

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14806

研究課題名（和文）ドローンを活用した噴火時に有用な火山ガス組成観測システムの開発

研究課題名（英文）Development of a measurement system for volcanic gas compositions using an unmanned aerial vehicle

研究代表者

森田 雅明（Morita, Masaaki）

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：40805149

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：火山ガス組成は、マグマや熱水系の温度圧力の変動を反映して変動するため、その観測は火山活動の推移予測に重要である。本研究では、噴火時に迅速に火山ガス組成を観測できるように、ドローン搭載型の小型軽量の火山ガス組成観測装置（Multi-GAS）を開発した。開発した装置は、タテ・ヨコ・高さが35 cm x 20 cm x 11 cm、重量が1.2 kgであり、使用した小型の産業用ドローンDJI Matrice 200 V2で吊り下げ可能なものである。この装置を使用して、霧島硫黄山での試験観測を行い、火口近傍で別に測定した火山ガス組成と同等のデータを取得することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火山活動の推移予測のためには、活動が静穏な時から噴火時まで、切れ目なく火山観測を実施することが重要である。とくに、火山ガス組成は、地下の状況をダイレクトに判断できる観測項目ですが、噴火時には火口へ近づけないため、噴火時の観測は不十分な状況でした。本研究では、ドローンに搭載可能な小型軽量の火山ガス組成観測装置を開発しました。試験観測の結果、従来の大型な装置と遜色ない観測が実施できることを確認しました。今後、火山活動のモニタリングに活用していくことができるよう、整備・配備を進めていきます。

研究成果の概要（英文）：Observation of volcanic gas composition is important for predicting changes in volcanic activity because it reflects changes in the temperature and pressure of magma and hydrothermal systems. In this study, we developed a compact and lightweight drone-mounted Multi-GAS to quickly observe volcanic gas composition during eruptions. The size of the Multi-GAS was 35 cm x 20 cm x 11 cm and 1.2 kg in weight and can be hung by the DJI Matrice 200 V2, a small industrial drone used in this study. We conducted test observations at Kirishima Iwoyama volcano using this device and obtained data equivalent to volcanic gas compositions measured simultaneously near the crater.

研究分野：火山学

キーワード：火山ガス組成 噴火 ドローン Multi-GAS

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

火山活動推移の予測・評価のためには、噴火事象の進展を理論的に解釈する必要がある。近年、提案者のグループで開発された観測装置 (Multi-GAS: Shinohara, 2005, JVGR) により、火山ガス組成の連続観測が可能となり、火山活動推移にともなう火山ガス組成変化が明らかとなってきた。この解釈として、深部マグマ溜まりからの火山ガス供給の増加が、噴火発生の要因であると提唱されている (Aiuppa et al., 2009, JVGR; de Moor et al., 2016, EPSL)。しかし、噴火時の測定には危険がともなうため、実際の測定例は非常に限られており、火山活動推移の評価に用いるにはデータが不足している。現状では、噴火に関連する火山ガス組成変化が観測されても (Mori et al., 2016, EPS), 判断の根拠となるデータが不足しているため、火山活動推移の予測・評価に直結していない。噴火時にも火口近傍に接近できるドローン搭載型の観測システムを開発し、噴火時に放出される火山ガス組成を観測することにより、噴火発生の要因となった火山ガスの起源を明らかにする必要がある。

Multi-GAS は、内部に複数のガス濃度計を持ち、移流してきた噴煙によるガス濃度の上昇を測定することで、各成分の濃度上昇分の相関から濃度比 (組成) を算出するものである。現状使用されている Multi-GAS は、高精度なガス濃度計を使用している場合が多く、それをそのまま無人航空機に搭載するには、重量の制限がある場合が多い。一方で、ドローン搭載に特化した軽量の Multi-GAS も開発されているが (Mori et al., 2016, EPS), ガス濃度計の精度や安定性などの点で信頼性が低い場合があるほか、搭載できるガス濃度計の数が少ないため、火山ガスの主要成分を網羅的に測定できていない。このドローンの搭載可能重量 (ペイロード) とガス濃度計の精度・数のバランスを考慮した、高精度かつ多成分のガス濃度を測定可能なドローン搭載型 Multi-GAS を新規に開発することが求められている。

### 2. 研究の目的

火山活動推移の予測・評価に有用な、噴火時にも火口近傍に接近できるドローン搭載型の高精度・多成分の Multi-GAS 観測システムを開発し、噴火時に放出される火山ガス組成を観測することにより、噴火発生の要因となった火山ガスの起源を明らかにすることを目的とする。具体的には、噴火の頻発する阿蘇・霧島などの火山において、ドローンでの機動観測を連続観測と併用することで、火山活動推移にともなう火山ガス組成変化を明らかにする。その結果にもとづき、火山ガスの起源を推定することで、ドローン搭載型の火山ガス組成観測システムが火山活動推移の予測・評価に有用であることを実証する。

