

# 中山間地河川における洪水予測手法の提案

菊森佳幹・江頭進治・原田大輔・中村要介

## 1. はじめに

2016年8月台風10号により、岩手県小本川流域において発生した洪水災害は、中山間地河川特有の洪水と土地利用等の社会条件が相まって引き起こされたもので、流域全体で死者19名、行方不明者2名の犠牲者を出している。同様の災害は、2017年九州北部豪雨災害、2014年8月豪雨等においても見られており、近年中山間地河川の洪水による人的被害が顕在化している。

現在、大河川では水位情報や洪水予測情報が、比較的規模の大きい河川においては水位情報が提供されているものの、規模の小さいほとんどの中小河川では、水位の観測・周知や予測がされていないため、洪水時の避難に係るトリガー情報がなく、多くの住民が洪水リスクに曝されている。一方で、中山間地河川では、近年の豪雨災害を踏まえて危機管理型水位計（洪水時のみの水位観測に特化し、機器の小型化や通信機器等のコストを低減した水位計）の設置が進められている。ただ、このような流域の小さい河川は豪雨時の水位上昇速度が極めて大きいため、安全な避難を誘導するためには、水位情報の提供と併せて、今後水位計を活用した水位予測を行うことにより、少しでも長いリードタイムを確保することが重要となる。

これまで小規模な中山間地河川に洪水予測システムが普及しなかった要因としては、従来の大流域用の洪水予測システムは複雑なメカニズムを有し、導入には高度な専門知識を有する技術者を要するため、コストが高くなることが考えられる。

このような状況を踏まえ、土木研究所水災害研究グループは、中山間地河川等の小規模流域に簡便に導入できる洪水予測手法の研究を進めており、これまでの検討状況をここに報告する。

## 2. 洪水予測システムの概要

### 2.1 洪水予測システムの構成

本洪水予測手法を稼働させるための洪水予測システムは、図-1に示すとおり「降雨データインポート」、「降雨流出解析」および「流量—水位変換」の3つの部分から構成される。

降雨データインポートでは、現時刻までの実績雨量と予測雨量を取得し、降雨流出解析モデルに入力できるようにフォーマット変換を行う。

降雨流出解析では、降雨データを用いて洪水予測対象地点の河道断面における流量を算出する。降雨流出解析モデルとしては、本手法では合理式<sup>1)</sup>とRRIモデル<sup>2)</sup>を提案している。

流量—水位変換では、予測対象地点における河道断面の流量—水位関係から、降雨流出解析によって得られた時系列の流量データを水位データに変換する。流量—水位関係の作成に当たっては、流量が河道の流下能力を大幅に上回るような洪水流が実際に流れる断面（河道断面のほか、谷底平野等では、はん濫域を含む流下断面）において、河床材料、断面形状および植生等の条件を用いて粗度を設定し、等流近似によって求めることとする。

