

温暖化による局地的豪雨の頻発化を想定した 人為的豪雨抑制手法に関する数値実験的研究

鈴木, 善晴 / SUZUKI, Yoshiharu

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2014-06

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760467

研究課題名(和文) 温暖化による局地的豪雨の頻発化を想定した人為的豪雨抑制手法に関する数値実験的研究

研究課題名(英文) Numerical experiments of the artificial rainfall mitigation technique considering the frequent occurrence of localized torrential rains caused by global warming

研究代表者

鈴木 善晴 (SUZUKI, Yoshiharu)

法政大学・デザイン工学部・准教授

研究者番号：80344901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地球温暖化進行時の豪雨頻発化を念頭に、クラウド・シーディングを用いた人為的豪雨抑制手法の開発とその効果的な実施条件について検討を行うものである。メソ気象モデルを使用して雨域面積や時間降水量の変化などの複数の観点からシーディングによる降水システムへの影響の有無や大きさを解析するとともに、シーディングに伴う氷晶数濃度や霰の増減などに着目して抑制効果のメカニズムを解析した。その結果、シーディングにより積算降水量のピーク領域の面積や時間最大降水量が効果的に抑制され得ることなどが確認され、また、風下側への降水粒子の移動・拡散がシーディングによる豪雨抑制の重要な要因であることなどが示された。

研究成果の概要(英文)：The current study conducted numerical experiments using nonhydrostatic mesoscale meteorological model to evaluate and verify the rainfall mitigation effect by cloud seeding on torrential rains. Based on simulated heavy rain events in Japan, sensitivity analysis was performed by manipulating some conditions of cloud seeding implementation, i.e., area, height, time, etc., in incremental steps. Some standpoints of evaluation were introduced in the analysis to clarify whether and how far cloud seeding have a significant influence on precipitation systems. Results show that rainfall area and hourly rainfall, as well as maximum areal rainfall, can be decreased by cloud seeding, depending on the condition of its implementation. It was also clarified that rainfall mitigation by cloud seeding can be attributed to the leeward migration and/or diffusion of precipitation particles with excessive increase of ice crystals in upper layers of the atmosphere.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：集中豪雨 気象制御 シーディング 地球温暖化 メソ気象モデル 雲解像モデル

様式 C-19、F-19、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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頻発している。我が国においても、都市域を中心に、局地性が極めて強く時間雨量が80~100mmを越えるような短時間豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）が多発し、毎年のように人的・経済的被害をもたらしている。次世代型の降雨レーダ（マルチパラメータレーダ）の都市域への配備や、数値モデルベースの豪雨予測に基づいた警戒避難システムの構築など、行政や研究機関により様々な防災対策が試みられているものの、近年の温暖化傾向が継続・進展した場合には、従来の安全基準で整備された都市社会システムにおいて豪雨による被害がさらに拡大するであろうことは容易に想像される。

一方、こうした豪雨の頻発化や台風の強大化など、極端な降水現象に対して地球温暖化の進行がどのような影響を及ぼし得るのかについては、各国において、全球気候モデルGCM (Global Climate Model) を用いた影響評価が行われている。わが国においても、「21世紀気候変動予測革新プログラム(超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究)」をはじめ、複数の大型プロジェクトが実施されており、今後、それらの成果として得られる現時点で最も信頼性の高い評価結果に基づいて、温暖化に対する「適応策」(極端現象による被害を防止・軽減するためにどう対処すべきか)の検討がなされる予定である。しかしながら、適切な「適応策」が策定されたとしても、その実現には都市社会システムの根本的な見直しや再構築が必要となる可能性が高く、実現までには相当な年月と費用を要することも考えられる。

したがって、我々は単に社会基盤の整備に期待するだけでなく、現在あるいは将来の科学技術で実現可能と思われる手法を駆使して実効性の高い気象制御手法を開発し、集中豪雨などの発生や発達そのものを人為的に制御するという選択肢についても、今から十分に検討を行っておくべきであろう。そのような観点から、本研究は、現時点で最も有望な気象制御手法と考えられる「クラウド・シーディング (Cloud Seeding)」に着目し、同手法が人為的な豪雨抑制に対してどの程度の有効性を持ち得るのかについて検討を行うものである。

