

II-64

長短期流出両用モデルによるダム流入量予測

京都大学防災研究所 正員 ○田中丸治哉

京都大学防災研究所 正員 角屋 睦

1. まえがき 著者らは、長短期流出両用モデルを応用した実用的なダム流入量予測法について検討を進めている。本報告では、流出モデルをカルマンフィルター理論に基づく状態推定法によって再構成し、奈良県吉野川上流部の大迫ダム流域および滋賀県愛知川上流部の永源寺ダム流域においてダム流入量予測を試みた結果を示す。

2. 解析資料 大迫ダム流域（図1，115km²）における昭和49年～60年の約12年間の資料および永源寺ダム流域（図2，132km²）における昭和50年～60年の約11年間の資料を対象とする。両流域は、それぞれ有数の多雨地域である大台ヶ原・御在所山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上多くの問題点を含んでいる。本研究では、流域を標高別に4地帯分割して地帯別雨量を定める菅原の積雪融雪解析法に準拠した便法によって流域平均雨量を推定した。

3. 流出モデルの適用結果 図3の長短期流出両用モデルは、とくに洪水解析で問題になる有効降雨推定に気を使う必要がなく、低水流量予測も同時に扱えるモデルである。洪水予測の検討に先立ち、モデルの適応性を調べた。(1) 大迫ダム流域：モデルを昭和49・50年の2年間の資料を用いてSP法で同定した。相対誤差は12年間の平均で17%と、実用上十分な精度が得られている。(2) 永源寺ダム流域：雨量観測点が当初の3点から6点に増強された昭和56・57年の2年間の資料を用いて同定した。相対誤差は11年間の平均で30%とやや大きく、渇水年の再現性に改善の余地がある。両流域で得られたモデル定数を図4に示す。

4. 洪水予測モデルの構成 さきの流出モデルについて洪水時の再現性を調べると、必ずしもすべてが良好とはいえず、かなり悪いものも見られた。これらは流域平均雨量の推定に問題があるためと考えられる。そこで、洪水流量の最適予測のため、過去に入力された雨量の履歴を表現するタンク貯留水深を状態変数とみなし、これをカルマンフィルター理論に基づいて時々刻々推定更新していく状態推定法の適用を試みた。ここでは、長短期流出両用モデルの連続方程式、運動方程式に誤差項を付加して、次のような状態方程式、観測方程式を考える。

$$dx/dt = f(x, r, t) + w(t) \quad (1)$$

$$y(k) = h(x(k)) + v(k) \quad (2)$$

ここに、 x ：4次元状態変数ベクトル（タンク貯留水深 $S_1 \sim S_4$ に対応）、 y ：観測流量、 r ：降雨強度、 w, v ：システム雑音、観測雑音。 f, h は、それぞれ4次元、1次元の非線形関数で、状態変数 $x_1 \sim x_4$ により次のように表される。

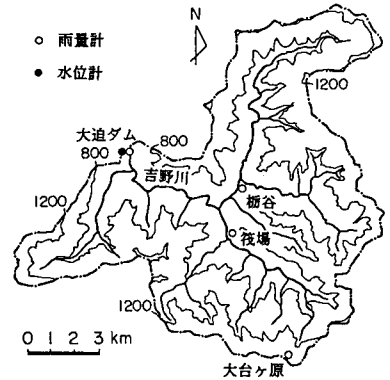


図1 大迫ダム流域

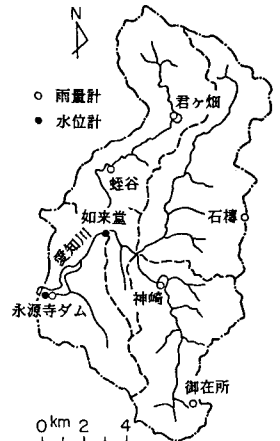


図2 永源寺ダム流域

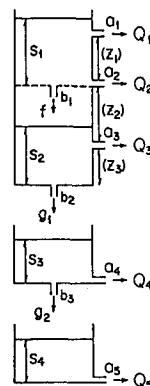


図3 モデル構成

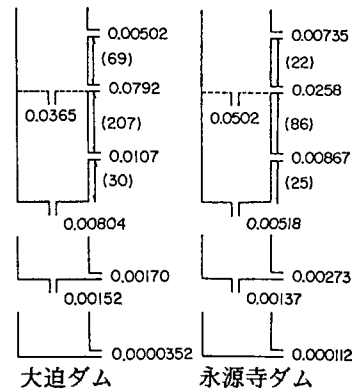


図4 最適モデル定数 (mm-h)

