

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月18日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340130

研究課題名（和文）火山ガス観測に基づく継続的噴煙活動火山の噴火・活動推移過程の解明

研究課題名（英文）Studies on the eruption and volcanic activity transition process of continuously degassing volcano based on volcanic gas surveys

研究代表者

篠原 宏志（SHINOHARA HIROSHI）

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長

研究者番号：80357194

研究成果の概要（和文）：浅間山、阿蘇山など継続的な噴煙活動火山において、火山ガス組成の連続観測および繰返観測を実施し、火山活動の推移に伴う火山ガス組成の変動を把握するとともに、火山ガス放出過程のモデル化を実施した。特に、浅間山では火山ガス放出量の高い時期と低い時期の間で有意な火山ガス組成の違いは見いだされず、火山ガス供給過程およびその条件が一定であり、火道内マグマ対流がいずれの時期にも安定して生じている事が推定された。

研究成果の概要（英文）：Variation of volcanic gas composition in association with the changes in volcanic activities was monitored by the continuous and repeated measurements of volcanic gas compositions at continuously degassing volcanoes, such as Asama and Aso volcanoes, and volcanic gas supply processes were modeled. There are large volcanic gas flux periods and low flux periods at Asama volcano, however we could not detect any appreciable volcanic gas compositions changes between these periods. The stable gas compositions indicate the stable degassing process and conditions, likely due to the stable conduit magma convection process.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学

キーワード：火山現象

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 火道内マグマ対流モデル

火道内マグマ対流脱ガスモデルは、継続的噴煙活動のモデルとして近年多く火山に適用されるとともに（Shinohara and Witter, 2005; Burton et al. 2007EPSL）、噴火発生過程の制御要因としても提唱され（Shinohara, 2008Rev. Geophys）、その検証や噴火過程への応用が課題とされていた。

## (2) 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ブルカノ式・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, Ohminato et al., 2006EPS）。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た。

### (3) 火山ガス観測研究の進展

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の定量化が可能となり、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いた。(Shinohara et al., 2003GRL, Shinohara et al. 2008JGR)。

## 2. 研究の目的

噴煙活動が継続的に生じ爆発的噴火を繰り返している開放火道型火山活動は、火道内マグマ対流により生じており、対流・脱ガス条件の変動が噴火・活動推移の原因と考えられる。本研究は、この火道内マグマ対流仮説に基づき、火山ガス組成・放出量変動データから噴火発生・活動推移の原因である火道内マグマの対流脱ガス条件の変動を推定し、爆発的噴火発生・火山活動推移過程のモデル化を行うことを目的としている。

本研究では「開放火道＝マグマ対流火道」作業仮説に基づいて活動推移に伴う火山ガス放出量・組成変動原因の解析を行う。本研究は火道内マグマ対流仮説のそのものの検証実験でもあり、開放火道型火山活動の実体を明らかにする(物質科学・物理過程共通のモデルの構築)ことを目指す。

火山爆発に先立つ火道内での圧力増加の直接要因である火山ガスの組成・放出量変動の観測に基づき、圧力変動の原因や噴火活動期と非噴火時期における火道などの状態の違いを明らかにすることを目指す。特に、長期火山活動推移および爆発現象に伴う火山ガス放出量・組成の変動パターンの定量化が研究期間内における直接的・具体的な目標である。開放火道型火山活動に伴って放出される火山ガスの組成は、マグマや気泡の供給過程と脱ガス(マグマから火山ガスが放出される)条件により変動する。例えば、火道内マグマ対流脱ガスによる火山活動の変動の原因としては、1) 巨大気泡の上昇、2) マグマ対流速度の変化、3) 火道頭位の変動(脱ガス圧力の変動)などが想定されるが、これらの変動原因の違いにより火山ガスの放出量と組成の変動は異なったパターンを示す。本研究では、浅間山、阿蘇山における3年間の連続及び繰り返し観測により火山活動の長期的な推移や活動様式の変化に伴う火山ガス放出量・組成の長期変動パターンを見だし、変動要因を明らかにすると共に噴火発生過程との相関を明らかにすることを目指す。同時に、頻繁に爆発を繰り返すヤスール火山などにおける現地

