

(株) 日本水道コンサルタント

(正) 中川 芳一

同 上

(正) 萩原 良巳

同 上

(正) 辻本 善博

1. はじめに

近年の河川水利用の高度化・複雑化および新規水資源開発の困難性により、河川水のより効率的な利用をはかる貯水池群の統合管理が必要とされてきた。貯水池群の統合操作に当っては、将来の貯水池流入量を的確に把握し、補給効果を考慮した運用計画（目標放流量の決定）をたて、渇水時には節水運用を行なうことも必要となる。

本稿では、渇水期の利水用貯水池群の目標放流量系列を渇水時の被害最小という評価基準のもとで決定するモデルを、確率DP(ダイナミック・プログラミング)でもって設定するが、貯水池流入量の取扱いに際して、気象台発表の降水量の長期予報をもとに“確率分布をもった型紙”を作成することにより、確率的な変動を考慮した流入量系列の予測設定を行ない、実際に大きな渇水の生じた年度での適用例を示した。

2. 型紙DPによる目標放流量決定モデル

2-1. 確率DPモデル 確率DPとは、確率変数を入力とする制御システムの多段決定過程を対象とする数理計画手法であり、本稿のモデルは、貯水池流入量および残流域流入量を確率入力変数として捉え、渇水被害の期待値を最小化するような各貯水池の最適目標放流量系列を決定するモデルとなる。このモデルについては、参考文献1)に詳しいので、ここでは、その評価関数および関数方程式を表1に示すにとどめる。なお、モデルの運用期間は7~9月とし、各変数の離散化は、単位期間=旬、単位水量=100万 m^3 とした。ここで運用期間を7~9月の3ヶ月としたのは、後述する“確率分布をもった型紙”の作成に当って降水量の長期予報を利用するが、この予報が3ヶ月先までの予報であることによる。

2-2. 確率分布をもった型紙 貯水池流入量の予測法としては、①降雨の長期予報を利用する方法、②流入量の生起確率を利用する方法、③流入量時系列を利用する方法等が考えられるが、ここでは、①と②の方法により“確率分布をもった型紙”として旬流入量系列を予測設定する。

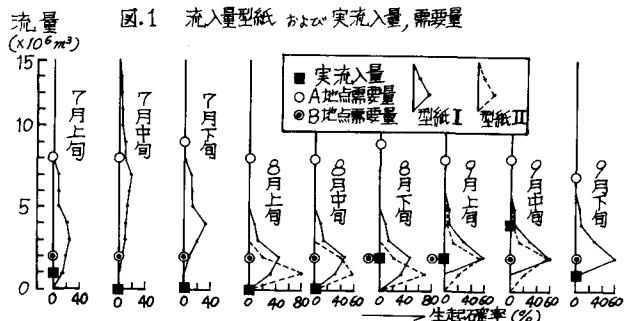
降雨の長期予報は5階級に区分されて発表されており、各階級の標準出現率は【少ない、やや少ない、並、やや多い、多い】である。この降雨の標準出現率に対応して旬流量も生起するものと見なし、この各予報階級の流入量標準出現率と過去10年間の月(7~9月)毎の実流入量の生起確率より、各階級が予報されたときの旬流入量の生起確率分布を作成した。そして、降雨の長期予報に対応して、旬流入量の生起確率分布系列を型紙として設定した。

このようにして設定した型紙を図1に示す。型紙Iは、対象年の6月末までの長期予報(1ヶ月、3ヶ月予報)をもとに設定した型紙であり、各旬の予報階級は【並又はやや少、並又はやや多、並、やや多、やや多、やや多、並、並、並】である。また型紙IIは、比較のため

表.1 評価関数, 関数方程式

評価関数	$J = \left\{ \sum_{t=1}^T E[D(Q_t)] \right\} + E[W] \rightarrow \min$
$D(Q_t)$	$= \sum_{i=1}^n (d_i(t) - Q_i(t))^2$ ($d_i > Q_i$ とするものについてのみ)
$d_i(t), Q_i(t)$	評価地点 i での t 期の需要量, 流量
W	$= w \cdot \sum_{i=1}^n (\delta_i - S_i(T+1))^2$ ($\delta_i > S_i$ とするものについてのみ)
w	ペナルティー係数
$S_i(T+1), \delta_i$	貯水池 i の $(T+1)$ 期の貯水量, 目標貯水量 (抽水とする)
E	期待値を表す。
関数方程式	
t 期 ($t \neq T$)	$f_t(S_1, S_2) = \min_{Q_1, Q_2} \sum_{i=1}^n \{ D(Q_i) + f_{t+1}(S'_1, S'_2) \} P(Q)$
T 期 (最終期)	$f_T(S_1, S_2) = \min_{Q_1, Q_2} \sum_{i=1}^n \{ D(Q_i) + W(S'_1, S'_2) \} P(Q)$
I	$I = (I_1, I_2, I_3)$, $S'_i = S_i + I_i - O_i$ (貯水量) (流入量) (放流量)

図.1 流入量型紙 および 実流入量, 需要量



6,7,8月末の1ヶ月予報をもとに設定した型紙であり、各旬の予報階級は
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{並又は} \\ \text{やや少, やや多, 並, やや少, 並, やや少, 並, やや少, 並} \end{array} \right\}$ である。

