

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 アプリケーションラボ

著者

小守 信正 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

猪上 淳 国立極地研究所 国際北極環境研究センター

佐藤 和敏 国立極地研究所 国際北極環境研究センター

川合 義美 海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

服部 美紀 海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

山崎 哲 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

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) 2015年2月に日本と北米東岸をそれぞれ襲った寒波の事例について、北極海周辺の高層気象観測の頻度を上げ、砕氷船 *Lance* 号による特別高層観測データを同化することにより、これら中緯度域での予報精度が向上することを明らかにした。(2) 2012年初夏に黒潮・黒潮統流上で実施されたラジオゾンデ観測を同化することにより、その影響が亜熱帯ジェットにより移流され、アラスカ湾上の気圧低下をもたらすことを示した。(3) 学術研究船「白鳳丸」において2012年12月に実施した観測の影響評価を通じて、フィリピン海のコールドサージが熱帯域や南半球へ影響を与える過程を明らかにした。

また、南極点上の観測データを同化できるようにシステムを改良し、解析精度だけでなく数値的な安定性も向上させることに成功した。

キーワード：アンサンブルデータ同化、観測システム実験、N-ICE2015、亜熱帯ジェット、コールドサージ

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）を推定可能な高精度の再解析データセットという「科学的に有益な統合情報」を構築する。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、それ自体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、観測システムに関する世界的な「中核機関」となることを目指す。

2. 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 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。

3. 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、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。複数の stream に分かれているものの、2016 年度末時点で 2016 年 9 月まで到達している。

4. 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。

4.1. 北極海のラジオゾンデ観測が冬の中緯度の寒波の予報精度に与える影響

近年の中緯度で頻発している寒波は、北極海の海水減少に伴う大気循環の変化により引き起こされていると指摘されている。寒波に伴う低温や大雪は、甚大な被害をもたらすことから、精度の良い予報が必要である。これらの予報の精度を悪化させる原因として、観測点や観測

頻度の少ない北極海の影響が考えられる。これまでの研究では、夏の北極海でのラジオゾンデ観測データが北半球の気候循環の再現性や予報精度の向上に重要であると指摘されているが、冬の観測データの影響は明らかになっていない。そこで、北極圏に常設されている観測所や海水上の船上で取得されたラジオゾンデ観測が北半球の中緯度の寒波の予報精度に与える影響を観測システム実験(OSE)により調べた。

本研究では、陸上の観測所(通常観測2回と追加観測2回:図1)やノルウェーの砕氷船Lance号(N-ICE2015プロジェクト:追加観測2回:図1)で2015年の冬季に実施された追加観測を含んだ再解析データ(CTL)と取り除いた再解析データ(OSE)を作成し、それぞれを初期値として予報実験(CTLf, OSEf)を行った。ラジオゾンデ観測が寒波の予報精度に与える影響を調べるため、2016年2月9日の東アジアと2016年2月16日の北米に低温や大雪をもたらした低気圧に着目し、5.5日予報の結果から低気圧や寒気移流の予報精度を比較した。本研究の実験結果から、両事例共にCTLfとOSEfの予報精度に違いが見られることがわかったが、特に低気圧の経路に大きな違いがあった前者の事例を主に報告する。

CTLfでは、OSEfに比べ低気圧の位置を正確に再現できており、強い気圧勾配に伴う寒気の移流も予報できていた(図2上)。一方のOSEfは、低気圧の発達は再現できているが、位置の予報に大きな誤差が含まれていた。予報された上空の場を比較すると、トラフの位置の再現性の違いが見られており、これが地上低気圧の位置や発達に影響したと考えられる。上空の高渦位の追跡から、トラフなどの予報精度を悪化させているスプレッドの大きい領域は、北極を起源としていることがわかった。こ

