

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12485

研究課題名(和文)火山ガス観測による活火山噴火ポテンシャル診断

研究課題名(英文)Volcanic eruption potential diagnosis by volcanic gas observation

研究代表者

大場 武(OHBA, Takeshi)

東海大学・理学部・教授

研究者番号：60203915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は主に水蒸気噴火を起こす火山の噴火ポテンシャル評価を目的として実施した。火山噴火は複雑な自然現象であり、噴火を引き起こす原動力となるマグマ性ガスの放出流量が大きければ噴火の可能性は高まるが、噴火につながらない場合も多い。本研究では、箱根山、草津白根山、霧島硫黄山で繰り返し火山ガスの採取分析を行い、地震活動等との比較により、水蒸気噴火の必要条件としてマグマから脱ガスする成分(マグマ成分)が熱水系で発生する成分(熱水成分)に対し増加すると、噴火ポテンシャルの上昇につながるとする結論に到達した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was mainly to evaluate the eruptive potential of volcano causing steam explosion. Volcanic eruption is a complex natural phenomenon, and the possibility of eruption increases if the discharge flow rate of magmatic gas is large, which is the driving force of eruption. However, in many cases the increase of magmatic gas flux does not lead to eruption. In this study, we collected and analyzed the volcanic gases repeatedly at Mt Hakone, Mt Kusatsu Shirane and Mt Kirishima-Iwoyama, and compared with geophysical parameters such as seismic activity. We concluded that the ratio of magmatic components such as He and CO<sub>2</sub> to the hydrothermal components such as H<sub>2</sub>S and CH<sub>4</sub> increase when the eruptive potential rises.

研究分野：火山化学

キーワード：火山噴火 水蒸気噴火 火山ガス 熱水系 マグマ 噴火ポテンシャル 防災

### 1. 研究開始当初の背景

戦後最悪の火山災害となった2014年9月27日の御嶽山水蒸気爆発噴火は改めて我々に噴火予知の難しさを認識させた。これに対し1976年3月の草津白根山水釜噴火では1年以上前から小坂丈予氏らのグループが火山ガス組成に  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比の増加を検知し警告を発した。筆者らは、2001年から2009年にかけて箱根山で火山ガスを繰り返し採取・分析し、火山性地震発生回数と  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比および  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比の間に明瞭な相関があることを突き止めている。水蒸気爆発噴火の予知には化学的観測が有効であり、本研究では水蒸気爆発噴火の可能性がある複数の火山について噴火ポテンシャルを診断する。

### 2. 研究の目的

水蒸気爆発を起こす火山ではマグマと地表の間に熱水系が発達している。熱水系の流体圧力が地殻の強度を上回った場合に、水蒸気爆発が発生する必要条件が成立する。熱水系の圧力上昇は熱水系に供給されるマグマ性ガスの流量増加が原因である。一般的に活火山では浅いマグマとは別により深部に  $\text{CO}_2$  に富むマグマが存在し、そこから放出されるマグマ性ガスが熱水系に流入する。深部のマグマに変化が生じ、ガス放出量が増大すると水蒸気爆発が発生すると考えられる。この噴火モデルでは水蒸気爆発の際にマグマの移動を必要としない。そのため、顕著な火山性地震が発生せず地震観測や傾斜計による山体膨張の観測では噴火の予知が難しい。これに対し、原因となるマグマ性ガスは最終的に噴気として地表に現れるので、この噴気を化学的に観測し  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比に着目すれば、水蒸気爆発の可能性を推定することが可能と考えられる。本研究では、前述の噴火モデルで主役を演じるマグマ性ガスを含む噴気の観測を国内外の複数の火山で実施し、水蒸気爆発噴火のポテンシャルを診断する。この際、マグマ性ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比が重要なパラメータとなる。さらに噴火の直前予測の根拠となる噴気の化学組成変化が破壊現象である地震活動の前兆と成り得るか否か、箱根山において検証する。日本には100を超える活火山があり噴火を予知する火山観測技術の確立は緊急の国家的課題である。本研究は現在の地震観測と地殻変動観測に基礎を置く定常的火山観測に化学的な観測項目を追加する最初の一步となるだろう。それによりの確かな噴火予知が可能となる。

