

遷移確率行列による貯水池群操作に関する研究

A Study on the Multiple-Reservoirs Management with Markov Chain Model.

（株）日本水道コンサルタント 正員 ○森 野 彰 夫
同 上 正員 中 川 芳 一

1. は じ め に

利水計画の策定に際しては、その基準としての安全度の評価が重要となる。

本稿では、貯水池による補給水量確保の信頼性を対象として、貯水池群容量からみた利水安全度の評価を行ない、利水安全度を向上させる貯水池群最適操作方式について考察する。

すなわち、利水安全度を計画安全度（計画に設定された施設規模・取水量の下で、計画通りの利水が可能となる確からしさ）とし、安全度の基準として取水量（確保流量）を採る。そして、貯水池群を統合操作した場合の利水安全度評価に際して、有効な役割を果たすと考えられる、マルコフ連鎖理論による評価手法¹⁾を複数の貯水池をもつ河川流域に適用できるように拡張する。これをもとに、取水点取水量を充足するに必要な貯水池補給水量確保の信頼性を貯水池群容量から評価するとともに、利水安全度を最大とする各貯水池の最適目標放流量系列の設定を、貯水池群貯水状態の遷移確率行列を用いて検討することが、本研究の目的である。

まず、2.では、従来単一貯水池について適用されていたマルコフ連鎖理論による貯水池の利水機能の評価法ならびに評価手順を複数の貯水池をもつ河川流域に拡張する場合のモデル化について述べ、貯水池群容量からみた利水安全度の評価方法を述べる。ついで、3.では、2.で提示した複数の貯水池をもつ河川の利水安全度の評価モデルを実河川流域に適用し、基準点（取水点）における渇水確率が最小となる各貯水池最適目標放流量系列を試行的に検討し、対象とした河川の利水安全度を明らかにする。

2. 遷移確率行列による利水安全度の評価モデル

2-1 概 説

1.でも述べたように、利水安全度の基準としては、基準点（取水点）における新規利水量も含めた確保流量を用いる。これにより、本稿で定義した利水安全度、すなわち計画通りの利水が可能か否かの判断を、（計画）開発施設を前提とした基準点（取水点）流量が確保流量（新規利水量を含む）以上か、以下かで行なう。

いま、貯水池の貯水量を評価変量とした場合、利水安全度は次式(1)で与えられる。³⁾

$$\gamma_n = P_r\{R_{n-1} < m\} = P_r\{Z_n = 0\} - P_r\{R_{n-1} = m\} \doteq P_r\{Z_n \doteq 0\} \quad (1)$$

ここに、 γ_n ：(n-1, n) 期間の貯水池渇水確率、 R_{n-1} ：(n-1, n) 期間における貯水池(実)放流量
 m ：貯水池目標放流量、 Z_n ：n 期の直前における貯水量

すなわち、基準点の確保流量に対応して、貯水池の目標放流量 m を設定し、貯水池流入量 X の生起確率をもとにして貯水状態の遷移確率行列の作成を行ない、任意時点 n における貯水量の分布確率を算定する。これにより、貯水池から目標放流量が放流できない確率 γ_n （貯水池渇水確率）を、式(1)により評価する。

つぎに、基準点流量を評価変量とした場合、利水安全度は次式(2)で与えられる。

$$S = P_r\{Q_n < QR_n\} \quad (2)$$

ここに、 Q_n ：n 期の基準点流量、 QR_n ：n 期の基準点確保流量

Q_n の設定に際しては、まず、n 期の貯水状態をもとに線型決定ルールに従った、貯水池(実)放流量を算定し、これと n 期の残流域流入量を用いて、基準点流量を算定する。

本稿では、上記、貯水池の貯水量ならびに基準点流量の2つの確率変量を用いて、利水安全度を評価する。

2-2 モデルの定式化とアルゴリズム

従来単一貯水池について適用されてきた、貯水量方程式を有限な単純マルコフ連鎖によってモデル化し、設定した貯水池流入量の生起確率を用いて行なう利水安全度の評価手順を図-1に示す。これは Moran's model の考え方に則し、貯水池を含む系を1年をサイクルとして同じ状態を繰り返す在庫モデルに擬したものであり、独立定常系列として設定した貯水池流入量系列を用い、経年的な貯水状態の遷移確率より利水安全度を評価するものである。

