

令和元年6月25日現在

機関番号：87401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00536

研究課題名(和文) 火山・地熱由来水銀の放出量及び拡散量の推計を目的とした安価な長期観測手法の開発

研究課題名(英文) Development of simple and low-cost method for the screening of mercury emission and diffusion from volcanic and geothermal areas

研究代表者

丸本 幸治 (Marumoto, Kohji)

国立水俣病総合研究センター・その他部局等・室長

研究者番号：90371369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大気中水銀の主要な放出源の一つである火山・地熱地域における小型の無人飛行機(ドローン)を用いた火山ガス中の水銀及び二酸化硫黄のサンプリング方法と気中水銀測定デバイスである水晶振動子式水銀分析器の適用性を調べた。調査は阿蘇中岳第一火口と南九州の噴気地帯で行った。結果として、ドローンによる飛行観測に関して詳細な知見が得られるとともに、火山活動の指標として火山ガス中の水銀が二酸化硫黄と同等の有用性があることを見出した。また、阿蘇火山噴火時の火山灰中の水銀濃度と火山性微動との高い正の相関性も明らかにし、火山活動の状況を知る上で火山噴出物中の水銀濃度が有用な情報となり得ることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、ガスや灰などの火山噴出物中の水銀濃度が火山活動の状況を知る上で有用な情報を与え得ることがわかった。従来の火山活動監視システムにこの新しい情報を加えることで火山・地熱の活動特性をより正確に把握できることが期待され、火山噴火による災害の防災もしくは減災の一助となる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：To obtain the knowledge on behaviors of mercury (Hg) emitted from volcanic and geothermal activities, we try to measure Hg and SO₂ in volcanic gases using a drone with a simple gas sampling system for them and a quartz crystal microbalance for Hg. From the results of the several observations at Aso Nakadake 1st crater and a geothermal area in the Southern Kyushu, we obtained the abundant experiences on an equable flight of the drone under harsh environments with strong upward and cross winds including acid volcanic gases. In the volcanic gases, the Hg concentrations were positively correlated with SO₂ concentrations. Furthermore, the measurement of Hg concentrations in volcanic ash emitted from the eruption of Mt. Aso revealed that they had a significant positive correlation with the velocity amplitude of the volcanic tremor. These findings suggested that the Hg concentration in volcanic ejecta is one of the useful indicators for evaluating the volcanic and geothermal activities.

研究分野：環境化学

キーワード：水銀 火山 火山性ガス 火山灰 ドローン 水晶振動子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

火山・地熱地域には金属鉱床が多く存在し、とりわけ日本では熱水性鉱床が多く分布している。熱水性鉱床は地下のマグマの生成・上昇がもたらす高温の熱水溶液が岩石の空隙内に沈殿し、熱水に含まれる金属が濃集することで生成しており、金や銀、銅、亜鉛、鉛などが産出する。また、水銀 (Hg) もこのような熱水の作用に伴って移動する化学物質の一つであり、他の金属にはない高い揮発性を有することから、地表付近まで到達しやすい。そのため、火山・地熱地域もしくはその付近の大気中 Hg 濃度は一般大気中の濃度よりも高く¹⁾⁻²⁾、分析技術の向上に伴い、Hg の計測による金属鉱床探査及び地熱探査、並びに温泉調査が実施されるようになった³⁾⁻⁵⁾。すなわち、火山ガス及び噴気ガス、並びに熱水中の Hg は火山・地熱活動の指標成分の一つとして注目されている⁶⁾。火山活動による Hg 放出量は火山ガス中の Hg と二酸化硫黄 (SO₂) の比 (Hg/SO₂) と SO₂ の放出量から概算するのが一般的である。Varekamp and Buseck (1986)⁷⁾ はハワイ諸島の Kilauea 火山、メキシコの Colima 火山、アメリカ西部の Cascade 火山、イタリアの Etna 火山において SO₂ 濃度と Hg 濃度を同時に観測し、それらのデータから火山活動による Hg の全球放出量を 890 ton yr⁻¹ と推計している。一方、Nriagu and Becker (2003)⁸⁾ は 1980 年～2000 年の Hg/SO₂ 比のデータを基に火山噴火と火山ガスによって放出される Hg の全球放出量を 112 ton yr⁻¹ と見積もっている。彼らが地域ごとに推計した日本と北アジアの年間 Hg 放出量 3.4 ton⁸⁾ と、日本の地熱地域から 1 年間に放出される Hg 量の推計値 1.4 ton⁹⁾ と合わせると、日本の火山・地熱活動による Hg 放出量は約 5.0 ton yr⁻¹ となる。この値はわが国の人間活動による Hg 放出量 21～29 ton yr⁻¹ (2005 年統計値ベース)¹⁰⁾ の約 15～25% に相当し、決して無視できる量ではない。また、水俣条約による人間活動由来 Hg の放出量削減効果を検証するためには、自然要因による放出量の正確な推計が重要である。日本列島には大小様々な火山・地熱地帯があり、阿蘇山や桜島、御嶽山など現在も活発に活動しているものも少なくない。そのため、我が国では火山・地熱活動による Hg 放出量についてより詳細な調査を行う必要がある。