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て人工的に雨を降らせる技術で、1940年代以降、欧米諸国を中心として数多くの実験や研究が行われている。ただし、それらの多くは降水の

生成や増強を目的としたものであり、豪雨の抑制を目的としたものは非常に少ない。現在、降水や雲、霧を対象とした気象制御に関する研究あるいは業務実験は、世界気象機関(WMO)に報告されているだけでも、世界30数カ国、100件以上のプロジェクトとして実施されているが、その目的は、全体の7割以上が水資源確保のための人工増雨や増雪であり、次いで降雹制御、豪雨雪の緩和を目的とした降水域の移動、霧消しの順となっている。1990年代以降は、数値モデル実験をベースとした研究が盛んに行われ、降水の生成や増強に対するシーディングの有効性やその物理的なメカニズムが次第に明らかになりつつあるものの、集中豪雨を対象とした抑制効果については現在のところほとんど明らかとなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、メソ気象モデルによる数値実験をベースに、クラウド・シーディングを用いた人為的な豪雨抑制手法の検討を行う。はじめに、線状対流系や都市型豪雨など、地球温暖化による頻発化が予想される局地性の強い降水システムを対象として、シーディングによる豪雨抑制効果の有無を確認する。すでに予備的実験の結果から、複数の事例において一定の効果が得られることを確認しているが、異なる地域や事例においても同様な効果が得られるのかどうかを検討し、結果の一般性を見極める。

次に、特定地域への降水の集中を緩和・抑制するためには、どのようなタイミングで、どの場所に、どの程度の規模のシーディングを実施すればよいのかを明らかにすることで、最大限の抑制効果を得るためのより効果的な実施要件を提示したい。シーディングを実施した過去の事例が示すように、降水の絶対量を人為的に増減させることは容易でないが、降水システムの発生・発達のプロセスに人為的な変化を与え、地上に到達する降水の分布を時間的・空間的に分散させることができれば、豪雨の強度を緩和することが可能になると考えられる。

降水量を人為的に増減させることを目的とするのではなく、地上に到達する降水の分布を時間的・空間的に分散させることで集中豪雨の強度を緩和・抑制するという発想は、従来の研究にはないもので、本研究の最大の特色である。予備的実験の結果からは、シーディングによって積雲上層の降水粒子が成長・停滞するとともに、水蒸気が昇華・凝結する際に発生する潜熱が上昇気流を強化するため、降水粒子の空間的な分布の変化や、降水粒子が落下するまでの時間的な遅れが生じ、その結果として降水の集中度が緩和されたケースが確認されている。こうしたシー

ディングによる降水粒子の増減メカニズムや挙動の変化を解析し、豪雨の発生・発達・停滞などの各プロセスに一定の変化を与える具体的なシーディング実施要件を明らかにすることができれば、大がかりな制御を伴わずとも高い抑制効果を持つ豪雨制御手法の確立が可能になると期待される。

一方、実際にシーディングを実行する際には、大気の状態や積雲内の降水粒子の発生状況を降雨レーダ等により監視するとともに、数値モデルを用いたリアルタイムの発生・発達予測が必要となる。また、シーディングによる抑制効果を事後検証するための評価手法や、意図した効果が得られない場合を想定した事前のリスク評価の検討も重要な課題となる。本研究では、これらの実際にシーディングを実行する際の技術的な課題や問題点を具体的に明示するとともに、その解決策についても可能な範囲で検討を行う。

3. 研究の方法

本研究では、地球温暖化進行時の豪雨頻発化を念頭に、クラウド・シーディングを用いた人為的豪雨抑制手法の開発とその効果的な実施条件について検討を行うため、メソ気象モデル WRF を用いて実験的なシミュレーションを行った。雨域面積や時間降水量の変化などの複数の観点から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するとともに、シーディングに伴う氷晶数濃度や霰の増減などに着目して抑制効果のメカニズムを解析した。

メソ気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting Model) は、実用的な天気予報とそれに関連する研究のために開発された、メソスケールの気象現象を対象とした数値モデルで数 km 以下の水平解像度にも対応可能である。本研究では、雲物理過程のスキームとして、水・氷 6 種の混合比と雲氷・雪・雨水・霰の数濃度が予報変数として含まれていてシーディングを表現するのに適していると思われる Morrison double-moment Scheme を用いた。大気境界層には MYJ PBL, 放射過程には RRTM Scheme (longwave), Goddard Scheme (shortwave), 地表面過程には Noah Land Surface Model を使用した。

