

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13914

研究課題名(和文)火山噴火タイプの新指標：噴煙中の水蒸気同位体組成

研究課題名(英文) Determination on the stable isotopic compositions of water vapor in volcanic plume using Cavity-ring down spectroscopy

研究代表者

角皆 潤 (Tsunogai, Urumu)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50313367

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)：火山ガス中の水蒸気の起源には、マグマ水の場合と、山体内部の地下水の場合(天水)があり、両者間で水素および酸素の安定同位体比が大きく異なることが知られている。噴火に伴って大気中に放出され、風下に流下してくる噴煙中の水蒸気同位体比を定量化することができれば、そこから水蒸気の起源(マグマ水か、天水か)が判別できるし、山体内の流体挙動の理解も進展する。そこで本研究では、容器中に採取して持ち帰った噴煙試料中の水蒸気同位体比を定量化する新システムを開発した。また実際の火山の噴気孔で、噴煙中の水蒸気同位体比分析から噴気孔における水蒸気同位体比が推定出来ることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The stable isotopic compositions of water vapor emitted during volcanic eruptions can be useful tracers to differentiate magmatic eruption from phreatic eruption. In this study, a simple and convenient analytical system was developed to determine both concentration and stable isotopic compositions of atmospheric water vapor in volcanic plume sampled in glass bottles using Cavity-ring down spectroscopy. By using the analytical system developed in this study, we can estimate the stable isotopic compositions of water vapor in a volcanic fumarole remotely from those in volcanic plume derived from the volcanic fumarole.

研究分野：地球化学

キーワード：水蒸気 火山ガス 安定同位体 噴煙 キャビティリングダウン分光分析 遠隔測定 マグマ噴火 水蒸気噴火

1. 研究開始当初の背景

火山の噴火タイプ(噴火メカニズム)は、「マグマ爆発」と「水蒸気爆発」に大別される(Fig. 1)。マグマ爆発は、マグマ中に溶解している水蒸気(H<sub>2</sub>O)等の脱ガスで、マグマ自身が高压化することで引き起こされるのに対して、水蒸気爆発は、山体内部の地下水が、マグマの熱で高温・高压化することで引き起こされる。マグマ爆発と水蒸気爆発では、噴火の予測法や規模、継続時間などが本質的に異なるため、大小様々な規模で起こる火山噴火の噴火タイプは、迅速かつ適確に見分けられる必要がある。

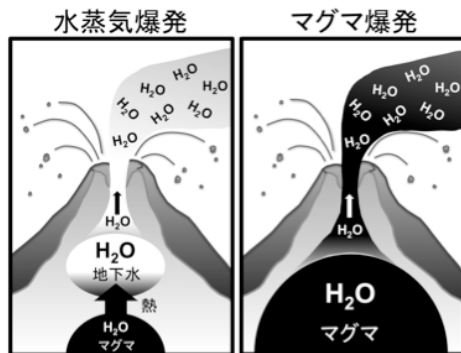


Fig. 1 水蒸気爆発とマグマ爆発の違い。

噴火の際に火山から放出される揮発性物質(以下「火山ガス」と呼ぶ)は、その8割以上を水蒸気(H<sub>2</sub>O)が占める。この火山ガス中のH<sub>2</sub>Oの起源には、マグマそのものの場合(以下「マグマ水」と呼ぶ)と、山体内部の地下水の場合(以下「天水」と呼ぶ)があり(Fig. 1)、両者間で同位体比( $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値)が大きく異なることが知られている(Giggenbach, 1992)(Fig. 2)。噴火に伴って大気中に放出された火山ガスは噴煙を形成し、風下に流下してくるが、この噴煙中のH<sub>2</sub>Oの同位体比( $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値)を定量化することが出来れば、そこからH<sub>2</sub>Oの起源(マグマ水か、天水か)が判別出来るので、噴火タイプを判定出来る(Tsunogai et al., 2011; 2016; 角皆ほか, 2013)。しかし、従来のH<sub>2</sub>Oの同位体比測定法(H<sub>2</sub>もしくはCO<sub>2</sub>に変換して、磁場型の質量分析計を用いて測定する手法)だと、液体状態で数mL程度(=数100mmol程度)の水蒸気が必要となる。火山ガス(H<sub>2</sub>O濃度 = 80 vol%以上)を直接採取出来る場合は問題無いが、火山ガスが希釈された噴煙(H<sub>2</sub>O濃度 = 0.1 から 5 vol%程度)だと大量に採取して含まれるH<sub>2</sub>Oを液化して集める必要があり、同位体比の定量は現実的では無かった。

