

## 可搬型自動計測ミーライダーによる水平面走査計測 Horizontal Scanning Measurement with a Portable Automated Lidar

椎名達雄<sup>1</sup>、本田捷夫<sup>1</sup>、Gerry Bagtasa<sup>2</sup>、竹内延夫<sup>2</sup>、久世宏明<sup>2</sup>、曾根明弘<sup>3</sup>、菅 博文<sup>3</sup>、内藤季和<sup>4</sup>  
T. Shiina<sup>1</sup>, T. Honda<sup>1</sup>, G. Bagtasa<sup>2</sup>, N. Takeuchi<sup>2</sup>, H. Kuze<sup>2</sup>, A. Sone<sup>3</sup>, H. Kan<sup>3</sup>, S. Naito<sup>4</sup>

1. 千葉大学大学院融合科学研究科, 2. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, 3. 浜松ホトニクス  
4. 千葉県環境研究センター

1. Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University, 2. CEReS, Chiba University,  
3. Hamamatsu Photonics K. K., 4. Chiba Prefecture Environmental Research Center

### Abstract

A portable automated lidar (PAL) system has been developed and the continuously operated for a period of 4 years. Recently the capability of horizontal scanning has been additionally installed to the system to observe spatial information on aerosols and clouds. In this paper we describe the instrumental aspects of the scanning PAL system and discuss the observed dynamical features of the troposphere.

### 1. はじめに

本研究ではこれまでに可搬型自動計測ミーライダー (Portable Automated Lidar : PAL) を完成させ、千葉県市原市にある千葉県環境研究センターおよび千葉大学環境リモートセンシング研究センターにて通年のポイント観測を行ってきた[1]-[3]。PAL システムは MPL (Micro Pulse Lidar) 方式を採用した小型のライダーシステムであり、微弱なライダーエコーを受光するために視野角を 0.2mrad と小さくしている。そのために温度変化や振動等による送受信光学系の光軸のずれが無視できない。PAL システムではこの課題に対処するため、射出するビームに自動調整機構をつけ、一定時間間隔でのアライメントを行っている。窓越しの観測が可能であり、通年の全天候下での観測を実現している。これまでは特に時間的な大気／雲の挙動を把握することを中心に観測を行ってきた。今回この PAL システムに対し水平面スキャニング機構を組み込み、これまでのポイント観測から空間的な大気／雲の変動を捉える試みを行った[4]-[6]。時間変動と空間的変動とを総合して評価することで、地形や土地の状況 (都市部／山間部／田園部等) ならびに季節に依存した大気の大挙動を把握することを目指す。本報告では PAL システムに関するこれまでの送受信視野の自動アライメントと水平面スキャニング (水平面走査) のシーケンス制御、データのグラフ化、計測波形の評価について報告する。

### 2. PAL システム概要と水平面スキャニング機構

PAL システムでは受信望遠鏡にレーザヘッドを含む送信光学系、ならびに受光器 (高電圧モジュールを含む) をすべて搭載しているため、観測方向を走査するために光学系全体を回転させる方法をとった。つまり、スキャニングを実現するために望遠鏡台座に自動回転ステージを配置することとした。回転ステージには望遠鏡を含むすべての荷重がかかるため、十分な回転トルクをもつステージが必要になる。同時に設置した場所ならびに窓越しの観測のため、仰角および回転角といった観測状況の制約を軽減するためにも薄型であることが望ましい。これらの要項から回転ステージには 160mm φ (高さ 43mm) の自動回転ステージ (シグマ光機製 SGSP-160YAW) を採用した。不測な振動による回転ステージの負荷を軽減する目的でステージ周りに 4 箇所 of 自在ローラーを配置し、安定した回転を実現している。