ここでは、この評価手法を複数個の貯水池をもつ河川に適用する場合のモデルの定式化とアルゴリズムについて述べる。

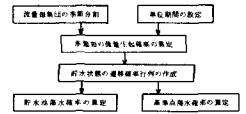


図-1 遷移確率行列による利水安全度の評価手順

a. 流域モデル

一般に、貯水池をもつ河川の利水システムをモデル化する場合、貯水池の位置関係が重要となる。本稿で検討対象として設定したモデル流域は、図-2に示すように、河川の上流に2つの貯水池が並列に位置し、これら貯水池群と下流貯水池が直列型の位置関係にある流域である。

取水点は2地点とし、上流側取水点Aは、並列型の位置関係にある上流貯水池群と下流貯水池の中間に、下流側取水点Bは下流貯水池の直下にある。

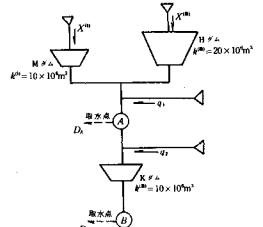


図-2 流域モデル

b. 貯水池群貯水状態の遷移確率行列

単一貯水池における貯水状態の遷移確率行列は季節毎にランダム化された貯水池流入量の生起確率を用いて作成することができる。この手法を複数個の貯水池をもつ河川流域に適用する際には、各貯水池貯水状態の相互関連を考慮して貯水池流入量の生起確率を設定することが必要となる。すなわち、下流貯水池流入量分布は上流貯水池群の放流量分布より決定され、さらにこの上流貯水池群の放流量分布はその貯水状態に規定されることを考えれば、上下流の各貯水池の状態遷移確率行列は独立には作成できない。図-3にモデル流域を対象とした、貯水池群貯水状態の遷移確率行列の作成手順を示す。

以下、各項目について説明を加える。

- ①各貯水池の有効貯水容量($k^{(1)}$, $k^{(2)}$, $k^{(3)}$)は計画し定められたものとして設定する。
- ②各貯水池の目標放流量については、つぎのように設定する。

下流貯水池の目標放流量($m^{(3)}$)は、その直下の取水点Bの取水量(D_B)とする。

上流貯水池群の各目標放流量($m^{(1)}$, $m^{(2)}$)については、上流側取水点Aならびに下流側取水点Bの両取水量(D_A , D_B)を満たすべく放流することとし、種々の放流量規模を目標放流量として設定する。なお、両取水点における取水量についても、貯水池容量と同様、計画し定められているものとして設定する。

③貯水池流入量系列が定常とみなせるように1年を幾つかの季節に分割し、さらに各季節内において流入量系列が独立とみなせる単位期間の選定を行なう。そして、単位期間内総流入量の生起確率分布を季節毎に推定する。

④上流貯水池群貯水状態の遷移確率行列($P^{(1+2)}$)を、各貯水池流入量の生起確率($g^{(1)}$, $g^{(2)}$)を用いて季節毎に作成する。このとき、並列型の位置関係にある上流貯水池群の各貯水状態は、相互に独立であるとする。

両貯水池の貯水状態の全ての組合せを考慮した、2貯水池群貯水状態の遷移確率行列を式(3)に示す。本稿

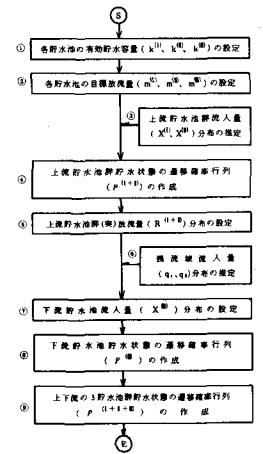


図-3 貯水池群貯水状態の遷移確率行列作成手順

では、貯水池容量を最大限利用しようとする立場に立ち、貯水状態の存在範囲を有効貯水容量まで考慮して、予測放流方式⁽³⁾の下での貯水状態遷移確率行列を作成することとする。

