

令和 6 年 5 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01982

研究課題名（和文）単一火山を給源とする類似したテフラを識別・対比するための手法開発

研究課題名（英文）Development of a method to identify and discriminate similar tephras erupted from a single volcano

研究代表者

安田 敦（Yasuda, Atsushi）

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：70222354

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,770,000円

研究成果の概要（和文）：富士火山の須走期に活動したテフラ群を用いて、一つの火山を給源とする似通ったテフラを的確に対比・識別する技術確立することを目指した研究をおこなった。テフラの化学組成だけでなく、粒子形状、石基鉱物の大きさと種類、気泡の形状と大きさといった多項目の情報を組み合わせるとともに、客観的かつ定量的な対比・識別をおこなうところに本研究の特徴がある。富士山の東側山麓のいくつかの地点で、露頭もしくはトレンチ調査により連続堆積した試料の採取を行い、各テフラ層の特徴を定量的に記述した。加えて、どのような特徴量をどのように組み合わせると対比・識別には有効であるかについての検討も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一つの火山を給源とする似通ったテフラを的確に対比・識別する技術確立することによって、それぞれのテフラに対応する噴火の分布域や時代を精度良く決定できる。正確にテフラ層を対比して等層厚線図を描くことは、噴火規模の評価に必須であり、噴火予測において基礎的な情報を与える。また、テフラ層は断層運動や遺跡の年代決定の時代マーカーにも利用されていることから、こうした対比・識別技術の確立は、火山活動の理解ばかりでなく、自然科学の基礎として多くの分野の発展に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：Using several sequences of tephra deposited during the Subashiri stage of Fuji Volcano, we conducted research to establish a technique for accurately comparing and distinguishing similar tephra erupted by a single volcano. This research is unique in that it combines not only the chemical composition of the tephra, but also multiple pieces of information such as particle shape, size and mineral type, and bubble shape and size to quantitatively compare and distinguish them.

Continuously deposited samples were collected at several points on the eastern foot of Mt. Fuji by outcrop or trench surveys, and the characteristics of each tephra layer were described quantitatively. We also investigated which characteristics and how they could be combined to be effective for comparison and identification.

研究分野：マグマ学

キーワード：富士山 テフラ 対比・同定 単一給源 データベース

1. 研究開始当初の背景

火山噴出物の分析により火山体の発達やマグマ溜まりの変遷、噴火プロセス等について研究を行う際に、異地点に堆積する2枚のテフラが同一の噴火に由来するかどうかを判断しなければならない場合に遭遇する。この時、同一給源のテフラは特徴が似通っているため、「広域テフラ」の対比でよく用いられてきた石基ガラスや鉱物組成を用いての比較だけでは、明確な対比・同定が困難であり、より多項目の要素に着目して検討する必要がある。だが、こうした対比の辞書となるような多項目の測定結果の定量的なデータベースは存在せず、加えて、効率良く正確な対比を行うための手法の開発も必要であった。

国際的にも、広域テフラのデータベースはあるものの、テフラの形状、気泡形状、組織情報など多項目の要素に着目して総合的にテフラ層間の比較検討を行うための単一給源火山のテフラを対象としたデータベースは存在していない。さらに、どのような項目について測定し、それらをどのような組み合わせることが対比・同定には有効か、技術的な検討課題も存在していた。

2. 研究の目的

これまで、定性的かつ主観的に行われることが多かったテフラの対比を、多数の比較要素の重要性や一致度を考慮して定量的かつ客観的に行える新たな手法を確立することを目指した。また、本研究でテストケースとする富士火山の場合、およそ10万年前から爆発的噴火の際に偏西風によって広く関東一円にテフラを堆積させてきており、火山活動の規模や時代変化を詳細に理解し今後の防災に資するために、テフラの対比のためのデータベースの構築を目的とした。

3. 研究の方法

富士山周辺で採取した富士山起源のテフラについて多項目測定を行った。具体的には、XRFによる主元素・微量元素濃度、CAMSIZERによるテフラ粒子の形状、粒子の色相、EPMAの反射電子線像による気泡のサイズ・形状・量、斑晶鉱物の組成、石基微斑晶量とサイズ分布、石基ガラス量などの諸量を定量的に取得した。複数地点で採取したテフラについて、上記の諸量を用いて対比・同定の検討を行った。この際、どのような計測量、あるいはどのような計測量の組み合わせが対比・同定に有効かを検討し、対比・同定の手法の開発を併せて実施した。

