

## リアルタイム洪水予測に向けた分布型水文モデルの河川水位データ同化 Data Assimilation of River Water Levels by Distributed Hydrological Models for Real-time Flood Prediction

○三宅慎太郎・佐山敬洋・山本浩大・寶 馨

○Shintaro MIYAKE, Takahiro SAYAMA, Kodai YAMAMOTO, Kaoru TAKARA

Some distributed hydrological models have been developed such that simultaneously analyze rainfall-runoff process and inundation process within a whole basin. These models possibly forecast in real-time the water levels including minor rivers and adjacent inundation. However, models always include errors therefore it is very important for improving forecast accuracy to efficiently assimilate observed water levels in a basin and distributed models. This study estimates background error covariance matrix based on multiple simulations beforehand and updates the river water levels of the whole basin with observed water levels. The method is applied to the Chikusa River basin in Hyogo Prefecture for an identical twin experiment. The predicted water levels show better agreement with true values at both gauged points and ungauged points. However, the application to a real flood event was not successful because the error at each gauging point was dominated by local settings.

### 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。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 (OI) 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。

$$x^a = x^b + W(y - Hx^b)$$

ここで、 $x^a$ ,  $y$ ,  $x^b$  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  $H$  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  $W$  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  $W$  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  $B$  および観測誤差共分散

行列  $R$  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。 $B$ 、 $R$  を推定するにあたり、複数イベントでモデルの誤差構造の分析を行ったうえで、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 $B$

- ・分散は全ての点で  $1.0m^2$ 。
- ・過去 7 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 $R$

- ・分散は全ての観測点で  $0.5m^2$ 。
- ・各観測点は独立かつ無相関とする。

### 3. 同化効果の検証方法

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

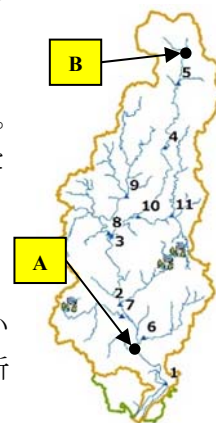


図1 千種川流域の概観

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<sup>1)</sup>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 $0.1\text{m}^2$ のホワイトノイズを加えて観測値とした。双子実験では観測情報が得られた各時間において河川水位の最適内挿を行い、状態量を更新するものの、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。

また、実際の洪水イベントにおいても交差検証を用いて河川水位の同化を検証した。この検証内でも双子実験に同じく、各時間での同化結果はそれ以降の時刻には影響させない。

#### 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、円光寺(観測地点8)や米田(同10)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の間に位置する点では双方から同程度の重みが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。

同化前後でのRMSEの時間変化を比較した結果、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(図は省略)。

最後に図4に数地点での交差検証の結果を示す。上郡(同2)では全体に過大評価であったものの、交差検証では全体に過小評価の久崎(同3)から影響を受け、同化後はさらに過大評価となっている。水位の誤差は流出計算による系統的なものよりも、

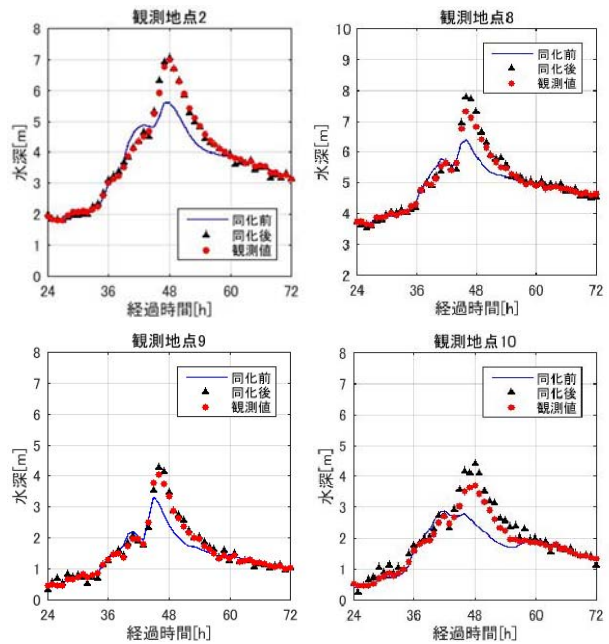


図2 観測地点における同化結果

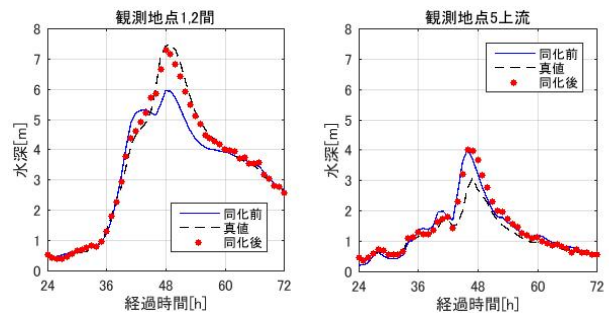


図3 非観測地点における同化結果

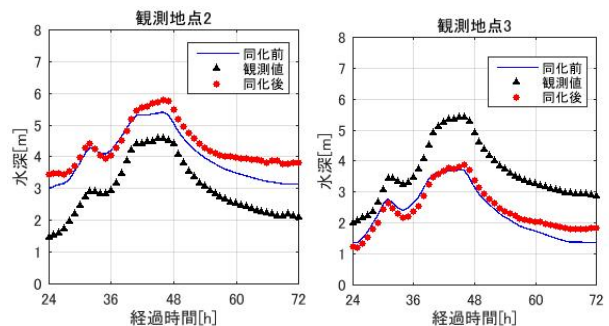


図4 実イベントでの観測点における同化結果

断面形状等に起因する局地的なものが支配的であることが分かった。この局地的な誤差を取り除いて流域全体の状態量補正を行う操作が今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 山本浩大, 佐山敬洋, 近者敦彦, 中村要介, 三宅慎太郎, 寶馨: 千種川流域を対象としたRRIモデルによる降雨流出・洪水氾濫統合型解析, 自然災害科学, 36 特別号, pp.139-151, 2017.