

# SIP「線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究」について



国立研究開発法人防災科学技術研究所  
水・土砂防災研究部門 主任研究員 清水 慎吾

## 1 はじめに

強雨が数時間以上に渡って継続し、河川氾濫や土砂災害等の深刻な被害を引き起こす集中豪雨の発生が近年多発しています。最近の研究によると、集中豪雨の6割以上は、台風を除くと線状降水帯（線状に並んだ複数の積乱雲群：図1）によって引き起こされているといわれています。2017年7月5日九州北部、2018年7月5日は全国の広範囲で、2019年8月26日佐賀県、2020年7月4日熊本県、7月6日九州北部において、毎年のように線状降水帯が発生し、甚大な水害・土砂災害が報告されており、線状降水帯の予測による事前対応は喫緊の課題となっています。しかし、数10 kmから100 km程度の比較的狭い範囲に数時間のうちに記録的な大雨をもたらす線状降水帯を事前に予測することは、既存の気象

観測技術では大変困難となっており、その結果「逃げ遅れ」による被害が多数発生しています。こうした「逃げ遅れ」を防ぎ、被害を軽減させるためには、避難に必要なリードタイムで、線状降水帯の時間・空間スケールを表現できる分解能で正確な雨量予測を行うことが必要です。内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の1課題である「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(代表：海洋研究開発機構 堀 宗朗)において、新しい線状降水帯の観測・予測システムの開発(代表：防災科研 清水)を推進し、図2に示すように、十分な避難に要する時間、即ち半日前程度に、線状降水帯の発生が見込まれる地域を大まかに特定し、最新水蒸気観測網を整備し、観測データを用いた最新の数値予測手法を用いて、高解像度で高頻度に雨量予測情報を提供することで、線状降水帯が発生する

2時間前に、避難区分単位の精度で災害発生地域を絞り込む技術を開発しています。本稿では、紙面の制約から、この取組の中で開発した最新の線状降水帯降雨予測法の概要を中心に紹介し、令和2年7月豪雨での適用結果を簡潔にまとめます。

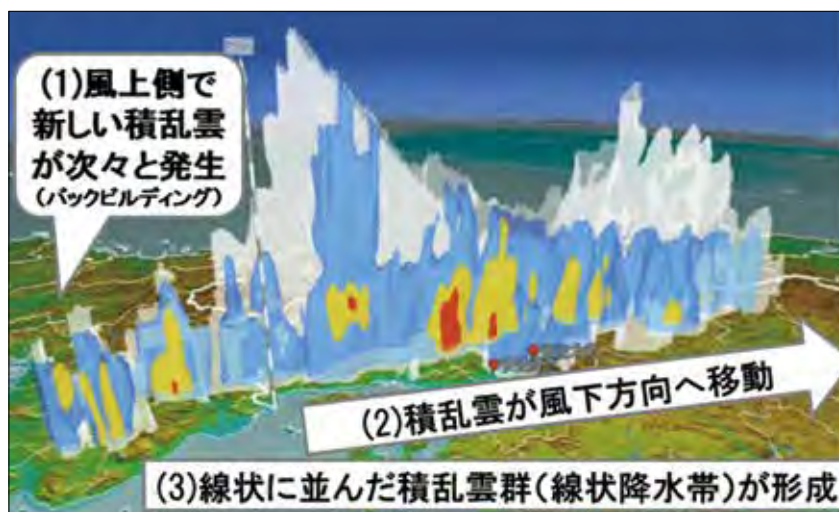


図1 2014年広島市で観測された線状降水帯(レーダ3次元画像:色は降雨の強さを示す。)とその発生プロセス。黄色で示した強い雨域の塊はそれぞれ1つの積乱雲を示している。



