

火山噴気温度計測用可搬型ライダーの開発

Development of a Portable Lidar for Temperature Measurement of Volcanic Fumarole Gas

○ ¹池羽健二、¹阿保 真、²橋本 武志、³中村 卓司、³江尻 省、⁴寺田 暁彦

¹Kenji Ikeba, ¹Makoto Abo, ²Takeshi Hashimoto,

³Takuji Nakamura, ³Mutumi K. Ejiri, and ⁴Akihiko Terada

¹首都大学東京、²北海道大学、³国立極地研究所、東京工業大学

¹Tokyo Metropolitan University, ²Hokkaido University

³National Institute of Polar Research, ⁴Tokyo Institute of Technology

Abstract :

Temperature measurement of volcanic fumarole gas is important to know the activity of volcanoes and to predict eruptions. We are developing a portable bistatic lidar for remote sensing of temperature of volcanic fumarole gas. A high-spectral-resolution lidar technique with a potassium atomic absorption filter is proposed for temperature measurement. This lidar system consists of a frequency locked CW two diode laser as a transmitter and potassium vapor cells as an atomic absorption filter. We decide optimal combination of absorption filter temperature by simulation.

1. はじめに

火山から放出される噴煙のうち、マグマから揮発した気体成分は火山ガスと呼ばれる。火山ガスは、噴火の準備過程や活動静穏時にも地表に表れるため。その成分や噴出量・温度等を知ることは、地下のマグマの状態を知る上で大いに役に立つ。また、噴火中の噴煙についてこうした測定を行うことで、活動の推移予測に資することができる。ところが多くの場合、噴気口から火山ガスを直接採取したり、その温度を直接測定することにはかなりの危険が伴うため、遠隔計測手法の開発が求められている。

首都大では、対流圏の気温鉛直分布観測を目的とした、カリウム原子吸収フィルターを用いた高スペクトル分解能ライダーを開発し、高度 2km までの気温観測に成功しているが、このライダーシステムは光源としてパルス方式の Nd:YAG-SHG 励起 Ti:Sapphire レーザーを用いているため、屋外へ持ち出している測定は困難である。そこで、火口近傍から噴気温度の遠隔計測を目的とした、屋外での発電機での運用が可能で持ち運び可能なポータブルライダーを新たに開発した。受信部に小型のカリウム原子吸収フィルターを、光源に持ち運び可能な波長ロック CW 高出力半導体レーザーを用い、送受信レイアウトをバイスタティック配置とすることにより、ポータブルな温度計測ライダーを実現する。

2. カリウム原子吸収フィルターの最適温度

気温の測定原理は高スペクトル分解能ライダーと呼ばれる方法^[1]で、我々は共鳴波長 770nm のカリウム原子吸収フィルターを用いる。原子吸収フィルターは、金属原子をガラスセルに封じ込めヒーターにより温度制御した吸収フィルターであるが、温度を変えることにより吸収帯域幅を変えること出来る。原子吸収フィルターによりミー散乱成分を吸収させ、気温により変化するレイリー散乱スペクトルの裾野の成分を、設定温度の異なる 2 つのカリウムフィルターにより測定しその透過光信号強度比から気温をもとめる。

今回、高温である火山噴気温度の計測を行うため、広い気温範囲でのカリウムフィルターの最適な設定温度の組み合わせをシミュレーションにより求めた。カリウムフィルターのセル長は 75mm として、フィルターの最低温度は十分なミー散乱成分の吸収が得られる 100°C とし、最高温度は、ヒーターの定格から 200°C とした。計算はまず、与えられた大気温度 T_A におけるレイリー散乱スペクトルと 2 つのカリウムフィルター 1、2 の各設定温度における透過特性を用いて散乱信号のフィルター透過量 S_1 と S_2 を求める。次に透過量の比 $R = S_1/S_2$ と信号誤差 $\varepsilon_s = \varepsilon_p \sqrt{(1/S_1) + (1/S_2)}$ から気温測定誤差 $\varepsilon_T = \varepsilon_s R(T_A) \Delta T_A / \Delta R(T_A)$ を求めた。 ε_p は信号の統計誤差でフォトン数が N の場合 $1/\sqrt{N}$ である。

