

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14819

研究課題名（和文）空振観測によるマグマ噴火と水蒸気噴火の分類手法の新提案

研究課題名（英文）Toward a classification of volcanic eruptions into the magmatic or phreatic events by infrasound observations

研究代表者

山田 大志（Yamada, Taishi）

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：60804896

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：火山噴火に伴う放出火山灰量 m と空気振動エネルギー E_{inf} の間に $m/E_{inf}=0.02-0.1$ という関係を見出した。適当な噴出物温度を仮定すると、 E_{inf} と噴煙浮力 F の間に $F/E_{inf}=0.3-3.5$ という関係が期待される。実際の噴煙到達高度からこの関係におけるマグマ噴火と水蒸気噴火の違いを検討した。噴出物中の水の蒸発による潜熱の寄与を考慮すると、水蒸気噴火の方が F/E_{inf} 関係が大きくなることが期待される。マグマ噴火（478例）の F/E_{inf} の平均は20.5、水蒸気噴火（8例）では18.9が得られた。大気中の水分量、地下における破砕を反映する地震動と地盤変動の評価が必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マグマ噴火と水蒸気噴火の識別は、火山活動の評価、見通しを議論する上で重要である。本課題の成果だけでは不十分であるものの、現地調査に依らない観測量に基づく識別方法を議論したという点では一定の意義があるものとする。また本課題が見出した放出火山灰量と空気振動エネルギーの関係は、火山噴火に伴う噴出物量の即時的な評価を可能にするものである。火山噴火の規模、誘発される噴火災害のポテンシャルを迅速な評価を可能にするという観点において社会的意義があり、今後も研究を進める。

研究成果の概要（英文）：The present study found an empirical relation between erupted tephra mass (m , kg) and infrasound energy (E_{inf} , J) as $m/E_{inf}=0.02-0.1$ at Sakurajima (Minamidake), Kuchinoerabujima, and Shinmoedake volcanoes. With the possible initial ash temperature range, we convert the relation into $F/E_{inf}=0.3-3.5$, where F is the initial buoyant force of the eruption cloud. We investigated the F/E_{inf} relation by estimating F from the maximum eruption cloud height, focusing on the difference between magmatic (mainly Vulcanian) and phreatic eruptions. Since latent heat of water vaporization in the erupted materials contributes to the eruption cloud buoyancy, one expects that phreatic eruption has a greater F/E_{inf} value than magmatic eruptions. Average values of F/E_{inf} are obtained for magmatic (478 events) as 20.5 and phreatic eruptions (8 events) as 18.9. Water content in the atmosphere can also play a role in the eruption cloud dynamics, which will be the next research target.

研究分野：火山物理学

キーワード：火山噴火 空気振動 噴煙

1. 研究開始当初の背景

申請者は近年国内で発生した噴火に伴う空気振動記録を解析し、噴煙の規模を評価する研究を実施していた。口永良部島や阿蘇山で発生した水蒸気噴火では1万メートル近い高度にまで噴煙高度が到達すると同時に、周期が10秒以上の帯域に優位な信号を持つ空気振動が励起される。一方で、桜島などで発生するマグマ噴火の一形態であるブルカノ式噴火の場合は噴煙到達高度が1万メートル級に達するのは稀であり、空気振動記録においても周期が1秒程度のより短周期の信号が卓越する。噴火現象と空気振動記録におけるこの違いは、両者の爆発過程の違いを反映しているのではと着想した。噴出物温度に着目すると、噴出直後は水蒸気噴火よりもマグマ噴火の方が高温であることが想定される。空気振動観測と熱赤外観測という二つの観点から、噴火様式の違いを観測量から判定するという研究計画を立案した。

2. 研究の目的

マグマ噴火と水蒸気噴火の違いを判定するために、空気振動記録と噴煙の熱的性質を検討し、両者の違いに対して物理過程に基づいた解釈を与える。最終的には空気振動観測のみからマグマ噴火か水蒸気噴火かの判定に資する指標を提案する。

3. 研究の方法

着想時は熱赤外観測による噴煙の熱的性質の評価を検討していたが、遠隔観測で噴煙の絶対温度を評価するのは容易ではない。また多くの火山には火口地形があり、熱的性質を最も保持すると思われる噴出直後の噴煙について直接観測がほぼ不可能である。

そこで、噴煙到達高度の観点から熱的性質の評価を試みた。噴煙を形成する火山噴火では、放出された噴出物中の熱量が大気中における浮力に変換され、噴煙は密度中立点である最大到達高度まで上昇する。一方で噴煙が水分を含む場合には、噴煙上昇時に水分が蒸発することで潜熱が発生するため、さらに噴煙浮力が増加することが期待される。

