

局地的豪雨等の予測精度向上に向けた取り組み

○瀬古 弘、斉藤和雄、川畑拓矢、大塚道子、折口征二、国井勝、横田祥（予報研究部）

1. はじめに

近年の降水量の統計研究から、夏季の都市域に発生する局地的豪雨を含む‘強い降水’の出現頻度が増加していることが報告されている（たとえば、Fujibe, 2013）。発生頻度が増えている局地的豪雨の災害を減すためには、より正確な予報が必要になるが、局地的豪雨では狭い範囲に短時間に強い降水が降るため、数値モデルを用いた予測は容易ではない。気象研究所では、局地的豪雨の予報精度を高めるため、数値モデルの初期値の改善に取り組んでいる。本報告では、主に予報研究部で開発してきた‘データ同化’や‘アンサンブル予報’と呼ばれる‘数値予報の初期値の改善法’、それらを局地的豪雨等に適用した結果について報告する。

2. 数値モデルの初期値作成と観測データ

数値モデルの初期値作成が、天気予報のどの過程で行われているかを、‘天気予報のできるまで’の模式図(図1)を用いてみよう。天気予報を作成する過程は、‘1. 観測’から‘5. 天気予報’までに大きく分けることができる。‘3. 数値モデル’では、積雲対流などの大気の多くの複雑なプロセスを表現した数値モデルを用い、初期値(格子点で表現した大気の現在の状態)から計算を行って、予報値を得る。その予報値は、‘2. 観測データの利用’で、実際に観測したデータにより現実に近い分布に修正され、次の予報の初期値として利用される。これらの過程は、局地的豪雨のような小さなスケールの予報でも同じで、観測データは初期値を作成するため利用される。

それでは、どのような観測データが局地的豪雨の予測精度を向上させるだろうか？ 積乱雲の一生(図2)を見ると、積乱雲は下層の湿った気塊が水平風の収束により持ち上げられ、その気塊が水蒸気の凝結によって周囲よりも高温になると閉積乱雲が発達している。つまり、局地的豪雨を解像する高分解能・高頻度な下層の水蒸気や水平風の情報が重要である。

‘局地的豪雨のための風データ’には、雨滴から反射して戻ってきたレーダの電波の周波数変化から推定した‘レーダから遠ざかる方向の風’（雨滴が水平風と同じ速度で移動するという仮定を用いる。動径風と呼ばれる）を用いることが多い。図3は、1999年に発生した練馬豪雨の大雨をもたらした積乱雲の発生直前のレーダのエコー分布である。練馬豪雨の発生した東京都東部には雨域はない(図3左)が、通常の降水表示に使われない弱い反射強度まで見ると、細かな多くの小さいエコー

