

平成 30 年西日本豪雨を対象としたシーディングによる降水抑制効果に関する研究

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

○学生会員
正会員

目高龍太郎
鈴木 善晴

1. 研究の背景・目的

近年，地球温暖化の進行により，従来よりも大規模かつ広範囲に被害を及ぼす豪雨が多発している．平成 30 年西日本豪雨や令和 2 年 7 月豪雨などの線状降水帯による豪雨災害が西日本を中心に発生し，令和元年東日本台風などの台風による豪雨災害では，豪雨災害が比較的少ないとされてきた関東や東北などの地域においても，甚大な被害がもたらされた．今後も大規模な豪雨災害の発生が予想されることから，避難対策などのソフト面と，国土強靱化による堤防の決壊や橋梁の流出を防ぐハード面の両面から防災・減災対策を実施することで，人命と暮らしを守る必要がある．

一方，クラウドシーディング（以降シーディングとする）に関する八木ら¹⁾の研究では，多数のシーディング手法での豪雨抑制効果が確認されており，シーディングによる豪雨抑制の可能性が示されている．また，中村ら²⁾の研究では，上昇気流に着目することで，シーディングの効果をより高められる可能性が示された．しかし，これまで対象としてきたシーディングの事例は，局地的な豪雨や小規模な線状降水帯であり，梅雨期の西日本で頻発化している大規模な線状降水帯を対象としてこなかった．

そこで，本研究では近年，梅雨期の西日本で大きな被害をもたらす大規模な線状降水帯に着目し，メソ気象モデル WRF による数値シミュレーションを実施し，シーディングによる降水抑制効果の評価を行った．また，既往の研究では検討されてこなかった線状降水帯の要因とされ，水蒸気の流れである大気の河に着目し，海上でのシーディングを実施し，陸上でのシーディングとの違いに関する考察を行った．

2. モデルの概要および計算条件

WRF (Weather Research and Forecasting model) 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り，本研究で対象とした規模の豪雨をシミュレーションするのに最適なモデルである．本研究で 2 つのドメイン，ドメイン 1 (格子間隔 9000 m)，ドメイン 2 (格子間隔 3000 m) を設定し，ネスティング計算を行い，ドメイン 2 で解析を行った．初期値及び境界条件は，大気データ及び海面データを NCEP (アメリカ環境センター) が提供する解像度 30 km の FNL データ，地形標高データは USGS (アメリカ地質調査所) 提供の緯度・経度 30 秒 (約 0.925 km) の分解能のデータを使用した．また，本研究では，既往の研究と同様に，氷晶核数に操作倍率をかけて間接的にシーディングを表現するため，雲物理過程のスキームとして，過冷却水や 0 以上での混合比だけでなく霰や氷晶の数濃度の計算が可能な Morison double-moment Scheme を用いた．

3. 対象事例とシーディングの設定条件

本研究では，西日本の広い範囲に甚大な被害をもたらした平成 30 年西日本豪雨対象とし，四国地方と九州地方におけるシミュレーションを行った．シーディングの設定条件は，実施領域を 2 パターン，実施継続時間を 1 パターン，実施高度を 3 パターン，氷晶核数の操作倍率を 3 パターン，計 36 ケースのシミュレーションを実施した．本研究では，シーディング前の事例を Case-0 とし，既往の研究と同様に，降水を抑制したいエリアの上空でシーディングを実施する CaseA と，海上でシーディングを実施し，海上で雨を降らし，陸上の降水を抑制することを目指す CaseB の 2 パターンを実施した．本稿では，四国地方の豪雨を対象に考察を行う．

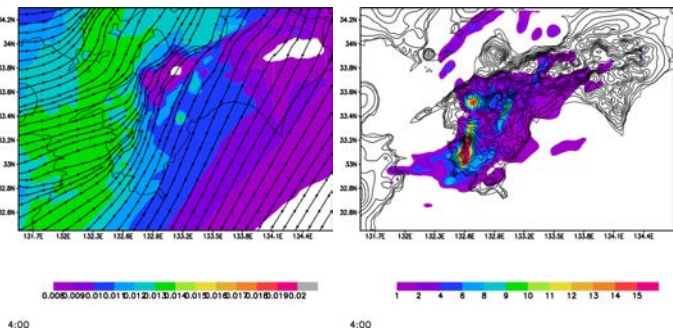


図-1 Case-0 における計算開始 28 時間後の高度 2 km における大気の河と降水雨量図

事例	CaseA-3-28	CaseB-5-28
1 時間の平均値	-0.07	-0.81
1 時間の最大値	-15.82	-14.95
エリアの平均値	-0.07	0.17
エリアの最大値	2.1	-1.5

表-1 陸上解析エリアにおける Case-0 との変化率 (%) が大きい事例 (Case-氷晶核数-高度)

4. シミュレーション結果と考察

大気の河と線状降水帯の関係について考察する．図-1 より，大気の河が豊後水道を通り，四国の山地にぶつかることで豪雨が発生していることが確認された．上空 2 km における水蒸気の流れが大きな要因であることが示唆された．

