

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15001

研究課題名（和文）深層強化学習による行動戦略の獲得：企業の地震津波被害における復旧計画

研究課題名（英文）Acquisition of Action Strategies by Deep Reinforcement Learning: Recovery Planning for Company's Earthquake and Tsunami Damage

研究代表者

小川 芳樹 (Ogawa, Yoshiki)

東京大学・空間情報科学研究センター・講師

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）：災害時のサプライチェーン寸断から復旧までの現象をモデル化するために、個別企業レベルのマルチエージェントシミュレーションモデルを提案した。従来では把握できなかった個別企業の状況及びサプライチェーンの産業構造の変化を把握することが可能になった。さらに、このエージェントモデルをもとに強化学習の手法を用いて、企業エージェントが人間のように知能を持って行動ができるように、企業が自ら最適な行動戦略を獲得する学習フレームを開発した。これにより、現実に近いシミュレーションが可能になり、実際の災害後のサプライチェーンの時系列変化を分析を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震・津波災害を対象とした経済的な被害予測に関する計算技術はこれまでも見られたが、日本全国の各企業をサプライチェーンネットワーク全体で防災工学・数理経済学に基づき計算し、その結果を用いて、企業の行動戦略を復旧状況に応じて最適化しようとする手法は、これまでに前例がない。したがって、個別企業のサプライチェーンに関するビッグデータを用いて数理モデルと深層強化学習で精緻なシミュレーションモデルを目指す点で本研究成果の学術的意義は大きく、今後本研究が進展し、手法が確立することで洪水などの水害などへの応用も可能になり社会的波及効果も期待できる。

研究成果の概要（英文）：We proposed a multi-agent simulation model at the level of individual firms to model the phenomena from supply chain disruption to recovery in the event of a disaster. The model enables us to grasp the situation of individual firms and changes in the industrial structure of the supply chain, which could not be grasped in the past studies. Furthermore, based on proposed agent model, we developed a learning frame in which the corporate agents acquire optimal action strategies by themselves using reinforcement learning techniques so that they can act with human-like intelligence. This enables simulations that are close to reality, and enables analysis of time-series changes in supply chains after actual disasters.

研究分野：空間情報学

キーワード：マルチエージェントモデル 深層強化学習 サプライチェーン 災害復旧 行動戦略

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

広域地震・津波災害では企業が被災し、サプライチェーンを通じて被災地外の全国に生産停止などの被害が波及した。企業が被災した場合にサプライチェーンを通じた被害を軽減するためには、サプライチェーンネットワークにおける経済被害が深刻化するメカニズムを明らかにし、各企業の復旧状況に即した行動戦略を獲得する手法の確立が望まれる。

もし、企業単位でサプライチェーンを考慮した被害影響やその後の復旧過程を数理モデルに基づき計算し、生産活動への影響と発災後の復旧までの行動戦略を獲得することができれば、地震津波時のサプライチェーン途絶による代替取引先や自社の工場を含めた復旧計画を定量的に立案することが可能となる。それに加えて、平時から被災した場合の実践的な復旧シミュレーションを行うことが可能になり、各企業単位で被害状況に即した復旧計画の策定も期待できる。これらを達成するためには、発災後の各企業のサプライチェーンを考慮した復旧行動を最適化する手法を確立することが肝要である。

従来の最適化手法の1つに強化学習による手法があるが、特徴量や行動を多く扱う場合、「次元の呪い」により、状態数が指数関数的に増えることで膨大な計算コストが掛かり収束しないという点が強化学習の課題であった。また経済的な被害影響の評価は、地域間産業連関表という統計データを用いて定常性を仮定した動学的確率的一般均衡モデルなどを用いた地域毎の概略値を求める計算手法に留まっていた。しかし、企業ごとに立地やサプライチェーンは多様であり、また被害状況や従業員の避難状況も時間により刻々と変動すると考えられるため、定常性を仮定する動学的確率的一般均衡モデルは適していない。この点を補うのがマルチエージェントシミュレーションであると考えられている。一方で、地震・津波遡上シミュレーションは高精細かつ正確なシミュレーション手法が研究されており、それらの地震・津波データと地域間産業連関表を結合するには時空間的なスケールに乖離がある。

