

## 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\*<sup>1</sup>\*<sup>1</sup> 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

全球大気アンサンブルデータ同化システム AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator)-LETKF (local ensemble transform Kalman filter) data assimilation system (ALEDAS)を地球シミュレータ (ES4) に移植した。ALEDAS を使って、最新版の ALERA3 (AFES-LETKF experimental reanalysis version 3)を作成した。ALERA3 は、成層圏を上部まで解像可能な鉛直層数 (L56) と、AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A)放射輝度観測を同化可能な ALEDAS によって作成され、前版の ALERA2 のシステムから大幅な更新がなされた。ALERA3 は 2018 年 12 月以降から準リアルタイムで作成されている。データの外部公開も進められ、本プロジェクトでこれまでに作成された ALERA や ALERA2 は JAMSTEC のウェブページから公開された。さらに、APL Virtualearth というウェブページでは、ALEDAS で計算された約 1~2 ヶ月前の準リアルタイムな大気の状態を可視化できる。

**キーワード：**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、APL Virtualearth

## 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[1]。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、[2],[3])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。

昨年度、ALEDAS に EFSO (Ensemble Forecast Sensitivity to Observations)という個々の観測のインパクトを診断する手法[4]を実装したことを昨年度のアニュアルレポートで報告した。EFSO は観測システム実験と相補的な手法であり、本課題の目標達成に有力なツールである。ALEDAS では EFSO 値を 6 時間毎に出力している。

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. ALEDAS の移植

地球シミュレータの更新に伴い、ALEDAS のプログラム

の移植を行い、さらに実行ファイル群を更新した。ALEDAS の実行は 2 つのシェルスクリプトで行うことができる。それぞれ

- 実験の実行サイクル数(積分期間)の指定
- プレ処理(入力ファイルのパス設定など)および NQS ファイルの作成とジョブの投入

を行う。NQS は 1 回の予報と解析(データ同化)につき 2 つ作成される。NQS を細かく分離することでエラーの特定が容易となる。1 回の実行サイクルで 7 日間の計算を行う(1 サイクルで 28 個の NQS ファイルを投入する)。ジョブは予報も解析も VE ノードで実行している。

1 回の予報と解析では、それぞれ 5 つのプログラムが実行される。予報パートは

- AFES 形式と LETKF (通常パイナリ)形式の変換
- 9 時間予報 (LETKF 用)
- 3 時間延長予報 (EFSO 用)

解析パートは

- 観測演算子
- LETKF
- EFSO
- 衛星バイアス補正值アップデート[5]

から構成されている。予報パートでは 4 論理ホスト・8VE、解析パートでは 1 論理ホスト・8VE を使って計算がなされる。計算時間はそれぞれ約 420 秒、1400 秒となっている。作成されたデータの外部提供のための、作成されたデータの気圧面への変換やアンサンブル平均・スプレッドの計算はフロントエンドサーバで行っている(ポスト処理)。

1 実行サイクル(7 日間)での出力ファイルのサイズは約 1.6TB となる。ALEDAS の実行に必要なファイルやポスト処理後のデータは、中間ファイルを削除して最終的に 1 年分で約 20TB 程度となる。なお、ALEDAS の解像度は T119L56 (1 度メッシュ、モデルトップ約 0.1 hPa)、アン

サンプルメンバー数は63である。

移植された ALEDAS を使って、再解析データ ALERA3 の作成を進めながら、特定の観測を取り除いて観測インパクトを評価する観測システム実験を進めている。JAMSTEC の大気観測チームや外部研究機関主催での観測キャンペーンと共同研究を進めながら、本プロジェクトの目標である観測システムの最適化に向けた実験を進めている。

### 3. ALERA3

ALEDAS で作成される再解析データを ALERA (AFES-LETKF experimental reanalysis) と呼ぶ。ALERA は ALEDAS の変更に伴ってバージョン (版) が変わっていて、最近では第3版の ALERA3 に更新された。ALERA3 を作成するための ALEDAS では、

- 鉛直層数が L48 (モデルトップ 3 hPa) から L56 (モデルトップ 0.1 hPa) に増加
- AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) 放射輝度観測を同化可能なシステムになっている。後者の更新は[5]の論文のシステムを ALEDAS に移植したものである。ALERA3 の期間は2018年10月から開始し、準リアルタイム (ほぼ1ヶ月遅れ) までのおよそ3.5年分が作成されている。