観測により爆発に伴う短時間での火山ガス組成・放出量の変動を定量化することにより、爆発の直接要因である火道内増圧過程の物質科学的実体を明らかにすることを目指す。

## 3. 研究の方法

火山ガス組成の連続観測および繰り返し現地観測を実施して、火山活動推移に伴う火山ガス組成・放出量の長期変動、および爆発に伴い放出される火山ガスの特徴を把握し、火道内マグマ対流脱ガスにおける火山ガス放出条件の変動を解釈し、活動推移のモデル化を実施する。

計画は下記の実施項目から構成される。1) 火山ガス組成連続観測による長期火山活動推移過程の把握と解析(浅間山): Multi-GAS 連続観測装置開発・観測、火山ガス組成変動評価。2) 火山ガス組成繰り返し現地観測による長期火山活動推移過程の把握と解析(浅間山・阿蘇山): 携帯型 Multi-GAS およびアルカリフィルター捕集法による現地観測。3) 現地観測による爆発活動に伴う火山ガス放出量・組成変動の把握と解析(ヤスール火山など): 頻繁に爆発を発生する火山における現地観測により、爆発時およびその前後での火山ガスの放出量・組成の特徴を把握する。

## 4. 研究成果

(1) 浅間山における火山ガス組成変動観測  
Multi-GAS システムを利用した、連続観測装置を作成し、浅間山山頂火口縁の東京大学地震研究所の火山観測用施設に設置し、連続観測を実施した。Multi-GAS はセンサーの寿命が限られるため、毎日日中一時間程度の運転を繰り返すスケジュールでの観測を行い、データは地震研究所の LAN を通じて随時ダウンロードできる形式とした。Multi-GAS は用いているセンサーの定期的な校正が望ましいが、浅間山山頂部は冬期の登山が出来ないため、約一年間校正を行わずに観測を継続した。夏期に実験室で構成した装置本体の交換を行い、回収した装置の校正を行う事で観測中のセンサー感度の経時変化を評価した。その結果、センサー感度の経時変化は年間に最大 20% 以下であるが、配管内の結露やそれに吸着された酸性ガスによる金属類の腐食などに起因すると考えられるセンサー本体の故障も生じており、安定した観測の継続のためには、装置の加熱などを適宜行う事も必要である事が明らかとなった。

連続観測結果は、センサー感度の経時変化に伴う組成の変化に加え、組成に大きなばらつきが観察された(図 1)。浅間山の火山ガスは山頂火口底中央の火孔が主要な放出源と考えられるが、その周囲および火口壁周辺にも

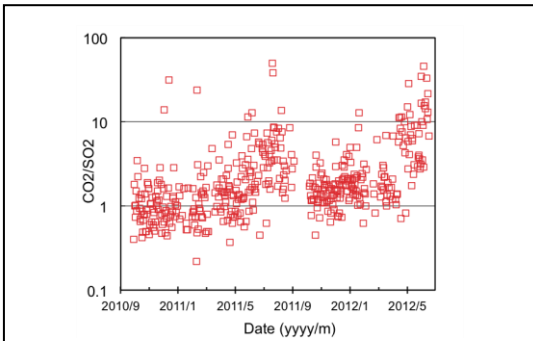


図1 連続観測の  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比の変化。2010年、2011年共に10月に装置を交換。装置交換後約半年は比はほぼ一定であるが、その後上昇し、装置交換後にはほぼ回復する。そのため長期変動はセンサー感度の経時変化と推定される。組成比には約一桁の大きなバラツキがある。

