

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287115

研究課題名(和文)火山噴火の物質収支

研究課題名(英文)Material budget of volcanic eruptions

研究代表者

篠原 宏志 (shinohara, hirosi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・首席研究員

研究者番号：80357194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：火口近傍に接近困難な桜島火山での火山ガス組成観測を実現するために、火山ガス感応起動型連続観測装置およびセスナ機を用いた飛行観測手法を確立し、桜島火山ガス組成の特徴を把握した。その結果、通常火山ガス放出時と連続噴煙活動中の火山ガス組成の変化を把握した。浅間山および三宅島における連続観測および繰り返し観測に基づき、長期的な火山ガス放出率の変動に伴う火山ガス組成の変化を把握した結果、噴火活動を伴う火山ガス高放出率時期においても、低放出率時期と顕著な組成の変動はなく、火山ガス放出条件の温度・圧力に変化はないと推定された。特に三宅島では組成変化は地表近傍での地下水との相互作用の変化が原因と推定された。

研究成果の概要(英文)：We developed an automatic Multi-GAS, which start by itself by detecting increase of volcanic gas concentration in the air, in order to realize volcanic gas composition observation at Sakurajima volcano where access to the summit is quite difficult. We also developed a method of Cessna-borne volcanic plume measurement observation with an Multi-GAS. By applying these methods, we characterized volcanic gas composition of Sakurajima volcano and quantify volcanic gas composition difference during normal degassing and continuous ash emission stages. Based on continuous and repeated volcanic gas observation at Asama and Miyakejima volcanoes, we did not found significant volcanic gas composition changes regardless of changes in volcanic gas emission rate and interpreted a constant temperature and pressure condition of magma degassing. At Miyakejima volcano, the observed changed in the volcanic gas composition was attributed to the changes in interaction with shallow aquifer.

研究分野：火山学

キーワード：火山 噴火 火山ガス

1. 研究開始当初の背景 火山爆発発生過程の解明

近年、火口近傍での広帯域地震計、傾斜計、空振計、赤外映像観測が進められ、開放火道型火山で繰り返されるプルカノ式・ストロンボリ式の爆発的噴火発生過程の地球物理学的モデル化が進められてきた (Iguchi et al., 2008JVGR, Kumagai et al., 2011GRL)。しかし、モデル化された直前の火道内での圧力増加の物質科学的実体は未だ不明でありその解明が必要とされている。

近年の火山ガス放出量や噴煙観測に基づく火山ガス組成の観測手法の開発と応用の結果、火山活動推移や噴火発生に伴う火山ガス組成の変動観測が可能となった火山ガス放出過程が噴火・火山活動推移の重要な制御要因であることが明らかになってきた。(Aiuppa et al., 2009GRL, Shinohara, EPS, submitted)。特に、研究代表者が開発した Multi-GAS (噴煙観測装置) を用い、従来では観測が困難であった、大規模噴煙活動時に放出される火山ガスの組成が可能となった。同時に、本装置の連続観測への応用により、長期間にわたる組成変動の把握が可能となってきた。

イタリア・Stromboli 火山ではストロンボリ式噴火の噴火ガスは CO_2 に富み (Burton et al., 2007Science 等)、大規模な噴火に先立って火山ガスの CO_2/SO_2 比が増大することが観察され、 CO_2 に富む気泡の供給が活動の支配要因であると提唱された (Aiuppa et al., 2009GRL)。反面、Villarrica 火山や Yasur 火山での小規模な Stromboli 式噴火では、噴火ガスの組成の特異性は観察されていない (Shinohara and Witter, 2005GRL; 篠原他、昨年度科研費成果)。しかし、プルカノ式噴火時の火山ガス組成は未だ観測されていない。

2. 研究の目的

本研究は、噴火前後に放出される、火山ガスの放出量・組成、火山灰の放出量・付着ガス成分の評価を行い、噴火の物質収支を明らかにすることにより、噴火発生過程の物質科学的モデルを構築する事を目的とする。本研究では、特に頻繁にプルカノ式噴火を繰り返している桜島、浅間山および活発な火山ガス放出を継続している火山において、火山ガス組成・放出量の連続・繰返観測により変動パターンを把握し、噴火に至るマグマとガス成分の分別過程を評価し噴火発生過程のモデル化を行う。

