

# ライダーによる汚染ダストモニタリングのための 水平エアロゾルと相対湿度の相関

ラゴロサスノフェル<sup>1</sup>, 椎名達雄<sup>1</sup>

<sup>1</sup>千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

## Correlation between horizontal aerosol and relative humidity for lidar pollution dust monitoring

Nofel LAGROSAS<sup>1</sup> and Tatsuo SHIINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

**Abstract:** Monitoring of radioactive dust can mitigate the effects of radiation on the environment and the health of people. Analysis of the data from continuous and simultaneous observations using lidar and other instruments (e.g., dust sampler, weather monitor) near a radioactive area clarify the effects of weather on the optical properties of aerosols. The data from the combined pre-deployment observations in summer (August), autumn (October) and winter (December) months of 2021 in Chiba University shows that relative humidity (RH) causes extinction coefficients of near-ground aerosols in summer to have a relatively higher value ( $\sim 4 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ) compared to the values observed in October ( $2.75 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ) and December ( $\sim 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ). In the three-month observation representing 3 seasons, RH effects on aerosol depolarization ratios are also evident, i.e., as RH increases, depolarization tend to decrease.

**Key Words:** Horizontal lidar, radioactive dust, relative humidity, Fukushima, meteorological parameters

### 1. はじめに

吸入可能な放射性エアロゾルの連続モニタリングの結果は、放射性粉塵が存在する地域の住民を安心させることができる。地域住民は、放射能が低く、人体に有害でないことを保証されなければならない。ロシアのエカテリンブルグにおける過去の研究では、 $1 \times 10^{-4} \text{ gm}^{-3}$  の濃度の放射性エアロゾルを吸入すると、20年間に  $5.6 \mu\text{Sv}$  という実効線量になることが分かっている<sup>1)</sup>。

福島は放射性レベルは何年にもわたって低下し続けている<sup>2)</sup>。福島では放射性物質の濃度は低下しているが、日々の吸入可能な放射性粉塵の量を把握し、大気中の吸入可能なエアロゾルによる放射能が低いことを住民に安心させるためには、継続的な観測が必要である。福島県内のこれまでのライダーと放射性粉塵のサンプリング測定の結果から、放射性粉塵の放射能濃度は安全基準である  $10 \times 10^{-5} \text{ Bqcm}^{-3}$  を下回っていることが確認されている<sup>3)</sup>。

ライダーは、地表近くのエアロゾルを検出するために使用できる。偏光測定を備えた水平ライダーで2021年8月、10月、12月に観測した。エアロゾルの光学特性に対する気象パラメータの影響は、2セットの量を比較した後定量化された。本研究では、1) 水平ライダー測定から得られたエアロゾルの光学特性を提示すること、2) 地面近くのエアロゾルの光学パラメータと相対湿度との関係を定量化することを報告する。千葉における夏(8月)、秋(10月)、冬(12月)に得られた地表近くのエアロゾルの光学的性質の解析を行う。

### 2. 水平ライダー

ライダーで小さな偏光解消度を測定するために千葉大学工学研究棟1の9階(地上約65m)で継続的に観測した。ライダーの近くで測定された気象モニターのデータをライダーの観測結果と比較した。ライダーは西北西方向に水平に配置されている。高速計測による、1秒ごとのデータ取得が可能のため、エアロゾルの光学特性の微細な時間変化を捉えることができる水平ライダーシステムである。

気象モニターは「DavisVantagePro2」で、地域の気温、風速、風向、相対湿度を測定する。

Table 1. Specification of DPSS horizontal LIDAR system

Laser Model	Spectra-Physics Explorer One
Wavelength	349 nm
Pulse Energy	120 $\mu$ J
Repetition frequency	< 5KHz
Pulse duration	> 3ns
Telescope Diameter	100 mm
Interference filter CWL	349 nm
Interference filter FWHM	0.6 nm
PMT model	Hamamatsu H11901-110
Transmitted polarization	P
Received polarization	P and S

