

## 超過洪水による上流側の氾濫を考慮した洪水頻度解析

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○田中智大  
 京都大学大学院工学研究科 正員 立川康人  
 京都大学大学院工学研究科 正員 市川温  
 京都大学大学院工学研究科 正員 萬 和明

**1 はじめに** 基本高水流量は、水工構造物の設計基準を決める上で必要不可欠である。一方で、設計外力を超える超過洪水や気候変化による豪雨頻度の増加に対する適応策を考える上では、これまでの治水計画が対象としてきた再現期間よりも大きな規模の洪水頻度を正確に把握することが重要となる。このような大洪水の際は、ダムによる貯水や上流側の氾濫が下流側の洪水頻度に影響を与えると考えられるが、そのような洪水が過去に発生する可能性は非常に小さく、過去の洪水データに基づく頻度解析には表現されないと考えられる。

一方で、降雨量の確率分布から降雨流出計算をとおして洪水ピーク流量の確率分布を推定する場合は、降雨流出計算の過程で上流側の氾濫の影響を考慮することが出来る。そこで本研究では、田中ら<sup>1)</sup>が提案した改良総合確率法を淀川流域の枚方地点(7,280km<sup>2</sup>)に適用し、枚方地点上流の氾濫常襲地帯である亀岡盆地や上野遊水地は、過去に何度か氾濫しているため、本研究では三川合流域である京都市域の氾濫を考慮した場合の枚方地点の大洪水の頻度に着目し、改良総合確率法と流量データの頻度解析による推定結果を比較することを目的とする。

**2 総降雨量と降雨継続時間の関連を考慮した総合確率法の導出** 改良総合確率法では、以下の仮定に基づいて年最大洪水ピーク流量の確率分布を推定する<sup>1)</sup>。

**仮定 1)** 洪水(たとえばある地点の洪水ピーク流量がある値を超える事象)を生じさせるような降雨の発生は、単位時間あたりの発生確率が $\mu_a$ のポアソン過程に従う。

**仮定 2)** 降雨パターンは多様であるが、降雨事象が発生したとき降雨パターンは $N$ 個のみをとるとし、 $i$ 番目の降雨パターン $\xi_i$ が生起する確率を $p_i$ とする。また、このときの降雨継続時間を $d_i$ とおく。

**仮定 3)** 降雨が発生したとき、流域平均総降雨量 $r_a$ は降雨継続時間 $d_i$ の条件付き確率分布関数 $G_{R_a|D}(r_a|d_i)$ に従うとする。

**仮定 4)** すべての降雨パターンにおいて、総降雨量のみを増加させた場合、洪水ピーク流量は単調に増加する。

**仮定 2), 3), 4)** から、一雨による洪水ピーク流量の確率分布 $G_{Q_p}(q_p)$ は以下の式で得られる。

$$G_{Q_p}(q_p) = \sum_{i=1}^N p_i G_{R_a|D}(r_{a,i}(q_p)|d_i) \quad (1)$$

ここで、 $r_{a,i}(q_p)$ は、降雨パターンを $\xi_i$ に固定して流域平均総降雨量を引き延ばしたとき、洪水ピーク流量 $q_p$ に相当する降雨量を表す。**仮定 4)**から、このような降雨量は降雨パターン $\xi_i$ に対して一意に決まる。また、**仮定 1)**から年最大洪水ピーク流量の確率分布 $F_{Q_{pmax}}(q_{pmax})$ は $G_{Q_p}(q_p)$ を用いて以下の式で得られる。

$$\begin{aligned} F_{Q_{pmax}}(q_{pmax}) &= \exp[-\mu_a \Delta t (1 - G_{Q_p}(q_p))] \\ &= \exp\left[-\mu_a \Delta t \sum_{i=1}^N p_i (1 - G_{R|D}(r_{a,i}(q_p)|d_i))\right] \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta t$ は1年を表す。田中ら<sup>1)</sup>では、(2)式を計算するために流域平均総降雨量の降雨継続時間に対する条件付き分布を離散的に表現していたが、本研究では、田中ら<sup>2)</sup>を参考に、コンピュータ関数を用いて流域平均総降雨量と降雨継続時間の同時分布 $G_{RD}(r,d)$ を推定して $G_{R|D}(r|d)$ を得る。

**3 枚方地点の洪水ピーク流量の確率分布の推定** 2)で示した改良総合確率法と洪水頻度解析を枚方地点の適用する。改良総合確率法で(2)式を用いて年最大洪水ピーク流量の確率分布を得るためには、降雨パターンごとの降雨量とピーク流量の関係(R-Q関係) $r_{a,i}(q_p)|d_i$ 、および降雨量の条件付き分布 $G_{R|D}(r|d)$ を

