

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月25日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02910

研究課題名（和文）水害リスク情報提供サービス設計手法の開発

研究課題名（英文）Development of methodology for designing flood risk information dissemination service

研究代表者

山形 与志樹（YAMAGATA, YOSHIKI）

国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主席研究員

研究者番号：90239864

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：地理情報データを用いた水害リスクのシミュレーション手法の開発を行った。対象時点は平成27年9月関東・東北豪雨の期間を含む2015年9月9日～16日、対象地域は水害の発生した茨城県常総市である。特に把握が困難と考えられる対象期間内の人々の動きを推定・再現することに焦点をあてて、捕捉率が必ずしも十分ではない（1%程度）携帯GPSデータから空間詳細な避難行動を推定する方法を検討し、カーネル関数を用いた道路リンク別・時点別の移動人数を時空間補間する方法を開発した。次に、同時空間補間手法を常総市の実データに適用することで、直感に整合した形で水害時の避難行動が再現されることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水害リスクに対する人間行動のマイクロデータを用いたエージェントベースモデルの開発は、ビックデータ時代のモデル研究の新たな方向として学術的に革新的成果が期待され、各分野における人間行動を考慮した情報提供サービスへの幅広い貢献が可能である。特に、実際に住民が直接的な被害に直面するまで、リスク情報が割引いて評価され避難等の対策が遅れるという正常性バイアスが広く知られているが、対策が遅れているリスク管理上の大きな課題について、集団心理的な効果も考慮したエージェントベースモデルを用いた定量的な分析は、学術的にも社会的にもインパクトは大きい。

研究成果の概要（英文）：We developed a simulation technique of flood damage risk using geographic information data. The time-period of this study is from September 9, 2015 to 16, including the period of heavy rain in the Kanto and Tohoku regions. We focused on the estimation and reproduction of people's movements during the target period. This study examined a method for estimating spatially detailed evacuation behavior from mobile GPS data whose capture rate is not sufficient (about 1%). And then, we developed a method for spatio-temporal interpolation of the number of people using kernel function. By applying the spatial interpolation method to the actual data of Joso City, Ibaraki prefecture, it was confirmed that the evacuation behavior at the time of flood disaster could be reproduced.

研究分野：システム科学

キーワード：水害 エージェントベースシミュレーション サービス設計 時空間補間

1. 研究開始当初の背景

現在の水害リスク情報提供サービスでは、同時多発的かつ時々刻々と変化する水害リスクの面的な様相を、限られた観測ポイントにおける水文情報だけからリアルタイムに把握することは困難なのが実情である。また実際に深刻な水害が発生した地域において、早期にリスクを感じ取った住民が河川水位を確認して SNS 等で情報発信していたことが知られているが、残念ながらこれらの貴重な情報は、正確性と信憑性に欠けるということで活用されていないことが多い。そこで、観測される浸水範囲などの水害情報に加えて、喫緊の水害リスク情報をリアルタイムに反映する

SNS 等の社会コミュニケーション情報を組み合わせて活用して水害リスクを面的に把握する、新たな情報提供サービスの開発が求められている。そこで提案者らは、すでに開発に成功した気象情報（気温）を SNS 情報を利用して時空間内挿する手法（Yamagata et al., 2015a）を発展的に応用し、人々の観察や体験に基づくコミュニケーション情報を時空間補間することで、水害リスクに関するより正確な情報（例えば浸水域の拡大）の把握が可能となるものと考えた。

また、正確な水害リスク情報が不足している状況では、いわゆる正常性バイアス（図 1）によって、実際に住民が直接的な被害に直面するまでは、リスク情報が割引いて評価され、避難等の対策が遅れてしまう可能性が高いことが知られている。このような状況で、実際に水害被害が拡大している中での住民の行動を現実的にシミュレートするためには、正常性バイアス等による限定合理的な判断を含めて、集団心理学的な効果も考慮できるエージェントベースモデルの開発が不可欠であると考えられる。幸い提案者らは、交通行動をシミュレートする MATSim（Multi-Agent Transport Simulation）や、移住行動をシミュレートする CUE（Computable Urban Economic model）等のモデル開発（e.g., Yamagata et al., 2015b）に取り組み、これららのモデルを、東京都市圏における水害リスクへの適応に関する研究に応用してきた（e.g., Yamagata and Seya, 2013）。これらの研究で開発されたモデルをベースとして、新たに集団心理学的な効果も考慮できるエージェントベースモデル（e.g., Brudermann and Yamagata, 2013）の開発に発展的に取り組むことで、水害状況下における住民のリスク認知や避難行動に関するシミュレーション分析が可能となるものと考えられる。

