並列貯水池群の放流ルール特性

神戸大学工学部　正員　神田　徹
京阪電鉄　正員　○下條　弘

1．まえがき

貯水池群操作の最適化に関しては，システムの大規模化とともに計算上の次元や演算時間が問題となる。本研究では，いくつかの貯水池群をこれと同一の機能を発揮する単一貯水池に置き換えることによって貯水池システムを単純化し，次元や演算時間を縮少しようとする方向をとる。このようなアプローチのための基礎的考察として，並列貯水池系について評価関数の最適化による最適放流ルールを求め，その特性を考察する。つぎに，貯水池システムの等価性の概念を用いて貯水池群の最適目標放流量決定のための逐次近似法を提示し，計算例によってその適用性を検討する。

2．最適放流ルール特性

図-1に示す並列貯水池系について，D.P.を用いて最適放流ルールを求めた。[1] その結果は次のように要約できる。

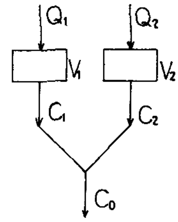

図-1　貯水池系

(1)　並列貯水池システムの操作に関して，最適放流ルールとSpace Ruleのどちらの放流ルールにおいても流入量の相互相関やばらつきが大きいほど最大利益が減少する。そしてこのことは，並列貯水池に対して等価な機能をもつ単一貯水池を設定し得ることの根拠となる。

(2)　(1)に述べた利益減少の原因は貯水池が空に近い状態のときの水不足と満杯に近い状態のときの無効放流によるものであるが，前者と比較して後者の影響はきわめて小さい。それ故，並列貯水池システムの操作においては貯水池が空に近い状態での操作が重要であり，それが利水上の効用に大きな影響を及ぼす。

(3)　並列貯水池システムの最適放流ルールは，貯水量だけで目標放流量を放流できない貯水量状態においてSpace Ruleと異なる。その相異の程度には流入量のばらつきが関係し，それの大きい貯水池からの放流量は相対的に少なく，小さい貯水池からの放流量は多い。

(4)　以上を考慮すれば，並列貯水池の放流ルールと貯水量状態との関係は模式的に図-2のように表わすことができるだろう。貯水量の相対的な大きさに対応して領域A，B，Cに区分でき，各領域ではそれぞれ最適放流ルール，Space Rule，Rigid Ruleが有効である。ここに，A：水不足状態に対する最適放流ルールの有効性が発揮される貯水量領域，B：無効放流に対するSpace Ruleの有効性が発揮される貯水量領域，C：上記両ルールの有効性が顕著でない領域，すなわち両ルールより簡単なRigid Ruleによっても同程度の効果が期待される貯水量領域。

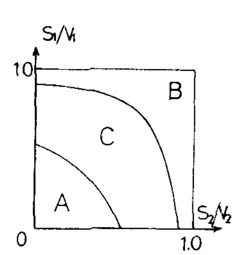

図-2　並列貯水池の放流ルール

3．最適目標放流量決定のための逐次近似法

貯水池群の最適操作のためには配分率だけでなく，総目標放流量をも決定する必要がある。このために，次の逐次近似法を適用する(図-3)。

i)　単一貯水池（貯水池容量 $V_0=V_1+V_2$）について最適目標放流量を時間tと貯水量Sの関数として（D.P.で）求め，$C_t^0(S)$ とする。
ii)　並列貯水池の貯水量 (S_1,S_2)，ただし $S_1+S_2=S$，に対する最適総目標放流量を $C_t^0(S)$ として，最適配分率 $m_t^1(S_1,S_2)$ を求める。同時に，時刻t以降の最適利益 $F_t^1(S_1,S_2)$ が定まる。
iii)　ii)で得られた $m_t^1(S_1,S_2)$ を用いて最適放流量 $C_t^1(S_1,S_2)$ および $F_t^2(S_1,S_2)$ を求める。
iv)　以下同様にして高次の近似値を求め，その収束値を最適解，$C_t^*(S_1,S_2)$，$m_t^*(S_1,S_2)$，$F_t^*(S_1,S_2)$ とする。

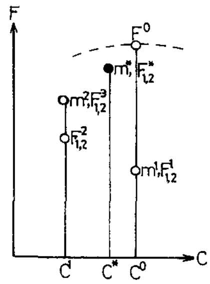

図-3　逐次近似法

この方法の意図する重要な点は，同種の決定変数 (C_1,C_2) を異種の決定変数 (C_0,m) に変換したところにある。配分率mは図-2のごとき特性をもつから，少なくとも近似の過程ではある範囲の流入量特性に対して簡単な放流ルール，たとえば Space Rule より単純な Rigid Rule を用いることも可能である。したがって，このような配分率特性の導入によって逐次近似法は有効となるから，決定変数の増加による問題点もかなり軽減できると考えられる。

この逐次近似法の適用性をしらべるために，並列貯水池系（図-1）の一年間の最適操作政策（各月の各初期貯水量状態における最適総目標放流量および最適配分率）を決定する問題を考える。計算条件は次の通りである。i) 流入量特性：平均値 $\mu_i(m)=10+(10/3)\cdot\sin((6+m)\pi/6)$，標準偏差 $\sigma_i=p_i\cdot\mu_i(m)$, $p_1=1/4$, $p_2=1/2$。ii) 貯水池容量：$V_1=V_2$，$V_0=V_1+V_2=18.9815$。ただし，m：月，i：貯水池1，2を示し，μ，Vの単位は $(m^3/sec)\cdot day$ である。

計算にはD.P.を用い，8月から前年の9月に向かって後進型計算を行なう。又，配分率の初期値には Space Rule によって求められた値を用いる。

上記によって計算を行なった結果，計算繰返し回数10回目でほぼ配分率が収束し最適操作政策が求まった。配分率の収束の仕方は図-4のごとくであり，きわめて収束が良好であることを示している。又，計算時間については次のように考えられる。ある月の一つの初期貯水量状態についての利益計算の回数は，決定変数C，mの仮定値の数を N_c，N_m，収束までの計算繰返し回数をnとすると，この問題を直接解く場合には $N_{c_1}\times N_{c_2}$ 回，本方法を用いる場合には $(N_{c_0}+N_m)\times n$ となる。本計算では $N_{c_0}=N_m=7$，$n=10$ であったから，後者は140回である。したがって，仮に $N_{c_1}=N_{c_2}=40$ としても前者は1600回となるから，計算時間は少なくとも10倍以上短縮されることがわかる。

以上の結果から，提示した逐次近似法は，並列貯水池システムの最適操作決定問題にはきわめて有効であることが明らかになった。等価単一貯水池とこの逐次近似法の組合せは，さらに大規模な貯水池システムの最適化に有力な手法となることが期待できる。

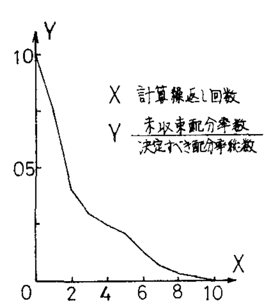

図-4　配分率の収束性

おわりに，本研究において有益なご助言をいただいた大阪大学，室田明教授に深謝の意を表します。

参考文献　1)　室田明，神田徹：利水用貯水群の最適放流ルールについて，第19回水理講演会，1975.