

温暖化進行時の大気条件を想定したシーディングによる 豪雨抑制効果に関する数値実験的研究

法政大学 デザイン工学部

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

学生員

正会員

石井 巧

尾中 俊之

鈴木 善晴

1. 研究の背景・目的

近年、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、近年、都市部における短時間豪雨の増加とそれに伴う被害の深刻化が懸念されており、地球温暖化に対する対応策の構築が防災上大きな課題となっている。文部科学省は IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) による第 5 次評価報告書や気候変動対応への科学的情報の寄与を目的として、「21 世紀気候変動予測革新プログラム」(革新プロ)を実施した。

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(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。鈴木ら¹⁾によれば、シーディングの実施条件によっては降水の増加ではなく豪雨抑制の効果が期待できることが示されているが、温暖化進行時の大気条件に対して、シーディングがどの程度有効な気象制御手法であるかは検討されていない。

そこで本研究では、メソ気象モデル MM5 (The Fifth-Generation NCAR/ Penn State Mesoscale Model) と温暖化の進行を想定した大気条件を使用して、シーディングに関する数値実験を実施した。豪雨が発生しやすいように人工的に作成した大気条件と、革新プロによる MRI-AGCM3.2S (GCM20) の出力データを基に作成した大気条件を初期・境界条件として使用し、温暖化進行時に発生しうる集中豪雨に対してシーディングによる豪雨抑制効果がどの程度期待できるのか検討した。

2. 数値実験の概要

(1) 使用データおよび計算条件

本研究では初期・境界条件として、豪雨が発生しやすいよう人工的に作成した大気条件(大気条件 I)と、GCM20 の出力データにおいて豪雨が発生した際の大気条件(大気条件 II)を使用した。大気条件 I は気象庁から配信されている GPV 情報を参考に、気温・湿度・風速などの物理量を等圧面上一様に与え、豪雨が発生しやすいよう人工的に作成した。大気条件 II は、GCM20 の降水量データを基に、豪雨が発生した領域・日時における大気データを抜き出して作成した。なお、GCM20 は水平解像度が約 20km の全球気候モデルであり、海面水温を境界条件として現在、近未来、将来条件の 3 期間のデータが出力されているが、本研究では、将来条件(2075 年～2104 年)のデータを使用している。これら 2 つの大気条件を使用して温暖化の進行を想定した大気条件におけるシミュレーションを行った。

MM5 は、メソスケールの大気現象を対象とした完全圧縮、非膨張系の 3 次元非静力学モデルで、様々な物理過程オプションを選択できる。本研究では、雲物理過程を表現するのに適した Reisner graupel を用いた。また、地形標高データは、USGS (U.S. Geological Survey) 提供の緯度・経度 30 秒(約 0.925km)の分解能を持つ DEM データ(GTOPO30)を使用し、計算領域は、大気条件 I では格子数 90 × 90、格子間隔 3km と設定し、大気条件 II では 2 つの Domain を用いたネスティング計算を行い、Domain1 は格子数 60 × 60、格子間隔 9km、Domain2 は格子数 88 × 88、格子間隔 3km と設定し、Domain2 を解析対象とした。

(2) 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核の数が変化することに着目し、MM5 の計算スキームにおける氷晶核の数濃度を操作することで、間接的にシーディングを表現した。気象研究所では、以下に示す Fletcher の経験式に基づく昇華/凝結凍結核の生成を 10^3 倍や 10^6 倍に変化させた数値実験を行っている²⁾。

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

ここで、 n_c は氷晶核の数濃度 (kg^{-1})、 T は気温 (K)、 ρ は空気密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) を表す。また、本研究においても鈴木ら¹⁾を参考に、散布する時刻や領域、高度などを考慮しながら、氷晶核数に一定の操作倍率をかけることによってシーディングを表現した。

3. シーディングの豪雨抑制効果

以下では、大気条件 I を用いた数値実験結果の一例について述べる。図-1 は対象事例(シーディングなし)における 24 時間積算降水量 (mm) の空間分布を示しており、シーディングを実施した領域は同図に示す通り、領域 A、領域 B、領

キーワード：豪雨、地球温暖化、気象制御、メソ気象モデル、シーディング

〒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 03-5228-1389

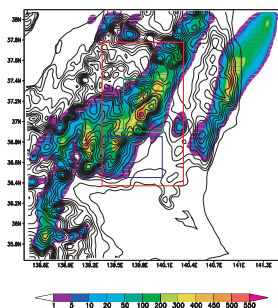


図-1 積算降水量 (mm) の空間分布とシーディング領域 (赤枠:領域 A, 緑枠:領域 B, 青枠:領域 C)

