

マルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーの開発

Development of High-Resolution Multi-Channel Raman Lidar

阿保 真, 長澤親生, 柴田泰邦

Makoto Abo, Chikao Nagasawa, and Yasukuni Shibata

首都大学東京・システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract

We are developing a multi-purpose multi-channel Raman lidar system based on a high-resolution multi-channel spectrometer. We can observe many parameters such as temperature using rotational Raman signal, water vapor and liquid water density, greenhouse gas (CO₂, CH₄ etc.) density and so on. We present schematics and preliminary observational results using this system.

1. はじめに

ラマン散乱は、散乱断面積が小さいにもかかわらず、振動準位を用いて各種大気分子濃度や回転準位を用いて温度情報を得ることが出来るため、ラマンライダーとして広く利用されている[1]。ラマンライダーは分子の吸収線を利用する差分吸収ライダーに比べると、レーザの絶対波長やその線幅、安定性への要求が低いことから利用しやすいシステムである。受光系としては分光器や干渉フィルターを用いた分光光学系が必要であり、高分解能が要求される回転ラマンライダーでは、特別の工夫を必要とするが、振動ラマンライダーでは干渉フィルターを用いて比較的容易に実現できるものの、クロストークなどのため、その用途は限られている。一方最近、アレー型の受光面を持った光電子増倍管と分光器を利用した高感度マルチスペクトル検出器が開発され、Tatalov ら[2]はマルチスペクトル検出器を利用してエアロゾルの石英成分の検出に成功している。

我々は大型分光器を用いた高分解能マルチスペクトル検出器を利用し、波長や分解能を切換えることにより多目的に利用できるラマンライダーを開発したので、その概要と初期結果を報告する。

2. マルチスペクトル検出器を用いたラマンライダー

マルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーの仕様を Table 1 に示す。本システムは Licel 社の Multispectral Lidar Detector をベースにしているが、分光器に標準品とは異なる大型の分光器を用いることにより、高分解能で狭い波長領域から低分解能で広い波長領域までのスペクトルの高度プロファイルを得ることができる。レーザには都内での運用並びにラマン効率を考慮し Nd:YAG レーザの THG (355nm) を用いているが、SHG (532nm) での運用も可能なシステムとなっている。望遠鏡には口径 51cm のナスミス型反射望遠鏡を用いて分光器を望遠鏡に直接結合し、ファイバーによるロス無くしている。高分解能モードは波長分解能 0.47nm@355nm、カバーレンジ 14nm で主に回転ラマンや、単独の振動ラマンスペクトルを狙うことができる。中分解能モードでは波長分解能 2.1nm、カバーレンジ 67nm で複数のラマンスペクトルを狙うことができる。更に低分解能モードでは波長分解能 4.4nm、カバーレンジ 135nm で蛍光スペクトルを狙うことができる。

Table 1. Specification of high-resolution multi-channel Raman lidar

Laser	
	Injection-seed Nd:YAG Laser
Wavelength	354.7nm
Pulse Energy	up to 180mJ
Repetition Rate	30Hz
Receiver	
Telescope Diameter	510mm
Spectrograph	Acton Research SP-2758
Focal length	750mm
Spectral Resolution/Cover Range	
-300 g/mm grating	4.4nm/135nm
-600 g/mm grating	2.1nm/67nm
-2400 g/mm grating	0.4nm/14nm
Multi-Spectral Detector	Hamamatsu H7260-20
Data Acquisition	
	Licel Multispectral Lidar Detector
Max. Photoncount Rate	100MHz
Range Resolution	30m
No. of Range Bins	1000
Max. Acquisition Rate	30Hz

3. 回転ラマンの観測例

回転ラマンを利用した温度計測は装置定数以外の仮定が不要であり、エアロゾルによる影響を受けないため、特に対流圏下部の温度計測に有用であるが、ミー散乱の干渉を避け、近接した2波長の信号を受ける必要があるため、従来は特別な分光系が必要であり、フィルターの角度調整や温度制御などに十分配慮する必要があった。

