

海上水蒸気観測のための航空機搭載 IPDA-DIAL の検討

阿保 真, 柴田泰邦, 長澤親生

東京都立大学システムデザイン学部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Proposal for the Airborne Integrated Path Differential Absorption (IPDA) Lidar for Sea Surface Water Vapor Observations

Makoto ABO, Chikao NAGASAWA, and Yasukuni SHIBATA

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

Abstract: Water vapor data is useful for numerical weather prediction of localized heavy rainfall and typhoons. It has been pointed out that information on water vapor distribution in the lower troposphere over the ocean is especially important for forecasting severe local rainfall associated with a mesoscale convective system. We have proposed the spaceborne water vapor IPDA-DIAL, which is limited to low-altitude measurements using the IPDA method with an OPG/OPA transmitter. In this study, we investigated the specifications of the airborne IPDA-DIAL for ocean water vapor observation, which also serves as a validation experiment for the spaceborne IPDA. Error simulations show that the airborne IPDA-DIAL can measure water vapor from sea level to 300 m altitude with an error of less than 10% during the daytime. Furthermore, for the transmitter of the airborne IPDA-DIAL, we proposed to use a Yb fiber amplifier for pulse amplification of the DFB laser output as a pump source for the OPG.

Key Words: DIAL, IPDA, Water Vapor, Numerical Weather Prediction

1. はじめに

近年、線状降水帯による大雨の発生や強い台風の増加が、防災上大きな社会問題となっている。日本における豪雨災害の発生件数は急激に増加しており、防災・減災、国土強靱化のための対策が急務となっている。これらによる災害は予測精度を上げることで軽減されるが、特に線状降水帯については海上対流圏下部の水蒸気分布情報が予測上重要であることが指摘されている¹⁾。

現在、水蒸気観測は、ラジオゾンデ、陸域リモートセンシング、衛星の赤外線・マイクロ波センサー、GNSSなどで行われているが、空間分解能や時間分解能に問題がある。また、衛星のパッシブ観測は、水平方向のカバー範囲は広いが、鉛直方向の解像度が不十分である。飛翔体からのライダー観測により日本近海の水蒸気を観測し、数値気象予測モデルに同化させることで予測精度の向上が期待される。我々は衛星搭載の水蒸気 DIAL²⁾並びに IPDA-DIAL³⁾を提案しているが、その実現には時間がかかるため、航空機搭載型の IPDA-DIAL の実現可能性について検討を行った。

2. 航空機搭載型 IPDA-DIAL の検討

我々は、波長 1350nm の吸収帯を利用した OPA (Optical Parametric Amplifier) 送信機を用いた衛星搭載水蒸気 DIAL を提案している²⁾。QPM (Quasi Phase Matching) 素子を用いた OPA システムは、1 パスアンプであるため⁴⁾、従来の位相整合型 OPO (Optical Parametric Oscillator) に比べて制約が少なく、衛星搭載用として有利である。水蒸気の鉛直分布と同様に、海面付近の水蒸気量の測定は、特に豪雨の予測や海洋と大気間のフラックスの推定に重要である。そこで、提案している DIAL ミッションのハードウェア仕様を大きく変えることなく、IPDA (Integrated Path Differential Absorption) 技術⁵⁾を用いて、大気後方散乱と海面反射の両方の信号を用いた海面付近の水蒸気 DIAL 観測の可能性を提案した³⁾。これは Fig.1 に示すように、大気後方散乱信号よりも強い海面反射信号を利用して海面直上の差分吸収を測定するものである。今回は IPDA 測定の検証実験も兼ねた海上水蒸気観測用航空機搭載 IPDA-DIAL の仕様検討を行った。

Table 1 にすでに提案している衛星搭載 IPDA と今回提案する航空機搭載 IPDA の仕様を比較して示す。衛星搭載 IPDA からの主な変更点は、プラットフォーム高度が 400km から 10km と低くなったため、レーザの出力と受信望遠鏡の口径を小さくしている。またプラットフォームの対地速度が遅くなったため、水平分解能も高くなっている。この仕様で計算した航空機搭載 IPDA-DIAL の水蒸気密度のランダム誤差を Fig. 2 に示す。ここで縦線は積算した範囲を示している。水平分解能は 3km で、水蒸気モデルは日本上空の夏平均のプ

ロファイルを使用している。誤差シミュレーションの結果、海面から高度 300m までの水蒸気積算量を誤差 8%、海面から高度 500m までの水蒸気積算量なら誤差 4%で観測することができる。このシミュレーションは航空機観測の実現可能性を考慮し昼間を想定しており、この波長域は水蒸気の吸収により背景光量が少ないため昼間の観測も十分可能である。

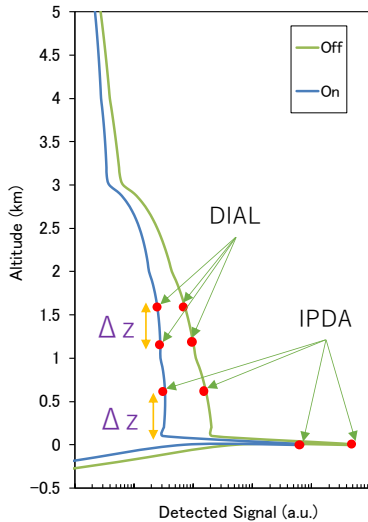


Fig. 1 Comparison of the airborne DIAL and proposed IPDA-DIAL. The proposed IPDA-DIAL obtains the water vapor concentration over the sea surface from the strong scattering signal at the sea surface and the scattering signal in the atmosphere.

