

古日記天候記録を用いた琵琶湖歴史洪水の復元

庄 建治朗¹・長尾 正志²・富永 晃宏³

¹正会員 工修 名古屋工業大学助手 工学部システムマネジメント工学科
(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

²フェロー 工博 名城大学教授 都市情報学部都市情報学科 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3)

³正会員 工博 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

近代的な水文観測体制が整備される前の時代(歴史時代)の琵琶湖水位は、膳所藩による定期観測記録や田面の冠水深記録等によりある程度定量的に推定される。また、流域各地に散在する古日記からは日々の天気変化を知ることができる。本研究では、古日記の天候記録と迎水位・ピーク水位データを用いて歴史時代における洪水期の琵琶湖流域平均降雨量を逆算するモデルを構築し、江戸時代後半期の主要洪水にこれを適用して洪水規模再現を試みた。さらに、同モデルを近年洪水に適用し、結果を観測データと比較することによりモデルの有効性を検証した。その結果、本モデルは特に大規模洪水に対して再現性が高く、またピーク水位データの誤差が結果の信頼性に大きな影響を及ぼすことが確かめられた。

Key Words : historical flood of Lake Biwa, old documents, daily weather records

1. はじめに

治水計画を立案する際には、水文観測データを基礎に流域の極値水文現象を表す確率分布モデルを同定し、これを用いて計画基準年にに対応した洪水規模が求められる。ところが、日本で水文観測が系統的に行われる様になるのは精々明治時代中期以降のことであり、データ数の不足からくる分布及び同定パラメータの不確定性が問題となることがある。それに対する基本的な解決法の一つとしては、文書記録や他の資料から歴史時代の洪水を復元し、近代の観測データに追加して大標本を構成する方法が挙げられる。

その点、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。特に、膳所藩による毎月の水位観測記録や洪水時の湖辺田面の冠水深記録など、琵琶湖水位に関する定量記録は利用価値があり、こうした記録を整理して歴史洪水のピーク水位等を現在の水位基準(鳥居川水位)で表す試みがなされてきた^{1),2)}。しかし、歴史時代において琵琶湖からの唯一の流出口であった瀬田川の疎通能力は、時代によって大きく変動していたことが知られており、琵琶湖水位もこうした条件の変化を含んだ水文量となっている。そこで、歴史時代の水位データから時代による条件

の違いを取り除き、近年時代の観測データとの比較を可能にするために、これを降雨量に変換する手法が考案された^{3),4),5)}。即ち、瀬田川の流出流量及び琵琶湖の貯水量が湖水位から一意的に決まることを利用して、流入-貯留-流出の連続関係により水位から流入量を逆算し、さらに流域への降雨と琵琶湖への流入との関係について何らかのモデルを設定することによって流域平均降雨量を求めるというものである。ところが、ここで問題となるのは、歴史時代の水位観測は毎日行われていた訳ではなく、多くの場合にはピーク時の水位、あるいはそれに加えて洪水生起前の水位(迎水位)が得られるのみであるという点である。同一の迎水位とピーク水位であっても、その間の水位経過(あるいは降雨波形)には様々なケースが考えられ、当然それに応じてその期間の総流入量や総降雨量は異なったものとなる。しかし、従来は迎水位とピーク水位との間を補う適當な情報が得られなかつたため、その間の経過については何らかの仮定を置いて処理せざるを得なかつた。

一方、歴史時代の降水状況を知るためにもう一つの資料として、古日記の天候記録がある。藩政日記、社寺等の日誌や、武士や商人等による私的な日記まで含め、歴史時代の日記は日本各地に残されており、これら古日記の天候記載部分を利用した古気候復元の研究が主に地理学の分野で行われている。古日記

天候記録は、降水の有無、さらに日記によってはその強弱や時間変化など、降水現象そのものに関する情報が日単位で得られるという利点を持つが、記述が定性的で、記録者の主観に左右されやすいため、降水量等の水文量と直接結びつけるのは難しい。しかし、毎日の天候記録から降雨波形のおよその形状を推測することは可能であり、洪水期間中の経過を知るための有力な資料となり得るものである。

本研究では、前述の水位記録の定量性と天候記録の時間分解能という両者の利点を生かし、これらを組み合わせて歴史時代の琵琶湖流域に対する30日間程度の流域平均総降雨量を推定するモデルを提案する。

2. 古日記の天候記録

樹木年輪、氷床コア等とともに、人類の文字による記録は過去の環境を知るための重要な手懸かりである。古気候の復元に利用される文書記録には様々なものがあり、例えば桜の開花記録、米の収穫高記録等、その年の気候を間接的に反映すると考えられる自然現象に関する記録もそこには含まれる。これに対し、古日記の天候記録は気象現象そのものに関する記録であり、しかも日単位での連続的なデータが全国各地で得られることから、その利用方法やそこから引き出される情報には多様な有用性が内蔵されていると考えられる。こうした記録は江戸時代後期になると量的にもかなり充実するようになり、日本では特に近世小氷期の気候環境を復元するための有力な資料となっている。

著者らはこうした古日記天候記録の性質に着目し、歴史洪水復元への応用を目的として、琵琶湖流域における記録の調査、収集を進めている。2000年2月現在、著者らが収集した古日記天候記録の史料名、所蔵者、天候記載地点及び期間は以下の通りである。また、天候記載地点の位置図を図-1に示す。

- ・知則日記〔彦根市〕
彦根市立図書館蔵
享保 16(1731)年—明和 5(1768)年
- ・小室藩日記〔浅井町〕
滋賀県立図書館蔵
延享 3(1746)年—天明 7(1787)年
- ・市田清兵衛文書「日記」〔近江八幡市〕
滋賀大学経済学部附属史料館蔵
享和 4(1804)年—明治 10(1877)年ほか
- ・山村日記「諸事書留帳」〔水口町〕