また、本研究では 4 つの領域に対して格子間隔を 27km (Domain1), 9 km (Domain2), 3km (Domain3), 1km (Domain4) と設定し、2-way のネスティング計算を行った。格子間隔よりも小さなスケールの積雲対流活動を表現するために用いられる積雲パラメタリゼーションは、Domain1 に対してのみ Grell-3 を設定した。格子数はそれぞれ 50 × 50 (Domain1), 52 × 52 (Domain2), 70 × 70 (Domain3), 121 × 121 (Domain4) とした。初期値及び境界条件として、大気データ及び

海面水温データは NCEP (アメリカ環境センター) から提供されている解像度 30km の FNL データを用いた。3 時間の助走期間をとり、その後の 12 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 0.925 km) の分解能を持つ DEM データ (GTOP030) のデータを用いた。

シーディングに対する応答は降水システムによって大きく異なることも考えられるが、本研究では鈴木らの研究によって豪雨抑制効果が得られたバックビルディング型の線状対流系と呼ばれる降水システムに着目した。これは、既存の降水セルから見てまわりの環境風の上流方向に、新しいセルが生成され、それが成長・発達しつつ古いセルと併合して、線状構造を作る機構であり、我が国の暖候期、特に梅雨期に発生する集中豪雨の代表的な降雨形態となっている。積雲の発生領域や雨域が比較的狭い地域に限定されることも多く、シーディングの実施対象として適していると判断した。本研究では、線状対流系に起因すると考えられる愛知、三重、岐阜等の東海地方で発生した 2000 年 9 月 11 日の東海豪雨と九州北部地方を中心に発生した 2009 年 7 月 24 日の北九州北部豪雨など複数の豪雨事例を抽出した。以下では東海豪雨を事例 I、北九州北部豪雨を事例 II とする。事例 I は、台風 14 号の影響により、日本付近に停滞していた秋雨前線の活動が活発になり大雨となった事例であり、事例 II は、梅雨前線の活動が活発になることにより大雨となった事例である。

シーディングの表現方法に関しては、モデル内でシーディングによる物質散布を直接的に表現するのは難しいため、本研究では、モデル内の混合比計算スキームにおける氷晶核の数濃度の値に一定の操作倍率をかけることで間接的にシーディングを表現することとした。氷晶核 (昇華/凝結凍結核) の数濃度は Fletcher の経験式によって計算される (数式は割愛)。操作倍率に関しては、既存研究で実施された数値実験において 10^3 倍～ 10^6 倍の倍率が使用されていることを参考にして、本研究ではより極端な設定として 10^9 倍の操作倍率を採用した。

シーディングの対象領域は、領域 A (降水量が観測された領域)、領域 B (風上側付近の積雲が発生する領域)、領域 C (積算降水量が多い地点を含む比較的狭い範囲) の 3 ケースを設定し、それぞれの領域全体で氷晶核数に変化を与えて感度分析を行った。また、対象高度は、雲底部 (0 °C 付近)、雲底上部、積雲中央、雲頂下部、雲頂上部 (積雲混合比の値が確認される限界の高度) の 5 ケースとした (それぞれ高い高度から順に 1～5 の数字で表す)。対象時刻は、それぞれのシーディング対象領域において積雲が発生し雨が

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と設定した. 以上のケースを用いて, 1事例あたり全30ケースのシミュレーションを行った. 以下では, シーディングを実地しないケースをCase-0とし, 領域A, 時刻X, 積雲中央のケースを, Case-A-X-3 などとする.

4. 研究成果

(1) シーディングが集中豪雨に与える影響に関する感度分析

本研究では12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. いずれの値も領域Aに相当する領域を解析対象領域として算出した. 結果の一例として, 領域Aおよび領域Cに対してシーディングを実施したケースにおける領域平均降水量の変化率とシーディング高度との関係, また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見てみると, 全ケースにおいて, 領域平均降水量では-1~+4%の変化率となり, 最大降水量では, -10~+6%の変化率となった.

