

洪水予測の高度化に向けて

岡田 七美¹

¹中部地方整備局 河川部 水災害予報センター (〒460-8514愛知県名古屋市中区三の丸2-5-1)

国の洪水予報河川において、本川・支川（県管理区間）一体で水位予測を行う事により、予測精度の向上、洪水予報の早期化等を図るなど、流域・水系全体としてきめ細やかな取り組みが出来るよう進めている。一方、気象業務法及び水防法が改正され、都道府県知事の求めに応じ、県管理区間の予測水位情報を、国から県に提供出来る事となり、支川（県管理区間）においても、洪水予報河川の増加や洪水予報の早期化を目指している。

これらの経緯を踏まえ、現行モデルの更なる予測精度向上を目指し、最新の知見に基づく新モデルの構築を行っている事から紹介する。

キーワード 気象業務法改正、水防法改正、新モデル（RRIモデル）の構築

1. はじめに

(1) 洪水予測における精度向上の必要性（目的）

近年、災害の激甚化・頻発化により、甚大な被害が全国で発生している。また、今後、気候変動に伴い災害リスクが更に高まっていくことが懸念される中、ハード・ソフト一体となった防災・減災対策が重要である。

国土交通省は、国が管理する河川のうち、水防法に基づき指定した河川について、気象庁と共同して洪水予報を実施している。また、都道府県は、都道府県が管理する河川のうち、水防法に基づき指定した河川について、気象庁と共同して洪水予報を実施している。

洪水予報は河川の増水や氾濫などに対する水防活動の判断や住民の避難行動の参考となるように、河川において区間を決めて実施しており、基準観測所における河川水位の状況、6時間先までの予測水位を記載している。

なお、「避難情報に関するガイドライン（内閣府）」において、洪水予報河川、水位周知河川（洪水予報指定河川以外の河川のうち、洪水により国民経済上重大な損害を生ずるおそれがあるものとして指定した河川）における増水・氾濫は避難情報の発令対象とされており、自治体において洪水予報や水位到達情報等に基づいて避難情報の発令基準を設定することとされている。

国の洪水予報河川では、予測水位を活用し、急激な水位上昇の際にも的確なタイミングで避難指示の発令を支援できるよう、「氾濫する可能性のある水位」を定め、河川の特性を踏まえつつ基本的に3時間先までにこれに到達すると見込まれる場合は、氾濫危険水位到達前であっても警戒レベル4相当の氾濫危険情報を発表できるこ

ととされた。

これらのことから、洪水予測の精度向上が必要となっている

(2) 本川・支川が一体となった洪水予測

近年の頻発・激甚化する気象災害を背景に、社会全体において防災対応や事業継続に対する意識が高まっている状況を踏まえ、2021年の「洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会報告書」において、一級水系では国が中心となり本川・支川が一体となった河川水位予測モデルの構築を目指すべきであると提言された。

また、国管理区間、県管理区間を問わず、本川・支川一体で水位予測を行うことにより以下のような効果が期待できる。

- ①支川の水位・流量を精度良く考慮することによる本川の予測精度の向上
- ②本川の背水（バックウォーター）を適切に考慮することによる支川の予測精度の向上
- ③下流本川と上流支川で整合のとれた河川水位予測により信頼性の向上
- ④点で把握していた支川の水位予測情報を線情報として把握が可能
- ⑤予測精度の確保が難しかった水位周知河川の予測精度の確保が可能

これにより、洪水の危険性を流域全体で俯瞰的に把握可能となることと合わせて、流域・水系全体の河川水位予測の精度、信頼性向上を図ることが可能となる。

(3) 気象業務法及び水防法の改正・県との協定

国管理区間における予測水位の精度向上の一環として、

本川・支川一体予測を行うことに伴い、国管理区間の水位を予測する過程で県管理区間の予測水位が取得可能となる。

2023年5月5日公布の「気象業務法及び水防法の一部を改正する法律」において、県知事からの求めに応じて、国が取得した予測水位を提供可能となり、県知事と気象台はこの情報を踏まえて洪水予報の発表が可能となった。

