

水蒸気分布観測用衛星搭載 DIAL の提案

阿保 真¹, 長澤 親生¹, 柴田 泰邦¹, 内野 修², 柴田 隆³, 酒井 哲²

¹ 首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

² 気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

³ 名古屋大学 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

Proposal for the Spaceborne DIAL for Water Vapor Profiling

Makoto ABO¹, Chikao NAGASAWA¹, Yasukuni SHIBATA¹, Osamu UCHINO², Takashi SHIBATA³, and Tetsu SAKAI²

¹ Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

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

³ Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601

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 important in the global climate system. Water vapor data would lead to benefits in numerical weather prediction such as localized heavy rainfall event and typhoon forecasting. We propose spaceborne water vapor DIAL with the OPG/OPA transmitter using 1350-nm band absorption line. 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 less than 10% water vapor profile measurement relative error is possible between 0-2km altitudes with spatial resolutions of 200m vertically and 20km horizontally in East Asia in summer.

Key Words: spaceborne lidar, DIAL, water vapor

1. はじめに

世界的な水蒸気分布データの質の向上は、長期の気候変動解析と短期の数値予報のどちらにも有用である。現在の水蒸気計測は、地表面や船での直接測定、ラジオゾンデ観測、地上リモートセンシングシステム（ライダー、分光計、GPSによるトータル量測定）、衛星による受動的な赤外線とマイクロ波センサーによる測定が行われているが、地表面観測は鉛直方向のカバーレンジが、ラジオゾンデと地上リモートセンシングでは水平方向のカバーレンジが、受動センサーでは鉛直分解能に問題がある。さらにこれらを組み合わせたとしても、上部対流圏・下部成層圏の境界領域のグローバル観測には空白域が生じている。したがって、現状ではグローバルな水蒸気循環を精度よく定量的に評価するには、精度、鉛直分解能及びカバーレンジとも不足している。

地球の3分の2が海であることから、宇宙からのリモートセンシングが水平、垂直及び時間分解能を確保する唯一の方法である。しかし、従来は大気の循環を決める風と温度の計測が優先され、水蒸気の計測は進んでいない。現在の数値モデルでは、対流圏の1kmの層を1.5Kの精度で再現できるが、対照的に比湿の6時間予報値の相対誤差は20-40%になる¹⁾。全地球大気モデルの鉛直分解能は境界層附近の100mから成層圏の1kmの間にあるが、現在のリ

モートセンシング水蒸気観測データはこれより荒く、逆に水蒸気や雲はしばしばこれより狭い層構造を形成する。

2. 衛星搭載水蒸気 DIAL の特徴

衛星搭載水蒸気 DIAL (Differential absorption lidar) は以下のような特徴がある。①高精度、低バイアス、高鉛直分解能で水蒸気の高高度プロファイルが地上から上部対流圏、下部成層圏まで得られる。②水蒸気の高高度プロファイルにエラープロファイルが得られる。③低温領域で測定が困難なラジオゾンデと異なり、どんな温度領域でも湿度が得られる。④光学的厚さの小さい雲では、雲底から雲頂までの水蒸気プロファイルが得られる。⑤水蒸気、雲頂高度、エアロゾルの光学的厚さ、境界層高度などの情報が同時に得られる。⑥他のリモートセンシング測定法では問題となる、他のパラメータの影響（例えば表面の放射率、温度プロファイル、他のガスの濃度、エアロゾル）に鈍感であるため、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に利用できる。これは、特にモデルのバイアス誤差の検出に有効となる。⑦厚い雲の雲頂より低高度は測定できない。⑧高い水平分解能・時間分解能データは軌道直下のみという制約がある。このように制約はあるが他の測定法にない特徴が多くあるため、

相補的な利用が有効である。また、下部対流圏の水蒸気観測は、豪雨や台風予測精度向上による防災面への貢献も期待できる。

3. 国内外の開発動向

水蒸気のライダーによる観測手法としては、これまで波長 760nm 及び 820nm 付近の吸収線を利用した水蒸気 DIAL の開発が行なわれてきた。NASA では LASE として航空機搭載水蒸気 DIAL の実用化が行われ、多くの成果を得ている²⁾が、衛星ミッションの計画は現時点では無い。また、ESA では WALES (Water Vapour Lidar Experiment in Space) と呼ばれる衛星搭載水蒸気 DIAL が提案されたが、現時点で具体的な計画はない。日本では、衛星搭載を目指した航空機搭載 DIAL の開発が JAXA を中心に行なわれた³⁾。後継の計画は現時点ではないが、今回「今後の宇宙開発体制のあり方に関するタスクフォース会合リモートセンシング分科会」による衛星地球観測ミッション公募が行われた。

4. システムの提案

衛星搭載と対流圏界面高度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 1350nm 付近の吸収線⁴⁾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 μ m CO₂-DIAL の技術⁵⁾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。

Table 1. Parameters of spaceborne water vapor DIAL

Pulse Energy	20mJ/pulse
Repetition Rate	500Hz (on/off pair)
Wavelength	1280-1400nm
Telescope Aperture	0.8m
Quantum Efficiency	50%(APD)
Platform Altitude	250km
Ground Track Speed	7.8km/s

5. 誤差シミュレーション

Table 1 に示すパラメータを用い、水平分解能 20km、

高度分解能は高度 2km 以下 300m、高度 2-6km は 600 m 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.1 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、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。

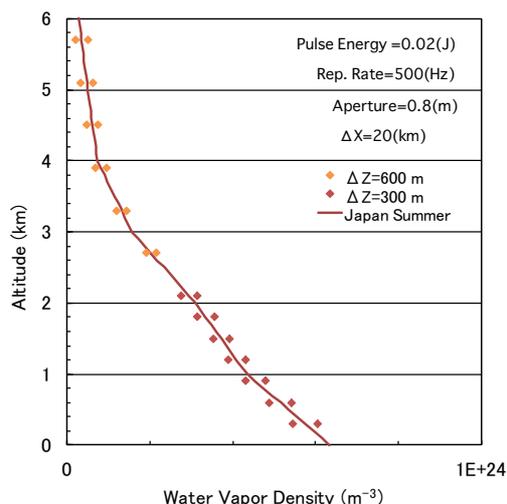


Fig. 1 Water vapor model over Japan in summer and random error for space borne water vapor DIAL with spatial resolutions of 300m/600m vertically and 20km horizontally.

6. 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。今後の課題としては、技術的には衛星搭載用 QPM 素子の開発 (対宇宙線等の検討) と航空機搭載型水蒸気 DIAL の開発がある。開発体制として、①他の水蒸気パッシブセンサーとの融合の検討、②データ同化によるインパクトの検討 (OSSE の実施)、③サイエンスコミュニティの立ち上げ、④具体的なミッション計画の策定などを進めていく必要がある。

参考文献

- 1) English, S.J., J. Appl. Meteor.,38, 1526-1541, 1999.
- 2) Browell, E.V. et al. Appl. Physics B, 67, 399-410, 1998.
- 3) Nagasawa, C. et al., SPIE 2581, 161, 1995.
- 4) Wulfmeyer, V. et al., Appl. Opt.,40, 30, 5321, 2001.
- 5) Shibata, Y. et al., Appl. Opt., 56, 1194-1201, 2017.