

一般財団法人 新技術振興渡辺記念会  
令和2年度科学技術調査研究助成（下期）

政策形成における数理モデルの利用：  
新型コロナウイルス感染症への対応を事例として

報告書

令和3年9月



本報告書は、一般財団法人 新技術振興渡辺記念会 令和2年度科学技術調査研究助成（下期）による業務として、公益財団法人未来工学研究所が実施した「政策形成における数理モデルの利用：新型コロナウイルス感染症への対応を事例として」について成果を取りまとめたものです。

## 目 次

要 旨 .....	v
1. はじめに .....	1
1.1 本調査の背景 .....	1
1.2 調査目的 .....	1
1.3 調査内容 .....	2
1.4 調査方法 .....	13
1.5 調査体制 .....	14
2. 政策形成における数理モデルの利用：感染症の数理モデル .....	15
2.1 感染症の数理モデル .....	15
2.2 感染症の数理モデルのこれまでの利用 .....	21
2.3 日本における感染症の数理モデルについての研究：研究費助成の状況 .....	23
3. 新型コロナウイルス感染症対策における数理モデルの利用：事例調査（英国、日本） 43	
3.1 英国 .....	43
3.1.1 緊急時における英政府の科学的助言組織 .....	43
3.1.2 緊急時科学的助言グループ(SAGE)傘下の数理モデル専門家グループ .....	44
3.1.3 英政府ロックダウン導入および緩和策（2020年3月～2021年2月）と数理モ デル .....	50
3.1.4 英政府出口戦略と新たな数理モデル拠点の構築 .....	55
3.1.5 インプリケーション .....	57
3.2 日本 .....	59
3.2.1 COVID-19 対応の政府の体制 .....	59
3.2.2 COVID-19 対策における数理モデルの利用 .....	68
3.2.3 アクターごとの数理モデルへの言及の頻度の相違 .....	85
4. まとめと考察 .....	87
参考文献 .....	97

## 目 次

図 1-1：全世界、日本・米国・英国における新規感染者数の推移（2020年1月～2021年10月） .....	3
図 1-2：日本・米国・英国におけるワクチン接種者割合の推移（2020年12月～2021年10月） .....	4
図 1-3：COVID-19の10万人当たり感染者数、10万人当たり死亡者数 .....	6
図 1-4：全世界、主要国における新規感染者数の推移（2020年1月～2020年7月） .....	8
図 2-1：感染症の潜伏期間・症候性期間、感染待ち時間・感染性期間 .....	17
図 2-2：感染症伝播の数理モデルに係る主な研究課題の年度別件数（日本学術振興会 科学技術研究費）：数学者等と医学・保健・生物分野の研究者 .....	34
図 2-3：感染症伝播の数理モデルに係る主な研究課題の年度別配分金額（日本学術振興会 科学技術研究費） .....	35
図 2-4：感染症伝播の数理モデルに係る主な研究課題の研究者別の受領の状況（日本学術振興会 科学技術研究費、2000年度以降） .....	37
図 3-1：英国の緊急時における科学的助言の仕組み .....	44
図 3-2：緩和策における集中治療室の使用率予測 .....	47
図 3-3：年齢構造モデルを用いた隔離策が集中治療とRに与える影響 .....	49
図 3-4：新型コロナウイルス感染症の専門家助言組織 .....	60
図 3-5：新型コロナウイルス感染症の専門家助言組織：対策分科会の設置 .....	61
図 3-6：新型コロナウイルス感染症のクラスター対策班 .....	62
図 3-7：北海道における実効再生産数 .....	74
図 3-8：感染時刻による実効再生産数の推定（日本全体） .....	75
図 3-9：大規模流行時の10万人当たりの新規感染者数・重篤患者数の予測 .....	76
図 3-10：接触が流行開始後20日目に大幅に削減された場合のシナリオ .....	79
図 3-11：2006年の論文における英国内の感染症伝播シミュレーションビデオ .....	80
図 3-12：英国における緩和戦略シナリオ：必要となるICUベッド数 .....	82
図 3-13：現在及び強化された医療提供体制下での断続的な社会的距離策のシナリオ .....	84
図 4-1：COVID-19の10万人当たり感染者数、10万人当たり死亡者数（再掲） .....	88
図 4-2：感染症伝播の数理モデルに係る主な研究課題の年度別件数（日本学術振興会 科学技術研究費）：数学者等と医学・保健・生物分野の研究者（再掲） .....	95

## 表 目 次

表 1-1 : 日本の COVID-19 の第 1~5 波における感染者数、死亡者数のピーク値.....	4
表 1-2 : COVID-19 の感染者数、死亡者数 (全世界、感染症数上位の 20 か国+日本) .....	5
表 2-1 : 感染症の数理モデルに関係する主な研究課題 (厚生科学研究費、AMED 研究費) .....	25
表 2-2 : 感染症伝播の数理モデルに関係する主な研究課題 (日本学術振興会 科学技術 研究費) .....	26
表 2-3 : 2021 年度における COVID-19 に関連する研究課題の概要 .....	39
表 3-1 : SAGE 会合における数理モデル専門家らの助言、データの活用.....	51
表 3-2 : 新型コロナウイルス感染症への主な助言組織のメンバー .....	63
表 3-3 : 新型コロナウイルス感染症に関する有識者会議等 (2020 年 7 月まで) ....	66
表 3-4 : 新型コロナウイルス感染症に関する有識者会議等 (2020 年 7 月以降) ....	67
表 3-5 : 新型コロナウイルス感染症専門家会議における数理モデルについての資料・検 討内容 .....	69
表 3-6 : 最大時点における人口 10 万人あたり発症者、入院患者数および重症者数の推 計 ( $R_0=1.7$ を想定) .....	73
表 3-7 : 検討されている非薬物的介入策の概要 .....	81



## 要 旨

新型コロナウイルス感染症は中国で 2019 年 12 月に発生し、以降急速に世界に拡大した。2020 年 1 月 16 日には日本で最初の感染事例が発見された。WHO（世界保健機関）は 1 月 30 日に緊急事態宣言を発出し、3 月 11 日にはパンデミック（世界的な大流行）と宣言した。感染症の拡大には地域的・民族的な抗体の獲得状況やウイルスの変異、人々の動き（頻度や距離、場所）や行動の態様・接触状況、背景にある社会的・文化的・経済的な相違など複雑な要素が関係する。今回の新型コロナウイルス感染症への対応において、政府などにおける政策検討の過程で日本と英国等でどのような数理モデル（感染者数等の予測に関するもの）がどのように利用されたかを比較することで、数理モデルを使った政策分析が、より優れた政策の立案等にどのような貢献をすることが可能か、それをより効果的に行うためにはどうしたらよいか（専門家活用の仕組み、体制など）等の示唆を得ることを目的として本調査を実施した。本調査から得られた主な知見は以下のとおりである。

### ○COVID-19 による感染者数、死亡者数の国別の相違

2021 年 10 月 20 日現在、これまでの世界の COVID-19 の感染者数は合計で約 2 億 4153 万人、死者数は約 491 万人である。2021 年 10 月現在、世界的には感染は減少傾向にはあるものの過去 28 日間の感染者数は世界で約 1205 万人、死者数は約 20 万人であり、収束しているとは言えない状況である。他方、ワクチンの開発が成功し、2021 年以降先進国から先行し、世界でワクチン接種が進んできており、2021 年 10 月 20 日現在でこれまでに世界で 6 億 6732 万回のワクチン接種（回数ベース）が行われてきた

2021 年 10 月 18 日現在での COVID-19 の感染者数、死亡者数の合計数と 10 万人当たりの数値、死亡者数/感染者数の割合等のデータを国別で比較した。10 万人当たりの感染者数、死亡者数の世界の平均値はそれぞれ 3072 人、62.6 人である。日本は 1354 人と 14.3 人であり、世界的に見てどちらもかなり少ない。米国と英国は 10 万人当たりの感染者数・死者数はそれぞれ約 13416 人と約 216 人、約 12252 人と約 204 人であり、ほぼ同程度である。どちらの国も日本に比べ感染者数、死亡者数がかなり大きい。また、ペルーが感染者数に比して死者数が極めて大きく、ボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、ハンガリー、ブラジル等では 10 万人当たりの死者数が大きい。このように COVID-19 の感染状況、死亡者の状況は国別に大きな違いが見られた。

### ○感染症疫学数理モデルと COVID-19 対策との関係

本調査の背景にある基本的な考え方は、エビデンス重視の政策策定（EBPM: evidence-based policy making）は政策の適切性や質を高めるものであるが、その実施のためには、質の高いデータの収集整理分析とともに、数理モデルの利用が重要であるというものである。エビデンスは数値データだけではなく、数理モデルの適用は困難な定性的データも含むが、数量データとその論理関係に基づき構築された数理モデルによる分析の適切な反映は、EBPM の履行のためには重要と考える。本調査は作業仮説として「数理モデルを利用することは EBPM の実施の程度を高め、政策の質を高める。換言すれば、数理モデルの利用と、感染者数を抑えることの成功度とは因果関係がある」と考えた。他方、研究開始から 1 年経って分かってきたことは現実には予想以上に複雑であり、数理モデルの活用と COVID-19 抑制政策の質（内容やタイミングの適切性）の間におけるクリアカットな因果関係などの関係性を抽出することは

現時点では困難である。各国の国民性の違いから抑制的な行動の順守の困難さの相違、マスク習慣の有無の相違、各国の地域の違いや国境管理政策の違い等に起因する相違も存在する。

#### ○感染症対策における疫学数理予測モデルの活用と関わる日本と英国の有識者助言体制の相違

日本では政府の COVID-19 対策策定についての専門家からの助言は、厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」、内閣官房の「新型コロナウイルス感染症対策専門家会議」「新型コロナウイルス感染症対策分科会」などの仕組みを通じて行われ、そこでは感染者数予測のための数理モデル等が利用されてきた。日本で感染症数理モデルが政策策定に利用されたのは COVID-19 が初めてのケースであったとされる。COVID-19 への対応において感染症疫学数理モデルによる知見が抵抗にはあったものの専門家会議で取り上げられ議論されたことについて、中心的役割を果たした西浦博教授は著書（西浦・川端（2020））で非常に肯定的に捉えており、「これまで日本で感染症対策の専門家が政策の中核に入ったことはなく、今、画期的なことが起ころうとしている、と率直に感じられた」（52 頁）と語っている。

それに対して、英国には、非常時に複数の省庁間で政策立案する内閣府ブリーフィンググループ（通称 COBR）があり、緊急時は、関係省庁がとる対応の調整機関として働く危機管理委員会（SAGE）が COBR に設置される。SAGE は科学的な見地から COVID-19 拡大防止策への助言を行っている。SAGE の傘下には、5 つの異なる専門分野チームが存在し、そのうちの 하나가、数理モデル専門家チーム（Scientific Pandemic Influenza Group on Modelling (SPI-M)）である。SPI-M は、COVID-19 のために初めて設立された組織ではなく、これまでも数年の実績がある。43 名の数理モデルの専門家（LSHTM（ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院）、インペリアル大学、マンチェスター大学、ケンブリッジ大学、英公衆衛生庁等）から構成される。

#### ○専門家会議等で検討されたモデルの相違

日本の専門家会議で検討されたモデルの基本は SIR モデルであったのに対して、英国で検討されたモデルはエージェントベーストモデル（ABM）等を含み、学校休校、社会的距離の確保、家庭への隔離、70 歳以上の者の社会的距離の確保といったより多様な施策をモデルに取り込んだものであった。この ABM は既に 2006 年のパンデミックの感染者数の地域的な拡大のシミュレーションモデルとして開発され、それを修正して発展させたものだった。このようなモデルの開発には数十人の研究チームでの取組や、数百万人の個別主体の移動・接触をシミュレートするため高速の計算能力を要する。

新型コロナウイルス感染についての数理モデルの論文は英国の研究者グループによりかなり早い時期から発表され、英国の政策決定に影響を及ぼした。特に、SPI-M の主要メンバーであるインペリアル・カレッジ・ロンドンとロンドン大学衛生熱帯医学大学院は、感染症パンデミックと同様に新型コロナ対応初期の段階からの数理モデルにおいて中核を担い、英公衆衛生庁の専門家チームによる数理モデル専門家チームとも協力しながら分析データを SAGE に報告している。英国政府は 2020 年 3 月 23 日に大規模なロックダウンを導入し、それまでの集団免疫獲得政策を転換させたが、その決断においてもインペリアル・カレッジ・ロンドンと LSHTM らの専門家チームから提出された数理モデルの影響力が大きかったことが分かっている。

## ○感染症数理モデルの知見の政治家の認識、政治家による政策説明への影響

総理大臣、大臣、専門家（感染症全般）、専門家（数理モデル等）と、数理モデルへの言及の程度は上の階層になればなる程少なくなると考えられる。その少なくなる程度はどのくらいなのだろうかを会見録から確認した。内閣総理大臣であれば新型コロナ感染症関連だけについて発言する訳ではなく、また、政策の検討状況や分析内容について細かく説明するよりも、決定した政策の内容やそれが人々の生活にどのような影響を与えるか、影響を受けた人々や産業等をいかに補償するか、などについての説明の割合が多くなるのは当然である。また、政治家であれば、その個性や経歴も発言内容には当然影響する。具体的には安倍総理大臣の会見録では数理モデルの利用について以下の言及があった。

- ・ 西浦教授ら専門家の数理モデルについての言及があった（2020年4月7日）。人と人の接触機会を8割減少し、2週間後に感染者数を減少方向に転じさせることが可能との内容。また、「実効再生産数」について総理会見で言及があった（2020年5月4日）。5月末までに一日あたりの新規感染者数を100人以下まで減らすとの説明があった（会見時点では200人）。

## ○日本の感染症数理モデルへの研究資金配分・専門家育成状況

大日・菅原（2009、61頁）によれば、諸外国では国家プロジェクトとして数百億円の予算規模で、スーパーコンピュータを数台も駆使して感染症数理モデルの開発がされているのに対して、日本では新型インフルエンザの数理モデル開発のための政府予算は殆どなかったとのことである。ただし、米国や英国と比較すれば研究予算規模は小さいとみられるが、2010年代の中ごろからは感染症の数理モデルに関連する研究に対して、厚生労働科学研究費や科学研究費助成事業（科研費）の助成は多くなってきていた。2000年度以降に科研費で助成金を受けた研究課題を確認したところ、読み取れることは以下である。

- ・ 感染症数理モデルを研究する研究者は限られていると言われるが、過去20年間で感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費を受領したことがある研究者は数人というよりは数十人である。ただし、科研費課題として取り組んだことがあっても現在まで継続してそのテーマを研究しているとは限らない。
- ・ 感染症の数理モデルに関連する科研費の研究分野は数学一般（含確率論・統計数学）が多い。その場合、数学者が応用数学のテーマとして研究している。数学者による研究と比較すると、医学や公衆衛生学分野の研究者による研究課題は比較的少ない。我が国において、医学や保健、公衆衛生学においてこれまで主要な研究分野として位置づけられてこなかった可能性がある。
- ・ 基盤研究Cのテーマで300～500万円程度の課題が多い。大きな規模のものでも複数年で2千万円弱である。米国などで行われるというようなスパコンの使用を要する大規模予算を要する研究は行われていない。また、エージェントベースモデルで大規模な計算を要するような研究も数少ないとみられる。
- ・ 英国などで新型コロナウイルス感染症後の数理モデルの協力的な研究体制を構築する動きが現在もみられるが、そのような協力体制の構築を支援するような資金配分はこれまでのところみられない。

## ○日本の感染症数理モデルの専門家の活用状況

感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費の助成を受けたことのある研究者について、研究課題が継続している期間を2000年度以降について調べた。読み取れることは以下である。

- ・ 新型コロナウイルス感染症が発生・拡大した 2019 年度において研究活動が継続していると考えられる研究者でそれまでに複数年にわたって科研費助成を受けて研究していた研究者数は多くない。
- ・ COVID-19 対策において感染症専門家として数理モデルによる分析で注目を集めた西浦博教授は医学の疫学分野の研究者としてのキャリアを持ち、複数の科研費助成（同時期に助成を受けていたものも含む）を受けて研究してきた数少ない研究者であった。
- ・ 数学者が応用数学のテーマとして研究を実施している場合には医学関係者、公衆衛生関係者とのネットワークが少ないか、殆どない可能性がある。従って、数学分野での応用的な研究成果が公衆衛生学の専門家や研究者が行うリアルタイムの分析等にとっては役立っていない可能性がある（実務に使うには高度すぎる数学的な知見などが中心となっているとみられるため）。新型コロナウイルス感染症のような危機時の対応において両者が協力して研究成果を活用した貢献をすることを想定することも難しい可能性がある。

日本では理学部（一部は工学部）の数学者と、医学部の疫学の先生（医学部出身者）の連携に問題があるのではないかとみられる。数理モデルとして解析困難な問題があるよりは、数理モデルのパラメータをその時点で利用可能な疫学データを用いてどのように推定するかという統計数理的な問題が大きく、医学的な知識がより重要となる。

この点について、英国では根本的に日本と違う点があり、大学内に公衆衛生（Public Health）の規模の大きな学部や研究所があり、そこで数学者と医学部が連携できる土台ができています。SPI-M のメンバーの数学者は、殆どが公衆衛生や感染症疫学センターなどライフサイエンスに分類される学部や研究所の所属の方である。アメリカでもおそらく似たような状況ではないかと思われる。

#### ○感染症数理モデル研究の拠点形成

英国政府は、2021 年 2 月下旬には、出口戦略として中長期的な指針を国民に示すために必要となる、より学際的な視点も含めた疫学数理モデルの研究を促進させるべくジュニパー・コンソーシアム（Joint UNiversities Pandemic and Epidemiological Research Consortium）など大規模な研究拠点の構築を行っている。2021 年 2 月 18 日、公的研究助成機関である UK Research and Innovation（UKRI）は、英国の 7 つの大学（ブリストル大学、ケンブリッジ大学、エクセター大学、ランカスター大学、マンチェスター大学、オックスフォード大学、LSHTM、ウォーリック大学）の主要な統計モデルの研究者らを参集し、ジュニパー・コンソーシアムと命名し、新たに 300 万ポンドの研究資金を投下している。

日本では新型コロナウイルス感染症発生に関連する研究課題は採択されているが、特にそれまでと比較して規模（配分金額、研究者チームの人数規模）が大きくなっているようには見えない。他国（英国など）と比較した時に COVID-19 対応のファンディングは速やかに適切に対応できているのだろうか疑問が残る。上記のように英国では大規模な資金配分と、SAGE の数理モデルの分科会に属する研究者（英国の様々な大学に所属）をメンバーとするような大学間組織の設置が決定されたがそのような動きはみられない。

## 1. はじめに

本章では、本調査研究の背景、目的、主な調査内容について説明する。

### 1.1 本調査の背景

本調査の背景としては、1) 国内外における「エビデンスに基づく政策策定」(EBPM (evidence-based policy making)) を重要視する風潮、それと「数理モデル」との関係、2) 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の 2019 年 12 月からの発生と 2020 年以降のパンデミック化した状況がある。

第 1 の点については、我が国においても EBPM の促進が政府全体として取り組まれてきているところである<sup>1</sup>。数理モデルについては、過去には経済成長と環境制約 (成長への限界)、地球環境問題 (地球温暖化等)、人口問題、食糧問題などの問題の認識や政策の検討や代替案の評価、予測 (シミュレーション) 等に関して活用されてきた。数理モデルには、現象や施策介入についての因果関係に基づくもの (システムダイナミクス、agent based モデル等)、大規模な介入実験 (公衆衛生等) の結果に基づく相関関係の統計的推定に基づくものなど様々ある。しかし、現象についての原理的理解が十分でない場合が多いこと、パラメータの取り方で大きく結果が異なってくること、モデルの妥当性を検証するための十分に信頼性のあるデータを集めることが困難なことなど、数理モデルの限界や有意性についても議論がある。

第 2 の点については後述する。

### 1.2 調査目的

感染症の感染拡大には地域的・民族的な抗体の獲得状況やウイルスの変異、人々の動き (頻度や距離、場所) や接触状況、その背景にある社会的・文化的・経済的な相違など複雑な要素が関係するが、今回の新型コロナウイルス感染症への対応において、政府などにおける政策検討の過程で我が国と英国等でどのような数理モデル (感染者数等の予測に関するもの) がどのように利用されたかを比較することで、数理モデルを使った政策分析がより優れた政策の立案等にどのような貢献をすることが可能か、それをより効果的に行うためにはどうしたらよいか (専門家活用の仕組み・体制など) 等の示唆を得ることが目的である。

他方、本研究を提案した時点 (2020 年 7 月) は勿論のこと、現時点 (2021 年 10 月) に至っても、COVID-19 は世界的にも日本でも収束したとは言えず、数理モデルの利用を含め、何が感染者数や死亡者数の抑制等に効果があったのかを判断するには時期尚早である。そのため、本報告書では後述のようにどのような数理モデルがどのような場面で政策立案

---

<sup>1</sup> 内閣府. 「エビデンスに基づく政策立案」 <<https://www8.cao.go.jp/cstp/evidence/index.html>>

等に利用されたのか、どのような研究者がこの研究分野で活動しているのか等についてのファクツの収集とその国際的な比較に焦点を絞りたい。

### 1.3 調査内容

新型コロナウイルス感染症は中国で2019年12月に発生し、以降急速に世界に拡大した。2020年1月16日には日本で最初の感染事例が発見された。WHO（世界保健機関）は1月30日に緊急事態宣言を発出し（Public Health Emergency of International Concern）、3月11日にはパンデミック（世界的な大流行）と宣言した。2月11日にWHOはこの感染症をもたらすウイルスをSARS-CoV-2（severe respiratory syndrome coronavirus 2）と命名した。この感染症は2002年のSARS-CoV、2012年のMERS-CoVに続く3番目の動物由来の感染症となる。

図1-1は、COVID-19の新規感染者数の推移を示す（全世界、米国、英国、日本）。2021年10月20日現在で、これまでの世界の感染者数は合計で約2億4153万人、死者数は約491万人である。2021年10月現在、世界的には感染は減少傾向にはあるものの過去28日間の感染者数は世界で約1205万人、死者数は約20万人であり、収束しているとは言えない状況である。他方、ワクチンの開発が成功し、2021年以降先進国から先行し、世界でワクチン接種が進んできており、2021年10月20日現在でこれまでに世界で6億6732万回のワクチン接種（回数ベース）が行われてきた<sup>2</sup>。

図1-2において、米国や英国では、ワクチン接種が進み、2021年の7月頃までは感染者数の顕著な減少傾向が続いてきたが、それ以降にはデルタ株の出現のために新たな大きな波が来ており、英国では感染者数は1週間当たり約20万人で推移しており減少傾向がみられない。

日本においては2021年10月19日までの感染者数合計は約171万人5千人、死者数は1万8148人である（NHKデータ）<sup>3</sup>。これまでに第5波までの感染があり、それが2021年8月20日に25864人の一日の感染症数でピークに達した後は減少傾向が継続して、一日の感染者数が500人以下となっている。表1-1は、第1～5波における一日当たりの感染者数、死亡者数のピーク値を示している。2021年8月の第5波では一日の感染者数がピークで2万5千人を超えるなど特に感染者数が大きくなったが、死亡者数については高齢者等のワクチン接種が進んでいたこともあり、それまでの波と比較して大きくはならなかった。ワクチン接種は米国や英国で先行し日本では遅れていたが、10月までには接種割合は米国や英国と匹敵するかそれ以上のレベルに達している。

図1-1が示すように、米国や英国においても日本と同様にこれまでに4～5つの感染者数の波が来ている。波の数や波のピーク時期は似ているが、ピーク値の大きさやどの波にお

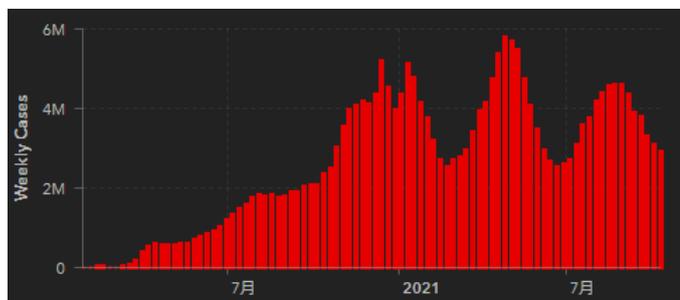
<sup>2</sup> Johns Hopkins University データ。

<sup>3</sup> NHK「日本国内の感染者数（NHKまとめ）」

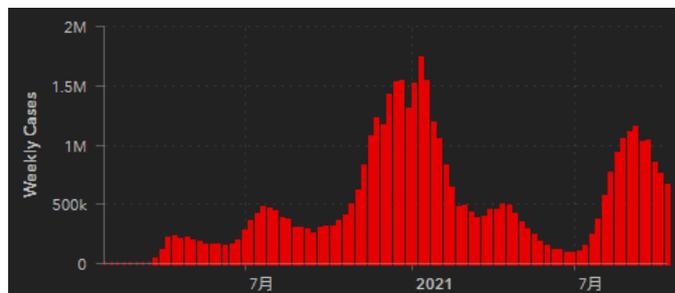
<<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/>>

いて最もピーク値が高かったなどは各国がどのような対策を取ったのか、コロナウイルスの変異株の種類の違いなどの要因もあり違いがみられる。

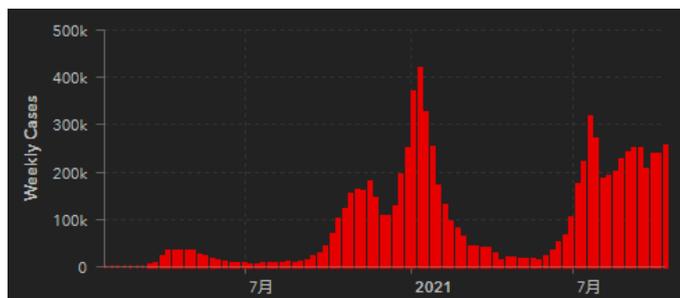
全世界



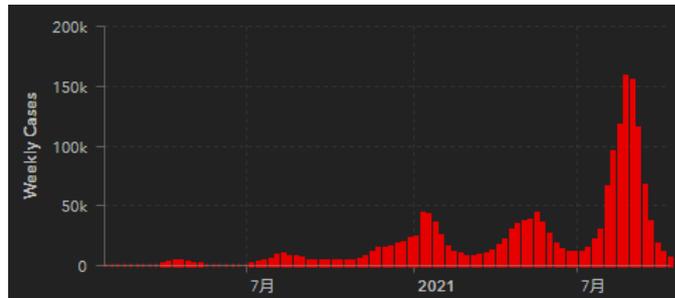
米国



英国



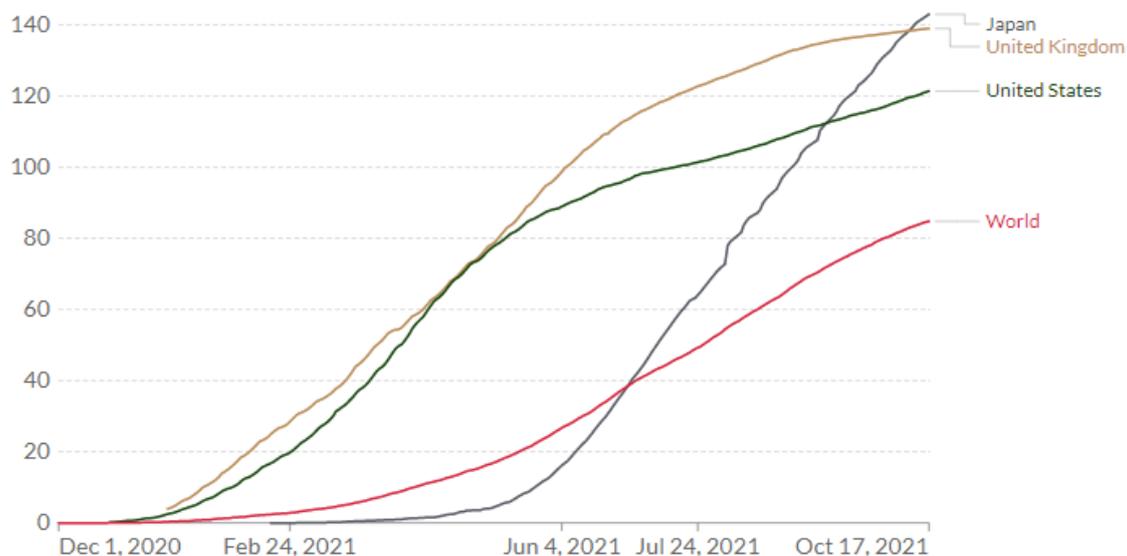
日本



注) 縦軸は1週間の感染者数を示す。

出典 : COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU) (2021年10月15日時点)

図 1-1 : 全世界、日本・米国・英国における新規感染者数の推移 (2020年1月~2021年10月)



Source: Official data collated by Our World in Data - Last updated 18 October 2021, 22:20 (London time)  
 OurWorldInData.org/coronavirus • CC BY

注：人口 100 人当たりの COVID-19 ワクチン接種者数の推移を示す。複数の接種を受けた場合にはその都度カウントされているので 100 を超えている。

出典：Our World in Data. Statistics and Research: Coronavirus (COVID-19) Vaccinations. “COVID-19 vaccine doses administered per 100 people”

<<https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?>>

図 1-2：日本・米国・英国におけるワクチン接種者割合の推移（2020 年 12 月～2021 年 10 月）

表 1-1：日本の COVID-19 の第 1～5 波における感染者数、死亡者数のピーク値

	感染者数／日のピーク値	死亡者数／日のピーク値
第 1 波	576 人（2020 年 4 月 16 日）	31 人（2020 年 5 月 2 日）
第 2 波	1605 人（2020 年 8 月 7 日）	18 人（2020 年 9 月 4 日）
第 3 波	7957 人（2021 年 1 月 8 日）	121 人（2021 年 2 月 10 日）
第 4 波	7233 人（2021 年 5 月 8 日）	216 人（2021 年 5 月 18 日）
第 5 波	25868 人（2021 年 8 月 20 日）	89 人（2021 年 9 月 8 日）

出典：NHK「日本国内の感染者数（NHK まとめ）」

<<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/>>のデータに基づき作成。

表 1-2 は、2021 年 10 月 18 日現在での COVID-19 の感染者数、死亡者数の合計数と 10 万人当たりの数値、「死亡者数／感染者数の割合」を示している（感染者数の類型が上位 20 位までの国と日本）。2021 年 10 月 18 日現在での世界の感染者数は合計で約 2 億 3944 万人であり、死亡者数は約 488 万人である。

米国と英国における 10 万人当たりの感染者数はそれぞれ約 13416 人、約 12252 人であり、日本の約 1355 人と比較するとかなり大きい。また、感染者数に対する死亡者数の割合

は米国で 1.6%、英国で 1.7%であるのに対して、日本では 1.1%であり低くなっている。感染者数に対する死亡者数の割合が比較的高いのは、表の中ではメキシコ（7.6%）、インドネシア（3.4%）、南アフリカ（3.0%）、ブラジル（2.8%）、ロシア連邦（2.8%）、イタリア（2.8%）である。

表 1-2：COVID-19 の感染者数、死亡者数（全世界、感染症数上位の 20 か国＋日本）

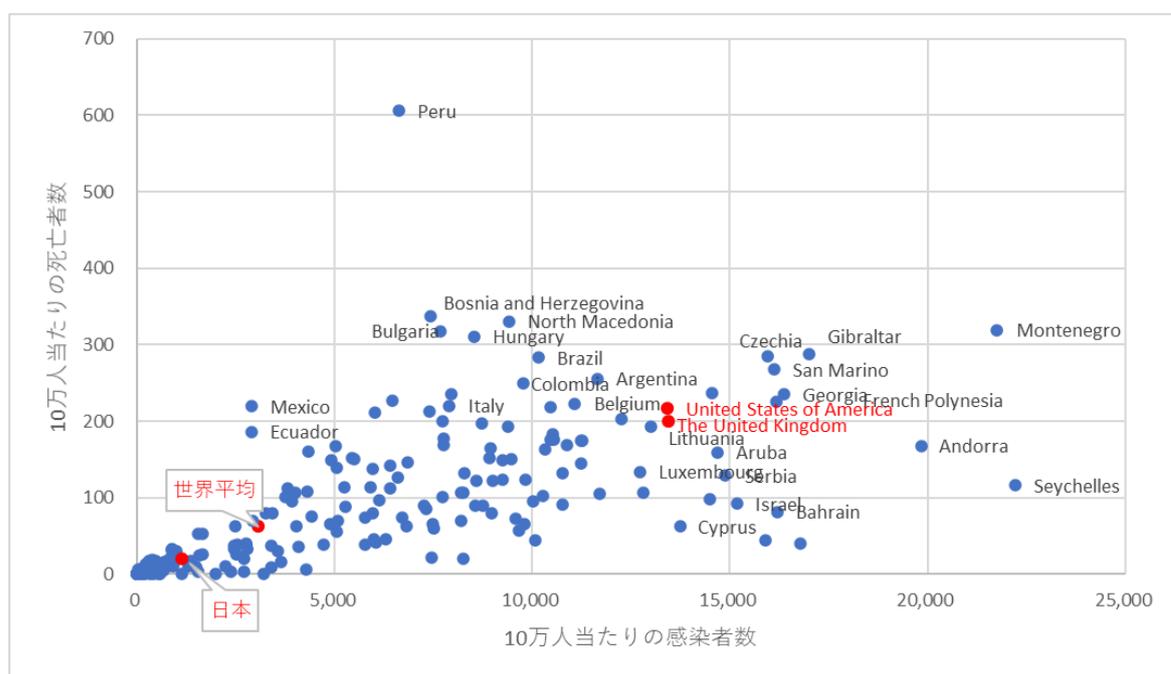
国名等	感染者数合計	死亡者数合計	人口 10 万人 当たりの感染 者数	人口 10 万人 当たりの死 亡者数	死亡者数／ 感染者数
全世界合計	239,437,517	4,879,235	3,071.9	62.6	2.0%
米国	44,408,612	715,179	13,416.4	216.1	1.6%
インド	34,037,592	451,814	2,466.5	32.7	1.3%
ブラジル	21,597,949	601,574	10,160.9	283.0	2.8%
英国	8,317,443	138,237	12,252.1	203.6	1.7%
ロシア連邦	7,925,176	221,313	5,430.6	151.7	2.8%
トルコ	7,570,932	67,044	8,976.8	79.5	0.9%
フランス	6,854,885	114,870	10,539.6	176.6	1.7%
イラン	5,754,047	123,498	6,850.6	147.0	2.1%
アルゼンチン	5,268,653	115,582	11,657.4	255.7	2.2%
スペイン	4,982,138	86,917	10,525.8	183.6	1.7%
コロンビア	4,975,656	126,726	9,778.6	249.1	2.5%
イタリア	4,709,753	131,461	7,896.8	220.4	2.8%
ドイツ	4,354,158	94,526	5,235.5	113.7	2.2%
インドネシア	4,232,099	142,848	1,547.3	52.2	3.4%
メキシコ	3,738,749	283,193	2,899.8	219.6	7.6%
ポーランド	2,933,834	76,067	7,729.1	200.4	2.6%
南アフリカ	2,914,827	88,506	4,914.7	149.2	3.0%
フィリピン	2,698,232	40,221	2,462.3	36.7	1.5%
ウクライナ	2,610,899	60,137	5,970.0	137.5	2.3%
マレーシア	2,369,613	27,681	7,321.3	85.5	1.2%
日本	1,713,268	18,051	1,354.6	14.3	1.1%

