

# 4次元NHM-LETKFによる局地的豪雨の予測精度と計算時間の比較

\*前島 康光<sup>1</sup>, 国井 勝<sup>2,1</sup>, 三好 建正<sup>1</sup>

(1. 理研・計算科学研究機構, 2. 気象研究所)

## 1. はじめに

理化学研究所と気象庁気象研究所では、局所アンサンブル変換カルマンフィルタLETKFを気象庁非静力学モデルNHMに導入したNHM-LETKFを共同で開発してきた。水平解像度1kmのNHM-LETKFを用いて、大阪大学に設置されているフェーズドアレィ気象レーダー(PAWR)と、理化学研究所と明星電気(株)が共同で展開している簡易型地上気象観測装置“POTEKA II”に相当する観測データを1分サイクルで同化する観測システムシミュレーション実験(OSSE)を行い、局地的豪雨における高頻度・高密度観測データ同化が良いインパクトを与えることを示してきた(Maejima et al. 2015)。

このような高解像度の数値モデルを用いて、高頻度・高密度な観測データを同化するためには、大規模な並列計算機が不可欠である。しかしながら、並列計算機はある確率で故障が発生することが考えられる。リアルタイムでの天気予報を想定した場合、もし1分毎のデータ同化サイクルの最中に計算機が故障したとすると、故障する前に遡って再度1分毎の計算をしていたのでは実時間に追いつくことが出来ず、リアルタイム予報システムとして機能しなくなってしまふ。そこで、計算が一時的に停止した際に、復旧後一気に実時間に追いつくようなフェールセーフワークフローを検討するために、複数時刻の観測を1回のLETKF計算で扱う4次元LETKFをNHM-LETKFに構築した。

一般にデータ同化の計算回数を減らせば、それだけ計算時間を短縮させることができるが、LETKFは原理的には線形モデルに基づくため、ウィンドウが長くなるほどモデルの非線形性の影響を受ける。本研究では、4次元NHM-LETKFを用いて様々な時間の同化ウィンドウを取った実験を行い、計算時間と降水量の予測精度の比較を行った。

なお、本予稿は、現在投稿準備中の論文(Maejima et al. 2015) の内容の一部である。本予稿の図は、投稿時に論文に掲載予定のものを引用しており、各図のcaptionにその旨明記している。

## 2. OSSE の設定概要

### (1) Nature run の設定と観測データの作成

Maejima et al. (2015)と同様に、2008年7月28日に神戸市周辺で発生した局地的豪雨事例を対象とする。

Seko et al. (2009) による5km解像度のアンサンブル予報の結果を初期値・境界値として4重にネストし、最終的に神戸市周辺を水平解像度100mにまでダウンスケールした予測計算を実行した(表1)。

水平解像度100mのシミュレーション結果から、PAWR、POTEKA IIに相当する1分毎の観測データを作成した。測器のスペックを考慮して、表2に示した標準偏差の正規乱数を観測誤差として与えた。

表1: Nature run の設定 (Maejima et al. 2015 より引用)

Horizontal resolution	5km	1km	300m	100m
Initial time	0000 UTC	0100 UTC	0130 UTC	0200 UTC
Integrate time	9hours	5hours	3hours	2hours
Grid points	201×201	301×301	641×641	1201×1201
Vertical levels	50			
Cumulus parameterization	Kam-Fritsch (Kam and Fritsch, 1990, 1993)		None	
Cloud micro physics	6-category single moment but double moments for only cloud ice (Ikawa and Saito (1991))			
Subgrid turbulence scheme	Improved Mellor-Yamada Level-3 (Nakanishi and Niino, 2006, 2009)		Deardorff (Deardorff 1973)	

表2: 同化する観測量と観測誤差標準偏差

観測要素	観測誤差
反射強度 (PAWR)	10% (最小2dBZ)
動径風 (PAWR)	3m/s
気温 (POTEKA II)	1K
水平風速 (POTEKA II)	50% (最小2m/s)
相対湿度 (POTEKA II)	10%
気圧 (POTEKA II)	1hPa

### (2) データ同化実験の設定

2008年7月28日0230UTCから1分サイクルで同化実験を行う。途中、0245UTCに計算機に異常が生じて停止し、0300UTCに復旧した場合を想定し、この15分間の観測データを取り込む方法を検討した。

図1に各実験設定をまとめた。(a)は、計算機が停止しなかった場合と同様に1分サイクルで計算を行う。(b)~(d)では、4次元LETKFを適用し、計算機が停止した15分間をそれぞれ、3分間、5分間、15

分間の同化ウィンドウをとって、(b)5回、(c)3回、(d)1回のデータ同化計算で扱う。(e)は、計算機が停止した15分間のデータを捨て、0300UTCの観測データのみを1回同化する。(f)では、計算機が停止して以降の観測データをすべて捨ててデータ同化せず、0245UTCを初期時刻とした45分の予報を行う。

