

d4PDF を用いた九州地方における将来の豪雨気象場の分類予測

弘中 勇駿¹⁾・朝位 孝二¹⁾・西山 浩司³⁾

¹⁾山口大学大学院創成科学研究科, ²⁾九州大学大学院工学研究院環境社会部門

1. はじめに

近年では、線状降水帯に関連した豪雨災害が多く報告されている。九州地方は、線状降水帯の発生が全国的に見ても顕著に多い地域の一つである¹⁾。特に、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込む暖候期にその発生件数が多い²⁾。最近の事例として、2020年7月の球磨川豪雨では線状降水帯を伴う豪雨が発生し、球磨川流域の広い範囲で深刻な被害が生じた。以上から、九州地方における線状降水帯の発生特性を把握することは防災上重要であると考えられる。加えて、将来の気候温暖化による豪雨の頻発化・激甚化が指摘されている。日本の年平均気温は長期的に上昇しており、過去100年で約1.4°Cの上昇傾向が認められる。さらに、IPCC第5次評価報告書では、2100年までに地球平均気温が最大で4.8°C上昇することを示唆している。また、過去数十年間の地球温暖化の進行に伴い、極端降水が増加していることは明らかである。特に、現在気候下においても、豪雨災害が頻発する九州地方では、将来気候下での気象場の変化を明らかにすることは防災上極めて重要である。

著者ら³⁾は過去の研究で、解析雨量から線状降水帯を抽出し、SOMによる気象場分類に結び付け、線状降水帯が発生しやすい気象場を明らかにした。本研究では、d4PDFから気象場を抽出し、上述の現在気候下における気象場を学習したSOMを用いて分類を行い、現在気候(JRA-55)、2°C昇温実験(d4PDF)、4°C昇温実験(d4PDF)間での各気象場パターンの発生頻度の比較分析を実施する。これにより、地球温暖化に伴う昇温条件下で、線状降水帯の発生に寄与する気象場パターンの頻度がどのように変化するかを明らかにする。

2. SOMによる線状降水帯リスクが高い気象場の特定

JRA55から、積乱雲の発生に関わりが深いとされる850hPaにおける東西方向の風速、南北方向の風速および可降水量の3要素からなる気象場を抽出し、SOMを用いて学習を行う。対象領域は図-1中の赤丸で示す126.25~133.75°E, 28.75~36.25°Nに設定する。対象期間については、2006~2023年の18年間で6月~9月とした。また、図-1中の青線で示す九州地方を囲む128.0~132.2°E, 30.5~34.0°Nの領域の解析雨量から線状降水帯を抽出し、その積算結果をSOMの各ユニットに結合し、豪雨リスクの指標とした。SOM構築の手順および線状降水帯の抽出の詳細については紙面の都合上、著者ら³⁾の過去研究を参照されたい。本研究で作成したSOMを図-2に示す。図-2は線状降水帯の事例数を積算した結果をユニットに結合したSOMである。図中の小さな□がユニットであり、黒い太線で囲まれている領域がグループである。また隣接するユニットは似た性質

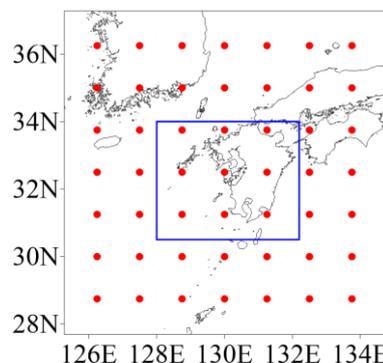
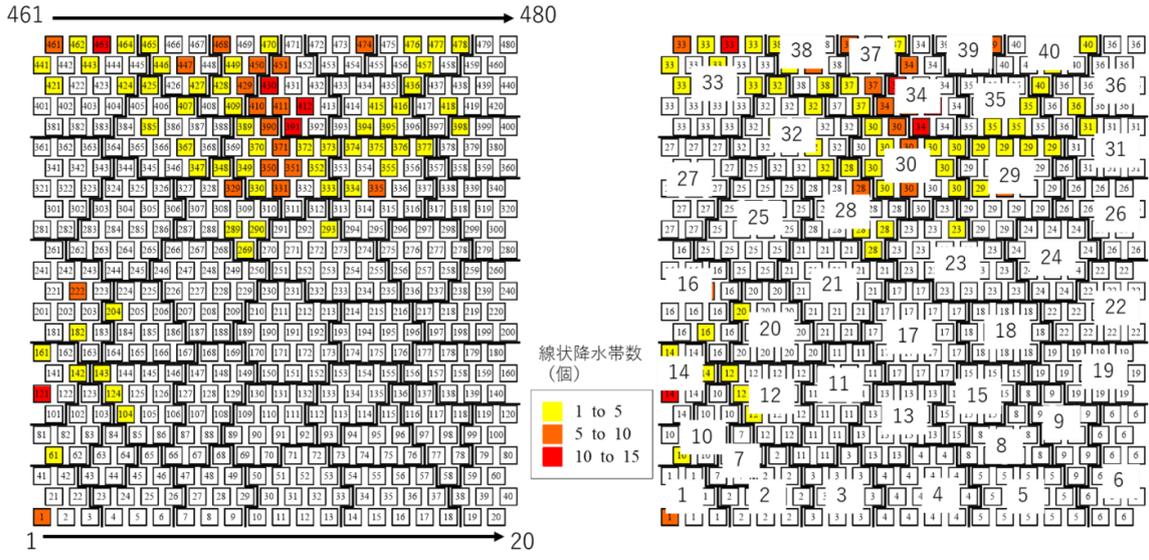