多数の噴気孔が存在しているため、火口縁に設置している観測装置に流れてくる噴煙は様々な噴気の影響が混入している。周辺の噴気孔は温度が低く、ガス組成も  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  が大きいなど、主火孔のガスとは異なっている。連続観測で観測された組成のバラツキは、これら異なる組成のガスの混合を見ているためと解釈された。主火孔のガスの放出量が多いため、主火孔起源の火山ガスが観測された場合には高濃度の  $\text{SO}_2$  が検出すると期待される。例えば火山ガスの  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比と  $\text{SO}_2$  濃度の相関では、 $\text{SO}_2$  濃度の低い領域では  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  のバラツキは大きく特に大きな値にバラツクが、 $\text{SO}_2$  濃度が高くなるほど  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比は収束する(図2)。そのためこの高  $\text{SO}_2$  濃度測定時に特徴的な組成を抽出することにより、主火孔起源ガスの組成を推定した。これにより得られた火山ガス組成は、連続観測実施期間の2年間に

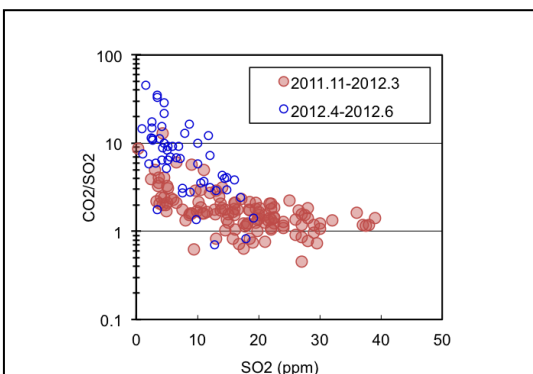


図2 連続観測の  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比と  $\text{SO}_2$  濃度の相関。赤丸は冬期のデータ、青丸は春期のデータ。 $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比は高濃度で約1に収束する。装置交換後数ヶ月(冬期)には小さい  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比が観測されているが(図1)、それは観測された  $\text{SO}_2$  濃度が低い場合が多かったためと推定される。

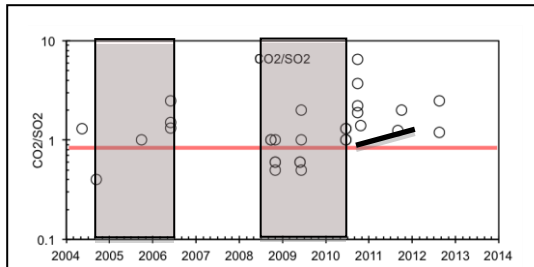


図3 浅間山における  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比の変化。丸印は繰り返し現地観測、黒線は連続観測結果。赤く塗られた枠は火山ガス放出量が高い ( $\text{SO}_2$  放出量で  $>500\text{t/d}$ ) 時期を示す。赤線は高放出量時期の平均組成の推定値であり、低放出量時期の連続観測で推定された組成と一致する。

顕著な変動は見いだされなかった。

浅間山では2-3年毎に火山ガス放出量が高い時期と低い時期が繰り返されており、高放出量期の初期に噴火が生じている。本研究期間中は低放出量期であったが、低放出量期には主火孔起源ガスに対して周辺低温ガスの影響が大きくなるため、繰り返し観測では精度の良い組成の推定が困難であったが、連続観測結果の解析により、低放出量期の組成の定量化が可能となった。その結果、高放出量期と低放出量期では火山ガス組成の顕著な差はないことが明らかとなった(図3)。浅間山における継続的火山ガス放出活動は火道内マグマ対流により駆動されていると推定されている。本研究の結果は、噴火直後の高放出量期でも、活動度の低い低放出量期でもマグマ対流は同様の条件で生じており対流速度のみの変動により火山ガス放出量の変動が生じている可能性が示された。