図2 線状降水帯の3つの対策による、災害発生の半日～2時間前に避難支援情報を提供する概念図。

## 2 リードタイムが異なる2つの予測法の活用

線状降水帯が発生しやすい環境場の特徴を過去に発生した数百の線状降水帯事例において統計的に解析することで抽出し、半日先の複数の気象予測要素から線状降水帯の発生可能性をレベル化して診断する「線状降水帯インデックス」と呼ばれる手法を気象庁が開発しています。本プロジェクトでは気象庁と協力し、日本気象協会が中心となって、この半日先における線状降水帯の発生可能性の情報(以後、早期予測情報と呼ぶ)を実証実験(2019年7月から継続中)に参加している自治体に配信することで、早期の事前対応が可能かどうかを検証しています。具体的には、夕方15時頃に翌朝6時までの早期予測情報を活用することで、自治体は日没前までの避難完了に向けた時間的余裕を確保し、そのための人員体制を早期に作る可以考虑しています。実際に令和2年7月豪雨において、2020

年7月4日夜中0時過ぎに熊本県南部で発生した線状降水帯に対して、前日16時に線状降水帯が発生する可能性が高いことを自治体(熊本市と鹿児島市)にメールで通知することができました。これまでの日本気象協会による精度評価の結果、早期予測情報は線状降水帯の正確な発生位置(例えば熊本県入吉市〇〇地区など)を予測する精度を持っておらず、熊本県、鹿児島県という県単位での予測は可能であると分かってきました。また、見逃しは非常に少ないですが、同時に空振りが非常に多いということも分かってきました。2020年度に日本気象協会が気象庁や気象研究所と協力し、本プロジェクトが線状降水帯インデックスの条件を見直すことで、空振りを低減し、結果として予測精度の向上に成功しました。自治体のニーズに沿った、空振りの更なる削減を課題としながら、半日前の早期予測情報を「気づき」のトリガーとして活用する等、具体的な利活用法の検討を自治体および気象庁と連携しながら研究を進めております。

半日前の予測だけでなく、リードタイムは2時間と短くなりますが、より高い確度を持った雨量の予測情報の提供も同時に行っております。まずは予測精度向上に必要な観測データについて説明します。私たちの取り組みでは図3に示すような様々な現業機関による気象観測データに加えて、世界に類を見ない水蒸気観測網を独自に整備し、それを活用した降雨予測を行っています。気象庁アメダスが観測した地上の風向・風速、国交省 XRAIN が観測した風と雨の3次元分布、福岡大学と気象研究所の水蒸気ライダーが観測した水蒸気の高高度分布、防災科研のマイクロ波放射計が観測した可降水量（鉛直方向に積分した水蒸気の総量）を観測後1分以内に集約し、観測情報を適切に予測へ活用する「データ同化」という手法を用いて、予測の初期値をより現実に近い状態に改善した上で、2時間先までの降雨予測を10分毎に更新する予測システムを防災科研が開発しました。2020年度内には、情報通信研究機構と日本アンテナ株式会社が開発した、世界で類を見ない地上デジタル放送波を利用した水蒸気観測システムが導入され、2021年の暖候期には実際に予測に活用する予定です。線状降水帯は冒頭にも述べたように、数10 km から100 km 程度の比較的狭い範囲に数時間のうちに記録的な大雨をもたらす現象です。その発生メカニズムは、図1に示したように、1つの積乱雲が通過しても別の新しい積乱雲が風上で繰り返し発生・通過することで、同じ場所で数時間にわたって大雨が持続し、その結果として線状の降水分布が出現すると説明されています。線状降水帯を構成する積乱雲は10-20 kmの水

平方方向の広がりを持ち、高さは10 km以上に発達します。線状降水帯を正確に予測するためには、線状降水帯を構成する積乱雲を十分に捉えられる稠密な観測と解像度1 km程度の分解能を持つ予測が必要となります。本プロジェクトでは、これまでリアルタイムで取得が難しかった大気下層の水蒸気の観測を特に強化し、雨量予測精度を向上させる取り組みを進めており2020年にその整備を着手しました（図3）。2020年度の予測において、8月末までは気象庁アメダスと国交省 XRAIN のデータ同化をリアルタイムで実施し、9月以降において水蒸気ライダーやマイクロ波放射計の観測を予測に取り込むことに成功しました。

