

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

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 中村 嶺太
正会員 鈴木 善晴

1. 研究の背景・目的

地球温暖化などの影響で局地的集中豪雨などの極端な降水現象が頻発化して、土砂災害や都市域浸水、それによる交通網の混乱などの被害が近年、問題となっている。そのため、このような災害に対する防災・減災策の必要性が叫ばれている。本研究では、降水現象を人為的に操作する手法であるクラウド・シーディング（以降、シーディングとする）を降水抑制手法として利用したときの効果について検討する。

シーディングを用いる人工降雨技術の研究は、本来旱魃対策などを目的とした降雨を促進させる研究が数多く実施されているが、八木ら¹⁾の研究では、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、シーディングの降水抑制策として利用可能性を示している。そこで、本研究ではその手法の中でも降水促進リスクが低く実施可能性が高いと考えられる「気流シーディング」に本研究では着目した。メソ気象モデル WRF を用いて数値実験的なシミュレーションを行い気流シーディングによる降水の抑制効果と促進効果の評価と、そのメカニズムの解析を行う。

2. 使用モデルとその計算条件

本研究で使用する領域気象モデル 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である。また本研究では、ネスティング計算を行っており、4 つの領域のなかでもっとも狭い領域である Domain4(格子間隔 333m, 格子数 139 × 139) と設定した。初期値及び境界条件として、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用いた。さらに、雲物理過程のスキームとして、過冷却水や 0 以上での雪が表現され、霰や氷晶の数濃度の計算を行うことが可能である Morrison double-moment Scheme を用いた。

現状では、モデル内でシーディングによる物質散布を直接的に表現するのは困難なため、本研究では Fletcher の経験式に基づいて算出される WRF の計算スキームにおける氷晶核の数濃度の値に操作倍率をかけることで間接的にシーディングを表現した。

3. 対象事例とシーディングの設定条件

対象事例として、本研究では線状降水帯の降雨事例である西濃豪雨 (事例 1)、雨域が広く降雨強度の高い平成 20 年 8 月末豪雨 (事例 2)、比較的降雨強度の低い平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨 (事例 3) の 3 つの事例に対してシミュレーションを行った。気流シーディングは、上昇気流が比較的強い範囲で局所的に氷晶核数濃度の値を変化させるシーディング手法であり、他のシーディング手法よりもシーディング対象範囲が小さいことが特徴である。また、設定条件として、氷晶核の操作倍率は気象研究所の数値実験を参考に²⁾10 の 5 乗, 7 乗, 9 乗の 3 パターン設定した。シーディング実施高度は最下層の気温が 0 以上にならないように 3 パターン (低い高度から順に 1~3) とし、実施時間は一律 120 分とした。さらに、シーディング領域の広さに対する影響などを検討するため、シーディング実施領域を 3 パターン設定し、領域が狭い順に A~C とした。さらにシーディング開始時刻を上昇気流の発達期、ピーク時、衰退期にシーディングを行う 3 パターン用意しこれを開始時刻が早い順に a~c とした。本研究では、1 事例に対して 81 ケースのシミュレーションを行い、それらを Case-(シーディング対象範囲)-(開始時刻)-(操作倍率)-(高度番号) と表記し、シーディングを実施しないケースを Case-0 とする。

4. メカニズムの解析

以下では 2008 年 9 月の西濃豪雨 (事例 1) を対象とした気流シーディングのシミュレーション結果について述べる。一例として Case-0 及び Case-C-b-7-3 の積算降水量を図-1 として示す。この 2 ケースを比べると、210mm ~ 240mm の領域が Case-0 と比較してシーディング後には小さくなっていることがわかる。また、この事例ではシーディング実施領域が広がるにつれ積算降水量の抑制事例が増えていくのに対して、時間最大降水量はそのような関係性はなく、領域 B, C にのみ抑制事例が確認された。

キーワード：クラウド・シーディング, 気流シーディング, 降水抑制, 感度分析, メソ気象モデル

〒 162-0843 東京都新宿区市谷町田 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

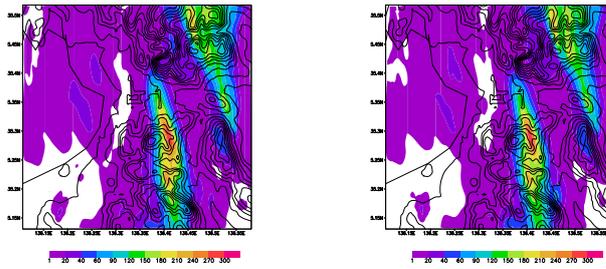


図-1 事例1の Case0 (左図) および Case-C-b-7-3 (右図) における15時間積算降水量 [mm]

