

豪雨制御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 Spatiotemporal Sensitivity Analysis of Wind Field Manipulation in Heavy Rainfall Control Simulation

○西村太一・山口弘誠・中北英一

○Taichi NISHIMURA, Kosei YAMAGUCHI, 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. This study focuses on artificial control methods for heavy rainfall, considering the phenomenon of wind speed reduction in the wake of wind turbines. From a perspective of engineering, it is crucial to determine when, where, and to what extent to weaken the wind. Hence, this research aims to analyze the sensitivity by varying the duration, timing, size of the controlled area, position, and amount of wind speed reduction in the manipulated wind speed field. The results indicate a particularly high sensitivity of heavy rainfall suppression to the placement of wind turbines and the timing of the control initiation.

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（2023）は気象 LES モデル（山口ら（2016））を用いて、2008 年神戸都賀川豪雨を対象に風速場操作を行い、ゲリラ豪雨の重要な指標である渦管を抑制することによる気象制御手法を示した。また、豪雨抑制メカニズムとして、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。

本研究では、上記の風速場操作気象制御実験において、風速場操作の位置・領域の大きさ・開始するタイミング・継続時間・風速減速量を変化させる感度実験を行う。そして、豪雨の要因となるどのような物理量を制御することが豪雨抑制に重要になるのかを定量的に明らかにしていくことを目的とする。

2. 感度実験の計算設定

山口ら（2023）における 2008 年神戸都賀川豪雨の風速場操作による LES 実験の計算設定を元に、その風速場操作の位置・領域の大きさ・開始のタイミング・継続時間・風速減速量をそれぞれ変化させる感度実験を行う。ただし、本研究で変化させるのは 1 要素のみであり、組み合わせは考慮しない。

位置に関して、東西方向にそれぞれ 1~6 格子ずらしたものと、南北方向に 1~2 格子ずらした実験を行った。領域の大きさについて、風の主風向（東西）に 6 格子の領域をとっていたものを 1 格子だけにした実験と、主風向と垂直な方向（南北）に 2 格子の領域をとっていたものを 1 格子だけにした実験を行った。なお、風速場操作の具体的な制御デバイスとして、超大型クラスターレンズ風車と呼ばれる発電用の巨大風車（全幅 278m、全高 227m）を想定しており、並列に並べることが可能であるため、今後は流下断面積を大きくする実験も行う。タイミングについて、計算開始 2, 4, 6, 8, 10 分後と変化させた。風速減速量について、5m/s の風が吹いていたものを 1, 2, 3, 4m/s に変化させた。

3. 感度実験の計算結果

前章で述べた設定で計算を行った結果を述べる。風速場操作の東西位置について、各実験での雨水混合比のピークの時系列を図1に示す。以下では、風速場操作を加える前の実験を No Control 実験とし、東西位置について、東西のどちらにどれだけ位置を変えたのかを山口ら (2023) を基準にして述べる (図中では西に移動すれば左矢印、東ならば右矢印とした)。西に近づくにつれ降水強度のピークは減少していき、西に4格子 (1.92km) 移動したものが最も抑制効果があり、約50%もの弱体化が見られた。しかし、それ以上西に移動させると抑制効果は薄まった。東に移動させたものにおいて、特に3格子以上移動させたものについて、降水強度や積算雨量が No Control 実験よりも大きくなった。風速場操作期間に関しても、4, 6分間しか風速場操作を行わなかったものは、No Control 実験よりも降水強度が強くなった。8分以降からは徐々に豪雨抑制効果が現れ始め、14分間の操作を行ったものが最も豪雨抑制効果が大きくなった。

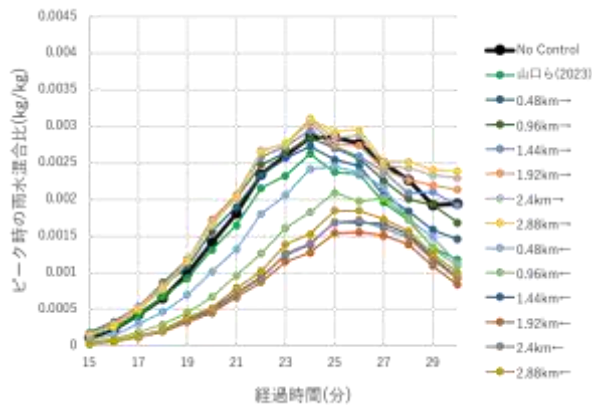


図1 風速場操作期間の感度実験における各時間における雨水混合比。

紙面の関係上省略するが、その他の実験では、効果の大小はあるが、豪雨抑制効果がみられた。特に感度が大きい要素は東西位置・タイミング・継続時間であった。

風速場操作位置が東になると降雨が強化されるメカニズムについて、図は省略するが豪雨の元となった上昇流が風速場操作領域の入り口の手前になるため、風速場操作領域の入り口手前で生じる収束によって強化されることが確認された。

また、東西位置の感度実験について、各実験で見られたピークの上昇流の大きさを図2に示す。図1と図2を見ると、ピーク時の雨水混合比が大きい実験ほどピーク時の上昇流が大きく、ピーク

時の雨水混合比が小さいほどピーク時の上昇流も小さいことがわかる。このことから、東西位置の変化と上昇流削減量には明確な相関関係があることがわかる。

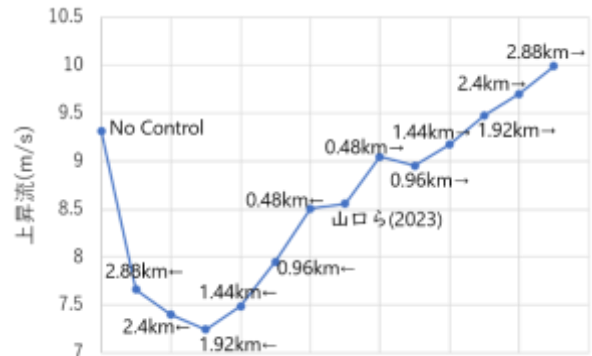


図2 風速場操作の東西位置に関する感度実験の各実験におけるピーク時の上昇流。

4. 結論

本研究では、豪雨の要因となるどのような物理量を制御することが豪雨抑制に重要になるのかを定量的に明らかにしていくことを目的として風速場操作の時空間的感度実験を行った。その結果、風速場操作の東西位置・タイミング・継続時間の感度実験にて感度が高かったことが確認できた。特に東西位置に関しては上昇流削減との相関や No Control 実験の約50%も弱体化できたものを確認できた。また、風速場操作の期間・位置において豪雨の強度を弱める一方で、強めてしまう可能性もあることが示唆された。

今後、上昇流等の様々な変数に着目することで、何が起因して雨が生成されるまでの過程に違いをもたらすのか、さらなる解析をする予定である。

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度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 (採択済みだが、印刷待ち)。
- 3) 山口弘誠，高見和弥，井上実，中北英一：豪雨の「種」を捉えるための都市効果を考慮する LES 気象モデルの開発，土木学会論文集，B1(水工学)，Vol.72，pp.205-210，2016.