

R-02-2022

## MFRI Research Report

# 山梨県富士山科学研究所研究報告書

第47号

基盤研究

「古地磁気永年変化を用いた富士山の噴火履歴の解明」

令和3年度

山梨県富士山科学研究所



R-02-2022

MFRI Research Report

# 山梨県富士山科学研究所研究報告書

第47号

基盤研究

「古地磁気永年変化を用いた富士山の噴火履歴の解明」

令和3年度

山梨県富士山科学研究所





## は じ め に

富士山では 2004 年 6 月に「富士山火山防災マップ」が将来の噴火に備えるために公表されました。約 3 年間の検討を経て公表された火山防災マップは、当時としては最先端の研究成果を活用して作成されたハザードマップに基づくものでした。

その後、当研究所を含む様々な研究機関による富士山に関する調査・研究が進展して、富士山の過去の噴火に関して数多くの新しい知見が得られました。また産業技術総合研究所による富士山火山地質図の改訂も行われたことから、2018 年 7 月に「富士山ハザードマップ(改訂版)検討委員会」が設置され、新知見に基づく富士山ハザードマップ改訂に関する具体的な調査・検討が進められることになりました。検討の過程で、火砕流や山体崩壊についてのより詳細な調査研究も必要となりました。また多数の溶岩流噴出を特徴とする富士山の噴火史の理解のためには、堆積物中の炭質物の放射年代測定以外に、溶岩流そのものの年代を測定する手法の開発も必要となりました。

このような背景から、当研究所は富士山の噴火史解明に関する様々な調査研究を行ってまいりました。本基盤研究「古地磁気永年変化を用いた富士山の噴火履歴の解明」はその一環であり、特に溶岩流にも適用可能な年代測定の新しい手法を開発し、噴火史の解明に大きく貢献したものです。

富士山の噴火史にはまだ解明されていない部分も多く、今後の火山防災に向けても継続的な調査研究が不可欠です。本研究の成果が、今後の噴火史解明に生かされ、富士山における火山防災対策の一助になることを期待しています。

山梨県富士山科学研究所

所 長 藤 井 敏 嗣



# 目 次

はじめに

概要編

## I 研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間	1
I-2 研究体制	1
I-3 研究目的	1
I-4 研究成果の概要	2
I-4-1 富士山周辺域における古地磁気方位のデータベース	2
I-4-2 過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線の作成	2
I-4-3 富士山の噴火履歴の解明	2
I-5 研究成果の発表	3
I-5-1 誌上発表	3
I-5-2 口頭発表	3
I-6 謝辞	3

本編

## II 研究成果報告

II-1 富士山周辺域における古地磁気方位のデータベース	5
II-1-1 はじめに	5
II-1-2 火山噴出物の古地磁気方位	6
II-1-3 火山噴出物に含まれる磁性鉱物	9
II-1-4 火山噴出物の岩石学的特徴	11
II-2 過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線の作成	14
II-2-1 はじめに	14
II-2-2 炭化木・土壌・菌核粒子の $^{14}\text{C}$ 年代値	14
II-2-3 青木ヶ原溶岩周辺の地上磁気異常測定	17

II-2-4 地磁気方位データの統計解析 .....	19
II-3 富士山の噴火履歴の解明 .....	22
II-3-1 はじめに.....	22
II-3-2 過去 3200 年間に噴火した火山噴出物の噴火年代 .....	22
II-3-3 鷹丸尾溶岩流・火砕流堆積物の噴火年代 .....	24
II-3-4 宝永山の形成史.....	26