近年 Cavity Ring-Down 分光分析システム(以下「CRDS」と呼ぶ)が発展し(Gupta et al., 2009)、液体の水試料であれば、一部を気化した上でCRDSに導入することで、質量分析計を使う場合と同等の精度で同位体比が定量出来るようになった。本研究代表者らもCRDSを活用して液体の水試料の同位体比を分析している(Tsunogai et al., 2014)。CRDSであれば、化学形はH<sub>2</sub>O形のまま他に変換する必要は無く、また液化する必要も無いので、噴煙を導

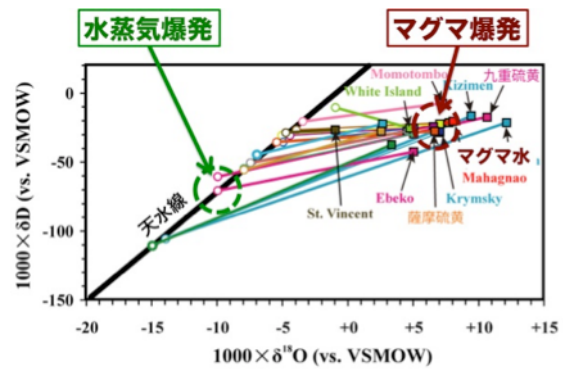


Fig. 2 沈み込み帯の高温火山ガス中に含まれる水蒸気の酸素・水素同位体組成と各噴火タイプにおける水蒸気同位体組成の推定領域

入するだけで、中に含まれるH<sub>2</sub>Oの同位体比が測定出来る可能性がある。ただし重量物で電源も必要な精密機器であるCRDSをフィールドに持ち込むのは、現実的では無い。

2. 研究の目的

本研究では、フィールドで大気(噴煙)試料を真空容器に採取し、実験室に持ち帰ってCRDSに導入して測定することで、噴煙中のH<sub>2</sub>Oの同位体比( $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値)を定量化する新手法を開発する。さらに、噴煙中のH<sub>2</sub>Oの同位体比から推定した火山ガス中のH<sub>2</sub>Oの同位体比と、噴気孔で直接採取・分析したH<sub>2</sub>Oの同位体比を比較し、本手法の有効性を確認・検証する。

3. 研究の方法

真空容器に採取した試料をCRDSに導入するシステムを構築し、これをCRDSに接続し、CRDSの同位体比測定プログラムの調整・開発や、真空容器中の試料圧力の変化等が分析結果に与える影響を評価・補正する「測定システムの構築」、大気中のH<sub>2</sub>O同位体比定量に従来一般に用いられて来た低温凝縮法と、本研究で開発した新手法で同一試料(室内大気)のH<sub>2</sub>O濃度および同位体比を分析して比較し、これを測定システムの改良にフィードバックする「従来法との比較および測定システムの改良」、SO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>S等火山噴煙に特徴的に含まれる成分が定量値に与える影響を評価する「共存物質の影響評価と対策」、実際の火山の噴気孔で、従来火山H<sub>2</sub>O同位体比定量に一般に用いられて来た低温凝縮法による試料採取と、真空容器を用いた噴煙試料の採取を行って結果を比較することで新手法を検証する「フィールド観測を通じた検証」の4項目について研究を実施した。

なお研究開始当初は4項目すべてについて研究を行う予定であったが、本研究代表者が、本申請と同時に、分担者として申請した別の研究課題が、本研究開始後に文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトに採択され、一部研究内容が重複することとなったため、「測定システムの構築」と「従来法との比較および測定システムの改良」は主に次世

代火山研究・人材育成総合プロジェクトの範疇で実施することとして、本研究では「共存物質の影響評価と対策」および「フィールド観測を通じた検証」の二項目に集中して、これを当初計画よりも高度化する形で実施した。したがって本報告では、「測定システムの構築」と「従来法との比較および測定システムの改良」の記述は、必要最小限に留める。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 測定システムの開発

