

第Ⅱ部門

京都府管理河川の洪水予報の高度化について

國貞 佳那¹・坂根 大介²¹京都府 建設交通部 砂防課 (〒602-8570京都府京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)²京都府 建設交通部 砂防課 (〒602-8570京都府京都市上京区下立売通新町西入藪ノ内町)

近年の激甚化する浸水被害において、短時間で急激に水位上昇する中小河川については、避難に要するリードタイムの確保が実況水位の観測のみの判断では困難となる状況が増加している。そこで京都府では全府管理河川について6時間先までの水位及び浸水区域を予測するため、令和3年度に降雨氾濫流出(RRI)モデルによる「水位・氾濫予測システム」の構築に着手し、令和5年度から市町村防災部局向けに試験配信を行っている。過去出水時のデータをもとに予測精度の検証を行ったところ、1時間程度のリードタイム確保において本システムが特に有効であることが分かったため、中小河川の水位予測を実施したい他の参考になると考え、紹介する。

キーワード 中小河川、水位予測、氾濫予測、RRIモデル、早期避難

1. はじめに

近年の災害や豪雨は頻発・激甚化しており、全国の河川において氾濫等による浸水被害が多発している。加えて線状降水帯などの局所的集中豪雨が増えてきており、どこで浸水被害が起こるのか予測が困難である。中でも中小河川は特に水位上昇が速く、実況水位の観測情報だけでは避難に必要なリードタイムの確保が難しい状況が増加している。実際に令和2年7月豪雨時において危機管理型水位計を設置している岩倉川(京都市左京区)では、約1時間で観測開始水位(0.84m)から危険水位(断面の7割水深である1.53m)を超過し最高水位(天端高から0.2mほどの1.80m)に達したという事例(図-1.2)がある。



図-2 岩倉川最高水位時の現地状況

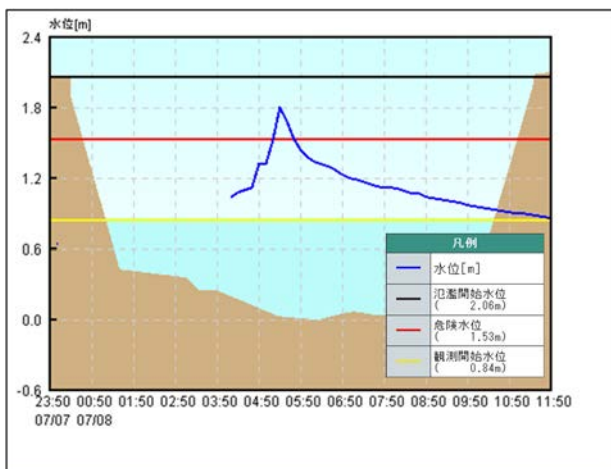


図-1 岩倉川の水位グラフ(令和2年7月8日)

このように急激に水位の上昇する中小河川で避難に必要なリードタイムを確保するためには、実況水位の観測情報だけでなく水位の予測情報も兼ね合わせて提供することが必要である。しかし京都府では鴨川・高野川、桂川・園部川といった比較的大規模な河川については以前より3時間先までの洪水予測を実施しているが、府管理河川の多くを占める中小河川については予測を実施していなかった。そこで京都府では令和3年度から府全域において6時間先までの水位及び浸水区域を予測する「水位・氾濫予測システム」(以下、「本システム」という。)の構築に着手し、令和5年6月から府内市町村の防災部局及び気象台に向けて試験的に配信を行っており避難行動の参考として活用されている。

2. 水位・氾濫予測システムについて

(1) 概要

水位・氾濫予測システムとは国土地理院の地形データ等をもとに構築したモデルに気象庁が配信している降雨予測情報を入力して、京都府全域において水位及び浸水区域を10分ごとに6時間先まで予測するシステムである。府管理河川のうち中規模な37河川(洪水予報河川・水位周知河川)については避難判断水位、氾濫危険水位を、小規模な133河川については氾濫開始相当水位の超過予測をしている。水位については観測局(対象170河川)ごとに予測しており、本システムの画面上で水位予測グラフ(図-3)及び予測値(図-4)を確認することが可能である。浸水区域については地図上の全エリアで浸水深を予測(図-5)し本システムの画面上に表示している。

