

京都大学大学院 学生員 ○上田 哲弘・京都大学防災研究所 正員 中北 英一
 京都大学防災研究所 正員 岡田 憲夫 京都大学防災研究所 正員 池淵 周一

1 はじめに 1994 年の大規模な少雨年の前年が大規模な多雨年であったように、多雨・少雨の連続した生起が注目される。そこで、過去の降水量時系列データを用いて、多雨年あるいは少雨年が生起した翌年の多雨年及び少雨年の出現特性解析を行うとともに、ダム操作における経年貯留方式の可能性を分析する。

2 多雨年・少雨年の出現特性解析 まず、月降水量データの和歌山・徳島・高知・宮崎・鹿児島 の 5 地点に関して平均したものを太平洋地域に関するデータとし、さらに 6 月から 9 月の 4 ヶ月降水量を各年の代表値として年時系列データを作成した。そして t 年における 4 ヶ月降水量の実現値を $R(t)$ としてヒストグラムを作成したところ、分布形は左右対称ではなく、対数正規分布に近い形を示した。よって以下では降水量の実現値の自然対数値 $\ln R(t)$ を $R(t)$ と表記する。

次に、 $R(t)$ の年系列平均値を μ_R 、標本標準偏差を σ_R とし、 $x(t)$ 、 $y(t)$ を以下のように定義するとともに、 x, y 平面に関してプロットしたものを図 1 に示す。

$$x(t) = \frac{R(t) - \mu_R}{\sigma_R} \quad (1)$$

$$y(t) = \frac{R(t+1) - \mu_R}{\sigma_R} \quad (2)$$

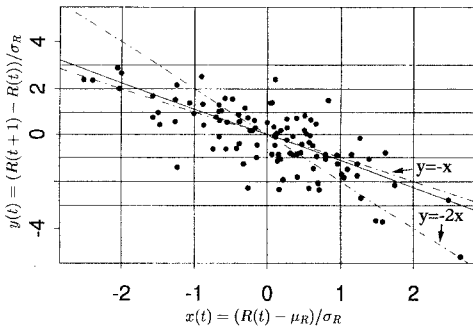


図 1 降水量偏差と経年変動傾向

ここでは x 軸が降水量の年系列平均値からのずれを、 y 軸が翌年の降水量の前年に対する変動量を表しているの、大規模な多雨年の翌年は比較的少雨

になり、逆に少雨年の次は多雨年になるという傾向があれば、図 1 において、 x の正値が大きくなるほど直線 $y = -x$ より下方に、 x が負の方向に小さくなるほど上方にプロットされるはずであり、確かにそのような傾向がうかがえる。そこで、 $R(t)$ が定常で期待値 $y = ax$ 、分散 σ_R^2 の正規分布に従う仮定し、最尤推定法により推定したところ、 $a = -1.127$ となり（実線）、多雨年の翌年は少雨になり、少雨年の次は多雨年になるという傾向が示された。よって、 $R(t)$ が既知のとき、 $t+1$ 年における降水量 $R(t+1)$ の期待値 $\mu_{R(t+1)|R(t)}$ が推定でき、 $R(t+1)$ の条件付き確率密度関数が以下のように示される。

$$f(R(t+1)|R(t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_R} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{R(t+1) - \mu_{R(t+1)|R(t)}}{\sigma_R} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

3 マルコフ過程の適用 ここでは最尤推定法により推定した分布形に、確率過程として $R(t)$ を用いたマルコフ過程を適用し、その意味について検討する。なお、 d_t は期待値 0 の白色過程である。

$$(R(t) - \mu_R) = \Phi_1(R(t-1) - \mu_R) + d_t \quad (4)$$

$$R(t) - R(t-1) = (\Phi_1 - 1)(R(t-1) - \mu_R) + d_t \quad (5)$$

式 (5) より、 $(\Phi_1 - 1)$ が、最尤推定法による a と同値であることがわかる。

また、マルコフ過程 $R(t)$ が定常過程であるためには、 $BR(t) = R(t-1)$ 、 $B\mu_R = \mu_R$ なる代数的な後退作用素 B を導入した式

$$(1 - \Phi_1 B)(R(t) - \mu_R) = d_t \quad (6)$$

において、 $1 - \Phi_1 B = 0$ の根が複素単位円の外側に存在ことが必要十分条件である¹⁾。すなわち $-2 < a = (\Phi_1 - 1) < 0$ が、確率過程 $R(t)$ の定常性に関する必要十分条件となっている。これは、大規模な多雨年の翌年は大規模な少雨になり、逆に少雨年の翌年は多雨になるという傾向が、 $R(t)$ を定常確率過程と仮定しても解析的に許されるということを意味している。

4 洪水安全度と渇水回避確率 貯水池の洪水に対する安全度を推定するために、4 ヶ月降水量に対して

最大3日降水量を定義する。これは、6月から9月における3日降水量の最大値であり、最大3日降水量 $r(t)$ の4ヶ月降水量 $R(t)$ に対する条件付き確率密度関数を

$$f(r(t)|R(t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{r(t) - (a_r R(t) + b_r)}{\sigma_r} \right)^2 \right\} \quad (7)$$

