

ゲリラ豪雨予報のリアルタイム実証実験

三好建正

理化学研究所

1. 「ゲリラ豪雨予測手法」の開発

8月25日から9月5日にかけて、ゲリラ豪雨予報のリアルタイム実証実験を行っている。このためにOakforest-PACSの1200ノードを占有利用させていただき、ユーザーの皆様のご理解に心より感謝している。天気予報はスーパーコンピュータによる社会貢献の一つだが、先端研究では、計算機性能の向上によってどのような天気予報が可能となり、新たな価値を生むことができるかを切り拓く。今回のゲリラ豪雨予報実験は、未来の天気予報を切り拓く取り組みである。

今回の実験システムは、2013年10月から開始したCRESTビッグデータ応用領域（領域総括：田中譲・北海道大学）の研究課題「ビッグデータ同化」の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予報の実証（研究代表者：三好建正）にて着想し、開発に着手したものである。当時、2012年夏に新たに開発された最新鋭のフェーズドアレイ気象レーダ（PAWR）¹と2012年9月から共用を開始したスーパーコンピュータ「京」、さらに2014年に打ち上げが予定されていた新しい気象衛星ひまわり8号という複数の先端技術が幸運にも揃い、これらを組み合わせて天気予報に革新をもたらす「ビッグデータ同化」の技術革新を着想した。「ビッグデータ」が急速に興隆し席卷しているところでもあった。

「データ同化」とは、シミュレーション計算に実測データを取り込み同化させ、シミュレーションを現実世界と同期させる方法で、シミュレーションによる天気予報の根幹を成す。「ビッグデータ同化」システムは、30秒ごとに雨雲を隈なくスキャンするPAWRのビッグデータを余すことなく活用するため、100m四方のメッシュの高精細気象シミュレーションを行う。気象庁が運用する最も高解像度な局地モデル（LSM）は2km四方のメッシュのシミュレーションに1時間ごとに集められる観測データを同化する。これは世界の現業数値天気予報システムとして決して引けを取らないトップクラスのシステムである。また世界の先端研究で用いられるシステムでは、大まかに言って、1km四方のメッシュのシミュレーションに最高で15分程度の頻度でレーダのデータを同化する。これらと比べ、構想した「ビッグデータ同化」システムは、100m四方のメッシュで30秒ごとのデータ同化という、桁違いなものである。

この桁違いの30秒ごとの超高頻度データ同化は、これまでの経験が効かない新たなチャレンジで、様々な困難に直面した。実験をしてみると、通常雨雲が発達することのない成層圏に雨雲を作るなど、非現実的なシミュレーション結果に悩まされた。調べると、30秒ごとに雨雲のデータが入ってくることで、シミュレーションの気象学的な状態を不安定化していた。データ同化における局所化手法の改善など、様々な工夫を重ね、開発を始めてから約3年後の2016年8月に「ゲリラ豪雨予測手法」²の開発を完了した（Miyoshi et al. 2016a; 2016b）。計算時間も「京」

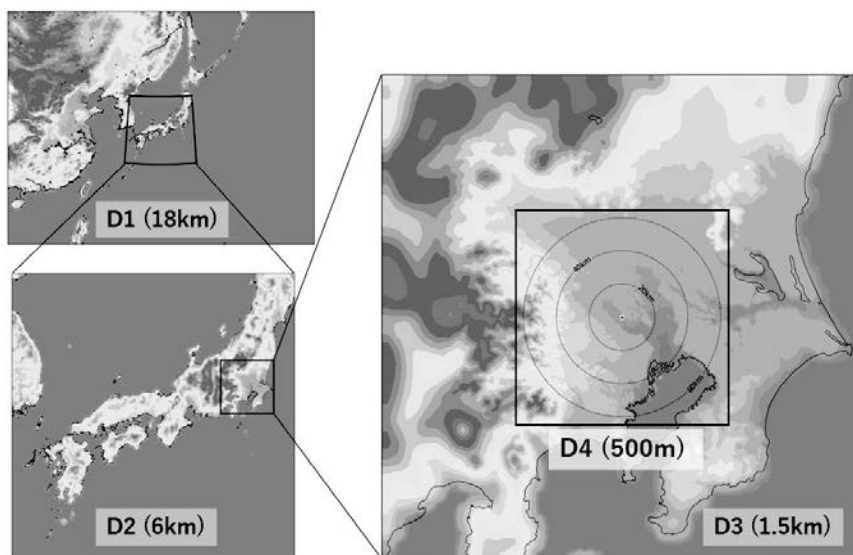
¹ 2012年8月31日情報通信研究機構プレスリリース
(<https://www.nict.go.jp/press/2012/08/31-1.html>)

² 2016年8月9日理化学研究所プレスリリース
(https://www.riken.jp/press/2016/20160809_1/)

