

# 気候変動下における降雨の時空間分布特性の違いが 洪水ピーク流量に与える影響

## Effects of Different Spatiotemporal Distribution Characteristics of Rainfall on Flood Peak Discharge Under Climate Change

都市人間環境学専攻 政本未織

Civil, Human and Environmental Engineering Miori MASAMOTO

### 1. はじめに

近年、我が国では既往最大規模を上回る豪雨が多発している。令和元年東日本台風時の降雨に着目すると、関東、東北、北陸の被害（決壊、越水、溢水等）のあった一級河川全18河川のうち7河川では計画降雨継続時間よりも短い24時間の最大雨量が計画降雨量を上回っていた<sup>1)</sup>。一方、平成30年7月豪雨時では、全国気象観測所における24、48、72時間降水量が1、3、6、12時間降水量に比べ、観測史上1位を更新した地点が多く<sup>2)</sup>、長時間雨が降り続いていたことが分かる。さらに、平成27年関東・東北豪雨では鬼怒川流域に線状降水帯が集中して発生し、短時間かつ局所的に雨が降った。上記のように、既往最大規模を上回る豪雨の中でも雨の時空間的な降り方は様々であり、米田ら<sup>3)</sup>は、豪雨時の浸水被害は計画降雨継続時間内の雨量だけでなく、最大降雨強度や降雨の時空間分布の影響も大きいと示している。つまり、雨の降り方によって被害の大きさや形態も変化する。また、将来は現在よりもさらに降雨量が増加し<sup>4)</sup>、雨の降り方は短時間かつ局所化する可能性がある<sup>5)</sup>と示唆されている。このような将来起こり得る豪雨に対して、具体的、効果的な洪水対策を講じるためには、降雨の時空間パターンを分析し、それによる被害の規模や範囲、形態を予測する必要がある。そのため、本研究では、下流部の氾濫域に社会的・経済的資産が密集した首都圏を抱える利根川八斗島上流域（図-1）を対象に、現在気候及び将来気候の時空間分布特性の分析を行い、時空間パターンの違いが洪水ピーク流量に与える影響について研究を行った。

### 2. 使用データと対象降雨

#### (1) 使用データ

本研究では、気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CAT（Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology）<sup>6)</sup>（以降SI-CAT（5km））によって作成された気候予測データを使用した。SI-CAT（5km）は、大量アンサンブル気候予測データベース d4PDF<sup>7)</sup>の20km解像度データを5kmにダウンスケーリングしたものであり、1980年から2010年の31年間を対象に初期擾乱を発生させた12メンバの数値計算を実施した過去

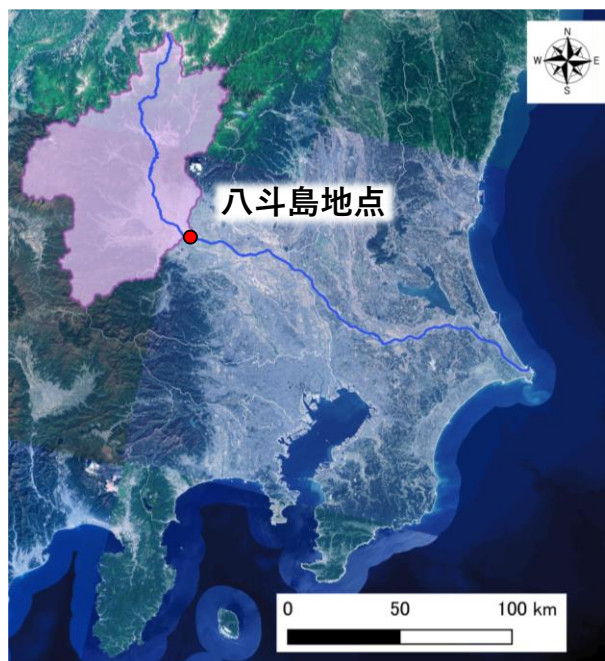


図-1 利根川八斗島地点上流域

実験372年分と産業革命以前に比べて全球平均温度が4度上昇した世界を想定し、6種類の全球海面水温パターンと初期擾乱を与えた2メンバの数値計算を実施した将来4度上昇実験372年分の時系列データで構成される。