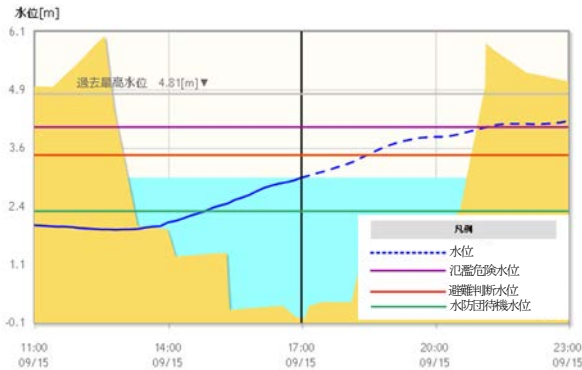


図-3 水位予測グラフ表示イメージ

時刻	水位 [m]	10分雨量 [mm]	累加雨量 [mm]
17:00	3.02	2.7	89.2
17:10	3.06	2.7	91.9
17:20	3.11	2.7	94.6
17:30	3.15	2.7	97.3
17:40	3.20	2.7	100.0
17:50	3.25	2.7	102.7
18:00	3.30	2.7	105.4
18:10	3.36	4.0	109.4
18:20	3.44	4.0	113.4
18:30	3.51	4.0	117.4
18:40	3.59	4.0	121.4
18:50	3.66	4.0	125.4
19:00	3.72	4.0	129.4
19:10	3.77	2.3	131.7
19:20	3.81	2.3	134.0

図-4 水位予測値表示イメージ



図-5 浸水深予測表示イメージ

また、レベル3以上の水位(避難判断水位、氾濫危険水位、氾濫開始相当水位)超過が予測された際にはアラートメールを送信し、危険な状況が迫っていることを本システム利用者に通知することができるようになっている。

(2) モデルの詳細

試験配信開始当初のモデル詳細を以下に示す。

a) モデルの分割

水位及び浸水区域の予測のために京都府全域を12分割(図-6)した降雨流出氾濫モデル(RRIモデル)¹⁾を構築した。

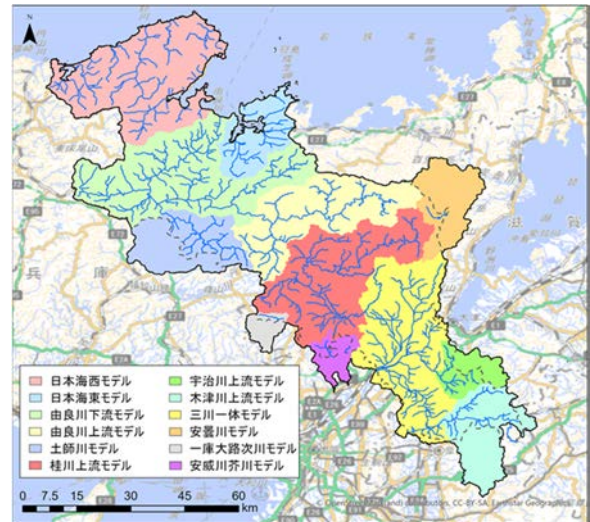


図-6 京都府分割RRIモデル

b) RRIモデル

RRIモデルとは降雨を入力条件として河道流量から洪水氾濫までを一体で解析できる流出解析モデル(図-7)であり、国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センターが開発し一般公開されているものである。一般的な分布型流出モデルと異なりRRIモデルではメッシュの浸水位と周辺の浸水位を比較しながら水面勾配より流下方向を逐次意思決定することが可能なため、流域に降った雨が河川に集まる現象・洪水が河川を流下する現象・河川を流れる水が氾濫原にあふれる現象を流域一体で予測することができる。