既存設備である CRDS 分光に基づく、水試料（液体）の水同位体分析計（Picarro 社製 L2120-i）を改造することで、真空容器に採取し、実験室に持ち帰った噴煙（大気）試料を対象に、含まれる水蒸気の高感度同位体比分析システムを構築した（Fig. 3）。また噴煙（大気）試料測定を実現するため、CRDS 分光用の同位体比測定プログラムを改造することで、同位体分析計制御用の測定プログラムを新規に製作した。

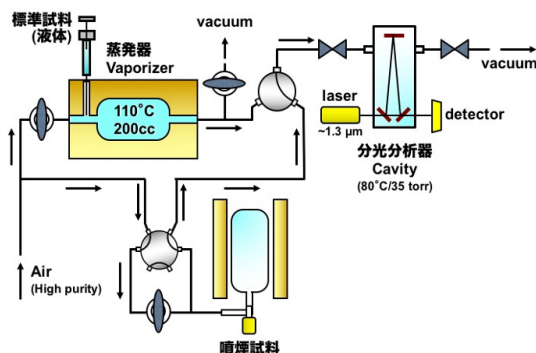


Fig. 3 噴煙（大気）試料中の水蒸気同位体比測定システムの模式図

最終的な測定手順の概略を以下に示す。まず試料容器を測定システムに接続し、接続部を高純度空気フラッシュする。次に流路を切り替えて容器のバルブを開放し、容器内の大気（噴煙）試料を CRDS に圧力差を用いて導入する。導入後、CRDS の出力が安定したところで同位体比を測定した。流路上への水蒸気の吸着を抑制するため、測定システム全体を 60 °C 程度に加熱して使用した。付属の蒸発器から同位体比既知の標準水試料 2 種を高純度空気中に導入して水蒸気化し、CRDS で測定することで、測定値をキャリブレーションした。

##### 4.2 従来法との比較および測定システム改良

まず室内大気を試料として、この中に含まれる水蒸気（H<sub>2</sub>O）について、低温凝縮捕集法を用いて液化した上で分析した場合（従来法：Cold trap 法）と、新手法である真空容器へ採取した上で、Fig. 3 のシステムを用いて分析した場合（新手法：Glass bottle 法）で、得られる水素・酸素同位体比（ $\delta^2\text{H}$  値・ $\delta^{18}\text{O}$  値）を比較した。なお、エアコン電源の ON/OFF や、室外の気象条件の違い

などを利用することで、水蒸気濃度および同位体比の大きく異なる室内大気を用意して、試料とした。

その結果、新手法（Glass bottle 法）は従来法と比べると、H<sub>2</sub>O 濃度が 15% ほど低く、また  $\delta^2\text{H}$  値は  $+3.5 \pm 2.6\text{‰}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  値は  $+1.0 \pm 0.5\text{‰}$  ほど高くなることが明らかになった。

従来法では、低温トラップに捕集された H<sub>2</sub>O 量（捕集前後の低温トラップの重量変化から算出）と、積算流量計で計測した、このトラップを通過した大気試料の体積から算出している。したがって、室内大気中に微粒子が存在すると、従来法で求めた H<sub>2</sub>O 濃度は、この微粒子の重量分だけ過大評価される。さらに積算流量計には 10% の確度誤差がある。実験時に測定した温湿度計の結果も考慮して、濃度は誤差内で一致していると結論した。一方、同位体比は、精度誤差をわずかながら超えて変化しているため、新手法（Glass bottle 法）は、その測定値から、 $\delta^2\text{H}$  値は 3.5‰、 $\delta^{18}\text{O}$  値は 1.0‰ 補正して使用することとした（Fig. 3; Table 1）。