全ケースにおける領域最大降水量の変化率を見ると, 閾値を±3%とした場合, 最大降水量が増加したケースは事例Iでは5ケース, 事例IIでは0ケースであり, 減少したケースは事例Iでは10ケース, 事例IIでは13ケースとなった. 両事例とも減少したケースのほうが多いことから, 今回対象とした降水システム(線状対流系)に対しては, シーディングによる豪雨の抑制効果が期待できると考えられる. また, シーディングの実施条件別にみると, 増加ケースは領域Bや積雲中央のケースに多いという傾向が見取れた. 一方, 減少ケースは事例I, 事例IIの両事例とも時刻Xの雲頂下部および雲頂上部に多くなっており, 特に事例IIの時刻Xでは雲頂下部および雲頂上部において全ての事例で減少していることが確認された. 全体としては, 時刻Xの雲頂下部および雲頂上部のケースにおいて豪雨抑制効果が得られやすいという結果となった.

次に, 本研究では, 12時間積算降水量に対して求めた階級別雨域面積の偏差(Case-0とのグリッド数の差)に着目してシーディングによる抑制効果の定量的評価を行った. いずれも解析対象領域においてグリッド数を算出した(1グリッドあたり1km²). ここでは領域最大積算降水量の結果において増加傾向が見られたケースを含む事例IのCase-C-X(全5ケース), また, どのケースにおいても減少傾向が見られた事例IIのCase-B-X(全5ケース)について見てみると, 前者のケースでは領域最大降水量が減少し

たいずれの高度でも12時間積算降水量が250mm以上の階級のグリッド数が減少している様子が見取れた. 特に, 雲底上部では200mmから250mmのグリッド数も減り, 降雨の集中度が分散されたことが考えられる. また, 領域最大降水量が増加したもしくはほとんど変化が見られなかったケースに関して, 降水量ピーク領域と思われる250mmのグリッド数がわずかではあるが減少していることが確認された. 250mm以上の階級のグリッド数をCase-0との変化率でみると, 平均して13%の減少となった. また, 最大降水量に減少傾向が見られた後(事例IIのCase-B-X)のケースでは, どの高度においても降水量ピーク領域の300mm以上の階級の面積が減少しており, 降水量の集中度が抑制されている様子が見取れた. 300mm以上の階級のグリッド数をCase-0との変化率でみると平均して89%の減少となり, 顕著な抑制効果が確認された.

さらに, シーディングによる時間降水量の頻度分布の変化に着目して, シーディングによる抑制効果の定量的評価を行った. まず, 結果の一例として, 12時間積算の最大降水量の結果において促進効果が見られた事例IのCase-A-X-3とCase-B-X-3, 抑制効果が見られたCase-B-X-5とCase-C-Y-2について見ると, どのケースにおいても降水量が一番多い階級のグリッドがCase-0と比較した際に減少しており, それと同時に時間降水量の最大値も減少していることが確認された. これらのケースでは, シーディングを行うことによって雨域の移動, 拡散が生じ, 時間降水量の最大値が抑制されたと考えられる. 特に, 抑制ケースのCase-B-X-5とCase-C-Y-2においては時間降水量の最大値が90mm~95mm以上の階級で減少しており, より顕著な抑制効果が確認された.

以上より, 雨域面積および時間降水量の変化という観点からもシーディングによる抑制効果が確認されたが, 今後, 最適なシーディングの実施条件を追求する際には, 領域最大降水量だけでなく, 上記の二つの観点も合わせて総合的に抑制効果の評価を行うことが必要である. また, 2つの豪雨事例において, どのような違いが抑制効果の有無に影響したのか現時点では解明できていないため, 今後の検討が必要である.

(2) シーディングによる豪雨抑制効果のメカニズムに関する解析

上記のどの評価方法においても抑制効果が見られた事例IのCase-A-Y-2を減少ケースの一例として着目し, 豪雨が抑制されたメカニズムに関する解析を行った. このケースは, シーディングを8時から10時にかけて行ったケースである. まず, 氷晶が多数存在する450hPaから250hPaまでの氷晶数濃度

を平均し、シーディングを行ってから 10 分後の氷晶数濃度の様子とシーディングを行ってから 40 分後のそれを比較したところ、シーディングを行うことによって氷晶数濃度が大幅に増加し、また、風上側から風下側へ氷晶が流されていく様子が確認された。

