

5kmd4PDF とダウンスケール計算を用いた
線状対流系のスケール別再現性評価と統計的将来予測

Statistical Future Projections and Scale-Dependent Reproducibility Confirmation in Line-shaped
Convective Systems Using 5km-d4PDF and Downscaling Calculation

○岡田 睦巳・仲 ゆかり・山口 弘誠・中北 英一

○Mutsumi OKADA, Yukari NAKA, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA

In these days, various water-related disasters caused by rainfall are intensifying due to global warming. Our objective is to investigate the future changes of Line-shaped mesoscale convective systems (MCS) using 5km-resolution d4PDF. First, we confirmed the reproducibility of localized line-shaped MCS in high-resolution d4PDF by comparing it with observational past cases. We also confirmed that the three-dimensional structure characterizing MCS was reproduced. As a result, we found that 5km-resolution d4PDF can effectively represent line-shaped MCS occurring across Japan at various spatial scales. In addition, we investigated future changes in line-shaped MCS's occurrence frequency, season, duration, accumulated rainfall, and so on. As a result, we showed that while regional differences exist, these indicators will shift toward increasing disaster risk in the future. Furthermore, we discussed future projections based on the results of reproducibility. (132 words)

1. はじめに

停滞前線に伴って発生する線状対流系は局所的かつ猛烈な豪雨によって河川氾濫や土砂災害を誘発し、甚大な被害を生ずる危険な現象だ。近年、地球温暖化が進む中で様々な気象災害が激甚化しており、線状対流系に関してもその将来変化が懸念される。激甚化する気象災害に備え、今後、インフラ整備等、適切な防災対策を進める必要があり、それに際して精確かつ詳細な線状対流系の将来予測情報が不可欠だ。そこで本研究では2023年に完成し、水平解像度5kmという高解像度かつ大量アンサンブル数を特徴とする領域気候モデル実験出力d4PDF(database for Policy Decision making for Future climate change; Kawase et al. [1])を用いて、5kmという解像度における線状対流系の再現程度を評価した上で、線状対流系の将来変化の解明を目指す。

2. 抽出手法

d4PDFの降雨分布データを元に線状対流系を抽出した。抽出データは、過去気候、2℃上昇気候、4℃上昇気候(1850年産業革命時と比べた地上平均温度)の3シナリオにおける各60年間×12アンサンブル(計2160年分)の6～8月期とした。最初に、各格子の30分毎30分積算雨量から、30分毎の前3時間積算雨量分布を計算し、仲ら[2]の楕円抽出手法を用いて全楕円雨域を抽出した。

さらに、楕円の時間連続性と重複率に着目して、全楕円雨域を事例別にまとめた後、中北ら[3]の基準を元に作成した表1を踏まえた目視判別と自動判別を併用して、明らかに停滞前線に伴う線状対流系ではない事例を解析対象から除き、停滞前線性線状対流系事例のみのデータ群を完成させた。表1 線状対流系の目視判別に用いた指標

線状対流系の目視判別の際に確認する基準	
✓ 停滞する線状の雨域が確認できるか。	✓ 太平洋高気圧の西縁辺や南シナ海等、南方からの水蒸気が供給されているか。
✓ 付近に低気圧や台風が存在しないか。	日本海側の事例の場合は、日本海から水蒸気が供給されている場合もある。
✓ 地表面の相当温位の水平勾配が大きいか。	

3. 再現性評価

d4PDFの5kmという解像度における線状対流系の再現性能の評価・確認を行った。まず、2014年広島豪雨や2020年球磨川豪雨といった過去観測された顕著な線状対流系と類似した降雨分布を持つ現象がd4PDF内で発生しているか確認した(図1)。結果、日本の北から南まで様々な地域や、大小様々な空間規模で発生した過去の顕著な線状対流系に似た複数の事例再現が確認できた。全シナリオ・顕著豪雨に対して類似事例が再現された結果は、5km解像度d4PDFにおける線状対流系豪雨の再現性能を裏付けるのみならず、そのような顕著な線状対流系豪雨が再び発生する可能性を示唆している。さらに、類似事例として抽出した一部の事例の雲水量と風の鉛直分布を分析した(図2)。結果、長さ50km程度の比較的小さな空間規模の事

例まで、積乱雲の連なりや下降流など線状対流系を特徴づける鉛直構造の存在が確認できた。一方、長さ 40km 程度以下の極めて小さな線状の雨域ではこれら鉛直構造の存在が明確には確認できず、d4PDF の 5km という解像度では、バックビルディングに代表される線状対流系としての構造に対して、再現性能の限界が存在することが示唆された。

