

研究プロフィールシート（終了時評価）

研究課題名：事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査

研究期間：平成29年4月1日～平成31年3月31日

研究代表者：北野昌寛（広島地方气象台）

研究担当者：北野昌寛、久家好夫、西森靖高、石本歩、中村剛（平成29年度）、
澤田達也（平成29年度）、松本幸爵（平成29年度）、岡垣和憲（平成30年度）、
加藤成子（平成30年度）、大山まど薫（平成30年度）
（広島地方气象台）
瀬古弘、横田祥、伊藤純至、津口裕茂（平成30年度）（予報研究部）

1. 研究の背景・意義

（社会的背景・意義）

広島県をはじめとした中国地方は、“マサ土”とよばれる風化した花崗岩が広く分布して地盤が脆弱であり、大雨による土砂流などによって、人的被害を伴う大きな災害が繰り返し発生している。特に、2014年8月20日未明から明け方にかけて、広島市で発生した記録的な集中豪雨（平成26年8月豪雨）や2018年7月5日から7日にかけて発生した記録的な大雨（平成30年7月豪雨）によって、甚大な被害が発生している。このような記録的な大雨が発生する可能性をできる限り早く把握し、減災に繋げることが非常に重要で喫緊の課題となっている。

（学術的背景・意義）

上記のような記録的な大雨（豪雨）は、「積乱雲が発達・組織化」し、「線状に組織化した積乱雲（線状のメソ対流系）が、系として停滞かつ発達を維持」することによって発生すると思われる。豪雨事例と非豪雨事例の解析・比較や数値実験によって、このことを確認するとともに、積乱雲が組織化するための環境や線状のメソ対流系が停滞するメカニズムなどの詳細を明らかにすることは、豪雨発生の可能性を予測する上で極めて重要であるが、研究例は少なく学術的に意義がある。

（気象業務での意義）

「積乱雲が発達・組織化」し、「組織化した線状のメソ対流系などが停滞かつ発達を維持」するメカニズムの詳細を明らかにすることによって、それらに最も寄与する気象要素とその閾値を決定することが可能となる。その結果、決定した気象要素や閾値をもとに豪雨発生の可能性をいち早く把握することが可能

となる。気象台が以上のような技術力を有することは、今後強化させていくべき地域防災力を有効に活かすことにつながる。また、警報級の可能性の判断、予告的気象情報、注意報・警報などの防災気象情報の段階的な発表や、防災関係機関への早めの能動的なホットラインにも適用することによって、真に防災・減災に役立つことができるようになる。

2. 研究の目的

現業作業で利用できる「豪雨発生予測ワークシート（仮称）」を作成し、このワークシートを利用することによって、防災関係機関の防災対応判断への適時・的確なアドバイスを行い、豪雨災害による人的被害を可能な限り減らしていくことに寄与することが今調査の目的である。

3. 研究の目標

豪雨の発生要因を、メカニズムの観点から「積乱雲の発達」、「積乱雲の組織化」、「降水系の停滞」、「降水系の発達維持」という4つの要素（要因）に分け、事例解析・比較や数値実験を行ってそのメカニズムの詳細を明らかにする。そして、系統的な調査も行って、それら要素（要因）と対応させる最適な気象要素・閾値を決定し、決定した気象要素・閾値を組み合わせることによって、1時間雨量80mmや3時間雨量200mmを精度良く予測できる「豪雨発生予測ワークシート（仮称）」を作成する。

4. 研究結果

（1）成果の概要

ア. 2014年8月20日未明から明け方にかけて、広島市で発生した記録的な集中豪雨（平成26年8月豪雨）と他の豪雨や大雨事例の比較を通じて、以下の結果を得た。

i) 2014年8月に広島市で発生した集中豪雨と同年の9月の大雨事例（集中豪雨にならなかった事例）の解析・比較を行い、豪雨発生の要因を探った。解析・比較の結果、①湿潤な下層とその上側のやや乾燥した気層（地上～700hPa）全体が上昇気流によって持ち上がって800～700hPaの気温が低下したため、潜在不安定な大気成層が維持されたこと、②九州山地の東西を迂回する高暖湿流が山口・広島県で合流する状態が数時間持続したことによって降水系の停滞が維持されていたことの二点が要因として働き、2014年8月の広島市の集中豪雨が発生したことがわかった。

