



LETKF を用いた局地的大雨の発生予測のための観測システムシミュレーション実験

瀬古, 弘
鈴木, 修

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 21:222-227

(Issue Date)

2017-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81011552>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011552>



LETKF を用いた局地的大雨の発生予測のための 観測システムシミュレーション実験

OSSE study for prediction of local heavy rainfall using LETKF system

瀬古 弘¹⁾
Hiromu SEKO
鈴木 修²⁾
Osamu SUZUKI

概要：局地的大雨を発生させた気流の水平風や温度、水蒸気量の効果を観測システムシミュレーション実験で示した。気象庁の現業データに加えて、ドップラーレーダーの動径風と GNSS 可降水量を同化して真値を作成し、大雨が発生する2時間前の大雨周辺の真値から模擬観測データを作成した。模擬観測データを、気象庁現業データのみを同化して作成した第一推定値に同化し、得られた解析値からの予報と真値とを比較した。模擬観測データを同化すると、第一推定値からの予測に比べて大雨の降水分布が真値に近づいた。これらの結果は、大雨を発生させる気流内の水平風や温度、水蒸気量が、その後に発達する局地的大雨の予測精度を向上させること、それらが長いリードタイムの獲得に有効な同化データとして期待できることを示している。

キーワード：局地的大雨、発生予測、観測システムシミュレーション実験

1. はじめに

夏季の都市域にしばしば発生する局地的大雨は、都市型洪水を引き起こし、交通手段等の都市機能にも大きく影響を及ぼすことから、長いリードタイム（予測から豪雨発生までの時間）をもった正確な予測や望まれている。局地的大雨の予測精度向上を目指して、これまでに、数値天気予測モデルを用いた多くの実験がおこなわれている。1994年に発生した練馬豪雨や2010年7月5日の局地的大雨の事例では、対流を発生さ

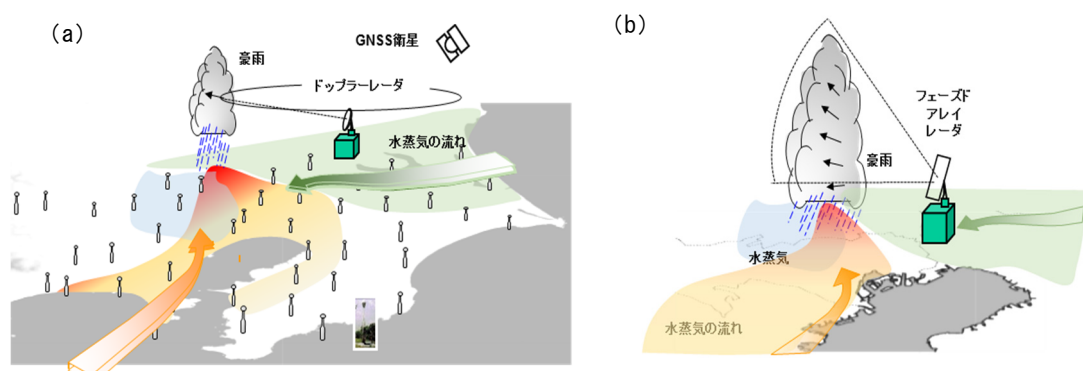


図-1.1 これまでの局地的大雨の予測のための同化実験の模式図。

せる下層の暖湿な気流の収束に注目し、水蒸気量の情報を持つ GNSS 可降水量と、水平風の情報を持つドップラーレーダーやドップラーライダーの動径風を同化することで、気流の収束場所に発生直後の積乱雲を再現し、その時刻からの数値天気予測モデルを用いた予測で、その後の大雨の発生の再現に成功している（たとえば Kawabata et al., 2011; 模式図を図-1.1a に示す）。また、30 秒ごとに 3 次元分布が得られるファーズドアレイレーダでも、反射強度や動径風を同化することにより、発達した局地的大雨や、その後の降水強度の維持、移動等を再現した結果も報告されている（Miyoshi et al., 2016; 図-1.1b）。しかしながら、これらの実験では、同化データとしてドップラーレーダーの動径風等を利用するため、予測精度が改善できる時刻は降水形成後であり、積乱雲の発生前に、その後に発生する大雨の予測精度を改善させることはできない。

