

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20414

研究課題名（和文）データ同化を利用した氾濫予測に基づく通行不可能な道路予測マップの開発

研究課題名（英文）Implementation of road impassability map based on flood prediction using data assimilation

研究代表者

廣井 慧 (Hiroi, Kei)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：30734644

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）：本研究は、安全な避難経路、避難タイミングの提示を目的として、水害時に通行不可能となる道路を提示するシステムを開発した。(1)詳細空間の冠水位の時系列予測手法として、過去の豪雨事例の氾濫解析シミュレーションをもとに観測点の水位予測の実施、観測データを既知としたアンサンブルカルマンフィルタを用いた冠水位予測手法を開発とパラメータの補正、(2)冠水位予測結果を用いて、冠水の予測値を利用した通行不可能な道路の状況変化タイミングを算出と移動可否の推定、(3)測結果の提示システムとアプリケーションのプロトタイプ構築とVRを利用した仮想実験および避難シミュレーションを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中小河川・水路からの氾濫（内水氾濫）は水害初期から発生するが、この氾濫を検知する観測機器は未だ整備されていない。内水氾濫の発生源である中小河川の観測機器と危険箇所の氾濫予測手法を拡張し、(1)水位観測データをもとにしたデータ同化による市街地全域の冠水位観測、(2)予測結果を用いた通行不可能となる道路の予測、(3)マップ上に提示するシステムの開発を行ない、目標とした河川観測が行われていない地域の道路の冠水位とその拡大過程の予測および道路の通行可否を推定するシステムの開発を達成できた。

研究成果の概要（英文）：This research developed a system to present roads that become impassable during floods for the purpose of presenting safe evacuation routes and evacuation timing. (1) As a detailed space flood level monitoring time-series prediction methods, water level prediction of monitoring locations based on flood analysis simulations of past heavy rainfall cases, using known observation data. (2) Developed prediction methods and parameter compensation methods using ensemble Kalman filters, (3) Developed a prototype of a presentation system and application for the measurement results, and conducted a virtual experiment and evacuation simulation using VR.

研究分野：情報工学

キーワード：氾濫推定 可視化システム 時空間統計

1. 研究開始当初の背景

近年、高精度な気象レーダや河川水位の予測技術が開発され、災害対応に活用されているものの、被災地住民の避難行動には大きな課題が残っている。平成30年西日本豪雨では、岡山県倉敷市で大河川の洪水が発生し、事前に避難情報が発表されたにも関わらず、52名の死者を出した。

水害は「降雨の開始」から、降水量の増加に伴い、「内水氾濫」、「大河川の洪水」の過程を経て発生する。大河川では、水位観測データに基づく予測技術の開発が古くから行われ、現在では精緻な洪水の事前検知が可能となった。一方で内水氾濫はその被害量が小さいことから、大河川で行われるような水位観測はほとんど行われてこなかった。しかし近年の主な水害被害は、大河川の洪水を検知し避難する時点で、既に内水氾濫の発生により市街地の多くの道路が冠水して、避難困難な状況となり発生している。平成29年北九州豪雨(洪水による死者18名)、平成30年西日本豪雨(死者52名)では、内水氾濫により大河川の洪水から免れるための避難ができず、多くの死者が生じた。

内水氾濫の予測は、一般的に氾濫解析などの数値解析シミュレーションに基づいて行われる。氾濫解析は降水の流出係数、排水路の出水条件などのパラメータを一定と仮定した理想モデルを利用している。そのため、最大冠水位は予測できるが、解析結果と実際の冠水位時系列は異なっており、氾濫発生を検知が難しい。

一方で大河川では、洪水発生を検知するため、国土交通省が破堤や越水が懸念される一部の危険箇所の水位観測を行っている。しかし、大河川の観測機器は高額な導入費用や(300万円～)、大掛かりな設備が必要であり、内水氾濫を生じる中小河川への適用は難しい。つまり、現在の手法で内水氾濫の検知は困難であり、河川の洪水の避難が必要となる頃には、市街地に氾濫流が流れ込み避難行動を阻害する。