法改正後に管内の各県と調整し、水位の提供に関する包括的な協定を締結した。協定締結により、各県へ本川・支川一体予測の過程で取得可能となった県管理区間の予測水位の提供や、提供した水位により県が洪水予報の発表を行うことが可能となったため、本川・支川が一体となった洪水予測精度向上の必要性が高まった。

2. RRIモデルの構築（土研分布モデルとの違い）

洪水予測は水害リスクラインとして2019年9月より一般公開しており、2021年6月からは3時間後まで提供していた予測を6時間後までに延長している。

洪水予測は降雨から河川へ流入するまでを計算する流出モデルと河川の水位を計算する河道モデルの2つから構成されている。

現行の水害リスクラインは流出モデルに土研分布モデル、河道モデルに次元不定流モデルを用いている。土研分布モデルは3段タンクモデルとKinematic Waveモデルから構成されている。また、河道モデルに次元不定流モデルを用いることで水位観測地点に限定されない縦断的な水位予測が可能となっている。

先述したとおり、洪水予測の高度化が求められており最新の知見に基づく新モデルであるRRIモデルを流出モデルに用いた水害リスクラインの構築に取り組んでいる。

RRIモデルの特徴は河道からの氾濫や堤内地からの戻り現象を考慮できるという点にあり、斜面、河道、氾濫の各過程において、相互に水が移動することで、河川の縦断的な流量変化を計算することが可能となっている。

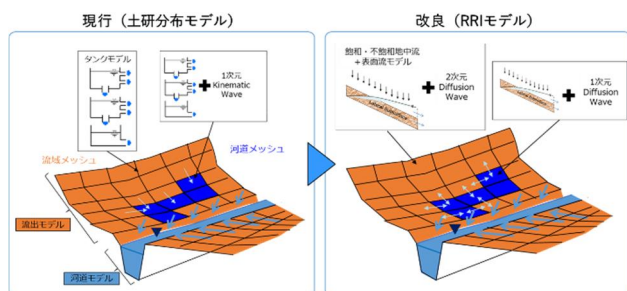


図-1 流出モデルの対比

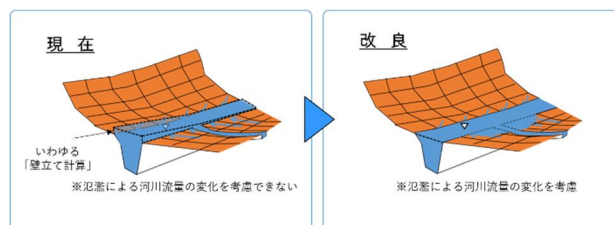


図-2 河道モデルの対比

3. 洪水予測の高度化に向けた実施内容

中部地方整備局においては、新モデルであるRRIモデルを用いた洪水予測のモデル化を2022年に行い、2023年より洪水予測の高度化に向けた検討を行っている。洪水予測の高度化に向けては利便性の向上を目的とした予測情報の拡充と洪水予測の精度向上の2つの観点から取り組んでいる。

(1) 予測情報の拡充に向けた取り組み

a) 不定流河道モデルの延伸

現行の水害リスクラインにおいてもすでに一部区間を不定流河道モデルとしているが、洪水の流下現象をより詳細に評価し下流での予測精度の向上に繋げつつ、県管理区間での水位予測の拡充のため不定流河道モデルの延伸が重要である。一方で不定流河道モデルの延伸は予測計算の長時間化に繋がるため、必要性に応じて対象区間の選定が必要となる。

