

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02310

研究課題名（和文）実測水位と降水短時間予報に基づくリアルタイム低平地氾濫予測モデルの開発

研究課題名（英文）Development of a real-time flood forecasting model for low-lying area based on observed water levels and short-term precipitation forecasts

研究代表者

吉永 育生（Yoshinaga, Ikuo）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・グループ長

研究者番号：50414420

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,300,000円

研究成果の概要（和文）：農地等の低平地を対象とし、リアルタイムで氾濫を予測するモデルを開発した。本モデルは、現地データの取得方法や計算方法別に複数のモデルで構成されている。計算対象とする地区の水の流れと氾濫は、集水域からの流出等の処理を工夫することで、物理的な再現性を維持しつつ、計算の高速化を実現した。境界条件の水位は、実測データが十分ある場合には過去データをもとにANNモデルによって推測する方法と、画像認識によって水位と流量を補完する方法を適用することができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動等によって豪雨の頻度や規模が増大している。また、農村地域では宅地化によって出水のパターンが変化しただけでなく、浸水から守るべき生命や財産が増えたことにより、排水ポンプなどの水利施設の適切な操作が求められている。そこで、豪雨時の水路の水位上昇や周辺への氾濫をリアルタイムで遠隔監視や予測する技術開発により、排水ポンプや水門などの水利施設の適切な操作を支援し、浸水被害の軽減や被害後の早期の復旧に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed a real-time flood forecasting model for low-lying area based on observed water levels and short-term precipitation forecasts. This model consists of sub-models, which simulates water flow, predicts inflowing water level, and measures water level and flow rate. The water flow model can simulate canal flow, runoff from watershed and inundation from canal with high physical representation and low calculation load. Water level prediction model is based on Artificial Neural Network implementing transfer learning method. Water level model can measure water level of upwind and downwind point of a gate and gate opening by image recognition.

研究分野：農業農村工学

キーワード：流出予測モデル ANNモデル 画像認識 リアルタイム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

低平地は、古くから農業生産や社会経済活動の中心地として利用されるなかで、治水が重要な課題であった。大都市圏では、巨大な堤防や地下放水路等の整備により、洪水に対する備えが進んでいる。しかし、沿岸の低平地の多くは、ハード整備が十分とは言えず、ソフト対策を含む、総合的な対策が実施されている。低平地の水移動を再現することは社会的な要請も高く、これまで多くのモデルが開発されてきた。流域における水移動は、マクロ的には単純であり、勾配に従った流下である。しかし、都市には下水道、農村には水路や水門等の、水移動をコントロールする様々な人工物が存在するため、これらをどの程度再現するかが重要であり、それぞれのモデルの特徴ともなっている。

本研究課題は、降雨データだけでなく、水位の実測データを予測計算に取り込みながら、リアルタイムで予測計算を実施することを主題とする。本課題では、再現しようとする現象を分割し、それぞれの現象に対してモデルを開発する。得られた結果を、水路の水位を計算する水理モデルに集約し、低平地の水移動を再現する。

2. 研究の目的

低平地の排水路の水位を精度良く予測することを研究グループ全体の目標とする。また、氾濫の可能性が高い場合、水門等の操作によって被害の低減が可能かどうかの試算を行う。なお、モデル開発において、共通フィールドを佐賀市の低平地に設定し、各課題で個別に研究開発を行う。個別のモデルの開発目的等は下記のとおり。

1) 氾濫解析モデルの開発

水位等の実測データを取り込みながら、低平地の氾濫現象を精度良く再現する物理モデルを開発する。水門の開度が変更された場合のシナリオ分析に対応し、様々な操作パターンにより氾濫被害の低減が可能かどうかを予測する。

2) 地区への流入量の予測モデルの開発

水位の実測値や降水の短時間予報等を元に水位(地区への流入量)を予測する AI モデル(ANN モデル)を開発する。

3) 画像認識による水門での水位、流量計測

カメラによる画像から、水路や水門を自動で認識し、水位と水門の開度を読み取ることのできる AI モデルを開発する。

3. 研究の方法

共通フィールドである佐賀市川副町の低平地を対象として、モデル開発を行う。検証用のデータ取得のために、水位計等の計測機器を設置し、定期的な現地観測を実施する。それぞれのモデル開発の概要は下記のとおり。



写真1 対象とした佐賀市川副町の低平地

1) 氾濫解析モデルの開発

後背地から水路への流入と、水路から周辺の農地等への溢水の再現に重点をおいたモデル開発を実施する。これにより氾濫現象の再現性の向上と計算の高速化が期待される。

2) 地区への流入量の予測モデルの開発

AI モデルの精度は、学習用のデータの質と量に大きく依存するため、ノイズや異常値を含むデータの質が低い場合の対応とデータが十分存在せず量が少ない場合の対応にかかる手法について、研究開発を行う。

