

シーディングを用いた気象制御手法による降水現象への影響

宇都宮大学大学院工学研究科
宇都宮大学大学院工学研究科
法政大学デザイン工学部
宇都宮大学

学生員 郷 祐美子
学生員 菅原 景
正会員 鈴木 善晴
正会員 長谷部 正彦

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、数値モデルベースの豪雨予測に基づいた警戒システム構築など、様々な防災対策が試みられている。

一方、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。

シーディングの種として用いられるものとしてドライアイスや液体炭酸、ヨウ化銀があり、これらを航空機などにより雲に散布する。ドライアイスや液体炭酸は周囲の温度を下げることにより過冷却水の水蒸気や雲水を凍らせる働きをする(強冷法)。また、ヨウ化銀は自身が核となり氷晶を生成する(人工氷晶核法)。こうして生成された氷晶はさらに水蒸気や雲粒を捕捉、成長することで落下し0 以上の気層を通過した時点で融解して雨粒となる。

シーディングに関する既存研究として、気象研究所¹⁾では、2次元、3次元数値モデルを用いて氷晶生成項についての感度分析を行い、日本海降雪雲における降雪の質や降積雪の分布を人工的に制御できる可能性を示している。

しかしながら、これまで、降雨を促進する人工降雨の研究は数多く実施されているが、降雨の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、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においてシーディングが集中豪雨の発生、発達に対してどのような影響を与えるのかについて感度分析の観点から検討を行う。

2. メソ気象数値モデルMM5の概要

メソ気象数値モデル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

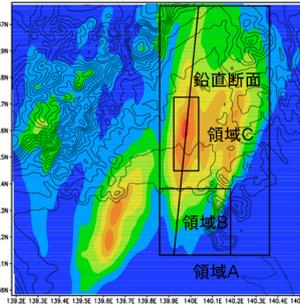


図-1 Case0における24時間積算降水量[mm]とシーディング領域と積雲の鉛直断面の位置

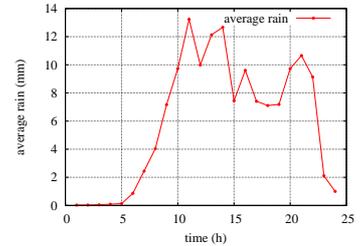


図-2 Case0における領域平均時間降水量[mm] 横軸は時間[hour]を示す

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、対象領域は栃木県那須周辺の領域を設定した。計算対象期間は「那須豪雨」と呼ばれる集中豪雨の発生していた1998年8月27日の24時間とし、助走時間を3時間設けている。格子数は121×121、格子間隔を1kmと設定した。

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。

3. MM5による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。ここでFletcherの経験式は以下に示される。

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

ここで、 n_c は氷晶核の数濃度(kg^{-1})、 T は気温(k)、 ρ は空気の密度(kg/m^{-3})を表す。本研究では気象研究所¹⁾が3次元モデルで行ったシーディングの数値実験での倍率を参考にし、散布する時刻、領域、高度などを考慮しながら氷晶核数の操作を行う。

4. シーディング数値実験

始めに、シーディング領域と高度を変えたシミュレーションによる感度分析を行う。まず、シーディング領域を決定する。本研究の目的は、シーディングが豪雨の発生・発達にどのように影響を与えるかを

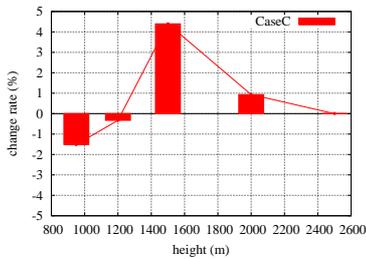


図-3 CaseCにおける領域平均 24 時間積算降水量 [mm] (横軸はシーディング高度 [m])

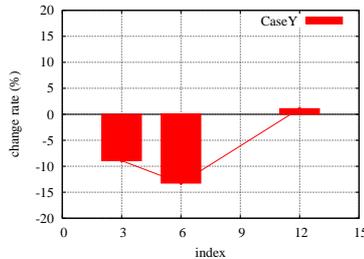


図-4 CaseYにおける領域最大 24 時間積算降水量 [mm] (横軸は倍率の指数)

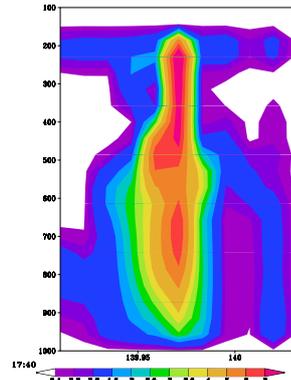


図-5 Case0における積雲の鉛直断面 [1998 年 8 月 27 日 17:40]