こうした様々な観測データを元に2時間先の降雨予測を行う計算フローを図4に示します。防災科研のスパコンを利用して、観測終

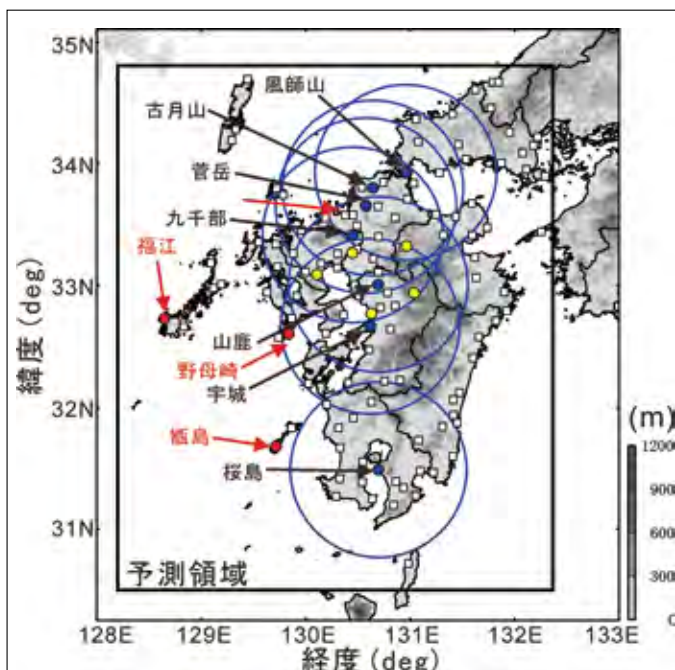


図3 線状降水帯の雨量予測に用いられる観測データと予測領域（東西464 km ×南北480 km）。白四角が気象庁アメダス観測点、青丸が国交省XRAINのレーダの位置と青い円がその観測範囲（半径80 km）、赤丸が2020年に運用を開始した水蒸気観測（飯島、野母崎が水蒸気ライダー、福江がマイクロ波放射計）、黄丸が2021年から運用を開始する水蒸気観測（地デジ水蒸気観測）をそれぞれ示します。



了後1分以内に観測データをデータ同化技術により、最適な初期値を10分毎に作成します。作成した初期値を使って格子解像度1kmで九州全体の領域に対して2時間先までの予測計算を10分以内に完了させます。予測には力学過程・乱流過程・熱力学過程・大気放射過程・雲物理学過程の方程式をモデル化した精緻な雲解像数値シミュレーションを利用します。計算を確実に、かつ、スピーディに完了するために、防災科研のスパコンの1000以上のCPUコアを本プロジェクトが常時占有しています。数値予測は、データ同化による最適な初期値を利用したとしても、予測開始直後から30分以内に激しい降雨を予測することを苦手としています。そこで、本プロジェクトでは予測開始後1時間までは気象庁の高解像度ナウキャストによる予測結果を使い、徐々に

数値予測による予測結果に置き換えるブレンディング予測を採用しています(図4)。さらに、ブレンディング予測において、高解像度ナウキャストと数値予測のそれぞれの予測降雨位置の平均的な位置ズレを評価し、累積積算雨量を計算する際に位置ズレを補正することで、積算雨量の過小評価を防ぐ計算法を開発しました(詳細は参考文献1に記載)。自治体が避難勧告・避難指示を発表する場合の基準や気象庁大雨特別警報の発表基準において、3時間積算雨量が利用されることが多いので、予測された2時間雨量と現在から過去1時間までの雨量を合計し3時間積算雨量を提供しています。さらに3時間積算雨量を過去30年間の雨量統計情報を参照し、「降雨の稀さ」に変換します(図4)。気象庁の大雨特別警報の発表基準においても、3時間降水量(または

