

国際科学技術協力基盤整備事業

日本－米国共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「逐次決定分析とその洪水リスク軽減および避難指示の最適化への応用」
2. 研究期間：令和3年2月～令和5年3月
3. 主な参加研究者名：
 - 日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	マス エリック	准教授	東北大学・災害科学 国際研究所	プロジェクト 管理, モデル 開発.
主たる 共同研究者	アドリアノ ブ ルーノ	准教授	東北大学・災害科学 国際研究所	洪水ハザード データベース の機械学習ア ルゴリズム
研究参加者	橋本 雅和	助教	東北大学・災害科学 国際研究所	洪水ハザード データベース のための水理 シミュレーシ ョン
研究参加者	モヤ ルイス	客員研 究員	東北大学・災害科学 国際研究所	避難シミュレ ーション・強 化学習
研究参加者	河野 達仁	教授	東北大学・大学院情 報科学研究科	避難行動と最 適化の助言・ 応用経済数学
研究参加者	越村 俊一	教授	東北大学・災害科学 国際研究所	助言者、デー タ提供者リエ ゾン
研究期間中の全参加研究者数			6名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Zhijie Dong	准教授	University of Houston	確率計画モデル 開発の助言
研究参加者	Rui Dai	研究員	Norfolk Southern	確率計画モデル 開発者
研究参加者	Jinli Liu	博士学生	Texas State University	データ処理
研究期間中の全参加研究者数			3名	

4. 研究交流の概要

本研究課題では、モバイル空間統計データ可視化ツールを開発し、対象地域のリアルタイム洪水シミュレーションの2つのプロトタイプを開発した。1つ目は、降雨データと粗い洪水シミュレーション、2つ目は、事前に訓練した機械学習モデルを使って洪水の推定解像度を高めるものである。また、これらのデータと手法は、動的人口暴露マッピングと動的洪水リスクマッピングの開発に応用された。最後に、強化学習を用いたエージェントベースの避難モデルを開発し、最適な洪水避難指示の時間を評価した。6つの国際会議と2つの公開セミナーで、本プロジェクトとその成果を発表した。1つは米国テキサス州立大学で、もう1つは2023年3月に日本で開催された世界防災フォーラムで発表した。

5. 研究交流の成果

5-1 研究交流の学術成果および実施内容

まず、モバイル空間統計 (MSS) データ、降雨データ、低解像度 (90m) および高解像度 (45m、10m) の洪水シミュレーションの出力を集め、GIS サーバ内にデータウェアハウスを構築した。MSS と洪水の推定値を用いて、人口暴露マッピングと動的洪水リスクマッピングのプロダクトを開発した。

プロジェクトの最終段階では、強化学習 (RL) を取り入れたエージェントベースの避難モデルを開発した。RL モデルの開発では、米国のグループと協力し、確率的プログラミング (SP) アプローチを統合した。さらに、逐次決定分析 (SDA) を用いて、避難指示のタイミングを最適化する際に RL と SP がどのように連携できるかを示し、SDA の統一的なフレームワークを実用化した。

5-2 研究交流による相乗効果

今回の共同研究により、日米の異なる分野の研究者の連携が強化された。主に工学と防災学の専門を持つ日本チームを、オペレーションリサーチ、都市、交通、情報学、ロジスティクスの専門知識を持つ米国チームが補完した。物理的なモデルと工学的なモデル、そして災害時における最適化と意思決定モデリングを組み合わせた相乗的なアプローチは、プロジェクトのあらゆる段階において研究プロセスを支えた。

5-3 研究交流の成果から期待される波及効果と今後の展望

モバイル空間統計データの利点を活かして、リアルタイム人口暴露マッピングシステムを開発した。また、洪水シミュレーションと機械学習による高解像度洪水推定を組み合わせ、リアルタイムの洪水リスクマッピングシステムも提供した。最後に、強化学習を導入したエージェントベース避難モデルと避難指示の確率的プログラミング最適化を組み合わせるために、逐次決定分析フレームワークの利用を活用した。

