

第12回データ同化ワークショップの報告

川畑 拓矢^{*1}・上野 玄太^{*2}・中野 慎也^{*3}・藤井 陽介^{*4}
 三好 建正^{*5}・増田 周平^{*6}・藤田 匡^{*7}・雨宮 新^{*8}
 小槻 峻司^{*9}・清水 宏幸^{*10}・関谷 高志^{*11}・森下 侑哉^{*12}

1. はじめに

「第12回データ同化ワークショップ」を2022年2月17日に気象研究所を幹事機関としてデータ同化研究連絡会主催でオンラインにて開催した(第1図)。今回は幅広い話題の6件の講演および5件のポスター発表で構成された。以下、講演の概要を紹介する。

2. 講演概要

藤田 匡(気象研究所)は、「ドップラー速度の変分法データ同化の高度化の検討」と題してドップラー速度の高頻度高密度同化の検討(Fujita *et al.* 2022)について発表した。観測誤差の時間空間相関を統計的に診断して簡易な変分法に組み込み、観測誤差相関を考慮することで、観測データの詳細な分布構造がインクリメント(解析値-第一推定値)に適切に反映されることを確認した。次に、Ensemble of Data Assimilations(EDA; Isaksen *et al.* 2010)を用いて前世代の気象庁

メソ4次元変分法(4D-Var; Honda *et al.* 2005)を拡張したハイブリッド4D-Varに観測誤差時間空間相関を導入した。ハイブリッド4D-Varにより北海道の前線停滞・低気圧通過事例でのドップラー速度の同化実験を行ったところ、4D-Varよりも予測に改善がみられた。ハイブリッド4D-Varでは、同化ウィンドウ初期からインクリメントの高波数成分が大きく、高頻度高密度データを有効に同化するために、流れに依存する背景誤差が重要となることが示唆された。さらに、流れに依存する背景誤差の高度化として、スケールに依じた誤差特性を導入する拡張について述べた。

雨宮 新(理化学研究所)は、「1000メンバー30秒更新SCALE-LETKFを用いた2021年夏のリアルタイム降水予報実験」というタイトルで、2021年夏季のオリンピック・パラリンピック期間にスーパーコンピュータ「富岳」を用いて実施した実証実験について報告した。埼玉大学に設置されているマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR; Takahashi *et al.* 2019)の観測データを30秒ごとにリアルタイムに受信し、1000メンバーのSCALE-LETKFを用いてデータ同化と延長予報(30分, 10メンバー)を行

^{*1} (連絡責任著者) Takuya KAWABATA, 気象研究所, 〒305-0052 茨城県つくば市長峰1番1

^{*2} Genta UENO, 統計数理研究所.

^{*3} Shin'ya NAKANO, 統計数理研究所.

^{*4} Yosuke FUJII, 気象研究所.

^{*5} Takemasa MIYOSHI, 理化学研究所.

^{*6} Shuhei MASUDA, 海洋研究開発機構.

^{*7} Tadashi FUJITA, 気象研究所.

^{*8} Arata AMEMIYA, 理化学研究所.

^{*9} Shunji KOTSUKI, 千葉大学.

^{*10} Hiroyuki SHIMIZU, 気象庁数値予報開発センター.

^{*11} Takashi SEKIYA, 海洋研究開発機構.

^{*12} Yuya MORISHITA, 京都大学大学院工学研究科.

© 2022 日本気象学会



第1図 ワークショップの様子。

い、実験期間中のほとんどの日でリアルタイムに30分後までの降水予報を提供することができた。本発表では1000メンバーでリアルタイムのアンサンブルデータ同化を実現するための技術的な手法と、ナウキャストと比較した予測精度について述べ、今後の課題について議論した。