一般に、ガス中の Hg 濃度を計測するには、ポンプによりガスを一定時間吸引し、過マンガンカリウム溶液もしくは金アマルガム捕集管にガス中 Hg を吸収・吸着させる。そして、それらを実験室に持ち帰り、水銀分析計を用いて含まれる Hg 量を計測する。この方法はアクティブサンプリング法と呼ばれるが、火山・噴気ガスに適用する場合は試薬や捕集管への酸性ガスの影響等によりサンプリング時間を数十分～数時間と短くする必要があり、長期的な観測を行うには捕集管や捕集溶液を頻繁に交換しなければならない。そこで、捕集から Hg 分析までを自動で行う連続モニターを利用することも考えられるが、高価 (数百万円) であり、火山・地熱地域では電源の確保も困難であることが多い。また、特に日本国内では多くの火山・地熱地帯が国立公園に指定されていることから、各種許可や入山規制などにも対応しなければならない。そのため、現実的には連続モニターの導入は困難である。一方、多地点で同時に長期間の観測を行うには安価なパッシブサンプラーを用いる方法がある。この方法ではサンプラー内に金アマルガムもしくは活性炭のフィルターを取り付け、1 週間から 1 ヶ月の間大気中に曝露する。サンプラー回収後にフィルターに付着した Hg 量を計測することにより濃度に関する情報が得られる。すなわち、捕集した Hg 量と気象条件等を考慮して実際の Hg 濃度に換算する。アクティブサンプラーとの並行試験は必要であるが、多地点において長期的な平均濃度データを得ることができる。しかしながら、曝露期間中の濃度変動に関する情報は得られないため、火山・地熱活動との明確な因果関係を特定することは困難である。近年、水晶振動子の電極表面への吸着質量変動を周波数変動に変換する検知手法 (QCM: Quartz Crystal Microbalance) が開発され、Hg の場合、水晶振動子の金電極と気相中 Hg とのアマルガム反応を利用したセンサ (以下、QCM-Hg センサ) の開発も進められている¹²⁾。この QCM-Hg センサは水晶振動子の金薄膜素子に Hg が付着するとその付着量に比例して振動数が変動する。また、振動数の時系列変動も記録できるため、曝露している間の振動数変動から Hg 濃度の時系列変動に関する情報も得られる。さらに、直径僅か 5mm 程度と小型であり、比較的安価であることから、小型の無人飛行機 (ドローン) 等に搭載することで人の立ち入りが制限される地点での観測にも応用できる。

2. 研究の目的

本研究では、QCM-Hg センサを使用して火山・噴気ガス中 Hg 計測への適用性評価を行い、長期的な観測及びドローンによる飛行観測に必要な改良を行うことを目的とする。また、年複数回の集中観測を行い、年単位の水銀放出量をより正確に推計する上で基礎となる知見を得るとともに、火山・地熱活動と Hg の濃度及び放出量との関係や周辺への拡散量を明らかにする。

3. 研究の方法

九州地方の火山・地熱地域において QCM-Hg センサと従来法である金アマルガム捕集法による Hg 濃度計測を行い、それらの値を比較して QCM-Hg センサの妥当性を評価した。同時に QCM-Hg センサへの妨害成分の影響を把握し、影響がある場合は必要な対策について検討した。また、Hg の放出量及び周辺の大気拡散量を推計する上で基礎となる知見を得るため、年数回程度の集中観測を行った。さらに、火山・地熱地域のホットスポットなど人の立ち入りが制限されている地点について QCM-Hg センサを搭載したドローンによる観測手法を検討した。一方、阿蘇火山における火山活動と Hg 放出量との関連性を調べる一環として 2014 年～2016 年の噴火により放出された火山灰に含まれる Hg 等化学物質の濃度を計測した。これらの Hg 観測データと火山活