こうした背景に対して近年、最適化手法として注目されている深層学習と強化学習という最適行動学習アルゴリズムを組合せた深層強化学習を用いて、高次元データを対象とした行動戦略獲得のためのシミュレーションが可能となっている。またデータに関しても、全国160万社の企業間取引ネットワークデータや携帯電話のGPSデータなどの空間情報に関するビッグデータが生成・蓄積されてきている。しかしながら、企業を対象とした地震・津波遡上による物的人的被害を考慮した上で、企業間取引ビッグデータとマルチエージェント深層強化学習を組み合わせ、企業単位でのサプライチェーンを考慮した被害影響や復旧過程をシミュレーションすることで有効な行動戦略を獲得した事例は見られない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、個別企業レベルのサプライチェーンをシミュレート可能な環境の構築を通じてサプライチェーン寸断リスクに対する意思決定を支援し、災害時の持続可能な安定的な強靱なサプライチェーンを構築することに寄与することである。この目的のために具体的に以下の研究を行った。

- (1) サプライチェーン寸断の原因となるボトルネック企業の抽出手法を提案し、サプライチェーンにおけるボトルネック企業の一覧を抽出するとともに、その特徴を明らかにする。
- (2) サプライチェーン寸断後の企業売上高の推定モデルを提案することで、不確実性が含まれる動的なサプライチェーンシステムの需要及び供給の変動を予測するとともに、企業がサプライチェーン寸断に対する耐性の強さに影響する要因を明らかにする。
- (3) 個別企業レベルのサプライチェーン寸断シミュレーションモデルを提案することで、実世界のサプライチェーンのデジタルツインを構築し、寸断発生時のサプライチェーンのダイナミクスを予測・分析することを可能にする。
- (4) サプライチェーン寸断後の企業の挙動の最適化手法を提案することで、より現実に近いシミュレーションを可能にするとともに、サプライチェーン寸断後の早期復興や被害軽減に向けた具体的な企業行動戦略を獲得する。

3. 研究の手法と結果

3.1 使用データ

サプライチェーンをシミュレーションするための仮想環境(デジタルツイン)を構築するために、サプライチェーンデータ、災害データ、経済指標データを用いた。サプライチェーンデータは、株式会社帝国データバンクが保有する企業信用調査データセットを用いた。このデータは、日本企業約146万社の企業概要情報及び企業間の取引、投資関係の情報が格納されている。災害データについては、国土地理院が調査した過去水害における浸水区域や浸水状況の情報を用いた。また、経済指標データには産業の指標としてよく用いられる鉱工業指数データや産業連関表を用いた。

3.2 サプライチェーンにおけるボトルネック企業の推定

サプライチェーン寸断の原因となるボトルネック企業の推定モデルを開発した。1,578社のボトルネック企業及び7,177社の非ボトルネック企業を教師データに使用し、7種類の二項分類モデル(決定木系, 回帰系, アンサンブルモデルなど)を構築した。説明変数には、23の特徴量(企業概要情報, サプライチェーンの特徴量, ネットワーク中心性指標など)を用いた。その結果最も高いパフォーマンスを示すアンサンブルモデル(ALL)の精度は75%, AUC (Area under the curve) = 0.86 であり, モデルの判別性能は良いと言える(図1)。また, 推定モデルの解釈問題に取り組み, ボトルネック企業のなりやすい企業の特徴について定量的に分析した。その結果, ボトルネック企業は, 取引先の業種が多様であり, 取引先との物理距離は大きくなる傾向があることがわかった。提案モデルは, 従来のアンケート調査の代替手法として, これまで把握できなかった各産業におけるボトルネック企業を網羅的に抽出できると考えられる。

