

# 雷観測の観測システムシミュレーション実験： 2017年九州北部豪雨事例

\*本田匠 (理研計算科学), 佐藤陽祐 (北大院理), 三好建正 (理研計算科学)

## 1. はじめに

気象予報の精度を向上させるためには、気象衛星や気象レーダーによる観測データを効果的にデータ同化し、より良い初期値を得ることが重要である。近年、これらの観測に加えて、気象衛星からの雷活動の観測をデータ同化することが試みられている。例えば、[1]では雷活動と霰体積などのモデル変数との間の統計的な関係性を観測演算子に用い、アンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)で気象衛星による雷活動の擬似観測を同化した。また、[2]は[1]の手法を用いて雷活動の実観測を同化し、良好な結果を得ている。これらの研究では統計的に求めた観測演算子が用いられているが、陽に雷過程を含む数値天気予報(NWP)モデルをEnKFとともに用いれば、流れ場に応じた雷活動観測のデータ同化が可能になると期待される。

我々はこれまで、陽に雷過程を予報するNWPモデルSCALE[3,4]とEnKFを用い、雷活動観測のデータ同化に関する基礎的な調査を行ってきた[5]。EnKFを用いたアプローチには、図1aで模式的に示すように全てのアンサンブルメンバーが雷を予報していない場合、観測空間の摂動がモデル変数の摂動によらずゼロとなり(zero gradient)、解析インクリメントが得られないという課題がある。同様の問題は気象レーダーによる反射強度観測のデータ同化にもみられ、[6]は統計的に得た摂動を追加する手法を開発し、その有効性を示している。本研究では、[6]と同様の手法を雷活動の観測へ適用し、その同化インパクトを観測システムシミュレーション実験で調査する。

## 2. 手法

本研究では、SCALEを用いた領域アンサンブルデータ同化システムSCALE-LETKF[7]を使用する。2017年7月に発生した九州北部豪雨を対象とした。気象庁メソ解析データを初期

値および境界値とする1-km meshの単一予報を2017年7月5日00UTCから実行し、Nature runとした。雷過程には、[8]で実装されたスキームを使用した。モデルが出力する各水平格子点の発雷数を水平9x9格子で1時間ごとに積算し、発雷数の10%の標準偏差を持つ正規分布の乱数を加え、9-km meshの2次元擬似雷観測とした。

アンサンブル初期値は[7]と同様の手法で作成し、18-km meshの領域において米国環境予測センター(NCEP)の従来型観測を6時間ごとに同化した。アンサンブル数は100とした。18-km meshアンサンブル予報を実行し、その結果を初期値および境界値として3-km meshの内側領域のspin upアンサンブル予報を行い、7月5日06UTCの3-km mesh初期アンサンブルを得た。

図1bと1cは[6]で提案されている手法を模式的に示している。この手法ではまず、全てのアンサンブルメンバーの全ての観測点におけるモデル変数と観測相当量との間の回帰係数を得る(図1b)。その後、得られた回帰係数を用いてモデル変数の摂動に対応する観測空間の摂動を得る(図1c)。第一推定値において雷を伴うメンバー数がゼロのときにこの手法を適用することで、雷と関係する解析インクリメントを得る。ここでは、回帰係数を風3成分と気温、気圧、水蒸気混合比、各凝結生成物(雲水、雨、雲氷、雪、あられ)の混合比に対して各高度で計算し、これらのモデル変数から回帰して得られた値の和を観測空間の摂動として使用した。雷を伴うメンバー数が1以上のときは回帰を使用せずそのまま同化した。

## 3. 結果

図2はNature runと気象庁レーダーから得られた降水パターンを示している。大分付近で観測された多量の降水を、Nature runでも良く再

現できている。また、強い降水に伴う活発な雷活動も再現されていた(図略)。この Nature run から作成した擬似雷観測データを[6]の手法を用いずに同化した実験(CTRL)と用いて同化した実験(TEST)を行い、両者を比較した。

図 3a は、1 サイクル目の観測と第一推定値の差(O-B)を示している。九州の内陸部や有明海沿岸で O-B が正となっており、モデルで雷が過小評価されている。これらの領域では、雷を予報していたアンサンブルメンバーが少なかった(図 3b)。

