# 16.日本全国を対象とした 極値降水の時空間特性

## 柳澤 創<sup>1\*</sup>·風間 聡<sup>2</sup>·峠 嘉哉<sup>3</sup>

1 東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉六丁目 6-06)

2 東北大学教授 大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉六丁目 6-06)

<sup>3</sup> 東北大学助教 大学院工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉六丁目 6-06) \*E-mail: hajime.yanagisawa.q7@dc.tohoku.ac.jp

100年に1度と言われる極値降水は日本全国においてどの程度発生しているのだろうか.極値降水の時 空間的特性を多角的に捉えることにより、地点のみにとらわれずに極値降水を解析することを目的とし た.空間的に広い範囲を対象として、その範囲内における極値降水の発生確率を表す空間発生確率を求 めた結果、極値降水は従属的に発生していることが示された.また、一般的に地点データを用いて算出 される確率降水量の解析範囲を空間的に広げることにより、極値降水の時空間関係を明らかにした.そ の結果、解析範囲を15年4メッシュとした場合と5年144メッシュとした場合の100年・メッシュ確率降 水量の発生頻度は同等であることが示唆される.

Key Words: extreme precipitation, frequency analysis, return period, spatiotemporal analysis

## 1. 序論

近年,100年に1度と言われるような豪雨が全国各地 で頻発している. 2019年には台風 19号により長野県の 千曲川流域や福島県の阿武隈川流域などの広い範囲にお いて 100 年に1度の大雨が発生した <sup>1)</sup>. このような豪雨 災害の増加は、気候変動の影響であることが言われてい る.地球温暖化予測情報によると1時間降雨量 30~ 50mmの短時間降雨の年間発生回数も将来的な増加が見 込まれている<sup>2</sup>. 豊田らは将来気候下において、大半の 台風が強い勢力を維持して日本に上陸する可能性が高い ことを示唆した 3. また、台風だけでなく、梅雨豪雨の 増加も示唆されており、中北らは将来気候における梅雨 豪雨の発生頻度の増加は非常に有意性が高く、現在は梅 雨豪雨が少ない地域においても豪雨が増加する可能性を 示した<sup>4</sup>. このような梅雨豪雨は一般に 100km 程度の長 さ、10~20kmの幅を持つ。6時間~半日程度継続する大 雨は、流域面積が100kmオーダーまでの流域面積を持つ 中小河川に外水や内水氾濫の影響を及ぼす5.

100年に1度などの稀な豪雨は極値降水と呼ばれ,一般に気象庁が全国に設置している AMeDAS 観測所において観測された降水量データを基に計算される,確率降水量が基準となっている.しかし,降水は空間的な広が

りを持って発生しているため、地点のデータのみを用い た場合、局地的な極値降水を確実に捉えられているとは 言えない.一方、近年はレーダー雨量計が整備されてお り、気象庁は全国に 20 箇所設置されているレーダーに よる観測雨量を全国約 1300 箇所存在するアメダスの観 測値により修正した空間的なレーダー・アメダス解析雨 量を提供している <sup>9</sup>. この解析雨量を用いることにより、 降水を空間的に漏らさずに捉えることが可能となり、地 点雨量により評価することができない局所的な豪雨を評 価することが可能となった.

解析雨量を用いて、極値降水の空間的な性質について 様々な既往研究が行われている. 荒川らは全国を対象に 気象特性を反映して 27 地域に分類した上で 1988~2004 年までの解析雨量を用いて DA 解析を行い地域ごとの最 大級降雨について評価を行った <sup>¬</sup>. 菅原らは米代川流域 において、再現期間と雨域面積の関係性を表す RA 式を 立式し、その結果として再現期間 100 年の降水の、空間 における再現期間は 1.4 年であることを示した. また、 RA 式の立式方法により、空間発生確率は大きく変化す ることを示した<sup>®</sup>. Overeem et al.は、オランダにおけるレ ーダー雨量データを用いて、極値降水の頻度解析を行う ための GEV 分布パラメータを期間と面積の関数により モデル化する新たな方法について提案した<sup>®</sup>. このようにレーダー雨量を利用した極値降水の空間的 特徴の研究は数多く行われているが,確率降水量の解析 範囲を変えることにより,極値降水の時空間的な特性を 求める研究は行われたことがない. そのため,本研究 では GCM を用いて日本全国における極値降水の時空間 的特性を明らかにすることを目的とする.まず初めに, 日本全国における極値降水の空間発生確率を求める.次 に100年に1度の極値降水が何メッシュに1度発生して いるか,再現期間と再現面積の関係性について調べる. 最後に,確率降水量の解析範囲を変化させることにより, 極値降水の時空間関係を解析する.

