

# ライダーによるインドネシア上空の煙霧観測手法の検討

Isam Ebisawa KUSWAN, 柴田 泰邦, 阿保 真

東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

## A study of Mie lidar for haze observation in Indonesia

Isam Ebisawa KUSWAN, Yasukuni SIBATA, Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

**Abstract:** In recent years, forest and peatland fires occur in Indonesia in the dry season. Haze from Indonesia's island of Sumatra is reached Neighboring countries. At present, satellite observations are being used to identify hot spots and to monitor the spread of haze over a wide area, but due to the abundance of clouds typical of the tropics, these observations have not yet reached permanent observation. Therefore, we propose a ground-based Mie lidar specializing in haze observation. In this paper, we discuss appropriate signal processing and analysis methods for haze observation data. In addition, we design an overlap function for haze observation and consider the layout of the lidar transmission and reception system.

**Key Words:** Mie Lidar, Aerosol, Smog, Indonesia

### 1. はじめに

近年、インドネシアでは野焼きによる森林火災や泥炭地火災から煙霧が多く発生しており、国際問題にまで発展している。煙霧によって航空便の運休や、学校の臨時休校などの影響が出ており、さらに大気汚染の悪化から、短期的または長期的に人体に健康被害を与える。現在、衛星観測によってホットスポット(火災現場)の特定や煙霧の広がりや広域観測されているが、熱帯特有の雲の多さによって常時観測に至っていない<sup>1,2)</sup>。また、粒跡線解析によって煙霧の広がりを推定する研究がおこなわれている<sup>3)</sup>。そこで我々は、インドネシア・スマトラ島に既設のミーライダーを改良し、地上から煙霧を観測することにより衛星観測や粒跡線解析の補完を行う方法を検討している。ミーライダーは上空の雲やエアロゾルの分布を容易に観測できるが、視程が数百 m 程度にもなる濃い煙霧を地上から正確に測定するためには、様々な工夫を必要とする。本研究では、煙霧モデルを用いた Forward インバージョン法と Klett インバージョン法の比較、低高度から観測するためのレーザーと受信鏡の重なり関数補正の検討について報告する。

### 2. 信号解析手法の検討

ミー散乱ライダーの信号解析手法には一般的に Forward インバージョン法と Klett インバージョン法の 2 種類がある<sup>4,5)</sup>。Forward インバージョン法は近距離に境界条件を置いて遠方へ積分する方法である。低高度においては高い精度で解析を行えるが、境界値の誤差や信号の雑音などの影響を受けるため不安定である。Klett インバージョン法は境界条件を遠方において手前に積分する方法である。こちらは境界値の誤差が大きくても収束するため、安定である。通常のライダー観測は主に高高度の有効な観測データがあるため、Klett インバージョン法のような遠方に境界条件を置くことが可能である。しかし、本研究では煙霧を対象とするため、SN が悪い高高度のデータを用いる Klett インバージョン法は不利であると推測できる。Figure 1 は地上から高度 2km まで煙霧があると仮定し、その領域だけ消散係数を大気の 10 倍とした大気モデルを用いて、Forward インバージョン法と Klett インバージョン法による消散係数の解析結果を示す。

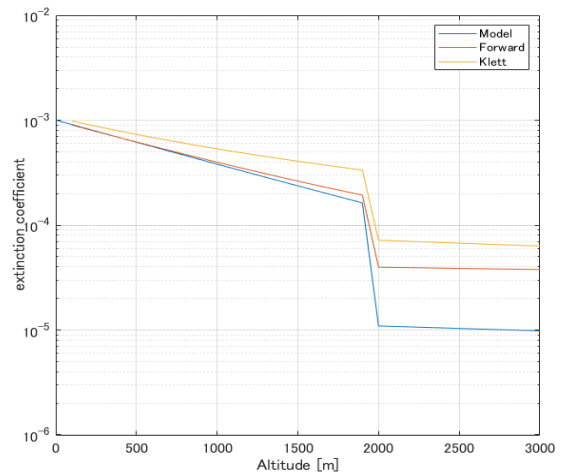


Figure 1: Comparison of Forward and Klett inversion method

ここでレーザー波長は 532nm で観測し、Forward インバージョン法の境界高度は近距離である 200 m、Klett インバージョン法の境界高度は遠方の 3000 m に設定した。レーザー光は煙霧によって通常より大きく減衰するため、煙霧より高い高度の SN が悪くなる。この時、Klett インバージョン法では境界条件による消散係数の初期値が正しく与えられていないため、モデルに対して大きく誤差が出る。一方、Forward インバージョン法は初期値の類推が可能な近距離に境界条件を与えることができるため、より正確に逆解析を行える。