ALERA3 では1年毎に stream を区切って計算を進めている。2018年10月から2020年4月までを1本の stream とし (stream2018)、2020年3月1日 00UTC から計算を開始し2021年4月までの stream (stream2020) が2020年5月1日で stream2018 と接続、2021年3月1日 00UTC から計算を開始した stream2021 が2021年5月1日で stream2020 と接続している。stream2020 及び stream2021 の初期値には2019年3月1日 00UTC の ALERA3 を使っていて、2ヶ月間をスピニングアップとしている。stream2021 は準リアルタイムで積分がなされている。さらに、現在、ALERA3 の期間をより過去に延長している。stream2020 や stream2021 と同様の方法で初期値を設定し、2018年以前のデータを作成中である。なお ALERA3 に使われる観測データは2005年以降取得が可能である。

準リアルタイムの ALERA3 を作成するため、境界条件となる海面水温・海氷密接度と観測データを週に1回ほど取得する必要がある。データは NCAR/UCAR の Research Data Archive (<https://rda.ucar.edu>) から取得し、ALEDAS 用にデコード・変換している。データの取得からデコード・変換までを一括して行うシェルスクリプトを作成し、大部分のプレ処理を自動化した。

さらに、ポスト処理の一環として、ALEDAS が正常に動作しているかを適宜確認するためのモニター (監視) ツールを作成している。スプレッド・RMSD (root mean square difference) ・increment とバイアス補正値を時系列で表示し、適宜システムの正常性を適宜確認できるようにしている。

さらに、ポスト処理の一環として、ALEDAS が正常に動作しているかを適宜確認するためのモニター (監視) ツールを作成している。スプレッド・RMSD (root mean square difference) ・increment とバイアス補正値を時系列で表示し、適宜システムの正常性を適宜確認できるようにしている。

### 4. ALERA の公開

本プロジェクトでこれまでに作成された ALERA 及び

ALERA2 のデータは、JAMSTEC のウェブページを介して外部に公開されている (図1) : <https://www.jamstec.go.jp/alera/>。ウェブページには利用に際しての注意事項や論文リストなどが掲載されている。データへのアクセスも可能で GrADS Data Server を通じてダウンロードが可能である。

また、準リアルタイムの ALERA3 のデータはアプリケーションラボの APL Virtualearth に適宜アップロードされている (図2) : <https://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/jp/>。APL Virtualearth は準リアルタイムの ALERA3 の1ヶ月データを自由に描画する可視化ツールである。地球上のあらゆる場所について表示したい日付や変数を選ぶことができる。また、NAO (北大西洋振動) 指数や日本上空の 850 hPa 気温の時系列などを過去数年に渡って表示する機能も装備されている。ALERA3 では入力する観測データ取得の制約によりリアルタイムから約1、2ヶ月前という準リアルタイム運用となる。ALERA3 は観測データが同化された大気 (再) 解析データなので実際に日本を通過した低気圧の様子などを実際の日付で見ることが可能となる。

### 5. まとめ

地球シミュレータ (ES4) のリプレースに際して、全球大気アンサンブルデータ同化システム ALEDAS の移植を行った。移植に際してプログラム実行のためのシェルスクリプト群を整備し、データ取得 (プレ処理) ・ES4 へのジョブ投入・ポスト処理・監視 (モニター) 処理の自動化を進めた。

ES4 に移植された ALEDAS を使って、最新版の ALERA3 全球アンサンブル大気再解析データを作成している。ALERA3 は2018年10月から延長されて準リアルタイムで作成が続けられている。同システムで、さらに過去に遡ってデータ作成が進められている。ALEDAS と ALERA3 を使って特定の観測のインパクトを評価する観測システム実験を、観測研究者と共同しながら適宜進めている。