### 3. 方法論

水平ライダーの連続観測で得られたデータは、消散係数および偏光解消比の処理を行う。100 m から 300 m までの水平距離における消散係数は、スロープ法を用いて算出<sup>4)</sup>。結果に示された消散係数は、高い相関係数 ( $r^2 > 0.9$ ) を持つ線形フィットから得られたものである。偏光解消比 ( $=kS/P$ ) は、S 信号と P 信号の比として計算される。k は S 信号と P 信号の校正に使用される校正定数である<sup>5)</sup>。校正定数は、P 信号と S 信号の PMT を慎重に回転させ、それぞれの PMT が  $0^\circ$  と  $90^\circ$  で信号を測定することによって得られる。そして、その信号を比較し、校正定数を算出する。消散係数と偏光解消比は 5 分平均をとっており、5 分ごとに取得した気象パラメータと比較することができる。

### 4. 結果

2021 年 8 月、10 月、12 月に取得したデータから消散係数と偏光解消比を算出し、相対湿度と比較した (図 1)。8 月、10 月、12 月に観測された平均消散係数は、それぞれ  $0.038 (\pm 0.0008)$ 、 $0.030 (\pm 0.002)$ 、 $0.0033 (\pm 0.0025)$  である。8 月、10 月、12 月の平均偏光解消比は、それぞれ  $0.094 (\pm 0.046)$ 、 $0.139 (\pm 0.07)$ 、 $0.182 (\pm 0.083)$  である。

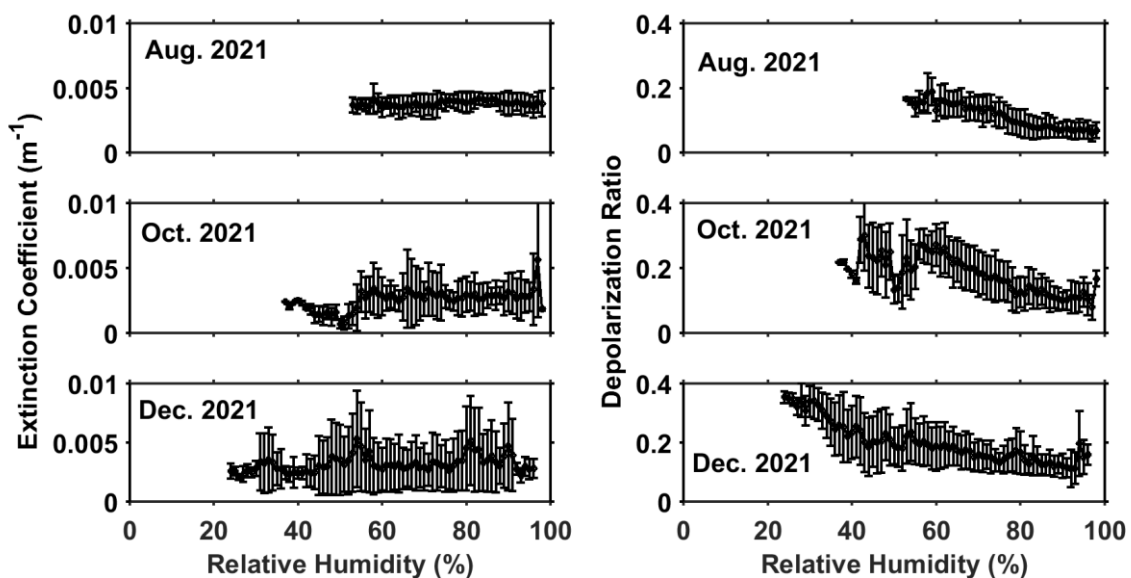


Figure 1. Observed relationship between extinction coefficients and RH and depolarization ratio and RH for the months of August (summer), October (autumn) and December (winter) 2021.

