

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登

早稲田大学大学院 学生会員 安井 勝俊

1 はじめに

レーダ雨量計の開発により降雨予測が可能になりつつある。降雨が予測されると、それを入力データとして流出計算を行うことにより洪水予測が可能になる。ここでは、レーダ雨量計により予測された降雨を用い、カルマンフィルタにより洪水の確率予測を試みた結果について述べる。

2 流出モデルおよびカルマンフィルタ

洪水流出のオンライン予測に用いる流出モデルの選択においては、洪水時における対応の緊急性を考慮すると、計算時間のかかりすぎる複雑なモデルは適当ではない。計算の迅速さと、流出系の非線形性を比較的簡単な構造式で表現できる貯留関数モデルが適当であると考えられる。また、貯留関数形も線形と非線形のものに分けられるが、多くの場合、洪水時の貯留量と流出量の関係が非線形であることを考慮すると非線形貯留方程式を用いるのが妥当であると考えられる。ここでは、Prasad(1967)¹⁾により提案された非定常効果を考慮した非線形貯留モデルを用いた。Prasadの流出モデルは次式で表示される。

$$S = k_1 \cdot q^p + k_2 \cdot dq/dt \quad (1)$$

および、

$$dS/dt = f \cdot r - q \quad (2)$$

ここで、 S は貯留高(mm)、 q は流出高(mm/h)、 t は時間、 k_1 、 k_2 および p はモデルパラメータ、 r は降雨量(mm/h)、 f は流入係数である。

流出の予測理論については、カルマンフィルタ理論を適用した。カルマンフィルタは理論は難解であるが、計算自体は比較的容易で迅速な計算が可能であり、かつ予測値の誤差分散が逐次計算され、予測値の精度を推定するのに有効である。

3 洪水予測の計算結果

流域面積33.8km²の河川流域について、レーダ雨量計により予測された雨量と予測誤差分散²⁾を用いて、Prasadの流出モデルと拡張カルマンフィルタにより洪水予測を行った。

流出モデルに含まれるパラメータの値は、降雨と流量の実測値を用いて決定し、 $k_1=2$ 、 $p=0.6$ 、 $f_1=0.25$ 、 $R_{1.5}=55\text{mm}$ とした。

カルマンフィルタ理論の適用にあたっては、 q 、 dq/dt および k_2 を状態変数としてオンライン同定した。システム誤差は平均値はゼロ、分散は状態変数の10%とし、観測誤差は平均値はゼロ、分散は観測値の10%であるとした。

カルマンフィルタによる洪水予測では、洪水流量の期待値と分散が算出されるが、予測された洪水流量が(期待値±標準偏差)の範囲に入る確率は求められない。ここでは、予測降雨の期待値と分散をもつ正規乱数を発生させ、100個の予測降雨をつくり、それについて流出計算を行い、予測洪水流量の確率分布を求め²⁾、カルマンフィルタによる予測洪水流量が(期待値±標準偏差)の範囲に入る確率を求めた。

1時間先および2時間先の予測降雨を用いて洪水予測を行った結果を図1および図2に示す。図中の実測降雨はレーダ雨量計による観測降雨であり、予測降雨はレーダ雨量計により予測された降雨の期待値を表し矢印は(期待値±標準偏差)の範囲を表している。流量ハイドログラフの実線は予測流量の期待値、点線はカルマンフィルタにより求めた(期待値±標準偏差)を表し、○印は実測流量を表す。

図1によると予測流量の期待値と実測流量はほぼ一致しており1時間先の洪水予測は精度よく行われていることがわかる。また、予測流量が(期待値±標準偏差)の点線の範囲に入る確率は22~96%である。なお、正規乱数による予測降雨についての流出計算によると、予測流量はほぼ正規分布に従うが、標準偏差はカルマンフィルタにより予測された値とは異なることが示された。

図1の流量ハイドログラフの×印は正規乱数の予測降雨についての流出計算の結果から求めた標準偏差を用いた(期待値±標準偏差)の範囲を示したもので、この範囲に入る確率は59~72%である。

図2によると、2時間先の洪水予測の精度は悪くなることがわかる。カルマンフィルタによる(期待値±標準偏差)の範囲(点線の範囲)に入る確率は32~89%である。また、正規乱数の降雨予測についての流出計算の結果から求められた標準偏差を用いた(期待値±標準偏差)の範囲(×印の範囲)に入る確率は59~72%である。

4 おわりに

本研究を行うにあたり、河川情報センターの上林好之理事に貴重なデータを提供していただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Prasad, R. (1967) : A nonlinear hydrologic system response model, J. Hydr. Div., ASCE, Vol. 93, No. HY4, pp. 201-221
- 2) 上林好之(1989) : レーダ雨量情報を用いてを洪水調節を確率的に行うための基礎的検討、土木学会論文集、第411号/II-12, pp. 169-175

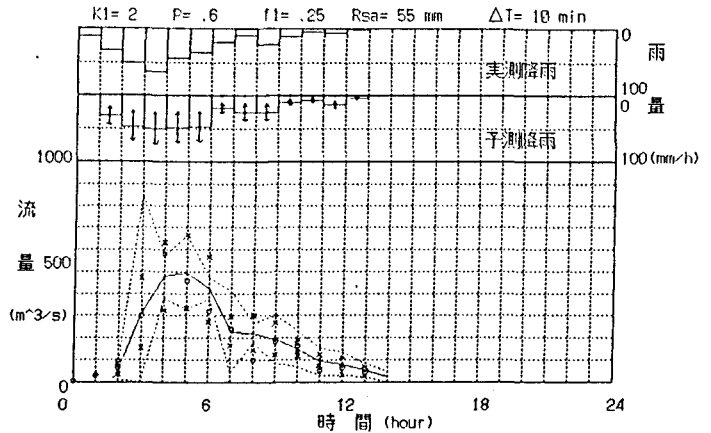


図1 1時間先の洪水予測の計算結果

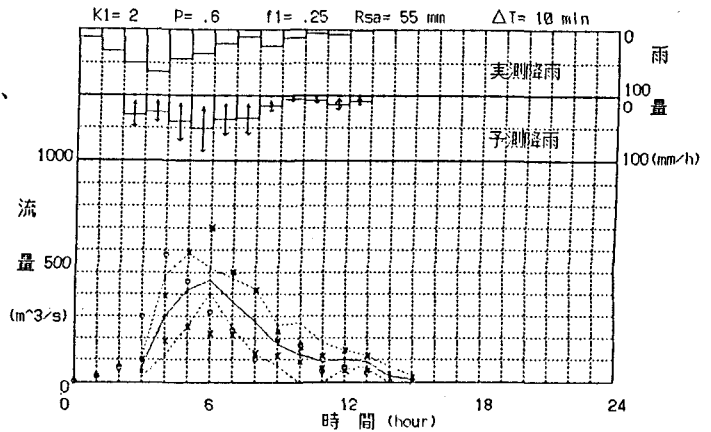


図2 2時間先の洪水予測の計算結果