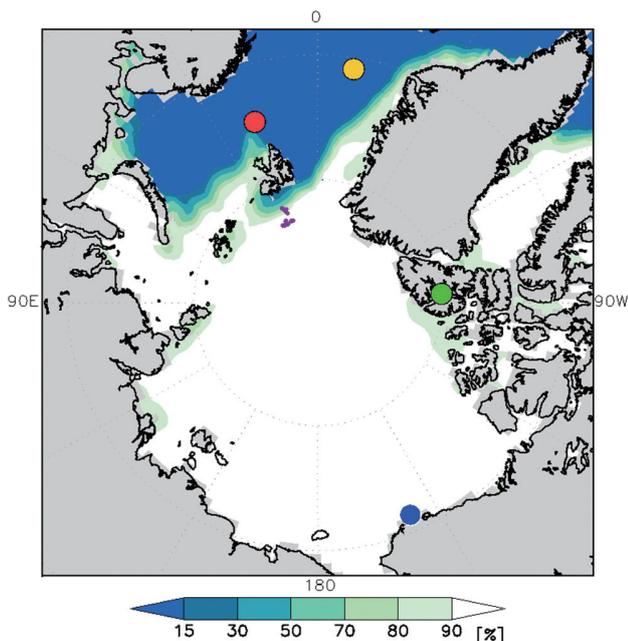


図1 ノルウェーの砕氷船Lance号の観測位置(紫点)と北極圏で2015年の冬季に特別観測を実施していた常設の観測地点(青: Barrow, 緑: Eureka, 赤: Bear Island, 黄: Jan Mayen)。カラーは2015年2月の海水氷結度を示している。

これらの結果から、偏西風の蛇行が大きい冬季は、上流に位置する北極海の観測が北半球全体の予報精度に影響していることがわかった。

(本節は [2],[PR1] を基にした。)

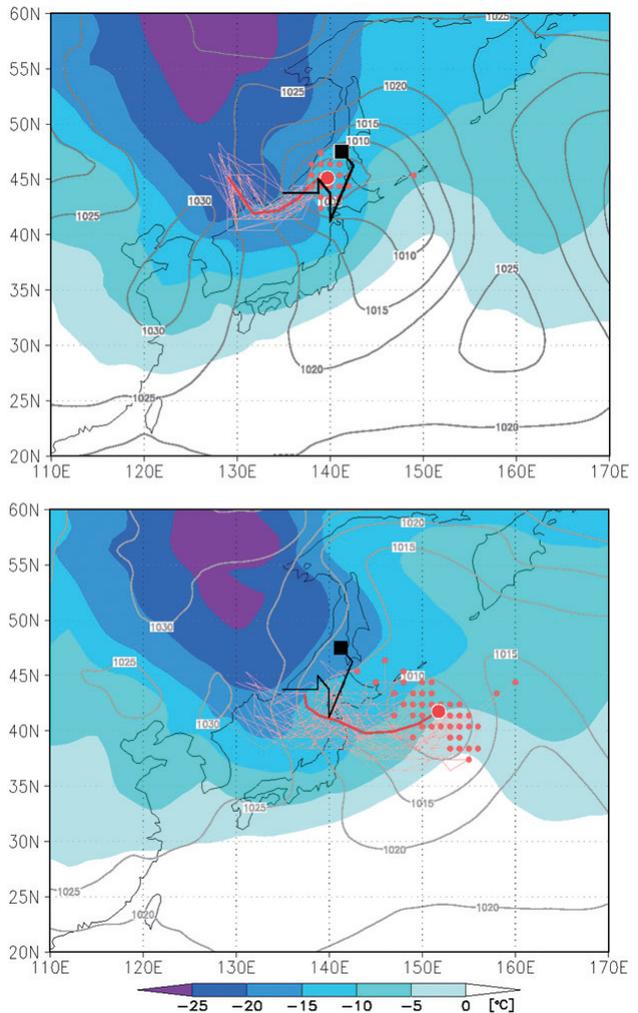


図2 北極海での追加観測を同化した実験(CTLf, 上)と同化しない実験(OSEf, 下)における5.5日後の850 hPa気温(色)と地上気圧(コンター)の予報結果(63メンバー平均)。線は、解析値(黒)、各アンサンブルメンバー(細赤線)、アンサンブル平均(太赤線)の低気圧経路を示している。

