

藤田雅之、M. C. D. Galvez\*、E. A. Vallar\*、井上典洋、  
森木亮介\*\*、北谷 公\*\*、井澤靖和\*\*\*、山中千代衛

M. Fujita, M. C. D. Galvez\*, E. A. Vallar\*, N. Inoue,

R. Moriki\*\*, A. Kitatani\*\*, Y. Izawa\*\*\*, C. Yamanaka

(財) レーザー技術総合研究所、デ・ラ・サレ大学\*、近畿大学理工学部\*\*

大阪大学レーザー核融合研究センター

*Institute for Laser Technology, De La Salle Univ., Kinki Univ.*

*Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.*

A white light continuum generated by a femtosecond laser in an atmospheric pressure krypton gas, was utilized for the LIDAR experiments for the first time. The white light spectrum covers a spectrum from 350nm to more than 950nm. In the preliminary experiments, spectrally integrated backscatter signals showed possible range of more than 5km. Time-integrated backscatter spectrum showed apparent water vapor absorption profile. The possibility of multi-wavelength measurement to monitor the aerosol and clouds was also demonstrated. These results indicate that this novel light can be used for developing new LIDAR techniques.

## 1. はじめに

ピーク強度が 0.1TW を越えるパルスレーザー光を最適な条件下で気体中に集光すると、光は自らファイバー状のチャンネルを空間に形成し伝搬していく。その自己形成チャンネル内でレーザー光は自己位相変調と呼ばれる現象によりスペクトルを広げ、遠赤外から紫外に及ぶ広帯域のコヒーレント白色光に変換していく。特に、希ガス中にパルスレーザー光を集光して得られる超広帯域のコヒーレント白色光<sup>1)</sup>のスペクトルは遠赤外から紫外に及び、且つ太陽光線とは異なり、元のレーザー光の性質（指向性、干渉性、超短パルス性）を有しており、新しい光源として注目されている。この超広帯域コヒーレント白色光をライダー光源として用い、新しい大気観測の可能性について検証するために、屋外大気実験を開始した。クリプトンガス中で発生させた白色光スペクトル及び、大気中エアロゾルからの後方散乱光を観測し、有用性を検討している。

## 2. 白色光スペクトル

Fig.1 に1気圧のガス中で発生させた白色光スペクトルを示す(図中、矢印は可視光領域を示す)。波長800nm、パルス幅100fs、ピーク強度約1TWのレーザー光(口径40mm)を焦点距離5mのレンズで集光し、マルチチャンネル分光器で測定した。大気中で発生させた白色光に比べて、クリプトン(希ガス)中で発生させた白色光の方が広帯域であることが分かる。紫外350nmから可視域

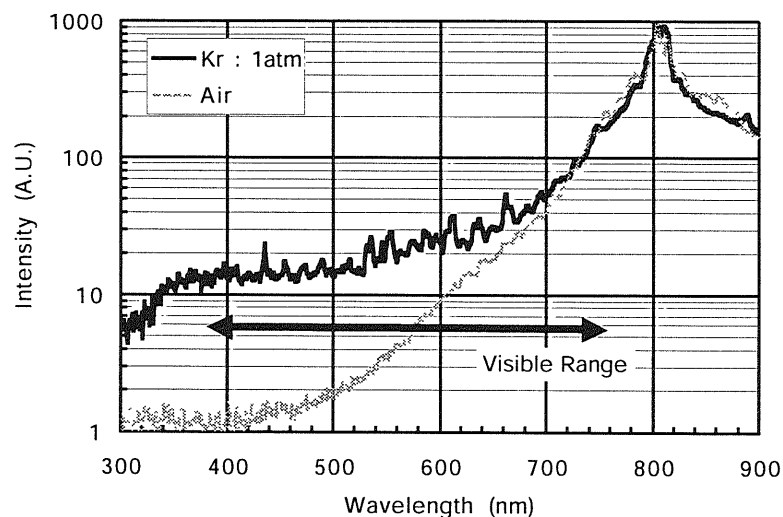


Fig. 1 The white light spectrum generated by a femtosecond TW laser pulse, recorded with an optical multichannel analyzer.

