

# 早期・高精度の水位予測情報の発信に向けた 河川氾濫予測システムの改良

阿山 佳樹

兵庫県 県土整備部 土木局 河川整備課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

各地で多発する水害を踏まえ、より早期の避難が可能となるよう、兵庫県が2013年度に構築・運用してきた河川水位を予測する『河川氾濫予測システム』を抜本的に改良した。改良内容は大きく分けて、「予測時間の延伸(3時間先→6時間先)」、「解析手法の改良(分布型流出解析→降雨流出氾濫解析)」、「表示画面の改良」及び「システムサーバの環境変更(オンプレミス→クラウド環境)」の4点で、2020年10月より運用開始に至っている。今後もさらなる改良を行い、早期避難に向けた河川水位の予測精度向上を図る。

キーワード 降雨流出氾濫解析, 水位予測, 避難指示発令時の一助, 河川水位情報

## 1. はじめに

昨今の地球温暖化に伴う豪雨の増加で、各地で水害が多発し、もはや浸水が不可避の状況となっている。

2015年12月10日の「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について～社会意識の変革による「水防災意識社会」の再構築～」の答申においても「施設的能力は限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」へと意識を変革した水防災意識社会の再構築が必要としている。

これに先立ち、兵庫県では、2009年8月の台風第9号による甚大な豪雨被害を受けた。その際の水位上昇が速く、避難やその判断に時間的余裕の少ない上流域や支川での被災を契機に、洪水危険度の判断がいち早く可能な『河川氾濫予測システム』(以下、「本システム」という)を2013年度から県内全河川(685河川)で構築・運用してきた。そのようななか、2015年5月の水防法改正で、浸水想定区域図を「想定し得る最大規模の洪水に係る区域」に拡充する運びとなった。想定最大規模の洪水から命を守るには、より早期の避難と予測時間の延伸等が必須と考え、本システムを抜本的に改良した。

本論では、本システムの改良方針を示し、それに対する改良内容や今後の展望について述べる。

## 2. 改良方針

### (1) 予測時間の延伸

本システムは、3時間先までの河川水位を予測し、兵庫県が阪神・淡路大震災を契機として独自開発した防災システム『フェニックス防災システム』で市町に情報提供している。しかし、想定最大規模の洪水に対する避難は、浸水範囲の広さから広域避難が大前提となるため、少しでも早い避難行動に移れるよう、可能な限り予測時間を延伸する必要がある。

### (2) 解析手法の改良

本システムは、分布型流出解析モデルを採用しており、降雨から河道流出量を算出し、H-Q式で水位に換算しているが、氾濫は再現できない。想定最大規模の浸水想定区域図を公表し、市町にハザードマップ作成を促している以上、避難指示等の判断材料の1つとするには、より実現象の再現性を向上する必要がある。そのため、氾濫解析を導入した内容に改良する必要がある。

### (3) 表示画面の改良

予測時間延伸と解析手法の改良で発信する情報量が増加し、すべての情報を表示すると、閲覧者へ重要な情報が伝達できないことが危惧される。

そのため、閲覧者が知りたい情報を選択・表示するシステムに改良する必要がある。

### (4) システムサーバの環境変更

本システムは、「河川水位を予測するシステム(25システム-17サーバ)」と「その結果を集約して1つの画面で表示する別途システム(1システム-1サーバ)」を、

各々のサーバで構築している。しかし、この仕組みでは、システム障害が発生した場合、原因がいずれのシステムまたはサーバなのか即時に判断することが困難である。サーバが原因の場合、保守業者が兵庫県庁3号館(サーバ設置場所)で対応する必要があった。リスクマネジメントの観点から、台風接近時等の悪天候の最中、移動という身の危険を伴う対応は解消する必要がある。

### 3. 改良内容

#### (1) 予測時間の延伸 (3時間先→6時間先)

予測時間を延伸するうえで重要なポイントが、精度と予測時間とのバランスである。ここで、解析上インプットデータとなる気象庁の予測雨量データにおいて、リアルタイムに近い間隔で提供可能で、短時間で急激に水位上昇しやすい中小河川に適したものを模索した。

