

2020年夏のリアルタイム実証実験における埼玉 MP-PAWR 30秒同化システム開発  
 \*雨宮 新, 本田 匠, 三好建正(理研計算科学)

1. はじめに

高解像度数値天気予報モデルを用いた降水予報は、補外予測等の簡易的な方法と並んで有力な手法として研究されている。その試みの一つとして、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を用いてフェーズドアレイ気象レーダ(PAWR)の観測を30秒毎に領域気象予報モデル SCALE-RM に同化し30分後までの延長予報を行うシステム SCALE-LETKF を開発し、2020年夏には埼玉マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR)を用いて都心部を含む関東地方を対象にリアルタイム予報の実証実験を行った。実験期間とその準備期間において、水平解像度 500m・50メンバーでの大規模な計算を最大2週間にわたる複数の期間で継続的に行う機会を得た。30秒毎の気象レーダのデータ同化をリアルタイムで継続的に運用することは前例がなく、開発にあたり様々な試行錯誤を重ねてきたが、今回様々な気象条件における挙動を確認したことで、多くの改善点を見出すことができた。ここでは、今夏の実証実験を通して行った MP-PAWR データ同化におけるいくつかの開発内容について報告する。

2. 実験設定

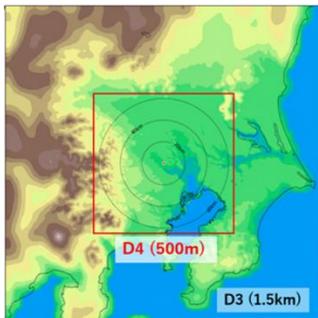


図1. 埼玉 MP-PAWR の同化を行う領域 (赤枠)

LETKF のデータ同化に関する設定のうち重要なものを表1に示す。30秒毎のデータ同化と延長予報を行う領域を図1に赤枠で示す。埼玉 MP-PAWR は領域中心に位置する。境界値は図全体の領域において水平解像度 1.5km にて計算した各メンバーの予報値を用いる。モデルの積分の時間間隔は5秒、鉛直層は地表から約29kmの上端まで60層である。雲微物理スキームは氷を含む1モーメントバルク法(Tomita,2008)を用いる。延

長予報はアンサンブル平均解析値を初期値とした30分後までの決定論的予報である。以下では、特に実証実験の準備のため新たに検討を行った、表中に太字で示した3個の項目について詳しく述べる。

メンバー数	50
局所化半径	水平 2km、鉛直 2km
Super observation	水平・鉛直 500m の 直交座標系に変換
同化範囲	高度 0.5km~11km
観測誤差標準偏差	<b>Ze: 5 dBZ</b> <b>Vr: 3m/s</b>
解析格子点毎の観測数上限	100
観測格子点の間引き間隔	<b>4</b>
同化のためのメンバー数下限	降水あり : 5 降水なし : <b>1</b>
グロスエラーチェックの閾値	<b>Ze: 10 dBZ</b> <b>Vr: 15 m/s</b>

表1. LETKF によるデータ同化に関する設定

3. 観測データの間引き

まず、観測データの選択の手法に工夫を加えた。現在のシステムでは、ある格子点における解析に用いる観測は、まず局所化半径 (Radius of influence: ROI) の内側にあるものだけが選択される。さらに、Hamrud et al. (2015) で提案された観測数上限を適用しているため、図2左のように、密な観測の場合は実質的な局所化半径が元の値より小さくなる (Effective ROI)。

観測点の間引き (thinning) を行うことで、図2右のように観測の数を抑えつつ当初設定した局所化半径に応じた観測を用いることができる。

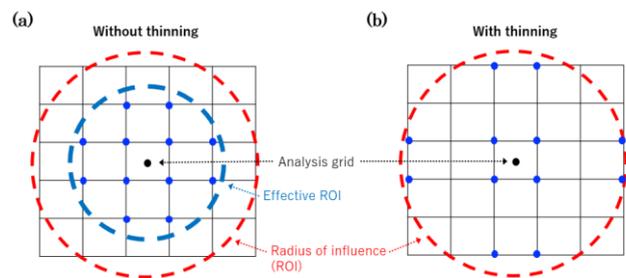


図2. 観測の間引きの効果の概念図

図3は、2019年8月24日15:00-16:00 UTCの期間における120個の異なる初期値からの30分予報における平均のスレットスコア(左:高度3km, 閾値15dBZにて観測値を基準に計算)および、力学的バランスのずれを示す地表気圧の二階微分の絶対値の領域平均(右)を示している。観測の間引きにより、予報開始後3分以降からのスコアが改善し、解析値の平均的な力学バランスも改善した。実証実験期間には、表1に示したとおり水平方向に格子点4個分の間引きを行った。

