

第II部門 サブグリッド河道を導入した RRI モデルによる中小河川流域の流出解析精度検証

京都大学大学院工学研究科	学生員	○中村 菜々子
京都大学防災研究所	正会員	佐山 敬洋
京都大学防災研究所	正会員	菅原 快斗
京都大学防災研究所	正会員	田中 智大

1. 研究の背景と目的

近年、計画降雨を超過する降雨が増加しており、それに伴って洪水被害の増加が懸念される。洪水被害を軽減するためには、適切な予警報および事前のリスク評価が重要である。これらの基礎となる流出モデルの 1 つに RRI モデル (Sayama, 2012)がある。Sayama et al. (2025) は地質や土壌分布を反映したパラメータ同定により、RRI モデルの洪水予測精度を向上させた。しかし、中小規模の流域では、ピーク流量を過小評価する傾向にあった。この問題を解決するため、佐山らは、従来の RRI モデル (RRI v1) のグリッドセルの中にサブグリッド河道を導入した RRI v2 を開発した。本研究では、中小河川における過小評価の問題が解決するかを確かめ、RRI v2 の特徴を考察することを目的とする。

2. RRI v1 と RRI v2 の構造

RRI v1 は斜面のセルと、河道と斜面が共存するセルの 2 種類から構成される。流域に降った雨が、指定する数~数十セルを通過すると河道に合流するという特徴がある。全国に適用した RRI モデルのグリッドセルの大きさは 150m であり、中小河川の場合、モデル上で雨水が斜面を流れて河道に行き着くまでに通る長さは、実際よりも大幅に長くなる。

一方 RRI v2 は、河道と斜面が共存するセル 1 種類のみから構成され、降雨流出、河道追跡、氾濫解析の 3 層の構造を持つ。最大の特徴は河道追跡のレイヤーにおいて全てのグリッドセルに河道を想定し、斜面長を設定できることにある。これにより、集水面積に関わらず河道を追跡することができ、上流域の小河川をより適切にモデル化できると考えられる。

3. 使用データ

本研究では、中小規模の流域の代表として、三重県の二級河川である安濃川を対象とする。安濃ダムの流域面積は 27.34km²である。安濃ダム地点の観測雨量を、空間一様としてモデルに入力し、ダムへの流入量を解析する。解析対象とする降雨は、平成 24 年台風第 17 号、平成 25 年台風第 18 号、平成 26 年台風第 11 号である。本研究では、流出特性を特徴付ける RRI の 5 つのパラメータ (斜面の粗度係数 ns_{slope} 、土層の空隙率 γ_a 、マトリックス部の空隙率 γ_m 、水平透水係数 k_a 、透水係数の減衰を表す β) に対して、Ichihashi (2020)により抽出された 40 のパラメータセットを使用した。

4. 結果および考察

4.1 表面流・中間流による分析

前述の 40 のパラメータセットを用いて 3 つのイベントについて流出計算を行った。図 1 および 2 に平成 24 年台風第 17 号の計算結果を示す。RRI v1 ではピーク流量を過小評価する傾向が強く、RRI v2 では過大評価傾向にあるもののパラメータを適切に選択することでピーク流量を予測できることがわかる。そこで、安濃ダム流域の流出形態を表せるパラメータとして、ピーク流量の相対誤差(RPD)とハイドログラフの相関係数(CC)の両方が上位 10 以内であるパラメータセットとナッシュ指標(NSE)が上位 10 以内であるパラメータセットの和集合を考察の対象とした (図 1 および 2 の赤線)。これらを比較すると、RRI v2 ではピーク流量とピーク前後の急激な流量の増減の再現性が改善したといえる。サブ

Nanako NAKAMURA, Takahiro SAYAMA, Yoshito SUGAWARA, Tomohiro TANAKA

nakamura.nanako.36s@st.kyoto-u.ac.jp

グリッド河道の導入により、上流域の小河川をより適切にモデル化できたことが要因であると考えられる。

しかし、RRI v2 では、流量の増加が一度止まってから急上昇するという 3~5 h に見られるハイドログラフの立ち上がり方は再現できなかった。このような現象には、鉛直浸透やそれによる貯留や地下水の挙動などが影響しあっていると考えられるため、次節で考察する。RRI v1 の方がハイドログラフの立ち上がりを再現できていることについては、RRI v2 は 1 種類のセルで構成されているため、画一的な挙動を示すと考えられる。

