

気温,水蒸気,エアロゾル計測のための
レイリー・ラマン散乱ライダーによるデータ測定例
Measurements of Temperature, Humidity, and Aerosol
Using Rayleigh/Raman Lidar System

内田清孝^{*1}, 華灯しん^{*1}, 加藤正^{*1}, 菅田高行^{*1}, 千葉勇^{*1}, 小林喬郎^{*2}
Kiyotaka UCHIDA^{*1}, Dengxin HUA^{*1}, Tadashi KATO^{*1}, Takayuki HONDA^{*1},
Isamu CHIBA^{*1}, Takao KOBAYASHI^{*2}

*1:英弘精機株式会社 EKO Instruments Co., Ltd., *2:福井大学 University of Fukui

Abstract:

Eko Instruments have developed a LIDAR system since 2001 with University of Fukui as a joint research. Fundamental R&D had been finished for the prototype model in 2003 and the engineering model in 2004. The lidar system uses Nd: YAG laser system with injection seeder, center wavelength: 355nm, maximum pulse power: 300mJ, frequency: 20Hz, and maximum ranging altitude 5km. The lidar is useful for measuring atmospheric temperature using Rayleigh scattering, water-vapor density using Raman scattering, and aerosol property using Mie scattering simultaneously as a multi functions system. In this report, we report temporal change of altitude profiles for temperature, relative humidity and atmospheric scattering ratio measured at Shibuya-ku, Tokyo.

1. はじめに

英弘精機株式会社では、2001 年以来、福井大学工学部との共同研究によりライダーシステムの開発を行っており、2003 年に 1 号機となるプロトタイプ、2004 年に 2 号機となるエンジニアリングモデルの開発を行った。

これらは、レイリー散乱法を用いた気温測定、ラマン散乱法を用いた水蒸気密度測定およびミー散乱法を用いたエアロゾル(大気散乱比、消散係数およびライダー比)測定を行うことができる。さらに、気温データと水蒸気密度データから相対湿度(%RH)の導出も可能である。

今後、英弘精機ではこのライダーシステムの実用化(販売)を計画している。

2. ライダーシステムの概要

当ライダーシステムの主な特徴は次のとおりである。当ライダーシステムの基本的な原理等については華ほか(2003)および華ほか(2004)に詳述されている。

- ・レイリー散乱信号 2ch およびミー散乱 1ch 等を計測する分光手段として二重パス分光方式(特願 2002-45382)とマルチキャビティエタロン(特願 2004-198788)を組み合わせることにより、レイリー散乱測定におけるミー散乱成分の遮断率を向上させると共に、システムの安定性や調整工数を低減した。
- ・ミー散乱およびレイリー散乱計測用のエタロンフィルタの透過特性とレーザの中心波長を合致させるためのシーダへの印加電圧制御をパソコンにより自動的に行える仕様とした。
- ・ミー散乱、レイリー散乱、ラマン散乱の信号を検知する 4 つの光電子増倍管からの出力信号は、パソコンに実装された A/D ボードで取得することにより、測定・平均化処理後、直ちにデータ処理を行い、測定結果をパソコンの画面に表示できる仕様とした。
- ・専用の測定ソフトウェアと解析ソフトウェアを開発することにより、容易な操作で気温、水蒸気およびエアロゾル計測のためのライダー計測を行える仕様とし、データ解析における計測結果の図示に柔軟に対処できる仕様とした。

(1)ハードウェア仕様

当ライダーシステムのシステム構成図を Figure 1, 当ライダーシステムの外観写真を Picture 1, 仕様一覧を Table 1, 中心波長 355nm のレーザに対する散乱現象を Figure 2, ミー散乱およびレイリー散乱のスペクトル特性とそれらを測定するためのフィルタ配置を Figure 3 に示した。

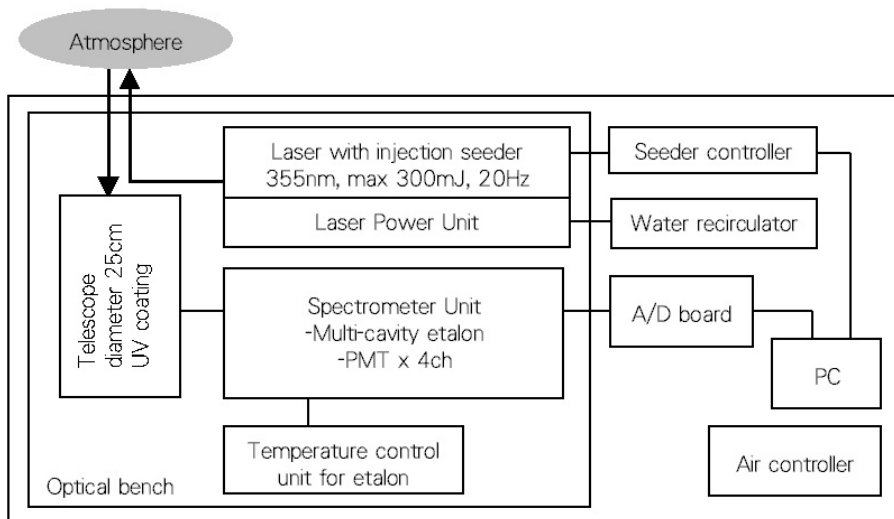


Figure 1. Block diagram of the LIDAR System.



