

1 はじめに 豪雨災害の被害を防止・軽減するためには、降雨・流出を実時間において適確に予測することが必要である。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 CommonMP¹⁾ 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 とそのアドインツールである水文水質データ取得ツールを用いて、新たな実時間流出予測システムを開発する。

2 流出モデルとフィルタリング手法 流出モデルとして有効降雨を分離した貯留関数法²⁾を用い、拡張カルマンフィルタ²⁾を用いて、観測データを得るごとに状態量を修正する。実時間流出予測システムのアルゴリズムは以下のようになる。

- 1) 現在時刻を t_k とする。
- 2) 現在時刻までの観測降雨と流量を用いて t_k における状態量の最適推定値とその推定誤差分散を推定する。(カルマンフィルタを適用)
- 3) 予測降雨を与え、得られた状態量の最適推定値とその推定誤差分散を初期値として、将来時刻 t_{k+i} ($i = 1, 2, \dots, M; t_k < t_{k+1} < \dots < t_{k+M}$) の状態量 $x(t_{k+i})$ の最適推定値とその推定誤差分散を求める。
- 4) 流量の最適推定値とその推定誤差分散を求める。
- 5) 現在時刻が t_{k+1} となったら、 $t_k = t_{k+1}$ として 1) に戻る。

3 実時間流出予測システムの構築

3.1 流出モデルの構築 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することができる。流域での貯留・流出現象を再現する「流域要素」、降雨強度などの「流域要素」の入力データを設定する「入力要素」、流出量などの「流域要素」の出力データを設定する「出力要素」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。ここでは「流域要素」を有効降雨を分離した貯留関数法として、そこに「入力要素」、「出力要素」をつないだ流出モデルを構築した。

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 以外の様々な計算機プログラムを組み合わせて実時間流出予測システムを構築することができる。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、パラメータ、初期値、計算期間などを、構造定義ファイルとよばれる XML 形式の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際には、計算を実行するごとに構造定義ファイルを更新すればよい。

3.3 観測流量・予測雨量の取得 「入力要素」に設定する雨量強度や、フィルタリング計算の際に必要な観測流量は、CommonMP のアドインツールである「水文水質データベース取得ツール」を用いて、実時間で取得することにした。このツールを用いると、指定した観測所の観測データを 10 分毎に自動的に取得することができる。実時間でシステムを運用する際には、予測計算を実施する機会ごとに、計算に必要な入力データのみ切り出すことにした。

3.4 フィルタリングおよび構造定義/プロジェクトファイルの更新 オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby により、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とができる。この Ruby を用いて、「データの必要部分を切り出す」、「構造定義/プロジェクトファイルなどを計算機会ごとに更新する」、「フィルタリングを行う」など、一連の実時間処理を行うスクリプトファイルを用意した。流出予測システムの全体図を図 1 に示す。

4 システム試行結果と考察 対象となる河川は、三重県から京都府へ流れる淀川水系の支流である木津川上流の依那古上流域とし、パラメータは同対象流域を用いた高棹ら³⁾の論文を参考にして、流域面積 $A =$

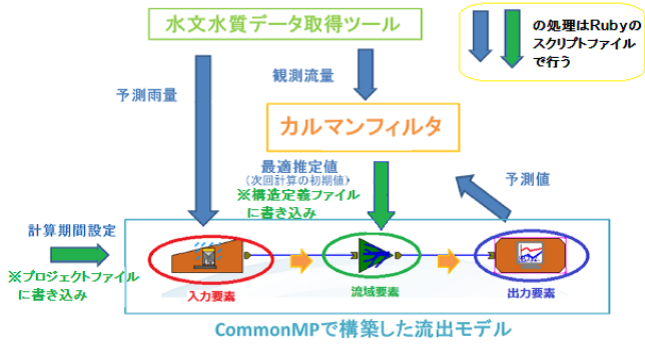


図1 システム全容

149.4km²、貯留係数 $K = 11.1$ 、貯留係数 $p = 0.6$ 、飽和雨量 $R_{sa} = 0\text{mm}$ 、遅滞時間 $T_L = 1\text{h}$ 、基底流量 $Q_b = 0.85\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 、タイムステップ $\Delta t = 60\text{s}$ 、観測誤差分散 $R = 1\text{m}^6\text{s}^{-2}$ 、システムノイズ $w = 5\text{mm}^2\text{h}^{-2}$ とした。また、初期貯留高 $s_0 = 12.5\text{mm}$ 、初期貯留高誤差分散 $P_0 = 1\text{mm}^2$ 、観測誤差の定係数 $G = 1$ とした。