### 3. 研究の方法

#### (1) ドローン搭載型火山ガス組成観測システムの開発

現有する Multi-GAS 構成を参考に、ドローン用に最適化した装置を制作する。測定成分は、現有装置と同じく  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  とする。これらの成分を高精度で測定できる複数のガス濃度計をドローン (当初購入予定は DJI 製 Matrice 600 Pro であったが、研究実施中に DJI 製 Matrice 200 V2 に変更) の積載可能重量 (1.45 kg) 内で組み合わせる。

#### (2) 火山ガス組成の試験観測

完成した観測システムを用いて、火山ガス組成の試験観測を実施する。上記火山は水蒸気噴火という国内火山に典型的な噴火を頻発する火山であり、活発な火山活動下での観測を実施できる可能性が非常に高い。これらの火山では、本研究のドローンの飛行高度・時間・伝送距離の制限内でも、危険をとまわずに十分な観測が可能である。

#### (3) 観測データの解析による観測システムの評価

ドローン搭載型システムで観測した火山ガス組成の定量性を検証するため、現有の Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測を実施する。また、得られた火山ガス組成データをもとに、観測時の火山活動評価を実施する。この成果を通じて、本研究で開発した火山ガス組成観測システムが、火山活動推移の予測・評価に有用なツールであることを実証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 初号機の開発と試験観測 1 回目

完成した観測システムは図 1 のとおりである。使用したガス濃度計と各ガス濃度計の測定方式は以下の通りである。

- ・  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ : SBA-5 (PP Systems, Inc., アメリカ, それぞれ非分散赤外分光式および静電容量式)

- ・  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ : それぞれ KTS-512P, KHS-5TA (光明理化学工業, 日本, 電気化学式)

- ・  $\text{H}_2$ : SB-19 (NISSHA エフアイエス, 日本, 半導体式)

冷蔵用の発泡スチロールケース内に各ガス濃度計と制御ボード、ポンプ等を納めた。サイズは、タテ・ヨコ・高さが 16 cm x 21 cm x 14 cm で、重量は 0.6 kg であった。装置の制御とデータ収集には Lazurite Sub-GHz (ラピスセミコンダクタ, 日本) を用い、920 MHz 帯の無線通信に

より、観測データを操縦者がリアルタイムに監視できるようにした。

この観測システムを用いた試験観測を阿蘇山で、2021年2月24・25日に実施した。フライトは計5回実施し、阿蘇山の火口内にある主火孔や噴気の噴煙の中をフライトさせ、火山ガス組成を観測することができた(図2・3)。ただし、観測中に通信不良が散見されたほか、観測終了後に装置の破損・故障があり、ガス濃度計の校正を実施することができなかった。校正未実施のため、測定された組成は大幅にずれている可能性があるが、概ね2019-2020年の噴火活動時に比べてH<sub>2</sub>Oに富む組成であり、湯だまりの復活といった表面現象と整合的であった。装置の破損・故障および観測中の通信不良といった問題を解決するために、装置の構成を検討し直した。



図1 開発したMulti-GAS初号機



図2 阿蘇山での試験観測時の飛行経路(左)とフライトの様子(右)

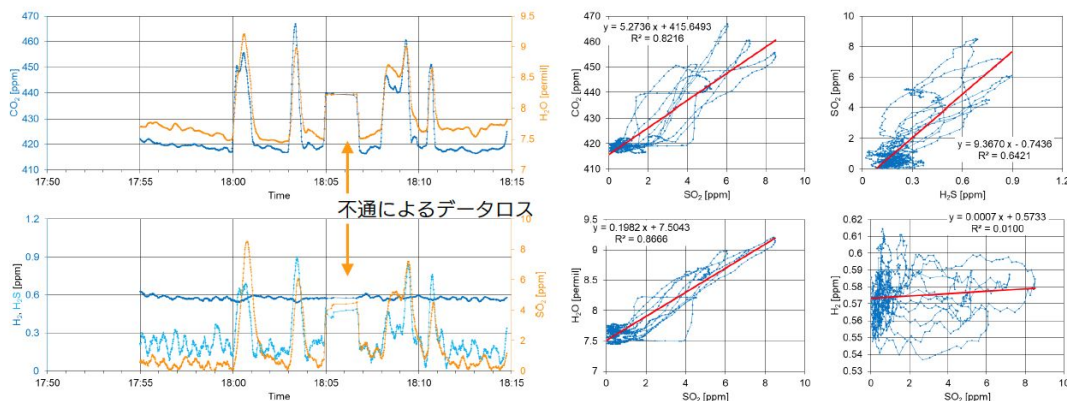


図3 阿蘇山での試験観測の結果。左が各ガス濃度の時系列変化、右が各ガス濃度の相関プロットに対応する。

### (2) 2号機の開発と試験観測2回目

初号機の改良点を踏まえて開発した2号機を図4に示す。使用したガス濃度計は初号機と同一であるが、筐体をポリプロピレン製コンテナに変更したほか、使用した制御ボードをArduino Uno R3 (Arduino, イタリア)に変更した。通信機能はカットしたものの、Arduino対応のSDカードシールドにデータを収録できるようにした。サイズは、タテ・ヨコ・高さが35 cm x 20 cm x 11 cmで、重量は1.2 kgであった。

