

B7

高分解能ライダーによる雲、エアロゾルの散乱パラメータと気温の測定

Measurements of Scattering Parameters of Clouds, Aerosols and Atmospheric Temperature Using an High Spectral Resolution Lidar

劉 兆岩、松井 一郎、杉本 伸夫

Zhaoyan Liu, Ichiro Matsui, Nobuo Sugimoto

環境庁 国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies

Abstract: A high spectral resolution lidar (HSRL) using an iodine absorption cell has been developed and the atmospheric observations are carrying out with this HSRL at Tsukuba (N36/E140). The experimental results demonstrated that a HSRL can provide not only the quantitative measurements of the scattering parameters of clouds and aerosols but also the simultaneous measurements of stratospheric aerosols and temperature profiles. Measurement examples for cirrus clouds, Asian dust (kosa), stratospheric aerosols and temperatures are given in this paper.

1. はじめに

ミーライダーの受信信号には、分子によるスペクトル幅の約数GHz広いレイリー散乱成分と雲やエアロゾルによるスペクトル幅の狭い（レーザーのスペクトル幅に相当）ミー散乱成分がある。従来のミーライダーを用いる雲やエアロゾルの計測は、ミー散乱成分の消散係数と後方散乱係数比を定数と仮定して、これらの散乱体の光学的パラメータを定量的に求めるのである。しかし、実際のミー散乱の消散係数と後方散乱係数比は散乱体の構成成分や粒径分布などに依存し、距離の関数として変わる。そのため、仮定せず直接的なミー散乱の測定が要求とされている。高スペクトル分解ライダー（HSRL）は、高分解の分光素子と狭帯域のレーザーを用いることにより、レイリー散乱とミー散乱を分離し、直接にミー散乱の光学的パラメータを求めることが可能である。1)、2)

本報告では、分光素子としてヨウ素の吸収を利用したフィルターを用いる高スペクトル分解能ライダーを用いた巻雲と黄砂エアロゾルの観測結果について報告する。また、高分解能のライダーを用いた成層圏のエアロゾルと気温の同時観測を示す。

2. 高スペクトル分解能ライダーシステム

図1にHSRLの構成を示す。光源としてインジェクションシーディングをかけたパルスNd:YAGレーザー（Continuum社のPL7010）の第二高調波（532nm）を用いた。このレーザーの第二高調波のスペクトル線幅は200 MHz以下である。また、インジェクションシーダーの温度を調節することによって、レーザ波長をヨウ素の吸収線に同調した。

ヨウ素分子吸収フィルターは、ヨウ素 (I_2) 結晶を長さ45 cm、内径5 cmのパイレックス製のセルに入れ真空ポンプで引いて封じたものである。セルの吸収は、レーザーの波長とヨウ素の蒸気圧（すなわち、セルの温度）に依存するため、観測中は、ヨウ素蒸気セルの温度を制御している。また、送信レーザー波長をヨウ素の吸収線に正確に同調しセルの温度を安定化するため、A/Oモジュレータを用いた波長モニターでレーザー波長を監視している。

直径の5.6 cmのCassegrain型の望遠鏡を用いて、後方へ散乱されたレーザー光を集光する。巻雲などからの散乱光は偏光解消度が高いため、反透過率が偏光に依存しない無偏光キューバビームスプリッターを用い集光された信号ビームを2つのビームに分離する。スペクトル幅の3 nmの干渉フィルターを利用し背景光や蛍光などを除去する。PMT検出器を用い、感度の高い光子計数検出方式を採用した。

波長モニターを用いたヨウ素の吸収スペクトルの測定結果を図2に示す。観測された吸収線は、発表された吸収線に比べ（Gerstenkorn and Luc, 1978による表記）確認した。3) ヨウ素