4. 将来変化予測

温暖化に伴う線状対流系の災害リスクの変化を知ることを目的として、発生頻度、発生時期、継続時間、総雨量等の指標に関して将来変化予測を行った。抽出の結果、過去気候 14380 事例、2°C 上昇気候 19467 事例、4°C 上昇気候 19030 事例が線状対流系として抽出できた。地方別で見ると、東日本では温暖化に伴って発生頻度が徐々に増加する一方、西日本では温暖化に伴って必ずしも線型的に増加しないことが分かった(図 3)。発生時期に関しては、過去気候シナリオと比較して温暖化シナリオでは 6-8 月期のほぼ全時期に顕著な増加が確認できた。また、2°C 上昇時に比べて 4°C 上昇時では豪雨の多発時期が前倒しになる傾向が見られた。継続時間と総雨量に関して図 4 を作成した。その結果、継続時間と総雨量の双方で将来、増加傾向が見られた。さらに、緑円で示す過去観測事例群の分布が過去気候シナリオでの事例の分布内に収まっており、5km 解像度 d4PDF が線状対流系を定量的にも良好に再現可能なことが確認できた。

5. 結論と展望

5km 解像度 d4PDF が定性的かつ定量的に線状対流系をある程度良好に再現可能なことを確認した。一方で空間規模が極めて小さな線状対流系については、構造的な再現性の限界が見られ、将来評価の際はこの特性への注意が必要なことを示唆した。また、線状対流系は温暖化シナリオ下で頻度・強度共に増加し、災害リスクが増大する方向へ将来変化することを明らかにした。講演までに再現性限界を踏まえ、空間スケールを考慮した将来変化予測の議論を行うことを目指す。

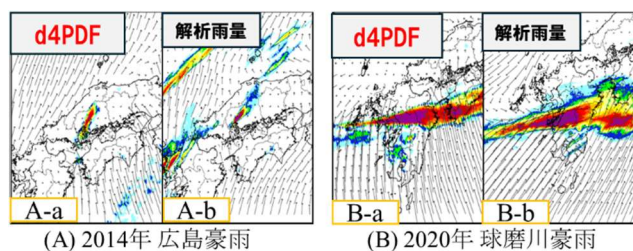


図 1 (a) d4PDF で表現された線状対流系事例と

(b) 解析雨量による過去事例の比較。

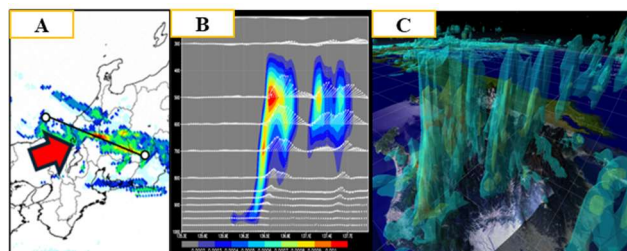


図 2 (A): d4PDF で表現された線状対流系の 30 分積算雨量分布. (B): (A) 図内の黒線断面における雲水量と風の鉛直分布. (C): (A) 図赤矢印方向から見た雲水量の 3 次元分布.

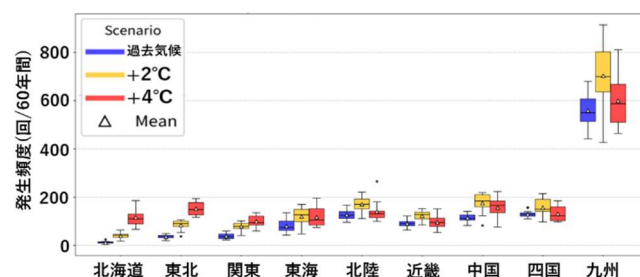


図 3 各地方における線状対流系事例の発生頻度.

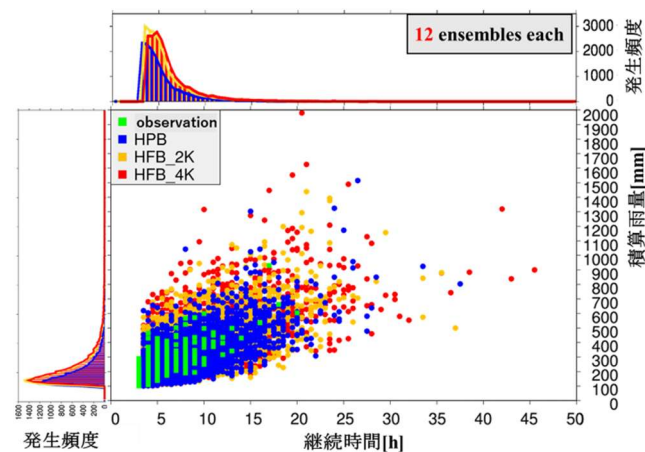


図 4 各線状対流系の継続時間(横軸)と総雨量(縦軸). 過去事例(緑円), 過去気候再現(青), 2°C 上昇気候(黄), 4°C 上昇気候(赤)についてプロットした。なお、上と左の図は各指標のヒストグラムを示す。

- 1) Kawase et al, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 128, e2023JD038513
- 2) 仲ゆかり・福田果奈・中北英一: 時空間特性を考慮した停滞前線性線状対流系の過去事例における発生・発達条件の統合的解析, 土木学会論文集, 80 (16):23-16006, 2024.
- 3) 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), 74(4), I_139-I_144, 2018