不定流河道モデルの延伸区間として都道府県管理の洪水予報河川、水位周知河川を網羅することを基本とし、流域面積の大きさや洪水予報・水位周知区間と近接しているか等の観点からモデル化すべき区間を評価し、優先度の高い区間についてモデル化を行った。

b) ダムモデルの拡充

本川への洪水調節効果が期待される多目的ダムを中心にモデル化を行っていたが、利水ダムにおいても特に出水初期は流入量と放流量が同量ではないことが多く、下流の流量への影響が考えられる。県管理区間への洪水予測の拡充に当たって課題となることも考えられるため、流域の状況に応じて利水ダムについてもモデル化を行った。また、ダムモデルの追加だけでなく、近年は治水協定による事前放流も実施されていることから、すでにモデル化したダムにおいても事前放流を反映できるようモデルの改良を行った。

(2) 洪水予測の精度向上に対する取り組み

洪水予測の精度向上においては、水位予測のベースとなる降雨からの流出を適切に評価することが重要であり、以下では、流出量の精度向上に主眼を置いた取り組みを紹介する。

a) 同定洪水・検証洪水の選定

RRIモデル構築に使用する同定洪水・検証洪水は、各流域に発生し得る洪水を網羅的に選定し、未知の洪水波形に対しても柔軟に対応できるモデルとして構築していくことが重要である。

このため、洪水選定に当たっては、2段階での選定を実施し、1次選定としては、水位が高い時に精度の高い予測が重要となるため、洪水時の最高水位とピーク流入量から洪水規模を評価し選定した。

続いて、2次選定では、1次選定洪水を対象に、洪水規模だけでなく降雨の時空間分布の観点も考慮し、あらゆる降雨パターンを選定することを検討した。

降雨の時間分布は流域全体の流域平均雨量（24時間）を対象として、各洪水の降り始めからピークまでの時間を算定し、降雨が短時間に集中しているか（ゲリラ型）、あるいは長時間に亘っての降雨か（ダラダラ型）を確認した。主要洪水のうち、最も短時間の降雨であった洪水を10点とし、その他洪水は最も短時間の降雨であった洪水に対する比率により数値化した。

降雨の空間分布は流域全体の流域平均雨量と同定対象流域別の流域平均雨量を比較し、同程度であるか（一様な降雨）、ばらつきがあるか（偏りのある降雨）を確認した。主要洪水のうち、最もばらつきが大きかった洪水を10点とし、その他洪水は最もばらつきが大きかった洪水に対する比率により数値化した。

