

DIAL Measurements of Water Vapor

阿保 真、長澤 親生、畑 洋一

Makoto ABO, Chikao NAGASAWA and Youichi HATA

東京都立大学工学部

Tokyo Metropolitan University

A differential absorption lidar (DIAL) system based on a continuously tunable Ti:sapphire laser is described which is capable of range-resolved measurements of atmospheric water vapor with 720nm absorption lines. A simple and compact tuning system for water vapor 720nm absorption lines is presented using a neon resonance line (724.5167nm) of a hollowcathode lamp and a wavemeter. An actual measurement of water vapor in the lower troposphere is achieved by this DIAL system.

1. はじめに 従来、ライダーによる水蒸気測定には差分吸収ライダー (DIAL) とラマンライダーが報告されている¹⁾。ラマンライダーは分子のラマン散乱断面積が小さく、大気中の水蒸気は高度が高くなるにつれて減少するため、対流圏上部や成層圏における高精度な水蒸気分布の測定は期待できず、背景光の多い昼間の測定にも不向きである。それに対しDIALは、第一義的にはより強い吸収線を用いることによって微量気体に対して測定精度を向上させることが可能である。

ここでは、光源としてNd:YAGレーザーの第2高調波で励起した、波長可変固体レーザーであるTi:サファイアレーザーを用いた水蒸気DIALの検討結果、初期的な水蒸気測定実験の結果を示す。Ti:サファイアレーザーはその波長同調域内に720、830、920nm帯の水蒸気の強い吸収線を含むので、差分吸収ライダー方式による水蒸気測定システムの光源として高い性能が期待できる。今回は吸収強度が比較的強く、光電子増倍管の効率が一番高い720nm帯の利用を考えた。

2. シミュレーション 我々の試作したライダーと同程度の性能を仮定し、US標準大気(1976)を大気モデルとして簡単な計算機シミュレーションを行った。送信光パワーとしては3,15,100mJ/パルスとし、直径20cm受信鏡を用い、受光系全効率1%、距離分解能1000mとした。また、on lineは724.373nmを用い、off lineの吸収断面積は0と仮定した。on lineの有効吸収断面積は $3.7 \times 10^{-23} \text{m}^2$ である。レーザースペクトル幅と吸収線のドップラー幅は高度により変化するがここでは無視する。シミュレーションによる統計的誤差の計算結果をFig.1に示す。これによると、出力100mJで高度4~5kmまで誤差1%以下で測定できることがわかる。

3. Ti:サファイアレーザーレーダシステム

今回使用したレーザーレーダシステムの諸元をTable 1に示す。レーザーは、Nd:YAGレーザーの第2高調波(532nm)励起のTi:サファイアレーザー(CygnusLaser社 Model Tis-532)で、狭帯域化のためにプリズムとエタロンを追加している。出力鏡の反射率は80%、同調素子としては2個のプリズムと厚さ0.1,0.5,2.5mmの4枚のソリッドエタロンを挿入した。手持ちのエタロンを使用したため、フリースペクトルレンジの選択は最適設計にはなっていない。このときの波長同調

