

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540446

研究課題名(和文)火山ガス観測における分光技術応用の開拓

研究課題名(英文)Application of spectroscopy in remote sensing of volcanic gases

研究代表者

橋本 武志 (Hashimoto, Takeshi)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70283588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：これまで、火山噴気に含まれるH₂O(水蒸気と水滴)を遠隔測定で定量することは一般に困難であるとされてきた。本研究では、H₂Oが赤外線を吸収することを利用して、噴気を通りかかった背景光の強度分布から、噴気中のH₂Oを濃度分布として可視化することを目指してきた。本研究での検討の結果、この方法は、少なくとも我が国の多湿な大気環境ではうまくいかないことが明らかになったが、本課題の副産物として、紫外線分光でSO₂を可視化する装置の改良ができた。また、軽量可搬型のラマンライダーによって噴気中の水蒸気と水滴を独立に定量することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：It has generally been believed that remote-sensing of water (vapor and mist) in volcanic plume is practically very difficult. This research aimed to visualize water content in volcanic plumes as an infrared image via absorption of background solar radiation through the water. Unfortunately this method was proven to be unsuccessful at least in the humid atmospheric conditions in our nation. We, however, improved our low-cost imager of sulfur dioxide gas in volcanic plumes using ultraviolet wavebands. In addition, we made it possible to remotely detect water vapor and water mist separately by using our portable Raman LIDAR system.

研究分野：火山物理学

キーワード：火山ガス リモートセンシング 分光

1. 研究開始当初の背景

火山噴煙や火山ガスの遠隔測定は、迅速かつ安全に活動状況を知るための効果的な火山観測手段である。火山ガスの一成分であるSO₂の放出率は、地下浅部へのマグマ供給率を反映しているので(例えば Kazahaya *et al.*, 2004)、火山活動の予測を行う上で重要である。SO₂の遠隔測定手法として、紫外線や赤外線の吸収量や吸収スペクトルを利用するCOSPEC/DOAS や FTIR がある。近年では、SO₂の濃度分布を画像として捉えるSO₂カメラ(Mori and Burton, 2006)なども開発されているが、非専門家が手軽に使えるほど安価ではない。一方、火山ガスの9割以上はH₂Oが占めていること、火山爆発はH₂Oの急激な体積膨張によって駆動されることから、噴火の爆発性を支配する本質はH₂Oであると言える。それにも拘わらず、火山ガス中のH₂O遠隔測定はこれまでほとんど手つかずであった。こうした状況を踏まえて、分光技術を用いた火山噴煙・噴気成分の遠隔測定の応用可能性を広げ、より手軽に行えるようにすることを考えた。

2. 研究の目的

分光技術を利用した火山噴煙・噴気の遠隔測定手法の新規開発と既存技術の高度化。特に、噴気中のH₂OとSO₂の濃度分布および流量の測定手法を確立する。具体的には、(1) 噴気中のH₂O濃度分布を画像として捉えるH₂Oカメラの開発。(2) 既に開発済みのSO₂カメラの技術的問題点を改良(精度検証、水蒸気やエアロゾルの影響の検討)。(3) PIV(粒子画像流速測定法)解析の導入による噴煙運動解析の自動・高速化。(4) 噴煙エアロゾルの遠隔測定手法に関する技術的検討を手がける。

3. 研究の方法

本研究課題ではまず、H₂Oカメラの試作と室内実験を行い、太陽光に含まれる赤外線のうち、野外における火山噴気観測に適した波長帯の検討を行った。また、噴煙の運動を映像から追跡するために、PIV解析を導入し、

従来連続写真や動画から手動で行っていた噴煙の追跡を自動で行うことを目指した。一方、過去に開発済みのSO₂カメラについて、さらなる低コスト化を目指すとともに、実際の火山噴煙でSO₂カメラとDOAS法の同時観測を通じて検証実験を試みた。本課題では、H₂O可視化カメラの実機製作を目指す予定であったが、研究成果欄で示したように、この手法には野外における実用上の問題があることが研究途上で判明したため、これとは別の遠隔測定法であるラマンライダーを用いて、噴気中の水蒸気と水滴を独立に定量する手法の高度化を進めることとした。さらに、連携研究者と協力して、火山噴煙のエアロゾル観測用ライダーを将来開発するために必要となるスペックを検討した。

4. 研究成果

(1) SO₂カメラの低コスト化。既に研究代表者らが過去に製作していたSO₂カメラの光学系を変更することにより、従来よりも大幅な低コスト化が実現した。製作したカメラは、鹿児島県の桜島火山、熊本県の阿蘇火山にてテストを行い、DOAS法による測定と整合的な結果が得られることを確認した。

