

機械学習と GIS を用いた豪雨時の河川氾濫による被害軽減システムの構築

代表研究者 山本佳世子 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授
共同研究者 金井治樹 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 博士後期課程学生
Manzu Gerald Simon Kenyi 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 博士後期課程学生

1 序論

1-1 研究の背景と目的

水害は身近な災害ながら多くの命を奪うこともある。河川付近の住民は事前に準備して避難しなければ、大きな危険を伴う。そのためには、河川の氾濫を数時間前に予測して、住民に告知する必要がある。現段階では、河川水位を予測して警告を発出するシステムは存在しない。そこで、本研究は、豪雨による3時間先までの河川水位を予測して、河川氾濫の危険を事前に察知した場合にその段階で警告を発出する統合的なシステムを構築することを目的とする。本研究で構築する河川水位予測システムにより、河川周辺の住民がより安全に避難でき、災害を軽減することができる。

1-2 関連分野の先行研究と本研究の位置付け

本研究の関連分野の代表的な先行研究としては、菅原ら(1986)のタンクモデルの研究、一言ら(2016)の深層学習を用いた河川水位予測手法の開発の研究、岡崎ら(2018)のランダムフォレスト法による河川水位予測の開発の研究がある。しかし、リアルタイムの水位予測、河川氾濫危険に対する警告を発出するシステムは開発されていない。また、永松ら(2022)は避難情報の提供は人的被害を軽減できるか検討し、台風での2-4時間前に警告を発出することで人的被害率が小さくなることを明らかにした。本研究では、以上の研究成果を参考に、3時間先までの河川水位を予測して避難警告を出す統合的なシステムを一気通貫で構築し、水位実績から警告を発出する既存システムよりも早い段階で河川付近の住民に避難を促すことができる点で独自性を示す。

2 研究の枠組みと方法

本研究では、河川水位予測システムを設計、構築し、本システムの運用および評価を行う。本システムの対象河川は、水位予測が行われていない中小河川とする。対象河川の過去の豪雨時における雨量と水位のデータを用いるとともに、利用者へのヒアリング調査・アンケート調査等を行って、本システムを評価する。

3 方法システムの設計

3-1 本システムの概要

本システムは、3つのサブシステムを統合して構築される。具体的には、降雨実績システム、水位予測システム、避難支援システムの3つのサブシステムを統合することにより、本システムを構築する。システムの設計を図1に示す。降雨実績システムでは予測1時間降水量を取得後、タンクモデルで河川流出量を算出する。水位予測システムでは、現在水位と河川流出量から機械学習により3時間先までの河川水位を予測する。予測水位が氾濫危険水位に達していれば、避難支援システムが作動し、河川付近の住民に警告を発出して、避難誘導する。つまり、本研究では3時間先までの水位を予測して、氾濫危険水位に達していれば、警告するシステムまでを構築する。本システムは、河川が氾濫するよりも早く河川周辺の住民に警告を発出することができるため、豪雨災害を軽減することが期待できる。

