

洪水予測システムの高度化と VR技術を活用した3次元表示技術の開発

諸岡良優・土屋修一・竹下哲也

1. はじめに

近年、豪雨による洪水災害が全国で頻発しており、減災のためには迅速な水防活動や避難につながる洪水予測情報の提供が重要である。2015年9月関東・東北豪雨災害後の社会資本整備審議会答申（2015）では「氾濫の切迫度をリアルタイムで伝えることができるような水位情報提供システム等の開発を進めること」が示され、2018年西日本豪雨後の社会資本整備審議会答申（2018）でも、同システムの必要性が改めて示された。こうした経緯を踏まえ、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では6時間先までの河川水位予測情報や左右岸別の洪水危険度を提供する洪水予測システム「水害リスクライン」の技術開発を行い、2019年から運用されている。

しかし、今なお、住民が適切に避難行動をとれていないとの指摘があり、災害の切迫感や臨場感をより分かりやすく市町村や住民に伝えるための洪水予測情報の改善が求められている。

本報告では、洪水予測の高精度化・長時間化の取組並びにDX（デジタル・トランスフォーメーション）に伴う3次元地形データの整備や5Gによる通信環境改善の動向を見据えた、VR（仮想現実）技術を活用した河川水位予測情報の3次元表示（以下「VR表示」という。）に関する技術開発¹⁾を紹介する。なお、本報告では水位・流量の予測を洪水予測、水位のみの予測を河川水位予測と区別して記載する。

2. 洪水予測の高精度化・長時間化

2.1 水害リスクラインの概要

水害リスクラインの概要を図-1に示す。水害リスクラインが運用される以前は、「点情報」として市町村向けに水位観測所における水位の実況や予測情報を提供してきたが、上流から下流まで縦断的に洪水の危険度が把握できるよう、水害リス

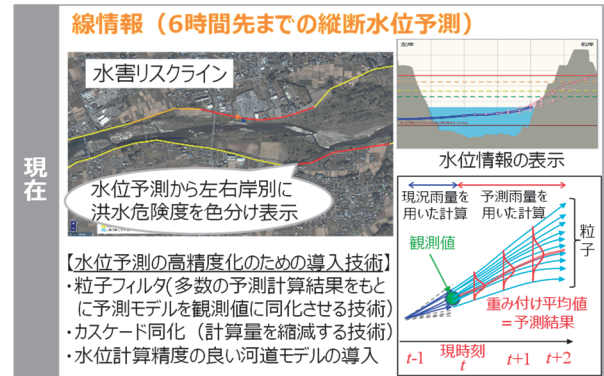


図-1 水害リスクライン（現行）の概要図

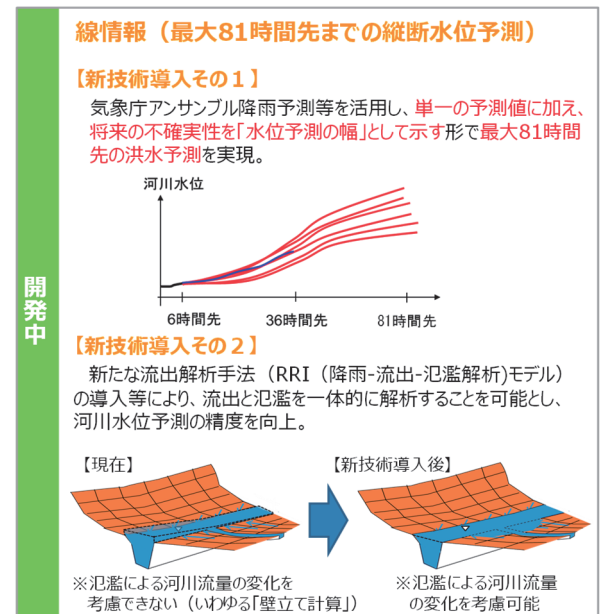


図-2 水害リスクライン（Ver2.0）の概要図

クラインでは、「線情報」として河川縦断方向の水位予測と氾濫危険水位等との比較により左右岸別の洪水危険度を色分け表示している。入力データとしては、高精度な実測・予測雨量であるCバンドレーダ雨量や気象庁の高解像度降水ナウキャスト、降水短時間予報、メソ数値予報モデル（MSM）といったメッシュ雨量データを利用し、流出解析には土研分布モデル、河道の洪水流解析には一次元不定流モデルを使用している。さらに、予測精度を高めるため、粒子フィルタ^{*}による水位の観測値と計算値とのデータ同化や、多地点の

