

京都大学大学院工学研究科	学生員	○須藤純一
京都大学大学院工学研究科	正員	立川康人
京都大学大学院工学研究科	正員	椎葉充晴
京都大学大学院工学研究科	正員	萬 和明
京都大学大学院工学研究科	正員	Kim Sunmin

**1 はじめに** 確度の高い洪水予測情報を提供し、それに基づく確な避難体制を構築することが洪水災害による被害を軽減する基本となる。近年、水系全体を対象として、流域地形や土地利用の状況に応じた分布型流出モデルが構築され、高い精度で河川流量の実時間予測が可能になりつつある。しかし、実際に洪水予測情報として必要とされるのは流量ではなく水位であり、特に水位流量曲線が存在しない河道区間での水位予測が重要となる。そこで、分布型流出モデルを用いた実時間河川水位予測を実現する必要がある。実時間水位予測の構成手法を提案し、それを観測情報がある淀川水系桂川に適用し、その予測精度の検証を行った。

**2 実時間水位予測手法の構成** 流量予測計算に用いる流出モデルは、佐山ら<sup>1)</sup>が開発した淀川モデルのように「水系全体」を対象とする分布型流出モデルとする。部分流域の河道区長は3kmを基本とし、各部分流域からの流量予測が可能とする。そして、水位予測が必要とされるような重要河川区間のみ、別途、より水位を適切に計算できるような河道流追跡モデルを用意し、その区間のみ水位を別の計算モジュールで計算し直す。本研究ではダイナミックウェーブモデルを採用した。この場合、全体モデルで得られた流量を、対象とする区間の境界条件として与え、さらにこの区間内に水位観測点を設けて実時間で水位を観測すれば、モデルの河道パラメータ値を時々刻々、計算値と観測値とから同化することが可能になる。現在時刻で河道パラメータ値を同化したら、その値が数時間先までは続くと仮定し、上(下)端に与えられる予測流量を境界条件として、対象区間内の予測水位を計算する。全体の予測システムの中で時間を更新し、この手順を繰り返す。図1はこの枠組みを図化したものである。

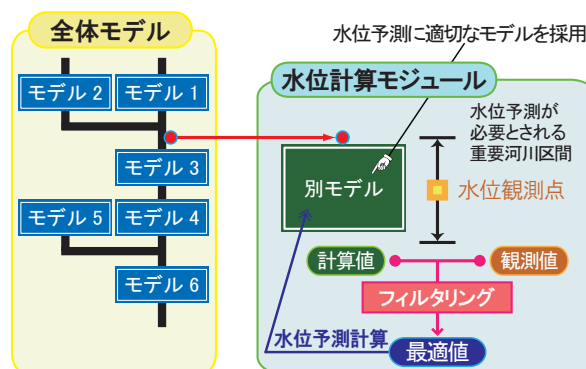


図1 河川水位予測手法の枠組み

**3 粒子フィルタの適用** 同化手法には粒子フィルタ<sup>2)</sup>を用いた。粒子フィルタは、非線形、非ガウス型の時系列フィルタリング方法である。大きな制約がなく、多様な非線形・非ガウス型しかも高次元の状態空間モデルのフィルタリングに用いることができる。また、アルゴリズムが簡単であり、モデルを線形化する必要がないためにプログラムへの実装が容易であるというのが利点である。

このフィルタリング方法は、確率分布を独立な実現値と見なせる多数のサンプル(粒子フィルタではこれを「粒子」と呼ぶ)で近似し、それぞれの粒子がモデルに従ってどのように変化するかをシミュレートすることにより、予測分布の計算を実現する。そして、フィルタの段階では、予測分布に従って得られた粒子を、それぞれの粒子の「尤度」を重みとしてリサンプリング(復元抽出)することにより、フィルタの分布を近似する粒子を求める。

本研究では、水位計算モジュール内の河道流追跡モデルパラメータ(粗度係数など)に分布を持たせ、パラメータセットを粒子とした。粒子数は1000とした。以下に、手順を簡単に述べる。

1. 初期化 初期分布から初期粒子を得る。各パラメータについて正規分布  $N(\mu_0, \sigma_0)$  に従う乱数を発生

させ、1000個の粒子を生成する。

2. 予測 上流端の流量予測値を「全体モデル」から得て、各粒子についてそれぞれ水位予測計算を行う。予測サンプル  $x_{t|t-1}^{(i)}$  ( $i = 1, \dots, 1000$ ) を得る。