### 3. 研究の方法

深部マグマから  $\text{CO}_2$  に富むマグマ性ガスが熱水系に流入した場合、地表で観察される噴気にも  $\text{CO}_2$  の増加が観測されると期待できる。 $\text{CO}_2$  はマグマから脱ガスし易い成分であり、深部マグマ溜りから選択的に脱ガスする。よって放出されるマグマ性ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比は時間の経過に従い徐々に低下し、同時にマグマ

性ガスの流量も低下すると考えられる。この意味で、噴気中の  $\text{CO}_2$  の含有量は、深部マグマ溜りの活動度を反映する。すなわち、噴気を放出するだけの静穏な活動は、草津白根山、アトサヌプリ、岩手山などで見られ、これらの火山の噴気組成から推定されるマグマ性ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比は0.01以下である。口之永良部島や雌阿寒岳などでは  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比は0.01~0.015の範囲にあり、前者に比べてやや高くそれに対応して小さな噴火活動が低い頻度で発生している。これに対し、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比が0.015を超える火山では活発な噴火活動が起きた例が多い。ただし、台湾の大屯山は例外である。また新燃岳の値は1994年に筆者が調査をした際のガス組成に基づいている。上述の関係を利用し、火山の噴火ポテンシャルを  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比に基づき評価できるのではないかと考えられる。火山を定期的に訪れ、噴気を採取・分析することによりマグマ性ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比を求め、将来の噴火可能性(ポテンシャル)を評価する。大屯山は例外であるが、噴火ポテンシャルが高い危険な状態にあるのではないかと懸念される。

### 4. 研究成果

(1) 箱根山では2015年4月26日から群発地震が発生開始した。筆者らは4月24日に大涌谷で火山ガスの採取を行っており、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は3月の調査時と変化はなかった。5月6日に火山ガス調査を行ったところ  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比に顕著な上昇が観測された。引き続き  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は上昇を続け、6月末に極大に達した(図1)。

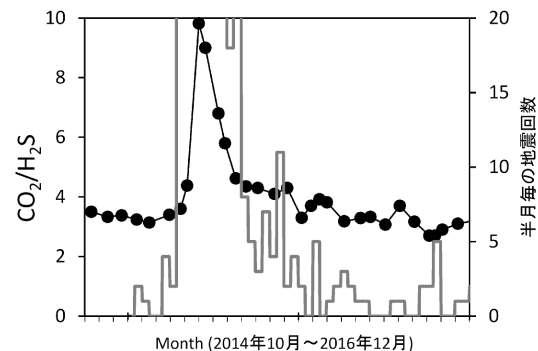


図1. 箱根山大涌谷火山ガスの  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比変動 ( ) と地震回数 (気象庁データ)

これとほぼ同期して大涌谷で有史では初の小規模な水蒸気噴火が発生した。群発地震前に  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は上昇しなかったが、火山ガスに含まれる水蒸気の同位体比が顕著に低下していた。これは、2015年2~3月に起きており、熱水系に対するマグマ成分の供給が減少し、熱水系が冷却し水蒸気が部分的に凝縮で取り除かれたと解釈される。また2015年2月と3月には火山ガスの  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  比が上昇した。これは熱水系の圧力が低下し、地殻の通気帯を通じて大気が熱水系に侵入したと解釈さ

れる。つまり、群発地震の開始まえに、熱水系に対するマグマ成分の供給が減少していたと推定され、それはマグマを取り囲むシーリングゾーンが発達した、とするモデルに到達した。

(2) 草津白根山湯釜火口の北方に発達する地熱地帯の火山ガス(W, C, E)では2015年5月から2017年4月にかけて火山ガスのCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比が低下した(図2)。

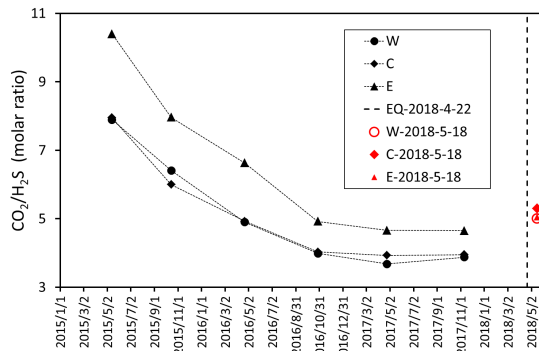


図2 .CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比の時間変化.地震の群発が開始した2018年4月22日を破線で示す。

