

NHM-4DVAR を用いたレーダー反射強度データ同化実験

*川畑拓矢¹・黒田徹² 1:気象研究所予報研究部、2:気象研(JST 重点研究支援協力員)

1. はじめに

気象研究所予報研究部では雲解像度非静力学 4 次元変分法データ同化システム (NHM-4DVAR) の開発を行っている。これまでに、ドップラーレーダー動径風、GPS 可降水量、地上風、地上気温を同化することにより、1999 年 7 月に発生した練馬豪雨の再現に成功している(Kawabata et al.,2006)。このときに用いたシステムは力学過程と水蒸気の移流の摂動を考慮するものであった。

これまで、雲物理過程のアジョイントコードとレーダー反射強度データ同化観測演算子を開発し、NHM-4DVAR へ組み込んだ。今回、実観測データの同化実験を行い、インパクトを調べた。

2. 雲物理過程

今回、アジョイントモデルに組み込んだ雲物理過程は Warm Rain プロセスで、飽和調節、移流、Kessler 型の auto conversion、オイラー型の雨滴落下スキームを含んでいる。雲水、雨水の混合比を摂動とし、数濃度の摂動は考慮していない。

3. 制御変数

水蒸気移流のみを考慮した NHM-4DVAR では、制御変数を、水平、鉛直風、温位、地表面気圧、非静水圧気圧、偽相対湿度としていた。今回、雲水量混合比(qc)、雨水量混合比(qr)を新たに追加した。qc は水蒸気混合比(qv)と強い相関を持ち、かつ、飽和水蒸気量との関係を用いて分離が容易なことから、

$$\text{total_water} = qv + qc$$

という量を導入し、これを制御変数とした。qr は単独で制御変数としている。

この導入は、同化期間初めにレーダー反射強度データを同化するために行った。すなわち、同化期間初めに観測データ(レーダー反射強度データ)が存在すると、NHM-4DVAR は観測データに合わせた場を再現するために、ごく短時間で降水を生み出す必要がある。しかし、初期値に水蒸気しか持っていない場合、これは不可能であり、モデルの計算不安定の原因となる。従って、初期値に水物質をもつ必要があり、制御変数に追加することとした。

4. 観測演算子

レーダー反射強度データを同化する観測演算子について、下に 3 種類の観測演算子を示す。ま

たすべての観測演算子で、Seko et al.(2004)が動径風の同化に用いた手法と同様の手法を用いて観測位置への内挿を行っている。

a) dBZ を用いた観測演算子

雨水混合比からの dBZ 算出式を示す。

$$\text{dBZ} = 10.0 \ln(\text{cqr}(\text{dns} \times q_r)^{1.75}) \quad (1)$$

cqr:定数、dns:空気密度、qr:雨水混合比

本システムでは qr に加えて qc に関しても散乱断面積を求め、dBZ を算出している。これは、繰り返し計算における qr の再現の困難さから導入したものである。(1)式は対数関数であるために、モデル内で水物質が非常に少ない場合、非常に大きな勾配を持つ。このため、10dBZ 以下は 0 において、急勾配にならないように考慮した。

b) Z を用いた観測演算子

もともと観測値は dBZ で与えられるため、観測値の指数を取り、(2)式で与えられるモデル内の反射強度と比較する。このとき、観測値の持つ情報は劣化しない。(2)式では、(1)式よりも非線形性が緩和され、モデル内の水物質が少ない場合でも特別な扱いをする必要がない。ここでも qc については考慮している。

$$Z = \text{cqr}(\text{dns} \times q_r)^{1.75} \quad (2)$$

c) Z-qr 関係式を用いた観測演算子

b)で変形した観測値をさらに Z-qr 関係式を用いて、qr の混合比としてリトリブする(左辺)。この式は経験式であり、情報は劣化するものと考えられる。しかし、(3)式は線形であり、同化システムにとっては最も扱いやすい。ここでは qc を考慮しない。

$$5.51 \times 10^{-6} Z^{0.525} = q_r \times \text{dns} \quad (3)$$

5. 同化実験

練馬豪雨が発生した 1999 年 7 月 21 日 15-16 時を同化ウィンドウとして、関東地方の約 240km 四方を実験領域とした。図 1 にレーダーアメダス解析雨量による観測を示す。○は練馬豪雨である。また、図 2 に第一推定値を示す。同化実験として、ドップラー動径風(羽田空港、成田空港で観測)、GPS 可降水量(GEONET による観測)を同化する実験 A、これらのデータに加えてレーダー反射強度(羽田空港で観測)を(1)式を用いて同化する実験 B、(2)式を用いて同化する実験 C、(3)式を用いて

同化する実験 D の 4 種類を行った。これらの実験では、観測された反射強度が 10dBZ 以下の場合、0.0dBZ のデータとして同化を行った。すなわち、観測領域内の雨なし情報の同化を行ったことになる。

