

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13841

研究課題名（和文）局地的大雨予測のための雲レーダー同化手法の開発

研究課題名（英文）Development of cloud radar assimilation methods for local heavy rain prediction

研究代表者

加藤 亮平（Kato, Ryohei）

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

研究者番号：70811868

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、雨粒が形成される前の雲粒を観測することできる雲レーダーの同化手法を開発することで、局地的大雨に対して短時間の数値予測の精度向上を目指した研究を行った。局地的大雨を引き起こした積乱雲を1分毎の超高頻度で捉えることに成功した特別観測による雲レーダーデータを、ナudgingと呼ばれる手法で同化し、数値予測の初期値を改善することで、従来の時間補外ベースのノウキャストでは難しかった、雨が降る前の段階からの局地的大雨の予測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「ゲリラ豪雨」とも呼ばれる局地的大雨は、河川の急な増水や道路の浸水などを通して時には人的被害をも引き起こすため、その予測手法の開発は重要な研究課題である。本研究は、雲レーダー同化により雨が降る前の段階から局地的大雨の予測に成功した世界で初めての研究だといえる。本手法を実用化に向けて高度化し、予測情報を危険な場所にいる方々にいち早く伝えることで、「ゲリラ豪雨」による被害が軽減されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to improve the accuracy of very- short-range numerical forecasts for local heavy rain by developing an assimilation method of cloud radar that can capture cloud droplets before raindrops form. By assimilating cloud radar data from special observations that succeeded in capturing cumulonimbus clouds that caused local heavy rain at a very high frequency of every minute, using a method called nudging, and improving the initial value of a numerical weather prediction model, we succeeded in predicting local heavy rain from the stage before rainfall started, which has been difficult with conventional extrapolation-based nowcasting.

研究分野：気象学

キーワード：雲レーダー データ同化 数値予測 局地的大雨 ノウキャスト

1. 研究開始当初の背景

「ゲリラ豪雨」とも呼ばれる局地的大雨は、河川の急な増水や道路の浸水などを通じて時には人的被害をも引き起こすため、その予測手法の開発は重要な研究課題である。局地的大雨の一時間以内の短時間予測技術の一つとして、高解像度気象数値モデルを用いた数値予測が挙げられる。数値予測による局地的大雨予測の鍵は、観測に近い適切な初期値を作成することであり、これはデータ同化という技術によって行われる。通常気象レーダーを用いたデータ同化研究は盛んに行われているが、通常気象レーダーでは雨粒を捉えられても雲粒は観測できない。近年、積乱雲の内部で雨粒ができる前の雲粒を観測できる雲レーダー（Ka バンドレーダー）が開発され、積乱雲の一生を捉える観測が可能となってきた。このような積乱雲の発生段階すなわち積乱雲内で雨粒が形成される前の雲粒の情報を同化し、モデルの初期値に取り込むことができれば、局地的大雨をより早く高精度に予測できることが期待される。しかしながら、雲レーダー同化による局地的大雨予測に関する研究は研究開始当初は行われていなかった。

2. 研究の目的

適切な雲レーダー同化手法が開発され一時間以内の短時間に精度の高い数値予測が可能となれば、局地的大雨予測のブレークスルーになりうることから、本研究では、局地的大雨予測に対して有効な雲レーダーデータの同化手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 開発した雲レーダー同化手法

雲レーダーで観測されるのは雲粒から反射された電波の強さ、すなわち反射強度である。この反射強度を雲の定量的な情報に変換するには、反射強度と雲水量の関係が必要である。しかし、両者の関係は単純ではなく、雲粒の大きさにより関係は大きく異なることが、雲レーダーデータの同化を行う際の大きな障壁になっている。そのため、本研究では雲レーダー同化手法開発の第一歩として、雲が存在する場所で加湿のみを行う手法を採用した。これは、雲（粒）が存在しているということは、その場所の大気が飽和、すなわち相対湿度が 100% であることが推測されるためである。具体的には、雲レーダーで観測されたレーダー反射強度がある閾値を超える場合雲が存在すると判定し、雲が存在する場所で相対湿度が 100% になるように、ナッジングと呼ばれる手法で加湿を行いモデルの初期値を修正した。

