

II-66 大流域における洪水流出予測モデルの構成

岐阜大学大学院 学生員 山田久志
 岐阜大学工学部 正会員 小尻利治
 セイノー情報サービス 住田仁志

1. はじめに 実時間の洪水流出モデルは、データ観測から処理、解析、予測までの時間が短く、かつ容易であることが要求されている。また、予測洪水流量の信頼性が高いことも望ましい。そこで、本研究では、現在、建設省で考えられている洪水情報や避難命令の伝達、住民の避難時間より、基準地点での3時間先の洪水流量の予測を対象とし、大流域での洪水予測モデルを策定するものである。その際、簡単な数理モデルによる予測を洪水情報の1次情報とし、流域の物理特性の入った洪水流出・流下モデルによる予測を2次情報として、計算時間と実流域のモデル規模に対応した洪水予測システムを確立しようとするものである。

2. 洪水流出予測モデル a) 簡易型数理モデル：数理モデルとして線形重回帰式を用いると、基準地点での3時間先の流量は、次式で与えられる¹⁾。

$$Q_i(t+3) = a_{i0} \cdot Q_i(t) + a_{i1} \cdot Q_i(t-1) + \dots + a_{i20} \cdot Q_i(t) + a_{i21} \cdot Q_i(t-1) + \dots + a_{iT} \cdot Q_i(t-T) + \dots + b_{i10} \cdot r_i(t) + b_{i11} \cdot r_i(t-1) + \dots + b_{i20} \cdot r_i(t) + b_{i21} \cdot r_i(t-1) + \dots + b_{iT} \cdot r_i(t-T) + \dots + c \quad (1)$$

ここに、 $Q_i(\cdot)$ は基準地点の流量、 $Q_i(\cdot)$ は上流側でのダム i ($i \neq 1$)の流量、 $r_i(\cdot)$ は流域 j の平均降雨強度、 $a_{..}$ 、 $b_{..}$ は係数、 C は定数、 T は計算対象時間数である。したがって、式(1)の各係数を状態量とおき、カルマンフィルターを適用すると、各時間の流量が逐次推定される。同時に、予測残差の共分散(1σ)も算定することが可能である。

b) 貯留関数によるモデル：高棹らが提案しているように、流域および河道に貯留関数法を適用すると流出モデルは次のようになる²⁾。

$$dX(t)/dt = r_e(t - T_L) - \xi X(t)^{(1/P)} + u(t) \quad (2)$$

$$Y(t) = \xi \cdot X(t)^{(1/P)} + v(t) \quad (3)$$

ここに、 $\xi = (1/K)^{(1/P)}$ で、 K 、 P 、 T_L は貯留関数法におけるモデルパラメータ、 r_e は有効降雨、または河道への流入量、 X は貯留量(状態量)、 Y は流出量、 u 、 v はノイズ項で白色正規分布とする。貯留関数法のため、非線形フィルタとなり、拡張カルマンフィルターによって定式化をはかる。3時間先の予測を行なうにあたっては、全ての観測地点で同じ時間ステップの予測を行なう必要はなく、次の2つの手法を用いることにする。(Fig.1参照) 予測方法1では、河道1、2、3がそれぞれ1時間の流下遅れを持ち、観測地点

A、B、Cで観測されているとする。地点Aでは時刻 t の観測値より $t+1$ での状態量と流量が予測される。地点Bでは、まず、時刻 $t+1$ での流量が予測される。そのときに用いるカルマンゲインを G_B とする。続いて、その予測値と地点Aでの予測流量をもとに $t+2$ での流量を予測する。そのときに用いるカルマンゲインもやはり G_B を用いる。つまり、時刻 $t+1$ で地点Aにおける予測値をあたかも観測値かのようにし、時刻 t で得られたカルマンゲインを再び用いて流出予測をする方法である。これに対し、予測方法2では、従来の方法と同じく1時間先までフィルタリングを行ない、残りの2時間は状態の推定構造のみの外

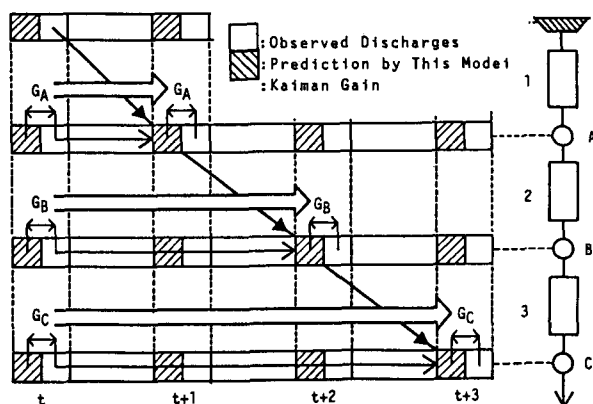


Fig.1 3Hour-Ahead Prediction

挿で流出量を算定していこうとするものである。

3. 木曽川流域での適用 a) 木曽川流域の過去の2出水(昭和58,60年)について回帰分析を行ない、モデルの同定をはかった。回帰分析は最初、STEPWISE法を用いたが、解析ごとに採用されるパラメータ、およびその値が大きく変化するため、最終的には、14のダムと3つの部分流域の降雨で一般回帰分析法を用いた。