4.2. 黒潮・黒潮続流域でのラジオゾンデデータ同化の影響伝播

本研究では、2012年の初夏に黒潮及び黒潮続流上で実施されたラジオゾンデ観測の影響がどのように北太平洋上に広がり対流圏の循環の予測可能性に影響するかを調べた。2セットのラジオゾンデデータ(5月中旬の東シナ海および7月上旬の黒潮続流域のデータ)それぞれをアンサンブルデータ同化システムに追加する観測システム実験を行い、これらのデータを加えないものと比較した。5月、7月ともに、データを追加した影響は主に亜熱帯ジェットによる移流によって東方に伝播した。5月の強い亜熱帯ジェットにより対流圏上層の影響はわずか2日で北太平洋を横断した。亜熱帯ジェットが弱い7月には同化の影響は太平洋西部に留まる傾向にあったが、最終的には太平洋東部に到達した。どちらの事例でも、黒潮も

しくは黒潮続流上の追加のラジオゾンデデータの同化は、アラスカ湾上の気圧の低下につながった。

5月の事例について更に予報実験を行い、アラスカ湾上で生じた気圧の低下は3日前のアラスカ半島西方と日本東方まで遡って追跡することができることがわかった。異なる日に現れて異なる経路を通った影響が北太平洋中央部で合流し、アラスカ湾上の低気圧の強化に寄与した。本研究は西岸境界流上の大気観測の影響が西風により北太平洋を横断して遠方の予報スキルに及ぶ例を示した。

(本節は [3] を基にした。)

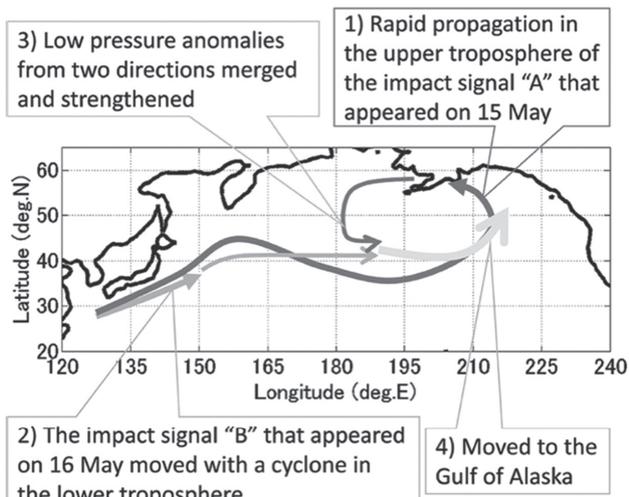


図3 練習船「長崎丸」による東シナ海・黒潮周辺でのラジオゾンデ観測を同化した影響が、亜熱帯ジェットにより移流され、アラスカ湾へと伝播する様子の模式図。2012年5月中旬の事例。

4.3. フィリピン海におけるコールドサージ観測による熱帯域および南半球へのインパクト

フィリピン海コールドサージの熱帯域および南半球に対する影響について、2012年12月に実施した学術研究船「白鳳丸」におけるラジオゾンデ観測データを用いた観測システム実験によって調べた。

観測データを同化することにより、熱帯域における北風サージはより強く解析された。またそれに伴い、北半球および南半球にみられた4つの発達中の熱帯低気圧がより強化されたことがわかった。更に、インド洋および北半球から南半球中緯度の太平洋の非常に広い範囲にわたって南北風の解析誤差が1-10%と大きく減少したことがわかった(図4)。コールドサージの観測が局所ハドレー循環を介して即座に赤道付近の上昇域と南北半球中緯度の補償下降流域に影響したために、早い段階で広域的にインパクトが広がったことがわかった。その後、インパクトは対流圏下層を伝搬した後、熱帯低気圧周辺で強く深まる傾向を示した。フィリピン海コールドサージの観測による影響の伝搬過程から、コールドサージの強弱がMJOに伴う大規模な対流システムの中で発生する熱帯低気圧や、そこから発達して南半球中緯度に移動した熱帯低気圧に至るまで、その強弱に影響を与えていることが示唆された。