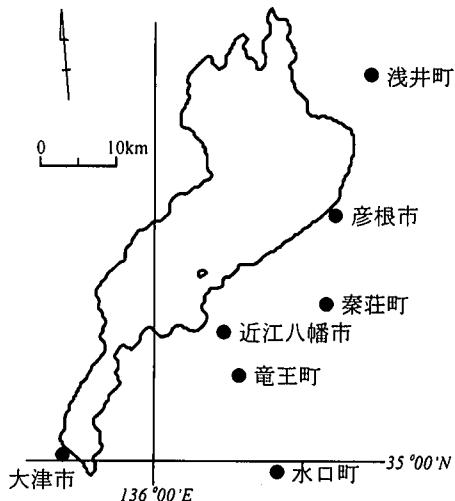


図-1 歴史天候記録位置図

水口町立図書館蔵

文政 9(1826)年—元治 2(1865)年

・藤涼済日記〔水口町〕

水口町立図書館蔵

天保 3(1832)年—天保 6(1835)年

・森五良兵衛日記〔近江八幡市〕

近江八幡市立資料館蔵

天保 14(1843)年—明治元(1868)年ほか

・膳所藩史料「藩政日記」「郡方日記」〔大津市〕

滋賀県立図書館蔵

天保 15(1844)年—明治 3(1870)年ほか

・大原家文書「日記」〔水口町近辺か〕

国文学研究資料館史料館蔵

弘化 5(1848)年

・西川伝右衛門文書「本家日誌」ほか〔近江八幡市〕

滋賀大学経済学部附属史料館蔵

明治 19(1886)年—明治 45(1912)年ほか

・玉尾家文書「日記」〔竜王町〕

国文学研究資料館史料館蔵

明治 21(1888)年—明治 25(1892)年

・村西文書「日記帳」〔秦荘町〕

滋賀大学経済学部附属史料館蔵

明治 33(1900)年—明治 44(1911)年

古日記天候記録を利用する際にまず注意しなければならないのは、記録自体の信頼性についてである。即ち、天候の記述は記録者個人の主観によるところが大きいため、その判断基準は日記によって異なり、また夜間の降水の見落とし等、記録者の不注意による誤りを含んでいる危険性もある。それ故、正確で

客観性の高い天候復元を行うためには、同一地点について出来るだけ多くの記録を集め、相互に比較検証していく必要がある。

表-1 は、万延元(1860)年洪水について現時点で得られている 4 つの天候記録を比較したものである。ここに見られる様に、天候の表現は日記によりそれぞれ異なり、中にはこの例での 4 月 19 日(旧暦)等の様に、記述内容が相異なる場合もある。各日記の天候記載地点は流域内でも相互に離れているため、実際に同一日の天候が地点毎に異なることは当然あり得るが、できるだけ多くの史料記録を利用して流域を代表する日々の天候を推定するという立場をとることにする。そのため、本研究では天候は流域内で一様なものと仮定し、記録間で記述内容が異なる場合には以下の基準によって処理した。

- ・降雨の強弱や時間変化など、より詳細な記述を含む方を優先する。
- ・記述の詳細さが同程度と判断されるときは、より悪天(あるいはより出現頻度が低いと考えられる天気)の方を優先する。

次に問題となるのは、上記の様な手順で得られた定性的な情報を降雨量等の客観的な数値に変換する手法である。古日記の天候記録から気温や降水量等の気候要素の復元を行う場合、日記から知り得る何らかの指標(例えば月間の降雨日数等)と目的とする気候要素との間に成り立つ、統計的な関係式を近年の観測データから求めておき、それを過去に当てはめるという方法がよく用いられる。しかし、こうした統計的な手法によって推定された気候要素は、変動が実際よりも平滑化される傾向があり、トレンド解析等を介して長期的な変動傾向を見る場合などには有効であるが、個々の推定値、とりわけ極値的なものに対する信頼性は低い。本研究では個々の洪水(特に大規模洪水)に対する洪水規模推定を目的としているため、この様な手法は不適切である。

表-1 にも見られる様に、古日記には降雨の有無ばかりでなく、その強弱等の性質についての情報が記されていることが多い。これらの情報を利用することにより、降雨量そのものを求めることは出来なくとも、相対的な雨量の大小を日単位で評価することはある程度可能であろう。吉村^⑨は、古日記に見られる降雨の記述を次の 3 段階に分類し、それらの間にどの様な雨量比が成り立つかを観測データと比較することによって検討した。

小雨 …… 小雨、白雨、折々雨、夕立、等

雨 …… 雨、雷雨、等

大雨 …… 大雨、強雨、車軸の如き雨、等

吉村は、「小雨」、「雨」、「大雨」の月毎の出現日数に重率をつけて積算した値(Precipitation Index, PI)と該当月の総降水量との相関を調べ、最適な重率の与え方を小雨:雨:大雨 = 1:2:5 と結論づけた。しかし、これは記録者の主観や誤りを含む個々の記録をある期間に亘って総合したときに意味を持つ結果であり、これをそのまま日雨量の比と見做すのは必ずしも妥当ではない。しかし、同一人物が同一時期に記した記録については概ね天候判断基準は一定していたと考えられ、同一の洪水内での比較を行う限りにおいては上記の結果は一応の目安となり得るであろう。本研究では、「小雨」1 回を単位として、「小雨」に 1、「雨」に 2、「大雨」に 5 の降水単位を洪水期間の各日に割り付けることにより、歴史洪水のハイエトグラフの概形を復元することとした。