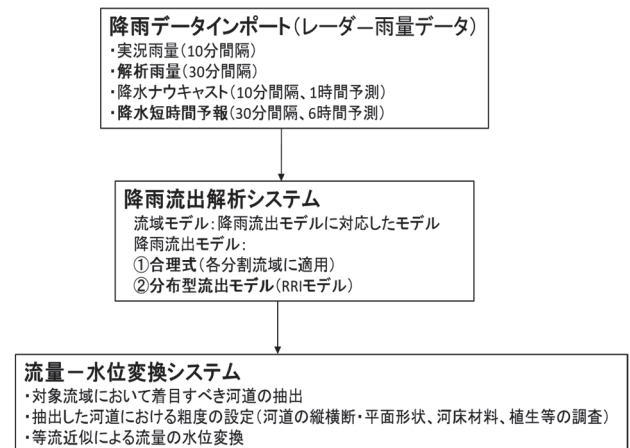


図-1 洪水予測システムの構成

### 2.2 リードタイム

洪水予測システムの有効性を確認する指標とし

て、リードタイムを用いることとする。ここで、リードタイムとは、河川水位が危険な状態（例えば、氾濫危険水位や堤防の整備が十分でない場所では堤防越水が発生する水位や氾濫原の地盤高に達する水位等を超える状態）に達することを予測した時刻と実際その水位に至った時刻の時間差と定義する。沿川住民が安全に避難できるためには、危険な状態に至ることをより早期に予測して、できるだけリードタイムを長く確保することが有効である。例えば図-2において、建物床高に水位が達する状態を危険な状態とすると、この水位に達することを予測したのは14:00時点で、この時の予測では19:30頃に危険な状態の水位に達するとしている。この場合のリードタイムは5時間30分程度と言える。なお、実際に危険な状態の水位に達したのは20:00である。ただし、雨量データの受信および演算等に10分程度の時間を要するため、実際のリードタイムはこれより若干短くなるが、ここでは簡略化のため受信・演算等に要する時間は考慮していない。

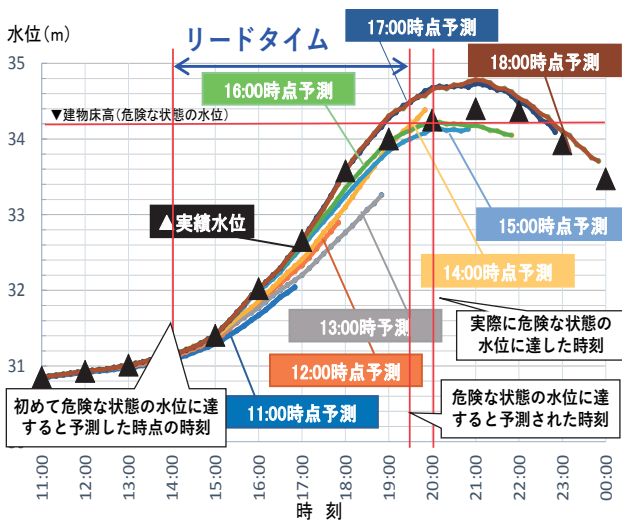


図-2 リードタイムの定義

### 3. 降雨流出解析モデル

降雨流出解析モデルとしては、合理式とRRIモデルの2種類のモデルを考える。通常、降雨流出モデルは、流域の土壌内や表層における水の移動をモデル化するため、多くのデータの加工処理やモデルパラメータの設定が必要となり、対象流域への適用には多大な労力や費用が必要となる。それに対し、合理式はモデルの簡素さにより、RRI

はユーザインターフェイスにより、適用の簡便化を図ることとしたものである。

合理式は、斜面流出を主体とした集中型モデルであり、パラメータ調整等の扱いが容易であるが、緩勾配の流域には適さず、また前期降雨を評価できない等、対象流域や対象洪水が限定的である。ここでは、対象流域を分割し、分割流域毎に合理式を当てはめ、それらの計算結果を統合することにより、対象地点の流量を推計する手法を用い、降雨の空間分布を考慮できるようにした。

RRIモデルは分布型モデルであり、斜面流出のほか地中流も表現できるので対象流域は合理式よりも適応範囲が広い。一方で、パラメータ調整等は合理式ほど簡易ではない。

#### 3.1 合理式

合理式モデルを用いて時系列雨量データから対象地点の流量時系列データ（流量ハイドログラフ）を得る方法について述べる。

##### (1) 流域分割・雨量データ作成

流域全体の雨量の空間分布を考慮できるように流域を概ね50km<sup>2</sup>以下になるように分割し、分割流域ごとに流域平均雨量の時系列データを作成する。

##### (2) 分割流域の流量時系列データの算出

時系列雨量データからそれぞれの時刻ごとにピーク流量式と洪水到達時間式（角屋式<sup>1)</sup>）から流量と洪水到達時間を求め、それぞれの時刻から洪水到達時間後の時刻におけるピーク流量をプロットする。各プロットの包絡線を結んで各分割流域ごとの流量ハイドログラフを得る。

流域特性によって定まる係数（C）については、山林の値である290を基本とする。流出係数（f）は、河道計画検討に用いられる山林の値である0.7を基本とする。

##### (3) 分割流域の流量の合成

各分割流域の流量ハイドログラフを洪水の流下時間を考慮して合成する。流下時間の算定には、クラーク式<sup>2)</sup>を用いる。

##### (4) 合理式による解析事例

図-3に合理式の洪水解析事例を示す。本解析は、1kmメッシュ解析雨量・降水短時間予報GPV<sup>4)</sup>の雨量データを用いて、2016年8月の台風10号豪雨による9名の犠牲者を出した高齢者グループホームがあった小本川乙茂地区地点における水位を予