データ同化に伴う計算負荷軽減のためカスケード同化技術を採用している²⁾。

水害リスクラインは、周辺の地図、土地利用図、色別標高図、破堤点毎の洪水浸水想定区域、CCTVカメラ画像等を切り替え表示できる機能を有している。また、新たな表示機能も追加することが可能なシステム構成となっている。

2.2 水害リスクライン（Ver2.0）の開発

現在、国総研では、図-2に示すように、流出と氾濫を一体的に解析できるRRIモデルの導入による洪水予測の高精度化（図-2下部）や、迅速な避難・水防活動を実現するため、気象庁のアンサンブル予測等の活用による最大81時間先までの洪水予測の長時間化（図-2上部）を目指した水害リスクライン（Ver2.0）への改良を実施中であり、2023～2025年度の運用を目指して国土交通本省、地方整備局等と連携して準備を進めている。

3. 河川水位予測情報のVR表示技術の開発

3.1 VR表示に関する有効性・実現性の確認

内閣府検討会（2021）³⁾の報告では、「災害の切迫感や臨場感の伝達不足」等から「避難情報が発令されても、住民が適切に避難行動をとれていないのではないか」との指摘がされている。このため、災害の切迫感・臨場感を伝える手法として河川水位予測情報のVR表示の有効性・実現性について以下のとおり確認を行った。

3.1.1 既往研究・事例のレビュー

災害の切迫感・臨場感を地域住民に伝える取り組みとして、河川等の危険箇所Webカメラを設置して住民がスマートフォン等で確認できるようにした事例³⁾がある。この事例では、2021年8月の大雨の際に、約1万件/月のアクセスがあり、災害に関する臨場感あふれる情報を多くの住民へ伝達したことが報告されており、住民が危険箇所の映像を確認したいニーズがあることを確認した。また、アンケート結果と災害時の不安度モデルの分析から、災害の切迫感・臨場感ある現場状況の視認が住民の不安度を増し、避難行動を促進したと推察している既往研究⁴⁾や、VRを用いた避難実験により、増水の視認に避難誘導効果があることを確認した既往研究⁵⁾がある。これらの既往研究から、河川水位予測情報のVR表示は避難行動促進に繋がる可能性があることが示唆された。

3.1.2 3次元データの収集可能性

河川水位予測情報のVR表示には、3次元地形データや写真画像が必要となるが、これらは2025年度末までに全ての一級水系で整備予定の「3次元管内図」（図-3）や国土交通省が進めるProject PLATEAUによる3次元都市モデルの有効活用により入手可能となることが期待される。

3.2 開発環境及び対象河川の選定

河川水位予測情報のVR表示を行う上での開発環境の選定にあたり、①操作性（情報表示の迅速さ）、②切迫性・臨場感を高める視覚上の効果（エフェクト）、③アクセシビリティ（様々な機器、OSに対応可能か）の3点に留意した。本技術の開発環境には、3次元情報の処理が容易であり、様々なエフェクトが標準装備されているゲームエンジンであるUnity Technology社のUnityを採用している。Unityで開発した環境をWebGL形式で出力することで、Webブラウザ上でPCやスマートフォンから操作可能なシステムとしている。



図-3 3次元管内図（荒川下流河川事務所HP）

オリジナルのLPデータから直接作成した
3次元地形メッシュ

リトポロジーを行った
3次元地形メッシュ

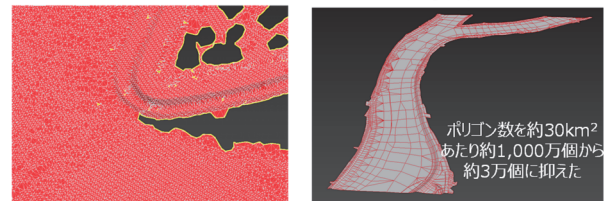


図-4 リトポロジー¹⁾（形状に合わせた面の貼直し）

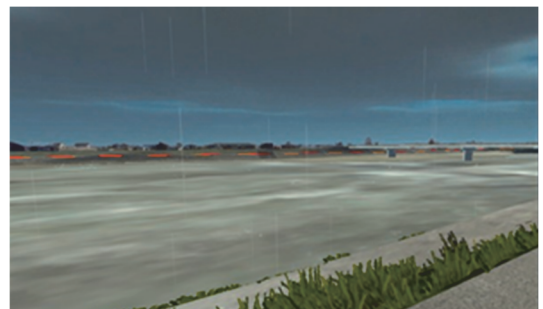


図-5 河川水位予測情報のVR表示画像

対象河川については、協力が得られた一級水系山国川とした。なお、同河川はシステムの開発時点で、3次元管内図や3次元都市モデルがなかったことから、地上カメラ撮影とドローン撮影により写真画像を収集した。