b) 木曽川流域を水系モデルで示すと、Fig.2のようになる。今渡の3時間先予測流量(Q_p)を求めるのには、点線で囲んだ5つの部分システムを用いた。水系を5つのシステムに分けた結果、システム1においては、1時間先予測、システム2においては3時間先予測、システム3においては1時間先予測システム4では現時刻における推定、システム5では2時間先予測を行なうこととなった。

4. 予測結果と両モデルの比較 Fig.3は、昭和61年7月出水の基準地点(今渡)の3時間先流量を数理モデルによって予測したものである。Fig.4は、同様の出水について貯留関数法を用いて予測した結果である。予測方法は1であり降雨は完全に既知として取り扱っている。また、どちらの方法もノイズ項の共分散は、状態量、観測値の10%程度と仮定している。図中の実線が予測時系列○印は観測流量、垂直方向の直線は、予測残差(1σ)の推定である。Fig.4では2つの予測方法のうち予測値、予測精度ともに良い結果が得られた予測方法1の方を示してある。Fig.3とFig.4をくらべてみると、どちらも予測値は比較的良好といえる。しかし、Fig.4では予測精度がかなり悪いものとなっている。これは、モデルパラメータK, Pが流域場の特性を表現していないことが揚げられ、また、5つのシステムに分割したため誤差が下流にいくにしたがって加算されたためとみられる。逆に、Fig.3から簡単なモデルでも、多少予測値は上下に変動するが、1次情報としては十分なことがわかる。

5. おわりに 以上、数理モデルと貯留関数モデルの2つによって基準地点での洪水流量を予測したが、今後は、降雨予測との結合や情報の不確実性を含めた実用的なモデル構成を行ないたい。

参考文献 1) 日野幹雄：水文流出系予測へのカルマンフィルタ理論の適用、土木学会論文報告集、第221号、1974。2) 高棹、椎葉、宝：リアルタイム洪水予測のモデルと手法、水資源研究センター研究報告、第5号、1985。

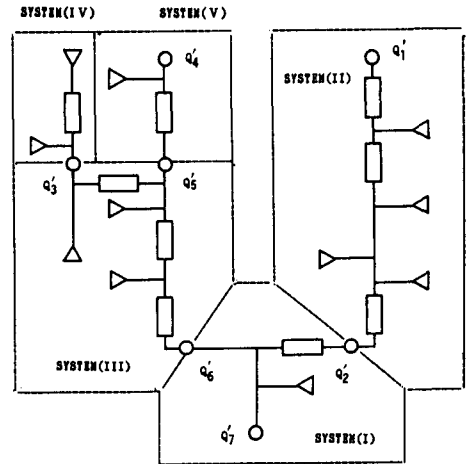


Fig.2 The Kiso River Sub-systems

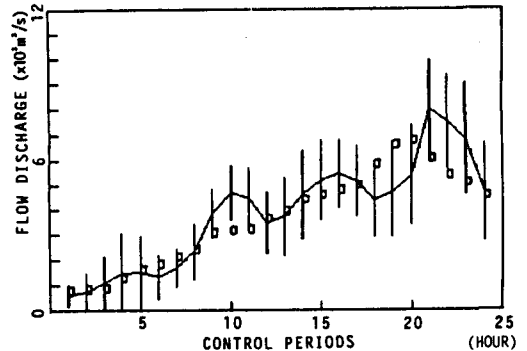


Fig.3 3Hour-Ahead Prediction at Imawatari

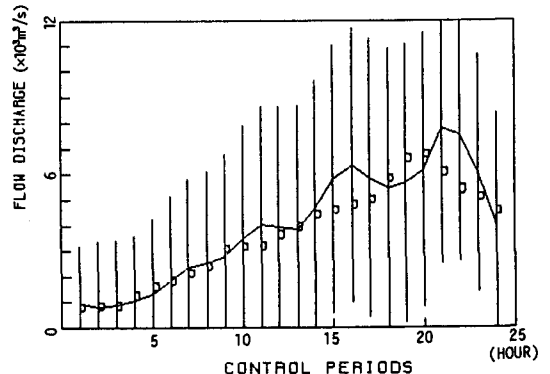


Fig.4 3Hour-Ahead Prediction at Imawatari