出典：データは WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. “Situation by Region, Country, Territory & Area” <<https://covid19.who.int/table>>に基づく。（2021 年 10 月 18 日午後 3 時 57 分時点）

表ではインドの感染者数は世界で米国に続いて大きい、人口が大きいことが原因であり、10万人当たりの数字では世界平均よりもかなり小さい。

図 1-3 は 10 万人当たりの感染者数を横軸に、10 万人当たりの死者数を縦軸に取った時の世界各国の位置を示している。表 1-2 で示したように、世界の平均値は 10 万人当たりの感染者数、死者数はそれぞれ 3072 人、62.6 人である。日本は 1354 人と 14.3 人であり、世界的に見てもどちらもかなり少ない。米国と英国は 10 万人当たりの感染者数・死者数はそれぞれ約 13416 人と約 216 人、約 12252 人と約 204 人であるからほぼ同じような位置にあることが分かる。どちらの国も日本に比べると感染者数、死亡者数がかなり大きいことが読み取れる。

また、それ以外の国ではペルーが感染者数に比して死者数が極めて大きいこと、ボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、ハンガリー、ブラジル等では 10 万人当たりの死者数が大きいことを示している。感染者数の合計が上位の国の中では、メキシコ、インドネシア、南アフリカ、ブラジル、ロシア連邦、イタリアが死亡者数／感染数の割合が比較的大きいことを上述したが、これらの国は図 1-2 では、感染者数と死亡者数の相関関係を示す直線が引かれるとすると、その直線より高い位置（左上側）にある。



出典：データは WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. “Situation by Region, Country, Territory & Area” <<https://covid19.who.int/table>>に基づく。（2021年10月18日午後3時57分時点）

図 1-3 : COVID-19 の 10 万人当たり感染者数、10 万人当たり死亡者数

## 数理モデル

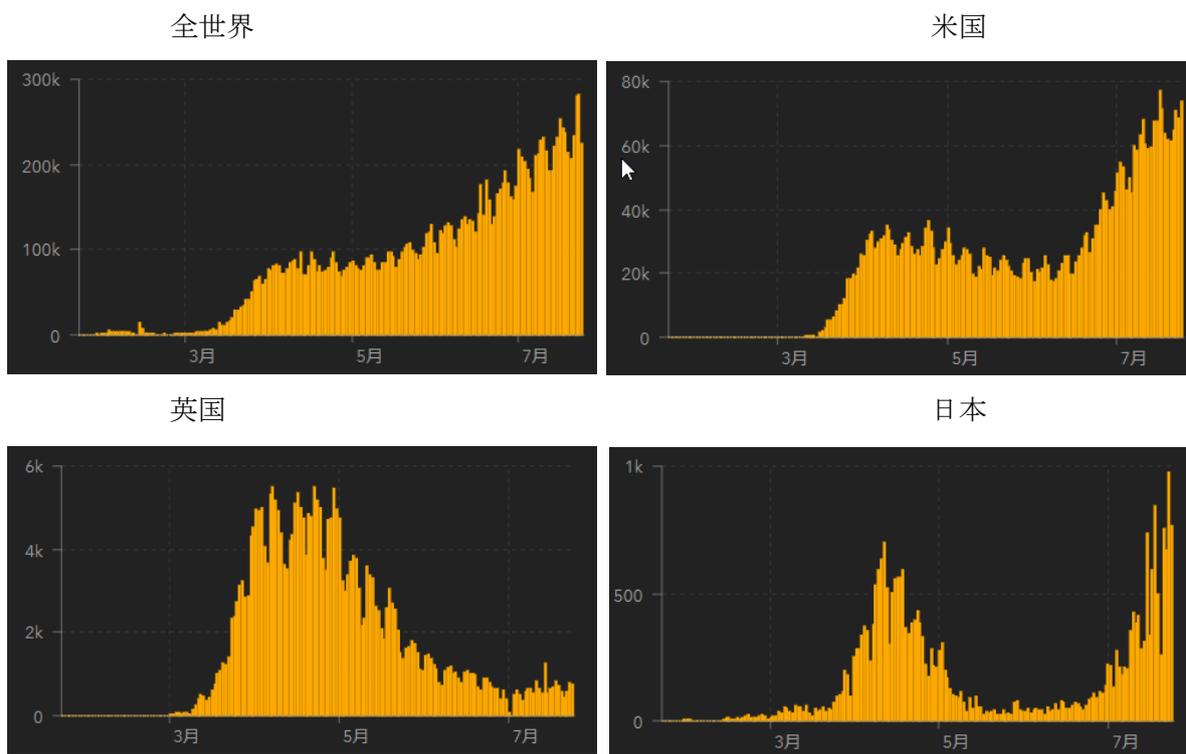
新型コロナウイルス感染症への対応においては、感染症の数理モデルが施策の検討に利用されてきた（ロックダウン（都市封鎖）の効果、社会的距離を取ること（social distancing）の推奨など、あるいはそれらの措置の感染者数・死者数等への影響）。我が国でも、西浦博北海道教授（当時）が「8割おじさん」などと一般メディアでも注目を浴びるなど、一定の利用がされ、政策に効果を与えたと見られる。

英国や米国では感染拡大についても、複数の異なるチームが、異なる数理モデルを利用し様々な提言をしてきたが、上述のようにこれらの国での感染拡大は日本をはるかに上回っている。また、感染症初期には感染症のモデルだけで良かったが、その後はそれに加えて経済・社会への影響も含むモデルが必要になってきていることが指摘され、その他の数理モデルも利用されてきた。

今回の感染症の世界的なパンデミックは、調査の実施という観点からみれば、**Natural experiment**（自然に起きる社会実験）が世界的規模で起きていると見做すことができる。すなわち、世界的にほぼ同時期に感染症という課題が全ての国や社会に発生し、それに対してどのような対応をしているかを観察することが可能である。感染の拡大やその人々の行動・経済・社会への影響、政策的な検討と実施などについて多くのデータが発生している。それらからどのようなレッスンを読み取ることが可能かを考えるのには今は適切なタイミングであるが、そのためには、データ—ここでは数理モデルとその活用について—を体系的に収集し、整理・分析することが重要である。それが本調査を行う意図である。

なお、図 1-4 は本研究の提案書作成時の 2020 年 7 月の時点までの COVID-19 の感染者数の推移（全世界、米国、英国と日本）を示した図である。その時点（2020 年 7 月 24 日）では、世界で感染が拡大しており、新規感染者数（1 日）は約 28 万 1 千人であった。7 月 24 日までの感染者数合計は約 1,599 万人、死者数の合計は約 64 万人であった。米国においても感染者数は 7 月に入っても高いレベルで推移しており（7 月 23 日の新規感染者数は約 7 万 3700 人（出典：JHU ウェブサイト））、日本では緊急事態宣言の解除後再び感染は拡大傾向に入っていた（7 月 23 日の日本の新規感染者数は 981 人（出典：NHK））。

この時点では米国、英国、日本では第 2 波が来ている時であったが、この図から、その後現在までに至る感染者数の推移を予測することはいずれの国についてもとても困難なことがあらためてよく分かる。特に、これ以降の第 3 波、第 4 波、第 5 波などがいつ来るか、それがどのくらいの規模になるのかなどは、この時点で利用可能なデータをだけを使い、感染症数の予測モデル（後述）だけからは不可能である。数理モデルができることには自ずから限界があるのは当然であるが、往々にして、実際にできる以上のことを期待され、またはその期待を否定せずに利用することで、後から余計な批判を招くことが起きるが、COVID-19 への対応においてもそのような面は後述のように多くみられた。



出典：COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)

図 1-4：全世界、主要国における新規感染者数の推移（2020年1月～2020年7月）

### 作業仮説（問題意識）

本調査の背景にある基本的な思想は、エビデンス重視の政策策定（EBPM: evidence-based policy making）は政策の適切性や質を高めるものであるが、その実施のためには、質の高いデータの収集整理分析とともに、数理モデルの利用が重要であるというものである。エビデンスは数値データだけではなく、数理モデルの適用は困難な定性的データも含むが、数量データとその論理関係に基づき構築された数理モデルによる分析を反映させることは、EBPMの履行のためには重要と考える。本調査は、以下を含む作業仮説を念頭に出発した。

- ・ エビデンス重視の政策策定（EBPM: evidence-based policy making）には数理モデルの利用が重要である。数理モデルを利用することは EBPM の実施の程度を高め、政策の質を高める。換言すれば、数理モデルの利用と、感染者数を抑えることの成功度とは因果関係がある。
- ・ 数理モデルの利用がうまくいった国には数理モデル専門家の助言を取り入れる仕組み、体制が準備されている。数理モデルの利用のためには、政治的リーダーシップが重要であり、さらに、理数系の知見を理解するバックグラウンドを持つリーダーシップが必要である。

他方、本研究開始から1年経って分かってきたことは現実には予想以上に複雑であり、数理モデルの活用とCOVID-19抑制政策の実施や成功の間におけるクリアカットな因果関係などの関係性を抽出することは現時点では困難である。上述のように現時点においてはCOVID-19の感染状況を見ると、ワクチン接種が進んだこともあり一部の国では収束の方向に進んでいるように見えるが、他方、いまだに感染拡大を押さえることができていない国も多い（特にワクチン接種が進んでいない発展途上国）。また、各国の国民性の違いから抑制的な行動の順守の困難さの相違、マスク習慣の有無の相違、各国の地域の違いや国境管理政策の違い等に起因する相違も存在する。要するに、COVID-19がまだ収束していないためどのような施策が効果的かどうかについて判断することが困難であるとともに、数理モデルの活用以外の数多くのパラメータが存在するということである。

## 調査項目

主な調査項目は、COVID-19対応における数理モデルの利用についての事例調査（日本と英国）を行い、「数理モデル」と政策策定について議論し、調査の結論や示唆を導き出すこと、である。

前述のように、今回のCOVID-19は世界規模で発生し、全ての国・政府が対応を求められるような「自然実験」（Natural experiment）である。全ての国・政府は、それぞれの特徴（ウイルスの型、抗体の保持状況、人と人との間の接触についての文化的違いなど）があるため、全く同じ条件という訳ではないが、COVID-19への対応を求められるという点では平等である。そのため、国を単位として、どのような対応がとられたのかを比較することが可能である。米国など連邦政府の国では州レベルでの対応を比較することも考えられるがここでは行わない。

本調査では、英国と日本を取り上げる。英国は後述のように、危機管理時の助言体制が既に整っており、それが今回のCOVID-19への対応でそれがどのように機能したかについて興味深いため取り上げた。英国について詳しく調べることで日本の状況を相対化してみることが可能になると考えられる。

各国についての主な調査項目は以下である。

- ・ どのような数理モデルが開発され、利用されたか。ここでの「数理モデル」は前述のようにCOVID-19の感染者数についてのSIRモデル等の微分方程式によるmathematicalなモデルだけではなく、後述のエージェントベーストモデル等によるシミュレーション等を含め、幅広く考えることとする。
  - 利用された数理モデルの種類。それぞれの数理モデルの利用の場面。
  - 政策に影響を与えた数理モデルがあった場合、それらについての情報公開の程度、情報公開の方法。
  - 数理モデルの妥当性検証（validation）をどうしているか。
- ・ 数理モデルを利用する体制：政府の対応策はどのような組織で決められているか。専門

家委員会等に数理モデルの専門家は入っているか。入っていない場合、どうしているか。入っている場合には、その専門家のバックグラウンド、選定基準など。

- ▶ 数理モデルの専門家からはどのような助言があったか。助言はどのような影響を与えたか。
- ▶ 数理モデルの活用がうまくいかなかった場合の原因
- ▶ 数理モデルの適切な利用を図るためにはどうしたらいいか

なお、対象国において対策が成功したか（人口 10 万人当たりの感染者数、感染者数のピークから終息するまでの時間、などの指標を使用する予定）を測定し、上の数理モデルの利用についての調査結果との関係を分析する予定であったが、この点についてはいまだ COVID-19 が収束したとは言えない状況であることから現時点では行わない。

### 日本の事例調査

後述のように、日本では政府の COVID-19 対応施策の策定についての専門家からの助言は、厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」、内閣官房の「新型コロナウイルス感染症対策専門家会議」「新型コロナウイルス感染症対策分科会」などの仕組みを通じて行われており、感染者数予測のための数理モデル等が利用されてきた。感染症数理モデルが政策策定に利用されたのは COVID-19 が初めてのケースであり、また、一般に危機管理時の専門家からの助言システムは米英に比べて整備は遅れてきたと言われる。今般の COVID-19 対応においてどのような数理モデルが政策策定の場面で利用されてきたかについては、これらの会議の資料等を精査するとともに、総理大臣、厚生労働大臣、新型コロナ感染症担当大臣等の記者会見の記録や公開資料を通じて調査した。

### 英国の事例調査

英国政府には英政府主席科学顧問が置かれ、日常的に首相に対して科学的助言を行っており、行政に対する科学的助言を与える仕組みの理想例として我が国では取り上げられることが多い。新型コロナウイルスへの対応についても（感染症に対して、と言い換えることもできる）、主席科学顧問を中心に科学的助言を与える仕組みがすぐに動くことができていた。

後述するように、より具体的には、英国には、COVID-19 のような非常時に複数の省庁間で政策立案する内閣府ブリーフィンググループ（通称 COBR）があり、緊急時は、関係省庁がとる対応の調整機関として働く危機管理委員会（SAGE）が COBR に設置される。今回のコロナでも SAGE は科学的な見地からコロナ拡大防止策への助言を行っている。SAGE の委員長は、英政府主席科学顧問 Sir Patrick Vallance（GCSA）であり、COVID-19 勃発後も定期的に会合を開き、各分野の専門家からの意見を聴取、議論する会合を開いている。

SAGE メンバーの選出および条件となる資質については公平性、透明性を担保するために詳細に規定されている。<sup>4</sup>

SAGE 委員会のメンバーは、86 名、約半数が医療、感染症、パンデミックに関連する数理モデルの第一人者が選出されている。さらに、SAGE の傘下には、5 つの異なる専門分野チームが存在し、そのうちの 하나가、数理モデル専門家チーム (Scientific Pandemic Influenza Group on Modelling (SPI-M)) である。SPI-M は、COVID-19 のために初めて設立された組織ではなく、これまでも数年の実績がある。SPI-M は、インフルエンザや感染症パンデミックの対応に関して英保健・社会保障省および関係省庁に主に感染症の数理モデルと疫学による科学的な助言を行う組織である。43 名の数理モデルの専門家 (LSHTM (ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院)、インペリアル大学、マンチェスター大学、ケンブリッジ大学、英公衆衛生庁等) から構成される。SPI-M のメンバーは、パンデミックの内容によって構成メンバーは入れ替えられるが、なかには、数年にわたって継続して在職するメンバーも存在する。

SPI-M での分析結果やデータは、同じく SAGE 傘下の 4 つの組織 (新興呼吸器系ウイルスアドバイザーグループ、科学パンデミックインフルエンザ行動学グループ、ヘルスデータリサーチ UK グループ、COVID-19 ゲノミクスコンソーシアム) と連携し、多分野にわたる専門家の見解も反映し政策の判断材料とする。

また、新型コロナウイルス感染についての数理モデルの論文が英国の研究者グループによりかなり早い時期から発表され、これらは英国の政策決定に影響を及ぼしたと言われている。

- 最初の論文 : 3 月 16 日 インペリアルカレッジロンドンのファーガソン教授ら  
Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand
- 次の論文 3 月 24 日 オックスフォード大学の Gupta 教授ら  
Fundamental principles of epidemic spread highlight the immediate need for large-scale serological surveys to assess the stage of the SARS-CoV-2 epidemic

英国での新型コロナウイルスへの対策検討と、数理モデルの検討、それらの関係について、後述のように文献調査等を実施し、調査する。

---

<sup>4</sup>

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/80087/sage-guidance.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/80087/sage-guidance.pdf)

## 参考：米国の事例

米国では2020年1月21日に最初の新型コロナウイルスの感染者が確認された。1月31日に連邦政府は「公衆衛生サービス法」第319条に基づく「公衆衛生緊急事態 (public health emergency)」を出した。その後、3月にはニューヨーク州を中心に感染が大きく拡大した。3月13日には大統領が「1976年国家緊急事態法」第201条と第301条に基づき「国家緊急事態」 (national emergency) を宣言した。2020年3月20日には感染者数が1万人を超え、3月26日には8万人を超え、世界で最多となった。

連邦国家である米国では、災害対応や公衆衛生は主として各州の法令に基づいて各州が実施するのが原則である。感染症や緊急事態に対応するために連邦法に設けられた各種条項に基づいて緊急時対応を実施した。1月31日には移民国籍法に基づき、感染拡大国である中国に過去14日以内に滞在したことがある外国人の2月2日からの入国を禁止した。その後、入国禁止の対象国を3月までにイラン、欧州のシェンゲン協定26か国、英国、アイルランドに拡大し、5月にはブラジルを追加している。また、3月16日には、外出や行動の自粛等を求める行動指針を大統領が発表し、それを受けて、42州で自宅待機令の発出など何等かの行動制限が導入された<sup>5</sup>。

専門家からのCOVID-19対策については、National Academiesが2020年3月14日から4月8日にかけて11の「迅速な専門家協議」 (rapid expert consultation) の文書を発表した。これらは2020年2月の大統領府科学技術政策局 (OSTP) と保健福祉省 (HSS) からの要請に基づくものである<sup>6</sup>。

大統領への科学専門家の助言の役目は、大統領首席医療顧問 (Chief Medical Advisor to the President) のアンソニー・ファウチ (Anthony Fauci) 氏が務めてきた。ファウチ氏は、国立公衆衛生院 (National Institutes of Health: NIH) の国立アレルギー・感染症研究所 (National Institute of Allergy and Infectious Diseases : NIAID) の所長である。ファウチ博士はCOVID-19対策についてメディアにも頻繁に登場してきた。

また、バイデン政権が発足した2021年1月以降<sup>7</sup>には、「ホワイトハウス COVID-19 対策チーム」 (White House COVID-19 Response Team) が設置された。チームの総括リーダーは、「COVID-19 対策コーディネータ」 (COVIDS-19 Response Coordinator) の役職で、ジェフリー・ジェンツ氏 (Jeffrey Zients) が引き受けている。ジェンツ氏は科学者ではないが、対策チームの最高科学責任者 (Chief Science Officer) は食品医薬品局 (FDA)

<sup>5</sup> 以下の文献の説明に基づく：近藤倫子「米国連邦政府による新型コロナウイルス感染症への対応—感染拡大防止と医療の確保のための施策—」レファレンス 839号 2020.12. 国立国会図書館 調査及び立法考査局

<sup>6</sup> Standing Committee on Emerging Infectious Diseases and 21st Century Health Threats, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. <https://www.nationalacademies.org/our-work/standing-committee-on-emerging-infectious-diseases-and-21st-century-health-threats>

<sup>7</sup> President Joseph R. Biden, Jr., *National Strategy for the COVID-19 Response and Pandemic Preparedness*. January 2021.

の元局長のデイビット・ケスラー (David Kessler) 氏が務める。対策チームの他のメンバーは、疾病管理予防センター (Center for Disease Control and Prevention: CDC) 所長のロシェル・ワレンスキー (Rochelle Walensky) 氏や、大統領首席医療顧問 (Chief Medical Advisor to the President) のアンソニー・ファウチ (Anthony Fauci) を含んでいる。

対策チームのジェンツ氏は、ファウチ氏らとともに週 1 回の大統領へのブリーフィングを実施しており、対策チームは週 3 回のプレスブリーフィングを実施している<sup>8</sup>。ブリーフィング内容から、本調査の分析対象である数理モデルの活用についての情報を確認することが可能である<sup>9</sup>。

事例調査の結果 (英国、日本についての調査) を踏まえ、各国の取組を比較すること等に基づいて、「数理モデル」と政策助言、政策策定の関係について検討する。

なお、この調査研究ではやらないこと、少なくとも中心的課題ではないのは、COVID-19 に関して、どの数理モデル、どの数理モデル学者の仕事が優れているかについて直接的に比較判断・評価することである。中心的な課題は、今般の COVID-19 対応においてどのような数理モデルが活用されたのかについて具体的なファクトを集め、それに基づいてできる範囲の比較を行うことである。前述のように、使われた数理モデルの種類やモデルとしての質と、その感染者や死亡者の抑制等に与えたインパクトを評価することは現段階では困難であり、本調査のスコープには入らない。

#### 1.4 調査方法

主として調査項目に関して文献調査を行う。文献は以下に分類される。

##### a) 新型コロナウイルス感染症についての数理モデル

米国ではコロンビア大学、MIT、ノースイースタン大学、ワシントン大学保健指標評価研究所 (Institute for Health Metrics and Evaluation)、テキサス大学などで、英国では Imperial College London、Oxford 大学、University College London などで数理モデルの開発が行われている。我が国では、北海道大学の西浦教授が様々な感染症数の予測をしている。これらの数理モデルの内容については PubMed などのデータベースで検索し、学術論文で把握することが可能である。また、政府文書としても概要等は発表される。

---

<sup>8</sup> 以上の記述は以下を参考に行っている：榎孝浩「COVID-19に関する英独仏米の科学的助言と課題」研究技術計画 Vol.36, No.2, 2021.

<sup>9</sup> 例えば、Press Briefing by White House COVID-19 Response Team and Public Health Officials. October 22, 2021.

<<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/press-briefings/2021/10/22/press-briefing-by-white-house-covid-19-response-team-and-public-health-officials-63/>>

また、感染症拡散については新型コロナウイルス感染症に限定せず、より一般的なモデルとして既に 20 世紀の前半から開発され、利用されてきた。そのような数理モデルについての文献は数多くある（SIR モデル、SEIR モデル）。

b) 新型コロナウイルス感染症対策についての政府、国際機関の検討文書、データ、報告書等

各国政府の COVID-19 対応については、ウェブ情報としてアクセスすることが可能である（WHO、各国政府）。また、感染状況については、Johns Hopkins 大学がデータを整理している。

特に、政策策定過程において使用された数理モデルについての情報は各国の政策策定者（日本の場合、総理大臣、担当大臣）や専門家会議の資料や議事録、会見やブリーフィングの記録でウェブ上で公表されているものを調査する。

## 1.5 調査体制

依田（未来工学研究所主席研究員）が事業総括をし、主として数理モデルのレビューと、日本の事例調査、比較・分析を担当する。妙見（未来工学研究所特別研究員）は主として英国の事例と比較・分析を担当する。

報告書は 1 章、2 章と 3 章の 3.2（日本）は依田が、3 章の 3.1（英国）は妙見が担当した。4 章は依田・妙見が担当した。

## 2. 政策形成における数理モデルの利用：感染症の数理モデル

本セクションでは感染症の数理モデルについて文献調査に基づき簡単に説明する。感染症の数理モデルについて基本的なことを簡単に見た後に、詳しい内容は次章において扱うが、COVID-19 について開発された数理モデルを紹介する。次に、政策形成における数理モデルの利用についての文献をレビューする。

### 2.1 感染症の数理モデル

以下の説明は西浦・稲葉（2006）、大日・菅原（2009）に基づく<sup>10</sup>。感染症流行の予測は、内在性（感染症の伝播するメカニズムそのもの）、外因性（ワクチン等の流行抑止対策など）の妥当な想定に基づく数理モデルに基づき行う。感染症のモデル、理論が進展した理由としては、癌等の疾患とは異なり、感染者そのものが病気の危険因子となること、1度感染したり、予防接種による抗原刺激を受けることで一定期間の免疫を得ることができ、などである。

感染症の数理モデルには以下のように、SIR モデル、SEIR モデル、マルチタイプ型流行モデル、エージェントベースモデルなどがある。

#### SIR モデル

SIR モデルは、提唱者の名前を取って、ケルマック・マッケンドリック型モデルとも呼ばれる。個体群動態（population dynamics）を想定して、個体群レベルの流行メカニズムを考慮したボトムアップ式に構築する。

対象とする閉鎖人口について 3 つの状態に分ける

**S(susceptible)**：感受性宿主で感染する可能性のある人口

**I (infected)**：感染して感染性を有する状態

**R (recovered)**：感染後に回復して免疫を獲得した者（又は死亡者）

これらの 3 つの状態（区画（compartment））間の時間当たりの変化は以下の常微分方程式系で表される。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t)$$

<sup>10</sup> 西浦博、稲葉寿（2006）「感染症流行の予測：感染症数理モデルにおける定量的課題」統計数理 第 54 巻第 2 号、461-480.

大日康史・菅原民枝（2009）「パンデミック・シミュレーション：感染症数理モデルの応用」技術評論社

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t)$$

$\beta$  は感染率、 $\gamma$  は回復率あるいは隔離率を表す。 $\beta I(t)$  は時間  $t$  における感染力 (force of infection) と定義される。

「基本再生産数」 (basic reproductive rate)  $R_0$  は「ある感染した人が完全に免疫のない集団に入った時に、感染期間の全てを通じて、その人から直接的に感染する人の人数の平均」と定義される<sup>11</sup>。 $R_0 < 1$  の時には次第に感染者数は減衰し、逆に  $R_0 > 1$  の時には感染者は指数関数的に増加する。

$R_0$  の値は  $\beta$  と  $\gamma$  の値によって決まる。初期に感染者数は以下で近似できる。

$$I(t) \approx I(0)e^{(\beta-\gamma)t}$$

感染者数が増加するのは  $\beta > \gamma$  の時である。これは以下を意味する。

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} > 1$$

他方、感染症の流行開始後には、個人の行動の変化 (接触回数低下、防御行動など)、公衆衛生対策 (学級閉鎖、検疫、隔離、国境封鎖など) が起こる。このような背景要因のために感染症の伝播能力は影響を受けるため、「実効 (効果的) 再生産数 (effective reproduction number,  $R_t$ )」が以下のように定義される：「(ある時刻  $t$  における、一定の対策下での) 1 人の感染者による 2 次感染者数」。

基本再生産数の数字は  $\beta$ 、 $\gamma$  の値を以下の式から推定することで求めることができる。実際には確率論的な推定量を用いている。

$$\frac{dI(t)}{dt} = (\beta - \gamma)I(t)$$

ある感染症について、推定された基本再生産数を用いると、例えば感染症を収束させるために必要なワクチン接種の接種率を求めることができる。

ワクチン接種の効果が  $\varepsilon$  ( $0 < \varepsilon < 1$ ) であり、それを接種率  $p$  で実施した場合には、免疫を保有しない人の割合は  $1 - \varepsilon p$  になる。この時に再生産数は  $(1 - \varepsilon p) \times R_0$  となり、これが 1 未満になればいいので、以下が成り立てばよいことになる。

$$p > \frac{1}{\varepsilon} \times \left(1 - \frac{1}{R_0}\right)$$

あるいは、マスク着用による感染予防効果が 0.7 の場合には、再生産数は  $0.7R_0$  となるのでこれが 1 を下回れば、感染が収束に向かうことになる。

<sup>11</sup> 以下の感染症疫学の教科書では、"Average number of persons directly infected by an infectious case during her entire infectious period, when she enters a totally susceptible population." と定義されている。Johan Giesecke (2017). *Modern Infectious Disease Epidemiology*. Third Edition. CRC Press. Chapter 11. 西浦博、稲葉寿 (2006) では同じ意味であるが、「(全ての個体が初期に感受性を有する状態で) 1 人の感染者当たりが生産する 2 次感染者数」と定義している。

## SEIR モデル

SEIR モデルは、感染者の状態を Exposed(E)と Infectious (I)に分けて考えるものである。すなわち、E は感染後であるがまた感染性を持たない状態であり、I は感染性を有する状態である。図 2-1 では、感染性に関する期間のうち、感染待ち期間は E に、感染性期間は I に相当する。感染性獲得と発症開始の時期は異なる場合があり、また、症候性期間と感染性期間も異なることがある。

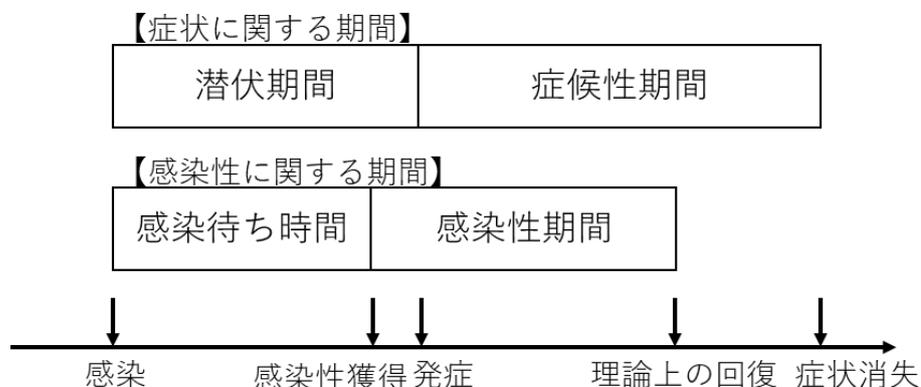
上の SIR モデルの関係式のうち第 2 式を修正し、SEIR モデルの関係式は以下のようになる。第 2 式の  $\varepsilon$  が感染待ち時間を表現するパラメータであり、暴露後に感染性を得る率である。 $1/\varepsilon$  は感染待ち時間が指数分布に従うと仮定した場合の平均値となる。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \varepsilon E(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \varepsilon E(t) - \gamma I(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t)$$



出典：西浦博、稲葉寿（2006）「感染症流行の予測：感染症数理モデルにおける定量的課題」統計数理 第 54 巻第 2 号. 461-480. 図 3.

図 2-1：感染症の潜伏期間・症候性期間、感染待ち時間・感染性期間

$\varepsilon$  等の数理モデルのパラメータについてはフィールド調査に基づき、それらの分布を推定することが必要となる。COVID-19 でそうであるように、感染性についての感染待ち時間と症状の潜伏期間は上図にあるように異なるが、数理モデルの構築に当たっては「その個体間の性質が類似しているために感染待ち時間の統計分布は頻繁に潜伏期間と同等に扱われる」（西浦・稲葉）とのことである。

### マルチタイプ型流行モデル (Multitype epidemic model)

SIR モデルや SEIR モデルでは全ての者が均一に接触するという単純化した想定に基づいているが、殆どの感染症流行では接触の均一性の想定は成り立たない。この点については統計的に検定した結果棄却されるとの結果がある（西浦・稲葉）。このような個体毎の異質性（heterogeneity）を考慮するための方法として、均一な接触パターンを有する複数の集団（Subpopulation）に分けて考えることができる。この方法を「マルチタイプ型流行（Multitype epidemic）モデル」と呼ぶ。例えば、性感染症において特定の集団について接触頻度が高いと考えられる場合などがある。

### エージェントベーストモデル (agent-based model)

個体群の異質性（heterogeneity）についてはマルチタイムモデルとして数理モデルを考えることができるが、エージェントベーストモデルでは各個体について感染性、位置、移動等を考慮してコンピュータでシミュレーションを行う。基本的には各主体（エージェント）について属性（位置、移動、感染の有無等）・環境と、全体のルール（属性と環境の関数（属性の変化：接触した場合の感染の確率））を与えて、シミュレーションを行う。個人ベースモデル（individual based）やエージェントベーストシミュレーションとも呼ばれる。移動制限、接触制限等を個体群別に導入する場合などのより詳細な施策の効果を推定することが可能となる。現在の数理モデルの中心はエージェントベーストモデルとのことである。（大日・菅原（2009））

西浦・稲葉（2006）では「盛んに用いられるようになっている」と説明しているが、その後の欧米の感染症モデルの論文を見ると殆どがエージェントベーストモデルである。例えば、Ferguson（2006）では、米国と英国においてインフルエンザの感染シミュレーションを個人ベースのモデルで行っている。感染に関するパラメータは家庭・学校・職場・より広いコミュニティに4区分し、過去のパンデミックで見られた子どもの高い罹患率を再現するために、学校における一人当たりの学校での一人当たりの接触率は職場の2倍であり、家庭内での感染が30%、家庭外での感染が70%（33%が一般社会で、37%が学校や職場）となるようなものを用いており、パラメータの数値を変えて、感染者数への影響を見ている。R0の値については1.4から2の範囲で検証しており、特に、「中程度」（R0=1.7）と「高程度」（R0=2.0）で結論がどのように異なるかに注目した。米国の人口3億人、英国の人口5810万人についてシミュレーションしている。インフルエンザの予防と封じ込めの戦略は、抗ウイルス剤、ワクチン、非医薬品（患者の隔離、家庭での検疫、学校や職場の閉鎖、旅行の制限）などの大まかなカテゴリーに分けて考えることができるが、「数学モデルは、このような複雑な介入戦略を検討し、さまざまな選択肢の潜在的なコストと利益を定量化するための強力なツール」であるとしている。以下のように様々な政策選択肢

を検討しているが、様々な仮定を置き、シミュレートすることが可能となるので、それらの比較検討を行う際には助けになるとみられる。

- 国境での制限や国内での旅行制限は、99%以上の効果がない限り、感染拡大を2~3週間以上遅らせることはできない。パンデミックのピーク時に学校を閉鎖することで、ピーク時の感染率を最大40%減少させることができるが、全体の感染率には殆ど影響しない。
- 患者の隔離や家庭での検疫は、実行可能であれば大きな影響を与える可能性がある。治療することで感染を減らすことができるが、それは症状が出てから1日以内に抗ウイルス剤を投与した場合のみである。
- 人口の50%に十分な薬があれば、家庭を中心とした予防と、学校を閉鎖することで、臨床感染率を40~50%減少させることができる。パンデミックに備えて備蓄されたワクチンは、有効性が低い場合でも、攻撃率を大幅に減少させることができる。

#### その他のエージェントベースモデルの主な文献<sup>12</sup>

##### Ferguson (2005)

Ferguson, N. M. et al, Cummings, D. A., Cauchemez, S., Fraser, C., Riley, S., Meeyai, A., ... & Burke, D. S. (2005). Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. *Nature*, 437(7056), 209-214.

