歴史洪水資料の洪水確率評価への導入効果について

京都大学防災研究所　正　員　池淵　周一
京 都 大 学 大学院　学生員　○前田　　勝

1．概要　わが国の治水計画においては、水域ごとに社会的要請の度合いを超過確率あるいは再現期間で表し、これに対応する洪水規模を対象としている。この洪水規模を算定するにあたっては確率分布モデルが用いられるが、確率分布モデルの同定パラメータにはデータ数の少なさからくる不確定性が存在する。幸いにも琵琶湖にあっては、古文書等に洪水による被害記録などから湖水位のピーク値をある程度再現することが可能である[1)]。そこで本研究ではそれらの記録を近年洪水による定量データに加味し、確率分布モデルとして対数正規分布モデル、指数分布モデルを想定して、確率分布モデルのもつパラメータおよびある再現期間(ここでは100年を想定する)に対する湖水位を求めるとともに、歴史洪水によるデータを加えることの効果と意義について考察する。ただし近年洪水による湖水位のピーク値は、明治初期以前と同一の条件で比較するため、瀬田川の洗堰等は無いものとして換算した値を用いている。

2．確率分布モデル　琵琶湖における湖水位の年最大値は、概ね対数正規分布に従うと考えられる。そこで次のような３つのケースに分類し、それぞれについて確率分布モデルのもつパラメータと再現期間 100年に対する湖水位を求める方法を考えてみた。

①近年洪水による定量データのみを用いる場合であり、毎年の湖水位の年最大値が既知の場合。このとき、ｓ年間の各年毎の年最大値をX_i'として、$X_i=\ln X_i'$とすると、X_iの確率密度関数は、

$$f_x(X_i)=(1/\sqrt{2\pi}\,\sigma)\exp\left[-0.5\{(X_i-\mu)/\sigma\}^2\right]$$

と考えられ最尤法によりμ、σを求め、再現期間100年に対する湖水位を求めることができる。

②明治時代初期までを加味した洪水のデータを用いる場合であり、明治時代初期には毎年の水位の年最大値はわからないが、ある基準X_0(ここでは2.0m)を越えたときの水位が既知である場合。明治初期においてｈ年間にｋ回の洪水の記録があるとすると、このときの尤度関数は、

$$L_0=\prod_{i=1}^{s} f_x(X_i)\{\left[\begin{smallmatrix}h\\k\end{smallmatrix}\right]F_x(X_0)^{h-k}\left[1-F_x(X_0)\right]^k\}\prod_{i=1}^{k} f_y(Y_i)$$

となり[2)]、これよりパラメータおよび再現期間100年の水位が求められる。

③江戸時代までを加味した洪水のデータを用いる場合であり、江戸時代においては、洪水の生起回数は既知であるもののそのピーク水位は不確実である場合。このときの尤度関数は、

$$L_0=\prod_{i=1}^{s} f_x(X_i)\{\left[\begin{smallmatrix}h\\k\end{smallmatrix}\right]F_x(X_0)^{h-k}\left[1-F_x(X_0)\right]^k\}$$

となり、パラメータおよび100年確率の水位を求めることができる。ここにｋは歴史時代の2.0mを越える生起回数である。

以上が対数正規分布を用いる方法であるが、②③ではパラメータの値は陰関数の形でしか得ることができないため、その確率密度関数までを得るにはシュミレーションによらねばならない。そのため②③で求めた値は点推定といわざるを得ない。そこで同定パラメータおよび再現期間の確率密度関数までも求めることが可能な確率分布モデルとして、指数分布を想定した。一般に湖水位のピーク値は指数分布に従うとは考えにくいが、例えば２ｍ以上といった非常に水位の高い領域では、指数分布によって近似することが可能である。そこで'しきい'水位をX_0、湖水位の観測値をQ_iとすると、超過水位は$\xi_i=Q_i-X_0$である。このξ_iが指数分布、$h(\xi_i)=\beta\exp(-\beta\xi_i)$で表せ、生起過程の特性はポアソン分布、$f(m)=\{(\lambda t)^m/m!\}\exp(-\lambda t)$

Shuichi IKEBUCHI , Masaru MAEDA

で表されるとする。ここにm，tはt年間にm回のX_0mを越える洪水があったことを示す。これよりパラメータおよび再現期間100年の水位の確率密度関数を求めることができる。たとえばβの確率密度関数は以下のようである[3]

$$gn(b)=\frac{\exp\{-\Lambda(n)\}}{b}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\{m\beta\Lambda(n)\exp(-\beta/b)\}^{m}}{m!\,(m-1)!\,b^{m}}$$