水平断面において氷晶数濃度の値の高い領域で鉛直断面における氷晶数濃度の時間変化を見てみると、シーディング実施 10 分後から 40 分後にかけて氷晶数濃度が鉛直方向（高高度）に広がっている様子が見て取れた。これはシーディングの影響により、氷晶がシーディング高度より高い高度において過剰に発生していることが考えられる。また、変化率でみると Case-A-Y-2 は、Case-0 より 450hPa から 250hPa の氷晶数濃度の平均値が 650 %の増加となった。なお Case-0 では、氷晶が Case-A-Y-2 の場合ほど風下側へ流されず風上側に多数発生している様子が見られた。また、鉛直断面においてもシーディングを行った場合ほど鉛直方向（高高度）に広がりは見られなかった。

最大降水量の減少ケースと増加ケースについて、シーディングによる氷晶数濃度の高度別変化と霰数濃度の高度別変化を比較したところ、減少ケースの氷晶数濃度はケース 0 に比べて大幅に増えているのに対して、増加ケースでは、ケース 0 と比べて 10^5 倍程度増加しているものの、減少ケースほどの増加ではないことが確認された。また、霰数濃度に関しては、最大降水量減少ケースでは減少、最大降水量増加ケースでは増加していることが確認された。同様に、液体雲水量に関しても、最大降水量減少ケースでは減少しており、最大降水量増加ケースでは増加していることが確認された。さらに、減少ケースと増加ケースについて、シーディングによる鉛直風の高度別変化を見てみると、両ケースともシーディングによって上昇気流が強化されている様子が見て取れた。特に、減少ケースにおいては高高度における上昇気流の強化が見られるが、増加ケースにおいては低高度における上昇気流も強化されている。

これらのことから、減少ケースにおいては、シーディングを行うことによって多くの過冷却水が氷晶へと成長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（オーバーシーディング状態）となることが考えられる。また、オーバーシーディング状態となるまでの氷晶核から氷晶へのニュークリエーションの過程で発生する潜熱の影響により高高度において上昇気流が発生し、上空へと舞い上がった氷晶が高高度の横風等により風上側から風下側へ流され、降雨が分散したと考えられる。一方、増加ケースにおいては、オーバーシーディング状態とならずに低高度における上昇気流の強化によって霰による雲粒の捕捉

成長が促進・強化されて、豪雨増加につながったと考えられる。

本研究では、以上のように、シーディングによる豪雨抑制効果の大小やその物理的メカニズムを明らかにすることができたが、今後はさらに、シーディングを行うことによって豪雨の集中度が増加するリスクの評価や、最適なシーディングの実施条件や抑制効果のメカニズムに関してさらに詳細な解析を行っていく必要がある。また、本研究ではこれまでシーディングによる実施可能性を考慮せずに様々な検討を行ってきたが、今後は、現在の科学技術でも実現可能な新たなシーディング手法の開発とその費用対効果の検証にも取り組む予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ① 尾中俊之, 鈴木善晴 : シーディングによる豪雨抑制効果の評価・検証とそのメカニズムの解析に関する数値実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 70, No. 4, pp. I_553-I_558, 2014 年 2 月 (doi: 10.2208 / jscejhe.70.I_553).
- ② 岡田翔太, 鈴木善晴, 喜田智也 : GCM 出力に基づいた日本域における降雨イベントの将来変化に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 69, No. 4, pp. I_373-I_378, 2013 年 2 月 (doi: 10.2208 / jscejhe.69.I_373).
- ③ 鈴木善晴, 田中聡一郎, 郷祐美子 : 豪雨抑制効果に着目したシーディングによる気象制御手法に関する数値実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 68, No. 4, pp. I_391-I_396, 2012 年 2 月 (doi: 10.2208 / jscejhe.68.I_391)

〔学会発表〕（計 18 件）

- ① Yoshiharu Suzuki, Shota Okada : Future variations of rainfall events in the Japan region based on GCM outputs considering global warming, International Congress on Modelling and Simulation 2013 (MODSIM2013), 1-6 December 2013 (Adelaide, Australia).
- ② 尾中俊之, 石井巧, 鈴木善晴 : 温暖化の進行を想定した大気条件を用いたシーディングによる豪雨抑制効果に関する数値実験, 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, 2013 年 9 月 26 日 (神戸大学百年記念館 (兵庫県)).
- ③ 岡田翔太, 鈴木善晴 : 大気場の変動特性と降水粒子分布構造を考慮した豪雨の発生要因の解析, 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, 2013 年 9 月 26 日 (神