- ・タイと周辺国国境付近の人口分布に合わせた8500万人についてシミュレーションをした。パンデミック発生後20例目が発症（2日後）した時点で地域封鎖し、抗ウイルス剤を予防投薬すれば90%の確率で拡大半径が27kmに抑えられる等の知見を得ている。

##### Longini (2005)

Longini, I. M., Nizam, A., Xu, S., Ungchusak, K., Hanshaoworakul, W., Cummings, D. A., & Halloran, M. E. (2005). Containing pandemic influenza at the source. *Science*, 309(5737), 1083-1087.

- ・タイの農村地域をモデルとして、抗ウイルス剤、隔離、予防接種の効果を検討し、パンデミック発生後の初期での封じ込めが可能との知見を得ている。

##### Germann et al (2006)

Germann, T. C., Kadau, K., Longini, I. M., & Macken, C. A. (2006). Mitigation strategies for pandemic influenza in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(15), 5935-5940.

<sup>12</sup> 大日・菅原（2009）等に基づく。

・米国の国勢調査に基づいて 281 億人のエージェントベースモデルを構築し、シミュレーションを行った。国外で大発生し、それが米国内に広がる過程をモデル化した。米国の 14 の国際空港から毎日数人の感染者が入国し、米国内で発症者数が 1 万人を超えた時点で様々な対策を開始すると想定し、予防投薬の効果等を検討した。

### リアルエージェントベースモデル

上で説明したエージェントベースモデルにおいて、現実の人の動きのデータを利用したものをリアルエージェントベースモデルと呼ぶ。

例えば、全国の都市圏で実施されている「パーソントリップ調査」では、「どのような人が、どのような目的で、どこからどこへ、どのような時間帯に、どのような交通手段で」移動しているかを調査している<sup>13</sup>。このデータを利用することで、より現実的な感染症の拡散パターンを各地域について推定することが可能となる（大日・菅原、77 頁）。

また、近年では COVID-19 への対応で見られたようにスマホ（携帯電話）の位置データを使うことで人々のリアルな日々の動きを、ほぼリアルタイムで把握することが可能となっており、更にコンピュータ性能の高度化によりそれを用いた分析結果を低コスト・短時間で利用することが可能となれば、更に精緻なモデル化や様々な施策の効果の推定等を行うことが可能となる。

なお、西浦・稲葉（2006）は、今から 15 年前の論文であるが、日本における感染症数理モデルの研究水準については「これまで内在性想定に関する議論や定性的な解の挙動に関する理解が十分に深いとは言えなかった。過去に HIV/AIDS や結核を中心として流行予測に線形回帰分析がいくつか利用されてきた例に見られるように、伝播動態に関する認識は低く、それにも関わらず定量的側面に関する大きな拘りが社会的ニーズとして発展したためか、本領域は諸先進国研究と比較して明らかに遅れをとっている」と評価している。

---

<sup>13</sup> 国土交通省ウェブサイト、「パーソントリップ調査」  
<[https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/toshi\\_tosiko\\_tk\\_000031.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/toshi_tosiko_tk_000031.html)>

## 2.2 感染症の数理モデルのこれまでの利用

2020年以降の新型コロナウイルス感染症への対応において数理モデルがどのように利用されたのかについては3章で説明する。ここではこれまでに感染症対策を検討する上で、数理モデルのどのような利用があったのかについて簡単に説明する。

大日・菅原(2009)によれば<sup>14</sup>、WHOの新型インフルエンザ事前対策計画では、「パンデミック株があらゆる年齢層に対して著しい疾病と死亡を引き起こし、ワクチンもないことは既知のことであり、罹患数と死亡数を軽減するために、当局は真剣に全国民レベルの対策を導入することを考慮すべきであるが、数学的及び経済学的モデルを参考に決断することができる」と明記されている。また、米国、英国、カナダのパンデミックプランにおいても、数理モデルを用いて対策立案することが明記されているとのことである。

未知の感染症が発生した時には、感染性や様々な性質、治療、公衆衛生的対応等の有効性についてできるだけ早く評価する必要がある。SIRモデルを利用すれば感染性等についての重要なパラメータを推定することができる( $\beta$ :感染率、 $\gamma$ :回復率;SEIRモデルであれば加えて $\varepsilon$ :感染待ち時間)。患者の発生状況等から、対応が異なる群における発生状況の違い等からそれらのパラメータの推定を行うことは重要である。

2003年のSARSの発生の際には3月に感染が拡大していた中で5月には最初のSIRモデルが公表された。

Riley, S., Fraser, C., Donnelly, C. A., Ghani, A. C., Abu-Raddad, L. J., Hedley, A. J., ... & Anderson, R. M. (2003). Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: impact of public health interventions. *Science*, 300(5627), 1961-1966.

SIRモデルは単純なモデルであるため、リアルタイムに疫学的性質や対策の有効性を評価するために優れている。それに対して、エージェントベースモデルは単純な数式で表現しておらず複雑であるためリアルタイムでの基本的なパラメータの推定には向いていない(大日・菅原(2009)、53頁)。他方、エージェントベースモデルは、人々の行動を変えるような様々な施策を導入した時の感染者数の推移への影響などを様々なケースについて検討することなどに優れている。例えば、小学生の学校への登校を休止するなどの対策の評価する際には「最適、かつ必要不可欠な手法」であり「仮想的であるが故に非常にパワフル」であり、結果として「現在のWHO、あるいは日本を含め世界での対策の基本」となっている。例えば、前述のFerguson(2005)やLongini(2005)の結論に基づき、地域封鎖という初期封じ込めがWHOのパンデミック対策の柱となっているとのことである。

また、前述のGerman(2006)に基づき、日本で2007年に制定された「新型インフルエンザ対策ガイドライン(フェーズ4以降)」(新型インフルエンザ専門家会議、2007年3月

---

<sup>14</sup> 大日康史・菅原民枝(2009)「パンデミック・シミュレーション:感染症数理モデルの応用」技術評論社

26日)で「家族・施設内予防投薬」を行うことを基本戦略とし、可能であれば地域封鎖を行うこととしているとのことである。(大日・菅原(2009)、54-57頁)

ただし、日本においてはこれまで感染症対策において数理モデル、シミュレーション研究等の成果が利用されたことは少ないとみられる。

例えば、感染症についてのシミュレーション研究をしている研究者(システム理工学部環境システム学科所属、社会システム科学を専攻)はインタビューで、これまでに実際にシミュレーションやその分析をもとにして行政が感染症対策をした事例を教えて欲しいとの質問に対して、「シミュレーションが活用された事例は聞いたことはありません」「小さいレベルでは過去に伊豆大島でインフルエンザ感染流行について疫学研究者と工学研究者の合同チームで調査研究を行い、大島町長に集団ワクチンの接種を勧める提言をし・・・実際にワクチン接種が実施」されたとの事例があると回答している<sup>15</sup>。

また、2009年4月に発生した新型インフルエンザ(A/H1N1)への対応の総括報告書である「新型インフルエンザ(A/H1N1)対策総括会議 報告書」(厚生労働省、2010年6月10日)において数理モデルへの言及はなかった<sup>16</sup>。同報告書では、提言として、感染症の病原性等に応じて、水際対策、学校閉鎖等の対応策について、「感染力だけでなく致死率等健康へのインパクト等を総合的に勘案して複数の対策の選択肢を予め用意し、状況に応じて的確に判断し、どの対策を講じるのかを柔軟に決定するシステムとすべき」と書いているが、そのツールとして数理モデルについての言及がなかったものである。

この他、2002年のSARS、2012年のMERS、2014年のエボラ出血熱、2015年のジカ熱への対応の際にはどうだっただろうか。これらの感染症では感染者数が少なかったこともあり、日本国内における感染状況を分析、予測するための数理モデルの必要度が小さかったということかも知れない。

なお、大日・菅原(2009、61頁)によれば、諸外国では国家プロジェクトとして数百億円の予算規模で、スーパーコンピュータを数台も駆使して数理モデルの開発がされているとの見方があるのに対して、日本では新型インフルエンザの数理モデル開発のための政府予算は殆どないとのことである。他方、米国や英国の研究者の作成した数理モデル(エージェントベースのもの)では家庭、学校、職場をモデルに入れているが、日本では「通勤電車」を通勤・通学で多くの人が利用する点がこれらの国とは異なっているので、日本における感染拡大状況をモデル化するためにはそれを考慮するなどの変更を行うことが必要との指摘がある(大日・菅原、74頁)。

ただし、次セクションで説明するように、米国や英国と比較すれば研究予算規模は小さいとみられるが、2010年代の中ごろからは感染症の数理モデルに関連する研究に対して、厚生労働科学研究費や科学研究費助成事業(科研費)の助成は多くなってきている。

<sup>15</sup> 芝浦工業大学 website。「【特別企画】感染症対策とシミュレーション —社会システム科学の可能性— 市川 学 准教授(前編)」<<https://www.shibaura-it.ac.jp/news/nid00001123.html>>

<sup>16</sup> <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou04/dl/infu100610-00.pdf>

### 2.3 日本における感染症の数理モデルについての研究：研究費助成の状況

表 2-1 が示すように、数理モデルの利用については 2010 年代以降は研究資金が徐々に提供されるようになってきている。2014 年に厚生労働科学研究費として開始し、2015 年度以降は AMED の研究費として、3 年毎に更新して実施されている。研究費の課題名は「感染症対策に資する数理モデル研究の体制構築と実装」であり、「新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業」の一課題として実施されている。「感染症対策の考案に資する数理モデルを利用した研究実装を行い、国際的に許容される質を担保しつつ活用事例の経験を積んでいく」ことが目的とされているとのことである。同研究では 2017 年度に、エボラ出血熱、中東呼吸器症候群（MERS）、デング熱などの振興再興感染症発生時には、主要な疫学的指標の推定（感染時の致命リスク、基本再生産数、実効再生産数）や感染症モデルによる感染者数予測等を行っている（西浦・川端（2020、24 頁））<sup>17</sup>。

表 2-2 では、2000 年度以降に科学研究費助成事業（科研費）で助成金を受けた研究課題を示す。この表から読み取れることは以下である。

- ・ 感染症の数理モデルを研究する研究者は限られているということがよく言われるが、過去 20 年間で、感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費を受領したことのある研究者は数人というよりは数十人である。ただし、科研費課題として取り組んだこともあっても現在まで継続してそのテーマを研究しているとは限らない。
- ・ 感染症の数理モデルに関連する科研費の研究分野は、数学一般(含確率論・統計数学)が多い。その場合、数学者が応用数学のテーマとして研究している。数学者による研究と比較すると、医学や公衆衛生学をバックグラウンドとする研究者による研究課題は比較的少ない。上の専門とする研究者の層が薄いとの認識が公衆衛生分野の研究者にあるとすれば、それは公衆衛生学分野で数理モデルを使った研究をしている研究者数が小さいことを意味しているものと考えられる。その他の研究分野は、社会システム工学・安全システム、医療社会学などである。我が国において、医学や保健、公衆衛生学においてこれまで主要な研究分野として位置づけられてこなかった可能性がある。
- ・ 数学者が応用数学のテーマとして研究を実施している場合には医学関係者、公衆衛生関係者とのネットワークが少ないか、殆どない可能性がある（具体的なフィールドデータの分析を必要とするまでの応用は研究していないため）。従って、数学分野での応用的な研究成果が公衆衛生学の専門家や研究者が行うリアルタイムの分析等にとっては役立っていない可能性がある（実務に使うには高度すぎる数学的な知見などが中

<sup>17</sup> 西浦博・川端裕人（2020）「理論疫学者・西浦博の挑戦—新型コロナからいのちを守れ！」中央公論新社。

心となっているとみられるため)。また、新型コロナウイルス感染症のような危機時の対応において両者が協力して研究成果を活用した貢献をすることを想定することも難しい可能性がある。

- ・ 基盤研究 C のテーマが殆どであり、300～500 万円程度の課題が多い。大きな規模のものでも複数年で 2 千万円弱である。米国などで行われるというようなスパコンの使用などを要する大規模予算を要する研究はされていないとみられる。また、エージェントベースのモデルで大規模な計算を要するような研究も数少ないとみられる。
- ・ 英国などで新型コロナウイルス感染症後の数理モデルの協力的な研究体制を構築する動きがみられるが、そのような協力体制の構築を支援するような資金配分はこれまでのところみられない。

また、科研費の研究課題については以下のような研究の傾向が見られる。

- ・ 数学者や工学部の研究者による研究では、基本的な SIR モデル（微分方程式系）に基づき、それに年齢、空間構造、性別等の個別性や、環境条件を加えた時、伝播の時間要素（感染と伝播の時間差）を考慮した時、境界条件を変更した時等の各種の条件を加えた際に、それらを盛り込んだ微分方程式系においてどのような平衡解が得られるか、あるいは安定解が得られるか、といった応用数学の研究である。
- ・ 医学・疫学・保健分野の研究者は、いつ感染症が収束したと判定できるのか、ワクチン接種をどのように進めればいいのかといった、より実地的な課題についての研究や、日本や世界各地の様々な感染症の疫学データを収集し分析した研究などがみられる。数理モデルの種類については SIR モデルやエージェントベースモデルなどがあるが、数理モデル自体の発展や開発を中心的な研究課題としている論文は殆ど見られず、多くはこれまでに利用されたものの改善に留まっているものとみられる。
- ・ 医学・疫学・保健分野の研究者が行っている研究課題において、研究対象となっている感染症は、HIV 等の性感染症、インフルエンザ、ノロウイルス、マラリア RS ウイルス、デングウイルス感染症等である。研究課題実施時に流行した感染症について取上がられたものが多いようである。
- ・ 新型コロナウイルス感染症発生に関連する課題として 2021 年度からリアルタイムでのリスク評価や施策評価などの研究課題が開始している。既に終了し、十分なデータが収集されている感染症についてパラメータ推定をすることと、十分なデータが集まっていない流動的な段階であっても対策を打ち出す必要があるパンデミック時とは質的に大きな違いがあるためである。ただし、関連する課題は採択されているが特にそれまでと比較して規模（配分金額、研究者チームの人数規模）が大きくなっているようには見えない。他の国（英国など）と比較した時に、COVID-19 対応のファンディングは速やかに適切に対応できているのだろうか疑問が残る。英国では大規模な資金配

分と、SAGE の数理モデルの分科会に属する研究者（英国の様々な大学に所属）をメンバーとするような大学間組織の設置が決定されたとのことである。

表 2-1：感染症の数理モデルに関係する主な研究課題（厚生科学研究費、AMED 研究費）

年度	プログラム名	課題名	研究代表者	配分額
2007～2009 年度		バイオテロの曝露状況の推定、被害予測・公衆衛生的対応の効果評価のための数理モデルを利用した天然痘ワクチンの備蓄及び使用計画に関する研究	岡部 信彦(国立感染症研究所 感染症情報センター)	1159 万円 (2007) 885 万円 (2008) 650 万円 (2009)
2010～2012 年度	厚生労働科学研究費補助金 健康安全確保総合研究 健康安全・危機管理対策総合研究	バイオテロのリスク評価、数理モデルの開発とガイドラインの整備、臨時予防接種の円滑な実施できる体制についての検討	岡部 信彦(国立感染症研究所 感染症情報センター)	510 万円 (2010) 380 万円 (2011) 275 万円 (2012)
2014～2016 年度	厚生労働科学研究費補助金 疾病・障害対策研究分野 エイズ対策政策研究	発生动向を理解するための HIV 感染者数の推定手法の開発	西浦博 (北海道大学)	85.5 万円 (2014) 84.5 万円 (2015) 77 万円 (2016)
2014～2016 年度	AMED「新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業」	感染症対策における政策判断のための数理モデル研究基盤の構築と発展	西浦博 (東京大学)	769 万円 (2014) 1378 万円 (2015) 1000 万円 (2016)
2017～2019 年度	同上	感染症対策に資する数理モデル研究の体制構築と実装	西浦博 (北海道大学)	1600 万円 (2017) 1600 万円 (2018) 1000 万円 (2019)
2020～2022 年度	同上	感染症対策における数理モデルの拡大的活用研究	西浦博 (京都大学)	—

注：出典のデータベースで数理モデル、感染症で検索し、課題名に数理モデルを含むなど感染症の数理モデルに関係するとみられる研究課題を抽出した。

出典：厚生労働省科学研究費、AMED 研究費データベースの検索結果に基づく。

表 2-2 : 感染症伝播の数理モデルに関する主な研究課題 (日本学術振興会 科学技術研究費)

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
2000～2002 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	構造化人口動態学の数学的理論と応用に関する研究	稲葉 寿 (東京大学)	340 万円
2000～2001 年度	基盤研究 C	複雑系としてのヒトの性行動と性感染症流行の数理的解析	梯 正之 (広島大学)	370 万円
2001～2003 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	三日熱マラリア感染症数理モデルの構築とそのシミュレーション	石川 洋文 (岡山大学)	260 万円
2003～2006 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	構造化固体群動態モデルの数学的理論とその応用に関する研究	稲葉 寿 (東京大学)	360 万円
2001～2003 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	エキノコックス症数理モデルの深度化と応用シミュレーション	石川 洋文 (岡山大学)	331 万円
2004～2006 年度	基盤研究 C (医療社会学)	感染症危機管理のための住民意識調査とそれに基づく流行予測・予防施策評価技法の開発	梯 正之 (広島大学)	340 万円
2004～2005 年度	基盤研究 C (計算科学)	従来の数理モデルでは取り扱えない新規の感染症伝播予測システムの構築と応用	中村 彰 (秋田大学)	370 万円
2005～2006 年度	基盤研究 C (医療社会学)	数理モデルを用いたパンデミック・インフルエンザ・プランニングの研究	大久保 一郎 (筑波大学)	340 万円
2006～2009 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	感染症の動態を記述する微分方程式系の定性理論	佐々木 徹 (岡山大学)	275 万円
2006～2008 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	クラミジア性感染症と不妊症の数理疫学モデル	田畑 稔 (大阪府立大学)	409 万円
2006～2007 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	新型インフルエンザ流行防御のための数理モデル	安田 英典 (城西大学)	148 万円
2006～2009 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	反応拡散モデルにもとづく侵入と伝播の数理的研究	細野 雄三 (京都産業大学)	399 万円
2006～2007 年度	若手研究 (社会システム工学・安全システム)	個人の行動及び個人保護具による新興感染症予防に関する理論疫学的研究	西浦 博 (長崎大学)	270 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
2007～2009 年度	特別研究員奨励費 (数学一般(含確率論・統計数学))	数理モデルによる 医学における複雑 現象の解明	岩見 真吾 (静岡大 学)	270 万円
2007～2009 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	構造化個体群動態 学の数学的理論と その感染症数理モ デルへの応用に関 する研究	稲葉 寿 (東京大学)	455 万円
2009～2011 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	感染症伝染ダイナ ミクスの離散時間 モデルの数理的構 造に関する研究 研究課題	瀬野 裕美 (広島大 学)	442 万円
2009～2012 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	新型インフルエン ザ流行予測モデル の深度化と流行制 圧戦略シミュレー ション	石川 洋文 (岡山大 学)	351 万円
2009～2011 年度	基盤研究 B (生態・ 環境)	空間・社会ネットワ ーク上の伝染病流 行の時空間動態と 進化	佐々木 颯 (総合研 究大学院大)	1898 万円
2010～2012 年度	特別研究員奨励費 (生態・環境)	生態学と感染症動 態の数理的研究	巖佐 庸 (九州大学)	200 万円
2010～2012 年度	特別研究員奨励費 (環境影響評価・ 環境政策)	野生生物感染症の 生態学:宿主繁殖生 態を利用した病原 ウイルスの伝播メ カニズム	内井 喜美子 (東京 大学)	280 万円
2010～2012 年度	特別研究員奨励費 (大域解析学)	豚を媒介者とする 新型インフルエン ザ感染症の数理モ デル構成およびそ の解析	國谷 紀良 (東京大 学)	210 万円
2010～2012 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	数学的構造化個体 群動態学とその感 染症数理モデルへ の応用に関する研 究	稲葉 寿 (東京大学)	416 万円
2010～2012 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	時間遅れを含む微 分方程式系の大域 的安定性とその医 学への応用	竹内 康博 (青山学 院大学)	403 万円
2010～2014 年度	基盤研究 C (数学 一般(含確率論・統 計数学))	感染症ダイナミク スに関する数理モ デルの解析	佐々木 徹 (岡山大 学)	390 万円
2010～2011 年度	若手研究 B (公衆 衛生学・健康科学)	ヒトとヒトの接触 行動を考慮した学 級閉鎖等の最適な 開始基準と実行期 間の検証	竹内 昌平 (宮崎大 学)	403 万円
2011～2013 年度	特別研究員奨励費 (社会システム工	データ同化技術を用いた、マルチスケ	江島 啓介 (東京大 学)	190 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
	学・安全システム)	ールな感染症伝播モデルの構築と評価		
2011～2014 年度	基盤研究 B (医療社会学)	地域間「感染距離」に基づく学校感染症対策のための Web 上双方向システムの開発	梯 正之 (広島大学)	741 万円
2011～2013 年度	挑戦的萌芽研究	統計数理モデリングに基づく感染症拡大予測と科学的政策決定	井元 清哉 (東京大学)	351 万円
2012～2014 年度	基盤研究 C (大域解析学)	感染症数理モデルの基本再生産数に関する大域漸近安定理論	室谷 義昭 (早稲田大学)	208 万円
2012～2014 年度	基盤研究 C (数学一般(含確率論・統計数学))	複雑ネットワーク上の感染症ダイナミクスの解析と動的ワクチン接種法の提案	長谷川 雄央 (東北大学)	455 万円
2013～2015 年度	基盤研究 C (ウイルス数学一般(含確率論・統計数学))	狂犬病ウイルスの伝播ダイナミクス及びワクチン戦略研究	当广 謙太郎 (東北大学)	300 万円
2013～2015 年度	基盤研究 C (数学基礎・応用数学)	構造化個体群ダイナミクスの数学的理論と感染症数理モデルへの応用	稲葉 寿 (東京大学)	494 万円
2013～2015 年度	基盤研究 C (制御・システム工学)	確率システム制御理論に基づく感染症抑制戦略とその応用	石川 昌明 (山口大学)	507 万円
2013～2014 年度	若手研究 B (統計科学)	時空間点過程によるインフルエンザ伝播モデルの構築	坂口 隆之 (山形大学)	182 万円
2013～2015 年度	若手研究 B (生命・健康・医療情報学)	感染伝達ダイナミクスを重視したインフルエンザ予報システムの開発	齋藤 正也 (統計数理研究所)	247 万円
2013～2014 年度	研究活動スタート支援 (数学解析)	生物集団の年齢構造と空間伝播に着目した非線形反応拡散方程式の解析	國谷 紀良 (神戸大学)	208 万円
2014～2015 年度	特別研究員奨励費 (数学基礎・応用数学)	遅延方程式による構造化個体群モデルの開発と数理解析及び疫学、細胞生物学への応用 研究課題	中田 行彦 (東京大学)	300 万円
2014～2017 年度	基盤研究 C (統計科学)	インフルエンザ感染システムの統計科学的研究	江島 伸興 (京都大学)	468 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
2014～2018年度	基盤研究 C (数学基礎・応用数学)	ある種の差分方程式の性質解明と数値計算の活用	石渡 恵美子 (東京理科大学)	468 万円
2014～2015年度	挑戦的萌芽研究 (疫学・予防疫学)	数理モデルを利用した予防接種の最適化研究	西浦 博 (東京大学)	312 万円
2014～2016年度	若手研究 A (生命・健康・医療情報学)	発病情報に基づく感染動態の定量化	西浦 博 (東京大学)	702 万円
2014～2015年度	若手研究 B (疫学・予防医学)	インフルエンザに対する学校閉鎖の効果을明らかにするための縦断的疫学研究	内田 満夫 (信州大学)	156 万円
2014年度	研究活動スタート支援 (疫学・予防医学)	制圧間近の麻疹の流行発生リスクと緊急予防接種の効果の推定－数理モデル・疫学的分析	水本 憲治 (東京大学)	143 万円
2013～2015年度	基盤研究 C (数学基礎・応用数学)	デング熱・デング出血熱再興予測モデルの展開と流行抑制戦略シミュレーション	石川 洋文 (東京医科歯科大学)	299 万円
2015～2017年度	基盤研究 C (大域解析学)	感染症数理モデルの基本再生産数に関する大域漸近安定理論	室谷 義昭 (早稲田大学)	208 万円
2015～2018年度	挑戦的萌芽研究 (社会システム工学・安全システム)	プロジェクトマネジメントの応用的研究－重要家畜伝染病の防疫活動への適用－	岡崎 直宣 (宮崎大学)	377 万円
2015～2018年度	若手研究 B (ソフトウェア工学)	複雑ネットワーク理論による感染症拡大解析と対策最適化	藤原 直哉 (東北大学)	403 万円
2015～2018年度	若手研究 B (数学基礎・応用数学)	空間構造と年齢構造を含む感染症流行モデルとしての非線形反応拡散方程式系の解析	國谷 紀良 神戸大学	312 万円
2015～2017年度	若手研究 B (疫学・予防医学)	性行動データからの時間変動する性的接触ネットワークと性感染症流行レベルの推定	大森 亮介 (北海道大学)	403 万円
2015～2017年度	若手研究 B (疫学・予防医学、社会システム工学・安全システム)	数理モデル・疫学的分析を用いたデング熱等の蚊媒介疾患流行リスクの推定	水本 憲治 (北海道大学)	390 万円
2015～2017年度	基盤研究 B (知能情報学)	文字列統計量を用いたベイズ推定に	伊藤 公人 (北海道大学)	1131 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
		よるインフルエンザウイルスの抗原変異予測		
2016～2017年度	研究活動スタート支援(統計科学)	ノロウイルス感染の自然史に関する定量化研究	松山 亮太(北海道大学)	299万円
2016～2018年度	基盤研究C(数学基礎・応用数学)	構造化個体群モデルの数学的理論とその感染症疫学および人口学への応用	稲葉 寿(東京大学)	455万円
2016～2019年度	基盤研究C(生物物理・化学物理・ソフトマターの物理)	マスター方程式によるネットワーク上の感染症ダイナミクスの解析	根本 幸児(北海道大学)	455万円
2016～2018年度	基盤研究C(制御・システム工学)	確率論的アプローチに基づく感染症抑制戦略の実用化と新たな展開	石川 昌明(山口大学)	481万円
2016～2017年度	挑戦的萌芽研究(疫学・予防医学)	感染症流行の終息判定手法の開発	西浦 博(北海道大学)	364万円
2016～2020年度	若手研究B(数学基礎・応用数学、数学解析)	遅延方程式により定式化される感染症モデルの数理解析:免疫減衰と不安定性	中田 行彦(島根大学)	416万円
2016～2018年度	基盤研究C(連携探索型数理科学)	新興感染症の流行を先取りしたリアルタイム推定研究の実装	西浦 博(北海道大学)	468万円
2017～2020年度	若手研究A(生命・健康・医療情報学)	感染者隔離効果の推定手法開発と隔離の有効性メカニズムの解明	西浦 博(北海道大学)	2444万円
2017～2018年度	新学術領域研究(研究領域提案型)(ネオウイルス学:生命源流から超個体、そしてエコ・スフィアへ)	疫学情報と遺伝情報を組み合わせた自然界の微生物保持機構の理論的解明	西浦 博(北海道大学)	650万円
2017～2019年度	特別研究員奨励費(環境リスク制御・評価)	発展途上国における水系感染症モデル開発と電子携帯端末サーベイランスシステムの構築	三浦 郁修(東京大学)	280万円
2017～2018年度	若手研究B(社会システム工学・安全システム、数理情報学)	多層動的ネットワークによるパンデミック阻止に資するワクチン接種戦略の解明	一ノ瀬 元喜(静岡大学)	247万円
2018～2020年度	特別研究員奨励費(疫学・予防医学)	家庭内伝播の観察データを駆使したノロウイルス感染	松山 亮太(広島大学)	403万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
		ダイナミクスの定量化研究		
2018～2020 年度	特別研究員奨励費 (疫学・予防医学)	ワクチン予防可能疾患の集団免疫度に関する評価体系の構築	木下 諒 (北海道大学)	220 万円
2018～2020 年度	基盤研究 C (応用数学および統計数学関連)	異なる時間スケールをもつ過程から成る生物現象のモデリングの数理	瀬野 裕美 (東北大学)	403 万円
2018～2020 年度	基盤研究 C (応用数学および統計数学関連)	動的ネットワークの汎用モデルの構築とその一般理論	守田 智 (静岡大学)	442 万円
2018～2020 年度	基盤研究 C (ソフトウェアコンピューティング関連)	人の流動の大規模データを用いた時空間ネットワーク解析基盤の構築	藤原 直哉 (東北大学)	442 万円
2018～2020 年度	基盤研究 C (生命、健康および医療情報学関連)	定点観測と血清調査による季節性インフルエンザ感染者総数の推定	齋藤 正也 (統計数理研究所)	390 万円
2018～2019 年度	若手研究 (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	数理・統計・疫学モデルを利用した RS ウイルス感染症流行の時空間異質性の解明	水本 憲治 (京都大学)	312 万円
2018～2020 年度	若手研究 (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	日本における社会構造を考慮したインフルエンザワクチン接種政策の最適化	都築 慎也 (国立研究開発法人国立国際医療研究センター)	416 万円
2018～2020 年度	若手研究 (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	不完全情報あるいは間接的情報に基づく感染性の指標、基本再生産数の推定	浅井 雄介 (国立研究開発法人国立国際医療研究センター)	416 万円
2019～2021 年度	基盤研究 B (生態学および環境学関連)	疫学パラメータの個体間差異が感染症拡大と生態系全体へ及ぼす影響の解明	三木 健 (龍谷大学)	1781 万円
2019～2021 年度	基盤研究 C (応用数学および統計数学関連)	構造化個体群ダイナミクスにおける基本再生産数理論の研究	稲葉 寿 (東京大学)	429 万円
2019～2021 年度	基盤研究 C (制御およびシステム工学関連)	確率システム理論に基づく年齢・空間構造を考慮した感染症抑制戦略とその応用	石川 昌明 (山口大学)	429 万円
2018～2020 年度	基盤研究 C (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系)	Deep Learning による感染症流行予測モデルの構築に	内田 満夫 (群馬大学)	390 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
	を含まない)	関する研究		
2019～2022 年度	若手研究 (応用数学および統計数学関連)	構造化感染症モデルの数学的性質の解析と疫学的考察への応用	國谷 紀良 (神戸大学)	429 万円
2019～2022 年度	若手研究 (応用数学および統計数学関連)	数理生物モデルにおける力学系の漸近挙動および閾値原理への応用	江夏 洋一 (東京理科大学)	312 万円
2019～2022 年度	若手研究 (医療薬学関連)	数理モデルを用いたインフルエンザの流行と治療法の評価	地寄 悠吾 (京都薬科大学)	221 万円
2019～2020 年度	研究活動スタート支援 (社会医学、看護学およびその関連分野)	数理モデルを用いたワクチンの間接的効果と最適な予防接種政策の特定	鈴木 絢子 (北海道大学)	286 万円
2019～2020 年度	研究活動スタート支援 (社会医学、看護学およびその関連分野)	RS ウイルス感染症の発生動向変動要因の探索と発生動向予測に関する疫学的研究	三山 豪士 (地方独立行政法人 大阪健康安全基盤研究所)	260 万円
2019～2022 年度	国際共同研究強化 B (社会医学、看護学およびその関連分野)	疫学と数理モデルを融合したコウモリ由来感染症のリスク分析	大松 勉 (東京農工大学)	1820 万円
2020～2023 年度	基盤研究 B (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	移動情報を利用したインフルエンザ等の流行因子の解明—数理・統計・疫学モデル	水本 憲治 (京都大学)	1755 万円
2020～2022 年度	基盤研究 C (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	フィリピンにおけるチクングニアウイルス伝播に関わる因子の解析	齊藤 麻理子 (東北大学)	416 万円
2020～2022 年度	若手研究 (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	BCG 接種制度見直しにおける小児結核リスクの推定とベネフィット・リスク評価	濱口 由子 (公益財団法人結核予防会)	325 万円
2020～2022 年度	若手研究 (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	数理モデルによるデングワクチンの最適利用戦略	林 克磨 (北海道大学)	260 万円
2021～2023 年度	国際共同研究強化 A (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	移動情報を利用した新型コロナウイルス感染症の流行因子の解明	水本 憲治 京都大学	1404 万円
2021～2025 年度	基盤研究 B (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)	新型コロナウイルス感染症の異質性や不顕性を加味したリアルタイム評	西浦 博 (京都大学)	1703 万円

