

風速場操作位置に関する都市型豪雨抑制理論の普遍化
The Generalization of Urban Heavy Rainfall Suppression
Theory Regarding Wind Field Operation locations

○西村太一・山口弘誠・内田孝紀・中北英一

○Taichi NISHIMURA, Kosei YAMAGUCHI, Takanori UCHIDA, and Eiichi NAKAKITA

Localized heavy rainfall (guerrilla heavy rainfall) is challenging to predict due to its small temporal and spatial scales, causing significant damage in recent years to urban areas in Japan. Additionally, with ongoing global warming, there are concerns about the intensification of heavy rainfall. Therefore, there is hope that controlling heavy rainfall artificially could mitigate its impact. In previous studies on heavy rainfall suppression, it has been demonstrated that operating the wind field near the convective core to weaken the wind velocity can suppress heavy rainfall, using the Toga River rainfall event as a case study. Therefore, this study aims to verify the universality of heavy rainfall suppression effects in other cases, particularly in scenarios where urban effects strongly contribute to the occurrence of heavy rainfall. To achieve this, the environment immediately before the occurrence of guerrilla heavy rainfall was first classified using a Self-Organizing Map (SOM). Among these, cases with strong urban effects were reproduced using the mesoscale meteorological model CReSS. Subsequently, downscaling calculations and wind field operation experiments were conducted using the LES model.

1. はじめに

近年、日本では局地的豪雨（ゲリラ豪雨）が増加している。ゲリラ豪雨は時間・空間スケールが小さい豪雨であるため、予測が容易ではない。また、中北ら（2018）は、温暖化によってゲリラ豪雨の発生頻度が増加することを、5km 解像度領域気候モデル（RCM05）を用いた解析によって明らかにした。そこで、災害規模となりうる豪雨を人工的に抑制する気象制御が期待されている。

気象制御に関連して、山口ら（2024）と西村ら（2024）は気象 LES モデルを用いて、2008 年神戸都賀川豪雨を対象に、雨の元となった対流コアの付近で風速場操作を行うことによる気象制御手法を示した。具体的には、豪雨抑制メカニズムとして、渦管の弱体化がもたらす鉛直渦度の弱まりによる上昇流の抑制、温位場と気流場の不均衡、水蒸気の取り込み量減少を挙げた。また、対流コアの中心から外れた風上の位置で風速場操作を行うと降水強度が抑制できることや、対流コア中心に近い位置で操作を行うことで降水強度のピークが出現する時間が遅くなることを示した。

本研究では、上記の都賀川豪雨を対象とした風

速場操作気象制御実験で得られた豪雨抑制効果が、他事例、特に都市に大きな被害をもたらし得る事例で普遍的に働くかを検証することを目的とする。

2. SOM によるゲリラ豪雨発生環境場分類

ゲリラ豪雨を発生環境場ごとに分類するための手順を示す。まず、2017~2022 年の 5~9 月に発生したゲリラ豪雨を抽出し、さらに都市効果が効く事例に絞るために発生位置が都市域であるものに限定した。そして各事例の発生直前の環境場を MSM で取得し、1000hPa 気圧面での水平風(u, v)、温度、相対湿度、水蒸気混合比、及び CAPE, Bulk-Richardson Number (BRN)、下層での相当温位の最大値と中層での最小値との差 ($\Delta\theta$) を用いて Self-Organizing Map (SOM) を行った。その結果を図 1 に示す。図中の寒色では SOM の各ノードに入った事例数の頻度分布、黒枠で k-means 法による分類結果、赤文字で降水強度と降雨域面積で算出されたトップ 25 事例がどのノードに分布しているかを示す。またその中でも計算資源の都合上より都市効果が大きいと見込めるものに絞るために、周りが山で囲まれていない大阪平野で発生したも

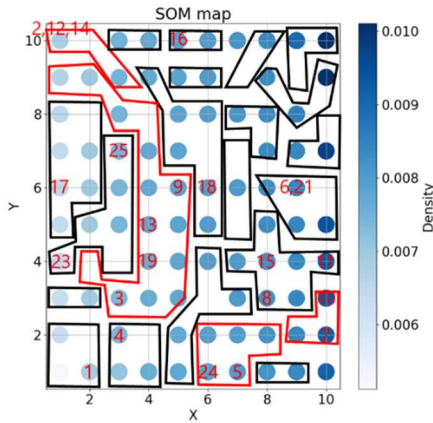


図1 SOM 分類結果. 寒色では SOM の各ノードに入った事例数の頻度分布, 黒枠で k-means 法による分類結果, 赤文字で降水強度と降雨域面積で算出されたトップ 25 事例がどのノードに分布しているかを示す.