3. 研究の方法

本研究では Multi-GAS の繰返・連続観測により火山ガス組成変動を測定するとともに、紫外線分光遠隔測定により SO_2 放出量の変動を把握し、噴火発生過程との因果関係を評価する。Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測は、浅間山、阿蘇山、桜島にて実施し、火山活動、特に噴火前後における火山ガス組成の変化の把握を目指す。同時に、山頂部に接

近可能な浅間山および阿蘇山においては、繰返しの現地観測を実施し、より高精度の火山ガス組成データを取得する。頻繁にプルカノ式噴火を繰り返すが、活発な噴火活動のために山頂に近寄る事が出来ない桜島において観測を実現するために火山ガス検知起動型連続観測装置を開発するとともに、検知機能の安定性の評価および効率的運用条件の検討を行う。

桜島は活発な噴火活動のため山頂に近寄ることができないため、山麓に火山ガスが流下する際にのみ観測を実施しているため、噴火の発生等の活動の節目の変化を把握する事が困難である。そのため、セスナ機を用いた観測手法を確立し、上空での噴煙観測に基づく火山ガス組成および放出量の定量観測を実施し、噴火活動の発生状況に対応した火山ガス組成変化の評価を行う。

4. 研究成果

活発に噴煙・噴火活動を継続している桜島火山において火山ガス組成観測を実施するために、火山ガス感応起動型連続観測装置を開発し、桜島における試験観測を開始した。Multi-GAS による火山ガス観測は、通常山頂部等濃厚な火山噴煙が到達する場所を選定して実施するが、桜島では噴火活動が活発であるため、観測装置を設置できる場所は遠方の山麓部に限られる。予備調査により、山麓部においても火山噴煙が流下到達する場合はあるが頻度が限られるため、火山ガス到達時に観測装置を起動させ測定を行う事が必要である事が判明した。そのため、 SO_2 濃度警報装置を改良し、大気中の SO_2 濃度を連続観測し一定値を超えた際に Multi-GAS 観測装置を起動するシステムを開発し、桜島有村地区山麓に設置した。1ppm を閾値として設定した。2014年1月15日~4月6日の間に45回 SO_2 最大濃度で 3.2ppm の火山ガスの到来が観測された。その後、2014年4月19日~2015年1月19日には桜島持木地区山麓に設置し、合計129回 SO_2 最大濃度で 11ppm の火山ガスの到来が観測され、火山ガス組成が推定された。

Multi-GAS により推定される火山ガス濃度組成の確度・精度は、測定誤差に加え観測時の大気中の CO_2 、 H_2O 、 H_2 などの濃度の探偵性にも依存する。桜島の連続観測装置で測定された CO_2/SO_2 比は 0.2-3 と大きな幅を持つが、ばらつきのほとんどは測定時の最大 SO_2 濃度が低い場合に生じ、高濃度(例えば 5ppm 以上)の噴煙が検知された場合には比は 0.5 程度でほぼ一定であった(図1)。低 SO_2 濃度での大きなばらつきと、高濃度における値の収束は H_2/SO_2 比においても同様に認められた(図2)。そのため、一定期間の平均的組成の推定を行った。連続観測測定に基づき、桜島の 2014 年の平均火山ガス組成は、 $\text{CO}_2/\text{SO}_2=0.5$ 、 $\text{H}_2\text{O}/\text{SO}_2=80$ 、 $\text{H}_2/\text{SO}_2=0.1$ と推定された。

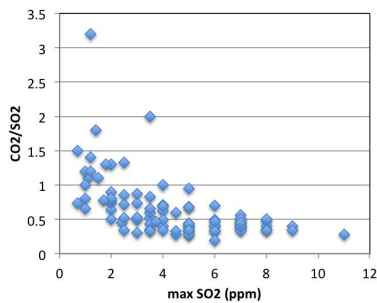


図1 桜島 Multi-GAS 連続観測により得られた CO_2/SO_2 比と観測時の最大 SO_2 濃度の相関。

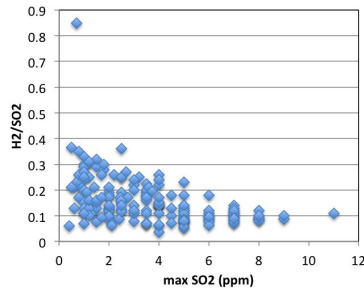


図2 桜島 Multi-GAS 連続観測により得られた H_2/SO_2 比と観測時の最大 SO_2 濃度の相関。

H_2S センサーは SO_2 にも感度を持っているため、連続観測装置では H_2S センサーの SO_2 に対する感度をあらかじめ測定し補正して、真の H_2S 濃度を算出する手法を適用した。しかし、 H_2S センサーの SO_2 に対する感度の時間変化が大きいことと、桜島においては測定される濃度が低いため、補正誤差が大きく正確な $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の算出が困難であることが判明した。