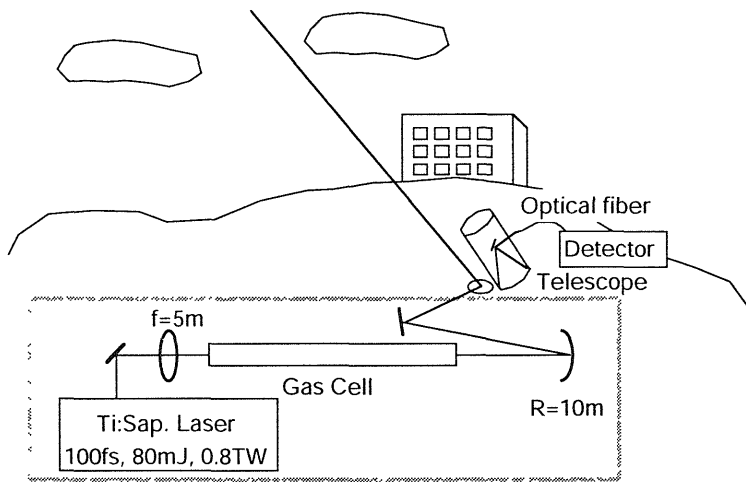


Fig. 2 Experimental setup of the white light LIDAR.

700nm に渡りほぼ平坦なスペクトルを有している。

ドイツに於いて進められている白色光ライダー研究は<sup>2,3)</sup>、上空大気中で自然発生させた白色光を用いているが、本研究では希ガスセルからの白色光を用いており、より広帯域且つスペクトルが既知の光源であるため、新しい試みとして期待される。

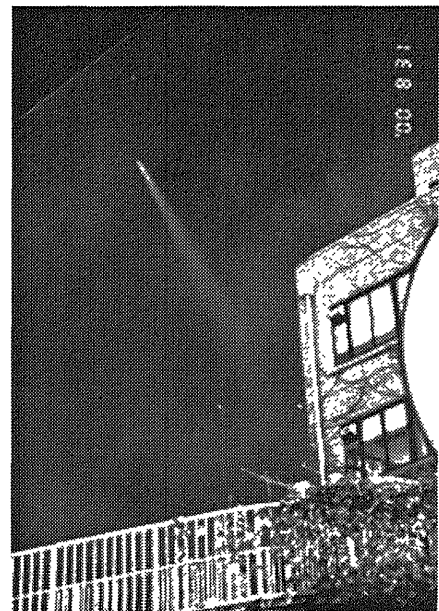


Fig. 3 Photography of the white light trajectory seen at the side of the telescope.

### 3. 屋外大気実験

Fig.1 に示す白色光を屋外に導き、実大気で散乱光観測を行った。Fig.2 に実験配置図を示す。屋内に設置されたクリプトンガスセル内で発生させた白色光を曲率 10m のミラーで平行にコリメートし、上空へ出射した。大気からの散乱光は、口径 30cm のニュートン型望遠鏡で集光し観測した。Fig.3 に屋外実験の様子を示す。

#### 3-1. 散乱光信号 (スペクトル積分)

望遠鏡の集光点付近に光電子増倍管を設置し、スペクトル積分された散乱光信号をオシロスコープで計測した。Fig.4 に観測された波形を生データで示す。Fig.4 (a)は1ショットのデータであり、Fig.4 (b)は33回積算し、ノイズを低減させたデータである。スペクトル積分された信号であるが、実際には光電子増倍管の感度より、主に 400nm-800nm (光電子増倍管の最大感度は 600nm) の波長の散乱光を積分していることとなる。スペクトル積分ではあるが、上空 5km 以上からの散乱光が観測できることが確認された。この高度領域は雲の影響で衛星からの観測が困難とされている範囲であり、低層大気における地上からの白色光ライダー観測の有用性が期待される。

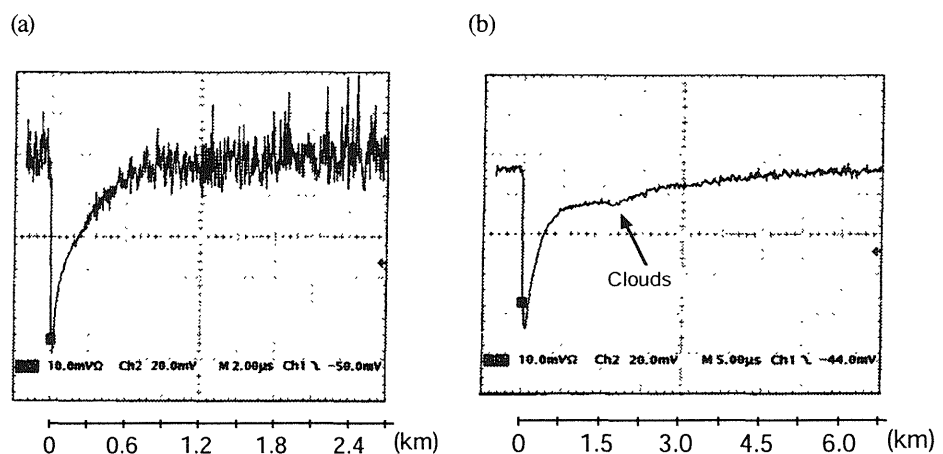


Fig. 4 Typical backscatter signals taken with a photomultiplier.