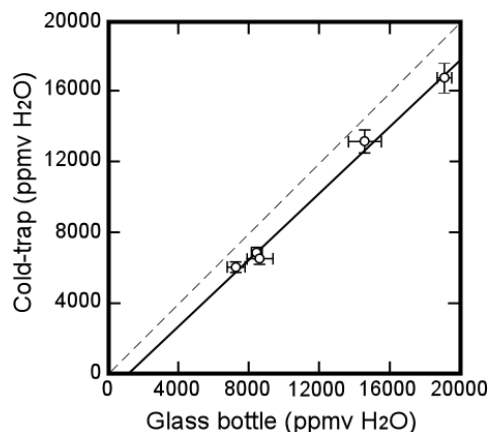


Fig. 4 従来法（Cold trap）と本研究手法（Glass bottle）で同時定量した室内大気の水蒸気濃度比較

Table 1 従来法（Cold）と本研究手法（Glass）で同時定量した室内大気の水蒸気同位体比比較

	$\delta^2\text{H}$			$\delta^{18}\text{O}$		
	glass	cold	$\Delta\delta$	glass	cold	$\Delta\delta$
1	-104.3	-106.3	+2.0	-17.9	-18.2	+0.3
2	-98.1	-104.3	+6.2	-16.5	-17.5	+1.0
3	-98.8	-105.0	+6.2	-16.4	-17.9	+1.6
4	-81.9	-82.6	+0.8	-11.6	-12.7	+1.1
5	-77.1	-79.4	+2.3	-11.5	-12.6	+1.1
Average			+3.5			+1.0
(SD)			(2.6)			(0.5)

##### 4.3 共存物質の影響評価と対策

大気試料とは異なり、噴煙試料には火山ガス由来の SO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>S が最大 100 ppm 程度

共存する可能性がある。CRDS 分光による同位体比測定では、これらの物質が共存する可能性は想定されておらず、これらの物質が共存することが、 $\text{H}_2\text{O}$  同位体比の定量値に与える影響も明らかになっていない。そこで同一の一般大気試料を複数の真空ガラス容器に同時に採取し、そのうちの一部に  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  を添加した上で、全試料について  $\text{H}_2\text{O}$  の同位体比を測定することで、 $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  が共存することが、分析値に与える影響を評価した。

結果を Fig. 5 に示す。添加前の  $\delta^2\text{H}$  値 (もしくは  $\delta^{18}\text{O}$  値) に対する、添加後の  $\delta^2\text{H}$  値

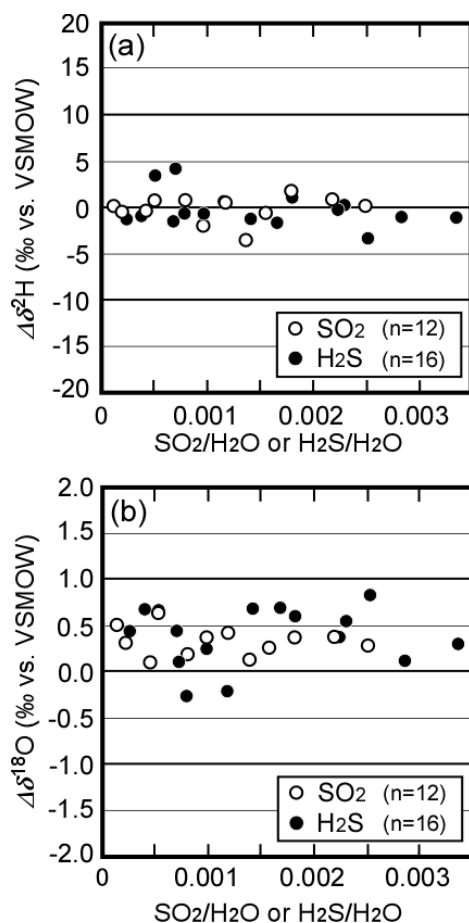


Fig. 5 大気試料に対する  $\text{SO}_2$  および  $\text{H}_2\text{S}$  添加に伴う  $\text{H}_2\text{O}$  の同位体比定量値変化。(a)は  $\delta^2\text{H}$  値の変化 ( $\Delta\delta^2\text{H}$ )、(b)は  $\delta^{18}\text{O}$  値の変化 ( $\Delta\delta^{18}\text{O}$ )で示す。

(もしくは  $\delta^{18}\text{O}$  値) の変化幅に相当する、 $\Delta\delta^2\text{H}$  値 (もしくは  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  値) を y 軸にして、これを  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比 (もしくは  $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$  比) の関数として表した。 $\delta^2\text{H}$  値は  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の添加に依らず、同じ値、つまり  $\Delta\delta^2\text{H}$  値はほぼ 0‰を示すことがわかる。一方  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  値は平均で +0.4‰となり、 $\delta^{18}\text{O}$  値は、 $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の添加に伴って若干変化した。しかしこの変化は  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比 (もしくは  $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$  比) とは相関しないことから、共存する  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の影響とは考えにくい。またその変化幅である 0.4‰は、測定精度と比

較してきわめて小さい。本研究では、この僅かな変化は  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の添加操作に起因するものと考え、共存する  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  が  $\text{H}_2\text{O}$  同位体比定量値に与える影響は、無視出来ると結論した。