ii) 2014年8月に広島市で発生した集中豪雨と2000年9月の東海豪雨、

及び豪雨に至らなかった 2014 年の広島県での大雨事例を対象に、豪雨の発生要因を発生機構の観点から 4 つの要素（要因）（積乱雲の発達、積乱雲の組織化、降水系の停滞、降水系の発達維持）に分け、比較・考察を行った。その結果、東海豪雨では、顕著な地上収束線が同じ場所に長く停滞し暖湿気の供給が長時間持続したため、R24 が 2014 年に広島県に発生した豪雨の 2 倍以上になっていたことを確認した。広島県でも、潜在不安定な環境の中で、地上・下層収束が長時間同じ場所に停滞し、豊後水道から顕著な暖湿気の流入が持続すれば、東海豪雨並みの豪雨になる可能性のあることがわかった。

- iii) 豪雨の発生要因を発生機構の観点から 4 つの要素（要因）（積乱雲の発達、積乱雲の組織化、降水系の停滞、降水系の発達維持）に分け、2014 年 8 月 16 日から 20 日にかけて発生した 2 つの豪雨事例と 1 つの大雨事例を対象に、それら要素（要因）毎に気象要素等を比較・考察した。その結果、豪雨事例では総観規模の高度場に変化がない中で潜在不安定な大気成層を持続していたこと、風の鉛直シアがあって降水系が線状化しやすい環境であったことなど、4 つの全要素（要因）が揃っていたことがわかった。大雨事例では 4 つの要素（要因）のうち、満たしていたのは積乱雲発達の要素（要因）のみであった。
- iv) 2014 年 8 月に広島市で発生した集中豪雨事例を参考として、暖湿気が対馬海峡から前線に流入し豪雨となった事例と豪雨にまで至らなかった事例を比較し、4 つの豪雨発生要素（要因）（積乱雲の発達、積乱雲の組織化、降水系の組織化、降水系の発達維持）及びそれら要因に対応させる気象要素を整理した。豪雨となる重要な条件は、「前線が強化・停滞し、暖気側の収束域が移動しない」、「前線の走向が東西で広島県を指向」、「鉛直シアがあり、中層の風は前線にほぼ平行に吹き、海上で発生した降水セルが広島県を指向」であり、豪雨発生要因に対応させる主な気象要素は 950hPa の相当温位・相当温位の集中帯の位置と走向・風向風速、500m の水蒸気フラックス・自由対流高度までの距離・浮力がなくなる高度、700hPa の風向風速・上昇流であることがわかった。
- イ. 2014 年 8 月 20 日未明から明け方にかけて、広島市で発生した記録的な集中豪雨を対象に、気象庁非静力学モデル（JMANHM）と局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を組み合わせた再現実験を行い、得られたアンサンブルメンバーの結果を比較・解析することや感度解析を行うことによって、線状降水帯が形成されるメカニズムや停滞するメカニズム、及び中層気塊が線状降水帯に与える影響や降水帯が維持される

中層の水蒸気量の範囲について、以下の結果を得た。

- i) 再現実験で最も再現性の良かったメンバーについて詳細な解析を行い、暖域内で降水系が停滞するメカニズムなどの解明を試みた。その結果、周防灘からの西風と豊後水道からの南風による収束の維持、及び中層風と山岳斜面の急勾配の走向の一致によって線状降水帯が形成されたこと、降水帯内の上昇流が北へ傾斜していたことによって斜面を下る冷気の流れと南からの暖湿流が平衡して降水帯が停滞したことがわかった。
 - ii) アンサンブルメンバーの結果を比較・解析することによって、中層乾燥気塊が降水系の発達を明瞭に抑制するかどうかを判断する気象要素・閾値は、「700hPa 面の気塊の湿度 70%」が良いことがわかった。ただし、中層に薄い層で顕著な乾燥気塊が流入する場合も考えられるため、500hPa 面の値を利用する必要性が今後の課題として残っている。
 - iii) 初期摂動を 3 倍、10 倍とした再現実験を新たに行い、初期摂動が 1 倍のこれまでの再現実験も含めて、9 時間積算降水量と降水系風上の中層の水蒸気量とについて感度解析を行った。その結果、6.0g/kg～8.0g/kg の水蒸気量の空気塊が降水系の風上側の中層に存在することがわかったが、9 時間積算降水量と降水系風上の中層の水蒸気量とに正・負の明瞭な相関はなく、中層の水蒸気量の多寡が 9 時間積算降水量の多寡、すなわち線状降水帯の維持に影響を及ぼしている可能性が低いことがわかった。
- ウ. 2013 年～2017 年の調査期間内で、大雨の要因が「前線・低気圧」か「下層暖湿流」かによって事例を分類し、「前線・低気圧」に属する事例の中から、島根県または広島県で 1 時間雨量が 10mm、30mm、50mm、80mm を解析した事例を、それぞれ 10 事例程度ずつ任意に抽出し、4 つの要素（要因）に対応させる気象要素・閾値の決定に向けて、系統的な調査を行った。その結果、以下の結論を得た。
- i) 豪雨発生要因の 4 つの要素（要因）のうち、「積乱雲の発達」に対応させる気象要素・閾値は、①自由対流高度までの距離、②平衡高度と 500hPa の湿度の組み合わせ、③500m 高度の収束と決定できた。
 - ii) 豪雨発生要因の 4 つの要素（要因）のうち、「積乱雲の組織化」に対応させる気象要素・閾値は、島根県の大雨と広島県の大雨とでは、大雨発生のメカニズムの違いから、対応させる気象要素を変える必要があることがわかった。島根県の大雨現象に対しては、①500m 高度の水蒸気フラックス量、②700hPa の風向と決定できた。広島県の大雨