年度	研究種目・研究分野	課題名	研究代表者	配分額
		価値研究基盤の構築		
2021～2023 年度	基盤研究 C（:建築環境および建築設備関連）	エアロゾル感染を含む 4 感染経路の水平伝播数理モデル構築と新規リスク予想基盤の創出	堀 賢（順天堂大学）	416 万円
2021～2023 年度	基盤研究 C（社会システム工学関連）	感染症流行の高信頼度予測と高信頼度リスク解析	廣瀬 英雄（久留米大学）	195 万円
2021～2024 年度	基盤研究 C（衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない）	ヒト移動数理モデルを利用した新型コロナウイルスのリスク評価手法の確立	小林 鉄郎（京都大学）	429 万円
2021～2024 年度	基盤研究 C（衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない）	COVID-19 の 2 次感染に係る異質性を加味した効果的な制御戦略の定量化	茅野 大志（京都大学）	416 万円
2021～2025 年度	若手研究（医療管理学および医療系社会学関連）	感染症流行対策としての学校休業の費用対効果を定量し最適化するシステムの開発	松山 亮太（広島大学）	429 万円

注：出典のデータベースで「数理モデル」「感染症」で検索した上で、感染症伝播の数理モデルに関係するとみられる研究課題を抽出した。2000 年度以降の採択課題。感染症はヒト・動植物の間で伝播に関するものをどちらも含むが、細胞レベルの免疫機構等の分析に数理モデルを使った研究は含んでいない。  
出典：日本学術振興会科学研究費データベースの検索結果に基づく。

図 2-2 は感染症の数理モデルに関する研究課題の科研費の採択件数を示す。件数は 2010 年代中頃からほぼ 7～10 件程度であり、2000 年代は 1～2 件程度であった頃と比較すると増加している。特に、数学者による研究課題が 2000 年代は多かったことが分かる。2010 年代中頃以降は医学保健分野の研究者も多くなってきている。このように感染症の数理モデルの研究への取組は医学部や医学研究科の疫学研究者の間では取組が盛んになってきたのは最近であること、数学者による研究課題が半数程度はあることが分かる。

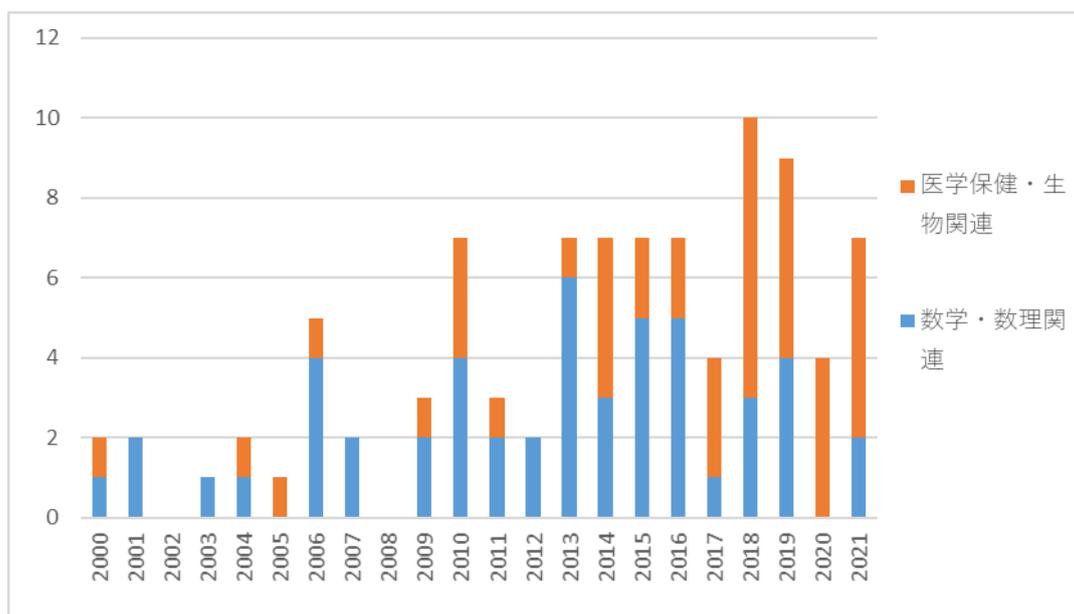
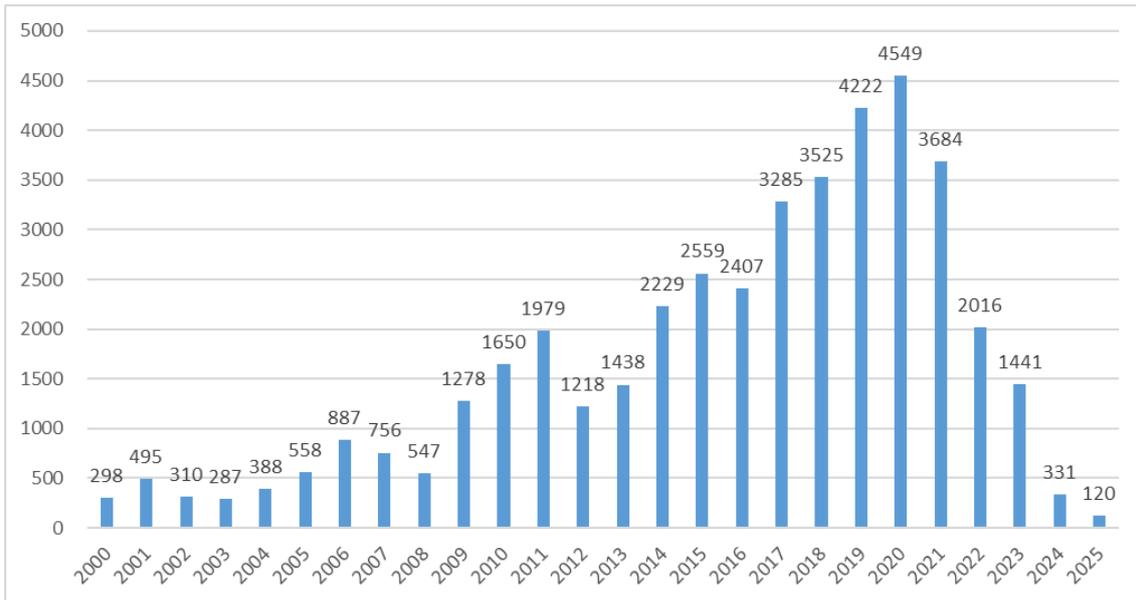


図 2-2：感染症伝播の数理モデルに関する主な研究課題の年度別件数（日本学術振興会科学技術研究費）：数学者等と医学・保健・生物分野の研究者

図 2-3 に示すように、感染症の数理モデルに関連する研究課題への科研費の配分総額は増加傾向にある。それは新型コロナウイルス感染症の発生前に既に増加傾向が見られており、同感染症が発生したから増加したという訳ではない。発生した時点の 2020 年度の配分額は 4549 万円でそれまで最も大きかったがそれはたまたまそうだけである。ただし、新型コロナウイルス感染症が流行する際に科研費を感染症の数理モデルに関連した課題で受けている人が多かったが、研究課題の経過報告書を読むと、研究内容に COVID-19 の流行の分析を反映させている人が多かったようである。ただし、研究課題の実施中に COVID-19 の調査分析作業に時間を取られて、当初の研究課題に遅れが出たと指摘している者もいた。



注) 複数年の研究課題の科研費の金額は助成金額を単純に年数で割って各年度の配分額としている (実際には複数年の課題について年度毎の配分金額は異なることがある)。

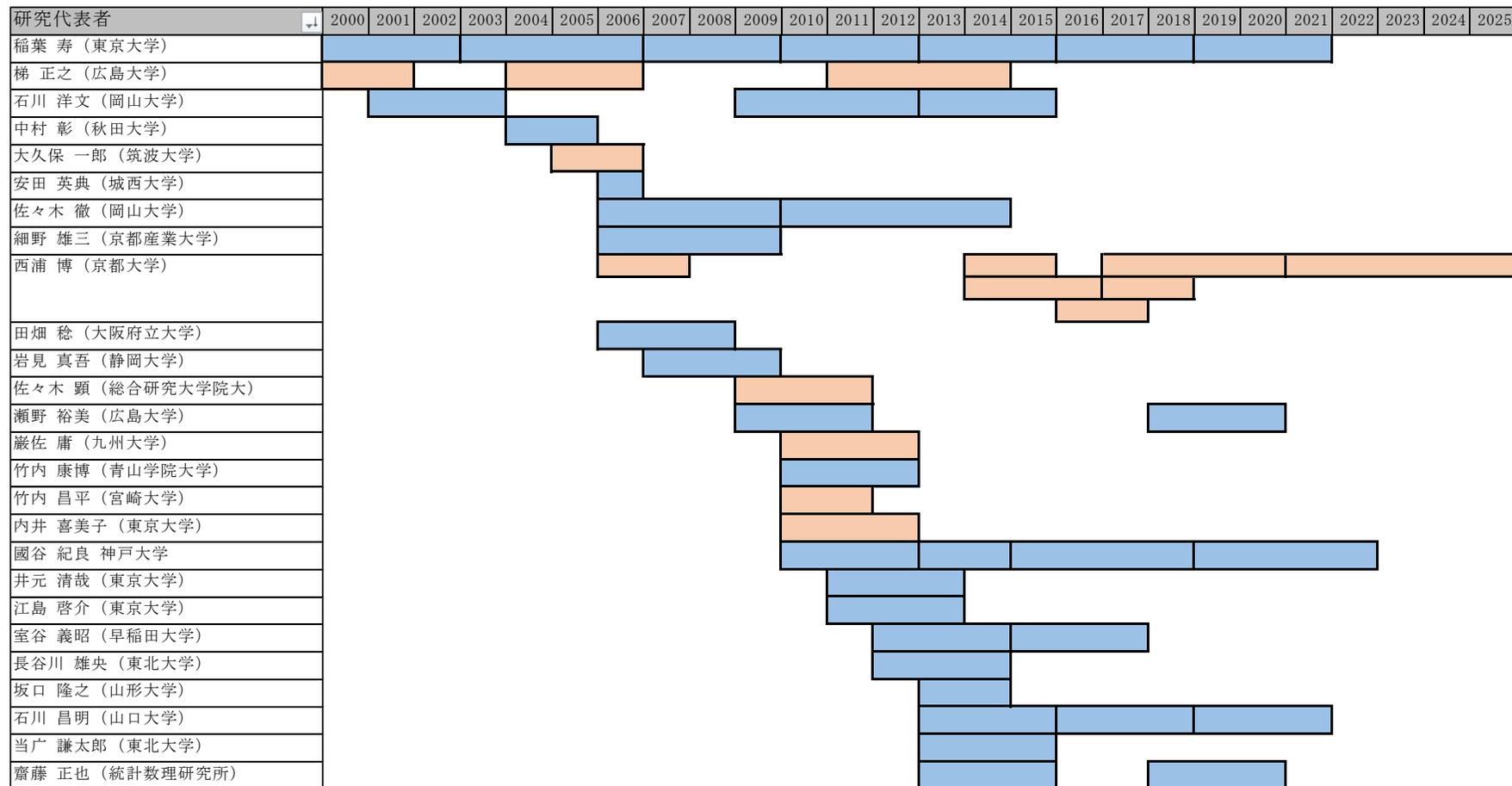
図 2-3 : 感染症伝播の数理モデルに関する主な研究課題の年度別配分金額 (日本学術振興会 科学技術研究費)

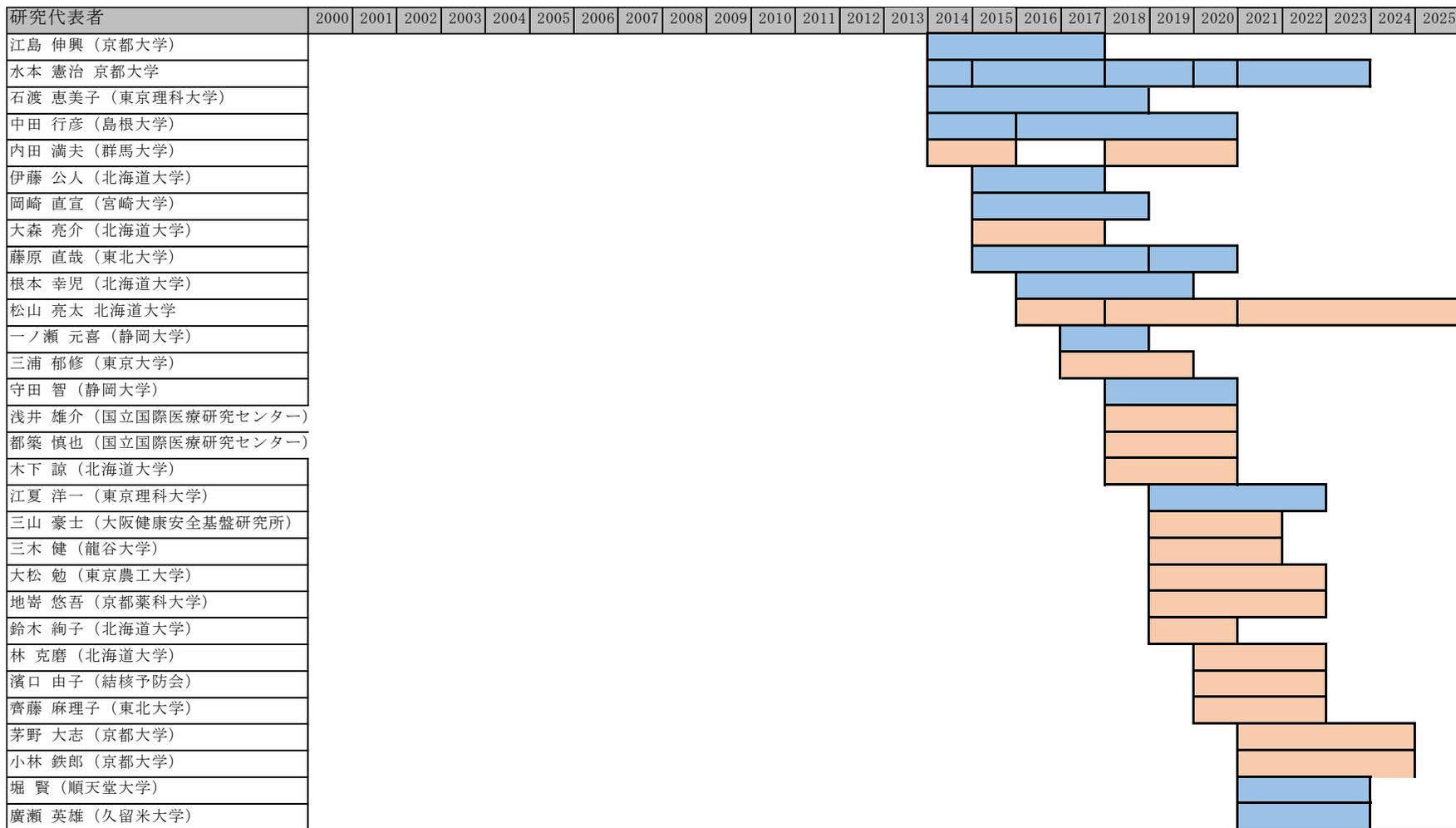
図 2-4 は感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費の助成を受けたことのある研究者について、研究課題が継続している期間を 2000 年度以降について示している。医学・保健・生物関連の研究課題はオレンジ色、数学・数理科学関連の研究課題については青色にしている。これらの分野の区分については科研費の助成区分、研究者の所属研究科とともに、研究者の専門分野を一部参照して分けたものであるが、学際的な研究分野なので、どちらの分野と決めることが難しい課題も存在する。また、数学・数理科学関連の研究課題でも数学の基礎研究であるものから応用数学であり実際的なテーマのものもあるので、大きく 2 つに区分をしたものだと考えて欲しい。図から読み取れることは以下である。

- ・ 感染症の数理モデルに関連した研究課題に科研費の助成を受けた研究者数はこの図では 57 人いるが、継続して研究テーマを採択されている研究者数は多くはない。感染症の数理モデルに関連する研究課題の助成を受けて助成期間の 1~3 年程度取り組んだ研究者でその前後に感染症の数理モデル関連の研究課題の助成を受けていない研究者も多い。特に、新型コロナウイルス感染症が発生・拡大した 2019 年度において研究活動が継続していると考えられる研究者でそれまでに複数年にわたって科研費助成を受けて研究していた研究者数は多くはない。
- ・ 医学・保健分野の研究者による感染症数理モデルの研究は前述のように、2010 年代中頃からは多くなってきた。それまでは数学・数理科学の研究者による研究課題が多かったことを見て取ることができる。

- ・ COVID-19 対策において有識者として数理モデルによる分析で注目を集めた西浦博教授は医学の疫学分野の研究者としてのキャリアを持ち、複数の科研費助成（同時期に助成を受けていたものも含む）を受けて研究してきた数少ない研究者であることが図から読み取れる。

図 2-4：感染症伝播の数理モデルに関する主な研究課題の研究者別の受領の状況（日本学術振興会 科学技術研究費、2000 年度以降）





注) オレンジ色は医学保健・生物関連の研究課題を、青色は数学・数理科学関連の研究課題を示す。それぞれの口は研究課題が複数年度にわたり継続していることを示す。

表 2-3 は、2021 年度から開始した COVID-19 に関連し、かつ、感染症数理モデルに関する科研費の研究課題を示す。このうち、京都大学大学院医学研究科 社会健康医学系専攻 環境衛生学分野の教員の研究課題が 3 つあり、日本における感染症数理モデルの一大拠点となっていることが分かる。これらの研究課題の研究内容は、リアルタイムの感染症流行評価のための数理モデルを活用した定量化方法の構築、2 次感染に係る異質性（地域や職場、年齢等）を加味した数理モデルの構築、国際的なヒト移動数理モデルを利用した新型コロナウイルスのリスク評価手法の開発である。

その他の大学の研究者の研究課題の内容は、COVID-19 対策としても実施された学校休業の費用対効果の測定、4 つの感染経路（空気・エアロゾル・飛沫・接触感染経路）について水平伝播数理モデルの構築、主に移動情報（航空移動データ等）を用いて感染症流行の流行機序を規定する要因や航空搭乗者が感染症流行に与える影響を解明すること、である。これらの研究課題の助成金額の合計は、4797 万円であり、過去数年間前と比較して特に大きく増加するようなことはなかった。

**表 2-3 : 2021 年度における COVID-19 に関連する研究課題の概要**

<p><b>感染症流行対策としての学校休業の費用対効果を定量し最適化するシステムの開発</b></p> <p>【若手研究（医療管理学および医療系社会学関連、2021～2025 年度、429 万円）：松山 亮太 広島大学、医系科学研究科(保), 助教】</p> <p>感染症流行時の学校における臨時休業（学校休業）は、学生の感染予防に資するために利益が大きいと考えられがちであるが、家庭の経済損失や教育機会の損失といった負の側面を持ち合わせる。したがって、学校休業の費用対効果を最大化する必要があるが、そのための定量的基準は未だない。そこで本研究は、「社会にとってどのような形の学校休業が望ましいか」を定量的に明らかにすることを目的として、感染症数理モデルによる流行動態の推定と、保護者の休業実態などの社会学的データを利用し、学校休業に伴う健康・経済・教育の損失と便益とを最適化するためのシミュレータを開発する。これにより学校休業の実施主体の意思決定を支援する。</p>
<p><b>COVID-19 の 2 次感染に係る異質性を加味した効果的な制御戦略の定量化</b></p> <p>【基盤研究 C（衛生学および公衆衛生学分野関連・実験系を含まない、416 万円）、2021～2025 年度：茅野 大志 京都大学、医学研究科, 特定助教】</p> <p>本研究は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の 2 次感染に係る異質性（地域や職場、年齢等）を加味した数理モデルを構築し、制御戦略を定量化することにより最適な流行対策を科学的に明らかにするものである。数理モデルを活用することにより、感染症の流行動態および個人・集団の 2 次感染に関する異質性を組み込んだ客観的な記述が可能となり、COVID-19 の効率的な制御戦略の定量的評価を行う。これにより、最適かつ最も効率的な流行対策を明らかにし、COVID-19 の大規模流行を回避することが可能な方策を明らかにする。また制御戦略は流行を抑え込むだけでなく、将来的な大規模流行に備えたモニタリング手法の発展にも繋げる。</p>

### ヒト移動数理モデルを利用した新型コロナウイルスのリスク評価手法の確立

【基盤研究 C (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない、429 万円)、2021~2025 年度:小林 鉄郎 京都大学, 医学研究科, 特定助教】

数理解析モデルを用いて 4 年間を通じて段階的に組み立てて、以下の 3 つの大項目に取り組む。

1. 観察データを利用した国際的移動に伴う流行リスクの推定
2. 国際的移動の前後に検査を実施した場合の流行リスク検討(抗原・PCR 検査)
3. 国際的移動前に部分免疫が付与された時の流行リスク検討(抗体パスポート、ワクチン)

これらを通じて、渡航制限や停留も加味し、輸入感染による日本国内で新型コロナウイルスの再流行を起こしにくい対策の組み合わせを明らかにする。更に、将来他のウイルス感染症が流行した際の流行予防デザインの理論的基盤を確立し、政策提言にまで結びつける。

### エアロゾル感染を含む 4 感染経路の水平伝播数理モデル構築と新規リスク予想基盤の創出

【基盤研究 C (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない、416 万円)、2021~2025 年度:堀 賢順 順天堂大学, 医学(系)研究科(研究院), 教授】

COVID-19 の感染伝播に寄与したと推定されるエアロゾルの動態解析を基に、4 感染経路(空気・エアロゾル・飛沫・接触感染経路)について水平伝播数理モデルの構築を行い、新規に感染症が発生するリスクを予想するシステムを開発する。また、モデルで予測された数値を、実際のクラスター事例の解析や実存の既存建築における測定結果と比較し補正を行うことで予測精度の向上を行う。最終的には、抽出された実存建築における問題点に対し、リスクに応じた対策方法を示す感染対策マトリクスを作成する。

### 新型コロナウイルス感染症の異質性や不顕性を加味したリアルタイム評価研究基盤の構築

【基盤研究 C (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない、2021~2025 年度、1703 万円:西浦博 京都大学, 医学研究科, 教授】

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行で数理モデルを活用した分析を行ってきたが、評価の細部技術において様々な科学的問題が浮き彫りになった。本研究の目的は、リアルタイムの感染症流行評価のための数理モデルを活用した定量化方法を構築することである。次の 3 つの研究項目に取り組む: (1) 職種別の実効再生産数推定、(2) 不顕性感染者の 2 次感染リスク推定手法の開発とクラスター対策の妥当性評価、(3) ヒト移動データとゲノム情報を駆使した移動に伴う流行リスクの定量化。きめ細やかな感染症対策の選択やヒト移動に関わる政策判断などを行うための革新的なリアルタイム評価基盤を構築する。

### 移動情報を利用した新型コロナウイルス感染症の流行因子の解明

【国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(A)) (衛生学および公衆衛生学分野関連:実験系を含まない)、2021~2023 年度、1404 万円:水本 憲治 京都大学, 総合生存学館, 特定助教】

本研究では、数理・統計・疫学モデルを主な研究手法として活用しつつ、主に移動情報(航空移動データ等)を用い、疾病負荷が極めて高い新型コロナウイルス感染症を対象に、次の学術的疑問に回答をよせることを目標としている。

1. 感染症流行の流行機序(流行入り/ピーク/流行期間)を規定する要因は何なのか。
2. 航空搭乗者が感染症流行に与える影響はどの程度か。

日本における流行入り/ピーク/流行期間に影響を与える因子を解明し、ヒト移動を対象とした公衆衛生的対

策の効果の提示を通じ、被害規模の漸減に大きく貢献することを期待する。

なお、新型コロナウイルス感染症対策専門家会議（第 15 回、令和 2 年 5 月 29 日開催）では、今後の COVID-19 対策政策の在り方に関連し、以下のような発言があったとのことである<sup>18</sup>。

- ・ 日本で感染症疫学をやる専門家、感染症疫学をやる研究者が圧倒的に少ないということがこれまでの課題だったのだと思う。これまでこういうことがあると、とにかく大きな予算がワクチンの開発とか診断薬、薬の開発とかに使われるけれども、疫学調査ということに全くお金が来ない。ここで言われているお金の 1,000 分の 1 ぐらいあればいいのだが、そういうことにお金が使われてこなかった。そういう人材が育成されてこなかったということが今の事態を生んでいるのだと思う。
- ・ 研究体制の課題は従前からの課題も多くあり、例えば臨床検体を集める体制の不備等はほかの研究分野でも多くあったり、散逸しているのもそのとおりなので、この感染症に関することに限って書くのか、あるいは従前からのいろいろな諸問題も積み上げて書くのかというのはちょっと検討していただきたいと思う。

---

<sup>18</sup> 出典：新型コロナウイルス感染症対策 専門家会議（第 15 回）議事概要  
（令和 2 年 5 月 29 日）

<[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel\\_coronavirus/senmonkakaigi/s\\_gaiyou\\_r020529.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/senmonkakaigi/s_gaiyou_r020529.pdf)>



### 3. 新型コロナウイルス感染症対策における数理モデルの利用：事例調査（英国、日本）

このセクションでは新型コロナウイルス感染症への対応策を検討する上でどのような数理モデルがどのような目的で使用されたかについてファクツを整理する。感染症の数理モデルとしては感染者数を予測するための SIR モデルが感染疫学の教科書でも取り上げられることが多い。ここでは SIR モデルに限定されることなく、対象とする数理モデルについては幅広く取り上げることとしたい。

#### 3.1 英国

##### 3.1.1 緊急時における英政府の科学的助言組織

英国には、パンデミックのような非常時に複数の省庁間で政策立案する「内閣府ブリーフィングルーム」(COBR: Cabinet Office Briefing Rooms) があり、緊急時は、関係省庁がとる対応の調整機関として「緊急時科学的助言グループ」(SAGE)が COBR に設置される。今回の新型コロナウイルス感染症への対応でも SAGE は科学的な見地からコロナ拡大防止策への助言を行っている。SAGE の委員長は、英政府首席科学顧問 (GCSA: Government Chief Scientific Adviser)である Sir Patrick Vallance が務め、定期的に会合を開き、各分野の専門家からの意見を聴取、議論している。緊急時の科学的助言システム COBR、SAGE の関係図は図 3-1 のとおりである。<sup>19</sup>

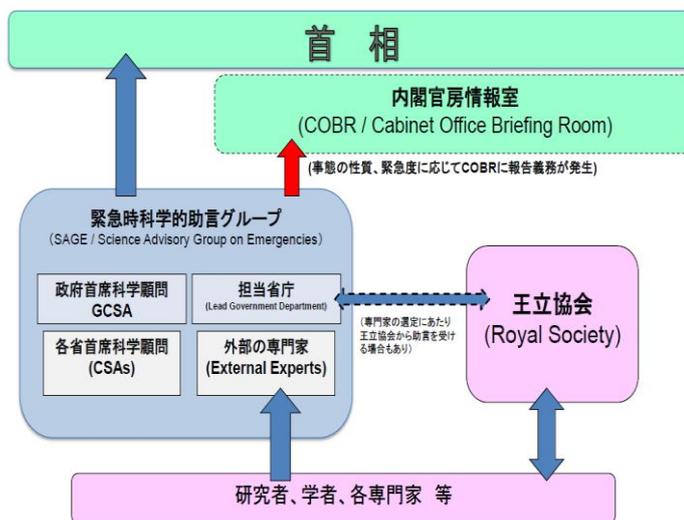
SAGE は英国民保健サービス、英公衆衛生庁をはじめとする専門機関から定期的に最新の情報、データを入手している。2020 年 1 月中旬以降、SAGE メンバーは、最低週に 1 回定期的に会合を設けており、COBR での会合開催前に通常会合を設け議論を取りまとめている。GCSA は、政府首席医務官である Prof Chris Whitty と連携しながら COVID-19 に関する科学的な見地からの助言を行う。SAGE の会合には、英国民保健サービス、英公衆衛生局のほかにも英国家統計局、英国食品基準庁、関係省庁の科学顧問が参加することになっている。

SAGE はこれまでも緊急性を伴う非常事態の対応に従事しており、たとえば、2009 年の H1N1 豚インフルエンザのパンデミック、2010 年アイスランドのエイヤフィアトラヨークトルの火山噴火、2011 年東日本大震災時の原子力災害、2014 年エボラ出血熱アウトブレイク、2015 年ネパール大震災、2016 年ジカ熱アウトブレイクへの対応に SAGE がかわ

---

<sup>19</sup>メンバーの選出および条件となる資質については公平性、透明性を担保するために詳細に規定されている。  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/80087/sage-guidance.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/80087/sage-guidance.pdf)

ってきた経緯があり、そのすべての議事録が SAGE ウェブサイトから入手可能となっている。20



出典) 駐日英国大使館

図 3-1 : 英国の緊急時における科学的助言の仕組み

### 3.1.2 緊急時科学的助言グループ(SAGE)傘下の数理モデル専門家グループ

感染症の数理モデルは 100 年に及ぶ歴史がある。マクロな流行動向を理解するための基本的な SIR モデルは、1920 年代末から 30 年代にかけて、英国の内科医で感染症研究者であった McKendrick と物理化学者の Kermack による一連の研究によってその基礎が築かれたため、カーマック・マッケンドリックモデルとも呼ばれる。その後 1970 年代末から 90 年代にかけて数学者による感染症数理モデル研究が発展しはじめた。この 15 年ほどの間に数理モデルの妥当性や信頼性が飛躍的に高まり、欧州特に英国とオランダを中心に保健医療政策の形成過程で活用されるようになった。

英国では、2002 年当時の政府首席医務官が”*Getting Ahead of the Curve: A Strategy for Combating Infectious Diseases*”を発表し、2003 年の SARS、2009 年の H1N1-09 への対応に数理モデルが活用されてきた。2020 年の新型コロナ感染症までは、SAGE のメンバーや政府首席医務官の間では、危険性の高い感染症は季節性のインフルエンザパンデミックだという一定した認識があった。数理モデルのデータ予測は、タミフル、リレンザといったワクチンの備蓄を行う上でも重要視されてきた。

<sup>20</sup> <https://www.gov.uk/government/organisations/scientific-advisory-group-for-emergencies/about>

SAGE のメンバーは現在 92 名である。COVID-19 対策においては、SAGE の傘下に、以下の 5 つの専門分野チームが設置され、科学的な助言を行っており、そのなかで、「科学的パンデミックインフルエンザ・モデルチーム」(SPI-M: Scientific Pandemic Influenza Group on Modelling) が数理モデルを取り扱う集団家グループになる。SPI-M は、COVID-19 発生以前から存在し、インフルエンザや感染症パンデミックの対応に関して英保健・社会保障省および関係省庁に主に感染症の数理モデルと疫学による科学的な助言を行ってきた経緯がある。グループに属する専門家は、パンデミックの内容によって入れ替えられるが、数年にわたって継続して在職するメンバーも存在する。今回の新型コロナ対応として従来の SPI-M の人数は大幅に増員されており、現在 82 名が所属している。主要なメンバーには、ロンドン大学衛生熱帯医学大学院 (LSHTM)、インペリアル・カレッジ・ロンドン、オックスフォード大学、ロンドン大学クイーン・メアリー校、ランカスター大学、ウォーリック大学、グラスゴー大学、ブリストル大学、エクセター大学の専門家を含む。

SAGE は、2020 年 1 月以降、毎週最低 1 回、平均すると毎月 6 回、多い月で 9 回コロナ対策への会合を開いてきている。SPI-M のメンバーは、最新のデータを政府首席科学顧問 (GCSA)、政府首席医務官 (CMO) に提出し、SAGE 傘下にある、数理モデル以外の領域を専門とするグループ、たとえば、英国保健・社会保障省に所属する新興呼吸器感染症グループ (NERVTAG) や行動科学の知見を有するグループ (SPI-B) の専門家らとも共有され、GCSA は、SPI-M メンバーに、次回の会合までの課題、具体的なアクションプランを指示する。このような議論のやり取りは SAGE ウェブサイトの議事録に、また、SAGE に提出された参考資料やデータも一緒に掲載されている。

特に、SPI-M の主要メンバーであるインペリアル・カレッジ・ロンドンとロンドン大学衛生熱帯医学大学院は、感染症パンデミックと同様に新型コロナ対応初期の段階からの数理モデルにおいて中核を担っている。この 2 つの大学はこれまでも英政府の医学分野の助成機関から多額の助成金を受けている。また、英公衆衛生庁の専門家チームによる数理モデル専門家チームとも協力しながら分析データを SAGE に報告している。<sup>21</sup> 英国政府は、新型コロナ勃発の初期の時期には、集団免疫による COVID-19 の封じ込み政策を支持していたが、2020 年 3 月 23 日に大規模なロックダウンを導入し大きく政策を転換させた。その決断においても、インペリアル・カレッジ・ロンドンと LSHTM らの専門家チームから提出された数理モデルの影響力が大きかったことがわかっている(詳細は表 3-1 を参照)。

新型コロナ感染拡大の初期の 2020 年 1 月から 3 月にかけて、SPI-M チームに属する専門家は、早々に数理モデルによるデータ、主に、SIR モデル、エージェント・ベース・モデルや、日本でも導入されている実効再生産数(すでに感染が広がっている状況において、

---

<sup>21</sup> SAGE に提出された数理モデルについては、英国議会科学技術局 (POST: Parliamentary Office of Science) がウェブサイト上で公開している。<https://post.parliament.uk/models-of-covid-19-part-1/>

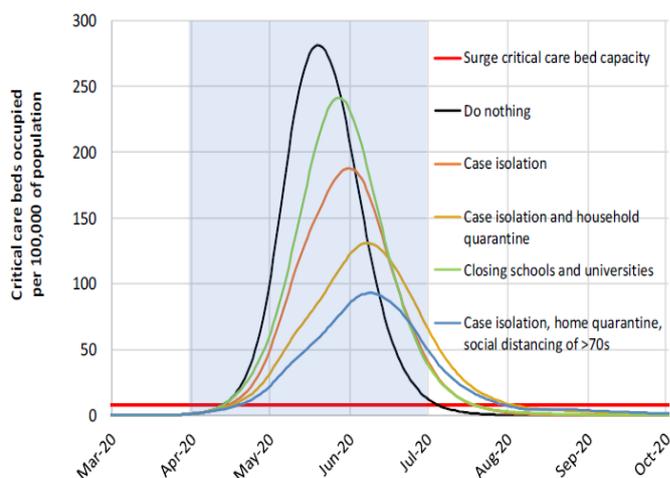
1人の感染者が次に平均で何人に感染させるかを示す指標を推定する際に用いられる)によるベイズ統計を用いた分析を行っている。以下は、SPI-Mの主要なメンバーであるインペリアル・カレッジ・ロンドンおよびLSHTMの中心的な研究者によるモデルについて説明する。