関東平野について、雷雨発生時の気流分布を調べると、東京湾や相模湾からの南寄りの気流と鹿島灘からの気流が収束する場所に発生することが多いことが知られている（たとえば 藤部ほか、2002）。大阪平野についても、紀伊水道からの南寄り風と滋賀県からの北東風との収束が局地的大雨を発生させた事例が報告されている（たとえば Seko et al., 2013）。これらの報告は、雷雨や局地的大雨の発生時には、それらを発生させる典型的な気流分布があることを示していて、これらの気流の強さや水蒸気量の鉛直分布等を高頻度に観測することができれば、データ同化技術を用いて数値天気予測モデルの初期値の収束を改善することにより、積乱雲の発生前に、その後に発達する局地的大雨等の予測精度の改善が期待できることを示唆している。

気流内の水平風や水蒸気量を観測する測器について、水平風の鉛直分布では、高度 200~2000m までを 1 秒から 10 秒毎に観測できるドップラーライダーと呼ばれる測器が開発されている。近年、無人飛行機ドローンの開発も進んでおり、近い将来には、無人飛行機による高度数 100m での気温や湿度、水平風の観測が可能になると期待できる。また、マイクロ波により高度 1000m 程度までの気温分布が測定できる温度プロファイラーと呼ばれる測器も開発されている。水蒸気量についても、鉛直積算値である可降水量が測定できる GNSS の他に、可搬型の水蒸気ライダーの開発も進められており、日中でも高度 1.5 km 程度までの水蒸気量の鉛直分布が 10 分毎に得られることが報告されている（酒井ほか、2017）。本報告では、これらの測器を想定し、雷雨や局地的大雨を発生させる気流内の水平風や水蒸気量を同化データとして与えることによって、その収束で発生する雷雨などの発達などの予測が改善するかどうかを、観測システムシミュレーション実験（OSSE）を用いて示すことを目的にしている。

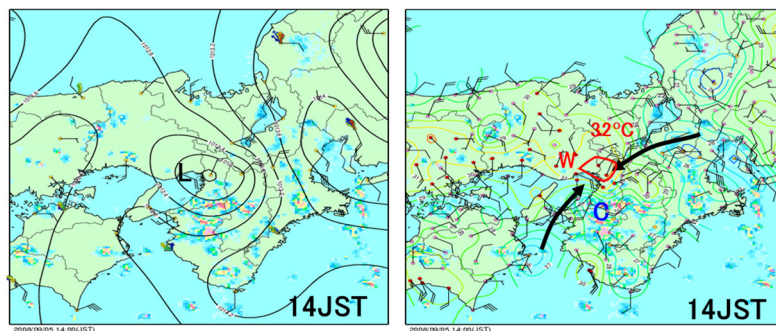


図-2.1. 2008 年 9 月 5 日 14 時の（左）海面更生した気圧分布と（右）高度補正した気温と水平風分布。

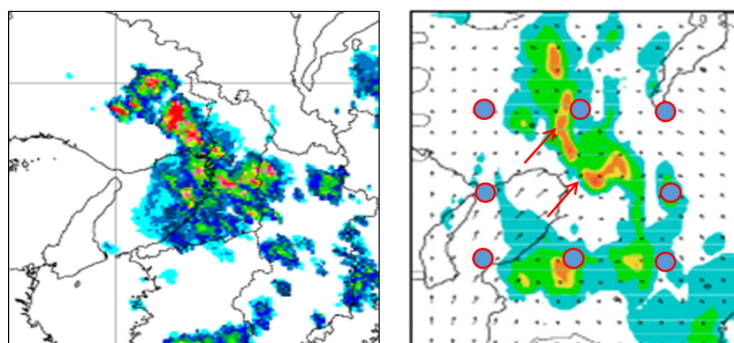


図-2.2 （左）2008 年 9 月 5 日 16 時の降水分布と、（右）子 LETKF で再現した真値からの 17 時の予測値。大雨が再現できた時刻が実況と 1 時間ずれている。模擬観測データの位置を○で示す。