予測時間、メッシュサイズ、配信間隔及び配信遅れの4点に着目し、6時間先までの降雨予想、1kmメッシュ、10分間隔配信及び8分配信遅れの速報版降水短時間予報<sup>1)</sup>を採用した結果、6時間先までの河川水位を予測することとした。

#### (2) 解析手法の改良

##### a) 降雨流出氾濫モデル (Rainfall-Runoff-Inundation : RRIモデル) の導入

本システムの解析手法である分布型流出解析モデルは、流下方向をあらかじめ1方向定めて解析を行う。今回の改良で、氾濫状況もわかるよう各メッシュの流下方向を逐次決定し、流出予測に氾濫の影響も考慮できる降雨流出氾濫モデル (以下、「RRIモデル」という) を採用した (図-1・2)。

RRIモデルは、降雨を入力し、降雨-流出から流出-氾濫プロセスまでを流域スケールで一体的に表現でき、内水・外水同時氾濫等、実現象に近い複合型氾濫解析が実現できるモデルである (図-3)。地中流・表面流を考慮する流量流積関係式を基礎式とし、平野部で鉛直浸透流、山間部で側方浸透流が考慮できる。内水は氾濫原を流下し、河道築堤部では、河道水位が堤内地盤高より高い場合は湛水し、低い場合には河道に排水する。

一般的に、浸水想定区域図の検討等で用いられる手法は、降雨から河道流出量を算出する「流出解析」と、河道流出量が溢れ出し、堤内地へ氾濫水として氾濫の挙動を追跡する「氾濫解析」の2段階の解析となる。

今回、導入したRRIモデルは前述したものとは異なり、降雨を入力条件とし、河道流量から洪水氾濫までを一体で解析できる「降雨流出氾濫解析」モデルである (図-4)。

##### b) モデル構築

メッシュサイズは細かなほど小河川の表現が可能であるが、計算負荷が大きくなるため、中小河川を概ね表現できるサイズとして県全域を4秒メッシュ (概ね100m×120m) とした。

6時間先までの予測計算及び、それらの計算結果が10分ごとにリアルタイムで表示可能とするため、県民局等を基に兵庫県全体を8モデルに分割した (図-5)。ここで、RRIモデルの構築には、地盤高データ、流下方向データ及び上流集水メッシュ数データが必要となる。

そのため、これらのデータがすべて含まれる「日本域表面流行マップ」<sup>2)</sup>を使用し、土地利用設定には「国土数値情報土地利用細分メッシュデータ」<sup>3)</sup>を使用した。