⑤上流貯水池群の貯水状態毎に、各貯水池流入量の生起確率 $(g^{(1)}, g^{(II)})$ 及び、設定した各貯水池目標放流量 $(m^{(1)}, m^{(II)})$ を用いて、(実)放流量分布を設定する。

各貯水池(実)放流量生起確率 (g'_i) は、貯水状態 α
($0 \leq \alpha \leq k$)、目標放流量 m 及び貯水池流入量の生起確率 (g_i) の関数として、式(4)のように表わされる。

a. $m-1 \geq \alpha$ のとき

$$\begin{aligned} g'_0 &= g'_1 = g'_2 = \dots = g'_{\alpha-1} = 0 \\ g'_{i+\alpha} &= g_i \quad (m-\alpha-1 \geq i \geq 0) \\ g'_m &= \sum_i g_i \quad (m+k-\alpha \geq i \geq m-\alpha) \\ g'_{i-k+\alpha} &= g_i \quad (N \geq i \geq m+k-\alpha+1) \end{aligned}$$

b. $\alpha \geq m$ のとき

$$\begin{aligned} g'_0 &= g'_1 = g'_2 = \dots = g'_{m+1} = 0 \\ g'_m &= \sum_i g_i \quad (m+k-\alpha \geq i \geq 0) \\ g'_{i-k+\alpha} &= g_i \quad (N \geq i \geq m+k-\alpha+1) \end{aligned}$$

(4)

ここに、 g'_i 流量規模が i となる(実)放流量生起確率

貯水池(I)における貯水状態毎の(実)放流量生起確率を表-1に示す。

以上より、上流貯水池群からの(実)放流量 $(R^{(I+II)})$ 分布は、式(4)に示した各貯水池からの(実)放流量生起確率の同時確率として設定することができる。

⑥③と同様に、残流域流入量 (q_1, q_2) について、流入量系列が独立定常とみなせるように分割・選定した季節毎の各单位期間総流入量の生起確率分布を推定する。

⑦下流貯水池への流入量分布は、上記⑤⑥で設定した確率変量、すなわち、上流貯水池群の(実)放流量、残流域流入量 (q_1, q_2) を用いた、3変数同時確率分布として設定することができる。

但し、各変数が各々独立(無相関)と仮定できる場合については、下流貯水池への流入量分布 (g'') は、次式(5)で与えられる。

$$\begin{aligned} g''(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} g'(x-y) \cdot \theta(x) dx \\ \theta(x) &= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x-D_A-y) \cdot f_2(y) dy \\ g' &: \text{上流ダム(I)の放流量分布} \\ f_1, f_2 &: \text{残流域流入量分布} \\ D_A &: \text{取水点Aの取水量} \end{aligned} \quad (5)$$

⑧⑦で設定した流入量の生起確率を用いて、下流貯水池における貯水状態の遷移確率行列 $(P^{(III)})$ を上流貯水池群の貯水状態毎に作成する。

⑨⑧で作成した、下流貯水池の貯水状態遷移確率行列を、式(3)に示した上流貯水池群の貯水状態遷移確率行列 $(P^{(I+II)})$ に代入することにより、上下流の3貯水池群を対象とした貯水状態遷移確率行列を作成する。

$$P^{(I+II)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & k^0 - m^0 & \dots & k^0 - 1 & k^0 \\ 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 & 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 & 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 & \dots & 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 & \dots & 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 & 0 \leq k^0 \leq m^0 k^0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここに、 $G_j = \sum_{i=0}^j g_i$ $h_j = \sum_{i=j}^N g_i$