なお、古日記に見られる降雨の記述には、降り始めや降り終わりの時刻等、詳細に降雨の時間変化を記したものもある。こうした情報の利用法についても現在検討しているところであるが、この種の情報は夜間の降雨については正確さを欠く場合が多く、均質な情報を連続して得るのは難しい。また、降雨の強さが 3 段階であるのに対して時間単位のみを細かくすることにどの程度意義があるのかも疑問である。それ故、本研究では原則としてこうした情報は考慮せず、一日のうちの最も強い降雨状態でその日を代表させることとした。但し、「時雨」「夕立」等、短時間の強くない降雨の場合には「小雨」、「終日雨降」等、長時間降り続いたことが強調されている場合には「大雨」に分類した。

3. 歴史洪水復元モデル

前章では、天候記録を用いてハイエトグラフの概形を推定する手法について述べた。だが、ここで復元されるのはあくまでも同一洪水内での相対的な関係であって、このままでは洪水間での規模の大小を論ずることはできない。何故なら、天候判断基準は記録者や時期によって異なるため、降水単位の大きさ、つまり「小雨」1 回に相当する降水量(本研究ではこれを単位降水量と呼ぶ)も洪水毎に異なると考えられるからである。本章では、前章の手順によつて得た降雨波形に琵琶湖水位の定量記録を組み合わせ、流入ー貯留ー流出の連続関係を基礎に洪水規模を再現するモデルを提案する。具体的には、迎水位、

表-1 天候記録の例(万延元(1860)年 4月 15 日～5月 17 日)

旧暦 (万延元)	新暦 (1860)	膳所藩史料 〔大津市〕	山村日記 〔水口町〕	森五良兵衛日記 〔近江八幡市〕	市田清兵衛文書 〔近江八幡市〕	降水 単位
4/15	6/4	雨	雨天折々晴	朝吉少々小雨 昼同 夜同	陰り追々晴ル	1
16	5	晴	天気	上天氣也終日 朝吉 昼同 小雨 降又明ル 夜同	晴夕小雨ふり又晴ル	1
17	6	雨	昼後雨=成	終日雨 朝雨 昼同 夜同	昼時分より雨ふり	2
18	7	雨	曇天 入梅=入	朝吉 昼同 夜	陰り夕刻快晴	0
19	8	曇	天気 四ツ時過雨 =成	朝吉 昼同 夜同	晴	1
20	9	雨	雨天	朝雨 昼同 夜同	雨ふり	2
21	10	曇	曇天折々雨降	朝くもり 昼雨 夜同	晴	1
22	11	晴	曇天	朝より昼迄吉 昼より曇	快晴	0
23	12	雨	雨天昼後快晴	朝雨 昼雨昼後より晴ル 夜同	雨ふり	2
24	13	雨	曇天夜=入雨	朝よし可成天キ	陰り	1
25	14	雨	雨天	朝雨=成 昼雨 夜同	雨ふり	2
26	15	晴	天気天晴	朝吉快晴 昼同 夜同	快晴	0
27	16	曇	曇天昼後雨	朝雨吉 昼同 夜雨中	昼後より雨天也	2
28	17	晴	天気	朝吉 昼同 夜同	晴	0
29	18	曇	曇天	朝吉 昼同 夜同	晴	0
5/1	19	雨	雨天	朝昼夜天キ 八ツ時より雨終日降	雨ふり	2
2	20	雨	雨天	朝雨 終日降候	雨ふり	5
3	21		天気	朝吉 昼同 夜同 … 今日快晴=相成候	快晴	0
4	22	曇	雨天夜=入大雨	朝雨終日降過し 夜同	晴雨不定	5
5	23	朝強雨	雨天折々晴	朝初よし 昼後雨 夜雨	昨夜大雨	2
6	24	雨	雨天昼後晴	朝雨大雨出水 夜雨 夜稻光 少々	晴雨不定折々雨ふり	5
7	25	快晴	天気	朝吉今日初而天氣=成夜不降	今朝雷鳴 快晴	0
8	26		雨天	朝吉快晴 昼後より雨=成	雨天折々雨降り	1
9	27	雨	雨天	朝暫天キ 昼前より雨 終日不晴	陰り折々雨ふり	1
10	28	雨	雨天		雨ふり	2
11	29	風雨	風雨	大風雨=而又々出水 朝雨四ツ時より大巽風 夕方押=成	雨ふり昼後辰巳風烈敷水式寸計引く…… 夕方サキ風=相成又々水増ス	5
12	30	晴	天気	朝快晴 昼同 夜同七ツ時少々 疊り候へ共不降	晴 昨夜より追々水增庭江入	0
13	7/1	曇 昼強雨 追々 湖水込上 今朝お 役所裏へ水七八 寸斗入	曇天昼後雨	朝吉 昼同 夜同	晴雨不定	5
14	2	雨	雨天	朝曇 昼前より小雨暫時 夜	雨ふり …… 水追々 増	1
15	3	雨 昨日より水増 事三寸 文化四卯 より高サ六寸	雨天	朝より夕方迄四度夕立来候大 雨(ママ)益 又々出水相増し候	折々雨ふり	2
16	4	曇	曇天冷氣	朝くもり不降 昼同 今日ハ終 日不降	折々雨ふり 水追々 増	0
17	5	曇	曇天	朝吉今日も終日不降 …… 昼 頃より疊り申し候	今朝晴又陰ル	0

ピーク水位及び天候記録から求めた毎日の降水単位を入力とし、単位降水量に適当な初期値を与え、迎水位を起点に順次水位変化を計算する。そしてピーク水位が与件と合致する様に収束計算を行って最適な単位降水量を求め、洪水期間の総降雨量を推定する(図-2)。以下、手順の詳細を述べる。