設置の制約ならびに窓に対するレーザ光の入射角の考慮から、回転は最大 $\pm 30^\circ$ の範囲とした。観測範囲および回転ステップは任意である。回転スピードも自由に設定できるものの、ライダーシステムの光軸を乱さないよう十分に低速としている。実際の計測では長時間の水平面走査においても光軸のずれが生じないことを確認している。 $0.2\text{mrad}$ の視野角から $4\text{km}$ 前方での視野は約 $0.8\text{m}$ φとなる。一方で $2^\circ$ の回転角ステップでは同じ $4\text{km}$ 前方で $140\text{m}$ 毎の観測点となる。回転ステージを含むPALシステムの概観をFig.1およびTable 1に示す。水平面走査による方向制御は回転角左右で独立して設定でき、回転角のステップも含めて設置場所に依存した回転角の設定が可能である。観測データの表示は任意の距離で描画が可能である。

自動計測では10秒毎のポイント観測に対し、15分毎に送信ビームの視野内自動アライメントが行われる。これに毎時1回（現状の設定は毎時39分毎）に水平面スキャニングによる水平面走査を割り込み処理によって行っている。 $\pm 20$ 度の範囲を2度の回転ステップで1ポイント10秒の積算で走査する場合（計20ポイント）、毎時の水平面走査にはおよそ5分を要する。

