

# シーディングを用いた気象制御手法による豪雨抑制効果に関する数値実験的研究

宇都宮大学工学部  
宇都宮大学大学院工学研究科  
宇都宮大学大学院工学研究科

学生員 菅原 景  
正会員 鈴木 善晴  
正会員 長谷部 正彦

## 1. はじめに

近年、局地的集中豪雨の多発や水資源の偏在化による旱魃など、地球温暖化に起因すると思われる異常気象災害が地球規模で年々深刻になりつつある。我が国においても、毎年のように集中豪雨による被害が発生しており、数値モデルベースの豪雨予測に基づいた警戒システム構築など、様々な防災対策が試みられている。

一方、現在、旱魃の対策や降水現象を人為的に操作する手法としてシーディングを用いた人工降雨技術（気象制御手法）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。これまで、降雨を促進する人工降雨の研究は数多く実施されているが、降雨の抑制を目的とした気象制御手法に関する研究はあまり行われていない。

そこで本研究では、シーディングによる豪雨抑制効果を明らかにするため、メソ気象数値モデルMM5を用いた実験的なシミュレーションを行う。シーディングを行う領域や高度、時刻など様々な条件においてシーディングが集中豪雨の発生、発達に対してどのような影響を与えるのかについて感度分析の観点から検討を行う。

## 2. シーディングを用いた気象制御の概要

シーディングによる気象制御は1946年に米国で行われたのが始まりであるが、現在、人工調節（気象制御）に関する研究あるいは業務実験は、世界気象機関(WMO)に報告されているだけでも、世界30数カ国、100件以上ものプロジェクトが行われている。その目的としては、全体の7割以上が水資源確保のための人工増雨や増雪であり、次いで降雹制御、豪雨雪の緩和を目的とした降水域の移動、霧消しの順となっている。村上ら<sup>1)</sup>は、渇水対策としてシーディングにより降雪を促進、または降雪域をダム水源地に移動させることを目的に、3次元メソ気象モデルを用いた数値実験を実施し、その効果の見積もりを行っている。

シーディングの種として用いられるものとして、ドライアイス、液体炭酸、ヨウ化銀、塩などの吸湿性粒子などがあり、これらを航空機や発煙筒などにより雲へと散布する。雲内が0以下の冷たい雲に対してはドライアイス、液体炭酸、ヨウ化銀などが散布される。冷たい雲内には0以下でも凍らない過冷

却水が存在するが、ドライアイスや液体炭酸は周囲の温度を下げることにより過冷却水の水蒸気を凍らせる働きをする（強冷法）。また、ヨウ化銀は自身が核となり氷晶を生成する（人工氷晶核法）。こうして生成された氷晶はさらに水蒸気や雲粒を捕捉し、成長することで大きな雪となり、0以上の気層を通過した時点で融解して雨粒となる。

## 3. メソ気象数値モデルMM5の概要

メソ気象数値モデルMM5 (The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model) 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<sup>2)</sup>。本研究では初期値及び境界条件として、気象庁から提供されているGPV情報を使用した。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、対象領域は図-1に示す栃木県那須町周辺の領域を設定した。計算対象期間は「那須豪雨」と呼ばれる集中豪雨の発生していた1998年8月27日の24時間とし、助走時間を3時間設けている。格子数は100×100、格子間隔を1kmと設定した。

また、本研究では雲物理過程のスキームとして過冷却水や0以上の雪が存在し、霰や雲氷の数濃度の計算を行うReisner graupelを使用した。

## 4. MM5によるシーディングの表現方法

本研究では、シーディングにより雲内の氷晶の数が増えることに着目し、MM5での計算スキームにおける氷晶の数を操作することでシーディングの実験を行う。氷晶数濃度は以下のFletcherの式<sup>3)</sup>により計算される。

$$n_c = 10^{-2} \exp(0.6(273.15 - T)) / \rho \quad (1)$$

ここで、 $n_c$  は氷晶の数濃度 ( $\text{kg}^{-1}$ )、 $T$  は気温 ( $\text{K}$ )、 $\rho$  は空気の密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) を表す。また、1gのドライアイスから $10^{13}$ 個の氷晶が生成されるとの指摘がある<sup>1)</sup>ことから、本研究ではこの値を参考にして散布する時刻、領域、高度などを考慮しながら氷晶数の操作を行う。

## 5. シーディングに関する数値実験

本研究では、氷晶の操作方法として、数濃度を $10^{15}$ 倍（ドライアイス100gに相当）および $10^{17}$ 倍（ドライアイス10kgに相当）する2ケース（それぞれのケース番号をCase-1, Case-2とする）についてシミュレーションを行った。操作領域は図-2(1)に示す

