

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12997

研究課題名（和文）スパースモデリングによる重要シナリオ抽出：地震被害推定におけるシナリオ爆発の制御

研究課題名（英文）Extraction of significant scenarios for earthquake damage estimation using sparse modeling

研究代表者

小川 芳樹 (Ogawa, Yoshiki)

東京大学・生産技術研究所・特任助教

研究者番号：70794296

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）：地震津波被害推定に必要な建物構造、築年代を建物単位で推定する手法の開発した。同時に携帯電話プローブデータを用いて、被害想定に適用可能な時間別の人流データを開発した。これらを用いて様々な入力地震動・津波遡上シミュレーション結果に対して全国を対象に建物や人単位で倒壊・火災・津波の各事象を統合して物的・人的なリスクを詳細に推定することが可能になった。この多様シナリオに基づき、重要被害を説明するシナリオをスパースモデリングから抽出する手法の確立をした。被害分布から重要シナリオの抽出が可能になることは、時系列や入力津波データに由来する地域ごとにかかる固有の被害要因の理解を助長すると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震津波の被害分布から重要シナリオの抽出が可能になることは時系列や入力津波データに由来する地域ごとにかかる固有の被害要因の理解を助長する。地域ごとの被害要因が恣意的でなく科学的に示すことができれば人の流動や震源域、避難行動の違いが被害にもたらす影響またその結果人の行動などがどのような被害軽減をもたらすかの予測が可能になる。それだけでなく膨大な計算量を要する MAS Multi agent simulation などの高精度被害推定モデルを効率よく適用する際の入力シナリオの選定においても応用できると考えられ、学術的高い意味を持つと考える。したがって本研究成果は社会的にも大きな意味を持つ。

研究成果の概要（英文）：We have developed a method to estimate the building structure and building age of each building, which is necessary for estimating earthquake and tsunami damage. At the same time, we have developed time specific human flow data that can be applied to damage assumptions using mobile phone probe data. Using the results of various input seismic and tsunami run-up simulations, the physical and human risks can be estimated in detail by integrating collapses, fires, and tsunamis on a building and human basis nationwide. Based on these various scenarios, a method for extracting scenarios explaining significant damage from sparse modeling has been established. The ability to extract important scenarios from the damage distribution will help us to understand the unique damage factors that occur in each region derived from the time series and input tsunami data.

研究分野：空間情報科学

キーワード：スパースモデリング 建物データ 人流データ シナリオ爆発 LASSO 被害シミュレーション 地震津波

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、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地震被害シミュレーション技術の発展を背景に、地震・津波に関する被害予測の推定・観測技術の高度化が進み、災害を正確に予測して被害を推計するための研究が進められてきている。近年、各種観測技術の向上とデータ蓄積により、約 140 万人の携帯電話の行動履歴(GPS) データや建物 1 棟 1 棟の情報が把握できるデータ(マイクロジオデータ)などのビックデータが生成・蓄積されている。こうした背景から予測される地震・津波被害を多様かつ高精度に推計するための環境・技術が整いつつある一方で、データの多様化・蓄積に伴い災害シナリオは爆発的に増えることで 2 つの問題点を持つ。1 つは、データが蓄積され高度化するほど、“シナリオ爆発”が起こることを示しており地域防災計画などの減災に向けては、結果的にどのシナリオに着目し、対応すべきかという“シナリオ選択問題”が発生する。もう 1 つは、MAS(Multi Agent Simulation)や建物の数値応答解析などの高精度被害推定モデルは膨大な計算リソースが必要になるため予め計算するシナリオを絞り込むことが課題に挙げられる。

### 2. 研究の目的

研究背景の問題を解決する手段として、まず初めに多様なデータから計算量が比較的小さい経験式に基づく倒壊・火災・津波の被害分布を把握することで、今まで明らかにならなかった 365 日 24 時間の人の流動に基づく被害量、様々な震源モデルに基づく被害量の分布を明らかにする。さらにその結果を分析し、シナリオを絞り込むことができれば、科学的に重要なシナリオ(発災日時・避難行動など)を抽出することが出来る。この目標を達成するためには多様なシナリオから重要シナリオを明確に抽出できる手法の存在が肝要である。