## 2. 対象地域・データセット

対象地域は小笠原諸島などを除く日本全国である.使用する GCM データは気象庁気象研究所が開発した水平 解像度 5km の非静力学地域気候モデル(NonHydrostatic Regional Climate Model; NHRCM05)<sup>100</sup>である.日本全土 を含む総メッシュから陸域を含むメッシュを抜き取り, 解析した.解析期間は 20世紀末 20年分(1981-1999年) の現在気候である.NHRCM05 はランベルト正角円錐図 法であるため,メルカトル図法に変換したデータを用い て解析した.

#### 3. 降水量の空間分布特性

#### (1) 年最大時間降水量の平均値の空間分布

日本は南北に長く、地域による気候差が大きいという 特徴がある.日本全国で再現期間 100 年に相当する降水 量は図-1 のように分布している.北かつ日本海側ほど 降水量は少ない傾向がみられ、地域差が大きいことが分 かる.よって、地域により再現期間 100 年に相当する確 率降水量は異なることが言える.

#### (2) 年最大時間降水量の変動量の空間分布

年最大時間降水量の平均値が大きいほど,年最大時間 降水量の取りうる変動量も大きくなることが推定される. メッシュ毎に 19 年間の年最大時間降水量の最大値と最 小値の変動量を比較する空間分布を図-2 に示す. 概ね 図-1 の分布と相関性がみられるが,図-2 の方がより局 地的な降水の有無を表している.

## 4. 降水量の標準化

3章にて述べた通り,再現期間100年の降水量は地域



図-1 年最大時間降水量の平均値の空間分布



図-2 年最大時間降水量の変動量の空間分布

により異なるため、降水量データをそのまま確率降水量 の計算に適用すると地域比較ができない.そのため、各 メッシュにおける 19 年間の年最大時間降水量を標準化 し、地域差を考慮せずに比較ができるデータに変形した. 標準化に用いた式を(1)に示す.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \tag{1}$$

ここで, *X*: 降水量データ, *Z*: 標準化した降水量デ ータ, μ: 降水量*X*の平均値, σ: 降水量*X*の標準偏差で ある.

#### 5. 確率降水量の算出

## (1) 確率降水量の算出方法

確率降水量の算出には一般的な極値分布の中で唯一,定 義域をマイナス無限大からとる極値分布として Gumbel 分布を用いた. Gumbel分布の式を(2)に示す.

$$F(x) = exp\left[-exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right]$$
(2)  
$$E(x) = a + b \cdot r$$
  
$$V(x) = \frac{\pi^2 \cdot b^2}{6}$$

ここで、*F*(*x*):確率変数 *x* の確率分布関数, *ab*: 母数
 パラメーター,*E*(*x*):確率変数 *x* の平均, *V*(*x*):確率変数 *x*の分散, *r*: オイラーの定数である.

#### (2) 解析範囲別の確率降水量

確率降水量は一般的に1地点のデータを用いて解析される.しかし、本研究では確率降水量の解析範囲(期間と面積)を変化させることにより、極値降水の時空間特性を解明しようと考えている.解析範囲の設定方法と、確率降水量推定の手順を以下に示す.

