

衛星搭載風ライダーの同化に向けて：  
観測システムシミュレーション実験(OSSE)を用いた数値予報インパクト調査

Toward the assimilation of space-borne wind lidar – evaluation of impact on numerical weather prediction based on observing system simulation experiment (OSSE)

岡本幸三<sup>1,2</sup>、石井昌憲<sup>2</sup>、Philippe Baron<sup>2</sup>、落合啓<sup>2</sup>、石橋俊之<sup>1</sup>、田中泰宙<sup>3</sup>、  
蒲生京佳<sup>4</sup>、高橋千賀子<sup>4</sup>

K. Okamoto<sup>1</sup>, S. Ishii<sup>2</sup>, P. Baron<sup>2</sup>, S. Ochiai<sup>2</sup>, T. Ishibashi<sup>1</sup>, T. Tanaka<sup>1</sup>,  
K. Gamo<sup>3</sup>, C. Takahashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>気象研究所、<sup>2</sup>NICT、<sup>3</sup>気象庁、<sup>4</sup>富士通エフ・アイ・ピー

<sup>1</sup>JMA/MRI, <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>JMA, <sup>4</sup>Fujitsu FIP

## Abstract

Spaceborne Doppler Wind Lidar (DWL) will be significantly useful for Numerical Weather Prediction (NWP) by providing global wind profile observations. Coherent DWLs have been developed by NICT for a decade and feasibility study of spaceborne DWL has recently begun among Japanese science community. To assess the impact of the DWL, we have been developing the Integrated Satellite Observation SIMulator for a spaceborne coherent Doppler lidar (ISOSIM-L, Ishii et al 2013) and Observing System Simulation Experiment (OSSE).

In the OSSE, quasi-truth atmospheric field and corresponding aerosol, which are input of ISOSIM-L, are generated based on the Sensitivity Observing System Experiment (SOSE) approach (Marseille et al. 2008) and the global aerosol model of MRI. Simulated line-of-sight (LOS) wind speeds are assimilated with the four-dimensional variational (4D-Var) scheme based on the operational global data assimilation system at JMA. Preliminary results demonstrate the importance of quality control procedures based on the LOS wind error estimated by ISOSIM and that DWL assimilation shows neutral or slightly positive impact on forecast skills.

### 1. はじめに

今日の数値予報システムでは、初期値の作成のため多様なデータが同化されている。その中で気温や水蒸気は、ゾンデや衛星搭載のサウンダなどにより、全球3次元的な観測データが得られる。一方風については、ゾンデやウインドプロファイラ、航空機、衛星搭載の可視・赤外イメージャなどにより観測が行われているが、海上では3次元情報を広域で取得することは難しい。衛星搭載のドップラー風ライダー (DWL) は、全球的な風の3次元観測を実施するための有望な手段の一つである。

本研究では、数値予報精度に対する DWL の影響を客観的に評価するために、観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を実施した。OSSE は、想定される新しい観測手段をシミュレートし、データ同化システムを用いてその影響を評価する手法である。本研究では、気象庁の現業全球データ同化システムを用いて、衛星搭載 DWL の OSSE を行った初期結果について報告する。

### 2. OSSE とライダーシミュレーション

OSSE を実行するためには、次のような開発が必要となる：

- ① 同化システムの作成
- ② DWL シミュレーションデータ (以下、DWL データ) の作成
- ③ 同化実験の実施、解析・予報へのインパクトの評価

①としては、気象庁の現業全球データ同化システムを用いる。現業同化システムでは、世界中から収集された様々な観測データに対して、品質管理やバイアスの補正処理を適用し、4次元変分法 (4D-Var) という高度な手法でデータ同化を行う。現業同化システムを用いることにより、気象庁で開発されている様々な知見・検証ツールが利用できることに加え、本研究開発の成果を速やかに現業システムに導入できるという大きな利点がある。