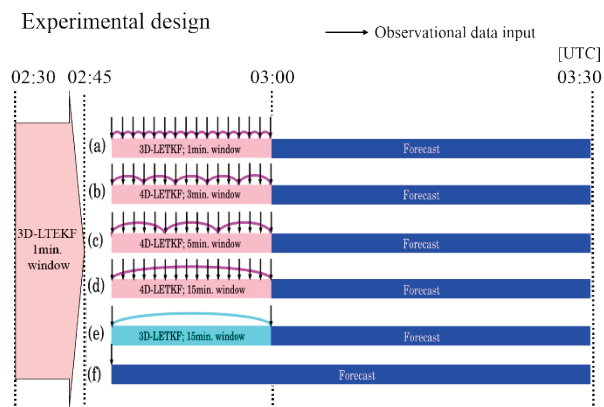


図1: NHM-LETKFの実験設定。矢印は観測データの入力タイミング、桃色・水色の円弧はデータ同化ウィンドウをそれぞれ表す。(Maejima et al.2015 より引用)

LETKFの計算には東京大学FX10を160ノード、20個のアンサンブル予報の計算には480ノードをそれぞれ使用した。NHM-LETKFの水平解像度は1km、鉛直層数は50、アンサンブルメンバー数は20とした。

### 3. 結果

0245~0300UTCの各計算に要した時間を図2に示す。同化に使った観測データ量は同じ大きさであるにも関わらず、(a)から(d)で約3.46倍の違いが出ている。特に(a)と(b)の間に約1.94倍の差があり、4次元LETKFの適用によって計算時間を大きく短縮することが可能であり、計算機トラブル時における予報時間の回復に有効であることがわかる。

続いて、0300~0330UTCまでの地上積算降水量を図3に示す。データ同化なしの場合(f)は、1mm程度の弱い地上降水しか表現できなかったが、1分毎に同化した場合(a)では、降水分布こそ違う点が見られるものの、Nature runにあるように25mm以上の強い降水が表現された。(b)~(e)に示したように同化サイクルを長くしていくと、しだいに降水量が減少して同化なしの場合(f)に近づいているが、特に(b)と(c)の間に大きな降水量の違いが見られる。この結果から、同化ウィンドウが3分と5分の間に線形性の壁が存在している可能性が示唆される。

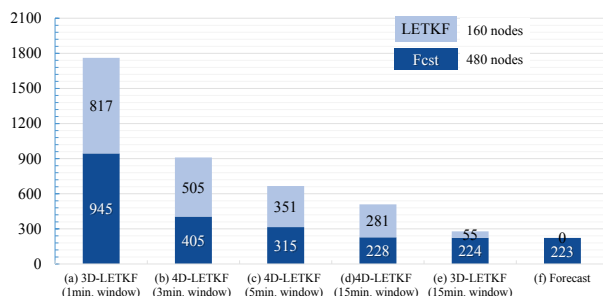


図2: 0245~0300UTCの計算時間。赤い棒はLETKF、青い棒はアンサンブル予報に要した時間[秒]をそれぞれ示す。(Maejima et al.2015 より引用)

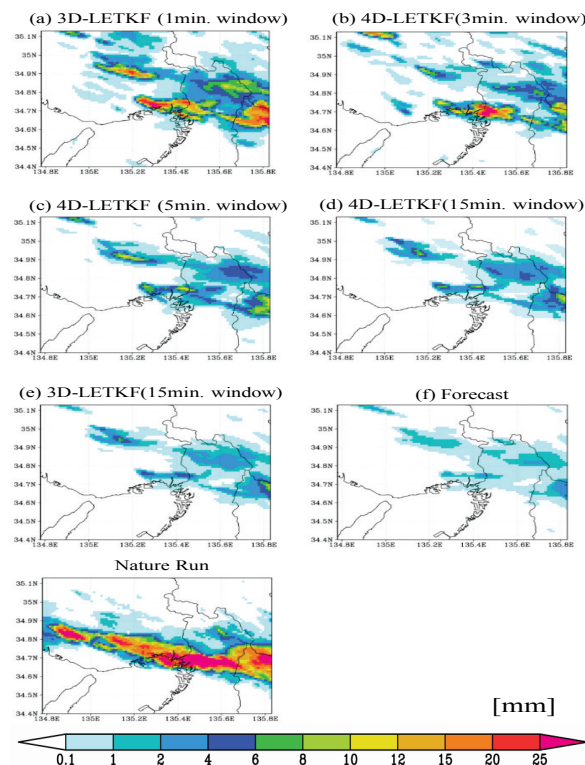


図3: 0300~0330UTCの地上積算降水量[mm]。(Maejima et al.2015 より引用)

### 4. まとめ

4次元NHM-LETKFを用いて同化ウィンドウを長く取ると、計算時間が短縮される一方、降水量は弱く表現された。そのなかでも、(a)と(b)では計算時間を半分にしつつ、神戸市周辺の強い降水を比較的良く表現しており、フェールセーフのワークフローとして検討の余地があると言える。

### 謝辞

本研究は、「ゲリラ豪雨予測を可能にする次世代ビッグデータ同化アプリケーションのEBDコデザイン」(研究代表者:松岡聡)の一環として行われた。