(1) 洪水継続期間の設定

通常の河川では、上流の降雨が水位上昇に影響する期間は数時間～数日程度であり、大河川でも通常は2日間程度の降雨量の確率評価を基に基本高水が算定される。これに対し洪水時の琵琶湖は、その流出能力に比べ流入量が圧倒的に大きく、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。よって、琵琶湖の治水を考える上では、20日間以上といった長期間の総降雨量が重要な水文量となる。本研究では、膳所藩による水位観測が月一回であり、水位データがほぼ30日間隔で得られるという事情を勘案して、洪水継続期間は30日間を基本とする。それ故、水位がピークに達する30日前を迎水位とし、迎水位からピーク水位に達するまでの30日間を洪水継続期間と設定して、この期間の流域平均総降雨量を推定することになる。ただ、必ずしもピークの30日前の水位が得られるとは限らないので、その場合にはピークから約20～40日前の水位が得られるならこれを迎水位とし、この迎水位からピーク水位までの期間を洪水継続期間とする。適当な迎水位が得られなければ、洪水継続期間を30日間とし、迎水位は常水位(普段の平均的な水位)で代用する。ここで歴史時代の常水位は次式¹⁾により求める。

$$\begin{cases} \bar{H} = -4.026 + (2.813 \times 10^{-3})Y & (1721 \leq Y \leq 1831) \\ \bar{H} = +2.392 - (0.812 \times 10^{-3})Y & (1834 \leq Y \leq 1889) \\ \bar{H} = +0.695 & (1890 \leq Y \leq 1901) \end{cases} \quad (1)$$

\bar{H} :常水位(m), Y :西暦年。

(2) 迎水位及びピーク水位

迎水位(H_0)、ピーク水位(H_p)及びそれらの生起日のデータには、池淵ら¹⁾または庄ら²⁾が古文書等の記録を基に推定した値を利用する。なお、歴史時代においては水位の生起時刻は通常不明であるが、以降の計算で時刻の設定が必要となるため、ここでは便宜的に迎水位、ピーク水位ともに生起時刻を12時としておく。

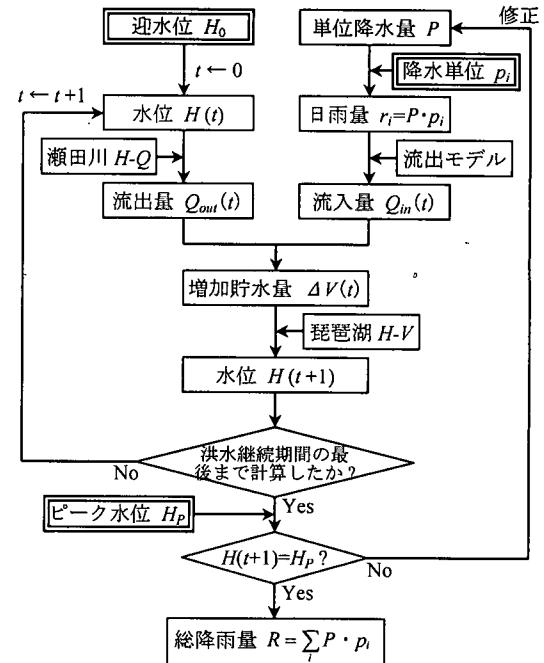


図-2 歴史洪水復元モデル

(3) ハイエトグラフの割り付け

前章で述べた基準に従い、天候記録を用いて T 日間の洪水継続期間の第 i 日に降水単位 p_i ($i=0, 1, 2, \dots, T$) を割り当てる。また単位降水量(P)に適当な初期値を与えておく。これにより、第 i 日の流域平均雨量 r_i は、 $r_i = P \cdot p_i$ で与えられる。記録が欠落している日については、顕著な降水現象は見られなかつたと仮定し、 $p_i = 0$ としておく。

(4) 水位変化の計算

以上の手順により得られたハイエトグラフ及び迎水位のデータから、迎水位 H_0 を起点として洪水継続期間における水位変化を計算する。時刻 $t+1$ における水位 $H(t+1)$ は、

$$V(H(t+1)) = V(H(t)) + \sum Q_{in}(t) - \sum Q_{out}(t)$$

なる連続式を $H(t+1)$ について解くことにより求められる。ここに、 $\sum Q_{in}(t)$, $\sum Q_{out}(t)$ はそれぞれ時刻 t から $t+1$ までの間の流入量及び流出量、 V は貯水量である。これを解くためには、流域の流出モデルと瀬田川 $H-Q$, 琵琶湖 $H-V$ を設定しておく必要がある。

a) 流出モデル

琵琶湖への流入量の計算には、琵琶湖総合水管理研究委員会⁷⁾が琵琶湖流域の長期流出モデル及び洪

水時流出モデルとしてタンク定数を同定した4段タンクモデルを用いる。歴史時代と現代とでは流域の植生や土地利用は変化しているが、本研究ではそれらの流出特性への影響は小さいと仮定し、近年の観測データにより同定されたタンク定数が歴史時代にもそのまま適用可能とする。図-3及び表-2にモデルの構成及びタンク定数を示す。

長期流出モデルでは、流域を分割し4通りのタンク定数を設定しているが、本研究では流域内の降雨分布を考慮していないため、全流域に一様に降雨があったものとして計算する。第*i*日12時から翌日12時迄の降雨量を $(r_i+r_{i+1})/2(\text{mm})$ で与えてこれを各最上段タンクへの入力とし、12時を区切りとして日単位で計算する。タンクモデルの流出孔(A1~A3, B1, C1, D)からの出力の総計 $y_i(\text{mm})$ には2日迄の時間遅れを考慮し、次式⁷⁾により第*i*日12時から翌日12時迄の流出高 $q_i(\text{mm})$ を求める。

$$q_i = \frac{1}{4}y_i + \frac{1}{2}y_{i-1} + \frac{1}{4}y_{i-2}.$$

なお、蒸発散量は歴史時代についてモデル化するのは困難なので、ここでは近年の観測データを参考に夏季の流域平均蒸発散量を3mm/dayと見積もり、これを晴天の記録のある日のみ各最上段タンク(空の場合にはその下のタンク)から差し引くこととした。