測したものである（流量から水位の変換は等流近似を用いた）。建物床高を被害が発生し始める時刻とすると、12:00時点で17:20ごろに建物床高に達することを予測しているため、リードタイムは5時間20分ということになる。なお、既往の調査<sup>6)</sup>によると、18:00ごろに建物床高に水位が上がってきたとのことであった。本事例では降雨の予測精度も高かったため、水位を精度よく予測できたと考えられる。

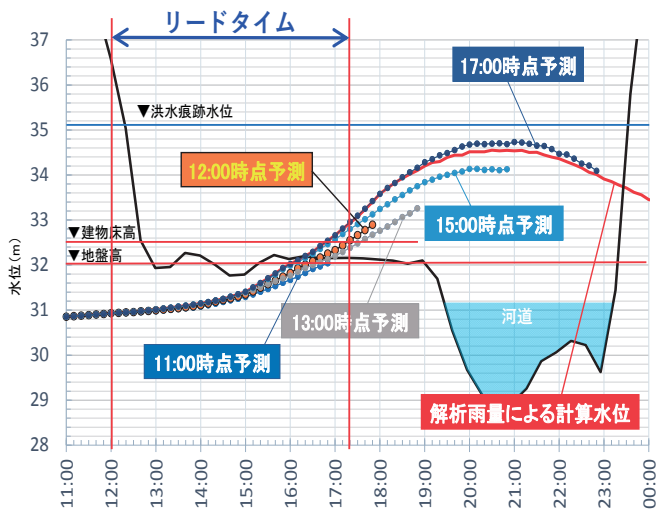


図-3 合理式による水位予測事例

### 3.2 RRIモデル

RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) モデルは降雨を入力条件とし、河道流量から洪水氾濫までを流域スケールで一体的に解析できる分布型モデルである。以下に、このモデルの中小河川洪水予測への適用について述べる。

#### (1)RRIモデルによる流出解析

RRI モデルは、国土地理院の HP よりダウンロードできるメッシュ標高データを用いて表層地形を表現し、降雨流出も平面二次元流れとして解析するものである。そのため、降雨流出特性をメッシュ単位で表現でき、降雨の空間分布の影響も考慮できる。

斜面流出過程については、山地のように側方地中流が卓越する区域と平地のように鉛直浸透流が卓越する区域を土地利用条件等から選択することができるが、中山間地河川では流域の大半が山地であると考えられるため、ここでは土地利用の分類はすべて山地として取り扱っている。本モデルでは、斜面や河道の流出過程は移流項を省略した

運動方程式において、Diffusion Wave 近似によって追跡され、洪水氾濫域と河道との水交換も考慮されている。表層土壌に係るパラメータについては、当面の標準値を設定しておき、出水を経験する度に調整を行い、より適切な値に収束することを目指すこととしている。

河道メッシュの任意の地点において流量の出力ができるため、当該地点において水位流量関係式を作成すれば、そこでの河川水位を評価することができる。

#### (2) RRIモデルによる解析事例

図-4に2017年7月九州北部豪雨における花月川（大分県日田市）の花月水位観測所地点の水位予測結果を示す。降雨データは、3.1の合理式と同様、1kmメッシュ解析雨量・降水短時間予報GPVを用いて、流量—水位変換式は、既往の出水履歴から作成した。図-4によれば、観測水位がピークを迎える19:00より6時間程度前の12:30の予測（図中⑤）以降から予測水位が上昇し始め、水位上昇過程においてはRRIモデルによる計算水位は観測水位とよく一致している。しかし、15:30までの時点では予測時点から2時間程度先以降は、予測水位が下降に転じており、過小評価となっている（図中⑤～⑩）。これは、予測時点における予測雨量が実績雨量より小さかったためである。その後、予測雨量が豪雨を捉え予測雨量の精度が改善することにより、予測によるピーク水位やその発生時刻が観測値に近づいている。16:00時点の予測（図中⑫）では、はん濫危険水位を超えることを初めて予測しているが、予測では19:00頃到達しているのに対して、観測水位がはん濫危険水位に到達したのは18:00であるので、リードタイムとしては2時間程度と言える。なお、小本川にもRRIモデルを適用したが、その結果では、リードタイムは5時間以上となっており、合理式と概ね同様な値が得られた。



