

## P-5-15

### 同軸ライダーの光軸自動調整と低層エアロゾル・雲の観測

#### Automatic Alignment of Optical Axis of a Coaxial Lidar

#### and the Observation of Low Layer Aerosol and Cloud

由井四海、Nofel Lagrosas, 久世宏明、竹内延夫、\*内藤季和、\*岡崎淳、\*\*曾根明弘、\*\*菅博文

Y. Yoshii, N. Lagrosas, H. Kuze, N. Takeuchi, S. Naito, J. Okazaki, A. Naito, A. Sone, H. Kan

千葉大学 CERESeS、\* 千葉県環境センター、\*\*浜松ホトニクス

CERESeS, Chiba University, \*Chiba Prefectural Environmental Research Center,

\*\*Hamamatsu Photonics, Inc.

#### Abstract

A DPSS laser is used for a portable automatic lidar (PAL) system, which is continuously operated, automatically alignment corrected, remotely monitored and controlled. It has a narrow FOV and the alignment is easily affected by temperature change. The feature of alignment change is clarified and some observation of aerosol and cloud are shown with the comparison of ground observation data.

#### 1. はじめに.

都市の大気汚染は地方自治体の常時観測局で主要な大気汚染物質の地上濃度が監視されているが、その濃度が上層ではどのように変化しているかを知ることは発生源の関係や時間変化の機構を知るために非常に重要である。これには連続観測されるライダーシステムで観測することが望ましい。半導体レーザー励起の固体レーザー(DPSS レーザー)を光源とする微小パワー高繰返しライダーシステムは、装置が小型であること、eye-safe の条件を容易に満たすことが可能であること、ウォーミングアップの時間が不要なことなど、大きな利点がある。既に望遠鏡を送受光両用に使用したシステムが製作されているが、送信レーザー光を受信光の光軸と一致させるところでの反射光を完全には“ゼロ”とすることができず、そのために検出器に負担が掛かることが問題となっている。そのような点からレーザーを外側につけたシステムの製作が行われている。この場合、微小レーザー光を使用するために背景光を減らすことが重要で、狭い視野角を使用する必要があり、レーザー光と望遠鏡光軸の位置関係を  $50 \mu\text{rad}$  以内に合せる必要がある。この数値はレーザーの筐体や固定する材質の膨張による角度の変化とほぼ等しく、ライダーの光学系の調整が必要となる。本論文では一定時間毎にアライメントを調整することによって常に最適な状態を保つシステムを開発し、地方自治体の観測局において離れたところから監視・制御を可能とし、浮遊粒子状物質(SPM)の連続観測に使用しているので、その光学軸の変化の様子および調整の機構と測定された SPM および雲の観測について述べる。

#### 2. 光学軸調整機能つきライダーシステム

製作されたライダーシステムの概念図を Fig.1 に示す。システムの仕様は Table. 1 に示した。予め、検出器をはずして  $532\text{nm}$  の光を望遠鏡像の中心に来るようにして検出器を取り付ける。その後、この調整を基準としてレーザービームの方向をステップモータの駆動により、周期的(現在 15 分毎)に垂直・水平方向に  $\pm 10$  ステップ(1 ステップは  $50 \mu\text{rad}$  に相当)積算時間 1 秒で掃引し、各方向で距離  $200\text{m} \sim 500\text{m}$ (距離原点補正後)の信号値の積算が最大となる値を用いている。これは地表近くのエアロゾルの信号が短時間では安定していることを利用している。ライダー信号は 20 秒積算し、1 ファイルを得ている。ライダーは地方自治体の測定局データと比べるために千葉県環境研究センターの研究棟 2 階実験室からほぼ北側に向けて仰角  $38^\circ$  で観測している。

#### 3. 光軸調整

Fig. 2 (a), (b)に 2 月および 3 月のアライメントの変化を示す。12 月から 2 月までは  $\pm 1$  ステップほどの日変化があるものの、平均値はほとんど変化していなかったが、3 月は気温の変化とともに

Table 1. Outline of lidar

Laser	LD(AlGaAs) pumped Nd:YAG laser
Power	LD: 2W @808 nm Nd:YAG 30mW @532nm (pulse)
Repetition Frequency	1.4 kHz
Pulse width	50 ns
Beam width	0.1 mrad
Telescope	20cm φ, Casegrainian
FOV	0.2 mrad
Signal integration	20 sec (typical)
Alignment	regularly scan
Detector	PMT R1924P
Connection with PC	internet