$g_i^{(I)}$: 貯水池(I)への流入量が i となる流入量生起確率

$P^{(II)}$: 貯水池(II)の貯水状態遷移確率行列

		上流貯水池の(実)放流量									
		0	1	2	...	$m^{(1)}$	$m^{(1)}+1$	$\dots$	$N-k^0$	$N-k^0+1$	$\dots$
上流貯水池(I)の貯水状態	0	g_0	g_1	g_2	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}} g_i$	$g_{m^{(1)}+1}$	$\dots$	g_{N-k^0}	0	...
	1	0	g_0	g_1	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}-1} g_i$	$g_{m^{(1)}} = g_{N-k^0+1}$	$\dots$	g_{N-k^0}	g_{N-k^0+1}	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	$m^{(1)}$	...	...	...	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}-1} g_i$	$g_{m^{(1)}} = g_{N-k^0+1}$	$\dots$	g_{N-k^0}	g_{N-k^0+1}	...
	$m^{(1)}+1$	0	0	0	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}} g_i$	$g_{m^{(1)}+1} = g_{N-k^0}$	$\dots$	g_{N-k^0}	g_{N-k^0+1}	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	k^0	0	0	0	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}} g_i$	$g_{m^{(1)}+1} = g_{N-k^0}$	$\dots$	g_{N-k^0}	g_{N-k^0+1}	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	k^0	0	0	0	...	$\sum_{i=0}^{m^{(1)}} g_i$	$g_{m^{(1)}+1} = g_{N-k^0}$	$\dots$	g_{N-k^0}	g_{N-k^0+1}	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

表-1 貯水状態毎の(実)放流量生起確率(貯水池(I))

以上の手順により作成された貯水池群貯水状態の遷移確率行列を用い、貯水池群貯水状態の定常分布を算定する。マルコフ連鎖の性質として、I季の始めを出発点とした1年間を1つのサイクルとした場合、N年後の貯水量状態確率は次式(6)で与えられる。

$$P_N = P_{1,0} \cdot \{P_{(1)}\}^N \quad (P_{(1)} = P_1^{n_1} \cdot P_2^{n_2} \cdots P_s^{n_s}) \tag{6}$$

ここに、 $P_{1,0}$: I季の初期状態、 P_s : s季の貯水状態遷移確率行列

n_s : s季内の単位期間数

さらに、 $N \rightarrow \infty$ のとき、貯水量状態確率 P_N は初期状態 $P_{1,0}$ に無関係に、ある確定した極限ベクトル（定常分布）に収束する⁽⁴⁾。本稿では、この貯水量の定常分布を用い、各貯水池が目標放流量を放流できない確率を貯水池渇水確率として、又基準点流（入）量が、取水量に及ばない確率を取水点渇水確率として算定し、貯水池をもつ河川の利水安全度を評価する。

式(7)、式(8)に、評価に用いる貯水池渇水確率ならびに取水点渇水確率の算定式を示す。

$$\gamma^{(1)} = \sum_{j=1}^{m-1} \eta_j^{(1)} \tag{7}$$

ここに、 $\gamma^{(1)}$: I季の貯水池渇水確率、 $\eta^{(1)}$: I季の貯水状態定常分布

m : 貯水池目標放流量

$$s^{(1)} = \sum_{j=1}^K (\eta_j^{(1)} \cdot \sum_{i=1}^{D-1} g_{ij}'') \tag{8}$$

ここに、 $s^{(1)}$: I季の取水点渇水確率

g_{ij}'' : 貯水状態が j のときの、取水点流入量の生起確率 (g_i'')

貯水状態 σ 数（組合せ総数）、 D : 取水点取水量

3. モデルの適用例

3-1 入力データと演算ケースの設定

計算に用いる、貯水池諸元ならびに取水点取水量を表-2(a)(b)に示す。離散化単位は、水量 250 万 m^3 、期間月とし、流入量系列の定常化のために分割する季節は7季とした。各季の流入量分布の推定に際しては、過去24年間の実績データを用い、各月の総流量を用いて理論分布型（対数正規分布）に当てはめた。