3. 適用例

流域モデル図を図.2に示す。貯水池1の流入量 I_1 と残

図.2 流域モデル図

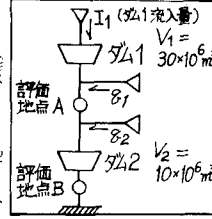


表.2 計算ケース

ケース	型紙	初期水位	ペナルティ係数 α
1	I	満水	1.0
2	I	1/2水位	1.0
3	I	1/2水位	0.0
4	II	満水	1.0
5	II	1/2水位	1.0

流域流入量 Q_1, Q_2 は理論的には3変数の確率分布と形成するが、ここでは対象流域が小さく、 I_1 と Q_1, Q_2 間の相関も高いことより、各残流域流量 Q_1, Q_2 は貯水池1流入量 I_1 の回帰式でもって与えた。この結果、確率入力変数は I_1 のみとなり、その生起確率分布を図.1の確率分布をもった型紙で与えた。また、貯水池運用計算に用いた各貯水池容量、評価地点需要量および貯水池1の実流入量は、図.2、図.1に示してある。

3-1. 計算ケース

運用計算として、型紙、貯水池初期貯水量、評価関数のペナルティ係数の相違により表.2に示す5ケースを行なった。

3-2. 計算結果とその考察

各ケースでの目標放流量系列および不足水量を表.3に、貯水池貯水量の変化を図.3に示し、評価関数値と表.4に示す。以下、各ケースの結果の比較検討を行なう。

まず、ケース1と4の結果と比較する。8月の目標放流量がケース4ではケース1に較べ小さくなっている。これは、8月の予測流入量の分布が型紙IIでは型紙Iより小さい方に偏っており、ケース1よりも小さな流入量しか期待できず、しかも終端での貯水量回復状態に対するペナルティがあるためであると考えられる。この結果8月の不足水量はケース4の方が大きくなっている。これに対し、9月の目標放流量はケース4の方が大きくなっている。これは、ケース4では8月の目標放流量を小さく抑えたため、貯水量の減少が小さく、終端で満水へ回復しやすくなったためと考えられる。

次に、初期水位を1/2水位としたケース2,5をみると、貯水池1の目標放流量は次期に大きな流入量が期待できる7月上旬を除いて0である。これは、貯水池1は上流部に位置し流入量が少なく、放流を行なっているのは貯水量の回復が期待できないためと考えられる。一方、貯水池2は、上流貯水池からの放流がないため、7月の目標放流量はケース1,4より大きくなっており、貯水量の減少が激しい。このため、8月の目標放流量はケース1,4より小さく抑えられている。当然のことながら、ケース2,5の評価値は、ケース1,4より明らかに大きくなっている。

このように、終端での貯水量回復状態に対するペナルティが各期の目標放流量決定に大きく関与している。そこで、終端での貯水量回復状態に対するペナルティと評価より除いたケース3の結果とケース2の結果と較べると、7月の目標放流量に変化はないが、8,9月のそれはケース3の方が大きくなり、その結果、貯水池1の貯水量の減少は激しいが、不足量は大幅に小さくなっている。

表.3 目標放流量, 不足水量

ケース	7月	8月	9月	評価関数		
				上	中	下
目標放流量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	1	4.0	2.2	2.0	0.0	0.0
	2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	1.0	10.2	2.1	1.1	0.0
	4	5.0	0.0	1.1	1.1	0.0
	5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
不足水量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	1	0.5	6.6	0.0	1.0	2.0
	2	0.1	1.1	0.0	0.0	0.0
	3	0.5	6.6	8.8	1.0	2.0
	4	0.0	0.0	1.1	2.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

図.3 貯水量の変化

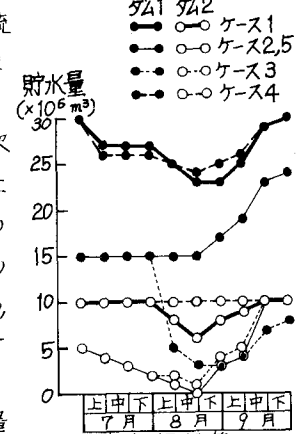


表.4 評価値

ケース	評価値	不足量	終端
1	140	140	0
2	237	201	36
3	103	103	—
4	173	173	0
5	238	202	36

4. おわりに

以上、本稿では、気象台発表の降水量の長期予報をもとに“確率分布をもった型紙”として将来の貯水池流入量の生起確率分布を予測設定し、このもとで確率DPにより貯水池群の目標放流量系列の決定を行なった。このとき、本稿では渇水期(3ヶ月間)の型紙を一意的に定めたが、実際の貯水池群運用に当っては、予報が出されるたび、すなわち1ヶ月毎に、向こう3ヶ月間の型紙を設定し直し、その時点での貯水量を初期値として目標放流量系列と逐次決定していくといった適応的運用が考えられる。

[参考文献] 1) 日本放送中; 確率DPによる貯水池群操作に関する一考察, 本講演会発表予定。