

極端気象予測の精度向上にむけた最新観測・予測研究の紹介

清水 慎吾¹, 加藤 亮平¹, 下瀬 健一¹, 初塚 大輔¹, 前坂 剛¹
吉田 智², 酒井 哲², 永井 智広², 白石 浩一³

¹ 国立研究開発法人防災科学技術研究所 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1)

² 気象研究所 (〒355-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

³ 福岡大学 (〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目 8-19-1)

Observations and forecasting technique for the improvement forecastability of extreme weather associated with severe storms.

Shingo SHIMIZU¹, Ryohei KATO², Ken-ichi SHIMOSE¹, Daisuke HATSUZUKA¹,
Takeshi MAESAKA¹, Satoru Yoshida², Tomohiro NAGAI², and Kouichi SHIRAIISHI

¹Naitonal Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience., 3-1 Tenoudai, Tsukuba 305-0006

²Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

³Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180

Abstract: We have improved the accuracy of quantitative precipitation forecast by using water-vapor observation networks (including water-vapor lidars) with real-time 3DVAR data assimilation system. In our forecasting, an extrapolation-based nowcast and a high-resolution (1 km) numerical weather prediction are blended for 2-h forecast, with application of a spatial maximum filter to consider displacement errors in each forecast. Our method improved the underestimation of the heavy rainfall area with an increase in the probability of detection (POD). We achieved 20% improvement in POD, compared to our forecasting without use of spatial maximum filter. In this paper, we demonstrates the improvement of forecastability in the case study for senjo-kousuitai observed on 10th July 2021 around Kagoshima Prefecture and shows the statistical scores of forecasting for 21 senjou-kousuitais observed in Kyushu region from 2019 to 2020. (130 words)

Key Words: Water-vapor lidar assimilation, 3DVAR, and Blending forecasting

1. はじめに

強雨が数時間以上にわたって継続し、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等、毎年のように観測記録を更新する極端気象が多発している。最近の研究¹⁾によると、台風を除く集中豪雨の6割以上は線状降水帯によって引き起こされている。線状降水帯は、次々と発生する発達した雨雲(積乱雲)が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50~300km程度、幅20~50km程度の強い降水をともなう雨域を指す。線状降水帯による甚大な水害・土砂災害が引き起こされるため、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る。しかし、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る。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(余裕時間)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ある。内閣府による第2期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」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:防災科学技術研究所 清水 慎吾)を推進し、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きた²⁾。プロジェクトの5年間にわたり、線状降水帯の予測情報を九州の複数の自治体に継続的に提供し、予測情報のリードタイムとその精度がどの程度であれば、自治体の危機管理において、どのような利活用があるかを検討しており、自治体の避難判断支援において、必要な精度と必要なリードタイムを明らかにしてきた。本研究では、福岡大学と気象研究所が設置した水蒸気ライダーデータをリアルタイムで同化することで予測精度が向上した2021年7月10日の鹿児島県で発生した線状降水帯事例を報告し、また、雨量の位置ズレを予測の中で許容することで、線状降水帯雨量予測の最大値の負バイアスが改善したことを報告する。