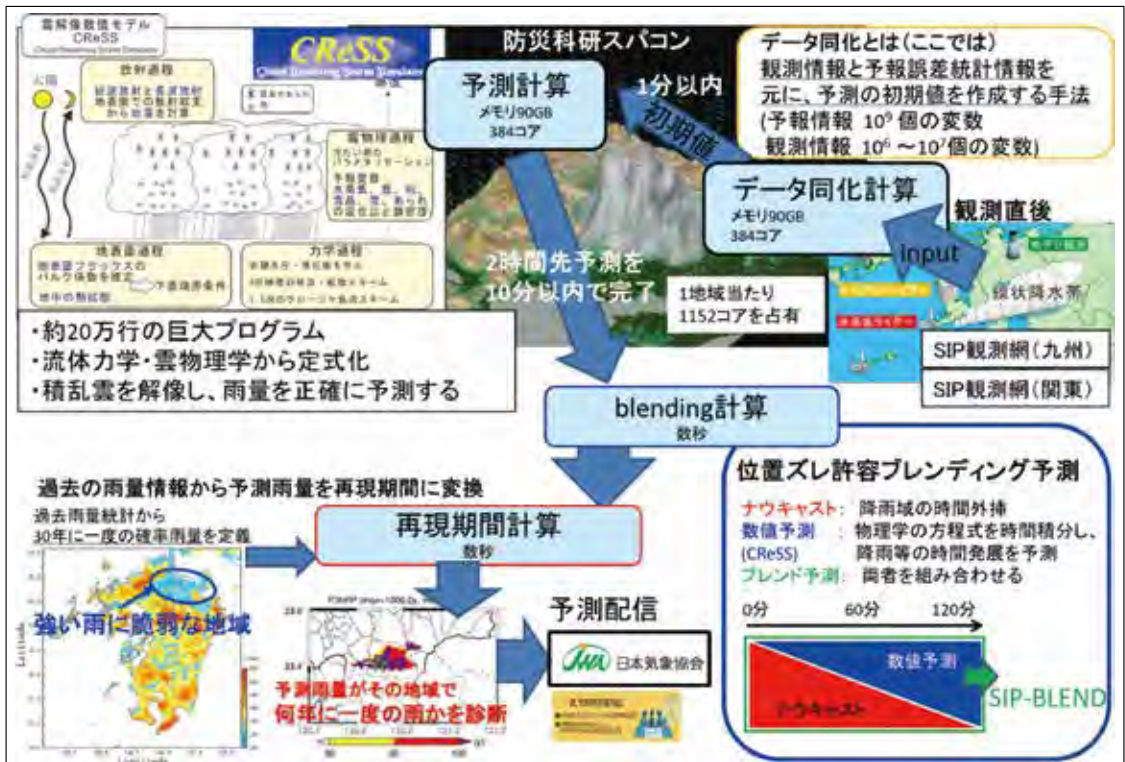


図4 2時間先雨量のための計算フロー図。(1)観測データをデータ同化することで初期値を作成し、(2)雲解像数値モデルを使った大規模並列計算を行い、2時間先予測を実施し、(3)気象庁高解像度ナウキャストとブレンドし、さらに予測の位置ズレを補正した上で積算雨量を計算し、(4)得られた積算雨量を過去の雨量統計を元に再現期間を計算し、実証実験に参加している自治体へ配信します。

48時間降水量)及び土壌雨量指数が50年に一度の値以上となったメッシュが10メッシュ以上まとまって出現した場合に発表されるとされており、降雨の稀さ情報が災害発生と大きく関係することが知られています。本プロジェクトにおいても、積算雨量とその降雨の稀さを10分毎に提供することで、数十年に一度の大雨が発生する地域を、