琵琶湖への流入は各流域からの流出と湖面への直接降雨の和であるから、 $\sum Q_{in}(t)$ は次式により算定される。

$$\sum Q_{in}(t) = \left\{ \sum_k A_k q_{ki} + 680 \cdot (r_i + r_{i+1}) / 2 \right\} \times 10^3 \quad (\text{m}^3/\text{day}).$$

ここに、 $A_k(\text{km}^2)$ は流域 *k* の面積、 $q_{ki}(\text{mm})$ は第*i*日12時から翌日12時迄の流域 *k* からの流出高、680(km^2)は琵琶湖面積である。

洪水時流出モデルは、全流域とも同一のタンク定数を使用し、計算時間単位は1時間である。歴史時代については時間単位の降雨波形を把握するのは不可能であるため、ここでは日雨量を単純に24等分することで時間単位の雨量に置き換えることとした。なお、洪水時モデルでは蒸発散及び時間遅れは考慮しない。

洪水時モデルが1~数日程度の洪水期間を前提としているのに対し、本研究では洪水期とはいえ約30日間という長期に亘る流出計算を行う必要がある。それ故、本モデルでは基本的に長期モデルを流出計算に用い、洪水ピーク前後の期間のみ洪水時モデル

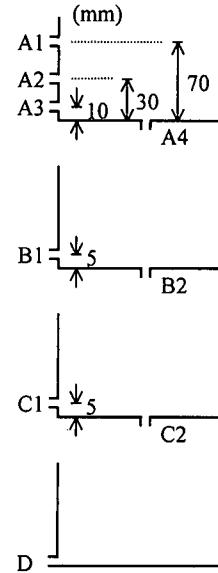


図-3 流出計算に用いるタンクモデル

表-2 タンク定数一覧

		長期流出モデル (1/day)				洪水時モデル (1/hr)
流域		野洲川	姉川	安曇川	その他	全流域
面積 (km^2)		387	367	315	2101*	3170*
第1段	A1	0.1751	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
	A2	0.1998	0.1700	0.1700	0.1667	0.1667
	A3	0.0999	0.0800	0.0800	0.0833	0.0833
	A4	0.1786	0.2000	0.2000	0.2313	0.2300
第2段	B1	0.0600	0.0400	0.0400	0.0600	0.0500
	B2	0.1041	0.0700	0.0800	0.1347	0.1500
第3段	C1	0.0021	0.0300	0.0400	0.0111	0.0600
	C2	0.0034	0.0400	0.0600	0.0312	0.0600
第4段	D	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010

*文献6)の値から戦後の干拓分として10km²を減じた。

を使用するものとする。具体的には、長期モデルに並行して洪水時モデルも稼働させておき、長期モデルによる流入流量の計算値(日平均値)が600m³/sを上回った場合のみ、その日の流入量を洪水時モデルによる計算値に置き換えるものとする。各タンクの初期水位は、第1, 第2タンクについては0、第3, 第4タンクについては100mmとし、可能な限り洪水継続期間開始の10日程度前からモデルを稼働させておく。

b) 瀬田川 H - Q

琵琶湖からの流出口が唯一瀬田川に限られ、洗堰による流量調節も行われていなかった歴史時代においては、流出量は湖水位によって一意的に定まると考えることができる。歴史時代の水位と瀬田川流出流量との間に成り立つ関係式(瀬田川 H - Q)には、池淵ら¹⁾が提案した次式を用いる。

$$Q(H) = 52.73(H - \bar{H} + 1.77)^2$$

Q :瀬田川流出流量(m^3/s)、 H :鳥居川水位(m).

ここで \bar{H} の算定には式(1)を用いる。なお、洪水期においては湖面からの蒸発量は瀬田川流出量に比して非常に小さく、本モデルではこれを無視し得るものとした。

c) 琵琶湖 H - V

水位 H と琵琶湖の貯水量 V との関係式(琵琶湖 H - V)としては、建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所³⁾が戦後の干拓による変化前のものとして次式を算定している。

$$V(H) = (23.5528H^2 + 718.4235H) \times 10^6 \quad (\text{m}^3).$$

江戸時代以前においても、新田開発やデルタの成長等による湖盆形状の変動が知られているが、その変動量は総貯水量に比べて非常に小さいと考えられ、またそれを定量的に評価することも困難であるため、本研究では上式を歴史時代の H - V として代用する。

(5) 単位降水量の修正

(4)で設定した関係式を利用して、迎水位 H_0 を起点に日ステップで水位変化を計算し、洪水継続期間の最終日における水位を求める。計算された最終水位がピーク水位 H_p に一致しない場合、(3)で仮定した単位降水量が適切でなかったと考えられる。その場合には単位降水量の値を適当に修正して再度水位計算を行い、最終水位が H_p に一致するまでこれを繰り返す。

(6) 流域平均総降雨量の算定

ピーク水位の条件に適合する単位降水量 P が得られれば、次式により第 0 日 12 時から第 T 日 12 時迄の流域平均 T 日間降雨量 R_T が算定される。

$$R_T = P \cdot \left(\frac{P_0}{2} + \sum_{i=1}^{T-1} P_i + \frac{P_T}{2} \right).$$

本モデルを江戸時代後半期の主要 8 洪水に適用してみた。復元された毎日の降雨量、水位及び流入・流出流量を、天気概況とともに 図-4 に示す。ここ

に、天気記号が 2 段になっているものは、1 日のうちに複数の天気が順に、あるいは交互に出現したことと示している。

図中にも示したように、推定された単位降水量は概ね 10~15mm 程度であるが、洪水によってかなりのばらつきがある。天候(降雨の強弱)の判断基準は記録者や時代によって大きく異なり、定量的な水位の情報を用いることで初めて洪水間での規模の比較が可能になったことがわかる。

