

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

小守 信正 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

小守 信正*¹, 佐藤 和敏*², 猪上 淳*³, 山崎 哲*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

*³ 国立極地研究所 国際北極環境研究センター

独自に開発したアンサンブルデータ同化システムを利用し、特別観測がデータ同化結果やそれを初期値とした予報結果に与える影響を観測システム実験により調査した。(1) 南極大陸や南極海での砕氷船「しらせ」による追加観測データの同化により、昭和基地に接近した低気圧の予報が改善されること、(2) 北極海での海洋地球研究船「みらい」による気象観測データの同化により、ハリケーンの進路予報が向上すること、などを明らかにした。

キーワード：アンサンブルデータ同化、観測システム実験、北極海、ハリケーン

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。

観測データを大気または大気海洋結合モデルへ同化することにより、時間発展する解析誤差（不確実性）を推定可能という付加価値を持った高精度の再解析データセットを作成し、四次元仮想地球の構築に資する。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）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。

これらの研究開発を通じ、観測と数値モデルの連携による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。

1.1 データ同化システム ALEDAS2 の概要

AFES-LETKF アンサンブルデータ同化システム Ver. 2 (ALEDAS2) [1] は、予報部分である地球シミュレータ用大気大循環モデル (AFES) と、データ同化部分である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) からなる。解像度は水平 T119 (約 100 km)、鉛直 L48 (上端は約 3 hPa) である。アンサンブルメンバー数は 63、共分散の局所化スケールは水平 400 km、鉛直 $0.4 \ln p$ 、スプレッド膨張率は 0.1 (固定値) であり、米国環境予測センター (NCEP) が編纂した観測データ (PREPBUFR) を 6 時間毎に同化する。

1.2 再解析データセット ALERA2 の構築

ALEDAS2 を用いた実験的アンサンブル大気再解析データセット ALERA2 を 2008 年 1 月から構築し、準リアルタイムで計算を実施しており、研究コミュニティ向けに機構のサーバ (<http://www.jamstec.go.jp/alera/>) から順次公開している。

2. 観測システム実験の実施

ALERA2 を参照データとし、観測データの影響評価（観測システム実験）を行った。高緯度から中緯度への誤差伝播過程を提唱したこれらの成果は、両極域を対象として世界気象機関 (WMO) が主導する国際プロジェクト「極域予測年 (YOPP)」の活動において大きな貢献となる。

2.1 南極圏のラジオゾンデ観測が南半球の低気圧の予報精度に与える影響

南極圏は、他の領域に比べ観測所が少ないことから数値予報に組み込まれているデータ数も少ない。そのため、数値予報に使用する大気初期場の不確実性が大きく、予報精度を悪化させていると指摘されている。そのため、南極大陸上で気象観測を増加させることで、天気予報精度の改善が期待できる。

そこで本研究では、南極大陸に常設されている観測所や南極海の船上で取得されたラジオゾンデ観測が南半球の予報精度に与える影響を調べた。具体的には、2017 年 12 月～2018 年 1 月に日本のドームふじ基地や砕氷船「しらせ」により実施された追加観測（それぞれ 1 日 2 回）を同化・非同化した再解析データ（それぞれ OSE, CTL）を作成し、それぞれを初期値として行ったアンサンブル予報実験の差を調べた。観測データが南半球の大気循環の予報精度へ与える影響を調べるため、2018 年 1 月上旬に日本の昭和基地へ接近した低気圧に着目した。南極大