(本節は [4] を基にした。)

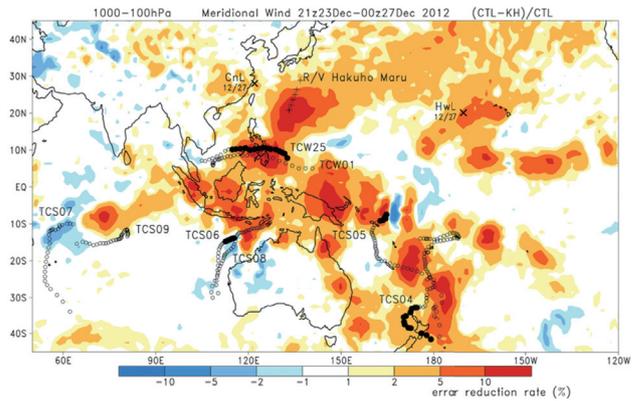


図4 2012年12月23日21時から12月27日0時で平均した1000-10 hPaにおける南北風の解析誤差軽減率。○は熱帯低気圧の経路を示し、●は平均対象期間における位置を示している。×印は低気圧システムの位置、+印は学術研究船「白鳳丸」の観測位置を示す。

5. 新たなシステム ALEDAS3 の開発に向けて

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、新たなデータ同化システム ALEDAS3 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。2016年度には、複数の観測データに対する予報の感度を同時に評価する診断手法 (EFSSO: Ensemble Forecast Sensitivity to Observation) の導入を完了した。

5.1. 南極点ゾンデ観測同化のための AFES-LETKF 同化システムの改良

ALEDAS2 の、極点近傍における同化アルゴリズムについて修正を行った。ALEDAS2 は全球のデータ同化システムとして高度なシステムであるが、最南/北端のモデル格子よりも南/北極に近い観測を同化できないという弱点があった。この弱点は、全球の観測を余さずに同化する際の障害となる。さらにこの弱点は ALEDAS2 の計算安定性に大きな影響を与えることがあった：南半球の夏季に予報サイクルで計算が発散することがしばしば起こり、その期間だけタイムステップを短く取る必要が生じたことである。この発散時に南極の対流圏界面付近でスプレッドが極端に大きくなり、その付近で計算不安定が起こっていることがわかった。元々南極点付近の対流圏上部は観測が少ないが、南極点直上のアムゼン・スコット基地では日々の現業ラジオゾンデ観測が行なわれている。ALEDAS2 はこのゾンデ観測を同化することができなかった。そこで、計算の安定化と全球の観測同化のために弱点を克服するアルゴリズムの修正を施した。

修正されたアルゴリズムを実装し (テスト実験)、旧アルゴリズムでの同化サイクル実験 (標準実験) と比較した。実験は、2012年7月 (冬) と2013年1月 (夏) について行われた。同化システムにより得られた解析場は、夏・冬ともに南極点付近のアンサンブルスプレッドがテスト実験で標準実験よりもかなり小さくなった (図5)。さらに、夏ではテスト実験で標準実験よりもタイムステップを長く取ることができた。同時に、欧州中期予報センター (ECMWF) が作成する大気再解析 ERA Interim に対する解

析値の差もテスト実験の方が南極の対流圏上部で小さくなり、アルゴリズムの修正が解析場の改善にも寄与した。アルゴリズムの修正に伴う LETKF (解析) 計算時間の増加は、全解析計算時間の数%に留まっており、ALEDAS2への修正アルゴリズムの実装は妥当であると考えられる。

(本節は [5] を基にした。)

