

新型コロナと感染シミュレーション&ゲーミング

倉橋 節也*

New Coronas Virus and Infection Simulation & Gaming

Setsuya KURAHASHI*

Abstract– With an outbreak of the new coronavirus COVID-19, great attention has been paid to the number of infected people, and the future of the virus has been discussed with anxiety and anticipation. The economic impact of excessive curfews has also raised questions about the nature of infection prevention and the speed and effectiveness of vaccination. This paper reviews how we have estimated the number of infected people and the effectiveness of infection prevention measures from the early stages of infection when available data are limited. We introduce our efforts and challenges from the perspective of social simulation research.

Keywords– COVID-19, infectious disease, social simulation, gaming and simulation, agent-based model, mathematical epidemiology model

1. はじめに

2019年末に始まった新型コロナウイルスは、WHOがパンデミックを宣言した後も変異種を次々と生み出し、2022年現在においてその勢いを止めることなく世界中に広がっている。国内においても、またたく間に沖縄から北海道まですべての都道府県で感染者が確認され、政府や各自治体、研究機関、メディアから、さまざまな感染予防策が提示されることとなり、濃厚接触者の在宅勤務指示、テレワークや時差出勤、飲食を伴う外出や対面の会議を避けるなどが推奨された。本稿では、このような感染拡大期において、どのように感染対策の有効性を推定してきたのか、また、ワクチン接種など、その後次々と発生する課題に対して、どのように対応してきたのかを振り返りながら、感染症に対するシミュレーション&ゲーミング研究の可能性について述べる。

2. 市街地感染モデルによる予防策効果推定

中国武漢における感染状況を詳細に分析した報告書が、2020年2月にChina CDC及びWHOのチームから公開された[1]。このデータを用いて、これまで我々が

作成してきたエボラ出血熱や新型インフルエンザ、風疹などの感染症モデル[2,3]をCOVID-19に対応できるように修正し、2020年2月から市街地を対象とした感染予防策の効果推定をスタートした。モデルとして、比較的抽象度の高いミドルレンジモデルを採用した。これは、特定の詳細な社会事象を模擬するのではなく、事象の動的過程のメカニズムを再現することで、それに対する各種シナリオの効果を比較検討することを目的としている。これらの研究は、これまでの感染症研究で妥当性評価がすでに行われており、これに新型コロナウイルスの感染プロセスを実装することとした。モデルでは、新型コロナウイルスの感染プロセスを、住民一人ひとりの感染現象を扱えるエージェントモデルで構築し、重症化率と世代別致死率などはChina CDCおよびWHOの報告から、人口データや通勤比率などは総務省統計局の国勢調査首都圏データからモデル化した[4]。

このモデルにおいて、27種類の感染予防策を策定し、基本予防策の効果、基本予防策の複合効果、接触率低減策と基本予防策の複合効果の各カテゴリーに分けて効果推定実験を行った。モデル実行画面と推定結果をFig. 1に示す[4]。この結果から、時差通勤や学校閉鎖、テレワークなどの単独予防策を個別に実施しただけでは予防効果はほとんどなく、店舗等への外出制限や発熱後の自宅待機、マスクや手洗いなどの基本予防策の全てを満遍なく実施する必要があることが推定された。

*筑波大学大学院人文社会ビジネス科学学術院ビジネス科学研究群 東京都文京区大塚 3-29-1

*University of Tsukuba, 3-29-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo

Received: 31 January 2022, Accepted: 9 February 2022.

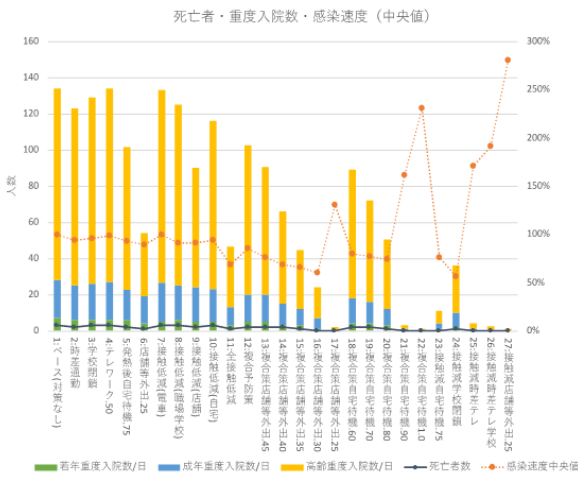


Fig. 1: Estimation results from the city model. 出展 [4].