また、残流域の流入量については実績データの検討の結果、上流各貯水池への流入量との相関が高く認められたため、上流貯水池群流入量の回帰式で表わすこととした。このため、下流貯水池への流入量分布の設定に際して用いる確率変量は上流貯水池群を対象とした流入量と放流量の2確率変量である。

貯水状態の遷移確率行列の作成に際しては、通常、本稿で対象とした複数個の貯水池をもつ河川流域についても、貯水池群を統合して単一の貯水池とみなした取り扱いがなされる。これは、取り扱いが容易な上に取水点等の位置が単純な場合については有効な手段と考えられるためであるが、本稿で対象とした流域のように取水点が貯水池群の中間にあり、さらに取水点の上下流から（残流域）流入量が存在する場合については必ずしも対象流域を現実にもした形でモデル化することにはならないと考えられる。

したがって、本稿で演算ケースとして設定するケースは、以下に示すように、3つの貯水池が単独に存在するケース（Case c）以外に、従来行なわれている複数個の貯水池を統合したケース（Case a、b）も検討対象ケースとして設定し、貯水池群の取り扱いによる結果の相異についても比較・検討する。

貯水池諸元	値 (×250万 m^3)
上流貯水池 (I)	
有効貯水容量 ($k^{(1)}$)	4
目標放流量 ($m^{(1)}$)	1, 2, 3
上流貯水池 (II)	
有効貯水容量 ($k^{(2)}$)	8
目標放流量 ($m^{(2)}$)	3, 4, 5
下流貯水池 (III)	
有効貯水池容量 ($k^{(3)}$)	4
目標放流量 ($m^{(3)}$)	3

表-2(a) 貯水池諸元

(×250×10 ⁶ m ³)													
地点	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	平均
取水点A	9	11	12	11	10					9	10	10	
取水点B	3		3	3	3	3	3	3		3	3	3	

表-2(b) 取水点取水量 (DA, DB)

ケース	演 算 条 件		備 考
	貯水池諸元 (×250万 m^3)	目標放流量	
Case a	有効貯水容量 $k = k^{(1)} + k^{(2)} + k^{(3)}$	$m = \overline{D} (= D_A + D_B)$	3貯水池統合
Case b	$k_1 = k^{(1)} + k^{(2)}$ $k_2 = k^{(3)}$	$m_1 = 2, 4, 6, 8, 10$ $m_2 = 3 (= D_B)$	上流2貯水池統合
Case c	$k_1 = k^{(1)}$ $k_2 = k^{(2)}$ $k_3 = k^{(3)}$	$m_1 = 1, 2, 3$ $m_2 = 3, 4, 5$ $m_3 = 3 (= D_B)$	3貯水池独立

表-3 演算ケース一覧

a. 3つの貯水池群を統合して単一の貯水池とみなしたケース。(Case a)

b. 並列型の位置関係にある上流の2貯水池を統合し、上下流に直列型に配置された2つの貯水池とみなしたケース。(Case b)

c. 上流に並列配置の2貯水池、下流に1つの貯水池を有する、3貯水池を対象としたケース。(Case c)表-3に設定した演算ケースの一覧を示す。

3-2 演算結果とその考察

ここでは、まず、表-3に示した各演算ケースの利水安全度の評価結果について、比較・検討し、その後、各貯水池最適操作方式(最適目標放流量系列の設定)について考察する。

1) 貯水池群配置の取り扱いによる結果の相異の比較・検討

① 3つの貯水池を統合した場合の結果。(Case a)

図-4に、3貯水池を統合して単一の貯水池とみなし、両取水点の取水量($D_A + D_B$)を目標放流量として設定した場合の貯水池渇水確率を示す。同図に示すように、特に渇水確率が高くなる月は、4月、5月、6月、9月であり、取水量が前の月に増大した月において渇水確率が高くなるのがわかる。なお、5月、6月において渇水確率が高くなっているのは、流入量が少なかったためである。

② 上下流に配置した2つの貯水池とみなした場合の結果。(Case b)