以上の内容から、放出火山灰量に対して噴煙到達高度から期待される噴煙浮力がどのような関係にあるかを検討した。もし水蒸気噴火において噴出物中に水蒸気が多く含まれるのであれば、水蒸気噴火ほど放出火山灰量に対しての噴煙浮力が相対的に大きくなるはずである。

主に対象とするのは桜島火山、口永良部島火山、霧島山新燃岳、諏訪之瀬島火山、メラピ火山である。これら火山における空気振動波形の例を図1に示す。

研究代表者は桜島火山に研究拠点があるため、キーとなる噴火現象について火山灰の採取が可能である。降灰状況などからも噴火の性質を検討する。

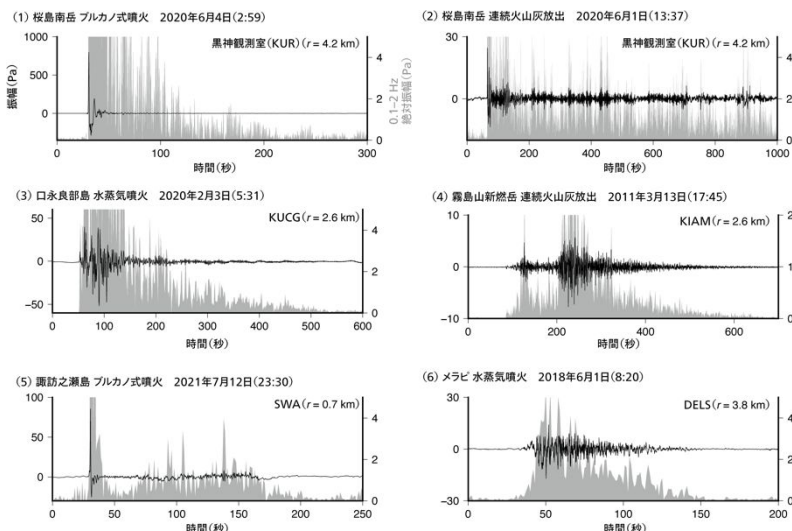


図1. 各火山における空気振動波形の例

4. 研究成果

まず、空気振動から放出火山灰量を推定可能かどうかを検討した。空気振動エネルギー E_{inf} (0.1-2Hz) と、放出火山灰量と対応関係にある地盤変動圧力源における収縮量[1]の関係を図2に示す。ここで対象としているのは、地盤変動圧力源の推定が可能な桜島火山(南岳, 2017年以降)と霧島山新燃岳(2011年)の例である。ブルカノ式噴火に伴う空気振動はガス放出を強く反映する増圧相が初動部に存在するため、増圧相の影響が少ない後続相からエネルギーを推定している。ばらつきが大きいものの、5桁程度の対数スケールで見れば両者は概ね一定の関係にあると言える。

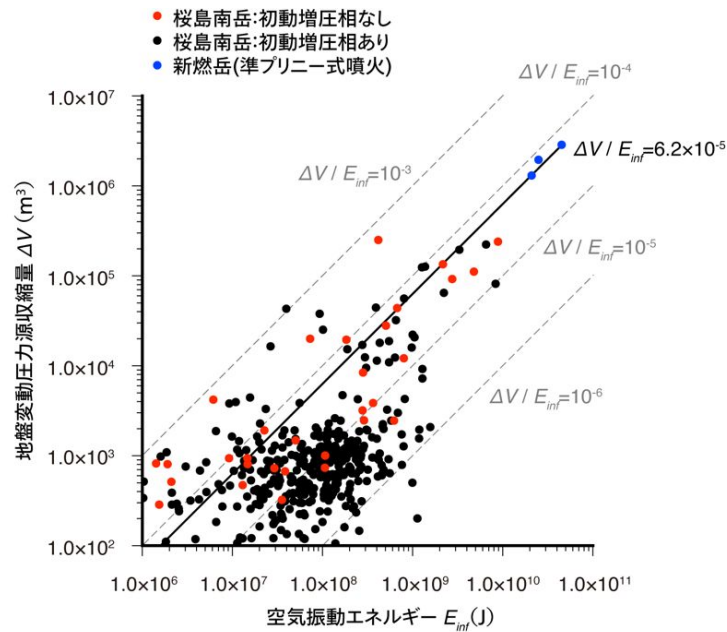


図2. 空気振動エネルギーと地盤変動圧力源収縮量の関係

次に、放出火山灰量推定のある噴火(桜島南岳, 口永良部島, 新燃岳)に対して、放出火山灰量 m と E_{inf} の関係を図3に示す。ここでも両者に一定の関係が見られることから、特にサンプリング数の多い桜島を中心に説明する $0.02-0.1$ の範囲を m/E_{inf} の代表値とする。