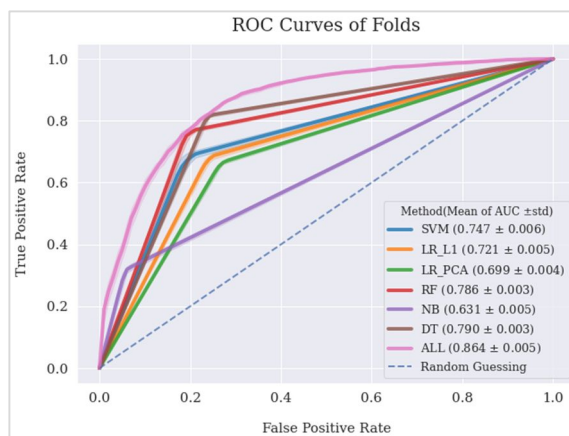


図 1: 7 モデルの AUC の比較

3.3 サプライチェーン寸断後の企業売上高推定

企業間の繋がりに着目し, グラフニューラルネットワークに基づく災害によるサプライチェーン寸断後個別企業の売上高の予測モデルを開発した。サプライチェーンから7種類の企業間ネットワークと67の企業特徴量を抽出して予測モデルの学習を行った。

その結果, 企業間の繋がりを考慮しないベースラインモデルと比較して, グラフニューラルネットワークモデル(GCN)はより高い予測性能を示した(表1)。その中でも, 地域ネットワーク(Same city)は最も高い性能を示し, MAE(平均絶対値誤差) = 0.128 であり, ベースラインモデルと比較して0.06(売上高の6%)のパフォーマンスが向上した。取引や投資関係以外に, 企業の売上高は同じ地域に立地する他の企業から影響を受けやすいことを示唆している。

また, 予測モデルの解釈問題にも取り組み, 災害後における企業の売上高に影響を及ぼす要因を企業の特徴量とサプライチェーン構造の特徴の2つの側面から分析した。本研究の主な発見としては, 第一に企業間の繋がりは災害後企業の業績に影響しており, 取引と投資関係のみならず, 地域ネットワークも重要な関係であることが明らかになった。第二に, サプライチェーン寸断に強い企業の特徴は, サプライチェーンにおけるネットワーク中心性が高い取引先を持ち, 従業員数の年成長率が高いなどの特徴がある。第三に被災企業のサプライチェーン上において, 取引の方向, Tier(取引の階層), 業種, 地域別に重要な取引の傾向が異なることが明らかになった。

表 1: 各モデルのパフォーマンス

Model	MAE
Supplier	0.160
Customer	0.136
Business partner	0.160
GCN	
Investee	0.172
Investor	0.174
Same city	0.128
ALL	0.161
Baselines	
XGBoost	0.212
LightGBM	0.203
CatBoost	0.188
Random forest	0.204

3.4 サプライチェーン寸断シミュレーション

サプライチェーン寸断の様子を捉えるために, 個別企業レベルのマルチエージェントシミュレーションモデルを提案した。モデルには, 3.2-3.3の手法を取り入れて拡張を行い, ボトルネック企業と災害後需要の変化を考慮するモデルになっている。さらに, 個別企業の復旧・復興及び産業構造(企業間取引関係)の変化も考慮できるように拡張を行った。

また, 6種類のパラメータの486組み合わせに対してキャリブレーションを通じて最適なパラメータ設定を行った(図2)。シミュレーション結果と経済指標(鉱工業指数)の相関係数は0.86を示し, 実際の経済指標に近い動きを再現することができた。

また, 寸断による被害を定量的にサプライチェーンの各企業の生産, 在庫, 出荷及び最終需要

への供給量の時系列変化を分析した。さらに、感度分析を通じて、各パラメータがサプライチェーンの回復に対する影響度も分析した。従来では把握できなかった個別企業の状況及びサプライチェーンの産業構造の変化を把握することが可能になった。

