

# 歴史洪水資料を用いた琵琶湖の洪水頻度分析

## A FLOOD FREQUENCY ANALYSIS FOR LAKE BIWA USING HISTORICAL FLOOD INFORMATION

庄 建治朗<sup>1</sup>・富永 晃宏<sup>2</sup>  
Kenjiro SHO and Akihiro TOMINAGA

<sup>1</sup> 正会員 博（工） 名古屋工業大学助手 ながれ領域（〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町）

<sup>2</sup> 正会員 工博 名古屋工業大学教授 ながれ領域（〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町）

A flood frequency analysis using historical flood information was carried out for Lake Biwa since 18<sup>th</sup> century. The probability distributions of the standardized annual maximum water level and the annual maximum rainfall totals for 30 days was investigated and the effects of using historical flood information on flood frequency analysis were examined by plotting position. As results, it became apparent that these two extreme hydrological values obey the Gumbel distribution for Lake Biwa, and it was shown that the estimation precision of the quantile corresponding to the return period of several decades to a hundred years is largely improved by utilizing historical flood information.

**Key Words :** Flood frequency analysis, Lake Biwa, Historical flood information, Plotting position, Gumbel distribution

### 1. はじめに

治水計画を企画立案する際には、計画の対象とする洪水規模をまず決定する必要がある。この計画規模の決定には、過去においては既往最大のものが考えられていたが、近年では社会的要請の度合を超過確率または再現期間で表し、これに対応する洪水規模を対象として総合判断を下すのが通常である。超過確率や再現期間と洪水規模とは極値確率分布モデルによって対応づけられるが、この確率分布モデル同定の基礎となる観測データが存在するのは通常は多くても近年数十～100年分程度であり、計画策定の上で重要となる50年或いは100年以上といった大きい再現期間に対応する確率水文量を推定しようとする場合、標本数の不足からくる分布や母数の不確定性が問題となる。その解決法の一つとして、未だ測器観測が行われていなかった歴史時代の水文量を何らかの方法により復元し、これを観測データに追加して大標本を構成することが考えられる。

治水計画策定に歴史洪水や古洪水の情報を利用することの有用性については、アメリカでは1950年頃から注目され、洪水頻度分析の手順に公式に取り入れられるとともに1980年代頃にかけて盛んに研究が進められた。例えば、Hosking & Wallis<sup>1)</sup>、Stedinger & Cohn<sup>2)</sup>らは、歴

史洪水の情報が今日得られるのは洪水が記録や痕跡を残すに足るある一定の規模（観測閾値）に達した場合であり、記録が残らないのは洪水規模が閾値を下回ったためであるとして、こうした性質を持つデータを積率法や最尤法により観測データとともに極値確率分布モデルに導入する方法を定式化した。さらにモンテカルロ実験による検証を行い、積率法よりも最尤法の方が、歴史洪水データの付加による確率水文量の推定精度の改善効果が大きいことを示した。また、最尤法は閾値以上のデータの値そのものが既知の場合、閾値に達したことは分かっているが値は未知の場合など歴史洪水データの性質に応じて柔軟に適用でき、確率分布モデルへの導入法として有利であると結論づけた。Hosking & Wallis<sup>3)</sup>は、非常に規模の大きい歴史洪水又は古洪水が復元された場合を想定し、数百～数千年といったある期間で最大であったことが確実な異常洪水のデータを1つだけ既存の観測データに追加した場合の洪水頻度分析に及ぼす効果を、様々なケースについてモンテカルロ実験を行い比較検証した。その結果、特に観測データの資料期間が短い場合には、ただ1つの歴史洪水のデータであってもそれを加味することで大きい再現期間に対応する確率水文量の推定精度が大幅に向上し、その歴史洪水の規模が大きい（再帰時間が長い）ほど改善効果が大きいことが示された。これらのシミュレーションに用いる確率分布モデルには、正

規分布や対数正規分布の他、グンベル、対数ピアソンⅢ型、一般化極値分布等の様々なケースについて検討され、また近年は、観測データとして毎年最大値資料（annual maximum series, AMS）ばかりでなく、ある閾値以上の全てのピーク値を抽出する部分的水文資料（partial duration series, PDS）を用いた場合の解析も試みられている。

