局地数値予報システムにおけるレーダー反射強度データを利用したデータ同化手法の開発

幾田泰酵（気象庁予報部数値予報課）

1. はじめに

気象庁は、飛行場予報の高度化に加え、降水短時間予報などの防災気象情報作成支援を主な目的として局地数値予報システムの開発を行っている（永戸 他 2010）。局地数値予報システムは、水平解像度 2km の局地モデル（LFM）とその LFM に初期値を与える局地解析（LA）で構成される。降水短時間予報に資する降水予測を行うためには、大気の水蒸気プロファイルを高精度にモデルに取り込む必要がある。そこで、我々は LA においてレーダー反射強度データを利用する初期値作成手法の高度化に取り組んでいる。ここでは、その LA における反射強度データを利用したデータ同化手法及び LFM による予報へのインパクトを報告する。

2. 局地数値予報モデルの概要

実験設定は局地数値予報システムの試験運用（永戸 他 2010）の設定に準じたものである。LA における解析手法は、3 次元変分法（3DVAR）を用いた逐次更新サイクル（RUC）である。図 1 に RUC の流れ図を示す。はじめに、気象庁メソモデル（MSM）の 3 時間予報値を第一推定値として 3DVAR による解析を行う。その解析値を初期値として水平解像度 5km の 1 時間予報（LF1）を実行する。次に、この予報値を第一推定値として 3DVAR による解析を行う。この LF1 と 3DVAR を更に 2 回繰り返し、最後の 3DVAR の解析結果を LFM の初期値とする。LF1 は、MSM とほぼ同じ設定の予報モデルであるが、雲物理過程に 3-ice バルク法 1-moment スキームを用いており、雲氷の数濃度を予報しない点が MSM と異なる。なお、LA においてデータ同化される観測は、アメダスの風・気温、ウィンドプロファイラの風、地上設置型 GPS 可降水量及びドップラーレーダのドップラー速度などである。

今回の実験における LFM の計算領域は、近畿地方から北海道を覆う領域（図 2）で格子数は 551×801 格子、鉛直層数は 60 層である。予報時間は、9 時間とした。側面境界値は、LFM の初期時刻から 3 時間前を初期時刻とする MSM を用いる。また、LFM は対流パラメタリゼーションを使用しない。

3. レーダー反射強度の利用

レーダー反射強度は、相対湿度の疑似観測データとして同化される。まず、MSM または LF1 の予報結果を第一推定値としてレーダーシミュレータに入力し、レーダー反射強度をシミュレートする。その、シミュレートされた反射強度と相対湿度予報値の関係を基にし、観測されたレーダー反射強度を利用して相対湿度を推定する。そして、その相対湿度を疑似観測データとして同化する。このデータ同化手法は、1D+3DVAR と呼ばれ、フランス気象局の領域モデル AROME で現業運用されている（Caumont et al. 2010）。我々は、Caumont et al.（2010）に基づいて 1D+4DVAR（Ikuta and Honda 2011）を開発し、気象庁メソ解析（MA）に導入した。MA における 1D+4DVAR は、2011 年 6 月から現業運用されている。

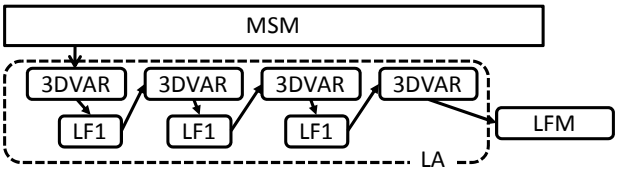

図 1　3DVAR を用いた RUC の流れ図。LF1 は、水平解像度 5km で 1 時間予報。LFM は、水平解像度 2km で 9 時間予報。

図 2　LFM の予報領域

レーダー反射強度の利用に関して、今回の実験と MA の実装とは異なっており、以下に今回の実験における変更点を述べる。まず、相対湿度の推定手法の変更を行った。MA における反射強度から相対湿度の推定手法は、ベイズの定理に基づくもので事後確率分布に従って逐次更新型データベースから抽出されたサンプルの重みつき平均をとり最適値をもとめる。しかし、この手法は、推定に利用するための「取りうる状態」の数が減少するとサンプリングエラーの影響で精度が著しく低下する。そこで、ここでは新たな疑似観測データの作成手法として、カーネル密度推定によって確率密度分布を求め最尤推定を行うこととした。この手法は、カーネルをガウシアンと仮定することによって、尤度関数をガウシアン分布の重ね合わせの滑らかな関数として与えることができるため、状態数がある程度減少しても最適値の算出精度を維持することができると期待される。

次に、レーダーシミュレータに固体降水利用のための変更を加えた。MA では、雪と霰から推定された相対湿度は利用していない。MA に第一推定値を与える MSM は、雲物理過程に 1-moment スキームが採用されており降水粒子の粒径分布関数の切片パ

ラメータが固定されている。そのため、非現実的な粒径分布が仮定されることがあり、粒径の 6 次のモーメントである反射強度に誤差が生じる原因となる。MSM では特に固体降水の反射強度を過大評価してしまう傾向があり、この反射強度の系統誤差は相対湿度の推定に悪影響を及ぼす。ここでは、雪粒子の反射強度を利用するため、雪の切片パラメータを診断的に求める改良を行った。Thompson (2004) の N0s の診断式に、融解層以下の気温依存性を考慮する変更を新たに加え、その診断式をレーダーシミュレータに導入した。これにより LA では固体降水から推定される相対湿度が利用可能となった。