申請者は、中小河川に設置可能な安価な観測機器(6万円)と、そのデータに基づく内水氾濫の発生予測手法を開発した。観測地点での氾濫発生は高精度に検知可能となったが、市街地を流れる中小河川は、数が多いうえ河川同士が互いに交差する複雑な形状をしており、すべての危険箇所の特定と観測は現実的に不可能である。そこでこれまで開発した氾濫予測手法を拡張し、観測を行っていない地点で発生する内水氾濫の検知を含めた、市街地全体の冠水状況を把握し避難路を提示する新たな手法の開発が必要と考えるに至った。

特に国内で発生する水害被害は、その9割以上が観測地点をもたない中小河川で発生しており、今後もこのような被害は継続的に全国各地で生じると考えられる。水害の被害軽減には、観測機器の設置がない地域においても道路の冠水状況把握を行い、大河川の洪水発生前に被災地住民に対し安全な避難経路を生成、提示することが最も重要な課題であると考えられる。本申請の学術的「問い」は、限られた観測データしか入手できないなかで、河川洪水が発生する前に安全な避難経路、避難タイミングを知るための方法論を明らかにすることである。

2. 研究の目的

本研究では、水害時の安全な避難経路、避難タイミングを知るための方法論として、通行不可能な道路の予測システムの開発を目的とする。これは、水位観測データと氾濫シミュレーションをもとにして、冠水する道路をリアルタイムに予測し、マップ上に提示するシステムである。このシステムはデータ同化を用いて取り組む。データ同化は、観測値を用いた補正でシミュレーションの予測精度をあげる技術であり、観測値の少ない内水氾濫では実施例がほとんどない。これまでに開発した観測点での水位予測で得られた観測値を用い、観測点外での冠水位予測へと拡張しシステムを実現する。

3. 研究の方法

本研究では以下の3項目を明らかにし、水害常襲地域の避難行動を支援する冠水・道路状況の予測技術の確立と「通れない道マップ」構築を通じた普及を行う。

(1) 詳細空間の冠水位の時系列予測手法

過去の豪雨事例の氾濫解析シミュレーションを実施(10m格子)

観測点の水位予測

観測データを既知とし、アンサンブルカルマンフィルタを用いた冠水位予測手法を開発(観測データでシミュレーション結果を補正)

観測地点以外での予測へ拡張するため、降水量(降水流出)や地理特性(標高差、河川・下水道ネットワーク構造)などのデータを利用して予測結果をパラメータ補正

予測精度の評価および他地域へ適用するための観測機器の最適配置の検討

(2) 冠水予測結果を用いて、冠水する道路を予測する「通れない道マップ」の開発

冠水位の予測結果から、道路の状況(歩行可能、通常の歩行困難、歩行不可能)を定義

冠水の予測値を利用して、通行不可能な道路の状況変化タイミングを算出

冠水の予測精度が低精度である道路に対しての予測精度向上のため、通行止や移動データ(GPSデータ)を用いたパラメータ補正し、移動可否を推定

通れない道マップの開発と既往水害のデータを用いた道路状況の予測精度評価

(3)冠水発生までの短時間で通行不可能な道路の予測結果を提示するシステムの開発

予測結果の提示システムとアプリケーションのプロトタイプを構築

既往水害のデータを用いて、定量的評価を目的とした実証実験(プロトタイプを利用した避難実験、VRシステム上に豪雨を再現した仮想実験、避難シミュレーションの3つの実証実験を行い予測精度や被害発生可能性を検証)