従来、想定するシナリオは、専門家のヒューリスティクスによって重要シナリオを選択しているため、冬の 18 時、夏の 12 時という少数シナリオのみを考慮しているが、地域ごとに重要シナリオは異なり、また発災日時によって火気利用状況や人の流動は変化し、死者数は大きく変動すると考えられる。少数シナリオに基づく研究ばかりが続けられると、2011 年東北地方太平洋沖地震のような想定外を引き起こす可能性がある。そこで本研究では、まず地域ごとに推定された重要被害量は、多様なシナリオの中の幾つかの特徴的な少数シナリオに起因していると考え、残りの多くのシナリオは被害の類似性などによりスパースであると考えた。これは、画像認識などで用いられる圧縮センシング技術のスパース化を利用することで、特徴的な潜在的データを失わないで画像の再構築を可能にするスパースモデリング技術そのものである。ここからヒントを得て「スパースモデリングから重要なシナリオを科学的に抽出すること」を目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) データ整備

多数シナリオの被害推定を行うには、精緻な都市データを整備する必要がある。データ整備内容は、次の 2 つである。

①建物構造、耐火性能、築年代を建物単位で推定する手法を開発する。具体的には、住宅地図、不動産データ、国勢調査・住宅土地統計調査を利用し機械学習を適用することで住宅地図に築年代、建物構造、耐火性能の推定を行い精緻な人・都市データを整備し評価精度の向上に取り組む。不動産データと突き合わせることで推定モデルの精度を検証する。

②大規模携帯 GPS データを用いて、時空間内挿し、拡大係数を推定することで被害想定に適用可能な時間別(365 日 15 分間隔)の人口分布データを開発する。実際の人口に合わせる拡大係数(人/ポイント)については、国勢調査から得られる夜間人口と経済センサスから得られる従業員数と突き合わせることで信頼性を検証する。

#### (2) 被害推定環境構築

続いて、倒壊・火災・津波による被害を詳細かつ統合的に推定できる環境構築する(図 1)。建物や人単位で倒壊・火災・津波の各事象を統合して人的・物的な被害推定をする。物的被害に関しては、揺れと津波による建物倒壊と火災焼失によるものである。人的被害に関しては、倒壊・火災のみと津波を加えた 2 パターンで推定をする。また 15 分単位でシミュレーションすることによりシナリオは多様になる。例えば、倒壊と火災で約 365 日\*24h\*60min/15min\*地震動 10 パターン=7 万シナリオと膨大な数のシナリオ数となる。マイクロジオデータを用いることで建物単位・人単位の非集計分析になるため、高度被害推定モデルを導入できる環境が構築される。

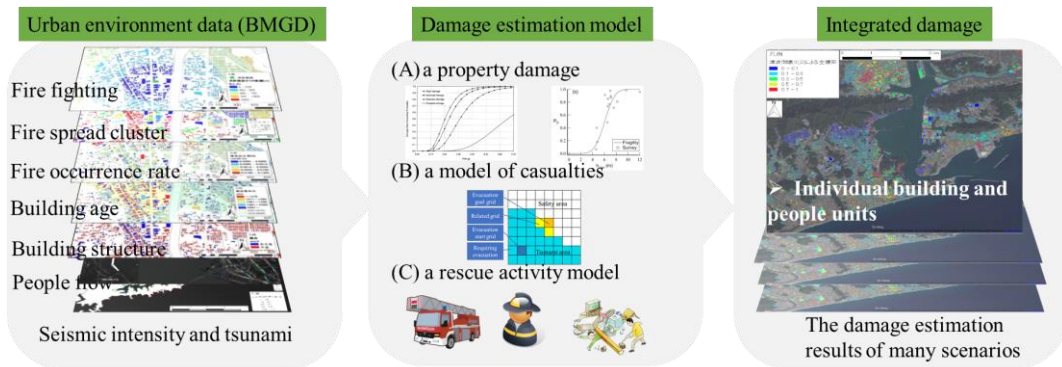


図1 マイクロジオデータを用いた多数シナリオの被害推定環境

### (3) 分析/評価

被害推定結果を統計的分析することで地域ごとの重要な被害・シナリオを求める。地震津波の被害推定した多様シナリオからリスク分布を明らかにする。さらに各シナリオの尤度を計算することで地域(メッシュ)ごとにリスク分布を求め、重要被害量(最大被害量, 平均値以上の最尤被害量, 最尤被害量)を推定する。次に、地域ごとに求めた重要被害量からそれらを説明するシナリオをスパースモデリングから抽出することを提案し、手法の有効性を示す(図2)。

