

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654143

研究課題名(和文) 係留気球を用いた火山噴煙観測手法の開発

研究課題名(英文) A development of volcanic plume measurement technique using a tethered He-balloon

研究代表者

森 俊哉 (MORI, TOSHIYA)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40272463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、係留気球を用いた火山噴煙の観測手法の開発めざし、特に、噴煙中の火山ガス組成の測定をターゲットにした開発研究を実施した。気球に搭載できるように、二酸化硫黄と硫化水素濃度を測定できる装置を小型軽量化し、噴火活動中の阿蘇中岳の噴煙中の火山ガス濃度比を係留気球を用いて観測を行い、観測手法の確立を行った。本研究で得られた知見や技術は、係留気球を用いた観測だけでなく、近年急速に進化した無人飛行機を使用した噴煙測定にも応用できると期待される。

研究成果の概要(英文)：Development of volcanic plume measurement technique especially for volcanic gas using a tethered He-balloon is the main target of this study. In order to establish the technique, a miniturized and lightened sulfur dioxide and hydrogen sulfide sensor system was made and tested with a tethered He-balloon for ash laden plume at Aso volcano, Japan, during the eruptive period. The knowledge and technique developed in this study, can be used not only for the tethered He-balloon measurement but also can be applied for volcanic plume monitoring using an unmanned aerial vehicle which is rapidly evolving.

研究分野：火山学

キーワード：火山ガス 火山噴煙 二酸化硫黄 硫化水素 気球

1. 研究開始当初の背景

(1) 噴火活動を続ける火山では、火口や噴気孔から直接火山ガスを採取することは難しい。また、火山灰を含む噴煙の場合、噴煙背後から光が透過してこないため、分光学的な測定はできない。

(2) 本研究開始当初、無人航空機(UAV)に火山ガス観測装置を搭載して観測する方法(McGonigle et al., 2008; Shinohara, 2013)が国内外で行われ始めていたが、UAV 自体が高価だけでなく、操縦スタッフの人件費などの費用を合わせると1観測キャンペーンごとに百万円単位の費用が必要であった。また、火山灰を含む火山噴煙に UAV を入れての観測は、技術的にも費用の面でも難しい状態であった。

(3) 霧島火山新燃岳の2011年の噴火に対応して、噴火噴煙の状況を確認するため気象ゾンデを用いた噴煙観測(長井・他、2011)も試みられていたが、ゾンデを噴煙の中に突入させることが難しい他、ゾンデ自体は基本的に回収を前提としていないため、観測装置を測定の度に使い捨てにするというデメリットがある。火山ガス観測装置の費用の面からも繰り返しこの手法を運用することは難しい。

<引用文献>

A.J.S. McGonigle, A. Aiuppa, G. Giudice, G. Tamburello, A.J. Hodson and S. Gurrieri, Unmanned aerial vehicle measurements of volcanic carbon dioxide fluxes. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L06303, 2008.

H. Shinohara, Composition of volcanic gases emitted during repeating vulcania eruption stage of Shinmoedake, Kirhisima volcano, Japan. *Earth Planets Space*, 65, 667-675, 2013.

長井政史、鷓川元雄、棚田俊収、新堀敏基、橋本明弘、鬼澤真也、ゾンデによる霧島山新燃岳の噴煙観測、日本火山学会講演要旨集2011、p.17、2011.

2. 研究の目的

(1) 前述のように、噴火噴煙中の火山ガス情報を得ることは難しい。特に、火山灰を含むような噴煙ならばなおさらである。本研究課題では、新しい火山噴煙の観測手法として、係留気球を用いた火山ガスの観測手法の開発を目指す。係留気球を用いるのは、前述した UAV やラジオゾンデなどによる観測手法に比べて、比較的低価格に、容易にそして繰り返し観測ができることが期待されるからである。

(2) 特に、分光学的遠隔観測や UAV 観測が

難しい、火山灰を含む火山噴煙の測定は重要であり、このような噴煙に係留気球を上げる場合のノウハウや知見は非常に重要になる。

(3) 測定する火山ガス成分としては、二酸化硫黄と硫化水素に着目し、噴煙中のそれらの濃度比の測定を目指す。

3. 研究の方法

(1) 係留気球としては、気象用のゾンデ気球を使用した。気象用ゾンデ気球は、低価格で、本体のサイズも豊富なため、その都度の観測に合わせてサイズを選ぶことが可能である。気球としての耐久性に多少難があるものの、本体自体の重量が軽いので、同じ重量の装置を揚げる場合でも、使用するヘリウム量が少なく済む。

