

上昇気流に着目したシーディング手法による豪雨抑制効果 とそのメカニズムに関する研究

法政大学 デザイン工学部
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で局地的集中豪雨が頻発化して、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・減災策が求められている。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）を豪雨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豪雨抑制効果が確認されており、シーディングの豪雨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豪雨の抑制効果の評価と、どのようなプロセスを経て豪雨抑制に繋がったかについて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、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、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 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。Fletcher の経験式に基づいて計算される。

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⁾ 10^5 、 10^7 、 10^9 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、シーディング実施範囲を 3 パターン設定し、範囲が小さい順に A~C とした。さらにシーディング開始時刻も上昇気流の発達期、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。

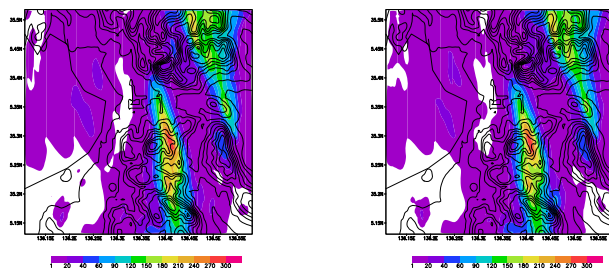


図-1 事例1の Case0 (左図) および CaseC-b-7-3 (右図) における 15 時間積算降水量 [mm]

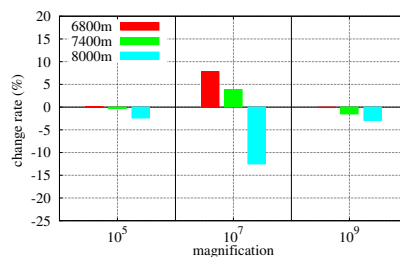


図-2 CaseC-b における 1 時間最大降水量の変化率

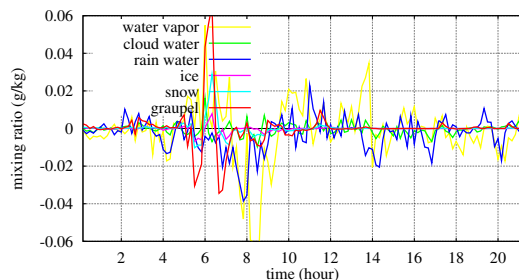


図-3 各降水粒子の混合比の時間変化 [g/kg] (Case0 との差)

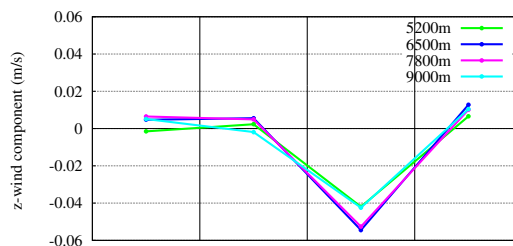


図-4 ステージ毎高度別の鉛直風速 [m/s] (Case0 との偏差)

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 CaseC-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．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（図-3），積雲発生初期（1），積雲発達期（2），成熟期（3），衰退期（4）のステージ別に求めた高度別の鉛直風速を Case-0 との偏差として出力（図-4）した図をを主に使用し，考察を行う．図-3 より，シミュレーション開始から7時間後，つまりシーディングを実施した直後に霰や雪，水蒸気が大きく変化していることがわかり，シーディングによって降水粒子が成長していることが確認される．また，図-4 の第3ステージで鉛直風速が大きく弱まっているのは第3ステージに至るまでに成長した降水粒子が重力に逆らって落下する際に，下向きの力が生じて上昇気流の風速が弱まったことが原因と考えられる．また，このケースでの抑制効果は，シーディング直後の霰と水蒸気の増加とその後の大幅な減少が寄与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，抑制メカニズムとしては，シーディングによって生成された降水粒子が重力に逆らって落下する際に下向きの力が生じて上昇気流が弱まったことと霰や水蒸気などの降水粒子の急激な増加と減少が寄与していると考えられた．

今後の課題としては，上昇気流発達期と上昇気流のピーク時に対する2つのシーディングを組み合わせる実施とどのような効果が得られるかについての検討やこれまで行ってきた豪雨抑制のメカニズムの解析などを引き続き行う必要がある．

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.