本研究では、この (a) 共存する  $\text{SO}_2$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の影響以外に、(b) 試料容器の内圧が分析値に与える影響、(c) 前試料が次の試料の分析結果に与える影響、(d) 容器の  $\text{H}_2\text{O}$  ブランクが分析値に与える影響、などを評価した。そしてこれらの影響が無視できる分析条件や補正する手法を設定し、これをマニュアル化した。

#### 4.4 フィールド観測を通じた検証

最後の確認として、アクセス可能な火山の噴気孔周辺で噴煙試料を採取し、本研究で開発した手法で  $\text{H}_2\text{O}$  の同位体比分析を実施した。また、その噴気孔で従来通りの低温凝縮法で  $\text{H}_2\text{O}$  を直接採取して、その同位体比を測定して、噴煙試料の結果と比較した。



Fig. 6 霧島硫黄山の噴気孔周辺における噴煙試料の採取の様子。

観測は 2016 年 7 月に霧島・硫黄山 (いおうやま) 山頂の噴気群で行った (Fig. 6)。硫黄山は宮崎県えびの市にある標高 1317 m の火山である。2000 年以降噴気活動は低調な状態で推移していたが、2013 年 12 月頃から火山性地震が発生するようになり、2015 年 7 月頃から噴気活動が活発化している。なお 2016 年 7 月に実施した本研究観測から約 9 ヶ月後の 2018 年 4 月 19 日に 1768 年以來 250 年ぶりに噴火した。

観測および実験に用いたのは最高噴気 105.8°C の噴気孔である。この周辺で噴煙 9 試料を採取した。さらにそこから風上側に約 200 m 離れた場所で一般大気試料も採取した。またこれらとは別に、噴気孔で従来通りの低温凝縮法で  $\text{H}_2\text{O}$  を直接採取した。

噴煙および一般大気試料の分析結果は、Fig. 7 中に○印で示す。x 軸は  $\text{H}_2\text{O}$  濃度 (%) の逆数がリニアになるようにプロットされている。 $\text{H}_2\text{O}$  濃度は 3.2 から 4.9% の間に分布しており、 $\delta^2\text{H}$  値は最小が -122‰で最大が -88‰、 $\delta^{18}\text{O}$  値は最小が -19.1‰で最大が-

10.3‰と大きな変動を示した。また Fig. 7 中に示すように、 $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値はともに、 $\text{H}_2\text{O}$  濃度の逆数と明瞭な直線関係を示し、 $R^2$  値はそれぞれ 0.79 および 0.91 となった。

濃度の逆数と同位体比が直線関係を示すことは、低濃度側 (x 軸右側) に位置する一般大気中の  $\text{H}_2\text{O}$  と、高濃度側 (x 軸左側) に位置する噴気孔由来の  $\text{H}_2\text{O}$  が、噴煙中で相対混合比を変えながら単純混合していることを示しており、混合線が y 軸 (=水蒸気濃度無限大) と交差する切片付近に、噴気孔中の  $\text{H}_2\text{O}$  の  $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値が存在することを意味している。得られた  $\delta^2\text{H}$  値および  $\delta^{18}\text{O}$  値は、それぞれ  $-33.6 \pm 7.8 \text{ ‰}$ 、 $+3.2 \pm 2.9 \text{ ‰}$  となったが、これは噴気孔で低温凝縮捕集法を用いて分析した試料 (○印;  $\delta^2\text{H} = -35.9 \pm 1.2 \text{ ‰}$  および  $\delta^{18}\text{O} = +1.0 \pm 0.3 \text{ ‰}$ ) と誤差内で一致しており、噴煙中の  $\text{H}_2\text{O}$  の水素・酸素同位体比から噴気中の水蒸気の水素・酸素同位体比を推定する本研究計画を支持する良好な結果が得られた。

今後は本手法を実際に爆発的噴火中の火山から放出された噴煙に応用することで、噴火タイプの推定の確度が格段に向上することが期待される。さらに数日から数ヶ月のレンジで同位体比の時間変化が測定出来れば、