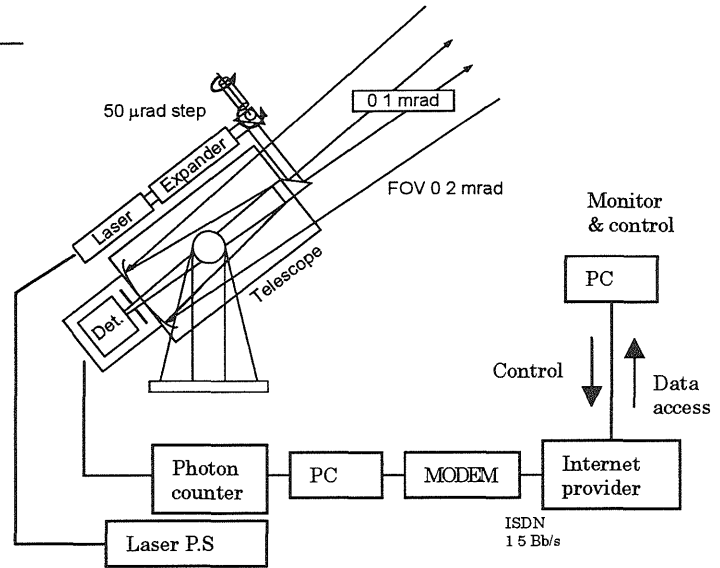


Fig. 1 Concept of lidar system.

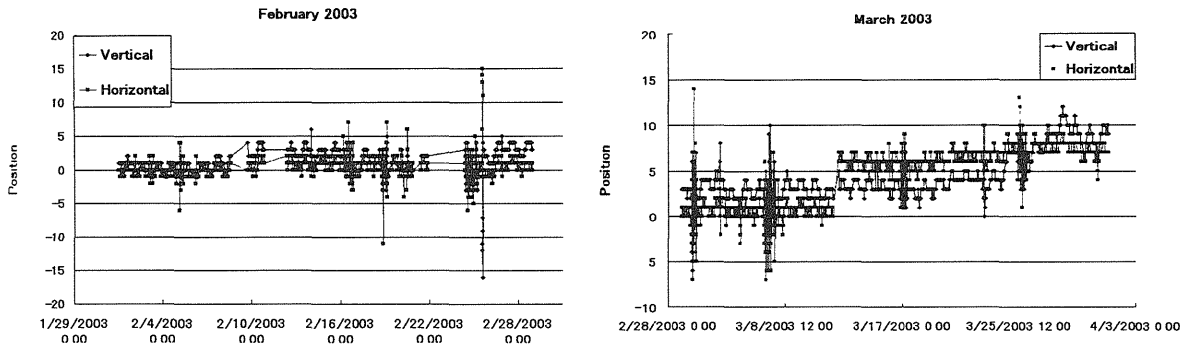


Fig. 2 Change of alignment due to the temperature change. (a) February, (b) March.

に鉛直方向、水平方向とも変化しているのが分かる。レーザーは望遠鏡側面にアルミの板で取り付けられており、±2 の変化は±100μrad の変化に相当する。レーザー光は望遠鏡の副鏡の裏へ直角プリズムによって 90° 曲げられているので鉛直方向の変化の方が大きくなっている。アルミニウムの線膨張係数は常温で  $23 \times 10^{-6}/K$  であり、室温が一日で 10°C 変化するものとする、レーザー取り付け台が約 40cm であるので変化は 100μm となり、角度の変化もオーダーとして 100μrad となり、気温の変化とアライメントの変化はオーダーとして一致する。

ライダー装置のレーザー光と望遠鏡視野の重なり関数  $G(R)$  の実測とアライメント時の変化および望遠鏡の副鏡が入射光に対してはブロックするように働き、主鏡で反射された後は透過材として働くことを取り入れて求めた式<sup>1)</sup>をレーザー光を傾けた場合に変更した式でのシミュレーション結果を Fig.3(a)、(b)、(c)に示す。 $G(R)$  の式は近似的に

$$G(R, \theta) = \{1 + \tanh((R - R_0(\theta)) / \Gamma(\theta))\} / 2 \cdot \{1 - \tanh((R - R_a(\theta)) / \Gamma'(\theta))\} / 2$$

と表される。ここで  $R_0(\theta)$  は文献 1) の  $R_0$  にレーザー光線の望遠鏡光軸に対する傾き  $\theta$  を取り入れたもので、 $\theta$  の増大とともに近距離に近づく。また、 $R_a(\theta)$  はレーザー光が望遠鏡視野から外れる距離を示すもので、 $\theta$  の増大とともに急速に近距離に近づく。Fig. 3 では  $R_0=200m$ , 角度調整の 1 ステップは 50μrad である。これらの結果から、望遠鏡視野が 1mrad の時には温度の影響がほとんど効かないことが分かる。