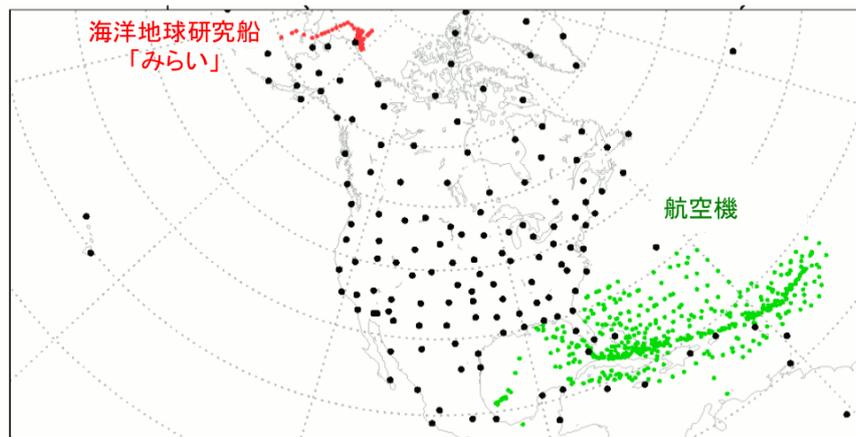


図 1 2017 年 9 月の海洋地球研究船「みらい」(赤点), 航空機(緑点)と定常観測所(黒点)でのラジオゾンデ観測点。

陸や南極海での追加観測データを含んだ予報実験 (OSEf) は, 低気圧の中心気圧の低下(低気圧の発達)を予報できていた。一方, 追加観測データを同化していない予報実験 (CTLf) では, 低気圧の発達は予報できていなかった。これらの結果やアンサンブルスプレッドの差を追跡した解析から, 観測データが少ない高緯度で大きくなった不確実性が南極海へ到達し, 南極海の現象の予報精度を悪化させていることがわかった。

(本節は [2] を基にした。)

2.2 北極海のラジオゾンデ観測がハリケーンの進路予報精度に与える影響

北大西洋上で発生するハリケーンにより, 北米やカリブ海の島国では洪水や強風などによる甚大な気象災害が発生することがある。これらの災害を軽減するため, ハリケーンの動向を事前に把握して防災対策を講じることが重要であり, 正確なハリケーンの進路予報が必要である。ハリケーンの進路予報精度の向上には, 数値予報モデルやデータ同化手法の性能向上だけでなく, 観測点や観測頻度の少ない領域で観測データ量を増加させ, 数値予報に使用する大気の初期場を改善させる必要がある。これまでの研究では, 観測点の少ない北極域での高層気象観測が, 北半球の初期の大気場の不確実性を減少させ, 中緯度のハリケーンの進路予報の精度に影響している可能性を指摘している。しかし, 先行研究で使用した数値予報モデルの解像度では, ハリケーンの進路予報を行うのに十分ではなく, 北極の特別気象観測データを同化してもハリケーンの進路が予報できていなかった。そのため, 数日後のハリケーンの進路が予報できる解像度の数値モデルを使用し, 北極の気象観測がハリケーンの進路予報精度に与える影響を調べる必要があった。

そこで本研究では, 2017 年 9 月に海洋地球研究船「みらい」が北極海で実施したラジオゾンデ観測や太平洋で航空機が実施したドロップゾンデ観測が, 同年 9 月にアメリカへ上陸したハリケーンイルマ (Irma) の進路予報に与える影響を観測システム実験により調べた (図 1)。これらの気象観測データも含め全球通信システムを通じ

て通報された気象観測データが組み込まれた再解析データを CTL とし, この CTL から「みらい」のラジオゾンデ観測データのみ取り除いた再解析データ (OSE_M) と航空機のドロップゾンデ観測データのみ取り除いた再解析データ (OSE_A) を作成し, それぞれを初期値とした予報実験を行った。

全ての気象観測が同化されている CTL 予報 (CTLf) は, 4 日後までの進路予報の誤差は 250 km 以下で 4.5 日後に誤差が約 450 km に到達しており, 先行研究より高解像度モデルを使用することにより予報精度は向上している (図 2)。ハリケーン周辺のドロップゾンデ観測を取り除いた予報 (OSE_{Af}) では, 1 日後以降に CTLf より誤差が大きくなり, 4.5 日後には誤差が 550 km 以上になっていることから, ハリケーン周辺のドロップゾンデ観測は 1 日後以降のハリケーンの進路予報精度の向上に貢献していることがわかった。一方, 北極海での「みらい」によるラジオゾンデ観測を取り除いた予報 (OSE_{Mf}) では, 4 日後まで CTLf と予報経路誤差にほぼ差がないが, 4 日後以降に CTLf との差が大きくなり 4.5 日後に誤差が 650 km 以上と OSE_{Af} よりも誤差が大きくなっており, 北極のラジオゾンデが 4 日後以降のハリケーンの経路予報精度に影響