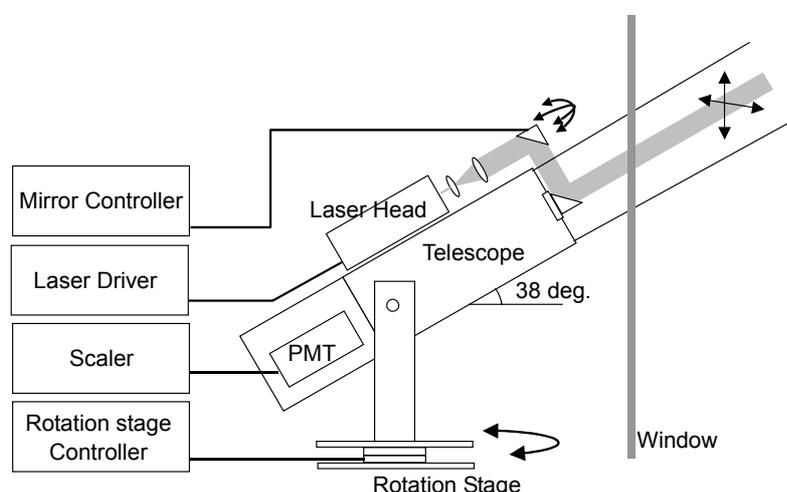


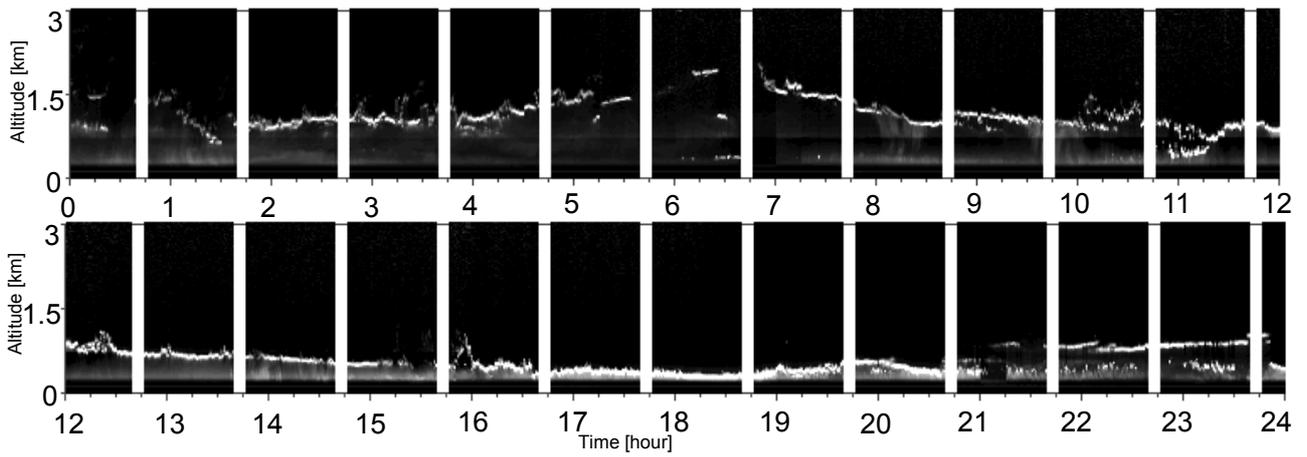
Fig.1 水平面スキャニング機構を含む市原 PAL システムの構成。

Table.1 市原 PAL システムの仕様

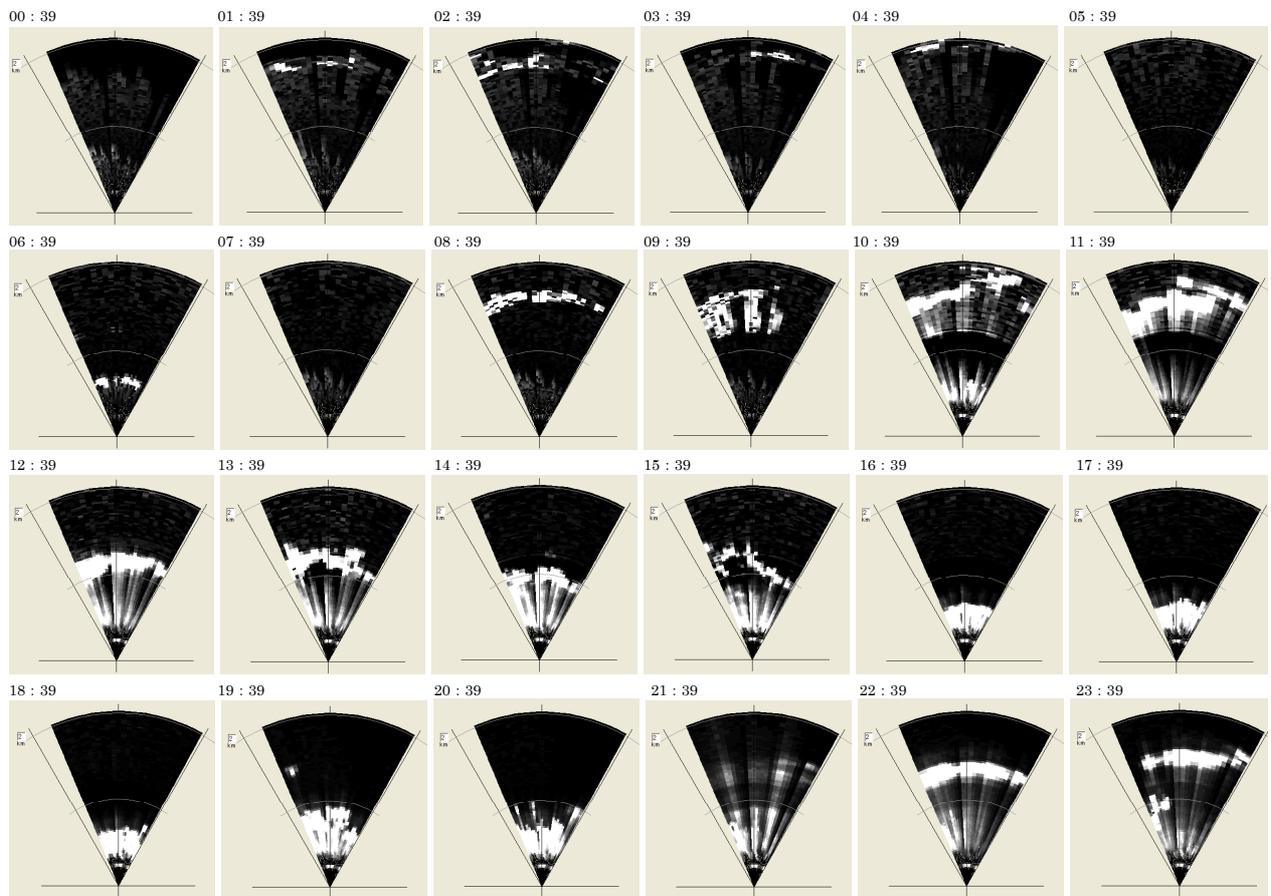
Laser	LD pumped Nd:YAG Laser
	Pulse Power 15 $\mu\text{J}$
	Wavelength 532 nm
Telescope	Shmidt-Cassegrain Reflecting Telescope
	Aperture 20 cmφ
	Field of View 0.2 mrad
Scaler	Resolution 24 m
	Range 24 km[max] (Altitude :15km)
	Averaging 10 or 20 s
Scanning	Rotation Range $\pm 30^\circ$

