

粒子フィルタと二次元不定流モデルを用いた洪水流量の推定と予測

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	学生員	大月友貴
京都大学大学院工学研究科	学生員	Duong, D. T.
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	市川 温

1 はじめに 時々刻々の観測情報を用いてモデル状態量やモデルパラメータを逐次推定しながら数時間先の流量を予測する手法として、カルマンフィルタを用いる予測手法が従来から用いられている。ただし、不定流計算によって水位を予測することを考えると、モデル状態量（各計算断面の水位および流量の計算値）の多さや線形のシステム方程式の構成に実用上の困難さがあり、カルマンフィルタの導入は容易ではない。この問題点を解決するためには、非線形・非ガウス型の状態空間モデルにも適用できる粒子フィルタやアンサンブルカルマンフィルタが有効であり、筆者らは粒子フィルタを導入した水位の実時間予測手法を提案してきた¹⁾。ただし、粒子フィルタを導入した予測手法は計算量が膨大となるため、実際の適用には対象河川の特성에応じて様々な工夫が必要となる。本研究では二次元不定流モデルと粒子フィルタを組み合わせた逐次推定・予測手法を開発しその適用性を検討した。

2 粒子フィルタを用いた洪水追跡モデルの逐次同定手法 二次元不定流モデル²⁾と非線形・非ガウス分布の状態空間モデルを対象とする粒子フィルタを用いて、毎時観測される水位データを用いて適切な境界条件（河川区間上端からの流入量と側方流入量）とモデルパラメータ（粗度係数）を推定する。淀川水系の桂川で天龍寺水位観測所から羽束師水位観測所までの約12.8kmを対象とし、本手法を適用して観測流量との比較を行った（図1）。二次元不定流モデルは、河道の横断面形状と平面的な粗度係数の分布を考慮することができる。計算格子の設定には国土交通省近畿地方整備局から提供された河道横断面データと航空レーザー測量から得られた標高データを用いた。河道の平面的な被覆状態は空中写真を用いて判別し、それぞれの計算格子を低水路（主水路）と高水敷、植生域（氾濫域）に分類して、それぞれの粗度係数を推定した。

2004年台風23号洪水、2013年台風18号洪水、2015



図1 対象河川区間

年台風11号洪水に本推定手法を適用した。2004年洪水の天龍寺地点での水位と流量の推定結果を図2に示す。粒子フィルタの粒子数は256個とした。推定した水位は観測水位をよく再現しており、フィルタリングが適切に機能していることがわかる。推定した流量データは、水位データのみから得られた推定値であるが、天龍寺地点、桂地点ともに観測流量と推定流量の平均値とがよく一致する結果となった。

3 流出予測システムと組み合わせた実時間水位予測手法の開発 粒子の多様性を確保するためには粒子数が多い方が望ましいが、計算負荷の増大を招くため実時間での予測計算を考えると粒子数はできるだけ少なくしたい。粒子数やシステムノイズの設定方法を検討したところ、最低30個程度の粒子が必要であることが分かったため、予測計算では粒子を32個とした。

予測計算アルゴリズムは逐次推定システムと基本的に同様である。逐次推定システムでは観測時間間隔と同じ1時間先まで推定計算してフィルタリング計算を適用する作業を繰り返すが、予測計算では1時間先まで推定計算するところをさらに所定の時刻まで予測計算を実施し、観測値が得られた時刻でフィルタリング計算をして、予測・フィルタリングを繰り返す。対象

