

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03676

研究課題名(和文) テフラ粒子の数値化による新たな広域テフラの検出：500万年間の破局噴火の発生頻度

研究課題名(英文) Detection of new widespread tephra by quantification of tephra particles:
frequency of large magnitude explosive volcanic eruptions past 5 million years

研究代表者

長橋 良隆 (Nagahashi, Yoshitaka)

福島大学・共生システム理工学類・教授

研究者番号：10292450

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)：噴火様式と噴出規模が明らかな50層のテフラを対象として、テフラ粒子断面の形状特性を系統的に明らかにした。特に火山ガラスのアスペクト比に着目すると、プリニー式噴火による火山ガラスのアスペクト比は2を超えないのに対して、大規模火砕流噴出に伴うco-ignimbrite ashの火山ガラスのアスペクト比は2.5を超える。co-ignimbrite ashの火山ガラスが扁平型を主体とすることは定性的に既に知られていたが、それが数値化されることによって未知の破局噴火を過去数100万年間にわたり抽出することが可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

破局噴火によるハザードとリスクの評価のために、グローバルにデータベースを整備する研究が近年活発に行われている。日本における破局噴火の発生は1万年に1回程度とされているが、それは日本全域で平均化した場合の発生頻度であり、また過去12万年間の検討に過ぎない。本研究では、破局噴火によるテフラの火山ガラスのアスペクト比が2.5以上であることを明らかにした。これにより過去500万年間の破局噴火を一定の確実度で数えることができ、破局噴火のリスク評価に重要な発生頻度の正確性を高めることができる。

研究成果の概要(英文)：We systematically clarified the shape analysis of tephra particle cross-sections for 50 tephra layers with well-defined eruption styles and eruption volume. In particular, the aspect ratio of the volcanic glass shards of Plinian eruptions does not exceed 2.0, while the aspect ratio of the volcanic glass shards of co-ignimbrite ash associated with large-scale pyroclastic flow eruptions exceeds 2.5. The fact that the volcanic glass shards of co-ignimbrite ash is mainly platy type was already known qualitatively, but quantification of this fact makes it possible to extract unknown large magnitude explosive volcanic eruptions over the past several million years.

研究分野：火山地質学

キーワード：破局噴火 発生頻度 広域テフラ 火山ガラス 粒子形状 走査型電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ(中央防災会議の防災対策実行会議)」では、富士山 1707 年宝永噴火を想定して、大規模火山噴火に関する影響評価と対策が検討されている。ここで大規模噴火と称される富士山宝永噴火は、テフラの噴出体積が 1.7km³ 程度であるが、本研究で扱う破局噴火の噴出体積はそれよりもはるかに大きく、100km³(火山爆発指数: VEI 7) を超える。日本における破局噴火の発生は 1 万年に 1 回程度とされているが、それは日本全域で平均化した場合の発生頻度であり、また過去 12 万年間の検討に過ぎない。

例えば、九州の阿蘇カルデラにおける 4 回の破局噴火は、それぞれの噴出体積が数 100km³ に及び、Aso-1 噴火が約 27 万年前、Aso-2 噴火が約 15 万年前、Aso-3 噴火が約 13 万年前、Aso-4 噴火が約 9 万年前であり、その発生間隔は数万年から 10 数万年である。このことは、一つのカルデラ火山における破局噴火の発生頻度の検討には、少なくとも 30 万年間以上の時間スケールでの検討が必要であることを示している。また、過去 50 万年間のカルデラ火山は、九州と東北地方北部と北海道に多く分布しているが、それ以前は東北地方南部や中部地方にも多数存在しており、近接する複数のカルデラ火山の噴出場所は長期的にみると変化している(例えば、宇井・鎌田, 1986)。カルデラ火山の破局噴火の正確な発生頻度の解明、カルデラ火山の分布の長期的変遷と地域別(活動時期がほぼ同じで分布が近接する複数のカルデラ火山)の破局噴火の発生頻度の解明、という学術的問いに対しては、従来の 12 万年間という時間幅はあまりにも短く、数 100 万年の時間スケールで破局噴火の時空間分布を構築し、検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、これまでにない迅速かつ定量的な粒子解析手法を確立し、過去 500 万年間の長期間にわたる陸域-海域統合テフラ層序に基づいて、700 層以上のテフラ層についての系統的な粒子解析から広域テフラ層を漏れなく抽出し、広域テフラ層の時空間分布を構築し、破局噴火の発生場の変遷と発生頻度を明らかにすることを目的としている。申請者は、日本海及び太平洋の海底堆積物コア、さらに九州と本州の陸域の火砕流堆積物と陸水・海水成層および湖底堆積物コアに挟まるテフラ層を対象としたテフラ層序学的研究によって、他の研究者が為し得ていない過去 500 万年間の陸域-海域統合テフラ層序を既に構築している。