災害発生2時間前に避難区分単位に対応した高時空間分解能で特定し、自治体の避難勧告・指示の判断支援が可能かどうかを検証します。

### 3 実際の災害事例での適用例

開発した2時間先予測法を2019年8月に佐賀県で発生した線状降水帯に適用し、現在の予測精度を大きく上回ることを確認しました(参考文献1)。2時間先までの予測の有効性が確認できたことから、2020年3月に特許を出願し、さらに2020年6月から試験運用を開始しました。2019年度と2020年度の実証実験には、福岡県北九州市、朝倉市、八女市、うきは市、東峰村、大分県日田市、熊本県熊本市、阿蘇市、鹿児島県鹿児島市の9つの自治体が参加しています。東峰村のみ試験的に先行して配信を6月に開始し、それ以外の自治体には2020年7月下旬に2時間先予測の配信を開始しました。図5に開発した予測システムで予測された、2020年7月3日深夜から

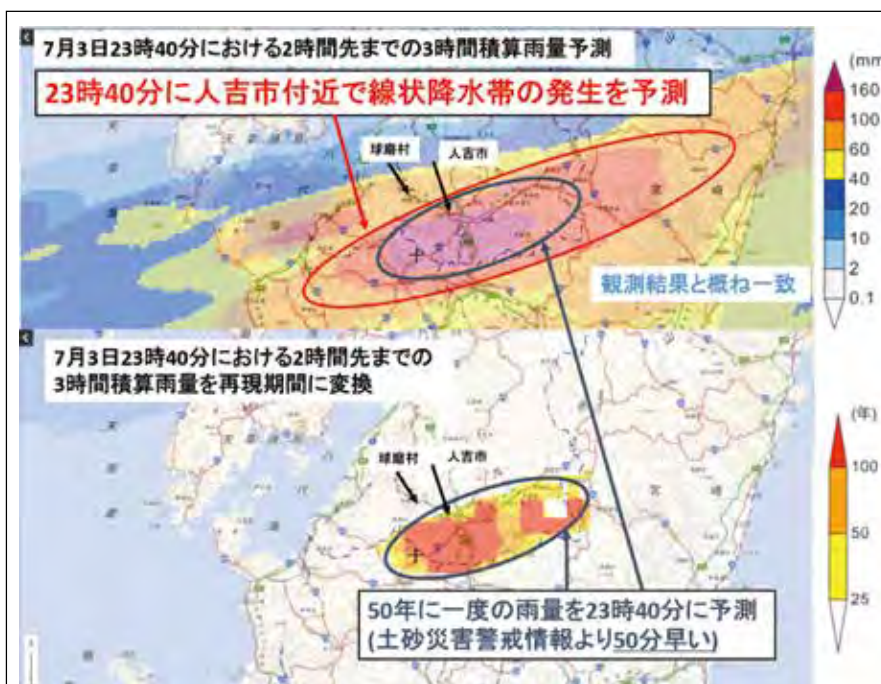


図5 7月3日23時40分に予測した3時間積算雨量の分布(上図)と3時間積算雨量を降雨の稀さを示す再現期間に変換した分布(下図)。

4日朝にかけて熊本県南部で発生した線状降水帯の3時間積算雨量と降雨の稀さを示す再現期間の分布を示します。線状降水帯が発生した7月4日0時40分の1時間前にあたる、7月3日23時40分に線状降水帯の発生基準を満たす降雨域(3時間積算雨量が80mmを超える線状の降雨域)を予測できました(図5上)。さらに3時間積算雨量を降雨の稀さを示す再現期間に変換した分布(図5下)において、人吉市の南側の山岳域と球磨川流域に50年に一度の雨量を予測しました。線状降水帯が発生した熊本県南部の自治体は実証実験に参加していないため、こうした予測情報が、実際の避難指示・避難勧告にどのように貢献したかを検証することはできませんが、本プロジェクトの予測情報が、自治体の避難勧告や住民の自主避難判断を支援する既存の警戒情報に比べて、どの程度のリードタイムを確保し、その精度が十分であるかを検証することは可能であると考えます。ここでは、土砂



