

気流シーディングによる降水抑制効果の定量的評価とそのメカニズムに関する3次元解析

法政大学大学院デザイン工学研究科
法政大学デザイン工学部

○学生会員
正会員

中村 嶺太
鈴木 善晴

1. 研究の背景・目的

地球温暖化などの影響から、多大な被害を与える極端な降水現象が多発している。近年では昨年の台風19号や、前線の影響で線状降水帯が発生し記録的な豪雨となった令和元年8月の秋雨前線に伴う大雨などが挙げられる。そこで、今後も発生するであろう大規模な降水現象から、人命を守るといった人的被害を防ぐことに加え、過度な降水によるインフラの破壊などの経済的被害も防ぐことができるような防災・減災策が求められている。

一方、クラウド・シーディング（以降シーディングとする）に関する八木ら¹⁾の研究では、仮想的な多数のシーディング手法での降水抑制効果が確認されており、シーディングが有する降水抑制策としての利用可能性が示されている。しかし、空間的に平均化された値を用いてシーディングによる降水抑制のメカニズムの考察が行われていたため、シーディングによる立体的な雲内の変化は明らかになっていない。

そこで本研究では、気流シーディングに着目したメソ気象モデル WRF による数値シミュレーションを行い、シーディングによる降水抑制効果の評価を実施した。さらに、雲内の変化を3次元的に捉えることで雲内の降水粒子の変化を確認し、より詳細なメカニズムの解析を目的とした。

2. 使用モデルとその計算条件

メソ気象モデル WRF は、メソスケールの大気現象を対象とした3次元非静力学モデルで、本研究で対象とするような局所的な豪雨などの予測および再現に適したモデルと言われている。本研究では、4つのドメインを設定したネステッド計算を行い、その中でも最も狭い領域である Domain4（格子間隔 333m, 格子数 139 × 139）を用いて解析を実施した。初期値及び境界条件としては、大気データ及び海面データを NCEP（アメリカ環境センター）から提供されている解像度 30 km の FNL データ、地形標高データには USGS（アメリカ地質調査所）提供の緯度・経度 30 秒（約 0.925 km）の分解能のデータを使用した。さらに、本研究では氷晶核の値に倍率をかけて間接的にシーディングを表現するため、シーディングに伴う氷晶核を数濃度で表す必要がある。そこで、雲物理過程のスキームとしては過冷却水や 0℃以上での雪の混合比だけでなく霰や氷晶の数濃度の計算が可能な Morrison double-moment Scheme を用いた。

3. 対象事例とシーディングの設定条件

対象事例としては、平成20年9月に発生した西濃豪雨を対象にシミュレーションを実施した。シーディングの設定条件は、先行研究³⁾ではシーディング実施領域、実施継続時間、実施高度、氷晶核の操作倍率の条件を定め、上昇気流が卓越した範囲に対して面的にシーディングを行うことを気流シーディングとしていたが、本研究では新たに上昇気流の発達に着目した2つの方法を検討した。第1の方法としてに先行研究の設定条件に加え、上昇気流の強さが一定の強さを超えたらシーディングを実施するといった条件を追加した設定である。この条件によって上昇気流が卓越している場所に集中的に散布を行うシーディングを想定した。第2の方法として、シーディング実施対象領域よりも低い高度における上昇気流の発達を早いタイミングで確認し、シーディング実施領域を前もって決める方法である。この方法は低い高度の上昇気流によってシーディング実施領域を判断することの有効性を検討するために設定した。本稿では主に第2の方法について述べる。

4. 解析結果とメカニズムの解析

従来の方法で抑制効果が確認されたケース（上昇気流のピーク時での散布を想定、散布実施高度 5500m, 操作倍率 10⁹）に第2の気流シーディングの方法を適用したところ 100m, 300m の高度で上昇気流の強さを判定した場合は抑制効果が促進に転じる結果となった。一方、500m で判定した場合は抑制効果がさらに大きくなり（領域積算最大降水量 5.87%抑制、時間最大降水量 17.06%抑制）降水抑制を目的としたシーディングの判定に有効な高度がある可能性が示された。ただし、抑制効果を向上させるための判定高度や判定時間に関しては更なる検討の余地があると考えられる。

次に上記の 500m の高度で判定したケースに対してメカニズムの考察を行った。シーディング実施の約2時間後である9時10分時点の降水粒子をシーディングの実施をしないケースと実施をしたケースで比較すると、図-1に示すように、シーディングを実施したケースでは霰の混合比が顕著に減少していることが確認された。さらに上昇気流の分布を

キーワード：クラウド・シーディング, 上昇気流, 降水抑制, メソ気象モデル, 地球温暖化

〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33 法政大学大学院 デザイン工学研究科 TEL：03-5228-1429 FAX：03-5228-3491