- 解析範囲は期間と面積の組み合わせである.期間は (1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 17 年),面積は(1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 144, 196 メッシ ュ)とする.面積は矩形に設定した.この時,1年 1メッシュから17年196メッシュまでの96組の組み 合わせができる.
- 解析範囲の組み合わせ毎に5つのサンプルを作成する.サンプルの対象期間と位置は、乱数を発生させることにより、無作為に設定した.この作業により、特定の期間、地域に偏りが発生しないようにした.
- 3) 各サンプルの空間発生確率を求め、解析範囲による 違いを比較するために、推定値と標準偏差を求めた. 推定値は5つのサンプルの確率降水量の平均値であ る.

#### 6. 極値降水の空間発生確率

極値降水が空間的にどの程度発生しているのか調べる ために、極値降水の空間発生確率を求める.空間発生確 率とは、ある範囲内において、1年間に1度でも極値降 水が観測される確率のことである.

再現期間 100 年の極値降水について、対象とする面積 を広げた場合に、発生確率がどの程度増加するかを調べ る.ここで、対象とする範囲を区画と呼び、1 区画当た りの面積を、区画面積とする。例えば4メッシュを1 区 画とする場合、区画面積は4メッシュである。また、区 画は矩形に設定する。各メッシュにおける再現期間 100 年の確率降水量を 5(1)の方法により算出する。次に、区 画内の1メッシュ以上において 100 年確率降水量を超え る確率、つまり空間発生確率を求める。求めた区画面積



図-3 区画面積による空間発生確率の変化

と空間発生確率の関係を図-3に示す.

グラフから、100年に1度の極値降水の空間発生確率 は、区画面積を増加させると増加する.しかし、区画面 積増加による空間発生確率の増加率は、緩やかになる傾 向がみられた.例えば区画面積が100メッシュの場合、 空間発生確率は約0.13である.時空間的に降水の発生が 独立であるならば、区画面積100メッシュの場合の空間 発生確率は(1-0.99<sup>100</sup> = 0.63)であると考えられる. 従って、極値降水の発生には空間的な従属性があること が示唆される.

## 7. 結果・考察

## (1) 極値降水の再現期間と再現面積の関係

再現期間 100 年の極値降水が,1年間に日本全国にお いて何メッシュに1度発生しているか,極値降水の再現 面積を求める.再現面積とは確率降水量の解析範囲を空 間にとり,確率降水量が発生すると期待される面積のこ とである.再現面積 100 メッシュの極値降水は 100 メッ シュに1度発生すると期待される極値降水である.ここ で,再現期間 100 年と再現面積 100 メッシュの極値降水 が発生する確率は、どちらも1メッシュ,1年間あたり 1/100 である.一方で,1/100 確率降水量は解析範囲によ り,異なる値となる.そのため,解析範囲を時間にとる 場合と空間にとる場合により,確率降水量がどの程度変 化するかを調べる.ここで,1/100 確率降水量とは,あ る1年間に1メッシュで発生する確率が 1/100 である降 水量である.

再現期間 10, 20, 50, 100, 150, 200 年の極値降水の 再現面積を求め, 図-4 に示した. グラフから, 再現期 間が長い極値降水ほど, 再現期間に対する再現面積が大 きくなる傾向がみられる. 特に, 200 年確率降水量の再 現面積は約 806 メッシュである. 再現面積が再現期間よ り長いことは, 極値降水の従属性を表している. 極値降 水が発生する年と発生しない年の面積差が大きいため,



再現面積の平均値が大きくなると考えられる.

## (2) 解析範囲による確率降水量の比較

極値降水の確率降水量推定において,解析範囲を空間 にとるか,時間にとるかにより,確率降水量の推定値が 異なることが分かった.そこで,解析範囲を時空間にと り,同等の確率降水量を推定できる解析面積と解析期間 の関係性について調べる. 5(2)の手法を用いて算出した 各サンプルの 1/100 確率降水量から,解析範囲の組み合 わせ毎の 1/100 確率降水量の推定値と標準偏差を算出す る.また,1/100 確率降水量の「基準値」を,各メッシ ュで19年間のデータから求まる 1/100 確率降水量とする. 全てのメッシュにおける確率降水量分布は,標準化によ り同じ値となっている.そのため,19年間分のデータ を用いて解析した場合,1/100 確率降水量は全てのメッ シュで同じ値となる.

