

第Ⅱ部門 リアルタイム浸水マッピングにむけた最適内挿法による

分布型水文モデルの河川水位データ同化法

京都大学大学院工学研究科 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 寶 馨

1. 背景および目的

近年、降雨流出と氾濫過程を一体的に解析するモデルの開発が進んでおり、筆者らが開発を進める RRI モデルもその一つである¹⁾。RRI モデルは降雨から流出量を計算し、河道の流量、水位とともに流域内の浸水深分布を推定する。ただし、モデル計算には必ず誤差を含むため、時々刻々得られる河川水位の観測情報を用いて非観測区間の水位を含めて補正することは重要な課題である。本研究ではアンサンブルの逐次計算を必要とせず、かつ観測情報を用いて水位の空間分布を向上させることを目的とし、最適内挿法を用いた RRI モデルの河川水位の同化手法を提案する。

2. 河川水位の同化方法

最適内挿法は、簡便なデータ同化手法のひとつであり、下式のように予測値と観測値の線形結合として表される。

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^b + \mathbf{W}(\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}^b)$$

ここで、 $\mathbf{x}^b$, $\mathbf{y}$, $\mathbf{x}^a$ はそれぞれ予測値、観測値、解析値の状態量ベクトルであり、観測行列 $\mathbf{H}$ はモデル空間から観測空間への内挿を表す。観測値と予測値の差を重み行列 $\mathbf{W}$ により予測値の各要素に内挿することでモデルの状態量を補正する。重み行列 $\mathbf{W}$ は、前もって準備された背景誤差（予測値と真値の差）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時々刻々更新されず、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の精度良い決定が重要なものとなる。 $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{R}$ を推定するにあたり、それらの構成要素となる分散と相関係数行列を以下のように決定した。

背景誤差共分散行列 $\mathbf{B}$

- ・分散は全ての点で 1.0m^2 。
- ・過去 10 回の出水イベントについて RRI 計算を実施し、各ピーク時の水位相関を算出した。

観測誤差共分散行列 $\mathbf{R}$

- ・分散は全ての観測点で 0.5m^2 とし、各観測点は独立かつ無相関と仮定する。

3. 双子実験の概要

本研究では双子実験を用いてデータ同化の妥当性を判断する。双子実験では、元のシミュレーションからパラメータや計算条件を変えたシミュレーション結果を真値とみなす。真値にランダム誤差を加えて模擬した観測値を用いて元のシミュレーションにデータ同化を適用し、真値に近づくかどうかによりその有効性を判断する。

モデルとしては山本ら²⁾が兵庫県西部の千種川流域（図 1）に適用した 100m 解像度の RRI モデルを用いる。本流域には 11 ヶ所の観測所が設置されている。

今研究では真値として 2009 年 8 月の洪水イベントのシミュレーション結果を利用する。そして入力降雨を東に 5km、北に 10km 移動させた場合のシミュレーション結果を真値と仮定し、分散 0.1m^2 のホワイトノイズを加えて観測値とした。

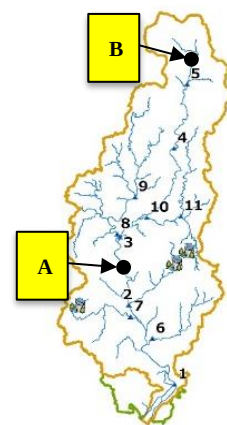


図 1 千種川流域の概観

双子実験においては、時刻 $t=T$ において河川水位の最適内挿を行う。そして得られた同化後水位分布を初期条件として元のシミュレーションとは別に RRI 計算を行い、1 時間後 ($t=T+1$) の浸水深を予測する。なお、この際元のモデル計算自体は継続させ、状態量の更新はその時刻以降のシミュレーション結果には影響させない。

4. 結果及び考察

図 2 に観測地点における河川水位の同化結果を示す。いずれの地点でもピーク水位およびその時間が疑似観測値に近づいている。しかし、久崎（観測地点 3）や円光寺（同 8）といった、近傍に他の観測情報がある地点ではピーク時の同化の精度が低くなる傾向にあった。

図 3 は非観測地点における同化効果を示す。図 1 中の地点 A といった同一河川内の水位観測所間に位置する点では双方から同程度の重みを与えられ内挿の精度は高い。一方地点 B といった上流側に観測所がない地点では下流最近傍の観測地点から大きな影響を受けており、ピーク時の同化精度はやや劣っている。