図 4 は 1 サイクル目におけるあられ混合比の真値(nature run)と第一推定値との差を示している。第一推定値において雷が観測よりも少なかった領域ではあられ混合比も真値よりも少なくなっていた。同様に、これらの領域では上昇流も真値よりも弱かった(図略)。

図 5 は 1 サイクル目におけるあられの解析インクリメントを比較している。[6]の手法を用いない CTRL 実験においては、雷ありのアンサンブルメンバーが少なかった領域でほとんど解析インクリメントがみられない(図 5a)。一方、[6]の手法を用いた TEST 実験では同領域においてもあられを増やす、すなわち真値に近づく解析インクリメントがみられる(図 5b)。さらに同じ領域では、上昇流を強める解析インクリメントもみられた(図略)。したがって、雷あ

りのアンサンブルメンバーが少ない観測点においても、[6]の手法によって適切な解析インクリメントが得られていた。

図 6 は降水予報を比較している。CTRL 実験においては、雷ありのアンサンブルメンバー数が少なかった領域では真値で降水がみられるにもかかわらず降水確率が非常に低い(図 6a)。一方、TEST 実験では同領域でも約 10%程度のアンサンブルメンバーは降水を予測しており、降水予報が CTRL 実験よりも改善されていた(図 6b)。

#### 4. まとめ

雷観測を EnKF でデータ同化するにあたって、全てのアンサンブルメンバーが雷を予報していない場合に解析インクリメントが得られないという課題がある。この課題への対処として、気象レーダー観測の同化へ向けて提案された[6]の手法を適用した。その結果、観測で雷がありにもかかわらず全てのアンサンブルメンバーが雷を予報していない状況においても、あられ混合比を増加させ上昇流を強化する適切な解析インクリメントが得られた。さらに、[6]の手法を適用することで、降水予報にも改善がみられた。

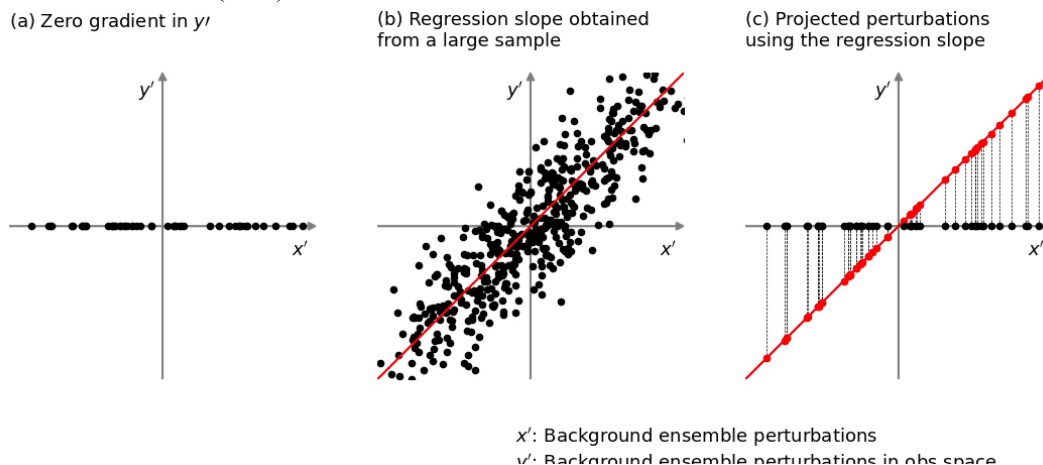


図 1 モデル変数のアンサンブル摂動( $x'$ , 横軸)と観測相当量のアンサンブル摂動( $y'$ , 縦軸)の模式図。(a)全てのアンサンブルメンバーが雷を予報していない状況(zero gradient)と、Yokota et al. (2018)手法による(b)回帰係数の計算(赤線)、および(c)それを用いた擬似的な摂動(赤点)を示す。

参考文献

- [1] Allen, B. J., et al., 2016, *Mon. Wea. Rev.*, **144**.
- [2] Kong, R., et al., 2020, *Mon. Wea. Rev.*, **148**.
- [3] Nishizawa, S., et al., 2015, *GMD*, **8**.
- [4] Sato, Y., et al., 2015, *PEPS*, **2:23**.
- [5] Honda, T., et al. 2021. *J. Geophys. Res. Atmos.*  
**126**
- [6] Yokota, S., et al., 2018, *J. Geophys. Res. Atmos.*,  
**123**.
- [7] Lien, G.-Y., et al. 2017, *SOLA*, **13**.
- [8] Sato, Y., et al., 2019, *PEPS*, **6:62**.

