

豪雨抑制効果のメカニズム解析を目的としたクラウド・シーディングに関する数値実験

法政大学大学院デザイン工学研究科 ○ 学生員 尾中 俊之
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

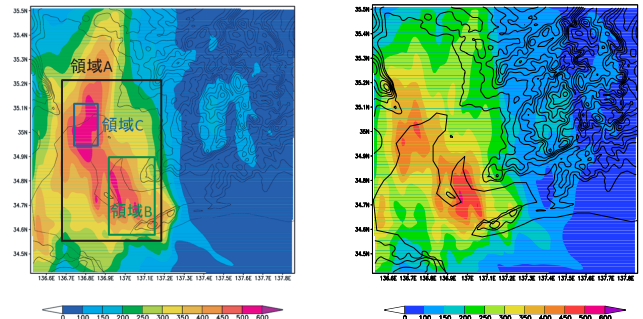
近年、地球温暖化起因と思われる異常気象災害が地球規模で深刻化しており、温暖化とそれに伴う気候変動に対する人々の関心は年々高まっている。我が国においても、毎年のように集中豪雨による被害が発生しており、特に近年は都市部における短時間豪雨の増加が指摘されるなど、極端な降水現象に対する将来的な適応策の構築が求められている。それに対して現在、旱魃の対策や降水現象を人為的に操作する手法としてクラウド・シーディングを用いた人工降雨技術（気象制御手法）の研究が世界各地で行われている。クラウド・シーディングとは雨粒の「種（シード）」になるものを雨雲の中に散布することで雲粒を雨粒に成長させ、人工的に雨を降らせる技術である。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一方で、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、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った。また、シーディングの実施条件を変化させて、様々なケースでシミュレーションを行い、従来の評価方法とは別に新しい評価方法を用いて、感度分析を行った。さらに、シーディングによる降水粒子の変化を詳細に分析することで降水増減のメカニズムを解明し、どのようなケースにおいて抑制効果があるのか検討した。

2. MM5 の概要とその計算条件

数値モデル MM5 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。本稿では新たな評価方法によってシーディングを行った東海豪雨の事例について述べる。同事例は前線に暖湿気流が流れ込んだため前線の活動が活発となり、愛知、三重、岐阜県の東海地方を中心に大雨となった事例である。

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 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



(a) Case0 と設定領域

(b) CaseA-Y-3-9

図-1 24 時間積算降水量 [mm] の空間分布

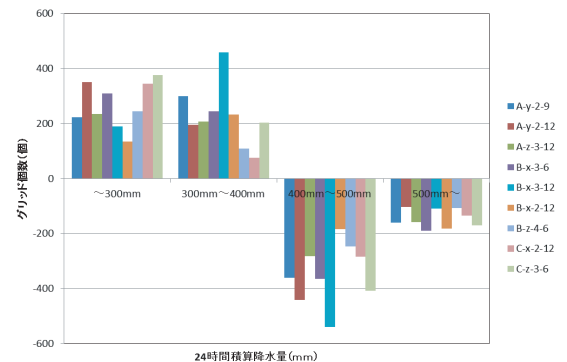


図-2 24 時間積算雨量別グリッド数グラフ

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。

そこで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。本研究におけるシーディング条件を以下に示す。まず、降水の分布状況を図-1 (a) に示す。同図は 24 時間積算降水量 (mm) の空間分布である。同図の降水量観測領域全体を領域 A、積雲の発生地点である右下のエリアを領域 B、積算降水量が 450mm 以上であり最も積雲対流活動が活発な左上のエリアを領域 C とした。シーディング対象時刻はシーディング対象領域に積雲が発生し雨が降り始める時刻から 2 時間を時刻 X、雨のピークの前後 2 時間を時刻 Y、雨の降り始めからピークまでの 4 時間を時刻 Z と設定した。シーディング対象高度は、積雲の雲頂、中

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

中央雲頂，中央，中央雲底，雲底の5つのパターンで実施し，それぞれ高い高度から順に1～5の数字で表す．本研究ではシーディングの氷晶核数濃度倍率による効果の違いも解析するため 10^6 ， 10^9 ， 10^{12} の3パターンを用いた．ここでシーディング前のケース名をCase0と表し，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)-(氷晶倍率)と示す．例えば領域A，時刻X，中央，氷晶倍率 10^6 の場合，CaseA-X-3-6となる．