## (2) 阿蘇山における火山ガス供給過程解析

阿蘇火山中岳第一火口内には、高温酸性火口湖である湯だまりと火口南壁の高温噴気地帯が共存し、双方から活発なガス放出が行われている。阿蘇火山の火山活動推移に伴う火山ガス供給過程を明らかにするためには、熱水系におけるマグマ性ガスの分別過程モデルに基づき熱水系に供給されるマグマ性ガスを推定し、その変動の評価を行う必要がある。本研究では Multi-GAS の繰り返し観測により火口湖ガスと高温噴気ガス組成を定量化し、熱水系における高温噴気と火口湖から放出される火口湖ガスの分別過程のモデル化を行った。火口湖ガスと高温噴気ガスは、それぞれ観測時期により組成の変動が大きい、それぞれに特徴的な組成を持っており、火口湖内での反応や地下の熱水系での分別の結果であると推定された(図4)。火口湖内では、火口湖水の蒸発・バブリングによる火口湖ガスの放出、硫黄の沈殿などが生じている。火口湖に供給

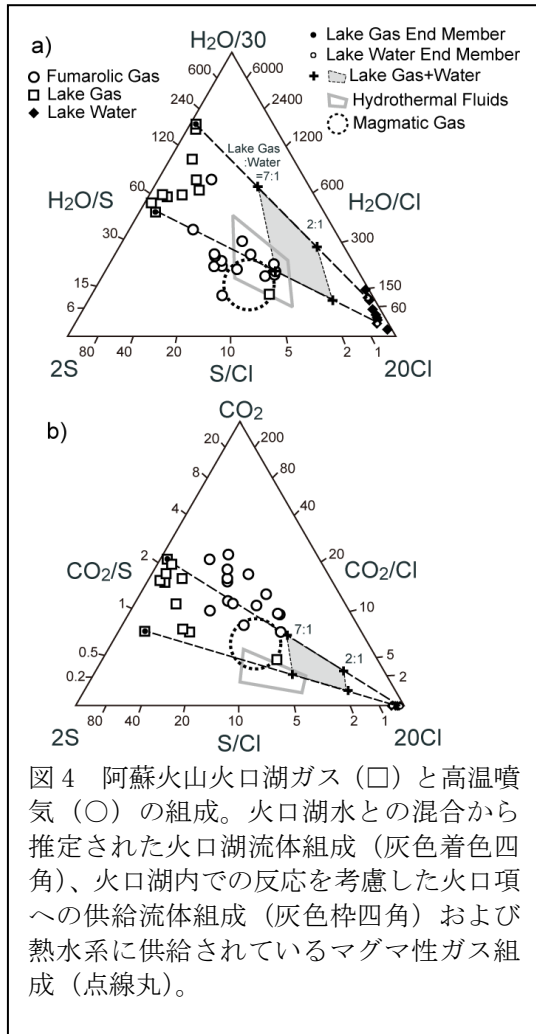


図4 阿蘇火山火口湖ガス(□)と高温噴気(○)の組成。火口湖水との混合から推定された火口湖流体組成(灰色着色四角)、火口湖内での反応を考慮した火口頂への供給流体組成(灰色枠四角)および熱水系に供給されているマグマ性ガス組成(点線丸)。

されている火口湖熱水流体組成は、高温噴気組成に類似しているが、CO<sub>2</sub>に乏しく火口湖供給熱水と高温噴気ガスも熱水系での分別の結果生じている事が推定された(図5)

2011年度初頭に阿蘇火山湯だまりの枯渇と小規模な土砂噴出が生じたため、緊急の現地観測を実施するとともに阿蘇火山での連続観測を急遽開始した。携帯型のMulti-GAS(多成分センサーを用いた噴煙観測装置)および