主な試料採取地点は山体東側では太郎坊、北富士演習場、山中湖西、山中湖南、籠坂峠南、籠坂峠で、山体西側では大沢スコリアを数地点で採取した。さらに、神奈川県内の遺跡内で数層のテフラを採取した。太郎坊と籠坂峠南の試料については、異なる分析機器(XRF)を使用した場合の系統的な分析値の偏差の影響を調べるために、2つのXRF装置を用いて分析をおこなった。

4. 研究成果

(1) 多項目計測時のテフラの対比方法についての検討

a) 一致程度の評価と計測項目

多項目の計測(要素*i*)を使って、あるテフラA層を別のテフラR層に対比する場合を考える。基本となるのは両者の類似性を定量的に示す式(1)である。

$$r_i(A \diamond R) = \frac{|x_i^A - x_i^R|}{\sigma_i^A + \sigma_i^R} \quad (1)$$

添字*i*は計測項目、A◇RはA層とR層間の比較を表わし、 x_i^A と x_i^R はそれぞれ計測項目*i*のテフラA層とR層での値であり、 σ_i^A と σ_i^R はそれぞれ機器計測の誤差の大きさである。この $r_i(A \diamond R)$ が小さいほど、項目*i*についてAとRの一致度が良いことになる。ただし、それぞれのテフラ層で複数試料を計測している場合には、 x_i^A や σ_i^A に用いる値が変わってくるため、データ処理には注意が必要である。この場合、 x_i^A と x_i^R はそれぞれでの計測の平均値 m_i^A と m_i^R で置き換えられる。 σ_i^A と σ_i^R は、一般に複数試料の計測値のばらつきの方が機器の計測誤差よりも大きいため、計測値の分布の標準偏差で置き換えることになる。

多項目計測の場合には、この(1)式を拡張して、

$$S_{r,2}(A \diamond R) = \sum_i w_i \cdot (r_i(A \diamond R))^2 \quad (2)$$

について検討する。 w_i は、計測項目の重み付けで、通常はすべて1とおいて良いが、例えば化学組成の測定値を使う場合に、風化による元素の選択的な移動などによって系統的な誤差が生じている懸念があるような試料については、その計測項目の w_i を小さく与えることがありうる。 r を2乗したものの和をとるのは、偏差に対する感度を高めるためである。 $S_{r,2}(A \diamond R)$ が小さいほど、A層とR層の一致度は良い。

多項目の計測をおこなう場合、計測項目の数は非常に多くなりうる。しかし、検討に用いる計測項目については、データの信頼性や独立性を考慮して適切に選択しないと、ノイズを高めて対比の妨げになる恐れもある。したがって、計測項目として何を採用するかについては前もって十分な検討が必要である。単純にできるだけ多くの項目を用いるという方針では精度の良い対比

は行えない。まず、計測機器の分析誤差に対して比較する試料の計測値の差が十分に大きくない場合には、その計測項目は採用しない方が良い。あらかじめ全データのスクリーンを行い、データの分布幅が計測機器の誤差範囲を超えないような要素は検討からは除外する。

データの独立性については、計測項目間の相関程度について調べることが有効である。例えばテフラの組成の違いは鉱物の結晶分化によることが多いため、結晶分化の際に同じ挙動をとる元素が存在する。これらについては、相関を調べたり主成分分析を行うことによって、独立に変化するものだけを選択する必要がある。

例えば、富士山のテフラの場合マグマの結晶分化で取り去られる主要な鉱物は斜長石、かんらん石、単斜輝石、直方輝石、磁鉄鉱であるため、主元素・微量元素濃度については、Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, P, Sr, Ba, Zr, Y, Ni, Cu といった分析値の利用で十分である。また、CAMSIZERによる粒子形状については、13個の計測項目の中で、テフラ層による大きな違いがあるととも再現性も高い Aspect ratio と Sphericity の2つの指標が対比・識別には有効であることがわかった(図1, 図2)。