コンピュータを使って当初1時間以上かかっていたところから、10分までに短縮した。しかし、30秒ごとのデータ同化を行うには、この計算時間を30秒以内に縮める必要があった。

2. 今回のリアルタイム実証実験

前節で述べたCREST研究課題は2019年3月に終了し、その後継課題「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」(研究代表者:三好建正)がAIP加速課題として採択された。2019年3月までに、10分かかっていた計算を30秒以内に縮めることに成功していたが、すべてのインプットデータが事前に用意されている条件下であった。真にリアルタイムの予報を行うには、観測データや、側面境界として与える気象状態(側面境界値)といったインプットデータをリアルタイムに作成する必要がある。2019年4月以降これらの課題に取り組み、埼玉大学に設置されている新型のマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR)³のデータをリアルタイムにOakforest-PACSへ転送するネットワーク及び転送ソフトウェアJIT-DTを開発した。また、4重に入れ子にした領域(第1図)を設定して、米国環境予測センターから入手する全球予報データを最も外側の側面境界値として与え、最も内側の500m四方のメッシュで計算するゲリラ豪雨予報の領域へとリアルタイムに実行するシステムを構築した。500mとしたのは、占有利用するノード数を抑えることを意識しつつ、今の気象モデル技術、特に降水プロセ



第1図: 4重の入れ子に設定したシミュレーション計算領域。

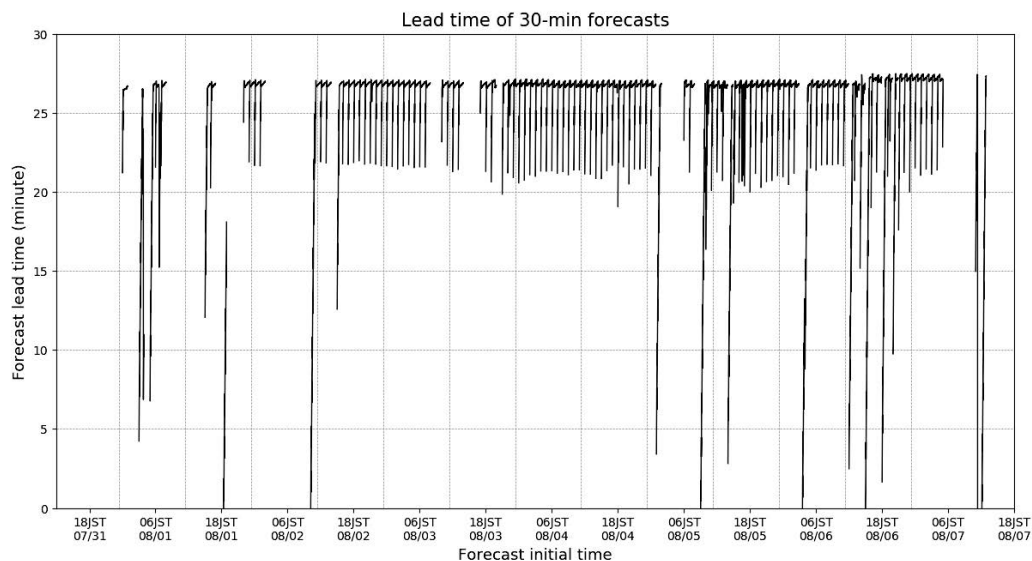
左上図の領域D1(解像度18km)の内側に左下図の領域D2(解像度6km)、その内側に右図の領域D3(解像度1.5km)、さらにその内側に右図内枠の領域D4(解像度500m)を入れ子に設定し、最も内側の領域D4で30秒ごとに更新する予報を行う。マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR)の設置場所(黒点、円の中心)と探知範囲60kmの円、またその内側に40km、20kmの円を示している。2020年8月21日理化学研究所お知らせ⁴の図1より転載。

³ 2017年11月29日情報通信研究機構プレスリリース
(<https://www.nict.go.jp/press/2017/11/29-1.html>)