### 3. 送受信配置の検討

次に、煙霧観測を効果的に行うための送受信配置について検討した。ライダーはレーザー光と受信鏡視野が完全に重なる高度（重なり関数  $O(z)=1$ ）より手前の大気情報を得ることが困難である。そこで、送受信を近接させるか、同軸にすることで低高度から  $O(z)$  を 1 にする手法が一般的である。さらに  $0 < O(z) < 1$  の高度における信号を再現するために補正をかける方法もある<sup>6,7)</sup>。インドネシア Kototabang のライダー観測施設の屋根には天窓（50×50 cm）が 1.8m 間隔で 3 か所設置されている。現在は、対流圏及び成層圏の雲・エアロゾルを観測するために、波長 532nm、出力 10mJ の Nd:YAG レーザーと口径 35cm の望遠鏡を用いている<sup>8)</sup>。対象高度が比較的高いので、隣り合う天窓を送信用と受信用に分けている。一方、煙霧観測を行う場合、できるだけ地表に近い高度から観測を行いたい。そのため、同じ天窓を送受信に使い、レーザー光と受信鏡の距離を 10cm に近づける。ここでの距離はレーザー光の中心と受信鏡の端間である。現状と煙霧観測用の重なり関数  $O(z)$  の計算結果を Figure 2 に示す。

ここで  $\Phi$  は受信鏡の視野角、 $\theta$  はレーザー光の広がり角、 $\delta$  はレーザーと受信鏡の視野角との傾斜角である。現状は、高度 1km 程度でレーザーと受信鏡の視野が重なりはじめ、高度 2 km 程度で完全に重なっている。これに対し、煙霧用の配置では、高度 80m からレーザー光と受信鏡の視野が重なりはじめ、高度 100m 程度で  $O(z)$  が 1 となり送受信が完全に重なる。したがって、 $O(z)$  の補正を行うことで、高度 100m から観測可能となることが分かった。過去の観測事例から、煙霧の上端高度が 1~2km 程度であることが分かっており、下限が 100m でも煙霧観測への支障はない。

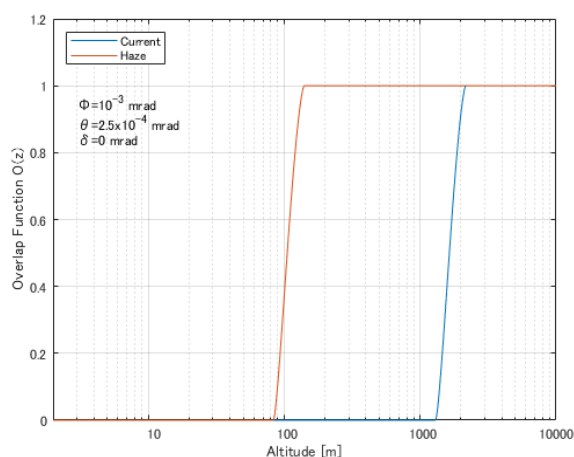


Figure 2: Overlap functions of the Indonesian Mie lidar system

### 4. まとめ

今回はインドネシア・スマトラ島に既設のミーライダーを改良し、地上から煙霧を観測する際に検討すべきことを述べた。Forward インバージョン法で解析し、送受信間隔を 10cm に近接することで高度 100m からの煙霧観測が可能になることが分かった。Forward インバージョン法を使用することで、SN が少ない煙霧より手前側に境界値を設定することにより、Klett 法と比較して高い精度で煙霧の消散係数観測が可能となる。また、送受信配置についても従来の配置では高度 2 km 以上からの観測となっていた。この状態では近距離においてレーザー光と受信鏡視野の重なりが十分でないため煙霧観測には適していなかった。そのため、送受信の配置を近づけることによって、高度 100m 以上からの観測を可能とした。今後はインドネシアにあるライダー装置を実際に使用してこれらの有用性を証明していく。

### 参考文献

- 1) N. A. A. Abd Latiff, T. Machimura: Int. J. GEOMATE, **14** (2017) 15.
- 2) N. H. Hanafi, M. H. Hassim, Z. Z. Noor: J. Eng. Technol. Sci., **50** (2018) 818.
- 3) I. S. Sitanggang, A. D. Asti, L. Syaufina, H. Khotimah: In 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS) (2017) 149.
- 4) F. G. Fernald, B. M. Herman, J. A. Reagan: J. Appl. Meteorol., **11** (1972) 482.
- 5) J. D. Klett: Appl. Opt., **20** (1981) 211.
- 6) R. M. Measures: *Laser Remote Sensing*, New York, Wiley-Interscience, (1984) Chapter 7.
- 7) 杉本伸夫, 松井一郎, 筆野泰弘: 光学 **19** (1990) 687.
- 8) 阿保真, 長澤親生, 柴田泰邦: 日本リモートセンシング学会誌 **26** (2006) 45.