災害警戒情報との比較を行います。土砂災害警戒情報は大雨警報（土砂災害）が発表されている状況で、命に危険を及ぼす土砂災害がいつ発生してもおかしくない状況となったときに、市町村長の避難勧告や住民の自主避難の判断を支援するよう、対象となる市町村を特定して警戒を呼びかける情報で、都道府県と気象庁が共同で発表する情報です。土砂災害警戒情報

報が7月4日0時30分に人吉市に発表されていることから、土砂災害警戒情報よりも50分早く、災害発生の可能性の高い大雨が起こることを予測できたと見え、既存の警戒情報よりも避難に向けた長いリードタイムが確保できる可能性があることを示しました。線状降水帯は7月4日0時40分以降、午前10時頃まで継続して熊本県南部に停滞し続けました。日本気象協会が開発した線状降水帯自動検出技術により、実証実験に参加した自治体にリアルタイムで線状降水帯の現況情報を提供しています。現況把握に関する成果は、日本気象協会によって7月17日にプレス発表資料（参考資料2）にて報告されています。本プロジェクトで開発した2時間先予測においても図6に示すように、1時以降連続して線状降水帯の停滞を正しく予測することができました（図6では3時から4時30分の予測のみを示します）。

## 4 まとめ

本プロジェクトで開発した線状降水帯の2つの予測法の概要を紹介し、令和2年7月豪

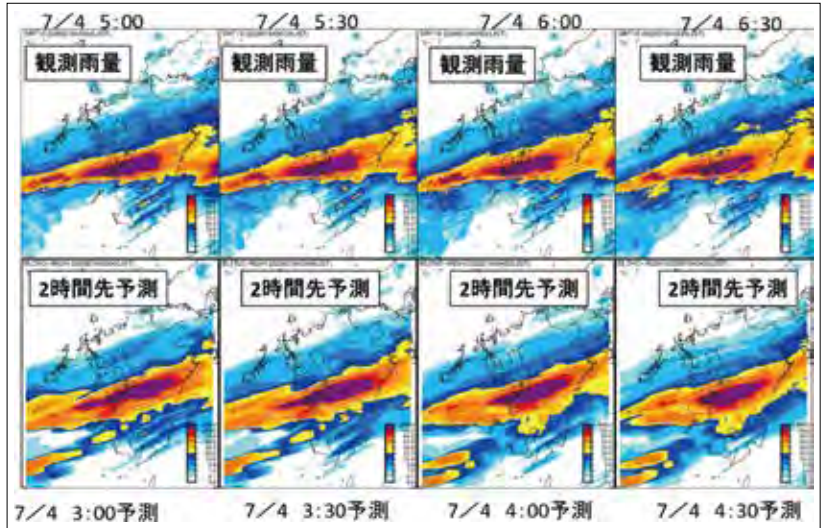


図6 2時間先予測による3時間積算雨量(下段)と実際に観測された3時間積算雨量(上段)の比較。楕円は自動検出技術によって検出された線状降水帯の位置を示します。

雨において、これまで困難であった半日前に線状降水帯の発生の可能性を予測し、現在の技術を上回るリードタイムで線状降水帯の雨量を予測することができ、それぞれの有効性を確認することができました。来年度には今年度整備した水蒸気観測情報を利用することで更なる精度向上が期待できます。最終的には線状降水帯からの「逃げ遅れ」を防ぎ、被害を軽減させるための強力なツールとして社会実装されるように開発を継続していきたいと思っています。

### <参考資料>

1. 清水慎吾, 加藤亮平, 前坂剛, 2020: 2019年8月28日に佐賀県に大雨をもたらした線状降水帯の予測可能性に関する研究, 防災科学技術研究所主要災害報告, 56, pp13-21, (in press).
2. 日本気象協会, 2020: 令和2年7月豪雨における降水量の特徴(速報)-線状降水帯、異例の11時間以上継続-, <https://www.jwa.or.jp/news/2020/07/10461/> (2020年11月26日最終閲覧)