動の指標となる地震波観測等によるデータとの関係性を調べることにより、火山活動監視への Hg 計測の有効性についても検討した。

QCM-Hg センサには、正面断面積を小さくした棒状の形状（ストレートタイプ）とできる限り小型軽量化した円盤タイプのものがある（図 1）。ストレートタイプには温度、湿度、気圧センサのほか、移動体への取り付けも考慮し、3 軸加速度センサも内蔵されている。また、ガスセンサとして QCM センサ 2ch も搭載し、アナログ入力（4ch）も装備している。測定したデータは市販のマイクロ SD メモリカードに csv 形式（テキスト）で記録され、汎用の表計算ソフトでのデータ処理が可能である。動作電源は DC5V であるため、USB 等からの供給を受けられる。また、電池等でも動作可能である。一方、円盤タイプは、直径約 25mm 程度の 500 円硬貨と同等の大きさでありながら、温度、湿度、気圧、QCM1ch の各センサを内蔵している。また、内蔵メモリにデータを記録して専用の接続器を介して PC でデータ回収し処理可能である。このセンサユニットは小型化を優先したため、この基板にこれ以上のセンサ搭載はできないが、同一サイズの基板をサンドイッチのように必要数接続することで機能を増やすことができる。つまり、他のセンサを接続するためのアナログ入力や半導体式ガスセンサ、無線ユニットによる遠隔でのデータ確認も可能となる。電源は、ボタン電池 1 個（3.3V）で動作するものであり、基本基板についてもこのボタン電池のみの使用で約 1 ヶ月程度連続測定が可能である。そのため、データの取得間隔等の測定条件に依存するが、小型の太陽電池と二次電池を組み合わせることにより 1 年程度の長期観測も可能である。これらの QCM-Hg センサによる気中 Hg 濃度の測定範囲は、研究開始当初には $1 \mu\text{g m}^{-3}$ 以上であったが、いくつかの改良により $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 程度まで測定可能となっている。過去の報告では、火山ガス中 Hg 濃度は数 $\mu\text{g m}^{-3}$ ~ 数十 $\mu\text{g m}^{-3}$ であるため⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾、QCM-Hg センサによる検知が十分に可能であることが予想される。

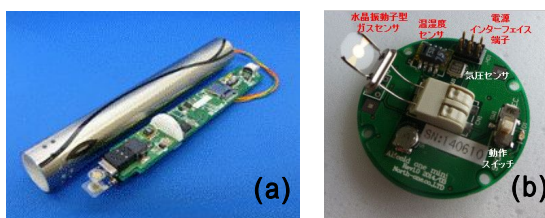


図 1 QCM-Hg センサユニット (a)ストレートタイプ、(b)円盤タイプ

QCM-Hg センサの有効性評価のために、従来法である金アマルガム捕集法との並行観測を実施した。使用した機器は現場測定が可能な可搬型の金アマルガム捕集 - 冷原子吸光計（日本インスツルメンツ社製 EMP-2 Gold⁺）である。また、ドローンによる飛行観測等では金アマルガム捕集管と吸引ポンプを使用した小型のサンプリング装置も併用した。捕集管は実験室に持ち帰った後、含まれる Hg 量を捕集管加熱炉付 - 金アマルガム捕集 - 冷原子吸光分析計（日本インスツルメンツ社製 RH-MA: MA2000）により計測し、Hg 測定値と大気吸引量から Hg 濃度を計算した。さらに、火山活動の指標として有用である火山ガス中 SO_2 濃度も計測するため、 SO_2 捕集用フィルターユニット（フィルターは小川商会から購入）の適用性についても検討した。使用したフィルターは実験室に持ち帰った後、分析まで冷暗所に保管した。フィルターに含まれる SO_2 は超純水 20mL 中に超音波抽出し、孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のディスクフィルターでろ過した後、過酸化水素を加えることで SO_2 のすべてを硫酸 SO_4^{2-} に変換し、イオンクロマトグラフィー（Thermo 社製 ICS1500）により SO_4^{2-} 濃度を定量した。

