

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06264

研究課題名(和文) 水蒸気爆発とマグマ爆発：噴煙中の水蒸気の同位体組成を利用した遠隔推定法開発

研究課題名(英文) Magmatic eruptions and phreatic eruptions: Development of remote sensing using water vapor isotopic composition in volcanic plume

研究代表者

高橋 幸士 (Takahashi, Koji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門・研究員

研究者番号：80762252

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、噴気中の水の安定同位体比 (^2H and ^{18}O) を指標に用いて、活火山の噴火様式(水蒸気爆発かマグマ爆発か)を判別する新手法を開発するため、1L捕集瓶に採取した大気試料をキャビティリングダウン分光分析装置(cavity ring-down spectroscopy, CRDS)に導入し、水蒸気濃度と安定同位体比を測定する新手法を開発した。開発した手法を箱根山の火山噴煙試料に応用し、測定結果に基づいて噴気中の水の安定同位体比を推定した。その結果、推定された値は、噴気孔から採取した凝縮水の値と誤差の範囲で一致した。

研究成果の概要(英文)：In order to assess the type of volcanic eruptions (magmatic or phreatic) using isotopic compositions (^2H and ^{18}O) of fumarolic H_2O , we have developed a new analytical system to determine the concentrations and isotopic compositions of water vapor in air samples collected in 1L glass bottles by cavity ring-down spectroscopy (CRDS). Based on the new analytical system, we estimated the ^2H and ^{18}O values of fumarolic H_2O from those in the plume of Hakone volcano. The estimated ^2H and ^{18}O values corresponded to those in water condensate from fumarole within the error.

研究分野：同位体地球化学

キーワード：水蒸気 酸素同位体比 水素同位体比 火山学 地球化学

1. 研究開始当初の背景

活火山の噴火は、“マグマ爆発”と“水蒸気爆発”に大別出来ることが知られている。マグマ爆発と水蒸気爆発では、噴火の予測法や規模、継続時間などが根本的に異なるため、大小様々な規模で起きる火山の噴火活動がマグマ爆発か、それとも水蒸気爆発であるかを迅速かつ適確に見分ける手段の確立が必要とされている。水蒸気 (H₂O) は、多くの場合、火山から放出されるガス (火山噴気) 成分の 8 割以上を占め、その起源がマグマ水であるか、それとも地下水 (天水) であるかによって、その安定同位体比 ($\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ 値) が大きく変化することが知られている。したがって、火山噴気中の水蒸気の同位体比が、マグマ水近傍であれば、火山の噴火がマグマ爆発タイプであり、天水近傍であれば、水蒸気爆発タイプであると予測されるため、噴気ガスが大気中で希釈されることで形成された噴煙中の水蒸気の安定同位体比を定量化し、これを用いて噴気中の H₂O の安定同位体比が推定出来るのであれば、マグマ爆発と水蒸気爆発を区別出来る可能性がある。

2. 研究の目的

近年、大気水蒸気の安定同位体比をリアルタイムに測定出来るキャビティリングダウン分光分析装置 (Cavity Ring-Down Spectroscopy: 以下、CRDS) が開発され、大気水蒸気の安定同位体比を指標に用いた研究が急速に進展しつつある。CRDS 登場以前の大気水蒸気の安定同位体比測定は、大容量の大気を吸引し、低温トラップを用いて大気水蒸気を凝縮させる『低温凝縮法』で得た液体の水を実験室に持ち帰り、質量分析計を用いて分析する手法が用いられてきた。しかし、これでは 1 試料の採取に少なくとも 30 分前後の時間を要するため、噴煙の観測には不向きであった。また、CRDS 開発後は、観測現場に CRDS を運び込んで現場大気を直接観測する手法が気象学等の分野で活用されつつあるが、重量物である CRDS とそれに必要なバッテリーを傾斜・勾配の厳しい火山の現場に持ち込んで観測に活用することは、現実的ではない。

そこで本研究では、観測現場の大気試料を真空捕集瓶に採取し、持ち帰った試料を実験室で CRDS に導入することで水蒸気の濃度と安定同位体比を高精度で測定する『真空捕集法』の開発に挑戦する。開発した手法を大気と噴気ガスの混合物である噴煙に応用し、噴煙中の H₂O の濃度・安定同位体比の分析に基づいて、火山噴気中の H₂O の安定同位体比を推定する。推定した H₂O の安定同位体比が、噴気孔から直接採取した H₂O (凝縮水) の値と一致するか検証し、真空捕集法を用いて噴気中の H₂O の安定同位体比を遠隔測定出来るか確認する。