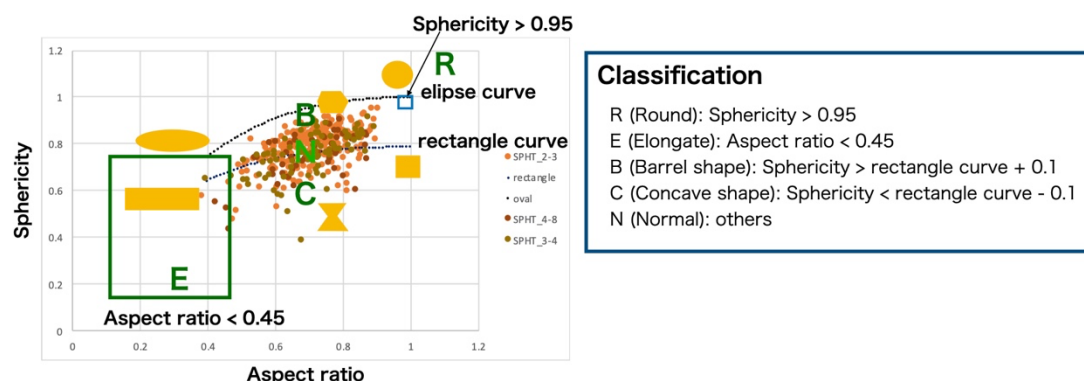


図1 粒子形状計測における特徴量

Aspect ratio と Sphericity の2つの指標を使って粒子の見かけの形状が定量的に表現可能であり、5つのクラスに分類できる。それぞれのクラスに属する粒子の割合を記述することで、テフラの特徴が客観的かつ定量的に表現可能になる。

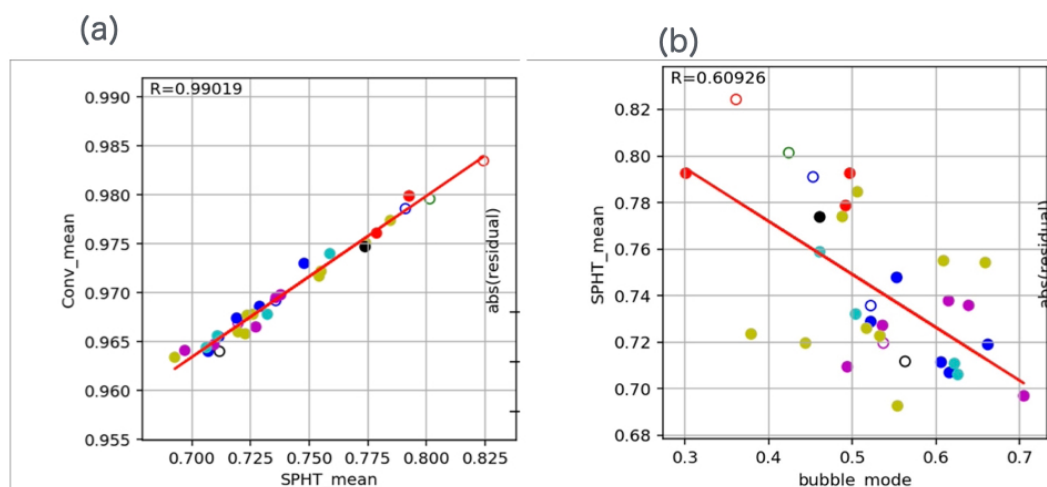


図2 計測項目の相関

(a) CAMSIZERによる粒子形状計測での Convexity と Sphericity には強い相関がある。Sphericity のほうが値の変動幅が大きいため、特徴量として利用するのに適している。Sphericity は粒子の気泡量と弱い逆相関の関係があり、一般的に気泡が多い火山灰粒子が扁平な形状をとるといふ定性的な特徴を反映している。こちらの場合には、相関程度が弱いので、独立した情報として利用する。

b) 上下層を含めた露頭全体での対比・同定の方法

露頭など連続層が得られる場合には複数層での一致の良し悪しを用いることで、対比に強い制約を与えることができる。いわば、¹⁴C や地磁気を用いての年代較正で行われるウィグルマッチングに相当する。5層程度ずつ区切って欠損層も考慮して数学的に対比を行う方法もあるが、どの層とどの層が対比可能か視覚的に判断できる heatmap 法が使いやすい。これは、2箇所連続堆積層に対して、前述の(2)式を使って計算した一致度 S を heatmap の形で表現したものである。S の最小値だけでは類似するテフラ候補がいくつか存在するような場合でも、上下層の一致まで含めて考えると一意的にテフラ層の対比が可能になる。結果例は(2)で示す。