一方、2014 年 11 月 25 日から 2015 年 5 月 21 日までの期間（第一次降灰期間）と 2015 年 9 月 14 日から 2016 年 2 月 18 日までの期間（第二次降灰期間）には噴火により大量の火山灰が阿蘇山周辺に降り積もった。中岳第一火口から南南東に約 5km の高森町色見において定期的に採取された火山灰について、その Hg 濃度を加熱気化-金アマルガム捕集 - 冷原子吸光分析計により計測した。また、火山灰試料 10 ~ 30 mg を超純水 25ml に入れて超音波抽出後、 $0.45 \mu\text{m}$ のフィルターでろ過したる液中のイオン成分 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} を計測した。

4. 研究成果

(1) 南九州の噴気地帯における QCM-Hg と従来法との並行観測

はじめに、南九州の噴気地帯において放出される Hg が周辺の大気環境に与える影響について調べるため、気中 Hg 濃度を鉛直方向に 4 高度で測定した。現場観測及び試料採取は 2016 年 11 月 8-9 日に実施した。噴気口内における Hg 濃度は $21.8 \mu\text{g m}^{-3}$ であり、一般大気濃度に比べて約 1 万倍高かった。しかし、地上から 0.1 m の高度では約 30 ng m^{-3} まで低くなっており、高度 1.5 m では $10 \sim 20 \text{ ng m}^{-3}$ であった。噴気地帯から数百 m 離れた場所における大気中 Hg 濃度は約 8 ng m^{-3} であり、一般大気濃度よりは高かった。このことから、噴気地帯で放出される Hg はその周辺に拡散しているが、影響の程度はそれほど大きくないといえる。次に、QCM-Hg の性能評価のため、噴気口から近い A 点とそこから 1m ずつ離れた B~D 点の土壌を N パッカーというお椀状のもので覆い⁵⁾、その中の気中 Hg 濃度を計測することで QCM-Hg の値と従来法との値を比較した（図 2）。その結果、濃度値は異なっているが、両者の間には極めて良い相関関係があることが確認された。QCM-Hg センサの濃度は、実験室内における既知濃度の標準ガスと振動

数変動の関係から計算しているものであり、今後は現場での共存ガスの影響やそれに伴う校正値の変化などを検討し、値のずれの原因を明らかにしていく必要がある。しかしながら、このような良好な関係が得られるようになったことは評価できる。

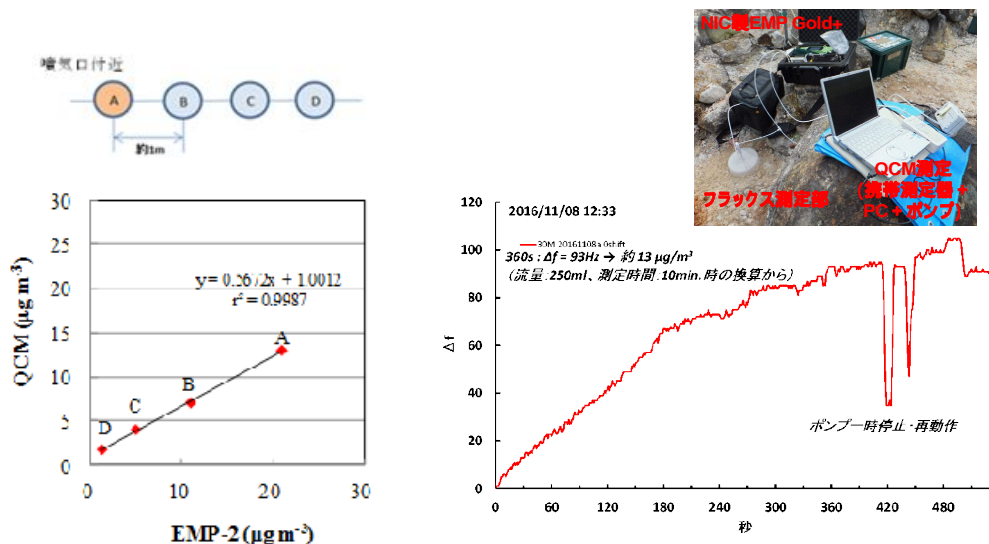


図2 QCM-Hg センサと従来法（金アマルガム捕集 - 冷原子吸光法）との並行観測結果（左）と噴気口 A における QCM-Hg センサによる振動数の測定結果（右）