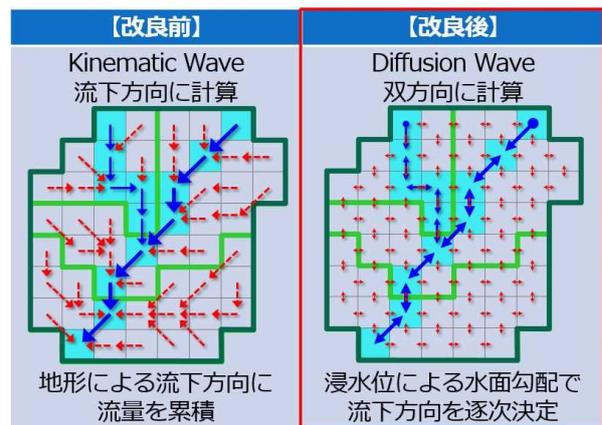


図-1 流下方向イメージ

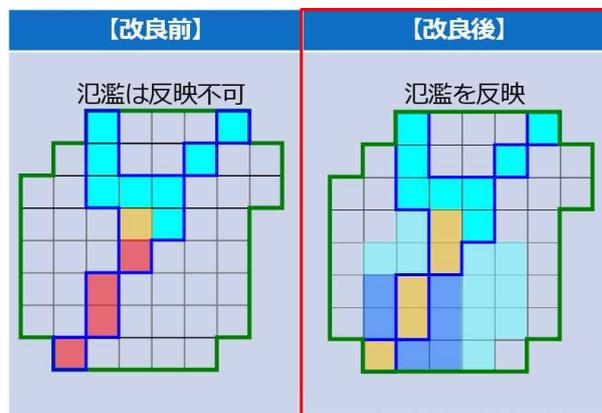


図-2 解析結果イメージ

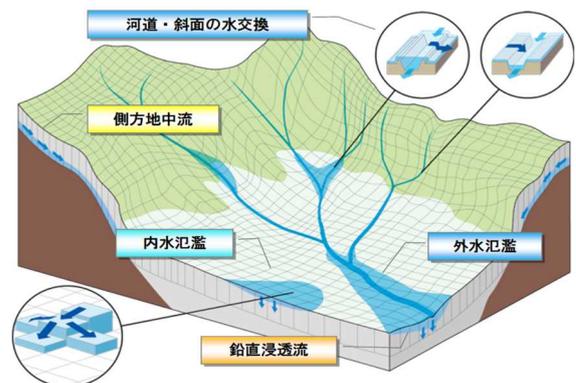


図-3 RRIモデルイメージ

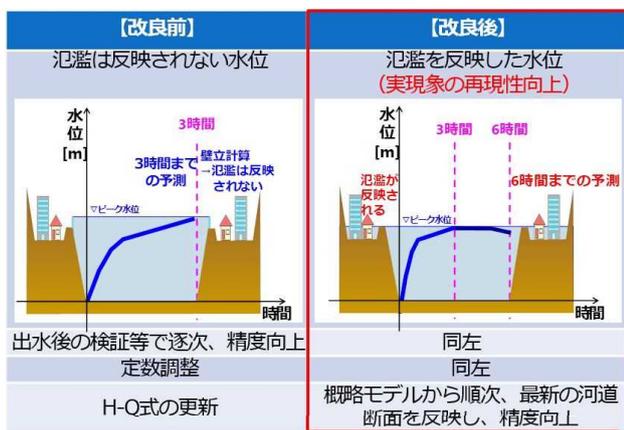


図-4 水位予測イメージ

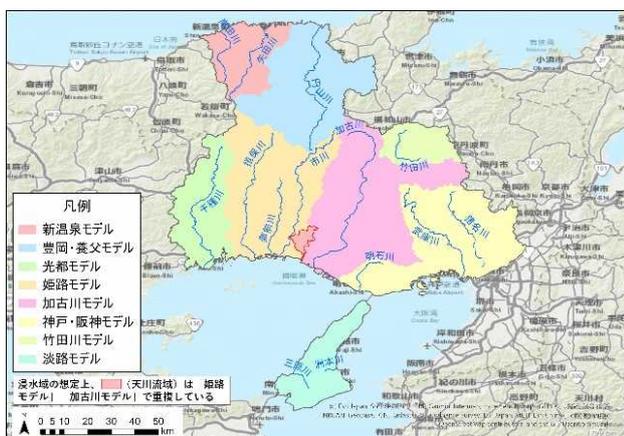


図-5 モデル分割

c) モデル検証

検証対象洪水は、1kmメッシュ雨量が配信された2006年以降の基準地点（もしくは最下流の水位観測所）において、観測水位が高い5洪水を抽出した。実績洪水を再現できるように、河道データの調整と合わせて、土地利用ごとの定数調整を行った。

観測水位と計算水位とのピーク水位差が±50cm以内となる検証結果の割合を「精度率」と定義し、本システム構築時の目標精度率は、「ピーク水位差が±50cm以内となる検証結果を6割以上」のため、本システム改良後も同様とした。現時点で、精度率は全体で約8割程度ではあるものの、河川によってバラツキがあるため、さらなる精度向上を図る（図-6）。

(3) 表示画面

本システムでは、危険度ラインとして一定の区間ごとに、流下能力が小さな箇所等、市町が河川状況を参考としている「評価地点」を設定している。この評価地点において、堤防高一余裕高を基本とした「基準水位」の超過によって「氾濫の恐れあり」を判断しており、「氾濫の恐れなし」が緑線、氾濫の恐れありが赤線に変わって表示される。