一方、実流域を対象とした歴史洪水や古洪水復元の研究も進展した。例えば、Kochel & Baker<sup>4)</sup> は、米国テキサス州の Pecos 川について、氾濫堆積物と放射性炭素年代測定から過去約 5000 年間に発生した数回の古洪水のピーク流量と生起年代を推定し、それらのデータを利用することによって大規模洪水に対する確率評価が大きく改善されることを示した。Jarett & Tomlinson<sup>5)</sup> は、米国コロラド州北西部を対象に、やはり過去約 5000 年間に生じた 100 以上の古洪水についてピーク流量と年代を求め、コロラド州北西部における流域面積とピーク流量の関係を表す包絡曲線や再現期間とピーク流量との関係を推定するのにこれら古洪水のデータを用いた。そして、古洪水の資料を利用する手法が可能最大降水（probable maximum precipitation, PMP）や可能最大洪水（probable maximum flood, PMF）を用いる手法よりも計画洪水の策定に有用であることを示した。また、歴史洪水に関する研究はアメリカばかりでなく、中国等においても、豊富に残る長期にわたる文書史料を生かして期間の短い観測データを補う試みが早くからなされている<sup>6)</sup>。さらに、観測局の配置間隔が粗いアメリカ西部やオーストラリア中部等では、既存の観測網で把握しきれない小流域の出水等、近年の洪水を再現する手段としてもこうした古洪水復元の手法が用いられている<sup>7), 8)</sup>。

こうした状況に対し、日本においては、急流河川が多く流量変動が大きいことから、従来数～数十年といった比較的再現期間の小さい洪水が洪水防御計画の対象であったため、歴史洪水資料を洪水頻度分析に用いる必要性が小さく、この分野の研究はあまり行われてこなかった。しかし、今後は治水施設の整備水準が高まるにつれ、100 年、200 年といった大きい再現期間に対応する洪水規模を精度良く推定する必要性が次第に高まってくるものと予想される。湿潤で植物が繁茂しやすく、地形変化の速度が大きい日本では、アメリカ西部の砂漠地帯等のように数千年も前の大洪水の物理的痕跡が状態よく保存されていることはあまり期待できないが、古文書等の文献史料については世界的に見ても量・質的に非常に恵まれており、この分野の今後の発展が期待されるところである。

そうした中で、琵琶湖流域は歴史時代の水文現象に関する情報が豊富であり、こうした手法に適した流域であるといえる。本研究では、琵琶湖におけるこれまでの歴史洪水の研究を踏まえ、江戸時代中期以降を対象として、まず復元された極値水文データを確率評価に適した形に

整理する。そしてそのデータを確率紙上にプロットしてその分布形を検討し、さらに確率分布モデルを適合させて洪水頻度分析を行い、歴史洪水資料の利用による確率水文学算定の精度に及ぼす効果について考察する。

## 2. 琵琶湖の歴史洪水資料

歴史時代の琵琶湖湖辺地域では、湖水位の上昇による浸水被害が頻繁に発生しており、洪水時の湖水位について古文書等に多くの定量記録が残されている。これには、家屋や田畑等の浸水深の記録、過去の大洪水とピーク水位を比較した記録などがある。また、膳所藩では定水杭を用いて毎月 15 日に定期水位観測を行っており、欠落も多いものの享保 6 年（1721）以降断続的に精度の高い水位記録が得られる。これらの記録は各々独自の水位基準を用いているため、近代以降の水位観測データと比較するためには、当時の観測に用いた基準と現在の水位基準（鳥居川量水標、T.P. + 84.371 m）との関係を明らかにしておかなければならない。そこで著者らは、蒐集された歴史時代の水位記録を整理して水位基準相互の関係を求め、歴史洪水のピーク水位を鳥居川水位で表すことを試みた<sup>9), 10)</sup>。

