

(株) 日本水道コンサルタント (正) 辻本喜博

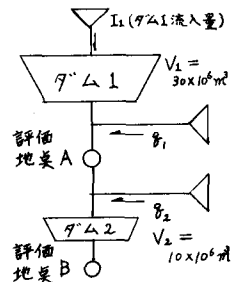
同 上 (正) 萩原良己

同 上 (正) 中川芳一

1. はじめに: 近年における水需給の逼迫は、河川水利用の高度化、複雑化をもたらしたが、一方、新規水資源の開発は困難になりつつある。このことから、河川水のより効率的な利用が要請され、そのためには貯水池あるいは貯水池群の効率的な運用方式の決定が不可欠となる。本稿では、不確定性の強い自然現象からの入力量である貯水池流入量を確率変数として取り扱い、漏水被害の期待値を最小化するという基準のもとで、貯水池群の目標放流量を決定する問題を、確率DPによりモデル化し、実際の河川において、貯水池群の年間運用ルールを決定するとともに、いくつかの流入量系列を設定して、年間運用計算を行なった。

2. 確率DPによるモデルの定式化とその解法: 対象とする流域モデル(図-1)は、ダム1とダム2が直列型の位置関係にあり、評価地A、Bのみで取水するものである。このモデルをダムによる流域制御システムとして捉えれば、入力変数はダム1流入量 $I_1(t)$ 、および残流域流入量 $g_1(t)$ 、 $g_2(t)$ 、状態変数はダム貯水量 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 、決定変数はダム目標放流量 $G_1(t)$ 、 $G_2(t)$ 、出力変数はダム実放流量 $O_1(t)$ 、 $O_2(t)$ および評価地実流量 $Q_A(t)$ 、 $Q_B(t)$ となる。年間ダム運用計画への確率DPの適用に際しては、月別ダム流入量、残流域流入量の確率変動を考慮し、7月以後終端までの漏水被害の和の期待値 $f_t(S_1, S_2)$ を最小化するように7月ダム目標放流量を決定するものとし、最適性の原理より以下の定式化が行なえる。

図-1 流域モデル図



$$f_t(S_1, S_2) = \min_{G_1(t), G_2(t)} \sum_{\Pi} \{ D(Q(t)) + f_{t+1}(S'_1, S'_2) \} \cdot P_t(\Pi) \quad \dots (1)$$

$$S'_i = S_i + I_i - O_i \quad (i=1, 2), \quad Q(t) = (G_1(t), G_2(t)), \quad Q(t) = (Q_A(t), Q_B(t)), \quad \Pi = (I_1, g_1, g_2)$$

ここに、 $D(Q(t))$ は漏水被害関数、 $P_t(\Pi)$ は7月におけるダム1流入量、残流域流入量の3変数確率分布である。

漏水被害は漏水の時期、漏水期間長等に大きく影響され、その社会経済的なインパクトを簡単に指標化することは困難であるが、ここでは参考文献1)に述べたように、社会的な漏水被害の大きさを示す総合特性値をよく説明していると考えられる不足水量の2乗和を漏水被害関数として用いることとする。

$$\text{漏水被害関数 } D(Q(t)) = \sum (\text{不足水量})^2 \quad (\Sigma \text{は評価地Aの総和}) \quad \dots (2)$$

ところで制御期間($t=1, 2, \dots, 12$)の後、すなわち1年後の終端における貯水量は、ある目標貯水量以上になることが、それ以後の運用のために必要とされるのが普通であり、ここでは終端でのこの要求をペナルティ(W)として評価に組み込むこととする。すなわち、終端での貯水量が目標貯水量以下のときには、その不足量の2乗に比例したペナルティを課すこととする。(この比例定数 w を、ペナルティ係数と呼ぶ。)

$$\text{ペナルティ } (W) = w \cdot \sum (\text{不足貯水量})^2 \quad (\Sigma \text{はダムの総和}) \quad \dots (3)$$

以上のようにしてモデルが定式化されたが、実際にこれを解くにあたっては、各変数を離散化し、数値計算により、最終月から出発して1月毎に $f_t(S_1, S_2)$ を計算し、(1)式右辺の値を最小化するようにダム目標放流量を決定していくこととなる。

3. 計算例: 2.で定式化したモデルを用いて、図-1の2ダムの年間運用ルールを決定し、実際に流入量系列を設定して年間運用計算を行なった。ここで水量の離散化単位は250万 m^3 とし、運用計算は5月初めに満水から出発し、1年間行ない、翌年4月末日における目標貯水量を満水とした。また、ダム1流入量と残流域流入量をそのまま3変数確率分布とすることは、莫大な計算時間を必要とするため、またこれらの相関も高いことから、残流域流入量をダム1流入量の回帰式で表わし、確率変数をダム1流入量のみとした。ダム1月別流入量の分布

は、過去30年間の流入量データを Thomas Plot して計算した。計算に用いたデータのうち、評価地帯における需要水量を表-1に、ダム1流入量の月別平均値および夏期渇水の厳しかった昭和48年の実績流入量を表-2に示す。

