

(株)日本水道コンサルタント 正員 森野彰夫
司 上 正員 中川芳一

1. はじめに

水資源の効率的な利用が要求される今日、貯水池による補給水量の信頼性評価は貯水池の利水容量の決定および運用計画を立てる場合の重要な基準となる。本稿では、従来単一貯水池について適用されてきたマルコフ連鎖理論に基づく貯水池による補給水量確保の信頼性評価手法¹⁾を複数個の貯水池をひとつの河川流域に適用し、貯水池群容量からみた利水安全度の評価を行なった。すなわち、河川の上流、下流に各々貯水池をひとつの流域として、年間の流入量系列を設定することにより貯水池群貯水状態の遷移確率行列を作成し、貯水量の定常時分布を推定することから取水地点の漏水確率(不足水量)が最小となる最適目標放流量について考察を行なった。

2. 遷移確率行列によるモデルの表示

貯水池をひとつの河川の利水システムにモデル化する場合、貯水池および取水地点の位置関係が重要となる。本稿では、実河川に例へて図-1に示すようにダムⅠとダムⅡが直列型の位置関係にあり、取水地点(A)はダムⅠとダムⅡの中間に、また取水地点(B)はダムⅡの直下にあるモデル流域の設定を行なった。

用いた貯水量方程式(1)に示す。

$$Z_{n+1} = \min(k, Z_n + X_n - \min(m, Z_n + X_n)) \quad (1)$$

ここに、 k, m : 有効貯水容量, 目標放流量

Z_n : 時点 n の直前における貯水量

X_{n+1} : 期間 $(n, n+1)$ における流入量

(1)式は貯水容量と最大限利用しようとする予測放流量との差の貯水量方程式であるが、 k, m が確定値として与えられた場合、 Z_n と X_n は互いに独立であるから貯水量系列 Z_n は単独マルコフ連鎖を構成することになる。本稿では、確率時に変動する流入量を受ける上、下流に設置された2貯水池について、各貯水量系列が単独マルコフ連鎖となることを用い、経年時の貯水池群貯水状態の遷移確率を算定することにより、利水安全度の評価を行なう。図-2に評価手順と、式(2)に貯水池群貯水状態の遷移確率行列 (P) を示す。

3. 計算例

2.で示したモデルについて実際に年間の流入量系列を設定して計算を行なった。計算を行なうに際して用いた離散化単位は、水量250万 m^3 、期間月とし、各月のダム流入量系列は実績データと理論分布型(片数正規分布)に当てはめることにより設定した。マルコフ連鎖の性質より流入量系列が同一の確率分布とみなせるように1年間を5分割した各季の初期における貯水状態の定常分布は次式を満すベクトル $\pi^{(s)}$ として与えられる。

$$\pi^{(s)} = \pi^{(s)} P_{(s)}, \quad P_{(s)} = P_s^{n_s} \cdot P_{s+1}^{n_{s+1}} \cdots P_{s-1}^{n_{s-1}} \quad (2)$$

ここに、 P_s : s 季の遷移確率行列

n_s : s 季の単位期間数

(2)式を用い、各月の初期における貯水状態の定常分布を算定し、貯水

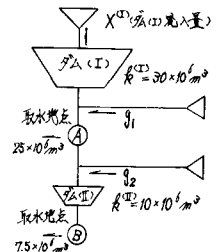


図-1 流域モデル図

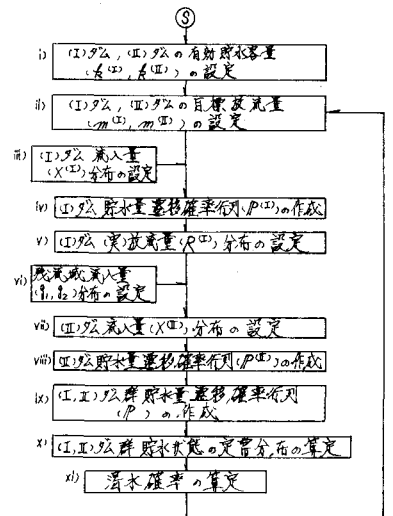


図-2 遷移確率行列による利水安全度の評価手順

状態が目標放流量に満たない確率（漏水確率）を算定した結果を図-3、図-4に示す。各貯水池の目標放流量は、(I)ダム（下流ダム）についてはその直下の取水地点取水容量 ≥ 1 、 $m^{(I)} = 3 \times 250$ 万 m^3 （年間一定）とした。(II)ダム（上流ダム）については、その直下の取水地点(A)ならびに下流取水地点(B)の取水容量を満すべく放流するものとし、ここでは $m^{(II)} = 4 \times 250, 6 \times 250, 8 \times 250, 10 \times 250$ の4ケースを設定して漏水確率の算定を行っている。これらの図は上流ダムの目標放流量 $m^{(II)}$ を種々設定した際の各月の漏水確率と貯水池毎に

