

CommonMP と粒子フィルタを用いた実時間流出予測システムの開発

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 湯浅大樹
 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 豪雨災害の被害を防止・軽減するためには、実時間降雨流出予測が重要である。水工シミュレーションを高度化するために、流域全体の流出シミュレーションモデルの共通プラットフォーム CommonMP が開発され、誰もが利用できるようになっている。本研究では、この CommonMP を用い、データ同化手法として粒子フィルタを備えた新たな実時間流出予測システムを開発する。

2 実時間予測のアルゴリズム 粒子フィルタの一種であり、有効サンプル数 ESS に基づきリサンプリングを行う Generic Particle Filter を用いた実時間流出予測システムのアルゴリズムを以下に示す(図1)。

- 1) 現在時刻を t_k とする。
- 2) ガウス分布を初期分布として、任意の N 個の粒子に状態量等の値を与える。
- 3) 予測降雨を与え、各粒子について流量や状態量の将来予測計算を行う。
- 4) 推定された流量を観測された流量の値と比較して尤度を求め、重みを求める。
- 5) 正規化した ESS が事前に設定した閾値を満たさなければ、リサンプリングを行う。
- 6) 時刻が t_{k+1} になったら、 $t_k = t_{k+1}$ とし 1) に戻る。

3 実時間流出予測システムの構築 CommonMP はコンピュータ画面上の簡単な操作で流出モデルを構築できる。降雨強度などの入力データを設定する「入力要素」、流出量などの出力データを設定する「出力要素」、流域での貯留・流出現象を再現する「流域要素」、その他「河道要素」や「ダム要素」などを相互に接続して、対象流域の流出モデルをプロジェクトとして構築する。

3.1 流域要素モデル 流域要素には、連続時間逐次予測をふまえて、流域土壌の保水量を考慮した有効降雨モデルに貯留関数法を組み合わせで用いた。有効降雨強度 r_e は r を流域平均の降雨強度、 f_1 は $0 < f_1 < 1$

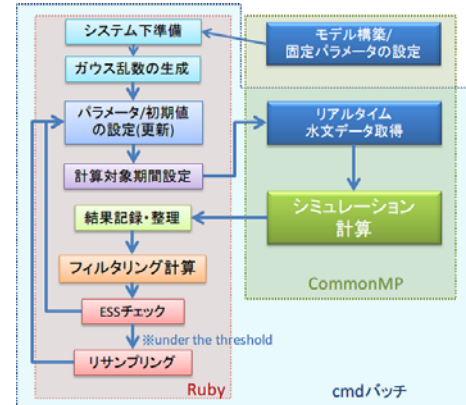


図1 予測システムの全体構成

とする有効降雨に関するパラメータとして、次式で与える。

$$r_e = \begin{cases} f_1 r(t - T_L), & 0 \leq s_s(t) < R_{sa} \\ r(t - T_L), & R_{sa} \leq s_s(t) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 s_s は対象流域の土壌の保水量であると考え、 e を実蒸発散量として次式で与える。

$$\frac{ds_s(t)}{dt} = (1 - f_1)r(t - T_L) - e(t) \quad (2)$$

3.2 構造定義/プロジェクトファイルの作成 実時間で自動的に予測計算を行う際に CUI 環境で実行すれば、CommonMP 以外の計算機プログラムを組み合わせで実時間流出予測システムを構築できる。CommonMP では、水工シミュレーション計算を行う際の要素構成や、モデルパラメータ、初期状態量などを、XML 形式の構造定義ファイルで管理する。そのため、実時間でシステムを運用するには、計算機会毎に構造定義ファイルに定義されたモデルパラメータ、初期状態量を更新すればよく、粒子フィルタを動作させる場合は、設定値の異なる複数の構造定義ファイルを準備し、独立して計算を進めればよい。

3.3 フィルタリングおよび各ファイルの更新 オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby を用いて、観測データファイルの情報の読み取りや、書き換えなどの一連の処理を実行する。この Ruby を用いて、「構造定義/

キーワード CommonMP, 粒子フィルタ, 実時間流出予測

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1 棟

表 1 モデルパラメータ (木津川上流域)

$A(\text{km}^2)$	p	f_1	$T_L(\text{h})$	$R_{sa}(\text{mm})$	$Q_b(\text{m}^3/\text{s})$
149.4	0.6	0.3	1	170	1