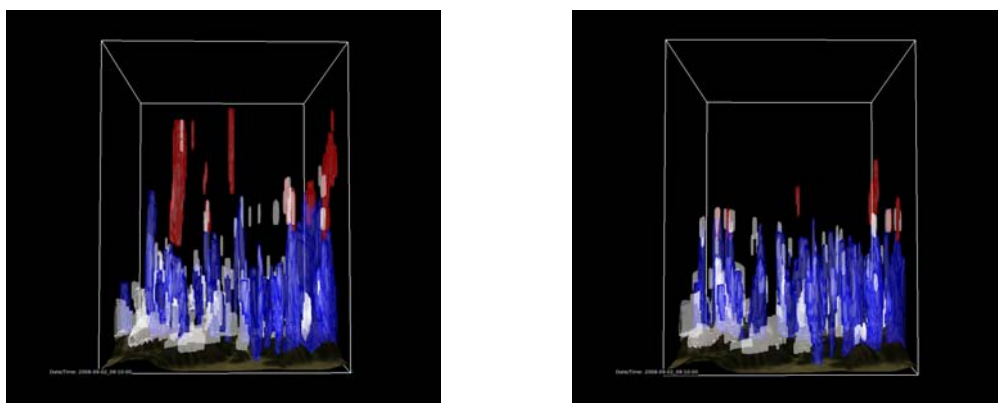


図-1 シーディングを実施しないケース（左図）と実施したケース（右図）における9時10分時点の降水粒子（白：雲粒，青：雨粒，赤：霰）

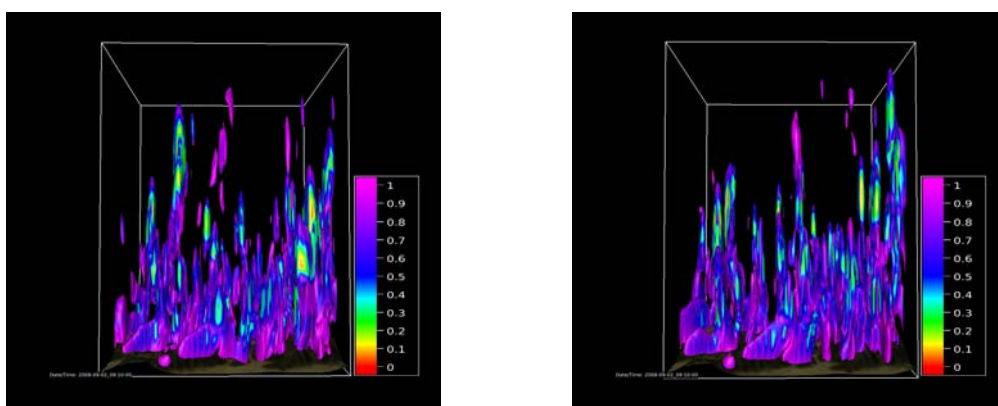


図-2 シーディングを実施しないケース（左図）と実施したケース（右図）における9時10分時点の上昇気流

シーディングの実施をしないケースと実施したケースで比較すると、図-2に示すように、霰の分布が減少した箇所において上昇気流の弱化が確認された。したがって、霰の落下によって上昇気流が弱まることで積雲の発達が抑制され、最終的には降水が抑制されるといったメカニズムが示唆される。霰の混合比の減少と上昇気流の弱化は他の時刻でも確認された。また、同時刻の降水粒子の混合比だけでなく数濃度の値も確認したところ同様の霰の減少を確認した。しかし、霰の分布がシーディング前後で移動したことも合わせて確認された。この移動については上昇気流だけでなく、水平方向の風も関係していると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究ではメソ気象モデル WRF を用いて降水抑制を目的としたクラウドシーディングのシミュレーションを実施し、その抑制効果の評価するとともに、3次元的なメカニズムの解析を行った。その結果、事前にシーディングを行うかを判定する方法も有効である可能性を示し、抑制メカニズムとしては、シーディングによる霰の落下が引き起こす上昇気流の抑制が降水の抑制に繋がる可能性が示唆された。

今後の課題としては、事例数を増やすことで降水抑制効果を最大化させるような条件を見出すことがまず挙げられる。また、確認されたメカニズムの更なる追究のために、シーディングによる潜熱の発生やそれに伴う上昇気流の変化などについても考察する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 八木 柊一郎, 鈴木 善晴, 横山 一博: 豪雨の抑制を目的とした複数のシーディング手法による有効性・信頼性に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.73, No.4, I259-I264, 2017.
- 2) 気象研究所, 物理気象研究部・予報研究部: 気象研究所技術報告書第 48 号, pp.207-221, 2005.
- 3) 中村 嶺太, 鈴木 善晴: 気流シーディングによる降水抑制・降水促進の感度分析とそのメカニズムの解析, 令和元年度土木学会全国大会第 24 回年次学術講演会, 香川, 2019.