

近赤外 O₂ 吸収線を利用した下層大気の気温測定ライダー

A lidar system for measuring lower atmospheric temperature using
a near-infrared absorption line of the oxygen

矢口 博彬, 長澤 親生, 柴田 泰邦, 阿保 真
H. Yaguchi, C. Nagasawa, Y. Shibata, M. Abo

首都大学東京
Tokyo Metropolitan University

Abstract: We propose a new lidar system for measuring lower atmospheric temperature. O₂ absorption lines are represented by the Voigt profile, which is the function of the temperature. The system scans the Doppler broadening of the O₂ absorption line on 760nm band by Ti:sapphire laser, and the temperature is estimated by fitting the Voigt profile with the scanned line.

1.はじめに

ライダーにより, 対流圏の気温の鉛直分布を測定する方法は, (1)回転ラマン散乱による手法, (2)レイリー散乱または振動ラマン散乱を利用して大気密度を測定し, 理想気体の状態方程式と静水圧平衡を適用して気温を求める手法, (3)ドップラー効果によるレイリー散乱のスペクトル広がりを利用して測定する方法, (4)O₂ による光吸収を利用し, その吸収線のピーク強度が気温に依存することを利用して気温を求める手法が提案されている[1]. しかし, (1)は回転ラマン散乱の散乱強度が小さい, (2)は対流圏エアロゾルによるミー散乱の影響を取除かねばならない, (3)は散乱光のドップラー広がり幅の正確な測定には, 一般に複雑なシステムを必要とする, (4)は他分子やエアロゾルの吸収, 散乱の影響を受けるといった問題点がある.

そこで, 本研究では O₂ の吸収線が Voigt 関数に従うことに着目し, 波長 760nm 帯の O₂ の吸収線を狭帯域レーザーを用いてスキャンして, 気温の関数である理論吸収曲線とのフィッティングにより気温を推定する, 吸収線フィッティング法を提案する.

また, 同じ波長領域で, 差分吸収法により O₂ 密度の同時測定も可能であることから, O₂ 密度の測定に適した波長となるよう, 測定に用いる波長を選択した.

2. 吸収線フィッティング法

狭帯域のレーザーを大気中に照射し, 距離 R₁ と R₂ からのエコー強度の比を取ると, 波長 λ において主要な光吸収源となる分子の, 距離 R₁ から R₂ の範囲内の光吸収係数を測定することができる. これより,

O₂ の吸収線ピーク周辺で波長を変えながら狭帯域のレーザーを大気中に照射し, そのエコー強度を調べることで, 吸収線のスペクトルを測定できる. 一方, 吸収線は気温 T の関数である Voigt 関数によって記述できることが知られているから, 理論的に O₂ の吸収線を描き, 吸収線の測定結果と一致する気温パラメータ T の値を選ぶことにより, 気温を推定することが可能である.

本研究では, Ti:サファイアレーザーを用いて O₂ の吸収線のスキャンし, Voigt 関数とのフィッティングを行う.

3. 室内実験

提案する吸収線フィッティング法の検証実験として, 実験室内で O₂ の吸収線を実験的に取得し, 得られた吸収線に対して理論曲線のフィッティングを行った.

実験に使用したシステムのダイアグラムを Fig.1 に示す. 図に示されるように, 実験には Nd:YVO₄ レーザーで励起したリング Ti:サファイアレーザーを用いた. ミラーにより 9m の光路長を確保し, この間での O₂ による吸収スペクトルを測定した. Fig.2 に, O₂ 吸収線の測定結果を示す. プロットが測定された吸収スペクトルを示し, 曲線はフィッティングされた Voigt 関数である.

フィッティングを行う際, 測定データの 5 点移動平均を取り, この 5 点移動平均データと Voigt 関数とで最小二乗近似を行い, 気温を推定した. 実験時の室温は 299K であったが, ピーク波長 760.258nm の吸収線に対するフィッティングにより, T=297K という結果を得た.