6. 結果

第一推定値では、練馬豪雨はよく再現され、周辺の対流性降水もよく再現されている。実験 A(図 3)では、練馬豪雨は弱く、周辺の対流性降水は再現されていない。また、観測データの少ない領域である関東地方の南岸に異常な降水が表現されている。これは、雲物理過程の導入に伴うアジョイントモデル内の非線形性の増大が原因と考えられる。実験 B(図 4)では、第一推定値と似た降水が表現されているが、評価関数の値は、全体で 96%、反射強度に関する項が 96%にしか減少せず、最小値探索に困難が生じている。また、GPS 可降

水量に関する項がむしろ増大したため、降水強度が弱くなっている。実験 C(図 5)では、全体に実験 B よりも降水強度が弱くなったものの、評価関数の値は全体で 88%、反射強度の項が 85%まで減少し、観測演算子の非線形性の緩和が効果を挙げている。実験 D(図 6)では降水強度が増加し、かつ評価関数の値が全体で 91%、反射強度の項で 68%に減少し、さらに効果が高い。しかし、全体の減少が実験 C よりも小さく、関東地方南岸の異常降水が若干、残っている。

7. これから

NHM-4DVAR における雲物理過程に伴う非線形性の発生源を同定し、緩和する必要がある。また、同化観測演算子については、(2)式あるいは(3)式を用いることが良いと分かった。これについては、更なる検討が必要である。

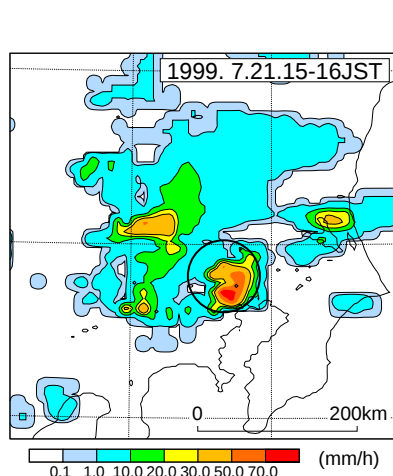


図 1 レーダーアメダス
解析雨量(mm/hr)

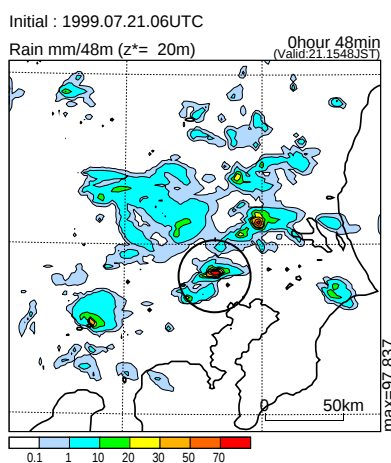


図 2 第一推定値

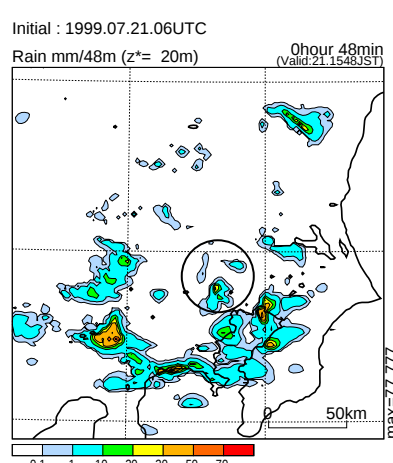


図 3 実験 A(反射強度なし)

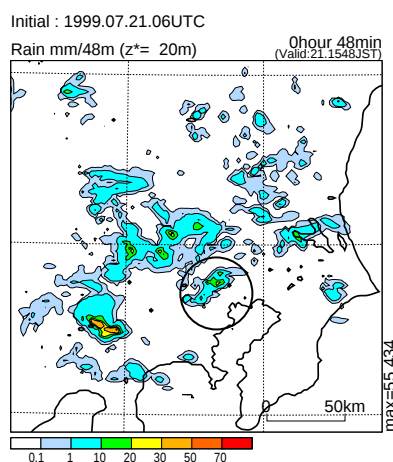


図 4 実験 B(dBZ)

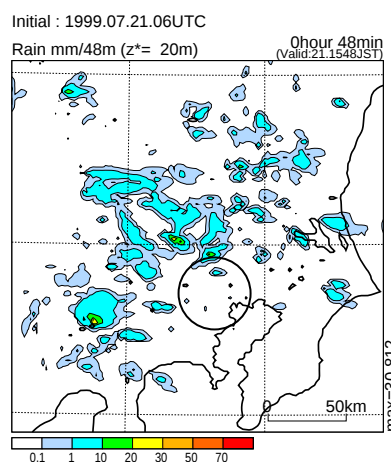


図 5 実験 C(Z)

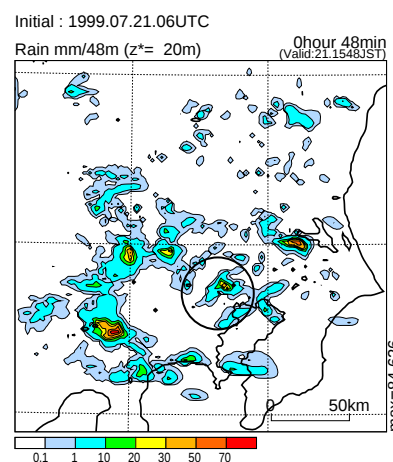


図 6 実験 D(qr)