

豪雨を対象としたシーディングによる降水抑制効果と促進リスクに関する研究

法政大学大学院 デザイン工学研究科
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

○ 学生員 八木 柊一郎
学生員 横山 一博
正会員 鈴木 善晴

1. 研究の背景・目的

近年、地球温暖化の進行に伴う局地的集中豪雨の多発や台風の強大化など、異常気象災害が地球規模で深刻化することが危惧されている。我が国でも毎年、集中豪雨による土砂災害、交通網のトラブル、浸水被害など多くの深刻な被害を受けており、極端な降水現象に対する防災対策の必要性が高まっている。また、現在では降水現象を人為的に操作する手法としてクラウド・シーディング（以降、シーディングと呼ぶ）を利用した人工降雨の研究が世界各地で行われている。シーディングとは雨粒の「種（シード）」になるものを雨雲の中に散布することで雲粒を雨粒に成長させ、人工的に雨を降らせる技術である。尾中ら¹⁾の研究では、積雲発達期や積雲発生初期のシーディングによる豪雨抑制効果が確認されており、降水抑制手法としての可能性が示唆されている。

そこで本研究では、積雲発生初期のシーディングに着目してその豪雨抑制効果について検討した。また、シーディングによる豪雨促進リスクの大小を定性的・定量的に評価するため、複数の豪雨事例についてメソ気象数値モデル（WRF）を用いて数値実験的なシミュレーションを行った。

2. 使用モデルとその計算条件

本研究で使用するメソ気象モデル WRF（Weather Research and Forecasting）とは、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ある。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は NCEP（アメリカ環境センター）から提供されている解像度 30km の FNL データを使用し、地形標高には USGS（U.S. Geological Survey）提供の緯度・経度 30 秒（約 0.925km）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 以上での雪が存在し、霰や雲氷の数濃度の計算を行う Morrison double-moment Scheme を用いた。

また、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難しいため、WRF での計算スキームにおける氷晶核の数濃度の値に一定の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。操作倍率に関しては村上らの数値実験²⁾を参考にし、本研究では、 10^3 倍、 10^5 倍、 10^7 倍、 10^9 倍の操作倍率を採用した。本稿では 10^9 倍の結果について記す。

3. 対象事例とシーディングの設定条件

積雲発生初期におけるシーディングの効果の有無及びその降水促進のリスクを検討するため、本研究では複数の事例についてシーディングのシミュレーションを行った。本稿では抑制傾向と促進傾向が顕著に特徴として見られた平成 24 年 7 月九州北部豪雨（事例 1）、平成 20 年 8 月末豪雨（事例 2）の 2 つの事例のシミュレーション結果について述べる。

はじめに降水観測域を広く含む解析対象領域としての領域 A を設定した。シーディングの実施領域は、風上側の積雲が発生したと考えられる領域を領域 B、積算降水量の多い地点を含む狭い領域を領域 C とし、シーディングの開始時刻及び実施時間は、各々の領域の上空で液体雲水を確認した時刻 V、及びその 1 時間後の時刻 W から 30 分間の実施時間と設定した。さらに、シーディングの実施高度は、液体雲水混合比の値が確認された高度を基準にし、最下層の気温が 0 以上にならないように 5 パターンの高度を設定した。なお、ここでは低い高度から順に 1~5 とし、シーディング前のシミュレーション結果を Case0、シーディングを行った場合のシミュレーション結果を Case（開始時刻）（実施時間）-（領域）-（高度番号）で表すこととする。

4. シミュレーション結果と考察

まずは抑制効果が得られたケース数の多かった事例 1 のシミュレーション結果について述べる。Case0 の 12 時間積算降水量及びシーディングによる変化が著しかった CaseW-30-C-4 の 12 時間積算降水量を図-1 に示す。これらを比較すると、シーディングによってピーク地点での積算降水量が減少していることから、雨域の集中度がピーク地点の周囲に拡散されたと考えられる。

図-2~図-4 に高度と降水の変化率との関係を示す。なお、グラフは左から高度の低い順に並べてある。閾値を $\pm 5\%$ としたとき、図-2 に示す 1 時間最大降水量の変化率から、高度 2 で約 -10%、高度 3、4 で約 -5% の変化率とな

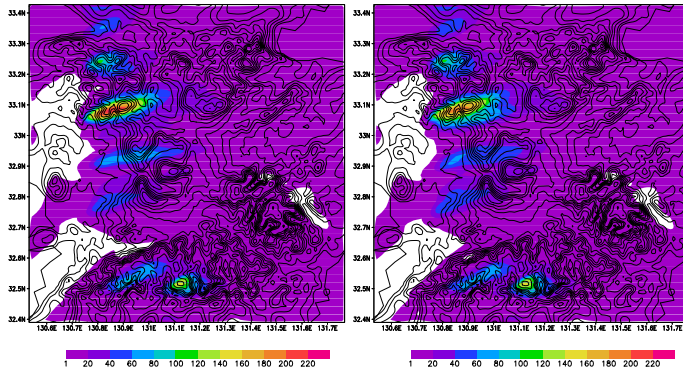


図-1 事例1のCase0(左図)およびCaseW30-C-4(右図)における12時間積算降水量[mm]