Picture 1. Picture of the Engineering model.

Table 1. Specifications of the Lidar System

Item	Specifications
Laser system	Nd: YAG THG, Frequency: 20Hz, Laser wavelength: 355nm, Energy per pulse: maximum 300mJ
Telescope	Diameter 250mm with UV coating, FOV: 1mrad
Etalon	Mie channel: Frequency shift 0GHz Rayleigh channel 1: Frequency shift 1.0GHz Rayleigh channel 2: Frequency shift 3.5GHz
A/D	40MSample/sec, equipped in the PC
Measured range	300m~5km
Range resolution	20m(lower)~50m(higher)
Measuring parameters	Temperature [K], Water-vapor density [g/m^3], Relative humidity [%RH], Aerosol; scattering ratio, extinction coefficient, and LIDAR ratio
Measuring principle	Temperature: Rayleigh scattering Water-vapor density: Raman scattering Aerosol: Mie scattering
Averaging time	<5 minutes (6000shot)
Software	Measurement and analysis software

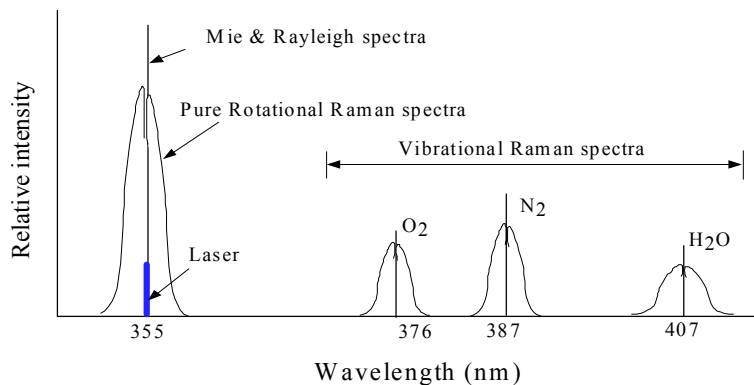


Figure 2. Back scattering phenomena with respect to 355nm wavelength laser. Mie and Rayleigh spectra are used for temperature and aerosol measurement, and vibration Raman spectrum of H₂O is used for humidity measurement.

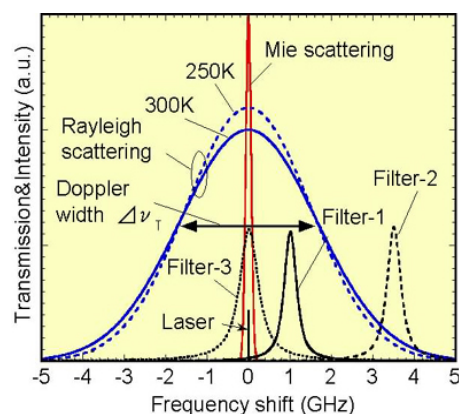


Figure 3. Spectral characteristics of Rayleigh and Mie scattering and filters setting of the lidar system.

(2)ソフトウェア仕様

測定ソフトウェアおよび解析ソフトウェアの仕様は Table 2 の通りである。

Table 2. Specifications of measurement and analysis software.

Item	Measurement software	Analyze software
Programming	Visual C++ 6.0 Enterprise edition	←
Functions	<ul style="list-style-type: none"> - Laser warming - Seeder control - PMT voltage adjusting - Signal acquisition - Noise acquisition - Warning setting for Laser and A/D configuration - Data monitoring <ul style="list-style-type: none"> - Current data - Signal data - Noise data 	<ul style="list-style-type: none"> - Data calculation <ul style="list-style-type: none"> - Temperature in degree C or K - Water vapor density in g/m³ or relative humidity in %, which is calculated using atmospheric model or fitting model - Atmospheric scattering ratio, extinction coefficient, or lidar ratio - Data display and plotting <ul style="list-style-type: none"> - Altitude profiling for raw data, temperature, humidity, and aerosol - Time versus altitude for temperature, humidity, and aerosol - Line graph for specified altitude for temperature, humidity, and aerosol - Data search - Data deletion - Parameter setting for calculation - Data export/import

