

京都大学大学院工学研究科

学生会員

○内村在誠

京都大学工学部工学研究科

正会員

田中智大

名古屋工業大学大学院社会工学専攻

正会員

北野利一

京都大学大学院工学研究科

フェロー会員

立川康人

1 序論 近年、一つの豪雨イベントが広域にわたって被害をもたらす事例が後を絶たない。複数地域の同時氾濫では、復旧に必要な人的・物的資材の不足や交通網の停止が招く復旧・被害の長期化が懸念される。このように被害が非常に大きい同時洪水のリスク推定は社会的に重要な課題であると考えられる。このような広域的な豪雨災害をもたらすリスクを評価するために、様々な研究が展開されている。小林ら¹⁾は全国一級水系それぞれでの既往洪水を再現する降雨流出モデルを構築し、d4PDF²⁾過去実験3,000年分の各水系の年最大河川流量を計算した。田中・北野³⁾は小林らが計算した過去実験データ3,000年分の年最大流量に対して2変量極値分布を適用し、特定の2水系の河川流量極値の従属性を推定した。この先行研究では、河川流量極値への2変量極値分布の適用と横断分布の適合度評価によるモデル選択手法の有効性が示された。本研究では、田中・北野³⁾の手法を全国一級水系に展開するための手法を提案し、d4PDFによる大量のデータと極値理論による統計的な推定結果の裏付けによる同時洪水再現期間の頑健な推定を行う。

2 2変量極値分布による同時洪水の再現期間の算定 Coles⁴⁾より、確率変数 $Y_i (i = 1, 2)$ より計算される再現期間 x_i を用いて、二変量極値分布関数は次式で与えられる。

$$F_{X_1, X_2}(x_1, x_2) = \exp \left[- \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} \right) D \left(\frac{x_1}{x_1 + x_2} \right) \right] \quad (1)$$

ここで D は $t = x_1 / (x_1 + x_2)$ を変数とする従属関数であり、二変量の従属関係を表す。本研究では、図2のように D から導いた χ_t を2変量の従属性を表す裾従属性指標として用いる。

$$\chi_t = \frac{1 - D(t)}{t \wedge (1 - t)}, \quad 0 \leq \chi_t \leq 1 \quad (2)$$

この χ_t を2水系の極値流量に対して計算すると、2水系での極値流量の従属性を表すことになる。このとき、 χ_t が高いほど従属性が高く、2水系それぞれの再現期

間に相当する規模の洪水が同時生じやすいことを表す。さらにこの χ_t を用いると、(3)式から2河川での同時洪水の再現期間 $x_{1,2}$ を求めることができる。ただし、 x_1, x_2 はそれぞれの河川の洪水発生再現期間である。

$$x_{1,2} = \frac{x_1 \vee x_2}{\chi_t} \quad (3)$$

本研究では、 χ_t から得られる再現期間 $x_{1,2}$ によって全国的な同時洪水の発生リスクを評価する。

3 d4PDF 河川流量閾値データ概要および分析方法

本研究では、小林ら¹⁾がd4PDF過去実験データより計算した3,000年分の年最大流量データを用いる。検討対象となる水系の組は、全国で109の一級水系から得られる2水系の組の全通りの5,886組である。各水系の基準地点での年最大流量データに対して図1で定義した2変量極値分布を適用し、周辺分布および従属関数のパラメータを最尤法によって推定する。複数のブロックサイズおよび複数のモデル候補から分布に適合する従属関数 $D(t)$ を推定するために、従属関数から得られる横断変数 $t = x_1 / (x_1 + x_2)$ の確率分布 $H(t)$ に対するKolmogorov-Smirnov (K-S) 検定とAnderson-Darling (A-D) 検定の併用による適合度評価を行った。

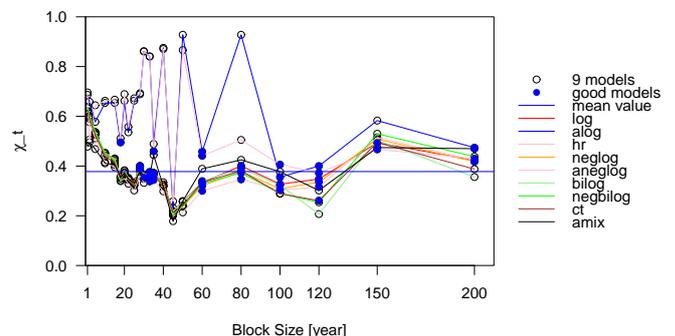


図1 五ヶ瀬川と小丸川の年最大流量からブロックサイズ（横軸）ごとに9種類のモデルを当てはめて χ_t を推定した例。適合モデル群（青点）による χ_t の平均値を横軸に平行な青線で示す。

