

## 富士山域環境のレーザー観測システムの調査研究

小林喬郎<sup>1</sup>, 椎名達雄<sup>2</sup>, 久世宏明<sup>2</sup>, 矢吹正教<sup>3</sup>, 三浦和彦<sup>4</sup>

1.福井大学, 2.千葉大学, 3.京都大学, 4.東京理科大学

### 1. はじめに

世界遺産となった富士山の山頂や周辺域にライダー(LIDAR)またはレーザーレーダー(Laser Radar)と呼ばれる光波の遠隔測定装置を設置して、気象や大気環境の空間分布情報を遠隔的に観測するシステムの実現を目指して、その基礎的な課題の調査を開始した。まず本年度は山頂の測候所や5合目の観測小屋における条件の調査と、実験に利用可能なシステム等の技術的な検討を行った。

### 2. ライダーシステムの計測特性と設置条件

本研究で実現が期待されるライダーシステムについてこれまで種々の検討を行ってきた<sup>1,2)</sup>。表1に現状のライダー方式の大気観測要素やレーザー波長、測定距離・高度、さらに富士山で観測が期待される計測情報などを示す。

ミー散乱方式ライダーではSPMエアロゾルの粒径や重量濃度の分布や越境汚染の測定、ドップラー方式では突風や竜巻などの風向・風速の3次元計測などが可能となる。さらに湿度や気温などの気象要素の測定も実現できる。これらの構成により現状の気象予報の高精度化や局地的な異常気象の詳細な監視などが可能となる。また、分子の差分吸収ライダーでは地球温暖化や噴火ガスなどが検出可能となる。

これらのライダーの装置構成は比較的大型で消費電力も数kWが必要となる。そのため、これらのシステムの現状での利用は頂上付近での動作は困難である。しかし、5合目付近の観測基地での動作は可能なものと判断される。これらのシステムは既に国内の大学や研究所などにおいて利用されており、実用的な製品も開発されている。本格的な観測システムの実現には利用者等のニーズの調査や装置の取得や借用等の作業が課題となる。

### 3. 小型ライダーによる富士山での観測研究

富士山の頂上付近の自由対流圏での新粒子生成過程の研究として、エアロゾル成分の鉛直輸送のライダー計測と山頂の測候所や気球等をプラットフォームとした直接計測との同時観測が2013年より京都大学と東京理科大学の共同研究により行われてきた<sup>3)</sup>。2015~2016年の観測では、富士山麓太郎坊(標高:1290m, 北緯35.2, 東経138.8)を観測基地として、アイセーフ性の高いマイクロパルスライダーを用いた観測を実施し、大気境界層高度やエアロゾル

消散係数の時間変化と山頂での新粒子生成過程との関係について考察した<sup>4,5)</sup>。

表1 富士山ライダーの計測情報

観測要素	ライダー方式	レーザー波長	測定距離 水平/高度	計測情報
エアロゾル・ 雲・雨・雪	ミー散乱ライダー (ラマン散乱ライダー)	355/1064nm 1550nm	30km/15km 20km/10km	SPM, PM2.5, 粒径、重量濃度 黄砂、越境汚染、噴煙拡散
風向・風速	HSRドップラーライダー コヒーレントドップラー	355nm 1550nm	10km/30km 30km/10km	突風、竜巻、山岳気象 航空気象予報
湿度	ラマン散乱ライダー	355nm	10km/10km	雲の生成、集中豪雨予報
気温	HSRライダー	355nm	10km/80km	ヒートアイランド現象 高層気象予報
分子	差分吸収ライダー	370- 3000nm	10km/10km	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S 温暖化予測、噴出ガス濃度
原子	共鳴散乱ライダー	580- 800nm	/120km	超高層Na, K, Ca+, Fe原子 密度、温度、重力波、スプライト

(HSR: 高スペクトル分解能・レイリー散乱)

### 4. ハイパースペクトルカメラでの汚染分子密度の広域分布計測

さらに千葉大学では小型のハイパースペクトルカメラ(Hiperspectral Imager)を利用して広い方位角度(360度)での多軸差分吸収分光法(MAX-DOAS)<sup>6)</sup>による大気汚染物質の二酸化窒素NO<sub>2</sub>密度分布を可視化する装置を実現した<sup>7,8)</sup>。可視の波長領域(400~750nm)で約1000本の波長識別能力を持っており、晴れた日の空の撮影から太陽光が大気分子等に散乱されて観測者に到達するまでに通過してきた大気の吸収スペクトルを画像のピクセル毎に調べ、都市域上空(図1)と滑走路上空の大気中において人間活動や飛行機の離陸等に伴って発生するNO<sub>2</sub>濃度の空間分布を可視化した(図2)。この測定手法は可視光に吸収をもつ他の気体分子にも適用可能であり、水蒸気(H<sub>2</sub>O)や酸素二量体(O<sub>4</sub>)の可視化も行った。また、ミー散乱計算と組み合わせてPM2.5のようなエアロゾルの光学特性を推定することも可能である<sup>8)</sup>。さらに小型・軽量の装置構成から、富士山での極限的環境での利用も可能である。

