

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21982

研究課題名（和文）豪雨の空間発生確率の推定

研究課題名（英文）Evaluation of extreme rainfall distribution in spatial

研究代表者

風間 聡（Kazama, So）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：50272018

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：d4pdfデータの頻度分析を行い、気候区分に基づいた5つの地域における極値降水の空間的な発生確率を解析し、極値降水の将来変化とその地域差の考察を行った。過去実験の結果から、空間再現期間が最も長い（頻度が低い）地域は北海道（3.82年）であり、最も短い（頻度が高い）地域は西日本太平洋側（2.34年）であり、北海道の1.6倍ほど頻度が高い。将来の2上昇実験では、北海道と西日本日本海側の空間再現期間が長い（2.08年、2.07年）。過去実験と比較したRP100年極値降水の頻度増加率は、緯度が低い南の地域ほど頻度増加率は低い傾向が見られ、西日本太平洋側の頻度増加率が最も低い1.4倍である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地方自治体管理の中小河川の氾濫確率は、流域が小さいため降雨の確率と同規模の洪水が発生する。本研究によって空間スケールと降雨の再現確率が理解され、流域内の洪水被害の発生頻度をおおよそ理解できた。特に温暖化によるリスクの上昇の地域性が明確になった。より効果的な備え、特に水防施設や配置や治水の投資効果を知ることができ、豪雨災害対策に有効である。確率降雨への正しい認識によって、一般市民への豪雨災害の啓発として利用できるとともに、学問上も新しい空間再現確率を示すことができたと考えている。

研究成果の概要（英文）：The spatial return period is defined as "the period until the extreme precipitation occurs again in the target area". We used d4PDF with spatial resolution of 20 km to analyze the large ensemble data of thousands of years. The use of d4PDF improves the accuracy of extreme precipitation estimation and also enables spatial analysis of extreme precipitation due to its spatial data. The spatial return period (RP) of the 100-year extreme precipitation over Japan is 1.61 years in the historical simulation and 1.14 years in the +4-K future simulation. We clarified the relationship between the annual area of occurrence of RP100-year extreme precipitation and its probability. In addition, Japan is divided into four areas according to latitude, and the spatial return period is compared for each region. It is found that the spatial return period of high latitude area such as Hokkaido region is about 1.7 times longer than that of low latitude regions such as Kyushu and Shikoku region.

研究分野：水文学

キーワード：極端現象 レーダー・アメダス GEV d4pdf 再現期間 ARFs

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ここ数年、豪雨災害が連続して生じている。その度に繰り返される言葉として「今まで経験したことがない」、「記録更新の豪雨」がある。100年に一度の豪雨が頻繁に生じていると一般人は感じている。これは「観測地点」の再現期間と「空間内」の再現期間を区別して説明されていないためである。つまり、東京駅前地点で100年に1回の豪雨かもしれないが、東京都内全域では10年に1回の豪雨または日本では毎年生じる豪雨かもしれない。この空間内の発生確率を知ること無しに豪雨災害のリスクを評価することはできない。地点降雨が100年に1回の豪雨は、様々なスケールで何年に1回生じるのか？を求めるのが本研究課題である。

### 2. 研究の目的

極値降水の性質については様々な既往研究が行われている。極値降水解析に雨量強度、期間、頻度の関係性を表した IDF 曲線がしばしば用いられる。Carlos らは、地域 IDF 曲線を用いて韓国北部における 100 年極値降水量が、RCP8.5 において約 30%増加することを示唆した。Shimura and Mori は d4PDF を用いた解析により、日本における熱帯低気圧の出現頻度が減少し、極端な熱帯低気圧の激化が進むことを示唆した。極値降水を空間的に捉えた既往研究として、菅原らは米代川流域において、レーダーアメダス解析雨量を用いて再現期間と雨域面積の関係性を表す RA 式 (Return period and Rainfall Area) を立式し、再現期間 100 年の降水量の空間における再現期間が 1.4 年であることを示した。Le らは、ARFs (Areal reduction factors) を用いて、極値降水の空間従属性を評価した。ARFs は再現期間が長くなるほど減少する。

このように極値降水量を空間的に捉える研究や大規模アンサンブルデータを用いた研究が行われているが、日本域を対象とした極値降水の空間的な発生頻度について検討した研究は見当たらない。日本域における極値降水の空間再現期間を明らかにし、極値降水の空間的な特徴を明らかにすることを研究目的とした。

