

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：32690

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12064

研究課題名（和文）連続空間に配置されたマルチエージェントによる感染シミュレーション

研究課題名（英文）An epidemic simulation based on a multi-agent system distributed in a continuous space

研究代表者

畝見 達夫（Unemi, Tatsuo）

創価大学・理工学部・教授

研究者番号：50151915

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：COVID-19を想定した感染ダイナミクスのマルチエージェントシミュレータを開発し、各時点における流行状況を再現するとともに、あり得るシナリオに沿ったその後の状況についての分析を可能とする統計処理ツール、および、視覚化ツールを開発・実装した。本モデルの特徴は、エージェント1つを人口1人に対応させ、行動モデルに基づいて2次元空間上を移動させ、個体の特性の集合結果としての、接触頻度の過多および集団免疫の達成度により流行のダイナミクスを模擬する点である。100万人規模のシミュレーションに耐えるよう並列計算による時間短縮を実現し、同時に様々なパラメータ設定を容易にする機能を実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2020年から23年初頭にかけて世界中で流行した新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、過去に人類が経験した感染流行とは異なる特徴があり、対策の策定も困難を極めた。本研究で開発実装したシミュレータは、内閣府の対策室が組織したシミュレーションチームでも利用され、緊急事態宣言の発出規模と時期やワクチン接種戦略の決定にも重要な参考資料を提出してきた。シミュレータ開発の経験は、つぎに再び起きる可能性のある新たな感染症への速やかな対応のための構えの整備にすいても示唆を与えるものとなった。

研究成果の概要（英文）：A multi-agent simulator for infection dynamics assuming COVID-19 was developed and implemented to reproduce the time evolution of epidemic, as well as tools for statistical analysis and visualisation. It is also equipped with setups of possible scenarios in the subsequent situations. The model is characterised by the fact that it simulates the dynamics of the epidemic by moving one agent per population in a two-dimensional space based on a behavioural model, and by the aggregate results of individual characteristics, such as the excess frequency of contact and the degree to which population immunity is achieved. A reduction of the computation time was achieved by parallel processing to withstand a simulation of one million individuals, and at the same time, functions were implemented to facilitate the setting of various parameters.

研究分野：知能情報処理

キーワード：感染シミュレーション マルチエージェントモデル 並列分散処理 シナリオ分析 新型コロナウイルス感染症

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

令和元年末ころに中国・武漢を中心に流行が観測され、翌令和2年初頭に日本国内でも感染患者が確認された新型コロナウイルス感染症は、世界中で猛威を振るい、WHOによる非常事態宣言以降、各国で様々な取り組みが試みられたが、感染力の強さや重症化時の重篤さとともに、これまでに人類が経験した世界的流行とは異なる潜伏期間の長さが明らかになった。この特性は、拡大抑止に効果がある社会活動の抑制をどの程度厳しくすべきかの判断に大きく影響し、活動抑制による経済的損失とのバランスを考えた政策決定が要請された。

日本では国立感染症研究所および各大学の関連研究者による専門家会議が当初は自主的に、その後遅れて政府により組織され、過去からよく知られた微分方程式に基づく感染シミュレーションモデルによる分析が取り組まれた。

しかし、この新たな感染症の流行は、潜伏期間の長さのゆえに人々の接触ネットワークの構造と頻度に大きく影響され、既存のモデルによるシミュレーションには限界があると考えられ、新たなアプローチが要請された。

内閣府では、AI技術を活用したシミュレーションを試みるべく研究者を募り、令和2年秋から、開発と分析の活動が始まった。当該研究代表者もそのプロジェクトに参画したが、いつ収束するかわからない状況下で、長期的な視点からの新技術の確立も望まれることとなった。

当該研究代表者は、かねてより人工生命関連の研究に従事しており、高速なマルチエージェントシミュレーションについては、並列アルゴリズムを活用した大量で高速な実装方法についての知見があり、マルチエージェントシミュレーションによる感染流行ダイナミクスのシミュレーションの開発に取り掛かった。

2. 研究の目的

新型コロナウイルス感染症を想定したシミュレータを開発し、並列計算アルゴリズムによる高速化や、グラフィクスを活用した視覚化により、感染流行ダイナミクスの理解を助け、実際の対策決定の参考となるようなシミュレーション結果およびその分析結果を提示できる環境を整える。

マルチエージェントモデルを導入することで、社会活動の抑制、治療薬の導入、変異ウイルスの侵入、ワクチンの開発および接種の進捗など流行に影響する要因をシミュレーションに反映できるようにし、柔軟なシナリオ分析を可能にする。

加えて、将来起こり得る別の新たな感症への対応のための示唆を得る。

3. 研究の方法

以下の特徴をもつシミュレータを開発する。その元となるモデルは、人の移動、発症機序、対策、および検査に関する項目から構成される。

(1) 人の移動

互いの衝突を回避しかつ、親しい仲間と近づく行動を基本とし、集会への集合および遠距離移動を確率的に発生させる。衝突回避の強さは社会距離に、集会の頻度と規模、長距離移動の頻度と距離範囲は、それぞれの制限に対応する。