②については、大気の「疑似真値場」を作成し、ライダーシミュレータを用いて DWL 風データを作成する。「疑似真値場」は、SOSE (Sensitivity Observing System Experiment) <sup>2)</sup> という手法を元に作成する。この SOSE 疑似真値場 (SOSE pseudo-truth、または SOSE-truth) は、予報誤差に対する感度場を用いて修正した第一推定値に、実観測データを同化することによって作成する。これにより、実観測データと整合し、予報誤差を減少させる場として、「疑似真値場」を作成することができる。ライダーシミュレーションにおいてはエアロゾルや雲の分布・量・特性を必要とするが、SOSE-truth は風、気温、地上気圧、比湿といった基本的な気象要素しか持たない。そこでエアロゾルについては、気象研究所で開発された全球エアロゾルモデル MASINGAR (Model of Aerosol Species IN the Global Atmosphere) <sup>3)</sup> を用いて作成する。SOSE-truth の風場で拘束しながら MASINGAR を走らせることにより、SOSE-truth と整合的なエアロゾル場が作成される。雲は、SOSE-truth を作成する際に実行したデータ同化サイクルで生成された、第一推定値の雲量・雲氷量を用いる。ライダーシミュレータは、NICT で開発されている ISOSIM-L (Integrated Satellite Observation SIMulator for a spaceborne coherent Doppler Lidar) <sup>4)</sup> を用いる。ISOSIM-L は、指定したライダーパラメータや衛星軌道に応じて、コヒーレントドップラーライダーの受信電力や信号対雑音比を計算し、視線方向風速や誤差の計算を行う。

③の同化実験は、現業で用いられている全データと、②で作成された DWL データを、①の同化システムで同化する。以上の処理の流れを図 1 に示す。

### 3. データ同化処理の概要と実験初期検証

現時点で想定している DWL は、コヒーレント方式で波長 2.0 $\mu\text{m}$ 、パルスエネルギー125mJ、繰り返し周波数 30Hz、天底角度 35 度で方位角 45 度と 135 度に 2 本のレーザーを射出する。地方時 18 時の太陽同期軌道衛星と、低傾斜角軌道衛星 (ここでは TRMM 衛星を参考にする) に搭載することを想定し、DWL の有無や衛星軌道の違いによる解析・予報精度の違いを検証する。ISOSIM-L ではライダー受信信号の空間平均処理を行っており、水平距離は 100km、鉛直距離は 0.5km (地表 3 km 以下)、1km (3~9 km)、2km (9~22 km) で設定されている。これにより鉛直 19 層の風プロファイルが算出される。

こうして算出された DWL データについて、データ同化処理では視線方向の風速をそのまま (つまり東西風・南北風に変換せずに) 同化する。データ同化の前処理において、誤差の大きなデータは除くという品質管理を行う。品質管理の閾値は、高度に応じて 2~3m/s という値を設定している。この閾値は、

