

# 海上の水蒸気濃度分布と海面熱フラックス観測のための衛星搭載

## IPDA-DIAL 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>3</sup>, 柴田 隆<sup>4</sup>, 勝俣 昌己<sup>5</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> 国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>3</sup> 気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>4</sup> 名古屋大学 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

<sup>5</sup> 海洋研究開発機構 (〒237-0061 横須賀市夏島町)

### Proposal for the Space-borne Integrated Path Differential Absorption (IPDA) Lidar for Sea Surface Water Vapor and Heat Flux Observations

Makoto ABO<sup>1</sup>, Chikao NAGASAWA<sup>1</sup>, Yasukuni SHIBATA<sup>1</sup>, Osamu UCHINO<sup>2</sup>, Tetsu SAKAI<sup>3</sup>, Takashi SHIBATA<sup>4</sup>, and Masaki KATSUMATA<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

<sup>3</sup> Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

<sup>4</sup> Nagoya Univ., Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601

<sup>5</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima, Yokosuka, Kanagawa 237-0061

**Abstract:** Water vapor data would lead to benefits in numerical weather predictions for localized heavy rainfall events and typhoon forecasting. We have proposed a two-beam space-borne water vapor DIAL with the OPG/OPA transmitter using the absorption line of the 1300nm band. In this paper, we propose the spaceborne water vapor IPDA-DIAL, which is limited to low-altitude measurements using the IPDA method. Error simulations show that the IPDA-DIAL can measure water vapor from sea level to 400m altitude at night and from sea level to 700 m altitude during the daytime with an error of less than 10%, even though its specifications are lower than those of the previously proposed space-borne DIAL. Furthermore, it is shown that there is a possibility of snapshot observation of latent and sensible heat fluxes over the ocean by simultaneously measuring ocean wind velocity using scattered light from the sea surface.

**Key Words:** DIAL, IPDA, Water Vapor, Numerical Weather Prediction, heat flux

## 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年々増加しており、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。衛星搭載ライダー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。

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。衛星ライダーはバイアス誤差がないため、パッシブ型リモートセンシング装置の校正にも利用でき、衛星センサーによる観測との相乗効果も期待できる。

## 2. IPDA-DIAL の提案と誤差シミュレーション

我々は、1350nmの吸収帯を利用したOPA (Optical Parametric Amplifier) 送信機を用いた2ビーム衛星搭載水蒸気DIALを提案している。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<sup>2)</sup>、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、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、提案されている DIAL ミッションの仕様を大きく変えることなく、IPDA (Integrated Path Differential Absorption) 技術<sup>3)</sup>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の DIAL 観測の可能性を検討した。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の差分吸収を利用するものである。Table 1 に仕様を示すが、以前に提案した DIAL との変更点は、1 ビーム方式にした点と、衛星軌道高度を 400km としプラットフォームに柔軟性を持たせている点である。この仕様で計算した 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 20km 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 10%、海面から高度 600m までの水蒸気積算量なら誤差 5%で観測することができる。このシミュレーションは夜間を想定しているが、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、昼間の観測にも有利である。例えば昼間観測でも海面から高度 500m までの水蒸気積算量を誤差 10%で測定可能である。

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

Parameter	Value (IPDA-DIAL)	Value (DIAL)
Pulse Energy	20mJ (One-beam)	10mJx2 (Two-beam)
Repetition Rate	500Hz (on/off pair)	500Hz (on/off pair)
Wavelength	1336nm	1336nm
Telescope Aperture	0.8m	0.8m
Quantum Efficiency	50%(APD)	50%(APD)
Platform Altitude	400km	220km
Ground Track Speed	7.7km/s	7.8km/s

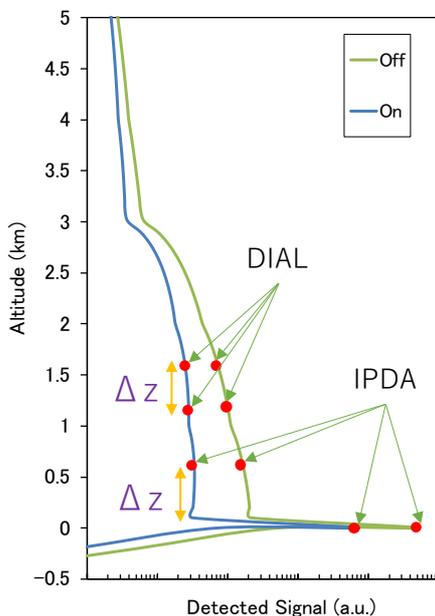


Fig. 1 Comparison of the Space-borne DIAL and proposed IPDA-DIAL. The proposed IPDA-DIAL obtains the water vapor concentration over the sea surface from the strong scattering signal at the sea surface and the scattering signal in the atmosphere.

