo-Dannenburg, G., *et al.* (2020) Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Manuscript, Imperial College COVID-19 Response Team (March 16, 2020).
- Goulas, S., Megalokonomou, R. (2020) School attendance during a pandemic. *Economics Letters*, **193**, 109275.
- Greiner, A., Hanusch, H. (1998) Growth and welfare effects of fiscal policy in an endogenous growth model with public investment. *International Tax and Public Finance*, **5**(3), 249-261.
- Hall, R.E., Jones, C.I. (2007) The value of life and the rise in health spending. *Quarterly Journal of Economics*, **122**(1), 39-72.
- Hall, R.E., Jones, C.I., Klenow, P.J. (2020) Trading off consumption and COVID-19 deaths. Manuscript, Stanford University (April 6, 2020 and June 1, 2020). [———. (2020) Trading off consumption and COVID-19 deaths. *Quarterly Review* (Federal Reserve Bank of Minneapolis), **42**(1), 1-14.]
- Harrison, G.W., Lau, M.I., Williams, M.B. (2002) Estimating individual discount rates in Denmark: a field experiment. *American Economic Review*, **92**(5), 1606-1617.
- Hosoya, K. (2017) Accounting for growth disparity: Lucas's framework revisited. *Review of Development Economics*, **21**(3), 874-887.
- Inoue, H., Todo, Y. (2020) The propagation of the economic impact through supply chains: The case of a mega-city lockdown against the spread of COVID-19. Manuscript.

- Jones, C.I. (2016) Life and growth. *Journal of Political Economy*, **124** (2), 539–578.
- Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K.S.M., Lau, E.H.Y., Wong, J.Y., *et al.* (2020) Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *New England Journal of Medicine*, **382** (13), 1199–1207.
- McKibbin, W., Fernando, R. (2020) The global macroeconomic impacts of COVID-19: seven scenarios. Manuscript. Australian National University (March 2, 2020).
- Monte, F. (2020) Mobility zones. *Economics Letters*, **194**, 109425.
- Nordhaus, W.D. (2008) *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven, Yale University Press.
- Ortigueira, S., Santos, M.S. (1997) On the speed of convergence in endogenous growth models. *American Economic Review*, **87** (3), 383–399.
- Park, H., Philippopoulos, A. (2004) Indeterminacy and fiscal policies in a growing economy. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **28** (4), 645–660.
- Sanche, S., Lin, Y.T., Xu, C., Romero-Severson, E., Hengartner, N., Ke, R. (2020) The novel coronavirus, 2019-nCoV, is highly contagious and more infectious than initially estimated. *medRxiv* Preprint.
- Stokey, N.L., Rebelo, S. (1995) Growth effects of flat-rate taxes. *Journal of Political Economy*, **103** (3), 519–550.
- Viscusi, W., Aldy, J. (2003) The value of a statistical life: A critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty*, **27** (1), 5–76.
- 稲葉寿 (2008) 「微分方程式と感染症数理疫学」『数理科学』, **46** (4), 19–25.
- 大橋順 (2020) 「新型コロナウイルス感染症の流行予測」(2020年4月11日改訂版), 東京大学大学院理学系研究科ヒトゲノム多様性研究室 (<http://www.bs.s.u-tokyo.ac.jp/~humgendiv/>).
- 小林慶一郎・森川正之 [編著] (2020) 『コロナ危機の経済学－提言と分析－』日本経済新聞出版.
- 関沢洋一 (2020) 「感染症のSIR モデルと新型コロナウイルスへの基本戦略」, 小林・森川 [編著] (2020) 『コロナ危機の経済学－提言と分析－』第11章所収, 日本経済新聞出版.
- 日本銀行金融研究所 (2020) 「SIR モデルとは何か」『金研ニュースレター (2020年5月)』, 日本銀行金融研究所.

#### 補論A：有用なWeb サイトの機関名・サイト名

- Johns Hopkins University: COVID-19 Dashboard
- WHO Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports
- 東洋経済新報社：新型コロナウイルス・国内感染の状況
- NHK：特設サイト・新型コロナウイルス
- 日本経済新聞社：新型コロナウイルス感染世界マップ
- 新型コロナウイルス感染症対策プロジェクト：COVID-19 Japan 新型コロナウイルス対策ダッシュボード
- 札幌医科大学医学部附属フロンティア医学研究所ゲノム医科学部門

補論B

いま $p_T$  (%) を集団免疫閾値と定めると、社会集団においてすでに感染した人の割合が $p_T$ を超えると感染症の流行は終息に向かっていくと考えられる。