3. シーディング効果に関する感度分析

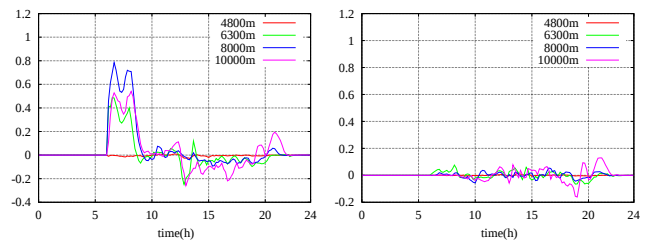
本研究では，24時間積算雨量に対して求めた「雨量別グリッド数」の増減に着目してシーディングによる降水システムへの影響の有無や大小を解析した．解析領域は，いずれも図-1(a)に示す領域Aの降水量観測領域において算出する．まず，結果の一例としてCaseA-Y-3-9においてシーディングをした際，変化が顕著に表れた24時間積算降水量図を図-1(b)に示す．図-1(a)と図-1(b)を比較すると，シーディングを行った図-1(b)は降水量の集中度が高い部分において雨が分散され，豪雨抑制効果が得られたことが分かる．また，各ケースにおいて24時間積算雨量別にグリッド数の増減を表したグラフを図-2に示す．同図では，領域平均降水量変化率，領域最大降水量変化率において抑制効果が見られたケースを用いている．いずれの変化率の算出方法も領域Aの降水量解析領域において算出する．同図からはどのケースにおいても降水量の集中度が高い部分のグリッド数が減少し，元々降水量が少なかった部分のグリッド数が増えていることが分かる．これにより豪雨の集中度が分散され，抑制効果が得られたことが分かる．

本研究で行ったシーディングの各ケースを比較をした際，高度3もしくは高度2などの中央高度にシーディングを行ったケースに抑制効果が多く見られ，高度1などの高高度には抑制効果がほとんど見られなかった．シーディング高度と豪雨抑制効果の関係，また，同じ中央の高度でも抑制効果に違いがある為，その要因を解析するため各降水粒子の変化に着目してメカニズム解析を行った．

4. 豪雨抑制効果のメカニズム解析

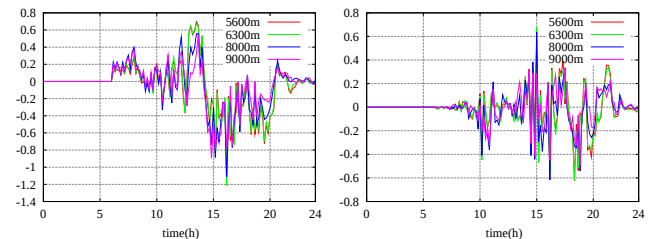
シーディングを行い，抑制効果が見られたCaseA-Y-3-9と抑制効果が見られなかったCaseC-Y-3-6の各高度の氷晶の時間変化(Case0との高度別変化)を図-3に示す．また，抑制効果が見られたCaseA-Y-3-9と抑制効果が見られなかったCaseC-Y-3-6の各高度の鉛直風の時間変化(Case0との高度別変化)を図-4に示す．図-3より抑制効果が見られたケースではシーディング直後に氷晶が高高度で増加し，抑制効果が見られなかったケースではどの高度においてもほとんど変化が表れていないことが分かる．

また，図-4より抑制効果が見られたケースではシーディング直後に上昇気流が発生し，抑制効果が見られなかったケースでは変化が表れていないことが分かる．このことからシーディングにより増加した氷晶



(a) CaseA-Y-3-9 (抑制あり) (b) CaseC-Y-3-6 (抑制なし)

図-3 氷晶の時間変化 (Case0 との高度別平均の差)



(a) CaseA-Y-3-9 (抑制あり) (b) CaseC-Y-3-6 (抑制なし)

図-4 鉛直風の時間変化 (Case0 との高度別平均の差)

核が氷晶へと成長する際に発生する潜熱の影響により，上昇気流が発生し氷晶が上空に舞い上がり，オーバーシーディング状態（多くの過冷却水が氷晶に変換することで，氷晶自身が成長するための水物質がなくなりその成長が抑制される状態）となり，その後上空の横風等により風下側へ流され，本来降るはずの雨が分散されることで豪雨が抑制されたのではないかと考えられる．

5. まとめと今後の課題

本研究では様々なケースでシミュレーションを行い，新しい評価方法を用いて感度分析を行った．その結果，積雲の中央高度にシーディングを行う事が効果的など，豪雨抑制に有効な条件を解明することができた．また，降水粒子の変化に着目しメカニズムの解析を行った結果，抑制効果が見られたケースでは氷晶の数が増加し，その際に発生する潜熱の影響により上昇気流が発生していることなどが確認され，シーディングのメカニズム解明の可能性を見出す事ができた．しかし，本研究では新しい評価方法に関して複数の事例において豪雨抑制効果の検討，メカニズム解析を行っておらず，最適なシーディング領域，高度，時間などを把握するには事例数が十分とは言えない．そのため今後は事例数を増やし，さらに効果的な分析パターンを増やしていく必要がある．

今後の課題としては，新しい評価方法を用いて様々な事例において検討すると同時に，WRFやCReSSといった従来用いていたMM5とは違うモデルにおいて豪雨抑制効果の検討やメカニズムの解析を行っていく予定である．

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