4. 近年データによるモデルの検証

本章では、前章で提示した歴史洪水復元モデルを降水量データの整備されている近年時代の洪水に適用し、モデルの有効性について検証する。

(1) 近年洪水への適用

歴史洪水復元モデルを、1912~1980 年の 69 年間の各年最大出水のうち、融雪の影響があると思われる 2 洪水を除外した 67 洪水に適用した。ここで、洪水継続期間には流域平均 30 日降水量が年最大となる期間をとり、降水単位の割り付けは大津の日降水量データより以下の基準に従って行った。

日降水量 0.5mm 未満	…… 0 (無降雨)
0.5mm 以上 10mm 未満	…… 1 (小雨)
10mm 以上 30mm 未満	…… 2 (雨)
30mm 以上	…… 5 (大雨)

また、歴史時代と近年時代とでは瀬田川の流出条件が大きく異なるため、水位データには観測値をそのまま用いるのではなく、観測された水位及び流出量から逆算した流入量のデータをもとに洗堰設置前の瀬田川疎通能力の条件に換算した値⁴⁾を用いた。

流域平均 30 日雨量のモデルによる推定値と観測値(流域内 45 カ所のティーセン平均雨量)との関係を、散布図として 図-5 に示す。推定値と観測値との相関係数は 0.948、推定値の平方根平均 2 乗誤差(RMSE)は 36.0mm であった。なお、30 日雨量 500mm 以上の 13 洪水に限定した場合には推定値の RMSE は 25.8mm となり、本モデルはとりわけ大規模洪水に対する再現性が良好である。