平均消散係数と偏光解消比は、相対湿度によってそれぞれ増加、減少する挙動を示した。地上付近のエアロゾルからの消散係数の相対湿度に対する応答は、相対湿度が 100% に近づいても急激に増加することはない。このことから、地上付近で観測されたエアロゾルは、汚染された疎水性エアロゾルやダストである可能性がある<sup>6)</sup>。相対湿度が低い場合、消散係数は秋から冬にかけての相対湿度の上昇に影響されない。平均消散係数は、相対湿度が約 60% 以上になると増加し始める。この相対湿度の値は、地上付近でのエアロゾルの溶解点を示していると考えられる。

8 月は相対湿度による消散係数の変動が小さく、同じ種類のエアロゾルが観測された可能性が高い。千葉大学では、12 月の風向きは北よりの風が多い。8 月は南から南西（東京湾）の風向きである。また、10 月は北、北東、東、南西の風向となる。千葉大学で観測されたエアロゾルの種類が異なるのは、この風向きの違いによるものと思われる。

一方、偏光解消比は相対湿度が高くなると減少する。相対湿度 50% 以下では、ある相対湿度における偏光解消比のばらつきが大きくなる。低湿度のエアロゾルは様々な形状をしている可能性があることを示している。しかし、相対湿度が高くなると、エアロゾルの形状は球状になり、偏光解消比のばらつきが小さくなる。また、相対湿度が 100% に近づく 8 月の平均偏光度は、10 月や 12 月の平均偏光解消比より低くなっている。

Table 2. Relationship between extinction coefficient and depolarization ratio with relative humidity

Month	Extinction vs RH	$r^2$
August	$y=0.003687\exp(0.001258x)$	0.923
October	$y=0.001383\exp(0.007776x)$	0.740
		0.888 (for RH $\geq$ 60%)
December	$y=0.002279\exp(0.001738x)$	0.997
Month	Depolarization ratio vs RH	$r^2$
August	$y=1.011\exp(-0.0303x)$	0.883
October	$y=0.979\exp(-0.0255x)$	0.474
	$y=1.510\exp(-0.0305x)$	0.866 (for RH $\geq$ 60%)
December	$y=0.377\exp(-0.0139x)$	0.842

ライダー由来の全データにロバストフィッティングを適用し、各月の相対湿度との関係を定量化した。ライダー由来のパラメータが変動しても、相対湿度に対するパラメータの応答は定量化可能な傾向を持つことが観察された（表 2）。また、フィットした結果の式は、各月で異なる係数を示しています。風向が変動する 10 月は、消散係数の変動が大きいため、相関係数が低くなっている。これは、偏光解消比のフィットにおいても観測された。しかし、相対湿度 60% 以上で偏光度比をフィットさせると、より高い相関係数が得られる。

これらのライダーパラメータと相対湿度との関係は、ライダーを福島県の放射性粉塵のモニタリングに使用する際に、エアロゾルと気象に相互作用する。例えば、陸からの風が強い場合、観測されたエアロゾルは放射能を運んでいる可能性があり、これらのエアロゾルの光学的変化は相対湿度を用いて定量化することができる。

## 5. まとめ

千葉大学での観測により、8 月、10 月、12 月のライダーから得られる光学パラメータ（消散係数、偏光解消比）は、相対湿度と比較すると異なるプロファイルと応答が示された。消滅係数は冬に大きく変動することがわかった。偏光解消比は相対湿度が低い場合に大きく変動する。ライダーから得られるパラメータと相対湿度との関係は、本研究で示したように、ロバストなフィッティング法を適用することで定量化することができる。この関係を定量化することで、福島で連続観測を行った場合の放射性エアロゾルの光学特性に対する相対湿度の影響を推定することができる。福島で得られたデータは、相対湿度条件の変化に伴う地上近傍の放射性エアロゾルの光学特性の変化を理解するのに役立つ。

## 参考文献

- 1) M. Hanfi et al: Radiat. Prot. Dosimetry, 196 (2021), 3-4, 184-189.
- 2) 福島県放射能測定マップウェブサイト (<http://fukushima-radioactivity.jp/pc>) .
- 3) Shiina et al: SPIE 10791, (2018).
- 4) G. Kunz and G. Leeuw: Appl. Optics, 32, (1993), 3249-3256.
- 5) Xu et al: Atmos. Chem. Phys. 22 (2022), 139-153.
- 6) Zieger et al: Atmos. Chem. Phys. 13 (2013), 10609-10631.