さらに現状では、自治体が提供しているハザードマップ情報は、リスク認知や避難判断に必ずしも有効に活用されていない。実際、提案者らの研究でも、浸水が想定される沿岸域での水害リスクが過小評価され、高リスク地域に人口が集中していることが示された（Murakami and Yamagata, 2015）。しかし、インフラの整備や移住には膨大なコストと時間を要するため、まずは水害発生に対する社会的レジリエンスを高めることが喫緊の課題となっており、水害リスクに関する情報を住民に伝達するための有効な手法についての、具体的な事例分析に基づく新たな研究開発が求められている。

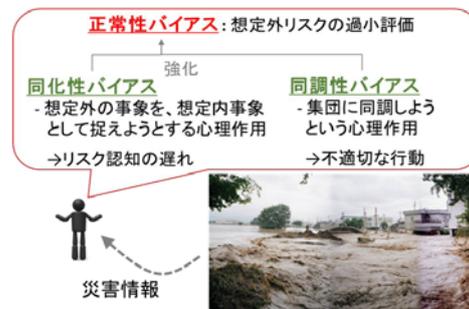


図 1：正常性バイアス

参考文献：

- Yamagata Y., Murakami D., Peters G., Matsui T.: A spatiotemporal analysis of participatory sensing data "tweets" and extreme climate events toward real-time urban risk management., *Proceeding of the 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, 2015a.
- Yamagata Y., Murakami D., Minami K., Arizumi N., Kuroda S., Tanjo T., Maruyama H.: A Comparative Study of Clustering Algorithms for Electricity Self-sufficient Community Extraction. *Energy Procedia*, 75, 2934-2939, 2015b.
- Yamagata Y., Seya H.: Simulating a future smart city: An integrated land use-energy model. *Applied Energy*, 112, 1466-1474, 2013.
- Brudermann T., Yamagata Y.: Behavioral Aspects of Urban Resilience. *Innovation and Supply Chain Management*, 7 (3), 83-91, 2013.
- Murakami D., Yamagata Y.: Trade-off between benefit from the ocean and flood hazard risk: A spatial multilevel hedonic analysis. *Proceeding of the 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, 2015.

2. 研究の目的

本研究では、まず水害リスクをリアルタイムかつ面的に把握するために、氾濫地域の拡大に関する画像情報と SNS 等の人の移動やコミュニケーション情報を活用した時空間補間手法を開発する。次に水害発生時の時々刻々と変化する水害リスクに対する住民の移動行動をシミュレートするエージェントベースモデルを開発する。最後に時空間補間手法とシミュレーションを統合して、水害リスクに対する住民行動を考慮した水害リスク情報提供サービス設計手法の開発を行う（図 2）。