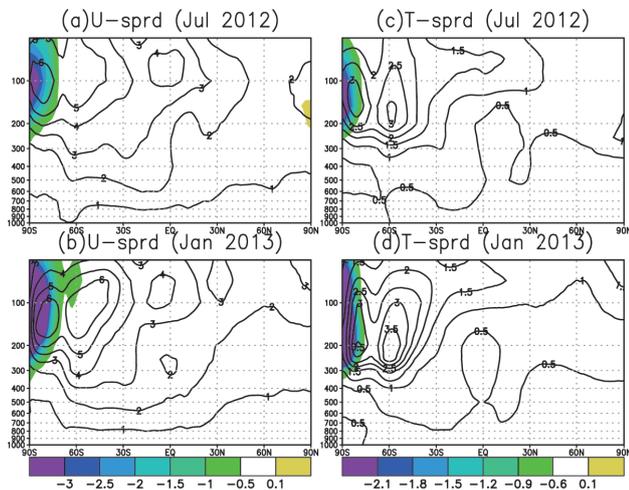


図5 (上段) 2012年7月と(下段) 2013年1月平均の(左列) 帯状平均風速 [m/s] と(右列) 気温 [K] の解析スプレッドの高度・緯度分布。陰影はテスト実験と標準実験との差、コンターはテスト実験のスプレッドを示す。

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 & L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, doi:10.1007/978-3-642-35088-7_21, February 2013.
- [2] Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, J.-H. Kim, M. Maturilli, K. Dethloff, S. R. Hudson, and M. A. Granskog: Improved forecasts of winter weather extremes over midlatitudes with extra Arctic observations. *J. Geophys. Res.: Oceans*, **122** (2), 775–787, doi:10.1002/2016JC012197, February 2017.
- [3] Kawai, Y., Q. Moteki, A. Kuwano-Yoshida, T. Enomoto, A. Manda, and H. Nakamura: Impact propagation of radiosonde data assimilation over the Kuroshio and Kuroshio Extension: Case study on the early summer (Baiu) in 2012. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95** (2), 71–90, doi:10.2151/jmsj.2017-004, March 2017.
- [4] Hattori, M., A. Yamazaki, S.-Y. Ogino, P. Wu, and J. Matsumoto: Impact of the radiosonde observations of cold surge over the Philippine Sea on the tropical region and the Southern Hemisphere in December 2012. *SOLA*, **13**, 19–24, doi:10.2151/sola.2017-004, February 2017.
- [5] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori: Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system. *SOLA*, **13**, 41–46, doi:10.2151/sola.2017-008, March 2017.

プレスリリース

- [PR1] 国立極地研究所・海洋研究開発機構：北極の気象観測で日本の寒波予測の精度が向上、2016年12月21日。

Observing System Research using Ensemble-based Data Assimilation Methods

Project Representative

Nobumasa Komori Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Nobumasa Komori Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Jun Inoue Arctic Environment Research Center, National Institute of Polar Research

Kazutoshi Sato Arctic Environment Research Center, National Institute of Polar Research

Yoshimi Kawai Research and Development Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Miki Hattori Research and Development Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Akira Yamazaki Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

By using our own ensemble-based data assimilation system, we conducted several observing system experiments to investigate the influence of additional observations on the accuracy of the analyses and forecasts. (1) Additional Arctic radiosonde observations from the Norwegian young sea ICE expedition (N-ICE2015) drifting ice camps and existing land stations during winter improved forecast skill and reduced uncertainties of weather extremes at midlatitudes of the Northern Hemisphere in February 2015. (2) The impact of assimilation of the extra radiosonde data taken over the Kuroshio and Kuroshio Extension in the early summer of 2012 propagates eastward mainly due to advection by the subtropical jet, and it leads to a decrease of pressure over the Gulf of Alaska. (3) The impact of the radiosonde observations of cold surge over the Philippine Sea on the tropical region and the Southern Hemisphere was revealed by the assimilation of radiosonde data obtained during the RV *Hakuho Maru* cruise KH-12-6 in late December 2012.

In addition, the data assimilation system was modified to allow using observations near the poles, and the accuracy of the analyses and numerical stability are improved.