過去の水害例の情報提供タイミング・被害量から、被害を最小化する避難経路、避難タイミングを導出し避難シナリオを作成する。

4. 研究成果

本研究で実施した、水害常襲地域の避難行動を支援する冠水・道路状況の予測技術の確立と「通れない道マップ」構築について述べる。

(1)詳細空間の冠水位の時系列予測手法

愛知県内に設置した観測機器から得られる、時系列データを元に、状態空間モデルを用いた浸水位の推定手法を開発した。本手法は、水位モニタリングデータと物理モデルから導出した氾濫解析シミュレーションを統合し、水位観測の行われていない地点において内水氾濫の浸水変化時系列を推定する手法である。本手法は、浸水位のモニタリングデータとして、観測デバイスによる観測時系列データをもとにしている。時々刻々と変化する市街地全体の氾濫状況を正確に推定、再現することを目的に、従来の氾濫解析シミュレーションおよびモニタリングのそれぞれの利点を活用すべく、氾濫解析シミュレーションの解析結果をモニタリングデータで補正する。この手法により、浸水位の時系列変化について、氾濫解析シミュレーション単体での結果と比べ大幅な改善が見られた。さらに、本手法を改良し、モニタリングデータとソーシャルセンシングデータを利用した手法を開発した。これは、モニタリングデータとソーシャルセンシングデータを使って状態空間モデルで氾濫解析シミュレーションを補正することで、従来手法の精度を補い、市街地全体の浸水位を高精度に推定する手法となる。実際の内水氾濫をもとに、本手法の性能評価を行ったところ、従来手法である、氾濫解析シミュレーションのみでは、最大 0.60メートルの浸水が発生した地点の浸水位変化を推定できていなかったが、提案手法の状態空間モデルでは、平均 0.07-0.28メートルの誤差での推定が行え、推定精度の向上が確認できた。

(2)冠水予測結果を用いて、冠水する道路を予測する「通れない道マップ」の開発

通れない道マップとして、冠水位の予測結果から、道路の状況とその変化、移動者への影響を推定、表示するシステムを開発した。水害時の道路の通行可否の時系列変化を推定するには、氾濫、道路冠水、通信障害などの考慮する必要があるが、これらの既存シミュレーションは独立に機能しており、水害被害に関連する事象について統合的な推定、予測が難しかった。そこで本開発項目で、都市型水害の浸水拡大過程、人的被害、情報通信環境への被害を一元的にシミュレーションする、インタラクティブな都市型水害の被害予測システムARIAを開発し、その位置機能として、通れない道を地図上に可視化した。ARIAは、最適な情報提供タイミングの算出を目的として、水害の発生中に降水量、河川水位など観測データを取り入れながら、リアルタイムでの被害予測を行うシステムとして開発した。これまで独立であった、氾濫解析や避難行動、通信環境に関するシミュレーション・エミュレーションを、連携基盤Smithsonianを利用して連携動作させ、水害被害に関わる複数シミュレーション・エミュレーション間での相互のデータ交換と同期を実現することで、複数の要素を統合的に扱い、道路の通行可否に関する時系列データを生成、表示する。水害時の避難に関連するシミュレーションやエミュレーションの機能を組み込み、ARIAを設計するとともに、茨城県常総市の道路データ、標高データなどを利用して、プロトタイプを実装した。プロトタイプについて、リアルタイムでの被害予測が可能か処理時間の性能調査を行ったところ、移動者エージェントが4000名であれば5分程度での予測が可能であること、移動者エージェントの数が少ない場合であっても被害量の割合に大きな変化がないことがわかり、ARIAでの即時的な被害予測が可能であることが確認できた。

(3)冠水発生までの短時間で通行不可能な道路の予測結果を提示するシステムの開発

ARIAの機能を用いて、(2)の通れない道マップと避難シミュレーションを統合し、実証実験および避難シナリオの作成を行なった。避難シミュレーションは、氾濫状況やその情報提供、通れない道の時系列変化を考慮して動作する。具体的には、スマートフォンエミュレータから、避難情報が送信されると避難シミュレーションの移動者エージェントは、それぞれの避難行動特性にしたがって移動判断を行う。例えば、避難行動特性に優れたエージェントは、避難情報の受信後すぐに避難所への移動を開始する。そのほか、避難情報を受信して一定時間経過した後、移動を開始するエージェントや周囲のエージェントの移動もしくは周囲での浸水発生をきっかけに移動を開始するエージェントなど数通りの避難行動特性を設定した。移動者エージェントは移動開始にあたって、スマートフォンを使って最近傍の避難所までの最も安全な避難経路を検索する。エージェントが避難経路を検索すると、通れない道マップは、エージェントの現在位置

