

豪雨抑制を目的としたクラウド・シーディングの 定量的評価手法に関する数値実験

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
ソフトバンク・テクノロジー株式会社

学生員 横山 一博
正会員 鈴木 善晴
非会員 尾中 俊之

1. 研究の背景と目的

近年、地球温暖化の進行に伴った気候変動により、局地的集中豪雨が頻繁に発生し、土砂災害や都市域への浸水被害、停電、交通網へのトラブルなど数多くの被害を及ぼしている。一方、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)の研究が世界各国で行われている。しかし、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、複数の豪雨事例についてメソ気象モデル WRF を用いた実験的なシミュレーションを行い、シーディングによる豪雨抑制効果の有無や大小について感度分析を行うと共に、抑制効果を定量的に評価するための最適な手法について検討した。また、シーディングによる降水粒子の変化に着目し、どのようなプロセスを経て豪雨抑制に繋がったのかについて詳細にメカニズムの解析を行った。

2. WRF の概要と計算条件

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、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。

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、本研究では、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。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。

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

上記において、 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。操作倍率に関しては、村上らの数値実験¹⁾を参考にして本

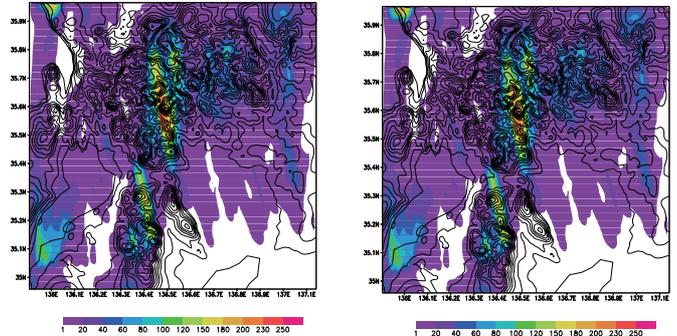


図-1 Case0 (左図)および CaseC-X-4 (右図)における 18 時間積算降水量 [mm]

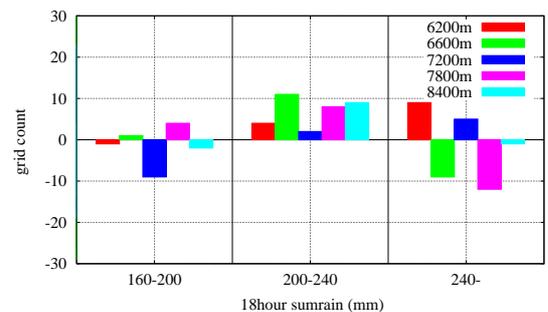


図-2 CaseC-X における 18 時間積算降水量の階級別雨域面積の偏差

研究では、より極端な設定として 10^9 倍の操作倍率を採用した。

豪雨抑制効果の違いを明らかにするために、以下の 3 つの事例についてシミュレーションを行った。

- 事例 1 (西濃豪雨) ... 岐阜県揖斐川市, 2008 年 9 月 2 日 9:00 ~ 9 月 3 日 3:00 の 18 時間
- 事例 2 (東海豪雨) ... 愛知県東海市, 2000 年 9 月 10 日 21:00 ~ 9 月 11 日 9:00 の 12 時間
- 事例 3 (8 月末豪雨) ... 愛知県岡崎市, 2008 年 8 月 28 日 15:00 ~ 8 月 29 日 3:00 の 12 時間

シーディング領域は、降水量観測領域を領域 A、積雲の発生地点を領域 B、ピーク地点で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。時刻は、雨の降り始めの 2 時間を時刻 X、降水量ピーク時の 2 時間を時刻 Y と設定した。高度は、雲底部 (0 付近)、雲底上部、積雲中央、雲頂下部、雲頂上部 (積雲混合比の値が確認される限界の高度) の 5 パターンを設定し、低い高度から順に 1 ~ 5 と数字

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

〒 162-0843 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 & FAX : 03-5228-1389

