

複数の散布手法を想定した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

法政大学大学院デザイン工学研究科
法政大学デザイン工学部
(株)建設技術研究所

学生会員 八木 柁一郎
正会員 鈴木 善晴
正会員 横山 一博

1. 目的・背景

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。我が国でも毎年、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減災策の必要性が高まっている。

一方、現在では降水現象を人為的に操作する手法の一つとして、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や実験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のことである。シーディングの研究の多くの多くは湯水や旱魃対策、水資源の確保などのために降雨を促進させるものであるが、尾中ら¹⁾、横山ら²⁾の研究では、数値実験に基づいて積雲発達期及び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、シーディングの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、既往研究とは異なる散布手法を想定した積雲発生初期のシーディングにおいても豪雨抑制効果が得られるのかという点に着目し、その有効性・信頼性について検討した。シーディングによる抑制効果の有無を確認するとともに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、4つの領域の中でも最も狭い領域を Domain4 (格子間隔 333m, 格子数 139 × 139) と設定し、2-way のネスティング計算を行った。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、地形標高データには USGS (U.S. Geological Survey) 提供の緯度・経度 30秒 (約 0.925km) 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ことのできる 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³⁾を参考に決定した。なお、氷晶核の数濃度は Fletcher の経験式によって算出されている。

3. 対象事例とシーディングの設定条件

はじめに降水域を含む最も広範囲の領域を解析対象領域に設定し、シーディングの実施領域は積雲の発生が予測される地点と積算降水量が多く観測された地点の2つを含む1つの領域とした。実施高度は液体雲水が確認された高度を基準として、気温が 0 以上にならないよう注意し、3パターン決定した。氷晶核数の操作倍率は既往研究で使用された 10^9 倍に加え、 10^3 , 10^5 , 10^7 倍の4パターンを設定した。また、シーディングの手法として、実施領域内全ての格子点で氷晶核数を変化させる面的な手法と、気球による散布を想定して格子点の間隔を 1km, 2km, 3km と空ける離散的な手法、航空機による散布を想定して格子点を移動しながら氷晶核数の倍率を変化させる動的な手法の3つで検討した。実施時間は面的な手法では 60 分間、離散的な手法では 20 分間とし、動的な手法では 1つの格子点 (333m) を 4秒間の速さで移動するように設定した。

本研究では全9事例の豪雨についてシーディングのシミュレーションを実施したが、本稿では、主に平成21年7月中国・九州北部豪雨(福岡県, 2009年7月24日(UTC))のシミュレーションに基づいて面的、離散的な散布手法の結果について述べる。シーディング前のシミュレーション結果を Case0, シーディングを面的な手法で実施したものは area (倍率) - (実施時間) - (高度), 離散的な手法では balloon (倍率) - (実施時間) - (間隔) - (高度) と表し、高度番号はどちらの手法においても実施高度が低層のものから 1, 2, 3 と表現する。

4. シミュレーション結果と考察

Case0 の 12 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 area5-60-1, balloon5-20-2km-2 の 12 時間積算降水量を図-1 に示す。これらと比較すると、いずれの散布手法においてもシーディングによってピーク地点での積算降水量が減少していることから、雨域の集中度がピーク地点の周囲に拡散されたと考えられる。

Key Words: クラウド・シーディング, 集中豪雨, 抑制効果, 促進リスク, メソ気象モデル

〒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

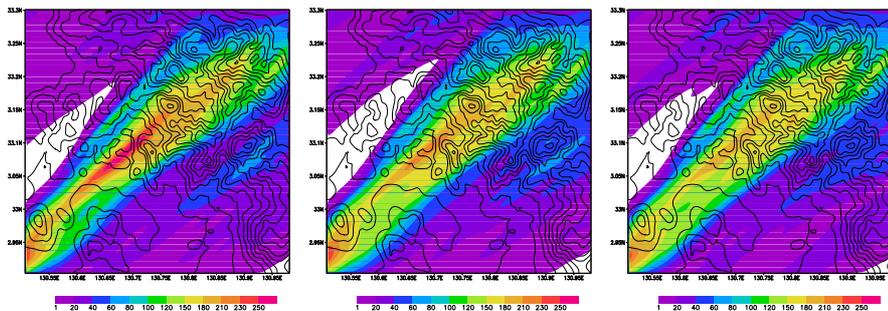


図-1 Case0 (左), area5-60-1 (中央), balloon5-20-2km-2 (右)における積算降水量 [mm]

