

上流下層加湿法による短時間強雨予測実験

課題責任者

若月 泰孝 茨城大学 理学部

著者

若月 泰孝 茨城大学 理学部

雲解像大気モデルシミュレーションによる短時間降水予測において、1～2時間程度先の降水を予測するための簡易型レーダーデータ同化手法として開発された上流下層加湿法を、いくつかの豪雨事例に対して適用した。2014年8月20日に発生した広島豪雨では、バックビルディングタイプのメソβスケール帯状降水帯が数時間維持した。上流下層加湿法による10分サイクルの予測では、1時間先の予測で、比較的良好に降水量を予測することができていた。特に現象の変化が激しいステージでの予測性能は、気象庁降水ナウキャストを上回っていたと推定された。しかし、定常状態における予測性能は、降水ナウキャストの方が高く、モデル予測の量的補正の必要性が示された。

キーワード：力学短時間降水予測, レーダーデータ同化

1. はじめに

1～2時間程度先の豪雨をピンポイントで予測することは、防災上重要な課題である。しかしながら、降水の予測と、それをもたらす積乱雲の予測には極めて困難な問題がある。積乱雲に伴う雨の直近の予測は、降水エコーの時間外挿に基づくナウキャストにより予測計算が実施されている。しかし、積乱雲に伴う降水は数十分程度の短い時間で大きく変動するため、定常性を仮定するこの予測手法では予測精度が時間とともに急激に低下する。30分程度先までが予測の限界といえる。一方で、雲解像大気モデルを用いた数値シミュレーションによる予測にも困難さがある。観測と予測を結び付けるデータ同化による初期値作成の計算に時間を要するため、実際の短時間予測に間に合わないことが多い。さらに、現時点でのデータ同化では、積乱雲の内部構造の再現が十分でないために、直近の積乱雲の振舞いの予測精度は必ずしも高くない。積乱雲内部の構造をより正確に初期値に組み込むためには、レーダーによる雨雪分布や雨域での動径風情報だけでなく、鉛直流や加熱量、雲水量、雨域以外の風の情報を観測しなければならず、それを広域に展開することは極めてハードルが高い。雨水だけの情報をデータ同化で初期値に組み込んでも、積乱雲のスケールで見るときには、実際とは異なる力学構造を持つことになりやすく、その後の予測を改善する方向に働くことが保証されない。そこで、若月(2015[3])は、上流下層加湿法という簡便なレーダーデータ同化手法を開発し、積乱雲の振舞いの予測を実施した。積乱雲の振舞いは強いカオス性を伴うため、短時間間隔での予測の更新が望ましいが、この方法は3時間程度先までの予測を10分程度の間隔で更新することを念頭に置いた時に、実現可能な簡便さを持ったデータ同化手法である。本研究では、上流下層加湿法を若月(2015)以外の事例に適用し、その再現性の検証を行った。

2. 手法

この研究で用いているデータ同化システムは、若月(2015)の上流下層加湿法に基づくため、手法の解説の一部を以下に紹介する。この方法では、降雨強度や水物質量を雨水の情報として直接同化しているわけではない。積雲対流に伴う降雨は、積雲対流発生の結果として、進化の後半に観測されるものである。その概念を踏まえ、強雨が生じたという結果の情報をもとに、強雨を生成させる積雲対流の初期構造を疑似的な観測とする。これは、積雲対流の時間発展の随伴演算を簡便な方法で近似することに相当する。積乱雲の初期構造として、生成位置、生成時刻の下層大気を加湿する手法(Turpeinen and Yau, 1981[2])を用いる。つまり、強雨観測の情報から、観測よりも前の時刻の上流側下層の大気の水蒸気量を増加させる疑似観測データを作成し、それをナッジングで同化する。下層が十分に飽和していれば、対流抑制(CIN; Convective inhibition)はゼロになるため、ほんのわずかな衝撃があれば、積雲対流が生成される。

