

京都大学工学部 正員 宝 馨

京都大学工学部 正員 高埴琢馬

飛 島 建 設 正員 小野 洋

1. 目的 当該流域における現有利水施設のもとで年間の流域全体の水量制御を最適化するのに確率DPが適用できる。例えば、利水用ダム貯水池をもつ流域で月流入量系列の確率分布が与えられると、適当な定式化のもとに年間の貯水池操作ルールが求められる。こうして得たルールは、平常時のいわゆる計画操作を規定するものであり、ここではこれを「平常ルール」と呼んでおく。

さて、渇水が予測されるとき、あるいは、既に渇水に陥ってしまったときは、そのような平常ルールに従って貯水池操作を実行すると短期間のうちに貯水池が枯渇し甚大な被害を生み出すこととなる。そこで、本研究では、普段は平常ルールに基づいて操作を行い、渇水が予測（想定）された場合は予測された少雨の規模・期間に対応する予め用意された別のルール（「渇水ルール」と呼ぶことにする）に切り替える方式を提案し、渇水ルールの有効性、渇水ルールに切り替える時期、渇水予測情報の利用といった問題を検討する。

本研究の目的は、渇水災害の軽減を図るのに有効な貯水池操作方式を見出すことである。

2. 方法 【a】所与のデータ： 筆者らは、平常ルールを確率DPにより最適化する場合の評価関数の設定について検討した際、福岡市域をモデルとして以下のデータを得た^{*)}ので、これらを用いる。

①貯水池への月流入量の確率分布（ただし、各月相互に独立と仮定） ②1966～1982年の月雨量をタンクモデルに通して得た流入量系列 ③シミュレーションにより発生させた1万年分の流入量系列 ④ダムの諸元 ⑤水需要量 ⑥渇水被害原単位表（評価関数として用いる；便宜上、高松のデータをそのまま適用）。

【b】平常ルール： 上記①④⑤⑥のデータを用い、以下の定式化のもとで確率DPにより最適化する^{*)}。

$$\text{連続式} \quad S_j = S_i + X_i - K_i, \quad j = i + 1, \quad i = 1, \dots, N \quad [1]$$

$$\text{関数方程式} \quad f_i(S_i) = \min [\sum \{L_i(K_i; S_i, X_i) + f_j(S_j)\} P_i(X_i)] \quad [2]$$

ここに、 $L_i(K_i; S_i, X_i)$ ：第*i*期において期首の貯水量 S_i 、期内の流入量 X_i のときに K_i なる放流を行った場合の損失（直接損失）の評価関数； $f_i(S_i)$ ：第*i*期首の貯水量が S_i のとき、それ以後最終期*N*まで最適な放流を行った場合の評価関数の期待値を累加したもの（累加損失）； $P_i(X_i)$ ：第*i*期に X_i なる流入量が生じる確率；ただし、 X_i は時系列的に独立。終端条件 $f_{N+1}(S_{N+1}) = 0$ として後進型の計算を進め、年間の S_i 、 K_i の組み合わせが定常となれば打ち切る。こうして得た年間の S_i 、 K_i の組み合わせを最適操作ルールとする。計算単位水量は、100 万 m^3 である。

【c】渇水ルール： 渇水状態を引き起こすのは、長期にわたる少雨が原因である。よってここでは、3か月間連続して少雨である状況を想定し、以下のような手順で渇水ルールを求める。(1) ③のデータより、想定する少雨期間（ t 月～ $t+2$ 月の3か月）の1万個の3か月流入量系列を求め、リターン・ペリオド50年に相当するものを見出し、これを少雨期流入量とする。ただし、少雨期内の各月への配分は、福岡の月雨量の平年値に基づいて比例配分する。(2) 平常ルールを求めるときに用いた年間の月流入量①のうち、少雨と想定した3か月間の流入量を(1)の流入量系列に置き換え、それぞれの確率を1とする。(3) (2)の流入量系列に確率DPを適用して、想定した少雨期に対応する渇水ルールを求める。したがって、 t 月を少雨期の始点とする渇水ルールは12個求められる（以下、こうして得たルールをPAT01～PAT12と略記する）。

【d】渇水ルールの有効性の検討： 3か月の少雨を想定して求めた渇水ルールが実際に有効であるかどうか検討する。つまり、想定したバタンのような渇水が起こるときに、それに対応する渇水ルールが他のルールと比較して有利なものであるかどうかを、データ②のうち流入量の少ない年について調べる。