2. 実験に用いた事例と評価システム

実験対象として、データ同化実験によって現実に近い大雨を再現することができた 2008 年 9 月 5 日の堺市の局地的大雨の事例を採用した。図-2.1 に、5 日 14 時の海面更生気圧と高度補正した気温、水平風の分布を示す。大阪市付近は気温が 32 度以上と周囲よりも高いため、そこに熱的低気圧が発生していた。この低気圧に向かって紀伊水道からの南よりの風と滋賀県からの北東風が収束し、収束によって発生した雷雨は、15 時には堺市から北西に延びるような形状（図-2.2）になって、局地的大雨を引き起こした。

本報告で用いた OSSE の概念図を図-2.3 に示す。OSSE では、現実に近い「真値」と呼ばれる数値天気予測モデルの出力から「模擬観測データ」を作成し、「真値」に比べて精度の悪い「第一推定値」と呼ばれる数値天気予測モデルの初期値に同化して、その同化結果からの予測と真値からの予測とを「比較」して、模擬観測データのインパクトを評価する(Seko, et al. 2012)。

この概念図の「真値」や「模擬観測データ」の作成、「比較」等を行うために、堺市の局地的大雨を再現した同化システムである「局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF; Miyoshi and Aranami, 2006) のネストシステム」を用いた（図-2.4）。ここで用いたネストシステムは、数値天気予測モデルとして気象庁非静力学モデルを用い、メンバー数は 12、格子間隔 15 km の親 LETKF と 1.875 km の子 LETKF で構成されている。親 LETKF では、気象庁の 1 時間毎の現業データ（高層観測や航空機、地上データ等）を用いて 6 時間毎に解析して、数 10 km スケール程度の大まかな収束を再現し、そして子 LETKF では、より水平・時間スケールの小さいドップラーレーダー等の 10 分毎の観測データを用いて 1 時間毎に解析し、局地的大雨を再現する。

ここでは、より現実に近い OSSE の「真値」を得るために、子 LETKF の同化データに、現業データに加えて、国土地理院の GNSS 連続観測システム (GEONET) で観測した 9 時から 15 時までの 10 分毎の GNSS 可降水量や、さらに大阪国際空港や関西国際空港の空港レーダで観測した 14 時から 15 時までの 10 分毎の動径風を同化した。得られた 15 時の解析値を初期値に使い、子 LETKF と同じ格子間隔 1.875 km の数値天気予測モデルを用いて再現した各メンバーの予測結果から、降水分布が最も実況に近いものを選んで、それを真値とした。これまでに、GNSS 可降水量や空港レーダの動径風によって、それぞれ主に、局地的大雨の降水強度と位置が改善し、さらに 2 つのデータを同時に用いることにより、強度と位置の両方が実況に近づくことが報告されている (Seko et al. 2015)。OSSE の「第一推定値」には、「真値」と同様に子 LETKF を用い、気象庁

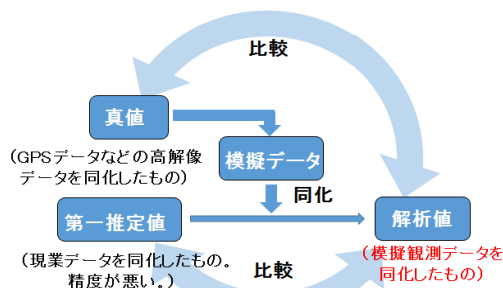


図-2.3 OSSE の概念図。

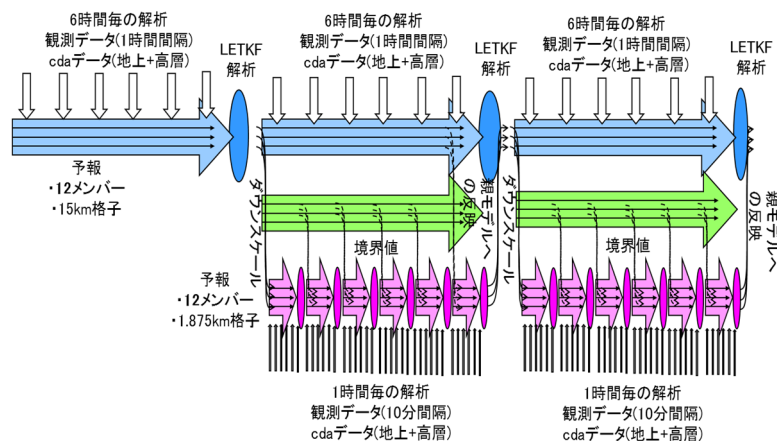


図-2.4 OSSE に用いたデータ同化システムの模式図。

の現業データのみ（GNSS 可降水量や空港レーダの動径風を含まない）を同化して得られた解析値を用いた。OSSE の「第一推定値」は、GNSS 可降水量等のより水平・時間スケールの小さい観測データが少ないため、「真値」よりも精度が悪くなっている。