(a) : Single shot raw data, (b) : 33-shots averaged data

### 3-2. 時間積分スペクトル

次に、散乱光の時間積分スペクトルの観測を行った。Fig.5 に測定された散乱光の時間積分スペクトルを示す。分光器の波長分解能は約0.5nm である。短波長の方が散乱係数が大きいため、出射時のスペクトルに比べて長波長側の光量が低下し、より平坦に見える。僅かではあるが、水蒸気によると思われる吸収(図中の矢印)も観測されている。

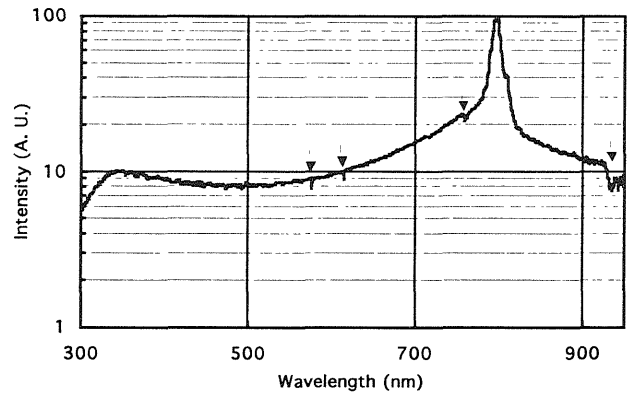


Fig. 5 Time-integrated backscatter spectrum. Arrows indicate possible water vapor absorption.

### 3-3. 多波長散乱光信号 (同時計測)

白色光ライダーの最大の特徴は広帯域なスペクトルである。この特徴を活かすために、多波長の散乱光信号同時計測を行った。スペクトル分解にはバンド幅 40nm の干渉フィルターを用いた。Fig.6 に光学系の配置を示す。ダイクロイックミラーを用いて散乱光の波長帯域を分離し、さらに干渉フィルターにより観測するスペクトル幅を制限している。用いたフィルターの中心透過波長は、350nm、550nm、700nm、950nm の4種類である。4チャンネル同時計測の信号を Fig.7 に示す。950nm の信号は光電子増倍管の感度が低いため、他よりも弱く且つノイズが多くなっている。

散乱光の多波長同時計測により、大気中エアロゾルや雲の後方散乱係数の波長依存性を求めた<sup>4)</sup>。後方散乱係数は粒子のサイズあるいは粒径分布に依存するため、大気中のエアロゾルや雲の構造の重要な情報を与えることとなる。このような知見は、大気あるいは気象のモデル化や環境評価の精度向上に大きく寄与することが期待される。

後方散乱係数の評価は信号量が大きな3チャンネル(350nm、550nm、700nm)の同時計測データを用いて行った。Fig.8 に用いた測定データを示す。雲の情報も得るため、白色光は大気中の雲に向かって出射したため、高度としては約2.5km以下での情報を得た。Fig.9 に Fig.8 の信号から得られた後方散乱係数の波長毎の高度分布を示す。図中、350nm、550nm、700nmの順番で後方散乱係数が小さくなっており、短波長ほど大きな後方散乱係数を示している。一般に、後方散乱係数 $\beta$ は、