3.3 操作性向上策の検討

操作性の向上には、大容量の3次元地形データの処理が課題となるため、情報処理の工夫を行った。3次元地形モデルは、LP（レーザプロファイラ）データより3次元地形メッシュを生成し、ドローンで撮影した空撮写真をテクスチャとして貼り付けることで作成しているが、本研究では、図-4に示すリトポロジー（形状に合わせた面の張り直し作業）により、複雑な形状の箇所についてはポリゴン数を多く、形状変化の少ない箇所についてはポリゴン数を少なくする工夫をすることで、ポリゴン数を30km²あたり約1000万個から約3万個に抑えた。その結果、LPデータから直接3次元地形メッシュを作成した場合と比較してデータ量(Byte)に換算すると1/500程度となり、データ伝送効率と表示効率の両方が向上し、リトポロジー前後で距離標毎の1画面あたりの描画に必要な時間を、1分程度から約0.1秒に短縮できた。これらの工夫から、図-5に示すように、実用レベルの河川水位予測情報のVR表示が可能となった。

3.4 3次元水面モデル作成及びエフェクトの追加

既往研究のVRによる避難実験結果⁵⁾によると、「河川の濁りが顕著に見られる」ことが視認できる時間帯で避難率が上昇していた。これを参考に、洪水時の臨場感を高めるためのエフェクト（水位に応じて変化する水面の濁り、流速や水しぶき等の水面揺動、曇天、実測・予測雨量に応じて変化する降雨）を追加した。さらに、堤防表法面の3次元画像に避難判断水位や氾濫危険水位を重ね合わせて表示することで洪水の切迫感を増す工夫を行った（図-6）。これらのエフェクト追加に要した人件費は、試行錯誤を含め、河川延長1km当たり約5～8人・日であったが、同方法は他河川に活用できるためコストダウンが可能と考える。

3.5 操作画面の作成

図-7に示す河川水位予測情報のVR表示用の操作画面を作成した。本操作画面では視点の変更やズームが可能で、現況と予測時間（6時間先まで）の切替え、距離標、左右岸の切替えが可能となっ

ている。なお、洪水予測の長時間化に対応できるよう表示画面の改良を予定している。

4. 河川水位予測情報のVR表示の利点と課題

4.1 災害の切迫感・臨場感伝達以外の利点

図-8は、夜間同時刻(2022.3.21 20:50)における山国川26.8KP付近のCCTVカメラ画像とVR表示画像との比較である。VR表示にCCTV画像データは全く用いていないが、図-8のとおり夜間における河川水位の状況視認は、VR表示の方が優位であると推定され、実際に沿川自治体の防災担当者からも同様の利点を評価する声があった。さらに風雨によりCCTVカメラ映像の視認が困難な場合でも同様の利点があると推定される。また、

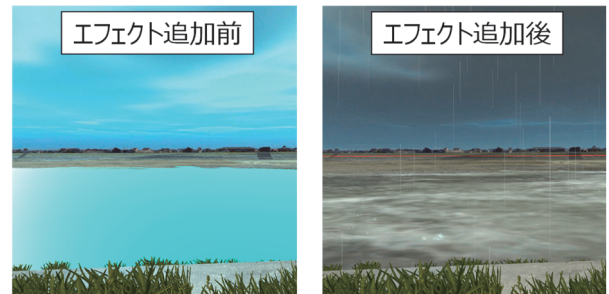


図-6 VR表示のエフェクト追加前後の比較¹⁾
(左：追加前、右：追加後)

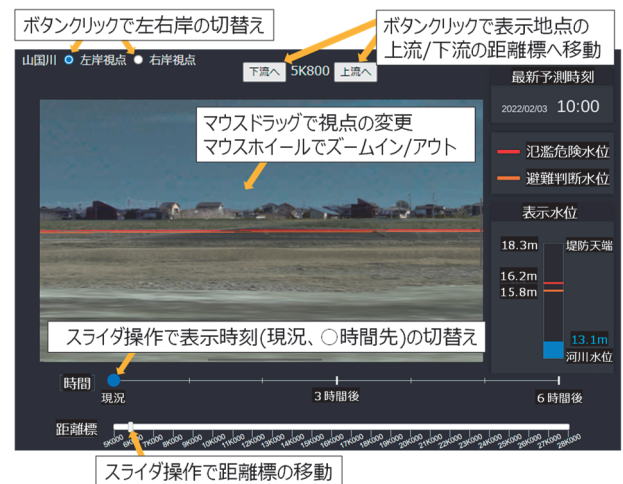


図-7 開発したVR表示用の操作画面¹⁾



図-8 夜間同時刻での比較¹⁾(山国川26.8KP付近)
(左：CCTVカメラ画像（橋梁より下流位置）、
右：VR表示画像（橋梁より上流位置）)

