

1052 : 407 (豪雨 ; 気象災害)

3. 「富岳」を使ったシミュレーション予測実験

三 好 建 正*

本節では、スーパーコンピュータ「富岳」を使った筆者らのグループによる極端気象予測研究を紹介し、線状降水帯の予測向上に向けた今後の研究の展望を議論する。

1. 「富岳」を使った研究紹介

1.1 ゲリラ豪雨のリアルタイム予報実験

「富岳」は2021年3月より供用を開始した。2021年夏季の東京オリンピック・パラリンピック期間に合わせ、筆者らのグループが2013年より開発してきた「ビッグデータ同化」によるゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験を「富岳」を使って行った^[注1]。1基のフェーズドアレイ気象レーダを使って積乱雲のひとつひとつを詳細に予測するものである。

フェーズドアレイ気象レーダは、通常のパラボラア

ンテナのレーダが1本の線上の雨雲を観測する間に、100本の線上の雨雲を同時に観測するため、100倍のデータを生む。30秒かけて方位角方向に360度1回転し、60km遠方までの全天をすき間なくスキャンする。

ゲリラ豪雨は積乱雲の急発達によりもたらされ、5分といったごく短い時間で不連続的な変化を示す。一方、30秒での変化はほぼ連続的で、線形的である。このため、フェーズドアレイ気象レーダによる30秒毎のすき間のない全天スキャンが有効である。

以上のような考えから、フェーズドアレイ気象レーダの30秒毎の密なビッグデータを余すことなく生かす「ビッグデータ同化」の技術革新によってゲリラ豪雨の詳細な予測を実現することを着想し、2013年10月から研究に着手、2016年には手法を確立した^[注2]。2020年開催予定だった東京オリンピック・パラリンピック期間でのリアルタイム実証実験を目指し、計算高速化や精度向上を進め、2020年夏季でのリアルタイム実証実験に成功した^[注3]。この際、筑波大学と東京大学が共

* Takemasa MIYOSHI, 理化学研究所.

© 2023 日本気象学会

同で運用するスーパーコンピュータ Oakforest-PACS を使った。東京オリンピック・パラリンピックは2021年開催となり、本節冒頭で述べたように、ちょうど供用が開始となった「富岳」を使ったリアルタイム実証実験に成功した。「富岳」ならではの、実験とするため、2020年の経験を生かしつつ、データ同化に使うアンサンブル数を50から1000へと20倍に、また30分先までの予測に使うアンサンブル数を1から10へと10倍に増やした。

本実証実験により、1基のフェーズドアレイ気象レーダの「ビッグデータ同化」により、積乱雲の発達の詳細な予測の可能性が示された。

1.2 九州全土を覆うフェーズドアレイ気象レーダの観測システムシミュレーション実験 (OSSE)

前節で紹介したフェーズドアレイ気象レーダのビッグデータ同化に基づき、より大規模な線状降水帯による2020年7月豪雨の予測への有効性を調べた。1基のフェーズドアレイ気象レーダの探査範囲は半径60kmであり、数100kmという線状降水帯の大きさに比べて狭いため、多数のフェーズドアレイ気象レーダにより九州全土を覆う「フェーズドアレイ気象レーダ網」の観測システムシミュレーション実験 (Observing Systems Simulation Experiment, OSSE) を行った (Maejima *et al.* 2022) ^[註4]。その結果、直近の予測は積乱雲の詳細な表現が大きな効果を生み、予測を大きく改善した。一方、3時間先を超える予測は側面境界から入ってくる総観規模の梅雨前線の位置ズレが支配的となり、フェーズドアレイ気象レーダが九州全土を覆っても不十分であることが分かった。

線状降水帯はマルチスケール現象であり、総観規模の流れの中に積乱雲が線状に並んで組織化し、同じような場所に長時間にわたり大雨をもたらす。フェーズドアレイ気象レーダを使ったビッグデータ同化は、積乱雲を解像して詳細に表現することが特徴だが、これが大きなスケールの予測を改善しうるのか、あるいは積乱雲の表現は大きなスケールの予測にはあまり重要ではないのか、これが議論の焦点となる。小さなスケールの現象は誤差発達が速く、短時間で予測可能性を失う。一方、大きなスケールの現象はこの逆である。上記 OSSE からはスケール間相互作用を議論することはできなかったが、少なくとも小スケールのデータ同化を行うことで、短時間のピンポイント予測に貢献することは明らかとなった。

上記 OSSE では、九州全土の大きさが総観規模より

小さいことが影響し、総観規模の予測の改善が難しかったのかもしれない。このことを調べるには、もっと大きな範囲を覆うような OSSE を行う必要があるが、そのようなフェーズドアレイ気象レーダ網は海上への展開を考えると現実的ではない。また大きな範囲で雨雲が成長しているとは限らず、レーダで観測できる反射強度やドップラー風速などでは不十分かもしれない。