(2) 富士山東麓で採取されたテフラ層の対比結果

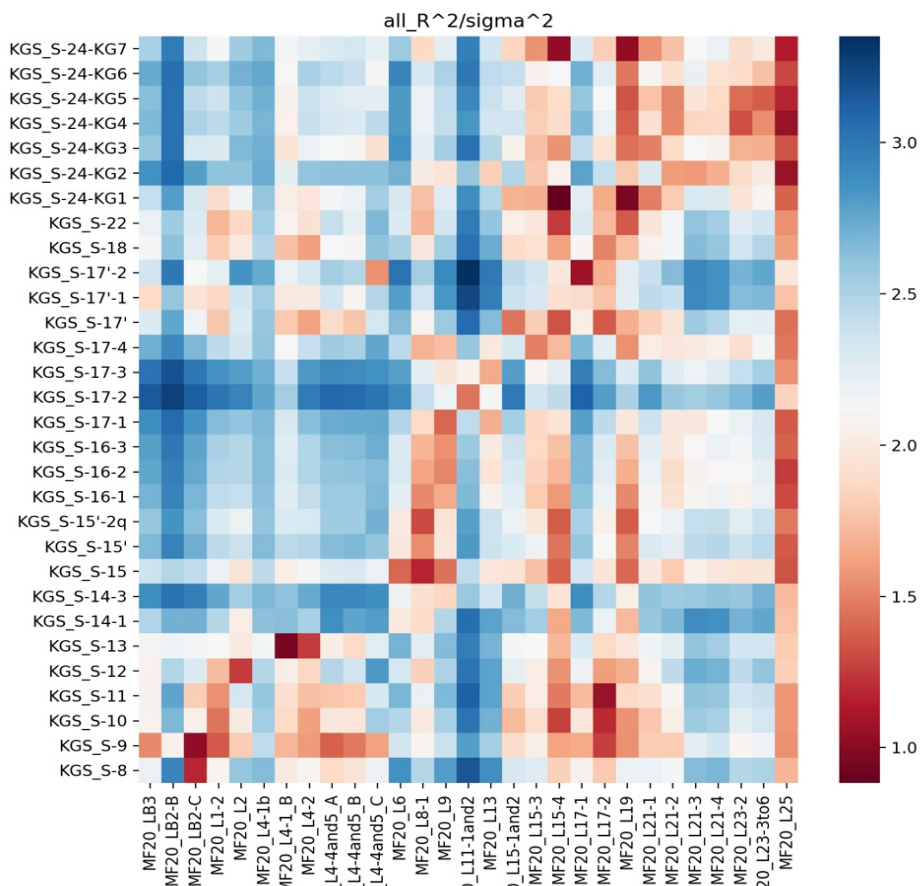


図3 籠坂峠の露頭試料(KGS-)と山中湖南の東大演習林でのトレンチ試料(MF-)のheatmap法による対比結果。赤色が濃いほど一致度が良い。左下から右上に斜めに一致度が高い層が連なっており、これらが同じ噴火の噴出物として対比可能と思われる。

Heatmap法で2つの連続堆積層間の対比関係を調べた結果を図3に示す。縦軸は籠坂峠で採取した試料で横軸は籠坂峠の約3km北に位置する東大演習林内のトレンチ試料である。計測項目としては、XRFによる主元素+微量元素あわせて28項目を用いている。単純に組成の類似性だけならば、KGS_S-10層と最も似通っているのはMF20_L17-2層であるが、上下層の一致度も含めて検討すると、MF20_L1-2層と対比すべきことが見て取れる。

