

II-29 大迫ダム流域への長短期流出両用モデルの適用と洪水予測(2)

京都大学防災研究所 正員 ○角屋 睦
 京都大学防災研究所 正員 田中丸治哉
 青木建設 瀧本晃一

1. まえがき 前年度¹⁾は、長短期流出両用モデルを大迫ダム流域に適用する際の問題点を処理するとともにモデルの適応性を検証した。本報告では、その適用結果を踏まえて、洪水流量のオンライン予測にカルマンフィルターを応用する一実用法を検討した結果について報告する。

2. 解析資料 奈良県吉野川上流部に位置する大迫ダム流域(図1、115 km²)の4地点での時間雨量、日平均ダム流入量、34出水時の毎時平均流量、Hamon式より求めた月平均日蒸発散能を用いる。解析対象期間は、昭和49年~60年の12年間である。

3. 流域平均雨量の推定 大迫ダム流域は、有数の多雨地域である大台ヶ原を含むこともあって、低地部と山岳部の雨量差が著しく流域平均雨量の推定が難しい。そこで本研究では、標高による地帯分割と割増係数を用いた以下の方法で推定している。すなわち、①流域を標高別に4地帯分割する。②第1地帯に下流側3地点雨量の算術平均値を、第3・4地帯に大台ヶ原の雨量を与える。③第2地帯の雨量および冬期欠測時の大台ヶ原の雨量は、第1地帯の値に割増係数を乗じて推定する。④冬期は、菅原の方法による積雪融雪解析を地帯別に行う。

4. 流出モデルと適用結果 長短期流出両用モデルは、洪水時の有知降雨を自動的に推定でき、かつ洪水・低水を同時に連続して扱えるモデルである。ここでは、図2のLST-II²⁾を用いる。昭和49・50年の2年間を対象としてSP法による同定計算を行い、図3に示すモデルを得た。日流出高の相対誤差は、12年間の平均で17.2%となりかなり良好である。表1にピーク流量350 m³/s以上の大出水時の再現性を示す。全般的には悪くないが、図4の洪水例のように流域平均雨量の推定に問題があってピーク付近の再現性が不十分な出水がいくつか見られた。このため、実用に耐えうる精度で洪水流量のオンライン的予測を行うためには、流域平均雨量を補正する方法を考える必要がある。

5. 洪水流量のオンライン予測法 ここでは、カルマンフィルターによる状態量補正を導入した流量予測法を提案する。これは、過去に入力した流域平均雨量の推定誤差のために現時点のモデル内状態量(ここではタンク水深)が正しく求められていないものと考え、観測流量を情報としてタンク水深をカルマンフィルターで時々刻々補正した後、流量予測を行おうとする方法である。以下具体的手法を説明する。

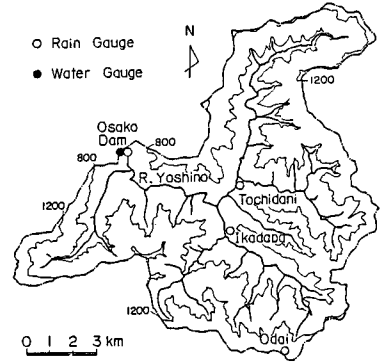


図1 大迫ダム流域

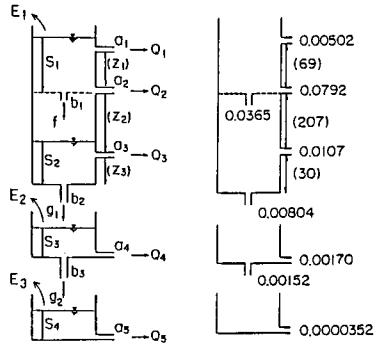


図2 モデル構成

図3 同定結果 (mm-h)

表1 ハイドログラフの再現性(相対誤差)

出水日時	ピーク	検証計算	予測法(a)	予測法(b)
74. 8. 31	545	14.8%	15.6%	6.8%
75. 8. 15	950	22.0	22.8	6.9
79. 8. 31	455	24.3	23.0	38.3
79. 9. 29	393	24.1	24.4	12.9
79.10.17	871	23.4	23.2	10.6
80. 9. 9	352	48.5	49.6	11.9
82. 7. 31	1316	14.7	14.8	9.5
82. 8. 26	517	26.2	27.9	11.4
82. 9. 24	871	27.8	29.5	11.7
83. 8. 15	659	32.5	32.3	10.3
84. 7. 28	514	19.9	20.2	11.9
85. 6. 30	677	14.1	13.6	11.9
平均		24.1	24.6	10.3

相対誤差: 流量100(m³/s)以上で評価
 ピーク: 観測ピーク流量(m³/s)