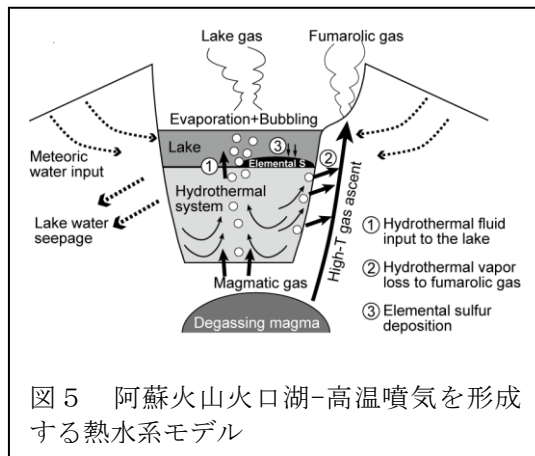


図5 阿蘇火山火口湖-高温噴気を形成する熱水系モデル

アルカリフィルターによる現地観測では、通常は湖水中での硫黄生成反応により大きな値を示す火口湖ガスの組成のSO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>Sが顕著に減少したものの、その他の組成に大きな変動はなく、供給ガス組成が安定である事が示唆された。

### (3) Yasur 火山における現地観測

爆発的噴火により放出される火山ガス組成を定量化するために、爆発的噴火を頻繁に繰り返す、Yasur 火山(バヌアツ共和国)の現地観測を2011年9月に実施した。観測当時Yasur火山は小規模なストロンボリ式噴火を数分に一回程度の頻度で繰り返しており、それに伴い放出される火山ガス組成の定量を、山頂火口縁におけるMulti-GAS観測で実施した。Yasur火山の火山ガス組成は、CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>=1.6, H<sub>2</sub>O/SO<sub>2</sub>=80と沈み込み帯における噴火を伴わない継続的噴煙活動火山から放出される火山ガスと同様の組成であり、頻繁な噴火にも係らず観測期間中に顕著な組成の変動は観測されなかった。そのため、Yasur火山における小規模な爆発での火山ガス組成変動は小さいことが推定されるが、反面、爆発頻度が高いため、火孔から火口縁までの移動中に爆発時放出ガスと定常放出ガスの混合による均質化が生じている可能性もあり、爆発頻度の異なる時期の再観測による検証の必要性も明らかとなった。

### (4) 薩摩硫黄島火山火道内マグマ対流の検証

薩摩硫黄島硫黄岳は継続的噴煙活動中の流紋岩質火山であり、2008年にMuon Radiographyによる火山体内密度構造探査が実施された(Tanaka et al., 2008)。本研究では、火道内マグマ対流の検証のために、Tanaka et al. (2008)の結果の再解析を行い、山頂火口直下200m以浅に観測された直径300mの密度約1.0g/cm<sup>3</sup>の構造は、平均発泡度60%の高発泡度マグマが経常的に存在している事を示している事を明らかにした(図6)。高発泡度マグマはガス浸透率が高く寿命が短いため、そのような構造が維持されている事は、定常的にマグマの上昇・発泡・脱ガス・沈降による入れ替えが生じている事が必要であり、流紋岩質マグマの火道内マグマ対流の証拠であると

