

2008年7月28日に神戸市付近で発生した 局地的大雨の観測システムシミュレーション実験

*前島康光(理研・計算科学研究機構 / JST・CREST)
国井勝(気象研究所 / 理研・計算科学研究機構)
瀬古弘(気象研究所)
前田亮太(明星電気株式会社)
佐藤香枝(明星電気株式会社)
三好建正(理研・計算科学研究機構 / JST・CREST)

1. はじめに

2008年7月28日、神戸市付近で発生した局地的な豪雨によって、神戸市灘区の都賀川の水位が約10分間のうちに1m30cm以上も上昇し、5名の尊い命が奪われる水難事故があった。突発的に発生する局地的豪雨は、その強い非線形性により一般的に予測が困難とされている。そのため、時間・空間的に高密度な観測データを活用した新しい予測システムが求められる。本研究では、この都賀川周辺の豪雨事例を対象とし、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を用いた高解像度予測実験、及び理化学研究所と気象研究所が共同で開発を進めている局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(NHM-LETKF)を用いた観測システムシミュレーション実験(OSSE)を行う。OSSEで用いる観測データとして、大阪大学吹田キャンパスに設置されている30秒毎に100m解像度で観測が可能なフェーズドアレイ気象レーダー(PAWR)を想定した。

現在、理化学研究所は明星電気(株)と共同で、神戸市内の小学校7校と理化学研究所計算科学研究機構の合計8か所に、簡易型地上気象観測装置“POTEKA II”を独自に展開し、30秒毎に観測データを取得している。本研究ではPAWRによる観測に加え、神戸市内の小学校全てにPOTEKA IIを展開した場合を想定したOSSEも行い、高密度な地上観測網

が局地的豪雨の予測に与えるインパクトについても調べた。

本要旨は現在執筆中の論文(Maejima et al.,2015)の内容を日本語化したものである。

2. 高解像度予測実験

2.1. 予測実験の主な設定内容

Seko et al.(2009)が行った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、最終的に都賀川とその周辺について水平解像度100mにまでダウンスケーリングした予測計算を実行した(図1,表1)。雲物理過程は氷晶3カテゴリーのシングルモーメント(雲氷のみダブルモーメント)とし、5km解像度のみKain-Fritschスキームを併用した。乱流混合過程は5km,1kmはMeller and Yamada Level 3, 他はDeardorffスキームを用いた。鉛直層数は100mのみ60層,他は50層とした。100m解像度の予測実験結果を、のちに行うOSSEのNature runとした。

表 1: JMA-NHM の設定概要

水平解像度	初期時刻	積分時間	格子点数
5km	00:00Z	6時間	201×201
1km	01:00Z	5時間	301×301
300m	01:30Z	3時間	641×641

100m	02:00Z	2 時間	1201×1201
------	--------	------	-----------

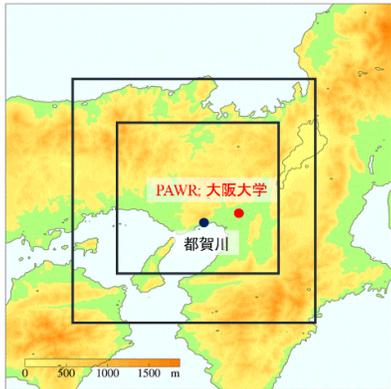


図 1: 予測実験のモデル領域,および PAWR,都賀川の位置.図全体が水平解像度 1km,の領域,中側が 300m, 内側が 100m の領域をそれぞれ示す.

2.2. 予測実験の結果

水平解像度 100m での予測実験で再現した 7 月 28 日 03UTC における地上降水強度,高度補正した気温と地上風速を図 2 に示す.

