

高分解能レーザーレーダーによる ミー/レイリー散乱比の測定

Measurement of the Mie/Rayleigh Scattering Ratio
by High Spectral Resolution Laser Radar

野口和夫* 杉本伸夫** 清水 浩**
k. NOGUCHI N. SUGIMOTO H. SHIMIZU

* 千葉工業大学電気工学科
CHIBA Institute of Technology
** 国立公害研究所
National Institute for Environmental Studies

SYNOPSIS: A high spectral resolution laser radar system using a cesium vapor blocking filter was constructed. The method for measuring the Mie/Rayleigh scattering ratio by scanning the laser wavelength was developed and tested in the experiment.

1. はじめに

ミー/レイリー散乱比、視程および気温を測定するのに、高分解能レーザーレーダーは有力な手段である。この方法には、高分解能の分光素子が必要であるが、今回、蒸気状のセシウム原子を用いた。また、測定方法について、光源として使用するレーザーの波長を掃引するという新しい方法を考案した。その結果、従来非常に難しかったミー/レイリー散乱比を比較的簡単に、精度よく求められることを示した。

2. 解析方法

レーザーのスペクトルの形状を $L(\nu)$ 、ミー散乱スペクトルを $M(\nu)$ 、レイリー散乱スペクトルを $R(\nu)$ とし、次のように規格化する。

$$\int L(\nu) d\nu = 1, \quad \int M(\nu) d\nu = 1, \quad \int R(\nu) d\nu = 1 \quad (1)$$

また、ミー散乱光とレイリー散乱光のスペクトルは、それぞれ次式で書ける。

$$M'(\nu) = \int M(\nu') L(\nu' - \nu) d\nu', \quad (2)$$

$$R'(\nu) = \int R(\nu') L(\nu' - \nu) d\nu'. \quad (3)$$

一方、原子フィルターの透過率を $T(\nu)$ とすると、レーザー光を原子フィルターに透過させて得られるスペクトルは、次式で表わされる。

$$T'(\nu) = \int T(\nu') L(\nu' - \nu) d\nu'. \quad (4)$$

今、ミー散乱およびレイリー散乱された散乱光を $C_m M'(\nu) + C_r R'(\nu)$ と書く。ここで、 C_m 、 C_r は定数とする。

さて、レーザー波長を掃引して、散乱光を原子フィルターに透過させたとき、観測されるスペクトル $I(\nu)$ は次ぎのように表わされる。

$$\begin{aligned} I(\nu) &= \int T(\nu') [C_m M'(\nu' - \nu) + C_r R'(\nu' - \nu)] d\nu' \\ &= \int T'(\nu') [C_m M(\nu' - \nu) + C_r R(\nu' - \nu)] d\nu' \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式の表わしていることで重要なことは、レーザーのスペクトルおよび原子フィルターの透過スペクトルが知られていない場合でも、 $T'(\nu)$ が知られていれば、 C_m および C_r を求められることである。

手順としては、測定値 $T'(\nu)$ と計算値 $R(\nu)$ より(5)式第2項の積分を求める。第1項の積分は $T'(\nu)$ そのものである。これらを用いて、最小2乗法により、 $I(\nu)$ が $R'(\nu)$ に一致するように C_m 、 C_r を求める。また、これを各気温ごとに行ない、もっともよく一致する気温を探す。以上の手順により、ミー/レイリー散乱比 C_m/C_r 、と気温を求めることができる。

3. 実験

実験に使用したレーザーレーダーシステムの構成を Fig. 1 に示す。光源としては、YAGレーザー励起の色素レーザーで、出力はやく3 mJ、スペクトル幅 0.05 cm^{-1} である。波長掃引は圧力掃引法によった。原子フィルターは、長さ5 cm 温度460 k で使用した。望遠鏡は、直径30 cm のカセグレン型のものを使用した。

4. 結果

まず、測定の最適化のため、原子フィルターの透過特性を測定した。この結果を Fig. 2 に示す。Fig. 3 に原子フィルターを透過させた、高度180 m における大気の散乱光とリファレンス光のスペクトルについて、測定した結果を比較して示す。Fig. 4 にミー/レイリー散乱比の高度分布を示す。観測は1月の午後7時頃行なったもので、結果は妥当なものである。