(2) ドローンを使用した阿蘇火口及び噴気地帯上空の火山ガス中 Hg 及び SO_2 の計測

火山地帯からの Hg 放出量の推定方法について検討するため、2017 年 10 月に阿蘇中岳第一火口縁において気中 Hg の集中観測を実施した。また、ドローンに QCM-Hg センサと従来法である金アマルガム捕集システムを搭載し、火口の湯だまりの上空約 100m の気中 Hg 濃度を調べた。従来法による測定により、火口上空の気中 Hg 濃度は $60 \sim 90 \text{ ng m}^{-3}$ であり、火口縁における濃度 $2.89 \pm 0.18 \text{ ng m}^{-3}$ ($N=3$) よりも高かったが、QCM-Hg センサの検出可能濃度よりも低いことがわかった。しかしながら、同センサには気温、湿度、気圧のセンサとデータロガーも搭載されているため、従来法である金アマルガム捕集システムと併用して使用し、環境情報も得る方法を採用した。2018 年 8 月にも同様の観測を実施したが、火口上空の気中 Hg 濃度は $6 \sim 16 \text{ ng m}^{-3}$ であり、前回の観測で得た濃度よりも低かった。火口縁での気中 Hg 濃度 $2.13 \pm 0.16 \text{ ng m}^{-3}$ ($N=8$) も一般大気に比べて 0.5 ng m^{-3} 程度高いだけであることから、観測点の位置と風向きとの関係もあるが、火山ガス中 Hg 濃度の影響範囲は極めて限定的である可能性が示唆された。また、ドローンの使用にあたっては、防災無線やポンプ等からの電波干渉及び火口付近の複雑かつ強い風、並びに水蒸気の影響に関する課題が抽出された。これらの課題のいくつかはすでに対処が可能であることもわかっており、将来的にドローンを用いた火山ガスの自動サンプリング技術を開発していく上で貴重な経験となった。

阿蘇火口上空での観測では、阿蘇市防災会議協議会の許可を申請して実施しているが、許可時間は一般観光客が立ち入らない早朝と夕方に限られる。そのため、事実上夏の期間しか観測ができない。そこで、南九州の噴気地帯においても阿蘇山火口と同様の観測を実施した。この観測では SO_2 の捕集も行うため、事前に SO_2 捕集フィルターから Hg が検出されないことを確認し、火山ガス中の Hg と SO_2 の同時サンプリングシステムを構築した。同システム及び QCM-Hg センサ、並びに半導体ガスセンサをドローンに搭載し、噴気地帯上空の飛行観測と地上での両成分の観測を計 7 回実施した。その結果、噴気地帯の地上付近では水銀濃度と二酸化硫黄濃度が極めて高い相関関係を示したが (図 3a)、上空での両者の相関関係はみられなかった (図 3b)。

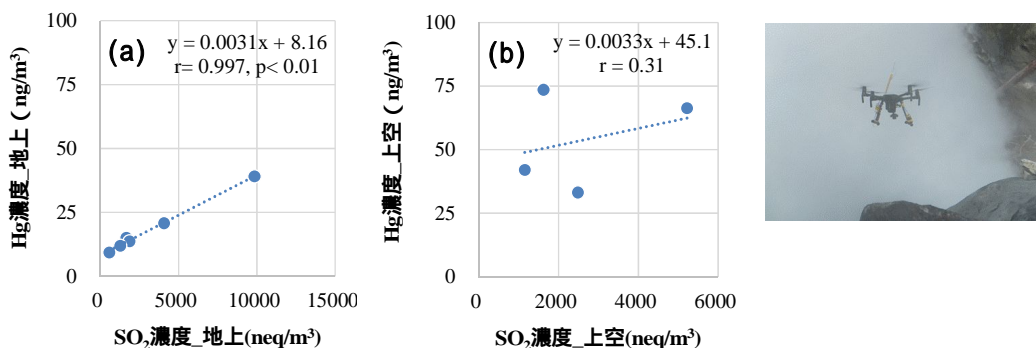


図3 噴気地帯における火山ガス中の水銀と二酸化硫黄濃度の関係 (a)地上、(b)上空

このことは、両者の水に対する溶解度の差が影響していると考えられる。すなわち、高温の火山ガスが上空の大気と混合することで低温となり、発生した水蒸気に SO_2 が溶けていることが示唆され、Hg は水に対する溶解度が極めて低いため、水蒸気による影響を受けにくく、濃度変動はガス混合による希釈効果のみに依存する。このことは、火山活動の監視において火山ガス中の Hg 計測がより有効であることを示唆するものである。将来的にはドローンにガスサンプリングシステムと QCM-Hg センサを搭載させ、定期的に火山ガスの採取と Hg 及び SO_2 の分析を行うことにより、火山活動の状況に関する有用な情報を得ることが可能になるとと思われる。