3. データ測定例

当ライダーシステムを使用した測定を、東京都渋谷区において 2004 年 6 月 15 日 11:40 から 20:31 まで約 1 時間間隔で実施した。解析ソフトウェアによる画面を用いて、Figure 4 に気温、Figure 5 に相対湿度、Figure 6 に大気散乱比の測定結果を示した。

各画面の中央に表示された濃淡画像は、横軸に時刻、縦軸に高度、濃淡に測定値を表現している。また、画面下の折れ線グラフは特定高度における測定値の時間変化を示しており、画面右の折れ線グラフは特定時刻における測定値の変化を示している。各図の測定時刻は 3 図とも同一であるが、表示している測定高度は気温が 5,000m まで、湿度が 2,500m まで、大気散乱比が 6,000m までと異なっている。

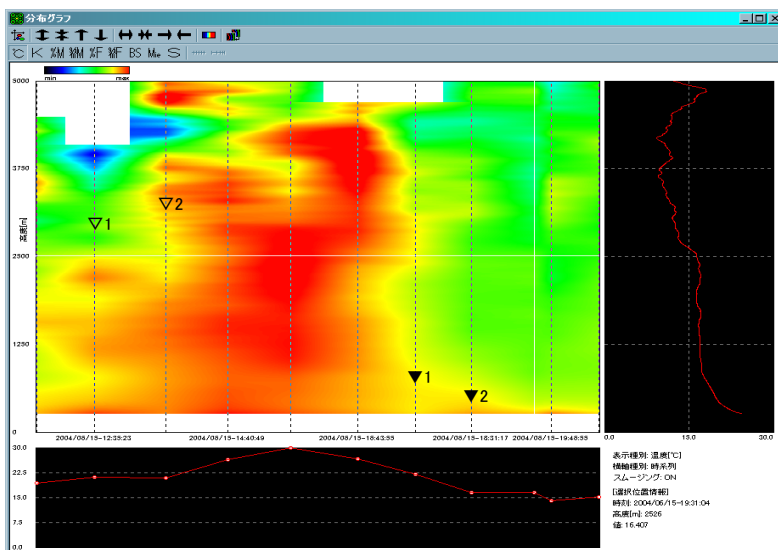


Figure 4. Temporal change of temperature profiling on 2004/06/15 at Shibuya-ku, Tokyo. Vertical axis is altitude from 0 to 5,000m, horizontal axis is time from 11:40 until 20:31, and color scale is temperature from 0° to 30°C. Below line graph shows time versus temperature changing at 2,500m, and right line graph shows temperature versus altitude at 19:31.

Figure 4 の結果によると、12:35(▽1印)のデータまでは高度 2,500m よりも高い領域では 10°C 台の気温分布を示しているが、13:42(▽2 印)以降のデータでは 20°C 台の高温な領域が高度 4,000m まで順次広がっている様子が認められる。

しかし、太陽高度が低くなった 17:38 (▼1 印)および日没近くの 18:31(▼2 印)のデータ以降、上空の気温は再度 10°C 台に低下している様子が確認できる。

高度が高い領域で濃淡表示されていない箇所は、気温測定の不確定度が大きいためにデータをマスクした領域である。

Figure 4 下の 2,500m における気温変化を参照すると、15:40 に 31.7°C の最大値を示していることがわかる。

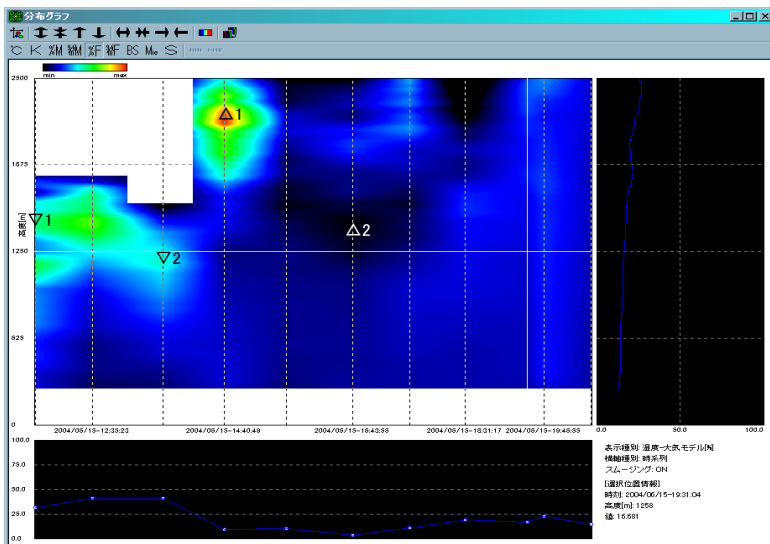


Figure 5. Temporal change of relative humidity profiling on 2004/06/15 at Shibuya-ku, Tokyo. Vertical axis is altitude from 0 to 2,500m, horizontal axis is time from 11:40 until 20:31, and color scale is relative humidity from 0 to 100%. Below line graph shows time versus relative humidity changing at 1,250m, and right line graph shows relative humidity versus altitude at 19:31.