係留中の係留ロープの切断などを防ぐため、係留ロープには、強度と軽量を兼ね備えたダイニーマロープを使用した。

(2) 火山噴煙中火山ガスの測定対象成分としては、二酸化硫黄と硫化水素にまず着目した。両者はいずれも硫黄系のガスで、その組成比は、脱ガスの際の温度圧力を反映するほか、火山ガスがマグマ性なのか熱水系性なのかの指標にもなる。二酸化硫黄と硫化水素の測定には定電位電解式センサーを使用した。いずれのセンサーも、火山ガス噴煙観測で実績のある MultiGAS 装置(Shinohara, 2005, 2013)に使用されているものと同じものを使用した。

(3) 上記の2センサー、小型ダイアフラムエアポンプ、パーティクルフィルターを配管し、データ収録用の小型データロガーとバッテリーを発泡スチロール製の箱にセットして観測に使用した。また、上記の2成分の他に、小型の二酸化炭素非分散赤外分析計や温湿度系を組み込んだ装置も試みた。二酸化硫黄、硫化水素センサー類の較正は、観測に出発前に、研究代表者の所属する実験室にて、既知濃度の標準ガスを使用して実施した。

(4) 火山での観測は、阿蘇中岳第一火口から上昇する噴煙を中心に行った。特に、平成26年度11月以降、阿蘇中岳は噴火活動期に入ったため、この火山灰を含む噴煙の測定を実施した。

<引用文献>

H. Shinohara, A new technique to estimate volcanic gas composition: plume measurements with a portable multi-sensor system. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 143, 319-333, 2005.

H. Shinohara, Composition of volcanic gases emitted during repeating vulcania eruption stage of Shinmoedake, Kirhisima

4. 研究成果

(1) 阿蘇中岳での観測

火山での観測は阿蘇中岳を中心に実施した。平成 26 年度は他火山での観測を検討していたが、2014 年 11 月より阿蘇中岳は噴火活動期に入り、断続的に火山灰を大量に含む噴煙を噴出していたため、火山灰を含む噴煙の測定のため、観測対象を阿蘇中岳に絞った。

阿蘇中岳では、2014 年 3 月と 2015 年 2 月、3 月の 3 回のキャンペーン観測を実施した。阿蘇中岳は、山頂に火口群があり、現在は一番北に位置する第一火口で表面現象が続いている。静穏期は、第一火口内に火口湖(湯溜まり)があり、火山ガスは、火口中央部の湯溜まり表面と、火口南壁の噴気地帯の 2ヶ所から放出されている。活動が活発化すると湯溜まりの水は減少する。第 1 回目の 2014 年 3 月 9 日の観測時は、湯溜まり量は 1 畝(気象庁, 2014)でほとんどなく、火口中心部と南壁から噴気(火山灰は含まず)をあげていた。一方、2015 年の第 2 回、3 回の観測時には、先述のように噴火活動期に入っており、第一火口中心部には直径数十メートルの火孔が形成され、そこから火山灰とともに火山ガスを噴出していた。また、火口南壁の噴気地帯からも噴気が上がっていた。

第 1 回目の観測時は、北から北北西の風が吹いていたため、南側の第二火口と第三火口の境付近から測定を実施した。この観測では、ガス測定装置が 1 式しかなかったため、装置を揚げた状態で地上においた状態で比較を行った。地上設置時は、最大で二酸化硫黄濃度が数 ppm レベルであったが、約 25m 揚げた時に 15 ppm を超える二酸化硫黄濃度が観測された。異なる時間帯なので直接比較はできないが、気球で装置を上空に揚げた方がより高い濃度のガスを測定できることが示された。