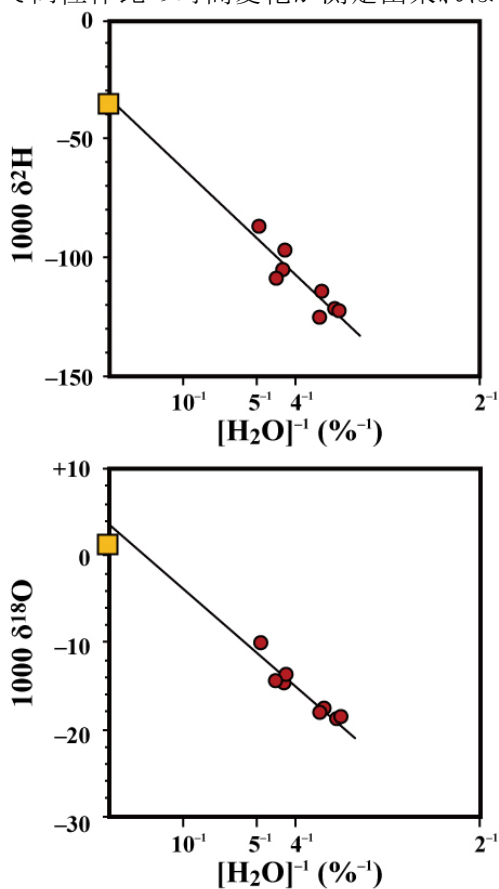


Fig. 7 霧島硫黄山の噴気孔周辺で採取した噴煙試料中の  $\text{H}_2\text{O}$  の濃度 (逆数リニア) と同位体比の関係 (○印は噴煙試料、□印は噴気孔で低温凝縮法により採取した火山ガス試料)。

①マグマ水の場合はマグマ脱ガス率の時間変化、②天水の場合はその地下水総量の時間変化、③両者の混合である場合はその混合比の変化、等に関する情報も得られる。これらは既存の火山観測では得られない (もしくは確定出来ない) 情報で、観測された物理現象 (火山性地震など) の原因解明や、今後の噴火活動の推移などを推定する上できわめて有用である。

さらに噴煙の組成を利用して、火山活動の現況や地下のマグマの動きを遠隔より把握する試みは従来からあったが、本研究で噴煙の有用性は決定的なものとなり、噴煙の組成は火山の観測項目として一般化するだろう。また、有人・無人飛行体を用いて噴煙を採取したり、小型センサーを用いて現場で噴煙を定量化したり、遠隔から分光観測したりするような、新技術開発の契機となる。

従来は同位体比用の気体質量分析計を使わないと水蒸気同位体比は分析出来なかったが、これは高価で、かつ時間のかかる前処理操作を必要としたため、応用先は限られていた。もちろんフィールドで分析することも出来なかった。近年になって CRDS のような分光型も選択出来るようになったが、ユーザーが基本的に変わっていないので、活用先も従来とほとんど変わっていなかった。しかし分光型は、「未処理で測定可能」「条件によっては高感度分析可能」「リアルタイム測定可能」「小型化可能」と言った点で質量分析計より優れており、本研究もその恩恵の一部を活用している。本研究が実現して分光型が防災などの実用的な分野で有用であることが証明出来れば、応用先は桁違いに拡大するので、分光型のさらなる改良の機運も高まる。既に述べたように、現状の CRDS は火山の現場に持ち込んで噴煙を直接測定することは出来ないが、本研究によって同位体比分析の有用性が示されれば、有人・無人飛行体に搭載してリアルタイムで観測出来るほど小型の装置が開発される可能性も十分にある。その恩恵は火山学分野に限らず、地球惑星科学・環境科学の幅広い分野に及ぶことが期待される。

(参考文献)

- Giggenbach, W. F. (1992) Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 113, 495-510.
- Gupta, P., D. Noone, J. Galewsky, C. Sweeney, and B. H. Vaughn (2009) Demonstration of high-precision continuous measurements of water vapor isotopologues in laboratory and remote field deployments using wavelength-scanned cavity ring-down spectroscopy (WS-CRDS) technology, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 23(16), 2534-2542.
- Tsunogai, U., K. Kamimura, S. Anzai, F. Nakagawa, and D. D. Komatsu (2011) Hydrogen isotopes in volcanic plumes: Tracers for remote

temperature sensing of fumaroles, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75, 4531-4546.

角皆 潤, 小松大祐, 中川書子 (2013) HIReTS法を用いた火山噴気の遠隔温度測定: 薩摩硫黄島における検証. 火山, Vol. 58, No.3, 443-459.