$$\beta(\lambda) \sim \lambda^{-\delta}$$

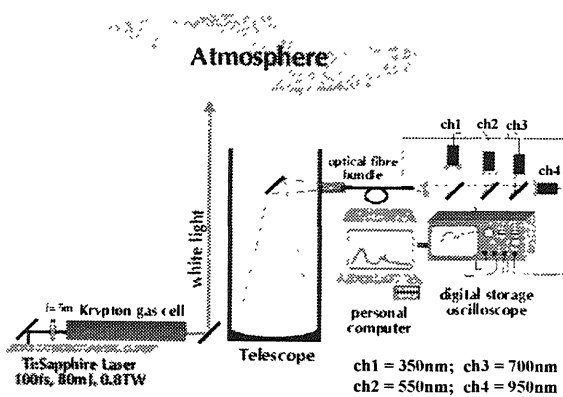


Fig. 6 Experimental setup for multiwavelength measurements

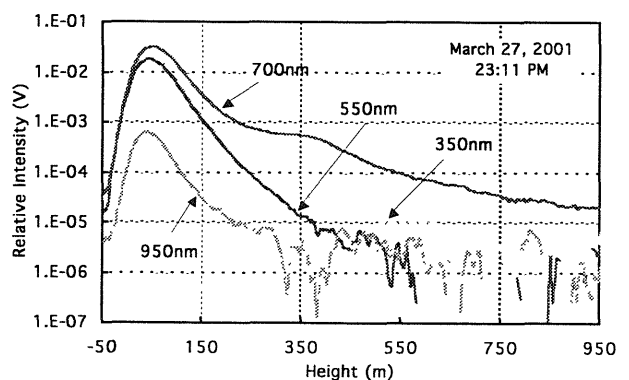


Fig. 7 Altitude profile of the backscattered signals at 4 wavelengths taken simultaneously.

で表される。ここで、 $\delta$ はオングストローム係数と呼ばれ、波長依存性の指標である。

Fig.9 より高度によりエアロゾルの粒径や分布が、ある範囲で特徴的に変化し、雲（高度 2~2.4km）の粒径とは大きく異なることが実験的に明らかとなった。原理的にはさらに観測チャンネルの多数化を進めることが可能であり、白色光ライダーの有用性を示していると言える。

#### 4. まとめ

環境計測へのレーザー応用として白色光ライダーの開発研究を進めている。希ガスからの白色光をライダー光源として用いる初めての試みである。屋外実験を開始し、スペクトル積分により高度 5km 以上の上空からの散乱光信号が得られることが分かった。また、時間積分された散乱光スペクトルの観測を行った。測定系の最適化により、より詳細な大気吸収スペクトルを得ることが期待される。さらに、干渉フィルターを用いた多波長同時計測を行い、4 チャンネル同時計測に成功した。得られたデータから大気中粒子（エアロゾル及び雲）の後方散乱係数を求め、それらの粒径分布に関する知見を得る手がかりを得た。これらのデータをもとに、さらに詳細な解析を進める予定である。

今後は、測定光学系の最適化を行い、より詳細なスペクトル情報を取得し、白色光ライダーの可能性を実験的に検証していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 西岡一, 植田憲一, 応用物理, 67 (1998) 1066.
- 2) P.Rairoux, R.Neuber, et al., in *Proceeding of 19th International Laser Radar Conference* (NASA/CP-1998-207671/PT2) (Langley Research Center, Hampton, VA, 1998) pp.627-630.
- 3) F.Jeanneret, F.Kirchner, et al., in *Proceeding of 19th International Laser Radar Conference* (NASA/CP-1998-207671/PT2) (Langley Research Center, Hampton, VA, 1998) pp.665-668.
- 4) Fernald, F., *Analysis of Atmospheric Lidar Observations: Some Comments*, Applied Optics, vol. 23, pp.652-653, 1984.

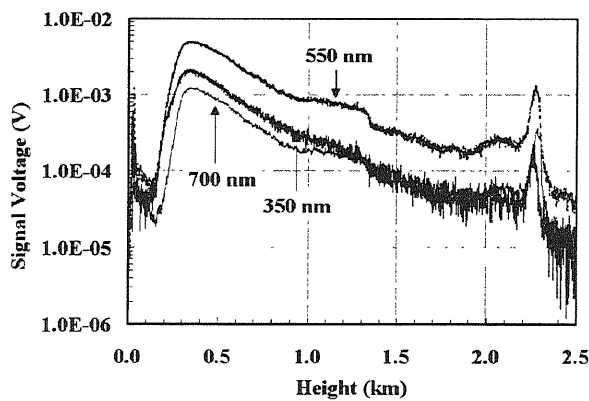


Fig. 8 Altitude profiles of the backscattered signal at 350, 550, and 700nm wavelengths.

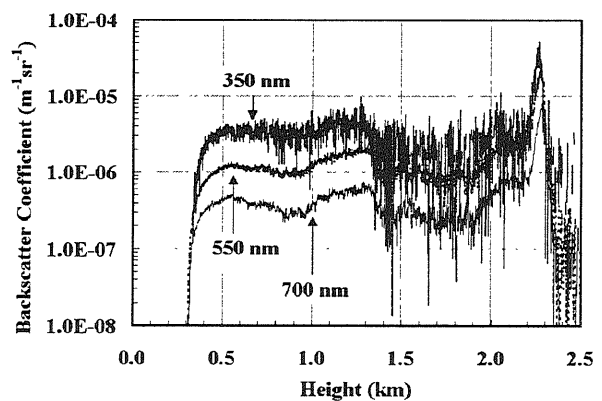


Fig. 9. Altitude profiles of the calculated backscattering coefficient for 350, 550, and 700 nm wavelengths.