ここに、Λ(n)はn年間の洪水発生回数である。

3．モデルの適用と結果に対する考察　江戸時代においては、データの信頼性は低いうえ、現在とは迎水位等が異なるためこれを単純に比較することには問題があるのではないかと思われる。しかしどの程度の補正が必要かは現状ではわかりにくい。そこで当時瀬田川の疎通能力は、平水位(鳥居川水位０m)で50m³/sと考えられているが実際にはもう少し小さい疎通能力であったのではと考えて、(a)データをそのまま用いる場合、(b)江戸時代では疎通能力が30m³/s程度であったと考える場合、(c)20m³/s程度であったと考える場合、(d)10m³/sであったと考える場合、を想定する。それぞれについて近年洪水による定量データも加えて２．の方法によって得たパラメータおよび再現期間100年の湖水位を、表１(対数正規分布より)、図１，２(指数分布より)に示す。表１からは、明治時代まで含めてもさほど大きな違いは無いものの、江戸時代までを含めると、(a)(b)では江戸時代のピーク水位がかなり大きくなり、仮定(c)で近年洪水のデータから得た結果と概ね符合することがわかる。このことから断定はできないものの近年洪水のみの結果に比べて江戸時代までを含めた結果の方がやや大きく出ているといえる。また確率密度関数のグラフから明治、江戸とデータ数を増やすに伴って、パラメータの確率密度関数のグラフはシャープな形状を示し、パラメータの信頼性が高まっており、再現期間100年に対する湖水位の信頼性も江戸時代までを加味することにより、より確かなものとなっていると言えよう。以上が歴史洪水資料を加味したことの効果と意義の概要であるが、今後シュミレーション等を用いたり、古文書の研究をより緻密に考察するなどして、さらに研究を進めて行きたい。

表１　対数正規分布を用いたときのパラメータと再現期間100年の湖水位の最確値

期間	1912-1980	1868-1980		1718-1980			
Case	①	②	③				
仮定				(a)	(b)	(c)	(d)
μ	0.468	0.395	0.449	0.605	0.563	0.496	0.404
σ	0.269	0.260	0.261	0.321	0.306	0.281	0.241
100年水位	2.99m	2.72m	2.88m	3.87m	3.58m	3.16m	2.62m

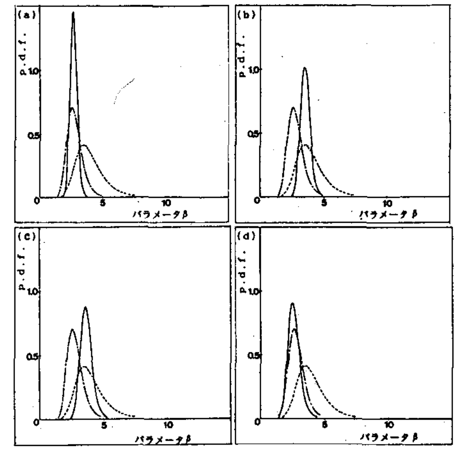

図１　指数分布を用いたときのパラメータβの確率密度関数

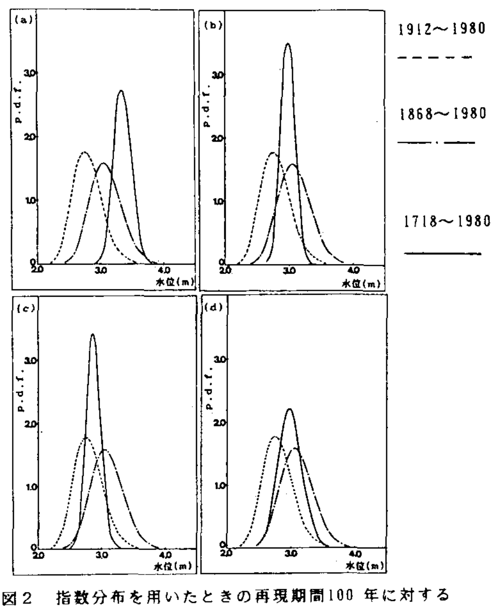

図２　指数分布を用いたときの再現期間100年に対する湖水位の確率密度関数

1)近畿地建琵琶湖工事事務所水資源開発公団関西支社;琵琶湖の歴史洪水と洪水確率検討業務報告書
2)J.R.STEDINGER and T.A.COHN;Flood Frequency With Historical and Paleoflood Information Water Resources Reserch,Vol.22,No.5,pp785-793,1986
3)F.ASHKAR and J.ROUSELLE;Parameter Uncertainty and The Design Flood,