第Ⅱ部門　　基準地点に基づく上流地点の計画高水流量推定手法の確率的特性

京都大学大学院工学研究科　学生員　○内村　在誠
京都大学防災研究所　正会員　田中　智大
京都大学防災研究所　正会員　佐山　敬洋

１．はじめに

洪水防御計画では，洪水調節施設を考慮したピーク流量として計画高水流量が定められる．現行の計画では，下流に設定した基準地点の集水域における既往降雨を計画規模まで引き伸ばした対象降雨群に基づく流出計算結果が，水系内の各主要地点における計画高水流量の決定に用いられている[1)]．しかし，基準地点にとって極端な計画降雨を上流地点の治水計画にそのまま適用した場合，上流地点でどの程度の計画規模を想定したことに相当するかを定量的に明らかにした研究は存在しない．そこで本研究では，2 変量一般化パレート分布から導かれる条件付き分布を用いたモデルで現行手法の手続きを単純化して再現し，これを用いて同手法に内在する確率的特性を明らかにした．実際の高水流量の決定においては，流出計算結果以外にも多角的な視点からの検討がなされているが，本研究ではその決定に重要な役割を果たしている降雨流出計算結果にのみ着目する．

２．現行手法手続きのモデル化の概要

本研究では，基準地点で洪水レベルの流量を観測した際の上流地点の流量分布を 2 変量一般化パレート分布$H(x,y)$から導かれる条件付き分布

$$P(Y \le y|X = x_t) = \frac{\left.\frac{\partial H(x,y)}{\partial x}\right|_{x=x_t}}{\left.\frac{\partial H(x,\infty)}{\partial x}\right|_{x=x_t}} \qquad (1)$$

によって表現する．2 変量一般化パレート分布$H(x,y)$は極値理論の閾値超過データに対して，閾値を十分大きくした際にデータが従うとされる分布であり，極値どうしのふるまいを表現できるモデルとして採用した．x,yはそれぞれ基準地点の流量，上流地点の流量を表しており，式(1)は基準地点の流量xがある洪水レベルx_tとなった条件のもとで，上流地点の流量yの条件付き分布を表している．

現行の治水計画では，下流の基準地点で計画規模となる複数の降雨波形を入力とし，各地点の流出計算結果の最大値を採用して上流の安全度を決定する．本研究では式(1)の条件付き分布を用いてこの現行手法の統計的評価を行う．評価にあたり，対象とする累積確率pを次のように設定した．

基準地点（下流）で計画規模レベルの流量（$x = x_t$）が発生する 5 つの出水イベントから上流流量の最大値をとる，という操作を想定する．この操作は，下流で洪水が生じたという条件のもと，5 つの上流ピーク流量yを無作為に抽出し，その最大値をとる確率プロセスとしてモデル化できるため，式(1)の条件付き分布が利用できる．抽出された 5 イベントの上流ピーク流量の最大値が 95%の確率で上回る（少なくとも 1 回は超える）閾値となる条件付き分布の累積確率pは，$1 - p^5 = 0.95$ と定式化され，これを解くことで $p = 0.55$ が導出される．すなわち，式(1)の条件付き分布が示す条件付き累積確率$p = 0.55$に対応する流量yは，下流で洪水が生じる 5 つの出水イベントから上流流量の最大値をとる操作によって推定された計画高水流量が 95%の確率で上回る値である．本研究では，条件付き累積確率pに対応する流量yについて，地点ごとの周辺分布（一般化パレート分布）から得られる再現期間を「最低限期待される計画高水流量規模」と定義し，評価の指標とする．

３．流量データセットの構築

2 変量一般化パレート分布にあてはめる流量データセットについて述べる．

まず，d4PDF5km 過去実験データから淀川流域の雨量データを抽出した．抽出の基準は，枚方上流で 24 時間流域平均雨量が 30mm 以上，または上流三川の主要地点（羽束師，宇治，加茂）のいずれかから上流で 24 時間雨量が 50mm 以上とした．抽出の対象となった 24 時間と前後 3 日間の計 7 日間の降雨イベントを入力に，分布型降雨流出モデル 1K-DHM[2)]で流出計算を行った．これ

Saisei UCHIMURA, Tomohiro TANAKA and Takahiro SAYAMA
uchimura.saisei.56s@st.kyoto-u.ac.jp

により，720 年のデータから 9124 イベントにおける淀川流域内の各地点のピーク流量を得た. 図-1 に流量抽出地点を示す.