Keywords: Ensemble-based data assimilation, observing system experiment, N-ICE2015, subtropical jet, cold surge

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 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. The impact of Arctic radiosonde observations on extreme weather events over mid latitudes

Recent cold winter extreme events over the Eurasia and North America have been considered to link to Arctic sea ice retreat. Accurate weather forecasts of cold events are required to reduce human and socioeconomic damages associated

with low temperature and heavy snowfalls. One of regions with high potential for improving weather forecast is Arctic Ocean, which has large error and uncertainty in reanalysis data. Previous studies have reported that Arctic radiosonde observation during summer influenced on skill of weather forecast over the Northern Hemisphere. However, the impact of extra radiosonde observation during winter has not been investigated. Here, using an observing system experiment (OSE), we investigated the impact of additional radiosonde observations from the Norwegian young sea ICE expedition (N-ICE 2015) drifting ice camps and exiting land stations during winter.

In this study, we prepared two 63-member ensemble reanalysis data: CTL, which includes radiosonde observations from ship and land stations, and OSE, which exclude these observation data, respectively. To assess the impact of the additional radiosonde observations at the RV *Lance* and land stations on forecast skill, two sets of ensemble forecasts (CTLf and OSEf hereafter) were performed using the two reanalyses as initial conditions. We investigated the forecast skills of cold events over East Asia on 9 February and North America on 16 February; however, we

focused on East Asian event in this report.

The CTLf can capture location of surface cyclone and cold advection associated with strong the sea-level-pressure (SLP) gradient. By contrast, the OSEf did not capture location of cyclone. There was large error in trough position in OSEf, causing error of location of surface cyclone. According to flow at upper level, large spread of geopotential height at 300 hPa over Arctic Ocean reached midlatitude within a week. These results suggest that extra Arctic observations during winter improved forecast of winter weather extremes over mid latitude.

(This section is based on [2].)

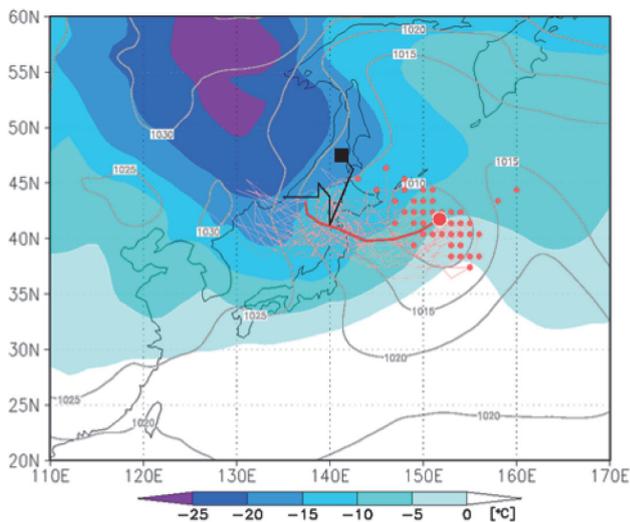


Fig. 1 Predicted 850-hPa temperature (color shading: °C) and SLP (contour: hPa) at 0000UTC 9 February 2016 in OSEf. Black and red lines show track of a cyclone from 1800UTC 7 February through 0000UTC 9 February in CTL and OSEf.

3. Impact propagation of radiosonde data assimilation over the Kuroshio and Kuroshio Extension

The present study investigated how impacts of the inclusion of radiosonde observations conducted locally in the early summer of 2012 over the Kuroshio and Kuroshio Extension (KE) can spread over time across the North Pacific basin to influence the predictability of synoptic and large-scale tropospheric circulation. For that purpose, OSEs were performed where each of two extra sets of radiosonde data, one obtained over the East China Sea in mid-May and the other over the KE in early July, was added to the ensemble data assimilation for comparison with the corresponding analyses without those data. The experiments show that the impact of the extra data assimilated propagates eastward mainly due to advection by the subtropical jet (STJ) in May and July. The strong STJ in May allows the upper-tropospheric impact to travel across the basin only within two days. Under the weaker STJ, the corresponding impact in July tends to remain within the western Pacific, until it eventually reaches the eastern portion of the basin. Assimilation of the extra radiosonde data over the Kuroshio or KE can lead to a decrease of pressure over the Gulf of Alaska in both May and July.