適合モデル選択の例として、五ヶ瀬川と小丸川での分析結果を図1に示す。こうして得られた適合モデルで計算された χ_t (図1中の青丸)を平均化したものを χ_t の推定値として扱う。

χ_t はその定義から、ブロック最大値が十分に極値分布に漸近して、かつモデルが適合していれば一定値に収束する。ある程度長い期間の最大値データの組は多変量極値分布に十分に収束していると考え、様々なブロックサイズによるサンプリングを行い適合度が高いモデル群から χ_t を推定する。

4 解析結果 χ_t の推定を5,886組に適用し、(3)式より同時洪水の再現期間を求めた結果を図2に示す。本研究では、各水系の河川整備計画において定められている計画規模に対し、基準地点において計画規模確率流量を超える流量を観測した際にこれを洪水であると定義しており、同時洪水とはその洪水が2水系で同時に発生したことを表している。図2の直線は同時洪水の再現期間が500年未満と推定された比較的同時洪水が起りやすい組のみを表示している。こうして実際の解析対象となった2水系の組は252組であった。図2から、同じ地方同士や集水域が隣接する水系同士では同時洪水が発生しやすいことが分かった。この結果は、隣接する水系などでは、同じ前線や台風によって計画規模を超える洪水が発生しやすいことを表していると考えられる。また、東日本と比較すると、西日本はよ

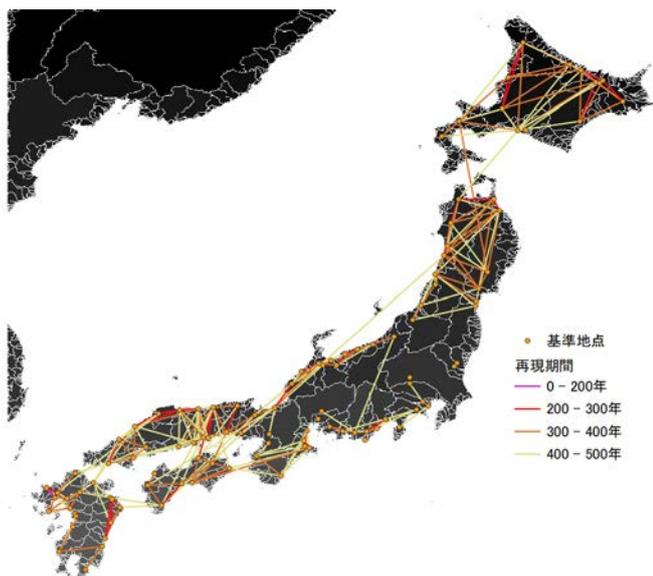


図2 同時洪水再現期間の推定結果。同時洪水再現期間が500年未満かつ適合モデル数(図1の青丸の数)が2つ以上の組のみを示す。

り同時洪水が起りやすい傾向が確認でき、とくに中国地方では同時洪水を起ししやすい組がなす線が網目状に見られた。こうした地域では3河川以上での同時洪水も発生しうると推測される。さらに、同時洪水が発生する月について調べると、九州・中国地方では6,7月の梅雨期、そのほかの地域は8,9月の台風期に集中していた。この結果は既往の観測事例と整合し、本解析手法の妥当性を示している。

5 結論 本研究では、大規模アンサンブルデータd4PDFから計算された年最大流量データに2変量極値分布を適用し、日本全国の2水系の組での同時洪水の再現期間を推定し、同時洪水リスクが比較的高い組を抽出した。解析結果には一定の妥当性が認められ、全国的に同時洪水のリスクが遍在していることを示した。

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。

参考文献

- 1) 小林敬汰, 田中智大, 篠原瑞生, 立川康人: 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), Vol. 76, No. 1, pp. 140-152, 2020.
- 2) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF), <http://www.miroc-gcm.jp/pub/d4PDF/> (最終アクセス2023/1/22).
- 3) 田中智大, 北野利一: 多変量極値分布の大規模アンサンブルデータへの適用-2流域の極端洪水の同時生起確率推定-, 応用統計学, Vol. 50, No. 2-3, pp. 75-101, 2021.
- 4) Coles, S.: Multivariate extremes, An introduction to statistical modeling of extreme values, Chapter 8, pp.142-168, Springer, London, 2001.