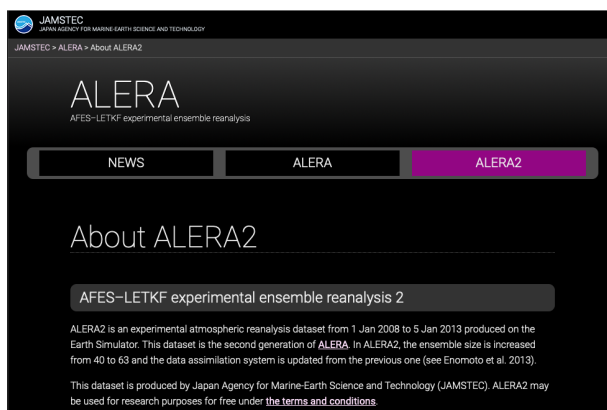


図1 ALERA, ALERA2 ダウンロード用のウェブページ。

ALEDAS で作成されたデータを外部公開するためのウェブページを準備した。JAMSTEC のウェブページから公開されていて、データのダウンロードも可能となっている。さらに、JAMSTEC アプリケーションラボの APL Virtualearth

では約1ヶ月前のALERA3データを可視化することが可能で、利用者が見たい場所・日付・変数などを選んで表示することができる。

## 謝辞

ALERAデータの外部公開に際して JAMSTEC の藤尾秀洋さんと吉田美智子さんに技術的なサポートをしていただきました。感謝いたします。

## 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 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](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, 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, 702, July 2020, <https://doi.org/10.3390/atmos11070702>.

- [4] 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, August 2021, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0152.1>.
- [5] Terasaki, K. and T. Miyoshi: Assimilating AMSU-A radiances with the NICAM-LETKF. *J. Meteor. Soc. Japan*, 95, 433–466, September 2017, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2017-028>.