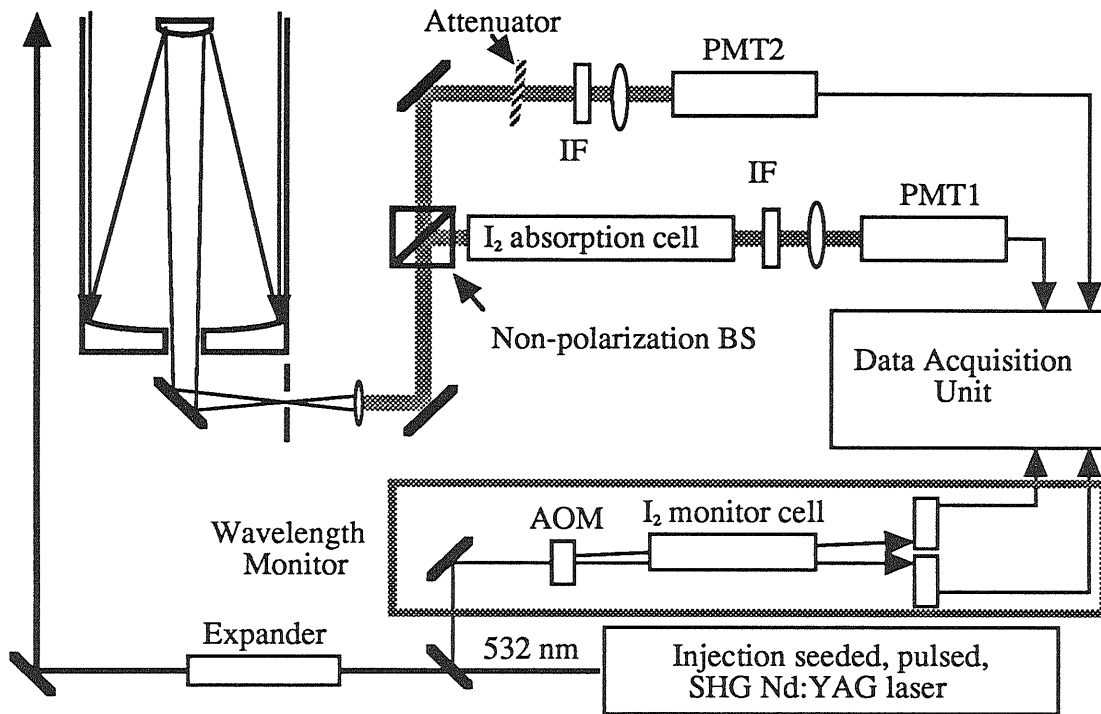


Fig. 1 Diagram of HSRL using an iodine absorption cell

分子はこの1111吸収線 Nd:YAG レーザーの第二高調波帯に強い吸収を持ち、吸収線幅は約 2.4 GHz であり、この吸収線を利用した。

3. 観測例

製作した HSRL を用い国立環境研究所 (Tsukuba, N36/E140) において、大気の観測実験を行った。このライダーシステムで巻雲 (cirrus) と黄砂及び成層圏エアロゾルと気温分布の同時計測の例を示す。

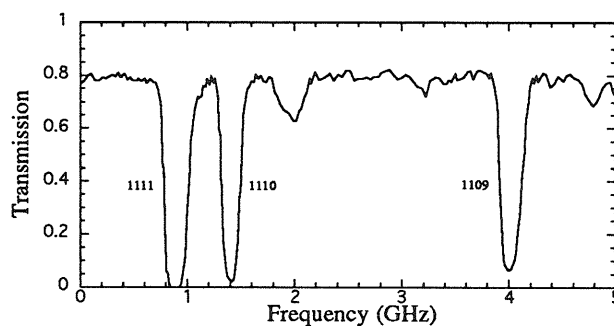


Fig. 2. Iodine absorption lines measured with the monitoring iodine cell.

