

大阪大学工学部 正員 室田 明

同上 正員 ○ 神田 徹

まえがき

利水を対象とする貯水池最適操作に関する重要な課題は、河川流量の長期的推測および水需要に対する貯水池からの供給水に関する合理的な評価関数の設定の問題である。筆者らは前報¹⁾²⁾において半旬流量時系列を解析し、その時系列変動特性と月平均流量との関係を用いることにより低水半旬流量時系列のシミュレーション・モデルを作成した。

本研究ではこの半旬流量を流入量とする貯水池の貯水量変動およびこれに伴う貯水池放流量の特性を検討する。貯水池最適操作方式については、放流量と同時にその供給期間すなわち信頼性を導入した評価関数を設定する。この評価関数に対する貯水池最適操作方式をDPによって決定し、さらに貯水池規模と流入量変動の影響についても検討する。

1. 貯水池放流方式

前報に述べたごとく、1ヶ月間一定の目標放流量を仮定し各半旬の放流量はこの目標放流量を放流する(完全放流とよぶ)か、全く放流しない(ゼロ放流とよぶ)かのいずれかの方式とする。

オK半旬はじめからオ(k+1)半旬はじめへの貯水量変化は次式で表わされる。

$$Z^{k+1} = Z^k + g^k - C \quad (1)$$

ここに、 Z^k, Z^{k+1} : オK半旬はじめ、オ(k+1)半旬はじめの貯水量、 g^k : オK半旬の流入量(確率分布は既知)、 C : 目標放流量(月間一定値またはゼロ)。

ただし、式(1)は貯水池が満杯になるときは $Z^{k+1} = Z_{full}$ 、空になるときは $Z^{k+1} = Z_{emp} = 0$ である。

貯水量 Z^k から Z^{k+1} への推移確率行列 $[P_{k,k+1}]$ は式(1)において Z^k, Z^{k+1} を与えると流入量 g^k の確率分布により求められる。したがって、初期貯水量(月のはじめの貯水量) Z^0 を与え、目標放流量 C を仮定すれば、オK半旬後の貯水量 Z^{k+1} はK次の推移確率行列 $[P_{k,k+1}]^K$ より計算できる。

以下の計算例は木津川・高山ダムの諸量を用いている。流量資料は48年間の半旬流量記録であり、有効貯水容量は $4.92 \times 10^9 \text{ m}^3$ ($113.9 \frac{\text{m}^3}{\text{sec} \cdot \text{day}}$) である。計算の便宜上この貯水容量を50ステップ(1ステップ: $2.27 \frac{\text{m}^3}{\text{sec} \cdot \text{day}}$) に等分割し、貯水量の状態を $Z^k = 1(\text{empty}), 2, \dots, 50(\text{full})$ と表わすことにする。

2. 貯水量の変動と放流量について

初期貯水量を定め上記の放流方式により目標放流を達成せんとするとき、1ヶ月内の各半旬毎の貯水量変動と完全放流の信頼性を求めた結果は以下の通りである。

2-1 貯水量の変動

初期貯水量、目標放流量の種類の組合せに対する貯水量変動のパターンを分類すればつぎの2つの型に大別できる。(i) 流入量に比して目標放流量が大きい場合は、ゼロ放流の状態にまで貯水量が減少した後はゼロ放流と完全放流が交互に繰返し、結局貯水量の確率は初期貯水量の大きさの影響をうけない定常確率に収束する(図-1)。(ii) 目標放流量が小さい場合は、完全放流を行なわれ貯水量も半旬毎に増加するが、その確率分布は初期貯水量が異なっても同一形状でモードの位置のみ異なる。

2.2 放流量

オク半旬において目標放流量が供給可能である（完全放流の）確率を水供給の信頼性 M^k とする。初期貯水量 Z^{in} を定めると、この貯水量の確率分布から M^k が求められる。各半旬での信頼性の算術平均値をその月の信頼性 $\bar{M}$ とする。信頼性 $\bar{M}$ と初期貯水量の関係も種種の目標放流量に対して求めた結果の1例が図-2である。 $C=3.41, 8.41$ の場合に $\bar{M}$ の値が不連続になるのは放流方式の影響である。

貯水池から実際に放流される流量の半旬平均値は目標放流量 C と信頼性 $\bar{M}$ との積で与えられ、これを実放流量 $Q=C\bar{M}$ と表わす。計算結果の1例を図-3に示す。(i) 目標放流量が小さい場合はほぼ全ての初期貯水量に対して完全放流が可能である。(ii) 目標放流量が大きい場合 ($C \geq 17.24$) は目標放流量の増加とともに信頼性が低下するので実放流量はほとんど同一の値をとる。