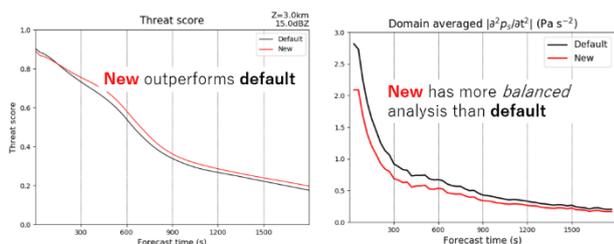


図3 予報120個の平均としての(左)スレットスコアおよび(右)気圧の二階微分

#### 4. 「降水なし」の同化

反射強度の同化は、Lien et al. (2013)で降水量の同化において提案された手法に基づき、「降水あり」(10dBZ以上)、「降水なし」(10dBZ未満)の両方を同化する。いずれの場合も、予報値にて10dBZ以上の降水を示すメンバー数がある閾値以上であるときのみ同化を行うという条件を設けている。

当初はいずれの場合も下限を5としていたが、アンサンブル平均解析値において降水のない領域に現実にはない弱い雨がまばらに現れる問題(図4左)がわかった。特に、晴天時にもそのような偽の雨が一定量現れてしまうことが大きな問題であった。50メンバーのうちただ1メンバーのみがその位置の降水を示している場合でも、アンサンブル平均した雨や雪の混合比を反射強度に変換すると10dBZを超えて表れることがある。そこで、降水を示すメンバーの数がより少なくても「降水なし」の同化を行うように、下限を1に変更することで、現実にはない弱い雨の発生を抑制した(図4中)。

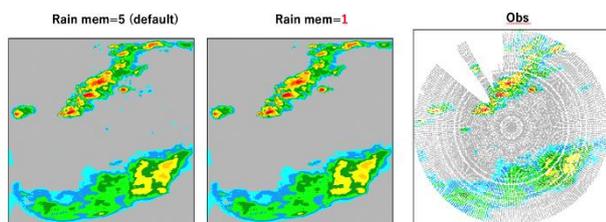


図4. 2019年8月25日15:30 UTCにおける3km反射強度:(左)下限5の場合の解析値(中)下限1の場合(右)観測

#### 5. ドップラー速度の同化

ドップラー速度の同化に関しては特に上部対流圏の扱いについて課題がある。図5は埼玉県西部に生じた背の高い対流による降水の事例における高度1127mの反射強度(上)と、ドップラー速度の同化の有無それぞれの場合における高度約11000mの東西風の解析インクリメントと鉛直風(中、右)を示している。観測された降水の周辺に大きな解析インクリメントが局所的に生じた結果、風下と風上の収束と発散を通して解析値に強い鉛直流が生じている。こうした特徴は現実の風の場合とは対応しない人為的な望ましくないもので、数値不安定の原因にもなり得る。これはジェット気流を含む上部対流圏での水平風の空間スケールより顕著に小さい局所化長を用いているために生じると考えられる。

実証実験期間においてはドップラー速度のグロスエラーチェックの閾値を15m/sと設定し、数値発散が生じるような大きなインクリメントの発生を抑えた。問題を根本的に解決するために、ドップラー速度に適した局所化の手法を今後検討していきたい。また、この状況は境界値の力学場が顕著に現実と異なることも示唆しており、外側領域の予報値の精度向上も課題である。

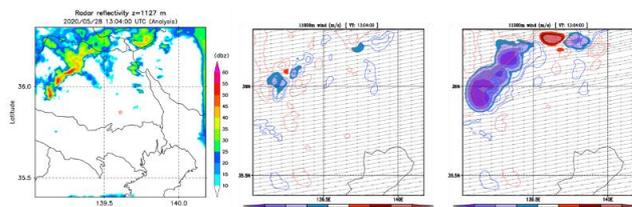


図5.(左)2020年5月28日13:04 UTCにおける1127mの反射強度の解析値.(中,右)同時刻の11000m付近の東西風の解析インクリメント(色[ms<sup>-1</sup>])と鉛直風(1ms<sup>-1</sup>毎、赤線が正、青線が負). 中: ドップラー速度の同化なし、右: 同化あり

#### 6. 今後の展望

以上に挙げた内容に加え、総観・メソスケールの場の精度やアンサンブル摂動の構成、観測データの利用の高度化など様々な課題がある。今後、今回得られた多くの降水事例のデータを用いて取り組んでいきたい。

#### 謝辞

本研究は主にAIP加速課題「ビッグデータ同化とAIによるリアルタイム気象予測の新展開」の支援のもと実施した。埼玉MP-PAWRは内閣府のSIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の基で情報通信研究機構(NICT)により開発された。数値計算には、学際大規模共同利用(JHPCN)課題jh200062およびHPCI一般課題hp200026として、最先端共同HPC基盤施設(JCAHPC)のスーパーコンピュータOakforest-PACSを利用した。