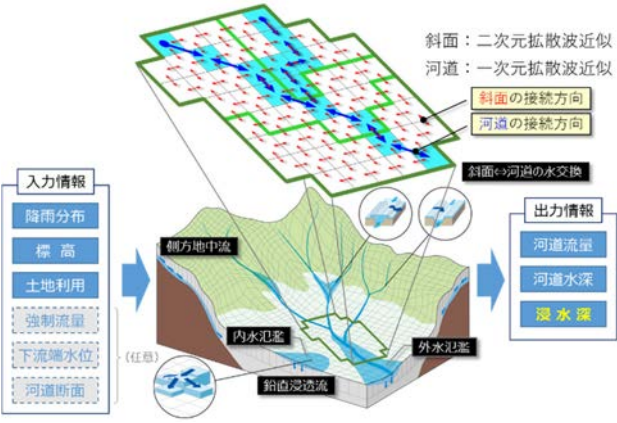


図-7 RRIモデル概念図

c) メッシュサイズと地形データ

本システムではメッシュサイズを約100m×125mとし、京都府内を約43万メッシュに分割した。地形データについては必要となる地盤高データ・流下方向データ・上流集水メッシュ数データが整理された日本域表面流向マップ²⁾を活用して京都府内の均質なメッシュデータを作成し、土地利用については国土数値情報土地利用細分メッシュデータ³⁾を参考に5分類(水田、畑地、山地、都市、水域)の土地利用定数を調整した。河川断面については実断面の横断データがある箇所はそれを採用し、河道メッシュ内に横断が存在しない場合は上下流の断面から内挿断面を作成し採用した。

d) ダム

府内のダム6箇所については操作規則に基づく排水操作について再現できるようモデルを構築した。

e) 管理区間外との境界条件

京都府では国直轄管理区間との境界地点があるため、国直轄管理河川の実況水位値を取得し境界条件として反映した。

f) 降雨プロダクト

本システムに入力する降雨プロダクトは予測雨量として速報版降水短時間予報(6時間先までの予測)を入力し、実況雨量として解析雨量を入力することとした。

g) 計算予測水位の補正方法

モデルの計算により求められた予測水位については降雨誤差や計算誤差を軽減するために、各時刻において現時刻の観測値と計算値との差分を予測時刻に加えるフィードバック補正を行うこととした。

(3) システムの改良(改良モデル)

a) 試験配信後の改良

令和3年度から構築に着手した本システムであるが、試験配信後の市町村要望等をふまえ、令和5年度により精度の高いシステムとするため表-1に示すとおり改良している。

表-1 試験配信後の改良点

項目	詳細
排水機場のモデル化	約10m ³ /s以上の排水機場についてモデル化し、操作規則に基づく排水操作を再現可能とした。
樋門箇所の調整	本川水位が支川水位より高くなった際に、本川から支川へ河川水が流れ込まないように変更した。
入力降雨の追加	高解像度降水ナウキャスト(1時間先までの予測)と速報版降水短時間予報を組み合わせる入力できるようにした。
潮位データの追加	日本海に流出する河川があるため、日本海側の潮位データを取得し予測計算の入力条件となるようにした。

b) 今年度の改良

より精度の高いモデルとするため今年度も改良を予定している。排水機場について既にモデル構築済のものより小規模なものについても追加するため、モデルを構築中である。また、計算により求められた水位の補正方法についても変更を検討している。毎時刻に引き継ぐ計算水位を観測水位で面的に補正し、計算の初期値をデータ同化させることで予測結果の精度を向上させるフィードバック補正(共分散行列補正)に改造中である。その他システムの表示方法などを変更し、利用者にとって操作性の良いシステムとなるよう改良している。

(4) モデルの精度

改良モデルにおいて、過去の出水を再現させた際の実績水位とモデルで計算された水位について精度検証を行った。改良モデルについて、実績値がない等比較が困難な観測所を除いた99観測所におけるピークの水位誤差平均値は0.23m、相関係数は0.874であり、モデルとして高い精度を確保できている。なお、試験配信時のモデルでは水位誤差平均値が0.26m、相関係数は0.868(図-8)であったため、水位誤差平均値が小さくなっていることからその後の改良でモデルの精度が向上していることがわかる。

