

山梨大学工学部 正会員 竹内邦良
山梨県庁 山本 修
山梨大学大学院 学生員 富田 茂

1. はじめに

給水用貯水池の操作方法として竹内・富田・伊藤(1984)は、DDCルールカーブを用いた方法を提案している。DDCルールカーブは貯水池の涸渇確率を一定に保つという物理的な基準にもとづいて算出されるものである。一方同じく竹内(1974)は、確率D・Pによる貯水池操作の方法をも提案している。これは給水制限に伴う経済的損失の評価関数を用いて、期待損失を最小にするという規準で算定されるルールである。

本報は両手法により独立にルールカーブを算出し、それ等を用いて福岡渇水当時の貯水池操作をシミュレーションして、両手法の比較を行うものである。

2. 確率D・PとDDCルールカーブによる貯水池操作方法

i). 確率D・Pによるルールカーブ

竹内(1974)による確率D・Pの基本式を以下に示す。オ n 期以後の最小累加損失関数 f_n はその期の貯水量(S_n)と流入量(I_n)に依存し、

$$f_n(S_n, I_n) = \min_{0 \leq x_n \leq S_n + I_n} \{g_n(x_n) + f_{n+1}(S_{n+1})\} \quad (1)$$

$$f_{n+1}(S_{n+1}) = \sum_{I_{n+1}} P_{n+1}(I_{n+1}) f_{n+1}(S_{n+1}, I_{n+1}) \quad (2)$$

$$S_{n+1} = S_n + I_n - x_n \quad (3)$$

と表わされる。ここに $g_n(x_n)$: オ n 期に x_n の放流を行った時の直接損失, $f_{n+1}(S_{n+1})$: オ $(n+1)$ 期に S_{n+1} なる貯水量であった場合の将来の累加損失の期待値, $P_n(I_n)$: オ n 期における流入量 I_n の生起確率である。

ルールカーブは、 n が十分大きい数からスタートして後進型で計算を進め、 S_n と x_n の組み合わせが定常状態になったところで打ち切り決定される。

ii). DDCルールカーブ

竹内ら(1984)で用いた渇水持続曲線は季節別渇水持続曲線であり、以下のように定義される。

$$f_R(m|t) = R - \text{th smallest} \cdot \min_{j=1, \dots, N} \{ (j, t - S/2) \leq t \leq (j, t + S/2) \} \cdot \frac{1}{m} \sum_{k=t}^{t+m-1} q_k \quad (4)$$

ここに q_k : k 時点の流入量, $f_R(m|t)$: $T_R = (N+1)/R$ 年渇水時に、 t 時点からはじまる m 時間間隔内に期待できる平均流入量, (j, t) : j 年目の t 時点, S : 季節早渇の考慮期間

この季節別渇水持続曲線を用いると、 T_R 年渇水時における t 時点からはじまる m 時間間隔後の想定流入量 $\hat{q}_R(m|t)$ は

$$\hat{q}_R(m|t) = f_R(m|t) \cdot m - f_R(m-1|t) \cdot (m-1) \quad (5)$$

となる。これより、給水制限率を α とする限り、 T_R 年渇水時でも今後 N_S 時間間隔内に貯水池が涸渇しないために、 t 時点で持っていなければならない必要貯水量は、 t 時点から m 時間間隔日の水需要を $D(m|t)$ とすると、

$$V_R(t|\alpha) = \max_{1 \leq n \leq N_S} \sum_{m=1}^n \{ (1-\alpha) \cdot D(m|t) - \hat{q}_R(m|t) \} \quad (6)$$

である。この $V_R(t|\alpha)$ を各時点 t で結べば、渇渇確率は $P_R = 1/V_R$ に維持するための、DDCルールカーブが得られる。

3. 1978年福岡渇水時のシミュレーション

以上のようにして求められた確率D・PによるルールカーブならびにDDCルールカーブを、福岡渇水時の貯水池操作に当てはめてみる。ルールカーブ算定の条件としては、1) 流入量データは1957～76年までの20年