(2) 入力データに対する推定値の感度

本研究で提案した歴史洪水復元モデルは、迎水位、ピーク水位及び毎日の降水単位を入力としてある期間に亘る総降雨量を推定するものである。しかし、

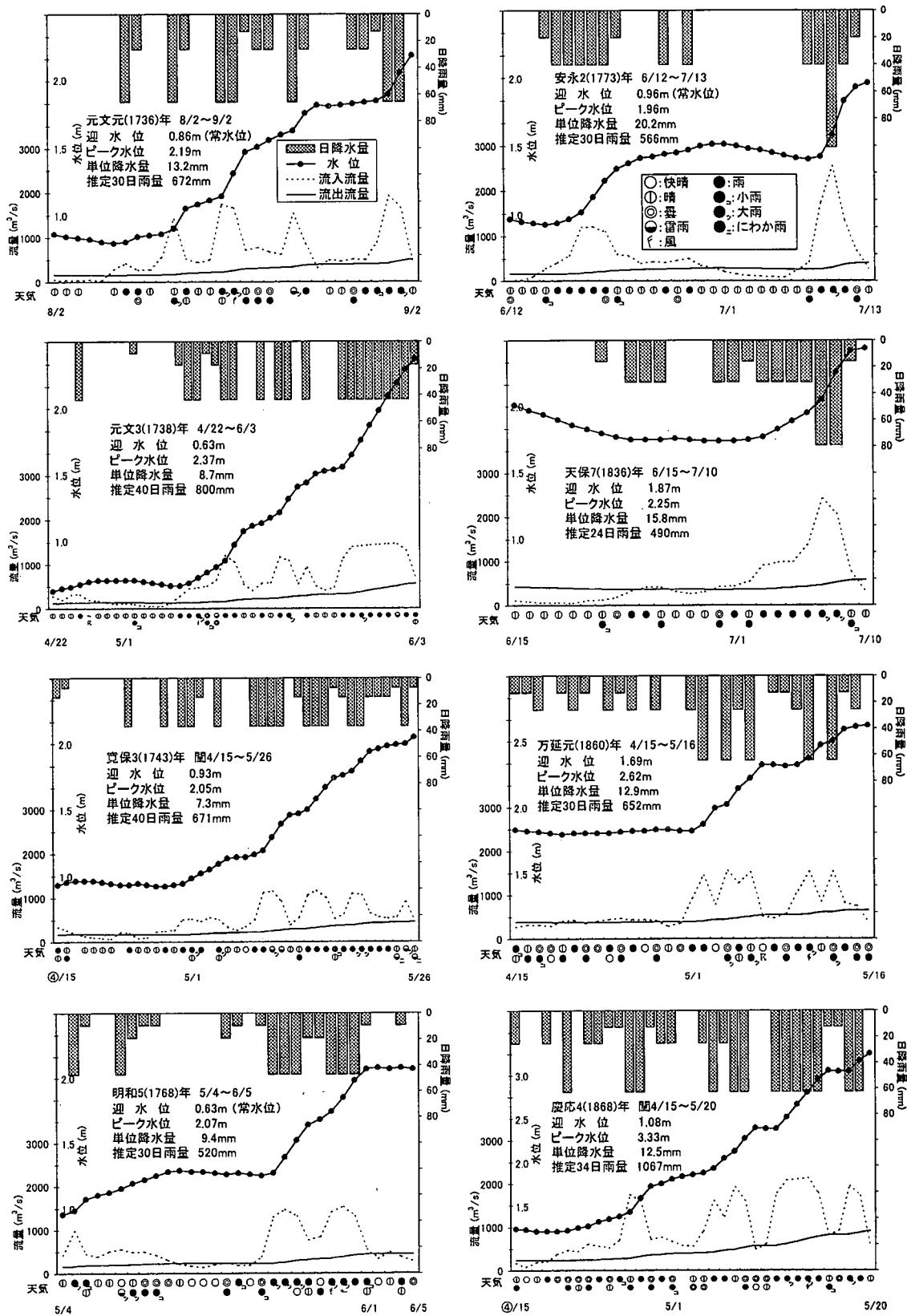


図-4 歴史洪水の復元例

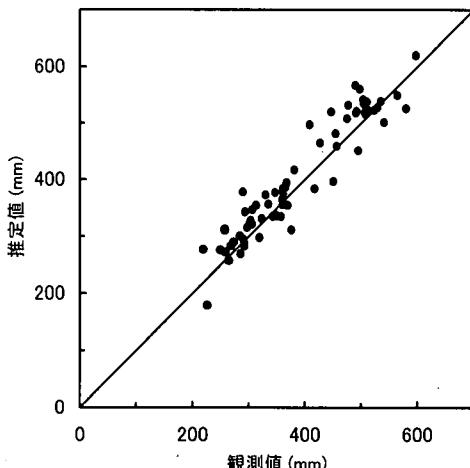


図-5 流域平均 30 日雨量のモデル計算による推定値と観測値との比較

その基礎となる歴史時代の水位や天候のデータは古文書等の資料から復元されたものであるため、近年の観測データとは異なり入力データ自体が大きな誤差を含む場合も少なくない。ここでは、入力データの誤差がモデルの推定精度に及ぼす影響を評価するため、迎水位、ピーク水位(最終水位)、及び降水単位の各要素を様々に変化させて近年洪水にモデルを適用し、得られた推定 30 日雨量を比較した。対象洪水やその他の条件は(1)と同様である。

まず迎水位、ピーク水位のデータをそれぞれ、-30cm, -10cm, +10cm, +30cm だけ変化させ、得られた推定値をもとの推定値と比較した。その結果を図-6 a), b) に示す。次に降水単位については、以下の 4 通りのケースを想定し、それぞれについて降雨量推定を行った。

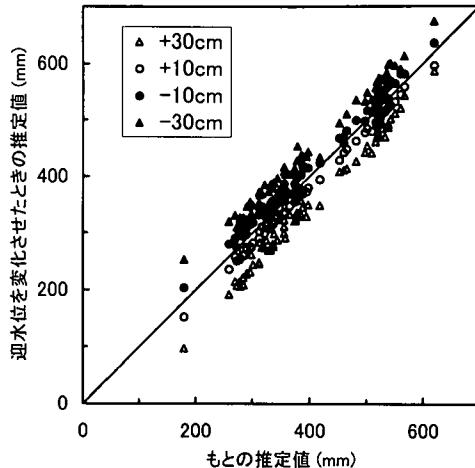
ハイエト既知 …… ハイエトグラフの形状が既知としたケース。日降水量に比例した降水単位を割り付ける。

もとのモデル …… (1)で用いたモデル。降雨を 3 段階とし、1 : 2 : 5 の降水単位を割り付ける。

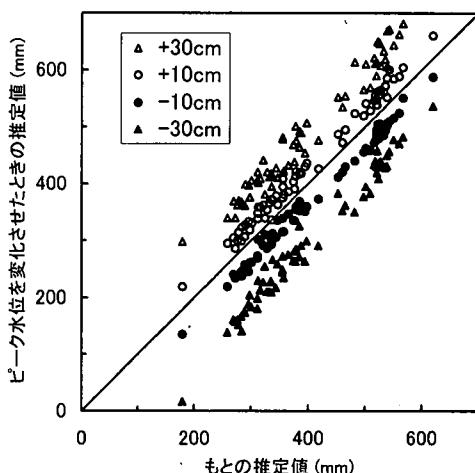
降雨の有無のみ既知 …… 降雨の有無は既知であるが、その強さ等の情報は得られないとしたケース。日降水量 0.5mm 以上の日に 1, 0.5mm 未満の日に 0 を割り付ける。

ハイエト未知 …… 降雨の有無も不明であるとしたケース。毎日に一律 1 を割り付ける。

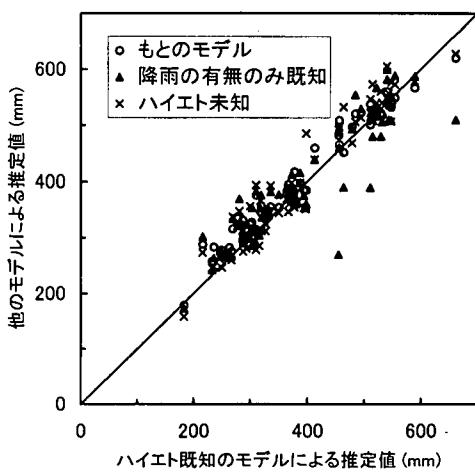
ハイエト既知のケースの推定値と他の各ケースの推定値とを比較したものを 図-6 c) に示す。



a) 迎水位を変化させた場合



b) ピーク水位を変化させた場合



c) 降水単位の設定を変化させた場合

図-6 入力データの変化に対する推定 30 日雨量の変化

以上を整理し、上記各ケースについて、推定値のものとの推定値(但し、c)ではハイエト既知のケースでの推定値)からの変化量をとり、近年67洪水に対する平均値と平方根2乗平均値を計算した。その結果を表-3に示す。a), b)より、降雨量の推定値は迎水位に対して負、ピーク水位に対して正の応答関係を有していることがわかる。またc)より、降雨波形に関する情報が完全に与えられるハイエト既知のケースから、情報量が少なく降雨の集中度を考慮しないケースになると、推定値が大きくなる傾向のあることが読みとれる。但し、特に降雨の有無のみ既知のケースにおいて推定値が非常に小さくなる場合があるが、これには本研究で流域の流出モデルとして性質の大きく異なる2つのモデルを併用したことが関係していると推測される。即ち、本モデルでは一律に流出流量 $600\text{m}^3/\text{s}$ 以上で洪水時モデルに切り替えるよう設定したため、降雨パターンを変化させることで洪水時モデルの適用される期間が大きく変化する場合があり、その場合には同一の水位の入力に対しても雨量推定値は大きく変動し得ると考えられるからである。こうした降雨波形の入力に対する不安定性の改善は今後の検討課題である。

