

# 集中豪雨の人為的抑制を目的としたクラウド・シーディング に関する数値実験

法政大学デザイン工学部 学生員 尾中 俊之  
法政大学デザイン工学部 学生員 田中 聡一郎  
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, 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影響すると思われる異常気象災害が世界規模で多発している. 一方, 現在では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(気象制御法)の研究が世界各地で行われている. ただし, 降雨を促進させる人工降雨の研究はこれまで数多く実施されているが, 豪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い比較, 検討を行う. また, シーディングによる積雲対流の変化のメカニズムについて詳しく解析し, 主にシーディング高度の關係に着目してどのようなプロセスを経て豪雨抑制効果が得られるのか検討した.

## 2. 研究の方法

メソ気象数値モデル 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. 気象研究所<sup>1)</sup>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の 3 次元モデルで行ったシーディングの数値実験における操作倍率を参考に 7 つの事例についてシミュレーションを行い, 操作する時刻や領域, 高度を変化させながら氷晶核数に  $10^6$  倍をかけることで感度分析を行った. 以下ではシーディングを行った際の傾向が異なる代表的な 3 事例について述べる.

- 事例 1 (那須豪雨) ... 栃木県那須町, 1998 年 8 月 27 日 0:00 ~ 24:00 の 24 時間.
- 事例 2 (東海豪雨) ... 愛知県東海市, 2000 年 9 月 10 日 6:00 ~ 9 月 11 日 6:00 の 24 時間.
- 事例 3 (梅雨前線) ... 熊本県熊本市, 2006 年 6 月 24 日 6:00 ~ 6 月 25 日 6:00 の 24 時間.

シーディング領域に関して降水領域を領域 A, 積雲の発地点を領域 B, 最大積算降水量観測領域を領域 C と設定した. また, 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. 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シミュレーション名を Case(領域)-(高度)(時刻)で表すこととする. なお事例 1 に関しては, シーディングによる豪雨抑制のメカニズムを解析するため, 設定領域と時刻を増やし, さらに詳細な解析を行った.

## 3. 結果と考察

### (1) シーディングによる感度分析

事例 1 と 2 におけるシーディング効果の判定結果を表-1 に示す. 同表はまず, 平均降水量・最大降水量共に増加したケースを  $\square$ , 次に平均降水量が減少, または変化がなく最大降水量が増加したケースを  $\square$ , 平均降水量・最大降水量共に減少したケースを  $\square$ , 平均降水量増加または変化がなく領域最大降水量が減少した場合を  $\square$ , 変化が少なかったケースを  $\times$  で示す. また, 閾値は全て 5 % で統一する. 事例 1 において変化が著しかった領域 C の領域最大降水量変化率を表したグラフを図-1 で示す. また, 事例 2 の 24 時間積算降水量を図-2, CaseA-7000y 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-3 として示す.

まず, 事例 1 の結果を述べる. この事例は日本の東の高気圧と台風の影響で, 前線に向かって暖湿気流が流入したため, 北日本から東日本にかけて断続的に大雨が降った事例である. 表-1 より最大降水量が時刻  $y$  の 7800m 地点において 5 % 以上減少していることが分かる. また, 時間帯に関しては CaseB, C において 7800m で大きな違いが見られ, 図-1 から, シーディングを高高度ですることにおいて効果的であることが考えられる. この他に事例 4 や事例 7 であり, 同様の傾向が見られる. 前線性の雲に暖湿気流が混ざること対流性の雲が発達する場合があり, 雲頂高度が高い為高高度におけるシーディングが効果的であると考えられる.

事例 2 の結果については, 本州付近に停滞していた前線に東側を回る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. 同事例に関しては最大降水量が減るケースは少ないが平均降水量で減る傾向が多々見られた. 図-2 と図-3 を比較すると風上側の海上に降雨のピーク地点が移動す

表-1 シーディング結果における領域平均降水量・領域最大降水量の分類

	領域	領域 A				領域 B				領域 C			
	高度	5600	6300	7000	7800	5600	6300	7000	7800	5600	6300	7000	7800
事例 1	時刻 x		×	×		×		×					
	時刻 y					×				×	×		
事例 2	時刻 x	×				×		×	×	×		×	
	時刻 y	×				×				×			×