レイリー散乱信号の光子数を 10^6 、フィルター 2 の温度は 100°C と固定する。大気温度を 30°C 、 100°C 、 600°C と変えたときのフィルター 1 の温度に対する気温測定誤差 ε_T の計算結果を Fig. 1 に示す。大気温度が 600°C のときはフィルター 1 の温度が高いほど気温測定誤差は小さくなり、設定最高温度 200°C の時に最も気温測定誤差が小さくなる。しかし、大気温度が 100°C の時には 180°C 、 30°C の時には 161°C の時がフィルター 1 の最適温度になることが分かった。

3. 火山ガス温度計測のためのライダーシステム

Fig. 2 に開発したライダーシステムのブロック図を示す。送信系は CW の半導体テーパーアンプ内蔵外部共振器型半導体レーザー（出力 $1.5\text{W}@770\text{nm}$ ）を用い、カリウムセルによる自動波長制御を行っている。受信系は口径 20cm の小型望遠鏡にコンパクトなカリウム原子吸収フィルター、光電子増倍管、フォトンカウンターを用いている。送受信部を離れたバイスタティック配置とすることにより、CW レーザーを用いることが可能となっている。送信系、受信系ともに人力による運搬が可能で、発電機を用いた屋外での計測が可能である。

4. おわりに

実験室での測定、キャリブレーションが終わり次第、システムを草津の万代鉱に持っていき、屋外での噴気温度計測とキャリブレーションを行う予定である。その後、阿蘇山等でポータブル水蒸気ラマンライダー、スペクトルカメラとの同時観測を行う計画である。

謝辞 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（21340122）の助成を得て行われている。

参考文献 [1] H. Shimizu et al., Appl. Opt. Vol.22, No.9, p.1373, 1983

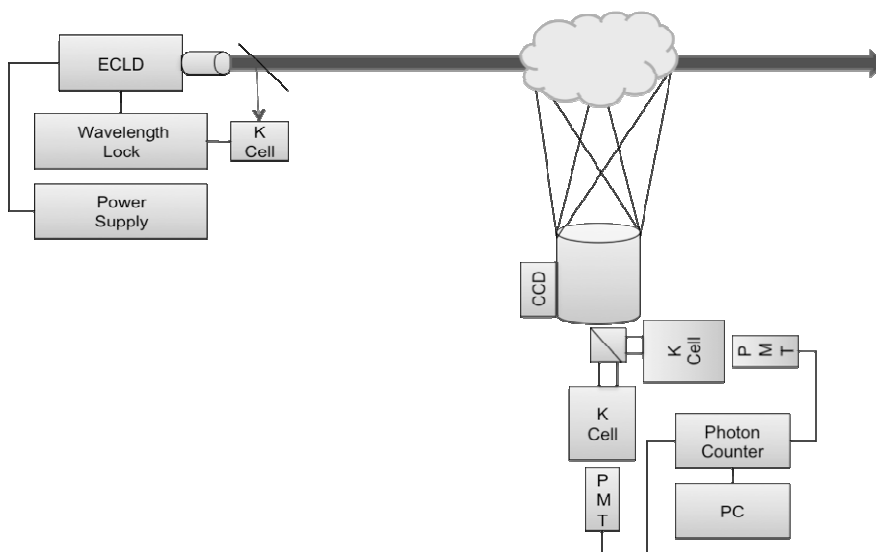


Fig.2 Block diagram of portable high-spectral-resolution lidar for temperature measurement of volcanic fumarole gas with two potassium absorption filters.

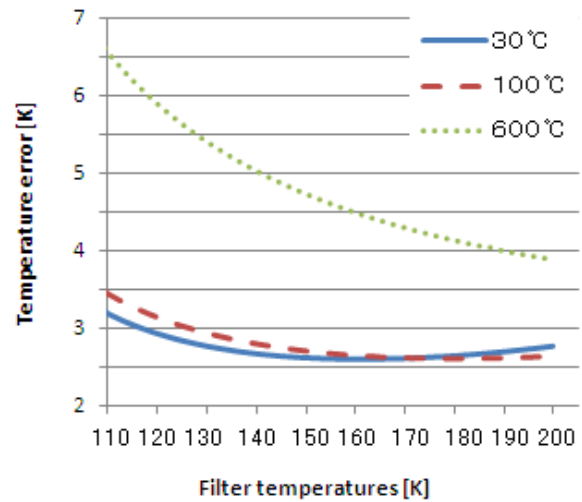


Fig.1 Temperature error as a function of filter temperature to variations of air temperature.