しかし、琵琶湖からの唯一の流出河川である瀬田川の疏通能力は、江戸時代には河床への土砂堆積や数回の川浚え、明治後期以降はさらに大規模な瀬田川改良工事や洗堰の設置による人工的な流量調節等により変動しており、琵琶湖水位もこうした流出能力の変化の影響を当然受けている。このように時代により条件の変化する要因を含む水文量をそのまま確率評価に用いるのは適当ではない。まずピーク水位のデータを変換し、流出能力の条件を同一にする必要がある<sup>10)</sup>。そこで、まず瀬田川洗堰による流量調節が行われている 1912 年以降については、毎日の水位及び瀬田川流量の観測データから流入量を逆算し、ピーク水位を瀬田川改良工事・洗堰設置以前の明治時代（1870～1900 年頃）における瀬田川疏通能力の条件の下で実現したであろう値に換算した。歴史時代（1720～1870 年頃）についてはこのような換算手法が適用できないため、常水位（普段の平均的な水位）の変動分を補正することで明治時代の瀬田川疏通能力の条件に換算されたものと見做した。即ち、琵琶湖水位の長期的変動を表す常水位曲線<sup>10)</sup>から毎年の常水位を求め、明治時代の洗堰設置前（1870～1900 年頃）における常水位 0.833 m（鳥居川水位）との差をその年のピーク水位から差し引くことによって水位を換算した。

また、湖水位のデータを、時代により条件が変化する要因の影響を受けにくいとして治水計画策定のための確率評価に用いるのが一般的な降雨量に変換することができるのであれば、これを洪水頻度分析に用いるのが望ましい。これについては、古文書等から復元された洪水時

のピーク水位、迎水位（洪水前の水位）と古日記の天気記録から推定したハイトグラフの概形を基に、琵琶湖の流入－貯留－流出の連続関係と流域の流出モデルを介して、迎水位からピーク水位までの洪水期間における流域平均総降雨量を逆算するモデルが提案されている<sup>10), 11)</sup>。本研究ではこの洪水期間に年最大降雨量が生じたものと見做し、洪水頻度分析のための極値水文量として用いる。ここで確率評価に用いる降雨量の期間の長さを決める必要があるが、通常の河川における洪水防御計画では、大河川でも 2 日程度の年最大降雨量の確率評価を基に基本高水が決定される。しかし、琵琶湖の場合には、流域面積の大きさに対して流出河川である瀬田川の疏通能力が限られており、洪水時には流入量が流出量よりも圧倒的に大きくなるため、上昇した湖水位はかなりの期間に亘ってその影響を残す。それ故、琵琶湖の治水計画を考える際には 20 日程度以上といった長期の総降雨量が重要な水文量となる。本研究では、歴史時代における重要な水文資料である膳所藩による定期水位観測が毎月 1 回であり、水位がピークに達する 30 日程度前の迎水位データが比較的得やすいという事情も勘案し、30 日間の流域平均総降雨量を確率評価の対象とすることとした。

こうして復元された換算ピーク水位及び年最大流域平均 30 日間降雨量（以下、30 日雨量と略記）を図-1 に示す。以下、これら換算ピーク水位と 30 日雨量を琵琶湖の洪水規模を表現する 2 つの極値水文量とし、これらについて洪水頻度分析を行う。なお、本研究では対象とする江戸時代中期、具体的には 1718 年以降の水文現象の標本は現在と同一の母集団に属するものと仮定し、

データは定常性、独立性、均質性を前提に抽出されたものとする。

### 3. 歴史洪水資料の洪水頻度分析への導入

本章では、前章で整理した近年時代及び歴史時代の極値水文量データを確率紙上にプロットし、それらの従う分布形について検討する。また、それに確率分布モデルを適合させ洪水頻度分析を行い、歴史洪水資料を利用することによる確率水文量算定の精度に及ぼす効果について考察する。

#### (1) 近年時代及び歴史時代の設定

ここでは毎年の正確な観測データが得られる期間を近年時代、水文量がある閾値に達した場合にはデータが得られるが、その他の年については閾値より小さいという情報しか得られない期間を歴史時代と定義する。分析に先立ち、近年時代、歴史時代それぞれの期間と歴史時代については観測閾値の大きさを決めておく必要がある。