申請者らのこれまでの研究では、過去 500 万年間に約 40 層の広域テフラ層を検出しているが、50 万年前より古い広域テフラ層の出現頻度は少ない(図 1)。古い時代の広域テフラ層の検出が少ないのは、対象とする地層や海底堆積物コアが限られているだけでなく、複数地点での対比(広域に分布していること)を提示することが困難な場合が多いためである。例えば、同じ地点で掘削された海底堆積物コアに既知の広域テフラ層があり、それと同様の層厚と粒子特性をもっていることから広域テフラ層の可能性が高いと予想しても、他の地点との対比が達成されないと、広域テフラ層として提案することも、それを他の研究者が受け入れることも難しかった。

本研究では、これまで乗り越えられなかったこの困難を克服するために、汎用性のあるテフラの粒子解析手法を確立し、1 地点のみからの検出であっても、それが破局噴火による広域テフラ層であることを粒子解析による具体的な数値データによる根拠に基づいて決定する。

3. 研究の方法

テフラ粒子の形態については、あらゆる噴火様式のテフラ粒子を走査型電子顕微鏡による鮮明な画像で示した「Volcanic Ash 2nd Edition」(Heiken and Wohletz, 1992)がある。テフラ粒子の形態は、マグマの発泡や破碎過程の理解に不可欠であり、粒子形状に関わる諸量を数値化することにより検討されている(例えば、Liu et al., 2015 など)。粒子形状の測定は、粒子の断面形態あるいは 3 次元粒子を 2 次元に投影したプロファイル画像を画像化し、装置付属のソフトウェアあるいは image J などのソフトウェアを用いて測定される。断面形態を用いるのか、投影プロファイルを用いるのかによる形状の数値の違いは、Liu et al. (2015) により、Form Factor, Axial ratio,

