

豪雨抑制効果に着目したクラウド・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
法政大学デザイン工学部
(株)電力計算センター

正会員 鈴木 善晴
学生員 田中 聡一郎
正会員 郷 祐美子

1. はじめに

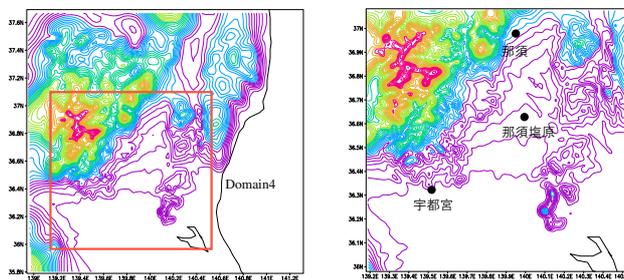
近年,局地的集中豪雨の多発や水資源の偏在化による旱魃など,地球温暖化に起因すると思われる異常気象災害が地球規模で年々深刻になりつつある.我が国においても,毎年のように集中豪雨による被害が発生しており,極端な降水現象に対する防災対策の必要性が強く叫ばれている.一方,1940年代以降,旱魃対策としてシーディングを用いた人工降雨技術(気象制御手法)の実験や研究が世界各地で行われている^{1),2)}.シーディングとは雨粒の「種(シード)」になるものを雨雲の中に散布することで雲粒を雨粒に成長させ,人工的に雨を降らせる技術である.

これまで降雨雪を促進する人工降雨の研究は数多く実施されているが,集中豪雨の抑制を目的とした気象制御手法に関する研究は行われていない.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の違いが集中豪雨の発生・発達に対してどのような影響を与えるのか,また,集中豪雨に対する抑制効果はどの程度期待できるのかについて感度分析の観点から検討を行う.

2. メソ気象モデルMM5の概要と計算条件

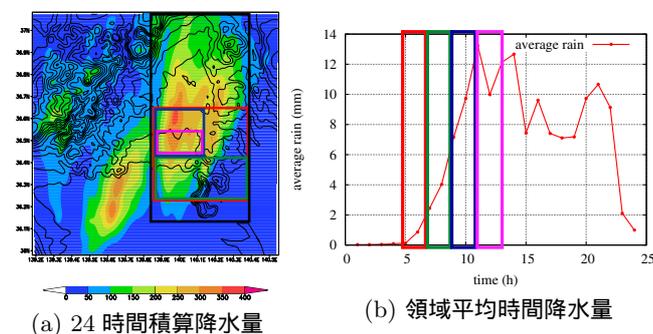
MM5(The Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model)は,メソスケールの大気現象を対象とした完全圧縮,非膨張系の3次元非静力学モデルで,多方面の分野で数多くの利用実績を有している.様々な物理過程オプションを選択できるが,本研究では,0以下で過冷却水が存在するMixed Phaseスキームに霰と雲氷の数密度に関する計算スキームが追加され,より雲物理過程を表現するのに適したReisner graupelを用いた³⁾.また,本研究では4つの領域に対して格子間隔を27km(Domain1),9km(Domain2),3km(Domain3),1km(Domain4)と設定し,ネスティング計算を行った.

初期値及び境界条件として,気象庁から提供されている解像度80kmのGPVデータを用いた.今回は対象とする豪雨事例として,典型的な線状対流系が大雨をもたらした1998年8月27日の那須豪雨を選択した.3時間の助走期間をとり,その後の24時間を解析対象期間とする.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)の分解能を持つDEMデータ(GTOPO30)を用いた.計算領域は,那須町をDomain1の中心に設定し,格子数をそれぞれ50×50(Domain1),52×



(a) Domain3 (b) Domain4

図-1 計算領域とその地形標高



(a) 24時間積算降水量 (b) 領域平均時間降水量

図-2 24時間積算降水量(mm)の空間分布と領域平均時間降水量(mm)の時間変化

52(Domain2), 70×70(Domain3), 121×121(Domain4)とした. Domain3およびDomain4の計算領域とその地形標高を図-1に示す.

また本研究では,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,モデル内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シーディングを表現した.気象研究所では,Fletcherの経験式(詳細は割愛)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⁴⁾.本研究でも同様に,散布する時刻や領域,高度などを考慮しながら,同式で表される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することとした.

3. 領域,高度,時刻に関する感度分析

本研究では,シーディングを実施する領域,高度および時刻を変えて感度分析を行った.領域は図-2(a)に示す通り,解析領域(黒枠)のおよそ風上側半分となる領域A(赤枠),領域Aの風上側半分となる領域B(緑枠),積算降水量が多い地点を含む比較的狭い範囲の領域C(青枠),領域Cの風上側半分となる領域D(桃枠)の4パターンとした.それぞれの領域全体で氷晶核数に一樣の変化を与える.また,シーディング高度は約5600,6300,7000,7800mの4パターン,時刻は雨の降り始めから設定し,図-2(b)に示す

