

2μm 帯ドップラーライダーの水蒸気差分吸収ライダー化

青木 誠¹, 岩井 宏徳¹, 中川 勝広¹

¹情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Development of coherent differential absorption lidar at 2.05 μm for simultaneous water-vapor and wind measurements

Makoto AOKI¹, Hironori IWAI¹, and Katsuhiro NAKAGAWA¹

¹National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

Abstract: NICT has been developing a 2-μm coherent differential absorption lidar for simultaneous water-vapor and wind measurements. The wavelengths of 2050.550 and 2051.103 nm for online and offline were selected to minimize the effect of the temperature and pressure changes in the atmosphere. We developed a laser frequency offset locking technique and controlled the wavelength of the online laser with a standard deviation of about 0.038 pm.

Key Words: 2-μm, coherent, Doppler lidar, water-vapor, DIAL

1. はじめに

情報通信研究機構 (NICT) では、ゲリラ豪雨や竜巻等に代表される極端気象の早期捕捉や発達メカニズムの解明に貢献する、風、水蒸気、降水等を高時間空間分解能で観測するリモートセンシング技術の研究開発を行っている。

2019 年からは、これまでに開発を行ってきた波長 2μm 帯のコヒーレントドップラーライダーと CO₂DIAL の基盤技術を生かして、コヒーレント方式の H₂ODIAL の開発を開始した。本稿では H₂ODIAL の開発状況について述べる。

2. 観測波長の決定

NICT がライダーの光送信機として開発を進めてきた波長 2μm 帯の Tm,Ho:YLF および Ho:YLF パルスレーザーは、発振波長付近に CO₂ 分子および H₂O 分子の吸収線が位置しているため、これらの気体分子の DIAL 観測を行うことが可能である。

パルスレーザーの波長制御には、パルスレーザーの光共振器に単色性の良いレーザー (シードレーザー) を注入して、パルス光の波長を制御・狭帯域化する光注入同期技術が用いられている。2μm 帯の H₂ODIAL の開発に当たり、まず初めにシードレーザーの発振波長 (吸収波長: λ_{on}, 非吸収波長: λ_{off}) の検討を行った。

Fig.1 に HITRAN データベース¹⁾と U.S. Standard Atmosphere (1976) を用いて計算した波長 2050.4 nm から 2051.4 nm における H₂O 分子と CO₂ 分子の高度毎の吸収断面積を示す。λ_{on} (2050.550nm) と λ_{off} (2051.103nm) は以下の条件から決定した。

1) 測定精度を上げるため、λ_{on} と λ_{off} での H₂O 分子の吸収断面積の差が可能な限り大きく

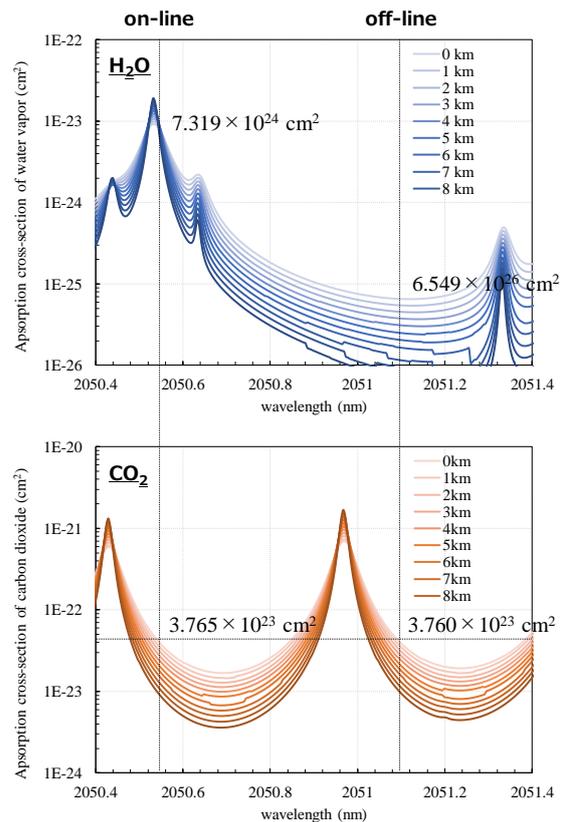


Fig. 1 Absorption cross sections of water vapor and carbon dioxide calculated by HITRAN and U.S. standard atmosphere 1976.