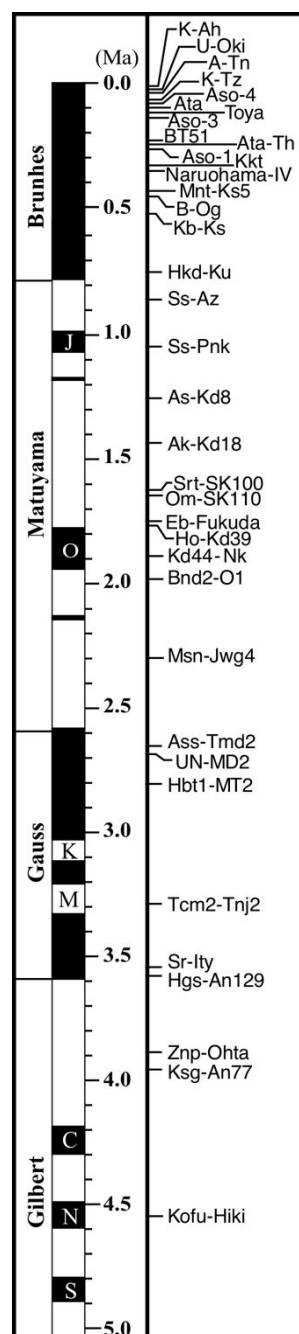


図1 陸域と海域の相互に分布する破局噴火による広域テフラ層

Solidity, Convexity について検討されている。

本研究による粒子形状の測定は、5 軸モーターステージ制御の走査型電子顕微鏡（日本電子製 JSM-6610LV）とシリコンドリフトディテクター型 EDS 検出器（オックスフォード製 INCA x-Act）、INCA 付属（オプション）の粒子解析ソフトウェア（オックスフォード製・INCA Feature）を用いて測定した。また、本研究の粒子解析は、テフラ粒子（粒径 $63\ \mu\text{m} < 250\ \mu\text{m}$ ）をペトロポキシで包埋し、鏡面研磨の後に炭素蒸着を施した EDS 分析用プレパラートの断面形態による。INCA Feature による測定の概要は、倍率 100 倍で画像を取得した後、1 粒子ずつ自動で粒子の輪郭を識別するとともに粒子形状の各項目が数値化される。さらに、粒子毎に粒子全体の主要元素組成（Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K: 積分時間 5 秒）を分析する。この粒子の主要元素組成を用いて、黒雲母、角閃石、直方輝石、単斜輝石、カンラン石、斜長石、石英、火山ガラス、鉄鉱物あるいはその他に自動で分類される。この一連の測定は複数画像および複数試料にわたってプリセットできるため、1 枚のプレパラートの 16 試料分をほぼ自動で操作し、測定結果を得ることができる。

4. 研究成果

INCA Feature で測定できる粒子形状の項目は、外周（ μm ）、長さ（ μm ）、幅（ μm ）、方向（角度）、面積（ μm^2 ）、アスペクト比、円相当径（ μm ）、形状値（外周の 2 乗 / (4 × 面積)）である。ここでの長さは平行する 2 本の直線に挟まれた最大長さ（Maximum feret diameter）である。幅は、最大長さとともに直交する矩形を粒子の外形に当てはめたときの幅を表す。

まず、始良 Tn 火山灰（町田・新井, 1976, AT テフラ）の粒子解析の結果について述べる。AT テフラの測定試料は、九州地方、中国地方、近畿地方、中部地方、東北地方南部の風成層あるいは陸水成層・湖成層に挟まるテフラと日本海の海底堆積物コアに挟まる試料（Sagawa et al., 2018; 長橋ほか, 2022）を用いた。AT テフラは、大規模火砕流噴出に伴う co-ignimbrite として形成されたもので、扁平型の火山ガラスを主体とすることが知られていることから、アスペクト比が形状を規定する示標として重要であると予想される。AT テフラについては、噴出源から約 1100km 離れた地点までの合計 18 試料の火山ガラスの粒子形状解析を行い、そのアスペクト比は 2.5 以上であった（図 2）。また、給源からの距離に対してアスペクト比には相関がない。軽石型の火山ガラスのアスペクト比（2.0 以下）と比較して AT テフラのアスペクト比は高く、これはアスペクト比が極端に高くなる扁平型の火山ガラスを多く含むからである。

次に、琵琶湖高島沖で掘削された湖底堆積物コアと大阪湾岸で掘削されたボーリングコアに挟まる過去 43 万年間の約 80 層のテフラ（長橋ほか, 2004）を対象として粒子解析を行った。これらのテフラの多くは、山陰や九州地方の火山のプリニー式噴火（VEI が 4~5）あるいは九州地方のカルデラ火山の大規模火砕流の噴出に伴う co-ignimbrite ash（VEI が 6 以上）からなる。火山ガラスの形状は、一噴火輪廻において多様な形態を形成することも知られている（例えば、Hiroi and Miyamoto, 2016）。しかし、ここで取り上げるテフラは、一定程度大規模な爆発的噴火によるテフラの粒子特性を系統的に把握するには効率的である。また既に報告されている光学顕微鏡による火山ガラスの形状分類や鉱物・重鉱物組成と本研究による粒子解析の結果とを相互に比較・検討することもできる。

以下では、琵琶湖高島沖コアから得られた 50 層のテフラの粒子解析結果について述べる。光学顕微鏡による火山ガラスの形状比（扁平型、中間型、多孔質型、その他）を用いてクラスター分析を行うと 4 グループに分類される。それらは中間型の火山ガラスの含有量に基づくと、A) 2~14%, B) 16~26%, C) 21~40%, D) 38~62% の 4 グループである。A と B のグループの火山ガラスのアスペクト比は平均 1.7 (1.6~1.9) である。C グループの火山ガラスのアスペクト比は平均 2.5 (1.9~3.0) であるが、広域テフラ (co-ignimbrite ash) のアスペクト比は 2.5 を下回らない。D グループの火山ガラスのアスペクト比は平均 2.0 (1.7~2.3) であり、アスペクト比が 2 を超えるものには広域テフラが含まれる。以上のことから、co-ignimbrite ash の火山ガラスのアスペクト比は 2.5 以上であり、扁平型火山ガラスの含有量と本研究による火山ガラスのアスペクト比には正の相関がある。主にプリニー式噴火によると考えられる A と B のグループの火山ガラスのアスペクト比は 2 を超えず、多孔質型火山ガラスの含有量と本研究によるアスペクト比には負の相関がある。