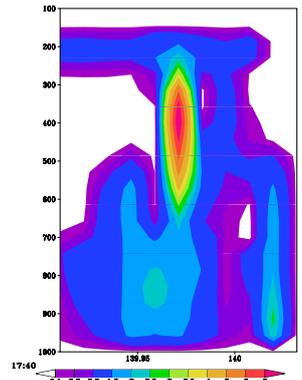


図-6 CaseC-0950における積雲の鉛直断面 [1998 年 8 月 27 日 17:40]

解析することであるので、それに影響を与えると予測される地点を設定する。よって、シーディングを行う領域を図-1に示すとおり、右側の降水分布を囲むようにした領域を領域 A、積雲の発生地点を領域 B、積算降水量が 300mm 以上であり最も積雲対流活動が活発と予測される領域を領域 C と設定する。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)で表すこととする。シーディング領域と高度での影響を解析することが目的であるので、倍率は既存研究¹⁾を参考に 10^6 倍とし、シーディング時刻は図-2に示す領域平均時間降水量より、降水量がピークに達しシーディングの効果が大きいと予測できる 8 月 27 日 11:00 から 14:00 までの 3 時間と固定した。

図-3に CaseC の領域平均 24 時間積算降水量の変化率を示す。低高度である CaseC-0950, 1200 で 1.5%, 0.3% の減少を示しそれ以上の高度では増加している。

続いて減少傾向の強く、低高度でのシーディングは抑制効果が顕著との指摘がある¹⁾ことから CaseC-0950 でのシーディングを用いて、昇華/凝結凍結核数の倍率とシーディング時刻を操作することによる感度分析を行う。

操作倍率は 10^6 倍に、気象研究所¹⁾での数値実験を参考にした 10^3 倍、倍率を大きくした 10^{12} 倍を加えた 3 パターンを用いる。シーディング実施時刻は、図-2を参考に、雨が降り出す前の 2:00~5:00、雨が降り出した 5:00~8:00、前節で用いた降水がピークに達した 11:00~14:00 での 3 パターンを設定する。なお、それぞれの時刻を X, Y, Z とおく。

図-4に CaseY における領域最大 24 時間積算降水量の変化率を示す。同図から 10^3 倍、 10^6 においてそれぞれ -9%, -13% と大きな減少をみせている。このことから、降水がピークを迎える前でのシーディングはそれほど大規模なものでなくても抑制効果が得られるのではないかと考えられる。

5. 積雲発達状況の変化

前章ではシーディングによって降水量が変化することが確認できた。本章では、積雲対流の変化を鉛直断面で確認、考察を行っていく。まず、雨水、雲水、雲氷、雪、霰混合比 (g/kg) の和を積雲とする。こ

ここで、積雲の鉛直断面の位置を図-1に示す。降水分布のなかでも積算降水量が多く、積雲の発生地点も含むことができるのでこの地点を設定した。

次に、図-5に Case0 における 17:40 の積雲の鉛直断面、図-6に前章で減少傾向の大きかった CaseC-0950 の 17:40 の積雲の鉛直断面を示す。図-5Case0 では 1000hPa から上空 200hPa まで発達していた積雲が、図-6CaseC-0950 では 600hPa から 350hPa までと分布がとて小さくなり、密になっている。シーディングを行うと、雲内の水蒸気や雲水が氷晶に昇華、凝結されその際に潜熱が発生する。この潜熱により対流運動が生じ上昇気流が発生し氷晶は上空へと運ばれることから上層での降水粒子の混合比は増加する。この時の上昇気流がシーディング後にも積雲対流内に影響を与え、降水は抑制されるのではないかと考えられる。

しかし、現段階ではシーディングによる積雲変化のメカニズム解明には至っていない。

6. まとめと今後の課題

本研究ではシーディングを再現した実験的なシミュレーションを行うことで、集中豪雨の発生・発達にシーディングがどのように影響するかを解析、考察した。

領域は範囲が小さいとしても積雲がよく発達している地点の低高度でシーディングを行うと高い抑制効果が得られる。また、たとえ低い倍率であったとしても、時刻によっては高い抑制効果が得られる場合もある。

今後の課題として、今回行っていない領域や高度等のケースでのシミュレーションを行うこと、他の集中豪雨での事例でも同様の結果が得られるかを検討する必要がある。また、具体的な氷晶数の変動や風速場の変化に着目して、シーディングによる積雲対流の発生・発達の変化のメカニズムについて解析、検討したい。

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