

衛星搭載ドップラー風ライダーによる全球風観測の検討

石井 昌憲¹, 山中 沙羅¹, 竹中 秀樹¹, 岡本 幸三²,
岡部 いづみ², 関山 剛², 久保田 拓志³, 藤平 耕一³, 今井 正³,
境澤 大亮³, 今村 俊介³, 沖 理子³, 宮本 佳明⁴, 松本紋子⁵, 佐藤 篤⁶,
西澤智明⁷, 竹見 哲也⁸, 岡本 創⁹, 佐藤 正樹¹⁰, 岩崎 俊樹¹¹

¹ 東京都立大学 (〒195-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

² 気象庁気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

³ 宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1)

⁴ 慶應大学 (〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤 5322)

⁵ ANA ホールディングス株式会社 (〒105-0021 東京都港区東新橋 1-5-2 汐留シティセンター)

⁶ 東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

⁷ 国立環境研究所 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2)

⁸ 京都大学 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁹ 九州大学応用力学研究所 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

¹⁰ 東京大学大気海洋研究所 (〒277-8564 千葉県柏市柏野の葉 5-1-5)

¹¹ 東北大学 (〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3)

Global wind profiling with future space-based Doppler wind lidar

Shoken ISHII¹, Sara YAMANAKA¹, Hideki TAKENAKA¹, Kozo OKAMOTO²,
Izumi OKABE, Tsuyoshi T. SEKIYAMA, Takuji KUBOTA³, Koichi FUJIHIRA³, Tadashi IMAI³,
Daisuke SAKAIZAWA³, Shunsuke IMAMURA³, Riko OKI³, Yoshiaki MIYAMOTO⁴,
Ayako MATSUMOTO⁵, Atsushi SATO⁶, Tomoaki NISHIZAWA⁷, Testuya TAKEMI⁸,
Hajime OKAMOTO⁹, Masaki SATOH¹⁰, and Toshiki IWASAKI¹¹

¹ Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka Hino, Tokyo 191-0065

² Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine Tsukuba, Ibaraki 305-0052

³ Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8505

⁴ Keio University, 5322 Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa 252-0882

⁵ ANA HOLDINGS INC., 1-5-2 Higashi-Shimbashi Minato-ku, Tokyo 105-7140

⁶ Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama Kasumi-cho Taihaku-ku Sendai, Miyagi 982-8577

⁷ National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa Tsukuba, Ibaraki 305-8506

⁸ Kyoto University, Gokasho Uji, Kyoto 611-0011

⁹ Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu Tokyo, 6-1 Kasuga Park, Kasuga, Fukuoka 816-8580

¹⁰ Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8564

¹¹ Tohoku University, 6-3 Aoba Aramaki Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578

Abstract: Improvement of numerical weather prediction is very important for disaster prevention and disaster risk reduction. The current global wind observation system has the problem that it is heavily biased to temperature- and water-vapor-related observations. Although it is improving due to recent advances in data assimilation technology and new satellite observations, there is still a strong demand for global wind profiling. The European Space Agency launched the space-based Doppler Wind Lidar (DWL) Aeolus in August 2018 to realize the global wind profiling, and to show importance of the global wind profiling for the numerical weather prediction. Tokyo Metropolitan University conducts a space-based coherent DWL with JAXA, JMA-Meteorological Research Institute, ANA Holdings, NIES, the University of Tokyo, Tohoku University, Kyoto University and others. In this presentation, we will report on the contents of the feasibility study conducted in FY2020.

Key Words: Lidar, Doppler Wind Lidar, Space-based, Global wind profiling, NWP

1. はじめに

気象災害から命や財産を守るためには、予測に基づいた準備や行動が必要である。予測に基づいた準備や行動のためには、数値予報精度が重要である。風は、最も基本的な気象要素に関わらず、全球的に鉛直分布を観測する手段が、気温や水蒸気の観測手段と比べ不足しているという課題がある¹。近年のデータ同化技術の進展や新しい衛星観測の登場により改善しつつあるものの、依然として全球的な風の高度分布観測の要請は強い。欧州宇宙機関 ESA は 2018 年 8 月にドップラー風ライダー (Doppler Wind Lidar, 以下 DWL) 衛星 Aeolus を打上げ、宇宙から全球の風高度分布観測を実現し、全球の風高度分布観測が数値予報の予測精度向上に大きく貢献出来ることを示した。Aeolus は、2021 年 12 月に定常運用終了を迎え、その後 1 年間の後期運用へと移行する予定である。数値予報コミュニティをはじめ、気象研究者のコミュニティから Aeolus の後継ミッションが期待されている。

東京都立大学では、JAXA、気象研究所、ANA ホールディングス、NIES、東大、東北大、京都大他とともに、数値予報の予測精度の向上、風予測精度向上による航空機や船舶の運航計画の最適化 (燃料使用量や CO₂ 排出量の削減)、高精度な全球風プロダクトによる気候変動の予測への貢献、大気物質循環メカニズムの理解等を目的として、赤外レーザを用いるコヒーレント DWL (CDWL) 搭載を検討している。本発表では、2020 年度に実施した実現性検討内容について報告する。