第 2 回目の観測、2015 年 2 月 23 日の観測では、地上と上空の測定を比較するために、地上にもガス測定装置を設置した上で気球観測を実施した。この日も北よりの風だったため、第 1 回目と同様の場所で観測を行った。目視では、火口南壁の噴気の浮力は弱く低いところを漂っていたが、火口中心からの噴煙は、上空に立ち上り高高度を中心に流れていた。噴煙は若干火山灰を含んだ状態であった。図 1 に地上設置(図 1A)と気球搭載(図 1B)した装置の硫化水素(青線)と二酸化硫黄(赤線)濃度の時間変化を示す。データは 1 秒データである。左縦軸と右縦軸ラベルがそれぞれ硫化水素と二酸化硫黄濃度に対応する。また、見やすいようにオフセットをつけて表示してあるが、スケールは両軸とも合わせて表示した。図 1A と図 1B を比較すると明らかのように、気球搭載して測定した方が地上で測定した場合より高い濃度が得られている。ま

た、噴煙に装置が入った回数も圧倒的に多いことがわかる。この日は、火口中心の噴煙が、浮力で高高度まで上昇してから南へと流されていたため、この噴煙を地上レベルで測定するのは難しい状態であったが(実際には地上レベルでも火口中心の噴煙は低濃度であるが測定されていた)、気球を 40m 揚げたことにより、火口中心のガスが十分な濃度で測定できた。なお、図 1B のノイズレベルが図 1A に比べて大きいのは、気球に搭載した装置はより小型のデータロガーを使用したため、地上で使用したデータロガーより電圧分解能が低かったためである。

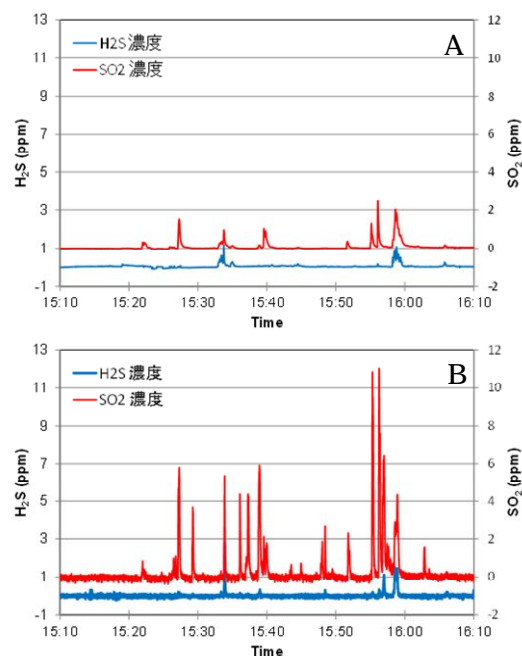


図 1 2015 年 2 月 23 日阿蘇中岳の SO₂ と H₂S 濃度の時間変化(1 秒データ)。A: 地上設置の装置で測定。B: 気球に搭載して測定。硫化水素濃度は左軸、二酸化硫黄濃度は右軸を参照。

気球観測した二酸化硫黄と硫化水素濃度データを元に、噴煙中の火山ガスの二酸化硫黄-硫化水素の濃度比を求めた。図 2 に 2015 年 2 月 23 日の気球観測データの二酸化硫黄 vs 硫化水素プロットを示す。それぞれの濃度は 30 秒移動平均したのちプロットした(二酸化硫黄及び硫化水素センサーの時定数のため)。横軸は硫化水素濃度、縦軸は二酸化硫黄濃度である。図 2 中の赤線と緑線はそれぞれ SO₂/H₂S モル比が 2 と 100 に対応する直線である。図からわかるように、阿蘇中岳第一火口の火山ガスには、SO₂/H₂S 比が 2 の比が低いガスと、~100 の比が高いガスの混合であることがわかる。観測時の状況を踏まえると、低い比と高い比はそれぞれ、南壁噴気と火口中心噴煙に対応している。また、比の高い火口中心の噴煙で SO₂/H₂S モル比が 30 ~ <100 の線もみられるので、比の値が一定ではなかった可能性もある。この点については、精査が必要である。また、地上においた測定

装置では、比の値が低いガスと高いガスが同様に観測されたが、比の高い方のガスに関しては、硫化水素濃度の変化がほとんど見られず、わずかなベース変動でも影響を受けるため、比を算出するのは難しい状態であった。