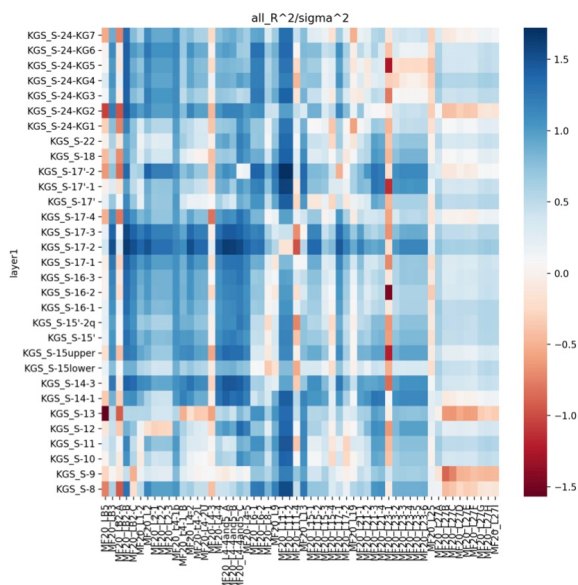


図4 粒子形状を含めた結果

単に計測項目を増やすと対比の精度が向上するわけではない。図4はXRF分析にCAMSIZERによる粒子形状パラメタ8種類を加えて一致度を調べた結果である。あまり特徴が明確ではない計測項目を加えた影響で、層間の対比が格段にわかりにくくなっている。粒子形状パラメタ8種類ではなく、これらを組み合わせて図1で示したようなクラス分けをしてから一致度を計算することにより、対比精度は向上する。

計測機器の違いによる系統誤差の影響について検討した結果が図5である。籠坂峠の露頭と近接した露頭で採取した試料について比較している。図5左は同じXRF装置を用いてデータ取得しているが図5右は別の機種(XRF)を用いている。個々の計測値の比較では、2つの分析結果はよく相関しているものの、一致度の計算においては機器の違いによる系統誤差が結果に大きな影響を与えるため、層間の対比結果

は不明瞭になっている。対比のためのデータベースが有効利用されるためには、異なる分析機関で取得された分析値を適切に比較しなければならず、こうした系統誤差をどう処理するについては今後の検討が必要である。

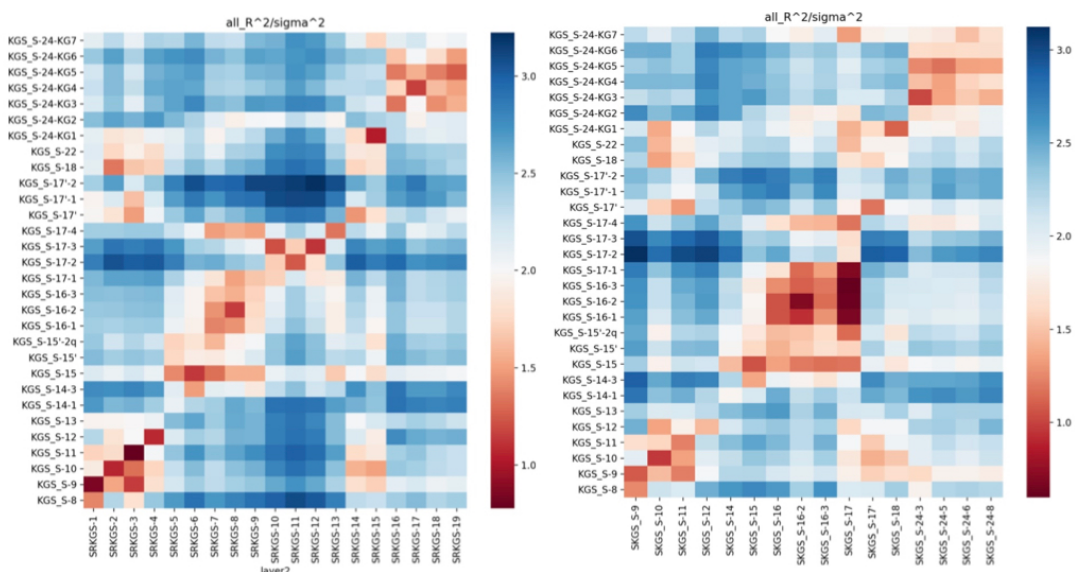


図5 異なるXRFで分析した結果の比較
左は同じXRF、右は異なるXRFを使用。一部の元素濃度の系統的なずれによって、一致度による層間の対比が不明瞭になっている。