# 概 要 編



# I 研究の概要

## I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ：

古地磁気永年変化を用いた富士山の噴火履歴の解明

研究期間

平成 30 年度～令和 2 年度（3 年間）

## I-2 研究体制

研究代表者：馬場 章（富士山火山防災研究センター）

共同研究者：吉本充宏（富士山火山防災研究センター）

渋谷秀敏（熊本大学）平成 30 年度時点の所属。現所属：同志社大学

## I-3 研究目的

平成 28 年に改訂された富士火山地質図第 2 版(高田ほか, 2016)では、平成 16 年に策定された「富士山火山防災マップ」(内閣府, 2004)の火口ができる可能性のある範囲外で新たに複数の火口が推定されている。その中でも雁ノ穴噴出物の火口と推定された割れ目地形は、重点化研究「富士火山北麓における噴火実態の検証」の平成 28 年度掘削調査により火口であることが実際に確認された(富士山火山防災対策協議会, 2021)。平成 26 年 9 月御嶽火山の噴火以降、火山防災対策として迅速な避難・情報発信が求められており、富士山火山防災対策協議会では、富士山の噴火に備えて平成 27 年に「広域避難計画」を策定し、平成 28 年から「富士山ハザードマップの改訂」についての検討が始まっている。ハザードマップの改訂に向けた基礎資料として、火口位置の特定に加え、想定される噴火シナリオの基となる噴火履歴の解明が重要である。噴火履歴(噴火の頻度・休止期)を解明するためには「富士山ハザードマップ」の対象とされている過去 3200 年間\*1 に噴火した火山噴出物の噴火年代をより詳細に明らかにする必要がある。

富士火山地質図第 2 版には、火山噴出物(溶岩・火砕丘・火砕流堆積物など)の層序、放射性炭素年代(以下、 $^{14}\text{C}$  年代)法、歴史史料による年代推定から過去 3200 年間の火山噴出物として 66 層が識別されている。一方、下位の層準では新しい火山噴出物に被覆され、露出や炭化木の産出も限定されることから、テフラ層序との対比による層位的な年代推定がなされている。富士山の噴火履歴を解明するためには、火山噴出物の噴火年代をより詳細に推定できる研究手法の確立が必要不可欠である。

本研究では地磁気の永年変化(地磁気が絶えず変化すること)に着目し、火山噴出物の噴火年代・推移を推定するために、(1) 富士山周辺域における古地磁気方位のデータベースを作成し、(2) 過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線を作成する。そして、火山噴出物の古地磁気方位データから明らかにされた変位量や同時性から (3) 富士山の詳細な噴火履歴\*2 を明らかにする。

注釈\*1：本研究課題は、平成 29 年に検討されていた噴火年代区分を想定して立案した。平成 30 年 3 月の第 8 回富士山火山防災対策協議会以降に「富士山火山ハザードマップ(改訂版)」の対象は過去 5600 年間に変更された(富士山火山防災対策協議会, 2021)。

注釈\*2：研究課題遂行中に富士山火山防災対策協議会においてハザードマップ改訂の検討項目として挙げられた⑤火砕流および⑥山体崩壊について重点的に検討した。

## I-4 研究成果の概要

### I-4-1 富士山周辺域における古地磁気方位のデータベース

平成 27～30 年度にかけて実施した基盤研究「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」において収集した古地磁気方位データを更に拡充し、それら火山噴出物の岩石磁気特性や岩石学的特徴についても集録した。本研究では、過去 1 万年間に噴出したと推定される火山噴出物の定方位サンプリングを令和 2 年度までに 170 地点(65 層準)で行った。コア試料ごとに太陽方位(真北)を基準として測定データを補正することにより、信頼限界円( $\alpha 95$ )が平均  $2.3^\circ$  と高精度な古地磁気方位データが得られている。一方で、富士火山地質図第 2 版において推定されている噴火年代と過去の地磁気永年変化との対比による年代推定結果は必ずしも一致していない。岩石磁気測定の結果、古地磁気方位測定に用いた火山噴出物に含まれる磁性鉱物は、安定した磁化を記録する SD(単磁区粒子)を含んでいること、チタン含有量の異なるチタノマグネタイト(チタン磁鉄鉱)であることから、噴火後の冷却時に安定した熱残留磁化を獲得したと考えられる。また、過去 3500 年間(須走 d 期・c 期)に該当する火山噴出物の全岩化学組成を分析した結果、約 2300 年前に起こった最後の山頂噴火を境にして須走 d 期と須走 c 期ではマグマの組成範囲や変化傾向が異なっていることが明らかとなった。

### I-4-2 過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線の作成

富士山麓では溶岩が及ぼす磁場によって空中磁気異常が確認されており(大熊ほか, 2016)、磁気異常が古地磁気方位に及ぼす影響を把握するため、富士山北西麓青木ヶ原溶岩周辺の全磁力測定を行った。また、富士山の火山噴出物から得られた古地磁気方位(偏角・伏角)データを統計解析し、新たに測定した  $^{14}\text{C}$  年代値を加味して富士山周辺における古地磁気永年変化曲線を作成した。