これは浅部熱水系に供給されるCO<sub>2</sub>に富むマグマ成分の流量が減少したことを示唆する。この減少は、脱ガスマグマと浅部熱水系の間に存在するシーリングゾーンの発達が原因と考えられる。2018年5月18日の観測によると、火山ガスのCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比が明確に上昇した。これはシーリングゾーンの破壊が原因であり、それは地震が群発を開始した2018年4月22日の前後に起きたと考えられる。シーリングゾーンの破壊によりマグマ起源ガスの流量が急激に増加したために、浅部熱水系の流体圧が上昇し、地震が群発したのだろう。今後は、新たな噴気の出現、噴気流量の増加、火口湖水の温度上昇、火口湖水成分の濃度上昇などが起きる可能性がある。1982年の湯釜における水蒸気噴火の前は、湖水の水位が高く、現在の状況と類似している。水蒸気噴火に対する注意が必要と考えられる。

草津白根山では、2018年1月23日に本白根山で予期せぬ水蒸気噴火が発生し、スキー客1名が犠牲になった。この噴火直前には地震が全く起きておらず、複数の火山学者から想定外とされた。しかし、気象庁が発表している草津白根山の震源分布を見返すと、明確な変化があることに気付く。即ち、2016年から2017年にかけて、白根山の湯釜火口の直下における地震活動が沈静化するのと対照的に、本白根山の下でおきる地震の深度が明確に浅くなっていた。この事実と過去に行われた電磁気探査などの結果を参照し、図3に示すモデルを提案した。このモデルでは、草津白根山には水蒸気噴火の原因となる熱水溜りが二か所存在する。

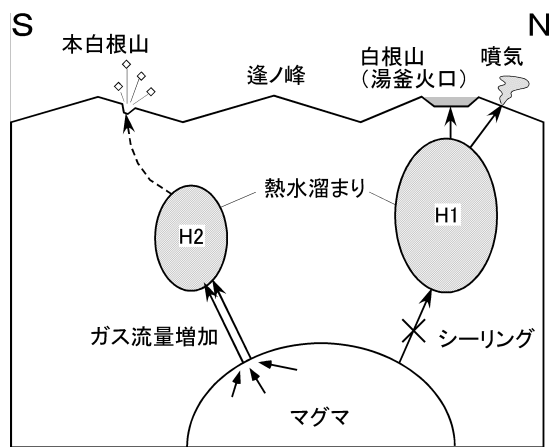


図3 .本白根山の噴火メカニズム

湯釜直下の熱水溜り(H1)に供給されるマグマ成分の量がシーリングにより制限され、おそらく2017年になり、マグマ成分ガスは行き先を本白根の下に存在する熱水溜り(H2)に変更した。これによりH2の流体圧が上昇し、2018年1月23日の水蒸気噴火を引き起こした。

(3) 霧島硫黄山では2015年12月末に20年以上噴気放出が停止していた山頂付近で新たな噴気の出現が報告された。これに対応し、霧島硫黄山で火山ガスの採取・分析を繰り返し実施した。火山ガスに含まれるHeやCO<sub>2</sub>はマグマ起源の成分であり、H<sub>2</sub>SやCH<sub>4</sub>は熱水系で形成される成分に分類される。よって、これらのガスの比であるCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S, He/CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>の上昇は、地下においてマグマ成分の比率が上昇していることを示し、マグマ脱ガスの活発化を意味すると考えられる(図4, 5)。