実際と同様に,降水帯が東西にのび,最大で 100mm/h 以上の降水強度を持つ降水セルの様子がみられる.また,六甲山の北側から北西方向に冷氣塊と発散場が存在しており,瀬戸内海から吹き込む湿った南西風と収束帯を形成していた.強い降水帯はこの降水帯に沿って維持されており,時間とともに降水帯が南東方向に移動していた.これらは草開ほか(2011)が指摘した特徴と整合的であり,その様子が本予測実験においても明瞭に再現された.

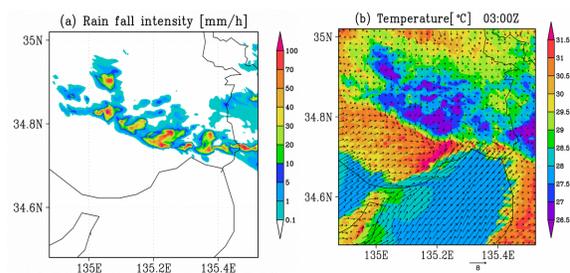


図 2: 2008 年 7 月 28 日 03:00Z における予測実験の結果.(a)地上降水強度[mm/h], (b)シェードは高度補正した気温[°C],ベクトルは地上風速[m/s]

を示す.(Maejima et al.,2015 より引用)

3. PAWR データを同化した OSSE

3.1. OSSE の概要

NHM-LETKF を用いて,大阪大学に設置されている PAWR による観測を想定した OSSE を行った.

100m 解像度の Nature run の結果より,PAWR の反射強度と動径風に相当する量を作成し,水平解像度を 1km に間引いて,これを観測データとした.反射強度は±10%(ただし 20dBZ 未満では一律 2dBZ),動径風では±3m/s の観測誤差をそれぞれ持つものとした.ローカリゼーションスケールは水平 2km,鉛直 1km,アンサンブルメンバー数は 20 とした.

数値モデル(NHM)の水平解像度は 1km とし,モデルの設定は 1km 解像度の Nature run に準じた.初期時刻を 2008 年 7 月 28 日 00:00Z として 2 時間 30 分間積分し,02:30Z から 1 時間 30 分間,1 分毎に PAWR データを同化する実験を行った.

3.2. PAWR データ同化のインパクト

第 1 同化サイクル後における $z^*=2\text{km}$ の水蒸気混合比を図 3 に示す.PAWR データを同化することによって,大阪府北部から六甲山の北側にかけての水蒸気混合比が改善されている様子がうかがえる.

図 4 は $z^*=2\text{km}$ における水蒸気混合比の 2 乗平均平方根誤差(RMSE)とアンサンブルスプレッドである .1 分毎の同化によって,RMSE の値は順調に低下し,30 回同化サイクルを繰り返すことによって,RMSE はほぼ一定の値を示すようになった.これらの結果により,PAWR データによる NHM-LETKF が正しく動作しているとともに,PAWR データの同化によって,予測精度が確実に改善され

ていることが確認された。

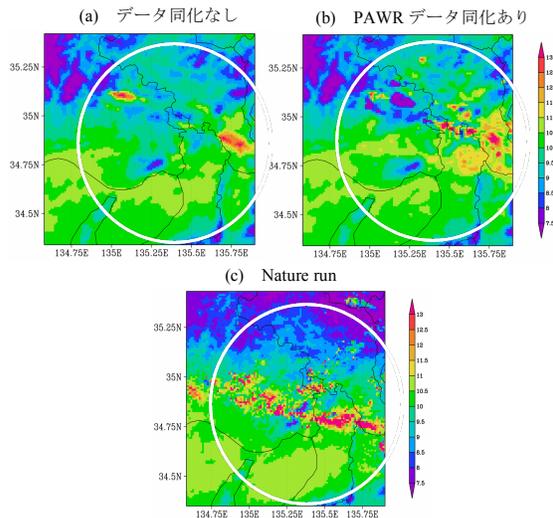


図3: 第1データ同化サイクル後における水蒸気混合比[g/kg]の比較.高度は $z^*=2\text{km}$ のモデル面.(a)データ同化なし,(b)PAWRデータを同化あり,(c)Nature runの結果をそれぞれ示している.図中の白い円はPAWRの射程範囲を示す.(Maejima et al.,2015 より引用)

