

Abstract: A lidar system for tropospheric ozone measurement has been developed and some observations have been made for trial of the system. The fourth harmonics of Nd:YAG laser is used for the pump source and the first Stokes lines of 289nm (D₂) and 299nm (H₂) are generated for the absorbed and non-absorbed wavelength respectively using the stimulated Raman scattering. Ozone vertical distribution of middle to upper troposphere can be obtained in about 15 minutes of accumulation time.

1. はじめに

大気中のオゾンは、紫外線吸収、温室効果などの性質を持ち、気象、気候、環境、大気科学等を理解する上で重要な位置を占めている。差分吸収法ライダー (DIAL :Differential Absorption Lidar) はこのようなオゾンの鉛直分布を時間的・空間的に詳細に知るための有力な手段である。この研究では、時間分解能 10 分程度の時間的に密な鉛直分布データを取得できる対流圏オゾン観測用ライダーを開発し、これまでに当研究所で開発されている成層圏オゾンライダーと合わせ、対流圏から成層圏に至るオゾン分布を十分な精度で時間的・空間的に密に観測できるシステムの開発を目指している。

今回開発した装置では、Nd:YAG レーザー第 4 高調波 (波長 266nm) と、水素及び重水素をラマン活性ガスとしたラマンセル (波長 289nm 及び 299nm) を用いて 2 波長を得る方法を採用している。この方法は、エキシマレーザーや色素レーザーなどを使用した他の方法に比べてレーザーの取り扱いが簡単であり、また、一度設置・調整してしまえば容易に観測が行えるため、ルーチン観測に適しているという特徴がある。これまでに、ラマンセルの長さ、ラマン活性ガス及びバッファガスの種類・圧力、配置などの検討を行い、さらに実測によってこれらの最適値を決定してきた。これらの概要を述べるとともに、試験観測により得られた対流圏オゾンの観測結果について報告する。

2. DIAL システム

開発した対流圏オゾン観測用ライダーの概略図を Fig. 1 に、仕様を Table 1 に示す。Nd:YAG レーザーからの第 4 高調波は、ビームスプリッターで 1 : 2 に分けられ、ラマン活性ガスとしてそれぞれ重水素及び水素を充填したラマンセルに入射させる。ラマンセルの直前にはセル内にビームを集束させるためのレンズが置かれており、ラマンセル内の焦点付近で起こる誘導ラマン効果により波長がシフトしたストークス線を得る。ラマンセルを通ったレーザー光は、ラマンセル後方のコリメータレンズで平行ビームにし、プリズム又はダイクロイックミラーで観測に使用する第 1 ストークス線を取り出し、DIAL の 2 波長に利用する。ラマンセルでの第 1 ストークス線への変換効率及びビームの質を向上させるためにバッファ

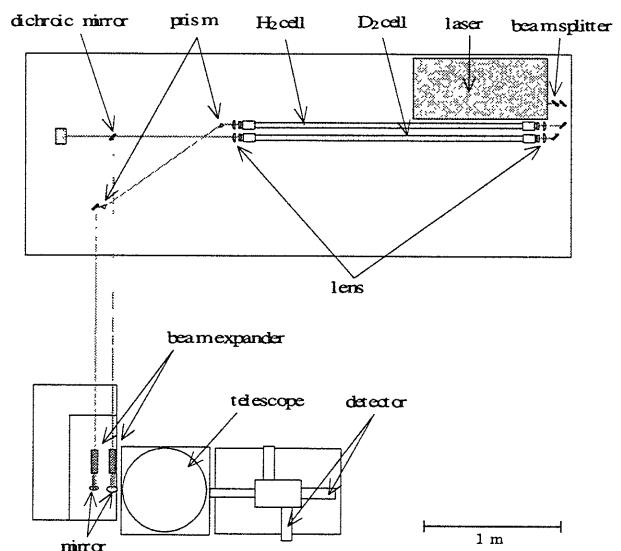


Fig.1 Schematic of the ozone DIAL

ガスを加圧充填することが有効であり、この装置でも採用した。得られた第1ストークス線は、ビームダイバージェンスを小さくするためにビームエキスパンダーを通過させ、ミラーで鉛直上方に打ち上げる。受信望遠鏡で受けた光は、ハーフミラーで1:1に分けられ、289nm及び299nmを透過させる干渉フィルターを通して光電子増倍管で検出される。