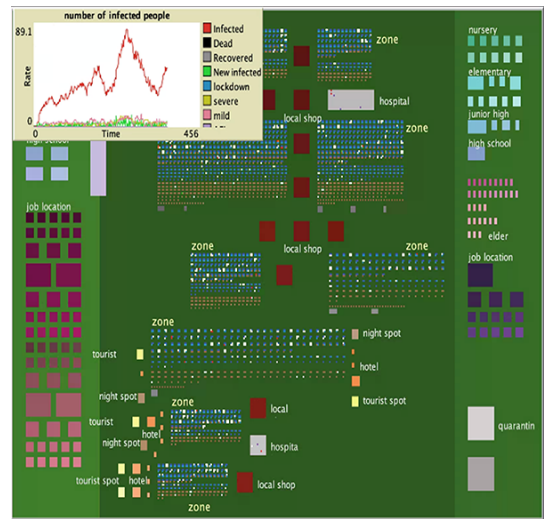


Fig. 2: Infection model for tourist destinations.

3. 観光客流入リスク推定

その後、感染は地方へと拡散し、地方都市や主要観光地での外出規制などの強い要請が行われることとなった。しかしこの要請は、特に観光を主要産業とする地方都市においては死活問題となり、地域の事情に応じたきめ細かい予防策の策定が急務となった。そこで、より詳細な都市モデルを構築するために、関西大学が中心となって作成が進んでいた合成人口データ [5] を利用し、詳細な世帯構成と産業統計に基づいた地方都市モデルを構築した。合成人口データは、世帯構成復元のために、公開されている複数の統計データ (国勢調査, 人口動態, 職業, 産業別集計など) に適合するように人口データを復元する手法であり、計算機上で再現したデータ集合 (復元データ) の誤差を目的関数とし、機械学習を用いて最適化するものである。この復元人口データには、世帯とその構成員の所在地の緯度経度, 性別, 年齢, 雇用形態, 産業分類, 企業規模などが含まれている。これらを用いて、対象となる妙高市の人口分布を表現したものが Fig. 2 である。このモデルで推定した結果、観光を休止した場合に比べて、予防策を取らずにこれまで通り首都圏からの観光客を受け入れた場合、最大重症入院者数が6倍以上になり医療逼迫のリスクが高いこと、一方で、観光客を一定程度受け入れたとしても、観光スタッフや繁華街従業員の定期的 PCR 検査体制や濃厚接触者追跡アプリの活用によって、大幅に重症入院者数を減らすことができることを示した (Fig. 3)。

4. 東京都の感染予防策推定

東京を含む首都圏の1都3県では、2020年12月から急激に感染者数が増加し、翌年1月8日からの緊急事態

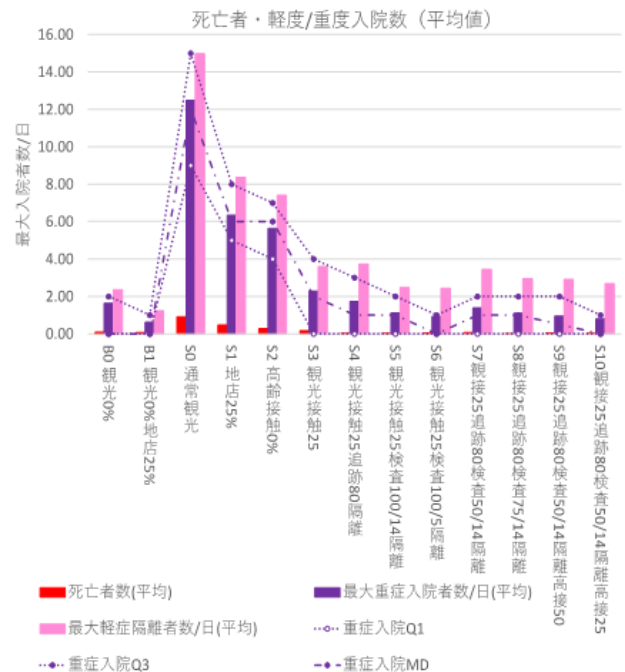


Fig. 3: Estimation results from the tourist model.

宣言発出となった。この時、政府と東京都は、飲食店の20時閉店、テレワークの強化、大規模イベントの5000人制限など、様々な感染予防策を検討していた。これらの対策を、現実の世帯分布や友人ネットワークモデル、イベント会場、飲食店などを組み込んだ東京モデルを構築し、感染予防策の効果を推定した。そして、政府および東京都が検討していた感染予防策の組み合わせによる実効再生産数の減少効果を、数理疫学モデルである SEIR モデルと結合させることで推定モデルを構築した。そして、任意の友人と飲食を共にするのではなく「いつもの

4人」に制限をすること、飲食店8時制限、テレワーク50%、大規模イベント5000人および入場者数50%制限によって、実効再生算数を50%以上減少させる効果があることを示した[6].