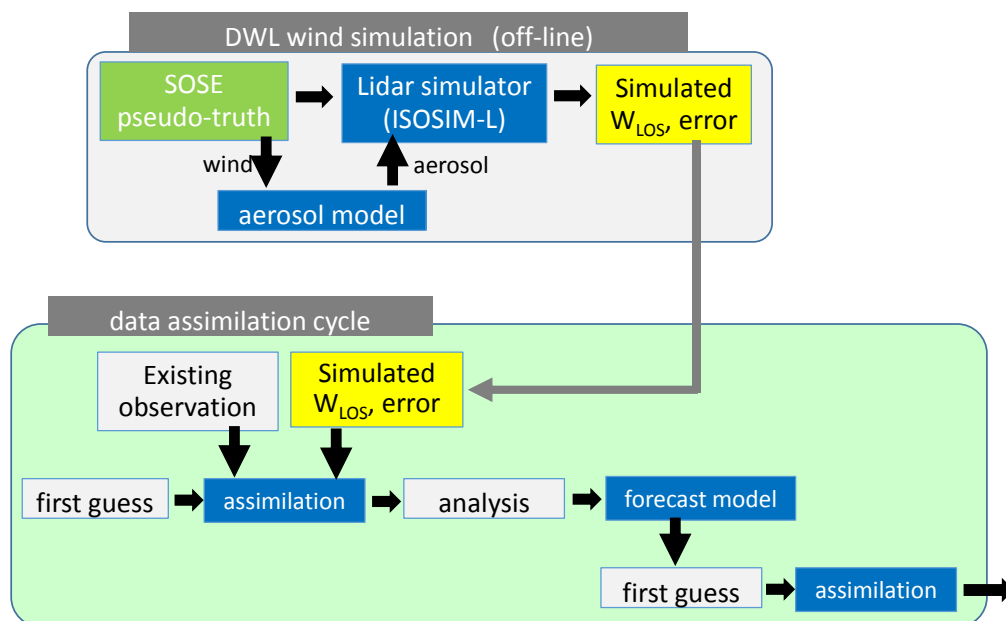


Fig.1: A flow of SOSE-OSSE. The top box is a DWL wind simulation step and the bottom box is a data assimilation step.

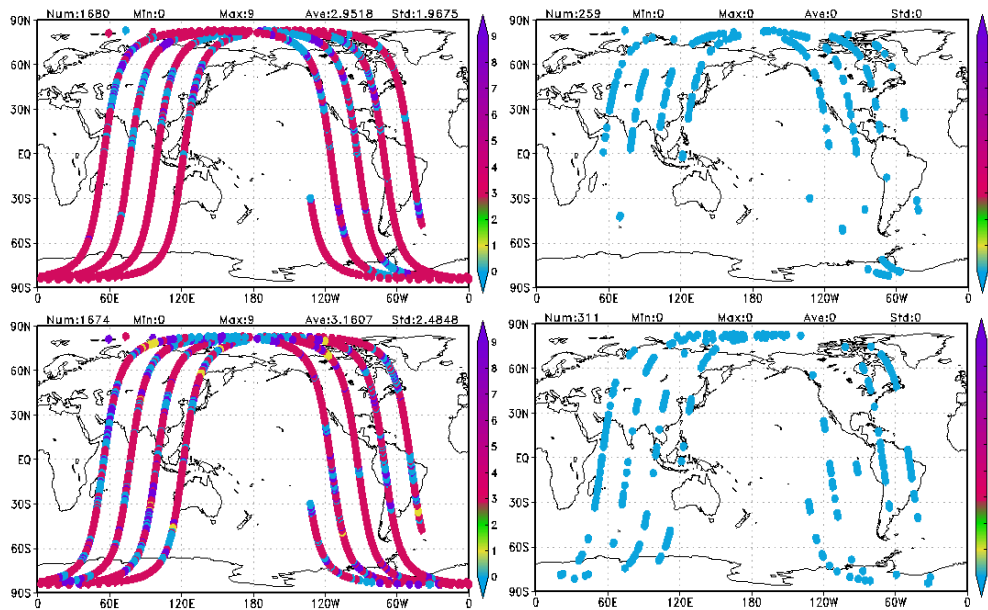


Fig.2: DWL data around (top) 11 km and (bottom) 2.7 km altitude from 09 UTC through 15 UTC on 1 August 2010. (Left) DWLs before quality control (QC) procedures and (right) DWL that passed all QC procedures are plotted.

現業で使われている大気追跡風 (AMV) の値を参考に決めたものだが、今後データ同化実験をいくつか繰り返しながら、調整していく必要がある。さらに、数値予報モデルから計算される第一推定値の視線風速と比べ、差が大きな DWL データを除く。ここで用いた 4D-Var の水平分解能は約 110km であり、これは DWL データの水平距離とほぼ同じである。このため、AMV など他の多くの衛星データに適用している間引き処理は、DWL データに対しては行わない。データ同化実験は 2010 年 7 月 20 日 00UTC を初期値とする解析から開始し、8 月 1 日から DWL データを導入した。

図 2 は、8 月 1 日 12UTC の解析で処理された極軌道衛星搭載 DWL データ数の分布であり、左図は品質管理前、右図は品質管理後の DWL データを示している。品質管理によって、南半球海上の対流圏上層で多くのデータが排除されている。これはエアロゾルが比較的に少ないため、ライダーの後方散乱強度が弱く、推定誤差が大きいためである。一方北半球中緯度の大陸付近や対流圏下層における南半球海上でデータが多いのは、大陸起源エアロゾルや海塩エアロゾルの分布を反映しているためと考えられる。