模擬観測データは、第 1 章で述べたように、局地的大雨の降水域内ではなく、局地的大雨が形成された地点の周辺の 8 カ所の 15 時の解析値から作成した（図-2.2 右）。まず、無地飛行機を想定して、高度 400m の水蒸気量と気温、水平風の模擬観測データを、また、ドップラーライダーや温度プロファイラーによる観測を想定して、高度 200m までの水平風と 600m までの気温について、数値天気予報モデルの鉛直層高度における値を模擬観測データとした。

3. 観測システムシミュレーション実験の結果

子 LETKF に模擬観測データを同化して得られた解析値から予測した 17 時における『真値』と同じメンバーの降水分布を図-3.1 に示す。まず、「真値」（図-2.2 右）を確認すると、模擬観測データの地点に囲まれた領域の中に、矢印で示したような比較的強い 2 つの降水域がある。しかし、「第一推定値」（図-3.1a）では、北側の強い降水域がやや弱くなって再現されているものの、南側の強い降水域は再現できていない。これらに比べて、無人飛行機の模擬観測データを同化した場合（図-3.1b）には、北側の強い降水域が強まると共に、南側の降水域も再現できていて、「第一推定値」に比べて「真値」により近い分布になっている。ドップラーライダーや温度プロファイラーの模擬観測データを与えた場合（図-3.1c）でも、無人飛行機ほど顕著ではないが、北側の強い降水域が強まり、南側の降水域が再現できている。この実験では、模擬観測データを作成した 15 時の時点ですでに大阪平野内に降水域が発生していて、第 1 章で述べたような「収束する気流の同化による局地的大雨の発生予測」そのものではないものの、これらの結果は、局地的大雨を発生させる気流内の約 2 時間前の水平風や水蒸気量などをデータ同化で与えることにより、その後に発達する局地的大雨の予測が改善できることを示している。つまり、収束する気流の情報の同化により、より早い時刻での局地的大雨の発生・発達の予測ができる可能性があることがわかった。

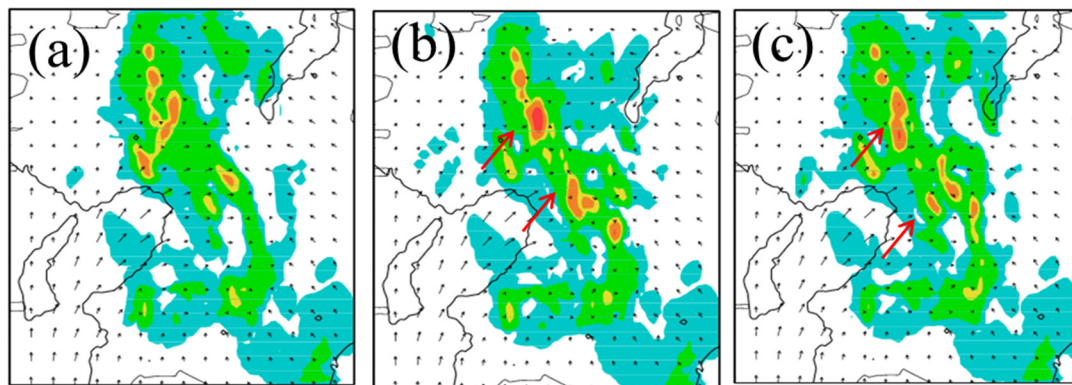


図-3.1 15 時の「真値」から作成した模擬観測データを同化して得られた解析値からの 17 時の予測。色域は降水分布を表す。すべて「真値」と同じメンバーのもの示している。(a)「第一推定値」からの予測値、(b) 無人飛行機を想定した模擬観測データを与えたもの、(c) ドップラーライダーと温度プロファイラーを想定した模擬観測データを与えたもの。