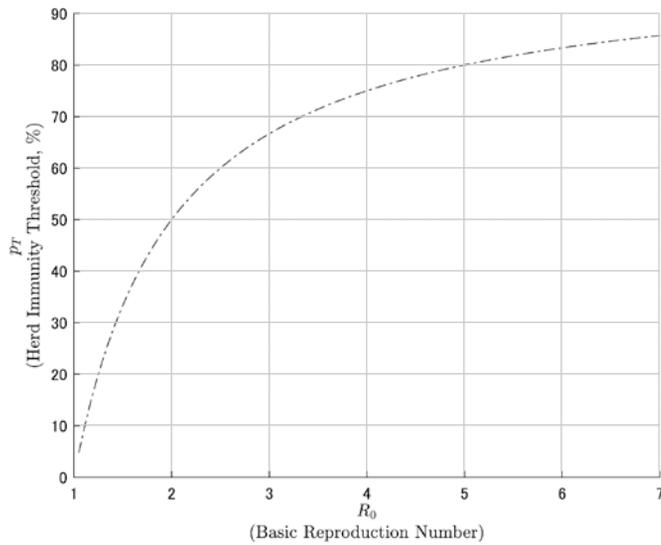
$$p_T = \left(1 - \frac{1}{R_0}\right) \times 100 \quad (B1)$$

ただし $R_0$ は基本再生産数である。(B1)式に基づき、 $R_0$ と $p_T$ の関係を表したのが図B1である。また、 $R_0$ は感染力の指標であるが、COVID-19と他の感染症の感染力をまとめて比較したものが表B1に示されている。

表B1： $R_0$ に基づく感染力の比較

感染症	感染経路	感染力 $R_0$ (人)	備考
新型コロナウイルス (COVID-19)	飛沫?	3.3	各機関の平均
		1.4~2.5	WHO
		2.2	Li <i>et al.</i> (2020)
		4.7~6.6	Sanche <i>et al.</i> (2020)
麻疹	空気	12~18	
水ぼうそう	空気	8~10	
風疹	飛沫	5~7	
ジフテリア	飛沫	6~7	
天然痘	飛沫	5~7	
ポリオ	経口	5~7	
流行性耳下腺炎 (おたふくかぜ)	飛沫	4~7	
百日咳	飛沫	5.5	
SARS	飛沫	2~4	
MERS	飛沫	1前後	
新型インフルエンザ (2009年)	飛沫	1.4~1.6	
季節性インフルエンザ	飛沫	1.3	
スペインかぜ	飛沫	2~3	
エボラ出血熱	血液	1.5~2.5	

注：大橋 (2020), Li *et al.* (2020), Sanche *et al.* (2020), 『日本経済新聞』 (2020年2月20日電子版) 等に基づき、筆者作成。

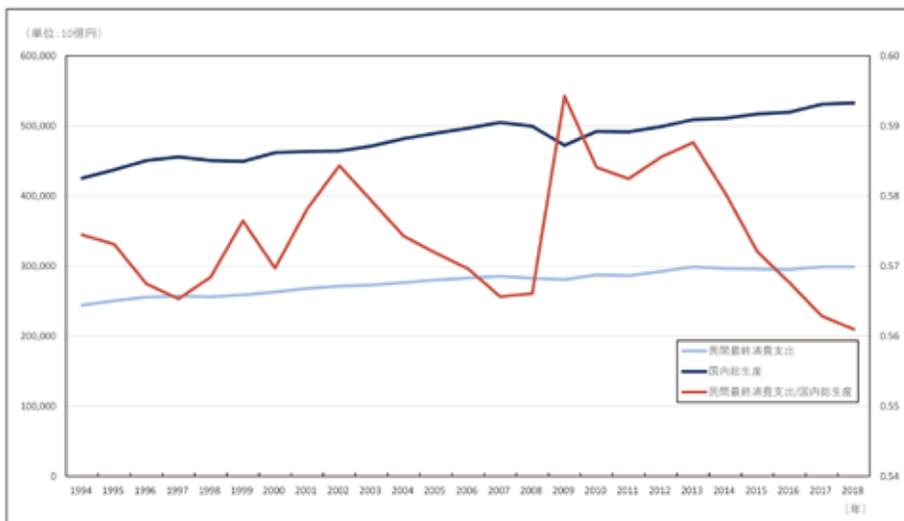


図B1：感染力と集団免疫閾値の理論的關係

しばしば報道された「人口の6割感染で終息に向かう」との言説は、 $R_0 = 2.5$ と想定した場合の集団免疫閾値に基づくものであることが図B1から確かめられる。

補論C

国内総生産（暦年，支出側，実質：連鎖方式）に依拠して，1994～2018年の期間での民間最終消費支出と国内総生産（GDP）の動向（左軸）を図C1に示す。対GDP比の消費支出割合（右軸）もあわせて書き入れてある。



図C1：日本における消費とGDPの動向

注：内閣府「国民経済計算」に基づき，筆者作成。

補論D

離散時間モデルで用いられる時間に関する割引因子と連続時間モデルで用いられる時間選好率との対応関係を表D1にまとめて示す。

表D1：割引因子と時間選好率の対応関係

割引因子： $\beta$	時間選好率： $\rho = \frac{1}{\beta} - 1$
1.000	0.000
0.997	0.003
0.994	0.006
0.991	0.009
0.988	0.012
0.985	0.015
0.975	0.026
0.950	0.053
0.925	0.081
0.900	0.111
0.875	0.143
0.855	0.170
0.844	0.185
0.833	0.200