$$b_1(Z_2+Z_3-x_2) \leq x_1/\Delta t+r \text{ のとき } f_1 = r-b_1(Z_2+Z_3-x_2)-a_2x_1-a_1\{I[x_1-Z_1]\}^m, m=5/3 \quad (3)$$

$$f_2 = b_1(Z_2+Z_3-x_2)-a_3I[x_2-Z_3]-b_2x_2 \quad (4)$$

$$b_1(Z_2+Z_3-x_2) > x_1/\Delta t+r \text{ のとき } f_1 = -x_1/\Delta t \quad (3')$$

$$f_2 = x_1/\Delta t+r-a_3I[x_2-Z_3]-b_2x_2 \quad (4')$$

$$f_3 = b_2x_2-a_4x_3-b_3x_3, f_4 = b_3x_3-a_5x_4 \quad (5), (6)$$

$$h = a_1\{I[x_1-Z_1]\}^m+a_2x_1+a_3I[x_2-Z_3]+a_4x_3+a_5x_4 \quad (7)$$

ここに、関数 $I[x]$ は、 $x>0$ のとき $I[x]=x$ 、 $x\leq 0$ のとき $I[x]=0$ とする。また、ここでは洪水時の流量予測を対象とすることから蒸発散量を考慮していない。上式において、 f_1, f_2, h は、関数形がある閾値で変化し、強い非線形性を示す構造になっている。カルマンフィルターの適用に際しては、これら関数の線形化および状態方程式の離散化を要するが、ここでは、前者には統計的線形化手法を用い、後者には行列指数関数の級数展開による方法を採用した。統計的線形化手法は、導関数の求められない関数にも適用できるという特徴があり、すでに Kitanidis・Bras¹⁾や高棹²⁾が流出予測に適用し有用性を確かめている。また、誤差項の扱い方としては、システム雑音の一部および観測雑音の分散を非定常なものとしている。

5. 適用結果 (1) 大迫ダム流域：ピーク流量 350m³/s以上の12出水を対象に1～3時間先の流量予測を行った。流量予測法としてカルマンフィルターを導入しない従来法と状態推定法を比較し、降雨予測法として表1に示す4種類の方法を比較した。ただしAR式逐次同定による降雨予測では、カルマンフィルターを利用している。全出水の100m³/s以上の流量について平均相対誤差を求めて予測精度を比較した表1によると、状態推定法による状態変量の推定更新により精度が著しく向上していることがわかる。さらに降雨予測法として現時点強度を外挿する最も単純な方法を採用した場合が比較的良好で、1・2時間先予測の精度は実用上十分と考えられるが、将来の降雨が既知であるとした場合と比較すると、3時間先予測では、降雨予測誤差の影響がかなり大きいことがわかる。図5に現時点強度が継続するとした降雨予測法の場合の1時間先予測例を示す。

【参考文献】1) Kitanidis・Bras：W.R. R., Vol. 16, No. 6, pp. 1025～1033, 1980., 2) 高棹・椎葉・宝：京大防災研年報, 25 B-2, pp. 221～243, 1982.

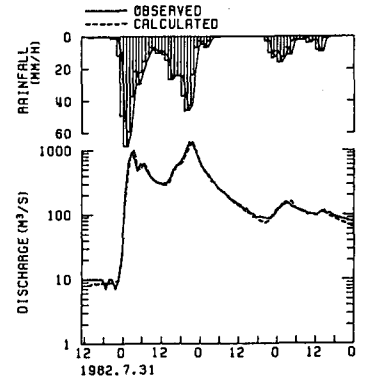


図5 1時間先予測例(大迫ダム)

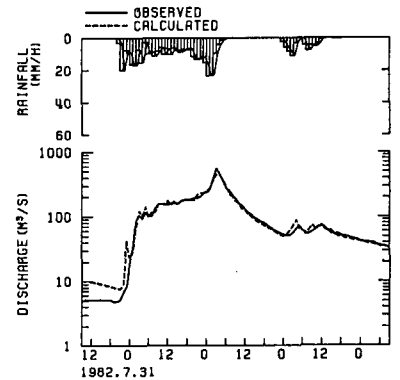


図6 1時間先予測例(永源寺ダム)

表1 予測流量の相対誤差評価

流域	流量予測法	降雨予測法	1時間先	2時間先	3時間先
大迫ダム	従来法	現時点強度継続	24.6%	28.1%	35.5%
		AR式逐次同定	8.6	16.9	26.9
	状態推定法	現時点強度継続	8.4	17.0	27.9
		3時間移動平均	9.6	20.2	31.4
		降雨既知	8.2	12.1	14.5
永源寺ダム	従来法	現時点強度継続	26.5	32.5	43.9
	状態推定法	現時点強度継続	12.0	22.7	37.2

相対誤差：観測流量100m³/s以上を対象とした全出水の平均相対誤差