5. 感染症医療政策ゲーム

西アフリカで発生したエボラ出血熱やその後の新型インフルエンザ、今回の新型コロナウイルスの流行など、国境も跨いで感染が拡大する危険に現代社会は直面している。この場合、医療政策チームの国際協調が重要となる。そこで、2国間の協調を促すことを目的として、感染症対策のための協調ゲームを作成し実験を行ったゲーミングモデルの概要を次に示す[2]。シナリオは以下である。

「いまあなたは、自国の感染症に対する公衆衛生政策を立案実行するチームのリーダーに任命された。隣国との間では観光やビジネスなどの交流が盛んに行われており、国境を越えた人々の移動は、我が国の経済にとって極めて重要な活力源となっている。幸いなことに、感染症を研究している海外の医療チームから、有効なワクチンと抗ウイルス薬が開発され、製造が始まったとの連絡を受けたところであった。このような状況の中、公衆衛生政策チームとして、あなたが意思決定できる政策は以下となっている…」

両国の医療政策リーダーは、次の政策を意思決定する。

- 1) 備蓄のためのワクチン・抗ウイルス薬の発注数
 - 2) 感染症に対応可能な医療スタッフの雇用数
 - 3) 隣国へのワクチン・抗ウイルス薬の支援数
 - 4) 隣国への感染症対応可能な医療スタッフの支援数
 - 5) 外出自粛率
 - 6) 出入国制限率
- 感染発生に対する対策として次の意思決定ができる。
- 7) 全住民に対する一括ワクチン接種
 - 8) 感染者に接触した人への抗ウイルス薬の投与
 - 9) 感染者に接触後、発熱者への抗ウイルス薬投与

これらの対策を決められた予算内で効果的に施行することが求められた。このゲーミングの初回の実施結果は、最初に感染が拡大したA国の様子を静観していたB国は、死亡者数が増加するまで積極的な支援は行わず、結果的に両国の感染拡大を許してしまった。一方で2回目のゲームの結果では、1回目で感染拡大を許してしまった経験から、2カ国のプレイヤーは協調関係を深めることを期待されたが、実際に両者が取った行動は、ワクチンやスタッフ支援のレベルは1回目と同程度かそれ以下であり、新たに、自国の外出自粛と国境封鎖の早期の強化を意思決定していた。ゲーム終了後の、両国プレイヤーのコメントとして、事前に支援を決定するため

の取り決めをしていなかったため、お互いに独自の判断で支援のタイミングと大きさを判断していたとのことであった。事前の支援ルールの策定合意が必要であることを示すコメントであり、ゲームによる協調学習の現れと考えられる[2].

6. おわりに

本稿では、新型コロナウイルスを対象とした社会シミュレーションを紹介した。また、感染症の国際協調に関するシミュレーション&ゲーミングの概要も示した。その後、オリンピック開催リスク推定、デルタ株による感染拡大と夜間人流の抑制効果推定、ワクチン効果減衰とオミクロン株に対するブースター接種計画など、次々と発生する課題に対し、モデルを拡張しながら今日に至っている。世界では、多くの優れた情報学や社会学、経済学の研究者たちが、さまざまな手法で精緻なモデルを構築し、貴重な分析・推定結果を出し続けている。なかなか終わりの見えない状況の中で、感染というウイルスと人間が引き起こす社会現象を、シミュレーション&ゲーミングの視点から推定することの価値と今後の可能性を紹介した。

参考文献

- [1] Y. Zhang: The novel coronavirus pneumonia emergency response epidemiology team, The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) - China, 2020, China CDC Weekly, Vol. 41, No. 2, pp. 145-151 (2020).
- [2] 倉橋節也: エボラ出血熱に対するエージェントベース医療政策ゲーミング&シミュレーション, 日本シミュレーション&ゲーミング学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 52-63 (2017).
- [3] S. Kurahashi: An agent-based infectious disease model of rubella outbreaks, in Proc. of International Conference on Agents and Multi-agent Systems: Technologies and Applications 2019 (2019).
- [4] 倉橋節也: 新型コロナウイルス (COVID-19) における感染予防策の推定, 人工知能学会論文誌, Vol. 35, No. 3, p. D-K28.1-8 (2020).
- [5] 原田拓弥, 村田忠彦: 並列計算を用いたSA法による都道府県レベルの大規模世帯の復元, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp.421-429 (2018).
- [6] 倉橋節也, 横幕春樹, 矢嶋耕平, 永井秀幸: 地域への新型コロナウイルス感染者流入リスクとワクチン効果の影響評価, 人工知能学会論文誌, 37 巻 1号, p. C-L42.1-9 (2022).

倉橋 節也



民間企業に勤務しながら、1995年放送大学教養学部産業と技術専攻卒業。2002年筑波大学大学院経営・政策科学研究科修士。博士(システムズ・マネジメント)。2006年筑波大学ビジネス科学研究科助教授。現在、ビジネスサイエンス系教授。社会シミュレーション、経営情報分析などの研究に従事。計測自動制御学会、日本シミュレーション&ゲーミング学会などの会員。