

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間	2021～2025
課題番号	21H05001
研究課題名	理・工・医学の連携による災害医療デジタルツインの開発と医療レジリエンスの再構築
研究代表者氏名（ローマ字）	越村 俊一（KOSHIMURA Shunichi）
所属研究機関・部局・職	東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号	50360847

研究の概要：

医療需要および被災地の医療活動状況を入力とした仮想世界でのエージェントの活動と物理世界となる被災地での災害医療チームの活動を結びつける「災害医療デジタルツイン」を構築する。災害医療デジタルツインのエージェントシステムには、エージェントの行動が「医療活動のレジリエンスを最大化する」という強化学習を導入し、仮想世界での what-if の分析を通じて最善の災害医療体制を明らかにする。

研究分野：防災工学、安全工学

キーワード：デジタルツイン、津波、災害医療、ジオインフォマティクス、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

南海トラフでの連続地震（先発地震・後発地震）に対する災害レジリエンスを考えると、災害医療については、医療システムの一部の機能が一定期間低下しても、被災地内外で展開する医療活動の機能を速やかに回復することが社会的要請として重要である。

2. 研究の目的

本研究では、リアルタイムシミュレーション、センシングの融合による広域被害把握、被災地内外の人の移動と社会動態把握、医療需要および被災地の医療活動状況を入力としたマルチエージェントシミュレーションで構成する仮想世界での what-if の分析を通じて、物理世界となる被災地での災害医療チームの活動を支援するための「災害医療デジタルツイン」を構築する。災害医療デジタルツインのエージェントシステムにはエージェントの行動が「医療活動のレジリエンスを最大化する」という強化学習を導入し、医療資源が圧倒的に不足する、不確実状況下での医療機能を回復させるための体制を明らかにする。

3. 研究の方法

以下に列举する4つの課題を設定し、理学・工学・医学の連携による研究チームを構成する。南海トラフの最大クラスの地震と連続地震による津波災害を考え、先発地震の発生直後から亜急性期（30日）までの期間をターゲットにして、災害医療のレジリエンスを最大化する。

課題1：南海トラフの先発地震による津波のリアルタイム浸水被害予測と後発地震による津波浸水被害の確率評価、およびリモートセンシングによる被災地モニタリング

課題2：先発地震からの人流把握とその後の大規模移動予測による社会動態の把握と医療需要の推定

課題3：災害レジリエンスの数量化とレジリエンスを最大化する災害医療マルチエージェントの強化学習

課題4：災害医療デジタルツインの構築と活用

4. これまでの成果

課題 1-1：本研究の核となるリアルタイム津波浸水被害予測技術の開発については、その予測範囲を我が国太平洋岸全域と日本海北部沿岸に拡張できた（2023年3月時点）。内閣府の総合防災情報システムの機能として稼働しており、2022年3月の福島県沖地震で初めて実際の津波予測に成功した。次に、南海トラフの連続地震（割れ残り域の破壊）を想定し、666ケースのシナリオ地震による津波浸水予測のデータベースを構築し、割れ残り域に対する即時的浸水確率予測を可能にすることができた。これにより、浸水域内人口と家屋被害棟数の期待値も算出可能になっている。断層破壊の不確実性については、マルコフ連鎖モンテカルロ法による新たな断層モデル推定法を考案、多様な断層破壊形態に対する浸水予測の信頼性向上を実現できた。

課題 1-2：リモートセンシングによる広域被害把握について、様々な機械学習法を適用した方法論の確立に取り組んだ。特に合成開口レーダと標高データの統合解析から、洪水時の浸水深を直接計測できる手法の開発と実証に成功した。これにより、浸水予測の検証やその後の被災地のモニタリングが可能にな

った。ドローンによる詳細被害把握手法と飛行経路の最適化問題にも取り組み、建物や施設1棟毎の効率的な調査法の提案ができた。

課題2：モバイルデバイスからの大量の位置情報から社会動態を把握・予測する研究は、平時の移動パターンの解明、移動時間の予測、大規模イベント時の移動予測、データ学習・予測の枠組み構築を実現できた。また、本研究グループは約1時間遅れで準リアルタイムの全国500mメッシュの人口推計（モバイル空間統計）を得ることが可能になった。これを契機に、津波発生時の浸水域内人口の推計と、人口動態の常時監視による社会の異常検知の研究に着手した。災害時の医療需要の推定は、被災地の人口割合として求める手法を新たに開発した。これらの成果を融合することで、リアルタイム浸水被害予測から、浸水域人口の推計、医療需要の推計の枠組みを構築することができた。