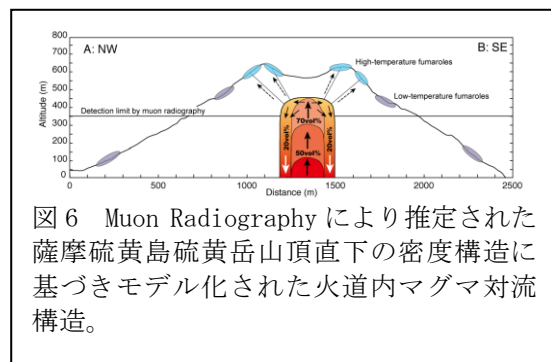


図6 Muon Radiographyにより推定された薩摩硫黄島硫黄岳山頂直下の密度構造に基づきモデル化された火道内マグマ対流構造。

解釈された。

#### (5) まとめ

本研究により、下記の事が明らかとなった：  
1) 浅間山火山においては火山ガス高放出期と低放出期では火山ガス組成の変化はなく、火道内マグマ対流の対流速度変化が活動変化の原因である事、2) 阿蘇火山における火口湖-高温噴気を生じている熱水系のモデル化を行うと共に、2011年の小噴火前後では顕著な火山ガス組成の変動は無く、小規模噴火は供給ガスの変動ではなく熱水系に起因する事、3) Yasur 火山では爆発に起因する火山ガス組成には顕著な変動は観察されなかった事、および4) Muon Radiographyの結果の再解析により、流紋岩質マグマでも火道内マグマ対流が生じている事。本研究では、火道内マグマ対流の実態を明らかにする事には成功したが、研究期間中に顕著な噴火活動が無かったために噴火時と非噴火時の火山ガス組成の比較が十分には実施することができなかった。今後の研究の継続による比較検討が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① Shinohara H., Tanaka H.K.L., Conduit magma convection of a rhyolitic magma: Constraints from cosmic-ray muon radiography of Iwodake, Satsuma-Iwojima volcano, Japan, Earth and Planetary Science Letters, 査読有、349-350, 2012, 87-97.  
DOI: 10.1016/j.epsl.2012.07.002
- ② Bani P., Oppenheimer C., Allard P., Shinohara H., Tsanev V., Carn S., Lardy M., Garaebiti E., First estimated of volcanic SO<sub>2</sub> budget for Vanuatu island arc, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有、211-212, 2012, 36-46  
DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2011.10.005
- ③ Shinohara, H., Hirabayashi, J., Nogami, K., Iguchi, M., Evolution of volcanic gas composition during repeated culmination of volcanic activity at Kuchinoerabujima volcano, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有、2011, 202, 107-116  
doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.01.011,
- ④ Shinohara H., Matsushima N., Kazahaya K., Ohwada M., Magma-hydrothermal system interaction inferred from volcanic gas measurements obtained during 2003-2008 at Meakandake volcano, Hokkaido, Japan. Bull. Volcanol. 査読有、73, 2011, 409-421  
DOI 10.1007/s00445-011-0463-2,

- ⑤ Aiuppa A., Shinohara H., Tamburello G., Giudice G., Liuzzo M., Moretti R., Hydrogen in the gas plume of an open-vent volcano, Mount Etna, Italy, J. Geophys. Res., 査読有、116, 2011  
DOI: 10.1029/2011JB008461.

[学会発表] (計15件)

- ① 篠原宏志、大湊隆雄、武尾実、浅間山における火山ガス組成変化、日本火山学会秋季大会、2012年10月14日、エコール御代田(長野県)
- ② Shinohara Hiroshi, Volatile inventory of excess degassing, Goldschmidt Conference, 2012年6月28日, Palais de Congre (Montreal, Canada)
- ③ Shinohara Hiroshi, Saito Genji, Geshi Nobuo, Ten years of the intensive degassing activity of Miyakejima volcano, Japan: advances in the activity, techniques and model, International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly, 2011年7月7日、Melbourne Convention & Exhibition Center (Melbourne, Australia)
- ④ Shinohara Hiroshi, Volatile degassing by conduit magma convection: Links and gaps to magmatic volatiles, European Geosciences Union General Assembly, 2011年4月6日, Austria Center (Vienna, Austria)
- ⑤ Shinohara Hiroshi, Yoshikawa Shin, Miyabuchi Yasuo, Degassing of Aso volcano, Japan through an acid crater lake: Differentiation of volcanic gas-hydrothermal fluids from volcanic plume chemistry, American Geophysical Union, 2010年12月14日, Moscone Convention Center (San Francisco, USA)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

篠原 宏志 (SHINOHARA HIROSHI)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長  
研究者番号：80357194

##### (2) 研究分担者

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

##### (3) 連携研究者

大湊 隆雄 (OOMINATO TAKAO)  
東京大学・地震研究所・准教授  
研究者番号：70322039