### 3. 大気／雲の時間的空間的挙動

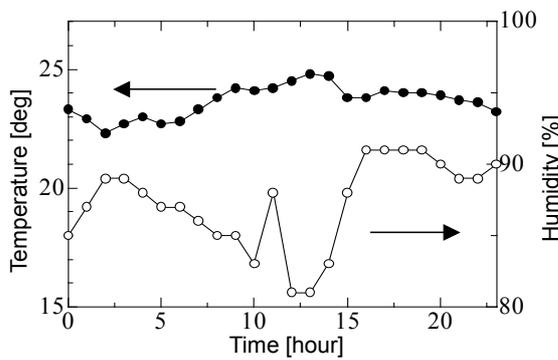
本年6月より水平面走査を含めた常時稼働の定常観測を行っている。大気・雲の時間的空間的挙動の計測例として2007年7月2日の観測データをFig.2に示す。この日は前日からの曇りの天候が徐々に悪化し、夕方に降雨があった。Fig.2(a)の時間変化のグラフから、0-8時までは比較的穏やかな雲が1-1.5kmの高度に形成されている。8-12時にかけて雲の動きが活発になるとともに雲下層に大気エコーが現れてきている。12-21時までは雲の雲低高度が時間の経過とともに下がって行く様子が捉えられている。実際、15-19時に降雨が生じている（千葉市）。Fig.8(c)気温・湿度、ならびにFig.8(d)気圧・風速のデータからも先の雲・大気の動きと同様の変化が見られる。0-12時の湿度の動き、15-19時の湿度、気圧、風速の変化は天候状況の変化をよく表している。一方、水平面走査による大気・雲の空間分布をFig.2(b)に示す。計測データは距離の二乗補正を施しているが仰角の補正はしていない。つまり、表示は高度情報ではなく、伝搬距離のプロットである。雲の生成、大気エコーの現れ方は時間的な挙動と同様であるものの、9-12時の雲の空間的挙動や12-15時の雲エコーの雲分布の変化は水平面走査



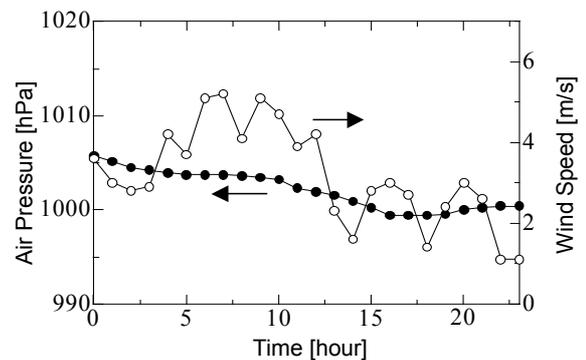
(a) Result of 24-hour observation



(b) Result of 24-hour scanning observation



(c) Temp. & Hum. data



(d) Pressure and Wind Speed data

Fig.2 PAL 水平面水平面走査を含む PAL 観測データ July 2, 2007 Temp.23.6deg., Hum. 88%

があってはじめて観測できるものである。水平面走査の計測データを高度情報もしくは3次元的な空間情報として評価することでより詳細な天候変化、状況把握が可能となる。なお、Fig.2(a)のグラフでは水平面走査時の5分(グラフでは7分)の間を空白としたが、水平面走査時の計測値を代用することで連続した大気/雲の変化を見ることができる。