図1に計算フローの概念図を示す。ナッジングでは、弱い過飽和状態(例えば今回の実験では相対湿度(RH)を101%)に強制させた。10分前のサイクルでの計算結果

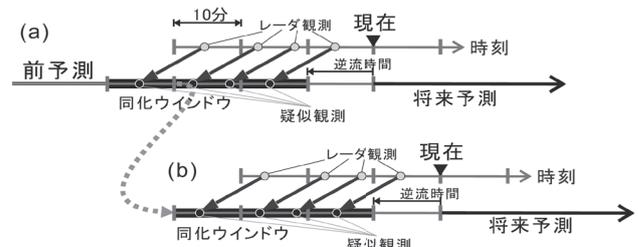


図1 予報・解析サイクルの設計概念図。(a)のサイクルの後に、(b)のサイクルへと続く。図中の疑似観測とは、レーダー観測から上流下層の大気の水蒸気量を増加させることを意味する。疑似観測は、レーダー観測から時間的に遡って作成される(逆流)。逆流時間を10分とした場合のイメージ図になっている。若月(2015)より。

から温度や気圧などの第一推定値を求め、その状態に対する相対湿度 101% での水蒸気混合比を見積もり、これを疑似観測データとした。また、自由対流高度 (LFC) を少し超えた高度 ($LFC+\Delta z$; 今回の実験では LFC の上空 500m とした) までの下層大気を加湿した。弱い過飽和にしているのは、水蒸気を十分に凝結させ、かつ小さな衝撃を生じさせるためである。また、LFC を超えて上空まで加湿しているのは、せっかく生じた積雲対流に伴う上昇気流が、LFC より上空の乾燥した空気のエントレインメントに阻害されて消散するのを防ぐ効果を考えたためである。ナッジングの時定数 (τ) は 1 分とした。この研究では、降雨強度 10mm/h を積雲対流に伴う降水と仮定した。それよりも強い降水がある領域を上流側に伝搬させ、その下層を加湿する。弱い降水域は、層状性降水と仮定した。層状性降水は、積雲対流によって直接生成されるものではないと仮定して、上流の下層加湿は行っていない。なお、降雨域の形状と上流下層加湿を行う領域の水平方向の形状が同じである必然性はないが、本研究では加湿域形状に関するモデル化は行っていない。

3. 事例計算

若月 (2015) は、孤立した積乱雲の事例に対して上流下層加湿法を適用した予測実験を行った。一方、本研究では、上流下層加湿法をいくつかの事例に対して適用した。本報告では、特に広島豪雨に適用した事例について紹介する。2014 年 8 月 20 日、数時間で 200mm を超える豪雨が広島市で観測され、発生した土砂災害によって多くの死傷者がでた。この事例は、孤立した積乱雲によってもたらされたのではなく、複数の積乱雲が集団化するバックビルディングタイプの帯状降水システムであった。新たな積乱雲が降水システムの上流側で断続的に形成さ

れ、長時間維持することによって、降水量が局地的に増大した。本研究では、上流下層加湿法をこの広島豪雨に適用し、その再現性を検証した。

研究で用いた大気物理モデルは名古屋大学で開発された雲解像非静力学大気モデル CReSS (Cloud-resolving Storm Simulator; Tsuboki and Sakakibara 2001[1]) である。雲や雨雪などの水物質を陽に計算することができる。実験は、気象庁 MSM や MGDSST データを初期・側面境界条件に用いた数値シミュレーションを実施した。個々の積乱雲を計算上概ね再現可能な設定になっている。なお、水平格子間隔を 1km とした。図 2 は、20 日 0 時から 6 時の 1 時間ごとの 1 時間積算降水量分布を示す。この中で降水ナウキャストと上流下層加湿法による降水量 (同化ありと記載) は、10 分サイクルの予測から作成されている。1 時間先の 10 分積算降水量を 6 回分積算足し合わせている。同化なしの実験は、レーダデータの同化は行っていない、19 日 21 時初期値の実験である。01 時までには線状降水帯の発達ステージ、01 - 03 時は維持ステージ、03 時以降は衰弱ステージに分けることができる。気象庁降水ナウキャストは、基本的にレーダによる雨量分布の移動の時間外挿に基づいており、定常性を仮定している。したがって、1 時間前の観測された降水量分布と似た分布になっており、定常なステージでの再現性は非常に高いが、変化の大きなステージでは再現性がよくない。一方、上流下層加湿法でデータ同化した実験については、維持ステージには降水ナウキャストに勝てないが、発達・衰弱ステージでは変化に対する応答がよく、比較的精度よく再現していた。特に立ち上がりの良いことは、本手法が災害をもたらすような豪雨現象の予測に有効であることを示している。広島豪雨のように、不安定大気環境下で、対流を発生させるきっかけによって、そこから組織化して線状降水帯が形成されるような事例で