Additional forecast experiments based on the OSEs for May

revealed that the pressure decrease over the Gulf of Alaska can be traced back to the west of the Alaska Peninsula and to the east of Japan over three days. The impacts that originate on different dates via different paths merge over the central North Pacific, reinforcing the cyclone over the Gulf of Alaska. This study presents examples where the impacts of atmospheric observations over the western boundary current can propagate across the ocean basin through the westerlies to influence the forecast skill in distant regions.

(This section is based on [3].)

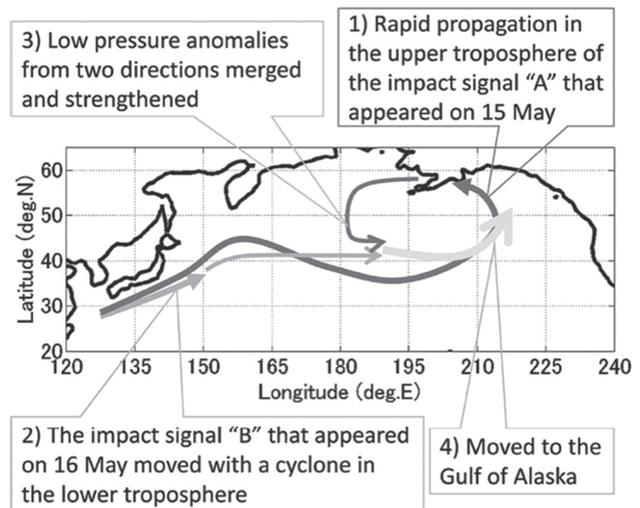


Fig. 2 Schematic picture of the propagation of the impact signals from the East China Sea to the Gulf of Alaska in the case of mid-May 2012.

4. Impact of the Radiosonde Observations of Cold Surge over the Philippine Sea on the Tropical Region and the Southern Hemisphere

An East Asian northerly cold surge greatly affects convective activity in the tropics not only in the northern hemisphere but also in the southern hemisphere.

In order to evaluate the impact of the cold surge on the tropical region and the Southern Hemisphere, observing system experiment was performed using radiosonde observations of cold surge over the Philippine Sea during the RV *Hakuho Maru* cruise KH-12-6 in late December 2012.

Due to the assimilation of the observation data, northerly surges around the Philippines and the Indonesian Maritime Continent were modified stronger. In addition, cyclonic rotations for the tropical cyclones, including the cyclone at 40S, were more intensified. Furthermore, the analysis errors were reduced by 1 to 10% over the Maritime Continent and the Pacific Ocean in the Northern and Southern Hemisphere (Fig. 3).

The impact immediately propagated up to the updraft area near the equator and to the mid-latitude downdraft regions through the local Hadley circulation. After the impact spread widely in the lower troposphere, large impacts were deepened around the TCs later. The propagation process of the impact of additional observations suggest that the cold surge could affect a

large-scale circulation including cyclones in the tropics and the mid-latitude regions.

(This section is based on [4].)

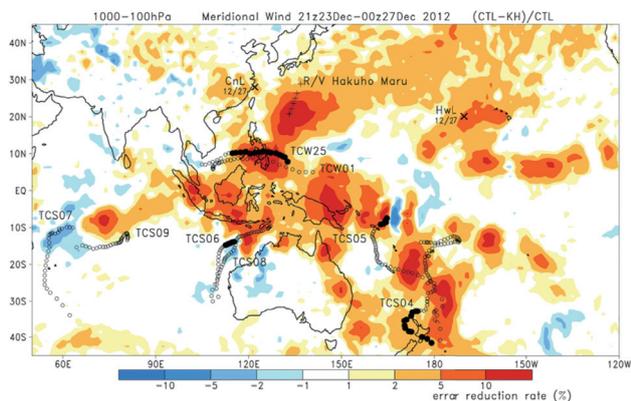


Fig. 3 Analysis error reduction rate of the meridional wind (shading) between 1000 and 10 hPa averaged from 21 UTC on 23 December to 00 UTC on 27 December 2012. The black circles indicate the best tracks of tropical cyclones and the black filled circles indicate those during the averaged period. The x-marks indicate locations of low pressure system. The crosshairs indicate radiosonde observation points from RV Hakuho Maru.