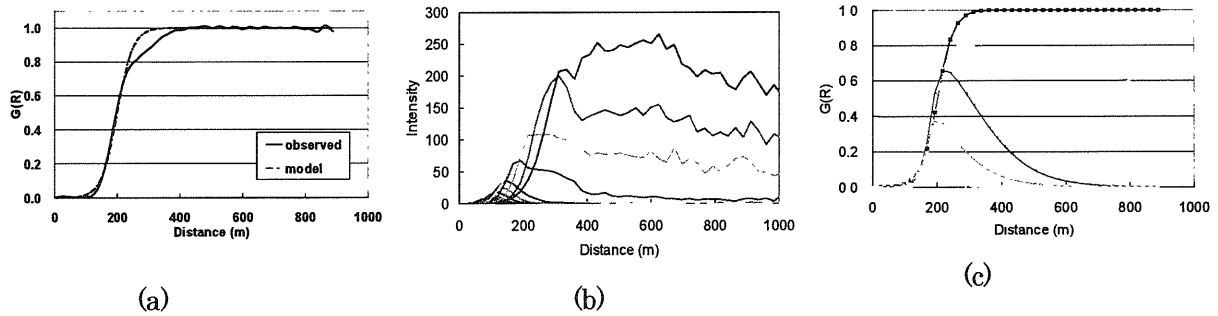


Fig.3 (a) Crossover function and its simulation, (b) variation of crossover function as with the step of digital alignment, and (c) its simulation.

#### 4. エアロゾルと雲の観測

観測例として雨天時の1日データをFig.4に示す。Fig.4では4kmまでで切られているが、高層の雲は20km程度まで記録されている。空間プロファイルは20秒毎に1ファイルを記録しており、1日データは約1/6に圧縮されている。ライダーデータでは降雨時には非常に特有なパターンを示し、例えば2003年3月には約90時間の降雨時データがあったが、その内、90%までは下端が地上に達しており、上端(雲の濃度が濃く、光が通過してない可能性がある)が300m位で、時折、上方に裾を引いているパターンを示す。この場合には雲底高度が地上まで達しているものと思われる。雲底高度がはっきりと分かるのは、残りの10%以下のデータである。これは降り始めに相当し、雲頂高度は3km位のことが多い。同じような雲のパターンでも降雨後期(止みあがり)のときには見られていない。Fig.4には3月7日と25日の1日データを千葉測候所でのAMEDASデータとともに示した。3月7日((a)図)は18時頃まで降雨があり、その後止んだが、降雨時は雲頂が300m程度のパターンを示している。3月25日((b)図)は雲頂が3km程度のときから降雨が始まっているが、これも雲頂が300m程度のときが支配的である。また、一般に層雲は水平方向に様なパターンが多いが、層雲と積雲の区別はライダーデータからだけでははっきりしない。大気境界層上端に雲が現れるケースは非常に多く、雲とエアロゾルの区別が判然としないことが多々ある。

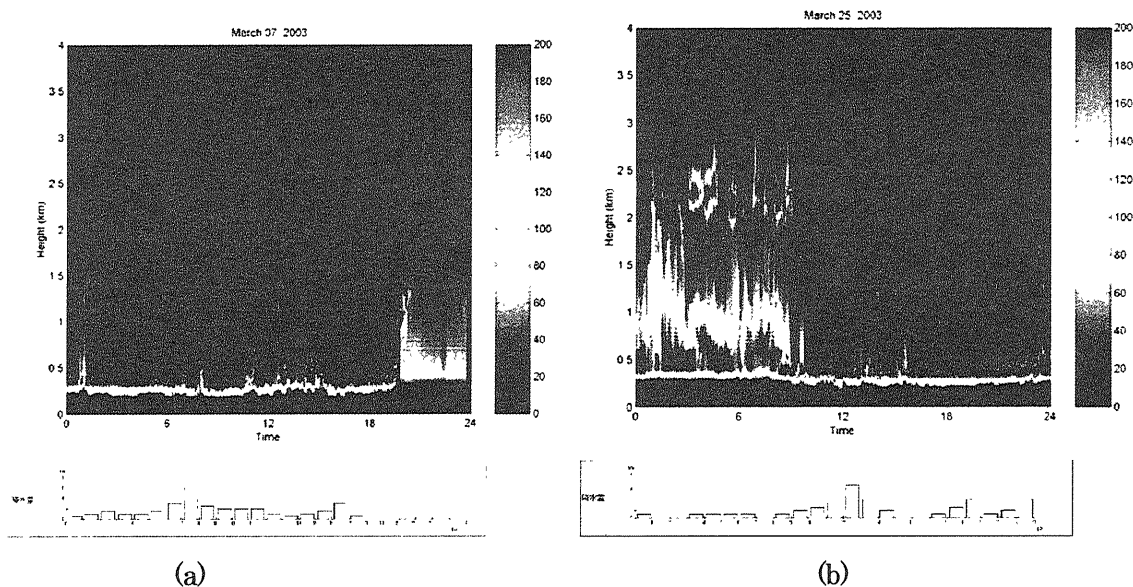


Fig.4 Lidar one day data up to 4 km and precipitation data from AMEDAS. (a) March 7, 2003, (b) March 25, 2003.