シーディングによって大きな変化を示した条件の一部を，表-1 に示す．解析領域は，図-2 で示したシーディング実施範囲と同じである．1 時間の最大値に着目すると，CaseA-3-28 では-15.82 %，CaseB-5-28 では-14.95 %の減少が確認された．陸上と海上のシーディングのどちらとも，1 時間の最大値において降水を抑制する可能性が示唆された．

まず，陸上でシーディングを行った CaseA-3-28 の各降水粒子の偏差を図-4 に示す．シーディング開始 27 時間後にかけて，霰が大きく増加することで，水蒸気が雪と雨粒へ変化した．シーディング開始 33 時間後，水蒸気の減少に伴い，雪と雨粒が減少し，降水抑制につながった．次に，海上でシーディングを行った CaseB-5-28 の各降水粒子の偏差を図-5 に示す．シーディング開始 30 時間後，海上の霰が増加することで，雪と雨粒が大きく増加し，海上で水蒸気を雨粒に変化することが確認された．シーディング開始 30 時間後，陸上での水蒸気が大きく減少していることから，線状降水帯の要因とされる水蒸気を減らす可能性が示された．

四国地方では，シーディングによって降水量に大きな変化を示した事例があったのにも関わらず，九州地方で同じ条件設定でシーディングを実施した場合でも，大きな変化が見られなかった．その理由は，大気の河に含まれる水蒸気量であると考える．九州地方の大気の河は四国地方の大気の河よりも水蒸気の混合比が 0.005 kg/kg 程度多く，氷晶を散布しても，大量の水蒸気によって，霰の形成が妨げられている可能性が考えられる．今後，詳細に解析する必要が求められる．

5. まとめと今後の課題

本研究では，梅雨期の西日本で大きな被害を発生させる大規模な線状降水帯に着目し，陸上と海上でのシーディングによる違いについて研究を行った．その結果，陸上では，小規模な降水システムと同様に，霰の増加が雪や雨粒の増加につながることで，海上では，予め雨を降らせることで，陸上への大気の河に含まれる水蒸気量を減らすことにつながる可能性が示唆された．

今後の課題としては，現時点では降水抑制に対して十分な効果が得られていないため，更に効果を高めていくことが挙げられる．そのために，中村らの気流シーディングを参考に，大気の河を伴う豪雨に対し，シーディングの事例数を増やすことで，降水抑制効果を最大化できる実施条件を明らかにする必要がある．また，陸上と海上のシーディングを比べることで，シーディングの選択肢を増やしていくことも重要な課題である．

参考文献

- 1) 八木柊一朗，鈴木善晴，横山一博：豪雨の抑制を目的とした複数のシーディング手法による有効性・信頼性に関する研究，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.73，No.4，I259-I264，2017．
- 2) 中村嶺太，鈴木義晴：降水抑制効果の向上を目的とした気流シーディングの高度化・精緻化に関する数値実験，法政大学大学院 デザイン工学研究科紀要 Vol.10

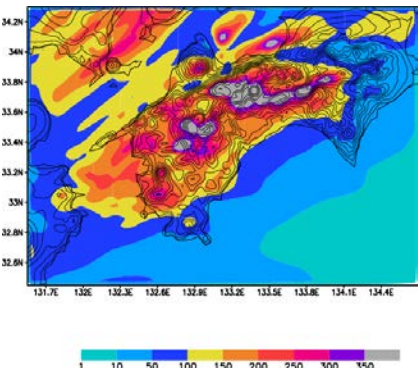


図-2 Case-0 の 36 時間積算降水量図

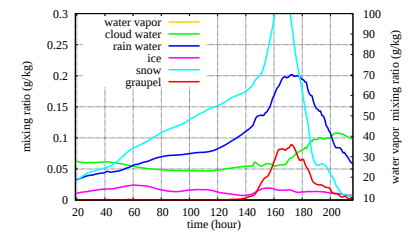


図-3 Case-0 の 36 時間の各降水粒子の変化

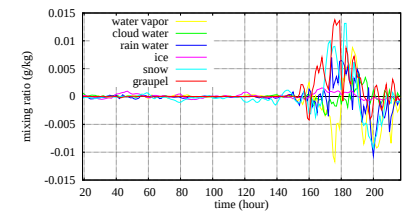


図-4 CaseA-3-28 における Case-0 の陸上での各降水粒子の偏差

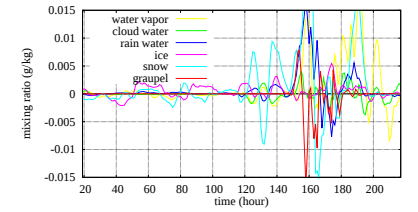
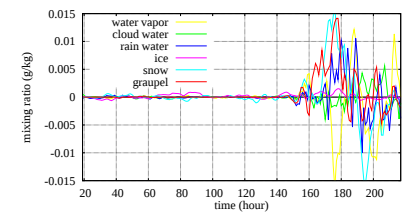


図-5 CaseB-5-28 における Case-0 の陸上での各降水粒子の偏差（上：陸上 下：海上）