

## 波長可変固体レーザーによる対流圏水蒸気の測定

Measurements of Tropospheric Water Vapor

by a Tunable Solid-State Laser

畑 洋一、長澤 親生、阿保 真

Y. Hata, C. Nagasawa, M. Abo

東京都立大学工学部

Tokyo Metropolitan University

**Abstract**—— A tunable solid-state laser is useful for lidar remote sensing of water vapor, because differential absorption lidar technique requires two frequency laser sources. Water vapor has several strong absorption lines near 720nm. The Ti:Sapphire laser is a tunable solid-state laser has some gain on this absorption band. We use CW Ti:Sapphire laser and random modulation lidar technique for lidar remote sensing of tropospheric water vapor. We report the lidar systems and influence of laser band width to absorption line width of water vapor and so on.

## 1. はじめに

レーザーダを用いて水蒸気の分布を測定する場合には、レーザーの2波長に対する吸収係数の差を利用したDIAL方式が用いられる。水蒸気の吸収線は720nm付近に多く存在するが、そのスペクトル幅は非常に狭いものであり、測定のために波長可変で安定に狭帯域発振するレーザーが必要となる。我々は、従来から開発してきたランダム変調技術<sup>1)</sup>と波長可変固体レーザーであり、狭帯域で安定に作動するCW-Ti:サファイアレーザー<sup>2)</sup>を用いて対流圏における水蒸気の測定に利用するための研究を行なっている。今回は水蒸気測定におけるレーザーの発振スペクトル幅の影響や、測定に利用する水蒸気の吸収線、及びレーザーシステムについて説明する。

## 2. レーザレーダシステム

Ti:サファイアレーザーは、約700~1000nmに発振利得を持つので、720nm近辺にある水蒸気の強い吸収線を用いたDIAL測定に利用できる。現在使用しているレーザーシステムはAr<sup>+</sup>レーザー励起でCW発振するものである。750nmを中心とするミラーで、同調素子として複屈折フィルター及びエタロンを使用した場合、波長同調域700~820nm、スペクトル幅2GHz以下、最大出力400mW以上を得られる。またレーザーダとして利用するために疑似ランダム変調方式を導入している。レーザーダ装置の構成は、マルチラインAr<sup>+</sup>レーザー、CW Ti:サファイアレーザー、高速AO変調器、コリメータ、28cmφ受光鏡、干渉フィルタ、PMT、アンプ、相関器、コンピュータなどからなる。

## 3. レーザレーダによる水蒸気分布測定精度に与えるレーザー発振スペクトル幅の影響

720nm近辺における水蒸気の吸収スペクトル幅は、FWHMで5pm以下であり<sup>3)</sup>、レーザーの発振スペクトル幅の水蒸気分布測定への影響が大きい。レーザーの発振スペクトル幅が広い場合には、吸収線の中心波長付近で強い吸収を受けるため、遠距離からの散乱光は、吸収線の中心からずれた波長にスペクトル成分の多くを持つようになる。これがDIAL方式における水蒸気密度測定誤差の要因となる。標準的な水蒸気分布の測定を行なうためには、発振スペクトル幅が1pm以下のレーザーが望ましい。

#### 4. Ti:サファイアレーザを用いたDIAL測定に利用可能な水蒸気の吸収線

現在使用しているTi:サファイアレーザは、760nm付近を中心に700~820nmで波長同調可能であるが、760nmから離れるにつれて出力が低下する。DIALによる水蒸気測定の場合、水蒸気の吸収を利用してはいるためレーザの出力によって測定距離がかなり制限されるので、Ti:サファイアレーザで安定に高い出力を得るために、できるだけ760nmに近い波長で測定する事が望ましい。また、水蒸気の吸収線は720nm近辺に多数存在するが、それぞれスペクトル幅や吸収断面積に違いが見られる。測定精度を上げるためには、使用する2波長に対する吸収断面積の差が大きく、大気中に存在する他の物質の影響を受けないようできるだけ近い2波長を用いる必要がある。従って、隣り合う吸収線同士の波長間隔が広く吸収断面積の比較的大きな吸収線を利用すべきである。以上の条件を考慮して、

Ti:サファイアレーザによる水蒸気測定では、波長726.759nm、または723.672nmにある吸収線が利用できると考えられる。ここで、吸収線のデータとしてはB.E.Grossmannらのものを参考にした<sup>3)</sup>。Fig. 1にCW-Ti:サファイアレーザで水蒸気をRM-CW-DIAL測定したときの誤差をシミュレーションした結果を示す。これによると、誤差10%以内で夜間1.3Kmまでの水蒸気の測定が可能である。ここで、レーザ出力は500mW、距離分解能100m、測定時間30分、水蒸気密度は12g/m<sup>3</sup>を設定した。

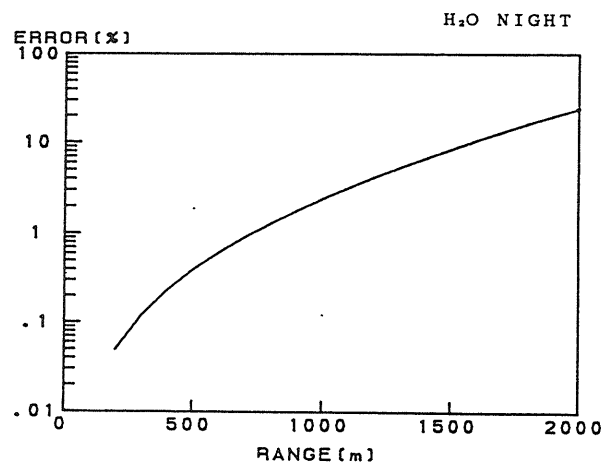


Fig.1 Simulated relative errors of water vapor DIAL measurement by RM-CW Ti: Sapphire laser rader

#### 5. まとめ

以上のことから、CW-Ti:サファイアレーザが水蒸気分布のランダム変調ライダー測定に利用可能であり、そのシステム設計ができた。また、水蒸気の測定にはスペクトル幅1pm以下のレーザが必要であることがわかり、Ti:サファイアレーザを用いた場合に利用できる吸収線の波長を候補としてあげることができた。今後の課題としては、高い精度で測定するために水蒸気の吸収線の実測が必要である。また、レーザシステムとしては、波長を一定時間吸収線上に安定に同調することと、水蒸気分布の時間的変動による誤差を取り除くために、2波長の同時測定もしくは2波長のすばやい切り替えが必要となる。発振波長の安定化と吸収線への精度の良い波調同調のためには、ガスセルを使用したPhoto-Acoustic効果<sup>4)</sup>を利用できる。このとき発振波長の微調整は、PZT素子等でエタロンや複屈折フィルタをコントロールする事で可能となる。

#### 参考文献

- (1) C.Nagasawa et al., Appl. Optics., 29, 1466, 1990
- (2) 阿保 他、1990年秋季応用物理学学会予稿集 26p-S-13
- (3) B.E.Grossmann et al., J. Molecular Spectroscopy, 136, 264, 1989
- (4) R.S.Addleman, proceedings of the 15th International Laser Radar Conference, Tomsk, USSR, July 23-27, 1990