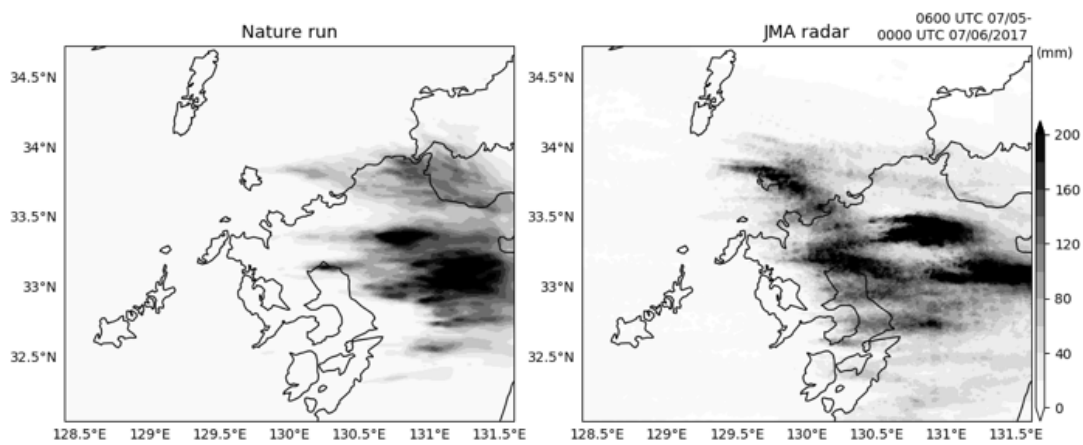


図 2 (左) Nature run と(右) 気象庁レーダーデータによる 18 時間積算降水量(mm)。

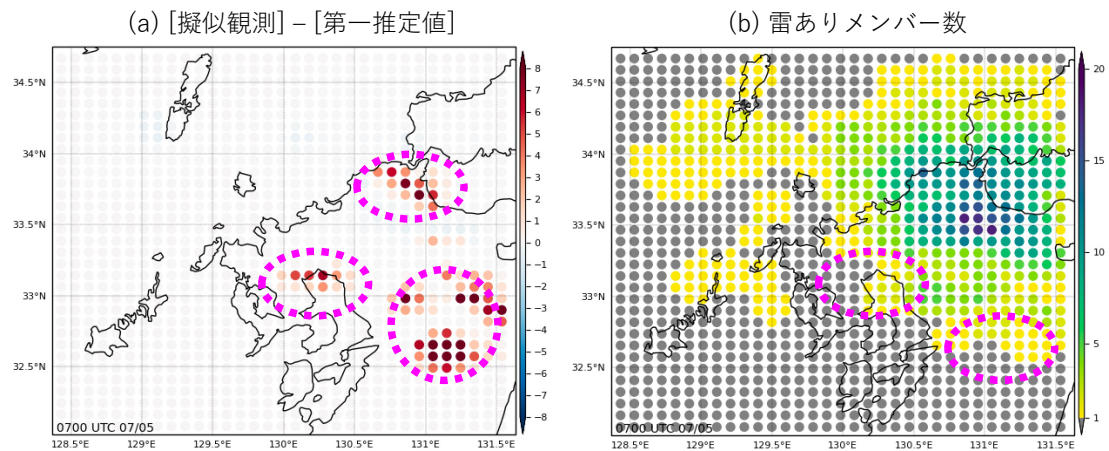


図 3 (a)擬似観測と第一推定値との差。観測量は flash origin density であり単位は flash/格子セル毎時。(b)第一推定値における雷ありのアンサンブルメンバー数。どちらも 1 サイクル目(0700 UTC)。