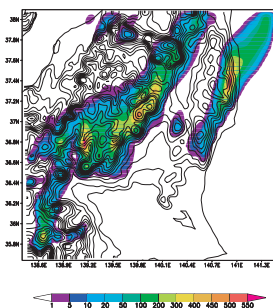


図-2 領域 A に対してシーディングした場合における積算降水量 (mm) の空間分布の一例

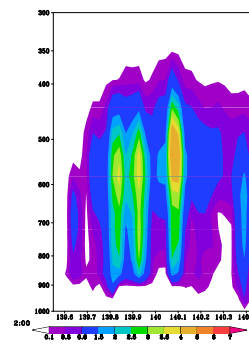
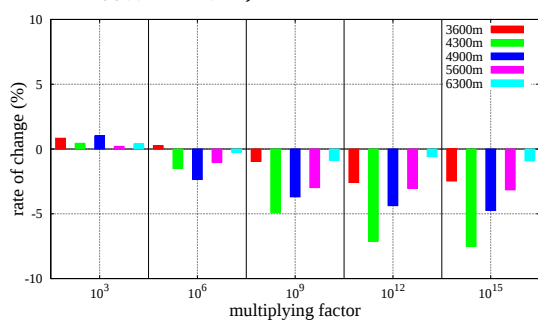
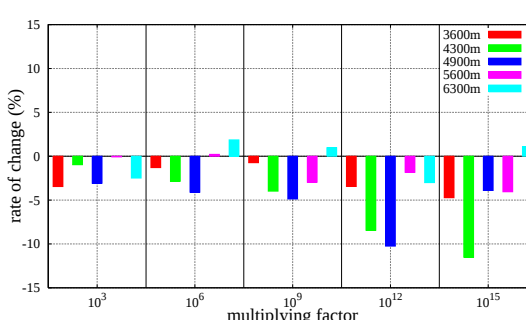


図-3 解析領域内における降水粒子混合比 (g/kg) の鉛直分布



(a) 領域平均降水量の変化率



(b) 領域最大降水量の変化率

図-4 領域 A に対するシーディングによる領域平均降水量と領域最大降水量の変化率

域 C と設定した。シーディング時刻はシミュレーション時間すべてとして、氷晶核数濃度の操作倍率は、 10^3 倍、 10^6 倍、 10^9 倍、 10^{12} 倍、 10^{15} 倍の 5 ケースとした。図-2 は領域 A に対してシーディングした場合における積算降水量 (mm) の空間分布の一例を示しており、積算降水量が多い領域において降水量の減少が確認できる。

また、本研究では、24 時間積算降水量による「領域平均降水量」および「領域最大降水量」の増減に着目して、シーディングによる降水システムへの影響の有無や大小を解析した。なお、シーディングを実施した高度は、図-3 に示す対象事例 (シーディングなし) の解析領域内における降水粒子の鉛直分布に着目し、5 ケースを設定した。図-4 は、領域 A に対するシーディングによる領域平均降水量と領域最大降水量の変化率を示しており、凡例はシーディング高度である。領域平均降水量の変化率は約 -7 ~ 1 %, 領域最大降水量は約 -11 ~ 2 % の範囲で変化した。また、最大降水量、平均降水量共に増加したケースよりも減少したケースの方が多くことが分かる。氷晶核数濃度の操作倍率と変化率との関係に着目した場合、低倍率のシーディングよりも高倍率のシーディングにおいて、平均降水量、最大降水量共に減少する傾向が見られた。

4. まとめと今後の課題

本研究では、豪雨が発生しやすいように人工的に作成された大気条件と、GCM20 のデータを基に作成された大気条件を用いた数値実験により、温暖化進行時に発生しうる集中豪雨に対して、シーディングの豪雨抑制効果はどの程度期待できるのか検討した。その結果、シーディングを行うことで、領域平均降水量および領域最大降水量の減少が確認でき、温暖化の進行を想定した大気条件においてシーディングが有効な気象制御手法である可能性が示された。

今後の課題として、豪雨抑制に適したシーディング条件の検討および、豪雨抑制効果のメカニズムを明らかにするために様々な豪雨事例を対象として解析を行う必要がある。また、MM5 の次世代型のメソ気象モデルである WRF (The Weather Research & Forecasting Model) や、雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) 等を使用して、シーディングのメカニズムに関する詳細な解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 鈴木善晴, 田中聡一郎, 郷祐美子: 豪雨抑制効果に着目したシーディングによる気象制御手法に関する数値実験, 水工学論文集, 第 56 巻, 2012 年 2 月。
- 2) 気象研究所物理気象研究部・予報研究部: 日本海降雪雲の降水機構と人工調節の可能性に関する研究, 気象研究所技術報告, 第 48 号, pp.207-221, 2005。