#### (1) インペリアル・カレッジ・ロンドン

インペリアル・カレッジ・ロンドンのなかでCOVID-19応答チームを統括する人物がSAGEの主要メンバーでもあるDr Neil Ferguson教授である。同教授は、個人ベースのシミュレーションモデル(「モデルの構造」(Anatomy of a model)の研究分析を行う)グループのリーダーを兼任し、SAGEグループに定期的に情報を提供している。他の大学研究機関で用いられている同様のモデルを活用しコロナ禍における、さまざまな社会的介入措置(たとえば「ロックダウン」の導入)の判断材料として必要となる科学的データ、および病院でのコロナ対応のキャパシティについての科学的エビデンスをSAGEに報告する。

以下は、英政府が第一回目のロックダウンを2020年3月23日に導入する決断材料となったインペリアル・カレッジ・ロンドンのDr Ferguson率いるチームが同月16日にSAGEに提出したデータである。そこでは、2020年3月16日の時点で、コロナに感染した人の0.9%が死亡すると仮定(英国の人口ベースに)し $R_0$ を2から2.6、感染者から5.1日でウイルスが培養されると推定。また、無症状の患者でも4.6日以内に感染拡大が可能で、またそこからの感染者は、症状があらわれる12時間以内にウイルスは拡散されると想定した。(しかし、このモデルでは、感染初期の段階では、疫学的な情報は不完全な情報しか当てはめることができないことにも言及)

その結果、予測した英国と米国の死亡者数が衝撃的な数字であったことからメディアでも多く注目を受ける。なお同大学のチームがシミュレーションに使ったモデルは、2005年にタイで発生したH5N1avian fluの際に使用したのと同じ手法、すなわちエージェント・ベース・モデル(ABM)であり、翌年の英国と米国のインフルエンザ・パンデミックのインパクト予測で使用されたものでもある。



(出典：Imperial College London)

図 3-2：緩和策における集中治療室の使用率予測

同チームは、ロックダウン導入の判断材料となった3月16日のレポートにおいて、自己隔離、ソーシャルディスタンスの導入、学校封鎖などのケース別に集中治療の需要がどれくらい増加し、医療崩壊の危険性があるかをシミュレーションした。(図 3-2)<sup>22</sup> 同レポートでは、COVID-19 ワクチンがない中で、人々の接触機会を減らすことでウイルスの伝播を抑制することを目的とした、多くの公衆衛生対策（いわゆる非薬物的介入）の潜在的な役割が評価されている。マイクロシミュレーションモデルを2か国（英国と米国—特に英国）に適用し、結果として、隔離状態でのいずれか1つの介入の効果には限度がある可能性が高く、複数の介入を組み合わせることで感染拡大に実質的な影響を与える必要があるという結論に至っている。

インペリアル・カレッジ・ロンドンのなかで Dr Ferguson に次いで中核を担っているのが、Dr Mark Baguelin であり、LSHTM とともに連携した疫学数理モデルの研究を行っており、ウイルスの実効再生産数（Effective reproduction number:  $R_t$ ）とヘルスケアキャパシティをリアルタイムにモデリングする領域で英国でも第一線で活躍する研究者である。リアルタイムモデリングの有用性については、すでに広く認知されてきているが、流行途中の分析や予測を行うことで、緊急時に、不確実性の要因を理解し推論方法に生かすことでより迅速、効率なモデルを構築できること、さらに、それを政策立案者に共有できることにある。さらに、Dr Baguelin の最新の研究である、集団におけるリアルタイムの抗体保有率の

<sup>22</sup> Ferguson, N.M. et al., “Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand”, Imperial College COVID-19 Response Team, 16 March 2020. <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/mrc-gida/2020-03-16-COVID19-Report-9.pdf>

推定は専門家の間でも注目を集めている。彼もまた、英政府の SPI-M のメンバーであり、データ解析の結果を SAGE に定期的に報告している。

## (2) ロンドン大学衛生熱帯医学大学院 (LSHTM)

LSHTM は、マラリア、エボラをはじめとする感染症をはじめ、薬剤耐性などグローバルヘルス全般において世界のなかでも卓越した研究を行っており、公衆衛生の立場から WHO とも密に連携し、中低所得地域の国の医療対策にも貢献しているほか、国内の医療政策に関しては、PHE 公衆衛生庁とともに科学的なエビデンスを提供する専門家集団が在職している。LSHTM の学長は、エボラ出血熱のウイルスを発見した Sir Peter Piot であり、国内の公衆衛生の専門家集団を統括している。LSHTM には、日本の疫学、感染症の専門家も多く留学しており、新型コロナの対応において、厚生労働省、内閣府の専門家アドバイザーグループほかメディア等でも数理モデルを広く認知させた西浦博教授もかつて LSHTM に留学し研鑽を積んだ経験がある。LSHTM には、感染症の数理モデルに特化した CMMID (Centre for Mathematical Modelling of Infectious Diseases) という中核センターを有しており、そこに所属する Dr John Edmunds, Dr Rosalind Eggo, Dr Chris Bonnell といった専門家らが SAGE メンバーを務めている。

LSHTM は、長崎大学と長きに渡り研究交流があり、Sir Piot 氏も定期的に来日している。長崎大学は、文科省の卓越大学院に選出されて以降は、さらに連携を強化し、博士課程のジョイントディグリープログラムも開設された。今回の新型コロナの対応で SAGE の中心メンバーでの一人でもある疫学数理モデルの第一人者のひとり Dr John Edmunds 自身も長崎大学との共同研究に携わって久しく、2021 年 3 月には、長崎大学が主催したウェビナーには招待ゲストとして登壇している。今回のコロナ対応では、1 月初期の段階から SPI-M を取りまとめる重要な役割を継続して担っており、GCSA や CMO からの信頼も厚い。

LSHTM の特徴としては、感染初期の段階から“Measuring social mixing”分析といった、年齢構造的モデルを使い、学校閉鎖、ソーシャルディスタンスを取った場合でそれぞれ必要な医療サービスのシミュレーションデータ、隔離政策を実施した場合の制御実現性など、高度なモデルを用いた分析を行っている。(図 3-3)。SPI-M に属する LSHTM の研究チームは、2 月下旬に既にこの年齢構造的モデルを使って、学校閉鎖をした医療サービスのシミュレーションデータを SAGE に提供した。<sup>23</sup>

ロックダウン前の 3 月 16 日に開催された SAGE 会合において、インペリアル・カレッジ・ロンドンと同様、LSHTM チームの研究結果が主要なデータとして参考にされている。それは、年齢構造モデルを用いて、封じ込め政策を講じない場合、自己隔離をした場合等、

---

<sup>23</sup> John Edmunds, Nicholas Davies, Adam Kucharski, Rosalind Eggo, and Amy Gimma, “Effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 cases, deaths, and demand for hospital services in the UK: a modelling study”, Vol. 5, Issue 7, June 2020, Lancet.  
[https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(20\)30133-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(20)30133-X/fulltext)

3週間のロックダウンを導入した際の集中治療室使用率のオーバーシュートを回避するための、異なる介入策を複数合わせて実効する場合、異なる時期に導入する場合などの組み合わせごとのシミュレーションも行ったものである。異なるシナリオごとに、推定できる新しい症例、入院および集中治療室での治療を必要とする患者や死亡者数を予測した。

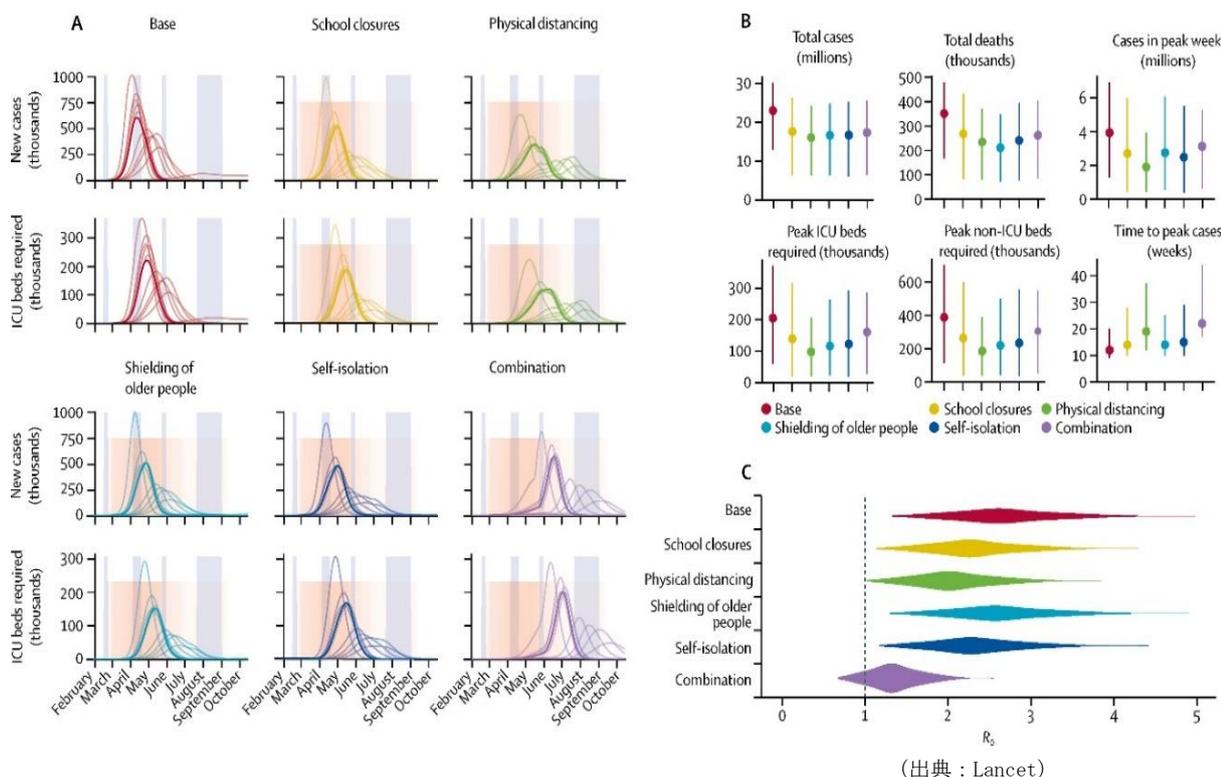


図 3-3：年齢構造モデルを用いた隔離政策が集中治療と R に与える影響

さらに、COVID-19 の発生に合わせてパラメータ化された確率的伝達モデルを確立し、SARS-CoV-2 の病原体を制御するために、接触追跡と症例の隔離の潜在的な有効性を定量化し適時 SAGE メンバーと共有した。Dr Edmunds 率いるチームは、初期段階の症例数、基本再生産数、症状の発症から隔離までの遅延の時間、接触が追跡される確率、症状の発症前に生じた感染の割合、さらに無症状の割合別のシナリオについても検討している。このような疫学的データだけでなく行動科学のアプローチによるロックダウン導入後の追跡調査は、CoMix と呼ばれ、第 1 回目のロックダウンが延長され 5 月に解除された以降、ソーシャルディスタンスに関しての有効性（行動パターンが R 値に与える影響）を SAGE 内で議論するうえで重要なデータとなった（表 3-1 参照）。

SAGE のほぼすべての会合で、SPI-M グループの報告書が重要参考資料として活用されているが、同じように、新型コロナの対応として、別の専門的知見から科学的エビデンスを提供している専門家グループが存在し、疫学、行動学といった層の広い専門家が SAGE

に関わっていることが英国の特徴であり、以下の4つのグループ、新興呼吸器系ウイルスグループ (NERVTAG)、科学的パンデミック・インフルエンザ・行動学グループ (SPI-B)、ヘルスデータリサーチ UK グループ (HDRUK)、COVID-19 ゲノミクス UK (COG-UK) が存在する。

NERVTAG グループは、英保健・社会保障省内にある専門家委員会。英政府主席医務官への助言を通じて他の関係省庁にも助言する立場にある。新興呼吸器系ウイルスによる脅威を防ぐため、科学的リスクアセスメントも行っている。SPI-B は、医学あるいは疫学的をはじめ健康心理学、社会心理学、人類学、歴史学等の専門家の意見をもとに助言する組織である。コロナに関する行動学的な視点からの問題点等を検討する。ヘルスデータリサーチ UK グループは、中央政府、NHS イングランド、NHS 北イングランド、NHS スコットランド、NHS ウェールズとパートナーシップを取りながら COVID に関する最新のデータ、スキル、知識を用いて研究を行っている。COG-UK は、英国内のウイルスサンプルの全ゲノムの収集と解析を行っているが、英国は全ゲノム解析においても高い実績を誇っており、すでに研究キャパシティが非常に高いことから、新型コロナに関するゲノム解析においては、世界を牽引する存在となっている。

上記の各チームが持ち寄ったデータは SAGE の場で共有され、次の課題に応じて各グループが連携してフォローアップすることもある。たとえば、SPI-M と NERVTAG は、フェイスマスクの効果に関するモデリングすることで、SPI-M が SPI-B とともに、感染拡大を防ぐためのバブル方式に関する原則について考察している。

### 3.1.3 英政府ロックダウン導入および緩和策（2020年3月～2021年2月）と数理モデル

以下表 3-1 は、2020年3月に英政府がはじめてロックダウンを導入、緩和、解除さらに、3回目のロックダウンまでの、SAGE 会合の活動、特に、数理モデル専門家らの助言、データがどのように活用されていたかについて、SAGE 公式ページからの議事録ならびに、政府のシンクタンク機関の情報をもとに、時系列にまとめたものである。

表 3-1 : SAGE 会合における数理モデル専門家らの助言、データの活用

政府決定事項（ロックダウン、緩和策等）	SAGE 会合主な議論および活用された SPI-M のシミュレーション、数理分析等の概要
3月26日ロックダウン導入	<p><u>3月16日第16回 SAGE 会合</u> :</p> <p>インペリアル・カレッジ・ロンドンが研究結果を SAGE に共有、非薬物介入が死亡者数と医療体制に与えるインパクトについて検証。SAGE は、SPI-M グループへ、課題として学校封鎖継続の影響をより迅速に予測できるモデルの確立を要請。</p> <p>LSHTM の年齢構造モデルを用いた研究データ（ソーシャルディスタンスの順守継続、ロックダウンのような措置を取る場合、医療崩壊を引き起こす確率がどれくらい減るか）を基に議論。<sup>24</sup></p>
4月16日ロックダウン3週間延長	<p><u>4月16日第26回 SAGE 会合</u> :</p> <p>ロックダウン解除のタイミングやソーシャルディスタンスに関わるガイドラインを更新するため、今後さらに精緻で迅速な R 予測値が必須。診断テストのキャパシティを拡大し、さらに、院内感染に関する最新情報収集を要請。</p> <p>4月20日の週にフェイスマスクに関する助言を更新するために、SPI-M と NERVTAG は、フェイスマスクの効果に関するモデリングとその結果を提出するようことで合意。<sup>25</sup></p>
5月10日ロックダウン解除	<p><u>5月7日第34回 SAGE 会合</u> :</p> <p>イギリス国家統計局（ONS）によるウイルスと抗体テストによる有病率に関する調査を実施。SPI-M グループは R 予測値を週に2回更新することで合意。無症状者も含めて医療従事者の診断テスト実施を加速化する。</p> <p>さらに SPI-M と SPI-B は、連携をとり感染拡大を防ぐためのバブル方式に関する原則について考察することで合意。<sup>26</sup></p>
6月23日 緩和策導入（ただしソーシャルディスタンスを厳守）	<p><u>6月23日第43回 SAGE 会合</u> :</p> <p>地域とのコミュニケーションや連携を密にパブリックガイドラインの見直しを提案。ソーシャルディスタンスに関しての有効性について議</p>

<sup>24</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/891933/S0051\\_SAGE\\_16\\_Managine\\_peak\\_incidence\\_LSHTM.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/891933/S0051_SAGE_16_Managine_peak_incidence_LSHTM.pdf)

<sup>25</sup>

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/888798/S0394\\_Twenty-sixth\\_SAGE\\_meeting\\_on\\_Covid-19\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/888798/S0394_Twenty-sixth_SAGE_meeting_on_Covid-19_.pdf)

<sup>26</sup>

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/888813/S0404\\_Thirty-fourth\\_SAGE\\_meeting\\_on\\_Covid-19\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/888813/S0404_Thirty-fourth_SAGE_meeting_on_Covid-19_.pdf)

政府決定事項（ロックダウン、緩和策等）	SAGE 会合主な議論および活用された SPI-M のシミュレーション、数理分析等の概要
	<p>論。疫学的データだけでなく行動科学によるデータが現時点で非常に重要であるとして、LSHTM John Edmunds が行う CoMix（行動科学のアプローチからロックダウン導入後の追跡調査）のデータを用いソーシャルディスタンスや行動パターンが R 値に与える影響を今後参考にする事で合意。6月25日までに Edmunds 率いるチームが最新のデータを SAGE に提出。<sup>27</sup></p>
<p>7月4日 さらなる緩和策の導入。パブ、レストランの再開。</p>	<p><u>7月2日第45回SAGE 会合</u>： 院内感染拡大の可能性が低く、SPI-Mの最新のデータによりR値は0.7-0.9で押えられていることを確認。クラスター感染の原因を確認し抑制するためにもゲノム解析が有効であるとして、SAGE傘下のゲノム専門家チーム、COG-UKが公衆衛生的な対応からもゲノム解析を急速に進める。</p>
<p>9月14日 “Rule of Six”室内外で6人を超える人の集まりを禁止。</p> <p>9月22日 PM 新たな制限追加の重要性を指摘。 (自宅勤務と10時以降の外出禁止。)</p> <p>9月30日 PM 危機的状況にあることを国民に言及。</p>	<p><u>9月10日第56回SAGE 会合</u>： 急速な感染者増加の傾向に警鐘。最新 R 値が 1.0-1.2 に推移を確認。Dr Edmunds が異なる NPI 策について検討するグループを統括する。<sup>28</sup></p> <p><u>9月17日第57回SAGE 会合</u>： 最新のR値が1.1-1.4に推移していることから、早急に ‘Circuit-breaker’（短期間のロックダウン措置）を導入することを提案。SPI-Mチームは5月下旬に実施したような2週間の制限措置をとることも感染を4週間ほど遅らせることができるとしたモデルを提示。<sup>29</sup></p> <p><u>9月18日第58回SAGE 会合</u>： SAGE は再度短期間のロックダウン導入の重要性を指摘。さらに、レストラン、屋内ジム、居酒屋、美容室の営業停止および大学は必要性がない限り対面授業を中断しオンラインに移行することを提唱。</p> <p><u>9月24日第59回SAGE 会合</u>： R 値が 1.2-1.5 に推移。インペリアル・カレッジ・ロンドンの COVID 対策チーム(REACT survey)およびイギリス国家統計局(ONS)のモデリングの結果を基に北西、北東地域の感染が急速に拡大しているとして警</p>

<sup>27</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/904665/S0561\\_Forty-third\\_SAGE\\_meeting\\_on\\_Covid-19.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904665/S0561_Forty-third_SAGE_meeting_on_Covid-19.pdf)

<sup>28</sup>

<https://www.gov.uk/government/publications/sage-56-minutes-coronavirus-covid-19-response-10-september-2020>

<sup>29</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/931005/S0762\\_Fifty-seventh\\_SAGE\\_meeting\\_on\\_Covid-19.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/931005/S0762_Fifty-seventh_SAGE_meeting_on_Covid-19.pdf)

政府決定事項（ロックダウン、緩和策等）	SAGE 会合主な議論および活用された SPI-M のシミュレーション、数理分析等の概要
	鐘。
<p>10月14日新たな COVID-19 対策の制限措置として、three-tier system を導入。</p> <p>10月31日 PM 2 回目のロックダウンに必要と決断。</p> <p>11月5日第2回目のロックダウン導入。</p>	<p><u>10月8日第61回 SAGE 会合</u>： 予測される最悪の状態（RWC）から今後2週間で一日に100名を超える死亡者数が出る可能性があることとして警鐘。<sup>30</sup></p> <p><u>10月22日第63回 SAGE 会合</u>： 最新のR値が1.2-1.4、毎日3%から5%の割合で増加。イギリス全土、スコットランド、ウェールズ、北アイルランドでR値が1を超えている。SPI-Mは、53,000から90,000の新規感染者が今後発生する可能性を言及。<sup>31</sup></p> <p><u>10月29日第64回 SAGE 会合</u>： SPI-M の主要メンバーである、LSHTM、インペリアル・カレッジ・ロンドン、ウォーリック大学、マンチェスター大学、オックスフォード大学、ランカスター大学、ケンブリッジ大学より10月6日以降一週間ごとに入院患者数と死亡者数の今後の予測データを提出。さらに同日、2021年6月までの長期予測データを提出。<sup>32</sup></p>
<p>12月2日ロックダウン解除。ただし、</p>	<p><u>11月4日第65回 SAGE 会合</u>： イギリス国家統計局（ONS）の感染症調査およびインペリアル・カレッジ・ロンドンのREACT調査のデータによると9月10月の期間に若年層、特に24歳までの感染率の増加が著しいことを報告。<sup>33</sup></p> <p><u>11月12日第67回 SAGE 会合</u>：SPI-M グループ、地域ごとの詳細なR値の提示と中長期的予測の最新値を更新、提出。</p> <p><u>11月26日第70回 SAGE 会合</u>： 最新のR値が0.9-1.0にあり、新規陽性者の増加率-2%-1%、イングランド全体で-2%-0%に推移しており、今後低下していくことを予測。ヘルスデ</p>

<sup>30</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/931136/S0800\\_Sixty-first\\_SAGE\\_meeting\\_on\\_Covid-19.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/931136/S0800_Sixty-first_SAGE_meeting_on_Covid-19.pdf)

<sup>31</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/935103/sage-63-meeting-covid-19-s0842.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/935103/sage-63-meeting-covid-19-s0842.pdf)

<sup>32</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/938965/201031\\_SPI-M-O\\_medium\\_term\\_projections\\_explainer.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/938965/201031_SPI-M-O_medium_term_projections_explainer.pdf)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/938967/201031\\_SPI-M\\_preparatory\\_analysis\\_long\\_term\\_scenarios.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/938967/201031_SPI-M_preparatory_analysis_long_term_scenarios.pdf)

<sup>33</sup>

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/968945/Covid-19\\_SAGE\\_65\\_minutes\\_footnote.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/968945/Covid-19_SAGE_65_minutes_footnote.pdf)

政府決定事項（ロックダウン、緩和策等）	SAGE 会合主な議論および活用された SPI-M のシミュレーション、数理分析等の概要
<p>three-tier system を維持。</p> <p>12月21日ロンドンを含む南東地域は新たに一段階厳しい制限 four-tier system を導入。</p> <p>12月26日 Four-tier system 適用範囲を拡大。</p>	<p>一タリサーチグループが院内臨床情報CO-CINの結果を報告。院内の重症化率も低下していることを確認。<sup>34</sup></p> <p><u>12月17日第73回SAGE会合</u>： 緩和政策導入後もハイアラートTier 3の地域では、まだ感染が増加していることから、そのような地域では、介入措置も視野に入れるべきと提言。SPI-Mからもイングランド全体では、10月11月にわたり、院内感染が徐々に増加しているとの報告が提出される。<sup>35</sup></p> <p><u>12月22日第74回SAGE会合</u>： NERVTAGおよびPHEは新たな変異株の情報として感染速度が従来のもよりも早いことを売らずける情報が共有される。<sup>36</sup></p>
<p>1月6日第3回目のロックダウン導入。</p> <p>2021年2月22日ロックダウン解除後の出口戦略を考案。ロードマップ作成を開始する。</p>	<p><u>1月7日第75回SAGE会合</u>： 現在のロンドン、南東、東イングランドを中心に感染の大半がB.1.1.7変異株によるものであるとの報告。SPI-Mは、イングランド全体で117000以上の新たな感染者が予測されると報告。<sup>37</sup></p> <p><u>1月21日第77回SAGE会合</u>： SPI-M は、今後6週間のR値予測、CoMixデータは、年末休暇中の人の接触が抑えられていたことを報告。</p> <p><u>2月4日第79回SAGE会合</u>： 着実にロックダウンの効果が出ていることを確認。変異株に関するさらなる情報提供 PHE、COG-UK チームのさらなる連携と国際協力の重要性を指摘。<sup>38</sup> LongCovid（コロナ後遺症に関する調査）を開始。</p> <p><u>2月11日第80回SAGE会合</u>：出口戦略と緩和政策に関するシナリオ作りを始めることを合意。SPI-Mは、緩和策導入のスピードごとに今後2か月から5か月後の4つのモデル化を実施。<sup>39</sup></p> <p><u>2月18日第81回SAGE会合</u>：</p>

<sup>34</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/945964/S0926\\_SAGE\\_70\\_minutes\\_redacted.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/945964/S0926_SAGE_70_minutes_redacted.pdf)

<sup>35</sup>

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/952613/s0989-covid-19-sage-73-minutes-171220.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/952613/s0989-covid-19-sage-73-minutes-171220.pdf)

<sup>36</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/948606/s0991-sage-meeting-74-covid-19.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/948606/s0991-sage-meeting-74-covid-19.pdf)

<sup>37</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/954903/s1010-covid-19-sage-75-minutes.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/954903/s1010-covid-19-sage-75-minutes.pdf)

<sup>38</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/963366/S1082\\_SAGE\\_79\\_Minutes.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/963366/S1082_SAGE_79_Minutes.pdf)

<sup>39</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/963390/S1115\\_SAGE\\_80\\_Minutes.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/963390/S1115_SAGE_80_Minutes.pdf)

政府決定事項（ロックダウン、緩和策等）	SAGE 会合主な議論および活用された SPI-M のシミュレーション、数理分析等の概要
	SPI-Mは、前回に加え追加2つのシナリオを提示。ただし、ワクチン接種の普及のスピードなど未確定な要素もあることを指摘。 <sup>40</sup>

（出典：著者）

### 3.1.4 英政府出口戦略と新たな数理モデル拠点の構築

英国政府は、ワクチンタスクフォースをコロナ発生初期の段階から即座に立ち上げ、オックスフォード大学を中心にワクチン開発を政府が全面的にサポートし、特例として臨床試験の承認を加速化し、ワクチン接種率を急速に上げた実績がある。2021年2月下旬には、出口戦略として、中長期的な指針を国民に示すために必要となる、より学際的な視点も含めた疫学数理モデルの研究を促進させるべく、ジュニパー・コンソーシアム（Joint UNiversities Pandemic and Epidemiological Research Consortium）など大規模な研究拠点の構築を行っている。

2月18日、公的研究助成機関である UK Research and Innovation（UKRI）は、英国の7つの大学（ブリストル大学、ケンブリッジ大学、エクセター大学、ランカスター大学、マンチェスター大学、オックスフォード大学、LSHTM、ウォーリック大学）の主要な統計モデルの研究者らを収集し、ジュニパー・コンソーシアムと命名し、新たに300万ポンドの研究資金を投下している。

コンソーシアムメンバーの専門家たちは、独自のモデルを開発および使用して、COVID-19 パンデミックに関する重要な質問に関する予測を報告する。これらの結果は、緊急事態のための科学諮問グループ（SAGE）およびより広い英国政府に証拠を提供するモデリンググループである SPI-M に定期的に活用される。同コンソーシアムは、英政府の要請により迅速に対応するために、SPI-M、SAGE に情報提供をすることをミッションとする。たとえば、毎週再生産実効数  $R$  をアップデートし、感染者数増加の予測を行い、様々な介入策による感染抑制への効果なども検証する。また、流行が新たな段階に達した場合（変異株の出現、増加など）には、新たな解析方法を導き出し、新たな科学的な見解への影響、さらに、現在から将来のモデリングへの影響についてもホライズンスキヤニング（社会に大きな変革をもたらす可能性のある変化の兆候をいち早く見出す活動のひとつ）するといった役割も担っている。

<sup>40</sup>[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/963393/S1127\\_SAGE\\_81\\_Minutes.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/963393/S1127_SAGE_81_Minutes.pdf)

より具体的には、新しい変異株が英国でどのように感染拡大しているのか、より多くの入院患者や死亡者数を引き起こしているかを確認できる統計モデルを開発している。第1、2の柱、臨床データやモビリティデータといった様々なデータリソースを使って実効再生産R値リアルタイムを予測するといったことも行う。現在のところ、毎週SPI-MとSAGEにリアルタイムR値を出す12のモデルのうち8つを請け負っている。さらに、ウイルスの伝搬や抑制に関する異なる試験戦略の効果に関するモデリングおよびワクチンの有効性、ロックダウンを緩和することから生じる結果についてのモデリングも行う。

コンソーシアムのミッションは、外に開かれたオープンで協力的な私たちの科学的な活動であり、科学的な発見や科学に基づく仮定が、積極的なアウトリーチ活動や外とのコミュニケーションを通じて円滑に行われるよう促すことにある。開かれたオープンな環境を整えることで既存のコロナ対策、様々な活動に広く効果的に寄与したいと考えている。彼らは、上記のような活動を通じて、国家のキャパシティビルディングを構築し、次世代の応用疫学モデルの専門家を養成するとともに大きなミッションの一つと考えている。同コンソーシアムは、以下にあげるような、データサイエンス、統計、AIといった分野で卓越した以下の6つの研究機関や学会等と密接に連携した活動を行っている。

- アラン・チューリング研究所
- 王立統計学会
- ヘルスデータリサーチ UK
- 公衆衛生庁
- 王立協会 RAMP (Rapid Assistance in Modelling the Pandemic) イニシアティブ
- アイザック・ニュートン数理科学研究所

ジュニパー・コンソーシアムのメンバーでもある、ウォーリック大学は、同大学内にあるシステムバイオロジー、感染症のエピデミック研究に特化したもので、ジーマン (Zeeman) 研究所 (略称 SBIDER) を有し、高度な数学を用いた様々な生物科学の課題に取り組む唯一無二の研究所である。そこでは、研究者らが、理論から実務の政策アドバイス、さらにゲノムから統計学に渡る幅の広い研究に従事している。大学内の数理学、統計、コンピュータ科学、ライフサイエンス、医学の専門家ら20名近くが集まったチームである。所長を務める Dr Matt Keeling の主導のもと、2021年7月19日以降の政府による出口戦略の要であるロードマップの4つのステップに関し特に学際的なアプローチから科学的エビデンスを提供している。その際は、イングランドの7つの地域のNHSにおけるダイナミクスを把握するために年齢構造モデルも活用している。

英政府は、9月14日に最新版の出口戦略をリリースしており、予期せぬ感染者の減少が夏季7月半ばにあったとはいえ、今後また感染が伸びることも大いにあり得るとの見方を示している。SPI-Mによれば、ステップ4のモデルで指示した最も悲観的なシナリオでは、新たな変異株が発生しないかぎり最悪の事態は起こりにくいとしている。しかし、不確定要素はまだ残っており、NHSがプレッシャーから解放される余地がないことも示唆してお

り、ワクチンが一定の効果があることは例証されつつも100%の効果があるとは断言できないことから入院患者や死亡者が今後出ることは否定できないとしている。<sup>41</sup>

同戦略は、インペリアル・カレッジ・ロンドン、LSHTM、ウォーリック大学およびジュニパー・コンソーシアムが提出した解析データや結果から、今後数か月においても自宅勤務をより浸透することが感染予防の観点から非常に重要であるとしている。職場内外の感染リスクを抑えるだけでなく、公共交通機関の人の移動、対面での打ち合わせ、ソーシャルアクティビティを抑えることに繋がり、ひいては、コミュニティそして家庭内での感染も抑制できるとして、政府に再びその自宅勤務を徹底する施策を再び導入する重要性が強調されている。より具体的には、自宅勤務を2月に辞めた者とそうでなく継続している者との間では、前者が検査の結果陽性として出たことが多いとする、インペリアル・カレッジ・ロンドンのデータ結果を紹介している。<sup>42</sup>

### 3.1.5 インプリケーション

ワクチンや治療薬がない状況においては、医療崩壊を防ぐために、非薬物的介入である自己隔離、学校封鎖、ロックダウンなど自粛行動が必須であり、その段階別に、感染予測をシミュレーションし、行動規制の導入時期の判断材料として、数理疫学的なデータが、SAGEを通じて政府関係者に広く活用されたことは一定の評価があったといえるだろう。

英国では、数理疫学者の専門家が裾野の広い研究を行ってきており、数理モデルのような定量的なデータが単にアカデミックな貢献にとどまらず、これまでも広く実務的に活用され、政策に着実に実装化されてきた歴史がある。従来からSAGE傘下のSPI-Mの専門家らは、過去に季節性インフルエンザに対するワクチン備蓄など感染対策としての実績もあり、その蓄積されたノウハウも生かしつつ、コロナ禍では、ロックダウンの前後で、人々の接触や行動について大規模コホート調査を実施し、より精緻なリアルタイムでのシミュレーション方法の確立を行った。

さらに、変異株の出現以降は、ゲノム解析を加速化し世界に先駆けてデータを公開するなど、グローバルヘルスの観点からも貢献がみられた。オックスフォード大学が牽引するワクチン開発が成功し、ワクチン接種率が高まるなかでは、数理疫学の専門家らは、英国の強みであるデータサイエンスやゲノム解析の拠点と連携することで、ワクチン接種済のブレイクスルー感染の感染経路、重症化率の予測等も行った。第3回目のロックダウンの解除後は、政府の出口戦略としても引き続き重要になってくる、マスク着用、ソーシャル

---

<sup>41</sup>

<https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-response-autumn-and-winter-plan-2021/covid-19-response-autumn-and-winter-plan-2021#fn:38>