全磁力測定結果は、国際標準地球磁場モデルによる 46,700 nT を基準値とすると、青木ヶ原溶岩周辺の湖畔～標高 1,000 m 付近では  $\pm 9,000$  nT 以下と変動が大きく、標高 1,200 m 以上の富士山麓では  $\pm 3,000$  nT 以下と変動が小さい傾向が見られた。測定エリアに分布する岩石の磁気特性を測定した結果、御坂山地を構成する新第三紀中新世の堆積岩類や火成岩類は富士山の溶岩に比べて残留磁化が 1/10 以下と非常に低いことから、磁気異常は、磁性が異なる御坂山地の岩石と富士山から噴出した溶岩が接している境界付近で大きく、磁性が類似した火山噴出物が重なり合う富士山麓では小さいと考えられる。

紀元前 1000 年～西暦 1100 年にかけて噴出した富士山の火山噴出物 111 地点(38 層準)の古地磁気方位データ及び新たに測定した  $^{14}\text{C}$  年代値を用いて、赤池ベイジアン情報量基準(ABIC)が最小となるモデル選択を行い、古地磁気永年変化曲線を作成した。富士山の火山噴出物から作成した古地磁気永年変化曲線は、西南日本および韓国の考古遺跡から明らかにされた考古地磁気永年変化曲線と類似しており、阿蘇山の古地磁気方位(穴井ほか, 2021)と対比することにより過去 6000 年間に古地磁気永年変化曲線を延伸できることが期待される。そのため、阿蘇山と同時期に噴出した須走 c 期以前の火山噴出物の古地磁気方位データおよび  $^{14}\text{C}$  年代値を補完することが今後の課題である。

### I-4-3 富士山の噴火履歴の解明

本研究では、富士山の噴火履歴を明らかにするため、古地磁気永年変化曲線を用いて火山噴出物の噴火年代を再検証した。特に、富士山火山防災対策協議会においてハザードマップ改訂の検討項目として挙げられた⑤火砕流および⑥山体崩壊に関して重点的な検討を行った。

古地磁気永年変化曲線を基にテフラ層序から相対的な年代推定がされている火山噴出物の噴火年代を検証した結果、火山噴出物の古地磁気方位(偏角・伏角)から噴火年代の推定が可能であり、一部では富士火山地質図第 2 版(高田ほか, 2016)による推定値と約 1000 年も噴火年代が異なることが明らかとなった。富士山北



東麓に分布する鷹丸尾溶岩流は、これまで歴史資料の解釈に基づいて西暦 800～802 年(小山, 1998)と推定されてきたが、西暦 580～700 年のおよそ 120 年間に小規模な溶岩流が数十年間隔で 4 回噴出したと推定される。検討項目⑤に対して、本研究では鷹丸尾溶岩流の下位に新たに鷹丸尾火砕流堆積物を発見し、地質調査および古地磁気学的手法から推定した噴火推移・噴火規模に関する知見は「富士山ハザードマップ改訂」に寄与した。また、宝永山については脱ガスしたマグマの貫入による隆起モデルが提唱されており(Miyaji et al., 2011)、マグマ貫入による山体崩壊未遂の可能性と予知可能な山体崩壊の例として避難計画策定の必要性が指摘された(小山, 2018)。この検討項目⑥に対して、本研究では宝永火口近傍相の地質調査・全岩化学組成分析・古地磁気測定を実施し、宝永山は、古い富士火山(富士火山星山期)の山体が隆起して形成されたのではなく、西暦 1707 年の宝永噴出物が降り積もって形成された火砕丘であることを明らかにした。

## I-5 研究成果の発表

### I-5-1 誌上発表

- 1) 安田敦・馬場 章・藤井敏嗣・外西奈津美、富士火山焼野溶岩に捕獲された斑れい岩について: その起源とマグマ供給系についての考察、火山、64、pp. 83-101、2019
- 2) 馬場 章・藤井敏嗣・吉本充宏・千葉達朗・渋谷秀敏、富士火山 宝永山の形成史、火山(投稿中)