現象に対しては、①ストームに相対的なヘリシティ、②500hPa の風向と 850hPa の風向の差（風向シア）が最有力と決定できた。

エ. 系統的な調査のために抽出した大雨事例について、3 時間雨量が 1 時間雨量の何倍になっているかを整理し、「降水系の停滞」と「降水系の発達維持」に対応させる気象要素との関連について、調査を進めているところである。「降水系の停滞」に対応させる気象要素・閾値は、高度 700hPa の 1 時間の高度の変化量が最適である可能性を見出したところで、今後さらに調査を進めて、3 月末までに「豪雨発生予測ワークシート（仮称）」の試作版を完成させる予定である。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

調査対象事例を増やし、それらの事例について実況解析・比較、系統的な調査も行って、改めて大雨の発生に必要な要素（大雨の要因）を整理し直すこととした。当初計画の「LETKF を用いたデータ同化アンサンブル予報実験・感度実験結果の解析」と合わせて総合的に調査し、実況や予想図上の着目点を抽出するよう、研究手法を変更した。

この変更により、研究課題名を「LETKF を利用した広島県の大雨調査」から「事例解析・比較及び数値実験による大雨の調査」へ変更した。

（3）成果の他の研究への波及状況

平成 26 年 8 月 20 日に広島市で発生した記録的な集中豪雨（平成 26 年 8 月豪雨）などについて、気象研究所の重点課題 A1-3 の線状降水帯の研究者と情報交換を行うとともに、気象研究会での情報発信を積極的に行った。

（4）事前・中間評価の結果の研究への反映状況

（中間評価を実施していないものは事前評価の結果の研究への反映状況）

ア. 気象庁非静力学モデル（JMANHM）と局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を組み合わせた再現実験で最も再現性の良かった事例について、線状降水帯が発生・停滞するメカニズムに的を絞って改めて解析を行った。加えて、初期摂動を 3 倍及び 10 倍とした再現実験を、研究所で新たに行い、感度解析などの調査も行った。これらの調査によって、記録的な大雨の発生要因の解明・理解が進んだ。

イ. 平成 31 年 1 月 20 日時点で、研究所の担当者が広島地方気象台へ出張しての打ち合わせを 3 回、TV 会議による打ち合わせを 7 回の、計 10 回打ち合わせを行っている。平成 30 年 7 月豪雨の発生により、調査を中断せざるを得なかった時期（今年度 7 月～9 月の 3 ヶ月程度）があった中、研

研究所担当官から有益な助言をもらって、的確かつ効率的に研究を行うことができた。

(5) 今後の課題

- ア. 中層の乾燥気塊の領域の広さや乾燥の程度が下層の暖湿な気流に比べて多様であるため、中層の乾燥気塊の降水系の維持に及ぼす影響の解明が不十分で、この点の解明が今後の課題である。
- イ. 系統的な調査に利用した事例が少ないため、記録的な大雨の発生要因の4つの要素（要因）に対応させる気象要素・閾値が最適であるかどうかを、事例数を増やしてさらに調査・検討を進めていく必要がある。
- ウ. 記録的な大雨の発生要因の4つの要素（要因）に対応させる気象要素・閾値は、「前線・低気圧」による現象を対象にして決定したものである。これら気象要素・閾値が、「下層暖湿流」による現象にも適用できるかどうかを調査していく必要がある。