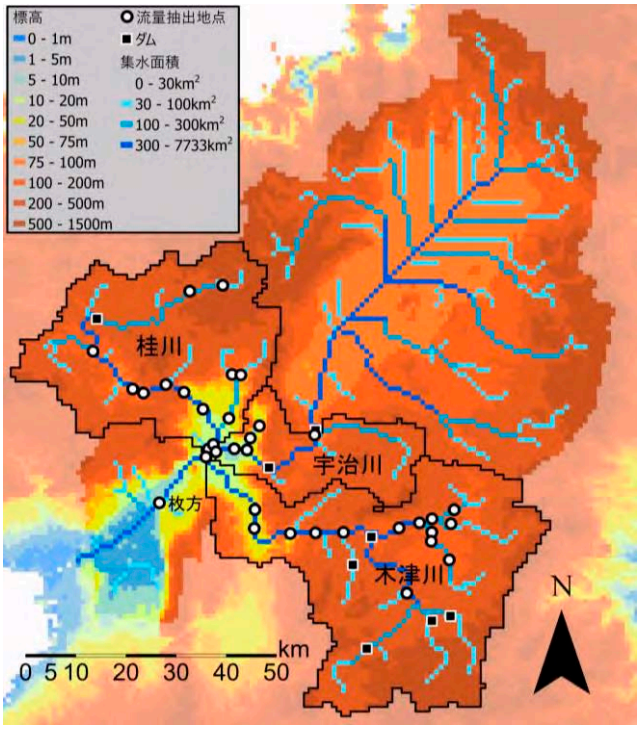


図-1 淀川水系概略図．降雨流出モデルで考慮している流量抽出地点を白丸，ダム地点を黒点で表す.

４．計画高水流量の不確実性の分析結果

2 章の手法を 3 章の流量データセットに適用した．三川合流部より下流である枚方を基準地点（計画規模 200 年）として上流の洪水レベルを決定した際の最低限期待される計画高水流量規模を図-2 に示す.

図-2 からは，基準地点を枚方のみとした場合，上流三川で保証される高水流量の再現期間が大きく異なることが読み取れる．特に，木津川では下流の流量規模である 200 年に近い 150 年程度の再現期間が期待されることが分かった．一方で桂川では期待される再現期間が 50 年ほどと他の支川に比べて低いことが分かった. 図-2 の再現期間は枚方と各上流地点の流量間の極値従属性によって決まっており，極値従属性が高いほど期待される再現期間も高くなる. たとえ枚方の上流域で 200 年に一度の流量が生じたイベントであっても，それが対象の上流地点にとっても極端な流量をもたらす降雨パターンであるとは限らない. 上下流の流量間の極値従属性が低ければ，その確率も高くなる．本研究結果は，下流の基準地点での洪水を条件に降雨パターンを選定すれば，極値従属性の低い上流地点では計画高水流量推定の不確実性が高まるということを示唆している.

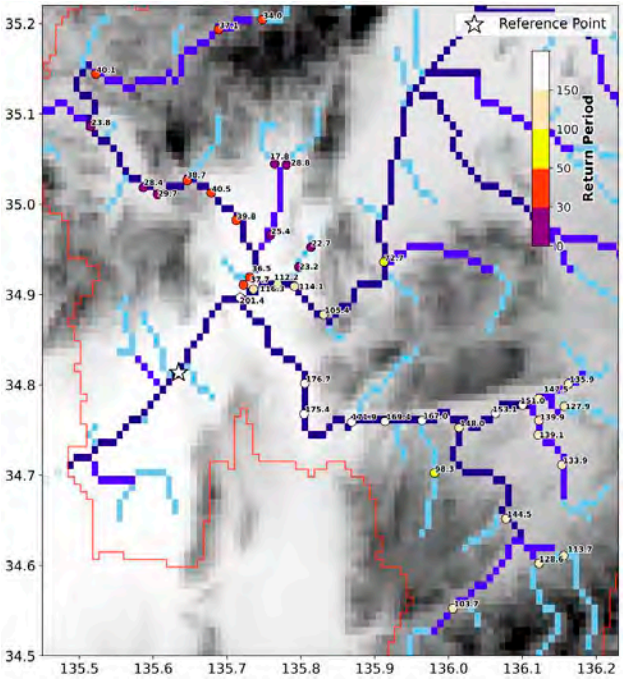


図-2 枚方を基準地点としたときの最低限期待される計画高水流量規模の空間分布．白星が基準地点，各上流地点の点の色が再現期間の規模を表す．赤線は淀川流域界，青セルは河川，グレースケールは黒いほど標高が高いことを表す.

５．まとめ

本研究では，現行の計画高水流量検討において重要な計画降雨波形に基づく降雨流出計算結果がもつ確率的特性を，2 変量一般化パレート分布から導かれる条件付き分布を用いて明らかにした.

【謝辞】

本研究は，文部科学省気候変動予測先端研究プログラム JPMXD0722678534 および JSPS 科研費 JP24K00988, JP25KJ1476 の助成を受けた．分析においては，文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」,「統合」, SI-CAT，DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成された d4PDF を使用した．記して謝意を表する.

参考文献

1) 大町利勝: 計画洪水流量決定手法に関する一考察, 水文・水資源学会誌, Vol. 17, No. 2, pp. 170-179, 2004.
2) 立川康人，宮脇航平，田中智大，萬和明，加藤雅也，市川温，キムスンミン: 超多数アンサンブル気候予測実験データを用いた極値河川流量の将来変化の分析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.73, No.3，pp.77-90，2017.