3. フィルタリング

尤度の推定 水位観測値は1時間ごとに得られるので、1時間ごとにフィルタリングを実施する。尤度関数には正規分布を用いた。予測サンプル  $x_{t|t-1}^{(i)}$  について、次式により尤度  $p(y_t|x_t)$  を計算し、重み  $w_t^{(i)}$  を求める。

$$p(y_t|x_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{(h_{cal}^{(i)} - h_{obs})^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

$$w_t^{(i)} = \frac{p(y_t|x_t)}{\sum_{i=1}^N p(y_t|x_t)} \quad (2)$$

ここに、 $h_{cal}$  は水深予測計算値、 $h_{obs}$  は水位観測値から変換を行った水深観測値である。 $\sigma_y = 0.1h_{obs}$  とした。

リサンプリング  $x_{t|t-1}^{(i)}$  それぞれについて重み  $w_t^{(i)}$  に比例する割合で1000個復元抽出する。復元抽出後はすべての粒子が等しい重みとなる。ノイズ  $r_t \sim N(0, \sigma_x)$  を発生させ、各粒子のパラメータ値に加え、新しい粒子セットを生成する。

$t = t + 1$  として、step 2. の予測へ戻る。

4 桂川への適用 淀川水系に属する桂川を対象に流出計算を行った。水位予測をを行ったのは、天竜寺地点より下流、納所地点付近までの、およそ16kmの区間である。水位観測情報は羽東師地点のものを用いた。2004年台風23号が京都府を通過した期間について水位計算を行い、痕跡水位と予測最大水位との比較を行った。比較した10地点については図2に示してある。

図3に羽東師地点の1時間先の水位予測結果を示した。観測値と予測値が近い値となっていて、粒子フィルタがうまく機能し、精度良く予測ができています。また、図4は図2に示した評価地点10地点の観測値と予測値の比較を行ったものである。評価地点5の羽東師地点で観測値と同化したため、その地点から下流の地点、評価地点5~10ではおおよそ合致し、妥当な結果が得られた。

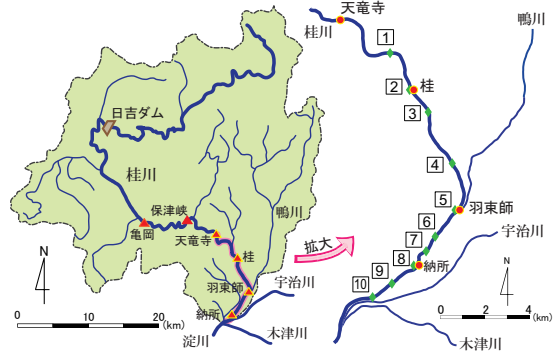


図2 桂川流域と水位比較地点

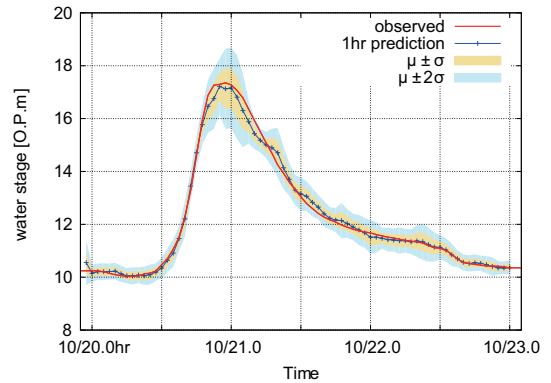


図3 羽東師地点の1時間先の水位予測結果

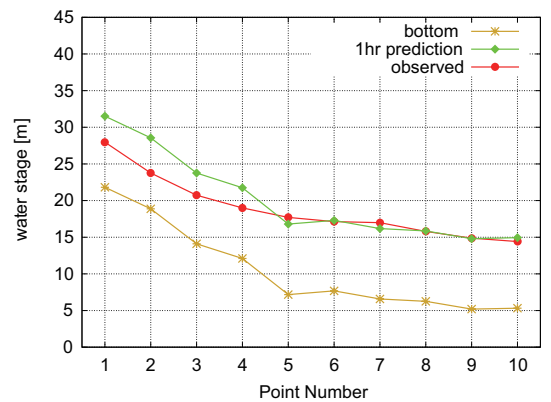


図4 評価値点5の観測値を用いた場合の各評価地点の最大予測水位と痕跡水位の比較

5 まとめ 本研究では、実時間水位予測の構成法を提案し、その同化手法として粒子フィルタを用いて水位予測計算を行った。精度良く水位の予測計算を行うことができた。

参考文献

- 1) 佐山敬洋, 立川康人, 寶馨, 市川温: 広域分布型流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価, 土木学会論文集, No.803/II-73, pp.13-27, 2005.
- 2) 樋口知之: 粒子フィルタ, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.12, pp.989-994, 2005.