

京都大学工学部 正員 小尻 利治  
 京都大学工学部 正員 高橋 琢馬  
 東京電力 正員 阿佐美一郎

1. はじめに 現行のダム貯水池操作は、長期の天気予報を考慮するとはいふ必要量だけを放流し、被害発生(異常事態)が予測される時点で、急遽変更するという即時的なものかほとんどである。したがって、過去の水文情報だけでなく、現在の観測情報を生かした合理的なダム操作が望まれることはいうまでもない。そこで本研究は、ダム貯水池の最適操作システムを構成するうえで重要な部分を占めている利水操作をとり上げ、各観測所から送られてくるデータを即時解析し、将来の入力分布を予測して、適切に放流量を迅速に決定する長時間操作方式の確立をはかろうとするものである。また、制御目的については水量制御のみならず、近年社会問題化している濁質をも同時に対象とし多目的制御とする。

2. 長時間操作システムの概要 利水時におけるダム操作手順は観測予測、放流量決定など有機的に関連し、図-1のようなフローチャートを形成している。以下、各サブシステムの具体的な表現を行おう。

I. 気象観測・処理システム——まず、気象情報を収集し、もし、降雨が予測・観測されるなら治水制御を実施する。ただし、本研究では治水時は別の操作基準に従うとして、ここでは取り扱わない。降雨の発生しない利水操作であれば、今後の無降雨期間  $t_b$  を推定し現在の利水制御期間とする。また、1降雨ありの降雨量  $r$  を推定し、貯水池水位回復量の算定指標とする。これが気象関係のサブシステムであるが、実際にはある規模以下の降雨は水量にも濁質にも大きな影響を及ぼさないと考えられるので、ある降雨規模  $\lambda_a$  (mm/day) 以上を対象降雨として解析に用いる。その結果、無降雨期間、降雨量の確率密度関数はそれぞれ、

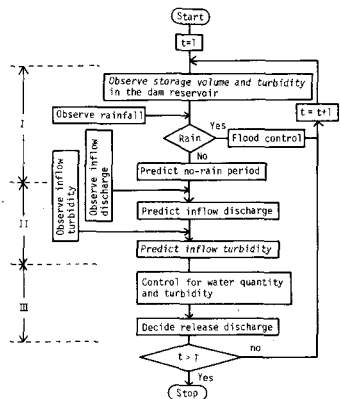
$$f_{t_b}(t_b) = \beta e^{-\beta t_b} \quad \text{----- (1)}$$

$$f_{r, \lambda > \lambda_a}(r) = \frac{(\lambda(r + \lambda_a))^{k-1} e^{-\lambda(r + \lambda_a)}}{\int_{\lambda_a}^{\infty} (\lambda h)^{k-1} e^{-\lambda h} dh} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 $\beta$ 、 $k$ 、 $\lambda$  は指数分布、ガンマ分布のパラメータである。新しい降雨が観測されれば、(1)、(2)式はベイズの定理によって過去の統計資料と結合した事後分布から、パラメータ値を決定しなければならない。すなわち各事後分布は

$$\hat{\xi}(w) = \frac{(A+B)^{MR+NR+1}}{(MR+NR)!} \cdot w^{MR+NR} \cdot e^{-(A+B)w} \quad \text{---- (3)}$$

$$\hat{\xi}(k, \lambda) = \frac{(\lambda^{k-1})^{MR+NR} (\bar{A}\bar{C})^{k-1} \cdot e^{-(\bar{B}+\bar{D})\lambda}}{\int_0^{\infty} (\lambda^{k-1})^{MR+NR} (\bar{A}\bar{C})^{k-1} \cdot e^{-(\bar{B}+\bar{D})\lambda} \cdot d\lambda \cdot dk} \quad \text{---- (4)}$$



I: Observation system of weather condition  
 II: Prediction system of water quantity and turbidity  
 III: Decision system of release discharge

図-1

記号の説明	
MR: 事前情報の数	NR: 観測情報の数
$A = \sum_{i=1}^{MR} t_i$	$B = \sum_{i=1}^{NR} t_i$
$\bar{A} = \sum_{i=1}^{MR} (r_i + \lambda_a)$	$\bar{B} = \sum_{i=1}^{NR} (r_i + \lambda_a)$
$\bar{C} = \sum_{i=1}^{MR} (r_i + \lambda_a)$	$\bar{D} = \sum_{i=1}^{NR} (r_i + \lambda_a)$

となる。したがって、最新のデータにもとづくパラメータ値の変更が可能であるが、(4)式はパラメータの周辺密度関数が簡単に求められないので、数値積分にたよるか近似関数を使用する必要がある。こうして利水制御期間  $T$  は得られた分布をもとに無降雨期間の期待値をとって  $1/\omega$  とする。

II. 入力予測システム——次の段階として、設定された制御期間内での入力(流入量、流入濁度)分布を予測する。流入量予測では、低水時を対象とするので流量の自然な減衰係数を用い、濁質予測では流量と濁質の一般関係式を用いて予測システムを構成する。具体的には、流量を  $Q_t$ 、濁度を  $C_t$  とおくと、 $Z_t = \ln Q_{t-1} - \ln Q_t$  として

状態方程式を  $\theta_t = \Phi_{t|t-1}\theta_{t-1} + w_t$  ----- (5)、観測方程式を  $z_t = \Psi_t\theta_t + v_t$  ----- (6)

とする動的システムを考え、状態の推定を行うのである。ただし、 $w_t, v_t$  は状態および観測誤差である。濁度に関して、 $y_t = \ln C_t$  とすると