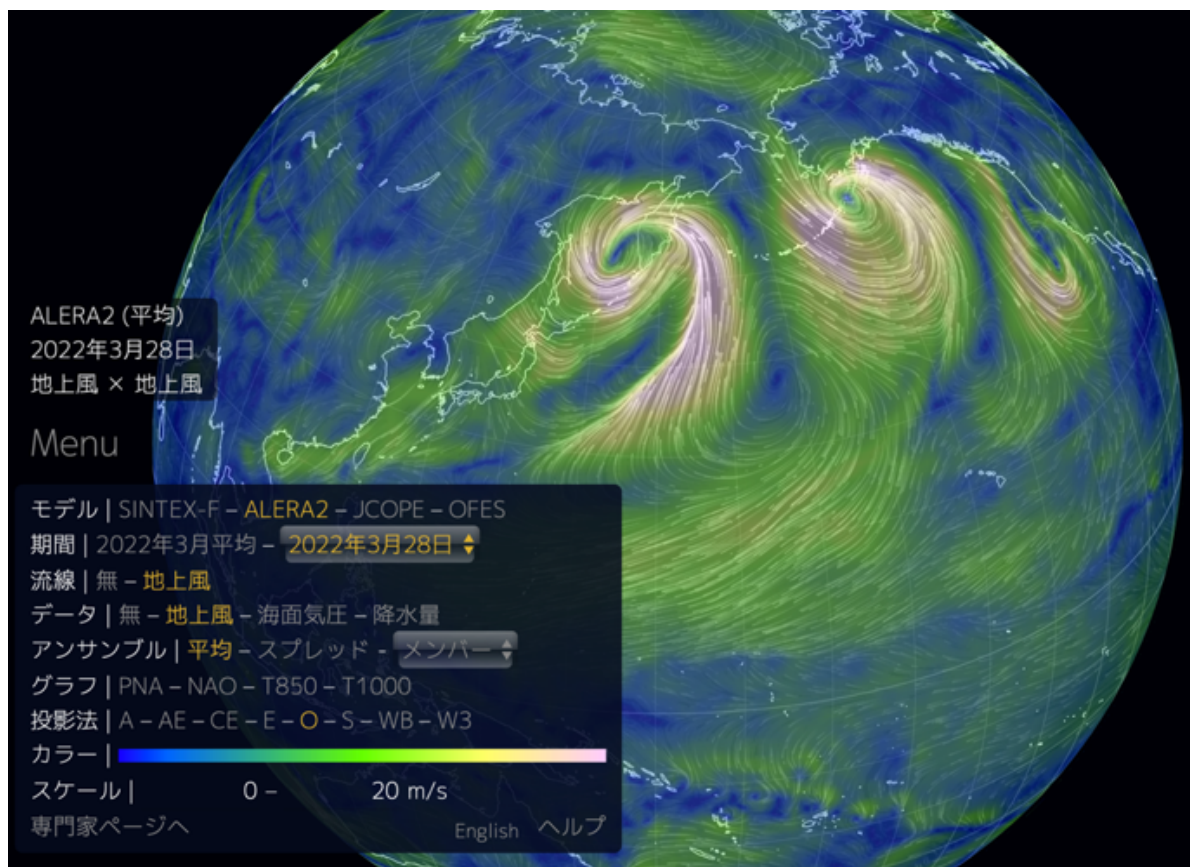


図2 APL VirtualearthでのALERA3大気場の表示例。2022年3月28日の日本周辺での地上風速を表示している。北海道の北側に低気圧が解析されている様子が見られる。左下のパネルから変数やカラースケールなどを調整することが可能。

## Observing System Research using Ensemble-based Data Assimilation Methods

### Project Representative

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

### Authors

Akira Yamazaki\*<sup>1</sup>

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

A global atmospheric ensemble data assimilation system, AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator)–LETKF (local ensemble transform Kalman filter) data assimilation system (ALEDAS) was successfully ported to the Earth Simulator (ES4). ALEDAS generates a new version of the global atmospheric experimental reanalysis ALERA3, which is updated from the system for ALERA2 and can assimilate vertical total (L56) and AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) radiance observations. ALERA3 has been produced in quasi-real time since December 2018. We set up a webpage to download the ALERA and ALERA2 datasets from the JASMTEC server. In addition, the APL Virtualearth webpage allows users to visualize quasi-real-time (1 or 2 month behind) atmospheric conditions of ALERA3.

**Keywords :** ensemble-based data assimilation, atmospheric global ensemble reanalysis, observing-system experiments, APL Virtualearth

### 1. Introduction

The Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) conducts a variety of observations around the world, from the polar regions to the tropics. The purpose of this project is to quantitatively evaluate the impact of the observations and to help design an optimal observation system by conducting an observation system experiment applying a pioneering data assimilation system based on an ensemble method.

We have our own global atmospheric ensemble data assimilation system, ALEDAS (AFES-LETKF data assimilation system) [1]. Using our assimilation system, it is possible to conduct experiments with or without assimilating specific observations (observing system experiments, e.g., [2],[3]), and to quantitatively evaluate the impact of the observations. Those researches can help to obtain guidelines for the design of optimal observation systems. In future, the application of our atmospheric global data assimilation system to the coupled atmosphere-ocean system is a challenging task.

In the previous annual report (April 2020–February 2021), we reported on the implementation of the EFSO (Ensemble Forecast Sensitivity to Observations) technique, a method for diagnosing the impact of individual observations [4], in ALEDAS.

### 2. Porting ALEDAS on ES4

With the update of the Earth Simulator, we ported the ALEDAS program and also updated a set of executable files. the ALEDAS execution is done by the following two shell scripts;

- setting numbers of execution cycles for the data assimilation experiment, and
- preprocessing (setting boundary conditions, etc.), creating

NQS files, and submission of jobs.

Two NQS files for 6-hour integration are composed of one for forecast and the other for data assimilation (analysis). Seven-day integration is performed in one execution cycle (submitting 28 NQS files per execution cycle). Jobs are run on VE nodes for both forecast and analysis parts.

The forecast part is composed of,

- conversion between the AFES formats and the LETKF formats,
  - 9-hour forecast (for the LETKF calculation), and
  - additional 3-hour forecast (for the EFSO calculation),
- and the analysis part is
- observation operator,
  - LETKF,
  - EFSO, and
  - updating bias corrections of AMSU-A satellite radiances [5].

The forecast part uses 4 logical hosts and 8 VEs, and the analysis part uses 1 logical host and 8 VEs. The computation time is about 420 seconds and 1400 seconds, respectively. As a post processing, we conduct the conversion (interpolation) of the model-level dataset to pressure-level datasets and the calculation of ensemble mean and spread fields on a front-end server.

The size of the output files for one execution cycle (7 days) is 1.6 TB, and the final size of the necessary files is about 20 TB per one year period. Note that the resolution of ALEDAS is T119L56 (1-degree mesh, model top about 0.1 hPa) and the size of ensemble members is 63.

