

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K15991

研究課題名（和文）浸水の実観測データに基づいた自律的な避難経路予測の実現とその情報提供

研究課題名（英文）Autonomous Evacuation Route Prediction and Information Providing Method based on Flood Observation Data

研究代表者

廣井 慧 (Hiroi, Kei)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任助教

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、災害死の最大の原因である水害の減災を目的として、浸水被害の実観測データを用いた避難経路の自律的な予測を目指す。浸水の継続的なモニタリングが行われていない従来では、安全な避難経路がわからず避難中の死者が数多く発生してきた。そこで、浸水の実観測の実施およびその分析結果から危険箇所の予測と安全性の高い避難経路の自律的な選定手法を提案する。危険箇所の予測と安全性の高い避難経路の自律的な選定手法を提案し、既往研究ではできなかった実用可能な避難経路の情報提供を目指し、モニタリング、浸水推定手法、避難経路選定システムなどを開発し、その精度を評価した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aim to autonomously prediction for evacuation routes using observation data of flood damage for the purpose of reducing water damage, which is the biggest cause of disaster death. Previous researches have not carried out continuous monitoring of floodwaters, thus, many affected people died due to the lack of a safe evacuation route. Therefore, we propose a prediction method and autonomous selection method of safe evacuation route from the actual implementation of flood observation data and analysis results. We aim to autonomous selection method of evacuation route with high safety and proposal of hazardous place to provide information on practical evacuation route. We develop monitor, estimate inundation and evacuation route selection system and evaluated its accuracy.

研究分野：センサネットワーク

キーワード：浸水被害推定 環境センシング 時空間補正

## 1. 研究開始当初の背景

内水氾濫による浸水とは、急激に発生する豪雨のため、中小河川や水路が溢れ市街地が水に浸かる現象を指し、世界規模で被害を出している。浸水の推定結果を用いて危険箇所を予め知らせることは、被災地域にいる人々の危険回避行動の促進という、被害軽減の一助となる極めて重要な課題である。近年では集中的かつ局地的な豪雨により都市機能を麻痺させるような浸水が発生し、多くの被害が出ている。日本でも大きな被害が発生しており、2009年台風9号時の兵庫県佐用町では、安全な避難経路がわからず移動や避難中に危険箇所を通り、19名が亡くなった。さらに、浸水の影響を受けやすく複雑な都市構造をしている大都市の市街地や地下街では今後も大きな被害の発生が懸念される。その対策のひとつとして、危険箇所を回避する安全な避難経路の予測や避難誘導への期待が高まっている。

避難経路の予測には(1)危険箇所の推定と、推定結果に基づいた(2)安全な経路の決定が必要となる。時時刻刻と変化する危険箇所の推定には、詳細な時空間スケールでの浸水予測が必要となる。しかし、被害拡大の挙動観測や、初期値と補正に実観測データを用いる実際的な数値解析は行われていないため、その予測結果は危険箇所の推定に必要な精度や時間要件を満たしておらず、実用性に難がある。また、実時間上の定量的な評価が行われておらず、予測結果を用いて提示される避難経路については安全性の判断が難しい。そのため、既存研究では危険箇所や複数経路、時間や距離に基づく最短経路の提示手法は存在するものの、避難者の判断で最適経路を選択する必要があり、安全となる経路の決定は実用上困難となる。

## 2. 研究の目的

従来手法では実時間の浸水の挙動予測が難しいため、観測の行われていない任意の地点での、危険有無の把握に課題がある。そこで、浸水の実観測データを用いたデータ分析手法を開発する。地理空間情報を加味したデータ分析を用いて、実観測とそのデータの内挿を行い、予測値の誤差が最小となるよう補正することで、最も予測精度の良い補正関数を導出する。補正関数を用いて、既存手法より高精度に浸水深を推定し、閾値を超えた地点を危険箇所として判定する。