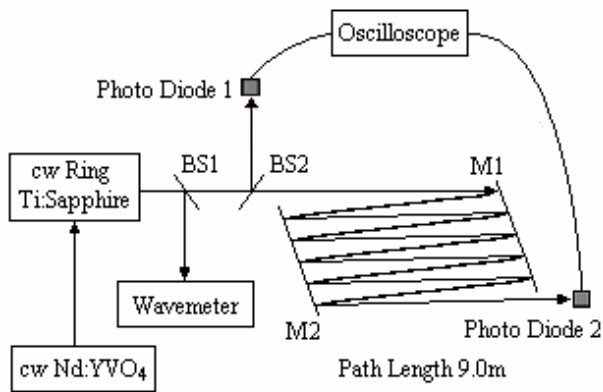


Fig.1 System diagram for measuring O₂ absorption spectrum experimentally.

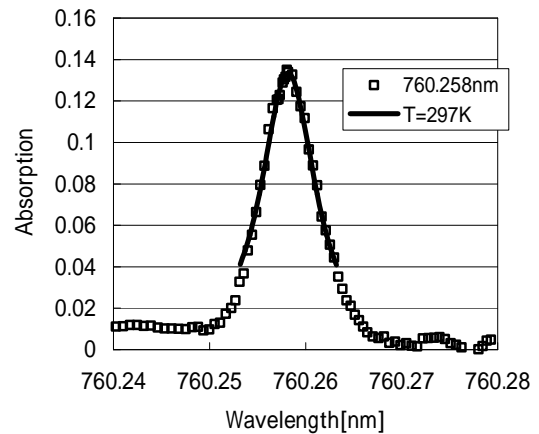


Fig.2 O₂ absorption lines scanned, which has the peak of near 760nm.

3. 波長の選択

もし、酸素密度が測定できると、酸素の大気中混合比と理想気体の状態方程式から、気温を計算することができる。気温と酸素密度の鉛直分布を、異なる手法で同時に測定することによって、対流圏内の気体が理想気体の状態方程式にどの程度従うかを検証することが可能である。また現在、地球温暖化及び大気環境問題の観点から、対流圏オゾンが注目されている。オゾンは、その生成、分解過程において、酸素分子と密接な関わりを持つから、大気中のオゾン密度分布と酸素密度分布を同時に測定できるなら、オゾンの振舞いに対する理解が進むであろう。

吸収線フィッティング法と差分吸収法は、O₂による吸収量を測定するものであるから、差分吸収法による測定に最適な吸収線は、吸収線フィッティング法にも良いと考えられる。

このことから、気温と同時に、差分吸収法によりO₂密度を測定することを考え、対流圏(高度 10km以下)のO₂の密度分布を測定する際に最適な吸収線を計算機シミュレーションによって求め[2]、この波

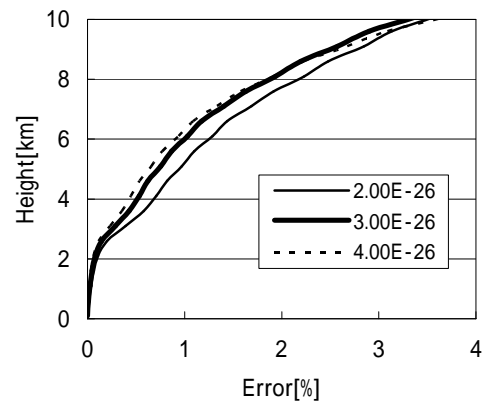


Fig.3 Error profile for the O₂ DIAL measurement.

長を気温の測定に用いることとする。

Fig.3 に、O₂密度分布の測定誤差シミュレーション結果を示す。Fig.3 より、 $S_0=3.00 \sim 4.00 \times 10^{-26}$ の吸収線が、最適であると分かる。これに最も近い値を持つのは、波長 769.8nm にピークを持つ吸収線($S_0=4.147 \times 10^{-26}$)であり、次いで 770.6nm にピークを持つ吸収線($S_0=1.846 \times 10^{-26}$)に近い。

参考文献

- [1] Geary K. Schwemmer et al., "A lidar system for measuring atmospheric pressure and temperature profiles", Rev. Sci. Instrum. 58(12), p.2226-2237 (1987)
- [2] Syed Ismail and Edward V. Browell, "Airborne and spaceborne lidar measurements of water vapor profiles: a sensitivity analysis", Applied Optics Vol.28 No.17, p.3603-3615 (1989)