3. 研究の方法

本研究方法は、以下の通りである。

- (1) 真空捕集法による測定精度を検証する。
- (2) 実験室大気中の H₂O 濃度、及び安定同位体比を、従来法である『低温凝縮法』と真空捕集法を用いてそれぞれ分析し、真空捕集法の確度を検証する。
- (3) 噴煙中には、SO₂ や H₂S が含まれているため、これらの物質が CRDS による H₂O の同位体比測定に影響を及ぼすかどうかを検証する。本研究では、大気試料に SO₂ と H₂S の標準ガスを混合させ、混合前後の測定値を比較することによって、同位体比測定に及ぼす影響を評価する。
- (4) 噴気孔にアクセス可能な神奈川県箱根山の噴気地帯において、低温凝縮法によって噴気ガス中の H₂O (凝縮水) を直接採取すると共に、真空捕集法を用いて噴煙試料の採取を行う。噴煙試料の分析に基づいて噴気中の H₂O の安定同位体比を推定し、凝縮水の値と比較することによって、噴気中の H₂O の安定同位体比を遠隔測定可能か検証する。

4. 研究成果

(1) 真空捕集法の精度

1L 捕集瓶に採取した大気試料を繰り返し CRDS に導入し、H₂O の安定同位体比測定における測定精度 (1 σ) を検討した。その結果、CRDS に出力される水蒸気濃度 (ppmv) が 6000ppm 以上の試料では、 $\delta^2\text{H}$ 値の精度が $\pm 4\%$ 以下、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の精度が、 $\pm 0.5\%$ 以下であった。出力される H₂O 濃度が 2200ppm 以上の試料では、 $\delta^2\text{H}$ 値の精度が $\pm 5\%$ 以下となり、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の精度は、変わらず $\pm 0.5\%$ 以下であった。また、1L 容器内の圧力が少なくとも 0.2atm 以上であれば、安定同位体比の測定における容器内圧力の影響は、ほとんど無視出来ることがわかった。一方、CRDS に出力される水蒸気濃度は、1L 容器内圧力の低下に伴って減少する傾向を示した。ただし、減少傾向が系統的であり、実際の試料測定の圧力範囲も合わせて検討した結果、容器内圧力の影響を補正することによって適切な水蒸気濃度が得られるものと結論した。

(2) 低温凝縮法との比較実験

真空捕集法と従来法である低温凝縮法を用いて同一の実験室大気の水蒸気濃度・安定同位体比をそれぞれ分析し、結果を比較した。水蒸気濃度は、実験間でほぼ傾き 1 の対応を示し、且つ、極めて良好な対応を示すことから ($R^2 > 0.99$)、真空

捕集法によって現場の大気水蒸気濃度が測定可能であると考えられる。一方、 $\delta^2\text{H}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値は、実験間でそれぞれ 3‰及び 1‰程度の差が見られた。これは、水と水蒸気では、CRDS への導入時における同位体分別の程度が異なるためと考えられた。ただし、その差の変動は、測定精度の範囲内ではほぼ一定であることから、補正によって適切な測定値が得られるものと結論した。