図-5、図-6(a)(b)に、上下流の各貯水池について算定した、貯水池渇水確率を示す。各貯水池の渇水確率の算定に際しては、上流貯水池の目標放流量を種々変化させた場合の貯水池渇水確率の変化の様子を検討するために、図-5上欄に示す5ケースの演算を行なっている。すなわち、上流貯水池の目標放流量を、その直下の取水点Aならびに下流側取水点Bの両取水量($D_A + D_B$)を満たすべく放流することとし、パラメトリックに設定した。

図-5に示すように、上流取水点については、目標放流量を大きく設定する程、各月の渇水確率は高くなり、特に、目標放流量の年間平均量が $\bar{6}$ 以上(Run 3, 4, 5)において、夏季の容量不足が著しく増大する。

一方、図-6(a)(b)に示す下流貯水池についてみると、上流貯水池の目標放流量を大きく設定しても、必ずしも渇水確率は低くならない。このことは、下流貯水池については貯水池の調節能力(容量)に見合った流入量(上流貯水池の放流量)を設定することが必要なことを示すものである。

さらに、図-7(a)(b)には、式(8)を用いて算定した、上流側取水点Aにおける渇水確率(流入量が取水量に及ばない確率)を示す。同図は、前掲図-6(a)(b)同様、種々の上流貯水池目標放流量の下で渇水確率を示したものであり、下流貯水池と同様、上流貯水池の目標放流量がRun 3のとき、すなわち年間の平均量が $\bar{6}$ のとき、取水点Aの渇水確率も最小となることがわかる。

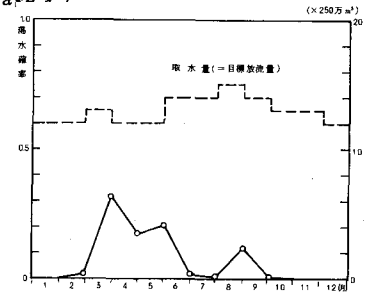


図-4 貯水池渇水確率 (Case a)

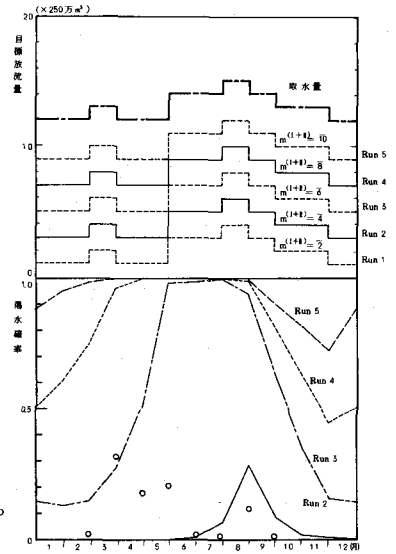


図-5 上流貯水池群渇水確率 (Case b)

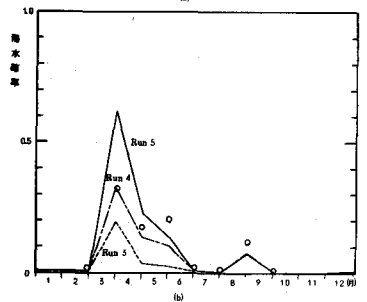
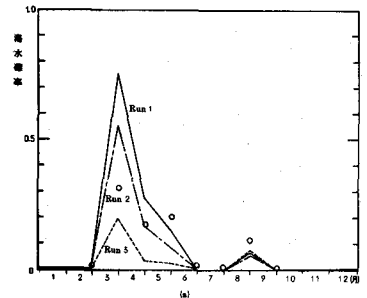


図-6(a)(b) 下流貯水池渇水確率 (Case b)

つぎに、前述した3貯水池を統合した場合（Case a）との結果の相異について比較・検討する。

一連の図には、Case a の結果を同時に、○印で示してある。これを見ると図-6(a)(b)に併記するように、下流貯水池については各月の渇水確率が定性的にはかなり類似したものとして得られる一方、図-7(a)(b)に示す取水点Aについてみると、各月の渇水確率に1ヶ月の遅れがみられ、3貯水池を統合した場合については、実際の現象に則したように、上流側取水点の各月の渇水確率が下流貯水池の渇水が始まる前の月として評価できないことがわかる。