3.5 深層強化学習を取り入れた企業行動の最適化シミュレーション

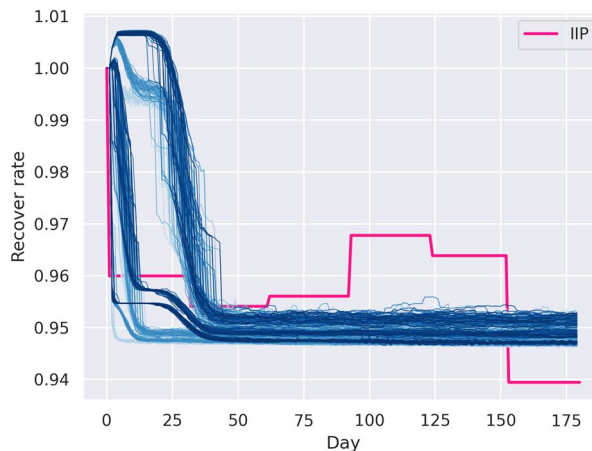
深層強化学習を用いて、企業エージェントが人間のように知能を持って行動ができるように、企業が自ら最適な行動戦略を獲得する学習フレームを提案した。学習後の企業エージェントは、周りの環境の変化に合わせて最適な行動を取ることが可能になる。これにより、現実に近いシミュレーションが可能になり、実際の災害後のサプライチェーンの時系列変化を分析することができる。

図3は、学習前と学習後のパフォーマンス比較図である。強化学習を取り入れた場合 (After) は、そうでない場合 (Before) と比較して、サプライチェーン復興過程における復興速度が早く、サプライチェーンの取引額回復率は20-23%向上した。全体の企業行動の傾向として、災害直後では、被災企業に関しては復旧活動に注力し、そして多くの企業は近距離の仕入先を確保し、その後販売先確保する。次に、取引がある程度回復できた段階で、事業拡大などを行うことで取引額を災害前の水準への回復を目指す。本研究で用いたデータは、サプライチェーンに関する空間的情報を扱っており、時空間の側面から各地域や業種の復興状況を観測することができるのも特徴の一つである。

4. 研究成果

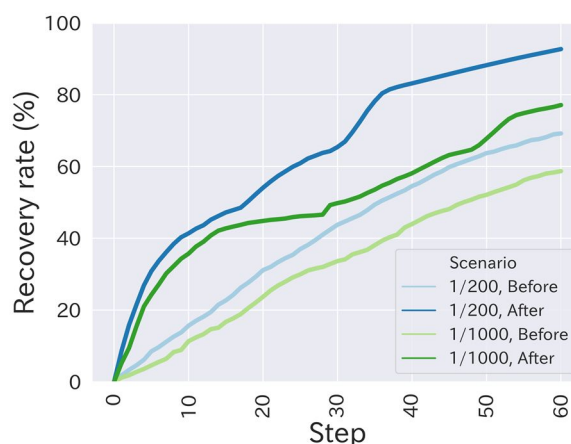
本研究では、サプライチェーンの寸断リスクの軽減に向けた企業単位の深層強化学習を用いたマルチエージェントモデルを提案した。従来では把握できなかったボトルネック企業、寸断後の個別企業の挙動、産業構造の変化を分析・予測することが可能になり、サプライチェーン寸断の傾向や要因に関する知見が得られた。

今後の課題として3つ挙げられる：第一にサプライチェーンが複雑な大規模企業のボトルネック企業推定精度の向上が必要である。二点目はシミュレーションモデルにおいて行政の支援やグループ企業間の支援などを考慮することで共助・公助をモデルに取り込むことである。三点目は本研究の実用化に向けて、研究結果から得られた知見を実際の意思決定者に評価してもらうことが必要だと考える。また、強化学習が導き出す企業行動に対して人間による評価をいれることで、モデルのファインチューニングを行い、より人間に近い結果を導き出すことが可能になると考えられる。



注) 青線はシミュレーション結果,赤線はIIP(鉱工業指数)