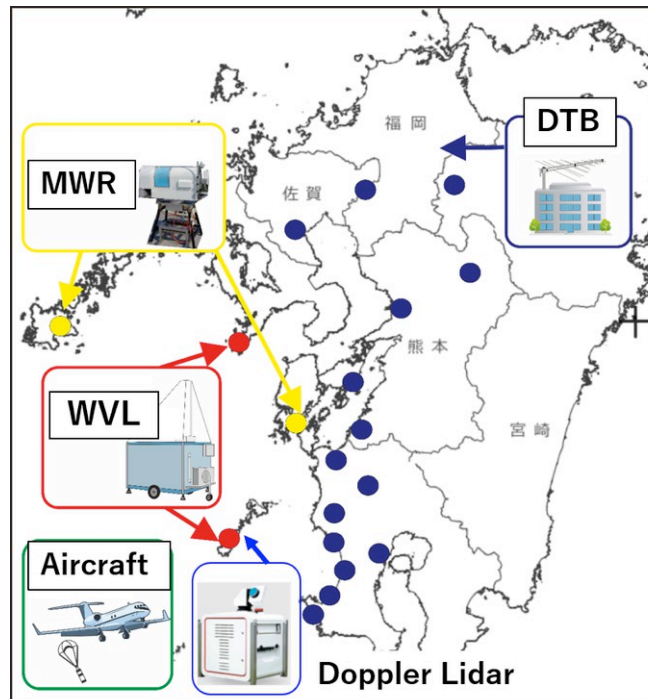


Figure 1 Water-vapor observation network in Kyushu. WVL indicates water-vapor lidar (red circles), MWR indicates microwave radiometer (yellow circles), and DTB indicates water-vapor observation using digital terrestrial broadband wave (blue circles). Doppler lidar was installed at Koshikijima with WVL. On 5th July 2022, aircraft observation with dropsonde was conducted.

2. 水蒸気観測網の整備

図 1 に 2022 年 3 月までに整備を完了させた水蒸気観測網を示す。国立研究開発法人情報通信研究機構（以下、「NICT」という）と日本アンテナ株式会社による、地上デジタル放送波を用いた水蒸気量観測（以下、「地デジ水蒸気観測」という）、福岡大学と気象庁気象研究所による水蒸気ライダー観測、防災科学技術研究所（以下、防災科研）によるマイクロ波放射計観測などの技術開発を進めてきた。なお、2023 年 3 月のプロジェクト終了時までには、図中の水蒸気ライダーとドップラーライダーは撤収を完了しているが、地デジ水蒸気観測網とマイクロ波放射計観測は 2023 年 8 月現在でも稼働中である。

水蒸気ライダーは、紫外線（波長 355 nm）の光を上空に向けて発射し、水蒸気分子に対して散乱されて戻ってくる光を観測することで水蒸気量の高度分布を 15 分程度毎に推定することが可能な測器である。マイクロ波放射計は、周波数 21~32 GHz までのマイクロ波を用いて可降水量を数分毎に推定することが可能で、50~60GHz までのマイクロ波を用いることで気温の高度分布も測定できる。地デジ水蒸気観測では、空気中の水蒸気量が増えることにより、非常に小さな変化であるが、電波の伝搬速度が遅くなり、この変化を捉えることにより、伝搬路上の水蒸気量を観測することができる³⁾。

3. 予測システムの概要

防災科研では、データ同化手法を活用した、より正確な初期値を提供する「リアルタイムデータ同化システム」と、その初期値を活用した 2 時間先の予測を行う「リアルタイム短時間予測システム」の 2 つのシステムを連携させることで高精度な線状降水帯の予測を実現させている。2 つのシステムは、名古屋大学の研究チームが開発した雲解像数値モデル CReSS(Cloud-Resolving Storm Simulator) を用いた数値計算を行っている。CReSS 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スキームが含まれており、どちらのシステムも積乱雲やその集合体である線状降水帯の発生・発達・衰退を表現することができる。2 つのシステムの相違点は、「リアルタイムデータ同化システム」だけが、実時間を超えないように計算速度を調整していることにある。実時間を超えないことで現在までの観測結果を十分に取り込むことができると、過去から現在までデータ同化によって逐次的に改善されてきた大気場を第一推定値として扱い、さらに現在時刻の観測データを使ったデータ同化により、その第一推定値を修正することで、過去から現在までの観測値と整合した 3 次元気象場を推定することができる。データ同化には、九州地方のあらゆる観測データ（本プロジェクトで導入した水蒸気観測だけでなく、気象庁のアメダスや国土交通省のレーダデータも活用する）を利用した。観測終了後 1 分

以内にデータを集約し、データ同化により格子解像度 1.5 km で 10 分毎に 3 次元の気象場を推定している。この「リアルタイムデータ同化システム」が提供する 3 次元場を初期値とし、10 分毎に「リアルタイム短時間予測システム」が 2 時間先までの降雨予測を 10 分毎に更新していく。2 時間先予測システム格子解像度が 1 km と高解像度であり、線状降水帯を構成する 1 つ 1 つの積乱雲を陽に表現することが可能である。