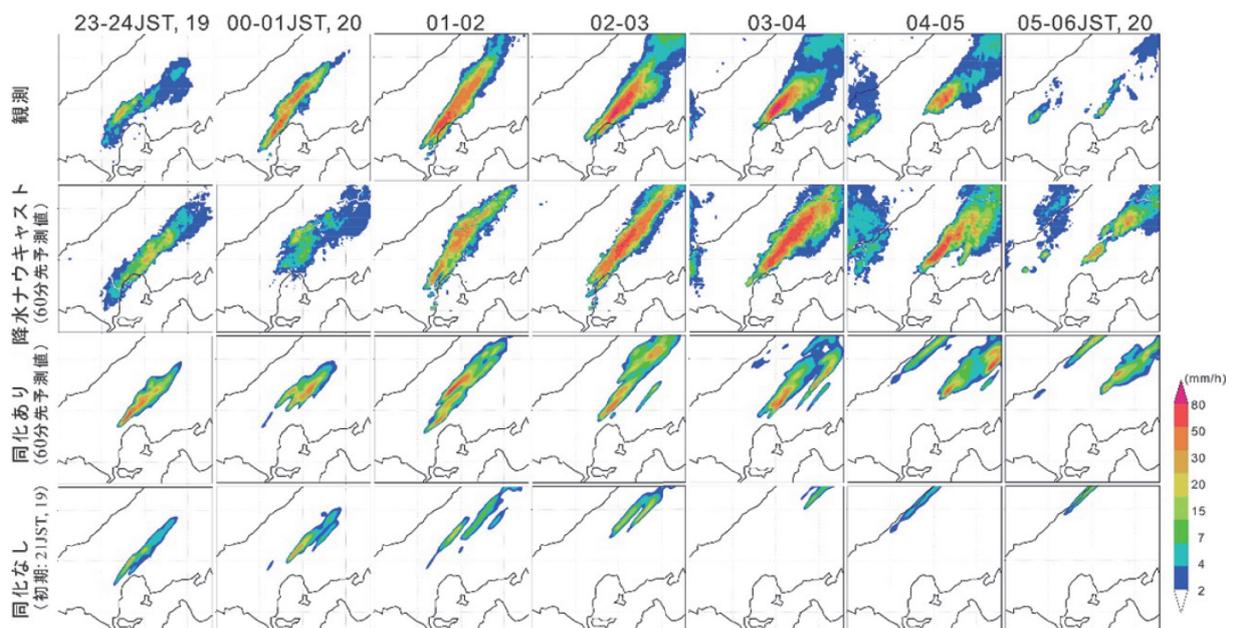


図 2 レーダにより観測された降水量 (1 段目)、気象庁降水ナウキャストによる 1 時間先の降水量 (2 段目)、上流下層加湿法でレーダデータを同化した時の 1 時間先の降水量 (3 段目)、データ同化なしの予測。2 段目と 3 段目の予測はレーダ観測から 1 時間先のものである。