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

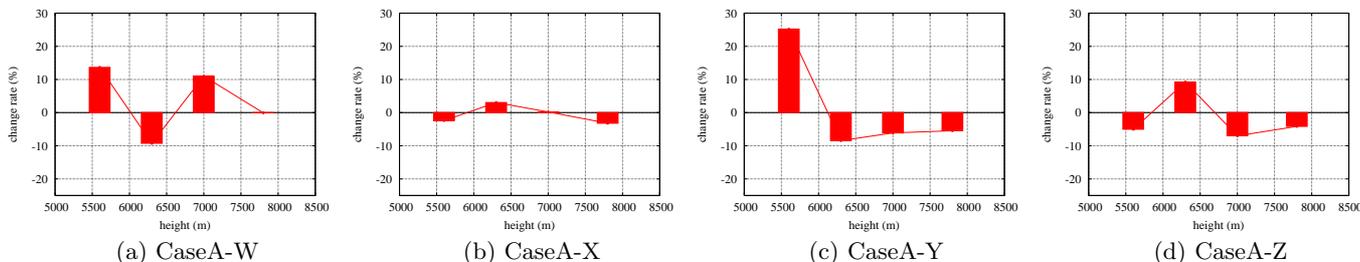


図-3 領域 A の各時刻におけるシーディング高度 (横軸) と領域最大 24 時間積算降水量の変化率 (縦軸)

通り, 5:00~7:00 (時刻 W, 赤枠), 7:00~9:00 (時刻 X, 緑枠), 9:00~11:00 (時刻 Y, 青枠), 11:00~13:00 (時刻 Z, 桃枠) のそれぞれ 2 時間とした。氷晶核数の操作倍率は, 既存の研究⁴⁾を参考に 10^6 倍で固定とし, 計 64 ケースのシミュレーションを行った。

以下では, シーディングを実施しないケースを Case-O とし, 領域 A の高度 5000m に, 5:00~7:00 (時刻 W) までシーディングを実施したケースを CaseA-5600-W などと表現する。

(1) シーディングによる降水システムへの影響

本研究では, 24 時間積算降水量に対して求めた「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。いずれの値も図-2 に示す解析領域 (黒枠) において算出する。

まず, 結果の一例として, 領域 A に対してシーディングを実施したケースにおける領域最大降水量の変化率とシーディング高度との関係を図-3 に示す。同図から, シーディングを行ったことにより領域最大降水量が変化していることが分かる。他のケースにおいても降水量の変化を確認でき, 平均降水量の変化率はおよそ-5~7%, 最大降水量はおよそ-21~25% の範囲で変化する結果となった。平均降水量よりも最大降水量の方が変動が大きく, 雨の量そのものよりも雨の集中度が変化する傾向にあることが分かった。

(2) 降水の増減によるシーディング効果の分類

次に, 領域最大積算降水量の変化率について, $\pm 5\%$ を閾値としてシーディング効果の分類を行った。全 64 ケースを対象として, 最大降水量が増加したケースと減少したケースに分類した結果を図-4 に示す。同図からは, 最大降水量が増加したケースは 13 ケース, 減少したケースは 22 ケースであり, 減少したケースのほうが多いことが分かる。これは, 対象事例によってはシーディングが降水促進よりも降水抑制の効果をもちやすい場合があることを示唆している。

またシーディングの条件別に見ると, 増加ケースは領域 A, B, または高度 5600m に多く見られた。領域 A, B は風上側を含む比較的広い領域, 高度 5600m はより雲底に近い低高度である。一方, 減少ケースは, 積算降水量が多い地点を含む比較的狭い領域である領域 C において多く見られている。この領域 C についてさらに見てみると, 高度 7000m, 7800m の高高度では増加ケースが見られず, 減少ケースのみとなっている。

さらに, 変化率の閾値を $\pm 2\%$ として平均降水量の

領域	領域A				領域B				領域C				領域D			
	5600	6300	7000	7800	5600	6300	7000	7800	5600	6300	7000	7800	5600	6300	7000	7800
時刻 W	▲	○	▲	○	▲	○	▲	-	○	-	-	-	○	-	-	-
時刻 X	-	-	-	-	○	-	▲	-	▲	▲	○	○	○	-	○	-
時刻 Y	▲	○	○	-	▲	-	○	-	○	○	○	-	▲	▲	-	○
時刻 Z	○	▲	○	-	▲	-	○	-	○	-	-	○	-	-	-	-

▲ : 最大降水量 増加
○ : 最大降水量 減少

図-4 領域最大降水量の変化によるシーディング効果の分類結果

増減を考慮した分類を行ったところ, 平均降水量・最大降水量とも減少したものは 8 ケースだったのに対し, 最大降水量のみ減少したものは 15 ケースとなった。後者では, 雨の総量は増加またはほとんど変化していないことから, 雨の集中度が変化, すなわち降水が分散することで豪雨が緩和されたと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では, シーディングによる集中豪雨の発生・発達への影響とその抑制効果の有無を検討するため, シーディングを実施する領域や高度等を変化させる実験的な数値シミュレーションを行った。その結果, 積算降水量が多い地点を含む領域の高高度にシーディングを行った場合に領域最大降水量が減少傾向を示すことなど, 抑制効果が得られやすいシーディング条件について一定の知見を得ることができた。

今後は, 豪雨抑制に適したシーディング条件をさらに明らかにするため, 様々な豪雨事例を対象として引き続き実施条件の検討を行うとともに, シーディングの影響が降水粒子にどのように伝搬して降水量の増減が生じているのかなど, 降水抑制や降水促進のメカニズムについてより詳細な解析を行う必要がある。参考文献

- 1) 村上正隆: 第 8 回 WMO 気象改変に関する科学会議出席報告, 天気, 50(9), pp.715-720, 2003.
- 2) 「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」ホームページ, 科学技術振興調整費プロジェクト, 文部科学省, <http://jcsepa.mri-jma.go.jp/index.html>.
- 3) Reisner, J., et al.: Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 124B, pp.1071-1107, 1998.
- 4) 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.