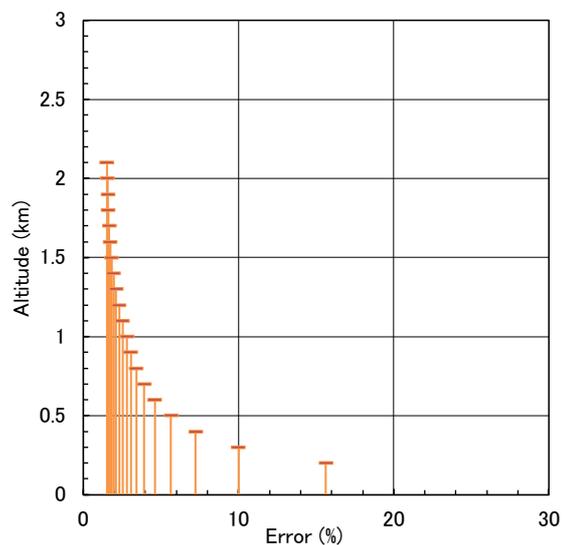


Fig. 2 Simulated random error of water vapor density for the space borne IPDA-DIAL. Horizontal resolution is 50km and water vapor vertical profile model is a mean summer profile over Japan.

### 3. 海面散乱光利用による海上風速測定とフラックス観測

海洋-大気間の熱交換量（フラックス）は、気候システムにとっても、より短期の気象現象にとっても、重要なパラメータである。そのうち「潜熱」フラックスは放射フラックスに比べて絶対量こそ小さいものの、大気への水蒸気供給量と同義であり、特に熱帯～亜熱帯において、雲・雨の形成や大気放射などに重要なパラメータである。しかし、全球分布を推定したプロダクトにおいて、プロダクト間の差異が大きく、海上のブイの計測値(真値)との誤差もまだ大きいことが指摘されている<sup>4)</sup>。潜熱フラックスの測定に広く用いられている「バルク式」には、主に、海面付近の水蒸気量、海面付近の風速、海面水温が必要とされ、このうち風速と水温については、衛星搭載型の各種センサーにて全球分布の計測が続けられている。しかし海面付近の水蒸気量は、現状全球分布を精度良く計測する手段がなく、限られた点のブイ等での現場直接計測か、衛星搭載サウンダーによる大気混合層よりも上空の情報も含んだ計測結果からの推定などに頼っている。

Huら(2008)<sup>5)</sup>はCALIPSOの1064nmの海面散乱係数からwave slope varianceを求め海上の風速を推定する方法を提案し、衛星搭載マイクロ波放射計(AMSR-E)の観測結果と比較し1.2m/s rmsの精度で一致していることを示した。この原理をIPDA-DIALのoff信号に適用することにより、衛星搭載ライダーで大気混合層(熱帯では海面から高度500m前後)の水蒸気量と同時に、海面付近の風速が計測できることになり、客観解析データなどの気温情報と合わせると、潜熱・顕熱フラックスのスナップショット毎の計算が可能になる。

### 4. まとめ

IPDA方式を用いた低高度域での測定に限定した衛星搭載水蒸気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、夜間は海面から高度300mまでの水蒸気積算量、昼間観測でも海面から高度500mまでの水蒸気積算量を誤差10%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、海面散乱光を利用した海上風速測定を同時に行うことにより、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可能性を示した。

### 参考文献

- 1) 阿保真他: レーザセンシング学会誌, **1** (2020) 72.
- 2) Y. Shibata et al.: Appl. Opt., **56** (2017) 1194.
- 3) J. B. Abshire et al.: Remote Sensing, **6** (2014) 443
- 4) M. F. Cronin et al.: Front. Mar. Sci. **6** (2019) 430.
- 5) Y. Hu et al.: Atmos. Chem. Phys., **8** (2008) 3593.