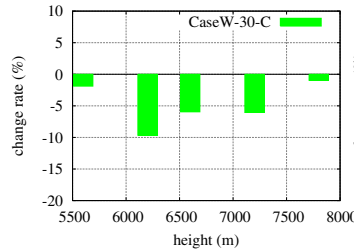


図-2 事例1のCase30W-Cにおける1時間最大降水量の変化率

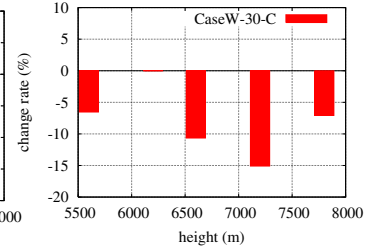


図-3 事例1のCase30W-Cにおける積算最大降水量の変化率

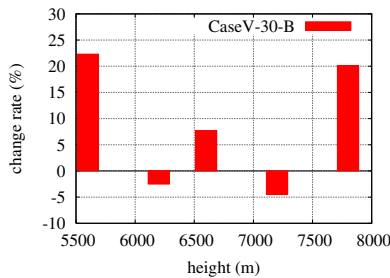


図-4 事例2のCaseV30-Bにおける積算最大降水量の変化率

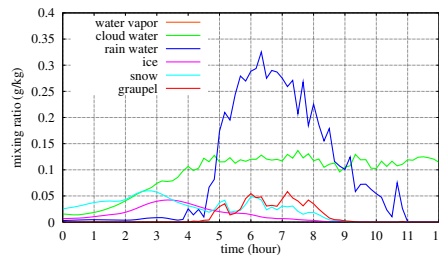


図-5 事例1のCase0における各降水粒子の混合比の時間変化

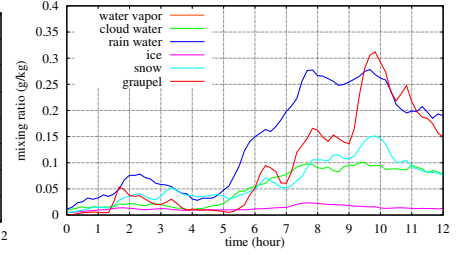


図-6 事例2のCase0における各降水粒子の混合比の時間変化

り、5 ケース中 3 ケースで観測領域における 1 時間最大降水量に対して抑制効果が得られた。図-3 に示す事例 1 の積算最大降水量の変化率から閾値を $\pm 3\%$ としたとき、CaseW30-C では 5 ケース中 4 ケースで抑制効果が得られ、特に CaseW30-C-4 において約 -15% と顕著な変化率が見られた。こちらも観測領域における抑制効果が得られたと言える。

次に、積雲発生初期のシーディングにより、降水が促進したケースとして事例 2 について見ると、同事例では積算最大降水量の増加傾向が顕著で、図-4 より、閾値を $\pm 3\%$ とすると、促進ケースが 5 ケース中 3 ケースで、特に CaseV30-B-1, 5 では 20% 以上の変化率が確認されたことから、雨域の集中度が極端に増加した可能性が示唆される。

図-5、図-6 に事例 1, 2 の Case0 の降水粒子の混合比を示す。同図より、各事例のピーク時における混合比に着目すると、霰の混合比に大きな差が見られた。さらに、2 つの事例は積雲が発達した際の降水範囲が大きく異なっていたことから、これらが両者の傾向の違いに影響しているのではないかと考えられる。

また、全事例合計するとシーディングを行ったケース数は 240 ケースあり、その中で閾値を設けたとき、積算最大降水量が抑制されたケースは 83 ケース、促進されたケースは 29 ケース、1 時間最大降水量が抑制されたケースは 81 ケース、促進されたケースは 27 ケースであり、積算最大降水量が抑制される割合は約 35% 、促進される割合は約 12% 、1 時間最大降水量が抑制される割合は約 34% 、促進される割合は約 11% となった。

5. まとめと今後の課題

本研究では、積雲発生初期のシーディングによる集中豪雨の抑制効果の大小を検討するため、領域、高度、時刻及び実施時間を変化させ、実験的なシミュレーションを複数の事例に対して行った。それらの事例を比較・検討したところ、積雲発生初期のシーディングによる豪雨抑制効果が表れたケース、降水が促進されたケースの両方が結果として得られ、全体としては促進される可能性よりも抑制される可能性の方が大きいという結果が示された。しかし、事例によって促進のリスクが $0\% \sim 80\%$ と大きな差異が見受けられた。

今後の課題としては、より多くの事例でシミュレーションを実施し、積雲発生初期のシーディングによる豪雨促進リスクの統計的な評価を行うとともに、豪雨抑制効果の有無や大小を左右する要因は何かを明確化するために、降水が抑制されたケース及び促進されたケースの共通点やメカニズムについて詳細な解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 尾中俊之、鈴木善晴：シーディングによる豪雨抑制効果の評価・検証とそのメカニズムに関する数値実験，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.70, No.4, I553-I558, 2014。
- 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。