まず近年時代については、鳥居川量水標が設置され毎日の湖水位観測が開始されるのが 1874 年（明治 7）であることから、換算ピーク水位については 1874 年から 1980 年までを近年時代とする（但し 1900～1911 年は瀬田川改良工事のため流出能力が大きく変動し水位の換算が難しいため除く）。30 日雨量については、流域内多数地点の日雨量データが整備されている 1912 年（大正元）から 1980 年までの 69 年間を近年時代とする。また

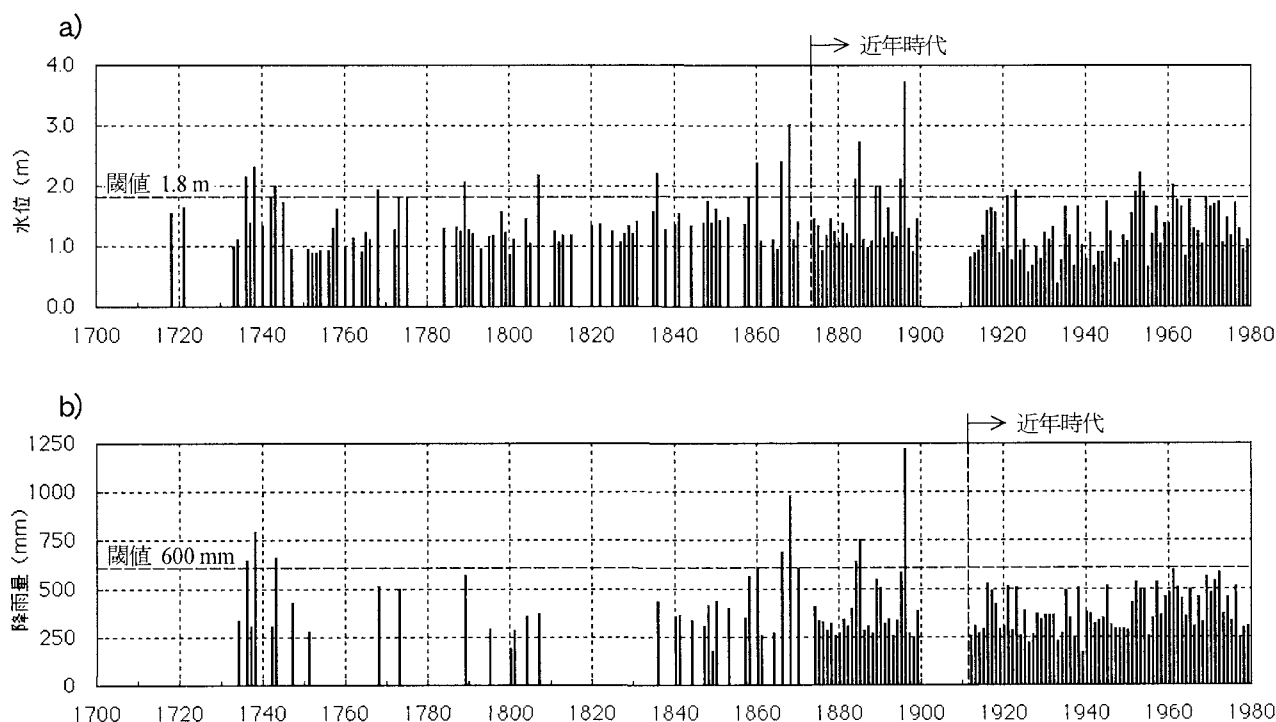


図-1 推定した a) 換算ピーク水位、及び b) 流域平均年最大 30 日間降雨量

歴史時代については、一般にその始まりを正確に求めるのは難しいが、ここでは最初の文書による洪水時の浸水記録が得られる享保 3 年 (1718) 以降を歴史時代と考える。