### 方策2. 最適な避難経路の選定と評価

従来の避難経路は、危険箇所を単純に地図上へプロットする手法や危険箇所を避けた経路の提示が行われており、実際の経路選択は避難者の判断に任されていた。危険回避行動のとりやすさは、方策1で推定する浸水深だけでなく、避難経路の高低差や状態のような歩行のしやすさ、避難中の被害拡大等に影響を受ける。避難のしやすい経路の選定や被害拡大に応じた経路の変更が重要であるが、

このような経路状況の把握は困難である。そこで、方策1で推定した危険箇所を実時間で反映させた避難経路の生成と、避難に適した経路の選定手法を開発し、予測精度を評価する。さらに避難経路予測を実施するソフトウェアを開発し、性能評価とともに、その実用性を評価する。

## 3. 研究の方法

### 方策1. 危険箇所の推定

従来ダミーデータを用いており正確な推定が難しかった危険箇所について、浸水の実観測データを用いて実時間補正することで浸水深を推定し、市街地や地下街で危険となる地点を特定する。

#### a. 補正手法の確立

はじめに補正に用いる浸水の実観測を行う。申請者は既に、浸水の実観測を行う小型の観測機器を開発しており、浸水多発地域に設置し、内水氾濫の観測に成功している。同観測機器を浸水多発地域へ設置し、浸水の実観測と観測値の蓄積を行う。次に、任意の地点の浸水深を予測し、観測値との比較結果から補正関数を導出する。既存の補正手法である豪雨や大河川等のデータ同化は、地理空間情報を考慮する必要がないが、市街地や地下街での浸水深は、地形に大きく影響を受け予測値の誤差が大きいと考えられる。そこで申請者が開発した氾濫発生地点からの距離や高低差等の地理的要因を重み付けする手法をもとに、地理空間情報を考慮した上で、観測値と予測値を比較し、その誤差が最小となる補正関数を導出することで、これまで難しかった高精度な浸水深の推定手法を開発する。

#### b. 危険箇所の特定と評価

a)で導出した補正関数を市街地や地下街の実空間に適用し危険箇所を特定する。はじめに実空間を格子状に分割して各格子へa)で導出した補正関数を適用して浸水深を推定し、推定結果の大きい格子を危険箇所として決定する。推定結果は、過去の浸水実績や既存手法と比較し、精度評価をするとともに、浸水推定結果の精度向上を目指す。精度向上の例として、申請者が進めているXバンドMPレーダ(局地的な降雨観測が可能)を用いた豪雨の影響評価結果を用いて、浸水の予測値が豪雨から受ける影響を明らかにし、予測結果を補正関数へ反映することを計画している。

### 方策2. 最適な避難経路の選定と評価

従来、避難者の判断に任されていた経路選定について、方策1で推定した危険箇所を実時間で反映させた避難経路生成と、避難者の歩行履歴に基づいた避難経路の選定手法を提案する。

#### c. 実時間での経路生成

方策1の推定結果を用いて、避難者の現在地から安全な地点までの避難経路を生成する。はじめに、時間や距離を考慮して、危険箇所やその付近を回避する複数経路を生成

する。市街地の経路生成は、申請者の所属研究室で平成 26 年度から着手しており、これまで既存の生成手法の調査と技術開発を進めてきた。この知見をもとに、安全な経路を生成するとともに、危険箇所の推定結果に応じ、危険度合いや被害拡大の可能性に基づいて経路に重み付けし、生成経路を更新する。d. 歩行履歴に基づいた最適経路の選定と評価

生成した複数経路に対し、被災地域の人々の歩行履歴に基づいて最適な避難経路を選定する。生成経路を実際の避難に役立てるためには、観測値だけでなく避難のしやすさや障害物等の情報が必要となる。そこで個人の持つ携帯端末から、避難者が歩行した経路や避難にかかった時間を取得し、被害拡大に備え時間経過を考慮して、その結果を歩行可能な経路として生成した重み付き経路へ情報付加し最適な安全経路を選定する。避難経路は避難者個人の持つ携帯端末へ表示し、安全な避難行動を促す。最後に、提案する避難経路の予測手法をソフトウェアとして開発し、都市域の市街地や地下街の実空間での情報提供実験とシミュレーションにより評価する。

