

第Ⅱ部門

RRI モデルを用いたリアルタイム浸水マッピングのための河川水位最適内挿法

京都大学工学部 学生員 ○三宅慎太郎

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 フェロー 實 馨

1. はじめに

気候変動により整備計画を超える洪水の増加が予測されており、高精度の洪水予測は今後より重要である。降雨流出および氾濫を一体的に解析する降雨流出氾濫(RRI)モデルが開発され現在その応用研究が進んでいる。RRI モデルを含む分布型水文モデルのリアルタイム水位分布を精度よく把握するためには、限られた数の観測水位情報を用いて非観測地点を含む予測水位分布を補正することが有効である。本研究では RRI モデルに最適内挿法を適用し、水位および浸水深への効果を検証する。

2. 水位分布の補正方法

最適内挿法は誤差分散が最小になるように、観測地点でのモデル値（予報値）と観測値の差をモデル変数に内挿することにより補正するデータ同化手法であり、以下の式で表される。

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + \mathbf{W}\Delta\mathbf{y} = \mathbf{x}^b + \mathbf{B}\mathbf{H}^T(\mathbf{R} + \mathbf{H}\mathbf{B}\mathbf{H}^T)^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)$$

ここに、 $\mathbf{x}^a$, $\mathbf{x}^b$, $\mathbf{y}$ はそれぞれ解析、モデル、観測の水位ベクトルであり、 $\mathbf{H}$ はモデル空間から観測空間への内挿を表す観測行列である。各モデルメッシュへの内挿の度合いを示す重み行列 $\mathbf{W}$ は、前もって準備された背景誤差（モデル値と真値の差）共分散行列 $\mathbf{B}$ および観測誤差共分散行列 $\mathbf{R}$ から求める。最適内挿法では誤差共分散行列は更新されず、観測地点が変わらない限り重み行列も一定であるため簡便で計算負荷も少ないという利点がある一方、予測値の力学的バランスを大幅に崩してしまう可能性もあるため、最初の時点での誤差共分散行列、特に大きなサイズを持つ $\mathbf{B}$ の精度良い決定が重要なものとなる。しかし、真値は未知であるためこれらの共分散行列を直接計算することはできない。

本研究では以下の仮定を用いて共分散行列 $\mathbf{B}$, $\mathbf{R}$ を推定した。

- i. 背景誤差分散、観測誤差分散はそれぞれ一律で $1\text{m}^2, 0.1\text{m}^2$ 。
 - ii. 格子点間での背景誤差の相関はモデル値の相関に比例する。
 - iii. 各観測点は独立であり無相関。
- ii の仮定に基づき、1988 年から 2015 年の期間で日雨量上位 10 個の降水イベントを抽出し、前後含め 3 日間の RRI モデル計算を実施し各ピーク時の水位を比較することにより背景誤差の相関係数行列を算出した。

3. 対象流域および解析の概要

本研究では山本 [1]により兵庫県千種川流域に適用された RRI モデルを一部パラメータを変更して用いた。図 1 が示すように、この流域内には水位観測所が 11 か所設置されている。降雨イベントは 2009 年 8 月の台風 9 号を対象とし、モデル計算は 8 月 8 日から開始した。観測値が得られる 1 時間ごとに最適内挿法による水位補正を行い、その水位分布を初期値として RRI モデルにより水位、流量および浸水深の 1 時間予報値を計算する。予報水位は次の時間ステップにおける補正前水位として用いられる。この同化および再計算を 8 月 9 日 1 時から 8 月 10 日 24 時まで実施した。



図 1 千種川流域および水位観測所

4. 結果及び考察

図2は本川千種川に位置する木津（観測地点番号1）上郡（同2）、久崎（同3）における水位ハイドログラフを示す。観測値を黒、同化なしのモデル値を青、同化による解析値を赤、それに基づく1時間予報値を緑で表している。3地点において特に上昇部において解析値および予報値ともに観測値とよく一致している。低減部は予報値が木津地点で過小、上郡地点で過大地点となるが同化により観測値に近づけられている。久崎地点ではピーク時を含む約20時間にわたり水位観測所が故障し観測値が得られなかった。その間は他地点からの内挿により低減部では同化なしモデル値よりも高い水位が予測されていたが、再び観測値が得られるようになると予報値解析値ともに観測値に近づいていることがわかる。