ここでは状態量補正は、最上層タンクからの直接流出成分が卓越する期間に限定し、第1段タンク上層の水深 S のみを補正することを考える。水深 S と流量 $Q (= Q_1 + Q_2)$ との関係は(1)式で表わされる。ここで、(1)式を S の静的推定値 S^* のまわりに線形化すると(2)式が得られる。ここに、 S^* は観測雨量を用いて通常の流出計算を行った際に得られる水深で、 S は真の水深と考えればよい。(2)式で高次の項を無視すると(3)式が得られる。ここで、 $y_t = f(S) - f(S^*)$, $x_t = S - S^*$, $m = (\partial f / \partial S)_{S=S^*}$ とおき、カルマンフィルターとの対応を考えると(4)式の観測方程式が得られる。また、状態方程式を(5)式とする。

観測方程式において、 $f(S)$ を観測流量(直接流出成分)とすれば、 y_t は、時刻 t での観測流量と静的推定値との差を表わし、 x_t は、時刻 t での真の水深と静的推定水深との差を表わしている。なお、観測直接流出成分は、観測全流量から計算地下水流量 ($Q_3 + Q_4 + Q_5$) を差し引いたものとする。 v_t は観測雑音である。また、状態方程式において、 ϕ_t は状態遷移行列(ここではスカラー)で、 $\phi_t = 1$ とおく。 w_t はシステム雑音である。

(4),(5)式によれば、1測定値・1変数の線形カルマンフィルターにより x_t を時々刻々更新していくことができる。 $\hat{x}(t|t)$ が得られれば、現時点での最適推定水深は、(6)式で求められる。予測計算では、(6)式で求めた \hat{S}_t を S_t の初期値として予測雨量を入力する。ただし、 \hat{S}_t は予測時のみ利用し、 S^* の計算には関与しない。

この方法の特徴は、水深補正量 x_t と、観測流量とは無関係な S^* とから間接的に最適推定水深を求めることにある。

6. 適用結果と考察

洪水流量予測を行うにあたっては、降雨予測が必要であるが、本報告では、現時点の降雨強度を継続させる方法を採用した結果を示す。この方法は、カルマンフィルターによる降雨時系列予測を採用した場合と大差ない流量予測精度を与え、移動平均雨量を利用した外挿法よりも良い結果を与える。さきの12出水を対象に1時間先の流量予測を行った結果を表1に示す。比較のため、予測法(a)の欄に状態量補正を行わない場合を示し、予測法(b)の欄に状態量補正を行った場合を示す。これより、ほとんどの出水で予測精度が著しく向上していることがわかる。さらに、1時間先予測例を図4に示す。図4との比較でわかるように、流域平均雨量の推定が不十分な場合でも良好な結果が得られている。本報告では、3時間先までの予測計算を試みているが、1~3時間先予測結果を12出水の平均相対誤差で示すと、それぞれ10.3%、18.6%、28.8%となった。当然のことながら、先行時間の延長に伴い推定精度が悪くなるが、1・2時間先予測については、ダムの放流操作のための流入量予測法として十分実用に耐えるだけの精度が得られている。大迫ダム流域の場合、3時間先予測については、降雨の予測誤差がかなり影響する。このため、今後は、雨域の移動方向や降雨要因などの気象情報も取り込んだ精度の良い短時間降雨予測法を確立することが望まれる。

- (引用文献) 1) 角屋・田中丸・米田: 第40回年次講演会, 昭60年
- 2) 角屋・永井・塚本: 第39回年次講演会, 昭59年

$$Q = f(S) = a_1(S - Z_1)^{\frac{5}{3}} + a_2 S \quad (S > Z_1)$$

$$= a_2 S \quad (S \leq Z_1) \quad \text{--- (1)}$$

$$f(S) = f(S^*) + \frac{\partial f}{\partial S} \Big|_{S=S^*} (S - S^*) + \dots \quad \text{--- (2)}$$

$$f(S) - f(S^*) = \frac{\partial f}{\partial S} \Big|_{S=S^*} (S - S^*) \quad \text{--- (3)}$$

$$y_t = m_t x_t + v_t \quad \text{--- (4)}$$

$$x_{t+1} = \phi_t x_t + w_t \quad \text{--- (5)}$$

$$\hat{S}_t = S_t^* + \hat{x}(t|t) \quad \text{--- (6)}$$

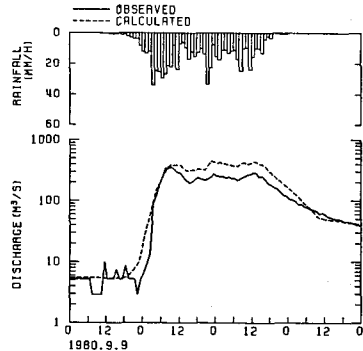


図4 再現性の悪い出水例

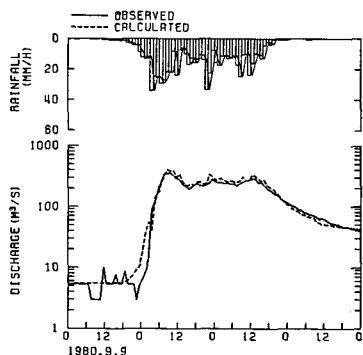


図5 1時間先予測結果