3) 画像認識による水門での水位、流量計測

画像認識を行う AI モデルの高精度のため、教師データとなる多数の水門画像を収集し、歪みや部分的欠損等の加工を行った画像による学習を実施する。また、流量を測定するためには、水門の開度だけでなく、水門の上下流の水位差の計測とこれによる流量換算が必要であるため、水理実験によって検証を行う。

4. 研究成果

佐賀市川副町の低平地を対象としたリアルタイム予測システムの技術要素を開発した。また、それぞれの個別モデルにおいては、相互の入出力データの取り込みにかかるデータフォーマットの統一を行い、連携が可能となった。ただし、全てのモデルを連動した計算については、データ通信や計算機のスペック等の技術的課題が要因となって実施できておらず今後の課題である。個別のモデル開発結果は、次のとおり。

1) 氾濫解析モデルの開発：

水位等のリアルタイムの実測データを取り込みながら、後背地からの流入と水路からの溢水を精度良く再現可能な氾濫解析モデルを開発した。共通フィールドである佐賀市川副町の水路の再現結果を図1に示す。2023年7月の豪雨を再現対象としている。モデル開発に際し、コントロールボリュームや時間発展処理の扱いに工夫を行うことで、予測精度の向上を実現した。

また、水門の操作による溢水被害の軽減効果の検証については、リアルタイムでの予測は達成できなかったが、過去の事例を対象として検証した結果を図2、図3に示す。水門を適切に操作することによって、地区の上流側では水位が約17cm低下できるものの、下流側ではほとんど影響が見られないことが確認できた。この結果は、出水の規模や地区の特徴によって、水門の操作による溢水被害の軽減効果が場所、時間によって異なることを示している。

2) 地区への流入量の予測：

共通フィールドである佐賀市川副町には教師データとなりうるデータが存在しないため、過去8年間のデータがある別の低平地を対象とし、晴天時と洪水時の6時間先までの水位を予測対象としてモデル開発を実施した。予測結果は、常時排水期間では概ね良好に予測できたものの、洪水時排水期間では、水位ピークを捉えることが困難であった。

そこで、予測の不確実性を考慮する手法を導入した結果、図4に示すように不確実性を示す灰色の確信区間は、ピーク水位を包含できるようになった。また、不確実性が考慮できない従来のモデルの予測結果と比較して、5~20%の再現性の向上と予測結果の確信区間の可視化を達成した。なお、開発した要素技術は、氾濫解析モデルの上流側の境界条件として入力可能であることを確認している。

3) 画像認識による水門での水位、流量計測：

画像解析を用いて水門での水位と水門の高さを計測する手法を開発した。なお、開発した手法をもとにプロトタイプを作成し、佐賀市川副町の水路にて検証中である。この手法は、AIによる水門や水面の認識と、認識した箇所を3Dカメラによる計測の2つのステップで実施されている。また、水門の開度や水門の上下流の水位の推測結果から、流量を推測する手法を開発した。

AIによる水位や水門等の認識精度と、流量の推測精度の確認を、水理実験によって検証した。幅1mの水路に、高さ0.5m、天端厚み0.15mの水門を設置し、潜り流出の場合の流量の推定精度を検証した。写真2のように水門を斜め前方から撮影する場合、水門が上下動するためAIによる認識が必要である。そこで、YOLOv3などの物体検知処理を適用したところ、IoUは0.63と十分良好な精度を示した。また、誤差が相対的に大きくなる斜め前方からの撮影の場合でも、3Dカメラによる測距精度はMAE 7.3cmであった。図6に、開発した手法による流量の計測結果を示す。流量が小さい場合に誤差が大きい傾向があり、本手法による算定値は9~15%程度の誤差

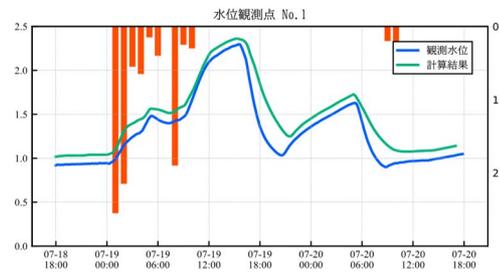


図1 再現計算の結果

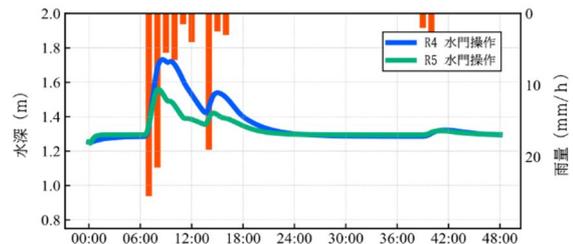


図2 水門の操作方法の違いによる排水路の水位の違い(地区の上流側)