次に、歴史時代において何らかの形で現象の記録又は痕跡が残される下限の洪水規模 (閾値) を定める必要がある。これには、通常は得られた歴史時代のデータのうち最小のデータ値をもって閾値とし、これを上回る洪水についての資料は全て入手可能と考えることが多い。しかし、本研究の換算ピーク水位については、1~1.5 m 程度の中小規模の洪水のデータも多く存在する一方でデータが欠落している年も相当数あり、最小のデータを基準に閾値を定めた場合、欠落年の中にも閾値を上回る洪水規模の年が多数存在する可能性が高くなる。また、一般に大規模洪水になるほど数多くの記録が残されているためデータの精度が高くなる一方、中小規模の洪水では情報が少なくなり復元されたデータの信頼性が疑わしい場合も少なくない。閾値は、これを上回る規模の洪水についてのデータが必ず得られるように定める必要があることから、本研究では換算ピーク水位の閾値をやや高めに 1.8 m と設定し、これに達しない歴史洪水については仮にデータ値が得られていてもその値は用いず、全て閾値未満という扱いをすることとした。これにより、閾値以上のデータ数は歴史時代に 13 個、近年時代に 13 個、計 26 個となった。

30 日雨量については、これを復元するためには水位の記録に加え洪水期間中の日々の天気記録を得る必要があるため、換算ピーク水位よりも欠落年が多くなっており、相当規模の洪水でもデータが欠落している可能性がある。それ故、30 日雨量の閾値は、これを上回る洪水についてのデータがほぼ確実に得られるであろうという値として、換算ピーク水位の場合よりもさらに高めに 600 mm と設定した。この閾値以上のデータは歴史時代だけに 10 個あり、近年時代には存在しなかった。

## (2) プロットイング・ポジション公式

$n$  個のデータを降順に並べたとき、第  $i$  番目のデータに対する超過確率  $p_i$  の推定値  $\hat{p}_i$  を与えるプロットイング・ポジション公式は、一般に次式で表される。

$$\hat{p}_i = \frac{i-a}{n+1-2a} \quad (1)$$

ここに  $a$  は定数であり、(1) 式は  $a = 0$  のとき Weibull 公式、 $a = 0.5$  のとき Hazen 公式となる。また、 $a = 0.44$  とすればグンベル分布に適するとされる Gringorten 公式が得られる。

Hirsch & Stedinger ら<sup>12), 13)</sup> は、(1) 式を歴史時代の閾値以上のデータにも適用可能なように拡張し、Exceedance 公式を導いた。これは、近年時代と歴史時代を合わせた  $n$  年間に  $g$  年分のデータが得られ、うち  $k$  個

が閾値以上であり、またそれら  $k$  個のデータのうち  $e$  個が近年時代  $s$  年間に属する (即ち  $g = k + s - e$ ) とするとき、次式で表される。

$$\hat{p}_i = \begin{cases} \frac{i-a}{k+1-2a} \frac{k}{n}, & i = 1, \dots, k \\ \frac{k}{n} + \frac{n-k}{n} \frac{(i-k-a)}{(s-e+1-2a)}, & i = k+1, \dots, g \end{cases} \quad (2)$$

ここに  $a$  は定数であり、 $a = 0$  としたものを Exceedance-Weibull (以下、E-W と略記) 公式、 $a = 0.44$  としたものを Exceedance-Gringorten (以下、E-G と略記) 公式という。

Hirsch & Stedinger ら<sup>12), 13)</sup> は、これらプロットイング・ポジション公式について、 $i = 1$  (第 1 番目の順序統計) に対する超過確率の推定値  $\hat{p}_1$  及び  $\hat{p}_1$  に対応する確率水文学量 (クオンタイル) の精度を、モンテカルロ実験を行うことにより比較した。その結果、閾値を超えるデータが  $n$  年間の全期間中に数個程度以上存在するような場合については、 $\hat{p}_1$  の真値からの偏りは Weibull 公式や E-W 公式を用いた場合に小さいことを見出した。また、 $\hat{p}_1$  に対応する確率水文学量の真値からの偏りについては、分布形にも依存するものの概して Hazen 公式や Gringorten 公式、E-G 公式を用いたときに小さく、Weibull 公式、E-W 公式では負の偏りが大きいことが示された。その中でも E-G 公式は様々な分布形や閾値以上のデータ数のケースに対して比較的適用範囲が広いとの結果が得られている。 $i = 2$  についても傾向は同様で、さらに大きい  $i$  については公式間の差異は殆ど無かった。