第1回と第3回の観測についても、火山ガスの $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比を同様に算出し、表1にまとめた。第1回目(2014年3月9日)の観測では、表1脚注のように一つの比の値しか得られなかった。風向きから、火口中心噴煙と南壁噴気の混ざった噴煙を測定していたと思われ、両者がほぼ同じ比の値を持っていたと考えられる。ただし、この日の南壁噴気は高く上昇していなかったため、どちらか一方のみを測定していた可能性も否定できず、その場合は $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比 7.2 は火口中心噴煙のものであったと思われる。

一方、2014年11月以降の噴火活動期に観測を実施した2015年2月23日と3月20日の観測では、南壁噴気の比の値は2と一定であった。また、火口中心噴煙の比の値は7.2より大幅に上昇し、それぞれ約100と>250の値が得られた。噴火活動期の比の上昇は、火山ガスの高温化や熱水系の影響の減少が示唆される。また、2015年2月と3月の観測の違いとしては、3月の方が圧倒的に火山灰を大量に噴出している時に測定しているため、火山灰の影響の可能性もある。この点についても今後精査していく必要がある。

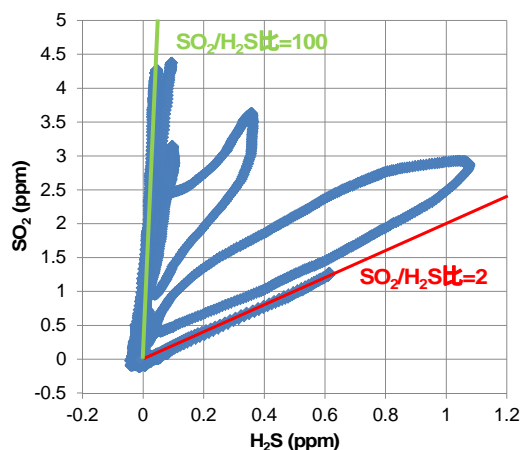


図2. 2015年2月23日の気球観測データの二酸化硫黄 vs 硫化水素プロット。30秒移動平均値をプロットした。赤線と緑線は $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比(モル比)が2と100に対応。

表1 気球観測による阿蘇中岳第一火口の火山ガスの $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比

日付	火口中心	南壁噴気
2014.03.09	7.2*	7.2*
2015.02.23	~100	2.0
2015.03.20	>250	2.0

*2014年3月9日の観測では $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比としては1つの値のみ得られ、両火山ガスに同じ比の値として表示した。

(2)まとめと今後の展望

本研究課題では、係留気球を用いた火山噴煙の測定法の開発を目指し、特に噴煙火山ガス組成の測定をターゲットにし、実際には二酸化硫黄と硫化水素ガスセンサーを用いて、噴煙中の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の測定を実施した。係留気球に搭載してガス測定装置を揚げるため、二酸化硫黄や硫化水素濃度計を組み込んだ装置の軽量化・小型化を行った。

先述のように、阿蘇中岳第一火口の噴煙で観測実験を行い、従来から行われている地上レベルでの測定より、気球を用いた測定の利点などを示すことができたとともに、阿蘇中岳の噴火前と噴火中での火口中心噴煙の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化をとらえた。今回開発した測定装置やノウハウは、今後係留気球を使用した観測に使用できるのは勿論のこと、そのまま UAV での測定にも応用が可能である。本研究課題を考案した2011年当時、UAVを使用した観測は費用的にも簡単に行えない状況であったが、この3年間で UAV 技術が革新的に進歩したようで、状況は大きく変化した。ドローンといったマルチコプター型の無人機が非常に低価格で入手できるようになっただけでなく、制御も比較的容易にできるようになってきた。今後、UAVを用いた火山噴煙測定も盛んになると考えられるが、本課題で育んだ知見や技術が大いに生かされると期待される。

<引用文献>

気象庁、火山活動解説資料 阿蘇山(2014年3月)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

(1) Toshiya Mori

“Use of He-balloon for fumarolic and volcanic gas surveys”
International Workshop 2014 on Mt. Tatun: What we know and what we don't know

2014年9月24日~2014年9月25日
Taipei (Taiwan)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

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