

集中豪雨の人為的抑制を目的とした クラウド・シーディングに関する数値実験

法政大学デザイン工学部 ○ 学生員 田中 聡一郎
法政大学デザイン工学部 正会員 鈴木 善晴

1. 研究の背景と目的

我が国は国土が小さい山岳地域であり複雑な地形条件を持つ。また、大陸の東側に位置する島国であり、季節風や海洋の影響を大きく受けるため、集中豪雨による被害が頻繁に発生している。また、近年では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も年々深刻になりつつある。

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クラウド・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。クラウド・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。シーディングに関する既存研究として、気象研究所¹⁾では、2次元と3次元の数値モデルを用いて氷晶生成項についての感度分析を行い、日本海降雪雲における降雪の質や降積雪の分布を人工的に制御できる可能性を示している。しかしながら、降雨を促進する人工降雨の研究はこれまで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、複数の豪雨事例につい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う。シーディングを行う領域や高度、時刻など様々な条件を設定し、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複数の事例について比較、検討を行う。

2. 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。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℃以上での雪が存在し、霰や雲氷の数濃度の計算を行うReisner graupelを使用した。

シーディングの感度分析をより正確に行うため、本研究では以下の4つの事例についてシミュレーションを行い比較・検討を行った。

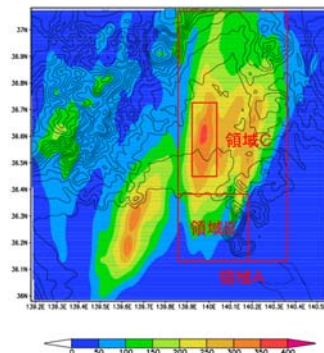


図-1 Case0における24時間
積算降水量 [mm]

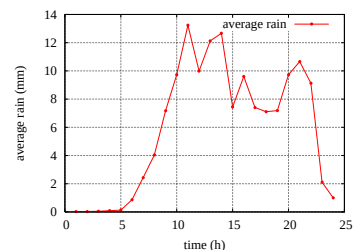


図-2 Case0における領域平均
時間降水量 [mm] 横軸は
時間 [hour] を示す

- 事例1（那須豪雨）…対象地域：栃木県那須町，対象期間：1998年8月27日0:00～24:00の24時間，格子数：121×121。
- 事例2（東海豪雨）…対象地域：愛知県東海市，対象期間：2000年9月10日3:00～9月11日3:00の24時間，格子数：121×121。
- 事例3（7月末豪雨）…対象地域：鹿児島県大口市，対象期間：2006年7月21日21:00～7月22日12:00の15時間，格子数：142×211。
- 事例4（8月末豪雨）…対象地域愛知県岡崎市，対象期間：2008年8月28日6:00～8月29日6:00の24時間，格子数：121×121。

格子間隔は全て1kmとし、また助走期間3時間を設けた。以下では事例1の解析結果について述べる。

3. MM5によるシーディングの数値実験

本研究では、シーディングにより雲内の氷晶核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核の数を操作することでシーディングの実験を行う。気象研究所¹⁾では、Fletcherの経験式に基づく昇華/凝結凍結核の生成を促進させ感度実験を行っている。ここでFletcherの経験式は以下に示される。

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

ここで、 n_c は氷晶核の数濃度 (kg^{-1})、 T は気温 (K)、 ρ は空気の密度 (kg/m^3) を表す。本研究では気象研究所が3次元モデルで行ったシーディングの数値実験での操作倍率を参考にし、操作する時刻や領域、高度を変化させながら、氷晶核数に一定の操作倍率をかけることでシーディングを表現した。

本研究の目的は、シーディングが豪雨の発生・発達にどのように影響を与えるかを解析することである。

Key Words: クラウド・シーディング, 集中豪雨, メソ気象数値モデル, 人工降雨,

〒102-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科 Tel.03-5228-1389

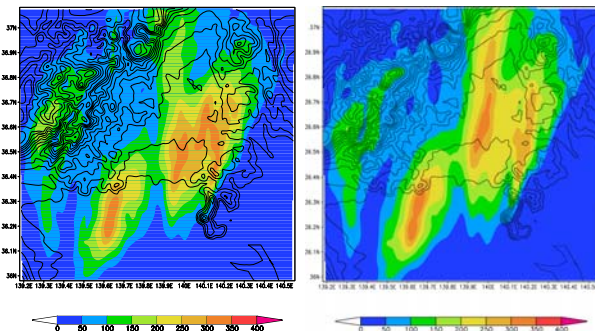


図-3 CaseC-7000x における 24 時間積算降水量の [mm]

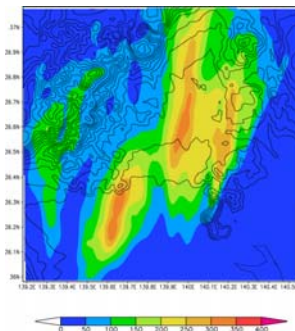


図-4 CaseC-7000y における 24 時間積算降水量の [mm]