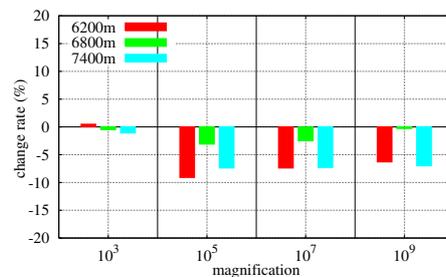


図-2 面的な手法における積算最大降水量の変化率

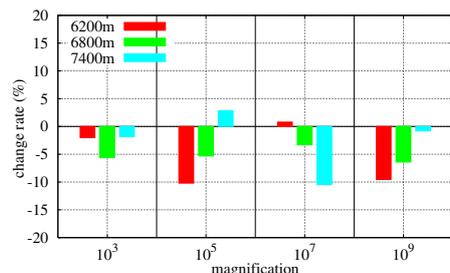


図-3 面的な手法における時間最大降水量の変化率

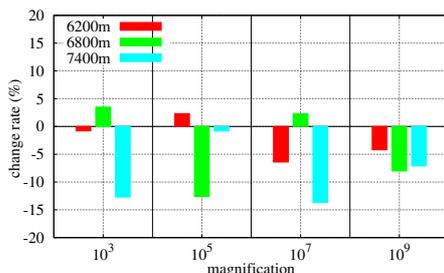


図-4 離散的な手法における積算最大降水量の変化率

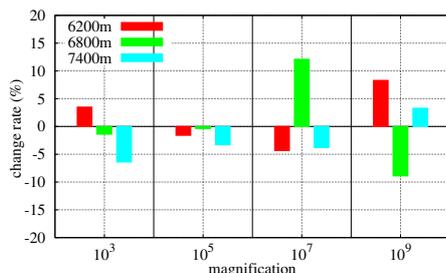


図-5 離散的な手法における時間最大降水量の変化率

図-2, 図-4は積算最大降水量の変化率, 図-3, 図-5は時間最大降水量の変化率に関するグラフで, 横軸は氷晶核数の操作倍率, 縦軸は降水量の変化率を示している. また, 棒グラフは左からシーディングの実施高度の低い順となっている. 面的な散布手法について見てみると, 閾値を±3%としたとき, 図-2に示す積算最大降水量の変化率より, $10^5, 10^7, 10^9$ 倍の高度1, 3において抑制効果を確認できる. 時間最大降水量の観点でも同様に見てみると, 閾値を±5%としたとき, 図-3に示す変化率より, $10^5, 10^9$ 倍の高度1, 10^7 倍の高度3で変化率が約-10%の比較的顕著な抑制が見られ, こちらも観測領域における一定の抑制効果が得られたと言える. また, どちらの評価指標においても閾値以上の促進ケースは見られなかった.

次に, 離散的な散布手法について見てみると, 閾値を±3%としたとき, 図-4に示す変化率より, 12ケースのうち7ケースで抑制効果が得られ, 特に $10^3, 10^7$ 倍の高度3, 10^5 倍の高度2では-10%以上の顕著な変化が見られた. 一方, 図-5に示す時間最大降水量の観点では, 抑制ケースだけでなく, 促進ケースも2ケース見られ, 10^7 倍の高度2においては10%以上の顕著な促進が見られる結果となった. 以上の離散的な手法の結果から, より狭い領域でのシーディングにおいても抑制効果が得られる可能性, 氷晶核数の操作倍率が比較的低倍率でも抑制効果を得られる可能性が示唆された.

また, 上記の事例を含む全4事例の線状降水帯による豪雨に着目すると, シーディングを行ったケース数は176ケースで, その中で閾値を設けたとき, 積算最大降水量が抑制されたケースは85ケース, 促進されたケースは33ケース, 1時間最大降水量が抑制されたケースは55ケース, 促進されたケースは23ケー

スとなった. 積算最大降水量の観点では, 抑制される割合が約48%, 促進される割合は約18%, 1時間最大降水量においても同様に見ると, 抑制される割合は約31%, 促進される割合は約13%となったことから, 線状降水帯による事例では抑制されやすいと考えられる.

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及び促進リスクの有無や大小を検討するため, 領域, 高度, 時刻及び実施時間, さらに散布手法を変化させ, 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. それらの事例を比較・検討したところ, 積雲発生初期のシーディングにより全体としては促進される可能性よりも抑制される可能性の方が大きいことが分かった.

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実施し, 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えるだけの事例数を確保するとともに, 抑制効果と促進リスク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・促進されたケースの相違点やメカニズムについて詳細な解析を行うことが必要である.

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) 横山一博, 尾中俊之, 鈴木善晴: 積雲発生初期のクラウド・シーディングによる豪雨抑制効果とそのメカニズムに関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.71, No.4, I499-I504, 2015.
- 3) 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