		改良モデル				試験配信時のモデル			
		水位誤差		相関係数		水位誤差		相関係数	
		平均値	0.5m達成率	平均値	0.8以上達成率	平均値	0.5m達成率	平均値	0.8以上達成率
1	日本海西	0.18	96.5%	0.91	89.6%	0.19	95.7%	0.91	89.6%
2	日本海東	0.16	100.0%	0.93	92.7%	0.16	100.0%	0.93	92.7%
3	由良川	0.35	82.7%	0.90	88.6%	0.51	80.5%	0.89	84.8%
4	桂川上流	0.23	88.5%	0.85	75.0%	0.20	92.7%	0.85	75.0%
5	宇治川上流	0.21	100.0%	0.93	100.0%	0.21	100.0%	0.93	100.0%
6	木津川上流	0.23	92.6%	0.90	96.3%	0.23	92.6%	0.90	96.3%
7	桂川下流	0.20	93.1%	0.84	87.0%	0.20	93.1%	0.84	87.0%
8	三川合流下流	0.17	96.1%	0.84	77.9%	0.18	93.5%	0.84	79.2%
9	木津川下流	0.24	91.4%	0.84	83.8%	0.27	85.2%	0.81	73.8%
10	安曇川	-	-	-	-	-	-	-	-
11	一庫大路次川	-	-	-	-	-	-	-	-
12	安威川芥川	-	-	-	-	-	-	-	-
モデル全域		0.23	91.7%	0.874	85.7%	0.26	90.7%	0.868	83.9%

図-8 水位誤差平均値と相関係数

3時間では約0.4程度である(図-9)。このことから流域面積が大きいほど予測精度が高くなることが分かった。また、大河川だけではなく中小河川においてもリードタイムが1時間の予測では捕捉率が0.8以上と高くなっており、1時間程度のリードタイム確保において本システムは特に有効であると考えられる。

令和5年度の改良や今後の改良により、予測精度の向上が期待できるため、改良後のモデルについても精度検証を行う予定である。また、検証を行う際のリードタイム、流域面積、降雨成因、降雨規模等を変化させて精度検証を行い、本システムの活用方法について検討していく予定である。

表-2 予測モデル評価の手法

観測 \ 予測	予測	超過	超過無し
	超過	真陽性 (TP)	偽陰性 (FN)
	超過無し	偽陽性 (FP)	真陰性 (TN)

3. 予測の精度検証について

(1) 概要

本システムは最新の技術であることから、中小河川を対象とした河川水位の予測精度に関する検証や分析、それらを踏まえた精度向上については全国的にも事例がない。そのため RRI モデルの開発及び研究の実績がある京都大学防災研究所と連携して共同研究を行い予測の精度検証を行っている。

(2) 共同研究の内容について

共同研究では令和3年度から流域面積や降雨の成因、リードタイムによって水位予測の精度がどのように異なるのかを定量的に分析している。令和5年度の研究において、過去4出水の降水短時間予報を試験配信時のモデルに入力し、避難判断水位の予測精度を検証し適中率と捕捉率(表-2)を計算した。その結果、適中率はリードタイム1～6時間の順で0.84, 0.73, 0.63, 0.33, 0.33, 0.33(表-3)であり、捕捉率は0.93, 0.76, 0.60, 0, 0, 0(表-4)であった。本システムのモデルは降雨予測の精度にも影響されるため予測時間が長くなればなるほど適中率、捕捉率ともに低下する傾向が見られた。特に4時間以降は適中率、捕捉率ともに低下しており予測精度の向上は今後の課題となる。

また、流域面積を分類して検証したところ、大河川(流域面積500km²～1250km²)ではリードタイムが1時間から3時間まで捕捉率が1であり、中河川(流域面積100km²～500km²)ではリードタイムが1時間の場合捕捉率が1であるが、2時間では約0.8、3時間では0.7未満である。また、小河川(流域面積5 km²～100km²)ではリードタイムが1時間の場合、捕捉率が0.8以上であるが、2時間では0.7以下、

適中率=
$$\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$$

捕捉率 =
$$\frac{TP}{TP + FN}$$

表-3 4 出水のリードタイムごとの適中率

時間	平成 25 年 台風 18 号	平成 30 年 7 月 豪雨	平成 26 年 台風 11 号	平成 26 年 8 月 豪雨	4 出水 平均
1	0.81	0.79	0.95	0.8	0.84
2	0.64	0.67	0.95	0.67	0.73
3	0.5	0.48	0.95	0.6	0.63
4	0.19	0.19	0.59	0.33	0.33
5	0.19	0.19	0.59	0.33	0.33
6	0.19	0.19	0.59	0.33	0.33

表-4 4 出水のリードタイムごとの捕捉率

時間	平成 25 年 台風 18 号	平成 30 年 7 月 豪雨	平成 26 年 台風 11 号	平成 26 年 8 月 豪雨	4 出水 平均
1	0.87	0.86	1	1	0.93
2	0.63	0.69	1	0.71	0.76
3	0.43	0.41	1	0.57	0.60
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0