3. 貯水池最適操作

3.1 貯水池放流量の評価関数

貯水池からの放流水に関する評価関数の設定は最適操作方式決定に際して最も重要な意義をもつことは周知の通りである。評価関数に直接、経済性を導入する方法も試みられつつあるが、その場合でも需要水の種類による関数形の差異、とくに loss function (negative benefit) の設定等について一般的な表現がなされるまでにはいくつかの問題を残している。

本研究では、前節までに求めた放流水の特性をなわち、放流量（目標放流量）と目標放流量が完全放流される期間（信頼性）を要素とする評価関数を設定し、貯水池最適操作へ適用する。

放流量の評価関数を次式で表わす。

$$f(C, \bar{M}) = C^m \cdot \bar{M}^n = Q^k \cdot \bar{M}^l \quad (2)$$

ここに、 C : 目標放流量, $\bar{M}$: 信頼性, Q : 実放流量, m, n, k, l : 定数。すなわち、式(2)は実放流量と信頼性の関数として扱うことも可能である。

いま、 $m=n=a$ とすれば $f(C, \bar{M}) = f(Q) = (C\bar{M})^a = Q^a$, (3)

$m=0, n=b$ とすれば $f(C, \bar{M}) = f(\bar{M}) = \bar{M}^b$. (4)

式(3)は実放流量のみの関数、式(4)は信頼性（供給期間）のみの関数となる場合である。一般的な場合は勿論、 $m \neq n$ である。

本研究ではつぎの2種の評価関数について検討を行なった。

$$(i) \quad f_1(C, \bar{M}) = Q = C \cdot \bar{M}, \quad (5) \quad (ii) \quad f_2(C, \bar{M}) = Q \cdot \bar{M} = C \cdot \bar{M}^2 \quad (6)$$

評価関数 (i) の場合 図-4は目標放流量による評価関数 f_1 の変化を示す。ただし、初期貯水量は $Z^{in}=10$ の場合である。目標放流量が小さい場合は信頼性 $\bar{M}=100\%$ 、すなわち完全放流が行な

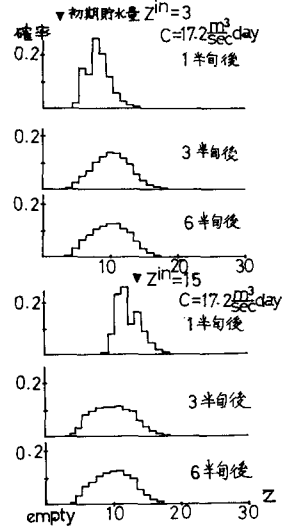


図-1 貯水量変動のパターン
(2月; $\frac{m}{s} = 12.12 \frac{m^3}{sec \cdot day}$)

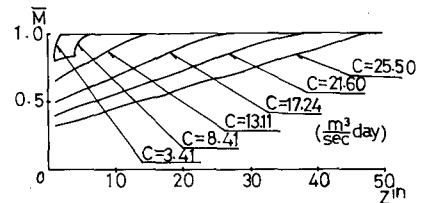


図-2 信頼性と初期貯水量・目標放流量の関係(2月)

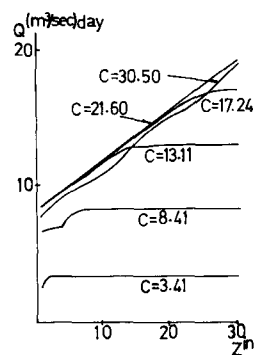


図-3 実放流量と初期貯水量・目標放流量の関係

われて(実放流量=目標放流量)となるが、目標放流量がある値以上に増大すれば信頼性は低下し実放流量はほぼ一定値をとる(図-3参照)。結局、ある限界値以上の目標放流量を計画することは信頼性を低下させるばかりであって、評価関数(この場合実放流量)の値を大きくすることには貢献しない。ただし、このことはこの1ヶ月に関してのみの検討であり、翌月はじめの貯水量分布への影響については考慮していない。

評価関数(ii)の場合 図-5は目標放流量による評価関数 f_2 の変化を示す。初期貯水量 z^{in} が大きい場合は小さい目標放流量に対しては貯水量のみで供給可能であるから、信頼性 $\bar{M}$ は100%に近く、 $f_2 \approx$ 目標放流量となる。目標放流量の増加とともに信頼性が低下するため f_2 はある目標放流量において極大値(図中丸印)をとる。この目標放流量をこの月の最適目標放流量とよび C^* で表わす。

