Ⅱ—11

2段階推移法による貯水池の利水機能評価　—時間的側面を勘案した解析—

名古屋工業大学　○学生員　川口　篤昭、学生員　鈴木　正人、学生員　羽田野量裕

1．　研究の概要

美和ダムにおける21年間（1959－1979）の流況データに基づき、2段階推移モデルによる相関離散分布流量を受ける貯水池理論[1]を用いて、貯水池の利水機能評価を行った。ただし美和ダムの場合、制限水位方式を採用しているため夏期における貯水池容量が冬季と異なる。そこで年間を豊水期（4－7月）、渇水期（8－3月）に2分して、それぞれの流入量分布をモデル化した。

2．　流況データの離散モデル化

モデル化にあたり全ての流入量、貯水量は時間的、量的に5m^3／sec・dayを単位量として離散化した状態で取り扱い、流量時系列の自己相関性は1次マルコフとした流量の条件付き離散分布に従うものとする。ここで単位期間を1、2、3日とした。また、相関離散分布のパラメータ（a：形状母数、r：流入量上限、ρ：相関係数）の決定に際しては、対数尤度を最大にするパラメータを最尤解として採用した。

3．　2段階推移モデル[1]

まず、2段階推移としての貯水量変化の解釈を記述する。ある単位期間を対象として、貯留のみを考え、ついで、期末に放流のみを行うようにみなす。流量に相関を考慮する場合、前期間の流量との関連から貯水量の純増分だけでなく、純増分を構成する流入量の値そのものにも関心を払わねばならない。そこで、貯水量の推移を流入量による推移（貯留推移）と放流による推移（放流推移）の2段階に分けて考える。ここで、貯留推移確率行列をG、貯水量分布ベクトルを｛H｝とすると貯留推移は次式で表せる。

$\{H\}^{s}_{2}=\{H\}^{s}_{1}\cdot \mathbf{G}$ ···(1)

ただし　$\{H\}=\{H0, H1, \cdot\cdot, Hi, \cdot\cdot, Hk\}$，$Hi=(h0i, h1i, \cdot\cdot, hji, \cdot\cdot, hni)$

要素hjiは流入量jを得て貯水状態iになる確率を、nは流入量の上限を表し、Gは（K＋1）×（n＋1）の次元を持つ。また、放流推移行列をRとすると、放流推移は次式で表せる。

$\{H\}^{s+1}_{1}=\{H\}^{s}_{2}\cdot \mathbf{R}$ ···(2)

RはGと同じ次元を持つ。貯水量の推移確率行列Pを(1),(2) 式より、$\mathbf{P}=\mathbf{G}\cdot\mathbf{R}$と表せば、$\{H\}^{s+1}_{1}=\{H\}^{s}_{1}\cdot\mathbf{P}$　となり、流量系列が独立な場合と同様な表現が可能となる。

4．　利水機能評価関数[2]

利水機能の評価をするにあたり、まず貯水池の操作方法に「貯水状態が目標放流量以上であれば目標放流量を、目標放流量未満であれば目標放流量にできるだけ近い量を放流する」という節水を考えない操作（無節水操作）を用いた。そこで、本研究で用いた渇水の「頻度」、「長さ」、「大きさ」、「厳しさ」を表す評価関数を以下に述べることとする。

a）　頻度を表す評価関数····渇水の発生頻度を貯水量分布により評価する。初期貯水量ベクトル$\{H\}^{0}_{1}$が与えられたとすると、渇水期間Nの最後の貯水量ベクトル$\{H\}^{N}_{2}$は、$\{H\}^{n}_{2}=\{H\}^{0}_{1}\cdot\mathbf{P}^{N}$　で与えられる。渇水の頻度は、渇水期において放流量R（ij）（貯水状態がi、流入量がjの場合の実放流量）が目標放流量Mを下回る確率（不足確率）で表現できる。したがって、貯水量ベクトル$\{H\}^{n}_{2}$の要素hjiを用いて、次式で表せる。

$\text{不足確率}=\sum_{j,i\in C} hji^{n}_{2}$　　C：R（ij）＜Mとなるi，jの全ての組合せ

b）　長さを表す評価関数····利水上危険な貯水量レベル（空水状態、あるいは最低限維持すべき貯水状態）に一度達したら、その後回復することは難しいと思われる。そこで、全期間から貯水状態が危険なレベルに達するまでの期待時間を差し引いた残りの期間を期待補給不能期間と定義し、渇水の長さの評価に用いる。いま空水に到るまでの期待時間（空水到達期待時間）をE[te]とすれば、

期待補給不能期間＝N－E[te]