### 3. 研究の方法

使用する降水量データは文科省・気候変動リスク情報創生プログラムによる d4PDF である。日本域を含む全 13560 セルから陸域を含む 1038 セル (約 41 万 km<sup>2</sup>) を抜き出して解析した。1 セルの面積は約 400km<sup>2</sup> である。降水量の時間スケールは空間スケールの粗さに合わせて日降水量とした。

使用する d4PDF 過去実験降水量の非正常性を診断するために、セル毎に Mann-Kendall 検定を実施し、トレンドの有無を評価した。Mann-Kendall の検定統計量 z の絶対値が 1.96 以上 (トレンドが 5%有意) のセルは無くなり、トレンドが補正された。

確率降水量の算出のために極値分布が用いられるが、d4PDF の大規模アンサンブルデータの利点を生かし、確率分布に頼らないノンパラメトリック手法により確率降水量を求めた。ノンパラメトリック手法にプロットングポジションを用い、計算方法として北野らの手法を参考にした。

本研究は 2 つの再現期間を使用する。1 つ目は一般的に用いられる、ある地点において極値降水が再び発生するまでの期間を意味する再現期間である。2 つ目は、ある再現期間の極値降水が対象域内の x km<sup>2</sup> 以上において再び発生するまでの期間を意味する再現期間であり、これを「x km<sup>2</sup> 空間再現期間」と区別して定義する。また、x=400km<sup>2</sup> (1 セル) の場合を別途、「空間再現期間」と定義する。つまり、空間再現期間とは極値降水が対象域内の 1 セル以上において再び発生するまでの期間である。また、空間再現期間の将来変化を示す指標として、「頻度増加比」を算出する。

### 4. 研究成果

空間再現期間の解析結果を表-1 に示す。日本全域の過去実験において、RP100 年極値降水が少なくとも 1 セル以上発生する年の割合は 84.8%、つまり空間再現期間は 1.18 年である。100 年に 1 度の極値降水は日本全域において 1.18 年に 1 度発生している。同様に RP200 年極値降水の空間再現期間は 1.50 年、RP500 年極値降水の空間再現期間は 2.41 年である。また、4 上昇実験において RP100 年極値降水の空間再現期間は 1.00 年である。つまり 100 年に 1 度の極値降水は、毎年日本において発生すると示唆される。このときの頻度増加比は 1.18 倍である。頻度増加比は表-1 の赤字に示す。

表-1 空間再現期間と頻度増加比

	過去実験	2°C上昇実験	4°C上昇実験
RP100年	1.18 年	1.04 年 (1.14)	1.00 年 (1.18)
RP200年	1.50 年	1.13 年 (1.32)	1.02 年 (1.47)
RP500年	2.41 年	1.48 年 (1.63)	1.11 年 (2.18)

極値降水の年発生面積とその確率の関係を明らかにするために、極値降水の年発生面積( $x \text{ km}^2$ )と、その非超過確率から  $x \text{ km}^2$  空間再現期間とその頻度増加比の関係を図-1 に示す。

$x \text{ km}^2$  空間再現期間のグラフから、過去実験の 10000  $\text{km}^2$  空間再現期間は 9.23 年である。つまり、10000  $\text{km}^2$  に RP100 年（再現期間 100 年）の極値降水が発生する頻度は 9.23 年に 1 度である。将来実験における RP100 年極値降水の空間的な発生頻度は、年発生面積 ( $x \text{ km}^2$ ) によらず増加する。過去実験に対する将来実験の頻度増加比を図-1 の破線に示す。2 上昇実験の頻度増加比は 1.1 倍から 4.5 倍である。極値降水の年発生面積 ( $x \text{ km}^2$ ) が広くなるに従い頻度増加比も増加する。また、4 上昇実験の頻度増加比は 1.2 倍から 14.3 倍である。2 上昇実験よりも頻度増加比が高く、15000  $\text{km}^2$  以上の面積に RP100 年極値降水が発生する頻度は約 10 倍以上に増加する。以上より、極値降水が広範囲に発生する確率が特に増加すると示唆される。極値降水の面積の拡大によるリスクについて検討する必要がある。