(2) H₂Oカメラの試作と実験。SO₂カメラと同様の仕組みを用いて、赤外線領域で火山ガス中のH₂Oを検出する装置の試作と実験を行った。透明容器に入れた液体水を用いた室内の実験では、明瞭な赤外線の吸収を検出できるものの、野外で実際の火山噴気を撮影した場合には、透過光の吸収を有意に検出することはできなかった。これは、噴気の反射や散乱の影響が大きいことと、背景大気中にも多量に水蒸気が存在するため、噴気の影響だけを抽出することが極めて難しいためであると考えられた。背景大気の水蒸気量が少ない環境(標高の高い火山や乾燥地域の火山)であれば、こうした手法によっても水蒸気の検出ができる可能性はあるものの、多湿な我が国の火山では、噴気水蒸気が凝結して不透明

となっていることが多く、赤外吸収による可視化は困難であるとの結論に至った。

(3) H₂O カメラによる方法が実現困難であることが判明したため、噴気中の H₂O を隔測する別の方法として、過去の研究にて開発した小型ラマンライダーの利用について引き続き本研究で追究した。これまで、研究代表者らのグループは、噴気中の水蒸気とそれが凝結した水滴（液相の水）の両方を独立に検出することを目指して、ラマンライダーによる野外実験を繰り返してきた。本研究課題では、群馬県草津温泉の万代鉱噴気にて、噴気の直接採取による密度測定とラマンライダーによる隔測を同時に行い、それらの比較から水滴チャンネル信号の校正方法を検討した。その結果、草津万代鉱の噴気では、水蒸気/水滴の重量比として約 10~20 という値を得た。これにより、白色の噴気でも、含まれている H₂O の大半は水蒸気であることが示唆された。ただし、万代鉱の噴気は、煙突下部で周辺大気と強制的に混合しているため、蒸気相は不飽和である可能性が高く、天然の火山噴気とは状況が大きく異なる可能性もある。このため、将来的には、天然の霧をラマンライダーで測定するなど、別の方法でも水滴チャンネルの校正係数を検証すべきである。

(4) PIV（粒子画像流速測定法）を、北海道十勝岳の火山噴気画像に適用し、噴煙の移動速度を自動的に追跡し、プリュームライズ法による放熱率測定の半自動化を試みた。画像の解像度や日照の変化による噴煙の見え方の違いが流速の推定に与える影響があり、まだ実用的に使えるレベルには至っていない。

(5) 研究分担者および連携研究者を交えて会合を開き、噴煙エアロゾルを検出するためのライダーに必要となるスペックの検討を行った。その後、本研究課題とは独立に、連携研究者が噴煙中の細かな火山灰を検出することを目的としたライダーの開発に着手している。

< 引用文献 >

Kazahaya, K., Shinohara, H., Uto, K., Odai, M., Nakahori, Y., Mori, H., Iino, H., Miyashita, M. and Hirabayashi, J., Gigantic SO₂ emission from Miyakejima volcano, Japan, caused by caldera collapse, *Geology*, **32**, 425-428, 2004.

Mori, T. and Burton, M., The SO₂ camera: A simple, fast and cheap method for ground-based imaging of SO₂ in volcanic plumes, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L24804, 2006.

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計1件)

橋本武志・寺田暁彦・江尻 省・中村卓司・阿保 真, 一般用デジタルカメラを利用した簡易 SO₂ カメラの製作, 火山, 査読有, **57**, 219-225, 2012.

〔学会発表〕(計1件)

Hashimoto, T., Terada, A., Ejiri, M., Nakamura, T. and Abo, M., A low-cost SO₂ imager with the use of digital cameras of consumer use, International Association of Volcanology and Chemistry of Earth's Interior (IAVCEI), Jul. 20-24, 2013, Kagoshima Prefectural Citizens Exchange Center (Kagoshima Prefecture, Kagoshima City).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

橋本 武志 (HASHIMOTO, Takeshi)
北海道大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号：70283588

(2)研究分担者

寺田 暁彦 (TERADA, Akihiko)
東京工業大学・火山流体研究センター・講師
研究者番号：00374215

(3)連携研究者

森 俊哉 (MORI, Toshiya)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：40272463

中村卓司 (NAKAMURA, Takuji)
国立極地研究所・教授
研究者番号：40217857

江尻 省 (EJIRI, Mitsumu)
国立極地研究所・助教
研究者番号：80391077

阿保 真 (ABO, Makoto)
首都大学東京・システムデザイン学部・教授
研究者番号：20167951