#### (2) 対象降雨

本研究では、対象流域の計画降雨継続時間に則して、年最大流域平均72時間雨量を算出し、過去実験、将来4度上昇実験の各372年分の年最大流域平均72時間雨量を対象とした。

### 3. 時空間分布の分類

#### (1) 時間分布の分類

時間分布の分類においては、年最大72時間流域平均雨量をもたらす雨の降り始めから降り終わりまでの一雨の時間変化に着目するため、本研究では時間の前後で降雨が続いていた場合は、雨の降り始めから降り終わりまでが一雨降雨となるように降雨イベントを抽出した。次に、時間分布の分類として、一雨降雨継続時間を3分割し、降雨継続時間の前半1/3時間における累積雨量が最も大きい場合、その降雨イベントを前方集



て降るパターンと流域全体に満遍なく100~300mmの雨が降るパターン、流域南西部に700~800mmの雨が局所的に集中して降る3つのパターンに大別されることが分かった。また、それぞれのクラスターに属するイベント数の内訳を図-6に示す。過去実験では、クラスターAのパターンが最も多く発生し、将来実験ではクラスターCのパターンが最も多く発生することが分かった。つまり、現在と将来で発生しやすい降雨の空間パターンが変化したこと、将来気候下では流域南西部に局所的に強い雨が降る傾向にあることが示唆された。

## 5. 流出解析

降雨流出解析においては、吉見・山田ら<sup>9)</sup>によって提案された、単一斜面における降雨流出の基礎式に鉛直浸透機構を組み込み、斜面内多層流れを考慮した降雨流出計算手法を用いた。以下にその概要を示す。吉見・山田らは、山腹斜面が複数の層で構成されると考え、単一斜面における降雨流出の基礎式を(1)式に示した。そして、各層における流出に寄与する雨量(有効降雨量)の連続関係から、(2)式の基礎式を得る。この各層の有効降雨量は(3)式に示すように、土層内水位 $S_n$ が各層の保水力 $h_{nm}$ を超えた時点で発生するとした。

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (1)$$

$$\frac{ds_n}{dt} = V_{n-1} - r_{nm} - V_n \quad (2)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (s_n \leq h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (s_n > h_{nm}) \end{cases} \quad (3)$$

$$V_n = b_n s_n \quad (4)$$

ここに、 $n$ ：層の数、 $m$ ：各層における側方流出孔の数、 $r_{nm}$ ：各層における流出に寄与する降雨量[mm/h]、 $s_n$ ：各層の貯留高[mm]、 $V_n$ ： $n$ 層目から $n+1$ 層目への浸透量、 $a_{nm}$ 、 $b_n$ ：流出孔、浸透孔の比例定数[1/h]、 $h_{nm}$ ：各層の流出孔までの高さ[mm]、 $q_{nm}$ ：各流出孔からの流出量[mm/h]、 $\alpha_{nm}$ 、 $\beta_{nm}$ ：流域特性を表すパラメータである。本研究では、対象流域を140のサブ流域に分割し、斜面計算および河道計算を行った。降雨流出解析により得た結果を各サブ流域の河道上流端に与えることで、斜面と河道を結び付け、流域上流端から下流端までの一連の降雨流出計算を行っている。河道部においては、MIKE11を用いてSaint-Venant方程式と連続式からなる一次元不定流計算を行った。なお、本解析における河道計算では堤防からの越水や溢水および決壊は発生しないと仮定しており、洪水調節施設は考慮しないこととする。