と最近傍の避難所の位置に応じて、道路冠水シミュレータで算出された通行不可能な道路を除外し、算出する。避難シミュレーションの結果として、各移動者エージェントの位置およびステータス(移動開始前、移動中、移動中止、移動完了)、および通れない道マップで算出される冠水値をもとに、避難完了数、被害者数、最大浸水値、浸水面積といった被害量に関するデータをグラフ化、表示する予測結果の提示システムを開発した。

予測結果の提示システムを使って、過去の水害例において、情報提供タイミングを変更し、その被害量から、避難タイミングを導出し避難シナリオを作成した。例えば、移動者エージェント数を 2000 名として避難情報の提供タイミングを氾濫発生 10 分前、氾濫発生直後、氾濫発生 10 分後、20 分後、30 分後、40 分後、50 分後、60 分後の 8 通りに変更した場合、それぞれの避難情報提供タイミングにおける避難を完了した移動者エージェント数、避難困難となった移動者エージェント数には明確な差がみられ、避難を完了した移動者エージェント数は発表時間が遅いほど減り、避難困難となった移動者エージェント数は発表時間が早いほど増えることがわかった。これは、実際の水害時の事象として、浸水拡大前に避難所への移動を行うことで、道路での冠水発生に遭遇する可能性が少なくなることが考えられ現実の事象に見合った結果であったと考えられる。以上の成果から目標とした河川観測が行われていない地域の道路の冠水位とその拡大過程の予測および道路の通行可否を推定するシステムの開発を達成できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 廣井 慧, 村上 大輔, 倉田 和己, 田代 喬, 篠田 陽一	4. 巻 10
2. 論文標題 データ同化による浸水位推定手法の提案と都市型水害での精度検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)	6. 最初と最後の頁 55-64
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 廣井 慧, 井上 朋哉, 明石 邦夫, 湯村 翼, 廣中 颯, 菅野 洋信, 宮地 利幸, 篠田 陽一	4. 巻 10
2. 論文標題 ARIA: シミュレーション・エミュレーション連携基盤を利用したインタラクティブな都市型水害の被害予測システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)	6. 最初と最後の頁 11-25
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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kei Hiroi, Daisuke Murakami, Kazumi Kurata, Takashi Tashiro, Yoichi Shinoda
2. 発表標題 Data Assimilation Approach for Flood Level Estimation using a State Space Model for Urban Internal Flooding
3. 学会等名 The 6th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Hiroi, Tomoya Inoue, Kunio Akashi, Tsubasa Yumura, Toshiyuki Miyachi, Hayate Hironaka, Hironobu Kanno, Yoichi Shinoda
2. 発表標題 ARIA: Interactive Damage Prediction System for Urban Flood Using Simulation and Emulation Federation Platform}
3. 学会等名 The 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers (UbiComp/ISWC '19) [Demo session] (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣井慧
2. 発表標題 ARIA: シミュレーション・エミュレーション連携による都市型水害の漸進的被害推定システム
3. 学会等名 日本災害情報学会第21回学会大会 ポスター・デモ発表
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣井慧, 村上大輔, 倉田和巳, 田代喬, 篠田陽一
2. 発表標題 データ同化による浸水位推定手法の提案と都市型水害での精度検証
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣井慧, 井上朋哉, 明石邦夫, 湯村翼, 廣中颯, 菅野洋信, 宮地利幸, 篠田陽一
2. 発表標題 ARIA: シミュレーション・エミュレーション連携基盤を利用したインタラクティブな都市型水害の被害予測システム
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2019) シンポジウム
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------