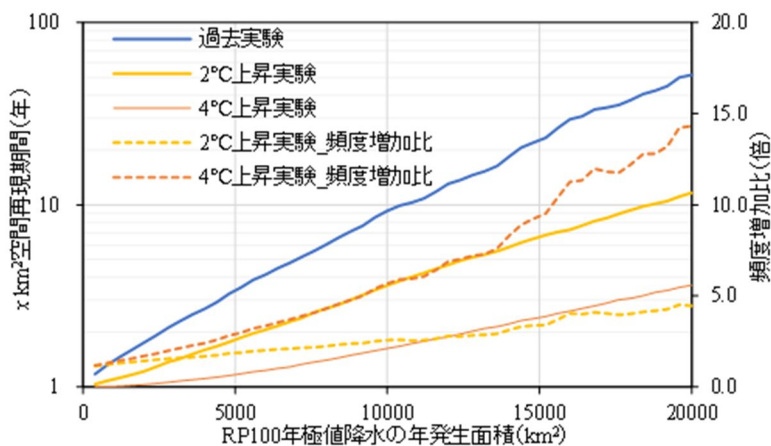


図-1  $x \text{ km}^2$  空間再現期間と頻度増加比

気候区分に基づいて日本全域を 5 つの地域に分割し、それぞれの地域における空間再現期間を算出した。各地域の面積は空間再現期間を等価に評価するために、可能な限り等分にした。それぞれの地域を北海道、東日本太平洋側、東日本日本海側、西日本太平洋側、西日本日本海側と呼ぶ。

気候区分に基づいた 5 つの地域における RP100 年極値降水の空間再現期間と頻度増加比を表-2 に示した。過去実験の結果から、空間再現期間の最も長い地域は北海道（3.82 年）である。一方、空間再現期間の最も短い地域は西日本太平洋側（2.34 年）であり、北海道の空間再現期間が 1.63 倍ほど長い。太平洋側と日本海側における空間再現期間について、西日本には差が見られ、日本海側が太平洋側より 1.28 倍ほど空間再現期間が長い。ここで、空間再現期間が短い（頻度が高い）ことは、極値降水が狭い範囲に発生していることを表している。逆に、空間再現期間が長い（頻度が低い）ことは、極値降水が広い範囲に発生することを表している。つまり極値降水発生の強い従属性を意味している。これは各地域の極値降水の降水形態に違いがあることを示唆している。

表-2 RP100 年の気候区別の空間再現期間と頻度増加比

	過去実験	2°C上昇実験	4°C上昇実験
北海道	3.82 年	2.08 年 (1.83)	1.27 年 (3.00)
東日本太平洋側	2.74 年	1.74 年 (1.58)	1.29 年 (2.12)
東日本日本海側	2.67 年	1.78 年 (1.51)	1.26 年 (2.12)
西日本太平洋側	2.34 年	1.67 年 (1.40)	1.33 年 (1.75)
西日本日本海側	2.99 年	2.07 年 (1.45)	1.59 年 (1.88)

2 上昇実験において、空間再現期間の長い地域は北海道（2.08 年）と、西日本日本海側（2.07 年）である。また、空間再現期間の最も短い地域は西日本太平洋側（1.67 年）である。過去実験との比較から、RP100 年極値降水の頻度増加比は、北海道において最も高く、1.83 倍である。南の地域ほど頻度増加比の低い傾向が見られ、西日本太平洋側の頻度増加比は最も低い 1.40 倍である。発生頻度が減少する地域は無い。

4 上昇実験において、空間再現期間が長い地域は西日本日本海側（1.59 年）である。また、それ以外の地域の空間再現期間はほぼ等しい（約 1.3 年）。RP100 年極値降水の頻度増加比は、北海道において最も高く、3.00 倍である。また、緯度が低い南の地域ほど頻度増加比が低く、西日本太平洋側の頻度増加比は 1.75 倍である。

以上をまとめると、過去実験における空間再現期間は北日本ほど長い。一方、極値降水の頻度増加比は南日本ほど高いため、4 上昇実験における空間再現期間の地域差は減少する。

過去実験を対象に、地域ごとの  $x \text{ km}^2$  空間再現期間を算出し、図-2 に RP100 年のケースを示した。地域ごとに年発生面積（ $x \text{ km}^2$ ）と  $x \text{ km}^2$  空間再現期間の関係の異なることが分かる。西日本太平洋側のグラフの傾きは最も大きく、他の地域と比較して狭い範囲（約 3000  $\text{km}^2$  以下）における極値降水の発生頻度が最も高い。一方、北海道のグラフの傾きが最も小さい。グラフの傾きは極値降水の発生面積による頻度の差を表している。つまり、傾きが小さい地域ほど、極値降水の発生面積による再現期間の差が少ない。言い換えると、極値降水の発生が従属的である。各地域における極値降水の年発生面積の変動係数は、極値降水の従属性を示しており、北海道において 3.10、西日本太平洋側において 1.95 である。