なる λ_{on} と λ_{off} を選択する。

2) CO₂ 分子による吸収の影響を低減するために、λ_{on} と λ_{off} での CO₂ 分子の吸収断面積の

差が小さくなる λ_{on} と λ_{off} を選択する。

- 3) H₂O 分子の吸収断面積の気圧・気温の変動に対する感度が低い λ_{on} を選択する。

3. 波長変動による測定誤差の検討

NICT の 2 μ m 帯パルスレーザの単一波長化に用いられるシードレーザは、長時間の連続運転や周囲の環境変化によって、数 pm 程度の波長ドリフトおよび波長変動を起こす。 λ_{on} と λ_{off} は、それぞれ H₂O 分子と CO₂ 分子の吸収断面積の波長依存性が大きい場所に位置しているため、波長変動により測定誤差が生じる可能性がある。そのため、波長変動による測定誤差の検討を行った。

Fig.2 および Fig.3 に、高度毎の水蒸気量測定バイアスの λ_{on} と λ_{off} に対する波長依存性を示す。計算のパラメータとして、吸収断面積は高度 0 km の値を基準として使用、水蒸気混合比は 10 g/kg、CO₂ 濃度は 400 ppm を用いた。図から吸収断面積とその波長依存性が大きい λ_{on} は、その変動によ

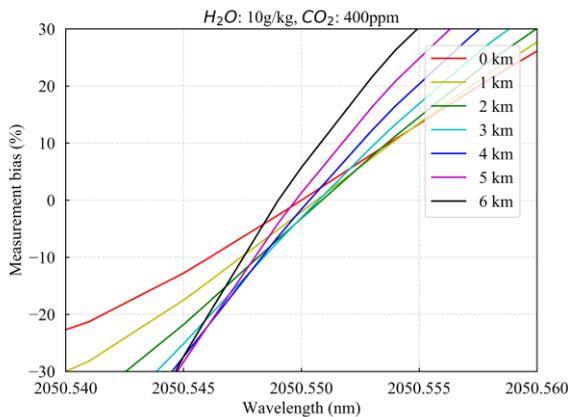


Fig. 2 Dependences of measurement bias for H₂ODIAL on the variation in the wavelength of λ_{on} .

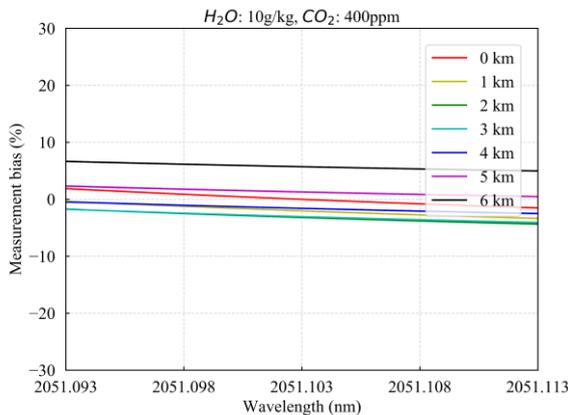


Fig. 3 Dependences of measurement bias for H₂ODIAL on the variation in the wavelength of λ_{off} .

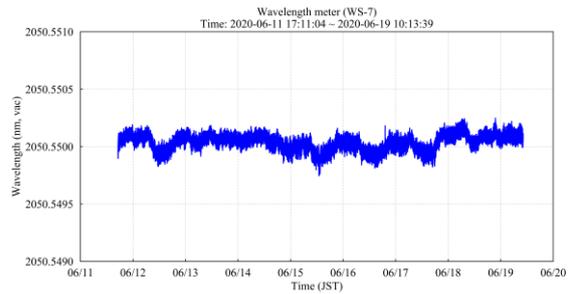


Fig. 4 Long-term wavelength measurement of λ_{on} .

る測定誤差が大きい反面、吸収断面積とその波長依存性が小さい λ_{off} は、誤差の波長依存性が小さいことがわかった。 λ_{on} を ± 0.5 pm 以内に制御できれば、吸収断面積を定数としても 5 km 以下の観測高度において測定バイアスを $\pm 5\%$ 以内に抑えることができることがわかった。その一方で、フリーランニング状態でのシードレーザの波長変動は数 pm 程度であるので、 λ_{off} に対しては特に波長制御が必要ないことも分かった。

4. λ_{on} の波長制御

λ_{on} の波長制御のために、従来の波長制御システム²⁾をベースとし、より広い波長範囲で安定して波長制御可能なシステムを開発した。従来の方式の波長制御範囲は、CO₂ ガスセルロックした基準周波数 (2050.967 nm) を中心に最大で ± 6.5 GHz (± 0.09 nm) 程度だったので、29.725 GHz 離れた λ_{on} の波長安定化を行うことができなかった。新しく開発したシステムでは、波長制御範囲を ± 30 GHz (± 0.42 nm) 以上まで拡張することに成功した。

Fig.4 に、 λ_{on} 波長に制御したシードレーザの波長測定結果を示す。開発したシステムは 1 ヶ月以上の長期的な波長制御が可能であり、波長安定度は標準偏差で 0.038 pm であった。

5. まとめ

NICT では 2 μ m 帯のコヒーレント方式 H₂ODIAL の開発を進めている。開発に当たってまず初めに観測波長とその変動による誤差の検討、観測波長へのシードレーザの波長制御を実施した。今後は、波長制御したシードレーザと常温動作の Ho:YLF パルスレーザ³⁾を組み合わせ、安定かつ長期運用に耐えられる H₂ODIAL の開発を進める。

参考文献

- 1) R.V. Kochanov, et al.: J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer **177** (2016) 15.
- 2) S. Ishii, et al.: JTECH **29** (2012) 1169.
- 3) K. Mizutani et al.: Opt. Lett. **43** (2018) 202.