<sup>42</sup>

<https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-response-autumn-and-winter-plan-2021/covid-19-response-autumn-and-winter-plan-2021#fn:52>

ディスタンス、人の流れを制御する自粛行動の規制をめぐるガイドラインの作成においても、政府は数理疫学モデル研究に新たに莫大な国費を投じ、引き続き同分野による科学的エビデンスを活用する意向は変わっていない。

新型コロナ対応において、日本では、一般市民に感染状況の全体像をわかりやすく把握するための可視化された科学的エビデンスとして数理モデルがメディア等ではじめて広く報道されたことから、数理モデルの専門家の助言が、必要以上に一人歩きされた帰来がある。一方、英国では、そのような傾向は、むしろ限定的で、ジョンソン首相、政府科学顧問らは、診断検査の徹底した拡充とワクチンおよび治療薬の開発にコロナ勃発当初から膨大な国家予算を投じて実施するといった、数理モデル以外の専門家集団も含めた産官学一体となった対策を並行して進めるといった統一されたメッセージが国民に伝えられていたように思える。疫学的にも未知な部分が多い新型コロナの特に初期の段階から、SAGEの傘下に属するSPI-Mらの定量的なデータを呼吸器系疾患や社会行動科学の専門家らとともに議論することで偏った判断を避けるためにも重要な過程であったと考えられる。

今回のコロナでは、公衆衛生の観点から人々の行動様式や感染拡大防止のための自粛行動規制を取らざる終えない状況があり、加えて社会経済的には多大な代償を伴うことも事実であり、そのなかで政治家が世論の理解を得ながら時間的なプレッシャーのなかで政策判断を行うことは困難であり、判断ミス生じかねないが、専門家の助言に責任の所在があるといった誤ったメッセージが伝えられてしまうことは回避するべきであろう。数理モデルが、現実の複雑多様な人口の在り方とは距離があり、リアルな感染症ダイナミクスとの間にギャップがあることは否定しがたく、そうした限界をわきまえつつ利用していく科学的体制と科学的エビデンスの受け手である政治家や政策立案者のリテラシーを養っていくことが今後一層求められているように思える。従来から、アカデミアと政策立案者の役割分担、アカデミアが政策判断の失敗という責務を負う立場ではなく、独立した立場として科学的エビデンスを提供できる権限が守られている英国の危機管理体制は、日本の状況とは大きく異なっていることも特筆すべき点であるように思える。

## 3.2 日本

### 3.2.1 COVID-19 対応の政府の体制

感染症専門家等の有識者による政府への助言組織は、2020年2月に発足した「新型コロナウイルス感染症専門家会議」（内閣官房）、「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」（厚生労働省）であった（図 3-4、図 3-5）。まず、2020年2月初頭、厚生労働省は、アドバイザリーボードを設置し、さらに、2月14日に、新型コロナウイルス感染症対策本部のもとに、専門家会議が発足し、COVID-19の対策について医学的な見地から助言等を行うことが求められた。専門家会議の構成員には、アドバイザリーボードのメンバーに加えて、座長が出席を求める複数の有識者が加わった（表 3-2）<sup>43</sup>。

また、2月25日に厚生労働省に新型コロナウイルス感染症クラスター対策班が設置された。感染研究所、東北大学、北海道大学等の研究者から構成され、地域に出向いて状況を把握すること、地域でのクラスター特定（疫学調査の統括）とともに、データ集計・分析、リスク管理上の提言も担当した（図 3-6）<sup>44</sup>。さらに、緊急事態宣言に関しては、専門家会議ではなく、基本的対処方針等諮問委員会が政府の諮問に対して議論し、答申を行った。

当初は、これらの会議では感染症専門家は政府案へ助言し、了承する受け身的な関与の場であったが、2月中旬以降、「ウイルスの感染拡大が予期され、強い危機感が構成員の間で高まった」ために、①専門家側が感染状況を分析し、対策案を政府に提起する必要性、②その提案について社会に説明する必要性、③市民と感染防止策を共有する必要性について、構成員の間で意見が一致した」ことを受けて、第3回（2月24日）の会議で、構成員から「専門家と行政側がブレインストーミングできるような場を持ち、検討の依頼があった個別の問題だけでなく、大きな方向性や戦略などを、厚生労働大臣に進言できる体制を望む」ことを発言し、加藤厚生労働大臣（当時）の了解を得た（脇田（2020））。

その後、専門家会議構成員が「次なる波に備えた専門家助言組織のあり方について」として、6月24日に政府に提案した。専門家会議において専門家が能動的に政策策定に関与し、自ら国民への発表などをしてきた結果、助言組織としての役割があいまいになってきたことが理由であるが、その点については本報告書の主たるテーマではないので詳しい説明は省略する。

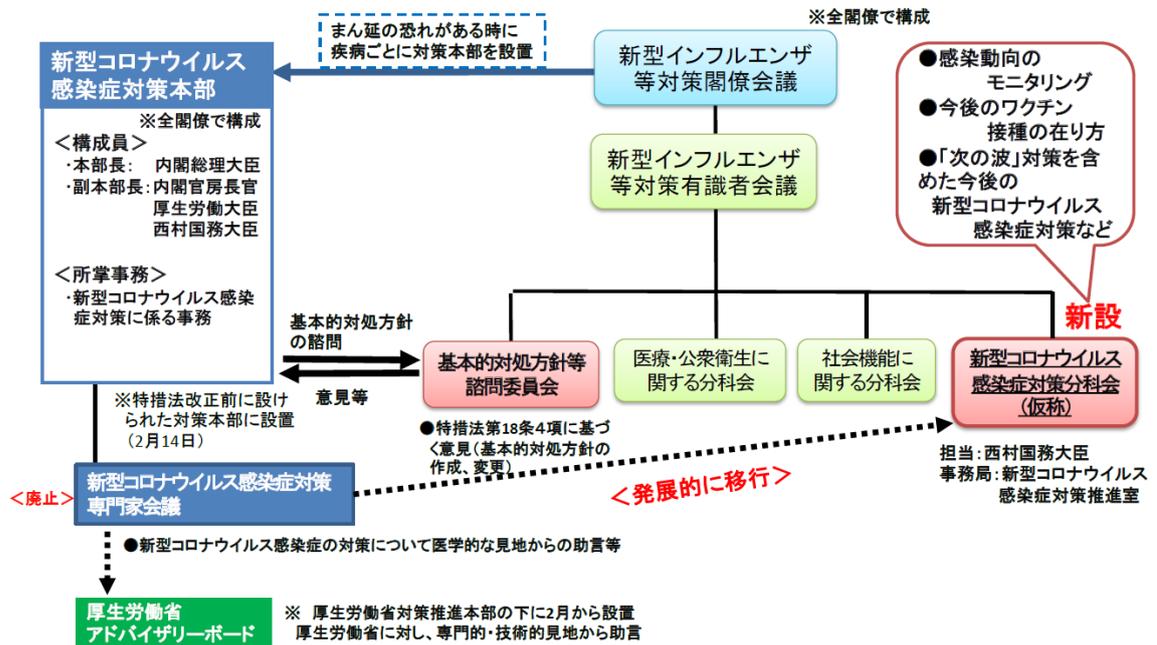
その後、7月に「専門家会議」は位置づけを明確にするため廃止され、新型インフルエンザ等対策有識者会議の下に新たに設置された「新型コロナウイルス感染症対策分科会」が

<sup>43</sup> 脇田隆宇（2020）「感染症危機における科学的専門家助言組織のあり方」日本内科学会雑誌 109 巻 11 号：2343～2347

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議構成員一同「次なる波に備えた専門家助言組織のあり方について」2020.6.24.

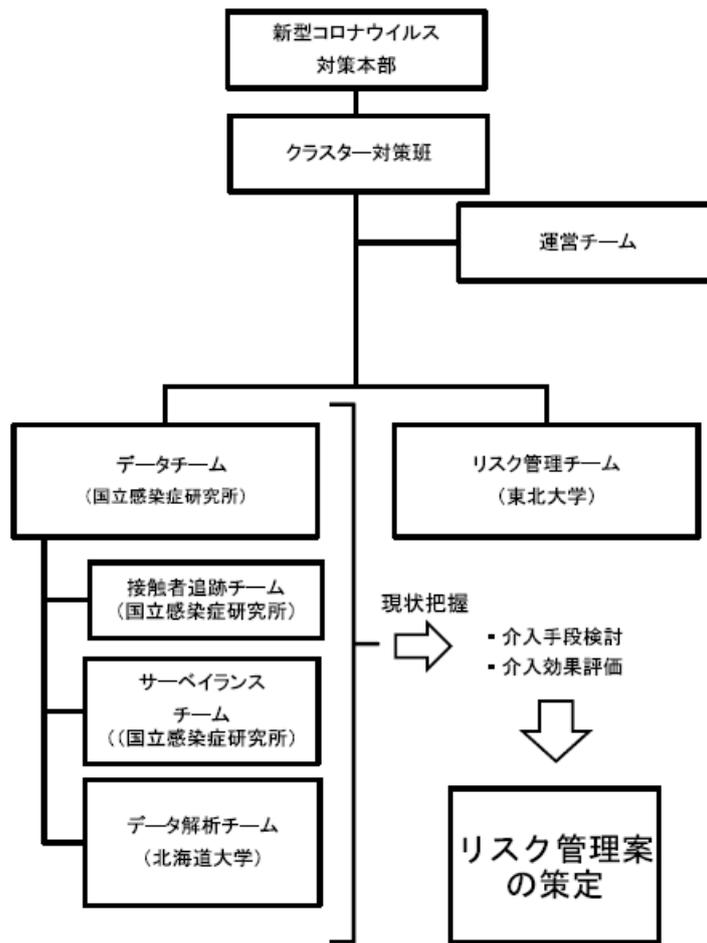
<sup>44</sup> 厚生労働省 健康局 結核感染症課「新型コロナウイルス クラスター対策班の設置について：別添」（2020年2月25日）。西浦・川端（2020）、43頁





出典：内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室、「新型コロナウイルス感染症対策に係る専門家助言組織について」（2020年7月17日）

図 3-5：新型コロナウイルス感染症の専門家助言組織：対策分科会の設置



出典：厚生労働省 健康局 結核感染症課「新型コロナウイルス クラスター対策班の設置について：別添」（2020年2月25日）

図 3-6：新型コロナウイルス感染症のクラスター対策班

表 3-2 : 新型コロナウイルス感染症への主な助言組織のメンバー

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議のメンバー

※2020年2月14日現在

座長	脇田 隆宇	国立感染症研究所所長
副座長	尾身 茂	独立行政法人地域医療機能推進機構理事長
構成員	岡部 信彦	川崎市健康安全研究所所長
	押谷 仁	東北大学大学院医学系研究科微生物分野教授
	釜沼 敏	公益社団法人日本医師会常任理事
	河岡 義裕	東京大学医科学研究所感染症国際研究センター長
	川名 明彦	防衛医科大学内科学講座（感染症・呼吸器）教授
	鈴木 基	国立感染症研究所感染症疫学センター長
	舘田 一博	東邦大学微生物・感染症学講座教授
	中山 ひとみ	霞ヶ関総合法律事務所 弁護士
	武藤 香織	東京大学医科学研究所公共政策研究分野教授
	吉田 正樹	東京慈恵会医科大学感染症制御科教授

座長が出席を求める関係者

	大曲 貴夫	国立国際医療研究センター病院 国際感染症センター長
	今村 顕史	東京都立駒込病院 感染症センター長、感染症科部長
	和田 耕治	国際医療福祉大学教授
	西浦 博	北海道大学大学院医学研究院教授
	大竹 文雄	大阪大学大学院経済学研究科教授
	中澤 よう子	全国衛生部長会会長
	内田 勝彦	全国保健所長会会長 大分県東部保健所

出典：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の開催について、令和2年2月14日、新型コロナウイルス感染症対策本部決定 <[https://www.cas.go.jp/jp/influenza/senmonka\\_konkyo.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/influenza/senmonka_konkyo.pdf)>  
 新型コロナウイルス感染症対策 専門家会議（第17回 持ち回り開催）議事概要（2020年6月19日） <[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel\\_coronavirus/senmonkakaigi/s\\_gaiyou\\_r020619.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/senmonkakaigi/s_gaiyou_r020619.pdf)>

新型インフルエンザ等対策有識者会議 基本的対処方針等諮問委員会のメンバー

※2020年8月7日現在

- ◎ 尾身 茂 独立行政法人地域医療機能推進機構理事長
- 岡部 信彦 川崎市健康安全研究所長
- 井深 陽子 慶応義塾大学経済学部教授
- 大竹 文雄 大阪大学大学院経済学研究科教授
- 押谷 仁 東北大学大学院医学系研究科微生物分野教授
- 釜沼 敏 公益社団法人日本医師会常任理事
- 河岡 義裕 東京大学医科学研究所感染症国際研究センター長
- 川名 明彦 防衛医科大学内科学講座（感染症・呼吸器）教授
- 小林 慶一郎 公益財団法人東京財団政策研究所研究主幹
- 鈴木 基 国立感染症研究所感染症疫学センター長
- 竹森 俊平 慶応義塾大学経済学部教授
- 田島 優子 さわやか法律事務所 弁護士
- 舘田 一博 東邦大学微生物・感染症学講座教授
- 谷口 清州 独立行政法人国立病院機構三重病院臨床研究部長
- 朝野 和典 大阪大学大学院医学系研究科感染制御学教授
- 中山 ひとみ 霞ヶ関総合法律事務所 弁護士
- 長谷川 秀樹 国立感染症研究所インフルエンザウイルス研究センター長
- 武藤 香織 東京大学医科学研究所公共政策研究分野教授
- 脇田 隆宇 国立感染症研究所所長

◎：会長 ○：会長代理（五十音順・敬称略）

出典：「新型コロナウイルス等対策有識者会議 基本的対処方針等諮問委員会 構成員名簿」  
< <https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/simon/kousei.pdf> >

#### 新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボードのメンバー

座長 脇田 隆字 国立感染症研究所長  
構成員 今村 顕史 東京都立駒込病院感染症科部長  
太田 圭洋 日本医療法人協会副会長  
岡部 信彦 川崎市健康安全研究所長  
押谷 仁 東北大学大学院医学系研究科微生物学分野教授  
尾身 茂 独立行政法人地域医療機能推進機構理事長  
釜蒔 敏 公益社団法人日本医師会 常任理事  
河岡 義裕 東京大学医科学研究所感染症国際研究センター長  
鈴木 基 国立感染症研究所感染症疫学センター長  
舘田 一博 東邦大学微生物・感染症学講座教授  
田中 幹人 早稲田大学大学院政治学研究科准教授  
中山 ひとみ 霞ヶ関総合法律事務所弁護士  
武藤 香織 東京大学医科学研究所公共政策研究分野教授  
吉田 正樹 東京慈恵会医科大学感染制御科教授  
座長が出席を求める関係者  
大曲 貴夫 国立国際医療研究センター病院国際感染症センター長  
齋藤 智也 国立保健医療科学院健康危機管理研究部長  
中澤 よう子 全国衛生部長会会長  
中島 一敏 大東文化大学スポーツ・健康科学部健康科学学科教授  
西浦 博 京都大学大学院医学研究科教授  
前田 秀雄 東京都北区保健所長  
和田 耕治 国際医療福祉大学医学部公衆衛生学医学研究科教授

出典：「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボード（第8回）議事概要」  
< <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000702061.pdf> >

#### 新型コロナウイルス感染症対策分科会のメンバー

※2021年1月6日現在

◎尾身 茂 独立行政法人地域医療機能推進機構理事長  
○脇田 隆字 国立感染症研究所長  
石川 晴巳 ヘルスケアコミュニケーションプランナー  
石田 昭浩 日本労働組合総連合会副事務局長  
今村 顕史 東京都立駒込病院感染症センター長、感染症科部長  
大竹 文雄 大阪大学大学院経済学研究科教授  
岡部 信彦 川崎市健康安全研究所長  
押谷 仁 東北大学大学院医学系研究科微生物学分野教授  
釜蒔 敏 公益社団法人日本医師会常任理事  
幸本 智彦 東京商工会議所議員  
小林慶一郎 公益財団法人東京財団政策研究所研究主幹  
舘田 一博 東邦大学微生物・感染症学講座教授  
中山ひとみ 霞ヶ関総合法律事務所弁護士  
平井 伸治 鳥取県知事  
南 砂 読売新聞東京本社常務取締役 調査研究本部長  
武藤 香織 東京大学医科学研究所公共政策研究分野教授  
【臨時構成員】  
磯部 哲 慶應義塾大学法科大学院教授

太田 圭洋 一般社団法人日本医療法人協会副会長  
河本 宏子 ANA 総合研究所会長  
清古 愛弓 全国保健所長会副会長

※◎は会長、○は会長代理。

出典：「新型コロナウイルス感染症対策分科会 構成員・臨時構成員名簿」  
<<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/pdf/meibo-corona.pdf>>

表 3-3 : 新型コロナウイルス感染症に関する有識者会議等 (2020 年 7 月まで)

会議名称	設置組織 (活動時期)	メンバー	検討事項等	情報公開
新型コロナウイルス感染症専門家会議	新型コロナウイルス感染症対策本部 (本部長: 内閣総理大臣) の下に置かれる (2020 年 2 月~6 月)。	12 人 (座長: 脇田隆字 (国立感染症研究所所長)、副座長: 尾身茂 (地域医療機能推進機構理事長))	新型コロナウイルス感染症対策について医学的な見地から助言等を行う。	資料・議事概要 (1~15 回: 発言者名なし、16~17: あり) を公開 < <a href="https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/taisaku_honbu.html">https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/taisaku_honbu.html</a> >
新型インフルエンザ等対策有識者会議 基本的対処方針等諮問委員会	内閣官房 新型インフルエンザ等対策閣僚会議の下に置かれる会議の下に置かれる (2020 年 3 月~)	19 人 (会長: 尾身茂、会長代理: 岡部信彦 (川崎市健康安全研究所所長))	以下についての意見を、内閣総理大臣又は新型インフルエンザ等対策本部長 (内閣総理大臣) に対し述べる。 ① 法第 18 条第 4 項に基づく意見。※「基本的対処方針」を定める際 ② ①に掲げるもののほか、新型インフルエンザ等の発生時の対策に関する必要な意見。	資料・議事概要 (発言者名あり) を公開 < <a href="https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html">https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html</a> >
新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボード	厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部の下に置かれる (2020 年 2 月~)	14 人程度 (座長: 脇田隆字 (国立感染症研究所所長))	新型コロナウイルス感染症対策を円滑に推進するに当たって必要となる、医療・公衆衛生分野の専門的・技術的な事項について、厚生労働省に対し必要な助言等を行う。	資料・議事概要 (発言者名あり) を公開 < <a href="https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00294.html">https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00294.html</a> >

表 3-4 : 新型コロナウイルス感染症に関する有識者会議等 (2020 年 7 月以降)

会議名称	設置組織 (活動時期)	メンバー	検討事項等	情報公開
新型インフルエンザ等対策有識者会議 新型コロナウイルス感染症対策分科会	内閣官房 新型インフルエンザ等対策閣僚会議の下に置かれる有識者会議の下に置かれる (2020 年 7 月～)	18 名 (会長：尾身茂、会長代理：脇田隆字 (国立感染症研究所長))	(1) 感染動向のモニタリング (2) ワクチン接種のあり方、接種の優先順位 (3) 「次の波対策」を含めた今後の新型コロナウイルス感染症対策 ○ 検査体制、医療提供体制の強化 ○ 保健所機能・サーベイランス等のあり方 ○ 市民生活、事業活動における留意事項 ○ リスクコミュニケーションのあり方 ○ 研究推進体制や疫学情報共有のあり方	資料・議事概要を公開 < <a href="https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html">https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html</a> >
新型インフルエンザ等対策有識者会議 基本的対処方針等諮問委員会	内閣官房 新型インフルエンザ等対策閣僚会議の下に置かれる有識者会議の下に置かれる (2020 年 3 月～)	19 人 (会長：尾身茂、会長代理：岡部信彦 (川崎市健康安全研究所長))	以下についての意見を、内閣総理大臣又は新型インフルエンザ等対策本部長 (内閣総理大臣) に対し述べる。 ① 法第 18 条第 4 項に基づく意見。※「基本的対処方針」を定める際 ② ①に掲げるもののほか、新型インフルエンザ等の発生時の対策に関する必要な意見。	資料・議事概要 (発言者名あり) を公開 < <a href="https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html">https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/yusikisyakaigi.html</a> >
新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボード	厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部の下に置かれる (2020 年 2 月～)	14 人程度 (座長：脇田隆字 (国立感染症研究所長))	新型コロナウイルス感染症対策を円滑に推進するに当たって必要となる、医療・公衆衛生分野の専門的・技術的な事項について、厚生労働省に対し必要な助言等を行う。	資料・議事概要 (発言者名あり) を公開 < <a href="https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00294.html">https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_00294.html</a> >

### 3.2.2 COVID-19 対策における数理モデルの利用

前のセクションで説明したように、有識者による検討は、2020年6月までは「新型コロナウイルス感染症専門家会議」において、2020年7月以降は「新型インフルエンザ等対策有識者会議」「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」において検討が進められた。このセクションではこの2つに分けて有識者による検討において数理モデルを用いた分析等がどのように取り上げられてきたかについて説明する。

ここでは、「新型コロナウイルス感染症専門家会議」等における議論（2020年6月まで）について検討する。

新型コロナウイルス感染症専門家会議は2020年2月に設置され、7月3日に助言組織の改編があるまで17回の会議が開催された。

この期間には厚生労働省の新型コロナウイルス感染症アドレスは2月に2回開催されただけであり、政府の有識者の助言機能を持つ会議は専門家会議に限定された。まず、この期間について、感染症数理モデルに関連する助言としてどのようなものがなされ、それが施策等に反映されていたかを見る。

なお、「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」は2020年2月に発足し、2月7日と2月10日に2回会合が開催されたが、第3回会合は7月14日であり、有識者による検討は専門家会議において行われていた。2回の会合では数理モデルに関連する検討はなかった。

この期間には、まず、2020年2月27日に、安倍内閣総理大臣による一斉学校休校の要請があり、3月から最大で3か月間の全国の自治体で休校措置が取られた。2020年4月7日には緊急事態宣言（4月7日から7府県、4月16日から全国）が出され、5月25日まで継続した（首都圏1都3県と北海道）<sup>45</sup>。

専門家会議の座長を務めた脇田（2020）によれば、政府に対して以下のような提案活動があったとしている<sup>46</sup>。

- ・ 第6回（3月9日）では、日本のCOVID-19に対する戦略を「見解」として取りまとめた。「クラスター（集団）の早期発見・早期対応」、「患者の早期診断・重症

---

<sup>45</sup> 「緊急事態宣言」は2020年3月13日に成立した新型コロナウイルス対策の特別措置法に基づく措置。安倍総理大臣は2020年4月7日に東京、神奈川、埼玉、千葉、大阪、兵庫、福岡の7都府県に緊急事態宣言を行った。4月16日に対象を全国に拡大し、これらの7都府県に、北海道、茨城、石川、岐阜、愛知、京都の6都府県を加えた13の都道府県を、特に重点的に感染拡大防止の取り組みを進めていく必要があるとして、「特定警戒都道府県」と位置づけた。5月14日に北海道・東京・埼玉・千葉・神奈川・大阪・京都・兵庫の8つの都道府県を除く、39県で緊急事態宣言を解除することを決定。5月21日に大阪・京都・兵庫の3府県について、緊急事態宣言を解除することを決定。5月25日に首都圏1都3県と北海道の緊急事態宣言を解除。出典：NHK News website「緊急事態宣言 1回目の状況」

(<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/emergency/>)

<sup>46</sup> 脇田隆宇（2020）「感染症危機における科学的専門家助言組織のあり方」日本内科学会雑誌 109 巻 11 号：2343～2347

者への集中治療の充実と医療提供体制の確保」、「市民の行動変容」の3本柱を基本戦略として政府に対し提案した。

- ・ 第8回(3月19日)の「状況分析・提言」では、地域での流行状況の評価を行った。海外でみられるようなオーバーシュート(爆発的急増)への懸念と、そのような事態に至った場合にはロックダウン(都市封鎖)に類する措置が必要になること等について、政府に助言した。
- ・ 第8回以降、専門家会議から発表する文章のタイトルは、それまでの「見解」から「状況分析・提言」となり、より総合的なものに変更された。より有効な提案を行うために、専門家の主張と共に、政府の考え方や対策の全体を、厚労省等の職員と構成員が、一定の緊張関係のもと、毎日のように議論しながら「状況分析・提言(案)」を取りまとめ、会議でもさらに意見を交わし、完成させ、記者会見で発表した。

2020年2月から7月までの期間は、助言組織についての区切りであるとともに、感染症第1波の始まりから終わりまでにも対応していると言える。

表3-5は17回開催された専門家会議において数理モデルに関連する資料や、討議・検討内容を示している。分かることは、感染症数理モデルについての助言者が西浦博教授(北海道大学(当時))にほぼ限定されていたことである。後述するように、大阪大学 中野貴志教授の資料が参考資料として配布はされていたが、議事録を確認するところでは議論はなかったようである。そのため、西浦・川端(2020)を参考資料として用いてどのような検討や助言があったかについて確認した。

以下はこれらについて4項目1)~4)に分けて説明する。なお、以下に示すように、専門家会議における感染症数理モデル関連の助言の提供は、専ら西浦博北海道大学教授(当時)によりなされた。同氏は2020年12月に発行された「理論疫学者・西浦博の挑戦—新型コロナからいのちを守れ!」(中央公論新社)において同会議における活動について詳しく説明しているため、その内容を参考として整理した。

**表 3-5 : 新型コロナウイルス感染症専門家会議における数理モデルについての資料・検討内容**

会議日時等	資料・検討事項等
第5回会議(2020年3月2日)	参考資料1「新型コロナウイルス感染症の流行シナリオ」日本医療研究開発機構 感染症実用化研究事業(新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業)「感染症対策に資する数理モデル研究の体制構築と実装」(研究開発代表者:西浦博)報告書
第6回会議(3月9日)	資料1:「新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の見解」」 参考資料1:新型コロナウイルスの患者数が大幅に増えたときに備え

会議日時等	資料・検討事項等
	た医療提供体制等の検討について（依頼）
第 8 回会議（3 月 19 日）	資料 1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」
第 10 回会議（4 月 1 日）	資料 1：新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言
第 11 回会議（4 月 22 日）	資料 1：新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言
第 12 回会議（5 月 1 日）	資料：新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言(案) <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 図 3：全国における実効再生産数</li> <li>・ 図 4：東京都における実効再生産数</li> <li>・ (3) 行動変容の具体的な評価</li> </ul> 参考 1：COVID-19 による死亡率と医療需要の低減を目的とした非薬物的介入(NPI)の影響（3 月 16 日インペリアル・カレッジ・ロンドン発表）の概要 参考 2：「過去のパンデミックを基に予測した新型コロナウイルスの感染軌道」（2020 年 4 月 14 日ハーバード大学発表）の概要 参考資料 1：新型コロナウイルス感染症対策の今後の見通し（イメージ） ⇒「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（2020 年 5 月 1 日）の発表
第 14 回会議（5 月 14 日）	参考資料 2：大阪大学大学院経済学研究科大竹文雄教授提出資料（累積感染者数週次増加率の有効性 大阪大学 中野貴志教授）
第 15 回会議（5 月 29 日）	「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（令和 2 年 5 月 29 日） <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 図 2：全国の実効再生産数推定値（5 月 28 日版）</li> <li>・ 図 3：東京の実効再生産数推定値（5 月 28 日版） （クラスター対策の評価、14 頁）</li> <li>・ (2) 緊急事態宣言の効果 実行再生産数の議論</li> </ul>
第 17 回会議（6 月 19 日）	資料 1：新型コロナウイルス感染症の医療提供体制確保のための新たな流行シナリオ（日本医療研究開発機構 感染症実用化研究事業（新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業）「感染症対策における数理モデルの拡大的活用研究」（研究開発代表者：西浦博）） <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「各都道府県で今後必要と想定される入院患者数の数値計算を実施」したもの</li> </ul>

出典：会議資料、議事録に基づき作成

<[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel\\_coronavirus/taisaku\\_honbu.html](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/novel_coronavirus/taisaku_honbu.html)>

## 1) 必要な病床数等のシミュレーション

西浦・川端（2020、55～57頁）によれば、新型コロナウイルス感染症発生初期に西浦博北海道大学の研究室チーム（博士課程学生等）で行っていた分析内容は以下のようなものであった。

- ・ 実効再生産数の推定を、日本全国、愛知、大阪、東京、北海道などで行うこと
- ・ 感染者のピラミッドの検討（全感染者の中で、発病して重症化する人等の推定）
- ・ 人の移動が流行拡大にどのような影響を与えるかの分析
- ・ 感染者数の様々な推定方法の比較検討
- ・ クラスタ発生データの管理、データベース化
- ・ 感染リスクや発病リスクの年齢別推定や決定要因の探索

2020年3月頃になると、西浦教授はCOVID-19の重症者や入院者に必要となる病床数等のシミュレーションを集中して行っていた。そのために、「人口内での二次感染が起こるプロセスを、数式上でメカニズムそのものを捉えたSIRモデルという数理モデルを使って、武漢のデータを基にパラメータ推定を簡単に行い、日本で年齢群別の感染者がどれくらいいるかを計算しました」とのことである。具体的には、「年齢ごとに重症化する人数が分かるので、必要な病床が割り出すことが可能である。その際に、「ヨーロッパでのR0が2.5ぐらいだと仮定して、また、重症化リスクを最新のものにした上で計算をし直すと、重症患者が必要とするICUのキャパシティを簡単に超えてしまう」結果になった。これについて専門家会議で取り上げることは官僚からの抵抗があったということである。

「今この瞬間にヨーロッパで起こっていることですから、日本でもオーバーシュートが起こると、ICUが足りなくなる事態があり得るということを伝えないと、と思い、資料に図を掲載させていただいたのですが、これを載せることが、ものすごい反対にあいます。」

（図3-9）（108～109頁）

具体的には、2020年3月2日に持ちまわり開催された第5回専門家会議では、西浦委員より参考資料「新型コロナウイルス感染症の流行シナリオ」の配布があった。同資料の内容の概要は以下に示したが、感染症の今後の拡大について発症率・入院率・重症化率について予測している。表3-6に示すように、基本再生産数を1.7として最大時点での人口10万人当たりの発症者、入院患者数、重傷者数の推計値を示し、各自治体がそれぞれの世代別人口からピーク時の外来患者数、入院患者数、重傷者数を算出できるとした。

また、3月19日の第8回専門家会議では、「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」について討議されたが、同資料には、以下に示したように、北海道と全国についての実効再生産数の推移が示された（図3-7、図3-8）。また、基本再生産数を欧州なみの2.5と想定する場合のシミュレーションの結果を示した。この場合、「流行50日目には1日の

新規感染者数が（10万人当たりで）5,414人にのぼり、最終的に人口の79.9%が感染する」  
「呼吸管理・全身管理を要する重篤患者数が流行62日目には（10万人当たりで）1,096人に上り、この結果、地域における現有の人工呼吸器の数を超えてしまう」とより厳しい推定結果となっている（図3-9）。

この結果については、西浦・川端（2020）では、西浦教授は以下のように説明している。

「実はこれが後々、なにも対策しないと累積で85万人の重症患者が出て、そのうちの半分近くが死亡すると42万人だという推定のベースになります。この図を出した時のシミュレーションから簡単に計算できるものなんですけれども、死亡者数に関しては絶対に言わないということを、ここでは約束させられます。」（110頁）

「3月19日の専門家会議の提言書の中に、意図してそのシミュレーション結果を入れてもらった時には、サイエンス・コミュニケーションに挑戦する意識がありました。今までパターンナリストックにやってきたところを、僕らはリスク・インフォームド・ディシジョンに挑戦してみたいんです、と（厚労省に）話をして吞んでもらいました。」（113頁）

これらの結果が専門家会議で抵抗にはあったものの取り上げられ議論されたことについて西浦教授は以下のように非常に肯定的なものとして捉えている。

- ・ 「これまで日本で感染症対策の専門家が政策の中核に入ったことはなく、今、画期的なことが起ころうとしている、と率直に感じられた」（52頁）
- ・ 「専門家が、専門的知識あるいはデータに基づくエビデンスを、「科学的な根拠に基づいた政策決定」のために提供してよいというお墨付きが与えられた瞬間だったともいえる」（53頁）
- ・ 「日本ではまだ理解されているとは言い難かった感染症の数理モデルが、初めて信頼を得たということでもあった」（53頁）

【第5回専門家会議（2020年3月2日）参考資料1 「新型コロナウイルス感染症の流行シナリオ」日本医療研究開発機構 感染症実用化研究事業（新興・再興感染症に対する革新的医薬品等開発推進研究事業）「感染症対策に資する数理モデル研究の体制構築と実装」（研究開発代表者：西浦博）報告書】

- ・ 各都道府県（流行状況、年齢構成等の相違がある）において医療体制を確保するための参考とするため、発症率、入院率、重症化率の3つの変数を決定し、新型コロナウイルス感染症が国内で感染拡大した場合の流行動態を数理モデルにより推計した。2月29日時点で得られた情報に基づく分析としている。
- ・ 「積極的疫学調査や行動制限の要請、医療提供体制の確保を含む公衆衛生上の各種対策の影響により、最終的な結果は大きく異なり、これらの対策により一般的には、推計値よりも実態上の数値は低くなることが予想されることに留意いただきたい」と最初に断っている。ま

た、「各都道府県において医療体制を確保するための参考として示す仮定の流行シナリオであり、実際の流行を行ったものではない」とも説明する。

- ・日本国内における基本再生産数（R0）について、1.4、1.7、2.0と想定している。このうち、1.7が最も妥当と考えられると説明している。1.4は複数ある推定値の最も低い数値、2.0は最も高い数値である<sup>47</sup>。発生率は基本再生産数により決定される。
- ・入院率（発症した者のうち、入院を要する状態となる患者の比率）と重症化率（呼吸不全により気管挿管を施行もしくは集中治療室（ICU）に入室する患者の比率）は中国におけるデータに基づき算出し、平均入院期間と重症状態の平均期間は他のコロナウイルス感染症の研究結果に基づきどちらも15日と想定している<sup>48</sup>。
- ・シナリオでは最大時点は、流行が開始後概ね3か月で到来すると推計した。下図は、最大時点における人口10万人あたり発症者、入院患者数および重症者数の推計（R0=1.7を想定）である。