次に、図 4 は推定最大浸水深への効果を示す。同化前後と真値では降雨の入力条件が違うものの、流域中流部では同化により最大浸水深分布が真値に近づいている。真値では発生する浸水を予測しなかった面積は同化により 11.1km^2 から 7.9km^2 へと、29%減少した。

図 5 に同化前後での RMSE の時間変化をそれぞれ青線、赤線で示す。最大値が同化により 0.9m から 0.8m に減少したことに加え、流域中流部で真値の水位がピークに達した $t=49\text{h}$ では 0.82m から 0.45m まで改善された。また、離れた地点でも高い背景誤差相関が見られることがあったため、以下の式を用いて 2 地点間の河道グリッドセル数 d に基づき指数関数的に相関係数を減衰させた。

$$\mu'_{ij} = \mu_{ij}^b \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d}{L}\right)^2\right]$$

$L=150$ とした場合、RMSE の最大値は 0.49m まで改善されることがわかった。

5. まとめ

河川水位の最適内挿法を RRI モデルに適用し、双子実験によりその効果を確認した。今後、実際の洪水イベントに適用した場合の効果の確認が必要である。

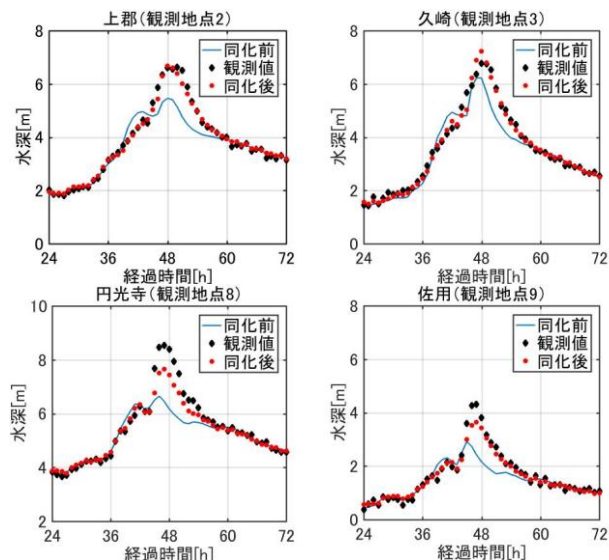


図 2 観測地点における同化結果

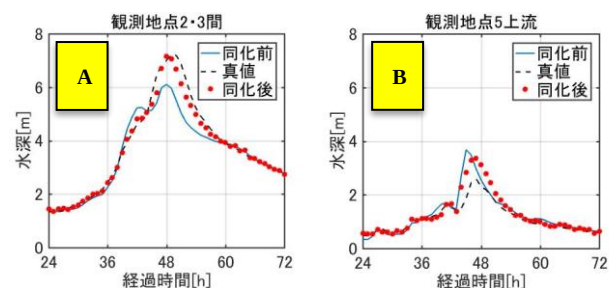


図 3 非観測地点における同化結果

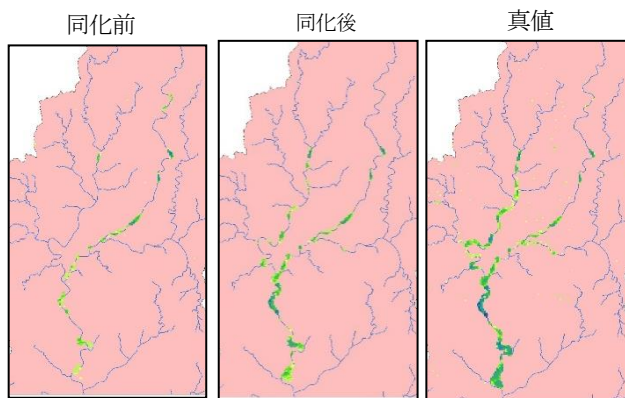


図 4 同化前後と真値の最大浸水深

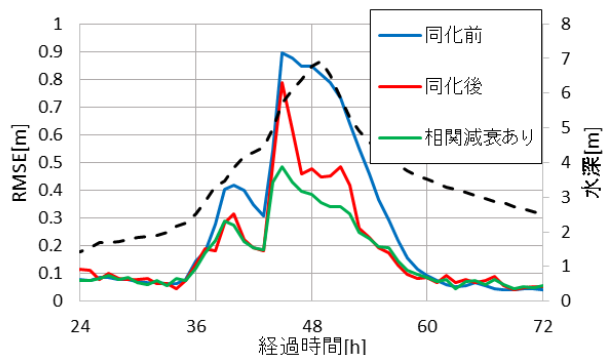


図 5 同化前後の RMSE の時間変化