と仮定し、最尤推定法を用いて a_r, b_r, σ_r を推定する。そして、 $f(r(t)|R(t-1)) = \int_{-\infty}^{\infty} f(r(t)|R(t)) \cdot f(R(t)|R(t-1))dR(t)$ と、式(3)、式(7)から、 t 年における前年4ヶ月降水量 $R(t-1)$ の条件付き最大3日降水量の確率密度関数は

$$f(r(t)|R(t-1)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{\sigma_r^2 + a_r^2\sigma_R^2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{r(t) - (b_r + a_r \mu_{R(t)|R(t-1)})}{\sqrt{\sigma_r^2 + a_r^2\sigma_R^2}} \right)^2 \right\} \quad (8)$$

のように、期待値 $b_r + a_r \mu_{R(t)|R(t-1)}$ 、分散 $\sigma_r^2 + a_r^2\sigma_R^2$ の正規分布で表すことができる。

以上のことをふまえて、貯水池操作における経年貯留方式として、前年が多雨で当該年において少雨が予想される場合に、現行の洪水調節用量の一部を新規貯留容量として利用することを想定する。4ヶ月降水量と最大3日降水量の確率密度関数を用いて、洪水調節用量変更後の貯水池に対する洪水安全度、並びに漏水回避確率という指標を次のように定義する。すなわち、変更後の（洪水調節用量／集水面積）を許容降水量とし、前年の4ヶ月降水量を条件として推定した当該年の最大3日降水量確率分布における許容降水量の非超過確率を洪水安全度とする。そして、（新規貯留容量／集水面積）を新規貯留降水量とし、前年4ヶ月降水量の条件付きで推定した当該年の4ヶ月降水量確率分布における（4ヶ月降水量の年系列平均値－新規貯留降水量）の超過確率を持って漏水回避確率とする。

5 経年貯留方式の適用 経年貯留方式適用の可能性を調べるために、真名川ダムと大渡ダムの場合について検討する。降水量データはデータの存在する期間である1961年から1994年までの日降水量を用い、真名川ダムには京都、大渡ダムには高知における地点降水量を適用して解析する。図2、図3は、前年の4ヶ月降水量が $\mu_R + 2\sigma_R$ の多雨という条件のもとでの、（新規貯留容量／現行の洪水調節用量）の増加による洪水安全度及び漏水回避確率の変化を示している。

図2では、新規貯留容量の増加に伴って漏水回避確率が増加し、洪水安全度が減少していることがわかる。この意味するところは、(1)前年の多雨を条件として当該年の少雨を予想しなければ、漏水回避確率

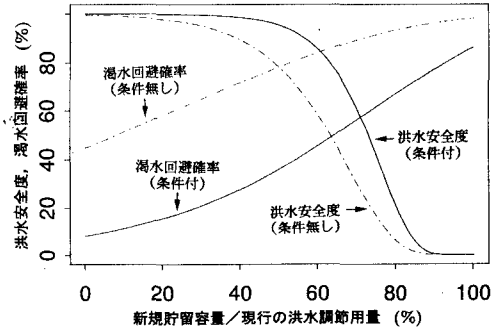


図2 経年貯留方式の真名川ダムに対する適用

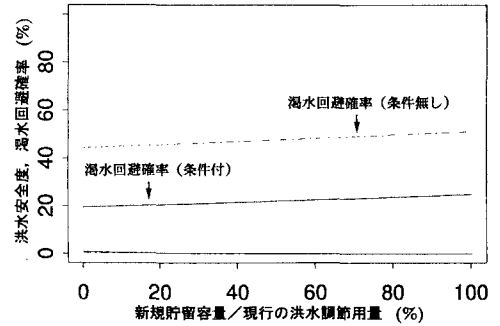


図3 経年貯留方式の大渡ダムに対する適用

を非常に甘く見積もってしまう、(2)少雨を予想すれば、新規貯留容量を設けることにより、予想しない場合と同じ洪水安全度を保持したまま、漏水回避確率を上昇させることができる、にあり、したがって、経年貯留方式の適用が可能であるといえる。

一方、図3においては、洪水安全度がほぼ0となっており、新規貯留容量の増加による漏水回避確率の上昇もほとんど認められない。このようなダムに関しては現行の洪水調節用量を減少させる形での経年貯留方式の適用は不可能であるといえる。

以上のように、両者に経年貯留方式の適用可能性に関して大きな差が生じたのは、ダム貯水池の集水面積／洪水調節用量の値が異なるからである。すなわち、真名川ダムは集水面積 223.7km^2 、洪水調節用量 $89,000 \times 10^3\text{m}^3$ で、集水面積／洪水調節用量が $2.5 \times 10^3/\text{m}$ であるのに対し、大渡ダムは順に、 688.9km^2 、 $49,000 \times 10^3\text{m}^3$ 、 $14.1 \times 10^3/\text{m}$ である。つまり、集水面積／洪水調節用量が小さいダムほど経年貯留方式を適用できる可能性が高く、水資源の有効利用につながるといえる。

6 おわりに 紙幅の都合上詳細については講演時に述べるが、今回用いた洪水安全度及び漏水回避確率という指標を、より実際のダム操作における洪水及び漏水を反映したものにしていく必要がある。

[参考文献] 1) K.W.HIPEL and A.I.MCLEOD: Time Series Modelling of Water Resources and Environmental System, Developments in Water Science, pp.92-94, 1994.