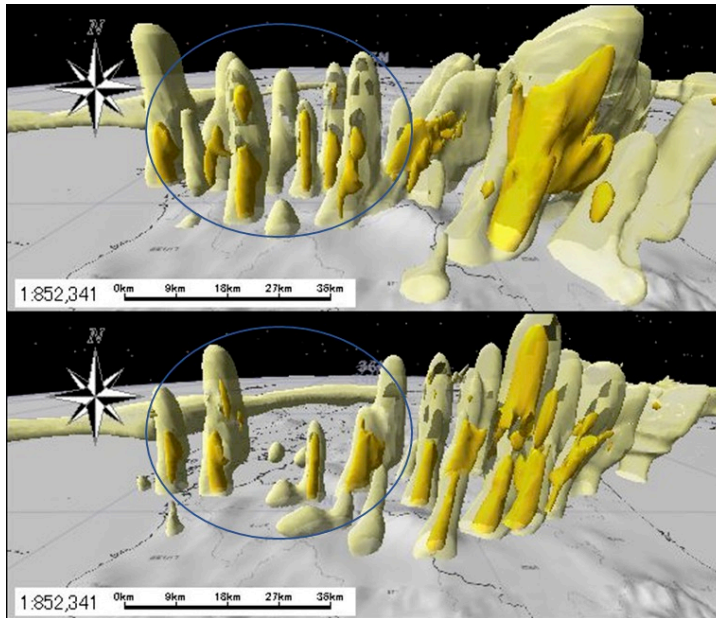


Figure 2 3D reflectivity distribution on 10th Jul 2021. Water-vapor lidar data assimilation experiment (upper) shows many deep convective cells are found compared with those in no-assimilation experiment(lower).

4. 2021 年 7 月 10 日の予測結果

2021 年 7 月 10 日に梅雨前線が九州南部を通過し、東シナ海から暖かく湿った空気が継続的に九州南部に流入した結果、10 日午前 2 時に線状降水帯が検出された。さらに大雨が継続し、午前 3 時 29 分に「顕著な大雨に関する情報」が発表され、その後、午前 6 時 10 分に鹿児島県、宮崎県、熊本県の市町村に大雨特別警報が発表された。この大雨によって、人的被害はなかったが、河川の氾濫や浸水に伴い、鹿児島県だけで住家一部損壊 3 件、床上浸水 74 件、床下浸水 193 件の被害が発生した。図 2 に福岡大学が鹿児島県甕島に設置した水蒸気ライダーが捉えた水蒸気量を「リアルタイムデータ同化システム」によって同化し、作成された午前 1 時の初期値を使って「リアルタイム短時間予測システム」が 2 時 30 分に発生すると予測した線状降水帯の三次元分布を示す。図 2 では、水蒸気ライダー以外のすべての観測データは同化した上で、水蒸気ライダーの有無による予測の違いを調べた。水蒸気ライダーを利用しない予測（図 2 下）でも、鹿児島県北部に複数の積乱雲が発生しており、線状降水帯のような構造を持つことが示されている。このことは、水蒸気以外のレーダやアメダス観測のデータ同化に基づく風速場の改善があり、線状降水帯の大まかな位置を予測することができたことを示している。次に水蒸気ライダーを利用した場合（図 2 上）では、利用しない場合に比べて、上陸後において線状降水帯を構成する積乱雲がより発達し、さらに積乱雲の数が多くなった。

5. 統計的な精度評価とまとめ

本研究の予測結果と現業予測結果と比較することで本研究の予測の長所を明らかにしてきた。まず、気象庁の現業予測である速報版降水短時間予報を用いて、線状降水帯に伴う 3 時間積算雨量の予測精度を検証した。その結果、避難決定のタイミングを左右する線状降水帯の形成初期で著しく精度が低下することを示した⁴⁾ (2 時間先の予測において捕捉率が 0.2 を下回る (Hatsuzuka et al., 2022 の図 3))。捕捉率を上昇させるために、気象庁高解像度降水ナウキャストと 2 時間先予測を合成するブレンド予測手法を採用し、予測された雨域の位置ズレによる積算雨量の過小評価を防ぐために、各格子点の雨量を周辺の最大値で置き換える最大値フィルターをそれぞれの予測に適用した。最大値フィルターの空間スケールは、ナウキャスト 7km×7km 四方、数値予測 11km×11km 四方とした。最大値フィルターの効果を確認するために、本予測システム（最大値フィルターあり）の結果を、最大値フィルターなし及び気象庁の速報版