### I-5-2 口頭発表

- 1) Baba, A., Shibuya, H., Mochizuki, N., Yoshimoto, M (2018) Holocene paleomagnetic secular variation at Fuji volcano. JpGU2018, SIT22-41.
- 2) 馬場 章・吉本充宏・内山 高・渋谷秀敏・望月伸竜 (2018) 古地磁気学的手法による 富士火山 滝沢 1 溶岩流の層序区分. JpGU2018, SEM17-10.
- 3) 馬場 章・渋谷秀敏・内山 高 (2018) 古地磁気学的手法を用いた富士火山、鷹丸尾火砕流堆積物の噴火推移の解明. SGEPSS 第 144 回講演会, R004-P06.
- 4) Baba, A. and Shibuya, H (2019) Paleomagnetic directions from Fuji volcano, Japan : contributions to secular variation. AOGS 16th Annual Meeting, Singapore. SE01-A008.
- 5) 馬場 章・渋谷秀敏・畠山唯達 (2019) 富士火山の火山噴出物から推定する過去 2300 年間の地磁気永年変化. SGEPSS 第 146 回講演会、R004-P08.
- 6) 馬場 章・藤井敏嗣・千葉達朗・吉本充宏・西澤文勝・渋谷秀敏 (2019) 富士火山、宝永山の形成過程の考察. JpGU2019, SVC35-02.
- 7) 馬場 章・渋谷秀敏 (2020) 古地磁気学的手法を用いた富士火山、二ツ塚溶岩の噴火年代の再検討. JpGU2020(Online).
- 8) 馬場 章・渋谷秀敏 (2020) 富士山における紀元前 1000 年から西暦 1100 にかけての地磁気永年変化曲線. SGEPSS 第 148 回講演会、R004-01.
- 9) Baba, A. and Shibuya, H (2020) Paleomagnetic directions from Fuji volcano, Japan : For uncovering the eruption history. AGU, San Francisco(Online).

## I-6 謝辞

富士山火山防災研究センターの野澤すみれさんには、古地磁気方位測定および全岩化学組成分析に際してお手伝いいただいた。なお、岩石磁気測定は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究(20A017・20B015・19A022・19B020)のもとで実施された。記して御礼申し上げます。

## 引用文献

- 穴井千里・宮縁育夫・宇津木充・吉川 慎・望月伸竜・渋谷秀敏・大倉敬宏(2021) 古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討. 火山, 60, 171-186.
- 富士山火山防災対策協議会 (2021) 富士山ハザードマップ(改訂版)検討委員会報告書, 185p.
- 小山真人 (1998) 噴火堆積物と子機六からみた延暦十九～二十一年(800-802)富士山噴火 -古代東海道は富士山の北麓を通っていたか?-. 火山, 43, 349-371.
- 小山真人 (2018) 富士山の火山防災対策において山体崩壊をどう取り扱うべきか?. JpGU2018, [SVC40-P02]
- Miyaji, N., Kan' no, A., Kanamaru, T. and Mannen, K. (2011) High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 207, 113-129.
- 内閣府 (2004) 富士山ハザードマップ検討委員会報告書, 240p.
- 大熊茂雄・中塚 正・中野 俊・佐藤秀幸・大久保綾子(2016) 富士火山地域高分解能空中磁気異常図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 空中磁気図, 47.
- 高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・中野俊 (2016) 富士火山地質図(第2版), 産業技術総合研究所.

# 本 編



## Ⅱ 研究成果報告

### Ⅱ-1 富士山周辺域における古地磁気方位のデータベース

#### Ⅱ-1-1 はじめに

富士山は、日本国内の陸上火山として山体の体積が最大(400–500km<sup>3</sup>)であり、最近 300 年以上噴火が認められないものの、過去数千年間に亘り高頻度で噴火を繰り返していた活火山である(高田ほか, 2016)。富士山の火山学的研究は、津屋(1968)により富士火山地質図が刊行されて以降、山麓に降り積もった降下火砕物(テフラ)の層序を用いて噴火史が明らかにされてきた(町田, 1977; 宮地, 1988 など)。その後、地表の露出に限界があることから富士山の山体構成物のボーリング掘削調査(Yoshimoto et al., 2010)やトレンチ掘削調査(Kobayashi et al., 2007 など)、多数の <sup>14</sup>C 年代測定(山元ほか, 2005)による噴火履歴の構築が進められた。また、富士山噴火に関する歴史史料を基に歴史年表が作成され、史料の記述内容と火山噴出物の対比も行われている(小山, 1998)。近年では、火山噴出物層序や側火口位置などが新たに見直され、富士火山地質図第 2 版(高田ほか, 2016)にまとめられている。