本研究では、2つの分析を行う。1つは被害推定の際に用いた高次元空間データと被害量の結果を分析することで被害量に寄与している変数選択をスパースモデリングにより行う。もう1つは、地域ごとに推定した重要被害量についても、広域で考えた場合はそれらの事象を説明するシナリオ(発災時間・地震動)を明らかにする必要があるため、重要シナリオ選択をスパースモデリングにより行う。

本研究で用いる手法はスパースモデリングのLASSO回帰を用いる。LASSOは推定と変数選択を同時に行うことができるため、高次元小標本データから変数選択を行うのに有用である。

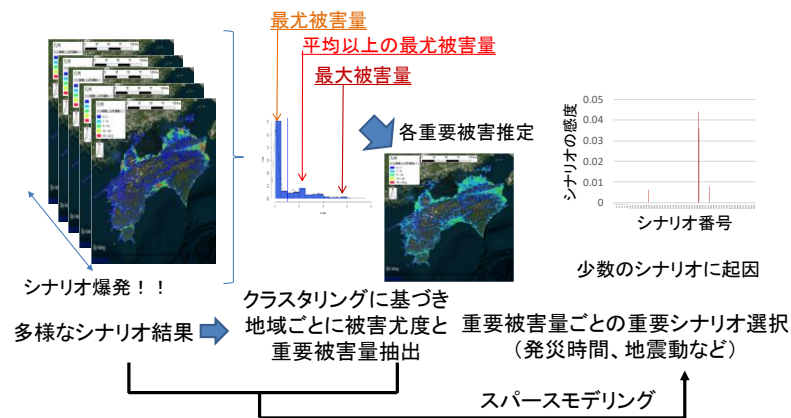


図2 重要シナリオ抽出手法の概要

## 4. 研究成果

### (1) 地震被害予測に必要な建物データの推定手法の開発と整備

地震の被害予測の高度化を図るために建物単位の建物構造・築年代・耐火性を把握することが出来るマイクロジオデータが求められていた。本研究では、緯度経度付きデジタル住宅地図・電話帳、不動産データ、建物外観画像、住宅土地統計調査を利用することで、全国の建物約6000万棟に対して、建物構造(RC造, S造, 木造), 築年代(1980年, 1981~2000年, 2001年以降), 耐火性(耐火造・準耐火造・防火造)の各属性を推定する手法を機械学習を用いて開発した。その結果、構造に関しては8割程度の正解率, 築年代に関しては4割程度の正解率, 耐火性に関しては8割程度の正解率を得ることが出来た。

### (2) 人流データの開発

パーソントリップ調査と携帯電話から得られる大規模なGPSデータから、時間別の地震の被害想定に適用可能な人流データを開発した。擬似的に人単位で滞留人口と流動人口も把握出来るデータを時空間内挿することで開発した。パーソントリップに関しては、首都圏を対象に平日の一日分の人流データ, GPSデータに関しては、四国・大阪を対象に2012年1年分の人流データを整備した。

滞留・流動点の推定及び、交通モード推定には既存研究手法を用いたが、各トリップの始終点の移動目的に応じた滞留点の建物への配分手法(Point of Interest: POI) に関しては、住宅地図と電話帳データを空間結合し各建物の詳細な業種や業種別の体積を把握することで、各トリップの移動目的と紐づけてどの建物に配分すべきか詳細に考慮する手法を開発した。また個々の GPS データに関して、機械学習を用いることで年齢性別の推定を行った。