図-1 気象場(赤丸)と解析雨量(青線)の対象領域



(a) ユニット内の数値はユニット番号 (b) ユニット内の数値はグループ番号
 図-2 線状降水帯の積算個数をユニットに結合した SOM

を持った気象場であり、さらにユニット同士でグループを形成する。左図のユニット内の数字はユニット番号、右図のユニット内の数値はグループ番号を表している。代表的な線状降水帯発生日時の SOM 分類結果として、令和 2 年 7 月 球磨川豪雨 (G34, U411) や西日本豪雨 (G37, U468) などの多くの豪雨事例が SOM の上方の中央部分のユニットに分類される。令和元年 8 月 豪雨 (G33, U443) や 2022 年 7 月 19 日に福岡県や大分県で線状降水帯が発生した事例 (G33, U463) では SOM の上方の左側部分に分類される。令和 4 年台風第 14 号 (G1, U1) は左下方に分類される (G はグループ番号, U はユニット番号を意味する)。SOM の上方の中央部分の気象場が前線系豪雨の気象パターンであり、下方部分の気象場が台風系豪雨の気象パターンであることが分かる。

九州地方において線状降水帯発生数が多い上位 3 グループ (G34, G30, G33) について、グループ毎に線状降水帯の発生状況とその気象場パターンについて考察を行う。図-3~図-5 に線状降水帯分布図 (左) と気象場パターン (右) を示す。G34 では線状降水帯が九州南部に集中していることが分かる。気象場は九州南部で可降

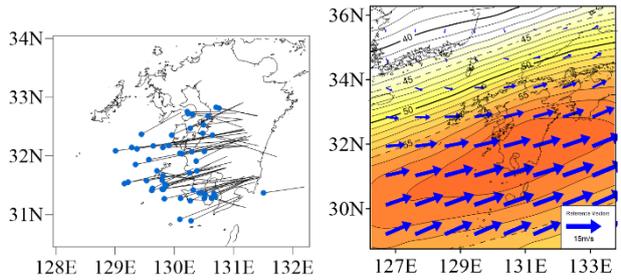


図-3 G34 の線状降水帯分布 (左) と気象場 (右)

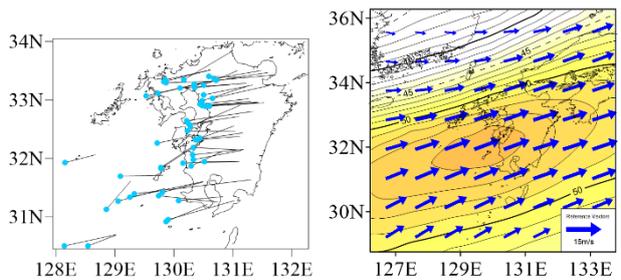


図-4 G30 の線状降水帯分布 (左) と気象場 (右)

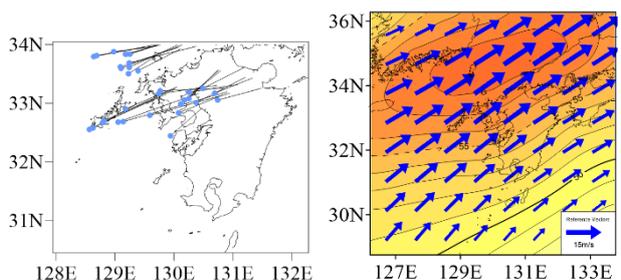


図-5 G33 の線状降水帯分布 (左) と気象場 (右)