課題3：災害医療のマルチエージェントシステムの構築に着手した。まず、被災地における医療活動（捜索、治療、搬送）のエージェントシミュレーションのモデルを開発し、東日本大震災における医療活動との検証を行った。次に、エージェントの動きを最適化する強化学習の枠組みの構築について、ドローンによる物資の配送計画の最適化、被災地内で情報収集を行うドローンの飛行計画の最適化の問題に帰着させ、問題の定式化と実証を行った。これらにより被災地で活動する医療関係者のエージェントシミュレーションと強化学習による最適化アルゴリズムの基礎的な部分の構築を完了することができた。

課題4：災害医療デジタルツインの構築に向けて、津波浸水予測データ、社会基盤データ、リアルタイム人口統計データ、医療機関データ、道路ネットワークデータの整備とデータ容量調査を踏まえ、必要な計算リソースやハードウェアの検討を行った。計算資源については主に東北大学サイバーサイエンスセンターの大型計算機で賄うこととし、データ集約・可視化・分析機能については標準的なクラウド型GISであるArcGIS Online (ESRI社)で構築する方針を決定し、災害デジタルツインの構想として学会発表を行った。災害医療チームは、災害医療デジタルツインの仮想世界でのエージェントの役割を形式知化するための医療活動情報の蓄積に取り組んだ。本研究のテストベッドである高知県とは良好な協力関係を築いている。2022年度から内閣府に続いて県にリアルタイム津波浸水被害予測システムが導入され、災害対応訓練に活用されており、越村らのグループが状況付与班（被害予測結果の提供）として訓練に貢献している。

5. 今後の計画

2023年度以降は、当初の計画どおり、理学・工学・医学の連携を更に強化し、最終目標である災害医療デジタルツインの構築と活用に向けて、これまでの2年間で構築した要素技術の統合を図る。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- A numerical study of the MRT-LBM for the shallow water equation in high Reynolds number flows: An application to real-world tsunami simulation, *K. Sato, K. Kawasaki, S. Koshimura, Nuclear Engineering and Design, 404, 112159-112159, 2023年4月, doi:10.1016/j.nucengdes.2023.112159
- Sparse Representation-Based Inundation Depth Estimation Using SAR Data and Digital Elevation Model, *L. Moya, E. Mas, S. Koshimura, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 15, 9062-9072, 2022年10月, doi:10.1109/jstars.2022.3215719
- A Reinforcement Learning Model of Multiple UAVs for Transporting Emergency Relief Supplies, D. Hachiya, E. Mas, *S. Koshimura, Applied Sciences, 12(20), 10427-10427, 2022年10月, doi:10.3390/app122010427
- Hospital Management and Public Health Role of National Hospitals after Transformation into Independent Administrative Agencies, Y. Nakagawa, K. Irisa, Y. Nakagawa, *Y. Kanatani, Healthcare, 10(2084), 1-22, 2022年10月, doi:10.3390/healthcare10102084
- Rapid and quantitative uncertainty estimation of coseismic slip distribution for large interplate earthquakes using real-time GNSS data and its application to tsunami inundation prediction, *K. Ohno, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, T. Abe, H. Kobayashi, Earth, Planets and Space, 74(1), 2022年2月, doi:10.1186/s40623-022-01586-6

受賞

- 第71回河北文化賞、リアルタイム津波浸水被害予測システムの開発と運用による災害レジリエンス向上への貢献、河北文化事業団、越村俊一、2022年1月
- 第20回ドコモ・モバイル・サイエンス賞 先端技術部門優秀賞、リアルタイムシミュレーションとセンシングの融合によるリアルタイム災害科学の創成、モバイル・コミュニケーション・ファンズ、越村俊一、太田雄策、マス エリック、2021年10月

7. ホームページ等

<http://www.regid.irdes.tohoku.ac.jp>