

アンサンブル同化手法を用いた観測システムの最適化に関する研究

課題責任者

山崎 哲 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ

著者

山崎 哲*¹, 佐藤 和敏*^{2,1}*¹ 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ, *² 北見工業大学 工学部

キーワード: PANSY, アンサンブルデータ同化, 観測システム実験, 全球アンサンブル大気再解析

1. はじめに

海洋研究開発機構は、極域から熱帯まで世界各地で様々な観測を実施している。本課題は、アンサンブル手法に基づく先駆的なデータ同化システムを応用した観測システム実験を行うことにより、観測のインパクトを定量的に評価し、最適な観測システムの設計に役立てることを目的とする。

我々は独自で開発した全球大気アンサンブルデータ同化システム ALEDAS (AFES-LETKF data assimilation system) を有する。独自の同化システムを利用すれば、特定の観測データを同化する/しないという実験(観測システム実験, 例えば[1]を参照)が可能になり、解析誤差の変化からその観測データの影響を定量的に評価することが可能になる。つまり、現象の発生メカニズムや予測可能性に関する知見に加えて、最適な観測システムを設計するための指針を得ることが可能となる。また、大気海洋結合系へのデータ同化の適用は、それ自身がチャレンジングな課題である。

さらに、本課題では、ALEDAS を使ってアンサンブル長期再解析 ALERA (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis) を作成している。成層圏を解像する鉛直層数(トップ約 0.1 hPa)を有する ALEDAS を用いて、2017 年～準リアルタイムのアンサンブル大気再解析データを作成している。最近のシステムの更新で放射輝度観測が同化できるようになった ALERA を使って、観測のインパクト評価実験(例えば、[2]や[3])などを精力的に進めている。

これらの研究開発を通じ、観測とシミュレーションとが融合した世界最先端の研究基盤を確立し、観測システム研究に関する世界的な「中核機関」となることを目指す。

2. 南極昭和基地大型大気レーダー (PANSY レーダー) による水平風速データが南半球中緯度の低気圧の進路予報の精度に与える影響 ([1], 本内容についてプレスリリース)

豪州では、近年記録的な熱波が発生しており、熱波が原因で山火事が多発することで、人的被害や産業界に大打撃をもたらすだけでなく、多くの野生動物も犠牲になっている。これらの被害を軽減するためには、熱波の要因の一つである中緯度の温帯低気圧の正確な進路予報が重要である。これまでの研究では、観測データの少ない高緯度

(南極大陸や南大洋) でラジオゾンデによる高層気象観測を実施すると、初期値の不確実性が小さくなり、豪州に接近する低気圧の進路予報の精度が向上することを明らかにしている。しかし、ラジオゾンデ観測に関する経費(機材費、物品の輸送費、バルーンに使用するヘリウムなど)は世界情勢の影響を受けやすく、近年価格の高騰が続いている。また、環境負荷を軽減するためにも、繰り返し利用が可能な測器による高層気象観測が理想である。南極の昭和基地では、1045 本のアンテナで構成される南極最大の大気レーダーである南極昭和基地大型大気レーダー (PANSY レーダー) が設置され、水平風速の鉛直観測データが取得されている(鉛直分解能 150 m, 時間分解能 1 分)。しかし、PANSY レーダーの観測データは、時間・鉛直分解能共に高分解能であるが、現業の予報機関には組み込まれていない。そこで、PANSY レーダーの観測データが豪州南方の低気圧の予報に与える影響を観測システム実験により調べた。

本研究では、PANSY レーダーが 2017 年 12 月に高度約 1.5 km から約 20 km まで取得した水平風速データを同化した再解析データ (OSEP) と同化していない再解析データ (CTL) を作成し、それぞれを初期値とした予報実験を行

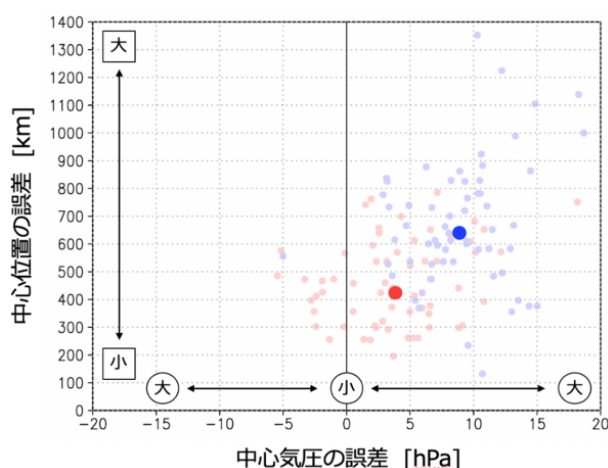


図1: PANSY 観測あり予報 (OSEPf: 赤) と PANSY 観測なし予報 (CTLf: 青) それぞれの 2017 年 12 月 17 日の実際の低気圧に対する中心位置と中心気圧の誤差。小さい赤と青点はアンサンブル予報で得られた予報結果の誤差、大きい赤と青点はアンサンブル予報を平均した値の誤差。

なった。予報実験の対象とした事例は、2017年12月17日に豪州西部のユークラで最高気温43度を引きおこした大気循環場で、2017年12月12日12時をそれぞれ初期時刻とした4.5日間のアンサンブル予報の結果を比較した。