図2: 生産額の回復率の推移



注) Before=学習前,After=学習後

図3: 2つの災害シナリオにおける学習の有無の

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Oki Takuya, Ogawa Yoshiki	4. 巻 1
2. 論文標題 Model for Estimation of Building Structure and Built Year Using Building Facade Images and Attributes Obtained from a Real Estate Database	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Urban Informatics and Future Cities	6. 最初と最後の頁 549 ~ 573
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-76059-5_27	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 Joo Soo-hyun, Ogawa Yoshiki, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 70
2. 論文標題 Road-reconstruction after multi-locational flooding in multi-agent deep RL with the consideration of human mobility - Case study: Western Japan flooding in 2018 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Disaster Risk Reduction	6. 最初と最後の頁 102780 ~ 102780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijdr.2021.102780	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 Kajiwara Kento, Seto Toshikazu, Sekimoto Yoshihide, Ogawa Yoshiki, Omata Hiroshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Development of current estimated household data and a future forecast model for nationwide agent simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the City Planning Institute of Japan	6. 最初と最後の頁 603 ~ 610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.56.603	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 Ogawa Yoshiki, Oki Takuya, Chen Shenglong, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 1
2. 論文標題 Joining Street-View Images and Building Footprint GIS Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GeoSearch'21: Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data	6. 最初と最後の頁 18-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3486640.3491395	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 Ogawa Yoshiki, Sekimoto Yoshihide, Shibasaki Ryosuke	4. 巻 0
2. 論文標題 Estimation of earthquake damage to urban environments using sparse modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science	6. 最初と最後の頁 0-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2399808320986560	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 OKI Takuya, OGAWA Yoshiki	4. 巻 86
2. 論文標題 MODEL FOR ESTIMATION OF BUILDING STRUCTURE AND BUILT-YEAR USING BUILDING FACADE IMAGES AND ATTRIBUTES OBTAINED FROM REAL ESTATE DATABASE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 357 ~ 367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aija.86.357	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 Yoshiki Ogawa, Yoshihide Sekimoto, Ryosuke Shibasaki	4. 巻 1
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 ADBI: Purdue University and University of Tokyo: Virtual Workshop on Resilience of Cities to External Shocks: Analysis, Modeling and Economic Impacts	6. 最初と最後の頁 2
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 -

1. 著者名 Joo, Soo-hyun; Ogawa, Yoshiki; Yang, Shaofeng; Sekimoto, Yoshihide	4. 巻 1
2. 論文標題 Developing System for Setting Priority of Road-Recovery Considering Human Mobility by Applying Deep Q-Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ADBI: Purdue University and University of Tokyo: Virtual Workshop on Resilience of Cities to External Shocks: Analysis, Modeling and Economic Impacts	6. 最初と最後の頁 3
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 -