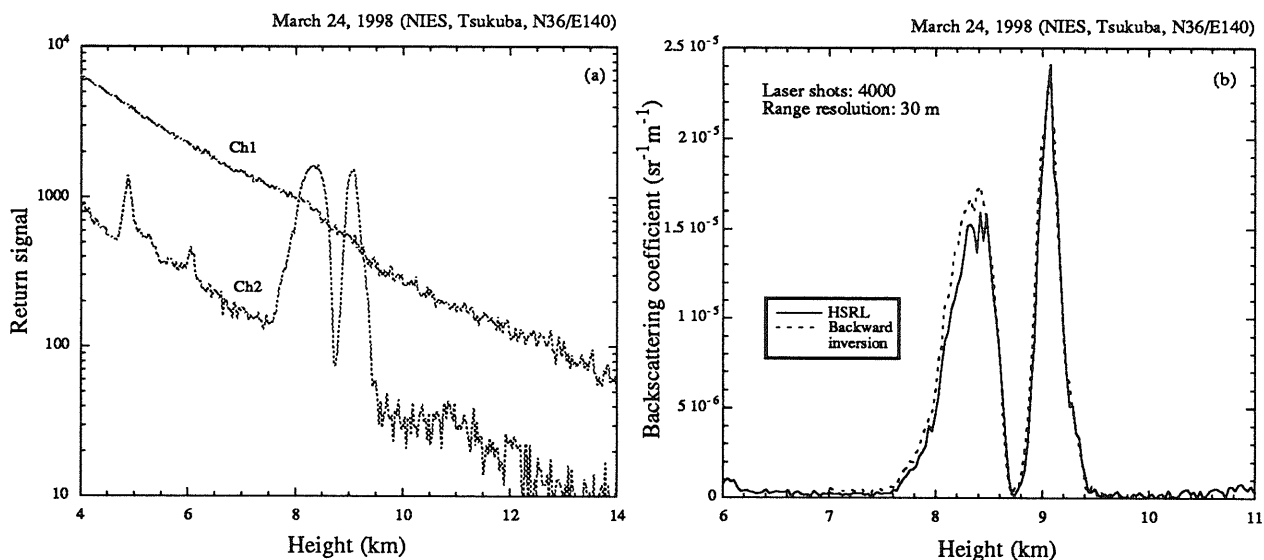


Fig. 3 Example for cirrus cloud measurement.

3.1 巻雲 (cirrus)

図3a)に観測したライダー信号を示す。Ch1はヨウ素セルを通過したレイリー信号チャンネルであり、Ch2はレイリーとミー信号の両方を含むチャンネルで、従来のミーライダーの受信信号と同様である。Ch2の信号により、7.6kmから9.4kmの高度にかけて2層構造の薄い雲があることが分かり、この2つのチャンネルの信号から雲の散乱比が求められた。図2b)に散乱比から求めた雲の後方消散係数を示す。ここでは、用いたレイリー散乱の後方散乱係数と消散係数は観測と同じ時間、N36/E140のECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)の気温と気圧の分布データから求められたものである。一方、散乱光がヨウ素フィルターを通過したレイリーチャンネルには雲による散乱信号が現われておらず、雲の消散による信号の減衰が示されている。このレイリーチャンネル信号から雲の光学的厚さが求められ、さらに、 $S_1\eta$ (ここで、 S_1 は雲の消散係数と後方散乱係数比、 η は多重散乱ファクタ⁴⁾) パラメータも求められる。求めた $S_1\eta$ パラメータの平均値は、7.5 km~8.4kmの層に対して14.6 (sr^{-1})、8.4km~9.4kmの層に対して25.4 (sr^{-1})である。このパラメータの測定値を用い2成分のbackwardのインバージョン⁵⁾を行って、雲の後方散乱係数を求め、図2b)に示している。インバージョン法によって求めた後方散乱係数の分布は散乱比から求めたのよりやや高く、2層の全光学的厚さは10%くらい高い。

3.2 黄砂 (Asian dust)

4月16日から中国の大陸で大きな砂塵嵐が発生し、日本でそれによって黄砂現象が観測された。⁶⁾ HSRLを用い4月19日に観測した黄砂の散乱比の高度分布の時間変化を例として図4に示す。ライダーの距離分解能は150m、時間間隔は20分である。黄砂層は、だんだん高くなり、また下がってくる現象が示され、観測した最大散乱比は約5である。

3.3 成層圏エアロゾルと気温分布

レイリーライダーを用いて30 km以上の気温の分布がライダー信号の強度分布から求められるが、地上から30 kmまでの高度にかけてエアロゾルが顕著に存在するため、ミー散乱成分の寄与が無視できず、従来のレイリーライダーではこの高度の気温観測ができなくなる。