4. おわりに

本報告の OSSE により、局地的大雨の発生が予測できる場所の周囲の水平風等の環境をあらかじめ観測しておく、その中で発生する大雨の予報が改善する場合があることがわかった。この報告では、模擬観測データに「真値」から求めた内挿値そのままの値を用いて、測器の誤差を与えていない。より現実的な評価のためには、測器の誤差を与えた実験を行う必要がある。観測場所についても、局地的大雨の発生する場所を囲む 8 点に等間隔に置いたが、第 1 章で述べたように、大雨の引き起こす典型的な気流分布を利用することにより、さらに観測点を減らすことも可能と考えられる。予測精度を改善させる最適な観測場所の推定法の開発に加えて、より効率よく予測を改善する観測データやその頻度、高度範囲、高度間隔などについても検討する必要がある。

謝辞:本報告で用いた LETKF システム、気象庁の現業観測データ、大阪国際空港と関西国際空港のレーダーデータは、理研 計算科学研究機構の三好建正データ同化研究チームグループリーダ、気象庁数値予報課、気象庁大阪管区气象台から頂きました。ここに記して感謝いたします。本研究で得られる局地的大雨の予報精度向上を通して、航空機の安全運航に寄与します。

参考文献

- 1) 藤部文昭, 坂上公平, 中鉢幸悦, 山下浩史: 東京 23 区における夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風系の特徴. *天気*, Vol.49, No.5 395-405, 2002.
- 2) Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko, and K. Saito: A cloud-resolving 4D-Var assimilation experiment for a local heavy rainfall event in the Tokyo metropolitan area. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 139, No. 6, 1911-1931, 2011.
- 3) Miyoshi, T. and K. Aranami: Applying a four-dimensional local ensemble transform Kalman filter (4D-LETKF) to the JMA nonhydrostatic model (NHM). *SOLA*, **2**, 128-131, 2006.
- 4) Miyoshi, T., M. Kunii, J. Ruiz, G. Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Seko, H. Tomita, and Y. Ishikawa: ‘Big Data Assimilation’ revolutionizing severe weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 97, No.8, 1347-1354, 2016.
- 5) 酒井哲, 阿保真, 永井智広, 泉敏治, 瀬古弘, 川畑拓矢, 内野修, 柴田泰邦, 長澤親生, 局地的大雨予測のための小型水蒸気ライダーの開発: ラマン方式と差分吸収方式の比較, 第 42 回リモートセンシングシンポジウム, 2017 年 3 月, 千葉県千葉市
- 6) Seko, H., K. Saito, O. Suzuki, and A. Adachi: Impacts of the low-level convergence data on the local heavy rainfall. *CAS/JSC WGN Res. Activ. Atmos. Ocea. Modell.*, 42, 01.23-01.24, 2012.
- 7) Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, and T. Miyoshi, Development of a Two-way Nested LETKF System for Cloud Resolving Model, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications II*, Eds. S.K. Park and L. Xu, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 489-507, 2012.

筆者: 1) 瀬古弘, 気象庁気象研究所, 室長, 都市安全研究センター, 客員教授
2) 鈴木修, 気象庁気象研究所, 部長

OSSE study for prediction of local heavy rainfall using LETKF system

Hiromu SEKO
Osamu SUZUKI

Abstract

Impacts of horizontal wind, temperature and water vapor in the airflows of which convergence had generated the heavy rainfall were shown by the Observation System Simulation Experiment. Virtual observation data of horizontal wind, temperature and water vapor at 8 points surrounding the heavy rainfall 2 hours before the occurrence was obtained from the truth data, which was obtained by assimilating JMA's operational data, GNSS precipitable water vapor and radial wind of Doppler radars of Kansai and Osaka airports. The virtual data was assimilated into the first-guess that was obtained by the assimilation of only operational data of JMA. The prediction from the analyzed fields that were produced with the virtual data showed that the distribution of intense rainfall regions of heavy rainfall became similar to that predicted from truth data. These results indicated that the horizontal wind, temperature and water vapor in the airflows that caused the heavy rainfall is expected to be useful assimilation data for the improvement of the predictions of heavy rainfall and for getting the longer leading time.

©2017 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.