1. 著者名 Zhao Chenbo, Ogawa Yoshiki, Chen Shenglong, Oki Takuya, Sekimoto Yoshihide	4. 巻 15
2. 論文標題 People Flow Trend Estimation Approach and Quantitative Explanation Based on the Scene Level Deep Learning of Street View Images	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1362 ~ 1362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs15051362	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 Shaofeng, Ogawa Yoshiki, Ikeuchi Koji, Shibasaki Ryosuke, Okuma Yuuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Modelling the behaviour of corporations during the flood damage recovery process using multi agent deep reinforcement learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Flood Risk Management	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jfr3.12845	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20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Ogawa Yoshiki, Oki Takuya, Chen Shenglong, Sekimoto Yoshihide
2. 発表標題 Joining Street-View Images and Building Footprint GIS Data
3. 学会等名 GeoSearch'21: Proceedings of the1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen, SL., Oki, T., and Ogawa Y.
2. 発表標題 Building Extraction from Panoramic Images by Instance Segmentation: An Application for Estimating Building Structure Type
3. 学会等名 日本建築大会学術講演会研究発表梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Soohyun, J., Ogawa, Y., and Sekimoto, Y.
2. 発表標題 Reward architecture in Deep reinforcement learning for disaster road management plan
3. 学会等名 第30回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高崎弾, 小川芳樹, 今泉允聡, 沖拓弥, 大山雄己
2. 発表標題 グラフニューラルネットワークとデータ同化を統合したデータ駆動型避難者分布予測モデルの構築
3. 学会等名 人工知能学会全国大会論文集 第 35 回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楊少鋒・小川芳樹・池内幸司・柴崎亮介・大熊裕輝
2. 発表標題 深層強化学習を用いたサプライチェーン復興過程の最適化手法の提案とその検証について-2016年熊本地震を事例として-
3. 学会等名 第30回地理情報システム学会研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川芳樹, 沖拓弥
2. 発表標題 不動産に関する地理空間情報と建物画像を用いた建物の構造・築年代推定手法の検討
3. 学会等名 人工知能学会全国大会論文集 第 34 回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川芳樹, 沖拓弥
2. 発表標題 大地震時を想定した広域避難シミュレーション軌跡のクラスタリングと避難行動予測への応用
3. 学会等名 人工知能学会全国大会論文集 第 34 回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiki Ogawa, Yuki Akiyama, Yoshihide Sekimoto
2. 発表標題 Development of massive city information for computational social science simulations
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Muneta Yokomatsu, Yoshiki Ogawa, Akiyama, Y. and Sekimoto, Y.
2. 発表標題 Numerical analysis of dynamic process of markets in the aftermath of disaster: Bellman equation approach
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Gill, A., Lalith, M., Poledna, S., Hori, M., Ogawa, Y., Akiyama, Y. and Sekimoto, Y.
2. 発表標題 Integrated Large-scale Simulations of Earthquake Disasters and Economy for Studying Post-disaster Economy
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沖拓弥・小川芳樹
2. 発表標題 大地震時の広域避難行動予測手法の検討
3. 学会等名 CSIS DAYS 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川芳樹, 沖拓弥, 陳聖隆, 関本義秀
2. 発表標題 不動産外観画像と属性情報を用いた深層学習による建物構造・築年代の推定手法の検討
3. 学会等名 CSIS DAYS 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 柴崎亮介, 大熊裕輝
2. 発表標題 マルチエージェント深層強化学習を用いた水害復興過程における企業行動の制御
3. 学会等名 CSIS DAYS 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沖拓弥・小川芳樹
2. 発表標題 LIFULL HOME'Sデータセットの外観画像と属性情報を用いた建物構造・築年代推定モデルの構築
3. 学会等名 IDRユーザフォーラム 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陳聖隆, 小川芳樹, 沖拓弥
2. 発表標題 深層学習を用いた不動産外観画像における建物セグメンテーションの試み
3. 学会等名 IDRユーザフォーラム 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川 芳樹, 沖 拓弥, 陳 聖隆, 関本 義秀
2. 発表標題 セマンティックセグメンテーションによる不動産物件外観画像からの建物抽出: 建物構造・築年代推定への応用
3. 学会等名 地理情報システム学会学術研究発表大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川芳樹・沖拓弥・関本義秀
2. 発表標題 建物画像と属性情報のマルチモーダル学習による建物構造・築年代推定手法
3. 学会等名 情報システム 技術委員会: 2020年度日本建築学会大会学術講演会に代わるオンライン研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 柴崎亮介, 大熊裕輝
2. 発表標題 企業単位のエージェントシミュレーションモデルによる水害がサプライチェーンに及ぼす影響の推計 -平成30年7月豪雨を事例として-
3. 学会等名 第31回地理情報システム学会研究発表大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 柴崎亮介, 大熊裕輝
2. 発表標題 グラフニューラルネットワークを用いたサプライチェーンの経済被害波及の予測
3. 学会等名 人工知能学会全国大会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楊少鋒, 小川芳樹, 池内幸司, 柴崎亮介
2. 発表標題 水害によるサプライチェーン途絶後の企業単位の経済被害波及シミュレーションモデル
3. 学会等名 CSIS DAYS 2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yuki Akiyama, Yoshiki Ogawa, Osamu Yachida	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 217
3. 書名 Society 5.0, Digital Transformation and Disasters	

〔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

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