2. 日本の衛星搭載ドップラー風ライダーの検討

2021 年度に実施された CDWL 衛星の検討をもとにまとめた CDWL 衛星の観測概略図と諸元を Figure 1 と Table 1 に示す。検討されている CDWL 衛星の高度と軌道は、300km・極軌道である。搭載される DWL のレーザ波長は 2-と 1.5- μm の 2 つである。レーザ光は、天底からナディア角度 35 度、衛星の進行方向に対して方位角 90 度の方向に射出される。衛星の進行方向に対して方位角 90 度にレーザ光を射出する理由の一つは、衛星自身もドップラー速度が 0 m/s となるからである。2020 年までは、高度 12km より高い高度についても検討してきたが、標準的な風プロダクトの観測高度は 12 km までとなった。標準的な風プロダクトの観測高度は 12 km までとなっているが、12 km より高高度についてもデータ取得が行われる。また、スピノプロダクトとして、エアロゾル・雲層の識別、減衰付き後方散乱係数等が検討されることになった。

2020 年度までのユーザー要求では、①数値予報、台風の進路予測に使う風観測データとして全球的風の高度分布、②衛星大気追跡風の課題解決に結びつく風の高度分布、③最適化な航空機航路を計画するために予測精度の良い風情報等が挙げられていた。2021 年度での検討では、これらに加えて、④黄砂や航空機運航の支障となる火山灰等のエアロゾルの高度分布、⑤乱気流予測の指標として用いる渦拡散率の精度向上のために予測精度が良い風情報、がユーザー要求として追加された。

Table 1. Specifications of future space-based CDWL.

Space-based CDWL	
Orbital altitude Orbit	<300 km / Polar
Transmitter	Plan 1 : 2- μm , 90 mJ 30 Hz x 2 Plan 2 : 1.5- μm 50 mJ 150 Hz
Receiver	0.6 m (1 look)
Target horizontal resolution	<100 km
Target vertical resolution	Altitude 0-2 km: <0.5 km Altitude 2-12 km: <1 km
Nadir angle	35 deg
Azimuth angle	90 deg (along track of satellite)
Target horizontal wind speed	-150 - +150 m/sec
Data delay	<3 hour

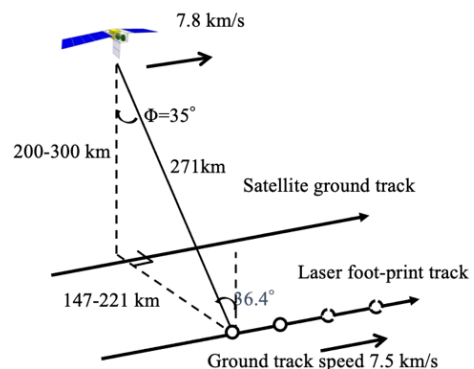


Figure 1. Down-looking wind profile observation geometry of space-based CDWL.

3. 宇宙からの風観測の動向

2018 年 8 月に打ち上げられた Aeolus の運用は、性能検証期間 6 ヶ月後、定常運用 3 年、後期運用 1 年とされている。現在の予定では、Aeolus の後期運用は、2022 年 12 月末までとされている。そのため、ESA は

2030年頃の打上げを想定した Aeolus の後継機（以下、Aeolus-2）の検討を開始している。欧州気象衛星開発機構は、受動型風観測センサーを搭載する気象観測衛星 Meteosat を 2022 年に打上げ、15 年から 20 年の運用予定している。JAXA-ESA は、ドップラー雲レーダ搭載 EarthCARE 衛星を 2023 年に打上げを予定しており、数年にわたる雲内部の鉛直流観測が期待される。日本国内では、2029 年に日本の気象観測衛星『ひまわり後継機』の運用が開始され、受動型センサーによる風観測も継続して実現する。ひまわり後継機では、イメージングフーリエ変換赤外分光計と DWL による全球のシナジー風観測の提案がある²。日本独自の DWL 衛星実現にむけては、単独の DWL 衛星による検討だけでなく、他の風観測衛星とのシナジー観測や他の地球観測ミッションとの連携についても検討する必要がある。

4. まとめ

将来の衛星搭載 DWL の実現を目指し、東京都立大学、JAXA、気象研究所、ANA ホールディングス、NIES、大学、国立研究機関によって、技術的および科学的観点から検討が行われている。JAXA-ANA 間では、宇宙ビジネスという新しい観点からの検討も行われている。衛星搭載 CDWL の実現は、数値予報等の予測精度向上や他の衛星観測システムとのシナジー観測による科学的な貢献だけでなく、観測データが新たな価値を創出することによる新たな宇宙ビジネス創出への期待も大きい。引き続き、衛星搭載 CDWL の実現に向けて検討を進めて行く。

謝 辞

本研究（の一部）では JSPS 科研費 19K04849, 19H01973, 17H06139 の助成を受けた。

シミュレーション実験では情報通信研究機構のシミュレータを利用した、同機構関係者のご支援に感謝致します。また、シミュレーションシステムの調整では、富士通 Japan 関係者のご支援に感謝いたします。

参考文献

- 1) Baker et al.: Bull. Am. Meteorol. Soc., **95** (2014), 543-564.
- 2) Okaoto et al.: J. Laser Radar Soc. Japan, **95** (2020), 67-71.