1.3 静止気象レーダ衛星の OSSE

前節で問題となった大きな範囲を覆う OSSE として、筆者らのグループでは、静止気象レーダ衛星の OSSE に取り組んだ^[註5]。静止軌道は赤道付近が最もよく見えることを考慮し、低緯度で起こる顕著気象である台風をターゲットにした。2015年で最強の台風第13号 (Soudelor) のシミュレーションに対し、OSSE を実施した (Taylor *et al.* 2021)。

真値として作成した台風を観測するのに、20m 四方のアンテナを静止軌道に展開することを仮定した場合、20km 程度のフットプリントで観測できる。これに対し、フットプリントが重なるように5km 間隔でサンプリングするオーバーサンプリングを行うと、より詳細な構造が見える。

この反射強度データを同化する OSSE の結果、オーバーサンプリングしたデータを同化することで、強風の予測を大きく改善し、真値と同等の猛烈な台風の予測ができるようになった。

この研究は「富岳」の前身である「京」コンピュータ及び Oakforest-PACS を使って行った。台風にはフォーカスしており、前節で述べた線状降水帯の予測とは異なる。今後、本 OSSE を線状降水帯事例に拡張することで、広範囲にカバーするレーダ観測が線状降水帯の予測にどう役立ちうるか、その可能性を調べることができるだろう。

2. 線状降水帯の予測に向けた研究の展望

線状降水帯はマルチスケール現象であり、構成要素の最小単位である積乱雲のひとつひとつを詳細に予測することが、直近のピンポイントの予測には有効である。しかし、より大規模な前線の位置などは、積乱雲のひとつひとつを詳細に表現しても、改善しない。スケール間相互作用については、モデルの解像度や、解像できないサブグリッドスケールのパラメタリゼーションの影響も含め、気象学のグランドチャレンジと言えるだろう。

詰まるところ、大きなスケールの予測と小さなスケールの予測をバランス良く改善し、予測のリードタイム毎に予測可能性や予測の誤差幅（不確実性の定量化）を正確に捉えることが重要であろう。この際、どのような社会的要求があるのか、防災での利用シーンやあるべき防災対応の在り方なども含めて検討し、直近の小スケールのピンポイント予測と、数時間後、12時間後、1日後、数日後の予測をどのように行うのが良いか、現在の予測技術と将来可能となる予測技術を考慮しながら、すり合わせていく必要がある。これに応じ、モデル解像度、観測システム、データ同化手法などの設計を行う必要がある。

例えば、高い解像度のモデルを使うと、それまでサブグリッドのパラメタリゼーションで考慮していた現象が解像できるようになる。一方で、グリッドで表現する小さなスケールの現象が観測できずにランダムに出現するかもしれない。このことは、アンサンブルのパラツキからわかる。小さなスケールの現象のアンサンブルのパラツキを減らすには、小さなスケールの現象を捉えるフェーズドアレイ気象レーダのような観測システムとこれを生かすデータ同化手法が有効である。小さなスケールのアンサンブルスプレッドを抑えることが、大きなスケールの予報にどう影響するかは自明ではない。このようなことを調べていく研究は有益であろう。特に、フェーズドアレイ気象レーダの稠密展開は高コストであり、費用対効果を予め理解しておくことは重要である。

また、急進展しているAI技術との連携や融合に向けた研究も重要である。「富岳」は従来型の大規模計算の倍精度や単精度の浮動小数点演算で高い性能を示すだけでなく、深層学習で用いられる半精度の浮動小数点や整数の演算性能も高くなるように設計された。大規模シミュレーション計算と深層学習の両方が効率よ

く動作する未来型のコンピュータである。この特長を活かした研究を行い、新たな可能性を探ることも重要である。

「富岳」はフラッグシップのスーパーコンピュータである。これによって、未来を先取りした研究を行い、将来の選択肢を広げていく。気候変動が進行し線状降水帯の脅威は増している。被害を最小に抑えるため、「富岳」を存分に生かして行くことが、重要となる。

後 注

[注1] 2021年7月13日理化学研究所お知らせ

https://www.riken.jp/pr/news/2021/20210713_1/

[注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/

[注3] 2020年8月21日理化学研究所お知らせ

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

[注4] 2022年3月7日理化学研究所プレスリリース

https://www.riken.jp/press/2022/20220307_1/

[注5] 2021年7月7日理化学研究所プレスリリース

https://www.riken.jp/press/2021/20210707_1/

(いずれも、2023.2.27閲覧)

参 考 文 献

- Maejima, Y., T. Kawabata, H. Seko and T. Miyoshi, 2022: Observing system simulation experiments of a rich phased array weather radar network covering Kyushu for the July 2020 heavy rainfall event. SOLA, 18, 25-32, doi:10.2151/sola.2022-005.
- Taylor, J., A. Okazaki, T. Honda, S. Kotsuki, M. Yamaji, T. Kubota, R. Oki, T. Iguchi and T. Miyoshi, 2021: Over-sampling reflectivity observations from a geostationary precipitation radar satellite: Impact on typhoon forecasts within a perfect model OSSE framework. J. Adv. Model. Earth Syst., 13, e2020MS002332, doi:10.1029/2020MS002332.