Infrastructure Development for Promoting International S&T Cooperation
Japan – US Joint Research Program
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Sequential decision analytics and its application to flood risk reduction and evacuation advisory optimization」
2. Research period : February 2022 ~ March 2023
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Erick Mas	Associate Professor	Tohoku University - IRIDeS	Project management. Models development
Co-PI	Bruno Adriano	Associate Professor	Tohoku University - IRIDeS	Machine Learning algorithm for Flood Hazard Database
Collaborator	Masakazu Hashimoto	Assistant Professor	Tohoku University - IRIDeS	Hydraulic Simulations for Flood Hazard Database
Collaborator	Luis Moya	Visiting Researcher	Tohoku University - IRIDeS	Reinforcement Learning in Evacuation
Collaborator	Tatsuhito Kono	Professor	Graduate School of Information Science	Evacuation behavior and optimization advising
Collaborator	Shunichi Koshimura	Professor	Tohoku University - IRIDeS	Project advisor and Data provider liaison
Total number of participants throughout the research period: 6				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Zhijie Dong	Associate Professor	University of Houston	US team leader. Stochastic Programming Model development expert
Co-PI	Rui Dai	Researcher	Norfolk Southern	Stochastic Programming model developer
Collaborator	Jinli Liu	PhD Candidate	Texas State University	Data curator
Total number of participants throughout the research period: 3				

4. Summary of the joint project

Within this project we have developed mobile spatial statistical data visualization tools, two prototypes of real-time flood simulation for the target area; first, using the rainfall data and coarse flood simulations; second, using pre-trained machine learning models to augment the resolution of flood estimations. The data and methods were applied on developing dynamic population exposure mapping and dynamic flood risk mapping products. Finally, an agent-based evacuation model with reinforcement learning was developed to assess the optimal flood evacuation advisory time. We have shared our project and its outcomes in six international conferences and two open seminars, one in US at Texas State Univ. and the other in Japan within the World Bosai Forum on March 2023.

5. Outcomes of the international joint project

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

First, we constructed our data warehouse within a GIS server gathering mobile spatial statistical (MSS) data; rainfall data and outputs of low resolution (90 m) and high resolution (45m, 10m) flood simulations. With MSS and flood estimations, population exposure mapping and dynamic flood risk mapping products were developed.

In the last stage of the project, we developed an agent-based evacuation model that incorporates reinforcement learning (RL). We collaborated with the US group while developing the RL model to integrate the stochastic programming (SP) approach. We finally applied sequential decision analytics (SDA) to lay out how RL and SP can work together on the optimization of evacuation advisory timing, developing a practical application of the unified framework of SDA.

5-2 Synergistic effects of the joint research

The joint research has strengthened the collaboration within Japan and US scholars from different fields. The Japan team mainly from the engineering and disaster management background was complemented by the US team of operational research, urban, transportation, informatics and logistics expertise. A synergistic approach that combines physical and engineering models together with optimization and decision modeling in emergency situations enriched the research process at every step of the project.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We leverage the advantages of Mobile Spatial Statistical data in the development of a real-time population exposure mapping system. In addition, combining flood simulations and high resolution flood estimation using machine learning we provide a real-time flood risk mapping system. Finally, we explored the use of sequential decision analytics framework to combine a reinforcement learning-based evacuation with the stochastic programming optimization of evacuation advisory.

