

II-313 確率マトリクス法による利水用貯水池の安全度評価

岐阜大学大学院 学生員 ○池田 繁樹

岐阜大学工学部 正 員 小尻 利治

岐阜大学工学部 正 員 宝 馨

1. はじめに

本研究は貯水池の長期間操作を対象に、流入量、降水量、及び、気温の確率分布特性を仮定してダム貯水池を中心とした水資源システムの安全度評価を行おうとするものである。特に、確率マトリクス法を用いて水量・水質両面の遷移過程を定式化し、温暖化シナリオのもとでのシステムの特性を明らかにしようとするものである。

2. 水資源システムの安全度評価指標

単ダム一単評価地点系を考えると、貯水池に流入する流量は不確定な要因であるが、時・空間的にはある種の従属関係を有している。ここで、時間従属性を単純マルコフ過程と仮定すれば、流入量の遷移確率と貯水池操作より、貯水量遷移確率が得られる¹⁾。ここでは、こうして得られる貯水量遷移確率と放流量遷移確率より貯水量の信頼度（各期において必要放流量を満たす確率、許容水質を下回る確率）でもって安全度指標とする。

3. 確率マトリクス法による安全度評価手法

3. 1 水量マトリクス

計算方法として、(1)降水と気温の遷移確率を求める、(2)降雨－蒸発－流出の回帰式を求める、(3)回帰式より流量の遷移確率を算定する、(4)貯水量の遷移確率を求める、(5)貯水量、及び、放流量遷移確率よりシステムの安全度を求める、(6)温暖化シナリオより降水・気温を設定する、(7)同様に、流量、貯水量遷移確率より安全度を求める、という手順をとる。流量確率の算定においては、(a)EV(t)=0, RA(t)は独立、(b)EV(t)≠0, RA(t)は独立、(c)EV(t)≠0, RA(t)は従属の場合の3つを考える。ここに、EV(t)は蒸発量、RA(t)は降雨量である。いま、t期とt-1期の降水を条件付確率として、 $PRRA(t) = \Pr [RA(t) | RA(t-1)]$ で表現すると、流量の同時生起確率 $PQQI^*(t)$ の要素 pqq^*_{ij} は

$$pqq^*_{ij} = \sum \sum \sum poq_i(t-1) \cdot crra_{mu}(t) \cdot pev_n(t) \quad (1)$$

$$\text{ただし、} j \leq a_1 i + a_2 m - a_3 n < j+1 \quad (2)$$

となる。従って、条件付確率 $CQQI^*(t)$ の要素 $cqq^*_{ij}(t)$ は、

$$cqq^*_{ij} = \sum \sum \sum crra_{mu}(t) \cdot pev_n(t) \quad (3)$$

となる。さらに、貯水量遷移確率マトリクス $CSS(t)$ の要素 $css_{ij}(t)$ は次のようになる。

$$css_{ij}(t) = \frac{\Pr [S(t) - Q_0(t) + Q_1(t) = 1, S(t) = k]}{\Pr [S(t) = k]} = \sum pqq^*_{ij} \quad (4)$$

ただし、 $poq_i(t)$ は流量レベルiの時の確率要素、 $crra_{mu}(t)$ は $PRRA(t)$ の第m,u要素、 $pev_n(t)$ は蒸発のレベルがnの時の確率要素、 a_1, a_2, a_3 は係数、 $S(t)$ は貯水量、 $Q_0(t)$ は放流量、 $Q_1(t)$ は流入量である。また、 $j=1-k+Q_0$ となる。貯水池操作に関しては、貯水量が必要量をためれば必要量に見合う流量を流し、必要量以下であれば全く放流しないという操作ルールを用いる。ここで、貯水量の同時生起確率に放流量マトリクスを乗ずると放流量の時系列が得られる。すなわち、

$$[0(t), 0(t+1)] = [0(t) | S(t)]^T \cdot [S(t), S(t+1)] \cdot [0(t+1) | S(t+1)] \quad (5)$$

と表され、t+1期での必要流量以上の成分を合計すれば、t+1期での安全度となる。Tはマトリクスの転置を表す。

3. 2 水質マトリクス

貯水池内の水質の遷移過程については、基準項目としてBODとする。流入量 $QI(t)$ と濃度 $CI(t)$ との相関

関係の変動を考慮し、同時生起確率として確率的に与える。貯水池内の変化は完全混合モデルとすると、 $t+1$ 期の濃度 $CS(t+1)$ は、

$$CS(t+1) = \frac{CI(t) \cdot QI(t) + CS(t) \cdot S(t)}{S(t+1)} \quad (6)$$

となる。さらに、 t 期の貯水量と濃度の同時生起確率を $DCS(t)$ とすれば、貯水量・水質の遷移確率マトリクス $PCS(t)$ は次のように定義できる。

$$PCS(t) = [pcsd_{1kjm}] \quad (7)$$

つまり、 k より放流量、 l より流入量が逆算され、 t 期の水質レベルも決まる。しかし、流入水質は可変の未知数となり、 $t+1$ 期の水質 $CS(t+1)$ を満たす水質レベルの和が要素となる。