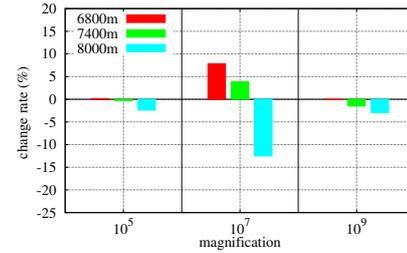


図-2 Case-C-bにおける1時間最大降水量の変化率

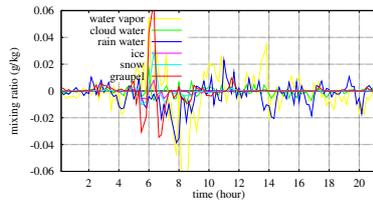


図-3 抑制ケース Case-C-b-7-3 の各降水粒子の混合比の時間変化 [g/kg] (Case0 との差)

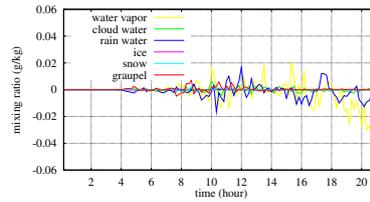


図-4 促進ケース Case-C-b-7-1 の各降水粒子の混合比の時間変化 [g/kg] (Case0 との偏差)

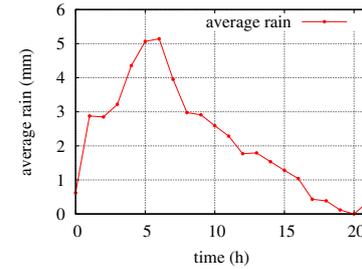


図-5 Case-0 の時間別平均降水量

Case-C の中でも事例1で時間最大降水量の抑制割合が最も高いケースが存在する Case-C-b の積算降水量の変化率を図-2に示す．閾値を $\pm 5\%$ としたとき，変化率が -12.49% の Case-C-b-7-3 が最も抑制割合の高いケースとなった．また，Case-C の高度番号3のケースではいずれも抑制効果を示している．

次に Case-C-b-7-3 に対してメカニズムの考察を行う．上記の氷晶や雪，雨などの降水粒子の混合比のシーディング前後の変化率を Case-0 との偏差として示した図 (図-3) より，シミュレーション開始から6時間後前後で霰や雪，水蒸気が大きく変化していることが確認され，シーディングによって降水粒子が成長していることが示唆される．図-5より，本来雨のピークであった6時間後前後にてほかの降水粒子が成長していることが関係しているのではないかと考えられる．また，図-5は高度以外の条件は変更していないが，1時間最大降水量は逆に促進されてしまったケースである Case-C-b-7-1 の降水粒子の混合比のシーディング前後の変化率を Case-0 との偏差として示した図である．抑制されたケースと比較するとこの促進されたケースはシーディングによる影響は少なかったと言える．また，6時間後の変化がほとんどなかったことを考えると降雨のピーク時に降水粒子にシーディングを用いて影響を与えることが降水抑制のカギになる可能性があることが示唆される可能性があると考えられる．

5. まとめと今後の課題

本研究では上昇気流に着目した「気流シーディング」の効果を検討するために，上昇気流の発達状況に応じたシーディングを実施し，その豪雨抑制としての有効性について定量的な評価を行った．その結果，事例1の Case-C-b では，シーディング高度が高い方がより抑制効果があるという傾向を示した．また，降水が抑制されたケースと促進されたケースを比較すると抑制されたケースのほうが降水粒子に対するシーディングの影響が大きいことがこの2つのケース内で確認された．

今後の課題としては，より多くのケースでの解析を実施し，降水が抑制または促進される条件の解明に繋げることが第一の課題である．課題を達成するために，上昇気流は間欠的に変化するためどの領域にシーディングを施せば効率的に降水が抑制できるかについての検討やシーディングの新たな手法も検討するべきであると考えている．

参考文献

- 1) 八木 柁一郎, 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.