共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

* 原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 0 件

・ 査読有り : 発表件数 : 計 0 件
該当なし

・ 査読無し : 発表件数 : 計 0 件
該当なし

* 原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 3 件

・ 査読有り : 発表件数 : 計 3 件

1. Koma, T., Kono, T., & Kazama, S. How should river embankments be spatially developed, from the upstream section or the downstream section?. *Journal of Flood Risk Management*, **2023**, 16(1), e12870. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12870>

2. L. Moya, E. Mas and S. Koshimura, "Sparse Representation-Based Inundation Depth Estimation Using SAR Data and Digital Elevation Model," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **2022**, vol. 15, pp. 9062-9072, DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3215719

3. Hachiya D, Mas E, Koshimura S. A Reinforcement Learning Model of Multiple UAVs for Transporting Emergency Relief Supplies. *Applied Sciences*. **2022**, 12(20):10427. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122010427>

・ 査読無し : 発表件数 : 計 0 件
該当なし

* その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件

該当なし

* その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) : 発表件数 : 計 1 件

Kijewski-Correa, T; Ono, Y; Balachandran, B; Bukvic, A; Fox, N; Holtzer, G; Lachlan, K; Little, J; Mas, E; Nishikawa, S; Shimizu, M; Stephens, K; Tatano, H; Tatsuki, S; Toyofuku, K; Wang, H; Ye, X. US-Japan Workshop on Needs, Priorities and Partnerships to Advance Human-Centered Data for Resilience. 2023. <https://doi.org/10.17603/ds2-aev9-3685>

2. 学会発表

* 口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 2 件 (うち招待講演 : 1 件)

1. Mas, E., Dong, Z. Sequential decision analytics and its application to flood risk reduction and evacuation advisory optimization. World Bosai Forum 2023, Sendai, Japan, March 10, 2023 (招待)

2. Mas, E., Dong, Z., Adriano, B., Hashimoto, M., Moya, L., Kono, T., Koshimura, S. Sequential decision analytics and its application to flood risk reduction and evacuation advisory optimization. Aceh International Workshop and Expo on Sustainable Tsunami Disaster Recovery (AIWEST-DR 2022), Sydney, Australia, Sep. 29, 2022.

* 口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 5 件 (うち招待講演：0 件)

1. 小間大世, 河野達仁, 風間聡, 「河川整備における堤防高さとの空間的整備順序の最適化」, 土木計画学研究発表会, 那覇, 日本, 11 月 13 日
2. Adriano, B; Yokoya, N; Yamanoi, K; Oishi, S. "Predicting Flood Inundation Depth Based-on Machine Learning and Numerical Simulation," In Proceedings of the Complex Data Challenges in Earth Observation (CDCEO) Workshop, the 31st International Joint Conference on Artificial Intelligence and the 25th European Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-ECAI 2022), Vienna, Austria, July 23-29, 2022. (<https://ceur-ws.org/Vol-3207/paper9.pdf>)
3. Mas, E., Koshimura, S. How can we incorporate population dynamics into an urban digital twin for disaster response?. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2022, Online, Aug 3, 2022.
4. Hashimoto, M., Mas, E., Egawa, S., Sano, D., Koshimura, S. Quantitative Evaluation of Evacuated Populations in flood events Using Mobile Phone Base Dynamic Data, 9th International Conference of Flood management, 茨城県つくば市, 2023 年 2 月 20 日.
5. 橋本 雅和, Mas E., 江川 新一, 越村 俊一, 佐野大輔. 浸水想定区域における人流データを用いた立退避難実態調査. 第 41 回学術講演会. 滋賀県草津市, 日本. 9 月 19 日. 2022

* ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数：計 0 件

該当なし

* ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数：計 0 件

該当なし

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. US-Japan Joint Project Seminar: "Machine learning and earth observation technology for early disaster response", 主催者名: Dong, Z., Mas, E., Texas, US, 2022 年 5 月 11 日, 参加人数 15 名程

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

【合同ミーティング】

- ・ 2022 年 11 月 14 日：進捗報告ミーティング、US, Atlanta, Norfolk Southern
- ・ 両国の PI を交えて Zoom ミーティングを月 1 回開催した。
- ・ 両国のチームメンバーを交えて Zoom ミーティングを 3 ヶ月 1 回開催した。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0件

該当なし

6. 受賞・新聞報道等

該当なし

7. その他

該当なし