

大規模アンサンブル気候データと極値理論に基づく雨量・流量の裾特性の分析 Analyzing tail characteristics of rainfall and river discharge using large ensemble climate data and extreme value theory

○田中智大・阿部惇之介・内村在誠・北野利一・佐山敬洋

○Tomohiro Tanaka・Junnosuke Abe・Saisei Uchimura・Toshikazu Kitano・Takahiro Sayama

This study analyzes the tail characteristics of rainfall and river discharge across 109 Japanese basins using large ensemble climate data (d4PDF). To improve the robustness of extreme value estimation, the authors propose to fit the Generalized Extreme Value (GEV) distribution to n -year maxima instead of traditional 1-year maximums. The results indicate that shape parameters stabilize as the duration increases, leading to more reliable estimates. Notably, 1-year maximum distributions tended to overestimate 100-year probability values compared to the proposed "stable duration" method due to the influence of smaller-scale flood events. Furthermore, the study identifies regional differences in tail heaviness when comparing typhoon-driven and non-typhoon-driven rainfall extremes.

1. はじめに

気候変動による極値降水量の増加を受け、国土交通省は大規模アンサンブル気候予測データ d4PDF による降水量極値の将来変化に基づいて一級水系の基本高水算定に用いる計画降水量を更新するなど、雨量・流量の極値の大アンサンブルデータが治水計画に活用されている。

極値理論によると十分大きな標本の最大値は一般化極値分布 (GEV 分布) で近似できる。本研究は、大アンサンブルデータを用いて雨量・流量極値を頑健に推定する手法として、最大値を取る期間を 1 年より長くして期間最大値データを GEV 分布で近似し、 n 年最大値分布の GEV 分布から T 年確率雨量・流量極値を推定し、安定する期間 (以下、安定期間長) での最大値分布と 1 年最大値分布による極値および GEV 分布の形状母数を比較して安定期間長の最大値分布および年最大値分布の特徴を分析した結果²⁾を紹介する。

また、これまでの水文頻度解析では流域における豪雨をすべて混せて極値解析してきたが、降雨成因ごとに極値の特性は異なると考えられる。発表では d4PDF の台風性・非台風性の豪雨に対する GEV 分布の裾特性の違いも議論する。

2. 極値理論に基づく期間最大値分布の推定

本研究では、大規模アンサンブル気候予測データ d4PDF の 20km 領域気候実験および 5km ダウンスケーリング実験の過去実験データを用いる。日本全国の一級水系 109 河川流域を対象とし、小

林ら (2020)²⁾による流域平均雨量および基準地点の洪水ピーク流量の 1 年最大値データに対して極値統計解析を行う。解析方法を以下に示す。

極値理論によると、独立で同分布 $G_X(x)$ に従う確率変数 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ の最大値 $Z_n = \max(X_1, \dots, X_n)$ は n を十分大きく取ると以下で表される一般化極値分布に従う。

$$F_1(x) = \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right] \quad (1)$$

ここで、 μ , σ , ξ はそれぞれ位置母数、尺度母数、形状母数を表す。1 年最大値が式(1)で表す GEV 分布に従うとき、ポアソン過程を用いて n 年最大値は以下の GEV 分布に従う。

$$F_1(x) = \exp \left[- \left(1 + \xi \frac{x - \mu_n}{\sigma_n} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right] \quad (2)$$

ここで、位置母数 μ_n および尺度母数 σ_n は 1 年最大値の GEV 分布の母数と以下の関係式を持つ。

$$\mu_n = \mu + \sigma \frac{n^{1/\xi} - 1}{\xi}, \quad \sigma_n = \sigma n^{1/\xi} \quad (3)$$

式(2)からわかるように、期間長によらず形状母数 ξ は一定値となる。上記の理論に基づいて、d4PDF の 1 年最大値データから n 年最大値を取り出し、期間長 n を大きくしながら式(2)の GEV 分布を当てはめる。 n 年最大値の GEV 分布が得られれば、以下の式によって T 年確率値 x^T が得られる。

$$x^T = F_n^{-1} \left[\exp \left(-\frac{n}{T} \right) \right] \quad (4)$$

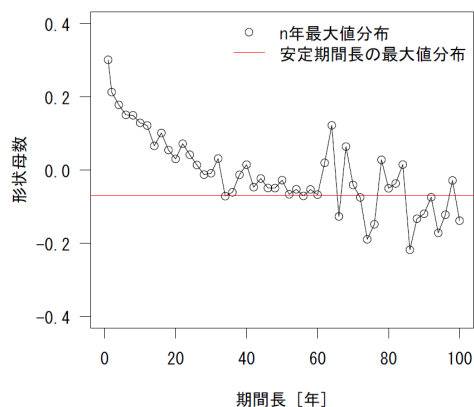


図 1. 天塩川水系菅平地点の n 年最大値分布の推定. (横軸) 期間長ごとの (縦軸) 形状母数の推移を示す.