### (3) スパースモデリングによるシナリオ抽出

倒壊・火災が発災する場合と津波・倒壊・火災が発災する場合のそれぞれにおいて、地域ごとの全シナリオの被害量の分布や被害量の尤度を算出することにより尤度が最も高い被害量、被害量が大きく尤度の高い被害量、極值的に大きくなる被害量を抽出し明らかにした。その結果以下のようなことが明らかになった。

倒壊・火災を対象とした被害の場合には最も尤度の高い被害量、すなわち最も起こり得る被害量の場合、四国全域の全ての 4 次メッシュで死者数は 5 人以下となった。被害が大きく尤度の高い被害量の場合、死者数が 5 人以下のメッシュが一番多いものの、死者数が 5~10 人と推計されるメッシュが 4000 程度となり、50 人と推計されるメッシュ数も 54 確認された一方で、被害量に変化しないメッシュも多く見られた。被害量が極值的に大きくなる被害量の場合、局所的に 50 人を超える死者数が発生するメッシュが多く見られ、建物が密集している市街地で極端的に甚大な被害が出る可能性があることを示唆している。以上をまとめると、地域により最も高い尤度の被害量と被害量が大きく尤度の高い被害量の比較を通じて、地域的に被害が大きくなりやすい場所とあまり被害が大きくなりやすい場所があることがわかり、前者は特に高知や徳島の市街地において確認された。このような被害量が大きくなるのにも拘らず、尤度が高くなる地域を明らかにすることが可能になったのは、今までの単一のシナリオだけでは網羅出来ないシナリオ計算が可能になったためである。そのような意味で精緻な都市データを用いる必要性がわかる結果となった。

続いて、津波・倒壊・火災を対象とした被害の場合には、高知市、土佐市、南国市で津波が浸水するエリアのみを対象とした推定の結果、最も尤度の高い被害量は、4 次メッシュで死者数は 5 人以下となった。

被害が大きく尤度の高い被害量の場合、死者数が 5 人以下のメッシュが一番多いものの、沿岸に近い場所によっては死者数が大きく推計されるメッシュが確認された。倒壊・火災の場合と同様に被害量に変化しないメッシュも多く見られた。被害が極端的に大きくなる被害量の場合、沿岸域の多くのメッシュは 50 人を超える死者数が発生する。これは、避難行動意識が低い場合の避難シミュレーション結果によるものである。当然のことながら避難行動が遅れることにより甚大な被害が出ることを示している。以上をまとめると、被害が大きく尤度の高い被害量の場合、沿岸域に近いほど被害が大きくなり、言い換えれば津波による影響が大きいといえる。次にスパースモデリングによる成果を説明する。地域ごとに推定した重要被害量はどのシナリオに起因するかは、地域ごとに異なるのに加えて、複数のシナリオに起因すると考えられるため、県全域において地域ごとの重要被害量という目的変数に対して、その重要被害量を説明するシナリオをスパースモデリングの LASSO から誤差最小化のもとで推定した。図 3 に高知市が発災した場合の約 1 万シナリオのシミュレーションから SpM によるシナリオ刈込み結果を示す。クラスタリングと SpM を組み合わせた手法によりシナリオ爆発した場合に SpM のペナルティの大きさに対してどのようにシナリオ刈込みがおこなわれるかの変化を示している。またこの結果から考えられる全てのシナリオを考慮しつつどのシナリオに着目し、対応すべきかを定量的に明らかにすることが可能になった。最尤被害量の場合に選択されたシナリオは 9984 シナリオの中から 2 シナリオであった。また平均値以上の最尤被害量の場合、選択されたシナリオは 9984 シナリオの中から 36 シナリオであった。最大被害量の場合選択されたシナリオは 9984 シナリオの中から 27 シナリオであった。選択されたシナリオは最大被害量の場合には、被害が大きくなるお祭りや花火大会のイベントシナリオなどの従来考慮されなかったシナリオも選択することができた。

本手法の検証のために、スパースモデリングによるシナリオから被害を再推定し、真値との比較を行った(図 4)。その結果、決定係数 0.95 の良好な結果が得られ、的確にシナリオが絞り込まれたことがわかる。