こうしたことから、本研究では超過確率よりも確率水文学量の推定精度を重視し、E-G 公式を使用することとした。

## (3) 確率分布モデルと確率水文学量の算定

換算ピーク水位 (図-2 a) 及び 30 日雨量 (図-2 b) の近年時代のデータのみを用いたケース (図-2 左) と近年時代のデータに加え歴史時代の閾値以上のデータを使用したケース (図-2 右) それぞれについて、E-G 公式 (近年時代のデータのみの場合は Gringorten 公式) によって洪水規模と超過確率との関係をグンベル確率紙上にプロットした。また、各ケースについて極値確率分布モデルとして対数正規分布とグンベル分布を適合させた結果を 図-2 上に破線と実線でそれぞれ表した。なお確率分布モデルの母数推定は、各プロットにおける水文学量 (水位又は降雨量) のモデルによる推定値とデータ値との差の絶対値の総和、

$$\sum_{i=1}^g |Q_i - \hat{F}^{-1}(1 - \hat{p}_i)| \quad (3)$$

を最小化することによって行った<sup>13)</sup>。ここに、 $Q_i$  は第  $i$  番目の順序統計量のデータ値、 $\hat{F}^{-1}$  は適合させる確率分

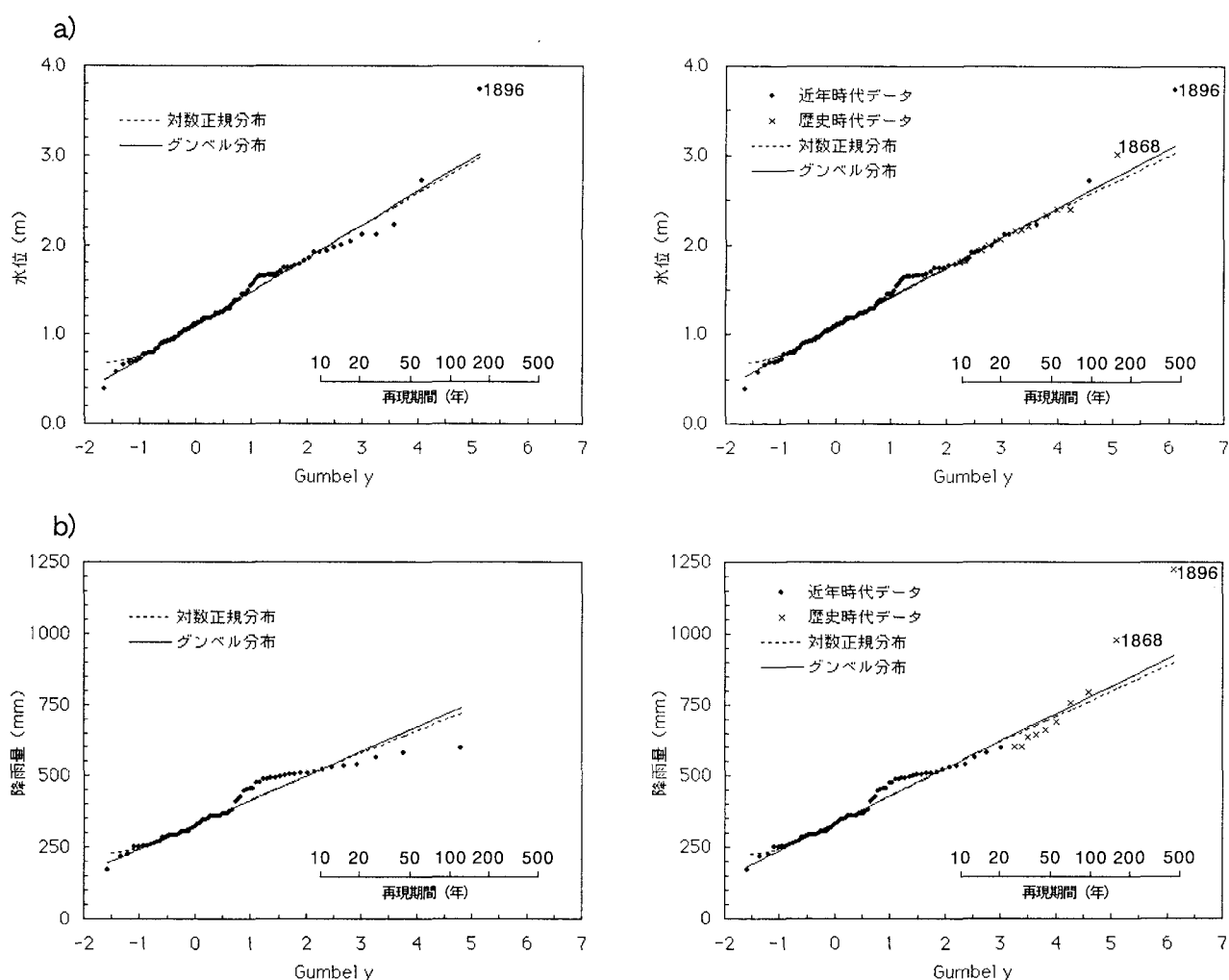


図-2 グンベル確率紙上へのプロット a) 換算ピーク水位、b) 流域平均年最大 30 日間降雨量 それぞれ左図は近年時代のデータのみによる場合、右図は歴史時代のデータを導入した場合

表-1 それぞれの確率分布モデルにより算定した 100 年及び 200 年確率水文量 a) 換算ピーク水位 (m)、b) 流域平均年最大 30 日間降雨量 (mm)

| a)      | 近年時代のみ<br>(1874～1980 年) |      | 歴史時代+近年時代<br>(1718～1980 年) |      |
|---------|-------------------------|------|----------------------------|------|
|         | 対数正規                    | グンベル | 対数正規                       | グンベル |
| 100 年確率 | 2.78                    | 2.82 | 2.57                       | 2.61 |
| 200 年確率 | 3.03                    | 3.08 | 2.78                       | 2.84 |