○:平均降水量・最大降水量共に増加  
 ○:平均降水量減少または変化なし, 最大降水量増加  
 ○:平均降水量・最大降水量共に減少  
 ○:平均降水量増加または変化なし, 領域最大降水量減少  
 ×:変化少 閾値は領域平均, 領域最大共に ± 5 %

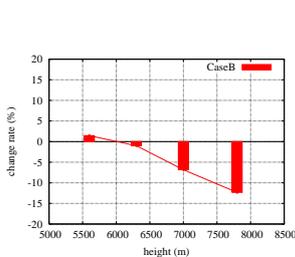


図-1 事例 1 における領域最大降水量の変化率 c-y

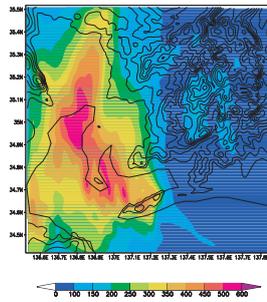


図-2 事例 2 の Case0 における 24 時間積算降水量 [mm]

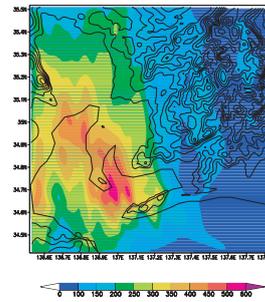


図-3 事例 2 の CaseA-7000y における 24 時間積算降水量 [mm]

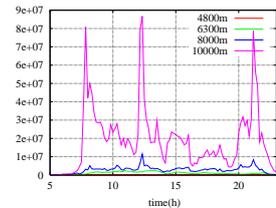


図-4 事例 1 における各高度の氷晶核数濃度の時間変化

るケースが見取られ、本来降るはずのピーク地点手前でシーディングの効果が表れ、ピーク地点が風上側へ移動したと考えられる。

事例 3 の結果については、東シナ海から西日本を通過して本州南岸にのびる梅雨前線の活動が活発となり、西日本を中心に大雨となった事例である。同事例に関してはシーディングによる変化が極めて小さい結果となった。梅雨前線による雨は日程範囲が広く層状性の雲であることが多い為、雲頂高度が低いことから効果が出にくい傾向にあると考えられる。

(2) シーディングによる豪雨抑制のメカニズムに関する解析

次に、上記の感度分析において最も効果の高かった事例 1 に関してさらに細かい分析を行い、シーディングによる降雨抑制のメカニズムを解析する。本研究では特に降水量の増減にもっとも影響があると考えられるシーディング高度に着目し、解析を行った。

図-4 に Case0 における各高度の氷晶核数濃度の時間変化の図を示す。同図より、高高度では氷晶核数濃度の生成が活発に行われ、低高度ではほとんど生成が行われていないことが分かる。シーディング高度の低い位置では高高度に比べ気温が高いため、主に落下速度の速い降水粒子(霰、雲水など)が発生しやすく、シーディングを行うことで降水量や降水域の集中度を増加させやすい環境にあるといえる<sup>1)</sup>。対照的にシーディング高度の高い位置では落下速度の遅い降水粒子(氷晶、雲氷など)が発生しやすい環境にあると言える。さらに、発生した落下速度の遅い降水粒子が、季節風やシーディングを行った際発生する潜熱の影響などで発生した上昇気流などにより風下側に移動し、この移動が本来風上側に降るはずの降水を抑制し、雨域の集中度の減少につながっている可能性が高い。以上のことからシーディング高度が、降雨の集中度の増減に影響を及ぼすと考えられる。

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、シーディングをする高度などを変化させる実験的な数値シミュレーションを行った。また、複数の事例に対して、シーディングを行うことで事例ごとにどのような傾向が表れるか検討を行った。さらに、シーディングによる豪雨抑制のメカニズムに関する解析を行った。7つの事例を比較・検討した結果、事例による傾向の違いはあるものの、対流性の雲が発達した事例においては比較的高高度のシーディングに対して高い抑制効果が表れたものが多く見られた。また、シーディング高度を変化させることで降雨の集中度の増減をコントロールできる可能性を示すことができた。

今後の課題としては、さらに多くの事例でシーディングを行い、最も効果の得られる条件を明らかにするとともに、豪雨抑制のメカニズムのさらなる追求を、今回扱った事例以外での解析も含め行う予定である。

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