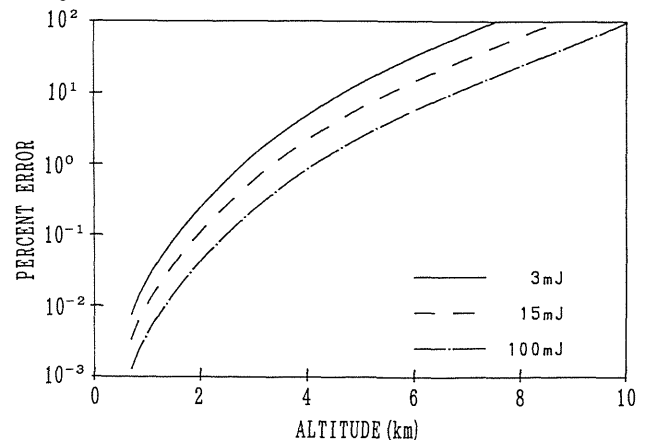


Fig.1 Simulations of vertical H₂O DIAL

域は720~880nmで、発振スペクトルの半値全幅は約6pmで、スペクトルの揺らぎは2pm以下であった。

差分吸収ライダーで水蒸気を測定する場合には吸収線への精確な波長同調が必要である。ここでは、水蒸気の720nm吸収帯の中にあるNeの共鳴線を利用して、波長精度10pmのウェーブメータ（キャベンデラ社LS-2）をNe封入のホロカソードランプにより同調されたレーザー光で波長校正し、水蒸気の吸収線に波長同調を行った。波長の校正用としてNeの共鳴線の1本である724.5167nm（空气中）を利用し、FASCODE²⁾より1pm以内の精度で水蒸気の吸収線を得、この2波長の短い区間をウェーブメータで測定することにより吸収線への同調を行った。

4. 水蒸気測定実験 前述したTi:サファイアレーザーレーダシステムと同調システムを使用して、大気中の水蒸気測定実験を行った。測定は1992年3月13日21時30分~21時55分にかけて行った。レーザーシステムの出力は3mJ/パルス、近距離を精度良く測定するために比較的吸収強度が強くNeの吸収線に近い724.373nmをon lineに取り、off lineは吸収線の存在しない724.433nmとした。波長の切り替えはエタロンの角度を変えることにより行い、交互に2回ずつ測定した。各波長の積算回数は1000×2回、距離分解能は100m、仰角は30°である。フォトンカウンティングモードで3km以下の距離を測定するためにNDフィルタを用いて出力を25μJにして測定した。Fig.2に測定結果から求めた水蒸気密度を示す。3km以下の近距離は300mの平滑化をし、3kmより遠距離は1300mで平滑化している。この測定値は通常のラジオゾンデ等による測定値と同程度のものであった。出力3mJで測定した場合の距離5kmにおける測定誤差は約20%であるので、出力を100mJとすれば距離7、8kmまで誤差数%で測定できると考えられる。

測定精度を向上させるためには、レーザの発振スペクトル幅を1pm以下へ狭帯域化し、高出力化をはかる必要がある。狭帯域化についてはコーティングしたエタロンや、インジェクションシーディング技術³⁾を利用して可能となり、出力の面でも最近出力100mJ~1Jといった高出力のTi:サファイアレーザーが市販されてきたことから、高精度化は比較的容易であると考えられる。

謝辞 本実験にあたり、チタンサファイアレーザーを使わせていただいた俳オプトサイエンス社に感謝いたします。

参考文献 (1) W.B.Grant: Opt.Engin.,30,p.40 (1991)

(2) L.S.Rothman et al.: Appl.Opt.,22,p.2247 (1983)

(3) T.D.Raymond and A.V.Smith: Opt.Lett.,16,p.33 (1991)

Table 1 Specifications of Ti:sapphire laser radar

wavelength	720-870nm
energy	15mJ(100mJ pumped)
repetition rate	10Hz
beam divergence	1mrad
range resolution	100m
aperture	200mm
field of view	2mrad
filter bandwidth	3.5nm
detector	PMT(R666S HAMAMATS)

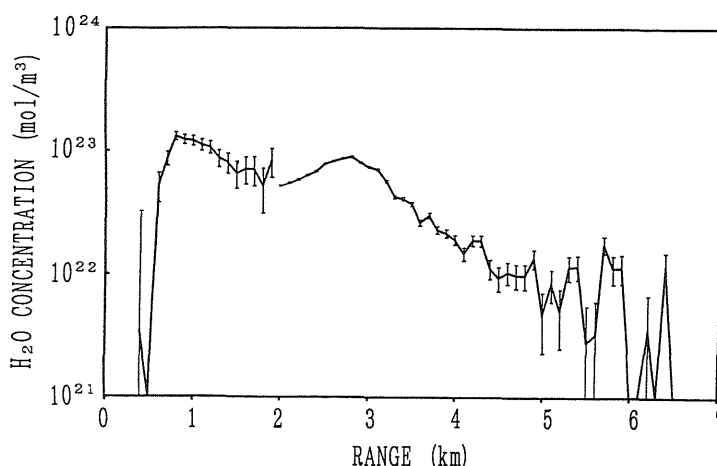


Fig.2 H₂O DIAL measurements on night-time