表 3-6:最大時点における人口10万人あたり発症者、入院患者数および重症者数の推計(R0=1.7を想定)

	発症者	入院患者	重症者
小児（0-14歳）	181	53	2
成年（15-64歳）	294	18	1
高齢者（65歳以上）	509	560	18
全年齢平均	339	172	5

出典：第5回専門家会議（2020年3月2日）参考資料1 「新型コロナウイルス感染症の流行シナリオ」

- ・上図の数値に基づき、以下の数式に各自治体の世代別人口を挿入することでピーク時の外来患者数、入院患者数、重症者数を算出できると提示した。

$$\begin{aligned} & \text{(ピーク時において1日あたり新たに新型コロナウイルス感染症を疑って外来を受診する患者数)} \\ & = (0-14歳人口) \times 0.18 / 100 + (15-64歳人口) \times 0.29 / 100 + (65歳以上人口) \times 0.51 / 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{(ピーク時において1日あたり新型コロナウイルス感染症で入院治療が必要な患者数)} \\ & = (0-14歳人口) \times 0.05 / 100 + (15-64歳人口) \times 0.02 / 100 + (65歳以上人口) \times 0.56 / 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{(ピーク時において1日あたり新型コロナウイルス感染症で重症者として治療が必要な患者数)} \\ & = (0-14歳人口) \times 0.002 / 100 + (15-64歳人口) \times 0.001 / 100 + (65歳以上人口) \times 0.018 / 100 \end{aligned}$$

- ・感染拡大防止策として、学校の臨時休業、集会等の開催自粛、テレワークによる業務要請、

<sup>47</sup> Jung, S. M., Akhmetzhanov, A. R., Hayashi, K., Linton, N. M., Yang, Y., Yuan, B., ... & Nishiura, H. (2020). Real-time estimation of the risk of death from novel coronavirus (COVID-19) infection: inference using exported cases. *Journal of clinical medicine*, 9(2), 523. などに基づく説明。

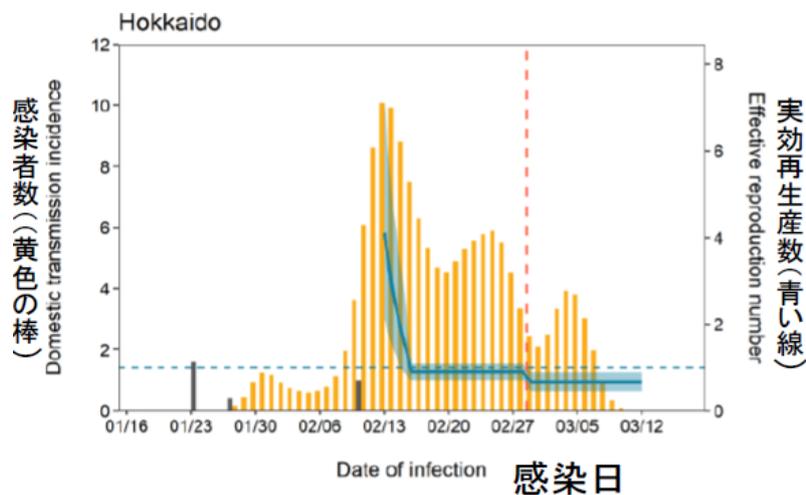
<sup>48</sup> Trombetta, H., Faggion, H. Z., Leotte, J., Nogueira, M. B., Vidal, L. R., & Raboni, S. M. (2016). Human coronavirus and severe acute respiratory infection in Southern Brazil. *Pathogens and global health*, 110(3), 113-118. など

高齢者通所施設等の休業を挙げ、それぞれ小児、成年、成年、高齢者における感染拡大の抑止の効果があるとした。

【第8回専門家会議（2020年3月19日）】

資料1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」】

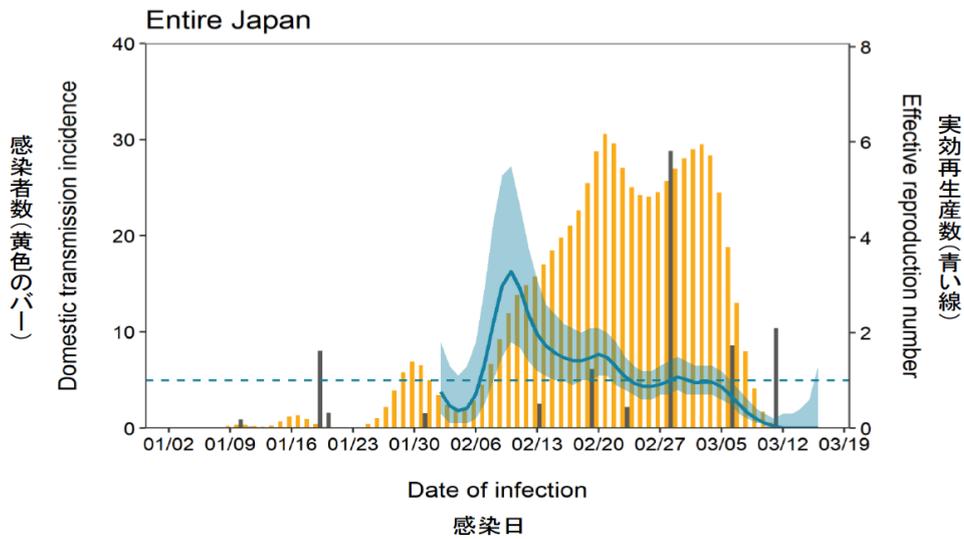
- ・北海道の感染状況について分析し、図3-7に示すように、実効再生産数は概ね1程度であったが、緊急事態宣言（2月28日に北海道知事が発出したもの）の発出後は1を下回る人も増加していると分析している。また、日本全国の実効再生産数は、図3-8に示すように、1をはさんで変動している状況が続いていたが、3月上旬以降は1を下回り続けていると分析した。



注：推定された感染時刻別の新規感染者数に基づくもの

出典：資料1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（第8回専門家会議（2020年3月19日））4頁。

図3-7：北海道における実効再生産数

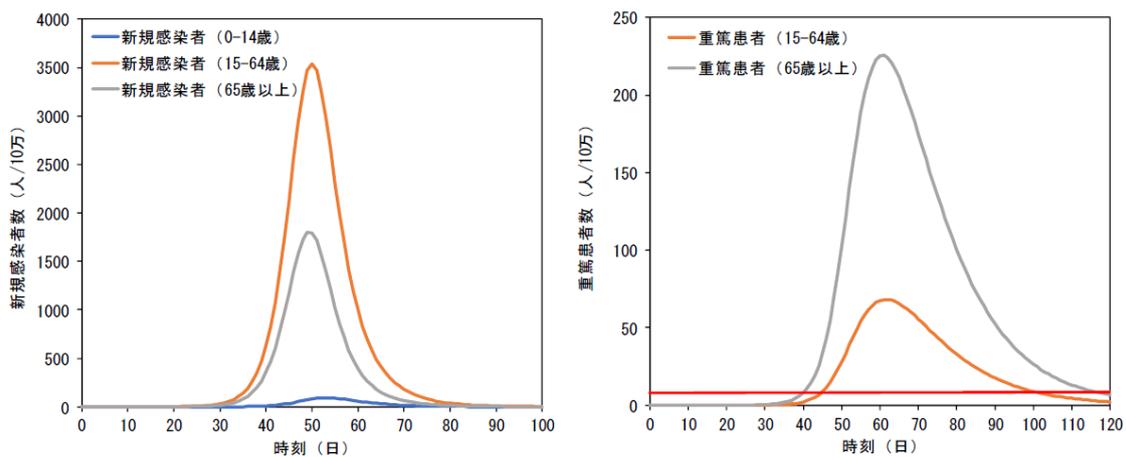


出典：資料 1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（第 8 回専門家会議（2020 年 3 月 19 日））5 頁。

図 3-8：感染時刻による実効再生産数の推定（日本全体）

- ・日本の特定地域（人口 10 万人）で欧州で発生しているような新型コロナウイルス感染症の大規模流行が起き、ロックダウンなどの強い措置が取られなかった場合についての、西浦教授の推計について以下のように説明している。表 3-6 では  $R_0=1.7$  と想定していたためピーク時の成年層の 10 万人当たりの感染者数は 294 人としていたが、この推計（ $R_0=2.5$  と想定）ではその 10 倍以上の数値となっている。

基本再生産数（ $R_0$ ：すべての者が感受性を有する集団において 1 人の感染者が生み出した二次感染者数の平均値）が欧州（ドイツ並み）の  $R_0=2.5$  程度であるとすると、症状の出ない人や軽症の人を含めて、流行 50 日目には 1 日の新規感染者数が 5,414 人にのぼり、最終的に人口の 79.9% が感染すると考えられます。また、呼吸管理・全身管理を要する重篤患者数が流行 62 日目には 1,096 人に上り、この結果、地域における現有の人工呼吸器の数を超えてしまうことが想定されるため、広域な連携や受入体制の充実を図るべきです。



注：右図の赤の実線は日本で10万人当たりで使用可能な人工呼吸器台数を示す。

出典：資料1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（第8回専門家会議（2020年3月19日））9頁。

図 3-9：大規模流行時の10万人当たりの新規感染者数・重篤患者数の予測

・上記を含む分析等に基づき、提言では政府等、市民・事業者に対して以下の幅広い項目についての対応等を求めた。

1. 政府及び地方公共団体への提言

- (1) クラスター対策の抜本的な強化
- (2) 北海道及び各地方公共団体へのお願い
- (3) 「3つの条件が同時に重なった場」を避ける取組の必要性に関する周知啓発の徹底
- (4) 重症者を優先する医療体制の構築
- (5) 学校等について

2. 市民と事業者の皆様へ

- (1) 3つの条件が同時に重なった場における活動の自粛のお願い
- (2) 感染者、濃厚接触者等に対する偏見や差別について
- (3) 積極的疫学調査へのご協力をお願い
- (4) 高齢者や持病のある方など重症化リスクの高い皆様へのお願い
- (5) 高齢者や持病のある方に接する機会のある職業ならびに家庭の方へのお願い
- (6) 若者世代の皆様へのお願い
- (7) 医療従事者の皆様へのお願い
- (8) PCR検査について
- (9) 大規模イベント等の取扱いについて
- (10) 事業者の皆様へのお願い

## 2) 第1回緊急事態宣言と、8割の接触削減による感染者数の予測

- ・流行シナリオ（4月22日）：80%の接触削減、70%の接触削減の場合（新規感染者数）

第1回の緊急事態宣言は、先述のように、2020年4月7日に発出され（4月7日から7府県、4月16日から全国）、5月25日まで継続した（首都圏1都3県と北海道）。

第11回専門家会議は緊急事態宣言が全国対象として継続していた4月22日に開催され、以下に示すように、「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」について議論された。8割の人流削減については既に総理自ら説明されていたことであったが、あらためてその論理について説明されている。すなわち、「7割程度の接触の削減であると、仮に新規感染者数が減少に転じるとしても、それが十分に新規感染者数を減少させるためには更に時間を要する」のに対して、「8割削減の達成によって、1か月後には、感染者数が限定的となり、より効果的なクラスター対策や「3つの密」の回避を中心とした行動変容で感染を制御する方法が選択できるようになると期待される」。

図3-10は $R=2.5$ で増加していたものが、8割削減では $R=0.5$ となり、500人の新規感染者数を15日間で100人まで減少させることが可能となる。6.5割削減だと、 $R=0.875$ であり100人まで削減させるのに2か月以上を要することになることが表現されている。

西浦・川端（2020）では、西浦教授は以下のように説明する。

「当時（1回目の緊急事態宣言発出の前）、1日当たりの新規感染者数が、50人から100人規模になっていたんですけど、それを10人から20人ぐらいまで下げるにはどうすればいいのかというのをシミュレーションしました。R0を2.5とすると、1か月で下げるには、8割ぐらい接触が落ちていないといけないと分かりました。」（174頁）

この結果を専門家会議の場に出すことについては先述の病床数等のシミュレーションと同様に厚労省からは強い抵抗があったということである。最終的には尾身座長による調整が成功し、感染症数理モデルの結果が大きな政策目標の設定に利用された歴史的な結果となったと捉えられている。

「そういう検討を経ていて変えられるはずがない8割が、緊急事態宣言を承認する有識者会議の前日に内閣官房のどなたかによって書き換えられてしまっていました。」「最終的に「最低7割、極力8割」と首相が発表したのは、実は尾身先生と安倍総理が会議場で手打ちをして合意形成をしたんですよ。政府側は8割のみでは呑まないことはすでに決めていたので、尾身先生から「こういう表現ではどうか」と呼びかけてもらったのです。・・・それは数理モデルが政府の政策目標を決めるという点で採用された、歴史的なこととなりました。」（178～179頁）

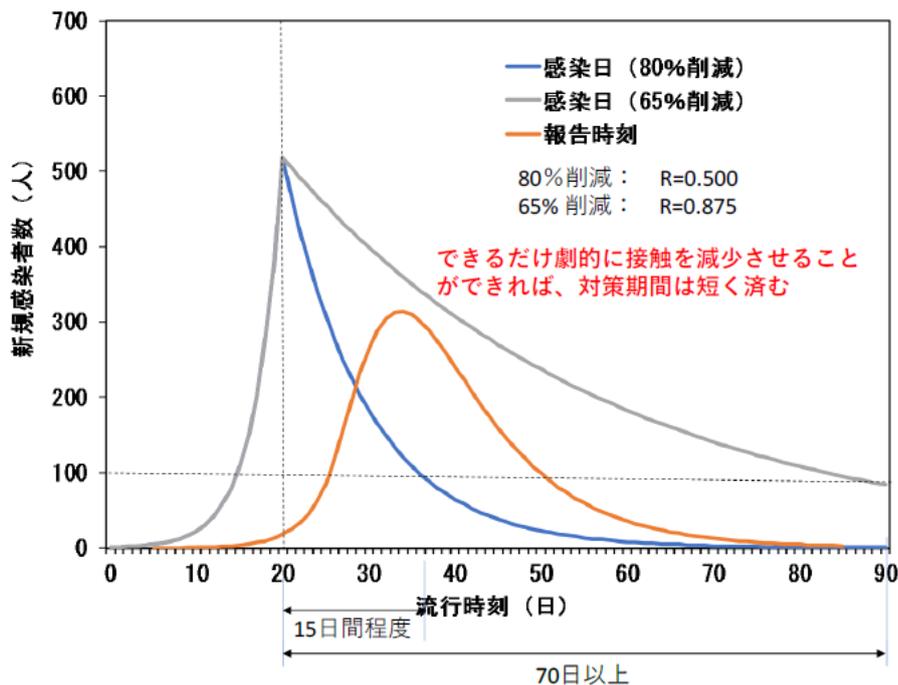
【第 11 回専門家会議（2020 年 4 月 22 日）

資料 1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（案）（2020 年 4 月 22 日）】

- ・「緊急事態宣言下における接触機会の 8 割の削減」について以下のように説明している。

人と人との接触機会を 8 割削減するという目標は単に 2 次感染を減少させるために必要になるだけでなく、短期間で（例えば 8 割という劇的な削減であれば緊急事態宣言後 15 日間で）感染者数が十分な程度減少するためにも必要である。接触機会の 8 割削減が達成されている場合、緊急事態宣言後おおよそ 1 か月で確定患者データの十分な減少が観察可能となる。他方、例えば 7 割程度の接触の削減であると、仮に新規感染者数が減少に転じるとしても、それが十分に新規感染者数を減少させるためには更に時間を要する。なお、8 割削減の達成によって、1 か月後には、感染者数が限定的となり、より効果的なクラスター対策や「3 つの密」の回避を中心とした行動変容で感染を制御する方法が選択できるようになると期待される。不十分な削減では感染者を減少させる期間が更に延びかねないことを十分に理解した上で、できるだけ早期に劇的な接触行動の削減を行うことが求められる。

- ・図 3-10 はこれを示したものであり、流行対策開始前までは  $R_0=2.5$  で感染者数が増加すると想定し、感染日別の新規感染者数は 80% の接触削減により 15 日間で 1 日 100 人まで減少すると予測する（青線）。接触の削減が 65% であると 1 日 100 人に達するには 70 日以上を要する（灰色線）。確定患者として報告されるにはおおよそ 2 週間の遅れを要するため、それが 1 日 100 人に到達するには緊急事態宣言から約 1 か月を要する（オレンジ線）、と説明している。



出典：第11回専門家会議（2020年4月22日）資料1：新型コロナウイルス感染症対策専門家会議「新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言」（案）、4頁。

図 3-10：接触が流行開始後 20 日目に大幅に削減された場合のシナリオ

### 3) 海外研究者の分析事例の紹介

- ・海外の事例の紹介（5月1日）：Imperial College London と Harvard 大学による感染者数の予測
- ・流行シナリオ（6月19日）：各都道府県で今後必要と想定される入院患者数の数値計算

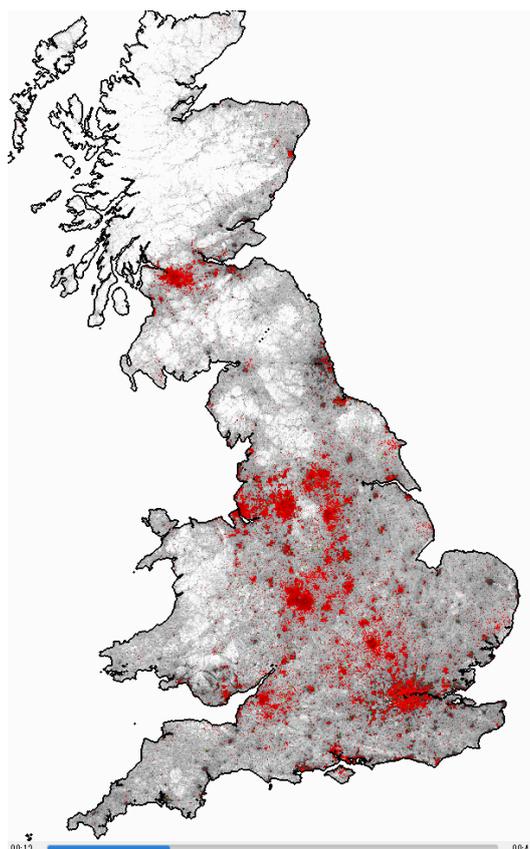
第12回専門家会議（2020年5月1日）では英国と米国の研究結果について参考資料として配布されている。議事概要によれば、この内容については特に討議はされていないようである。

最初の英国の調査研究のモデルは individual-based simulation model（エージェントベースモデル）である。以下の2006年の論文で開発したインフルエンザパンデミックの感染症伝播予測モデルを新型コロナウイルス感染症用に修正している。2006年のモデルでは英国約580万人についてシミュレーションをしている。人口の地域分布、移動パターン（通勤、航空）、家庭・職場の人数分布等を英国について実データに基づいて推定しモデルを構築している。2020年度のレポートでは、感染後4.6日（発症の12時間前）で感染性が開

始し、感染後 5.1 日で発症すること、基本再生産数は 2.4 日 (2.0~2.6 について推定) などのモデルの前提を置いている。

2006 年の論文のビデオ (Nature 誌の website 上で公開) では、感染者の発生が徐々に英国全土で拡大していく様子を見ることができる (図 3-11)。

Ferguson NM, Cummings DAT, Fraser C, Cajka JC, Cooley PC, Burke DS. Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature* 2006;442(7101):448–52.



出典 : Ferguson NM, Cummings DAT, Fraser C, Cajka JC, Cooley PC, Burke DS. Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature* 2006;442(7101):448–52. Supplementary Video 1.

図 3-11 : 2006 年の論文における英国内の感染症伝播シミュレーションビデオ

Nature の 2006 年論文自体は 5 頁で短い。ただし、論文付属の supplementary information でモデルの詳細について説明されており、それは 37 頁の長さがある。Nature 誌の website 上でのみ公開されており、1 章 : 人口データ、2 章 : モデルの詳細、3 章 : 感染パラメータ ( $R_0$  等の推定)、4 章 : 施策のインパクト、5 章 : センシティブリティ分析について説明されている。モデルは例えば人口密度データ、世帯人数・年齢構造、学校規模・地域分布、職場人数・分布、通勤距離、航空機による移動についての想定とその根拠データ、モデルのアルゴリズム (感染等) について詳細に説明されている。2006 年の論文は 6

人による共著、2020年のレポートは30人による共著であり、チームエフォートであることが分かる。

【第12回専門家会議（2020年5月1日）

参考1: COVID-19による死亡率と医療需要の低減を目的とした非薬物的介入(NPI)の影響(3月16日インペリアル・カレッジ・ロンドン発表)の概要】

- 以下の英国 Imperial College London の研究チーム (Neil M Ferguson 他 29 名) によるレポート (2020 年 3 月 16 日) の内容を紹介している。レポートは「COVID-19 のワクチンが利用可能になるまでに少なくとも 1 年から 1 年半かかると予想」しており、「非薬物的介入 (NPI, non-pharmaceutical intervention) により人と人との間の接触を防いでウイルスの伝染を減らすことが当面の目標」との内容のものであるとまとめている。

Neil M Ferguson, Daniel Laydon, Gemma Nedjati-Gilani et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College London (16-03-2020), doi:<https://doi.org/10.25561/77482>.

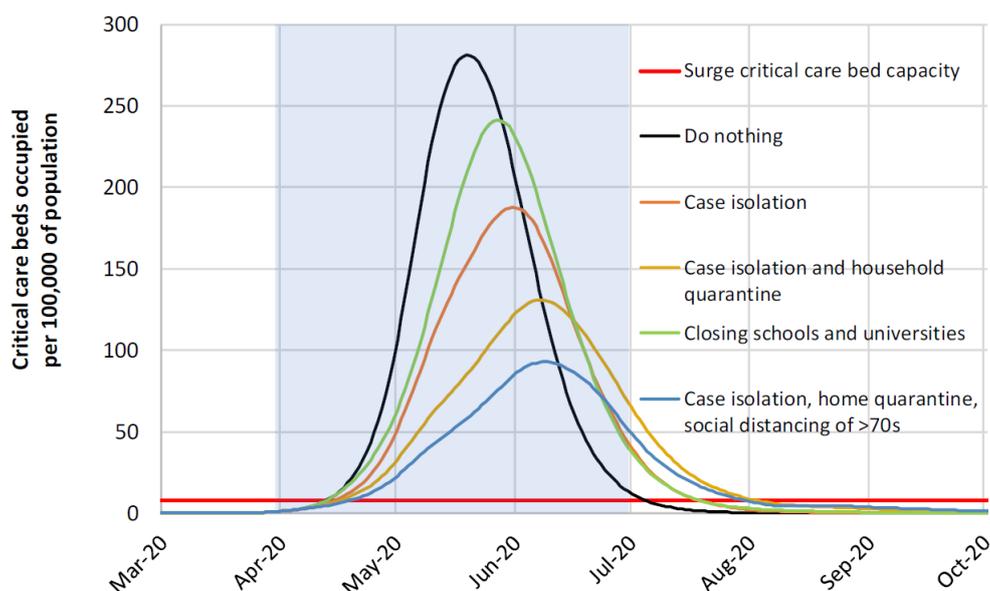
- レポートでは表 3-7 の 5 つの施策を実施した場合、必要となる ICU ベッド数について推定している。「緩和 (mitigation)」策とは、感染拡大を遅らせることを目的に、ピーク時の医療需要を低減すると同時に、リスクの高い人々を感染から保護することが目的とするものであり、①、②及び③を組み合わせる。また、「抑制 (suppression)」策とは、感染拡大を縮小することを目的とし、感染者数を減少させ、その状況を無期限に維持。①、②及び④を実施し、必要に応じ⑤を実施するものである。一つ一つではその効果が限られ、感染拡大に実質的な影響を与えるためには、「緩和」と「抑制」を含む、複数の対策の組合せが必要であるとの結果だった。

表 3-7: 検討されている非薬物的介入策の概要

	対策(policy)	概要
①	有症状者の自宅隔離	有症状者は7日間自宅隔離、家庭外の接触を 75%減らす。家庭内の接触は変化なし。70%の家庭がこの対策を遵守することを想定。
②	自発的な家庭隔離	有症状者の家族全員が 14 日間自宅隔離。期間中は家族内の接触は倍に。地域 (community) 内の接触は 75%減。50%の家庭がこの対策を遵守することを想定。
③	70 歳以上の社会的距離戦略	職場における接触を 50%減らし、家庭内の接触を 25%増やし、他の接触を 75%減らす。この対策は 75%遵守されることを想定。
④	全国民の社会的距離戦略	家庭外、学校・職場以外における接触を 75%削減。学校内の接触は変化なし。職場での接触を 25%削減。家庭内の接触は 25%増加することを想定。
⑤	学校と大学の閉鎖	全ての学校を閉鎖し、25%の大学のみ運営。生徒の家族との接触は閉鎖期間中に 50%増加、地域における接触は 25%増加する想定。

出典：専門家会議資料：参考 1

- ・「緩和」策の組み合わせは、ピーク時の医療需要を 2/3 に低減し、死亡率を半減するが、死亡者が数十万人に上り、医療機関（特に集中治療室）の負担が何倍にも増える可能性がある。他方、「抑制」策の主な課題は、介入が緩められると感染が急速に再燃する可能性があるため、ワクチンが利用可能になるまでの 1 年から 1 年半の間、介入を維持する必要があることである。



出典：Neil M Ferguson, Daniel Laydon, Gemma Nedjati-Gilani et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College London (16-03-2020), doi:<https://doi.org/10.25561/77482>. Figure 2.

図 3-12：英国における緩和戦略シナリオ：必要となる ICU ベッド数

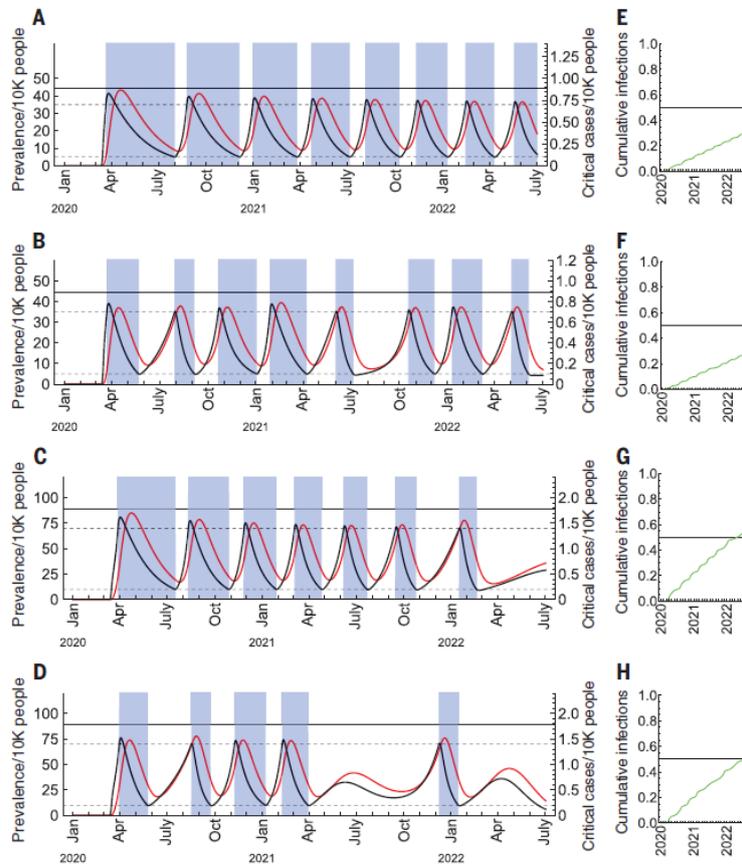
【参考 2：「過去のパンデミックを基に予測した新型コロナウイルスの感染軌道」（2020 年 4 月 14 日ハーバード大学発表）の概要】

- ・次に紹介されたのは以下の *Science* 誌の論文であり、ハーバード大学の公衆衛生大学院（Harvard T.H. Chan School of Public Health）の研究者による研究結果である。「過去に米国においてパンデミックを引き起こしたベータコロナウイルス OC43 及び HKU1 の季節性や免疫の持続期間等に関する推定値を使用し、新型コロナウイルス感染症の感染軌道の予測を行った」ものである。

Kissler, S. M., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad, Y. H., & Lipsitch, M. (2020). Projecting the transmission dynamics of SARS-CoV-2 through the postpandemic period. *Science*, 368(6493), 860-868.

- ・専門家会議の資料は、予測は、以下の条件の下に行われたと、説明している。

- ・ 積極的な接触履歴の追跡によってウイルスの拡散が抑制される可能性を考慮していない
  - ・ 年齢や性別等による違いを考慮せず、全ての国民を一律にモデル化。
  - ・ 治療方法やワクチンの開発に進展がないものとした。
  - ・ 実効再生産数は2～2.5の間で設定。
  - ・ ウイルスの感染力は、社会的距離政策（Social Distance）により60%減少し、また夏期に40%減少するものとした。
- ・ 現在及び強化された医療提供体制下での断続的な社会的距離政策のシナリオとして以下を考え、「A・Bについては、2022年でも累積感染率が3割程度であり、引き続き断続的に社会的距離施策を実施する必要があると予想。他方、C・Dについては、2022年上半期までの社会的距離政策により2022年中旬までに集団免疫を獲得すると予想」と説明する。ただし、どちらのシナリオにおいてもワクチン接種による免疫獲得は想定されていない。
- A・B：現在の医療提供体制下において社会的距離政策を断続的に実施した場合の感染者数と重篤患者数。Aは季節性なし、Bは季節性あり。
- C・D：救急医療用の病床を2倍にした場合において社会的距離政策を断続的に実施した場合の感染者数と重篤患者数。Cは季節性なし、Dは季節性あり。
- E～H：国内人口に占める累積の感染者の割合。5割（黒横線）を超えると集団免疫を獲得。



出典：Kissler, S. M., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad, Y. H., & Lipsitch, M. (2020). Projecting the transmission dynamics of SARS-CoV-2 through the postpandemic period. *Science*, 368(6493), 860-868. Fig.6.