We are now conducting observation system experiments using the ported ALEDAS to evaluate the observation impact by removing specific observations and generating the reanalysis data ALERA3. The observing system experiments are being



conducted in collaboration with JAMSTEC's atmospheric observation teams and observation campaigns sponsored by external research organizations.

### 3. ALERA3

The reanalysis data produced by ALEDAS is called ALERA (AFES-LETKF experimental reanalysis), and the version of ALERA has changed as ALEDAS has been updated. ALEDAS for the current version ALERA3 has been updated, which

- Increases model vertical levels from L48 (model top ~3 hPa) to L56 (~0.1 hPa), and
- enables to assimilate AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) satellite radiances.

The latter update is based on [5]. The system has been designed to be a quasi “real-time” system.; the ALERA3 period started in October 2018 and has been created for approximately 3.5 years up to quasi-real time (almost one month behind).

In ALERA3, the calculations are divided into streams per about an year: first stream from October 2018 to April 2020 (stream2018), second stream from March 1, 2020 at 00UTC to April 2021 (stream2020), and last stream, a quasi-real-time stream from March 1, 2021 at 00UTC (stream2021). Each stream is connected at May 1. The initial values of stream2020 and stream2021 are identical to ALERA3 on 00UTC March 1, 2019: that is, a spin-up period of stream2020 or stream2021 is 2 months. We are currently extending the ALERA3 period further into the past; we set the initial values in the same way as for stream2020 and are generating reanalysis data prior to 2018. The observation data used for ALERA3 can be obtained from January 2005 to the present.

In order to create the quasi-real-time ALERA3, it is necessary to download the observation datasets of sea surface temperature and sea ice concentration as boundary conditions, and atmospheric observation data frequently. The data are obtained from the Research Data Archive of NCAR/UCAR (<https://rda.ucar.edu>), and then decoded and converted for ALEDAS (pre-processing for ALEDAS). Shell scripts were created to automate most of the pre-processing works.

In addition, as part of the post-processing for ALEDAS, a monitoring tool has been created to check whether ALEDAS is operating properly. Time series of spread, RMSD (root mean square difference), increment, and bias correction values are displayed to check the system works normally.

### 4. ALERA datasets available online

The ALERA and ALERA2 data produced in this project are available to the public via the JAMSTEC web page: <https://www.jamstec.go.jp/alera/>. The web page includes usage of the data and lists of publications. Also, the data can be accessed and downloaded through the GrADS Data Server.

The quasi-real-time ALERA3 data are uploaded to “APL Virtualearth” in the Applications Laboratory website:

<https://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/jp/>. APL Virtualearth is a visualization website for freely drawing quasi-real-time ALERA3 data. You can choose the dates and variables you wish to display for any location on the earth. ALERA3 operates in quasi-real time, about one or two months ahead of real time, due to limitations in the data acquisition process. ALERA3 is an assimilated atmospheric (re)analysis data, so it is possible to see the low-pressure system that actually passed over Japan.

### 5. Summary

We ported ALEDAS, a global atmospheric ensemble data assimilation system, to the Earth Simulator (ES4) for its replacement. Shell scripts for program execution were developed to automate data acquisition (pre-processing), job submission to ES4, post-processing, and monitoring.

ALERA3, the latest version of global ensemble atmospheric reanalysis data is being produced using ALEDAS. Observing system experiments using ALEDAS and ALERA3 to assess the impact of specific observations are underway in collaboration with observational researchers.

A web page has been prepared to make ALERA data available to the public through JAMSTEC's web page, and the data can also be freely downloaded. In addition, APL Virtualearth in the JAMSTEC Application Laboratory allows users to visualize quasi-real-time ALERA3 data, and users can select the location, date, and variables they wish to view.

### Acknowledgement

The author would like to thank Hidehiro Fujio (Application Laboratory, JAMSTEC) and Michiko Yoshida (JAMSTEC) for their technical supports to make our reanalysis datasets available.

### 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](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, 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, 702, July 2020, <https://doi.org/10.3390/atmos11070702>.
- [4] 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, August 2021, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0152.1>.

- [5] Terasaki, K. and T. Miyoshi: Assimilating AMSU-A radiances with the NICAM-LETKF. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 433–466, September 2017, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2017-028>.