3-2 本システムの有用性

本システムの有用性は、以下の3点である。

(1) 中小河川の水位予測

主要河川ではない中小河川の水位予測ができる。

(2) 最新のデータを用いる水位予測

1 時間毎に最新のデータを用いて 3 時間先まで水位予測するため、一度予測した水位も改めて予測し、河川氾濫の危険を迅速に把握することができる。

(3) 迅速な警告の発出

既存の警報システムよりも事前に河川氾濫の危険を察知して、警告できる。

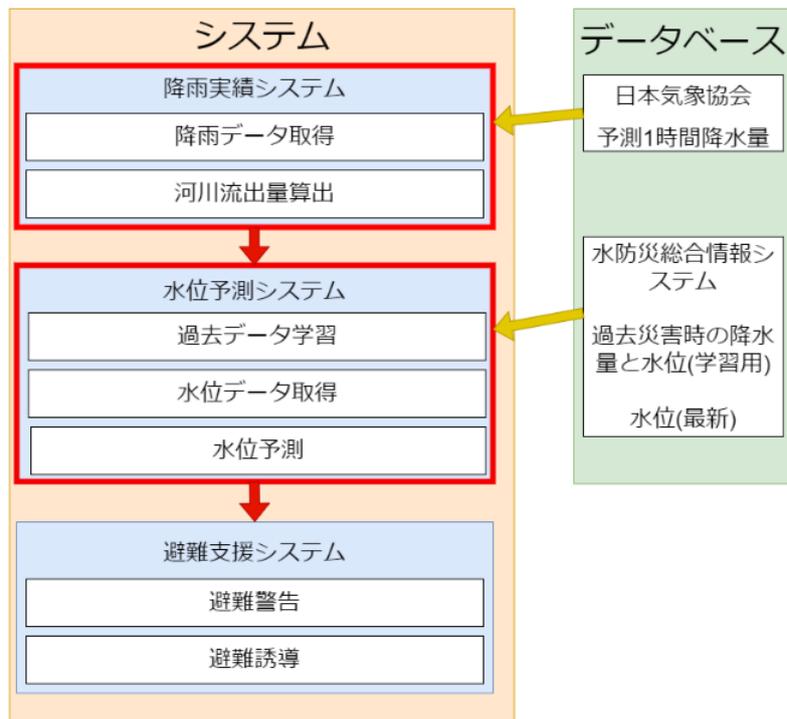


図 1 本システムの設計

4 システムの構築

本章では、各システムの構築について説明する。本システムの構築には、プログラミング言語として Python3.9 を用いた。

4-1 実績システム

本サブシステムは 1 時間毎に予測 1 時間降水量から河川流出量を算出する。

(1) 予測降水量取得

毎正時に日本気象協会から予測 1 時間降水量を取得する。予測 1 時間降水量は河川流出量算出に用いる。

(2) 河川流出量算出

タンクモデルを用いて、取得した予測降水量から河川流出量を算出する。

4-2 水位予測システム

本サブシステムは河川流出量と河川の現在水位を用いて、3 時間先までの河川水位を予測する。

(1) 過去データ学習

東京都水防災総合情報システムの過去の洪水データを学習させる。

(2) 水位データ取得

東京都水防災総合情報システムから河川の現在水位を取得する。

(3) 水位予測

実績システムで算出した河川流出量と、水位予測システムで取得した現在水位から機械学習を用いて、3時間先まで水位を予測する。

4-3 避難支援システム

本サブシステムは水位予想システムで予想した河川水位が河川氾濫危険水位に達すれば、利用者に警告し、最寄りの避難場所まで誘導する。

(1) 避難警告

本システムを初めて利用する際は警報配信システムに登録する。水位予想システムで予想した河川水位が河川氾濫危険水位に達すれば、利用者に警告する。

(2) 避難誘導

デジタル地図上に、利用者の現在地から最寄りの第一次避難場所と第二避難場所（福祉避難場所）までの経路を表示する。

5. システムの運用

5-1 運用対象河川流域

本システムの運用対象河川流域は東京都にある野川流域とする。選定理由は、以下の2点である。

- (1) 野川北側に国分寺崖線が川に沿って形成されており、雨が降ると水位が急速に上昇すること
- (2) データ計測に必要なセンサー類が整備されており、水位予測に必要なデータを得られること

5-2 利用するデータ

本研究で利用するデータは以下の3種類である。

(1) 降雨実績システム

日本気象協会のウェブサイトから、予測1時間降水量を取得する。

(2) 水位予測システム

東京都水防災総合情報システムから、過去の豪雨災害時における10分値の雨量、水位のデータ（機械学習用、csv形式）最新の水位データを取得する。

(3) 避難支援システム

東京都防災マップから、指定避難場所の位置情報、洪水ハザードマップを取得する。

6. システムの評価

6-1 降雨実績システム、水位予測システムの評価

降雨実績システム、水位予測システムについては、特に予測精度に関して、過去1年の豪雨時の雨量と河川水位のデータを用いて本システムの評価を行った。評価指数である二乗平均二乗誤差は各予測時間で3.9～4.5ほどであり、全体的に予測値は実測値に近い値が算出された。また、各予測時間で精度は低下せず、安定していた。予測に必要な時間は2分ほどであり、予測結果を迅速に算出する必要がある洪水時に有効であることが示された。