以上の結果より、ミー/レイリー散乱比の測定が行なえることがわかった。今後、S/N比を改善して気温測定を行なうことが一つの課題である。

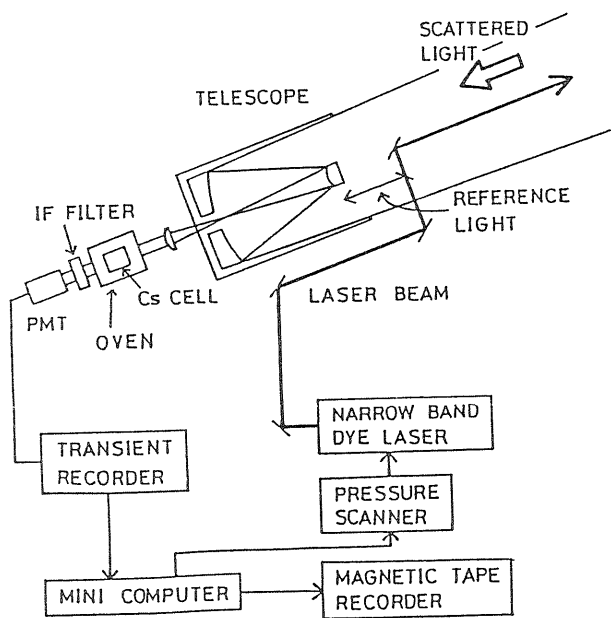


Fig.1 Block diagram of the High Spectral Resolution Lidar.

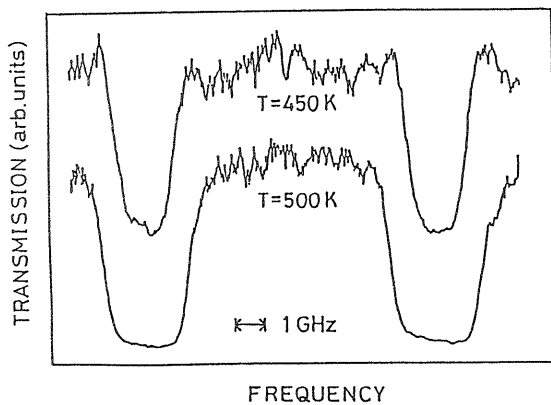


Fig.2 Transmission spectrum of the cesium vapor blocking filter.

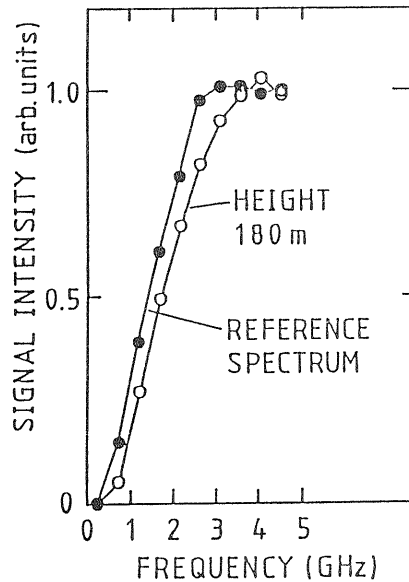


Fig.3 Recorded signal intensity as a function of the laser frequency.

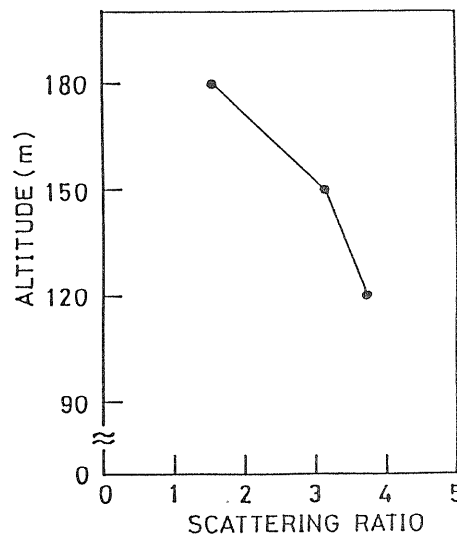


Fig.4 Altitude distribution of scattering ratio.