と表される。なお空水到達期待時間E[te]は、吸収マルコフ連鎖により導出された空水に到るまでの平均吸収時間である。

c） 大きさを表す評価関数　渇水の大きさを不足%・期間の期待値で評価する。目標放流量に対する相対不足%は（（M－R（ij））÷M）・$h_{ji}^{s}{}_{2}$×100であるから期待不足%・期間は、次式で表せる。

$$\text{期待不足\%・期間} = \sum_{s=1}^{N}\sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{K}((M-R(ij))\div M)\cdot h_{ji}^{s}{}_{2}\times 100$$

d） 厳しさを表す評価関数　渇水の厳しさを次式のように、（不足%）^{2}・期間の期待値で評価する。

$$\text{期待（不足\%）}^{2}\text{・期間} = \sum_{s=1}^{N}\sum_{j=0}^{n}\sum_{i=0}^{K}\{((M-R(ij))\div M)\cdot h_{ji}^{s}{}_{2}\times 100\}^{2}$$

5． 計算結果および考察

モデル化した流入量分布を基に4．で述べた利水機能評価関数の計算結果を以下に述べる。

a） 目標放流量の選定

1から不足確率をひいたものを充足確率とし、それに目標放流量をかけたものを放流量期待値という指標として用い検討した(図1)。その結果、単位期間1，2，3日のいずれに対しても目標放流量を2とするのが渇水の頻度を抑えるのに対して、最適な放流量であることとなった。

b） 単位期間の選定

まず、渇水の長さを表す指標である期待補給不能期間により検討すると、図2に示すように目標放流量が2の場合、初期貯水量が少なくなるにつれて単位期間による期待補給不能期間の相対的な差が大きくなる。これは目標放流量が3の場合も同様であった。これより初期貯水量が比較的少ないときには単位期間3日による操作の方が単位期間1，2日に比べ、より渇水の長さが短縮されるといえる。一方、不足確率、期待（不足%）^{2}では、単位期間1日による操作の方が渇水の頻度あるいは、厳しさを緩和することができる（図3，4）。したがって、時間的側面に重点をおく場合、単位期間を長くとることにより渇水の長さを短縮することができるが、渇水の頻度あるいは厳しさにおいては、逆に増すことを同時に考慮しておかなくてはならない。以上述べてきた考察は、渇水期における合理的操作の検討であったが、豊水期に対する同様の計算結果は、いずれの指標に対しても単位期間を1日とするのが、より合理的な操作であることが得られた。

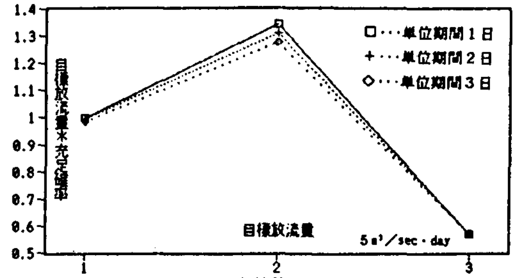

図1　放流量期待値

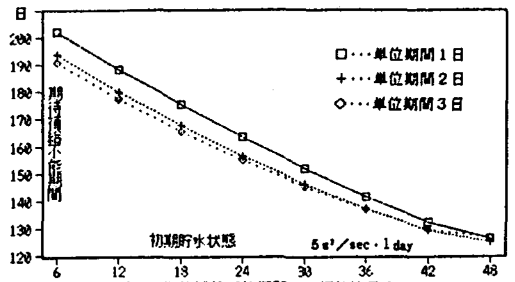

図2　期待補給不能期間（目標放流量2）

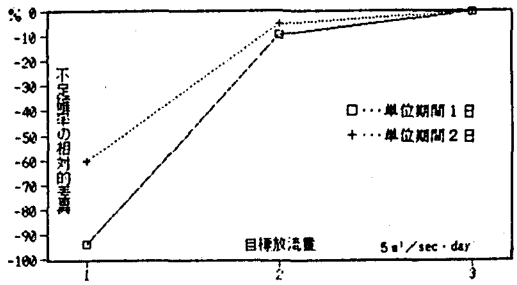

図3　単位期間3日の不足確率を基準とした相対的差異

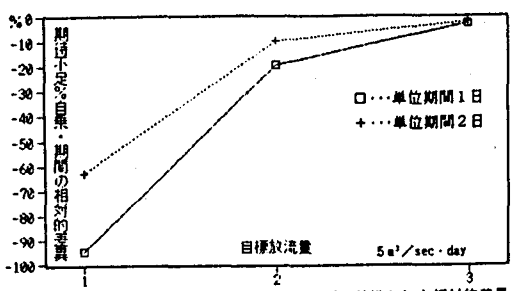

図4　単位期間3日の期待（不足%）^{2}・期間を基準とした相対的差異

<参考文献>　1）鈴木正人・長尾正志：2段階推移モデルによる相関離散分布流量を受ける貯水池理論，土木学会論文集，第411号／Ⅱ－12，1989、　2）相関離散分布流量を受ける貯水池の利水機能評価の研究，土木学会論文集（投稿中）