について示したものであるが、図-3に示すように、上流ダムについては目標放流量を多くする程、特に夏期の容量不足が大きくなることかわかる。一方、図-4に示す下流ダムについてみると、上流ダムの目標放流量を多くしても必ずしも下流ダムの漏水確率は小さくなるものではないことかわかる。同図に示す特に容量不足（漏水確率）が大きくなる4, 5, 6月とみるに上流ダム目標放流量が 10×250 万 m^3 のとき、他の放流量規模と比較して最も漏水確率が大きく、目標放流量 $m^{(II)}$ を減少させるに伴な。て一端は漏水確率も小さくなるものの、 $m^{(II)} = 4 \times 250$ 万 m^3 の下では再び4, 5月において大きな容量不足が生じてくる結果となっている。このことより下流ダムについては、その調節能力（容量）に合わせ、流入量を設定することにより漏水確率を最小にすることができると考えられる。すなわち、ここでは上流ダム目標放流量を 6×250 万 m^3 に設定した際の流入量の下で漏水確率が最小となることかわかる。さらに、図-5は上流側取水地点(A)において流入量が取水容量に及ばない確率（漏水確率）を種々の上流ダム目標放流量の下で示したものであるが、図-4に示した下流ダムの漏水確率と同様、上流ダム目標放流量が 6×250 万 m^3 のとき、取水地点(A)の漏水確率も最小となることかわかる。以上のことより取水地点(A)(B)における漏水確率（不足水量）を最小とする上流ダム目標放流量は $m^{(II)} = 6 \times 250$ 万 m^3 といえよう。

4. おわりに

本篇では、直列型配置の2貯水池を例に、貯水池容量ならびに取水地点取水容量が計画に設定されている場合について、上流ダム目標放流量を種々設定することにより、貯水池による補給水量確保の信頼性（遷移確率行列により評価すること）と取水地点の漏水確率が最小となる上流ダム目標放流量について考察し、貯水池群容量からみた利水安全度を明らかにした。本モデルは計画規模が与えられたときの利水安全度の概略評価に際しては有効な手法と考える。今後日取水量の季節変動等と考慮することにより貯水池群の他配置についても同様な検討を行っているといつてよいであろう。

〔参考文献〕 1) 長尾正志：利水用貯水池の取水機能の信頼性評価に関するマルコフ連鎖理論の応用、

第21回水理講演会論文集、pp. 133 ~ 141, 1977

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & \dots & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ m^{(I)}-1 \\ m^{(I)} \end{matrix} & \begin{matrix} \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \dots & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} \\ \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \dots & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \dots & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}-1}{m^{(I)}} \times \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} \\ \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \dots & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} & \frac{G^{(I)}}{m^{(I)}} \end{matrix} \end{matrix}$$

(2)

$$G_j = \sum_{i=0}^n g_i$$

$$h_j = \sum_{i=0}^n h_i$$

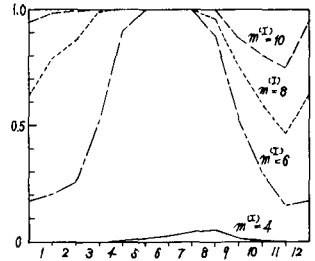


図-3 (I)ダム(上流ダム)漏水確率

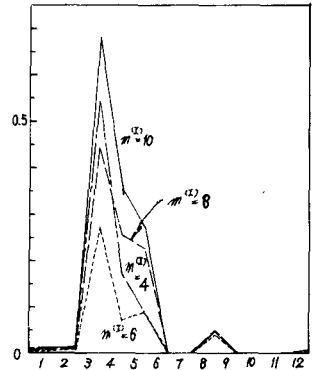


図-4 (II)ダム(下流ダム)漏水確率

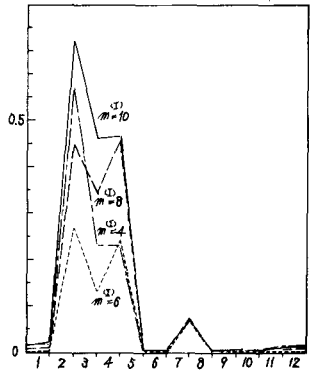


図-5 取水地点(A)の漏水確率