5. 自己点検

(1) 到達目標に対する達成度

本研究の目的や最終的な目標の達成に向けて、大きく前進できた。

(2) 到達目標の設定の妥当性

「大雨発生の判断基準を作成し、現場作業にフィードバックする」という高い到達目標を掲げた。今年度末までの2年間の研究期間で目標を完全に達成できる可能性は低いが、本研究の社会的背景は非常に重く、研究の意義もきわめて高いため、到達目標の設定は概ね妥当であったと考えている。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

数値実験（再現実験やパラメータ等を変えた実験）は研究所で、事例解析・比較及び事例の系統的な調査は気象台で行うとの役割分担を明確にして調査を進めたこと、研究所担当官が広島へ出張しての打合せやTV会議による打合せを多く行って研究所担当官からの助言を得たことによって、効率的に研究を進めることができた。

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方（提言）及び「地域における気象防災業務のあり方」（報告書）を受けて実施される施策、もしくは今後実施される予定の施策を最大限に活かしていくためには、

記録的な大雨が発生する可能性を「前もって精度良く予測できる技術」を有することが重要である。本研究は、この「前もって精度良く予測できる技術」を確立するために行ったものであり、成果が気象庁の重点的な施策に活かされていくものと期待できる。

(5) 総合評価

今年度末までに最終的な目標を達成するところまでには至らないと思われるが、大きな成果が出てきている現状である。本研究は社会的責務を背景に目標設定を高くした点を考慮すると、十分に評価できる成果が得られたと考えている。

6. 参考資料

6.1 研究成果リスト

(1) 査読論文

なし。

(2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）6件

西森靖高・石本歩・中村剛・澤田達也・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その1）、平成29年度大阪管区気象研究会誌

石本歩・澤田達也・西森靖高・中村剛・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その2）、平成29年度大阪管区気象研究会誌

澤田達也・西森靖高・石本歩・中村剛・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その3）、平成29年度大阪管区気象研究会誌

中村剛・西森靖高・石本歩・澤田達也・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その4）、平成29年度大阪管区気象研究会誌

岡垣和憲・石本歩・大山まど薫・加藤成子・北野昌寛・西森靖高、瀬古弘・津口裕茂・横田祥・伊藤純至、2018、LETKFを用いた再現実験の解析による暖域内で降水系が停滞するメカニズムの解明、平成30年度大阪管区気象研究会誌

石本歩・岡垣和憲・西森靖高・加藤成子・大山まど薫・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・津口裕茂・横田祥・伊藤純至、2018、「積乱雲が組織化する要因」に対応させる気象要素・閾値の決定に向けた調査、平成30年度大阪管区気象研究会

誌

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表 6件

西森靖高・石本歩・中村剛・澤田達也・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その1）、平成29年11月15日広島県気象研究会

石本歩・澤田達也・西森靖高・中村剛・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その2）、平成29年11月15日広島県気象研究会

澤田達也・西森靖高・石本歩・中村剛・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その3）、平成29年11月15日広島県気象研究会

中村剛・西森靖高・石本歩・澤田達也・松本幸爵・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・横田祥・伊藤純至、2017、事例解析・比較による4つの豪雨発生要因及びそれら要因に対応させる気象要素の考察と整理（その4）、平成30年1月18日中国地区気象研究会

岡垣和憲・石本歩・大山まど薫・加藤成子・北野昌寛・西森靖高、瀬古弘・津口裕茂・横田祥・伊藤純至、2018、LETKFを用いた再現実験の解析による暖域内で降水系が停滞するメカニズムの解明、平成30年11月14日広島県気象研究会

石本歩・岡垣和憲・西森靖高・加藤成子・大山まど薫・北野昌寛・久家好夫、瀬古弘・津口裕茂・横田祥・伊藤純至、2018、「積乱雲が組織化する要因」に対応させる気象要素・閾値の決定に向けた調査、平成30年12月25日中国地区気象研究会

イ. ポスター発表

6.2 報道・記事

なし。

6.3 その他（3.（3）「成果の他の研究への波及状況」関連）

なし。