## 6. 時空間パターンとピーク流量の関係

図-7に4章で分類した時間分布3つと空間分布3つを組み

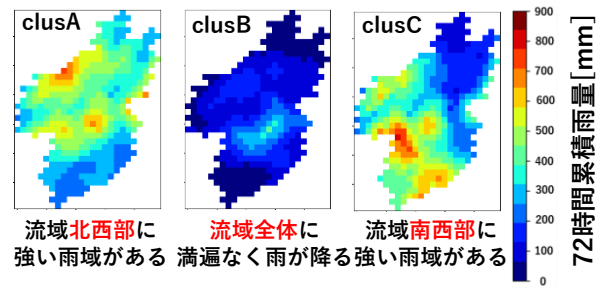


図-5 3つのクラスターに分類した空間分布

流域北西部に集中して雨が降るパターンと流域全体に満遍なく雨が降るパターン、流域南西部に集中して雨が降る3つのパターンに大別されることが分かった。

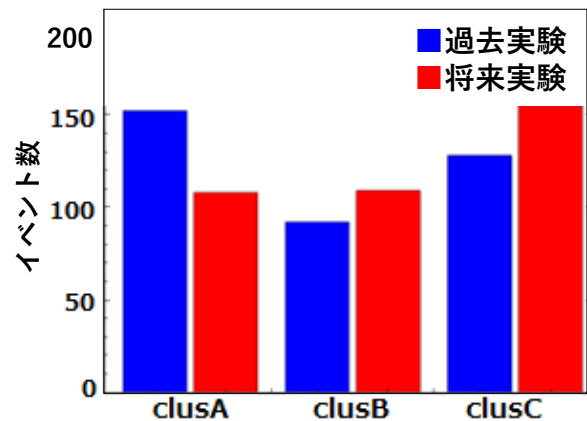


図-6 各クラスターに属するイベント数 (10クラスターに分けたうち空間分布の異なる3クラスターを抽出した)

合わせた9つの時空間パターンにおいて流出解析し、ピーク流量を算出した結果を示す。同じ空間分布のクラスターであっても、時間分布の違いによってピーク流量も変化することが分かった。clusC (流域の南西部に強い雨域が発生するパターン) の場合に最もピーク流量の差が大きく、7,893m<sup>3</sup>/sもの差があることが分かった。これは、過去の利根川流域における洪水時のピーク流量に匹敵するほどの大きさである。また、空間分布によってピーク流量が大きくなる時間分布が異なることが分かった。つまり、想定し得る時空間分布を考慮すべきであるということが示唆された。流域北西部に強い雨域が発生するパターン (clusA) かつ中央集中型の場合、流域全体に満遍なく雨が降るパターン (clusB) かつ前方集中型、流域の南西部に強い雨が降るパターン (clusC) かつ後方集中型の3パターンの時に最もピーク流量が大きくなる、すなわち危険なパターンとなる可能性があることが示唆された。