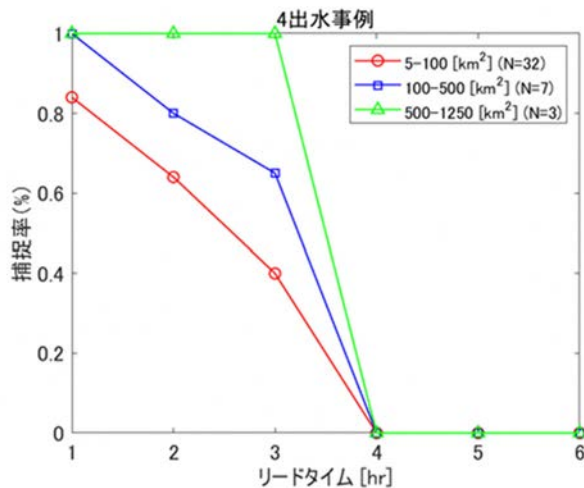


図-9 流域面積とリードタイムによる捕捉率

4. システムの活用について

(1) 令和5年度の予測実績

市町村防災部局向けに配信を開始した令和5年において、超過を予測したのは106回であり、その中で実超過があったのは38回であった。そのうち氾濫危険水位は超過予測が25回で実超過は12回、氾濫開始相当水位は超過予測が81回で実超過は26回であった。予測成功時には10～360分ほどのリードタイムを確保できていた。

(2) 市町村の活用状況

現在京都府内の全26市町村のうち21市町村が本システムからのアラートメールを受信して本システムを起動し、避難行動の参考として活用を始めている。しかし防災担当者に変更があればシステムの操作方法等がわからなくなり、本システムを活用してもらえない可能性がある。そのため毎年出水期前にはシステムの操作説明会を行っている。合わせて過去の出水時のデータをもとに作成したデモサイトのURLを事前に周知し、平常時からシステム操作の訓練ができるようにしている。

合わせて出水期明けには市町村と本システムについて意見交換を実施している。昨年度の意見交換では本システムをどのような場面で活用したいかについて「避難所開設の事前準備」、「ポンプ場やポンプ車を操作する作業職員の出勤判断」、「庁内の待機体制の人員検討」等の意見があった。避難所の開設やポンプ稼働のような作業は時間や手間を要するが遅延できないものである。そのような作業の準備に本システムの予測情報を活用すれば、よりきめ細やかな避難・防災活動が期待できる。

また、本システムはリードタイムを考慮した避難判断水位だけではなくリードタイムの無い氾濫開始相当水位

についても予測しているため、予測情報を有効に使えば今までリードタイムが確保できていなかった河川についても確保していくことが可能となる。

5. 今後の展望について

本システムは降雨予測の精度にも影響されるため水位超過の予測時刻に差が生じたり、空振り(システムで超過予測していたが観測水位は超過以下)や見逃し(観測水位は超過していたがシステムでは超過予測無し)も生じることがある。そのため避難行動においては超過予測を機械的に処理するのではなく、避難行動開始の一つのきっかけとして柔軟に活用していくことが重要であり、それこそが本システムの意義であると考え。今後は本システムの予測情報をもとに、降雨予測の精度によって生じる予測時間等の幅を織り込んだ避難行動タイムラインの構築に向けて各市町村とともに取り組んでいきたい。

また、システムとしての精度向上や活用方法の拡大のために、予測実績については出水ごとに整理を行い水位予測が的中しなかった原因を推定し、もしモデルに問題があると判明した場合は改良を実施していきたい。

そして、現在は市町村防災部局向けに限定して試験配信しているが、将来的には中規模河川から水防法に基づく洪水予報河川の指定を進めた後に一般に向けて本システムの予測に基づく情報提供を行うことで、府民自らの避難スイッチの一つとして本システムを活用してもらいたい。

謝辞: 本論文の執筆にあたり、共同研究を実施している京都大学防災研究所様、本システムの構築及び改良を実施している三井共同建設コンサルタント株式会社様を始め、関係者の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 土木研究所：降雨流出氾濫モデル(RRIモデル) (https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html)
- 2) Institute of Industrial Sciences, The University of Tokyo：日本域表面流向マップ (<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/>)
- 3) 国土交通省：国土数値情報土地利用細分メッシュデータ (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>)