Fig. 1 にマルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーによる純粋回転ラマンスペクトルの観測例を示す。アレー型光電子増倍管は各受光素子間に漏れ込みがある（隣接素子で0.1%）ため、強いミー散乱信号が検出器に入らないように355nmを検出器から外れるように分光器をセッティングしている。このデータから従来と同じように2波長を選びその強度比より温度プロファイルが得る事ができる。更にマルチスペクトル検出器では広い範囲での回転ラマンスペクトルが得られるため、送信や受信系の波長制御をあまり気にせずフィッティングにより精度良く温度を推定することも可能である。

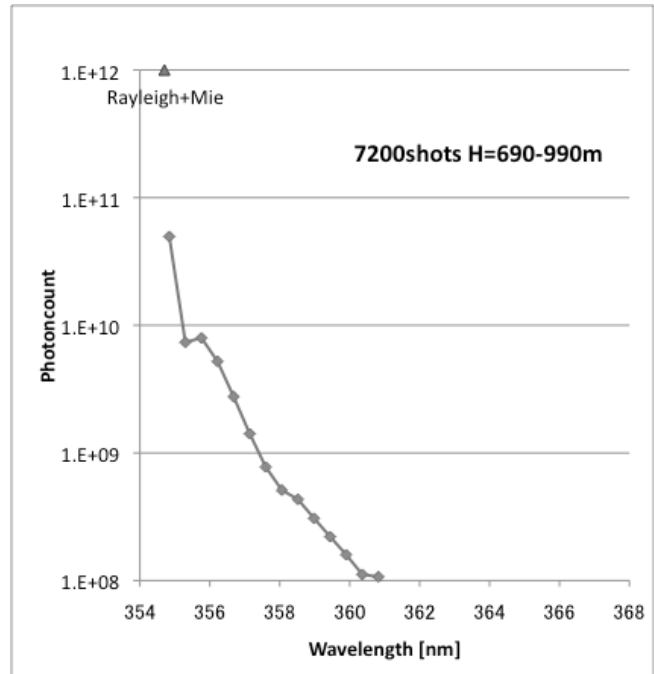


Fig.1 Rotational Raman spectrum within vertical range from 690m to 990m averaged over 4min (7200shots).

4. 今後の観測計画

4.1 水蒸気と水のラマンライダー観測

水蒸気のラマン散乱は 3652cm^{-1} (355nm 励起で 408nm) にあり、水蒸気密度のラマンライダー観測に広く用いられている。一方液体の水のラマンは $3000\sim 3600\text{cm}^{-1}$ (355nm 励起で 397~407nm) に広く分布しており、これを利用した雲中の水蒸気と水滴のラマン観測が提案されている。水のラマンスペクトルは過冷却、氷などの状態によって変化することが分かっている [3]。マルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーを用いると、水蒸気だけではなく同時に雲中の水の状態を測定できる新たなライダーへの発展が期待できる。

4.2 温暖化ガスのラマンライダー観測

我々は、既に CO_2 の差分吸収 (DIAL) 観測に成功しているが、地表付近の高度に限定すればラマン散乱による CO_2 や CH_4 の観測も可能である。しかし、これらの気体は濃度が低いため、通常のラマンライダーでは蛍光の影響受け、精度の良い観測が困難である。マルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーでは、バックグラウンドの蛍光測定も可能であるため、精度の良いラマン散乱観測が期待できる。

5. おわりに

大型分光器とアレー型光電子増倍管により構成される高分解能のマルチスペクトル検出器を用いたラマンライダーを開発し、初期結果として回転ラマンスペクトルの観測結果を示した。本システムは波長や分解能を切替えることにより多目的に利用できるため、雲中の水蒸気や水の状態の観測や CO_2 や CH_4 などの微量気体の観測を計画している。

参考文献

- [1] C. Weitkamp Ed., Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer, 2005.
- [2] B. Tatarov et al., Proc. of the 25th ILRC, No.S010-12, pp.47-50, 2010.
- [3] 鈴木芳治, 低温科学, 64, pp103-113, 2006.