表 2 システムノイズの設定 (初期分布)

s	s_s	k
$N(15, 5^2)$	$N(120, 12^2)$	$N(20, 2^2)$

表 3 システムノイズの設定 (リサンプリング)

s	s_s	k
$N(s, (0.15s)^2)$	$N(s_s, (0.15s_s)^2)$	$N(k, (0.15k)^2)$

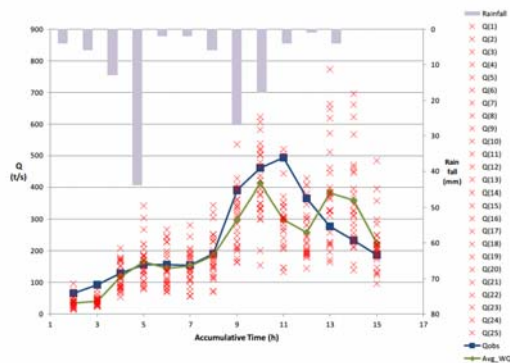


図 2 各粒子の平均値と観測値の比較

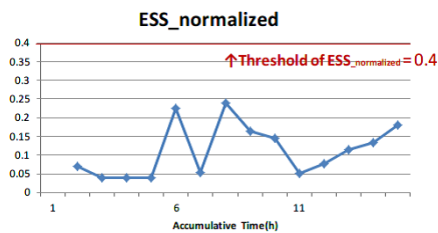


図 3 各時刻の正規化 ESS

プロジェクトファイルを更新する」、「尤度・重み計算を行う」など、一連の実時間処理を行うスクリプトプログラムを用意した。流出予測システムの全体図を図 1 に示す。

4 実流域への適用 木津川流域の依那古水位観測所より上流域 (149km^2) を対象として実時間流出予測システムを構成した。モデルパラメータとシステムノイズの設定値を表 1、表 2、表 3 に示す。連続計算用に改良した貯留関数法の貯留量、土壌保水量 s_s 、貯留関数法のパラメータ k にシステムノイズを与えた。粒子数は 25 個とし、蒸発散量は 3mm/day とした。

2004 年 9 月 29 日午前 4 時から午後 6 時に依那古観測所で観測された雨量・水位・流量を用いてシステム

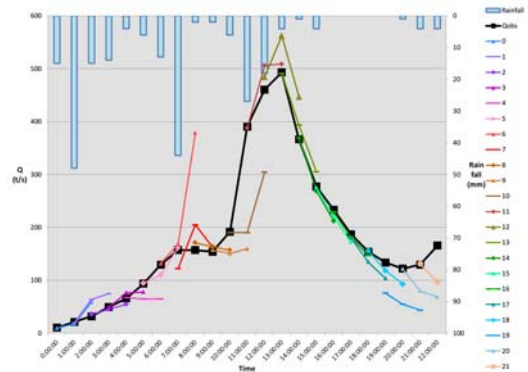


図 4 毎時 2 時間先までの予測結果

を運用し、観測雨量を予測雨量として計算した結果について考察する。図 2 は、各時刻の各粒子の流量推定値を赤印でプロットし、また各時刻の流量観測値と平均値をそれぞれ、青と緑の折れ線で示したグラフである。推定流量の重み付き平均値は、予測開始時刻の観測流量を得た後に更新した各粒子の重みと、各粒子の現在時刻推定値を乗じたものの総和である。

各粒子の推定値は大きくばらつくが、粒子の尤度に基づくリサンプリングによって、流量推定値の各粒子の平均値は観測値に近い値となり、粒子フィルタによるフィルタリングの効果現れている。図 3 に正規化した有効サンプルサイズ NESS の時間推移を示す。ここでは NESS が 0.4 以上であれば粒子の多様性が確保されているとしてリサンプリングを実行していない SIS アルゴリズムを利用し、0.4 以下であればリサンプリングを実行する SIR アルゴリズムを実行した。NESS 値は常に 0.4 以下であり、リサンプリングを毎回行う結果となった。

フィルタリングが適切に機能していることが確認できたので、予測値を計算した。図 4 は、毎時 2 時間先までの予測値を 1 時間ごとに異なる折れ線で示した図である。概ね観測流量に近い予測値を得ることができた。

5 結論 CommonMP による流出計算と粒子フィルタを組み合わせた実時間流出予測システムを構築し、適切に動作することを確認した。CommonMP の利用により、より容易に実時間流出予測システムを構築できるようになった。今後は並列計算機能を持つ CommonMP を用いて高速な演算を実現する必要がある。

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。記して謝意を表する。