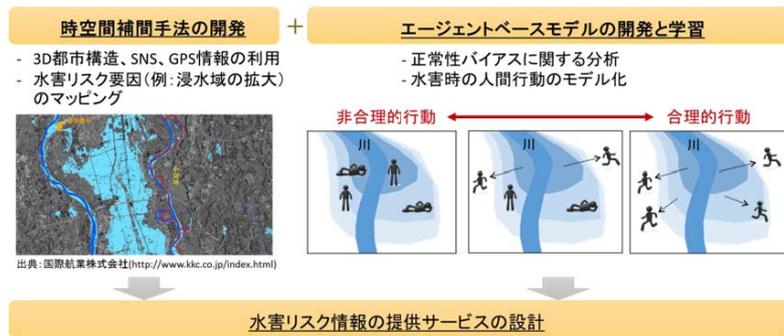


図 2: 水害リスク情報提供サービス設計手法の開発

具体的には、2015 年に茨城県常総市で発生した水害等を対象に事例分析を実施し、次の課題について研究を行う。

- 時空間補間手法の開発**: 3次元の都市構造(地盤高、建物、緑地)データ、SNS 情報(ジオタグ付き twitter データ等)、人の動きに関する情報(GPS 等)などの異種のデータを活用して水害リスク要因であるハザード、暴露、脆弱性をマッピングする新たな時空間補間手法を開発する。
- エージェントベースモデルの開発と学習**: 上記(A)を用いて定量化される水害リスク要因間の相互関係に基づいて、住民の移動行動をシミュレートするエージェントベースモデルを開発する。また住民が認知していたリスクと客観的なリスクとの乖離関係も分析し、正常性バイアス等の集団心理学的な効果を考慮できるモデルを開発して、時空間補間されたリスク状況と住民行動に関するデータを用いてモデル学習を実施する。
- 水害リスク情報を効果的に提供するサービスの設計**: 複数の設計シナリオを構築して、エージェントベースモデルを用いたシミュレーション分析を実施する。

ただし、(A)では、常総市の水害時に取得された時系列の航空機画像や、同画像からマッピングされる時間帯別の浸水範囲と SNS 情報を組み合わせて、浸水域拡大に伴う交通網の遮断やそれに伴う避難者流動の変化状況も考慮しながら、できるだけ実態に近い水害リスクの時空間変動を明らかにする。(B)では、SNS 情報からのキーワード抽出などによって得られる水害に関する情報も活用しながら、実際の水害リスクの時空間拡大と住民がリスクを認知して行動変容に結びついたケースとの比較分析を実施する。それにより、実際の水害リスクと住民行動との関係を定量的に明らかにする。(C)では、(A)でマッピングされた水害リスク要因と(B)で開発されたエージェントベースモデルを用いて、本研究で解析するようなリアルタイムの情報が得られ場合に、どのようなリスク情報をどのタイミングで住民に情報提供すべきかを明らかにする。そのために、シナリオを複数作成し、開発されたモデルを用いて住民の行動をシミュレーションする。

本研究での精密な 3D 都市構造と SNS 情報を用いた自然・社会統合型研究は、国際的にも先例がほとんど無い。また、水害リスクに対する人間行動のマイクロデータを用いたエージェントベースモデルの開発は、ビッグデータ時代のモデル研究の新たな方向として学術的に革新的成果が期待されるため、各分野における人間行動を考慮した情報提供サービスへの幅広い貢献が可能である。特に、正常性バイアス等の、広く知られているものの対策が遅れていたリスク管理上の大きな課題について、集団心理学的な効果も考慮したエージェントベースモデルを用いた定量的な分析が可能となれば、学術的にも社会的にもインパクトは大きい。将来的に本成果を用いた水害リスク情報提供サービスが可能となれば、さらにエネルギーや交通等の都市サービスの設計への応用も想定され、日本にとって最重要の課題のひとつである都市レジリエンスの高度化と併せて、国際的にも特色ある新たな社会・環境サービスの発展に貢献することが予想される。

3. 研究の方法

本研究では、はじめに水害地域の時系列の航空機画像を用いて浸水範囲を把握し、3D 都市構造情報等と併せて水害状況を推定するとともに、被災地域周辺における SNS 情報等のリアルタイム情報を用いて、水害リスクの3要素(ハザード、暴露、脆弱性)を時空間補間して推定する手法を開発する。次に、これらの水害リスクと実際の住民行動との比較分析を実施し、正常性バイアス等の集団心理学的要因も考慮しながら、水害下における人々の行動を表現するエージェントベースモデルを開発する。最後に、開発されたモデルを用いて複数のリスク情報提供シナリオの下での住民行動シミュレーションを実施して、リスク情報提供サービス設計手法の開発を行う。

A) 時空間補間手法の開発

本研究の対象地域は常総市を中心とする茨城県内の鬼怒川流域の市町村とする。対象時点は同市が大規模水害を被った2015年9月10日前後および対策が一段落するまでの9月中とする。同時期に複数回観測されている航空機画像（国土地理院）を用いて、それぞれに画像分類を実施して浸水範囲を抽出し、それらの情報と3D都市構造情報などを組み合わせて時空間補間を実施することで、任意時点での浸水情報を推定する。次に、提案者らが開発した異種のデータを空間情報を有するSNS情報の活用による空間詳細組み合わせた時空間補間手法かつリアルタイムなリスク情報のマッピングを用いて、上記の推定された浸水情報と発信場所が知られているSNS情報（ジオタグ付きtwitter）を組み合わせて用いることにより、水害リスク状況（住民の認識している被害状況）を時空間補間してマッピングする手法を開発する。特に、ここでは、これまでのガウス過程を用いて時々刻々と変化する状況を記述するモデルに加えて、リスク発生時の状況を解析するために近年統計分野において開発された多変量コピュラ（接合分布関数）を用いた統計学的手法を新たに応用することで、水害発生時の状況を記述するのに適した新たな時空間手法を開発する。最後に、この新たな時空間補間手法を用いて、水害リスクに関連する各種データを同化しつつ、水害リスクの3要素（ハザード、暴露、脆弱性）のマッピングを実施する。