【e】種々の切り替え方式の相互比較： 著名な昭和53年渇水を含む3年間（1977年1月～1979年12月）を

データ②より選び、次のような種々の実時間操作をシミュレートする。

A；全期間平常ルールに従う。

B；現時点 t 月の貯水量が 10 百万 m^3 以上なら平常ルール，そうでなければ渇水ルール PAT t を採用する。

C；向う 1 か月の流入量が精度よく予測されているという想定のもとに，需要量通り放流すると 1 か月後の貯水量が 10 百万 m^3 を下回ってしまう場合は渇水ルール，そうでなければ平常ルールを用いる。

D；向う 3 か月の流入量が精度よく予測されているという想定のもとに，その間需要量通り放流すると 3 か月後の貯水量が 10 百万 m^3 を下回ってしまう場合は渇水ルール，そうでなければ平常ルールを用いる。（いずれの場合も初期貯水量は 12 百万 m^3 である）

3. 結果と考察 平常ルールと渇水ルールの一例を図 1, 2 に示す。【d】の検討の結果，年流入量の少ない 1971 年（53 百万 m^3 ，②のうち第 2 位；2～7 月が少雨），1978 年（47 百万 m^3 ，同第 1 位；2～5 月，8～12 月が少雨）の場合，初期貯水量がどういう状態であれ，その少雨期に対応する渇水ルールによれば被害が小さくて済む。年流入量が 70 百万 m^3 程度以上のとき，あるいは，それ以下でも初期貯水量が多い（15 百万 m^3 程度以上の）ときはむしろ平常ルールの方が有効である（ちなみに②の 17 年間の平均年流入量は 88.3 百万 m^3 である）。【e】の検討結果を図 3，表 1 に示す。B のような簡単な操作で貯水量を高位に保ち被害を軽減することができる。勿論，流入量予測が精度よく行われると被害はさらに軽減されることとなる（操作 C，D）。

4. 結論 確率 DP により予め平常ルールと 12 種の渇水ルールを求めておき，渇水が想定された場合に平常ルールから適当な渇水ルールに切り替えるという貯水池操作方式を提示し，いくつかの基本的検討を行った。1～3 か月先の降雨（流入量）予測には現在のところ高い精度を期待できないので，例えば，「向う 3 か月に 50 年確率程

度の渇水を想定する」といような行政的判断が与えられた場合の貯水池操作方式として，この方式は，非常に簡便で実用的である。

表 1 各操作の比較
(期間: 1977.1~1979.6)

操作	被害	不足%月
A	1808.2	783.33
B	1739.6	881.55
C	1646.8	926.19
D	1475.3	895.83

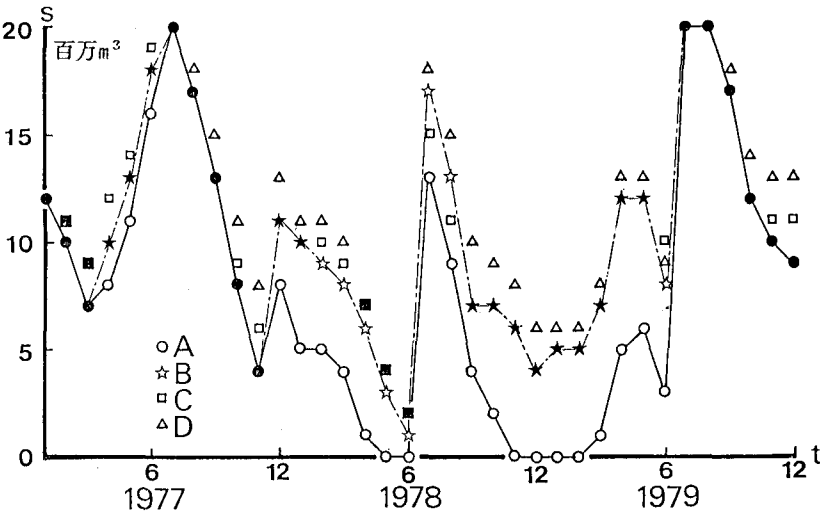


図 3 実時間操作による貯水量の推移（黒塗りの記号は重複を示す）

*) 高棹・宝・小野：貯水池確保水位曲線に関する二、三の考察 —— 年間の貯水池操作ルールの最適化と評価関数について ——，昭和 60 年度土木学会関西支部年次学術講演会，II-16。