試験観測を霧島硫黄山で2023年3月13・15日に実施した。実施にあたって、文部科学省の次世代火山研究人材育成コンソーシアム構築事業の協力を得て、実習の参加学生により試験飛行

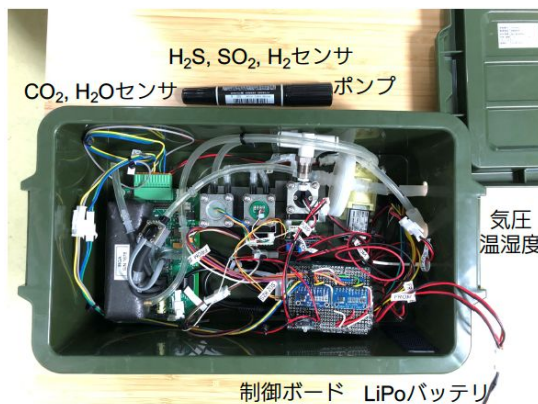


図4 開発したMulti-GASの2号機

を実施した。飛行経路およびフライトの様子を図 5 に示す。1 フライト 10 分程度で、噴煙近傍でホバリング飛行を行うか、噴煙を水平飛行で出入りさせ、計 8 フライトで主に噴気孔 H と噴気孔 Y2a を中心に測定を実施した。初号機のようなトラブルもなく観測を実施することができた。



図 5 霧島硫黄山での試験観測時の飛行経路（左）とフライトの様子（右）

観測結果の例を図 6 に示す。ドローン搭載型 Multi-GAS で測定された代表的な組成は、 $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  比は 1.8,  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比は 0.99,  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比は 0.0068,  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{S}$  比は 230 であった。この値は、同日に噴気 Y2a 近傍で測定した値とほとんど一致しており、ドローン搭載型 Multi-GAS が噴気近傍での観測と遜色ない結果を提供してくれることを示すことができた。

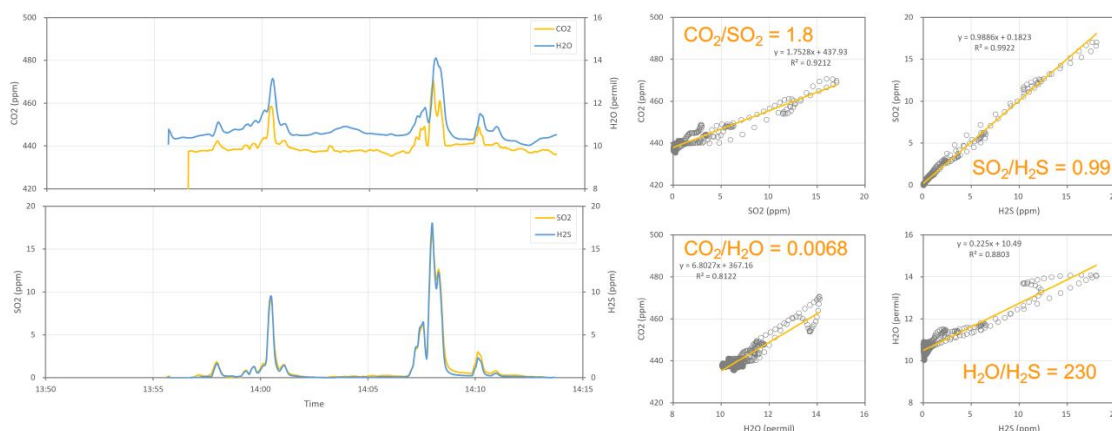


図 6 霧島硫黄山での試験観測の結果。左が各ガス濃度の時系列変化，右が各ガス濃度の相関プロットに対応する。

### (3) 観測データの解析による観測システムの評価

霧島硫黄山での観測結果は、過去の観測データ (Ohba et al., 2021, EPS; 森田ほか, 2019, 火山学会講演予稿集) と比較すると、霧島硫黄山の地下に存在する熱水系への高温火山ガスの供給率が増加していると解釈できる。これは、直近の地震回数の増加や、噴気 Y2a を中心とした湯だまりの増大などの表面現象と整合的である。観測直後の 2023 年 3 月 17 日には、噴気孔 Y2b で土砂噴出現象 (ごく小規模な水蒸気噴火) が観測されたことから、地下での高温火山ガスの供給増加が、この土砂噴出現象を引き起こしたと考えられる。このように、本観測システムにより、火山活動のモニタリングに有用なデータを得ることに成功した。

今後は、観測システムのさらなる軽量化や、無線通信機能の再追加などの改良を施す予定である。また、霧島山や阿蘇山、十勝岳などでの繰り返し観測に使用することで、火山活動のモニタリングにつながる重要なデータの蓄積を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森田雅明, 森俊哉
2. 発表標題 無人航空機搭載用の高機能Multi-GASの試作
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田雅明
2. 発表標題 無人航空機搭載用Multi-GASによる噴煙組成観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------