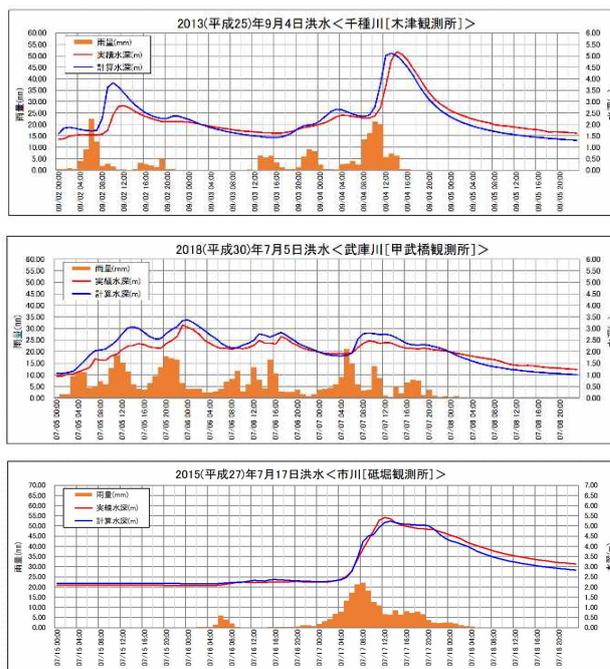


図-6 精度検証結果

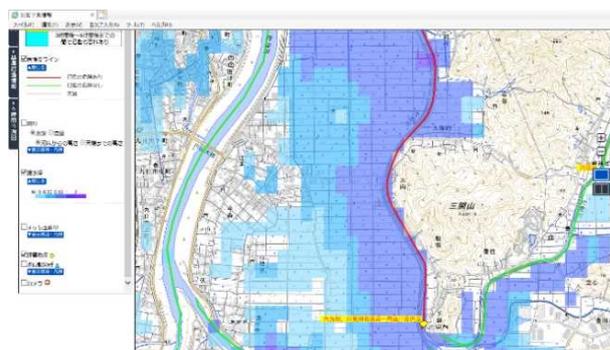


図-7 氾濫状況

解析手法の改良に併せ、表示画面も改良した。全体的な構成は変更せずに、浸水深等の掲載情報が増えたことで、各情報を「表示」「非表示」選択可能とし、閲覧者が欲しい情報を決定・表示する仕組みとした。改良点のうち、新たに追加した主な4点を述べる。

氾濫原の浸水深を深さで色分け表示（図-7）、雨量や河道水位・流量等の多数の情報を表示できることから、1画面（図-8）・2分割（図-9）の切替に加え、2分割画面では、同位置で左右異なる情報や両画面で同じズーム・移動も可能とした。また、任意地点で雨量ハイトや浸水深ハイドロ等の時系列グラフを表示する。

さらに、水位観測所や危険度ラインの危険度を判定する評価地点では、河川水深とともに、横断イメージ及び地点上流域平均雨量も表示する（図-10）。グラフ中央が表示時刻で中央より左が過去、右が表示時刻での予測となる。地点上流域平均累加雨量は、既往洪水や想定最大規模等の雨量と比較できるよう、過去の累加時間を6～72時間で選択し、雨量表示を可能とした。

(4) システムサーバの環境変更 (オンプレミス→クラウド環境)

本システムは、スーパーコンピュータを8モデルに対して8台導入し、順次空きコンピュータで計算することによりサーバ数をかなり削減できた (17サーバ→8サーバ)。モデル等を含むソフトウェアの実装環境をクラウド環境にすることにより、システムの異常・故障が起きた場合の遠隔監視・操作対応が可能となり、安全に稼働できるようにした。