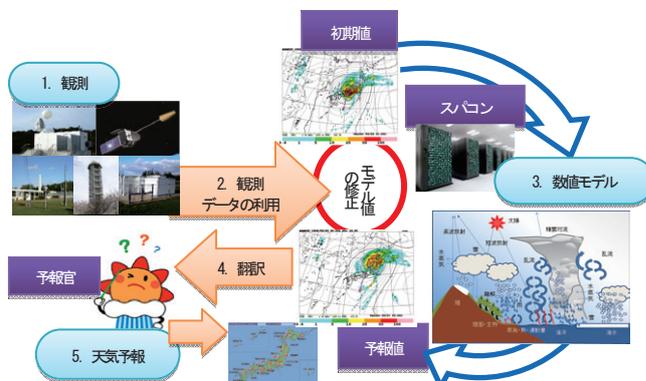


図1 天気予報ができるまでの模式図。

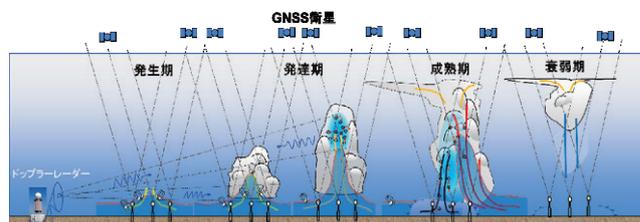


図2 積乱雲の一生の模式図。

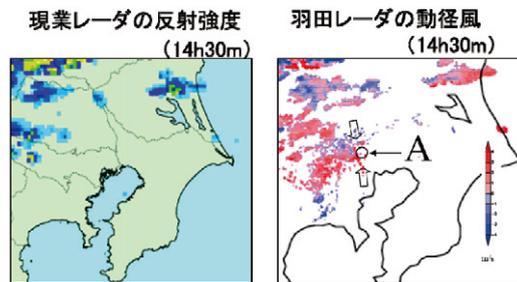


図3 1999年の練馬豪雨直前の(左)レーダーエコーと、(右)動径風分布(非降水エコー域も含む)。練馬豪雨の発生位置をAで示す。

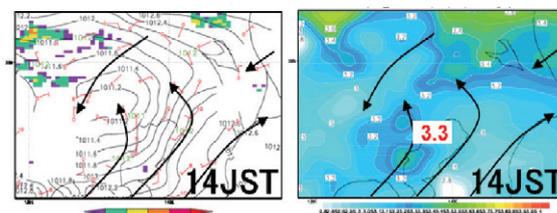


図4 練馬豪雨発生前の(左)地上気圧分布(hPa)と水平風、(右)可降水量/地上水蒸気量(km)。

域が見られる(図3右)。これらのエコーは、小型の昆虫など降水を伴わないエコー(非降水エコー)で、雨と同じように風で移動する(Kusunoki, 2002)。この非降水エコーを用いると、広い範囲の風の下層収束の情報を得ることができる。練馬豪雨の事例でも、積乱雲の発生する位置に収束が見えている。

水蒸気の情報については、GNSS(Global Navigation Satellite System)水蒸気量データを用いることが多い。GNSS水蒸気

量は、GNSS衛星から送信した電波が受信機に到達するまでに水蒸気によって遅れることを利用した経路上の水蒸気量の積算値である。図4(右)は、練馬豪雨の発生直前の‘可降水量(水蒸気量の鉛直積算値)を地上水蒸気量で割った指数’で、受信機の標高の影響を除き、湿った気塊がどの程度の高さまで分布しているかを示している。豪雨をもたらす降水域の発生30分前(14時)の練馬付近は、日射やその北側の降水のために、周囲よりも高温で気圧も低く、水平風がそこで収束していた(図4左)。そして、その収束域では、降水エコーの出現前にすでに‘指数’が周囲より大きくなっていった(図4右)。このことは、GNSS水蒸気量が、積乱雲発生時の下層の湿った気塊が持ち上げられている情報を持っていることを示している。

3. カルマンフィルタを用いた局地的豪雨の再現実験

弱い収束内で発生する局地的豪雨の場合、発生する場所や時間が、初期値の僅かな差で大きく変わる可能性がある。また、初期値にも誤差が含まれており、確率分布を考慮した予報が望ましい。そのため、初期値に含まれる誤差範囲内に入る複数の初期値を作成し、それらから予報を行った。

この手法を用いた実験の模式図を図5に示す。局地的豪雨の再現のためには、豪雨を発生させるような数100km程度の収束と、個々の積乱雲の位置・強さを同時に再現することが必要である。そのため、大きなスケールの収束を再現する格子間隔15kmのアンサンブルカルマンフィルタ(青い矢印)と、個々の積乱雲の位置・強さを再現する格子間隔約2kmのもの(赤い矢印)を組み合わせたシステムを開発した。