定性的にかなり類似した結果が得られる下流貯水池について、上流貯水池の目標放流量を種々変化させた各ケースを、3貯水池を統合した場合の結果と比較すると、以下の通りである。

- ・ 定量的にも、最も類似した結果が得られるケースは、上流貯水池目標放流量の年間平均量が8のとき（Run 4）であり、上下流の各貯水池目標放流量の和がCase a と等しくなるRun 5においては、各月の渇水確率が一様に高く現われる。

- ・ 利水安全度が最も向上するRun 3は、Case a と比較すると、渇水月においてかなり高い安全度を表わす。

以上、本稿で対象とした流域について、3貯水池を統合した場合（Case a）と上下流に直列配置を有する2貯水池とみなした場合（Case b）について、利水安全度の評価結果を比較・検討した。

このことより、従来行なわれていた統合貯水池に対する利水安全度の評価手法は、その概略評価に対しては有効であるが、取水点を複数個有するといった流域については、必ずしも的確に利水安全度を評価するものではないことがわかった。本稿では、この複数個の貯水池を対象とした利水安全度の評価手法を、さらに、3貯水池群へ拡張・適用し、利水安全度を最大にする各貯水池最適操作方式について考察する。

ii) 並列貯水池における操作方式の比較・検討

並列貯水池の合理的な操作方式と言われるスペース・ルールは、無効放流を最小にすることを目的として、各貯水池を対象に、将来の予測流入量に比例した貯水池スペースを作っていく放流方式⁽⁵⁾である。

ここでは、上流の2貯水池を対象に、各季の目標放流量総和を、i)で設定した上流貯水池最適目標放流量系列（Run 3）に等しくし、複数の配分比率の下で、各貯水池の渇水確率、ならびに取水点の渇水確率を考察する。

表-4に、検討対象として設定した3ケースの並列貯水池操作方式（年間の目標放流量系列の配分量）を示す。

対象とした2つの貯水池は、容量比率が1：2、又実績データより貯水池流入量比率も年間を通して、ほぼ1：2と判断できるため、スペース・ルールに順じた放流方式（放流量の配分方法）としてケースC-2を用いる。

図-8(a)(b)に、各ケースでの上流貯水池渇水確率を、同じく、図-9、図-10に、下流貯水池ならびに取水点Aの渇水確率を示す。図中、*印で示す渇水確率が、i)で設定した上流2貯水池を統合した場合の最適目標放流量系列の下での結果を示すが、上流の各貯水池については、ケースC-2において、両貯水池を統合（管理）した場合の渇水確率は

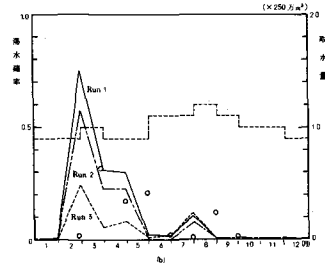
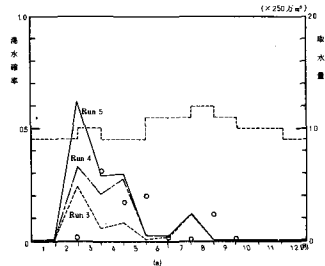


図-7(a)(b) 上流側取水点A渇水確率 (Case b)

季	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C-1	4(1)	4(1)	6(1)	6(1)	7(1)	6(1)			
C-2	3(2)	3(2)	5(2)	5(2)	6(2)	5(2)			
C-3	2(3)	2(3)	4(3)	4(3)	5(3)	4(3)			
季	10	11	12	1	2	3			
C-1	5(1)	5(1)	4(1)	4(1)	4(1)	5(1)			
C-2	4(2)	4(2)	3(2)	3(2)	3(2)	4(2)			
C-3	3(3)	3(3)	2(3)	2(3)	2(3)	3(3)			