- 戸大学百年記念館（兵庫県）。
- ④ 中北英一，鈴木賢士，大石哲，坪木和久，川村誠治，橋口浩之，中川勝広，鈴木善晴，大東忠保，相馬一義，山口弘誠：豪雨の発生・発達をとらえる大規模フィールド同期観測実験と水災害軽減に向けた総合的基礎研究，水文・水資源学会 2013 年度研究発表会，2013 年 9 月 25 日（神戸大学百年記念館（兵庫県））。
- ⑤ 中根武志，岡田翔太，鈴木善晴：地球温暖化進行時の我が国における降雨特性の将来変化，水文・水資源学会 2013 年度研究発表会，2013 年 9 月 25 日（神戸大学百年記念館（兵庫県））。
- ⑥ 岡田翔太，中根武志，鈴木善晴：温暖化予測数値実験に基づいた気候変動に伴う降雨特性の将来変化，第 32 回日本自然災害学会学術講演会，2013 年 9 月 24 日（北見工業大学（北海道））。
- ⑦ 尾中俊之，鈴木善晴：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，土木学会第 68 回年次学術講演会，2013 年 9 月 4 日（日本大学生産工学部津田沼キャンパス（千葉県））。
- ⑧ 中根武志，岡田翔太，鈴木善晴：地球温暖化の影響を考慮した我が国における降雨特性の将来変化に関する研究，土木学会第 68 回年次学術講演会，2013 年 9 月 4 日（日本大学生産工学部津田沼キャンパス（千葉県））。
- ⑨ 石井 巧，尾中俊之，鈴木善晴：温暖化進行時の大気条件を想定したシーディングによる豪雨抑制効果に関する数値実験的研究，第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会，2013 年 3 月 15 日（宇都宮大学陽東キャンパス（栃木県））。
- ⑩ 岡田翔太，鈴木善晴：MP レーダ及び数値予報 GPV に基づいた局地的豪雨の発生・発達メカニズム，水文・水資源学会 2012 年度研究発表会，2012 年 9 月 27 日（広島市西区民文化センター（広島県））。
- ⑪ 夏井志康，鈴木善晴：都市の配置・規模の変化が集中豪雨の発生・発達に与える影響に関する数値実験，水文・水資源学会 2012 年度研究発表会，2012 年 9 月 26 日（広島市西区民文化センター（広島県））。
- ⑫ 尾中俊之，鈴木善晴，田中聡一郎：クラウド・シーディングを用いた集中豪雨の人為的抑制に関する数値実験，水文・水資源学会 2012 年度研究発表会，2012 年 9 月 26 日（広島市西区民文化センター（広島県））。
- ⑬ 尾中俊之，鈴木善晴，田中聡一郎：クラウド・シーディングによる豪雨抑制効果とそのメカニズムに関する研究，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012 年 9 月 5 日（名古屋大学東山キャンパス（愛知県））。
- ⑭ 岡田翔太，鈴木善晴：局地的豪雨発生時における降水粒子分布構造および大気場の解析，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012 年 9 月 5 日（名古屋大学東山キャンパス（愛知県））。
- ⑮ 夏井志康，鈴木善晴：都市の規模や配置が集中豪雨の発生・発達に与える影響に関する数値実験，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012 年 9 月 5 日（名古屋大学東山キャンパス（愛知県））。
- ⑯ 尾中俊之，鈴木善晴：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，第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会，2012 年 3 月 14 日（関東学院大学金沢八景キャンパス（神奈川県））。
- ⑰ 鈴木善晴，田中聡一郎，郷 祐美子：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，土木学会第 66 回年次学術講演会，2011 年 9 月 7 日（愛媛大学城北キャンパス（愛媛県））。
- ⑱ 田中聡一郎，鈴木善晴：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，水文・水資源学会 2011 年度研究発表会，2011 年 8 月 30 日（京都大学宇治キャンパス（京都府））。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 善晴 (SUZUKI, Yoshiharu)
 法政大学・デザイン工学部・准教授
 研究者番号：80344901