

# マルチ縦モードレーザーを用いた高スペクトル分解ライダーの考案

## A concept of high spectral resolution lidar using a multi-longitudinal mode laser

神 慶孝<sup>1</sup>、杉本 伸夫<sup>1</sup>、西澤 智明<sup>1</sup>、Pablo Ristori<sup>2</sup>、Lidia Otero<sup>2</sup>、Eduardo Quel<sup>2</sup>  
Yoshitaka Jin, Nobuo Sugimoto, Tomoaki Nishizawa, Pablo Ristori, Lidia Otero, Eduardo Quel

1. 国立環境研究所、2. レーザー応用研究センター（アルゼンチン）

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Laser Research and Applications Center (CEILAP), Argentina

### Abstract

This paper presents a concept of high spectral resolution lidar (HSRL) using a multi-longitudinal mode laser. Rayleigh and Mie scattering components can be separated using a Mach-Zehnder Interferometer (MZI) with the same mode spacing as the transmitted laser. By scanning the MZI periodically with a scanning range equal to the mode spacing, Mie and Rayleigh signals can be identified. This paper shows a system design of multi-mode HSRL and the measurement techniques. The purpose of this study is to develop a simple, low-cost, and durable HSRL for long-term field observations. Our target is to realize extinction coefficient measurements both in daytime and nighttime with a higher sensitivity than nighttime Raman lidars.

### 1. はじめに

高スペクトル分解ライダーは、エアロゾルの消散係数を後方散乱係数と独立的に測定できる手法であり、次世代のエアロゾル観測ライダーの中心的手法となると考えられる。既存研究では、単一縦モードレーザーを用いることが高スペクトル分解ライダー計測の確実な手法とされてきた。しかし、この単一縦モードレーザーは、ミー散乱ライダーに広く用いられているマルチ縦モードレーザーと比べて高価である。また、レーザー波長または分光素子の制御も必要なため、煩雑なシステムになる。以上のようなコストや技術的な問題があるため、常時観測に用いるような安価で簡易な装置を実現することが困難であった。本研究は、夜間のラマンライダーよりも高感度で大気エアロゾルの消散係数を連続的に測定することを目標として、安価で簡易な高スペクトル分解ライダーの開発を行う。

### 2. マルチ縦モードレーザーを用いた高スペクトル分解ライダー

本発表では、通常のマルチ縦モードの Nd:YAG レーザーを光源としたシンプルで低コストの高スペクトル分解ライダーの概念を紹介する。この高スペクトル分解ライダーは、マルチ縦モードレーザーのスペクトルモード間隔が一定であることを利用し、これと同じスペクトルモード間隔を持つ干渉計を分光素子として受光系に用いる。受信するミー散乱光のスペクトルは送信レーザーとほぼ同じであるが、大気構成分子のレイリー散乱光は、ドップラー拡がりによってレーザー光のモード間隔の間を埋めるようなスペクトルを持つ。この違いを受光系の干渉計をスキャンすることによって検知し、ミー散乱光とレイリー散乱光の強度を導出する。

この発想のもと設計したライダーシステムの構成図を図 1 に示す。マルチ縦モード Nd:YAG レーザーの第二高調波(波長 532nm)を光源とし、受光部には、ピエゾ素子にマウントしたルーフミラーを可動部に用いるマッハツェンダー型の干渉計を設置する。ピエゾ素子は前述の干渉計波長スキャンのために使用する。干渉計は、レーザー光のスペクトルモード間隔に一致する(レーザーの共振器の長さに一致させる)ように光路差を決定する。信号検出器は 2 つ設置し、逆位相の信号も記録して測定感度を上げる。このライダーシステムは、大気からの後方散乱信号を受信するだけでなく、送信光の一部を受光系に導入し、これをリファレンス光として解析に用いる。このリファレンス光について干渉計の波長スキャンを行うことにより、レーザーの各モードに対応した光成分とスペクトルに依存したバイアス成分を測定で

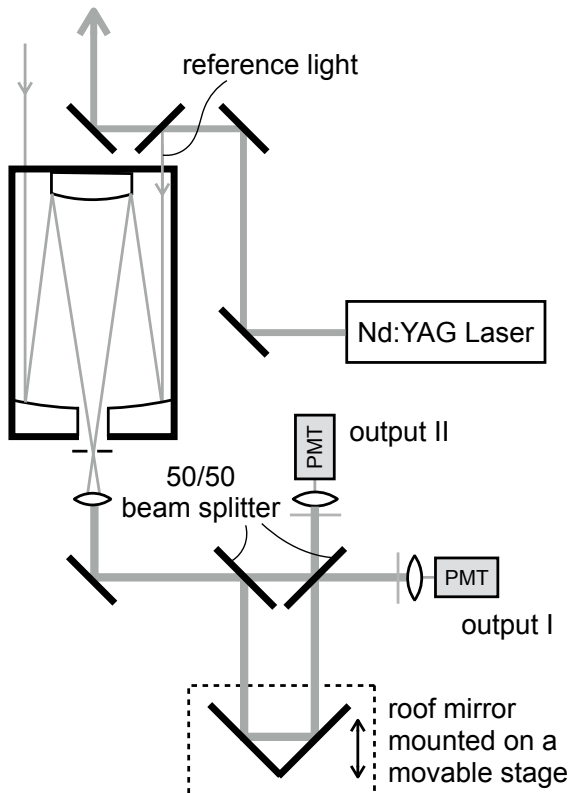
きる。このバイアス成分は、レーザーのスペクトル幅の広がりによって、各モードのスペクトルの裾野部分が除去されずに漏れ光として測定される (すなわち、 $1 - \text{除去率}$ )。干渉計をレーザーのモード間隔分だけスキャンすることによって、ミー散乱成分が最も除去される時(リファレンス信号が最小になる時)の信号を測定できる。また、測定されたバイアス成分は、大気の散乱信号を解析する際の補正に応用する。

### 3. レーザー特性と測定効率

上記に述べたレーザーのスペクトル幅に起因するバイアス成分は、最大と最小の信号のコントラストを小さくし、測定効率を下げる。図2にレーザーのスペクトル幅を変化させて計算したバイアス成分の相対強度を示す(入射光強度を1としている)。スペクトル幅が1桁狭くなると、バイアス成分も1桁小さくなる。スペクトル幅がフーリエ変換から決まるとすれば、パルス幅が大きい方がよりバイアス成分も小さくなる。また、レーザーのモード間隔が広い方(レーザーのキャビティ長が短い方)が、バイアス成分が小さい。これは、レーザーのスペクトルに合わせて干渉計の自由スペクトル領域を大きくすることにより、除去範囲が広がるためである。また、干渉計の光路差を小さくなることにより、角度依存性も小さくすることができる。

#### [参考文献]

- 1) Risoti P., L. Otero, Y. Jin, N. Sugimoto, T. Nishizawa, and E. Quel, Development of a high spectral resolution lidar using a multi-mode laser and a tunable interferometer, 27<sup>th</sup> Int. Laser Radar Conf., New York, 2015
- 2) Jin Y., N. Sugimoto, T. Nishizawa, P. Ristori, and L. Otero, A concept of multi-mode high spectral resolution lidar using Mach-Zehnder interferometer, 27<sup>th</sup> Int. Laser Radar Conf., New York, 2015



← Fig. 1 Block diagram of multi-mode high spectral resolution lidar with a Mach-Zehnder interferometer<sup>2)</sup>.

↓ Fig. 2 Relative intensity of bias component (input light = 1) for various spectral widths and mode spacing of laser<sup>2)</sup>.