は、発生シグナルを大気モデル計算に素早く取り入れることが重要だと考えられる。なお、データ同化なしでは、広島豪雨の再現性能は必ずしも高くはない。

4. まとめ

雲解像大気モデルシミュレーションによる短時間降水予測のために、簡易レーダデータ同化手法として開発された上流下層加湿法をいくつかの豪雨事例に対して適用した。広島豪雨での実験では、特に盛衰の激しい現象に対して、比較的良好な降水予測を実現した。ただし、定常状態にある現象の予測に対しては、気象庁降水ノウキャスト予測精度の方が高く、補正手法などを組み合わせる必要があることが示唆される。

文献

- [1] Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2001: Cloud Resolving Storm Simulator User's Guide, Second Edition.
- [2] Turpeinen, O. and M.K. Yau, 1981: Comparisons of Results from a Three-Dimensional Cloud Model with Statistics of Radar Echoes on Day 261 of GATE. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, pp.1495–1511.
- [3] 若月泰孝, 2015: 上流下層加湿による積雲対流の予測実験. 土木学会論文集 B1(水工学), 71(4), I_505-I_510.

Short-term Numerical Predictions of Intense Rainfall using the Upstream Lower-level Humidification Scheme

Project Representative

Yasutaka Wakazuki College of Science, Ibaraki University

Author

Yasutaka Wakazuki College of Science, Ibaraki University

The upstream low-level humidification scheme, which is used for short-term numerical simulations of a cloud-resolving atmospheric model with a target forecast time of up to 2 hours, was applied for various heavy rainfall events. Features of heavy rainfall such as Hiroshima heavy rainfall event were well predicted with a forecast time of 1 hour. In particular, in stages when the features of rainfall vary largely, the prediction accuracy was significantly higher than prediction results of the JMA precipitation nowcast which is based on the temporal extrapolation of radar echo motion.

Keywords: cloud-resolving model, short-term precipitation forecast, heavy rainfall

A short-term precipitation prediction method, which was developed by Wakazuki (2015[1]) and named as the upstream low-level humidification (ULH) scheme, was applied for various heavy rainfall events. The ULH scheme is used for rapid-update cloud-resolving atmospheric model simulations as a data assimilation method for radar reflectivity data. The target range of the forecast time is from 20 minutes to 3 hours. Among the investigated events, a heavy rainfall observed at Hiroshima on August 20, 2014 was focused. A meso-beta-scale back-building type precipitation system was generated and maintained for about 6 hours. Landslides were induced by precipitation over 200 mm had killed 77 people.

In the ULH scheme, meteorological radar data are used to detect signals of cumulonimbus clouds. Here, the radar reflectivity information is not used to modify variables of rain water content. Instead, the information is translated to that of initial structure of cumulonimbus cloud which produced observed intense rainfall. In practical, areas where rainfall intensity is larger than 10 mm/h are horizontally advected toward the upstream side with 10-40 minutes. The water vapor in the lower atmosphere below the level of free convection is forced to add to be saturated by the nudging technique. The nudging coefficient is 1 minute. The ULH plays a role in the approximated adjoint calculation for time integration of four-dimensional variational data assimilation. In the installed prediction system, 3-hour forecasts are performed every 10 minutes, because the predictions should be updated with a shorter time interval due to the strong chaotic properties.

For Hiroshima heavy rainfall event, a line-shaped stationary rainband was observed as a cluster of cumulonimbus clouds. By using the ULH scheme, the rainband was well predicted with 1 hour forecast time. The quantitative prediction accuracy was comparably higher in stages that the variations of rainband is large. For example, the prediction accuracies in the formation, developing, and decaying stages of the rainband were high. On the other hand, the quantitative accuracy was a little lower in stages that the rainband was maintained and stationary than the accuracy of precipitation nowcast produced by the Japan Meteorological Agency. Thus, it was identified that the quantitative modification for precipitation prediction using the ULH scheme should be considered in future.

References

- [1] Wakazuki, Y., 2015: Numerical prediction experiment of cumulus convection by upstream lower-level humidification. *The Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1*, 71 (4), I_505-I_510.