降水短時間予報の結果と比較した(図 3)。検証用のための観測データには、1km メッシュの解析雨量を使用した。検証には、捕捉率、空振り率、バイアスコア、スレットスコアを用いた。検証閾値は、線状降水帯の定義となっている 80mm/3h とした。最大値フィルターなしの場合や気象庁の予測では大幅な雨量の過小評価となっており、線状降水帯の発生を見逃す可能性が高いことが示唆される。一方、最大値フィルターを適用することによって、過大評価に転じていることが分かる。さらに、捕捉率も最大値フィルターなしの場合と比較して約 20%増加しており、最大値フィルターが効果的に過小評価を改善していることが分かる。これらの改善は、線状降水帯の発生を見逃しを軽減することに寄与すると考えられる。水蒸気同化による改善(空振りも見逃しも数%改善)は複数事例で見られているが、統計的な解析は今後の課題である。線状降水帯のポイント予測は依然として難しいが、最大値フィルターを適用することで避難区分単位程度の 10 km 程度の位置ズレを許容することで、検出率を大幅に向上させた。これらの結果から、本研究の研究成果は、避難が必要な地域を地域区分避難に必要な十分なリードタイム(半日前から 2 時間前まで)を確保しながら、避難が必要なエリアを自治体の避難区分単位で絞り込み、「逃げ遅れ」被害の軽減に貢献していくことが期待される。

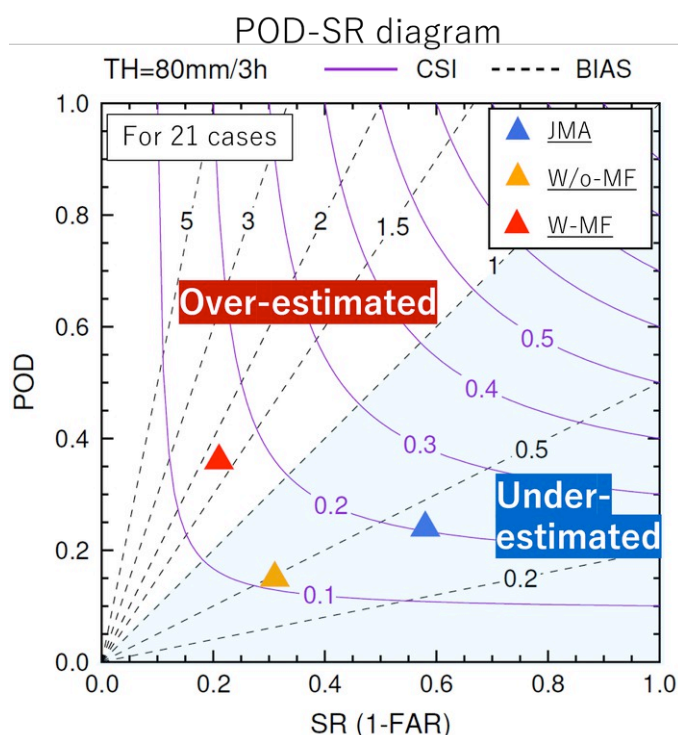


Figure 3 Performance diagram for 3hr-accumulated rainfall of three-different forecast methods (red triangle indicates forecast with Max Filter (W-MF), orange triangle indicates forecast without MF (W/O-MF), and blue indicates Japan Meteorological Agency very-short range forecast) with respect to Radar-AMeDAS observation. Each triangle denotes the average score for formation stages of the 21 senjou-kousuitai events. POD indicates “probability of detection”, SR indicates “success ratio” which corresponds 1 – FAR (False Alarm Ratio).

謝 辞

本研究は、第 2 期 SIP「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」によって実施されました

参考文献

- 1) 津口裕茂, 加藤輝之: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴, *天気*, **61**(2014),455-469
- 2) 清水慎吾: 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」, 地域防災, 2020 年 12 月号, pp 16-21. https://www.n-bouka.or.jp/local/pdf/2020_12_16.pdf
- 3) Kawamura, S., et al.: Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, *Radio Sci.*, **52**(2017), 367-377, doi: <https://doi.org/10.1002/2016RS006191>.
- 4) Hatsuzuka et al.: Verification of Forecasted Three-Hour Accumulated Precipitation Associated with “Senjo-Kousuitai” from Very-Short-Range Forecasting Operated by the JMA, *J. Meteor. Soc. Japan*, **100**(2022), 995-1005, doi: <https://doi.org/10.2151/jmsj.2022-052>