(2) 雲レーダーデータ

局地的大雨に対する短時間予測手法の開発と積乱雲の発達メカニズムの解明を目的として、防災科研では首都圏に展開している 3 台の雲レーダーを用いて 1 分毎のセクター PPI スキャンによる特別観測を 2018 年夏季に行った。その結果、2018 年 8 月 3 日に局地的大雨を引き起こした積乱雲の発達段階の 3 次元構造を 3 台のレーダーで同時に 1 分毎という高時間分解能で捉えることに成功した。本研究では、この高時間分解能 3 次元雲レーダーデータを用い、局地的大雨予測に対する雲レーダー同化手法を開発し、その同化インパクトを調査した。雲レーダーは方位角分解能 0.35° 、距離分解能 150 m、観測範囲 30km である。集中観測期

間において 110°分のセクターPPI 観測により、3 台のレーダーで 1 分間に全 12 仰角の PPI 観測を行った。この PPI ボリュームスキャンによるレーダー反射因子 Z を Cressman 法により、水平（鉛直）方向の影響楕円体半径 375(1000)m で、水平（鉛直）格子間隔 250（100）m の CAPPi データを作成した。PPI による最低観測高度よりも下には Z を広げないように作成した。

（3）予測手法

雲解像数値モデル(CReSS)を用い、関東域に対して水平格子間隔 700m で 1 時間積分した。

4．研究成果

（1）雨が降る前からの局地的大雨予測の成功

積乱雲の発生段階の 3 分間に対してナッジングにより同化（加湿）を行い、ナッジング後の 1 時間先まで予測を行った。雲レーダー同化を行わなかった場合、降水が予測されなかったのに対し、雲レーダー同化を行った場合は同化終了 20 分後に強雨が予測された（図 1）。この結果から、雲レーダー同化によって、雨が降る前の段階からの局地的大雨が予測しうることが示された。

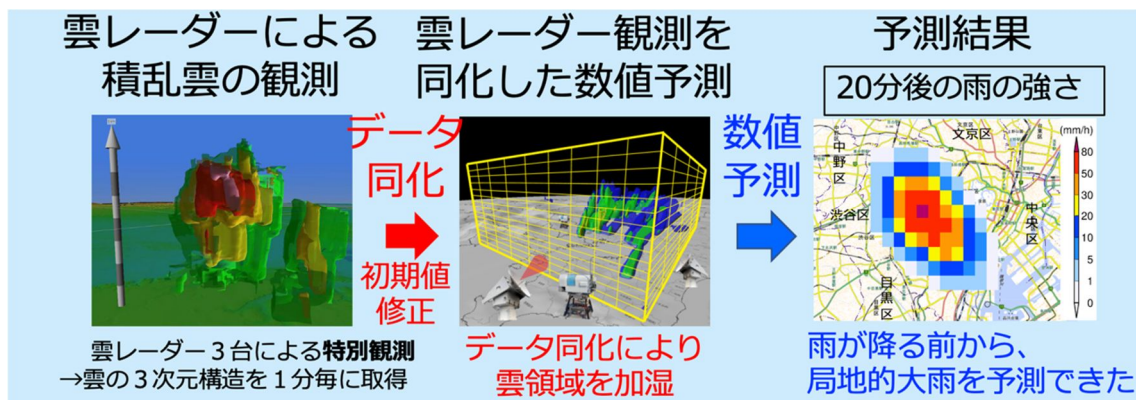


図 1 雲レーダー同化による局地的大雨予測の成功例

（2）同化に利用する観測データの長さと同化タイミングの感度実験

雲レーダーで捉えた雲を水蒸気ナッジングにより同化する際、同化する観測データの長さと同化タイミングを 1 分毎に様々に変化させた実験を行った。その結果、同化する観測データの長さがわずか 2～3 分程度でも局地的大雨を予測しうることが示された。一方で、同化するタイミングがわずか 1 分異なることで積乱雲の急激な発達に伴い予測結果が大きく変わりうること、衰弱期の雲を同化することにより偽の雨が予測されてしまうこと、雲が発達し雲と雨が共存する場合には観測よりも強い雨が予測されてしまうこと、といった課題も明らかとなった。この課題から、1 分毎程度の超高頻度で更新する予測システム開発の必要性、この課題から、発達する雲のみを同化する選択的同化手法の開発の必要性、この課題から、雲と雨が共存する場合は、マルチパラメータフェーズドアレイレーダー (MP-PAWR) などの降水レーダーを雲レーダーと組み合わせた同化手法の開発の必要性が示唆された。