DWL を同化した解析値を初期値とした予報精度を、DWL を同化していない予報とを比較すると、気温や高度に対しては有意な差は見られなかったものの、下層風では小さいながらも有意な改善が確認された (図 3)。さらに、DWL の有無に対する台風位置の予報誤差を比べたが、両者には有意な差は見ら

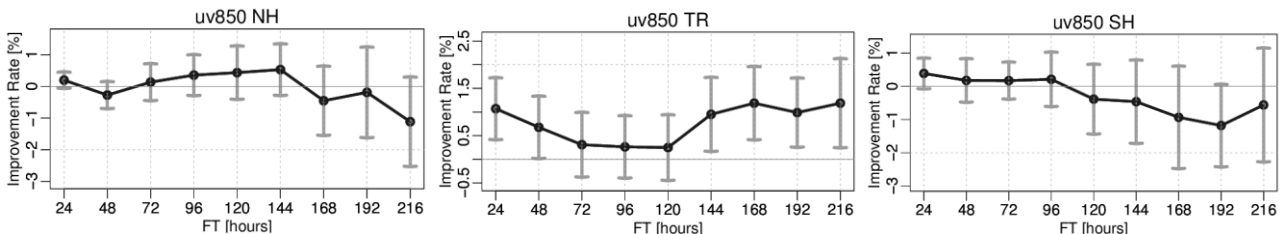


Fig.3 forecast improvement rate for wind at 850 hPa as a function of forecast time (FT) in the Northern Hemisphere (left panel), Tropic (center) and Southern Hemisphere (right). The Improvement rate is calculated by  $(RMSE_{cntl} - RMSE_{test})/RMSE_{cntl}$ , where  $RMSE_{test}$  ( $RMSE_{cntl}$ ) is forecast RMSE when DWL is (not) assimilated. Vertical error bars indicate the statistical confidence (t-test) at the 95% level.

れなかった。TRMM 軌道を想定した DWL データを同化した場合にも、同様の結果が得られている。

#### 4. まとめと今後の計画

衛星搭載 DWL の数値予報へのインパクトを客観的に評価するため、疑似真値大気場及びそれに整合したエアロゾル場を作成し、それらを用いて DWL 視線風速データをシミュレートし、気象庁の全球データ同化システムで同化した。この OSSE によって、DWL は台風進路予報や気温・高度場では有意な差をもたらさないものの、対流圏下層の風速の予報精度をわずかではあるが有意に改善することが確認された。

現時点では、ライダーシミュレータ ISOSIM-L やデータ同化における品質管理などには改善の余地があるため、今後もこれらの処理について見直しを行っていながら、OSSE を実施していく計画である。また今回の OSSE はある特定のライダーや、2 種類の衛星軌道を想定したが、ライダーパラメータや衛星軌道、LOS 風の算出距離などを調整し、より大きなインパクトが得られるような組み合わせを調査する。

#### 5. 参考文献

1. Okamoto, K., S. Ishii, P. Baron, T. Ishibashi, and T. Tanaka, 2014: Observing Simulation System Experiment (OSSE) of Spaceborne Doppler Wind Lidar. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling.
2. Marseille, G. J., A. Stoffelen, and J. Barkmeijer, 2008a: Sensitivity observing system experiment (SOSE): A new effective NWP - based tool in designing the global observing system, *Tellus A*, **60**, 216–233.
3. Tanaka, T. Y. and Chiba, M., 2005: Global simulation of dust aerosol with a chemical transport model, MASINGAR, *J. Meteor. Soc. Japan*, **83A**, 255–278.
4. Baron P., S. Ishii, K. Mizutani, T. Itabe, and M. Yasui, 2012: The Integrated Satellite Observation SIMulator for a Coherent Doppler Lidar (ISOSIM-L). The proceedings of 30<sup>th</sup> Japanese laser sensing symposium, Kagawa, Japan, 6–7 September 2012, ISBN:978-4-9902916-6-2.