東京大学地震研究所が実施する桜島における無人ヘリによる機動観測の一環として、無人ヘリに Multi-GAS 観測装置を搭載して、山頂近傍での噴煙観測を実施した。無人ヘリの観測では、噴煙位置の認知が困難であるため飛行経路の選定が困難であるが、今年度は SO_2 濃度計をモニターしながら飛行するシステムを採用したことにより飛行経路選定が改善され、山麓で得られたものと同様の組成の推定に成功した。

Multi-GAS を搭載したセスナ機で噴煙を横断することにより噴煙組成の観測を行い、 H_2O を含む主要成分組成の定量化に成功した。また、火山灰を含まない定常噴煙（火山ガスのみ放出）活動中と少量の火山灰を含む連続噴煙活動中にそれぞれセスナ機観測を実施した結果、主成分組成は顕著な差はないが、定常噴煙の組成（ $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}=10$ 、 $\text{H}_2/\text{SO}_2=0.15$ ）に対し、連続噴煙活動中に放出される火山ガスは $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}=100-400$ 、 $\text{H}_2/\text{SO}_2=0.03$ と異なることが明らかとなった。この組成の違いは、連続噴煙活動中の火山ガスはより酸素分圧の大きい条件下で反応していることを示しており、高温の火山灰もしくは溶岩ドーム存在下

での大気の混入が示唆された。

桜島 2012-2015 年の高放出率時期の CO_2/SO_2 比は 0.5 でほぼ一定ではある。 SO_2/Cl 比は 5-20 の間で変動しているが、この変動幅は森（2014）により報告されている 2009-2013 年に FT-IR で測定された昭和火口噴煙の SO_2/HCl 比 = 6-10 と整合的である。2015 年後半以降の低放出率の時期には、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}=0.6-2.5$ 、 $\text{CO}_2/\text{SO}_2=20-150$ と、高放出率時期とは大きく異なる組成が推定され、脱ガス圧力の増加が示唆された。

浅間山において、2004-2014 年間の火山ガス組成観測結果の再評価を行い、噴火の発生や火山ガス放出量の大きな変動等の火山活動の変化にも関わらず、火山ガス組成には変化がなかった事を明らかにした。これに基づき浅間山でのマグマ・火山ガス供給過程のモデル化を行った。また、三宅島において、2000-2015 年間の火山ガス組成観測の結果の再評価を行った。三宅島ではこの間に SO_2 放出率が 100 倍以上低下しているが、それにもかかわらず火山ガス組成には大きな変化はなく、火山ガスの放出量条件（脱ガス圧力など）に大きな変化はないことが推定された。その中で生じている火山ガス組成のゆるやかな変化は、火山ガス放出率の低下に伴う地表近傍での地下水と火山ガスの相互作用の相対的な増加が原因と推定された。

阿蘇山では 2014 年 11 月末から噴火が発生し、現在でも連続灰噴火とストロンボリ式噴火が繰り返された。この噴火に伴い放出される火山ガス組成の観測を行った結果、噴火時に放出される火山ガス組成の変動幅は、湯だまり活動期に湯だまりと噴気孔から放出されていた火山ガス組成の幅に収まり、火山ガス放出条件としては大きな変化がないことが推定された。また、噴火噴煙中に熱水飛沫の蒸発乾固物と思われる物質が見つかったことから、噴火時期にも熱水系が残存していることが推定された。

口永良部島においては 2014 年 8 月の噴火以降、セスナ機等による Multi-GAS 観測などを実施してきた。セスナ観測などにより測定された口永良部島新岳の CO_2/SO_2 比は、噴火以前（2009-2011）と有意な変化は見られない。 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比、 H_2/SO_2 比のおよび見かけの平衡温度は、2014 年 8 月噴火後の 2014 年 12 月には高い値が得られたが、次第に減少し噴火以前の値に戻りつつある。2015 年 5-6 月の噴火は、この火山ガス組成変化の傾向には影響を及ぼしていないように見える。 H_2/SO_2 比のおよび見かけの平衡温度の低下は、2014 年 8 月噴火以降に生じた新岳地下の高温部分の温度低下が原因と考えられるが、この現象だけでは $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の低下は説明できない。 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は脱ガス圧力に反比例するため、脱ガス圧力の増加も同時に生じている可能性が推定された。