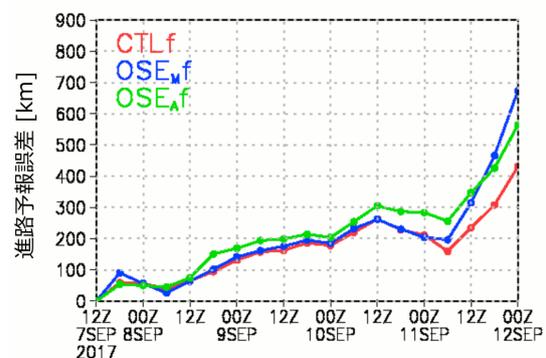


図 2 全ての観測データを同化した実験 (CTLf: 赤), 「みらい」のラジオゾンデ観測非同化実験 (OSE_{Mf}: 青), 航空機のドロップゾンデ観測非同化実験 (OSE_{Af}: 緑) のハリケーンイルマのベストトラックに対する進路予報の誤差の時系列図。

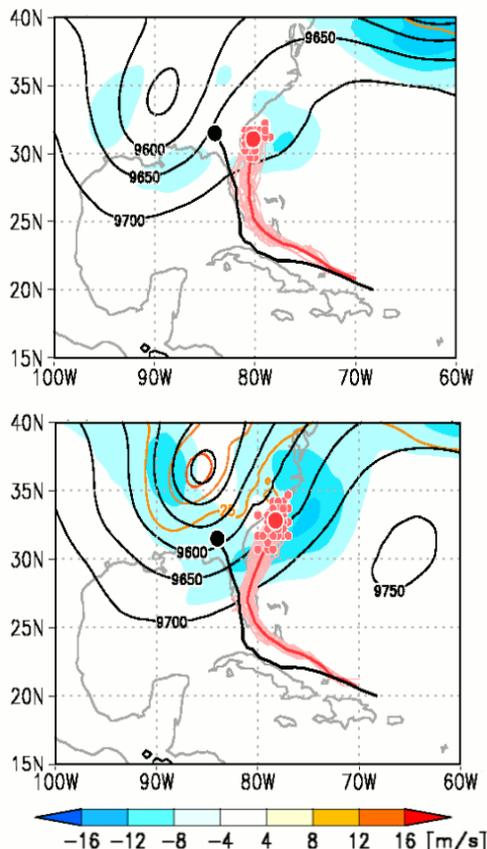


図3 「みらい」での観測データを同化した実験 (CTLf, 上) と同化していない実験 (OSE_{Mf}) における4.5日後の上空 (500–300 hPa) の風速 [m/s] (色), 300 hPa の高度 [m] (黒線) とそのアンサンブルスプレッド [m] (橙線) の予報結果 (63 メンバー平均). 線は, 解析値 (黒)・アンサンブル平均 (太赤線)・各メンバー (細赤線) でのハリケーン経路を, 点は解析および予報におけるハリケーンを中心位置 (大きな点はアンサンブル平均, 小さい点は各メンバー) を示す.

響していることがわかった.

CTLf はハリケーン進路に影響している上空の気圧の谷 (トラフ) の位置が予報できているのに対し, 一方の OSE_{Mf} はトラフの位置が CTLf より東側に位置していたことでハリケーンイルマの中心が CTLf より東側に位置していた. 予報された上空の大気循環場の比較から, 北極のラジオゾンデ観測が同化されることで4日後以降の中緯度のトラフの予報精度が向上し, トラフの位置の影響を受けるハリケーン的位置予報の精度が向上したと考えられる. 一方, CTLf と OSE_{Af} による上空の大気循環場の予報には差が見られなかったが, OSE_{Af} の地上気圧の不確定性 (スプレッド) が CTLf より大きく, ハリケーンの予報誤差が大きくなったと考えられる. これらの研究結果から, ハリケーン周辺のドロップゾンデ観測はハリケーン周辺の気圧のスプレッドを減少させ, 北極のラジオゾンデ観測は上空のトラフの位置予報の精度を向上させることでハリケーン経路予報の精度を向上させることが

わかった.

(本節は [3] を基にした.)

