

# 衛星搭載 DIAL によるグローバルな水蒸気分布観測の提案

阿保 真<sup>1</sup>, 長澤 親生<sup>1</sup>, 柴田 泰邦<sup>1</sup>, 内野 修<sup>2</sup>, 酒井 哲<sup>2</sup>, 柴田 隆<sup>3</sup>, 勝俣 昌己<sup>4</sup>

<sup>1</sup>東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

<sup>2</sup>気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>3</sup>名古屋大学 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

<sup>4</sup>海洋研究開発機構 (〒237-0061 横須賀市夏島町)

## Proposal for the Spaceborne DIAL for Global Water Vapor Profiling

Makoto ABO<sup>1</sup>, Chikao NAGASAWA<sup>1</sup>, Yasukuni SHIBATA<sup>1</sup>, Osamu UCHINO<sup>2</sup>, Tetsu SAKAI<sup>2</sup>, Takashi SHIBATA<sup>3</sup>,  
and Masaki KATSUMATA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

<sup>2</sup>Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

<sup>3</sup>Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601

<sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Natsushima-cho, Yokosuka, 237-0061

Abstract: Measurements of water vapor profiles are very important in the studies of atmospheric dynamics, clouds, aerosols and radiation. Water vapor is the predominant greenhouse gas and its vertical distributions are especially important in the global climate system. Water vapor data would lead to benefits in numerical weather prediction such as localized heavy rainfall events and typhoon forecasting. We propose two-beam spaceborne water vapor DIAL with the OPG/OPA transmitter using the absorption line of the 1300nm band. An error simulation is performed assuming that the platform altitude is 250km, the receiver diameter is 0.8m, the laser energy is 20mJ, and the repetition rate of the laser shot pair (on-off) is 500Hz. It is shown that water vapor profile measurement relative error of less than 10% is possible between 0-2km altitudes with spatial resolutions of 300m vertically and 20km horizontally in East Asia in summer.

**Key Words:** spaceborne lidar, DIAL, water vapor, heavy rain

### 1. はじめに

気候システムにおいて、水蒸気は中心的な役割を担っているが、その役割が十分解明されていないことが、予測精度のばらつきに現れている。気候モデルの課題の1つは、水蒸気プロセスを正確に説明し、現実的な三次元放射、雲、降水をパラメータ化することである。これは、個々の対流スケール現象を予測する数値予報においても同様である。更に水蒸気は、地表面の放射バランスや大気のコールド速度のような重要な天気要素に直接影響を与える<sup>1)</sup>。

また、近年気候変動の影響により日本では線状降水帯による豪雨の発生や台風の大型化による自然災害の頻発化や激甚化が防災面から大きな社会問題となっている。これらの災害は事前の予測精度を上げることにより減災が可能であるが、これらの現象予測には、特に海上の下部対流圏の水蒸気分布情報が重要であることが指摘されている。衛星搭載水蒸気ライダーではゾンデやGPSなどの観測では不可能な日本周辺の海上での水蒸気観測が可能であり、衛星観測データを数値予報モデルに同化することにより予測精度の向上が期待できる。

衛星搭載ライダーは単独でも高品質データによる数値予報の精度向上並びにそれに伴う天気予報精度(特に降雨予測)の飛躍的向上が期待できるとともに、他の赤外線やマイクロ波のパッシブリモートセンシング機器の校正、モデルのバイアス誤差の検出にも有効であり、衛星搭載のパッシブセンサーによる面的な観測とのシナジー効果が期待できる。

今回は豪雨災害の減災に寄与することを目標とし、特に日本周辺海洋上の水蒸気測定を重点的に行うための2ビーム方式衛星搭載水蒸気ライダーの提案を行う。

### 2. システムの提案

#### 2.1 送信レーザー

衛星搭載と下部対流圏から対流圏界面高度までの水蒸気量の観測を考慮した場合は、レーザーの効率が良く、かつより吸収量の大きい $1.3\mu\text{m}$ 付近の吸収線<sup>2)</sup>を利用した水蒸気測定用DIALを提案する。衛星搭載ライダーで技術的に最も困難なレーザー光源については、 $1.57\mu\text{m}$  CO<sub>2</sub>-DIALの技術<sup>3)</sup>で開発したQPM (Quasi Phase Matching) 結晶を用いたOPG/OPA (Optical Parametric Generator /Amplifier) システムの採用を提案する。OPG/OPAは、one path amplifierであり、通常の位相整合OPO (Optical Parametric Oscillator) より、制約条件が緩和されるため宇宙利用には有利である。

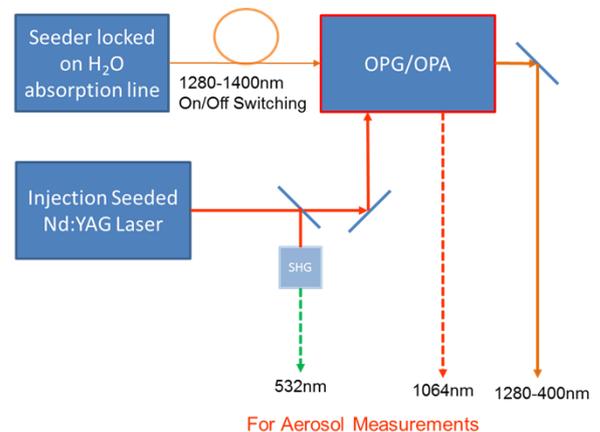


Fig. 1 Block diagram of the proposed spaceborne water vapor DIAL system.