入力データの3要素を比較すると、ピーク水位が推定値の変動に及ぼす影響が最も大きく、正確なピーク水位の復元が信頼性の高い降雨量推定を行う上で重要であるといえる。他方、迎水位は推定値への影響が比較的小さく、特に大規模洪水に対しては、迎水位を常水位で代用したときの誤差はさほど大きくないものと考えられる。

5. おわりに

歴史時代における洪水やその他災害に関する文献記録は各地に存在するが、それらの多くは定性的、主観的な観察に基づいており、水文頻度解析等への利用には困難が多い。こうした中で、本研究の様に歴史時代の水文量が定量的に、物理的に根拠のある形で再現されるケースは極めて貴重であるといえよう。しかし、こうして再現されたデータも近年観測データとは異なり、大きな誤差を含む危険性は免れ得ない。データの信頼性を高める努力と同時に、誤差を含んだデータを標本として用いたとき、得られた確率水文量等の信頼性に及ぼす影響についても評価しておく必要がある^{8), 9)}。

本研究で提示した歴史洪水復元モデルの場合、推定された降雨量の誤差は、入力データ自体の誤差とモデル計算の過程で生ずる誤差とに要因を分けるこ

表-3 流域平均30日雨量推定値の変化量の平均値と平方根2乗平均

a) 迎水位	-30cm	-10cm	+10cm	+30cm
	44.7	16.2	-16.8	-50.2
	46.6	18.0	17.8	51.9
b) ピーク水位	-30cm	-10cm	+10cm	+30cm
	-103.3	-33.9	31.3	92.0
	105.1	35.3	33.1	94.4
c) 降水単位	もとのモデル	降雨の有無のみ	ハイエト未知	
	13.0	6.6	12.7	
	26.4	47.6	33.2	

上段：変化量の平均値 (mm)

下段：平方根2乗平均 (mm)

とができる。前者については、とりわけピーク水位データの信頼性がモデルの推定精度にとって重要であることが前章で示されており、こうした観点からも今後さらに水位記録の収集整理に取り組んでいく必要がある。後者については、降水単位の割り付けや流域の流出モデル、琵琶湖H-V、瀬田川H-Q等の設定で用いた仮定や近似がその原因として考えられる。特に流出モデルについては、蒸発散を天候や季節をパラメータとしてモデル化したり、長期モデルと洪水時モデルを適切に使い分けることさらに再現性が向上する可能性がある。

また、入力となる水位記録及び天候記録が与えられれば、本モデルと同様の手法は洪水期以外にも適用可能である。今後は低水期等の流出モデルについても検討し、湖面蒸発の過程を取り込む等の改良を加え、本モデルを渇水期や平水期にも適用可能なものに拡張していきたい。歴史天候記録についてもさらに整理収集を進め、降雨波形復元をより正確かつ詳細なものにするとともに、樹木年輪や湖成堆積物等の資料とも併せ、長期的な気候変動復元にも応用していきたい。

謝辞：本研究を進めるにあたっては、京都大学防災研究所 池淵周一教授、(社)近畿建設協会 宮井宏理事長、皇學館大学社会福祉学部 水越允治教授から貴重な示唆をいただいた。また、奈良国立文化財研究所 吉川聰氏には古日記の判読に際し、名古屋工業大学工学部学生(当時)佐藤豊、田中邦彦両氏には流出モデルの検討と天候・雨量データの整理に際して、多大の協力をいただいた。さらに、建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所には各種水文データの提供をいただき、近江八幡市立資料館、国文学研究資料館史料館、滋賀県立図書館、滋賀大学経済学

部附属史料館、彦根市立図書館、水口町立図書館及び水口町立歴史民俗資料館には史料閲覧に際して種々の便宜を図っていただいた。これら全ての御厚意に対し、末筆ながら記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 池淵周一, 庄建治朗, 宮井宏 : 琵琶湖の歴史洪水の復元とその定性的検証, 水文・水資源学会誌, 8(1), pp.67-78, 1995.
- 2) 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, 44, pp.371-376, 2000.
- 3) 近畿地方建設局琵琶湖工事事務所, 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調査報告書, 1986.
- 4) 近畿地方建設局琵琶湖工事事務所, 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,
- 1987.
- 5) 池淵周一, 前田勝 : 歴史洪水資料を利用した計画降雨算定手法, 京都大学防災研究所年報, 34B-2, pp.103-125, 1991.
- 6) 吉村稔 : 古気候の復元と歴史天候データベース, 地学雑誌, 102(2), pp.131-143, 1993.
- 7) 琵琶湖の総合的水管理に関する調査・研究報告書 調査・研究編, 琵琶湖総合水管理研究委員会, pp.136-154, 1989.
- 8) 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, 43, pp.133-138, 1999.
- 9) Sho, K., Iwasaki, S., Nagao, M. and Tominaga, A. : Effect of introducing uncertain historical hydrologic data on quantile estimation accuracy, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, 18(1), pp.45-52, 2000.

(1999. 6. 23 受付)

RECONSTRUCTION OF HISTORICAL FLOOD DATA FOR LAKE BIWA BASIN USING DAILY WEATHER RECORDS OF OLD DIARIES

Kenjiro SHO, Masashi NAGAO and Akihiro TOMINAGA

In Lake Biwa area, there are some quantitative hydrological data in historical years, such as monthly water level data recorded by Feudal Zeze Clan in Edo Era. This paper proposes the estimation procedure of areal duration precipitation at historical flood of Lake Biwa, using the water level records at the beginning and the end of the flood, and the hyetograph reconstructed from weather records of old diaries. Furthermore, this procedure is applied to the recent floods and the reliability of reconstructed flood is evaluated. As results, this procedure is effective especially for large floods, and the precision of the water level data at peak is important for reliability of the estimated value.