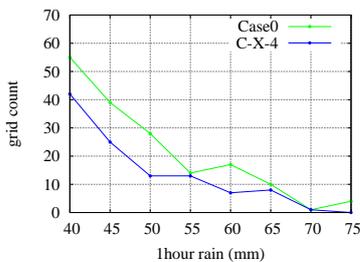


図-3 CaseC-X-4 における時間降水量の頻度分布

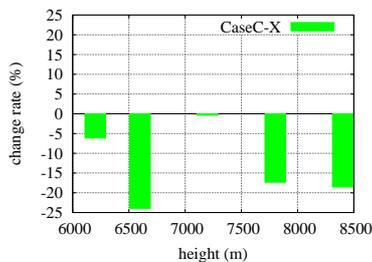


図-4 CaseC-X における時間最大降水量の変化率

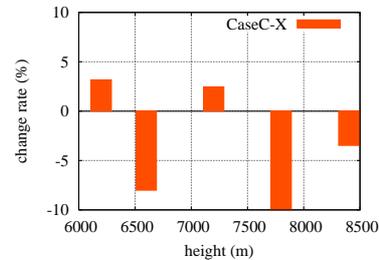


図-5 CaseC-X-4 における上位 1% の領域時間平均降水量の変化率

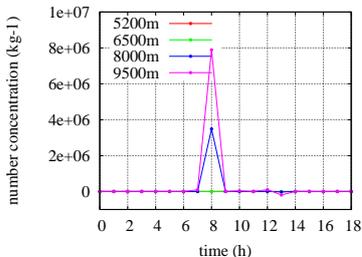


図-6 CaseC-X-4 における氷晶数濃度の高度別変化

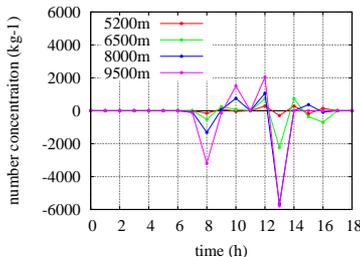


図-7 CaseC-X-4 における霰数濃度の高度別変化

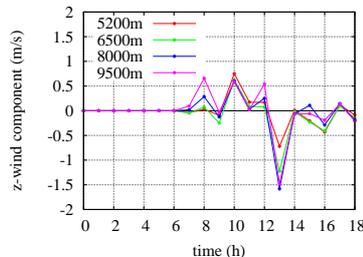


図-8 CaseC-X-4 における鉛直風の高度別変化

で表す．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ケース名を Case (領域) - (時刻) - (高度番号) で表すこととする．本稿では事例 1 の解析結果について説明する．

3. シーディングによる豪雨抑制の感度分析

Case0 の 18 時間積算降水量及びシーディングにより変化が著しかった CaseC-X-4 の 18 時間積算降水量を図-1 に示す．同図を比較すると，シーディングによりピーク地点で降水量が減少していることから，雨域の集中度が拡散したと考えられる．雨域の集中度が拡散したことを確認するために，図-2 に示す 18 時間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) に着目すると，雲頂下部 (桃色) において，240mm 以上の階級においてグリット数が減少していることから，ピーク地点周辺において抑制効果が得られたことが見て取れる．160mm ~ 200mm, 200mm ~ 240mm の階級においてグリット数が増加していることから，シーディングにより雨域が拡散したのが確認できる．

図-3, 図-4, 図-5 に示す時間降水量に着目すると，図-3 より，シーディングにより一番降水量が多い階級で減少し，その次以降の階級においても減少しているのが見て取れる．図-4, 図-5 より，時間最大降水量，時間平均降水量が減少したことによって，図-2 に示した 18 時間積算降水量の最大階級の雨域面積が大きく減少したと推測される．

4. シーディングによる豪雨抑制のメカニズム

上記において最も効果があった事例 1 の CaseC-X-4 について着目して，シーディングによる豪雨抑制のメカニズムの解析を行った．解析対象高度は降水粒子の増減に影響があると考えられる高度を設定した．氷晶及び霰の数濃度と鉛直風について，Case0 との

偏差を図-6 ~ 図-8 を示す．シーディング直後に氷晶数濃度が大幅に増加し，鉛直風が強くなり，霰数濃度が高高度でより減少していることが確認できる．これは，氷晶核から氷晶へと成長する際に発生した潜熱の影響により氷晶や氷晶核が上空へ舞い上がり，オーバーシーディング状態 (多くの過冷却水が氷晶へと成長し，氷晶自身が成長するための水物質がなくなり，成長が抑制される状態) となり，粒径の大きい霰の生成を抑制し，豪雨抑制に繋がったと考えられる．また，13 時に鉛直風が弱くなったことにより霰数濃度が大きく減少し，積雲の発達を抑えられたと推測される．

5. まとめと今後の課題

本研究では，メソ気象モデル WRF を用いて，複数の豪雨事例について適切な評価手法を用いて検討した．また，降水粒子の数濃度に着目して，豪雨抑制効果のメカニズムに関する詳細な解析を行った．その結果，シーディングにより広範囲に強雨域を抑制することが確認できた．また，シーディングによって粒径の大きい霰の成長が抑制されることが豪雨抑制に繋がる重要な要因ではないかと考えられる．

今後の課題としては，シーディングを行うことで豪雨の集中度が増加するリスクの評価や，最適なシーディングの実施条件や抑制効果のメカニズムに関して，詳細な解析を行っていく必要がある．また，シーディングによる実施可能性を考慮していないため，より現実的なシーディング手法の検討を行う予定である．

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
- 2) 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, 水工学会論文集第 58 巻, 2014.