(2) 発症機序

個人レベルでの発症機序は感染者との接触による感染から発症、重症化、死亡、もしくは治療への時間的な流れで表現できる。それぞれの事象が発生するまでの期間の分布を、公表されている医学的知見を元に設定する。その後の治療薬や治療方法の開発により、重症化率などの指標が大きく変化する可能性もあり、適宜対応可能とする。

(3) 対策

社会距離と集会および移動の制限については、上記のとおりである。さらに、接触追跡と隔離のモデルを導入し効果的な検査対象選択と個別の隔離による2次感染の抑止をモデル化する。

(4) 検査

感染しているかどうかの検査について、被験者からの採取した検体を用いたPCR検査が主な方法である。検査対象の選択方法、検査の実施遅れと検査結果判明までの時間、および、検査の精度と特異度をパラメータとするモデルを導入する。検査方法も素早く正確にかつ低コストでの実現への挑戦が続けられており、これらの変化にも適宜対応可能とする。

本研究課題では、人口百万人規模、さらに分散ネットワーク環境での利用を可能とするよう、シミュレーション単位のモジュール化を進め、できるだけ多様な計算資源を活用できるようシステム化を進める。さらに、研究活動の一環として、関連分野専門家との交流を積極的にもつとともに、複雑な感染ダイナミクスの理解の助けとなるよう、視覚化のインタフェースの開発や、スマートフォンでの簡易な実験を可能とするウェブサービスの実装も実施する。

研究成果を広く社会に還元するため、オープンソースソフトウェアの開発に広く使われている

公開サイトを利用し、ソースコードを公開する。また、研究概要や成果については、学会での発表とともに、ウェブサイトでの公開と専門家以外の人々を対象にわかりやすい解説にも努める。新型コロナウイルスに限らず、インフルエンザなど様々な性質の異なる感染症の流行について汎用的に適用可能なシステムに発展させることも重要である。さらに、ウイルス等の変異も考慮した、共進化モデルを導入し、今後も発生が危惧される新型の感染症について、そのダイナミクスに対する理解およびそれを踏まえた終息・予防対策の立案支援に繋げる。

4. 研究成果

100 万人規模のシミュレーションに耐えるようマルチコア CPU の性能を活用した並列計算方式を実装し、複数台の小型計算機をネットワークで接続し、1 日を 12 ステップとし 1 年間分のシミュレーションを 1 組のパラメータごとに 128 とおりのシミュレーションを実行する環境を整えた。

また、人の行動パターン、予防対策の実施状況、ワクチン接種の進捗、変異ウイルスの侵入などを含む様々なパラメータ設定を容易にするため、パラメータ値および時間を追って変化するシナリオを JSON 形式で記述し、系統的なシミュレーションの実行する機能を実装した。シミュレータは HTTP に基づくコマンド受信および結果送信の機能を付け加えた。

シミュレーションの様子は、2 次元平面上を移動するエージェントのアニメーションによって詳細を観察でき、また、感染者数や重症患者数などの統計量の変化を動的に表示することで、直感的にも把握しやすくした。このような視覚化の機能は、シミュレーション状況の把握とともにダイナミクスの直感的理解を助けるものでもある。

令和 3 年および 4 年の感染流行時期には、当該シミュレータによる結果データをもとに統計分析を行い、背景の項で述べた内閣府のシミュレーションチーム内でのオンライン会議にて結果を共有し、会議参加委員間の議論を経て、実際の対策決定の助けとした。

また、研究方法の項で述べた Web サービスで利用可能な簡易なシミュレータについては、Javascript を活用し、閲覧者側のスマートフォン等のブラウザ上で実行するサイトを試作した。人口規模やパラメータ設定の柔軟性、処理速度などには制約があるが、流行の要因を直感的に理解するには有益と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kodera Sachiko, Ueta Haruto, Unemi Tatsuo, Nakata Taisuke, Hirata Akimasa	4. 巻 11
2. 論文標題 Population-Level Immunity for Transient Suppression of COVID-19 Waves in Japan from April 2021 to September 2022	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Vaccines	6. 最初と最後の頁 1457 ~ 1457
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/vaccines11091457	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tatsuo Unemi
2. 発表標題 Individual-based Epidemic Simulator and Its Visualization as Generative Art
3. 学会等名 the 25th Generative Art Conference（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuo Unemi
2. 発表標題 Individual-based epidemic simulator with vaccination and virus variants for scenario analysis
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

模擬感染1: 個体ベース感染シミュレータ
<http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/SimEpidemic1/info/index-ja.html>
SimEpidemic 個体ベース感染シミュレータ 技術文書
<http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/SimEpidemic1/info/simepidemic-docs.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------