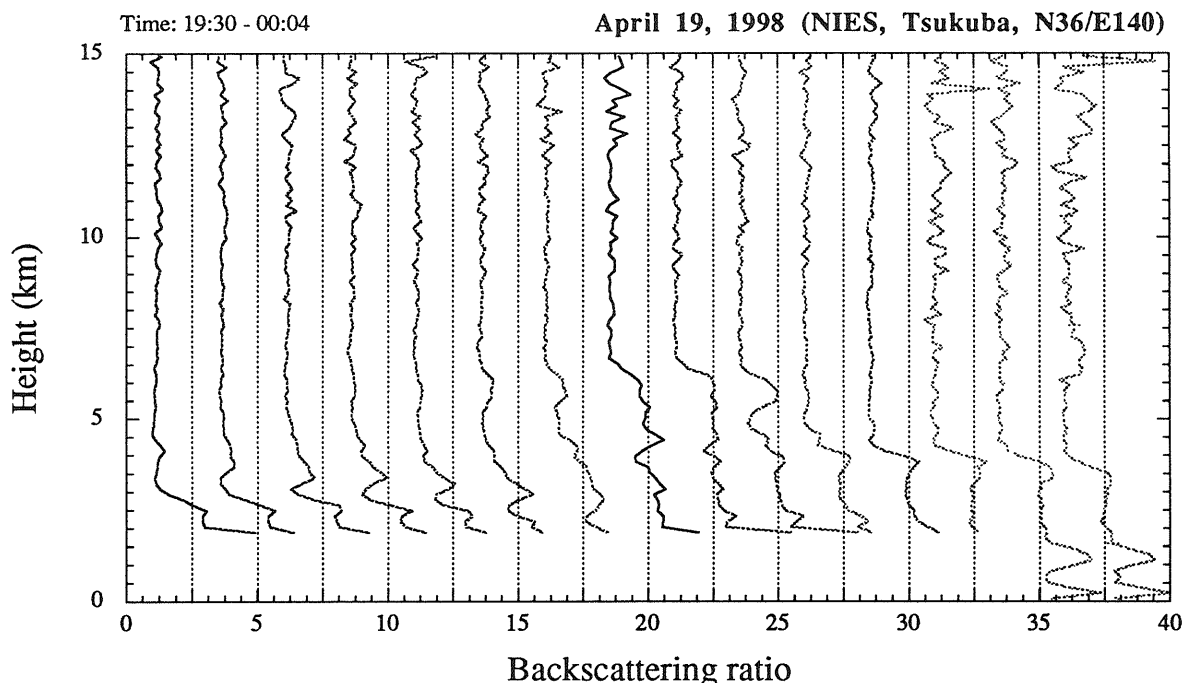


Fig. 4 Example of measured backscattering ratio for Asian dust (kosa).