(3) データベースの構築

任意の層の分析結果を他の層の分析結果と比較するためのツールをWWWサーバー上に作成した(図6)。今のところ、多項目の分析結果が完備している籠坂峠の層とどこか別の地点の任意の層との比較が可能になっているだけだが、WWW上で分析値の分布範囲や一致度を目で確認しながら対比・同定作業が行える。グラフの横軸は任意の計測要素に変更することができる。グラフの作図はJavascriptを用いているため、サーバーとの最初の接続でデータダウンロードが終われば、ローカルなPCで対比作業が可能である。今後、excelファイルで作成したデータベースに適当な層の計測値を追加すれば、対比するテフラ層は容易に拡張可能である。

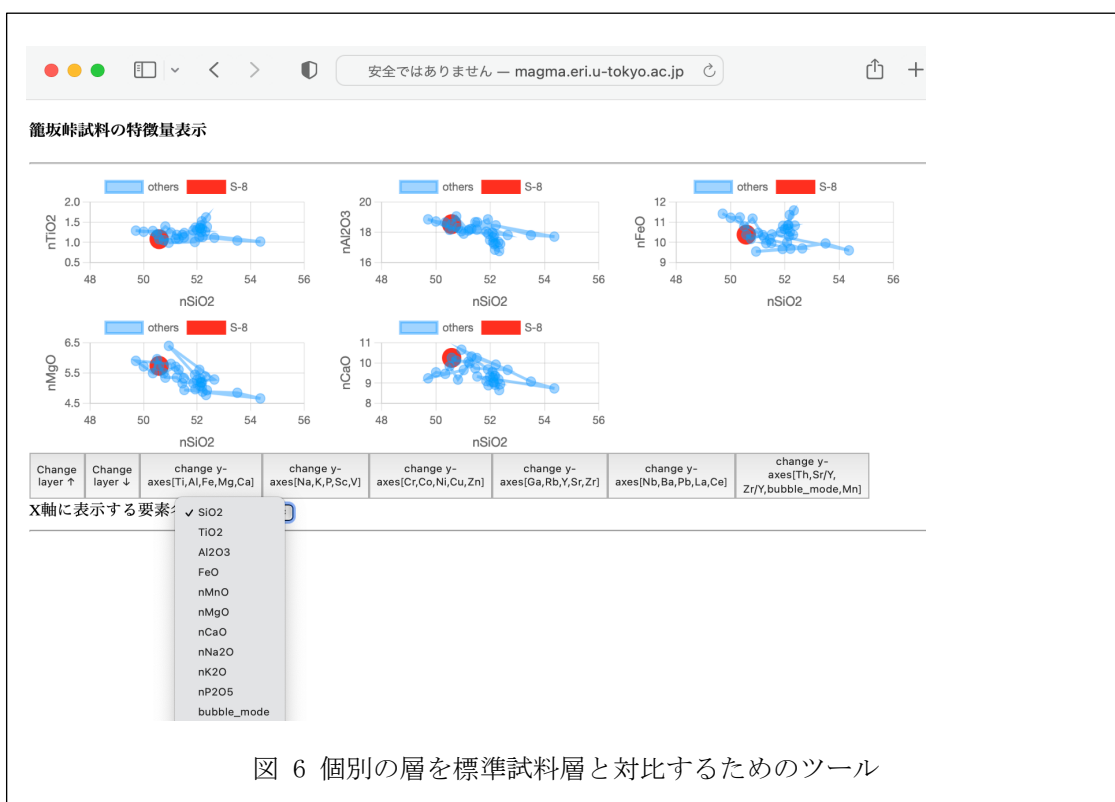


図6 個別の層を標準試料層と対比するためのツール

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3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 安田 敦・亀谷伸子・嶋野岳人・吉本充宏・田島靖久	4. 巻 45
2. 論文標題 類似したテフラを識別・対比する定量的な方法の数学的な取り扱いについて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 55-64
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 -
1. 著者名 安田 敦	4. 巻 -
2. 論文標題 「噴火予測のための簡単なマグマ供給系モデル」の階段図によるパラメタ推定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 シンポジウム「火山噴火の中長期的予測に向けた研究の現状と今後の課題」要旨集	6. 最初と最後の頁 36-41
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 -
1. 著者名 田島靖久	4. 巻 45
2. 論文標題 EAI法を用いたテフラ量解析-リアルタイム火山地質学へ-	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 75-84
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 -
1. 著者名 Yamamoto, S., Kametani, N., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Eruptive history of Mt. Fuji over the past 8000 years based on integrated records of lacustrine and terrestrial tephra sequences and radiocarbon dating	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Quaternary Science Advances	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） 10.1016/j.qsa.2023.100091	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 吉本充宏	4. 巻 53
2. 論文標題 富士山 1707年 宝永噴火	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地域防災(一般社団法人日本防火・防災協会)	6. 最初と最後の頁 32-37
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 -

1. 著者名 Tajima Y.	4. 巻 73
2. 論文標題 Estimating the ashfall volume for a small eruption using ellipse-approximated isopach analysis: how many seeking points are required to determine a suitable axis?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth Planets Space	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) 10.1186/s40623-021-01483-4	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 田島靖久・及川純・小林哲夫・安田敦	4. 巻 67
2. 論文標題 霧島火山, 新燃岳の中・長期のマグマ噴出活動と供給系. 噴出物解析と地球物理観測の統一的理解を指して	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 45-68