間のもを用いた。2) DDCルールカーブでは、 $S=2$ ヶ月、 $T_R=20$ 年、 $N_S=3$ 年を用いた。3) 水文学量は6貯水池の合計で扱った。4) 需要量としては'77年の市の月別実績値を、河川からの取水量は一率18万 m^3 を用いた。5) ルールカーブは、DDCでは半月毎、確率DPでは1ヶ月毎に算出した。6) シミュレーションは、DDCでは日単位、確率DPでは1ヶ月単位で行った。7) (1)式における直接損失関数 $g_n(x_n)$ としては、M月の水需要を $D(M)$ 、放流量を x_n として、 $g_n(x_n) = \{[D(M) - \min(x_n, D(M))]/D(M)\}^2$ を用いた。すなわち、損失は不足%の2乗と仮定した。

4. シミュレーション結果とその意義

得られたルールカーブを図1、2に示す。また、このルールカーブに従い、'78～'79年の福岡市の異常渇水時のシミュレーションを行った結果を図3に、給水制限率の頻度分布を図4に示す。

ルールカーブの算出、シミュレーションともに両手法では異なった時間間隔を用いており、厳密な比較はできないが、にも分かわらず下の結果は極めて興味深い事実を示している。ルールカーブも貯水量のシミュレーション結果も両者非常に似通っているということである。直接損失 $g_n(x_n)$ などの確率DPの算定条件を適当に選ぶことによって両者はさらに酷似したものにすることが出来よう。このように経済的評価関数に全く依存しない、過剰確率一定というDDCルールカーブの規準が、損失が不足%の自乗^{*}に比例するという経済評価基準と、結果的に同一の効果をもたらすというのは、一体何を意味するのであろうか。おそらくは、変動の多い自然現象を平滑化するためには、平滑化の水準に対して、その自乗^{*}に比例した緩衝容量(Buffer)を用意しなければならないという自然界の法則を示唆するものであろう。 (* 自乗とは限らないがそれに類するべき乗ということ)

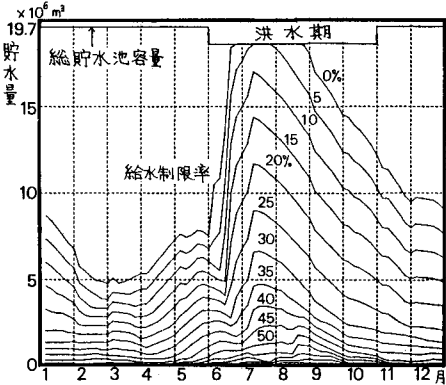


図1. DDCルールカーブ

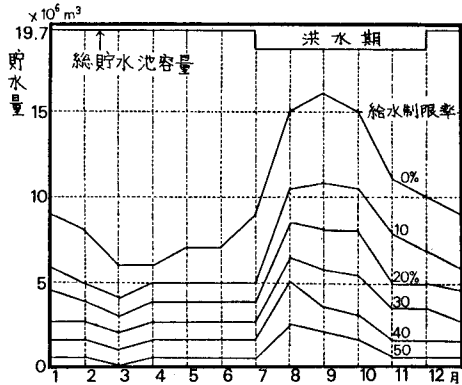


図2. 確率DPによるルールカーブ

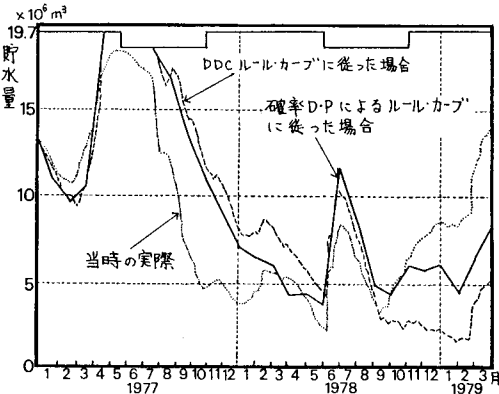


図3. 貯水量のシミュレーション結果

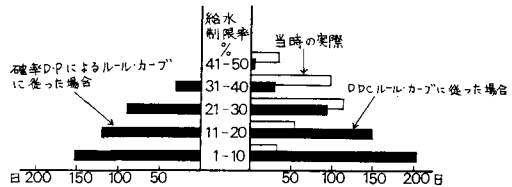


図4. 給水制限率の頻度分布

引用文献 1. 竹内・福田・伊藤, 給水用貯水池のためのDDCルールカーブ”, 才28回水理講演会論文集, 1984, PP. 21～26
2. 竹内, 貯水量の累加損失係数を用いた貯水池群の最適操作手法, 土木学会論文報告集, NO. 222, 1974, PP. 93～103