

# 積雲発生初期のシーディングによる豪雨抑制効果の有効性・信頼性に関する研究

法政大学 デザイン工学部	学生員	八木 柊一郎
法政大学大学院 デザイン工学研究科	学生員	横山 一博
法政大学 デザイン工学部	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。シーディングの研究の目的の多くは渇水、旱魃対策のために降雨を促進させるものであるが、尾中ら<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>を参考にし、本研究では、より極端な設定として 10<sup>9</sup> 倍の操作倍率を採用した。

## 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 8 つの事例についてシミュレーションを行った。以下ではその中の平成 24 年 7 月九州北部豪雨（2012 年 7 月 11 日 15:00 からの 18 時間）、高知県魚梁瀬における豪雨（2008 年 6 月 28 日 21:00 から 12 時間）のシミュレーション結果について述べる。

はじめに観測領域として最も広範囲な領域 A を設定した。シーディング領域は、風上側の積雲が発生したと予測される領域を領域 B、積算降水量の多い地点を含む狭い領域を領域 C とし、シーディング開始時刻及び実施時間は、各々の領域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（ただし、高知県魚梁瀬の事例に限っては 10、20、30 分間）と設定した。さらに、シーディング実施高度は、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 ケースの高度を設定した。なお、ここでは低い高度から順に 1~5 と数字で表している。また、シーディング前のシミュレーションを Case0、シーディングを行った場合のケース名を Case（時刻）（時間）-（領域）-（高度番号）で表すこととする。

## 4. シミュレーションの結果と考察

まずは抑制効果が得られたケースの多かった熊本県阿蘇乙姫の事例について述べる。Case0 の 18 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 CaseV-30-B-2 の 18 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降水量が減少していることから、雨域の集中度が周囲に拡散されたと考えられる。集中度が拡散されたことを確認するため、図-2 に示す積算降水量に対して求めた階級別雨域面積の偏差（Case0 とのグリット数の差）に着目（高度の低い順に雲底部（赤色）、雲底上部（緑色）、積雲中央（黄色）、雲頂下部（水色）、

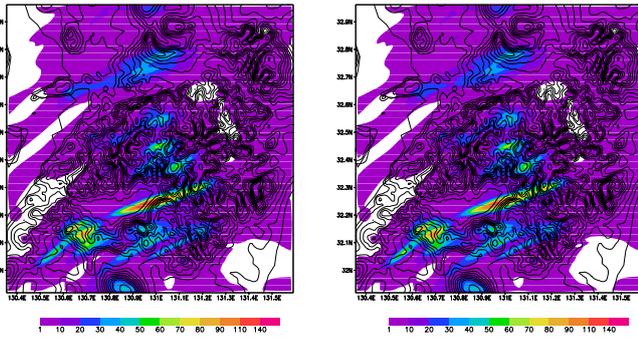


図-1 Case0 (左図) および CaseV30-B2 (右図) における 18 時間積算降水量 [mm]

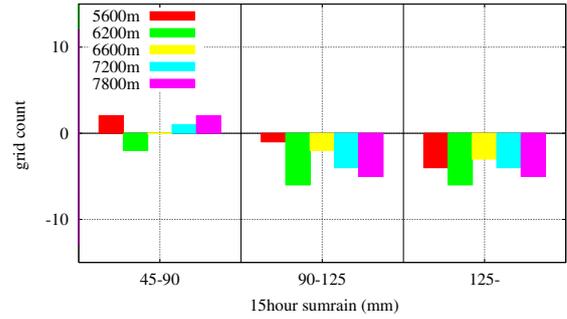


図-2 CaseV30-B における積算降水量の階級別雨域面積の偏差 (左から高度の低い順)

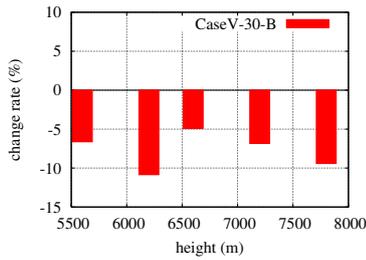


図-3 CaseV30-B における積算最大降水量の変化率

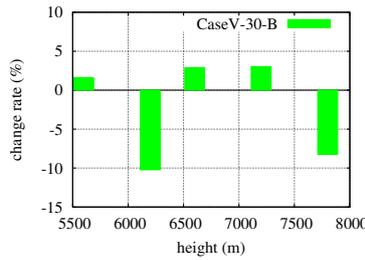


図-4 CaseV30-B における 1 時間最大降水量の変化率

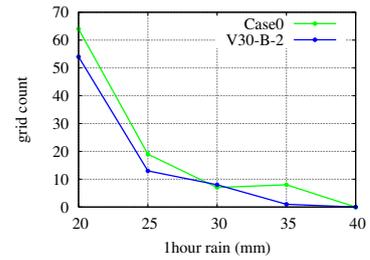


図-5 CaseV30-B における 1 時間降水量の頻度分布

雲頂上部 (桃色) とする) すると、全ての高度において、125mm 以上の最大階級でグリット数が減少していることから、ピーク地点における抑制効果が得られたことが確認される。

図-3 に示す積算最大降水量の変化率から、こちらも CaseV30-B においては全ての高度で積算最大降水量が減少していることが見てとれ、観測領域における抑制効果が得られた。図-4 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 5 で約 -8% の減少率となっており、観測領域における 1 時間最大降水量に対しても顕著な抑制効果が得られた。さらに、図-5 から、観測領域内で観測された 1 時間降水量は Case0 よりもシーディング後 (CaseV30-B-2) の方が比較的強い雨の発生頻度が小さくなっていることから、抑制効果が得られたと言える。

次に、シーディングにより、降水が促進されたケースとして高知県魚梁瀬の事例について見ると、同事例では積算降水量の増加傾向が特に顕著で、CaseV10-B-3, V20-B-1 の 2 ケースで 20% 以上、CaseW10-B-1, V20-B-2, W20-C-2, W20-C-5, V30-C-4 の 5 ケースで 10% 以上の増加が確認された。

2 つの事例を比較すると積雲が発達した際の雲頂の高度に大きな違いが見られ、両者の結果の差はこれらの違いに起因するのではないかと考えられる。

### 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、シーディングを行う領域、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。8 つの事例を比較・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、促進したケースの両方が結果として得られた。

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行い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必要がある。また、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予定である。

#### 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