Fig. 1 に、提案する OPG/OPA システムをベースにした衛星搭載水蒸気ライダーのブロック図を示す。励起光源は半導体レーザー励起 Nd:YAG レーザを想定しているが、これは日本の衛星搭載植生ライダー (MOLI) の開発で得られるノウハウを継承発展することにより開発の効率化が期待出来る。また、Nd:YAG レーザをベースとしているため、CALIPSO などでも実績のある 1064nm や 532nm の 2 波長を取り出すことが出来るため、水蒸気とエアロゾルの同時観測も容易に実現可能である。

## 2.2 2 ビーム観測

衛星搭載ライダーは高度分布情報が得られるのが他のパッシブ観測と比べた利点であるが、一方レーザービーム方向の情報しか得られないため、周回軌道の場合でも線状のフットプリントとなる。水蒸気は空間的・時間的に変動が大きいため、空間分解能の向上と測定頻度の向上が求められる。

そこで今回は Fig.2 のブロック図に示すような、斜め 2 方向の測定を同時に行う 2 ビーム方式を提案する。一般のスキャン観測に用いられる可動ミラーなどを用いずに、シンプルに送信レーザービームを 2 方向に分岐している。また受信望遠鏡も 1 台を広角で利用することにより 1 ビーム装置の簡略化・軽量化が可能である。

Fig. 3 に衛星軌道高度 250km、軌道傾斜角 35°、ビームの天底角 22° とした時の日本付近の 2 ビーム観測の 1 日のフットプリントの軌跡の例を示す。ここで黄色い線が衛星直下の軌跡で赤い点線が実際のフットプリントとなる。このように、1 台の衛星搭載ライダーでも日本周辺の海洋上空の水蒸気が高頻度で観測出来ることがわかる。

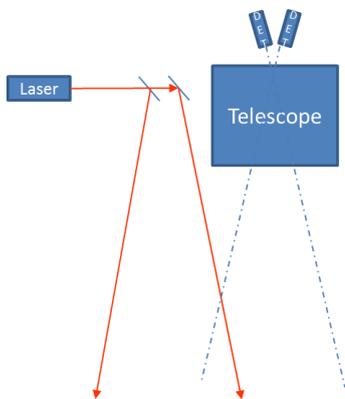


Fig. 2 Block diagram of the scan-less two-beam water vapor DIAL.

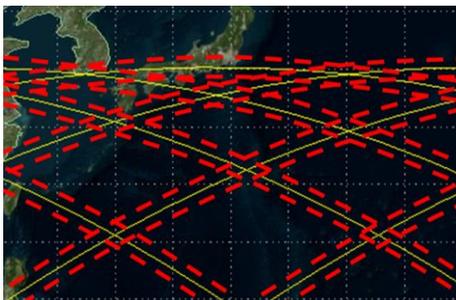


Fig. 3 One-day orbit (yellow line) and footprints (red) of two-beam space borne water vapor DIAL. (Orbit altitude is 250km, orbit inclination is 35° and nadir angle is 22° )

## 3. 誤差シミュレーション

Table 1 に示すパラメータを用い、高度 250km の低高度衛星から 2 ビームで測定を行う衛星搭載水蒸気 DIAL により、水平分解能を 20km、高度分解能は高度 2km 以下 300m、高度 2-6km は 600m とした場合の、設定した夏季日本の水蒸気モデルと測定誤差のシミュレーション結果を Fig.4 に示す。高い分解能で水蒸気の測定が可能であることが分かる。また、吸収断面積の異なる 3 つの吸収線を用いることにより、水平分解能 1000km、高度分解能 1km で熱帯領域の地表付近から高度 22km の下部成層圏までの水蒸気が、誤差 10% 以下で計測可能である。

Table 1. Parameters of the two-beam spaceborne water vapor DIAL

Pulse Energy	20mJ (10mJ for each beam)
Repetition Rate	500Hz (on/off pair)
Wavelength	1300nm
Telescope Aperture	0.8m
Quantum Efficiency	50%(APD)
Platform Altitude	250km
Ground Track Speed	7.8km/s

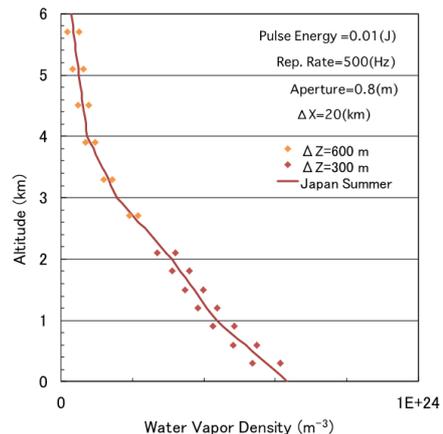


Fig. 4 Water vapor model over Japan in summer and random error for the two-beam space borne water vapor DIAL with spatial resolutions of 300m/600m vertically and 20km horizontally.

## 4. おわりに

衛星搭載水蒸気 DIAL では①全地球域の高品質水蒸気データによる数値予報の精度向上、②集中豪雨、竜巻、台風などの予報精度向上、③測定手段がきわめて限られている上部対流圏・下部成層圏領域における水蒸気の高精度、高鉛直分解能観測による気候フィードバックの理解とモデル化の進展などの成果が期待できる。さらに主な測定場所が海洋上であることから、海洋の潜熱フラックスの精度向上への活用も期待されている。

## 参考文献

- 1) 阿保真他 : LSS37 (2019) B6.
- 2) V. Wulfmeyer et al. : Appl. Opt. **40** (2001) 5321.
- 3) Y. Shibata et al. : Appl. Opt. **56** (2017) 1194.