水量と風速が大きく、九州南部に大量の水蒸気が流れ込むパターンであることと考えられる。G30では九州地方の広い範囲に線状降水帯が分布している。気象場を見ると、九州全域で風速が速い南西風であり、可降水量が大きい領域が九州全域に広がっており、九州地方の広い範囲で線状降水帯が発生しやすい気象場パターンであると考えられる。G33では線状降水帯が九州北部に集中しており、九州北部から対馬海峡に渡って可降水量が大きい領域が広がる。また九州北部で速い風速場が見られる。九州北部に大量の水蒸気が流れ込むパターンと考えられる。

3. SOMによるd4PDFの将来気象場の分析

本研究では、d4PDFからSOM学習に用いた条件と同様の気象要素を抽出し、気象場を表現する。抽出した気象場を本研究で作成したSOM(図-2参照)を用いてパターン分類し、現在気候(JRA-55)、2°C昇温実験(d4PDF)、4°C昇温実験(d4PDF)間での各気象場パターンの発生頻度の比較分析を行った。表-1に各データの分類対象期間を示す。d4PDFでは温暖化による海面水温(SST)の上昇の不確実性を考慮するために、複数の全球気候モデル(GCM)が存在し、各GCMが複数のメンバを有する。本研究では、海面水温(SST)の不確実性を網羅的に評価するため表-2に示す6GCM×1メンバで検討を行った。

図-6に現在気候、2°C昇温実験、4°C昇温実験でSOM分類頻度の比較を示す。ここで、2°C昇温実験、4°C昇温実験については、6つのGCMの分類結果を合計したものを示している。

線状降水帯事例が多いG34、G30、G33に着目する。九州南部で線状降水帯が多いG34では、気温上昇により、分類頻度が高まることが見受けられる。2°C昇温実験では現在気候の1.19倍の分類頻度であり、4°C昇温実験では1.64倍の分類頻度である。この結果は、気温上昇によって九州南部で線状降水帯が発生しやすい気象条件となる頻度が上昇することを示唆する。九州全域で線状降水帯事例が散見されるG30では、気温上昇により、分類頻度が低下することが見受けられる。2°C昇温実験では現在気候の0.36倍の分類頻度であり、4°C昇温実験では0.13倍の分類頻度である。現状で線状降水帯の発生要因となる気象場パターンの中には、気候温暖化によって頻度が減少する気象場パターンも存在することが分かる。九州北部で線状降水帯が多いG33では、2°C昇温実験では現在気候と分類頻度に有意な差はなく、4°C昇温実験では1.20倍の分類頻度である。この結果から、大幅に気温上昇した場合、九州北部で線状降水帯実績が多い気象場の発生頻度が高まることが窺える。

続いて、気温上昇により分類頻度が顕著に高まるG20、G32、G38の気象場を図-7に示す。

G20における2°C昇温実験では、現在気候の2.79倍の分類頻度であり、4°C昇温実験では3.82倍の分類頻度である。G20の気象場は太平洋高気圧が張り出す典型的な夏の気象状態である。線状降水帯の事例は少ないが、局地的豪雨を引き起こす可能性があり、そのため分類頻度が高まる結果には注意を払う必要がある。G32における2°C昇温実験では、現在気候の1.63倍の分類頻度であり、4°C昇温実験では2.47倍の分類頻度である。G32は九州北部付近で可降水量が高く、南西風の気象場である。G33と似た気象

表-1 各データの分類対象期間

| データ名 | 分類対象期間 |
|---------------|-------------------------------------|
| JRA-55 現在気候 | 2006~2023年(18年間)、6~9月、JST3、9、15、21時 |
| d4PDF 2°C昇温実験 | 2031~2091年(61年間)、6~9月、JST3、9、15、21時 |
| d4PDF 4°C昇温実験 | 2051~2111年(61年間)、6~9月、JST3、9、15、21時 |

表-2 本研究で扱ったd4PDFのGCM

| GCM | GCM開発機関 | 特徴 |
|------------|---------------------|---|
| MIROC5 | JAMSTEC・東大・NIES(日本) | d4PDFのベースGCMと同じであり、日本域における気候応答の解釈において広く用いられる。 |
| MRI-CGCM3 | 気象研(日本) | 西太平洋の昇温分布が他モデルと異なる。 |
| CCSM4 | NCAR(米国) | 北太平洋及びインド洋の海面水温応答に特徴がある。 |
| GFDL-CM3 | NOAA/GFDL(米国) | ENSOに対する応答が比較的強い。 |
| HadGEM2-AO | UK Met Office(英国) | アジアモンスーン強化が顕著。 |
| MPI-ESM-MR | MPI-M(独) | 大西洋における昇温が相対的に強い。 |