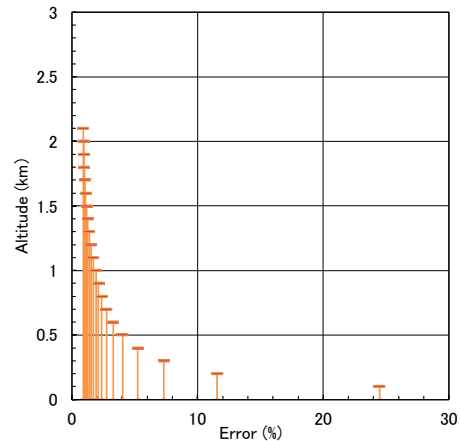


Fig. 2 Simulated random error of water vapor density for the airborne IPDA-DIAL. Horizontal resolution is 3km and water vapor vertical profile model is a mean summer profile over Japan.

Table 1. Parameters of the space-borne and airborne water vapor IPDA-DIAL

Parameter	Space-borne IPDA-DIAL	Airborne IPDA-DIAL
Pulse Energy	20mJ	10 μ J
Repetition Rate	500Hz (on/off pair)	500Hz (on/off pair)
Wavelength	1336nm	1336nm
Telescope Aperture	0.8m	0.35m
Quantum Efficiency	50%(APD)	50%(APD)
Platform Altitude	400km	10km
Ground Track Speed	7.7km/s	0.1km/s
Horizontal Resolution	20km	3km
Average Laser Power	20W	10mW

3. 航空機搭載 IPDA-DIAL の送信部

航空機搭載 IPDA-DIAL の送信部については、衛星搭載 IPDA-DIAL の検証も兼ねることから、波長並び心臓部の QPM 素子を用いた OPG システムは共通仕様とし、ポンプレーザのみを変更する。Fig.3 に検討した送信部のブロック図を示す。衛星搭載 IPDA-DIAL では、mJ 級の出力が求められるため、OPG のポンプ光源には LD 励起 Nd:YAG レーザを想定しているが、航空機搭載 IPDA-DIAL の場合には μ J 級の出力で良いため、OPG のポンプ光源に DFB レーザ光を Yb ファイバアンプでパルス増幅する方式を用いる。アンプ方式は効率は良くないが、狭帯域の安定したパルス光が容易に得られると共に、ファイバー結合による光源の全固体化が可能になり、振動に強く小型化が可能になる利点がある。

制御系も含めた全体の電力を低く抑えることが可能であるためバッテリー動作も可能であり、ライダー観測専用窓を設置した航空機以外でも、測量用航空機やヘリコプター等の写真撮影用窓等を利用した観測も可能であると考えられる。

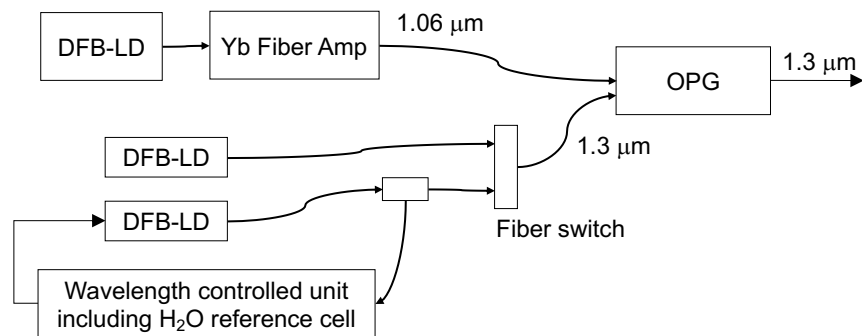


Fig. 3 Block diagram of the airborne IPDA-DIAL transmitter.

4. まとめ

IPDA 方式を用いて低高度域での測定に限定した航空機搭載水蒸気 IPDA-DIAL を提案し、従来提案している衛星搭載 DIAL よりスペックを落としても、海面から高度 300m までの水蒸気積算量を誤差 10%以下で測定可能であることが誤差シミュレーションの結果からわかった。さらに、航空機搭載型 IPDA-DIAL の送信部について OPG のポンプ光源として DFB レーザ光を Yb ファイバアンプでパルス増幅する方式を提案した。

衛星搭載 IPDA-DIAL において、実際の海面反射率及びそのゆらぎについては不確定な要素があるため航空機観測による確認が必要である。これは、海面散乱光を利用した海上風速測定を同時に行い、海上の海洋-大気間潜熱・顕熱フラックスのスナップショット観測の提案³⁾に関する検証にもなる。これらの検証とともに航空機搭載 IPDA-DIAL による海上水蒸気観測の実現に向けて、準備を進める予定である。

参考文献

- 1) S. Yoshida et al.: Mon. Wea. Rev., **150** (2022) 1781.
- 2) 阿保真他: レーザセンシング学会誌, **1** (2020) 72.
- 3) 阿保真他: 第 40 回レーザセンシングシンポジウム(2022) P3.
- 4) Y. Shibata et al.: Appl. Opt., **56** (2017) 1194.
- 5) J. B. Abshire et al.: Remote Sensing, **6** (2014) 443.