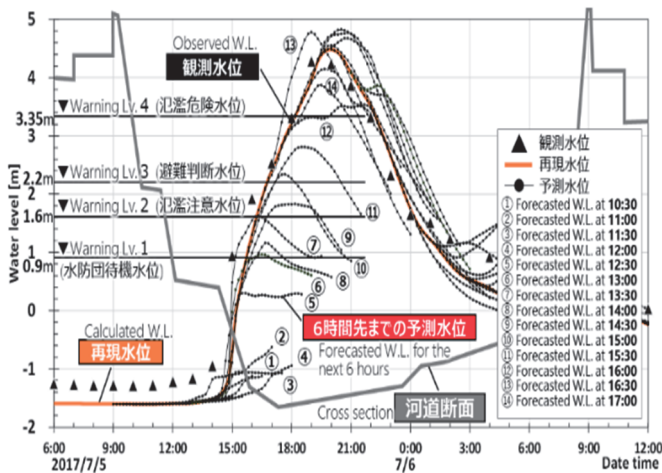


図-4 RRIモデルによる水位予測事例

#### 4. まとめ

本研究においては、中山間地河川等の小規模流域へ簡便に導入できる洪水予測手法を提案した。近年発生した洪水に適用した結果では、リードタイムが2時間から5時間程度となった。予測水位と実績水位には差があるものの、ある程度のリードタイムが確保されていることから、本手法は避難の判断・行動に活用できる可能性がある。また、現在危機管理型水位計の導入が進められているが、それらのデータを、予測計算に反映することができれば、予測精度がさらに向上することが考えられる。さらに、気象庁においては、降雨の予測精度向上について取り組んでいるところであり、降雨の予測精度が向上すれば、それに伴ない洪水予測の精度向上に繋がるものと期待される。

ここで提案した手法や、研究成果の現場への導入については、今後より一層検討を重ねるため、本手法のコンセプトを共有し、行政や学識者の方々からご意見等をいただくため、手引書<sup>6)</sup>をまとめている。

先般発生した平成30年7月西日本豪雨においては、多くの河川において未曾有の規模の洪水により多数の犠牲者を出している。このような災害を回避・軽減させるためにも、今後、本予測手法の実河川への適用を進め、避難誘導等洪水危機管理の観点から予測精度の検証・向上を図っていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 角屋陸、福島辰：中小河川の洪水到達時間、京大防災研究所年報第19号1B、1976
- 2) T. Sayama, G. Ozawa, T. Kawakami, S. Nabesaka, K. Fukami: Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin., Hydrological Sciences Journal 57.2, pp.298-312, 2012
- 3) 日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編、p.88、1998
- 4) 気象庁予報部：配信資料に関する技術情報（気象編）第193号～1kmメッシュ解析雨量・降水短時間予報GPVの提供について～、2005
- 5) 避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインに関する検討会（内閣府）：岩泉町の被害実態と関係省庁の取り組み：  
[http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/161027\\_siry01.pdf](http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/161027_siry01.pdf)、2016
- 6) 伊藤弘之、江頭進治、菊森佳幹、原田大輔、中村要介、池内幸司：中山間地河川における洪水予測手法の開発、土木研究所資料第4376号、2018

菊森佳幹



土木研究所水災害研究グループ 主任研究員、博士（工学）  
Dr. Yoshito KIKUMORI

江頭進治



土木研究所水災害研究グループ 研究・研修指導監、工博  
Dr. Shinji EGASHIRA

原田大輔



土木研究所水災害研究グループ 専門研究員、博士（工学）  
Dr. Daisuke HARADA

中村要介



土木研究所水災害研究グループ 交流研究員  
Yosuke NAKAMURA