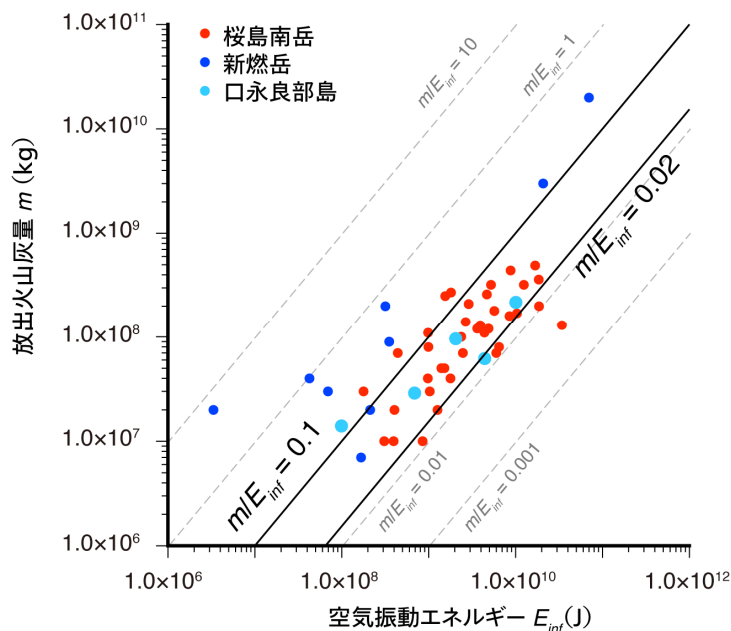


図3. 空気振動エネルギーと放出火山灰量の関係

放出火山灰量が推定できれば、適当な噴煙温度 (600-1000 K) を仮定することで、噴煙の上昇開始時の浮力が概算できる[2]。 $m/E_{inf}=0.02-0.1$ の関係を用いれば、 E_{inf} と浮力 F の関係は $F/E_{inf}=0.3-3.5$ となることが期待される。空気振動とは別の指標として噴煙到達高度を用い、到達高度から噴煙上昇開始時の噴煙浮力を推定する手法[3]に従い、噴煙浮力と放出火山灰量の関係を検討した(図4)。桜島南岳におけるマグマ噴火の場合は、478例の F/E_{inf} の平均値は20.57である。水蒸気噴火について口永良部島に加えてメラピ火山の2例を加えて検討すると、8例で0.1-55程度に分布し、その平均値は18.9となる。 F/E_{inf} の値の観点からは、期待したマグマ噴火と水蒸気噴火の違いは見られず、むしろマグマ噴火の方が比率がやや高いという結果が得られた。またマグマ噴火に分類される噴火であっても、桜島南岳、新燃岳の両者の分布に比べると、諏訪之瀬島の噴火は E_{inf} が小さい割に F が大きいという特徴がある。この点は火山毎の火口径の違いを反映している可能性があるが、本報告ではこれ以上言及はせず別の研究課題において議論することとする。