3.2 貯水池操作の最適化

ある月の任意の初期貯水量 z^{in} に対して、評価関数 $f(C, \bar{M})$ を最大ならしめる最適目標放流量 C^* を定めることは3.2で述べた。いま、 j ヶ月間の貯水池最適操作は、各月の評価関数の j ヶ月間の和を最大にする操作方式と考えることができる。DPによりこれを定式化すれば次の通りである。

$$F_i(z_i) = \max_{C_i} \left[f_i(C_i, \bar{M} | z_i) + \int_{\mathcal{Z}} F_{i+1}(z_{i+1}) \cdot \varphi(z_i) dz_i \right] \quad (7)$$

ここに、 $z_{i+1} = z_i + g_i - C_i$ 、 $f_i(C_i, \bar{M} | z_i)$: 初期貯水量 z_i (状態ベクトル) に対する i 月の評価関数(ここに、目標放流量 C_i : 選択ベクトル)、 $F_i(z_i)$: オイ月～オイ月(最終月)の評価関数の和、 $\varphi(z_i)$: 流入量 g_i の確率密度関数。

4月にはじまり翌年の3月で完結する1水平間の最適操作を考え、3月終りの貯水量がゼロになることを許す終端条件を用いることにする。

評価関数(i)の場合 1月～3月(3ヶ月)の評価関数 $F(z)$ を図-6に示す。1ヶ月の場合(図-4)と同様に最適目標放流量は指定できない。

評価関数(ii)の場合 (a) 3月、1月～3月(3ヶ月)、10～3月(6ヶ月)の評価関数 $F(z)$ を図-7(a)に示す。2ヶ月以上の場合にも極大値が存在し最適目標放流量が決定できる。(b) 貯水池規模の影響をしらべるため、貯水池容量を2倍、1/2倍とした場合の計算結果をそれぞれ、図-7(b)、(c)に示す。図において初期貯水量 $z^{in} = 1, 10, 50$

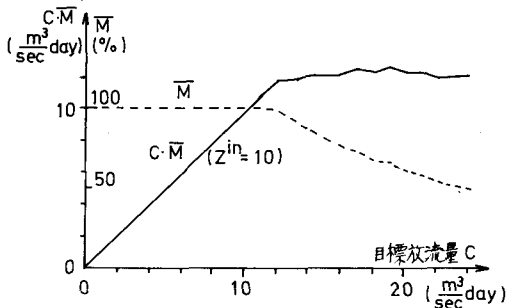


図-4 評価関数 $f_1 = C \cdot \bar{M}$ (2月)

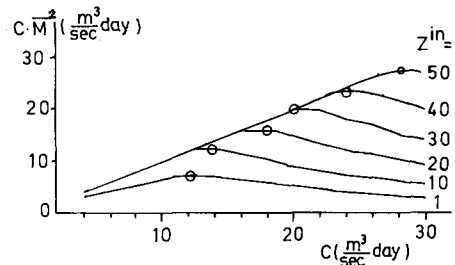


図-5 評価関数 $f_2 = C \cdot \bar{M}^2$ (3月)

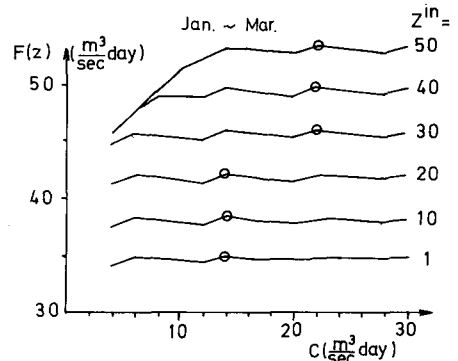


図-6 3ヶ月間の評価関数 $F(z)$

は貯水池容量の0(empty), 0.02, 0.2, ..., 1(full) 倍を意味する。 $F(z)$ の、基準貯水池の場合の値(図-7(a))に対する割合 $F(z)$ を示せば図-8(a)(b)のごとくである。3月終りの条件(前述)の影響を及ぼさない時期でこの割合は一定値に収束し、 $z^{in}=50$ (full)に対しては1.1(貯水池容量:2倍), 0.9(貯水池容量:1/2倍)である。(c) 流量変動の影響をしらべるため、半月流入量を1ヶ月内では一定値とした場合の評価関数を図-7(d)に示す。変動流入量の場合(図-7(a))に対する割合は図-8(c)のごとくである。貯水池容量は等しいが終端条件の影響はなく、その値は z^{in} に無関係に約1.1である。

- 1) 室田神田 餅, “貯水池による水供給の信頼性(予報)”, 第25回年次学術講演会, 昭45.11
2) 室田神田 白井, “流量変動におよぶ貯水池水位の挙動と放流量の評価”, 昭46.5