4. 実験結果

平成 23 年新潟・福島豪雨を対象に LA と LFM の解析予報実験を行った。この事例に対する MSM の降水予想は、位置ずれはあるが強雨は良く再現できていた。同様に LA と LFM による解析予報実験においても、概ね強雨を予測することに成功した。しかし、幾つかの初期時刻からの予報では、実況には無い降水が予測されることや、予報前半の降水の立ち上がりが遅く降水量が過小となる傾向などが見られた。以下では、予報初期の誤差が大きい初期値を抽出し、その初期値を与える LA における反射強度データ利用のインパクトを示す。なお、利用したレーダーサイトは、解析領域に含まれる気象庁レーダー全てである。

反射強度データを LA に利用しない実験を Control 実験と呼び、反射強度データを LA に利用した実験を Test と呼ぶ。図 3 は、2011 年 7 月 29 日 00UTC を初期時刻とする予報時刻 3 時間 (FT=3) の LFM の降水予測を示したものである。Control では、富山県に実況よりも強い降水が表現されている。Test では、富山県の降水の弱化と新潟県の降水の強化により降水分布が改善されている。初期時刻における可降水量の差分 (Test-Control) から、富山県の偽の降水周辺で Test の可降水量が減少し、新潟県の降水系の風上側で Test の可降水量が増加したことが分かる。

図 4 は、2011 年 7 月 29 日 03UTC を初期時刻とする予報時刻 3 時間 (FT=3) の LFM の降水予測を示したものである。Control では降水量が過小であるが Test では予測降水量が増加し改善している。初期時刻における Test と Control の差分は、Test の LA において降水系周辺の可降水量の増加をもたらす修正がなされたことを示している。

ただし、ここで示した事例の Test は、Control と比較して改善したが、いずれも強雨域が実況より南西に位置しており、位置ずれが完全に修正できていない。また、降水量も実況と比較して過小であり課題が多い。今後も、これらの課題を改善すべくレーダー反射強度をはじめとした新たな観測データの同化手法の調査及び高度化に取り組んでいく計画である。

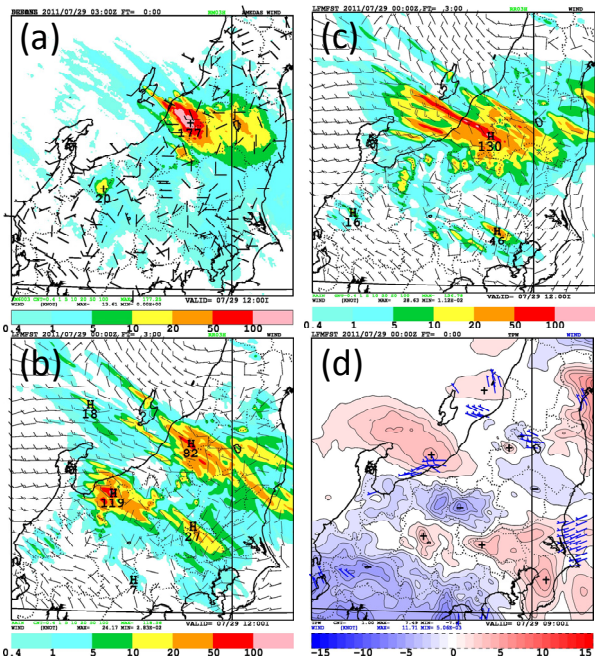

図 3　2011 年 7 月 29 日 00UTC を初期時刻とする LFM の予報時間 3 時間 (FT=3) の 3 時間積算降水量。(a)解析雨量、(b)Control と (c)Test の予想 3 時間積算降水量。(d)FT=0 における可降水量と地上風の Test と Control の差分。

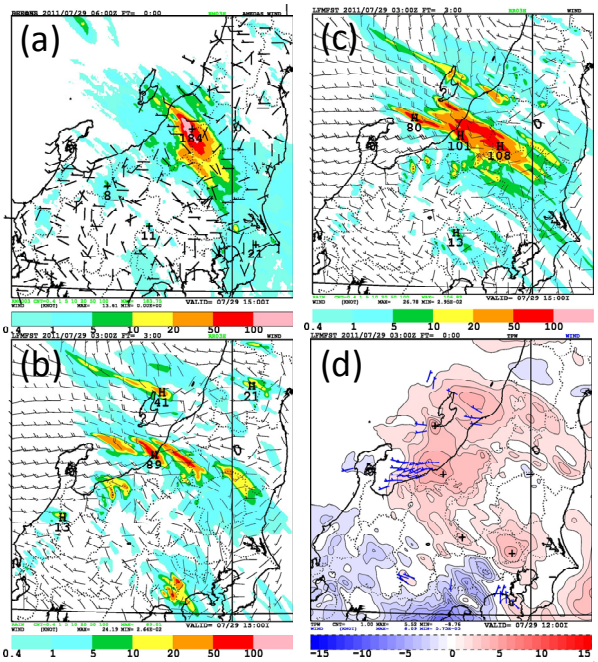

図 4　図 3 と同様。ただし、2011 年 7 月 29 日 03UTC を初期時刻とする。

参考文献

永戸 久喜　他, 2010: 局地数値予報システムの概要. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.

Caumont, O., V. Ducrocq, É. Wattrelot, G. Jaubert, S. Pradier-Vabre 2010: 1D+3DVar assimilation of radar reflectivity data: A proof of concept. Tellus A, **62**, 173−187.

Ikuta, Y., and Y. Honda 2011: Indirect reflectivity assimilation approach using radar simulator in JMA non-hydrostatic model based variational data assimilation system, 91st American Meteorological Society Annual Meeting, Seattle, WA. 23-27 January 2011

Thompson, G., R. M. Rasmussen, and K. Manning, 2004: Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. Mon. Wea. Rev., **132**, 519−542.