（3）同化（雲領域加湿）を行う高度が降雨予測に与えるインパクト

同化（雲領域加湿）を行う高度が降雨予測に与えるインパクトを調査した。同化に利用する

雲レーダー反射強度の3次元分布(CAPPI)を通常の方法で作成した場合と、工夫を行った場合(反射強度を最低観測高度よりも下に広げないようにCAPPIを作成)で予測される降水量を比較した。通常の方法でCAPPIを作成した場合、工夫を行った場合に比べ2倍以上の大量の雨が降ることがわかった。このことから雲レーダー同化において加湿を行う高度は降雨予測に対してインパクトが大きいことが示された。

(4) 雲レーダー反射強度の下限値のチューニング

雲レーダー同化で利用する雲レーダー反射因子の下限である Z_{TH} の検討を行った。 Z_{TH} を下げるほど早い段階から雲を検出でき広い領域を加湿できるため、より早い段階から局地的大雨を予測できることが期待できる。このため、 Z_{TH} はできるだけ下げることが望ましい。本研究で用いた雲レーダーの設計では、レーダーからの距離が20 kmの場所において、単(二重)偏波レーダーの場合-20 (-17)dBZのレーダー反射因子が検出可能である。同化対象である雲レーダーエコーがレーダーの近傍で観測された場合、レーダーの検出限界の観点では-20dBZよりも Z_{TH} を下げることは可能である。 Z_{TH} を-25dBZから-15dBZまで1dBZずつ変化させた実験を行った結果、 Z_{TH} を下げると虫(insect)などの雲ではない非気象エコー(non-meteorological echo; NE)が混じるため雲でない部分も加湿してしまい、偽の降水が予測された。このため、雲でないエコーの混入を最低限にしつつもできるだけ小さな Z_{TH} として-20dBZ程度が適当であることがわかった。

(5) 雲水や熱を加えた同化実験

雲レーダー同化において水蒸気に加え雲水や熱(温位偏差)も同化したところ、水蒸気のみを同化した場合に顕在化した予測される雨の開始が遅れてしまう問題が軽減されることがわかった。ただし、今後、雲レーダー反射強度と雲水量の関係式の不確実性を考慮した同化手法の開発が必要である。

5. 参考文献

上記の研究成果の詳細は以下の文献を参照されたい。

R. Kato, S. Shimizu, T. Ohigashi, T. Maesaka, K. Shimose, and K. Iwanami, 2022: Prediction of meso-scale local heavy rain by ground-based cloud radar assimilation with water vapor nudging, Weather and Forecasting, Accepted.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 S. Shimizu, K. Iwanami and R. Kato, N. Sakurai, T. Maesaka, K. Kieda, Y. Shusse, S. Suzuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Assimilation impact of high temporal resolution volume scans on quantitative precipitation forecasts in a severe storm: Evidence from nudging data assimilation experiments with a thermodynamic retrieval method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 2139-2160
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/qj.3548	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Kato, S. Shimizu, T. Ohigashi, T. Maesaka, K. Shimose, and K. Iwanami	4. 巻 -
2. 論文標題 Prediction of meso- -scale local heavy rain by ground-based cloud radar assimilation with water vapor nudging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Weather and Forecasting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kato, R., S. Shimizu, T. Ohigashi, T. Maesaka, K. Iwanami
2. 発表標題 Assimilation impact of cloud radars on quantitative precipitation forecast for localized heavy rainfall: Evidence from water vapor nudging data assimilation experiments
3. 学会等名 39th International Conference on Radar Meteorology（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤亮平・清水慎吾・大東忠保・前坂剛・岩波越
2. 発表標題 局地的大雨予測に対する雲レーダー同化インパクト：水蒸気ナudgingデータ同化実験
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤亮平・清水慎吾・大東忠保・前坂剛・岩波越
2. 発表標題 局地的大雨予測に対する雲レーダー同化インパクト: 水蒸気ナudgingデータ同化実験
3. 学会等名 第6回メソ気象セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato, R., S. Shimizu, K. Shimose, K. Iwanami
2. 発表標題 Nowcast for Meso- -Scale, Localized, Extremely Heavy Rainfall by Blending Extrapolation and Model Forecasts
3. 学会等名 Joint Seminar between NIED and WRC/KMA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kato, R., S. Shimizu, K. Shimose, K. Iwanami
2. 発表標題 Nowcast for Meso- -Scale, Localized, Extremely Heavy Rainfall by Blending Extrapolation and Model Forecasts: Event on 24 August 2016
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤亮平, 清水慎吾, 下瀬健一, 岩波越
2. 発表標題 局地的大雨に対するナウキャストと数値予測を併合させたブレンディング予測. 2016年8月24日事例
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------