これらの他に九州の過去 300 万年間の主な火砕流堆積物の粒子解析、長野県北部の高野層ボーリングコアと猪苗代湖の湖底ボーリングコアに挟まるテフラの粒子解析、房総半島の上総層群に挟まるテフラの粒子解析が終了している。また、海底堆積物コアに挟まるテフラの粒子解析を進めているところである。

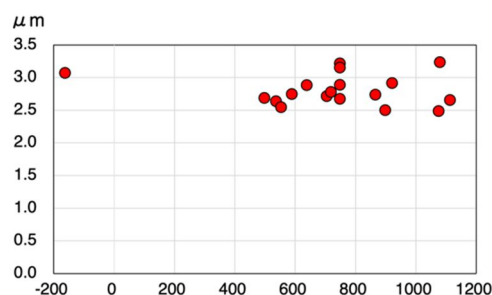


図2 始良-Tn (AT)テフラの給源からの距離によるアスペクト比の変化

文献

Heiken G. and Wohletz K. (1992) Volcanic Ash 2nd Edition. University of California

Press, 246p.

- Hiroi Y. and Miyamoto T. (2016) Relationship between eruptive style and vesicularity of juvenile clasts during eruptive episode A of Towada Volcano, Northeast Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 325, 86-97.
- Liu E.J., Cashman K.V. and Rust A.C. (2015) Optimising shape analysis to quantify volcanic ash morphology. *GeoResJ*, 8, 14-30.
- 町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰-始良 Tn 火山灰の発見とその意義-. *科学*, 46, 339-347 .
- 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山 高・井内美郎 (2004) 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去 43 万年間の広域テフラの層序と編年-EDS 分析による火山ガラス片の主要成分化学組成-. *第四紀研究*, 43, 15-35 .
- 長橋良隆・深谷桃子・池原 研・佐川拓也 (2022.11) 若狭湾沖海底堆積物コアに挟まる後期更新世から完新世テフラの層序と広域テフラ層との対比. *第四紀研究*, 61, 123-141 .
- Sagawa T., Nagahashi Y., Satoguchi Y., Holbourn A., Itaki T., Gallagher S.J., Saavedra-Pellitero M., Ikehara K., Irino T. and Tada R. (2018.3) Integrated tephrostratigraphy and stable isotope stratigraphy in the Japan Sea and East China Sea using IODP Sites U1426, U1427, and U1429, Expedition 346 Asian Monsoon. *Progress in Earth and Planetary Science*, v. 5, 18-41.
- 宇井忠英・鎌田桂子 (1986) 大規模火砕流と給源の陥没カルデラ .*火山 (第2集)*, 30 巻特別号, S221-S235 .

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 長橋良隆・深谷桃子・池原 研・佐川拓也	4. 巻 61
2. 論文標題 若狭湾沖海底堆積物コアに挟まる後期更新世から完新世テフラの層序と広域テフラ層との対比	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 123-141
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4116/jaqua.61.2111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長橋良隆・里口保文・中川和重
2. 発表標題 始良Tn 火山灰の火山ガラスの形状解析
3. 学会等名 日本第四紀学会2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長橋良隆・里口保文・中川和重
2. 発表標題 プリニー式噴火および大規模火砕流噴出に伴う降下テフラの火山ガラスの形状解析
3. 学会等名 日本地質学会第130年学術大会
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
研究分担者	片岡 香子 (Kataoka Kyoko S.) (00378548)	新潟大学・災害・復興科学研究所・教授 (13101)	

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	里口 保文 (Satoguchi Yasufumi) (20344343)	滋賀県立琵琶湖博物館・研究部・上席総括学芸員 (84202)	
研究分担者	中川 和重 (Nakagawa Kazushige) (00586274)	福島大学・共生システム理工学類・准教授 (11601)	

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