B) エージェントベースモデルの開発と学習

まずはリスク状況下におけるエージェントの行動を、世帯属性（年齢、性別、自動車の有無など：町丁目別データ等の按分により推計）と行動特性（同調性や正常性バイアスの強さなど：SNS情報等から推定）を元にモデル化する。このモデルには、これまでに提案者らが開発したMATSim（交通）やCUE（土地利用）をベースとして、また上記(A)で得られたリスク要因の補間結果と集団心理的な状況も考慮して、各エージェントが周囲のリスク状況に応じて逐次学習をして避難移動する／しないを決定する動的メカニズムとともに、エージェント間での通信情報を元に行動パターンを変更する学習メカニズムを想定する。

C) 水害リスク情報提供サービスの設計手法の開発

水害リスク情報提供サービスの設計について検討するために、どのリスク情報（上記(A)でマッピングされたリスク要因）を、どのタイミングで住民へ情報提供するかに関してのシナリオを検討する。次に、各シナリオがエージェントの行動変化に及ぼす影響を、上記(B)で開発・学習したエージェントベースモデルを用いてシミュレートする。

4. 研究成果

研究開始当初に想定していた茨城県常総市を対象とした分析に加え、研究期間中に発生した平成30年豪雨（2018年6月28日から7月8日）による河川氾濫や洪水によって被害を受けた岡山県真備町を対象とした分析にも、名古屋大学の廣井慧助教の研究協力を得て取り組んだ。

4-1. 茨城県常総市を対象とした分析

平成27年9月関東・東北豪雨に伴う大規模水害に見舞われた茨城県常総市を分析対象として、水害の発生した9月10日を含む9月9日～16日の人々の動きを携帯GPSデータ（株式会社Agoop提供）から推計した。同データは30分間隔の人々の位置座標データであり、交通モード（徒歩か自動車かなど）は付与されておらず、また特定のアプリケーションユーザの動きのみを捕捉しているものである。従って、同データの空間分布のみから人々の動きを把握することはできない。そこで本研究では、次のモンテカルロ・シミュレーションを用いて移動者の動きを再現することを試みた。

(i) 避難者0人の状況を初期状態とする。

(ii) 以下を収束するまで繰り返す：

(ii-1) 携帯GPSのカーネル密度（時間・空間）に応じた確率で避難者aに発地着地を無作為に与える。

(ii-2) 避難者aを移動時間が最短となる経路で発地から着地まで移動させる。

(ii-3) 避難者aを追加することで、疑似人流の時空間分布と携帯GPSのカーネル密度分布との相関が上昇する場合は避難者aを疑似人流データの1標本として追加する。そうであれば避難者aは棄却する。

推定された道路リンク別の移動者密度を図3に示す。水害前の9日は市の中心部である水海道駅周辺や石毛駅周辺、およびそれらをつなぐ国道294号線にそって移動者が多いという直感に整合した結果が得られた。水害直後の10日の結果からは人々が浸水域から水海道駅周辺に避難したという様子が伺える。11日の結果からは、鬼怒川西岸の道路での迂回交通が活発化していることや、水海道駅に近い橋の周辺で渋滞が起きていることなどが推定され、人・モノの動きが活発化したとの示唆を得た。12日以降は浸水域の南部を含むより広い領域で人々の移動が活発化していることが確認できる。携帯GPS情報のみから、直感に整合する人々の避難行動が把握可能という本研究の結果は、リアルタイムな避難行動の把握システムを開発するうえで有益な情報といえよう。