ので、それに影響を与えると予測される領域をシーディング領域として設定した。事例 1 では、図-1 に示すとおり、右側の降水分布を囲むようにした領域を領域 A、積雲の発生地点を領域 B、積算降水量が 300mm 以上であり最も積雲対流活動が活発と予測される領域を領域 C と設定した。さらに雨のピークのはじめの時刻 5:00~7:00 の 3 時間を時刻 x、雨のピークの時刻 11:00~13:00 の 3 時間を時刻 y と設定した。ここでシーディング前のシミュレーションを Case0 と呼ぶこととする。また、シーディングを行った場合のシミュレーション名を Case(領域)-(高度)(時刻) で表すこととする。シーディングを実施する領域・高度・時刻の違いによる影響を解析することが目的であるので、操作倍率は既存研究¹⁾を参考に 10^6 倍とした。

4. 結果および考察

シーディングによる影響が比較的顕著であった CaseC について、図-3~図-6 に CaseC-7000x, CaseC-7000y, CaseC-7800x, CaseC-7800y における 24 時間積算降水量を示す。また、時刻 x・時刻 y での領域最大 24 時間積算降水量の変化率を図-7・図-8 に示す。Case0 の図-1 と比較すると、図-3・図-4 よりシーディング高度 7000m は時刻の違いによる目立った傾向は見られなかった。しかし、シーディング高度 7800m では図-5 より、時刻 x では増加傾向が見られ、図-6 より、時刻 y で減少傾向が見られた。図-7 より時刻 x においてシーディング高度 7800m 以外は比較的高度の集中度が拡散したことが要因として考えられる。図-8 より時刻 y においては高高度に目立った減少傾向が確認できた。以上のことから CaseC では、時刻と高度との関係性が高いということが確認できる。事例 1 におけるシーディング効果の判定結果を表-1 に示す。

5. まとめと今後の課題

本研究ではシーディングを再現した実験的なシミュレーションを行うことで、集中豪雨の発生・発達にシーディングがどのように影響するかを解析、考察した。また、同じ条件で事例を変えることで、同様の結果が得られるか検討を行った。

4 つの事例を比較、検討した結果、事例による傾向

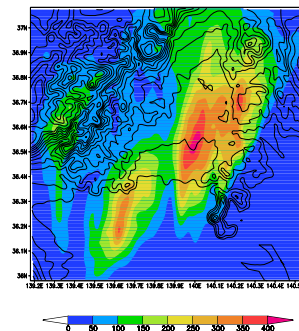


図-5 CaseC-7800x における 24 時間積算降水量 [mm]

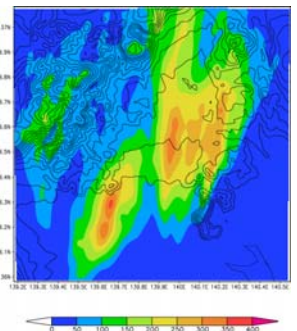


図-6 CaseC-7800y における 24 時間積算降水量 [mm]

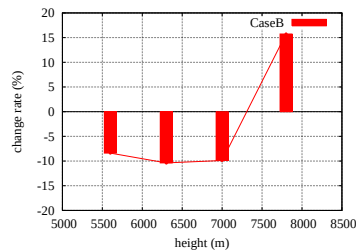


図-7 CaseC-x における領域最大 24 時間積算降水量の変化率 [%] (横軸はシーディング高度 [m])

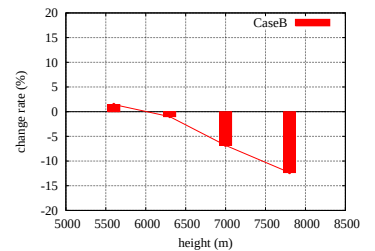


図-8 CaseC-y における領域最大 24 時間積算降水量の変化率 [%] (横軸はシーディング高度 [m])

表-1 事例 1 におけるシーディング効果の判定結果

領域	領域 C			
高度	5600	6300	7000	7800
時刻 x	○	○	○	▲
時刻 y	×	×	○	○

△:ピーク地点移動 ▲:集中度増加

○:集中度減少 ×:変化少(変化率 5 % 以下)

の違いはあるものの、どの事例も比較的高高度のシーディングに対して高い抑制効果が得られるものが多く見られた。また、同じ領域であってもシーディングを行う時刻によって違った傾向が得られる場合もあった。事例によっては、ピーク地点が海上に移動するものも確認された。

今後の課題としては、さらに多くの事例でシーディングを行い、最も効果の得られる条件を明らかにするとともに、感度分析の結果について詳しく分析し、シーディングによる積雲対流の変化のメカニズムについて解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 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