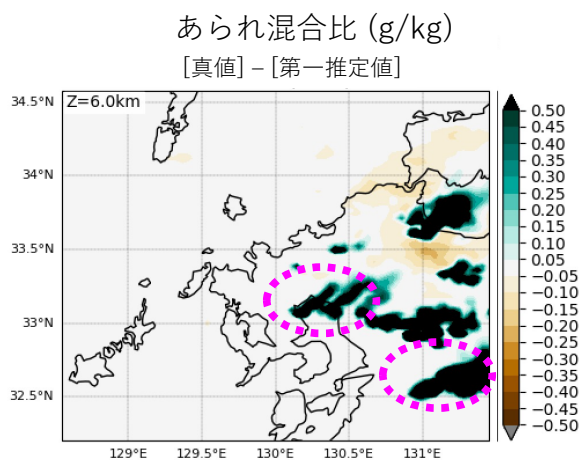


図 4 高度 6 km におけるあられ混合比の真値と第一推定値との差(g/kg)

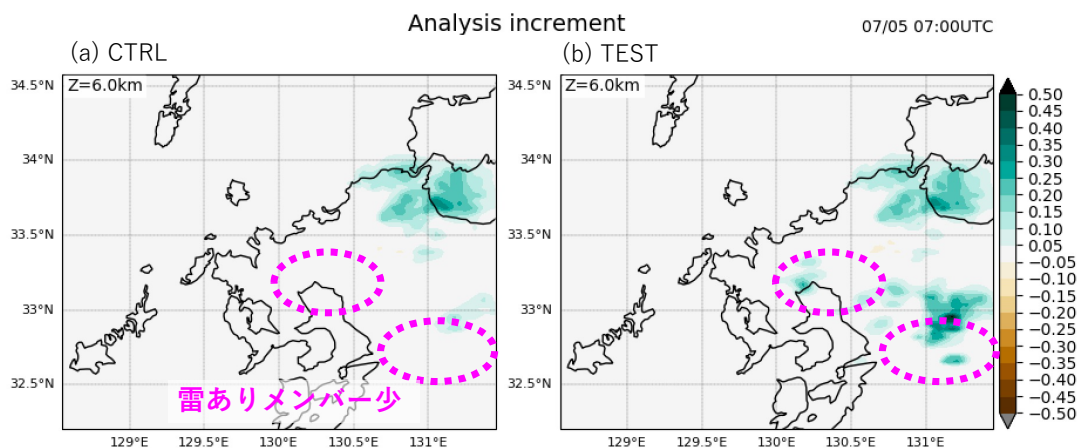


図 5 1 サイクル目(0700 UTC)における高度 6 km のあられ混合比の解析インクリメント(g/kg)。(a)CTRL 実験と(b)TEST 実験をそれぞれ示す。マゼンタ破線は雷ありのアンサンブルメンバー数が少なかった領域を示す。

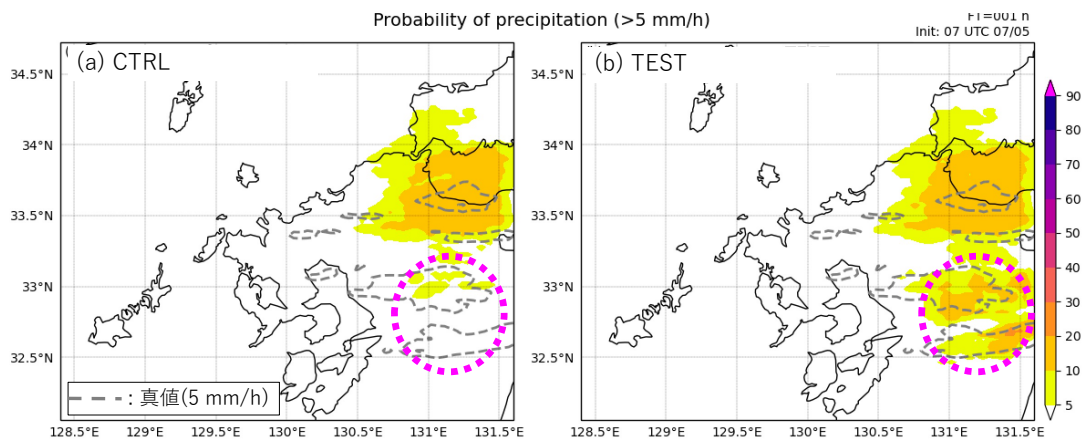


図 6 1 サイクル (0700 UTC)同化した結果を用いたアンサンブル降水予報から得られた(a)CTRL 実験と(b)TEST 実験における 5 mm/h 以上の前 1 時間降水確率。予報時間は 1 時間。