| b)      | 近年時代のみ<br>(1912～1980 年) |      | 歴史時代+近年時代<br>(1718～1980 年) |      |
|---------|-------------------------|------|----------------------------|------|
|         | 対数正規                    | グンベル | 対数正規                       | グンベル |
| 100 年確率 | 702                     | 722  | 762                        | 777  |
| 200 年確率 | 753                     | 782  | 824                        | 843  |

布モデルの分布関数の逆関数である。

次に、適合させた対数正規分布及びグンベル分布によ

り 100 年及び 200 年確率水文量をそれぞれ推定した。その結果を 表-1 にまとめる。近年時代のデータのみから算定した確率水文量は、歴史時代のデータを加味したケースよりも換算ピーク水位では大きく、30 日雨量では小さくなっているが、これは 1896 年 (明治 29) をはじめ大洪水が多発した 19 世紀末の期間が換算ピーク水位では近年時代に、30 日雨量では歴史時代に属しているためと考えられる。

図-2 を見ると、換算ピーク水位、30 日雨量ともに、歴史時代のデータを利用したケースでは、2 回の異常な大洪水 (1896 年と 1868 年) を除きプロットがほぼ一直線上に並んでいることが分かる。近年時代のデータのみによった場合に比べ、これらの水文量がグンベル分布に従うことがより明瞭になったといえる。特に数十～100 年程度の再現期間に対応する区間では、近年時代のデータのみの場合にはデータと適合させたモデルとの乖離が大きくデータ数も少ないが、歴史時代のデータを使用したケースではデータ数が増加したと同時にモデルの適合性も良くなっており、治水計画で重要となる再現期間数

十～100 年程度の確率水文量の推定精度が歴史洪水資料を導入することで大きく改善されたことを示している。

#### 4. おわりに

本研究では、江戸時代中期以降の琵琶湖流域を対象に、換算ピーク水位と 30 日雨量の確率評価に復元された歴史時代のデータを導入し、それによる洪水頻度分析に及ぼす効果について考察した。その結果、歴史時代のデータの追加によりこれらの水文量がグンベル分布に従うことが明瞭となり、また治水計画策定に重要な数十～100 年程度の再現期間に対応する確率水文量の推定精度を大きく改善させることが示された。