以上より、降雨の時間・空間分布を数値化した結果を図5のように整理し、多様な降雨特性の洪水を選定可能とした。

2段階の選定を行い、各水系において降雨特性を考慮した5洪水程度を同定洪水・検証洪水として選定した。

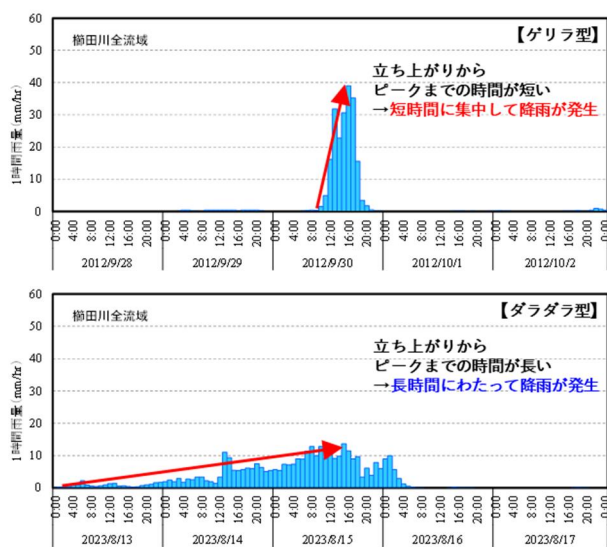


図3 降雨の時間分布

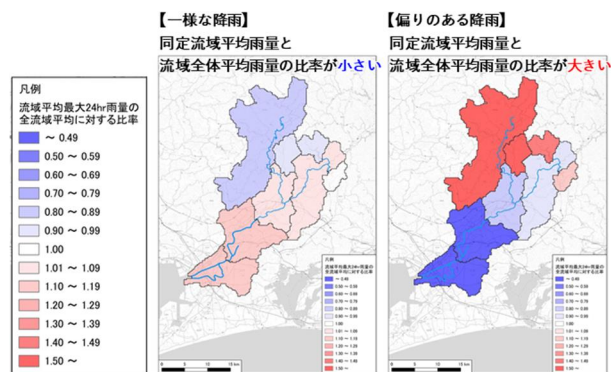


図4 降雨の空間分布

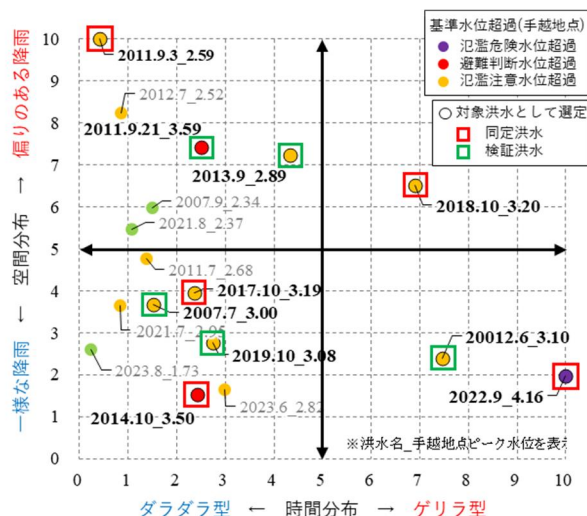


図5 数値化した洪水の分類

b) 同定地点の追加

同定地点の対象流域の広さ、ダム施設の有無等の現地状況や、2022年に構築したRRIモデルにおける流量の再現性を確認の上、同定地点の追加（流域の細分化）を行うことでより、面的にきめ細やかなパラメータ設定を行った。また、不定流河道モデルを延伸した指定区間では、当該区間での流量の再現性を向上させるために、指定区間の水位観測所を同定地点に追加した。

c) クロス計算によるパラメータ設定

RRIモデルのパラメータ同定は通常、同定対象洪水でパラメータ同定を行い、設定したパラメータを検証対象洪水に適用することでパラメータの妥当性を評価するが、今回は検証対象洪水においてもパラメータ同定を行い、同定対象洪水に適用することでパラメータの妥当性を評価するクロス計算を行った。クロス計算を行うことで2パターンでのパラメータが得られるため、より実績値と適合性の高いパラメータを設定することができる。

クロス計算の結果、再現精度が高いパラメータは水系や同定地点によって異なっており、同定地点別に精度が高い方のパラメータを設定した。

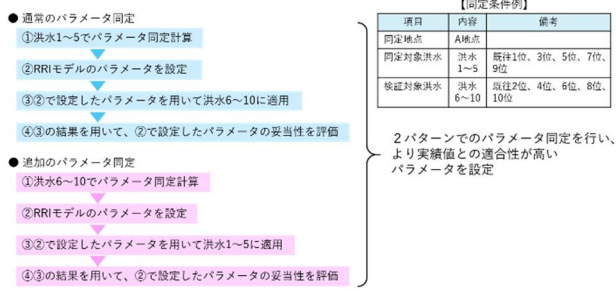


図-5 クロス計算によるパラメータ設定

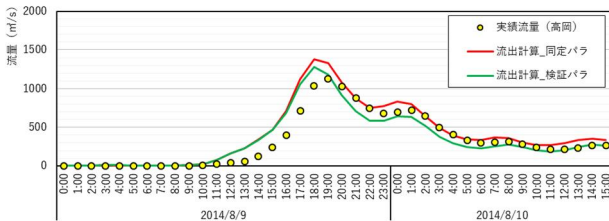


図-6 クロス計算による比較

d) 浸水実績との整合

流出と氾濫を流域一体で表現可能であるRRIモデルの特徴を踏まえ、浸水実績を有する区間では、浸水実績との再現性を検証することで流量や水位の再現性向上を図った。

RRI解析モデルにより算出した河道溢水状況及び表面流（深水深）分布において、浸水実績の再現性と水位・流量実績の再現性を確認の上、双方の適合性が向上するようにRRI河道の河岸高等の調整を実施した。