4.1 流出モデルに注目した考察 図2は毎時6時間先までの予測結果を1時間ごとに示したものである。1時から10時までの洪水前半で予測値が観測値を上回り、後半で予測値が観測値を下回る結果であった。これは今回のシステム試行では、 $R_{sa}=0$ として有効降雨を考慮していないためだと考えられる。有効降雨モデルでは、累積の雨量が飽和雨量 R_{sa} に達していない6:00付近では、有効降雨として流出量が制限され、流量の増加が緩やかであるが、11:00以降では R_{sa} に既に達し、降雨が直接流出に寄与するために流量が急増しており、この現象の説明がつく。今後、土壌の乾湿を組み込んだ実時間予測システム、あるいは連続時間の運用により適した流出モデルを導入することを考える必要がある。

4.2 フィルタリングに注目した考察 フィルタリングを行わなかった場合の予測結果を、図3に示す。フィルタリングした結果と比較して、予測値と観測値に大きな差があることは明らかであり、この結果より、フィルタリングは正常に機能していることを確認できたが、11:00以降はフィルタリングの効果が小さくなっている。これは11:00以降では10:00以前と比べ事前推定誤差分散 $P_{k|k-1}$ の値が、予め設定していた $R=1\text{m}^6\text{s}^{-2}$ よりもかなり小さくなっており、観測値による修正の度合いが小さくなったためと考えられる。この問題を解決するためには、 R の値に、その時刻での流量に応じて修正を加えていく必要がある。

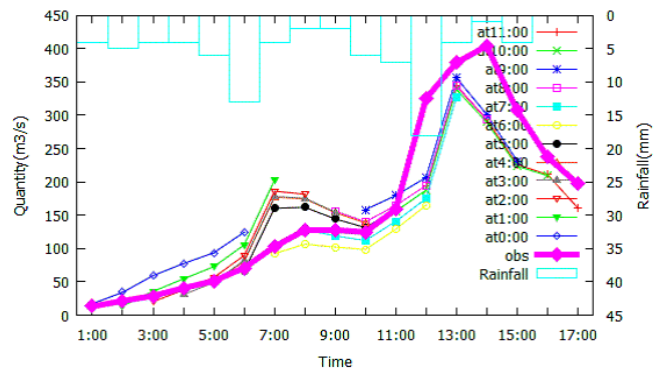


図2 時間毎の計算結果

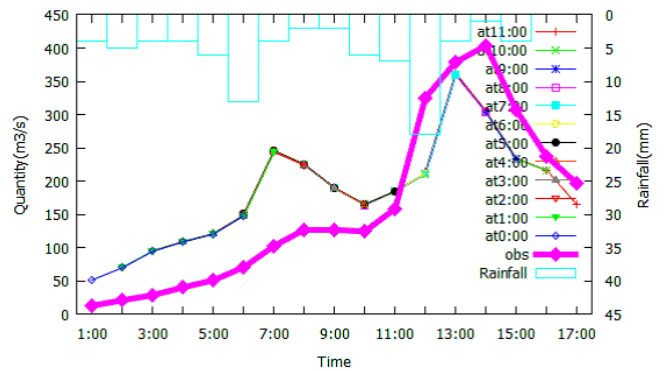


図3 時間毎の計算結果（フィルタリングなし）

5 おわりに 本研究では、CommonMPで流出モデルの構築と実時間での観測データの取得を行い、Rubyでカルマンフィルタや入出力データの実時間ファイル処理を行う実時間流出予測システムを試作した。この実時間システムは、パーソナルコンピュータとインターネットにつながる環境があれば容易に稼働させることができる。過去の実際の洪水データをもとに予測システムを試行し、その実用性を確認した。今後は、予測精度の向上に着目し、流出モデルの構造やノイズの与え方を改善していく予定である。

参考文献

- 1) CommonMP, <http://framework.nilim.go.jp/> (2013.03.01 確認)
- 2) 椎葉充晴, 立川康人, 市川温: 水文学, 水工計画学, 京都大学学術出版会, 2013.
- 3) 高埴琢馬, 椎葉充晴, 立川康人, 小南佳明: 貯留関数パラメータの不確定さを考慮した実時間流出予測手法, 水工学論文集, 第40巻, pp. 319–320, 1996.