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 有
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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 安田 敦, 田島靖久
2. 発表標題 深部マグマの直接噴火から推測される富士火山の深部マグマ供給系の特徴
3. 学会等名 日本火山学会2022秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田敦・田島靖久
2. 発表標題 富士火山の連続テフラ層で観察された石基組織の急変事象について
3. 学会等名 日本火山学会2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田 敦・亀谷伸子・嶋野岳人・田島靖久・吉本充宏・杉山浩平・西澤文勝・金子隆之・藤井敏嗣
2. 発表標題 富士山のテフラ対比に役立つ鍵層について
3. 学会等名 日本火山学会2023秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 亀谷伸子・吉本充宏・山本真也・安田敦
2. 発表標題 富士火山北麓および東麓のテフラ層序の再検討
3. 学会等名 日本火山学会2023秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Shimano, A. Yasuda, T. Miwa, M. Nakamura
2. 発表標題 Quantitative identification of ash particles by visible microspectroscopy for monitoring transition in eruption style
3. 学会等名 IAVCEI2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田島靖久・嶋野岳人・安田 敦・亀谷伸子・吉本充宏・藤井敏嗣
2. 発表標題 富士火山大沢降下火砕物(スコリア)分布の再検討 (1)
3. 学会等名 日本火山学会2022秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tajima Y, Oikawa J, Kobayashi T, Yasuda A
2. 発表標題 Magma plumbing system of Shinmoedake volcano in Kirishima Volcano Group: Towards a unified understanding from volcanic products analyses and geophysical observations
3. 学会等名 2021 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田島靖久・安田敦・奥野 充
2. 発表標題 霧島火山, 中岳の活動史の再検討(1)
3. 学会等名 JpGU 2021
4. 発表年 2021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
研究 分担者	藤井 敏嗣 (Fujii Toshitsugu) (00092320)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・所長 (83501)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	吉本 充宏 (Yoshimoto Mitsuhiro) (20334287)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員 (83501)	
研究分担者	亀谷 伸子 (Kametani Nobuko) (50848562)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員 (83501)	
研究分担者	杉山 浩平 (Sugiyama Cohe) (60588226)	東京大学・大学院総合文化研究科・特任研究員 (12601)	
研究分担者	嶋野 岳人 (Shimano Taketo) (70396894)	常葉大学・大学院・環境防災研究科・教授 (33801)	
研究分担者	西澤 文勝 (Nishizawa Fumikatsu) (70813905)	神奈川県立生命の星・地球博物館・企画情報部・学芸員 (82709)	
研究分担者	田島 靖久 (Tajima Yasuhisa) (70831642)	日本工営株式会社中央研究所・先端研究センター・研究員 (92103)	
研究分担者	金子 隆之 (Kaneko Takayuki) (90221887)	東京大学・地震研究所・准教授 (12601)	

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
---------	---------