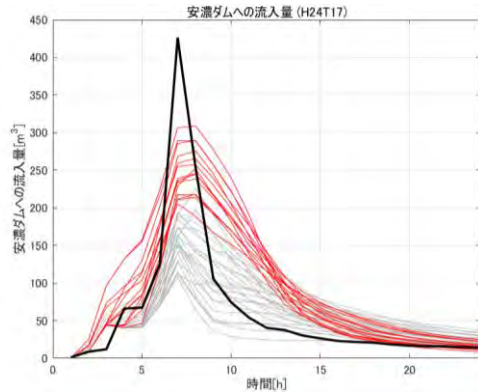


図1 平成24年台風第17号のハイドログラフ (RRI v1)

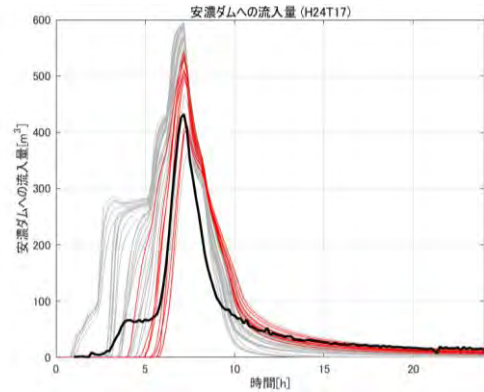


図2 平成24年台風第17号のハイドログラフ (RRI v2)

赤線：選択されたパラメータセットによる計算結果，グレー線：40のパラメータセットによる計算結果，黒線：観測値

4.2 初期値および山体地下水の効果

本節では、初期値と山体地下水の効果を検討した。初期値を入れずに行った流出計算の終了時点における斜面と河川の水深を初期値とした。山体地下水モデルは、連続式とダルシー則の連立で表現される。RRI モデルのパラメータは、RPD, CC, NSE のすべての指標で上位 10 以内であったパラメータセット ($ns_{slope} = 0.3$, $\gamma_a = 0.4$, $\gamma_m = 0.2$, $k_a = 0.08$, $\beta = 6$) を用いた。計算結果を図 3 に示す。

初期値を導入して計算を行うと、ピーク前に流量が増加するハイドログラフの傾向を捉えることができた。降雨開始前の土壌水分量による流出を再現できたと考えられる。しかし、3~5 h におけるハイドログラフの立ち上がりを大きく過大評価している。RRI v2 が一様な構造であることの影響が残っていると考えられる。山体地下水モデルを導入すると、初期値の導入によって全体的に大きくなった流量が減少したが、全体的な傾向は変化しなかった。

今後は、初期値や山体地下水を考慮した上で RRI モデルの主要パラメータを検討することや、RRI v2 では大きな流域において過大評価をすることがないかを検証することが課題となる。さらに、標高や集水面積に応じたパラメータ設定など、モデルの画一性への対応についても検討したい。

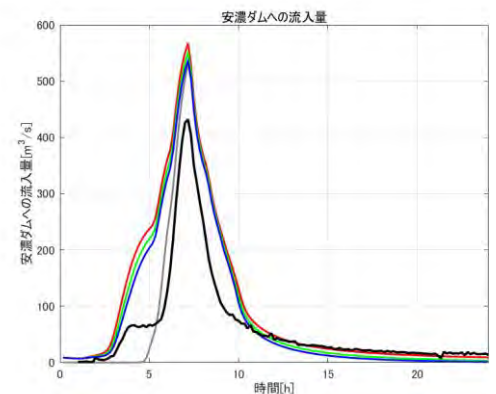


図3 初期値および山体地下水を考慮した平成24年台風第17号のハイドログラフ

赤線：初期値を導入した計算結果
 緑線：初期値と山体地下水を導入した計算結果 (系外への流出は考えない)
 青線：初期値と山体地下水を導入した計算結果 (系外への流出も考える)
 グレー線：表面流・中間流による計算結果
 黒線：観測値

【謝辞】内閣府 SIP「スマート防災ネットワークの構築」(サブ課題 D, PI: 角哲也), 科研費 (基盤 A: 24H00334, PI: 佐山敬洋) の支援を受けました。

- 1) Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., Fukami, K. Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. Hydrol Sci J, 57, 2, 298-312, 2012.
- 2) Sayama, T., Yamada, M., Yamakita, A. et al. Parameter regionalization of large-scale distributed rainfall-runoff models using a conditional probability method. Prog Earth Planet Sci 12, 17, 2025.
- 3) Ichihashi, S. Combinatorial Optimization for Parameter Identification of a Rainfall-Runoff Model Applied to 120 Dam River Basins in Japan. Kyoto University Bachelor Thesis, 2020.