### 5. 差分吸収レーザーセンサーによる分子濃度の高感度計測法の開発

また、本研究グループは赤外域の波長可変半導体レーザー(LD)を利用した携帯型の分子濃度の高感度計測センサ

一の開発研究を行ってきた。

波長 1.5 - 1.6  $\mu\text{m}$  での光通信システムに利用されており、分子の計測にも広く利用されている。大気中へのメタンガス ( $\text{CH}_4$ ) の漏洩を検出する小型の差分吸収型センサーとして地表面等にレーザー光を照射して、1 m の光路長で 10 ppm の高感度特性のセンサーを開発した<sup>9)</sup>。光路長を 1 km 程度に長くすると数 ppb の超高感度での検出が可能である。また、波長 2~3  $\mu\text{m}$  の赤外域 LD 等を利用すると、 $\text{CO}_2$  や  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  などの温室効果ガスや噴火ガス、水蒸気 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) や大気汚染分子などの多数の分子濃度の高感度計測が可能である。さらにこのセンサーは小型のバッテリー駆動での長時間測定も可能であり、富士山頂での通年観測の可能性もあることが今回の調査で判明した。

## 6. 結言

世界文化遺産の富士山における「富士山環境レーザー観測システム」の実現により次のような機能と成果が期待できる。

- ・本 NPO における富士山の自然科学の研究や教育面での新たな利用が可能となり、広い活動の展開が予想される。

- ・異常気象の状況や環境の変化、噴火等の火山活動の防災情報システムとして登山者や地域住民の利用・活用が可能になる。

- ・富士山の広域での気象や環境の情報はネット配信等の情報産業にも価値が高いため、連携した活動が期待できる。

さらに来年度には、小型で高効率のレーザーセンサーの開発とその観測実験等を行い、高感度で高精度の分子濃度

や気象要素の計測技術の進展を目指したい。

## 参考文献

- 1) 小林喬郎 (2016). レーザを用いて地球環境を探る：総論. 電気学会誌, 130.8, 526-529.
- 2) 小林喬郎, 椎名達雄, 久世宏明, 矢吹正教, 三浦和彦 (2018). 富士山域の気象・環境ライダー観測システムの調査研究. レーザセンシング学会第 36 回シンポジウム予稿集, 36, 100-101.
- 3) 矢吹正教, 三浦和彦, (2018). 太郎坊上空における大気境界層高度の特徴 -2015~2017 年夏期ライダー観測-, 東京理科大学大気科学研究部門第 2 回成果報告会, 33-34.
- 4) 矢吹正教, 高橋けんし (2015). 森林域におけるリモートセンシング大気計測, 東京理科大学山岳大気研究部門第 4 回成果報告会, 30-31.
- 5) 片岡良太, 三浦和彦, 等 (2016). その場観測とライダー観測から探る富士山頂における新粒子生成の要因, 第 33 回エアロゾル科学・技術研究討論会, C05.
- 6) Irie H., Takashima A., Kanaya Y., et al. (2011). Eight-component retrievals from ground-based MAX-DOAS observations, *Atmos. Meas. Tech.* 4, 1027-1044.
- 7) Manago M., Kuze H., et al. (2018). Visualizing spatial distribution of atmospheric nitrogen dioxide by means of hyperspectral imaging, *Appl. Opt.*, 57, 5970 - 5977.
- 8) Manago N., Kuze H., et al. (2013). Retrieval of tropospheric aerosol parameters using hyper-spectral imaging camera, *IEEE IGARSS*, 2192-2195.
- 9) 椎名達雄, 小林喬郎 (2014). メタンガス遠隔吸収センサーの高感度化のための最適波長変調法の検討. レーザライダー研究会, 第 32 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, 32, P-32, 102-103.

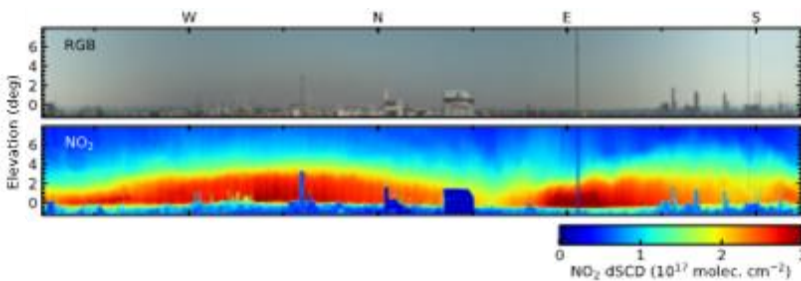


図 1. 千葉大学屋上から地平線付近を 360°見渡すパノラマ画像の比較  
通常のカメラの画像 (上図) と  $\text{NO}_2$  濃度の分布画像 (下図)

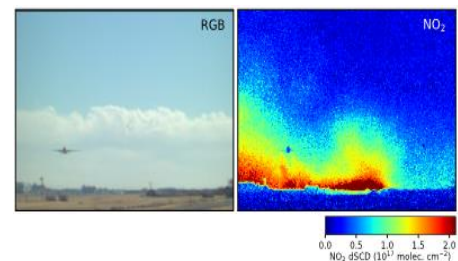


図 2. 滑走路上空を撮影した画像 (左図) と  
航空機排気ガスの  $\text{NO}_2$  分布画像 (右図)