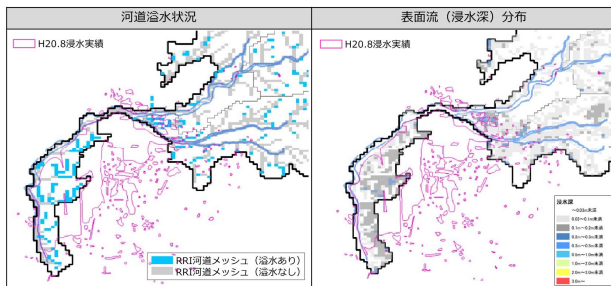


図-7 浸水実績の再現性

4. 現行水害リスクライン（土研分布モデル）とRRIモデルの精度比較（現状）

上記の検討を行った上で、現行の水害リスクラインと新しく2022年にモデル化したRRIモデル、2023年に改良したRRIモデルにおいて洪水予測の予測水位を比較した。図-8は精度比較の一例である。

現行水害リスクラインでは実績水位を概ね捉えているが、水位の立ち上がりや過少に予測されておりピーク水位を捉えられていない。

これに対し、2022年モデルでは水位の立ち上がりや下降においてずれが生じているが、2時間前の予測においてはピーク水位を捉えている。

2023年モデルでは、水位の立ち上がり・ピーク・下降のいずれにおいても実績水位を捉えることができています。

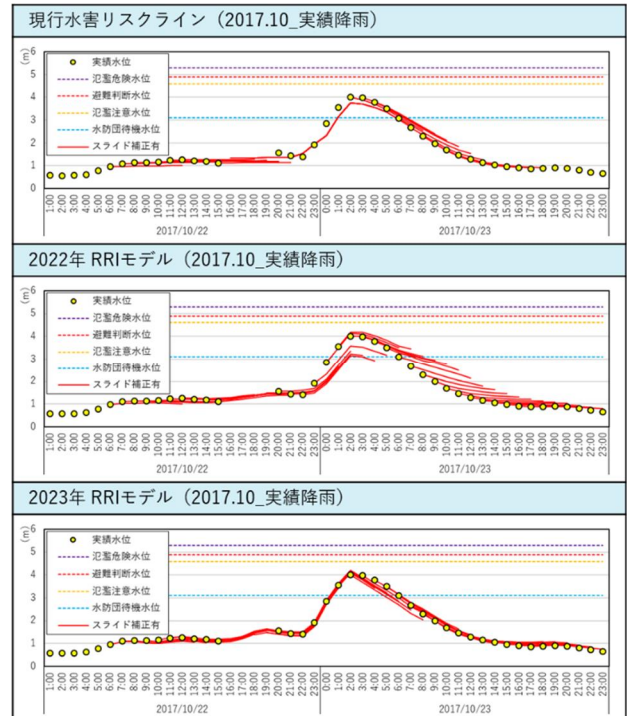


図-8 精度比較

5. 今後の予定

構築したRRIモデルは過去洪水による精度検証に留まっており、実況データを用いた洪水予測を行うまでには至っていない。現在は、実況データを用いてリアルタイムに洪水予測が行えるようサーバへのインストールを進めているが、リアルタイムでの運用に必要な計算時間（10分）を超過し、予測結果の表示が遅延するという課題が見られる。このため、各予測地点の計算時には、流域全体ではなく、地点ごとに予測に必要な範囲を設定し計算することで計算領域の縮小を図ることや、水系内の関連性の低い小流域での計算を並列的に実施する等、計算時間の短縮化に取り組んでいる。また、インストール完了後は、安定して稼働しているかやリアルタイムでの洪水予測の精度を確認し、更なる精度向上に繋げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 佐藤敬洋, 岩見洋一: 降雨流出氾濫 (RRI) モデルの開発, 土木技術資料, 第56巻, 第6号, p.18～21, 2014