各解析範囲における 1/100 確率降水量の推定値と基準 値の差を比較し図-5 に示した.グラフから、1年のデー タのみを用いた場合は、いずれの面積における解析も過 小評価となり、確率降水量の推定に適していないことが 分かる.5年のデータを用いた場合、推定値は基準値と 比べて過大評価にも、過小評価にもなり、144メッシュ 程度以上に解析面積を拡大すると、基準値に近似するこ とが分かる.同様に10年、15年と期間を長くするほど、 1/100 確率降水量の推定値は基準値と近似し、推定値誤 差は小さくなる.

さらに、標準偏差を用いて解析範囲毎に 1/100 確率降水量のばらつきを調べ、図-6 に示した. グラフから、 推定値誤差と同様に解析期間が長いほど、標準偏差が小 さいことが分かった. 推定値誤差の推移と比較すると、 解析面積を広げることによる標準偏差の減少はあまり見 られない. このことから、1/100 確率降水量の標準偏差 は解析面積より解析期間の影響をより強く受けることが 言える.

#### (3) 極値降水の時空間関係

次に、1/100 確率降水量の推定値誤差と標準偏差を用 いて、極値降水の時空間関係を調べる.ここで、時空間 関係とは、確率降水量を求める解析範囲における期間と 面積の関係のことである.1/100 確率降水量の推定値と 標準偏差が同等である場合の解析範囲を比較し、時空間 関係を明らかにする.ただし、推定値と標準偏差は変動 幅が大きく、サンプル数も5つと少ない.そのため、累 積値を用いて、推定値誤差と標準偏差が同等といえる解 析範囲を調べる.累積値は解析面積の最大値である196 メッシュを起点に、解析期間毎に算出した.各解析範囲 の推定値誤差の累積値を図-7 に、同じく標準偏差の累 積値を図-8 に示した.

図-7,8から累積値を比較すると、解析期間が長いほ ど累積値は小さくなることが分かる.ここで、累積値が ある一定の値であるときに、標準偏差と推定値誤差は同 等となると仮定し、累積値の基準を設けた. つまり、こ の基準と交わる解析範囲においては、いづれも同等の精 度で確率降水量を求められると考える. 基準の決定方法 は, 誤差のばらつきが大きく減少する解析範囲にとし, 目視により決定している. 例えば、解析期間が5年の場 合の推定値誤差は、144 メッシュ付近で小さくなり、解 析期間が 10年の場合の推定値誤差は, 49メッシュ付近 で小さくなる様子が見られる. そのため, これらの解析 範囲における推定値誤差の累積値から、基準を累積値が 0.5 かつ推定値誤差が 0.2 未満とした. 推定値はあくまで も5つのサンプルの平均であるため、ばらつきが大きい にも関わらず、偶発的に推定値が基準値と一致する可能 性も考えられる. そのため, 標準偏差の累積値に関して も基準を設け、時空間関係の精度を向上させる.標準偏 差の累積値の基準は推定値誤差の基準を基に決定した. 本研究では、基準を累積値が1.5かつ標準偏差が0.5未満 とした.

各解析範囲の推定値誤差と標準偏差の累積値が基準値 未満であり、かつ解析面積が最小となる解析範囲を求め る. 求めた解析範囲を図にプロットすると、図-9のよ うに表せる. つまり、1/100 確率降水量を求めるために 必要な解析範囲として,緑の線上は同等であることが言 える. 例えば、15年4メッシュと5年144メッシュは、 必要な解析範囲としては同等である. これらの関係性か ら、極値降水の発生する面積と期間の時空間関係が分か る. この関係が解明されることにより、今まで100年に 1度と表現されていた規模の豪雨が、空間を広げるとど の程度発生しているかが分かる. 同様の手法により 1/10, 1/20, 1/50 確率降水量に関する解析範囲の関係性も図-9 のグラフに示した. 必要となる解析範囲の関係性につい て、1/100 確率降水量の場合と比較する. 解析範囲によ り比較すると、解析期間が長くなるほど、解析範囲は減 る傾向がある.一方,解析期間が短く,5年程度の場合