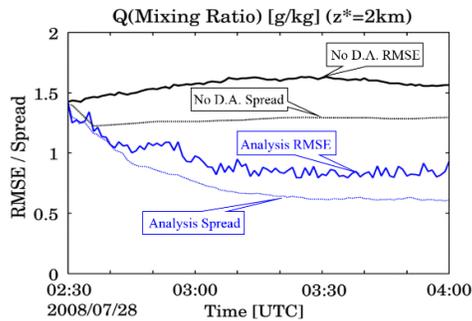


図4: $z^*=2\text{km}$ における水蒸気混合比のRMSEおよびアンサンブルスプレッドの時系列.(Maejima et al.,2015 より引用)

続いて,60同化サイクル後における1時間降水量を図5に示す.同化を行わない場合では,降水域,量ともに大きく Nature run から外れる結果であったが,PAWRを同化することによって,降水域は大幅に改善し,ほぼ Nature run と同じ結果が得られた.降水量も明らかな改善が見られるが,量的に比較すると,もっとも降水が強い場所における1時間降水量が約1/3程度にとどまった.解析値と Nature

runを比較すると, $z^*<1000\text{m}$ の大気下層,特に地表面付近での水蒸気混合比が過小評価されていることがわかっており,降水量が少なく予測された原因の一つとして考えられる.地上観測データを同化すると,この点が改善され,降水強度に良い影響を与えることが期待される.

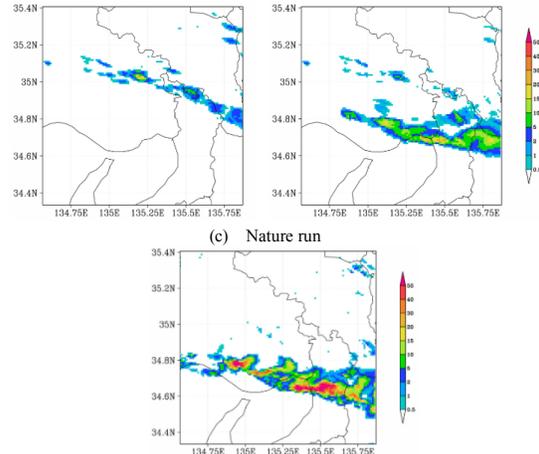
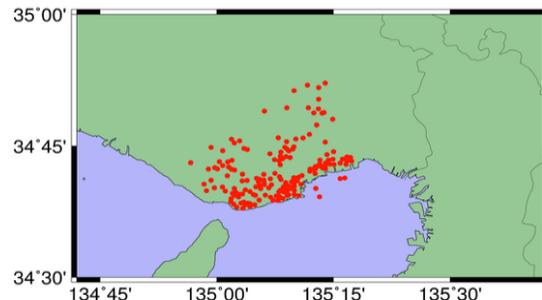


図5: 7月28日03:30Zにおける前1時間降水量[mm/h].(a)データ同化なし,(b)PAWRデータを同化あり,(c)Nature runの結果をそれぞれ示している.(Maejima et al.,2015 より引用)

4. 地上観測データ同化が局地的豪雨の予測に与えるインパクト

簡易型地上観測測器“POTEKA II”を神戸市内の全小学校および理研・計算科学研究機構に展開したときを想定した OSSE を行い,地上観測データが局地的豪雨の予測にどのような影響を与えるか調べた.同化した観測データは水平風,気温,気圧,相対湿度である.観測誤差は POTEKA II のスペックを考慮し,それぞれ50%(最小2m/s),1K,1hPa,10%を与