Key Words: 集中豪雨, 気象制御, シーディング, メソ気象数値モデル, 降水分布

〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6214 Fax.028-689-6213

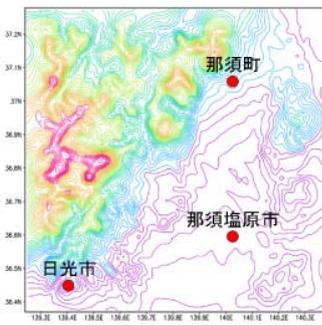
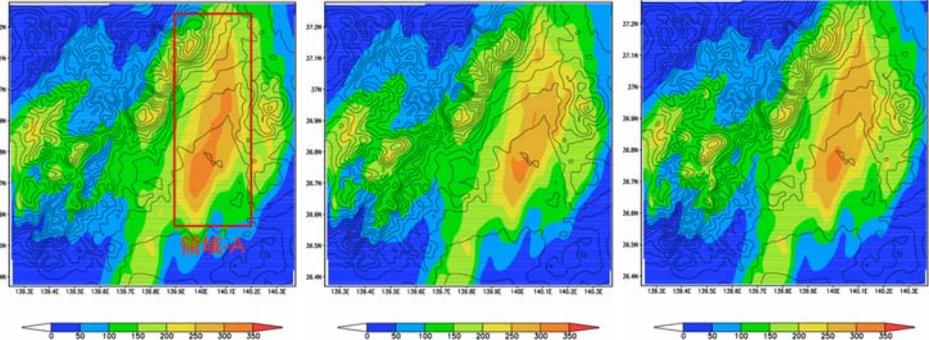
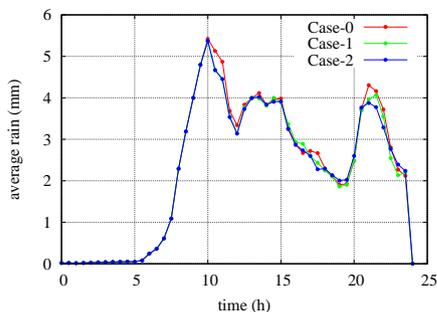


図-1 シミュレーションの対象領域

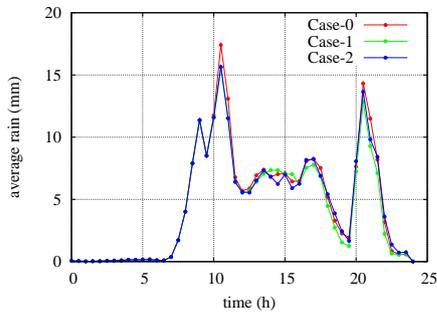


(1) Case-0 (no seeding) (2) Case-1 (氷晶数  $10^{15}$  倍) (3) Case-2 (氷晶数  $10^{17}$  倍)

図-2 各ケースにおける 24 時間積算降水量 [mm]



(1) 領域全体における平均 30 分間降水量



(2) 領域-A における平均 30 分間降水量

図-3 領域平均 30 分間降水量の時系列変化 [mm]

領域-A でとし、操作をする時刻は 10 時から 24 時まで、操作の対象高度は雲が発生しやすいといわれる高度約 2000m とした。シミュレーション結果より、各ケースの 24 時間積算降水量を図-2 に示す。ここで、シーディングをしていないケースを Case-0 とする。

同図より、シーディングによって積算降水量が変化していることが確認できる。降水分布に着目すると Case-1, 2 とともに 300mm の分布が小さくなっていることがわかる。Case-1 は 200mm から 250mm の分布が Case-2 に比べて小さくなっている。Case-2 は 250mm から 300mm の分布がシーディングなしと Case-1 よりも広がっている。また、Case-1, 2 とともにシーディングを行っていない領域-A よりも西側の分布も変化している。

次に領域平均 30 分間降雨量の時系列変化を図-3 に示す。対象領域はそれぞれ表示領域全体と領域-A としている。同図から、シーディングを開始した午前 10 時から変化が始まっていることが確認でき、図-3(2)

表-1 領域平均 24 時間積算降水量 [mm] とその変化率

	Case-0	Case-1	Case-2
領域全体	111.19	108.62	108.46
変化率 (%)		-2.3	-2.5
領域-A	227.27	212.72	220.61
変化率 (%)		-6.4	-3.1

からはシーディング開始直後の 10 時 30 分ごろの変化が大きいことがわかる。

定量的に変化を確認するために領域平均 24 時間積算降水量を表-1 を示す。対象領域は図-3 に示したものと同じである。変化率は Case-0 と比較しての割合である。領域全体でみると Case-2 の方が減少しているが、領域-A でみると Case-1 が -6.4%、Case-2 が -3.1% となっており Case-1 の方が減少率が大きい。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、シーディングによる豪雨抑制効果を明らかにすることを目的として、メソ気象数値モデル MM5 を用いた実験的なシミュレーションを行った。今回はテストランとして、氷晶数を操作したことによる降水量の変化を確認できた。

今後の課題としては、降水量がどのような過程を経て変化するのかを雲物理の観点から明らかにすることが挙げられる。また、様々な条件でシミュレーションを実施し、氷晶数の操作を行う際の倍率や時間、領域、高度などによって、降水量や積雲の発生・発達に対する影響がどの程度異なるのかについて解析を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 村上正隆: 3次元メソスケール気象モデルを用いた人工降雪実験の可視化, AVS コンソーシアム第7回ビジュアルイノベーションカンファレンス, 2001.
- 2) J. Dudhia, et al.: PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide(MM5 Modeling System Version3), NCAR Technical Note, pp.1-3, 2001.
- 3) Georg A.Grell, Jimmy Dudhia, David R. Stauffer: A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5), NCAR Technical Note, pp.41, 1994.