(3) 2014-2016 年の阿蘇火山噴火における火山灰中 Hg 濃度変動と火山活動との関係

第一次降灰期間に採取された火山灰中の総 Hg 濃度の平均値は $1.7 \pm 0.9 \text{ ng g}^{-1}$ ($N=36$) であり、最大値 3.8 ng g^{-1} 、最小値 0.3 ng g^{-1} であった。この値は桜島から放出された火山灰中の Hg 濃度¹⁶⁾ や桜島の土壌の火山灰堆積層における Hg 濃度¹⁷⁾ よりも低かった。一方、第二次降灰期間に採取された火山灰中の総 Hg 濃度は $220 \pm 88 \text{ ng g}^{-1}$ ($N=5$) であり、第一次降灰期間における火山灰と比べて約 100 倍高い濃度であった。また、火山灰中の SO_4^{2-} や F、 Ca^{2+} の濃度についても第一次降灰期間に比べて第二次降灰期間の火山灰での濃度が数～数十倍高かった。第二次降灰期間に採取された火山灰の含水率は 5～10% であり、第一次降灰期間における火山灰の含水率 1% 以下に比べて高かった。第一次降灰期間の噴火はマグマ爆発によるものであり、2015 年 9 月以降の第二次降灰期間の噴火では阿蘇火口に湯だまりがあったことが確認されていることから、マグマ水蒸気爆発であったと推定されている。このことから、噴火のタイプにより火山灰中の Hg やイオン成分の濃度が大きく変動することがわかった。マグマ爆発とマグマ水蒸気爆発では爆発時に放出されるガスの温度が異なることが予想されるため、より温度が低いマグマ水蒸気爆発のときに、ガスから粒子への分配量が多く、粒子側である火山灰の化学成分濃度が高くなったと考えられる。ところで、図 4 に示したように、第一次降灰期間において火山性微動の振幅が大きく、火山活動が活発化していると推定される 2015 年 1 月末から 2 月初めには、火山灰中の総 Hg 濃度や SO_4^{2-} 濃度も高くなっていった。そのため、火山灰中の化学成分濃度の変動と火山活動との間に関連性があることが示唆された。火山性微動が大きく、活動が最盛期のときにはマグマ本体に直接由来する粒子が放出されやすくなる。しかしながら、Hg や SO_2 の大部分は高温の火山ガスとともにガス態として放出されていることが予想され、火山灰中のこれらの濃度はガス粒子分配により規定されていると推察される。

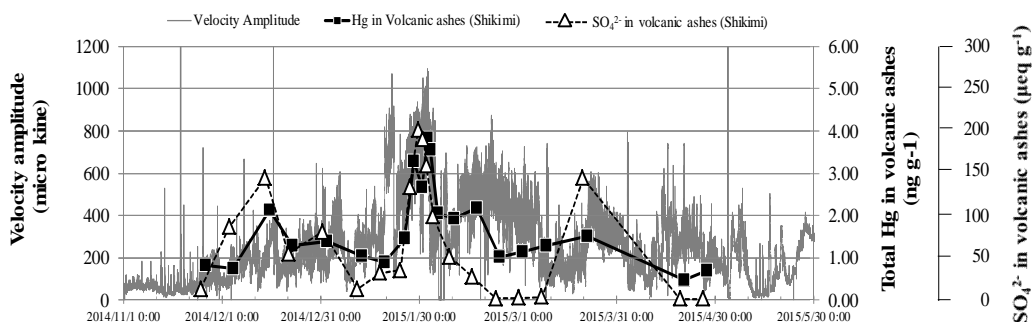


図 4 第一次降灰期間における火口付近の火山性微動と火山灰中総水銀濃度及び水溶性イオン濃度の時系列変動

以上の(1)～(3)の結果により、ガスや灰などの火山噴出物中の Hg 濃度が火山活動の状況を知る上で有用な情報を与え得ることがわかった。従来の火山活動監視システムにこの新しい情報を加えることで火山・地熱の活動特性をより正確に把握できることが期待され、火山噴火による災害の防災もしくは減災の一助となる可能性がある。