Tsunogai, U., D. D. Komatsu, T. Ohyama, A. Suzuki, F. Nakagawa, I. Noguchi, K. Takagi, M. Nomura, K. Fukuzawa, and H. Shibata (2014), Quantifying the effects of clear-cutting and strip-cutting on nitrate dynamics in a forested watershed using triple oxygen isotopes as tracers, *Biogeosciences*, 11, 5411-5424.

Tsunogai, U., L. Cheng, M. Ito, D. D. Komatsu, F. Nakagawa, and H. Shinoara (2016) Remote determinations on fumarole outlet temperatures in an eruptive volcano, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 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4件)

1. 角皆 潤 (2018) 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球惑星科学研究・地球環境科学研究の新展開. 地球化学, 査読有, 印刷中.

2. 角皆 潤 (2018) 噴煙の化学組成を利用した火山診断. 理ファイロソフィア, 査読有, 34, 8-11.

<http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/images/kouhou/34.pdf>

3. 角皆 潤 (2017) 「高感度安定同位体質量分析に基づく海洋地球化学の革新」. 海洋化学研究, 査読無, Vol. 30, Issue 1, 3-17.

[http://www.oceanochemistry.org/publications/TRIOC/PDF/trioc\\_2017\\_30\\_3.pdf](http://www.oceanochemistry.org/publications/TRIOC/PDF/trioc_2017_30_3.pdf)

4. Tsunogai, U., L. Cheng, M. Ito, D. D. Komatsu, F. Nakagawa, and H. Shinoara (2016) Remote determinations on fumarole outlet temperatures in an eruptive volcano. *Geophysical Research Letters*, 査読有, 43, 22, 11620-11627, doi:10.1002/2016GL070838.

<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2016GL070838>

[学会発表] (計8件)

1. 倉和臣, 角皆 潤, 中川書子, 大場武, 篠原宏志 (2017) 火山性流体中の水同位体組成に発見された負の三酸素同位体異常とその原因. 日本火山学会 2017年度秋季大会, 熊本大学黒髪南キャンパス, 2017年9月21-23日.

2. 大野鷹士, 森俊哉, 鋤柄千穂, 中川書子, 角皆 潤, 篠原宏志, 森田雅明 (2017) 火山噴煙中の二酸化炭素の $\delta^{18}\text{O}$ ・水素分子の $\delta\text{D}$ 測定による噴気温度および火山ガス由来の水の $\delta\text{D}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 推定の試み. 日本火山学会 2017年度秋季大会, 熊本大学黒髪南キャンパス, 2017年9月21-23日.

3. 角皆 潤 (2017) 軽元素安定同位体比の高感度分析に基づく地球環境科学研究の新展

開. 2G07, 2017年度日本地球化学会第64回年会, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2017年9月13-15日.(学会賞受賞記念講演).

4. 大場武, 谷口無我, 代田寧, 角皆 潤, 鋤柄千穂 (2017) 箱根山火山ガスの時間変化とその解釈, SVC47-14, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ国際会議場, 2017年5月20-25日.

5. 角皆 潤, 程林, 小松大祐, 中川書子, 篠原宏志 (2016) 水素同位体交換平衡を利用した火山噴気温度の遠隔測定: 航空機を用いた噴煙観測の将来性. 2016年度質量分析学会同位体比部会, 秋田温泉さとみ, 2016年11月16-18日.

6. 高橋幸士, 角皆 潤, 中川書子 (2016) 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の遠隔温度測定. 2016年度質量分析学会同位体比部会, 秋田温泉さとみ, 2016年11月16-18日.

7. 倉和臣, 角皆 潤, 中川書子 (2016) CRDS法による水の三酸素同位体組成測定. 2016年度質量分析学会同位体比部会, 秋田温泉さとみ, 2016年11月16-18日.

8. 高橋幸士, 角皆 潤, 栗田直幸, 中川書子 (2016) 火山噴気中の水蒸気の遠隔同位体比測定法の開発. 3P31, 2016年度日本地球化学会第63回年会, 大阪市立大学杉本キャンパス, 2016年9月14-16日.

[図書] (計0件)

[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

<http://biogeochem.has.env.nagoya-u.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

角皆 潤 (TSUNOGAI URUMU)

名古屋大学大学院環境学研究科・教授

研究者番号: 50313367