表2は4つの観測時刻における交差検証の結果を示す。観測値を真値と仮定して平均二乗誤差（RMSE）を計算すると各観測時点において同化後の推定値のRMSEが小さくなった。このことは最適内挿法により非観測地点での水位を有効に補正しうることを示唆する。

最後に浸水深についての解析結果を図3に示す。1時間予報値および解析値双方が同化なしのモデル値よりも低いピーク水位を与えた木津地点周辺（図中黒丸部）においては、同化なしのモデルで予測していた過剰な浸水（実績では記録されていない）が解消された。また、図4に示す千種川中流の久崎地点周辺では浸水ピーク（赤枠時）の遅れが見受けられた。久崎地点上流で千種川に合流する志文川中の2つの観測地点（10，11）では、同化なしモデルは実観測よりも1，2時間早くピークを予測していたが、観測水位の同化が志文川およびその近隣河川においてそのピークを遅らせるような影響を及ぼしたと考えられる。実際久崎地点では米田地点（10）および三日月地点（11）からは他の観測地点と比べて比較的高い重みを与えられていた。

5. まとめ

RRIモデルに最適内挿法を用いて水位を補正し、浸水深への影響を検証した結果、同化により水位は観測値との誤差が小さくなることが示された。実績と比べて浸水範囲の改善も見られた。今後は予報値の改善に向けた非観測地点での水位補正の改善、リアルタイム

性を高めるために水位と同時に浸水深補正を行う方法の確立が必要とされる。

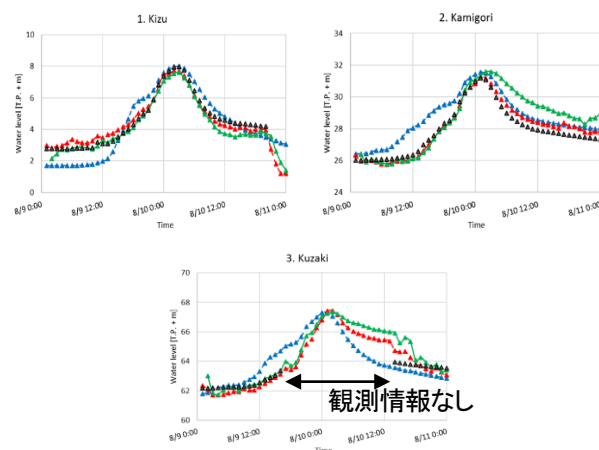


図2 木津、上郡、久崎地点での水位ハイドログラフ

表1 4つの観測時刻における交差検証のRMSE[m]

	8/9 12時	8/9 18時	8/10 0時	8/10 6時
同化なし	1.58	1.38	0.95	1.04
同化後	1.12	1.11	0.58	0.34

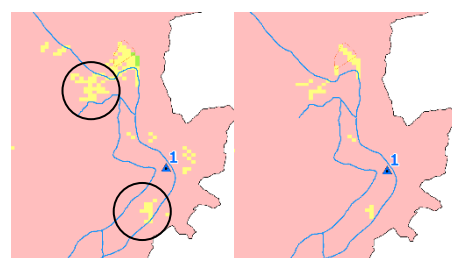


図3 同化前（左）および同化後（右）の木津付近の最大浸水深

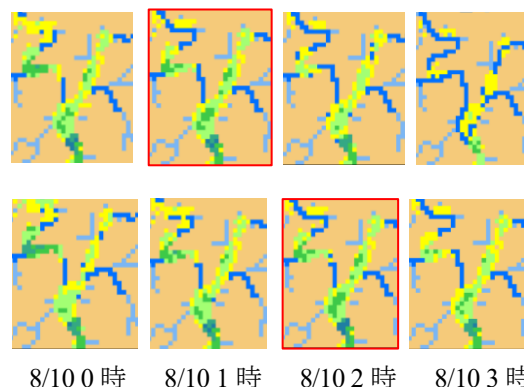


図4 同化前（上）、同化後（下）の久崎付近の浸水深変化

参考文献
[1] 山本 浩大：千種川流域を対象にした RRI モデルによる降雨流出・洪水氾濫統合型解析，京都大学卒業論文，2016。