のに着目したところ, rank 5: 2022/09/03 1837JST, rank 10: 2018/07/02 1621JST, rank 12: 20180816 1121JST, rank 13: 2020/08/21 1707JST, rank 14: 2022/09/04 1455JST の事例が該当した. また, 都賀川豪雨は rank 12 が属するノードと同じであった.

3. 風速場操作実験結果

前章で示した事例のうち rank10 の事例で CReSS 及び LES モデルでの再現計算を行った. その結果, 対象とした豪雨は, 他の事例よりも大阪湾及び伊勢湾からの流入が大きく, 豪雨発生位置周辺に広い収束帯が形成されており, $\Delta\theta$ が大きい事例であることがわかった. そして LES モデルでの再現結果 (最大降水強度は約 130mm/h) から, 対象とする豪雨の元となった対流コアを特定し, その領域付近で風速場操作の位置を変える感度実験を行った. その結果を図 2 に示す. 図中の四角は各実験での風速場操作領域を示し, 内部の数字は操作なし実験を基準とした各実験での最大降水強度の変化率を示している (より削減できているほど寒色系に変化する). なお, 風速場操作領域は水平 480m 四方, 高さを 220m とした. 高さに関して, 西村ら (2024) が操作デバイスとして想定していた超巨大レンズ風車の高さに合わせた. 今回の事例において, 主風向は北西風であった. よって図 2 からわかるように対流コアの風上かつ中心から外れた位置風速場操作を行うことで最大降水強度を抑制できている. しかし, 西村ら (2024) と異なり, 対流コアの中心で風速場操作を行っても降水強度

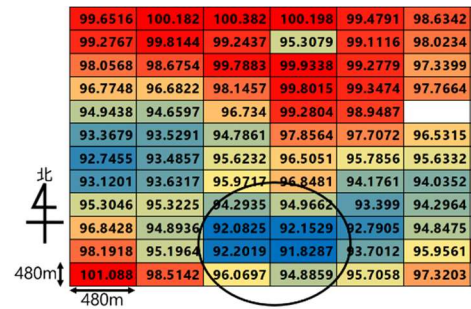


図2 rank 10 の事例における風速場操作位置の感度実験結果. 四角は風速場操作領域を示し, 内部の数字は操作なし実験を基準とした各実験での最大降水強度の変化率[%]を表す. 丸は対流コアの位置を示す.

は削減できており, 感度実験全体としても一番雨を抑制できており, 約 110mm/h の最大降水強度であった.

4. 結論

本研究では, 西村ら (2024) が示した都賀川豪雨事例での気象制御実験において, 風速場総領域と対流コアの位置が豪雨抑制効果に与える影響が都市効果によって発生したゲリラ豪雨事例にも同様に働くかを検証した. その結果, 1 つの事例に対して, 西村ら (2024) と同様に対流コアの上流かつ中心から離れた位置での操作が効果があることは確認できたが, 今回は対流コア中心でも効果が高かったため, 発生環境場ごとに風速場操作領域と対流コアの位置が豪雨抑制効果に与える影響が異なることがわかった.

参考文献

- 1) 中北英一・橋本郷志・森元啓太郎・小坂田ゆかり: 気候変動に伴う大気不安定化及び水蒸気湿潤がゲリラ豪雨生起頻度に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74 巻 5 号, p. I_25-I_30, 2018.
- 2) 山口弘誠・西村太一・中北英一: 2008 年神戸都賀川豪雨を対象とした風速場操作による気象制御 LES 実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), 2024, 80 巻 16 号, 論文 ID: 23-16001, DOI: <https://doi.org/10.2208/jscej.23-16001>.
- 3) 西村太一, 山口弘誠, 中北英一: 豪雨抑制シミュレーションにおける風速場操作の時空間的感度解析, 京都大学防災研究所年報, 第 67 号, B, pp.202-218, 2024.