20 同化サイクル後の $z^*=20\text{m}$ (モデル最下層)における水蒸気混合比を図 7 に示す。地上観測データの同化することによって、特に観測点が密に存在している神戸市の海岸沿いから六甲山付近にかけて(図 7 の円内)、予測背戸が明瞭に改善した。地上降水強度への影響として、03:20Z における $z^*=20\text{m}$ の雨水混合比[g/kg]を調べた(図 8)。この時刻では都賀川周辺(図 8 の楕円内)で非常に強い降水があった時間帯に相当する。PAWR のみの同化では、上記場所において周囲よりやや強い降水は起きているものの、Nature run と比較すると 30%以下の量にとどまっていた。しかし、地上観測データを同化することで量的に大幅な改善がみられ、神戸市中心部付近では Nature run に近い値となった。以上の結果から、地上観測データの同化によって、局地的な大雨をもたらす対流現象、そして地上降水強度の予測精度を改善がもたらされる可能性があることが本実験から明らかになった。

5. まとめ

本研究によって PAWR の高頻度・高解像度データの同化が局地的豪雨の予測改善に寄与し、地上観測データを同化することによって、水蒸気量や地上降水強度のさらなる改善が見られることが明らかになった。簡易的な地上観測網であっても高頻度・高密度な観測データを取得し、同化ことによって局地的豪雨の予測が改善し得ることが示された。

謝辞

本研究は JST-CREST 「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 コアデザイン」および「ビッグデータ同化によるゲリラ豪雨予測の実

証的研究」の補助を受けて行われた。

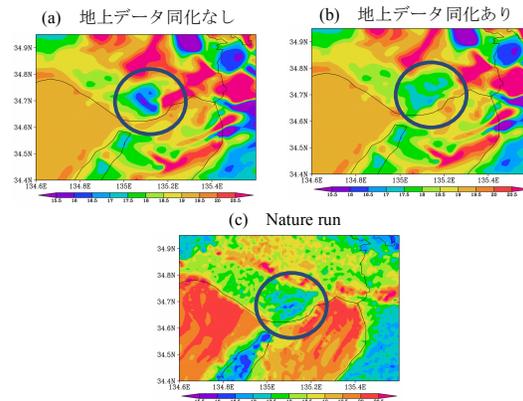


図 7: 20 データ同化サイクル後における水蒸気混合比[g/kg]の比較。高度は $z^*=20\text{m}$ (モデル最下層)。(Maejima et al.,2015 より引用)

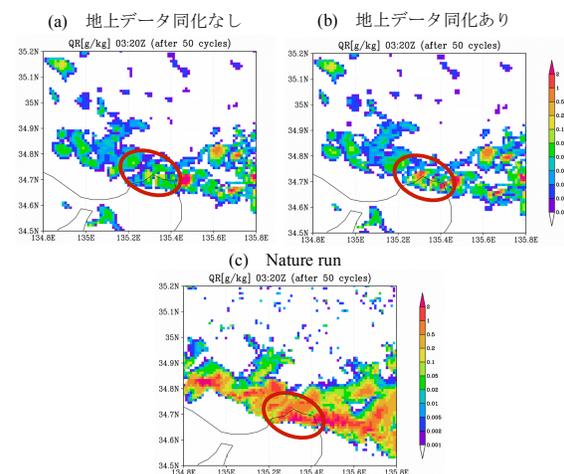


図 8: 03:20Z における雨水混合比[g/kg]の比較。高度は $z^*=20\text{m}$ (モデル最下層)。(Maejima et al.,2015 より引用)

参考文献

- [1] 草開浩, 小山芳太, 金森恒雄, 瀬古弘, 2011 : 2008 年 7 月 28 日近畿地方を南西進した線状降水帯と都賀川での大雨について. 天気, **58**, pp395-412.
- [2] Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii and Y. Aoyama, 2009: Impact of the CHAMP occultation data on the rainfall forecast, Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications, Eds. S.K. Park

and L. Xu, Springer- Verlag Berlin Heidelberg,
pp197-218.