4. 温暖化シナリオ

ここでは確率マトリクス法の適用性を考慮し、気温、降水の組合わせを(a) (0℃, 0%)、(b) (+3℃, 0%)、(c) (+3℃, +10%)、(d) (+3℃, -10%)の4つの組合わせを採用する。さらに、温暖化による降水・気温のマトリクスを算定する方法としては温暖化シナリオをもっとも反映する方法として、元のデータを直接変化させる方法を取る。

5. 適用と考察

ここでは、単一ダムについて適用し、安全度評価を行う。必要流量のレベルを4としたときの安全度の推移を図1に示す。この場合、現況(0, 0%)の安全度が高く、(+3, -10%)が低い。また、初期貯水量を空、満杯としたときの推移を図2、3（図中のグラフ1は $EV(t) = 0$, $RA(t)$ は独立、2は $EV(t) \neq 0$, $RA(t)$ は独立、3は $EV(t) \neq 0$, $RA(t)$ は従属を表す）に示す。乾期（11月～4月）にさしかかるとかなり低下するのが分かる。

水質に関しては初期貯水量は満杯、初期水質の発生確率を均等とした場合の推移を図4に示す。乾期において水量が減少し、濃度が上がるため安全度が低下するのがわかる。全体に安全度が高くないのは流入量と濃度の同時生起を任意に設定したこと、離散的取り方が粗いことが挙げられよう。

6. おわりに

今後は、大規模な水資源システムの定式化や、信頼度だけでなく回復度、深刻度を含む多目的評価を行いたい。

7. 参考文献

1)小尻、池淵、飯島：利水システムの安全度評価に関する研究、土木学会論文集、pp91～100、1987

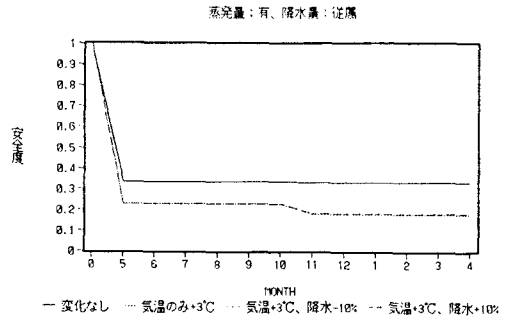


図1 安全度推移（放流レベル：4）

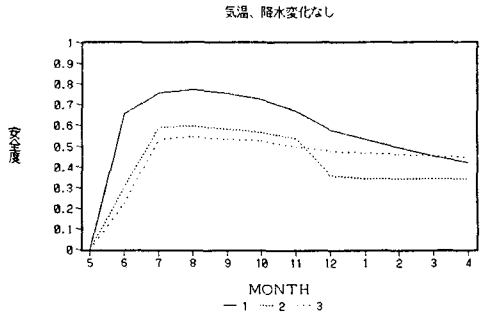


図2 安全度推移（初期貯水量：空）

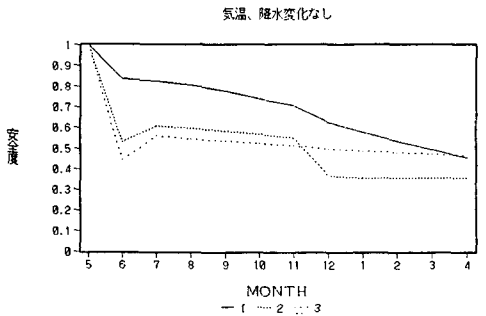


図3 安全度推移（初期貯水量：満杯）

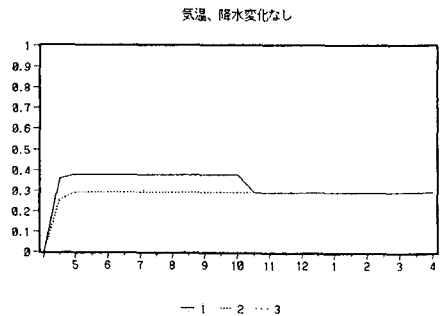


図4 水質の安全度推移

（初期貯水量：満杯、初期水質安全度：0）