Roulleau, E., Vinet, N., Sano, Y., Takahata, N., Shinohara, H., Ooki M., Takahashi, H. A., Furukawa, R., (2015) Effect of the volcanic front migration on helium, nitrogen, argon, and carbon geochemistry of hydrothermal/magmatic fluids from Hokkaido volcanoes, Japan. *Chem. Geol.*, 414, 42-58, doi:10.1016/j.chemgeo.2015.08.006. 査読有

Shinohara, H., Ohminato, T., Takeo, M., Tsuji, H., Kazahaya, R., (2015) Monitoring of volcanic gas composition at Asama volcano, Japan, during 2004–2014. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 303, 199-208. doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.022. 査読有

Shinohara, H., Miyabuchi, Y., Yoshikawa, S., (2015) Degassing Activity of a Volcanic Crater Lake: Volcanic Plume Measurements at the Yudamari Crater Lake, Aso Volcano, Japan. In "Volcanic Lakes (Eds., Rouwet, D., Christenson, B., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J.), *Advances in Volcanology*, pp 201-217. 10.1007/978-3-642-36833-2_8. 査読有

Tanaka, M. H., Kusagaya, T., Shinohara, H. (2014) Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano. *Nat. Commun.*, 5, doi:10.1038/ncomms4381 査読有

Shinohara, H., (2013) Volatile flux from subduction zone volcanoes: Insights from a detailed evaluation of the fluxes from volcanoes in Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 268, 46-63, doi:10.1016/j.jvolgeores.2013.10.007. 査読有

Shinohara, H., (2013) Composition of volcanic gases emitted during repeating Vulcanian eruption stage of Shinmoedake, Kirishima volcano, Japan. *Earth Planets Space*, 65, 667-675. doi:10.5047/eps.2012.11.001 査読有

Miwa, T., Geshi, N., Shinohara, H., (2013) Temporal variation in volcanic ash texture during a vulcanian eruption at the Sakurajima volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 260, 80-89. doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.03.003 査読有

Bani, P., Harris, A. J. L., Shinohara, H., Donnadieu, F., (2013) Magma dynamics feeding Yasur's explosive activity observed using thermal infrared remote sensing. *Geophys. Res., Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.50722. 査読有

Mori, T., Shinohara, H., Kazahaya, K., Hirabayashi, J., Matsushima, T., Mori, T., Ohwada, M., Odai, M., Iino, H., Miyashita, M., (2013) Time-averaged SO₂ fluxes of subduction-zone volcanoes: Example of a 32-year exhaustive survey for Japanese volcanoes. *J. Geophys. Res. Atm.*, 118, 1-13, doi:10.1002/jgrd.50591. 査読有

〔学会発表〕(計 11件)

Shinohara, H. 他、 Stable volcanic gas composition during variety of activity at the persistently degassing Asama volcano, Japan, EGU General Assembly, 2015/4/13, ウィーン (オーストリア)

Shinohara, H.他、 Variation of volcanic gas composition during transition from crater lake activity to eruption at Aso volcano, Japan, IUGG General Assembly, 2015/7/1、プラハ (チャコ共和国)

Shinohara H. 他、 Volcanic plume measurement with UAV. AGU Fall meeting, 2013/12/13、サンフランシスコ (米国)

Shinohara H.他、 Variation of volcanic gas composition at a persistently degassing Asama volcano, Japan. AGU Fall meeting, 2013/12/10、サンフランシスコ (米国)

Shinohara H.、 Volcanic gas CO₂ flux from Japanese volcanoes, IAVCEI Scientific Assembly, 2013/7/21, かごしま県民交流センター (鹿児島県)

6. 研究組織

(1)研究代表者

篠原 宏志 (SHINOHARA Hiroshi)

産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・首席研究員

研究者番号：80357194

(2)研究分担者

風早 竜之介 (KAZAHAYA Ryunosuke)

産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・研究員

研究者番号：50637379

下司 信夫 (GESHI Nobuo)

産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・研究グループ長

研究者番号：70356955

(3)連携研究者

井口 正人 (IGUCHI Masato)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：60144391

大湊 隆雄 (OHMINATO Takao)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：70322039

斎藤 元治 (SAITO Genji)

産業技術総合研究所・活断層・火山研究部門・主任研究員

研究者番号：20357057