< 引用文献 >

- 1) 及川ほか (1976) 日本公衆衛生学会 23(10), 659-663.
- 2) Siegel, B.Z. and Siegel, S.M. (1978) Environ. Sci. Technol. 12(9), 1036-1039.
- 3) 椎川 (1971) 日本鉱業会誌 87, 538-542.
- 4) 椎川ほか (1990) 応用地質年報 12, 67-82.
- 5) 野田徹郎ほか (1993) 日本地熱学会誌 15(3), 207-230.
- 6) 野田徹郎 (2008) 地球環境 13, 227-236.
- 7) Varekamp, J.C. and Buseck, P. R. (1986) Applied Geochemistry 1, 65-73.
- 8) Nriagu, J. and Becker, C. (2003) The Science and the Total Environment 304, 3-12.
- 9) Nakagawa, R. (1999) Chemosphere 38(8), 1867-1871.
- 10) 環境省 (2009) 平成 20 年度第 1 回「有害金属対策基礎調査検討会」資料.
- 11) 丸本ほか (2013) 平成 24 年度国立水俣病総合研究センター年報 33, 123-127.
- 12) 野田, 愛澤 (2012) 産業と環境 41, 42-46.
- 13) 福崎ほか (1983) 地球化学 17, 10-15.
- 14) 中川 (1984) 日本化学会誌 5, 709-715.
- 15) Sakamoto et al. (2003) Bull. Volcanol. Soc. Japan 48, 27-33.
- 16) 坂元隼雄 (2011) Nature of Kagoshima 37, 127-135.
- 17) Tomiyasu, T. et al. (2003) The science of the total environment 304, 221-230.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

Marumoto, K., Sudo, Y., Nagamatsu, M., Collateral variations between the concentrations of mercury and other water soluble ions in volcanic ash samples and volcanic activity during the 2014-2016 eruptive episodes at Aso volcano, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 査読有, Vol.341, 2017, pp. 149-157, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.022>

新村太郎、丸本幸治、野田和俊、ドローンの進化と火山活動観測への活用の試み、熊本学園大学論集『総合科学』、査読無、Vol. 24、No.2、2019、pp. 1-17

[学会発表](計 7件)

丸本幸治、須藤靖明、永松允積；2014-2015年の阿蘇火山噴火における火山灰中水銀濃度変動と火山活動との関係。第57回大気環境学会年会、2016年9月。

野田和俊、丸本幸治、愛澤秀信、駒井武、中村謙吾；「水銀に関する水俣条約」に対応したオンサイト測定システムの開発。平成28年度資源・素材関係学協会合同秋季大会、2016年9月。

野田和俊、丸本幸治、愛澤秀信、谷田幸次、渡辺朋亮；水俣条約に対応するオンサイト水銀検知システム。第33回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、2016年10月。

丸本幸治、野田和俊、谷田幸次、渡辺朋亮、新村太郎；水晶振動子式水銀検知センサを用いた噴気地帯における気中水銀の簡易測定手法の検討。第58回大気環境学会年会、2017年9月。

野田和俊、丸本幸治、新村太郎、須藤靖明；IoTセンサユニットと小型無人航空機を活用した火山帯ガス測定システム。平成30年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会、2018年7月。

野田和俊、丸本幸治、新村太郎；IoTセンサユニットと小型無人航空機を活用した火山帯ガス測定システム()、令和含年度電気学会E部門総合研究会、2019年7月。

丸本幸治、野田和俊、新村太郎；ドローンを使用した火山性ガス中の水銀と二酸化硫黄の鉛直濃度分布観測。第60回大気環境学会年会、2019年9月。

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：新村 太郎

ローマ字氏名：(SHINMURA, taro)

所属研究機関名：熊本学園大学

部局名：経済学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10352395

研究分担者氏名：野田 和俊

ローマ字氏名：(NODA, kazutoshi)

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：エネルギー・環境領域

職名：主任研究員

研究者番号(8桁)：60357746

(2)研究協力者

研究協力者氏名：須藤 靖明

ローマ字氏名：(SUDO, yasuki)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。