「PANSY観測あり」の予報(OSEPF)の場合、低気圧の位置に影響する上空の気圧の谷(トラフ)の位置が比較的正確に予報できるため、「PANSY観測なし」の予報(CTLF)よりも低気圧の位置が約200km実際に近い予報結果になった

(図1)。また、アンサンブル予報での低気圧の中心位置のばらつきはOSEPFの方が小さくなり、低気圧の中心気圧の予報が約5hPa改善されていた。これらの低気圧の予報精度の違いを引き起こす「PANSY観測あり」と「PANSY観測なし」の不確実性の差(特別観測の影響)は、初期時刻に昭和基地周辺で生じ、予報時間中に増幅しながら偏西風の影響を受けて東に伝播し、予報4.5日目に豪州西部へ到達していた。これらの結果から、南極圏で既存の観測器であるPANSYレーダーのデータを天気予報に利用することで、昭和基地周辺の初期値の不確実性が小さくなり、風下に位置する豪州西部の4.5日後の天気予報の予報精度が改善することが示された。

本研究の内容について、北見工業大学から**2022年8月23日付でプレスリリース**「南極昭和基地大型大気レーダー観測で豪州の低気圧予報が改善～環境負荷を低減した持続可能な天気予報の精度向上の可能性～」を行なった。この内容は地球シミュレータのウェブページでも紹介されている。

3. AMSU-A 放射輝度観測インパクトのALERAでの評価 ([2])

ALEDASが更新され、それによって作成される実験的アンサンブルALERAはモデルトップが0.1hPaとなり、成層圏を解像できるようになった。このシステムに、先行研究でNICAM-LETKFデータ同化システム用に開発されたAMSU-A(Advanced Microwave Sounding Unit-A)放射輝度観測の同化スキームを実装した。この実装の有効性を検証するため、AMSU-A観測についての観測システム実験を実施した。さらに、ALEDASに実装された、観測インパクトを診断するEFSO手法[3]を使って、AMSU-A観測のEFSOでの推定が、観測システム実験で得られる実際のAMSU-A観測インパクトを推定できるかを調査した。

ここでの観測システム実験はAMSU-A観測だけのデータを同化しない状態で解析・予報サイクルを複数回繰り返すcyclingな観測システム実験を行った。cyclingな観測システム実験においては、AMSU-A観測のインパクトが蓄積する。これは、船舶などを使って一定期間行われる観測キャンペーンや、新しい観測種の追加などにおいて現実的に想定される状況である。観測システム実験を2018年12月下旬～2019年1月(NH-winter実験)と2019年8月下旬～10月上旬(SH-winter実験)について行い、AMSU-A観測を同化する実験と比較した。

その結果、EFSOと観測システム実験でのAMSU-A観測インパクトは定量的に逆符号を持つことがわかった。これ

は、cyclingなデータ同化を通じて、AMSU-A観測のインパクトが解析値と短時間予報値とのずれ(誤差)を小さくするためであることがわかった：つまり、AMSU-A観測インパクトの蓄積がデータ同化システムを安定化することがわかった。

次に、EFSOと観測システム実験でのAMSU-A観測インパクトの分布を比較した。正の(予報を改善し得る)EFSO値の領域は南半球中緯度の対流圏上部に分布することがわかった。それに対して観測システム実験で得られる負の(システムを安定化する)観測インパクト領域も同領域に現れ、さらにEFSO値に比べて南半球中高緯度の広域に及ぶことがわかった。特に、SH-winter実験では成層圏にまで負の観測インパクト領域が広がっていて、これには冬季中高緯度の対流圏・成層圏力学的結合過程が関与していることが示された。

これらの結果から、

- AMSU-A放射輝度観測の同化スキームの実装に成功していること、
- Cyclingな観測システム実験において観測インパクトが蓄積する効果が、データ同化システムにどういった影響を与えるかの物理的な解釈、
- EFSOは、分布について調査することで、cyclingな観測システム実験についても有用な診断手法となり得ること、

がわかった。この論文の結果は、本研究課題で進めている最適な観測システムの設計に資する重要な基礎となる。

文献

- [1] Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, Y. Tomikawa, and K. Sato: "Reduced error and uncertainty in analysis and forecasting in the Southern Hemisphere through assimilation of PANSY radar observations from Syowa Station: a mid-latitude extreme cyclone case," *Quart. J. Royal Meteor. Soc.*, **148**, 3115-3130, 2022年7月, <https://doi.org/10.1002/qj.4347>.
- [2] Yamazaki, A., K. Terasaki, T. Miyoshi, and S. Noguchi: "Estimation of AMSU-A radiance observation impacts in an LETKF-based atmospheric global data assimilation system: Comparison with EFSO and observing system experiments," *Wea. Forecasting*, accepted, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-22-0159.1>.
- [3] Yamazaki, A., T. Miyoshi, J. Inoue, T. Enomoto, and N. Komori: "EFSO at different geographical locations verified with observing system experiments," *Wea. Forecasting*, **36**, 1219-1236, 2021年8月, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0152.1>.