⁴ https://www.riken.jp/pr/news/2020/20200821_1/index.html

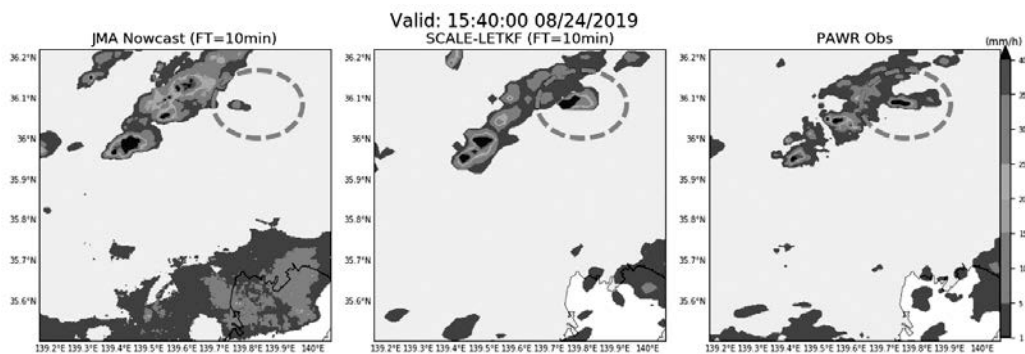
スに関わるモデリングの限界により、メッシュを細かくすることによる予報精度向上が計算コストに見合わないことを考慮した。このデータ同化にかかる計算は、Oakforest-PACS の 992 ノードを用いて 20 秒程度となった。同じ Oakforest-PACS の 992 ノードの中で、30 分後までの予報計算を行っている。今回の実証実験に先立って 7 月 31 日から 8 月 7 日にかけて実施したリアルタイムの準備実験で計ったところ、30 分後の予報結果の計算終了に約 3 分程度を要する（第 2 図）。つまり、30 分後の予報を計算するのに、約 3 分の処理時間を要し、実時間で約 27 分のリードタイムが取れる。

今回のシステムは、5 分、10 分といった短時間で急激に発達するゲリラ豪雨が予測できる。従



第 2 図： 7 月 31 日から 8 月 7 日の各予報初期時刻における予報リードタイムの時系列。

7 月 31 日 11:20 から 8 月 7 日 14:00（日本時間）の間の 13426 回の予報（4 日 15 時間 53 分稼働）のうち、ほとんどの場合で観測終了後約 3 分で 30 分予報の計算が終了している。



第 3 図： 2019 年 8 月 24 日 15:40 UTC（日本時間 25 日午前 0 時 40 分）における降水強度分布（左）気象庁高解像度降水ナウキャストの 10 分後予測。（中）本研究の予報システムの 10 分後予測。（右）さいたま市での MP-PAWR 観測。2020 年 8 月 21 日理化学研究所お知らせの図 2 より転載。

来の予測手法では、これが予測できず、ゲリラ豪雨と呼ばれてきた。事前に行った過去事例（2019年8月25日未明）の実験では、第3図点線内にある10分以内に急激に発達した雨雲を、今回のシステムは良く予測した。第3図点線領域の左側にある雨雲は急速に弱まっているが、このような雨雲の弱まりもよく予測する。第3図には比較のため気象庁高解像度降水ナウキャストの予測も示しているが、ナウキャスト手法は基本的に雨雲の移動をトラッキングする手法であり、その性質上、雨雲の発生、発達、衰弱、消滅は予測しない。気象シミュレーションは、気象学的なメカニズムを考慮するため、移動だけではない変化を予測する。

3. まとめと展望

今回、30秒ごとに更新する30分後までの数値天気予報という、世界でも例がない唯一のリアルタイム天気予報を実施している。ここに至るには、2013年10月から継続してきた数値天気予報システム開発のほか、Oakforest-PACSの占有利用や、内閣府のSIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の施策として情報通信研究機構をはじめとする研究グループが世界で初めて開発したMP-PAWRの利用など、多方面にわたるご協力が必要であった。心より感謝申し上げたい。

今回の実証実験は、0を1にするという意味で、一つのマイルストーンを築いた。しかし、予測精度や安定的な実行などの面で課題がある。本実験終了後、まずは実験結果を十分に検証し、実用化に向けた課題を洗い出すことが重要である。これにより、1を100にしていく改善、高度化へと進んでいく。また経費をどう賄うのか、ビジネスモデルも開拓の必要がある。経費削減の観点では、近年急速に発達する機械学習の技術を応用することで、スーパーコンピュータの高解像度気象シミュレーションが生み出すビッグデータを教師データとするなど、HPCとビッグデータ、AI技術の連携を深め、気象シミュレーションやデータ同化にかかる計算を削減することが考えられる。本研究を進めるAIP加速課題では、このような観点も含め、AIとビッグデータ同化の協奏を探っていく。

参 考 文 献

- Miyoshi, T., M. Kunii, J. Ruiz, G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Seko, H. Tomita and Y. Ishikawa, 2016: "Big Data Assimilation" Revolutionizing Severe Weather Prediction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 97, 1347-1354. doi:10.1175/BAMS-D-15-00144.1
- Miyoshi, T., G.-Y. Lien, S. Satoh, T. Ushio, K. Bessho, H. Tomita, S. Nishizawa, R. Yoshida, S. A. Adachi, J. Liao, B. Gerofi, Y. Ishikawa, M. Kunii, J. Ruiz, Y. Maejima, S. Otsuka, M. Otsuka, K. Okamoto and H. Seko, 2016: "Big Data Assimilation" toward Post-peta-scale Severe Weather Prediction: An Overview and Progress. Proc. of the IEEE, 104, 2155-2179. doi:10.1109/JPROC.2016.2602560