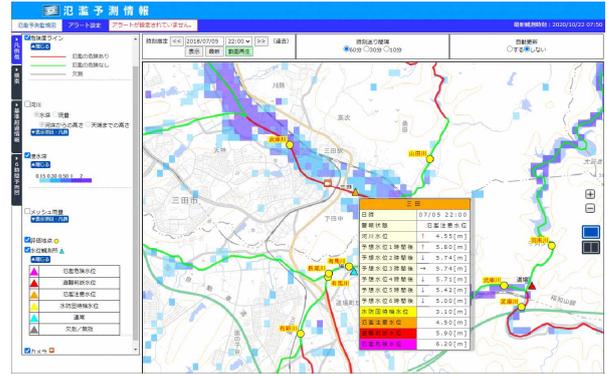


図-8 1画面 (地域詳細図)

4. おわりに

(1) 本システムの改良

兵庫県全域を対象として、リアルタイムに近い配信間隔で6時間先までの河川水位予測を可能とするとともに、RRIによる複合型氾濫解析モデルに改良し、クラウド環境で構築した。また、閲覧者が利用しやすいようweb表示画面を改良し、2020年10月1日より運用開始した。

洪水予測では氾濫を考慮している事例は少なく、システム構築も1水系単位での構築が一般的である。そのようななか、県全河川を対象とし、浸水状況も考慮した広域のリアルタイム水位予測は、自治体としては、先進的な取り組みと考える。

(2) 今後の展望

今後も「最新の河道断面のモデルへの導入」や「ダムモデルの追加」に加え、「洪水後、仮設水位計を活用した精度検証」等に取り組み、継続して精度向上を図る。

いざ氾濫が発生しても、浸水の範囲と程度の現状把握にも時間を要するなか、解析ではあるものの、浸水状況が想定できることは避難活動等の一助になると考える。

そのため、本県及び市町の職員が本システムの内容を理解するとともに、さらなる有効活用に向けて、継続して操作説明会(写真-1)や水防連絡会等で周知し、よりよい運用を図っていきたい。

そして、本システムが避難指示等の発令判断の一助となり、地域住民が早期の避難行動をとった結果、人的被害が防止されれば幸いである。

参考文献

- 1) 一般財団法人 気象業務支援センター「速報版降水短時間予報」  
<http://www.jmbc.or.jp/jp/online/file/f-online30450.html#kou-tan>
- 2) 日本域表面流向マップ  
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/JapanDir/>
- 3) 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ,  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>,

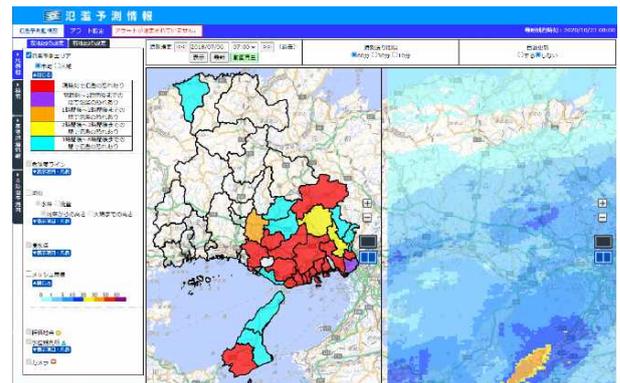


図-9 2分割画面  
(左:氾濫予測監視図・右:メッシュ雨量)

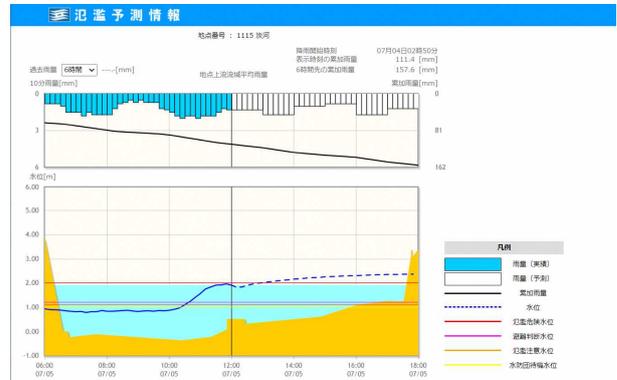


図-10 水位予測図



写真-1 操作説明会状況