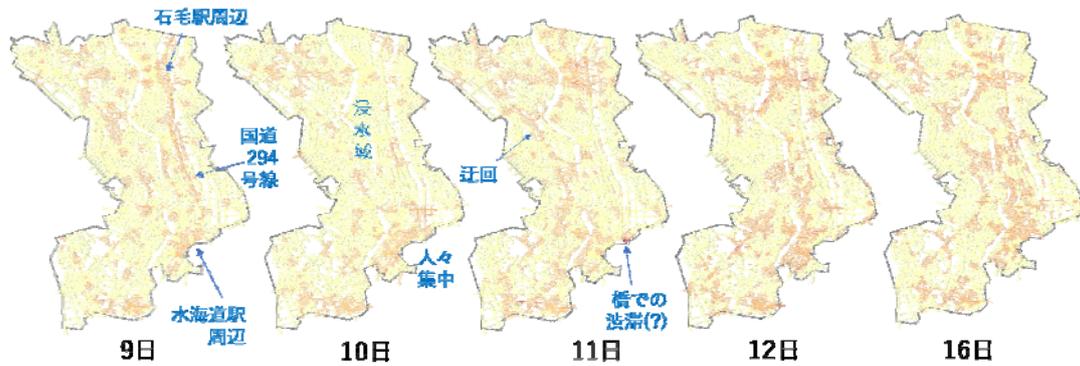


図3：2015年9月9日～16日の16:00の避難者の空間分布

4-2. 岡山県真備町を対象とした分析

上記の茨城県常総市で開発した手法を、別の携帯GPSデータ(株式会社ログウォッチャー)を用いて岡山県真備町(図4)を対象に行った。2018年7月6日から9日までの国土地理院が公表した浸水範囲データと、携帯GPSデータから開発手法を用いてシミュレートした避難行動の動きを重ね合わせて、時空間的に変化する浸水範囲に応じた避難行動の可視化(図5)を行うことができた。図5より、6日は平時の行動を示しているが、水害が発生した7日以後、浸水の範囲に応じて携帯GPSの分布が変化することがわかる。また、平時には利用頻度の低い山間の道が水害発生以後、避難および救援ルートとして利用されたことも確認できる。