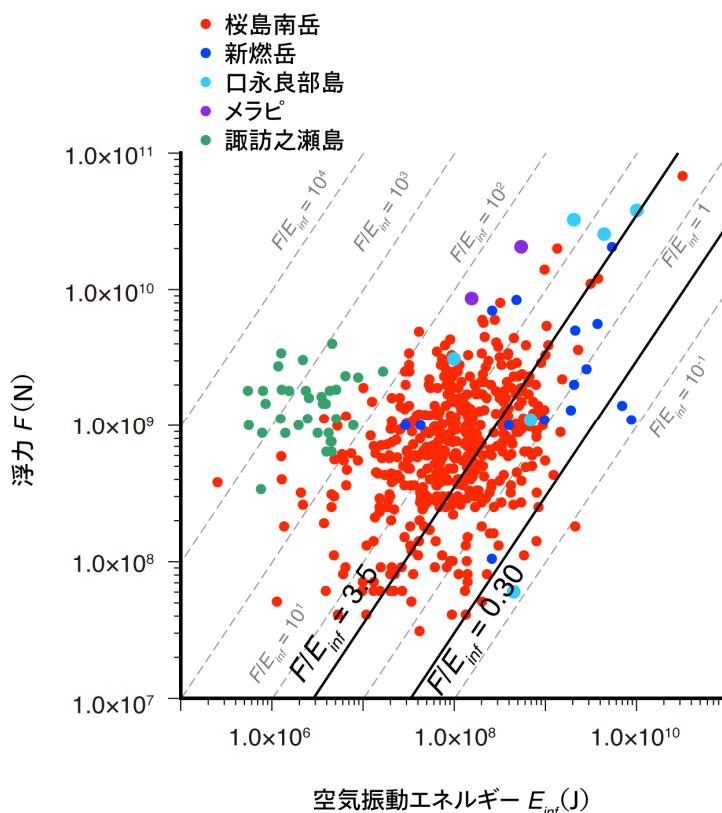


図4．空気振動エネルギーと噴煙浮力の関係

主にマグマ噴火に分類している桜島南岳の噴火事例の中にも、噴出物の観点から明瞭に水蒸気噴火と判断できるイベントが存在する。2020年8月9日(5:38)に発生した噴火は、1ヶ月以上の噴火休止期間と梅雨の降雨の後に発生している。この噴火の噴出物は水分を非常に多く含み、降灰域では泥のような落下跡が残されている(写真1)。採取した火山灰の化学的分析からは、火山ガスを吸着した水溶性成分の量が非常に多いため水蒸気噴火と判定される(東京工業大学、私信)。このイベントにおける F/E_{inf} の値は14.22であり、 F/E_{inf} の観点からは他のイベントと比べても特異な特徴があるとは言えない。

主に対象としている火山は、新燃岳とメラピを除けばいずれも周囲を海洋に囲まれており、内陸部に位置する火山と比べると大気中の水分が多い可能性がある。噴煙到達高度に基づく浮力推定に用いているモデルにも、噴煙上昇に対しての大気中水分の寄与は考慮されていない。火山灰や噴出物由来の水分量の情報を抽出する以前に、浮力に対しての大気場の水分量の評価が課題である。



写真 1 . 2020 年 8 月 9 日 (5 : 38) の噴火の噴出物に覆われた火山観測設備

F/E_{inf} という観点からはマグマ噴火と水蒸気噴火の明瞭な違いは見出せていないが、 F と E_{inf} の推定値自体については、水蒸気噴火（口永良部島，メラピ）の場合はそれぞれ 1.6×10^{10} N と 2.3×10^9 J という平均値が得られている．これは桜島における平均（ 1.2×10^9 N , 2.8×10^8 J）を一桁上回る．上で述べた桜島南岳の 8 月 9 日の水蒸気噴火の場合も、 F と E_{inf} はそれぞれ 1.4×10^{10} N と 9.8×10^9 J であり、やはり桜島南岳の他のイベントと比べると規模が大きい．つまり水蒸気噴火自体の最大到達高度、放出火山灰量、空気振動振幅がマグマ噴火の代表例としている桜島の個別のブルカノ式噴火、火山灰放出よりも大きい傾向にあると言える．水蒸気噴火の噴煙、空気振動の規模が比較的大きいという研究着想時の特徴が改めて確認されたことになる．

水蒸気噴火に伴う空気振動記録に長周期成分に富むという特徴は、メラピの水蒸気噴火においても確認された．しかし、噴出時定数の長い桜島の火山灰放出でも同様の特徴が見られるため、空気振動の波形的特徴がマグマ噴火と水蒸気噴火の違いを一意には反映しないと見える．水蒸気噴火の特徴に立ち戻り水の寄与と、そもそも放出される噴出物量が多いという特徴に着目すれば、空気振動のような放出現象を反映する観測量だけでなく、地下の噴出物の破碎過程を反映する地震動や地盤変動を考慮する必要があると言える．この観点から両噴火タイプの判定についてもう一度研究戦略を再構成する．

< 引用文献 >

- [1] Iguchi M (2016) Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash – Case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan. J Disaster Res 11:4–14.
- [2] 小屋口剛博 (2008) 火山現象のモデリング, 東京大学出版会
- [3] Terada A, Ida Y (2007) Kinematic features of isolated volcanic clouds revealed by video records. Geophys Res Lett 34:2–6.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山田大志, 井口正人, 為栗健	4. 巻 44
2. 論文標題 空気振動観測による放出火山灰量推定と噴煙到達高度の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山田大志・井口正人（京大防災研）・藤田英輔（防災科研）
2. 発表標題 桜島火山での噴煙成長過程定量化の試み
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田大志・井口正人・為栗健（京大防災研）
2. 発表標題 空気振動観測による火山灰量推定の試み
3. 学会等名 桜島火山観測所60周年記念研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田大志・井口正人・為栗健（京大防災研）
2. 発表標題 空気振動観測による火山灰量推定の試み
3. 学会等名 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田大志、井口正人、藤田英輔
2. 発表標題 桜島火山での多項目観測による噴煙形成過程についての検討
3. 学会等名 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田大志・井口正人・為栗健
2. 発表標題 空気振動観測による放出火山灰量推定と噴煙到達高度の検討
3. 学会等名 日本火山学会2021年秋季大会学術講演会
4. 発表年 2022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
---------	---------