3, 試験観測

現在、装置の性能評価のため、試験観測を行っている。ここでは、2001年10月19日、つくば市の気象研究所で行った試験観測結果について紹介する。299nm生成用ラマンセルには水素9atmとアルゴン25atmを、また289nm生成用ラマンセルには重水素13atmとアルゴン13atmを充填した。レーザーからの励起光をビームスプリッターで分け、水素及び重水素を充填したラマンセルにそれぞれ0.50W、0.39W入射させた。この時、ビームエキスパンダー直前で測定した299nm及び289nmの光のパワーはそれぞれ0.10W及び0.13Wであった。望遠鏡の視野角は1.0mradとし、299nmのチャンネルにOD1.0のNDフィルターを使用した。光電子増倍管には1.5kVの電圧を印加し、パソコンに内蔵のフォトンカウンタボードの仕様に合わせるために、出力信号を10倍のプリアンプで増幅した。さらに、ディスクリレベルを60mVに設定し、ノイズ成分を除去した。レンジゲート97.5m、積算時間30分(18000ショット)でデータを取得した。

4, 解析とまとめ

観測データからオゾン分布を解析する際に、ライダー観測で得られた受信光子数と大気分子によるRayleigh散乱を考慮し、エアロゾル等の効果、他の吸収気体の効果は考慮しなかった。平滑化のため、9点の観測値の移動平均を行い、差分を取ることによってオゾンの高度分布を求めた。解析結果をFig.3に示す。これまでに得られたライダー観測データと過去数年分の同じ季節におけるオゾンゾンデによる観測結果を比較したところ、NDフィルターを交換することにより3kmから10km以上まで定量的に相応なオゾン分布を得られることが分かった。この観測例では、積算時間を30分としたが、15分程度でも十分なプロファイルが得られている。Fig.3で4km以下が測定できていないのは、光電子増倍管が飽和して正確に計数できていないことと、2km以下で打ち上げられたレーザービームと望遠鏡の視野とのオーバーラップが不完全であることが原因である。今後の課題として、システムの改善と観測精度の評価をすすめていきたい。

参考文献

[1] 中里真久他, 第27回リモートセンシングシンポジウム講演論文集 (2001)

Table 1 Specification

transmitter	
pump laser and its wavelength	Nd:YAG FHG (266nm)
pulse energy	150mJ
pulse repetition	10Hz
pulse duration	4~6ns
Raman cell length	2.0m (for both Raman cells)
Raman active gas and shifted wavelength	H ₂ (299nm), D ₂ (289nm)
buffer gas	Ar (for both Raman cells)
beam expander	5×
beam diameter	50mm
beam divergence	~0.1mrad

receiver	
telescope diameter	60cm
field of view	1.0mrad
distance between laser and telescope axes	50cm (for 299nm), 60cm (for 289nm)
detector	PMT (Hamamatsu R331)
signal processing	photon counting

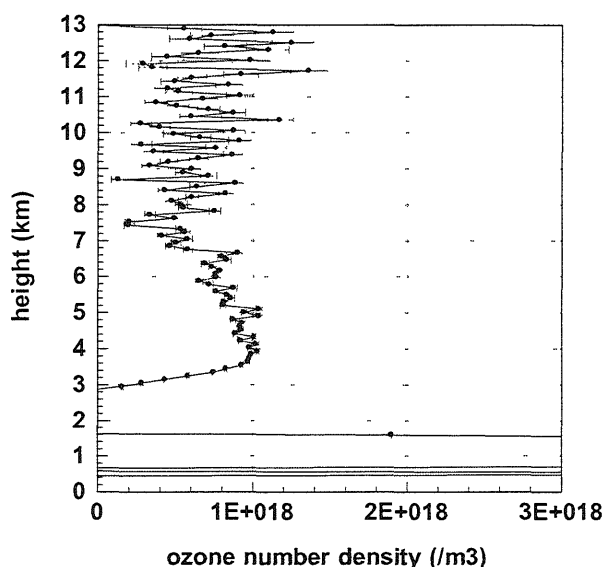


Fig.3 Ozone profiles observed by lidar