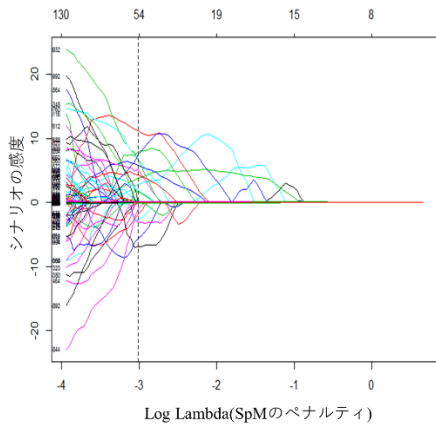


図3 最尤被害クラスターにおける SpM によるペナルティに対する各シナリオの感度の変化

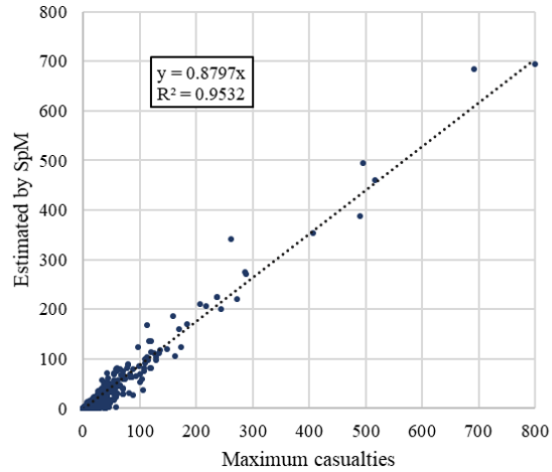


図4 スパースモデリングによる推定値と真値との比較

このようにシナリオの絞込みする手法を提案することで、今後ビックデータが多く観測される中でシナリオ爆発を抑えることのできる可能性を示せた。全てのシナリオに高度被害推定モデルを適用するのは計算リソース上、非現実的であり、選択された重要と考えられるシナリオに対して効率的に高度被害予測モデルを適用することで効率的に高精度な被害予測結果を推定することが可能になる。また従来、専門家がヒューリスティックスに冬の 18 時が最大被害量になると決められていたが、本来であれば多様シナリオからそれを明らかにすべきであり、本研究では科学的に重要シナリオを選択する手法を提案することができた。

本研究では様々なマイクロなビックデータである精緻な都市データ（マイクロジオデータ）を整備して倒壊・火災・津波を統合的に被害推定する環境構築し、多様シナリオに基づく広域かつ高精細に被害推定した結果から、従来では把握できないリスク分布を明らかにすることが可能になった。また、地域ごとのリスク分布を把握し、分析することで、重要シナリオ評価や重要地域属性評価をすることが可能になった。そしてさらに、建物単位や人単位といったマイクロジオデータを利用すると、人の流動を考慮した被害推計が可能であることを示すことができたことは、今後の巨大地震災害の備えに対して社会的にも重要な成果であると位置付けられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yoshiki Ogawa, Yuki Akiyama, Muneta Yokomatsu, Yoshihide Sekimoto, and Ryosuke Shibasaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Estimation of Supply Chain Network Disruption of Companies Across the Country Affected by the Nankai Trough Earthquake Tsunami in Kochi City	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 508-520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2019.p0508	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 該当する
1. 著者名 Ogawa, Y., Sato, T., Akiyama, Y., Shibasaki, R. and Sekimoto, Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Developing a Model for Estimating the Home Return of Evacuees Based on the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami -Utilizing Mobile Phone GPS Big Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances and New Trends in Environmental Informatics	6. 最初と最後の頁 227-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小川芳樹, 秋山祐樹, 金杉洋, 柴崎亮介	4. 巻 13
2. 論文標題 ジオビッグデータを用いた多様なシナリオに基づく南海トラフ地震津波の人的被害推定 高知市周辺を対象として	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 E-journal GEO	6. 最初と最後の頁 140-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.4157/ejgeo.13.140">https://doi.org/10.4157/ejgeo.13.140</a>	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 -
1. 著者名 Shaofeng YANG, Yoshiki OGAWA, Koji IKEUCHI, Yuki AKIYAMA, Ryosuke SHIBASAKI	4. 巻 38
2. 論文標題 Estimation of the economic im- pact of urban flood through the use of big data on inter-branch office transactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 185 ~ 199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.24762/jnds.j.38.S06_185">https://doi.org/10.24762/jnds.j.38.S06_185</a>	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 -