キーワード 粒子フィルタ, 二次元不定流計算, 実時間水位予測

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂CクラスターC1棟

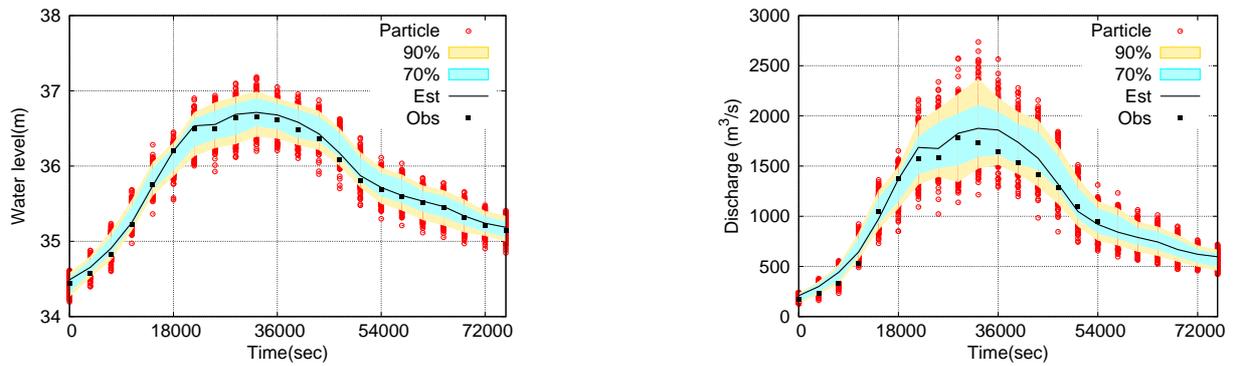


図2 天竜寺地点の水位(左)と流量(右)の推定結果(2004年台風23号洪水)

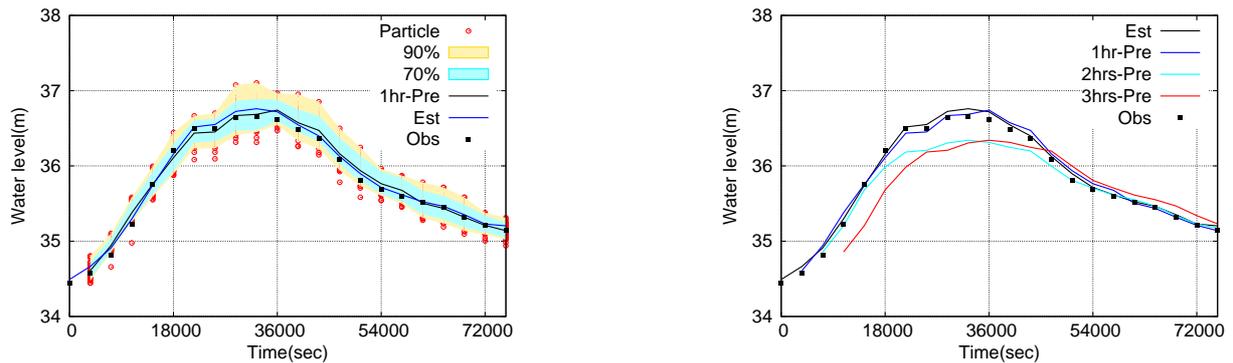


図3 天竜寺地点の1時間先予測水位(左)と1,2,3時間先水位予測(右)(2004年台風23号洪水)

河川区間上端で与える流量は降雨流出モデルによって計算された値が提供され、河川区間下端では観測水位が予測時間分継続するものとして予測シミュレーションを実施した。

2004年台風23号洪水に本手法を適用した。一時間先水位の予測結果を図3(左)に、1時間先から3時間先予測までの予測値と観測値との水位の比較を図3(右)に示す。天竜寺地点、桂地点とも水位の1時間先予測は推定計算結果とほとんど変わらず、予測情報として用いることができると考えられる。しかし、2時間先予測では予測水位ハイドログラフの立ち上がりが遅れピーク時の水位が推定結果よりも小さくなり、3時間先予測ではこの傾向がより明瞭となった。この原因は下流端水位の設定にある。ここで用いた手法では、下流端水位は現在時刻での観測水位が予測時間分、同じ値で継続するとした。このため洪水ピーク時刻付近では、予測計算時の下流端水位が実際よりも低いため、予測水位も実際よりも低い結果となった。洪水立ち上がり時の予測の遅れも同様の原因による。これに対応するためには、過去数時間観測水位から多項式で将来水位を推定して、それを下端水位に設定することが考えられる。基本的な水位予測アルゴリズムは完成した

ので、水位予測の向上は上流端流量の予測精度向上と下流端水位の設定手法に問題を絞ることができると考えられる。

4 おわりに 粒子フィルタと二次元不定流計算手法を組み合わせて、モデルパラメータと境界条件の逐次同定計算手を開発した。この手法を用いて観測水位データのみから洪水流量を推定し、推定された流量は流観値とよく一致することを確認した。この手法を用いることにより、流量観測がない地点についても水位流量曲線の推定が可能となると考えられる。また、この推定手法を拡張して実時間水位予測手法を構築した。

謝辞：本研究は平成25、26年度国土交通省河川砂防技術研究開発制度の補助を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) キムヨンス, 立川康人, 萬和明, キムスンミン: 粒子フィルタと洪水追跡モデルを用いた水位流量曲線の作成および補正手法の開発, 河川技術論文集, 20, pp. 361-366, 2014.
- 2) 長田信寿: 一般座標による河川流の計算, 水理公式集例題プログラム集 (CD-ROM), 社団法人土木学会, S2-08, 2001.