表-4 上流貯水池(II)目標放流量注) ()内：上流貯水池(I)目標放流量

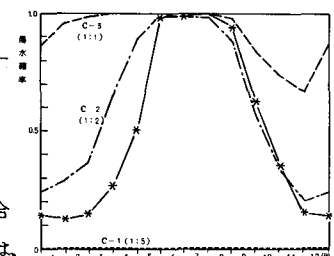


図-8(a) 上流貯水池(II)渇水確率 (Case c)

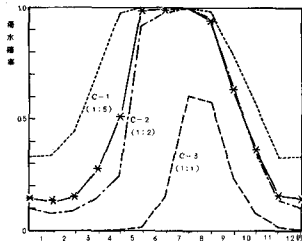


図-8(b) 上流貯水池(I)渇水確率
(Case c)

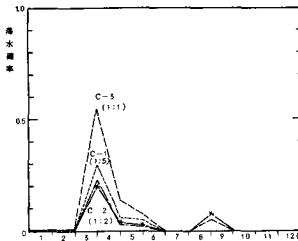


図-9 下流貯水池(II)渇水確率
(Case c)

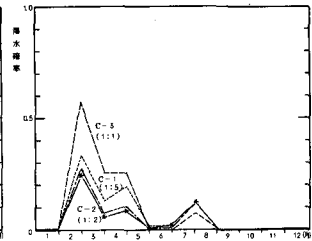


図-10 上流側取水点A渇水確率
(Case c)

ば正確に表わすことがわかる。

同様に、図-9、図-10に示す、下流貯水池ならびに取水点Aの渇水確率についても、ケースC-2の下での結果は、上流貯水池群を統合(管理)した場合の結果と良好な一致を示すことがわかり、並列貯水池操作ルールにおけるスペース・ルールの合理性が検証できた。

4. おわりに

流域内の貯水池群を統合管理すれば、無効放流されていた水が有効に資源化されることや渇水時の水利調整がより有効に行なえること等により、利水システムの安全度は向上する。

本稿は、計画規模が与えられたときの利水安全度評価を目的とし、従来単一貯水池について適用されていた、マルコフ連鎖理論を用いた貯水池による補給水量確保の信頼性評価手法を、複数個の貯水池をもつ河川流域に拡張・適用し、貯水池群容量からみた利水安全度を評価するとともに、利水安全度を介して貯水池群操作方式の検討を行なった。

この結果、以下に示すことが明らかとなった。

- ①従来から行なわれている、貯水池群の統合による利水安全度の評価手法は、取水点の位置等により、必ずしも的確な評価手法とはなり得ない場合がある。したがって、本稿で対象としたような、上下流において2ヶ所の取水点を有する流域については、上下流の貯水池を各々個別にし、貯水池群貯水状態の遷移を考えることが必要である。
- ②複数個の貯水池を対象とした貯水池群貯水状態の遷移確率行列を作成することにより、貯水池をもつ河川において、利水安全度を最大にする各貯水池最適目標放流量系列の設定を行なうことが可能となった。今後の課題としては、以下の項目が挙げられる。

- ①マルコフ連鎖による理論解析代行部分についての近似的取り扱い方法の検討。
- ②貯水状態定常分布の算定に際しての、季節区間の分割ならびに流量の周期性の検討。

最後に、本稿の作成にあたり、熱心な討議を頂いた萩原良巳氏、渡辺晴彦氏をはじめ、㈱日本水道コンサルタント システム開発室の各位に謝意を表する。

〔参考文献〕

- 1) N. U. Prabhu; "Queues and Inventories, Chap. 6, Moran's model for the dem," 1965, PP.191~205. John Wiley & Sons.
- 2) 中川芳一・森野彰夫; 遷移確率行列による貯水池群操作に関する一考察、第34回土木学会年次学術講演会講演概要集、第2部、PP.57~58, 1979
- 3) 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
- 4) たとえば、松田正一他; ORのための基礎数学、4、4.1 マルコフ過程、1970
- 5) 岸 力; 低水管理に関する諸問題、第13回衛生工学研究討論会講演論文集、PP.237~245, 1977