

京都大学工学部 正員 宝 馨
京都大学工学部 正員 高 棹 琢馬
京都大学工学部 正員 椎 葉 充晴

1. 緒 言 我々は、これまで数百 km^2 以下の面積の いわゆる単一流域における洪水流出予測のモデルと手法について検討してきた(※1,※2,※3)。本研究は、複数の分割流域からなる流域(複合流域と呼ぶことにする)における洪水流出の実時間予測手法の検討を目的とする。複合流域として由良川福知山上流域($1,350 \text{ km}^2$) をとりあげた。

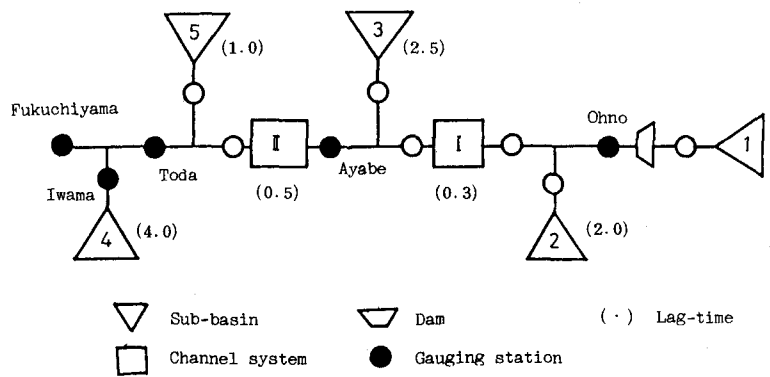
2. 由良川流域の概要と現行の流出モデル 福知山上流域は下の模式図のように 5 流域 2 河道を木村の貯留関数法でモデル化されている(※4)。ただし、現行の洪水予報モデルとしては、大野ダム上流域の流出モデルは考慮せず ダム放流量が毎時与えられるとしている。流量観測所は 4 か所である。

3. 複合流域における洪水流出予測の問題点 複合流域は、多入力・多出力系であるため、単一流域の場合に比して やや複雑な取扱いとなる。まず、入力である降雨は 各分割流域ごとの面積平均雨量(互いに異なる値をとる)をリードタイム分だけ予測しなければならないし、その時間的相関とともに空間的相関をも考慮に入れなければならない。次に、流域内の何か所かにおいて観測出力(流量)が得られるので、時々刻々のそれらの情報をすべて状態推定に利用することができる(欠測が生じた場合の処理も考えておく必要がある)。また、各分割流域の流出モデルの次元(状態量の数)が大きいと、全体としてかなり大きな次元をもつ状態空間モデルとなるので計算量が増大する。複合流域を貯留関数法で構成している場合は 遅滞時間による“時間ズレ”を考慮して状態空間モデルに統合しなければならない。

4. 降雨予測 本研究では 3 時間移動平均法により各分割流域の時間雨量を予測する。既往 25 洪水時の雨量データから、降雨予測誤差系列を分割流域ごと・リードタイムごとに求めて、それらの共分散を計算した。流出予測計算時には 予測降雨として 3 時間移動平均値とその共分散行列を与える。

5. 状態推定・予測の手順 複合流域における洪水流出予測の手順を以下に示す(由良川の場合)。

- (1) 初期条件(状態量の初期推定値・初期共分散)を与える。
- (2) 時刻 k に雨量・流量が観測され、ダム放流量とともに報知される。
- (3) ダム放流量を予測する(本研究では完全に予測できるものとし 既知の値を与えることとした)。
- (4) 時刻 k の戸田・岩間・福知山の観測流量を用いて状態推定(filtering)を行なう。ただし、欠測の場合のことを考慮して 3 回 filtering を繰り返すことにし、欠測のときは その filtering を行なわない。状態推定は Kalman filter による。
- (5) 0.5 時間先までの状態推移の予測計算をする。
- (6) 時刻 k の綾部の観測流量と(5)で得た値とを用いて filtering を行なう。
- (7) 0.5 から 1.0 時間先までの状態推移の予測計算をし、次の時刻 $k+1$ の(4)に備えて ここで求めた状態量の予測値および共分散行列を記憶しておく。
- (8) リードタイムが 1 時間 をこえると降雨予測が必要となるので、降雨の予測値とその共分散行列を与える。
- (9) 予測降雨を状態量に組み込み状態推移の予測計算を行ない、将来の各時刻・各基準地点(綾部と福知山)における流量予測値とその分散(



標準偏差)を出力する。

- (10) さらなる洪水の危険が去ったと判断し、洪水予測の必要がなくなった時点で終了する。さもなければ、 $k=k+1$ として (2) へ戻る。

これらの手順は、昨年度の講演(※5)で述べた単一流域の場合の手順を基本としているが、由良川流域の現行モデルにおける遅滞時間や流量観測所の配置等の事情で当流域特有の手順となっている。他流域に適用する際には適宜に変更・修正しなければならない。

6. 適用例と考察 統合した現行モデルにノイズを導入して確率過程的に扱い、5.の手順の適用性を検討した。本研究では、観測ノイズは離散の白色、システムノイズは従来と異なり連続的有色とした。

昭和40年9月14日の洪水を対象とした例(福知山地点)をA~E図に示す。ノイズの分散が、全期間を通じて一定(ピーク時の10%程度)とした場合(A図)と、状態量に依存する(時変的な)場合(B, C図で、観測誤差10%程度($\alpha=0.1$), システムノイズの分散が状態量の10%($\beta=0.1$), 30%($\beta=0.3$)とした)の1時間先予測を比較しよう。Aの場合低水部の予測誤差 1σ の幅が大きく評価されてしまう。低水時の誤差は相対的に小さいと考えてよいのでこのような予測は不合理である。B, Cを比べると、Cの方がシステムノイズが大きいので 1σ の幅は大きくなるが、ピーク直後を見るとわかるように予測値は観測値に近づく。このように、観測ノイズとシステムノイズの相対的な大きさに予測が依存する。B, Cともに予測残差に持続性が見られるので最適な予測とは言えない。これはモデル同定の不十分さを示している。

1~4時間先の予測値を連ねたものをE図に、それぞれの予測誤差 1σ の幅をD図に示した。リードタイムが長くなれば 1σ の幅は当然大きくなる。

7. 結論 提示した手法は複合流域の洪水流出の実時間確率予測手法として有用である。

◎謝辞 貴重なデータ・資料(※

4など)を提供していただいた建設省近畿地方建設局福知山工事事務所に謝意を表する次第である。

◎参考 ※1)高棹・椎葉：京大防災研究所年報, 第23号B-2, 昭55。 ※2)高棹・椎葉・宝：京大防災研究所年報, 第25号B-2, 昭57。 ※3)高棹・椎葉・宝：第18回自然災害科学総合シンポジウム, 昭57。 ※4)昭和56年度由良川洪水流出モデル検討業務報告書, 昭57。 ※5)宝・高棹・椎葉：土木学会第37回年次学術講演会II, 昭57。 ※6)高棹・椎葉・宝：京大防災研究所年報, 第26号B-2, 昭58。