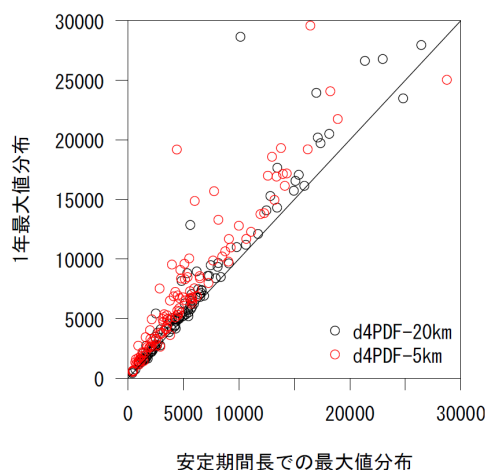


図 2. 109 水系の各基準地点における安定期間長最大値および 1 年最大値に当てはめた GEV 分布による 100 年確率流量の比較.

4. 安定期間長の最大値分布

各水系を対象に、 n 年最大値分布を用いて雨量および流量極値を推定した. 天塩川の例を図 1 に示す. 期間長 n を大きくすると形状母数が一定値に近づき漸近分布である GEV 分布に収束する様子がわかる. 2 年ごとに期間最大値分布を推定し、前後含めた 5 個の形状母数の標準偏差が最も小さくなる期間長を安定期間長と定義した. 安定期間長と 1 年の最大値分布による 100 年確率値を比較したところ (図 2), 両者は大きく異なり, 安定期間長最大値に比べて 1 年最大値分布の推定値が大きい傾向であった. これは, 多数の 1 年最大値データに含まれる小規模の洪水事例の影響で形状母数が大きく算定されたためである (図 1). したがって, 大アンサンブルデータの極値統計解析においては, 本研究で示したように形状母数の推定が

安定する n 年最大値の GEV 分布を用いて確率雨量・流量を推定することが有効である.

5. 降雨成因ごとの雨量極値の比較

最後に, d4PDF20km における年最大流域平均雨量を Webb et al. (2019)³⁾の d4PDF 台風トラックデータに基づいて台風性・非台風性に分類し, それぞれの分類での安定期間長最大値の GEV 分布を推定した. その結果, 形状母数や雨量極値が台風性・非台風性によって異なることを確認した. さらに, 台風性・非台風性による雨量極値の確率分布の形状母数の大きさ, つまり裾の重さには地域性が見られることがわかった.

6. 結論

本研究では, 極値理論に基づいて 1 年に拘らない n 年の期間最大値データを GEV 分布に当てはめ, 形状母数が安定する安定期間長での最大値分布から雨量・流量極値を推定する手法を示し, 日本全国の一級水系 109 河川流域における d4PDF の 20km および 5km 領域実験の過去実験の年最大雨量・流量データに適用した. その結果, 多くの流域で期間長の増加に伴って形状母数が安定する領域が存在することを確認し, 雨量・流量極値が頑健に推定できることを示した. さらに, 年最大値を台風性・非台風性に分類し, 降雨成因ごとに安定期間長最大値の GEV 分布を推定した. 台風性・非台風性の形状母数および雨量極値の違いを比較したところ, 地域性が見られた.

参考文献 1) 田中ら. 雨量および流量の期間最大値の大標本に対する極値分布の適用に関する分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), 2025 (受理). 2) 小林敬汰ら. d4PDF を用いた日本全国一級水系における極値流量の将来変化分析. 土木学会論文集 B1 (水工学), 76(1), 140-152, 2020. 3) WEBB et al.: Global tropical cyclone track detection and analysis of the d4PDF mega-ensemble projection. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering), 75(2), I_1207-I_1212, 2019.

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 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.