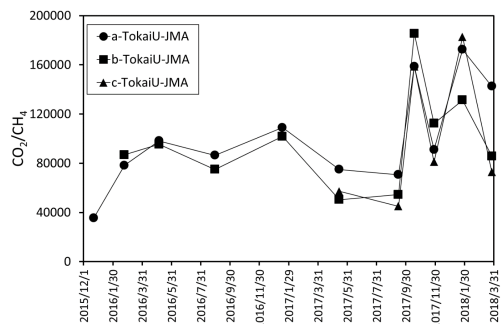


図4 .霧島硫黄山火山ガスのCO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比変動

気象庁の観測によると、霧島硫黄山では、2017年3月頃から断続的に火山性地震が多い状態が継続した。特に2018年1月以降はかつてなく火山性地震の回数が多い状態が続いていた。およそCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S, He/CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比が高い時期に火山性地震の回数が多く、マグマ脱ガス活動が火山性地震を引き起こしていると推定される。しかし、2017年11月から2018年1月への変化には、比によって相違がみられる。

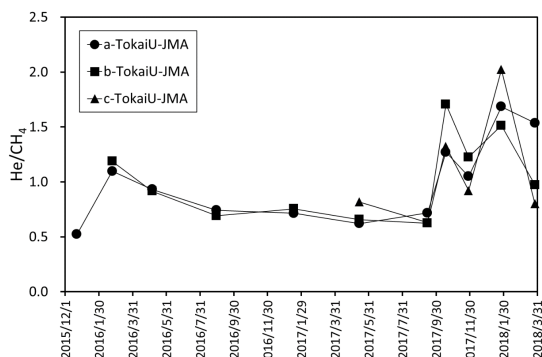


図4. 霧島硫黄山火山ガスの He/CH<sub>4</sub> 比変動

即ち、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S は低下したものの、He/CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比は上昇した。2018年1月から3月にかけて、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S は上昇し、He/CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比は低下した。噴気に含まれるガス成分には反応性に相違がある。たとえば、H<sub>2</sub>は最も変化しやすい成分とされ、地表に近い地下の条件(温度、酸化還元ポテンシャル)に影響される。SO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Sも同様で、噴気地帯に見られるように噴気孔の自然硫黄は硫黄成分が沈殿して形成されたものであり、噴気の硫黄成分濃度は地表近く変化している可能性がある。地殻の岩石に含まれるFe<sup>2+</sup>とH<sub>2</sub>Sが反応して火山ガスからH<sub>2</sub>Sが失われる可能性もある。一方で、CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>は比較的变化し難い成分であり、Heは希ガスのため決して地下を移動する過程で失われることは無い。これらのことから変化を受け難い成分の比であるHe/CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>は比較的深い地下の環境を反映していると考えられる。よって、2017年11月から2018年3月にかけて生じたHe/CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>比の変化は、比較的深部におけるマグマ起源流体の熱水成分に対する比率の上昇と低下を示していると考えられる。2018年1月から3月にかけて、H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比、SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比、見かけ平衡温度が著しく上昇しており、これらは地下浅部の温度上昇を示していると考えられる。

#### 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 2件)

代田寧, 大場武, 谷口無我, 箱根火山における活動活発化に連動した噴気組成(C/S比)の変化, 神奈川県温泉地学研究所報告, 査読有, 49, 2017, 29-38

Kaori Seki, Wataru Kanda, Toshiya Tanbo, Takeshi Ohba, Yasuo Ogawa, Shinichi Takakura, Kenji Nogami, Masashi Ushioda, Atsushi Suzuki, Zenshiro Saito, Yasuo Matsunaga, Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt. Tateyama, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有, 325,

2016, 15-26.

〔学会発表〕(計 6件)

日本地球惑星科学連合 2017年大会  
日本火山学会 2017年秋季大会  
日本地球惑星科学連合 2016年大会  
日本火山学会 2016年秋季大会  
日本地球惑星科学連合 2015年大会  
日本火山学会 2015年秋季大会

〔図書〕(計 1件)

T. Ohba, B. Capaccioni, C. Caudron, Geological Society, London, Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes, 2017, 289.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sc.u-tokai.ac.jp/ohbalab/japanese/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大場 武 (OHBA Takeshi)  
東海大学・理学部・教授  
研究者番号: 60203915

##### (3) 連携研究者

谷口無我 (YAGUCHI Muga)  
気象庁・気象研究所・研究官  
研究者番号: 20785430

##### (4) 研究協力者

西野佳奈 (NISHINO Kana)