## 7. まとめ

本研究では、利根川八斗島上流域を対象に、現在気候

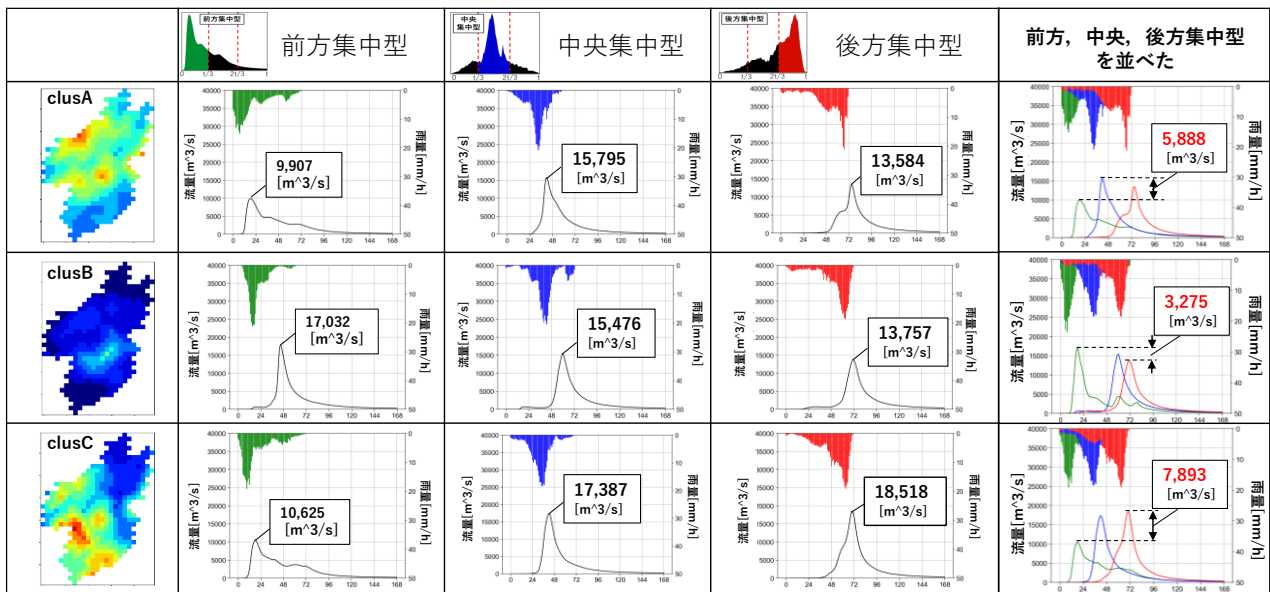


図-7 9つに分けた時空間分布におけるピーク流量と各空間分布におけるピーク流量の最大値と最小値の差

及び将来気候の時空間分布特性の分析を行い、時空間パターンの違いが洪水ピーク流量に与える影響について研究を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 時間分布を分類した結果、将来気候下では降雨継続時間の後方に集中して雨が降るパターンが多くなる傾向があることが示唆された。
- 2) 将来気候下では、ピーク流量が大きくなるような後方集中型の雨の降り方が増加し、かつ、その後方の時間帯に降る降雨量も増加する可能性があることが示唆された。
- 3) 空間分布のクラスター分析の結果、流域南東部の広い範囲に700~800mmの雨が降るパターンと流域全体に満遍なく雨が降るパターン、流域南西部に700~800mmの雨が局所的に集中して降る3つのパターンに大別されることが分かった。
- 4) 現在と将来で発生しやすい降雨の空間パターンが変化したこと、将来気候下では局所的に強い雨が降る傾向にあることが示唆された。
- 5) 流域北西部に強い雨域が発生するパターン (clusA) かつ中央集中型の場合、流域全体に満遍なく雨が降るパターン (clusB) かつ前方集中型、流域の南西部に強い雨が降るパターン (clusC) かつ後方集中型の3パターンの時に最もピーク流量が大きくなる、すなわち危険なパターンとなる可能性があることが示唆された。

降雨の時空間分布特性を把握し、将来気候下において激甚化すると予想されている豪雨が及ぼし得る影響を予測することでより具体的な洪水対策に繋がると考える。

## 参考文献

- 1) 一般財団法人 日本気象協会, 防災レポート Vol.1, 2019 <https://www.jwa.or.jp/news/2019/11/8535/>
- 2) 国土交通省, 水管理・国土保全局, 住民自らの行動に結びつく水害・土砂災害ハザード・リスク情報共有プロジェクト第1回, 資料2-1 平成30年7月豪雨災害の概要と被害の特徴
- 3) 米田駿星, 川村郁男, 大川重雄, 佐藤誠, 山田朋人, 大量アンサンブル気候データを活用した複合確率による降雨外力評価方法の提案, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.77, No.2, I-1285-I\_1290,
- 4) 星野剛, 山田朋人: 大量アンサンブル気候予測データを用いた日本国内全一級水系を対象とした年最大流域平均降水量の分析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I 187-I 192, 2018.
- 5) 星野剛, 山田朋人: 大量アンサンブル気候予測データを用いた年最大降雨の時空間特性の将来変化の把握~十勝川流域を対象として~, 土木学会論文集 G (環境), Vol.74, No.5, pp.I\_25-I\_31, 2018.
- 6) 佐々井崇博: 大気近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ (東北から九州) by SI-CAT [Data set]. データ統合・解析システム (DIAS), 2019. <https://doi.org/10.20783/DIAS.56>
- 7) Mizuta R. et al. : Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 98, 1383-1398, 2017.
- 8) Fujita, M. et al. : Precipitation Changes in a Climate With 2-K Surface Warming From Large Ensemble Simulations Using 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Geophysical Research Letters, 46, 435-442, 2019.
- 9) 吉見和紘, 山田正: 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用, 水工学論文集第58巻, pp.367-372, 2014.