状態方程式を  $x_t = \eta_{t+1}x_{t-1} + \bar{w}_t$  ----- (7)、観測方程式を  $y_t = \varphi_t x_t + \bar{v}_t$  ----- (8)

とする動的システムが考えられ、フィルタ理論の適用による状態の予測が可能である。ただし、流量の帰帰係数を一定値とするのは、誤差が大きいと思われるので、観測値が得られるごとに係数を修正する Adaptive Kalman filter を採用する。

Ⅲ. 意志決定システム——最後に、得られた入力分布に対して最適放流量を決定するがこの部分システムである。放流量の決定には DP (Dynamic Programming) を用いるが、その適用にあたっては制御期間終了時の貯水量が必要となる。そして期間内での流入量系列はもとより、将来の降雨による貯水池の水位回復量を考慮し、経年的な水供給バランスをもとに全ての利水時で同等の制御効果が達成できるように決定されなければならない。いま、

$$J = \min \left\{ \frac{Q_{1d}}{Q_{1d}}, \frac{Q_{2d}}{Q_{2d}}, \dots, \frac{Q_{nd}}{Q_{nd}}, \frac{C_{1d}}{C_{1max}}, \frac{C_{2d}}{C_{2max}}, \dots, \frac{C_{nd}}{C_{nmax}} \right\} \rightarrow \max \text{ ----- (9)}$$

流量を自然で減曲線であらわし、雨季と乾季で許容値(需要量)を分けると、最終貯水量  $S_{TE}$  は

$$S_{TE} = \left\{ S_0 + \frac{I_0}{\alpha_0} (\bar{e}^{\alpha_0} - \bar{e}^{-\alpha_0 T_E}) \right\} \left\{ 1 - e^{-\beta(T_{max} - T_E)} \right\} - (NC_D \cdot RS_D + NC_W \cdot RS_W + \frac{I_0}{\alpha_0} e^{-\alpha_0}) \beta e^{-(\beta + \alpha_0) T_E} \int_0^{T_{max}} \frac{e^{-\tau}}{\tau} d\tau + \frac{T_E I_0 \beta e^{-(\beta + \alpha_0)}}{\alpha_0} \int_{(\beta + \alpha_0)(T_E + X)}^{T_{max}} \frac{e^{-\tau}}{\tau} d\tau \text{ ----- (10)}$$

となる。ここに、 $\bar{Q}_{nd}$ 、 $C_{nd}$  は低水と濁度の許容値、 $Q_{nd}$  は最低流量、 $C_{nmax}$  は最大流量である。また、 $S_0$  は現貯水量、 $I_0$  は現流入量、 $\alpha_0$  は河川係数、 $NC_D, NC_W$  は通年における乾季、雨季での利水制御の回数、 $RS_D, RS_W$  は乾季、雨季での貯水池水位回復量、 $T_{max}, T'_{max}, T''_{max}$  はそれぞれ積分範囲を表す。

### 3. 適用と考察

対象とするダム貯水池は、四国吉野川水系の早明瀬ダムをとり上げ、昭和51年の6/13~7/17を適用期間とする。対象規模降雨は  $50 \text{ mm/day}$  とした。また、各密度閾値の適合性、入力分布の予測結果については講義時に述べることにしてここでは省略する。ただし、流量予測において、非線形流出成分の発生と考えられる  $50 \text{ m}^3/\text{sec}$  以上は、推定の際に除外した。図-2は各時刻の決定より得られた最終的な放流量系列であり、流量の平滑化がかなり進み、良好な制御結果といえる。図-3はそれとときの放流濁度と貯水量系列である。貯水池内濁度の解析モデルに完全混合モデルを用いたので、ゲート位置を変化させた制御結果との比較を行うことはできなかった。得られた放流量系列に対して、高次元モデルによる濁度解析を行うことにより、より正確な制御結果が得られたであろう。

### 4. あとがき

以上のように本貯水池操作方式では、分布閾値形や誤差の正規性など幾つかの仮定を前提にモデルを設定しているので、今後はその妥当性を検証し、決水時をも含んだ統合的なダム貯水池による長時間操作方式の確立を目指したい。さらに、解析精度の向上をはかる濁度評価の側面も強化していきたい。

<参考文献> A.H. Jazwinski; Stochastic Process and Filtering Theory, Academic Press, 1970.

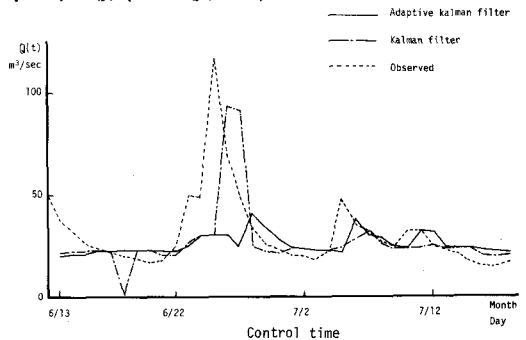


図-2

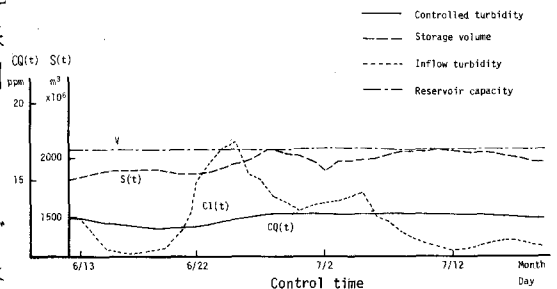


図-3