キーワード 超過洪水, 頻度解析, 総合確率法, 氾濫

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂CクラスターC1棟

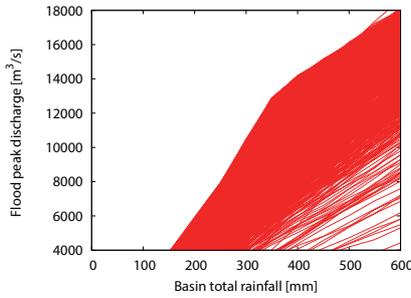


図1 京都市域の氾濫を考慮した場合のR-Q関係。

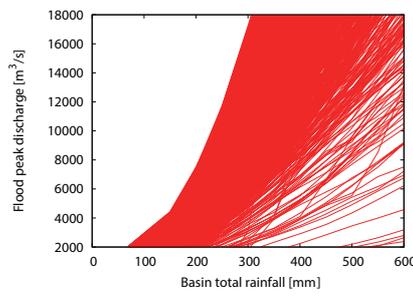


図2 京都市域の氾濫を考慮しない場合のR-Q関係。

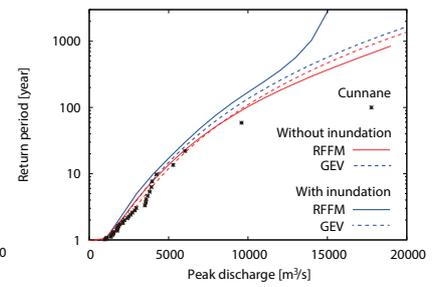


図3 改良総合確率法および洪水の頻度解析による枚方地点の洪水ピーク流量と再現期間の関係。

得る必要がある。枚方地点の流出計算は、宮脇ら<sup>3)</sup>が構築した降雨流出モデルを用いた。また、京都市域の氾濫を考慮する場合は、ネスティング型の降雨流出・氾濫一体型モデル<sup>4)</sup>を京都市域に適用して枚方地点の流量を計算した。氾濫を考慮する場合、しない場合の1,548パターンでのR-Q関係をそれぞれ図1、図2に示す。両図から、13,000 m<sup>3</sup>/sより大きいピーク流量に対して、氾濫を考慮する場合(図1)はしない場合(図2)に比べて同じ降雨量に対応するピーク流量が劇的に小さいことがわかる。これは、京都市域の氾濫によって枚方地点の洪水ピーク流量が小さくなったためである。次に、降雨量・継続時間の同時分布 $G_{RD}(r, d)$ を推定した。周辺分布に一般化パレート分布、コピュラ関数には正規コピュラを当てはめた。一方で、流量データの頻度解析による確率分布も推定した。改良総合確率法に用いる降雨流出・氾濫計算の不確実性を排除するため、降雨流出モデル(京都市域の氾濫を考慮する場合はネスティング型氾濫モデル)による過去の洪水事象の再現流量から年最大値資料と非毎年資料をそれぞれGEV分布およびGP分布に当てはめた。

改良総合確率法および流量データの頻度解析によって得られた洪水ピーク流量と再現期間の関係を図3に示す。年最大資料と非毎年資料は同様の結果を示したため、図3では年最大資料の結果を示す。図中の点は、カナン公式による年最大資料の再現期間を表す。図3から、過去の流量データが存在する範囲(10,000 m<sup>3</sup>/s以下)では、氾濫を考慮した場合もしない場合も同様の結果となり、改良総合確率法および流量データの頻度解析がよく一致していることがわかる。この結果から、改良総合確率法が洪水ピーク流量の確率分布を合理的に推定することがわかった。一方で、京都市域の

氾濫を考慮した場合、流量13,000 m<sup>3</sup>/s以上の範囲で改良総合確率法による再現期間が非常に大きいことがわかる。これは、大洪水の際に京都市域の氾濫によって枚方地点の洪水ピーク流量が小さくなることを表している。しかしながら、頻度解析は過去の流量データから大洪水の頻度を外挿するため、大きな流量の再現期間が上流の氾濫によって大きくなる傾向を表現しないことがわかった。

**4 結論** 本研究では、改良総合確率法と流量データによる頻度解析を枚方地点に適用し、年最大洪水ピーク流量の確率分布を推定した。両者を比較した結果、改良総合確率法は上流の氾濫によって大洪水の再現期間が大きくなる傾向を表現することができた。計画規模を超えるような超過洪水の頻度を議論する場合は、雨量の確率分布から降雨流出過程をとおして流量の確率分布を推定する方法が有効であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 田中智大, 立川康人, 椎葉充晴, 萬和明: 降雨継続時間に応じた総降雨量の条件付き確率分布関数による総合確率法の改良, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 71, No. 2, 63-71, 2015.
- 2) 田中智大, 立川康人, 市川温, 萬和明: 降雨継続時間に対する総降雨量の条件付き確率分布を用いた水害リスクカーブの作成, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I.1219-I.1224, 2016.
- 3) 宮脇航平, 立川康人, 田中智大, 石井大貴, 市川温, 萬和明: 最大クラス台風を想定した淀川流域における洪水流出シミュレーション, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 72, No. 4, I.31-I.36, 2016.
- 4) 田中智大, 立川康人, 萬和明: 分布型流出モデルをネスティングする流出・氾濫一体型モデルの構築, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 70, No. 4, I.1495-I.1500, 2014.