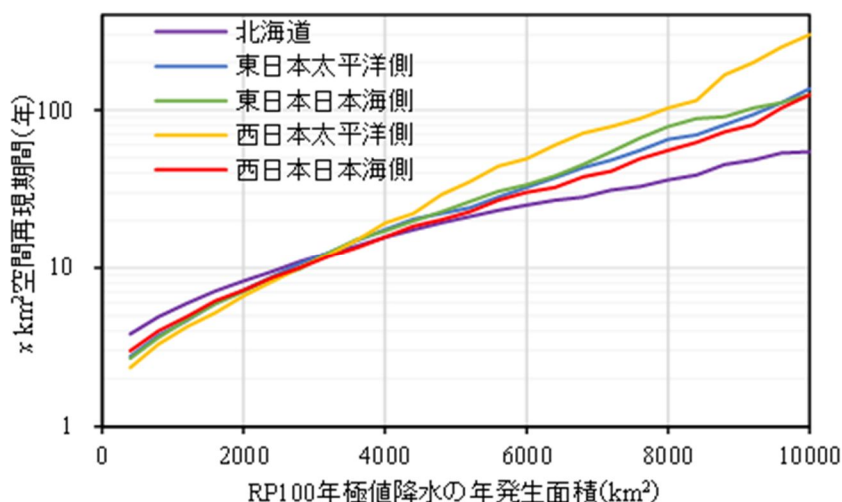


図-2 RP100 年の気候区別の  $x \text{ km}^2$  空間再現期間

以下に本研究により得られた結論を示す。(1) 日本域における RP100 年極値降水の空間再現期間を求めた。空間再現期間は過去実験において 1.18 年、4 上昇実験において 1.00 年となり将来の頻度が増加する。(2) 気候区分に基づく 5 つの地域における RP100 年の極値降水の空間再現期間を求めた。過去実験における空間再現期間は低緯度地域ほど短い。将来実験における頻度増加比は高緯度地域ほど高い。(3) RP100 年極値降水の  $x \text{ km}^2$  空間再現期間を地域毎に比較した結果、高緯度地域ほど年発生面積（ $x \text{ km}^2$ ）による再現期間の差が少ない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 新井涼允, 豊田康嗣, 風間聡	4. 巻 32
2. 論文標題 確率論的流況推定手法の適応性評価と特性の把握	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水文・水資源学会誌	6. 最初と最後の頁 301-317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 井上亮, 石川翼	4. 巻 77
2. 論文標題 Areal Reduction Factors と空間極値モデルによる相関構造推計のレーダ雨量データに基づく関連性分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_1159-I_1164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 柳澤創, 風間聡, 峠嘉哉	4. 巻 29
2. 論文標題 日本全国を対象とした極値降水の時空間特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地球環境シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 71-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 燕陳卓雅, 井上亮
2. 発表標題 Spatial modeling of the extreme rainfall events in the Yoneshiro-gawa Basin
3. 学会等名 地理情報システム学会 第29回学術研究発表大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hajime Yanagisawa, So Kazama, Ryo Inoue
2. 発表標題 Relationship between local and spatial probabilities of precipitation in the Yoneshiro River catchment
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Water Environment Systems --with Perspective of Global Safety, (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤創, 風間聡, 峠嘉哉
2. 発表標題 d4PDFを用いた極値降水の空間発生頻度解析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤創, 風間聡, 井上亮
2. 発表標題 米代川流域における降水の地点発生確率と空間発生確率の関係
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳澤創, 風間聡, 峠嘉哉
2. 発表標題 d4PDFを用いた極値降水の空間発生頻度と将来変化
3. 学会等名 水文・水資源学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hajime Yanagisawa, So Kazama, Yoshiya Touge
2. 発表標題 Extreme Precipitation Analysis Using d4PDF - An Examination of the Frequency of Rainfall Once in 100 Years in Japan -
3. 学会等名 AOGS (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室web頁 <a href="http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/kaigan/">http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/kaigan/</a> 水環境システム学研究室 <a href="http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/">http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井上 亮 (Inoue Ryo) (60401303)	東北大学・情報科学研究科・准教授  (11301)	
研究分担者	峠 嘉哉 (Touge Yoshiya) (90761536)	東北大学・工学研究科・助教  (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------