6-2 避難支援システム

避難支援システムについては、表1に示すように、約3週間に警報配信テストを4回実施した。利用者は男性50名、女性12名の計62名となった。

表1 本運用の概要

| 項目 | 内容 |
|----|---------------------------------------|
| 目的 | 避難誘導支援システムの有用性の検証、課題を特定 |
| 期間 | 1/16～2/6の3週間 |
| 備考 | 合計4回の警報テスト配信実施（1/16, 1/21, 1/28, 2/4） |

避難警告の評価では、65%が10分以内に警報テストのメール通知に気づいていた。一方で、35%がメール通知に気づくまでに1時間以上かかっており、警報発報が予測される時には予め通知することで気づきやすい環境を構築する必要がある。一方、避難誘導の評価では、全員がシステムにアクセスでき、56%がスマートフォン、44%がPCでアクセスしており、それぞれの端末で本システムを利用可能としたことが有効であることが分かる。そして、92%が現在地に近い避難場所がわかり、本システムの目的の利用者の現在地から最寄りの避難場所へ誘導支援をすることができていたことが明らかである。

6-3 本システムの改善策

降雨実績システム、水位予測システムの改善策として、評価結果から、水位予測精度向上のための学習データの増加、学習データの1時間降水量の加工方法の改善、警告水位の緩和を今後検討することがあげられる。避難支援システムについては、アンケート調査の自由回答の中で、スマートフォン版は動作が重たいという意見が複数件あった。そのため、避難支援システムの改善策として、システムの動作改善があげられる。

7. 結論

- (1) 本研究では、豪雨災害を軽減するために自動で河川水位予測を行って警告を発出する統合したシステムの設計と構築を行った。本システムにより、既存の警告システムよりも早い段階で警告することを可能にした。構築したシステムは対象とした中小河川流域で運用し、今後の豪雨災害軽減のために活用する。
- (2) 降雨実績システム、水位予測システムの評価結果から、3時間先まで一定の精度で河川水位予測を行うことができることが示された。また、予測時間は2分と短いことと、河川氾濫危険時に迅速に予測して警告できることも示された。これら2つのサブシステムの改善策として、学習データの増加、学習データの加工方法の改善、警告水位の緩和があげられる。
- (3) 避難支援システムの評価結果から、警報発報が予測される時には予め通知することで気づきやすい環境を構築する必要があることと、利用者の現在地から最寄りの避難場所へ誘導支援をすることができていたことが示された。また、このサブシステムの改善策として、スマートフォン版の動作改善があげられる。本研究の研究課題は、警報配信システムによるメール通知の配信方法の改善（処理プロセスの変更、SNSでの配信など）、避難訓練での利活用の機会の設置、他地域での利活用が挙げられる。

【参考文献】

- [1] 菅原正巴, 渡辺一郎, 尾崎容子, 勝山ヨシ子, パーソナル・コンピュータのためのタンク・モデル・プログラムとその使い方, 国立防災科学技術センター研究報告, Vol.73, 1986. https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nrcdp/nrcdp_report/PDF/37/37sugawara.pdf
- [2] 一言正之, 櫻庭雅明, 清雄一, 深層学習を用いた河川水位予測手法の開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, p.187-192, 2016. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/72/4/72_I_187/_pdf/-char/ja
- [3] 岡崎亮太, 中津川誠, 小林洋介, ランダムフォレスト法による洪水時の水位予測手法の提案, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, p.1459-1464, 2018. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/74/4/74_I_1459/_pdf
- [4] 永松伸吾, 牛山素行, 関谷直也, 鈴木進吾, 避難情報は人的被害を軽減したか ―平成30年7月豪雨・令和元年東日本台風の実証分析―, 日本災害情報学会誌, No.20, p.51-60, 2022. http://www.jasdis.gr.jp/_src/2194/20-1.pdf?v=1663132484714

〈発表資料〉

| 題名 | 掲載誌・学会名等 | 発表年月 |
|-------------------|----------|------|
| 2025年度後半以降に研究発表予定 | | |
| | | |