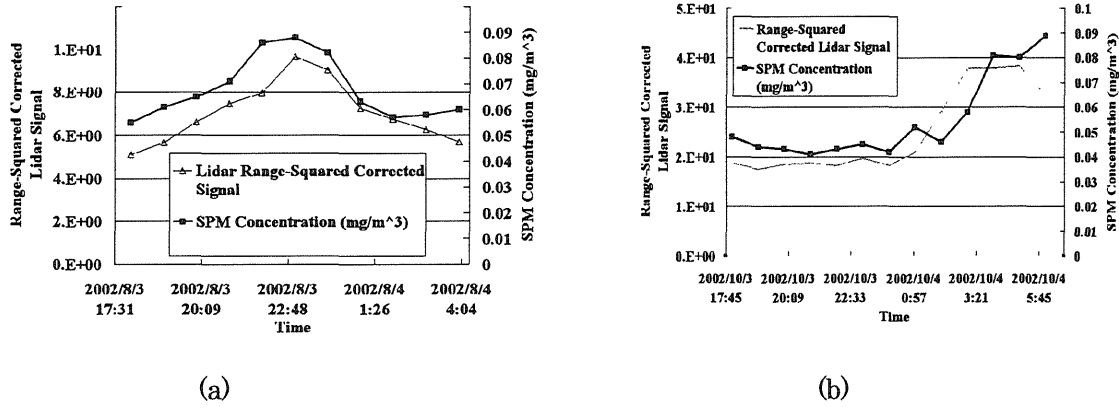


Fig.5. Comparison of lidar data and the observation data on the ground.

ライダーのデータは浮遊粒子状物質からの後方散乱を示しているのので、ライダーデータと地上測定局のデータの相関を取った。Fig.5に2002年8月の日中のデータと10月の夜間のデータの比較を行った。地上測定局のデータは1時間値であるのでライダーデータはその時間帯の平均として地上測定局と比べてある。ライダーデータは地上境界層以下の高度における距離自乗補正值を用いている。Fig.5(a)の8月のデータでは比較した境界層高度は180mであり、(b)の10月のデータでは600mである。これらから境界層内のライダーデータと地上測定局のデータは非常に良い相関を持つことが分かる。同じ高度でも境界層高度に変化があり、その高度が境界層の外側になったときには相関は悪くなっている。Fig.6には昼間のデータの比較を示している。高度は(a)310m, (b)380m, (c)470mである。冬のデータではライダーデータとNO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>(O<sub>3</sub>は例外もある)との相関も良い。これは冬季はNO<sub>2</sub>が容易にエアロゾルに変化することを示している。

このようにライダーデータを地上測定局のデータと比較すると高度分布との関係などを推定するのに有効である。

[参考文献]

- 1) H. Kuze et al: Applied Optics, vol. 37, (15), 3128-3132 (1998).

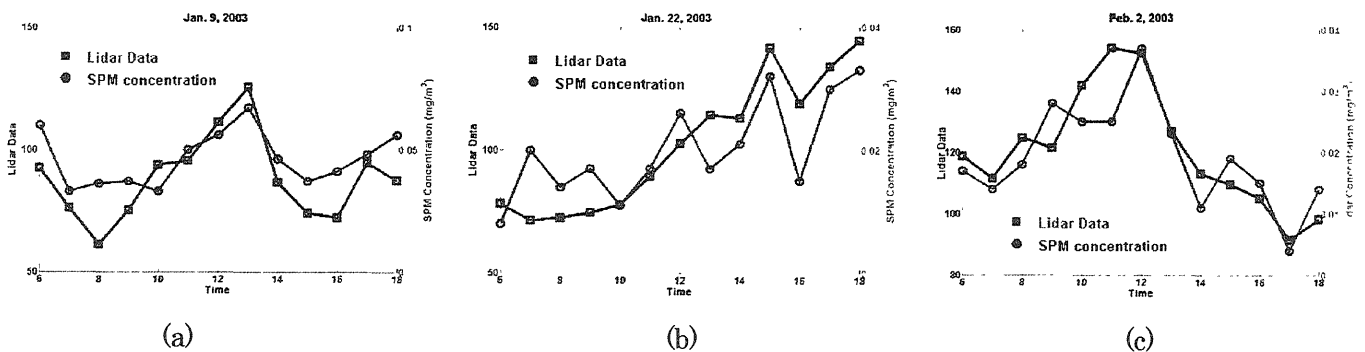


Fig.6 Comparison of lidar data and SPM monitoring at the ground level. (a) January 9, 2003 (b) January 22, 2003, (c) February 2, 2003.