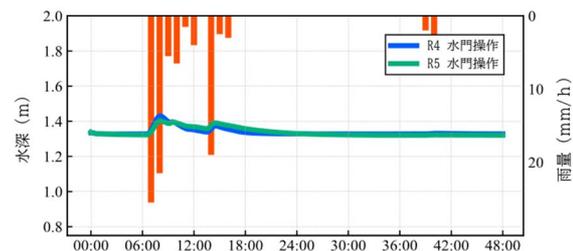


図3 水門の操作方法の違いによる排水路の水位の違い(地区の下流側)

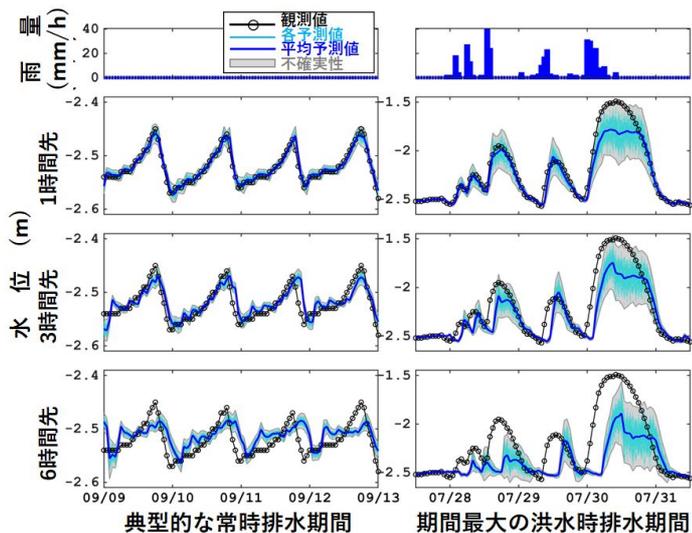


図4 不確実性を考慮した ANN モデルによる水位の予測結果

を有していた。これらの結果から、ゲート前後の水位・流量等の計測精度の検証を通じ、低コストの遠隔監視手法の実用性を示した。

さらに、水面の画像のみから流速を推定する手法を検討し、死水域の考慮を含めた幅広い条件において手法適用が可能であることを明らかにした。

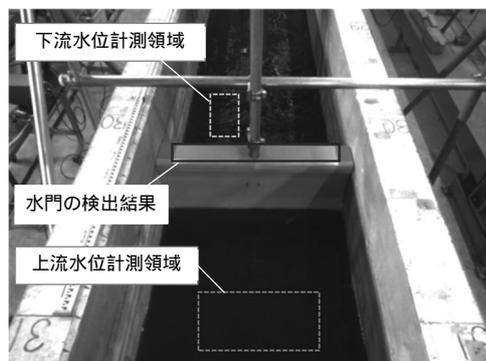


写真2 斜め前方の画角からの水門の開度、水位、流量の計測の水理実験

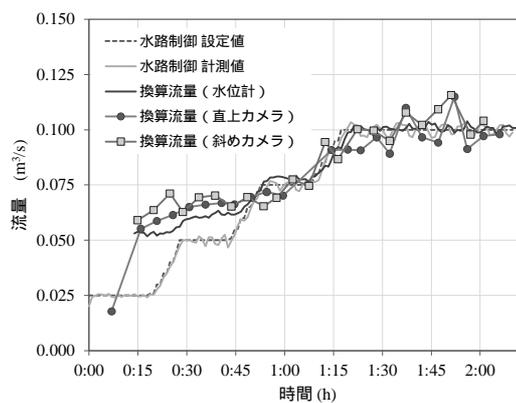


図6 開発した手法によって算出した流量の経時変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 吉永 育生、福重 雄大、木村 延明、関島 建志、安瀬地 一作	4. 巻 90
2. 論文標題 標高10m以下の低平地にある経営耕地の特徴	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 IV_41 ~ IV_44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11408/jsidre.90.IV_41	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 木村 延明、吉永 育生、皆川 裕樹、福重 雄大、馬場 大地	4. 巻 3
2. 論文標題 周期性のあるデータに対するLSTM水位予測手法の精度向上に資する前処理方法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 85 ~ 91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11532/jsceiii.3.J2_85	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 中田 達、島崎 正彦、福重 雄大、吉瀬 弘人、吉永 育生	4. 巻 91-6
2. 論文標題 画像解析をゲート開度監視システムの実用化に向けて	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 水土の知	6. 最初と最後の頁 15 ~ 18
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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中田達、吉瀬弘人、島崎昌彦
2. 発表標題 ゲート撮影画像の解析による水位および流量計測の実用性の検討
3. 学会等名 農業農村工学会応用水理部会講演会要旨集
4. 発表年 2022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
研究分担者	中田 達 (Nakada Toru) (10584336)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・主任研究員 (82111)	
研究分担者	島崎 昌彦 (Shimazaki Masahiko) (30355135)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・教授 (82111)	
研究分担者	木村 延明 (Kimura Nobuaki) (40706842)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	皆川 裕樹 (Minakawa Hiroki) (70527019)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員 (82111)	
研究分担者	福重 雄大 (Fukushige Yudai) (80845850)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・研究員 (82111)	

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