ここでは、紙面の制限ため、2008年9月5日に堺市に発生した局地的豪雨について説明する。気象庁の現業のデータを用いて初期値を作成すると、格子15kmでは、局地的豪雨は水平スケールが小さいため、弱い降水域として表現され(図6左)、格子間隔2kmでは、観測と似た降水分布がある程度再現された(図6中央)。しかし、肝心の堺市の降水はとて弱く、豪雨を再現できていない。そこで、より高分解能な観測データであるドップラーレーダの動径風(関西空港と大阪空港)と、国土地理院のGNSS水蒸気データを用いて、初期値を修正した。GNSS水蒸気データである可降水量を用いると、水蒸気量の改善により主に降水強度が強くなり、ドップラーレーダの動径風を用いると、強い降水域の位置が改善された。両方を用いると、強度と位置が同時に改善された(図7)。これらの結果は、2章で述べたように、下層の水蒸気の収束が、局地的豪雨の予報精度向上の重要な要因の一つであることを示している。

4. まとめ

局地的豪雨の予報精度向上のために、「現象の理解(発生

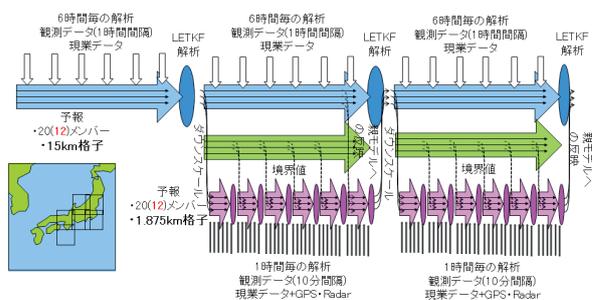


図5 アンサンブルカルマンフィルタを用いた実験の模式図。

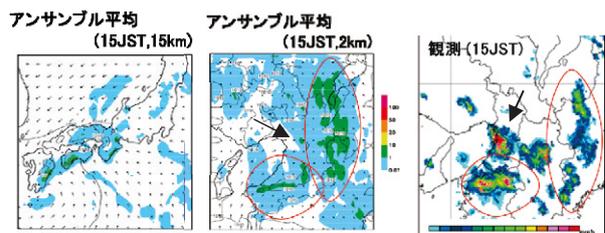


図6 現業データを用いた予報結果。堺市に局地的豪雨をもたらした積乱雲を矢印で示す。

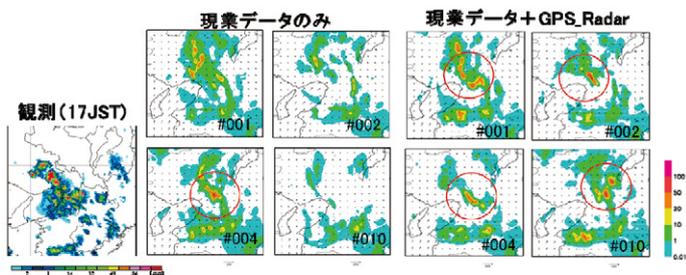


図7 動径風と可降水量のインパクト。観測と同じように北西に延びた降水域の再現数が増えている。

前)の下層収束やそれに伴う可降水量の増加)、「現象の再現に有効な観測データの特徴の把握(非降水エコーの有効性等)」を行い、「局地的豪雨の積乱雲やそれを発生させる大きいスケールの収束を同時に再現する‘同化システム’の開発」を行った。今後は、より詳細な水蒸気変動の情報を持つ新しい観測データの利用や、より高分解能な観測データを活かす同化法の開発を行う予定である。

参考文献

Fujibe, F., 2013: Clausius–Clapeyron-like relationship in multidecadal changes of extreme short-term precipitation and temperature in Japan. *Atmosph. Sci. Lett.*, **14**, 127–132.

Kusunoki, K., 2002: A preliminary survey of clear-air echo appearances over the Kanto plain in Japan from July to December 1997. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **19**, 1063–1072.

Seko, H., Tsuyuki, T., Saito, K., and Miyoshi, T., 2013: Development of a two-way nested LETKF system for cloud-resolving model. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, pp. 489–507.