スキヤング観測の大気・雲の空間的な分布の結果はポイント観測の時間的変動の結果と併せて解析することで大気の構造を多角的に捉えることが可能である。その上で空間的・時間的な分布を表現するための表示にも工夫が必要となる。また、24時間稼働のポイント観測の間にスキヤング観測を割り込ませる際のタイミング、回数等についても今後検討していく。

#### 4. まとめ

市原市にある千葉県環境研究センター内に設置した可搬型自動計測ミーライダー(PAL)に水平面水平面走査機構を組み込み、これまでの24時間連続稼働のポイント観測に加え、大気の空間的な分布、変化を捕らえることを可能とした。大気の挙動を時間的・空間的に把握できることで多角的な評価が可能となる。現在も継続的な連続稼働によるデータ蓄積を行っている。スキヤング観測が加わったことで、計測データの表示、評価に様々な応用が考えられる。観測地点の大気の分布およびその変化を室内からモニタリングできることのメリットは大きい。煙突から上る煙媒の広がり、道路上に舞い上がるダストの分布、風(気流)によってもたらされる黄砂、花粉等の濃度分布等の計測が期待できる。

一方で水平面走査だけではなく、垂直面走査による3次元(+時間の4次元)的な大気・雲の挙動の把握も視野に入れた開発が不可欠である。システムを小型化させ、局所的大気のモニタリングに特化した計測システム、データ解析、ならびに効果的なデータの表示方法が今後の課題である。

#### 参考文献

1. N. Lagrosas et al., *Aerosol Science*, 36, pp.439-454, 2005
2. G. Bagtasa, C. Liu, N. Takeuchi, H. Kuze, S. Naito, A. Sone and H. Kan, "Dual-Site Lidar Observations and Satellite Data Analysis for Regional Cloud Characterization", *Optical Review*, 14(1), p.39-47, 2007
3. G. Bagtasa, N. Takeuchi, S. Fukagawa, H. Kuze, T. Shiina, S. Naito, A. Sone, H. Kan, "Mass Extinction Efficiency for Tropospheric Aerosols from Portable Automated Lidar and  $\beta$ -Ray SPM Counter", *Proceedings of 23rd International Laser Radar Conference*, 3P-30, pp.499-502, 2006
4. 竹内延夫、Gerry Bagtasa、椎名達雄、久世宏明、内藤季和、和田誠、曾根明弘、菅博文、「長期ライダーデータのイメージングと気象との関連」、第39回光波センシング技術研究会講演予稿集, pp.79-86, 2007
4. 椎名達雄、本田捷夫、竹内延夫、久世宏明、Gerry Bagtasa、曾根明弘、菅博文、内藤季和、「可搬型自動計測ミーライダーによる大気の時間的・空間的挙動の把握—水平面スキヤング機構の導入—」、第39回光波センシング技術研究会講演予稿集、pp.87-92, 2007
5. T. Shiina, T. Honda, N. Takeuchi, H. Kuze, G. Bagtasa, A. Sone, H. Kan, and T. Naito, "Long-term Cloud Observation Using a Portable Automated Lidar", *AOGS2007 Asian Lidar Conference*, pp. ,2007
6. T. Shiina, T. Honda, N. Takeuchi, H. Kuze, G. Bagtasa, A. Sone, H. Kan, and S. Naito, "Monitoring of Temporal and Spatial Dynamics of Aerosols and Clouds by using a Portable Automated Lidar", *CLEO Pacific Rim 2007*, 発表予定