CCTVカメラは現況のみの確認であるが、VR表示では6時間先までの予測を表示できることや、CCTVカメラの画角が固定されている場合でもVR表示は自由に画角やズーム変更、カメラ未設置箇所への切替え表示ができる利点があることも確認できた。

4.2 エフェクトに関する課題

現在は洪水時のエフェクトしか作成していないため平常時においても水面の濁りや荒天の映像が表示されることとなっている。このため、平常時用エフェクト（晴天、水しぶき無し等）を作成し、平常時と洪水時でエフェクトの切り替えが可能となる機能を追加することを予定している。

4.3 予測精度や災害時の情報伝達上の課題

観測値同化等により河川水位の予測精度が向上したとは言え、不確実性のある予測情報をVR表示するため、当該予測情報が実態と大きく乖離した場合における住民への影響や、災害時のアクセス集中によるサーバダウン等の障害を懸念する意見がある。これらについて、より高精度な河道モデルを導入することで予測精度の更なる向上に取り組むとともに、水位観測所付近等の一定の水位予測精度が確認できる区間にVR表示を限定することや、市町村や住民向けに対象箇所を限定し、かつデータ量や映像時間を限定した切り抜き動画を出力できる機能の追加を予定している。さらに、山国川沿川自治体の防災担当者等の意見を聴取しており、今後のシステムの改良につなげていく予定である。

5. まとめ

本報告の結論は以下のとおり。

- 1) 洪水予測システムの高精度化・長時間化に加え、災害の切迫感・臨場感を伝達し住民避難を促進するための手法として、河川水位予

測情報のVR表示の有効性が予備調査から示唆された。

- 2) 地形データ量を1/500に抑える工夫や、ゲームエンジンを利用し災害の切迫感・臨場感を高める映像効果により実用レベルの河川水位予測情報のVR表示技術を開発した。
- 3) 動作確認等を行った結果、CCTVカメラによる視認が困難な夜間においても水位情報の視認が可能となる利点等があることが分かった。
- 4) 予測と実態が乖離した場合の住民への影響、アクセス集中によるサーバダウンの懸念があること等の課題への対処が今後必要である。

本研究で得られた成果は、河川水位予測情報のVR表示機能を水害リスクラインのオプション機能として追加できるようにするための仕様書案として取りまとめる予定である。なお、動画については国総研水循環研究室のwebサイト（<http://www.nilim.go.jp/lab/feg/index.htm>）で閲覧が可能である。

参考文献

- 1) 諸岡良優、土屋修一、銭潮潮、竹下哲也：VR技術を用いた河川水位予測情報の3次元表示に関する技術開発、河川技術論文集、第28巻、pp.37~42、2022
- 2) Shuichi Tsuchiya and Masaki Kawasaki: Development of a Practical River Water Level Prediction Method Using Data Assimilation Technique, Journal of Disaster Research, Vol.14, No.2, pp.260-268, 2019
- 3) 内閣府：令和3年7月からの一連の豪雨災害を踏まえた避難のあり方について(報告)、pp.20~21、2022
- 4) 柿本竜二、吉田護：豪雨時の状況認識を考慮した避難意思決定過程のモデル化、土木学会論文集（土木計画学）、Vol.75、No.6、pp.I_37~I_42、2020
- 5) 藤村幸大、藤見俊夫、田中歩夢、Mohamed F. N. AULADY: VRを用いた率先避難者の有効性の検討、土木学会論文集（土木計画学）、Vol.75、No.5、pp.I_61~I_68、2019

諸岡良優



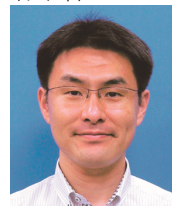
国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室
研究官、博士（工学）
Dr. MOROOKA Yoshimasa

土屋修一



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室
主任研究官、博士（工学）
Dr. TSUCHIYA Shuichi

竹下哲也



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部 水循環研究室
長、博士（工学）
Dr. TAKESHITA Tetsuya