図 1 に日本国内における過去 1.2 万年間の噴火履歴の一覧を示す。富士山は、先行研究によって溶岩流や火砕流堆積物の噴火年代が詳細に報告され、日本国内の他火山と比較しても噴火頻度が高いことが明らかにされている。富士火山地質図第 2 版(高田ほか, 2016)には、火山噴出物(溶岩・火砕丘・火砕流堆積物など)の層序、<sup>14</sup>C 年代法、歴史史料による年代推定に基づき過去 3200 年間の火山噴出物として 66 層が識別されている。一方、下位の層準ほど新しい火山噴出物に被覆され、露出や炭化木の産出も限定されることから、テフラ層序との対比による層位的な年代推定がなされている。富士山の噴火履歴(噴火の頻度・休止期)を解明するためには、火山噴出物の噴火年代をより詳細に推定できる研究手法の確立が必要不可欠である。そこで本研究では、平成 27~30 年度にかけて実施した基盤研究「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」において収集した古地磁気方位データを更に拡充し、それら火山噴出物の岩石磁気特性や岩石学的特徴についても集録した。

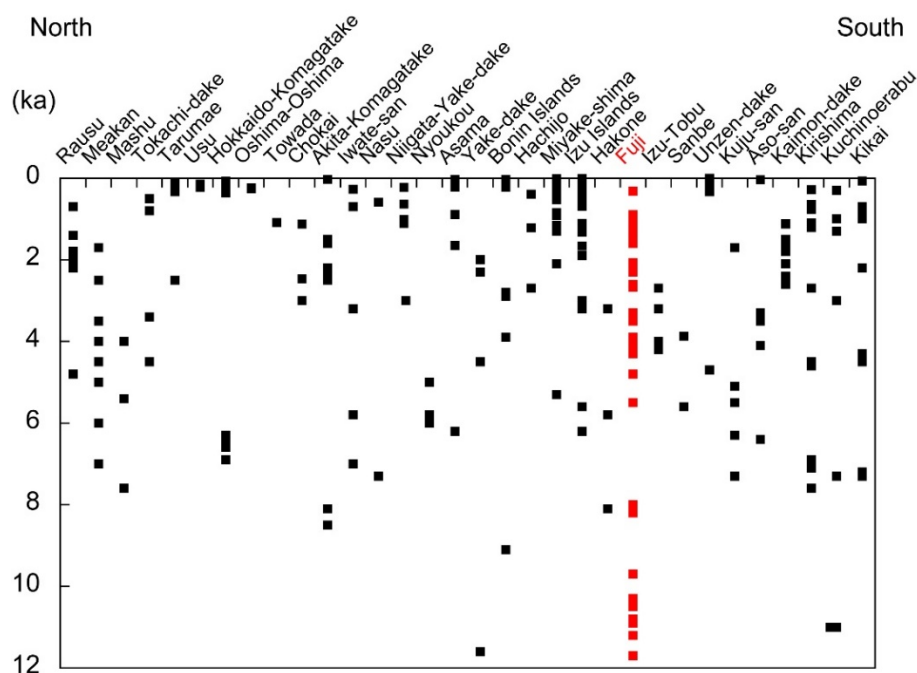


図 1 日本国内における過去 1.2 万年間の噴火履歴の一覧

四角: 噴火年代が報告されている溶岩流や火砕流堆積物を示す。ka: 1000 年前

## Ⅱ-1-2 火山噴出物の古地磁気方位

### 1) 調査目的

富士山麓に分布する過去 1 万年間に噴出した火山噴出物の古地磁気方位データベースを作成する。

### 2) 調査方法

富士山周辺域における古地磁気方位のデータベースを作成するため、過去 1 万年間に噴出したと推定される火山噴出物の定方位サンプリングを令和 2 年度までに 170 地点(65 層準)で行った。図 2 に須走 d 期(過去 2300 年間)に該当する溶岩流や火砕流堆積物の分布域とサンプリング地点を示す。正確な古地磁気方位を得るためにエンジンドリルを用いて 1 地点当たり 8~12 個のコア試料を採集した。火山噴出物や火山体が及ぼす局所的な磁気異常の影響を避けるため定方位サンプリング時にはサンコンパスを用いた(図 3)。