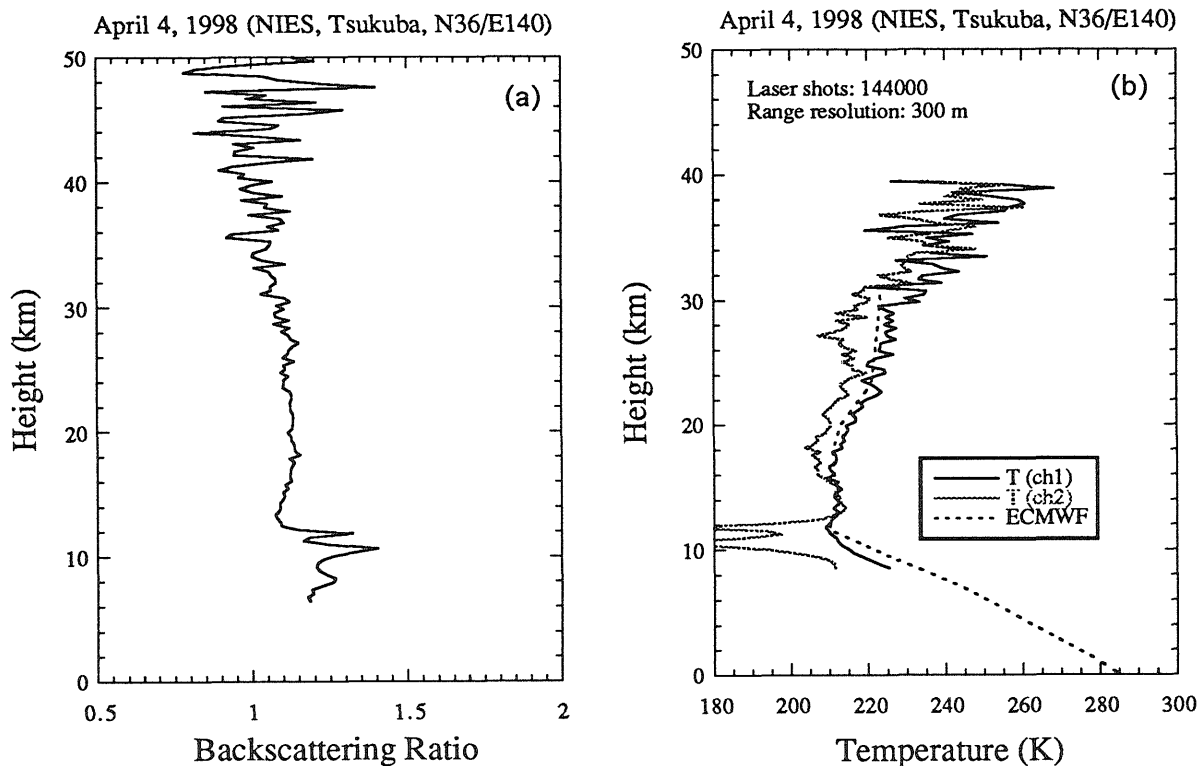


Fig. 5 Simultaneously measured stratospheric aerosol and temperature distributions.

HSRLを用いてミー散乱とレイリー散乱を分離することができるため、成層圏エアロゾルの観測とともに、吸収セルを通過したCh1のレイリー信号強度分布から気温分布も求められる。図5に求めた成層圏エアロゾルの散乱比a)、とレイリー信号の強度分布から求めた気温の高度分布b)を示す。観測は夜19:30からの約5時間で行われた。比較するため、観測と同じ日の夜9時のECMWFの気温分布データも示している。また、ミー散乱寄与の温度観測への影響を示すため、ミー散乱成分を含むCh2の信号強度分布から温度の分布を求め、併せて図5b)に示している。結果は、Ch1のレイリー信号から求めた気温の分布はECMWFの結果とよく一致し、一方、成層圏エアロゾルによるミー散乱成分の寄与は少ないが(散乱比の最大値は約1.15)、ミー散乱を含むCh2の信号から求めた気温の分布はECMWFの分布より低いことが示された。

4. まとめ

ヨウ素吸収セルを用いた高分解ライダーを利用して、大気の観測実験を行った。実験結果は、HSRLを用いて雲やエアロゾルの散乱パラメータの定量的観測ができ、従来のレイリーライダーの観測できない成層圏の気温観測もできることを示した。

参考文献:

- 1) H. Shimizu, S. A. Lee, and C. Y. She, "High spectral resolution lidar system with atomic blocking filters for measuring atmospheric parameters," *Appl. Opt.* 22, p.1373 (1983).
- 2) P. Piironen and E. W. Eloranta, "Demonstration of a high-spectral-resolution lidar based on an iodine absorption filter," *Opt. Lett.* 19, p.234 (1994).
- 3) S. Gerstenkorn and P. Luc, 1978: Atlas du spectre d'absorption de la molécule d'iode (Center Nation de la Recherche Scientifique, Paris)
- 4) C. M. R. Platt, (1973) "Lidar and radiometric observation of cirrus clouds," *J. Atmos. Sci.* 30, p.1191.
- 5) S. A. Young, (1995) "Analysis of lidar backscatter profiles in optical thin clouds," *Appl. Opt.* 30, p.7019.
- 6) 黄砂ライダーネットワークホームページ, <http://info.nies.go.jp:8094/kosa/>