小槻峻司（千葉大学）は、「Implementing Hybrid Background Error Covariance into the LETKF with Attenuation-Based Localization: Experiments with a Simplified AGCM」と題した講演において、局所変換アンサンブルカルマンフィルタ（Local Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF; Hunt *et al.* 2007）に、ハイブリッド背景誤差共分散を導入する研究（Kotsuki and Bishop 2022）について紹介した。この手法は予測アンサンブル摂動（予測項）に、気候的摂動（気候項）を追加することでハイブリッド背景誤差共分散を考慮する手法である（Kretschmer *et al.* 2015）。また、一般に LETKF で行われる観測誤差分散の膨張に基づく局所化ではなく、新たに観測空間のアンサンブル摂動を減衰させる局所化手法を導入し、この減衰局所化により予測項と気候項に異なる局所化スケールを適用可能であることを示した。全球大気モデル SPEEDY を用いた実験の結果、このハイブリッド背景誤差共分散により、特に観測が疎な地域で改善傾向がみられることが示された。更に LETKF において、局所的な観測数とアンサンブル数に応じて異なる固有値分解を行う新しい解法を導入し、大アンサンブル実験において LETKF の計算量を大きく削減可能であることを示した。

清水宏幸（気象庁数値予報開発センター）は、「気象庁全球解析におけるマイクロ波輝度温度データの全天同化とアウトグループについて」と題し、これまで晴天域のみでの同化利用が主流であったマイクロ波輝度温度データを雲域や降水域を含めて同化する「全天同化」のための開発について紹介した。観測演算子に雲や降水の影響を考慮した放射伝達計算を導入し、その影響に応じた観測誤差の設定や、その影響によりバイアスを生じたデータの除去などを行うようにした。さらにデータ同化において非線形の効果を考慮するためにアウトグループを導入した。これらの改良を導入してデータ同化サイクル実験を行ったところ、特に対流圏下層の水蒸気場の予測精度向上が確認された。また熱帯低気圧の中心付近で、これまでは同化されていなかったマイクロ波輝度温度データが同化されるように

なったことで、熱帯低気圧の急発達の前兆が改善した事例を示した。

関谷高志（海洋研究開発機構）は、「全球50km 解像度の大気化学データ同化システムの開発とその応用」と題する発表を行った。発表前半では、LETKF を用いた大気化学データ同化システムを従来の全球300km から約50km まで高解像度化し、それに伴い改善した super-observation 手法について紹介した。また、データ同化を用いた大気汚染物質（窒素酸化物）の排出量逆推定では、汚染域では非線形な大気化学過程に起因し、不十分な解像度では排出量を過大評価する傾向があることを示した。発表後半では、開発したデータ同化システムを用いた2つの応用例を示した。1つめの応用例として、大気汚染物質の最新衛星観測データ（TROPOMI）の大気化学システムへのインパクト評価を行い、TROPOMI が従来の衛星観測（OMI）と比較して、二酸化窒素の時空間変動を良く捉えていることを示した。2つめの応用例として、COVID-19蔓延に伴う社会経済活動の低下が大気汚染物質の排出量に与えた影響をデータ同化による排出量逆推定から評価し、さらにその排出量減少が大気化学過程を通じてオゾンやエアロゾルにも無視できない影響を与えたことを示した。

森下侑哉（京都大学大学院工学研究科）は、「核融合プラズマ解析・制御のためのデータ同化システムの開発」という題で発表を行った。発表前半では、核融合プラズマにおける統合シミュレーションの概要を紹介すると共に、アンサンブルカルマンフィルタを用いたデータ同化システム ASTI（Morishita *et al.* 2022）について説明した。大型ヘリカル装置での実験データから乱流輸送パラメータを推定した例を紹介し、核融合プラズマへのデータ同化の有用性を示した。発表後半では、データ同化を応用したプラズマ制御手法について説明した。この手法は、目標状態を実現する制御入力を推定すると共に、観測によりモデルパラメータを最適化する。開発した手法を用いた数値実験例を紹介し、その有効性を示した。

3. ポスター発表

今回は5件のポスター発表をZoomのブレイクアウト機能を用いて行った。以下に発表者とタイトルを記載する。

P1: Audrey Gonzalo（理化学研究所）

「Scale data exploration, and identification of accel-

eration avenues」

P2: 大石 俊 (理化学研究所)

「高頻度海洋アンサンブルデータ同化システムにおける適応型観測誤差膨張の有効性」

P3: 山崎 哲 (海洋研究開発機構)

「緯度帯別で見たラジオゾンデに対する観測インパクトの伝播について」

P4: 小司優陸 (北海道大学工学院)

「地中熱利用システム運転データを用いたデータ同化による土壌有効熱伝導率推定」

P5: Ying-Wen Chen (東京大学大気海洋研究所)