3. 新たなデータ同化システムの開発

再解析データの精度を向上させ, また, より高度な観測システム実験を可能とするため, 従来型の観測に加えて衛星による放射輝度観測データを同化可能なシステムへの拡張など, 新たなデータ同化システムに向けた開発・改良および機能拡張を段階的に進めている.

文献

- [1] Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC. In *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrological Applications (Vol. II)*, S. K. Park and L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, February 2013, https://doi.org/10.1007/978-3-642-35088-7_21.
- [2] Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, N. Hirasawa, K. Sugiura, and K. Yamada: Antarctic radiosonde observations reduce uncertainties and errors in reanalyses and forecasts over the Southern Ocean: An extreme cyclone case. *Advances in Atmospheric Sciences*, **37** (5), 431–440, May 2020, <https://doi.org/10.1007/s00376-019-8231-x>.
- [3] Sato, K., J. Inoue, and A. Yamazaki: Performance of forecasts of hurricanes with and without upper-level troughs over the mid-latitudes. *Atmosphere*, **11** (7), 702, July 2020, <https://doi.org/10.3390/atmos11070702>.

Observing System Research Using Ensemble-based Data Assimilation Methods

Project Representative

Nobumasa Komori Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Nobumasa Komori*¹, Kazutoshi Sato*², Jun Inoue*³, and Akira Yamazaki*¹

*¹ Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

*² Faculty of Engineering, Kitami Institute of Technology

*³ Arctic Environmental Research Center, National Institute of Polar Research

By using our own ensemble-based data assimilation system, we conducted observing system experiments to investigate the influence of additional observations on the accuracy of the analyses and forecasts: (1) Additional radiosonde observations from the R/V *Shirase* over the Southern Ocean and Dome Fuji Station in Antarctica improved forecast skill of the cyclone near the Syowa Station. (2) Additional Arctic radiosonde observations from the R/V *Mirai* improved forecast skill of the track of hurricane Irma in the North Atlantic in September 2017.

Keywords: Ensemble-based data assimilation, observing system experiment, Arctic, hurricane, TIGGE

1. Introduction

We have developed the AFES–LETKF ensemble data assimilation system ver. 2 (ALEDAS2) [1], which consists of AFES (atmospheric general circulation model for the Earth Simulator) as the forecast model and the LETKF (local ensemble transform Kalman filter) as the data assimilation scheme, and constructed the AFES–LETKF experimental ensemble reanalysis ver. 2 (ALERA2) from January 2008 to the near-present by assimilating observational data of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) global data assimilation system (PREPBUFR). Several observing system experiments are conducted by using the ALERA2 as the reference to investigate the influence of the specific observations.

2. Antarctic radiosonde observations reduce uncertainties and errors in reanalyses and forecasts over the Southern Ocean: An extreme cyclone case

Cyclones with strong winds can make the Southern Ocean and the Antarctic a dangerous environment. Accurate weather forecasts are essential for safe shipping in the Southern Ocean and observational and logistical operations at Antarctic research stations. This study investigated the impact of additional radiosonde observations from Research Vessel *Shirase* over the Southern Ocean and Dome Fuji Station in Antarctica on reanalysis data and forecast experiments using an ensemble data assimilation system comprising the Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator and the Local Ensemble Transform Kalman Filter Experimental Ensemble Reanalysis, version 2. A 63-member ensemble forecast experiment was conducted focusing on an unusually strong Antarctic cyclonic event. Reanalysis data with (observing system experiment) and without (control)

additional radiosonde data were used as initial values. The observing system experiment correctly captured the central pressure of the cyclone, which led to the reliable prediction of the strong winds and moisture transport near the coast. Conversely, the control experiment predicted lower wind speeds because it failed to forecast the central pressure of the cyclone adequately. Differences were found in cyclone predictions of operational forecast systems with and without assimilation of radiosonde observations from Dome Fuji Station. (This section is based on [2].)