図 3-13：現在及び強化された医療提供体制下での断続的な社会的距離政策のシナリオ

- ・ 専門家会議の資料では「イギリスの論文（参考2参照）ではワクチンが開発されるまで、アメリカの論文（参考3参照）は集団免疫が得られるまで、という期間の性格の違いはあるものの、①1年以上にわたる対策の必要性を予想していること、②免疫を持っている人が多いわけではないので、一定の再流行を想定していること、③医療崩壊が生じないよう、適宜、徹底した社会的距離政策を講じる必要性があることなどの共通の指摘がなされている。しかしながら、専門家会議では、感染の拡大を前提とした集団免疫の獲得のような戦略や、不確実性を伴うワクチン開発のみをあてにした戦略はとるべきでない」との解釈が示されている。

### 3.2.3 アクターごとの数理モデルへの言及の頻度の相違

総理大臣、大臣、専門家（感染症全般）、専門家（数理モデル等）と、数理モデルへの言及の程度は上の階層になればなる程少なくなる。会見録から確認してみたところ以下の結果となった。例えば、内閣総理大臣であれば新型コロナ感染症関連だけについて発言する訳ではなく、また、政策の検討状況や分析内容について細かく説明するよりも、決定した政策の内容やそれが人々の生活にどのような影響を与えるか、影響を受けた人々や産業等をいかに補償するか、などについての説明の割合が多くなるのは当然である。また、政治家であれば、その個性も発言内容には当然影響する。例えば、医師出身の政治家であれば、より専門的な見地からの説明も期待されまたそれに応えることがあるだろうし、同様に、数理系の経歴を持つ政治家であればより数理解の内容への言及が多くなるものと考えられる（ドイツのメルケル首相など）。

具体的には会見録では数理モデルの利用について以下の言及があった。

#### 安倍晋三内閣総理大臣

- ・ 西浦教授ら専門家の数理モデルについての言及があった（4/7/2020）。人と人との接触機会を8割減少し、2週間後に感染者数を減少方向に転じさせることが可能との内容。
- ・ 「実効再生産数」について総理会見で初めて言及があった（5/4/2020）。5月末までに一日あたりの新規感染者数を100人以下まで減らすとの説明があった（会見時点では200人）。
- ・ 数理モデルについては、オックスフォード大学の研究 に対して言及があった（接触確認アプリの感染者抑制の効果）（5/25/2020と6/18/2020）。5月25日の会見では、緊急事態宣言の解除を受けて、それまでの8割の接触削減の目標は止め、以降は活動を再開し「新たな日常」を作りあげていくことを模索するステージになったと説明された。

#### 菅義偉内閣総理大臣

菅総理の会見は、回数は多いがぶら下がり会見が多い。そのような会見は決定事項を述べるのが中心であり、背景情報の詳しい説明は一切ないことが殆どであった。特に、将来動向の推移（感染者数の今後の推移見込みを含む）についての発言は言質を取られることを避けるためか殆どなかった。

例えば、2021年1月7日の会見（1か月間、東京都、千葉・埼玉・神奈川県を対象に緊急事態宣言を出すことを1月7日に決定）では、1か月で感染者数を抑えられなかった場合の対応についての質問に対して「それと、もしできなければ1か月ということでありましたけれども、仮定のことについては私からは答えは控えさせていただきたい。とにかく1か月で何としても感染拡大防止をしたい、そういう思いで取り組んでいきたい、こういうように思います。」と回答するような発言が多かった。

## 加藤勝信厚生労働大臣

加藤大臣は新型コロナウイルス感染症が発生した当初から2020年9月まで厚生労働大臣を務めた。この期間に78回の記者会見をしている（ぶら下がり会見を含む）が、数理モデルについての言及はとても少なかった。

2020年3月24日の会見で、阪神間で往来が制限された根拠となった感染者の予測について、改めて誰がどのような立場で自治体に提示したのか、そして、それが厚労省や専門家会議の総意の結論ではないとすれば、そういったことを元に自治体がそういった判断をするということは適切なことなのか」を質問された際には、「少し質問の趣旨が分からないのですが、我々クラスター班から専門家を派遣しています。その派遣をした方が、現地における情報を色々と得ながら、もちろん厚労省の役人も行きますが、現地の方と、どう対応すべきかということを議論している」と回答している。

## 4. まとめと考察

本調査の背景は、1) 国内外における「エビデンスに基づく政策策定」(EBPM (evidence-based policy making)) を重要視する風潮、また、それと「数理モデル」との関係、2) 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の2019年12月からの発生と2020年以降のパンデミック化した状況である。新型コロナウイルス感染症は中国で2019年12月に発生し、以降急速に世界に拡大した。2020年1月16日には日本で最初の感染事例が発見された。WHO(世界保健機関)は1月30日に緊急事態宣言を発出し(Public Health Emergency of International Concern)、更に、3月11日にはパンデミック(世界的な大流行)と宣言した。

感染症の感染拡大には地域的・民族的な抗体の獲得状況やウイルスの変異、人々の動き(頻度や距離、場所)や接触状況、その背景にある社会的・文化的・経済的な相違など複雑な要素が関係するが、今回の新型コロナウイルス感染症への対応において、政府などにおける政策検討の過程で、我が国と英国等でどのような数理モデル(感染者数等の予測に関するもの)がどのように利用されたかを比較することで、数理モデルを使った政策分析が、より優れた政策の立案等にどのような貢献をすることが可能か、また、それをより効果的に行うためにはどうしたらよいか(専門家活用の仕組み、体制など)等の示唆を得ることを目的として本調査を実施した。

本調査の主な知見は以下のとおりである。

### ○COVID-19による感染者数、死者数の国別の相違

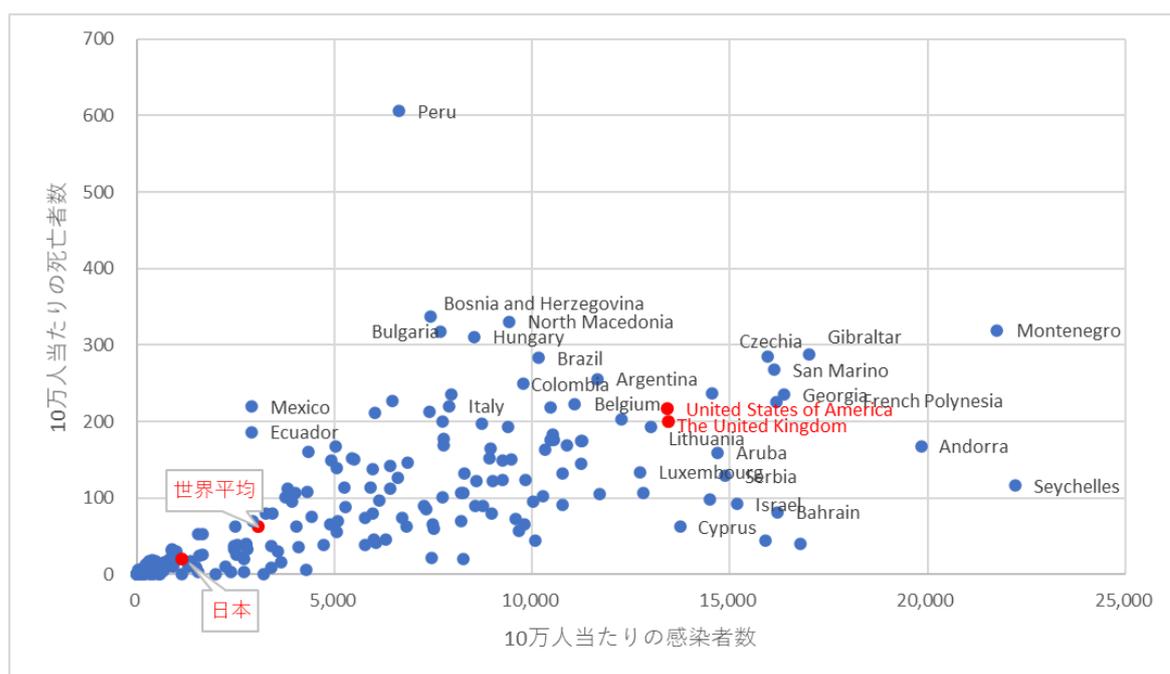
2021年10月20日現在で、これまでの世界のCOVID-19の感染者数は合計で約2億4153万人、死者数は約491万人である。2021年10月現在、世界的には感染は減少傾向にはあるものの過去28日間の感染者数は世界で約1205万人、死者数は約20万人であり、収束しているとは言えない状況である。他方、ワクチンの開発が成功し、2021年以降先進国から先行し、世界でワクチン接種が進んできており、2021年10月20日現在でこれまでに世界で6億6732万回のワクチン接種(回数ベース)が行われてきた

2021年10月18日現在でのCOVID-19の感染者数、死者数の合計数と10万人当たりの数値、「死者数/感染者数の割合」等のデータを国別で比較した。米国と英国における10万人当たりの感染者数はそれぞれ約13416人、約12252人であり、日本の約1355人と比較するとかなり大きい。また、感染者数に対する死者数の割合は米国で1.6%、英国で1.7%であるのに対して、日本では1.1%であり低くなっている。感染者数に対する死者数の割合が比較的高いのは、表の中ではメキシコ(7.6%)、インドネシア(3.4%)、南アフリカ(3.0%)、ブラジル(2.8%)、ロシア連邦(2.8%)、イタリア(2.8%)である。

世界の平均値は10万人当たりの感染者数、死者数はそれぞれ3072人、62.6人である。日本は1354人と14.3人であり、世界的に見てもどちらもかなり少ないことが分かる。米

国と英国は10万人当たりの感染者数・死者数はそれぞれ約13416人と約216人、約12252人と約204人であるからほぼ同じような位置にあることが分かる。どちらの国も日本に比べると感染者数、死者数がかなり大きいことが読み取れる。また、それ以外の国ではペルーが感染者数に比して死者数が極めて大きいこと、また同様にボスニアヘルツェゴビナ、ブルガリア、ハンガリー、ブラジル等では10万人当たりの死者数が大きい。

このように COVID-19 の感染状況、死亡者の状況は国別に大きな違いが見られた。



出典：データは WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. “Situation by Region, Country, Territory & Area” <<https://covid19.who.int/table>>に基づく。（2021年10月18日午後3時57分時点）

図 4-1：COVID-19 の10万人当たり感染者数、10万人当たり死亡者数（再掲）

#### ○数理モデルと COVID-19 対策との関係

本調査の背景にある基本的な考え方は、エビデンス重視の政策策定（EBPM: evidence-based policy making）は政策の適切性や質を高めるものであるが、その実施のためには、質の高いデータの収集整理分析とともに、数理モデルの利用が重要であるというものである。エビデンスは数値データだけではなく、数理モデルの適用は困難な定性的データも含むが、数量データとその論理関係に基づき構築された数理モデルによる分析を反映させることは、EBPM の履行のためには重要と考える。本調査は、以下を含む作業仮説を念頭に出発した。

- ・ エビデンス重視の政策策定（EBPM: evidence-based policy making）には数理モデルの利用が重要である。数理モデルを利用することは EBPM の実施の程度を高め、政策

の質を高める。換言すれば、数理モデルの利用と、感染者数を抑えることの成功度とは因果関係がある。

- ・ 数理モデルの利用がうまくいった国には元々の数理モデル専門家の助言を取り入れる仕組み、体制が用意されている。数理モデルの利用のためには、政治的リーダーシップが重要であり、さらに、理数系の知見を理解するバックグラウンドを持つリーダーシップが必要である。

他方、研究開始から1年経って分かってきたことは現実には予想以上に複雑であり、数理モデルの活用と COVID-19 抑制政策の間におけるクリアカットな因果関係などの関係性を抽出することは現時点では困難である。上述のように現時点においては COVID-19 の感染状況を見ると、ワクチン接種が進んだこともあり一部の国では収束の方向に進んでいるように見えるが、他方、いまだに感染拡大を押さえることができていない国も多い（特にワクチン接種が進んでいない発展途上国）。また、各国の国民性の違いから抑制的な行動の順守の困難さの相違、マスク習慣の有無の相違、各国の地域の違いや国境管理政策の違い等に起因する相違も存在する。要するに、COVID-19 がまだ収束していないためどのような施策が効果的かどうかについて判断することが困難であるとともに、数理モデルの活用以外の数多くのパラメータが存在するということである。

#### ○感染症対策における疫学数理予測モデルの活用における日本と英国の仕組みの相違

日本では政府の COVID-19 対応施策の策定についての専門家からの助言は、厚生労働省の「新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード」、内閣官房の「新型インフルエンザ等対策専門家会議」「新型コロナウイルス感染症対策分科会」などの仕組みを通じて行われており、感染者数予測のための数理モデル等が利用されてきた。一般に危機管理時の専門家からの助言システムは米英に比べて整備は遅れてきたが、感染症数理モデルが政策策定に利用されたのは COVID-19 が初めてのケースであったとされる。今回、COVID-19 への対応において感染症疫学数理モデルによる知見が専門家会議で抵抗にはあったものの取り上げられ議論されたことについて西浦教授は著書（西浦・川端（2020））で非常に肯定的なものとして捉えており、「これまで日本で感染症対策の専門家が政策の中枢に入ったことはなく、今、画期的なことが起ころうとしている、と率直に感じられた」（52 頁）、「専門家が、専門的知識あるいはデータに基づくエビデンスを、「科学的な根拠に基づいた政策決定」のために提供してよいというお墨付きが与えられた瞬間だったともいえる」（53 頁）としている。

それに対して、英国には、コロナのような非常時に複数の省庁間で政策立案する内閣府ブリーフィンググループ（通称 COBR）があり、緊急時は、関係省庁がとる対応の調整機関として働く危機管理委員会（SAGE）が COBR に設置される。今回のコロナでも SAGE は科学的な見地からコロナ拡大防止策への助言を行っている。SAGE 委員会のメンバーは、86 名、約半数が医療、感染症、パンデミックに関連する数理モデルの第一人者が選出され

ている。さらに、SAGEの傘下には、5つの異なる専門分野チームが存在し、そのうちのひとつが、数理モデル専門家チーム（Scientific Pandemic Influenza Group on Modelling (SPI-M)）である。SPI-Mは、COVID-19のために初めて設立された組織ではなく、これまでも数年の実績がある。SPI-Mは、インフルエンザや感染症パンデミックの対応に関して英保健・社会保障省および関係省庁に主に感染症の数理モデルと疫学による科学的な助言を行う組織である。43名の数理モデルの専門家（LSHTM（ロンドン大学衛生・熱帯医学大学院）、インペリアル大学、マンチェスター大学、ケンブリッジ大学、英公衆衛生庁等）から構成される。SPI-Mのメンバーは、パンデミックの内容によって構成メンバーは入れ替えられるが、なかには、数年にわたって継続して在職するメンバーも存在する。

SPI-Mでの分析結果やデータは、同じくSAGE傘下の4つの組織（新興呼吸器系ウイルスアドバイザーグループ、科学パンデミックインフルエンザ行動学グループ、ヘルスデータリサーチUKグループ、COVID-19ゲノミクスコンソーシアム）と連携し、多分野にわたる専門家の見解も反映し政策の判断材料とする。

#### ○専門家会議等で検討されたモデルの相違

日本の専門家会議で検討されたモデルはSIRモデルであったのに対して、英国で検討されたモデルはエージェントベースモデルであり、学校休校、社会的距離の確保、家庭への隔離、70歳以上の者の社会的距離の確保といった施策をモデルに取り込んだものであった。このモデルは既に2006年のインフルエンザパンデミックの感染者数の地域的な拡大のシミュレーションモデルとして開発されており、それを修正して発展させたものだった。このようなモデルの開発には数十人の研究チームでの取り組みや、高速のコンピュータシミュレーションを要する。ただし、このような細かいモデルは正しい予測値を、特に感染症発生初期の様々なパラメータの推定が不確かな状況下では、出すことにつながるとは言えない。正確な予測値を出すということよりも、様々な施策を実施した際のトレードオフの関係などを知るという目的であれば英国についてなされたシミュレーションの結果は、日本を含め他の国や地域においても英国と同様に参考になると言える面があった。

また、新型コロナウイルス感染についての数理モデルの論文が英国の研究者グループによりかなり早い時期から発表され、これらは英国の政策決定に影響を及ぼした。特に、SPI-Mの主要メンバーであるインペリアル・カレッジ・ロンドンとロンドン大学衛生熱帯医学大学院は、感染症パンデミックと同様に新型コロナ対応初期の段階からの数理モデルにおいて中核を担っている。この2つの大学はこれまでも英政府の医学分野の助成機関から多額の助成金を受けている。また、英公衆衛生庁の専門家チームによる数理モデル専門家チームとも協力しながら分析データをSAGEに報告している。英国政府は、新型コロナ勃発の初期の時期には、集団免疫によるCOVID-19の封じ込み政策を支持していたが、2020年3月23日に大規模なロックダウンを導入し大きく政策を転換させた。その決断においても、

インペリアル・カレッジ・ロンドンと LHSTM らの専門家チームから提出された数理モデルの影響力が大きかったことがわかっている。

#### ○ビッグデータの活用促進

数理モデルとも関連し、COVID-19 対策で他に注目されることとしては、スマホの位置情報を使った分析が幅広く利用されるようになったことである。例えば、第 11 回専門家会議資料では、以下のような分析結果が示されている。

- ・ 「NTT ドコモによるデータでは、4 月 13 日（月）から 4 月 19 日（日）までの 1 週間、1-2 月のベースライン（平均値）と比較して渋谷駅周辺の日中時間帯で、平日は 63.6% から 65.2% の人口減、休日は 77.6～77.8% の人口減を認めた。」
- ・ 「ソフトバンク社のデータを活用した Agoop による情報でも、4 月 18 日（日）は東京都内の主要駅（東京、新橋、新宿、品川、六本木）において 68.9%～87.3% の人口減少を認めている。また、携帯端末利用者に基づく日内変動を検討した結果、平日では午前 7-9 時と午後 6-8 時の通勤時間帯に利用者数が集積していた」

ただし、このようなデータ活用には「公衆衛生上の利益とプライバシーへの影響を比較考量し、倫理的、法的、社会的な問題を議論することが重要である」と指摘されている（専門家会議資料）。

#### ○感染症数理モデルの知見の政治家の認識、政治家による政策説明への影響

総理大臣、大臣、専門家（感染症全般）、専門家（数理モデル等）と、数理モデルへの言及の程度は上の階層になればなる程少なくなる。その少なくなる程度はどのくらいなのだろうか。会見録から確認してみたところ以下の結果となった。例えば、内閣総理大臣であれば新型コロナ感染症関連だけについて発言する訳ではなく、また、政策の検討状況や分析内容について細かく説明するよりも、決定した政策の内容やそれが人々の生活にどのような影響を与えるか、影響を受けた人々や産業等をいかに補償するか、などについての説明の割合が多くなるのは当然である。また、政治家であれば、その個性も発言内容には当然影響する。例えば、医師出身の政治家であれば、より専門的な見地からの説明も期待されまたそれに答えることがあるだろうし、同様に、数理系の経歴を持つ政治家であればより数理的内容への言及が多くなるものと考えられる（ドイツのメルケル首相など）。

具体的には安倍総理大臣の会見録では数理モデルの利用について以下の言及があった。

- ・ 西浦教授ら専門家の数理モデルについての言及があった（4/7/2020）。人と人との接触機会を 8 割減少し、2 週間後に感染者数を減少方向に転じさせることが可能との内容。
- ・ 「実効再生産数」について総理会見で初めて言及があった（5/4/2020）。5 月末までに一日あたりの新規感染者数を 100 人以下まで減らすとの説明があった（会見時点では 200 人）。

- ・ 数理モデルについては、オックスフォード大学の研究 に対して言及があった（接触確認アプリの感染者抑制の効果）（5/25/2020 と 6/18/2020）。5月25日の会見では、緊急事態宣言の解除を受けて、それまでの8割の接触削減の目標は止め、以降は活動を再開し「新たな日常」を作りあげることがを模索するステージになったと説明された。

#### ○日本の感染症数理モデルへの研究資金配分・専門家育成状況

大日・菅原（2009、61頁）によれば、諸外国では国家プロジェクトとして数百億円の研究規模で、スーパーコンピュータを数台も駆使して数理モデルの開発がされているとの見方があるのに対して、日本では新型インフルエンザの数理モデル開発のための政府予算は殆どないとのことである。他方、米国や英国の研究者の作成した数理モデル（エージェントベースのもの）では家庭、学校、職場をモデルに入れているが、日本では「通勤電車」を通勤・通学で多くの人々が利用する点がこれらの国とは異なっているため、日本における感染拡大状況をモデル化するためにはそれを考慮するなどの変更を行うことが必要との指摘がある（大日・菅原、74頁）。

ただし、米国や英国と比較すれば研究予算規模は小さいとみられるが、2010年代の中ごろからは感染症の数理モデルに関連する研究に対して、厚生労働科学研究費や科学研究費助成事業（科研費）の助成は多くなってきている。

2000年度以降に科学研究費助成事業（科研費）で助成金を受けた研究課題を確認した。読み取れることは以下である。

- ・ 感染症の数理モデルを研究する研究者は限られているということがよく言われるが、過去20年間で、感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費を受領したことのあつた研究者は数人というよりは数十人である。ただし、科研費課題として取り組んだことがあつても現在まで継続してそのテーマを研究しているとは限らない。
- ・ 感染症の数理モデルに関連する科研費の研究分野は、数学一般(含確率論・統計数学)が多い。その場合、数学者が応用数学のテーマとして研究している。数学者による研究と比較すると、医学や公衆衛生学をバックグラウンドとする研究者による研究課題は比較的少ない。上の専門とする研究者の層が薄いとの認識が公衆衛生分野の研究者にあるとすれば、それは公衆衛生学分野で数理モデルを使った研究をしている研究者数が小さいことを意味しているものと考えられる。その他の研究分野は、社会システム工学・安全システム、医療社会学などである。我が国において、医学や保健、公衆衛生学においてこれまで主要な研究分野として位置づけられてこなかった可能性がある。
- ・ 数学者が応用数学のテーマとして研究を実施している場合には医学関係者、公衆衛生関係者とのネットワークが少ないか、殆どない可能性がある（具体的なフィールドデータの分析を必要とするまでの応用は研究していないため）。従って、数学分野での応用的な研究成果が公衆衛生学の専門家や研究者が行うリアルタイムの分析等にとつ

ては役立っていない可能性がある（実務に使うには高度すぎる数学的な知見などが中心となっているとみられるため）。また、新型コロナウイルス感染症のような危機時の対応において両者が協力して研究成果を活用した貢献をすることを想定することも難しい可能性がある。

- ・ 基盤研究 C のテーマが殆どであり、300～500 万円程度の課題が多い。大きな規模のものでも複数年で 2 千万円弱である。米国などで行われるというようなスパコンの使用などを要する大規模予算を要する研究はされていないとみられる。また、エージェントベーストのモデルで大規模な計算を要するような研究も数少ないとみられる。
- ・ 英国などで新型コロナウイルス感染症後の数理モデルの協力的な研究体制を構築する動きがみられるが、そのような協力体制の構築を支援するような資金配分はこれまでのところみられない。

また、科研費の研究課題については以下のような研究の傾向が見られる。

- ・ 数学者や工学部の研究者による研究では、基本的な SIR モデル（微分方程式系）に基づき、それに年齢、空間構造、性別等の個別性や、環境条件を加えた時、伝播の時間要素（感染と伝播の時間差）を考慮した時、境界条件を変更した時等の各種の条件を加えた際に、それらを盛り込んだ微分方程式系においてどのような平衡解が得られるか、あるいは安定解が得られるか、といった応用数学の研究である。
- ・ 医学・疫学・保健分野の研究者は、いつ感染症が収束したと判定できるのか、ワクチン接種をどのように進めればいいのかといった、より実地的な課題についての研究や、日本や世界各地の様々な感染症の疫学データを収集し分析した研究などがみられる。数理モデルの種類については SIR モデルやエージェントベーストモデルなどがあるが、数理モデル自体の発展や開発を中心的な研究課題としている論文は殆ど見られず、多くはこれまでに利用されたものの改善に留まっているものとみられる。
- ・ 医学・疫学・保健分野の研究者が行っている研究課題において、研究対象となっている感染症は、HIV 等の性感染症、インフルエンザ、ノロウイルス、マラリア RS ウイルス、デングウイルス感染症等である。研究課題実施時に流行した感染症について取上がられたものが多いようである。
- ・ 新型コロナウイルス感染症発生に関連する課題として 2021 年度からリアルタイムでのリスク評価や施策評価などの研究課題が開始している。既に終了し、十分なデータが収集されている感染症についてパラメータ推定をすることと、十分なデータが集まっていない流動的な段階であっても対策を打ち出す必要があるパンデミック時とは質的に大きな違いがあるためである。ただし、関連する課題は採択されているが特にそれまでと比較して規模（配分金額、研究者チームの人数規模）が大きくなっているようには見えない。他の国（英国など）と比較した時に、COVID-19 対応のファンディングは速やかに適切に対応できているのだろうか疑問が残る。英国で

は大規模な資金配分と、SAGE の数理モデルの分科会に属する研究者（英国の様々な大学に所属）をメンバーとするような大学間組織の設置が決定されたとのことである。

なお、京都大学の西浦教授は 2021 年の著書で、「組織化された数理モデル研究者の育成」が重要であるとし、以下のように記述しているところであるが<sup>49</sup>、今後の課題である。

感染症疫学の専門家が日本には少ないが、特に数理モデルでは輪をかけて厳しい。英国の SPI-M (UK Scientific Pandemic Influenza Group on Modelling) は教職員の研究者が議員 50 人以上でシナリオ分析に取り組む。数理計算で使用する基本再生産数の値 1 つをとっても、研究者間で合意形成できる会議を経る姿は間違いなく世界トップクラスである。それを少人数でさえ実装できないことは恥ずかしい。未来の日本にはそのような機能が必要とされる。

#### ○日本の感染症数理モデルの専門家の活用状況

感染症の数理モデルに関連する研究課題で科研費の助成を受けたことのある研究者について、研究課題が継続している期間を 2000 年度以降について調べた。読み取れることは以下である。

- ・ 感染症の数理モデルに関連した研究課題に科研費の助成を受けた研究者数はこの図では 57 人いるが、継続して研究テーマを採択されている研究者数は多くはない。感染症の数理モデルに関連する研究課題の助成を受けて助成期間の 1~3 年程度取り組んだ研究者でその前後に感染症の数理モデル関連の研究課題の助成を受けていない研究者も多い。特に、新型コロナウイルス感染症が発生・拡大した 2019 年度において研究活動が継続していると考えられる研究者でそれまでに複数年にわたって科研費助成を受けて研究していた研究者数は多くはない。
- ・ 医学・保健分野の研究者による感染症数理モデルの研究は前述のように、2010 年代中頃からは多くなってきた。それまでは数学・数理科学の研究者による研究課題が多かったことを見て取ることができる。
- ・ COVID-19 対策において有識者として数理モデルによる分析で注目を集めた西浦博教授は医学の疫学分野の研究者としてのキャリアを持ち、複数の科研費助成（同時期に助成を受けていたものも含む）を受けて研究してきた数少ない研究者であることが図から読み取れる。

日本では数学者で感染症数理モデル関連の研究課題で科研費を貰っている人（微分方程式などの応用数学研究）が結構いる。そのような理学部（一部は工学部）の数学者と、医学部の疫学の先生（医学部出身者）の連携に問題があるのではないかと。数理モデルとして

---

<sup>49</sup> 西浦博編著（2021 年）「感染症疫学のためのデータ分析入門」218 頁

解析困難な問題があるというよりは、数理モデルのパラメータをその時点で利用可能な疫学データを用いてどのように推定するかと問題が大きい。そのためには数学的な知識や能力よりも医学的な知識がより重要となる。

この点について、英国では、根本的に日本と違う点があり、大学内に公衆衛生という学部や研究所があり、そこで数学者と医学部が連携できる土台ができている点がある。SPI-Mのメンバーの数学者は、ほとんどが公衆衛生や感染症疫学センターなどライフサイエンスに分類される学部や研究所の所属の方がほとんどである（Department of public health, School of Life Science, Department of Primary Care and Public Health など）。一部 Warwick University の方が Institute of Mathematics 所属であるが、マイナーである。アメリカでもおそらく似たような状況ではないかと思われる。

日本では西浦先生だけが専門家会議で数理モデルを担当するなど研究者層が薄いことが問題ではないかとされた。人数が少ないことのデメリットは何だったのか。英国では人数が多いことで何が可能となったのか。モデルに予測はいずれにしても不確実性がある。人数が多いからと言って予測が正確になる訳でもない。一人でデータ収集から分析、結果の解釈まで全てを負担するのは無理である（北海道と東京都だけの分析になる等）。複数の異なる結果が出た場合、それをどう使うのかという問題もある。異なる結果の場合、政策的な inaction に結び付くのであれば複数ない方が逆にいいこともあり得る。

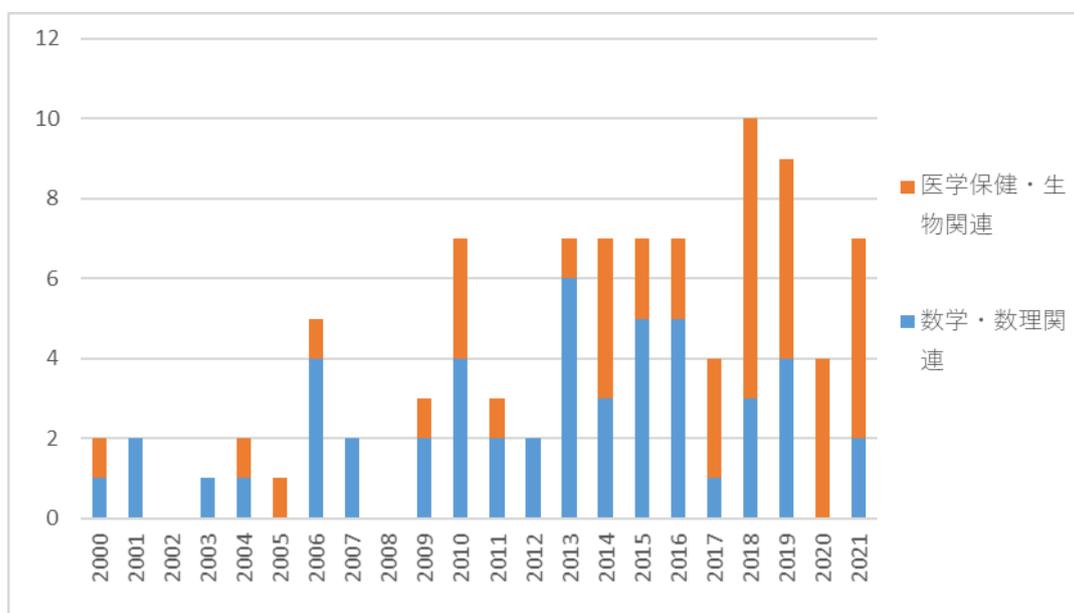


図 4-2：感染症伝播の数理モデルに関する主な研究課題の年度別件数（日本学術振興会科学技術研究費）：数学者等と医学・保健・生物分野の研究者（再掲）

○感染症数理モデル研究の拠点形成

英国政府は、ワクチンタスクフォースをコロナ発生初期の段階から即座に立ち上げ、オックスフォード大学を中心にワクチン開発を政府が全面的にサポートし、特例として臨床試験の承認を加速化し、ワクチン接種率を急速に上げた実績がある。2021年2月下旬には、出口戦略として、中長期的な指針を国民に示すために必要となる、より学際的な視点も含めた疫学数理モデルの研究を促進させるべく、ジュニパー・コンソーシアム（Joint UNiversities Pandemic and Epidemiological Research Consortium）など大規模な研究拠点の構築を行っている。

2月18日、公的研究助成機関である UK Research and Innovation（UKRI）は、英国の7つの大学（ブリストル大学、ケンブリッジ大学、エクセター大学、ランカスター大学、マンチェスター大学、オックスフォード大学、LSHTM、ウォーリック大学）の主要な統計モデルの研究者らを収集し、ジュニパー・コンソーシアムと命名し、新たに300万ポンドの研究資金を投下している。

以上

## 参考文献

- 有本建男、佐藤靖、松尾敬子（2016）「科学的助言—21世紀の科学技術と政策形成—」東京大学出版会.
- イアネリ、ミンモ；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
- 井田喜明（2019）「予測の科学はどう変わる？—人工知能と地震・噴火・気象現象」岩波書店
- 榎孝浩（2021）「COVID-19に関する英独仏米の科学的助言と課題」研究技術計画 Vol.36, No.2.
- 大日康史・菅原民枝（2009）「パンデミック・シミュレーション：感染症数理モデルの応用」技術評論社
- 河合香織（2021）「分水嶺—ドキュメント・コロナ対策専門家会議」岩波書店.
- 厚生労働省 健康局 結核感染症課「新型コロナウイルス クラスター対策班の設置について：別添」（2020年2月25日）
- 近藤倫子「米国連邦政府による新型コロナウイルス感染症への対応—感染拡大防止と医療の確保のための施策—」レファレンス 839号 2020.12. 国立国会図書館 調査及び立法考査局
- 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議構成員一同「次なる波に備えた専門家助言組織のあり方について」2020.6.24.
- 新型コロナウイルス感染症専門家会議 資料・議事概要（1~15回：発言者名なし、16~17：あり）を公開
- 新型コロナ対応民間臨時調査会（2020）「調査・検証報告書」アジア・パシフィック・イニシアティブ. Discover 社.
- 内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室、「新型コロナウイルス感染症対策に係る専門家助言組織について」（2020年7月17日）
- 西浦博・稲葉寿（2006）「感染症流行の予測：感染症数理モデルにおける定量的課題」統計数理 第54巻第2号. 461-480.
- 西浦博・川端裕人（2020）「理論疫学者・西浦博の挑戦—新型コロナからいのちを守れ！」中央公論新社.
- 西浦博編著（2021年）「感染症疫学のためのデータ分析入門」金芳堂.
- 日比野愛子「感染症シミュレーションにみるモデルの生態学」. 山口・福島編（2019）、第5章.
- 岩見真吾、佐藤佳、竹内康博（2017）「ウイルス感染と常微分方程式」共立出版.
- 山口富子・福島真人編（2019）「予測がつくる社会—「科学の言葉」の使われ方」東京大学出版会

脇田隆字 (2020) 「感染症危機における科学的専門家助言組織のあり方」 日本内科学会雑誌 109 卷 11 号 : 2343~2347

- Edmunds, John; Nicholas Davies, Adam Kucharski, Rosalind Eggo, and Amy Gimma, “Effects of non-pharmaceuticals interventions on COVID-19 cases, deaths, and demand for hospital services in the UK: a modelling study”, Vol. 5, Issue 7, June 2020, *Lancet*.
- Ferguson, N. M. et al, Cummings, D. A., Cauchemez, S., Fraser, C., Riley, S., Meeyai, A., ... & Burke, D. S. (2005). Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. *Nature*, 437(7056), 209-214.
- Ferguson NM, Cummings DAT, Fraser C, Cajka JC, Cooley PC, Burke DS (2006). Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature* 2006;442(7101):448–52.
- Ferguson, Neil M; Daniel Laydon, Gemma Nedjati-Gilani et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College London (16-03-2020), doi:<https://doi.org/10.25561/77482>.
- Germann, T. C., Kadau, K., Longini, I. M., & Macken, C. A. (2006). Mitigation strategies for pandemic influenza in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(15), 5935-5940.
- Giesecke, Johan (2017). *Modern Infectious Disease Epidemiology*. Third Edition. CRC Press.
- Jung, S. M., Akhmetzhanov, A. R., Hayashi, K., Linton, N. M., Yang, Y., Yuan, B., ... & Nishiura, H. (2020). Real-time estimation of the risk of death from novel coronavirus (COVID-19) infection: inference using exported cases. *Journal of clinical medicine*, 9(2), 523.
- Kissler, S. M., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad, Y. H., & Lipsitch, M. (2020). Projecting the transmission dynamics of SARS-CoV-2 through the postpandemic period. *Science*, 368(6493), 860-868.
- Longini, I. M., Nizam, A., Xu, S., Ungchusak, K., Hanshaoworakul, W., Cummings, D. A., & Halloran, M. E. (2005). Containing pandemic influenza at the source. *Science*, 309(5737), 1083-1087.
- President Joseph R. Biden, Jr., *National Strategy for the COVID-19 Response and Pandemic Preparedness*. January 2021.
- Riley, S., Fraser, C., Donnelly, C. A., Ghani, A. C., Abu-Raddad, L. J., Hedley, A. J., ... & Anderson, R. M. (2003). Transmission dynamics of the etiological agent of SARS

in Hong Kong: impact of public health interventions. *Science*, 300(5627), 1961-1966.

Standing Committee on Emerging Infectious Diseases and 21st Century Health Threats, *Rapid Expert Consultations on the COVID-19 Pandemic: MARCH 14, 2020–APRIL 18, 2020*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Trombetta, H., Faggion, H. Z., Leotte, J., Nogueira, M. B., Vidal, L. R., & Raboni, S. M. (2016). Human coronavirus and severe acute respiratory infection in Southern Brazil. *Pathogens and global health*, 110(3), 113-118.

#### 主なウェブサイト

COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)

NHK 「日本国内の感染者数 (NHK まとめ) 」

<<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/>>

NHK News website 「緊急事態宣言 1 回目の状況」

WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. “Situation by Region, Country, Territory & Area” <<https://covid19.who.int/table>>



一般財団法人 新技術振興渡辺記念会

令和2年度科学技術調査研究助成（下期）

「政策形成における数理モデルの利用：  
新型コロナウイルス感染症への対応を事例として」

報告書

令和3年9月

公益財団法人 未来工学研究所

〒135-8473 東京都江東区深川 2-6-11 富岡橋ビル 4F

電話：03-5245-1015（代表）