歴史洪水のデータは、観測データに比べ非常に大きな復元誤差を含む場合がありそうしたデータは却って確率評価の信頼性を低下させることがあるため取り扱いに注意が必要である<sup>14), 15)</sup>。今後も歴史洪水資料の蒐集活動を続けデータの復元精度とデータ数の向上を図るとともにこうした様々なケースの分析方法についてシミュレーション等も用いながら検討を行っていきたい。

日本では歴史水文学の工学への応用についてはあまり研究が行われておらず、今後こうした検討事例を多くの流域に対して積み重ねていくことが必要と考えられる。本研究で対象とした水文量は湖水位と 30 日間の総雨量であり、通常の河川の洪水防御計画の場合とはやや条件が異なるが、日本における歴史洪水資料の実用例として評価したい。

#### 参考文献

- 1) Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R.: The value of historical data in flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, Vol.22, No.11, pp.1606-1612, 1986.
- 2) Stedinger, J.R. and Cohn, T.A.: Flood frequency analysis with historical and paleoflood information, *Water Resour. Res.*, Vol.22, No.5, pp.785-793, 1986.
- 3) Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R.: Paleoflood hydrology and flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, Vol.22, No.4, pp.543-550, 1986.
- 4) Kochel, R.C. and Baker, V.R.: Paleoflood hydrology, *Science*, Vol.215, No.4531, pp.353-361, 1982.
- 5) Jarrett, R.D. and Tomlinson, E.M.: Regional interdisciplinary paleoflood approach to assess extreme flood potential, *Water Resour. Res.*, Vol.36, No.10, pp.2957-2984, 2000.
- 6) Luo, C.-Z.: Investigation and regionalization of historical floods in China, *J. Hydrol.*, Vol.96, pp.41-51, 1987.
- 7) House, P.K. and Baker, V.R.: Paleohydrology of flash floods in small desert watersheds in western Arizona, *Water Resour. Res.*, Vol.37, No.6, pp.1825-1839, 2001.
- 8) Baker, V.R., Pickup, G. and Polach, H.A.: Desert paleofloods in central Australia, *Nature*, Vol.301, pp.502-504, 1983.
- 9) 庄建治朗・長尾正志・富永晃宏：古記録による琵琶湖歴史洪水の水位推定, 水工学論文集, Vol.44, pp.371-376, 2000.
- 10) 庄建治朗：琵琶湖の歴史的水文環境の推定とその水工計画的応用に関する研究, 京都大学学位論文, 2003.
- 11) 庄建治朗・長尾正志・富永晃宏：古日記天候記録を用いた琵琶湖歴史洪水の復元, 土木学会論文集, No.656/II-52, pp.15-25, 2000.
- 12) Hirsch, R.M. and Stedinger, J.R.: Plotting positions for historical floods and their precision, *Water Resour. Res.*, Vol.23, No.4, pp.715-727, 1987.
- 13) Hirsch, R.M.: Probability plotting position formulas for flood records with historical information, *J. Hydrol.*, Vol.96, pp.185-199, 1987.
- 14) 庄建治朗・岩崎誠一郎・長尾正志・富永晃宏：誤差を含む歴史洪水データの確率洪水評価への導入シミュレーション, 水工学論文集, Vol.43, pp.133-138, 1999.
- 15) Sho, K., Iwasaki, S., Nagao, M. and Tominaga, A.: Effect of introducing uncertain historical hydrologic data on quantile estimation accuracy, *J. Hydrosoci. Hydraul. Eng.*, Vol.18, No.1, pp.45-52, 2000.
- 16) Sutcliffe, J.V.: The use of historical records in flood frequency analysis, *J. Hydrol.*, Vol.96, pp.159-171, 1987.
- 17) 水文・水資源学会編：水文・水資源ハンドブック, 朝倉書店, pp.234-248, 1997.

(2003.9.30 受付)