3. Impact on track forecast of hurricane Irma with upper-level trough by additional Arctic radiosonde observations

The accurate prediction of Atlantic Hurricane with heavy rain and strong winds is important to reduce human casualties and socioeconomic damages. The prediction skills of hurricane track are improved by not only development of atmospheric numerical models but also increasing the number of observations over the data-sparse areas. Using the ALERA2 experimental ensemble reanalysis data set and ensemble forecast experiment, this study investigated the impacts of additional Arctic radiosonde observation by Research Vessel (RV) *Mirai* and Atlantic dropsonde observations by aircrafts during September 2017 on the forecast skill of hurricane Irma in September 2017. We created three reanalysis data sets and used these data sets as initial condition for forecast. The PREPBUFR global observation datasets, which includes additional radiosonde observations by RV *Mirai* and dropsonde observations by aircrafts, were used as the ALERA2. The analysis observing system experiment (OSE)_M excluded additional radiosonde observations by RV *Mirai*; while OSE_A removed dropsonde observation data obtained by aircrafts from the ALERA2. Comparison of two 63-member ensemble forecast

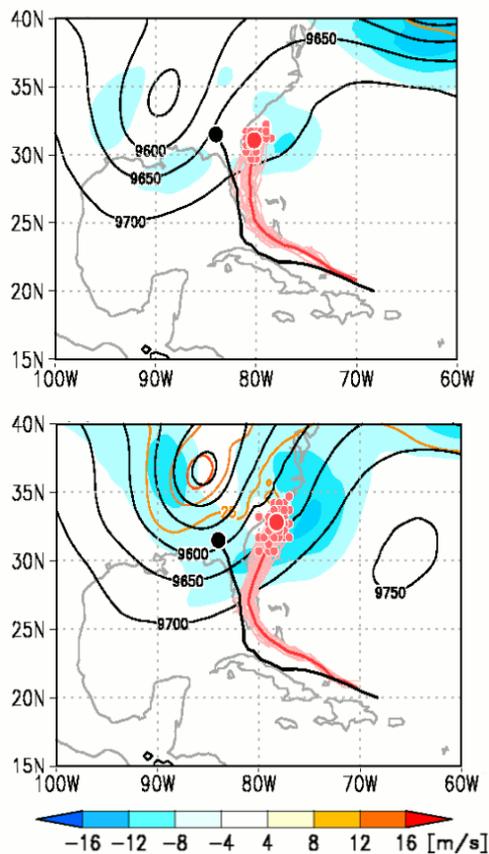


Figure 1: Predicted ensemble means upper-level wind speed (averaged between 300–500 hPa) (shaded: m/s) and geopotential height at 300 hPa (Z300) (contour: m) at 0000 UTC 12 September 2017 with ensemble spreads of Z300 (orange contour: m) by (top) the OSE_{Mf} and (bottom) CTLf. The blue thick and thin lines show track of cyclone from 1200 UTC 7 September 2017 through 0000 UTC 12 September 2017 for the ensemble mean and all ensemble members, respectively. The blue dots show location of the hurricane Irma at 0000 UTC 12 September 2017 for the ensemble mean (large) and all ensemble members (small).

experiments initialized by ALERA2 (CTLf) and the OSE_M (OSE_{Mf}) revealed that prediction of hurricane tracks was improved by the realistic representation of upper-level troughs in the CTLf (Fig. 1). In contrast, comparison of CTLf and OSE_{Af} revealed that dropsonde observations near hurricane reduced the spread of sea-level pressure (SLP) near hurricane center, improving the prediction of hurricane tracks. This confirms that additional Arctic radiosondes and Atlantic dropsondes reduce uncertainty and error in Atlantic hurricane forecasts. (This section is based on [3].)

References

- [1] Enomoto, T., T. Miyoshi, Q. Moteki, J. Inoue, M. Hattori, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, and S. Yamane: Observing-system research and ensemble data assimilation at JAMSTEC. In *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II)*, S. K. Park and L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, February 2013, https://doi.org/10.1007/978-3-642-35088-7_21.
- [2] Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, N. Hirasawa, K. Sugiura, and K. Yamada: Antarctic radiosonde observations reduce uncertainties and errors in reanalyses and forecasts over the Southern Ocean: An extreme cyclone case. *Advances in Atmospheric Sciences*, **37** (5), 431–440, May 2020, <https://doi.org/10.1007/s00376-019-8231-x>.
- [3] Sato, K., J. Inoue, and A. Yamazaki: Performance of forecasts of hurricanes with and without upper-level troughs over the mid-latitudes. *Atmosphere*, **11** (7), 702, July 2020, <https://doi.org/10.3390/atmos11070702>.