1. 著者名 Yoshiki Ogawa, Yoshihide Sekimoto, RYosuke Shibasaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimating Urban Environment Attributes Indicating Earthquake Damage Vulnerability of Cities using Sparse Modeling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environment and Planning B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 秋山 祐樹、小川 芳樹、秦 桜蘭	4. 巻 46
2. 論文標題 マイクロジオデータを用いた日本全国の家賃形成メカニズムの解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 住総研研究論文集・実践研究報告集	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.20803/jusokenronbunjisen.46.0_1">https://doi.org/10.20803/jusokenronbunjisen.46.0_1</a>	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 -

1. 著者名 Yang, S., Ogawa, Y., Ikeuchi, K., Akiyama, Y., and Shibasaki, R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Firm-level behavior control after large-scale urban flooding using multi-agent deep reinforcement learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoSpatial Simulation	6. 最初と最後の頁 24~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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15件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yoshiki Ogawa
2. 発表標題 Geospatial information and machine learning application in Japan
3. 学会等名 2018 International Conference on Geospatial Information Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年~2019年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 秋山祐樹, 柴崎亮介, 池内幸司
2. 発表標題 荒川流域における大規模水害を対象とした経済的影響の推定
3. 学会等名 第27回地理情報システム学会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 小川芳樹, 秋山祐樹, 横松宗太, 関本義秀, 柴崎亮介
2. 発表標題 南海トラフ地震・津波を想定したサプライチェーンへの被害波及と復興シミュレーション
3. 学会等名 CSIS DAYS 2018
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yang, S., Ogawa, Y., Akiyama, Y., Shibasaki, R. and Ikeuchi, K.
2. 発表標題 Estimation of the economic impact of large-scale flooding in the Tokyo metropolitan area
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Big Data (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yoshiki Ogawa, Yuki Akiyama, Ryosuke Shibasaki
2. 発表標題 Extraction of significant scenarios with sparse modeling in earthquake damage estimation
3. 学会等名 14th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 秋山祐樹, 柴崎亮介
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習を用いた大規模都市型水害後における企業の行動制御
3. 学会等名 第28回地理情報システム学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川芳樹, 沖拓弥, 関本義秀
2. 発表標題 不動産ポイントデータと機械学習を用いた建物の構造・築年代推定モデル
3. 学会等名 第28回地理情報システム学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 秋山祐樹, 柴崎亮介
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習を用いた大規模都市型水害後における企業の行動制御
3. 学会等名 CSISDAYS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川芳樹, 秋山祐樹, 関本義秀, 柴崎亮介
2. 発表標題 地震被害推定におけるシナリオ爆発の制御に向けたスパースモデリングによる重要シナリオ抽出
3. 学会等名 CSISDAYS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沖拓弥, 小川芳樹
2. 発表標題 大地震時の物的被害・人間行動モデルを用いた津波浸水想定区域におけるシミュレーション分析
3. 学会等名 CSISDAYS 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横松宗太, 小川芳樹, 秋山祐樹, 関本 義秀
2. 発表標題 災害後の多部門経済市場の動的過程の数値解析
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ogawa, Y., Akiyama, Y., Sekimoto, Y.and Shibasaki, R.
2. 発表標題 Earthquake Damage Estimation by Soarse Modeing Using Geospatial Big Data
3. 学会等名 IGARSS 2019 ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ogawa, Y., Akiyama, Y., Sekimoto, Y.and Shibasaki, R.
2. 発表標題 Development of People Flow Data with Individual Demographics based on Mobile Phone GPS Big Data
3. 学会等名 22nd AGILE Conference on Geo-information Science ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiyama, Y. and Ogawa, Y.
2. 発表標題 Development of Building Micro Geodata for Earthquake Damage Estimation
3. 学会等名 IGARSS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川芳樹
2. 発表標題 データ駆動型解析による防災研究
3. 学会等名 地理情報システム学会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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