年間運用の計算ケースは表-3に示した4ケースである。ここでケース2およびケース4ではペナルティ係数を0としているが、これは、終端(翌年4月末日)において、貯水量に関する制約を付けないことに相当する。

各ケースの運用結果のうち、貯水量の推移を図-2に、目標放流量を表-4に、不足水量と被害関数値を表-5に示す。以下に結果の考察を行なう。

まず、昭和48年実績流入量系列を設定したケース1では、ダム1の貯水位の変動が大きく、水位の低下している8月、11月、12月、3月に渇水被害が出ており、特に8月の水位低下と被害が顕著である。また、ケース1では、終端において、貯水量はほぼ満水に回復している。

ケース2では、ケース1と同じ条件のもとで、終端でのペナルティを課せずに運用を行なっているが、この場合には、ダム1は貯水量が回復せず、終端では1/2水位以下となっている。しかし、12月以後、ケース1と比較して放流量が大きくなっているため、12月および3月の渇水被害はケース1ではそれぞれ10、4であったものが、ケース2ではそれぞれ4、1と小さくなっている。このことはすなわち、終端において目標貯水量に回復しないことに対するペナルティは、ダム操作に大きく影響し、途中の月で被害が大きくなっても終端で目標貯水量を満たすが、あるいは、終端で目標貯水量に達せずペナルティを課せられても途中の月の被害を小さくするかのトレードオフ関係が生じていることを示している。

平均流入量系列を設定し、終端でペナルティ係数を1としているケース3では、ダムの貯水位は安定し、不足水量は10月に若干生じている程度であり、終端では満水に回復している。このことから、確率DPによる運用ルール決定は、期待値による評価であるため、平均流入量系列に対する運用は、ほぼ最適なものとなっていると考えられる。

同じ平均流入量系列に対する場合でも、終端でペナルティを課さないケース4では、10月の放流量が大きくなり、その月の被害はケース3よりさらに小さくなっているが、以後終端まで、水位は回復していない。

4. おわりに； 本稿では、河川における貯水池群のより効率的な運用方式の決定を目的とし、各貯水池の目標放流量決定問題を確率DPによりモデル化し、それを適用して実際に年間運用計算を行なった。その結果、モデルのいくつかの特性を把握するとともに、モデルの有効性のある程度実証できたと思われる。本稿における問題点として以下のことがあげられよう。すなわち、本モデルでは、需要水量および不足水量について、上水、工業、農業の区別をせず、一括して取り扱った。また、評価地帯における取水のプライオリティは上流側が大きくなっている。現実には、どの取水地帯において、どの使用目的で、どれだけ取水するかという水利調整が問題となり、これらのトレードオフ関係が複雑な様相を呈するため、たとえばゲーム論的なアプローチによる妥当な取水ルールの決定が必要となろう。

〔参考文献〕1) 森・萩原・中川：新聞記事による渇水被害の分析，本講演会発表予定

2) 中村昭：ダムによる長期流況制御について，水資源に関するシンポジウム，1977

表-1 評価地帯需要量 (x250万m³)

月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
A	7	9	10	10	9	7	7	7	6	7	6	
B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

表-2 ダム1流入量 (x250万m³)

月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
S48実績	3	2	1	1	3	2	1	1	3	2	1	3
平均	3	6	6	2	4	1	2	2	2	2	2	3

表-3 計算ケース

ケース	ダム1流入量	ペナルティ係数
1	S48	1
2	S48	0
3	平均	1
4	平均	0

図-2 貯水量の推移

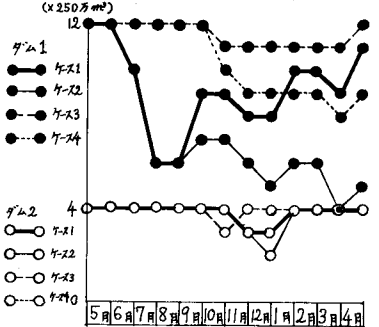


表-4 目標放流量 (x250万m³)

ケース	ダム	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
ケース1	A	1	3	4	5	1	0	2	2	1	1	2	2
	B	2	0	0	0	0	0	2	2	1	1	2	0
ケース2	A	1	3	4	5	1	2	2	2	2	2	3	2
	B	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0
ケース3	A	1	3	4	5	0	0	2	2	2	2	2	2
	B	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0
ケース4	A	1	3	4	5	0	0	3	3	2	2	2	3
	B	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0

表-5 不足水量と被害関数値

ケース	項目	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
ケース1	A貯量	0	0	0	7	0	0	2	3	0	0	2	0
	B貯量	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
	被害	0	0	0	53	0	4	10	0	0	4	0	0
ケース2	A貯量	0	0	0	7	0	0	2	2	0	0	1	0
	B貯量	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	被害	0	0	0	53	0	0	4	4	0	0	1	0
ケース3	A貯量	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	B貯量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	被害	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
ケース4	A貯量	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	B貯量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	被害	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0