古地磁気測定には山梨県富士山科学研究所のスピナー磁力計(ASPIN)、交流消磁装置、熱消磁装置(DEM-8602)を用いた(図 4)。測定用試片は、各コア試料を高さ約 20~24 mm の円柱に切り出し、上下面を側面と垂直になるよう研磨した。段階交流消磁実験(AFD)は、自然残留磁化(NRM)を測定した後に 5、10、15、20~120mT の区間は 10mT 間隔で段階的に消磁し、各ステップでの残留磁化を測定した。段階熱消磁実験(ThD)は、NRM を測定した後に、50、100、150、200、250、300、340、380、420、440、460、480、500、520、540、560、580、600℃の 19 ステップで行った。また、消磁ステップごとに帯磁率計(KT-10)を用いて帯磁率を測定し、空気中加熱による磁性鉱物の変質の有無を確認した。段階消磁実験で得られた各試片の測定結果は、試料方位を補正した上で直交面投影を行い、Kirschvink(1980)による主成分解析法を用いて特徴的磁化方向(ChRM)を求めた。その後、地点ごとに ChRM を等面積投影し、平均方位を求めた。平均方位(古地磁気方位)はその誤差を表すパラメータとして信頼限界円( $\alpha 95$ )、集中度パラメータ(k)を用いて評価した。

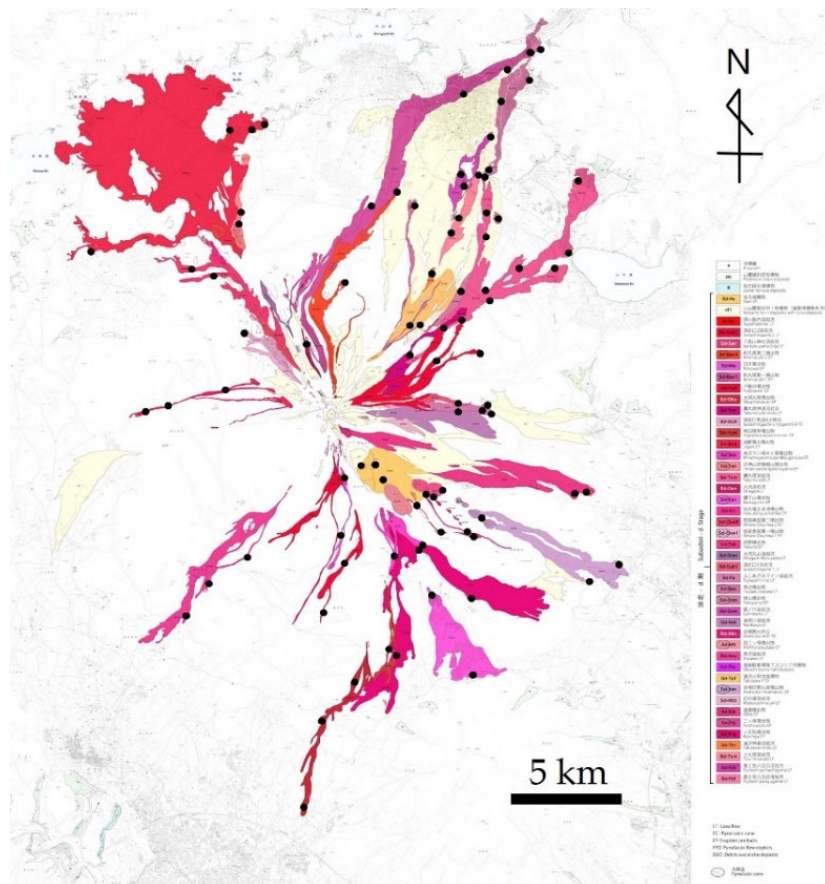


図 2 須走 d 期の火山噴出物の分布域(高田ほか, 2016)とサンプリング地点  
黒丸:サンプリング地点、色は各火山噴出物を示す。



図3 溶岩流の定方位サンプリング

日時計の要領で採取地点の緯度経度、採取時刻から太陽方位を算出する。真北を基準にすることにより、採取地点の局所的な磁気異常の影響を排除でき、コア試料ごとに正確な定方位付けが可能となる。



図4 交流消磁装置・スピナー磁力計

### 3) 調査結果

図5に富士火山地質図第2版において過去1600年間に噴火したと推定されている須走d期火山噴出物、図6に過去1万年間に噴火したと推定される火山噴出物の古地磁気方位測定結果を示す。本研究では、コア試料ごとに太陽方位(真北)を基準として測定データを補正することにより、 $\alpha_{95}$ が平均 $2.3^\circ$ と高精度な古地磁気方位データが得られた(図7)。