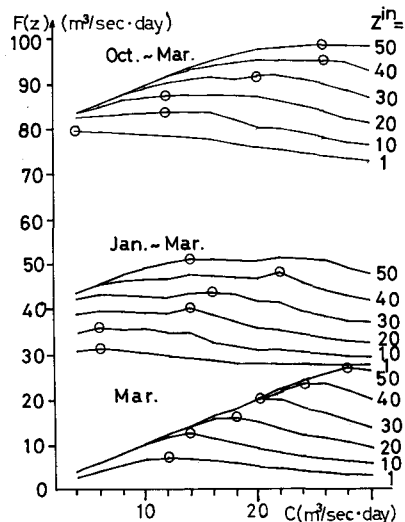


図-7(a) 基準貯水池の評価関数 $F(z)$

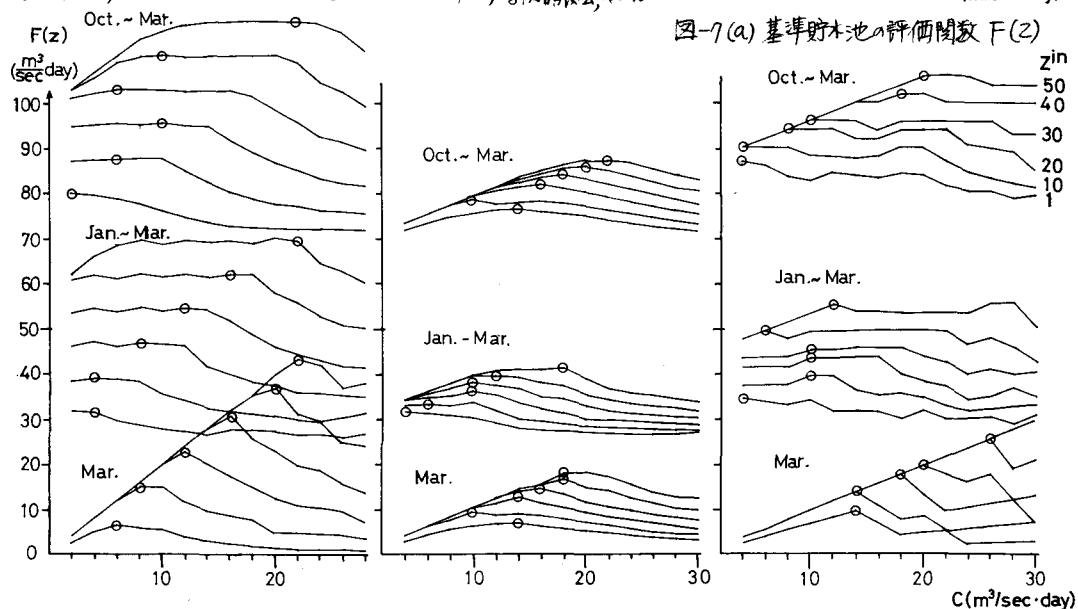


図-7 (b) 貯水池容量:2倍の $F(z)$

(c) 貯水池容量:1/2倍の $F(z)$

(d) 流入量:一定の $F(z)$

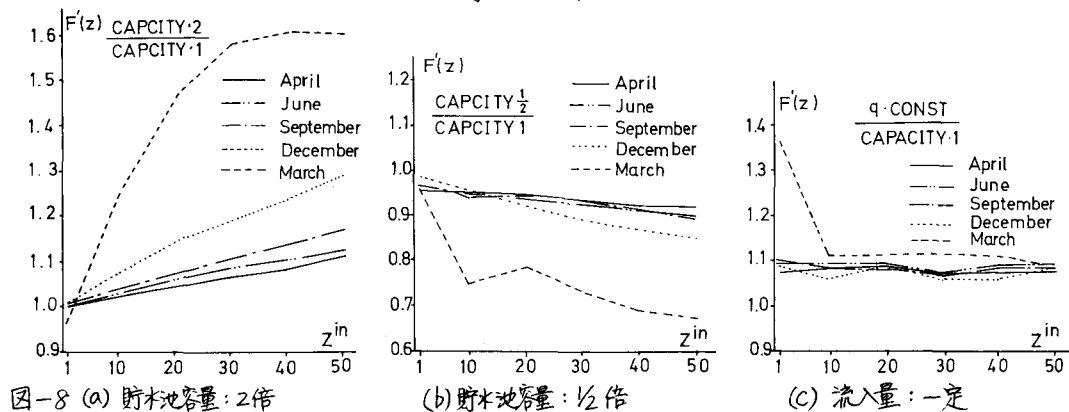


図-8 (a) 貯水池容量:2倍

(b) 貯水池容量:1/2倍

(c) 流入量:一定