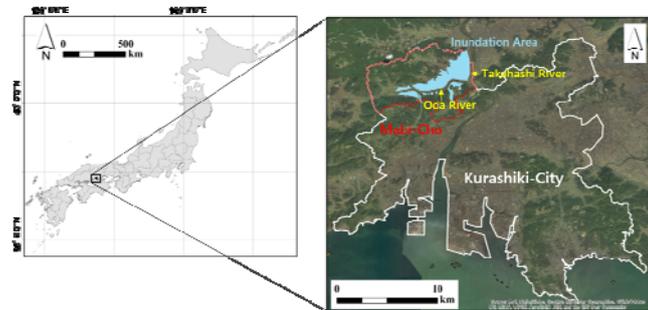


図4：岡山県真備町の浸水範囲

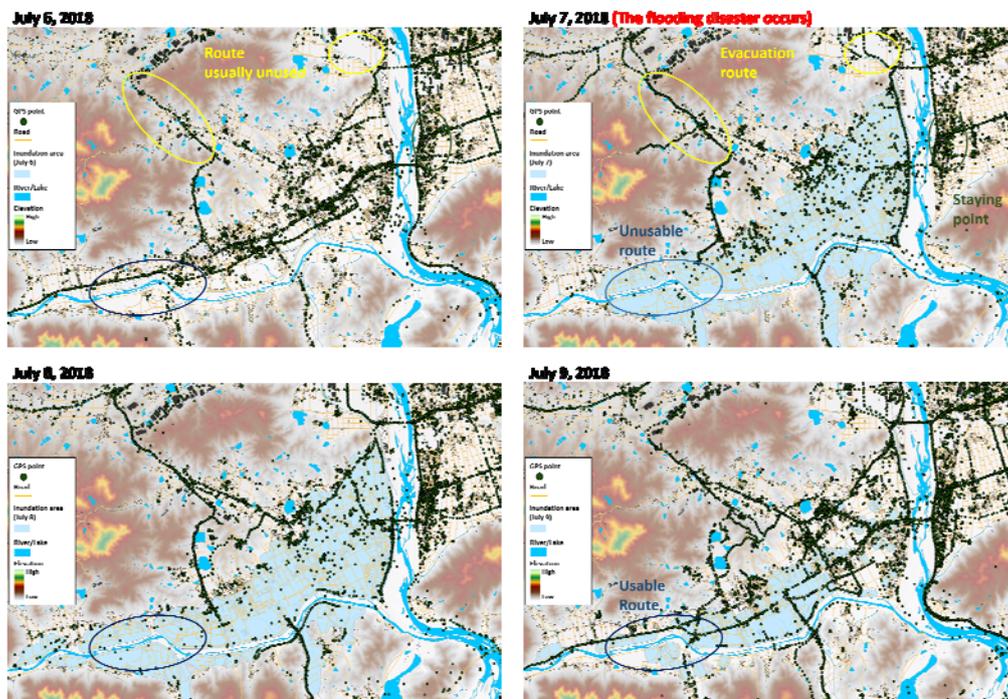


図5：2018年7月6-9日までの浸水範囲(国土地理院)と同時刻の携帯GPSデータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① Yamagata, Y., Hanasaki, N., Ito, A., Kinoshita, T., Murakami, D., and Zhou Q., Estimating water-food-ecosystem trade-offs for the global negative emission

scenario, Sustainability Science, 13, 301-313, 査読あり, 2018

DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0522-5>

- ② Yamagata, Y., Murakami, D. and Yoshida, T., Urban carbon mapping with spatial BigData, Energy Procedia, 142, 2461-2466, 査読あり, 2017
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.183>
- ③ Yamagata, Y., Murakami, D., Micro grids clustering for electricity sharing: an approach considering micro urban structure, Energy Procedia, 142, 2748-2753, 査読あり, 2017
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.220>
- ④ Yamagata, Y., Murakami, D., Minami, K., Arizumi, N., Kuroda, S., Tanjo, T., Maruyama, H., Electricity self-sufficient community clustering for energy resilience, Energies, 9, 543-543, 査読あり, 2016
- ⑤ Yamagata, Y., Murakami, D., and Seya, H., A Spatially-Explicit Scenario for Achieving “Wise Shrink” Toward Eco-Urbanism, Articulo-Journal of Urban Research, 14, 査読あり, 2016
DOI: 10.4000/articulo.3164

[学会発表] (計6件)

- ① 村上大輔、山形与志樹、吉田 崇紘、松井知子、携帯 GPS 情報を活用した水害避難状況の把握に向けた検討、東京大学空間情報科学研究センター全国共同利用研究発表大会: CSIS DAYS 2018、2018
- ② Yamagata, Y., Murakami, D., Yoshida T., Resilient 3D urban design: a “Wise Shrink” approach, The 12th International Symposium on Urban Planning and Environment, Lisbon, Portugal, 2016
- ③ Yamagata, Y., Murakami, D., Spatially-explicit resilience modeling for PV electricity supply-demand balance, The 8th International Conference on Applied Energy, Beijing, China, 2016
- ④ 村上大輔、山形与志樹、災害レジリエンスと太陽光発電に着目した空間詳細な電力需給バランスの推計、第54回土木計画学研究発表大会(秋大会)、長崎大学文教キャンパス、2016
- ⑤ 村上大輔、山形与志樹、時間帯別 CO2 マッピングに向けた携帯 GPS データの活用と交通シミュレーション、応用地域学会第30回研究発表大会、神戸大学六甲台2キャンパス、2016
- ⑥ 山形与志樹、村上大輔、都市レジリエンスの向上に向けたシェアリング・コミュニティの設計、応用地域学会第30回研究発表大会、神戸大学六甲台2キャンパス (兵庫県)、2016

[図書] (計2件)

- ① Yamagata, Y. and Sharifi, A., Resilience-Oriented Urban Planning, Springer, 228, 2018
ISBN: 978-3-319-75797-1
- ② Yamagata, Y., Maruyama, H., Urban Resilience - A Transformative Approach, Springer, 319, 2016

[その他]

ホームページ等 GCP Tsukuba International Office (<http://www.cger.nies.go.jp/gcp/>)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 松井 知子

ローマ字氏名: MATSUI Tomoko

所属研究機関名: 統計数理研究所

部局名: ・データ科学研究系

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 10370090

研究分担者氏名: 村上 大輔

ローマ字氏名: MURAKAMI Daisuke

所属研究機関名: 統計数理研究所

部局名: ・データ科学研究系

職名: 助教

研究者番号 (8桁): 20738249

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 廣井 慧

ローマ字氏名: HIROI Kei

研究協力者氏名: 吉田 崇紘

ローマ字氏名: YOSHIDA Takahiro