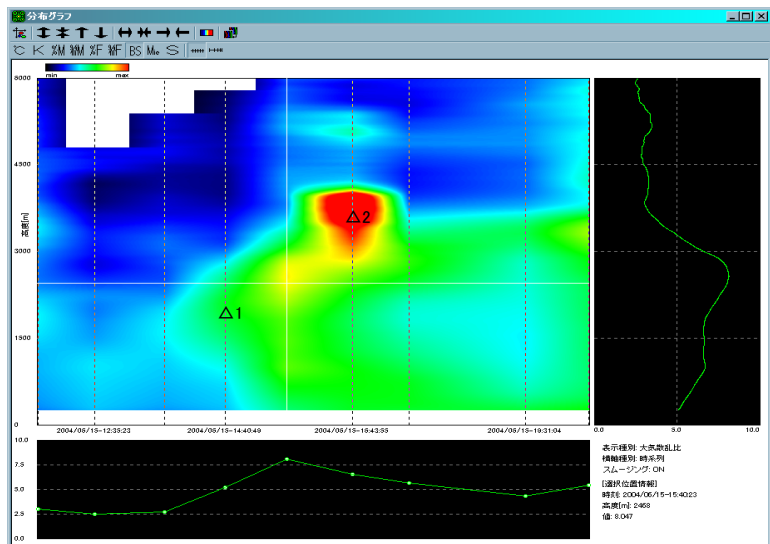


Figure 6. Time series atmospheric scattering ratio profiling. Vertical axis is altitude from 0 to 6,000m, horizontal axis is time from 11:40 until 20:31, and color scale is scattering ratio from 0 to 10. Below line graph shows time versus atmospheric scattering ratio changing at 2,500m, and right line graph shows atmospheric scattering ratio versus altitude at 15:40.

4. 今後の課題

実用化を目的としたライダーシステムとして、今後は次のような課題に取り組む計画である。

- ・絶対気温の導出やより高精度なデータ計測のためのハードウェアおよびソフトウェアの改善
- ・ヘリコプターによる上空の温湿度計測やラジオゾンデ観測等の他手法との比較による当手法の客観評価
- ・24時間観測や長期連続観測による耐久性等の検証
- ・取扱説明書の整備やユーザ向けの教育訓練プログラムの策定

参考文献

- ・華灯しんほか(2003), 対流圏気温分布計測のためのUV域レイリー散乱ライダーシステムの開発, 第22回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, pp35-38.
- ・華灯しんほか(2004), 気温・水蒸気・エアロゾル計測のためのレイリー・ラマン散乱ライダーの開発, 第23回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, AP-1.

Figure 5の結果によると, 11:40(∇1印)から13:42(∇2印)まで, 高度1,250mから1,750mまでの範囲に相対湿度75%程度の高湿な範囲が確認できる。また, 14:40(Δ1印)には高度2,000mから2,500mまでの範囲に相対湿度50%~100%の高湿な範囲が確認できる。

その一方で, 16:43(Δ2印)のデータでは高度1,100mから1,600mまでの範囲に相対湿度が10%以下の低湿な範囲が確認できる。この領域はFigure 5で気温が高くなっている層と合致している。

高度が高い領域で濃淡表示されていない箇所は, 湿度測定の不確定度が大きいためにデータをマスクした領域である。

この時間帯においては太陽光の影響によりラマン散乱測定の精度が低下するため, 湿度測定の不確定度が大きくなる。

Figure 7の結果によると, 14:40(Δ1印)の高度1,000mから3,000mまでの領域に大気散乱比が5以上の層が認められ, その後, 時間と共に分布範囲が広がっている。

16:43(Δ2印)のデータでは高度3,000mから4,000mまでの領域で大気散乱比の最大値は約15に至っている。この領域は, Figure 5における気温の高湿領域のやや下部に位置している。

また, 高度約2,500mにおける大気散乱比の変化を見ると, 15:40に大気散乱比が約8で最大値となっている。

高度が高い領域で濃淡表示されていない箇所は, エアロゾル測定(大気散乱比)の不確定度が大きいためにデータをマスクした領域である。