5. Improvement of the observation operators in the AFES-LETKF data assimilation system to enable use of observations in the vicinity of the poles

The interpolation algorithm in the observation operators which convert the model gridded data to the observed quantity of ALEDAS2 have been modified to allow using observations near the poles. In the modified algorithm, the observation operator can be defined for the observations south (north) of the southernmost (northernmost) model grids, so that the ALEDAS2 with this algorithm can assimilate daily radiosonde observations at the South Pole, while the original ALEDAS2 could not.

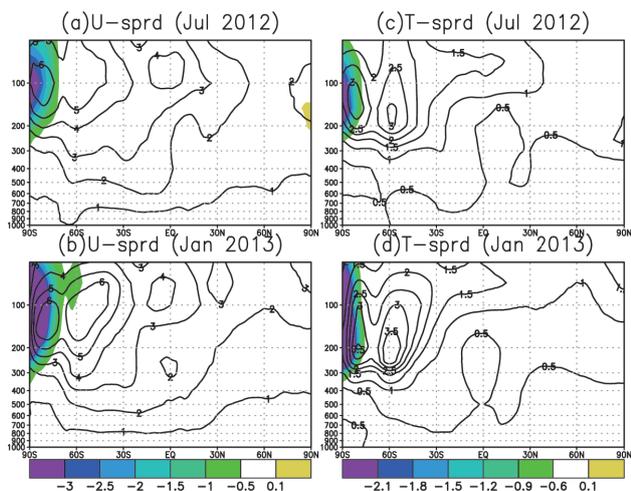


Fig. 4 Zonal-mean structures of analysis ensemble spread difference (shades) between the test and control experiments (test minus control) for (a, b) the zonal wind [m/s] and (c, d) temperature [K] averaged during the periods of (a, c) July 2012 and (b, d) January 2013. The contours indicate the spread in the test experiment.

An experiment using ALEDAS2 with the new implementation (test experiment) was performed and compared with the experiment with the original ALEDAS2 (control) for austral winter (July 2012) and summer (January 2013) months. The results showed that the experiment with the new implementation suppressed artificial expansion of the analysis ensemble spread in the upper troposphere and the lower stratosphere over the Antarctic regions (Fig. 4) and stabilize its data assimilation forecast cycle, and improved the analysis ensemble mean fields. Computational cost became only slightly larger in the LETKF part of the new ALEDAS2. The new LETKF algorithms would be useful for global atmospheric models based on the longitude-latitude grid.

(This section is based on [5].)

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 & L. Xu (ed.), chap. 21, pp. 509–526, Springer, doi:10.1007/978-3-642-35088-7_21, February 2013.
- [2] Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, J.-H. Kim, M. Maturilli, K. Dethloff, S. R. Hudson, and M. A. Granskog: Improved forecasts of winter weather extremes over midlatitudes with extra Arctic observations. *J. Geophys. Res.: Oceans*, **122** (2), 775–787, doi:10.1002/2016JC012197, February 2017.
- [3] Kawai, Y., Q. Moteki, A. Kuwano-Yoshida, T. Enomoto, A. Manda, and H. Nakamura: Impact propagation of radiosonde data assimilation over the Kuroshio and Kuroshio Extension: Case study on the early summer (Baiu) in 2012. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95** (2), 71–90, doi:10.2151/jmsj.2017-004, March 2017.
- [4] Hattori, M., A. Yamazaki, S.-Y. Ogino, P. Wu, and J. Matsumoto: Impact of the radiosonde observations of cold surge over the Philippine Sea on the tropical region and the Southern Hemisphere in December 2012. *SOLA*, **13**, 19–24, doi:10.2151/sola.2017-004, February 2017.
- [5] Yamazaki, A., T. Enomoto, T. Miyoshi, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori: Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system. *SOLA*, **13**, 41–46, doi:10.2151/sola.2017-008, March 2017.