#### 4. 研究成果

初年度は、本研究は、災害死の大きな原因である水害の減災を目的として、浸水被害の実観測データを用いた避難経路の自律的な予測を目指す。浸水の継続的なモニタリングが行われていない従来では、安全な避難経路がわからず避難中の死者が数多く発生してきた。そこで、浸水の実観測の実施およびその分析結果から、危険箇所の予測と安全性の高い避難経路の自律的な選定手法を提案する。本研究の初年度目標として、危険箇所の推定として補正手法の確立を目指した。実観測データを用いてデータ分析を行い、実時間で高精度に浸水深の推定、および予測手法を開発した。はじめに、水害を伴う可能性のある降雨の多発地帯に、浸水観測機器を設置し、日中、夜間帯の観測を行った。次に、観測データを利用して小河川および水路の水位推定、実時間での予測手法を開発し、評価を行った。さらに2年目の目標である、最適な避難経路の選定と評価に向けて、危険箇所や地形に応じた避難経路推定の基礎となる機能を開発し、可視化システムを構築した。

2年目には、危険箇所の予測の精度向上を目指して、モニタリングの精度向上や浸水予測を中心に実時間で高精度に浸水深を予測する手法を開発するとともに最短の避難経路選定について検討した。これは従来、避難者の判断に任されていた経路選定について、推定した危険箇所を実時間で反映させた避難経路生成と、避難者の歩行履歴に基づいた避難経路の選定手法であり、時間や距離を考慮して、危険箇所やその付近を回避する複数経路を生成し、危険箇所の推定結果に必ず、

危険度合いや被害拡大の可能性に基づいて経路の最適化を講じるものである。初年度に開発したモニタリングおよび予測手法を用いて危険箇所を推定し、避難経路選定を実施するシステム開発を行った。

また、初年度では対象地域の降水量が少なく十分なデータが集まらなかったことから、推定精度評価にやや遅れが生じていた。そこで2年目では、初年度より対象地域を拡大したモニタリング実験を行い、観測データの収集、蓄積を行った。より危険の少ない経路選定を行えるよう1年目に実施した危険箇所の推定について、精度向上を目指した推定や予測手法を開発した。

最終年度となる平成 29 年度は、モニタリング、浸水推定手法、避難経路選定システムの高精度化を実施した。レータ降水強度を取り入れた浸水モニタリングシステムを開発し、既往の浸水時モニタリングデータおよび平成 28 年度までに収集したモニタリングデータを用いてその精度評価を行った。浸水推定手法の高度化として、豪雨時、浸水発生時に危険箇所を推定する手法を開発するとともに降雨予測に基づいた経路推定提示を行うシステムを開発した。さらにモニタリングの対象地域を拡大し、地形や都市構造など地域差を鑑みた浸水推定について浸水実績値に基づいた検討を行った。最後に、避難経路選定システムおよび浸水推定結果の情報提供による被害発生可能性の変動について効果測定を行うシミュレーションを開発した。これは従来、避難者の判断に任されていた経路選定について、歩行速度や情報へのアクセシビリティなど歩行者の特性を考慮したシミュレーションの基幹機能の構築であり、将来的に降雨予測に合わせた高精度な浸水予測や危険箇所および最適な避難経路の選定、情報提供タイミングの効果測定をリアルタイムで実現するシミュレーションの開発へとつなげることを予定している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

Kei Hiroi, Nobuo Kawaguchi, FloodEye: Real-time Flash Flood Prediction System for Urban Complex Water Flow, IEEE Sensors 2016(国際学会)、2016年10月30日~11月02日、Orland, FL, USA

廣井慧, aFloodEye: 浸水予測ネットワーク実現のための実観測データを用いた浸水の自動モニタリングシステム、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム、2015年07月08日~10日、岩手県八幡平市安比高原ホテル安比

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

廣井慧 (HIROI, Kei)

名古屋大学・未来社会創造機構・特任助教

研究者番号：30734644

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし

##### (4) 研究協力者

なし