- (3) SO_2 や H_2S が同位体比測定に及ぼす影響
大気試料にそれぞれ SO_2 、 H_2S 標準ガスを混合し、混合前後の安定同位体比を比較した。その結果、30ppm 程度の SO_2 や H_2S が共存する場合でも、測定精度の範囲内で測定値が一致した。ほとんどの場合、安全に観測、もしくは採取出来る噴煙試料は、 SO_2 ・ H_2S の濃度が 20ppm 以下である。そのため、火山噴煙中の SO_2 や H_2S が、真空捕集法による水蒸気同位体比測定に及ぼす影響は無視出来るものと結論した。
- (4) 噴気地帯での検証実験
本研究で開発した真空捕集法を用いて、2015 年 11 月に神奈川県箱根山上湯場噴気地帯の噴気孔から放出される水蒸気同位体比測定を実施した。その結果、噴煙中の水蒸気濃度と安定同位体比は、明瞭な混合曲線を示した。このことは、噴煙試料間の H_2O の濃度と安定同位体比が、大気と噴気ガスの二種の端成分間の単純混合でほぼ説明出来ることを示している。混合曲線から推定された噴気ガス由来の水蒸気同位体比は、噴気孔より直接採取した H_2O (凝縮水：天水由来) と誤差の範囲で一致した。以上の結果から、真空捕集法によって噴煙中の水蒸気同位体比を定量することで、火山噴気孔から放出される水蒸気同位体比を遠隔測定し、火山の噴火様式の判別に応用出来る可能性が示唆された。
- (5) 噴気温度の遠隔測定への応用
近年、噴煙中の水素分子 (H_2) の分析に基づき、噴気中の H_2 の $\delta^2\text{H}$ 値を推定することで噴気温度を遠隔測定する手法 (HIReTS 法) が提案されている (Tsunogai et al., 2011, 2013, 2016)。この手法は、 H_2 - H_2O 間の水素同位体平衡温度を利用した温度推定法である。また、 H_2 と同様に、 CO_2 の酸素同位体比に関しても、同様の方法論で H_2O と同位体平衡温度を推定し、噴気温度の測定に応用出来ると考えられる。噴気中の H_2 や CO_2 と共存する H_2O の安定同位体比は、沈みこみ帯の火山であれば、その平均的なマグマ水の値から代用することが出来る (Tsunogai et al., 2011)。沈み込み帯以外の火山に

H_2 - H_2O 、 CO_2 - H_2O 間の同位体平衡温度計を広く活用するには、真空捕集法を用いた噴気中の H_2O の遠隔同位体比測定が有効であると考えられる。

本研究では、2015 年 11 月に箱根山上湯場噴気地帯で採取した噴煙試料中の H_2 と CO_2 を分析し、噴気由来の各種気体成分の安定同位体比を遠隔測定した。その結果、遠隔測定した H_2 と CO_2 の安定同位体比は、過去に箱根山噴気孔で観測された値の範囲内にあった。遠隔測定した各種気体成分の安定同位体比に基づいて、 H_2 - H_2O 、 CO_2 - H_2O 間の同位体平衡温度を求めた結果、各平衡温度は、噴気温度の実測値 (約 98 度) と誤差の範囲で一致した。以上の結果は、真空捕集法による噴気中の H_2O の遠隔同位体比測定が的確に行われたことを支持するものであり、 H_2 - H_2O 、 CO_2 - H_2O の同位体平衡温度計を用いた噴気温度測定にも有用であることが示唆された。

(1)~(5) に関する成果は、国内学会等で報告した他、原著論文にまとめて国際学術雑誌へ投稿準備中である。

(参考文献)

- Tsunogai, U., Komatsu, D. D., and Nakagawa, F. (2013) Remote temperature sensing on volcanic fumaroles using HIReTS: Applications to Satsuma-Iwojima volcano, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **58**(3), 443-459 (in Japanese with English abstract).
- Tsunogai, U., Kamimura, K., Anzai, S., Nakagawa, F., and Komatsu, D. D. (2011) Hydrogen isotopes in volcanic plumes: Tracers for remote temperature sensing of fumaroles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**, 4531-4546.
- Tsunogai, U., Cheng, L., Ito, M., Komatsu, D. D., Nakagawa, F., and Shinohara, H. (2016) Remote determinations on fumarole outlet temperatures in an eruptive volcano, *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 22, 11620-11627.

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 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

高橋 幸士, 角皆 潤, 栗田 直幸, 中川 書子. 火山噴気中の水蒸気同位体比測定法の開発. 2016 年度日本地球化学会第 63 回年会. 2016 年 9 月 14 日 ~ 16 日. 『大阪市立大学 (大阪府大阪市)』

高橋 幸士, 角皆 潤, 中川 書子. 噴煙中の気体成分の安定同位体比を指標に用いた火山噴気同位体比の遠隔温度測定. 2016 年度質

量分析学会同位体比部会 . 2016 年 11 月
16 ~ 18 日 『秋田温泉さとみ (秋田県秋田
市)』
高橋 幸士 , 角皆 潤 , 栗田 直幸 , 中川 書
子 . 火山噴気中の水蒸気の遠隔同位体比
測定法の開発 . 第 15 回産業技術総合研究
所地質調査総合センター地圏資源環境研
究部門研究成果報告会 . 2016 年 12 月 9
日 . 『秋葉原ダイビル (東京都千代田区)』

〔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 :
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

高橋 幸士 (Koji U. Takahashi)

産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部
門・研究員

研究者番号 : 80762252