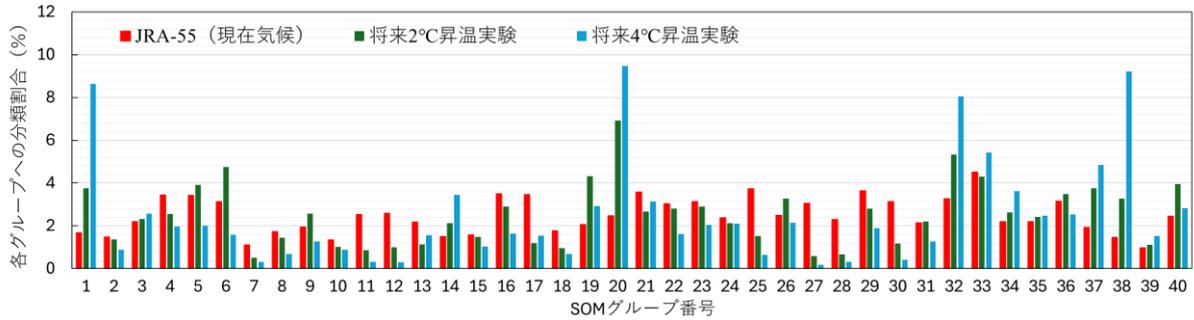


図-6 各データの SOM グループへの分類割合の比較

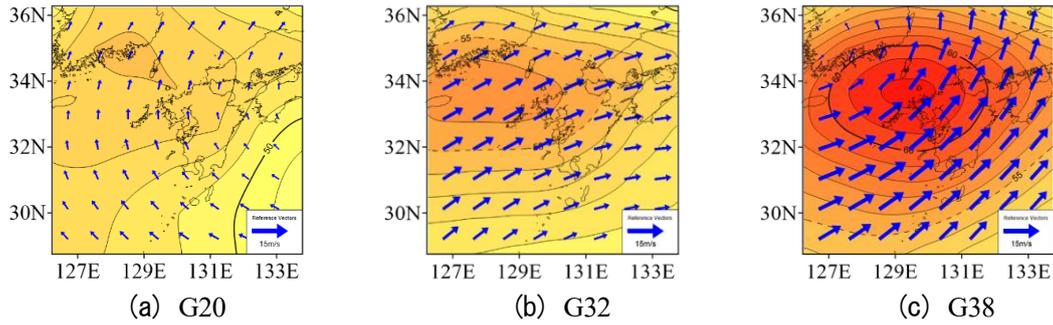


図-7 気温上昇により分類頻度が高まるグループの気象場

場であるため、分類頻度が高まることで、九州北部における豪雨リスクが高まることが考えられる。G38 における 2°C 昇温実験では、現在気候の 2.22 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 6.28 倍の分類頻度である。G38 は九州北部で降水量が高く、強い南西風の気象場である。JRA-55 や現在気候の分類頻度は低い、複数の線状降水帯実績があるため、分類頻度の上昇はリスクが高い挙動である。

4. おわりに

本研究では、d4PDF と SOM を用いた地球温暖化に伴う気象場の発生頻度の変化の分析を行った。九州南部で線状降水帯実績が多い G34 や九州北部で線状降水帯実績が多い G33 では昇温により気象場の頻度が高まる傾向を示した。一方で、九州の広い範囲で線状降水帯実績がある G30 の頻度は減少傾向であった。また、G20, G32, G38 の気象場では昇温による著しい頻度の上昇が見られた。この 3 グループは九州北部で多湿である共通点を持つ。気温上昇により線状降水帯のリスクが高い気象場や将来的に豪雨リスクが見込まれる気象場の増加傾向が見受けられるため、将来に向けた防災・減災対策の強化が求められる。

参考文献

- 1) Hirokawa, Y., Kato, T., Tsuguti, H., and Seino, N.: Identification and Classification of Heavy Rainfall Areas and their Characteristic Features in Japan, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 98, No.4, pp. 835–857, 2020.
- 2) 津口裕茂, 加藤輝之: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, 天気, 61 巻, 6 号, pp. 455-469, 2014.
- 3) 弘中勇駿, 朝位孝二, 西山浩司, 森健太: 自己組織化マップを用いた九州地方の線状降水帯の分析と診断モデル, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 82 巻, 第 16 号, 2026, 印刷中