は解析範囲は 1/10 確率降水量も 1/100 確率降水量も同じ であった. つまり,確率降水量を求める場合,必要とな る解析面積は再現期間面積によりあまり変化しない. し かし,本研究の解析範囲,並びに関係性の精度は決して 良いとは言えない. 今後の研究でより精度の高い極値降 水の時空間的関係を示すことができると考えられる.

## 8. 結論

本研究では GCM(NHRCM05)を用いて、日本全国にお ける極値降水の時空間関係を明らかにすることを目的と した.以下に得られた結論を示す.

 再現期間 100 年の極値降水における空間発生確率 を求めたところ,極値降水は空間的にまとまって 発生する傾向がある.再現期間 100 年の極値降水



は区画面積 100 メッシュにおいて,約8年に1度発 生する.極値降水の従属性を示すことができた. 2). 再現期間から再現面積を求め,関係性について調 べた.すると100年確率降水量の再現面積は137メ

ッシュであった.また,200年確率降水量の再現面 積は806メッシュであり,再現期間が長いほど年 による極値降水の発生面積に大きな変動があるこ とが示された.

3) 確率降水量を求める解析範囲を変動させることにより、解析範囲毎の確率降水量の推定誤差と標準偏差を算出した.推定誤差と標準偏差を用いて同程度に確率降水量を推定できる解析範囲の時空間関係を明らかにした.この時空間関係は、ある期間の極値降水の分布が、どの程度の範囲(期間,面積)の極値降水の分布に匹敵するかを表している.これにより、100年に1度の極値降水がどの程度の面積、期間に1度発生しているかを推定することが可能である.

謝辞:本研究は,科学研究費補助金(19K21982,代表:風間聡)の助成を受けたものである.また,東北地域づくり協会ならびに三井共同建設コンサルタントの支援により実施された.本論文の公表には澤本正樹研究発表奨励金の援助を受けた.本研究で利用したデータセットは,文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で,収集・提供されたものである.

## 参考文献

 国立研究開発法人防災科学技術研究所水・土砂防災研究 部門,令和元年台風第 19 号に伴う大雨と強風について (速報) (最終閲覧日:2021年7月28日) http://mizu.bosai.go.jp/wiki2/wiki.cgi

- 2). 地球温暖化予測情報, 第8巻, 2013.
- 豊田将也・吉野純・小林智尚:日本に上陸する台風の強度に関する将来変化の統計的特性,土木学会論 文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, I\_1339-I\_1344, 2018.
- 中北英一・小坂田ゆかり:気候変動に伴う梅雨期集 中豪雨と大気場の将来変化に関するマルチスケール 解析,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I\_139-I\_144, 2018.
- 5). 中北英一・草野晴香・峠嘉哉・Sunmin KIM: AGCM アンサンブルを用いた梅雨期集中豪雨の大気場特性 の出現頻度に関する将来変化,京都大学防災研究所 年報, No.59, pp230-248, 2016.
- 一般財団法人気象業務支援センター:過去の気象デ ータ,解析雨量 http://www.jmbsc.or.jp/jp/offline/cd0100.html

売川英誠・宝 馨:レーダー・アメダス解析雨量を用いた地域別最大雨量の評価、河川技術論文集、第14

- 巻, pp181-186, 2008.
  8). 菅原雄太・風間聡・峠嘉哉:レーダー・アメダス解 析雨量を用いた豪雨の空間分布特性の分析,土木学 会論文集 B1, Vol.74, No.4, p.l\_343-l\_348, 2018.
- A.Overeem, T.A.Buishand, I.Holleman, R.Uijlenhoet: Extreme value modeling of areal rainfall from weather radar, Water Resources Research, Vol.46, Issue.9, 2010.
- 10). 気象庁(2013), 地球温暖化予測情報第8巻