「気象情報システム NEXRA の開発現状について」

4. おわりに

本ワークショップへは約60名の方に参加頂いた。今回は現地およびオンラインによるハイブリッド開催を目指していたが新型コロナウイルス蔓延状況を鑑みてオンラインのみの開催となった。このような状況を反映して昨年に引き続き、データ同化技術を用いてパンデミックの影響を調べた発表があったことはコミュニティの研究活動の活発さを表している。

本ワークショップは、データ同化技術を横串として様々な分野における応用や基礎理論について情報を交換していく場として機能してきた (川畑ほか 2021 など)。今回も大気、海洋、純粋理論、大気化学、核融合、地熱と様々な材料を元にした研究発表があった。また日々確実な実行が求められる天気予報や30秒ごとの同化を行うリアルタイム実験、マイクロセカンドオーダーで行われる核融合炉制御の試みなど堅牢さが求められる分野への応用に関する発表が目立ち、新たな進展を認識できた。

今後とも継続してデータ同化ワークショップを開催し、コミュニティの広がり尽力していく予定である。過去のプログラムは、ホームページ (<http://daweb.ism.ac.jp/DAWS/index.html>, 2022.3.15閲覧) をご参照願いたい。さらに、ワークショップ開催のお知らせなど、データ同化に関する情報交換の一助としてメーリングリストを設けているので、参加を希望する方には、データ同化研究連絡会 (本稿筆者1~6; dawsjimu@mri-jma.go.jp) までご連絡を頂ければ幸いである。

なお今回のワークショップは、統計数理研究所共同研究集会 (2021-ISMCRP-5006) 「データ同化ワークショップ」として開催させていただいた。誌面を借り

て厚くお礼申し上げたい。

略語一覧

4D-Var : 4-dimensional variational data assimilation

ASTI : Data assimilation system for particle and heat transport in toroidal plasmas

EDA : Ensemble of Data Assimilations

LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter

NEXRA : NICAM-LETKF JAXA Research Analysis

OMI : Ozone Monitoring Instrument

SCALE : Scalable Computing for Advanced Library and Environment

SPEEDY : Simplified Parameterizations, primitive-Equation Dynamics

TROPOMI : TROPospheric Monitoring Instrument

参考文献

- Fujita, T., H. Seko and T. Kawabata, 2022: Effects of flow dependency introduced by background error in frequent and dense assimilation of radial winds using observation error correlated in time and space. *Mon. Wea. Rev.*, **150**, 481-503, doi:10.1175/MWR-D-21-0121.1.
- Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata and T. Tsuyuki, 2005: A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency: Formulation and preliminary results. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3465-3475, doi:10.1256/qj.05.132.
- Hunt, B. R., E. J. Kostelich and I. Szunyogh, 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, **230**, 112-126, doi:10.1016/j.physd.2006.11.008.
- Isaksen, L., M. Bonavita, R. Buizza, M. Fisher, J. Haseler, M. Leutbecher and L. Raynaud, 2010: Ensemble of data assimilations at ECMWF. *ECMWF Tech. Memo.*, **636**, ECMWF, doi:10.21957/obke4k60.
- 川畑拓矢ほか, 2021: 第11回データ同化ワークショップの報告. *天気*, **68**, 465-468.
- Kotsuki, S. and H. C. Bishop, 2022: Implementing hybrid background error covariance into the LETKF with attenuation-based localization: Experiments with a simplified AGCM. *Mon. Wea. Rev.*, **150**, 283-302, doi:10.1175/MWR-D-21-0174.1.
- Kretschmer, M., B. R. Hunt and E. Ott, 2015: Data assimilation using a climatologically augmented local ensemble transform Kalman filter. *Tellus A*, **67**, 26617, doi:10.3402/tellusa.v67.26617.
- Morishita, Y., S. Murakami, M. Yokoyama and G. Ueno,

- 2022 : ASTI: Data assimilation system for particle and heat transport in toroidal plasmas. *Comput. Phys. Commun.*, 274, 108287, doi:10.1016/j.cpc.2022.108287.
- Takahashi, N., *et al.*, 2019: Development of multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR) and early detection of torrential rainfall and tornado risk. *J. Disaster Res.*, 14, 235-247, doi:10.20965/jdr.2019.p0235.
-