本研究で得られた古地磁気方位データは、西南日本の考古遺跡・窯跡の古地磁気方位データから作成された過去1600年間の考古地磁気永年変化曲線(JRFM2K.1: 畠山ほか, 2013)と重複する範囲に分布を示す(図5)。また、琵琶湖の湖底堆積物コアを用いて作成された過去1万年間の古地磁気永年変化曲線(BIWA SV-3: Ali et al. 1999)とも調和的な変化傾向を示している(図6)。一方で、富士火山地質図第2版において推定されている噴火年代と過去の地磁気永年変化との対比による年代推定結果は必ずしも一致していない(II-2-4を参照; 図15)。その要因は、高田ほか(2016)の火山噴出物層序では $^{14}\text{C}$ 年代法や歴史史料による年代推定だけでなく、テフラ層序との対比による層位学的な年代推定も含まれているためと考えられる。火山噴出物の噴火年代(頻度・休止期)をより詳細に明らかにするためには、古地磁気方位に基づく年代対比を行うなど、噴火年代を総合的に検証することが不可欠である。





四角:古地磁気方位の平均値、大小の円:信頼限界円( $\alpha$  95)、Dec:偏角、Inc:伏角  
 緑色実線:考古地磁気永年変化曲線(JRFM2K. 1: 畠山ほか, 2013)、数字:西暦

偏角( $^{\circ}$ )



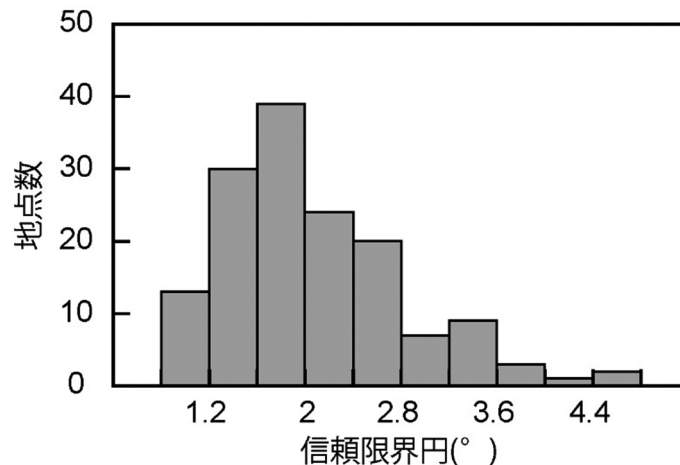


図 7 古地磁気方位測定結果 ( $\alpha 95$ ) のヒストグラム

### II-1-3 火山噴出物に含まれる磁性鉱物

#### 1) 調査目的

本研究で採集した溶岩流や火砕流堆積物では、強磁性鉱物がキュリー点(磁性を獲得し始める温度)以下に冷却された際に獲得された熱残留磁化が初生的な NRM と考えられる。しかし、肉眼において新鮮であり、変質作用が見受けられないものの、落雷など強い磁場の影響により再帯磁(二次的な磁化を獲得)している可能性もある。消磁によって二次磁化は初生磁化と区別することが可能であるが、それには岩石が安定した NRM を保持しているかどうか、強磁性鉱物の磁気特性を把握する必要がある。そこで、岩石試料中に含まれる磁性鉱物種および磁性鉱物の粒子サイズを明らかにする。

#### 2) 調査方法

磁性鉱物種の推定には熱磁気分析、磁性鉱物の粒子サイズの確認には磁気履歴(ヒステリシス)測定を用いた。試料は、各地点から磁気測定用コア試料を 1 つ選定し、それぞれを 3 mm 程度の粒径になるよう砕いて用いた。任意の同一試片に対して、ヒステリシス測定後に熱磁気分析を行った。

ヒステリシス測定は、高知大学海洋コア総合研究センターの振動試料磁力計(MicroMag3900 VSM)を用いて測定した。測定により磁場中での磁性体の振る舞いが表され、試料中に存在する磁性鉱物が保持する飽和磁化(Ms)、飽和残留磁化(Mrs)、保持力(Bc)、残留保持力(Bcr)がわかる。熱磁気分析は高知大学海洋コア総合研究センターの熱磁気天秤(NMB-89)を用いて、大気中で 300 mT の磁場をかけ、常温から 700℃まで昇温・冷却速度を 10 °C/min の条件下で測定した。

#### 3) 調査結果

図 8 に全試料の測定データを反映した Day plot を示す。溶岩流および火砕流堆積物など火砕物の測定データは、疑似単磁区粒子(PSD: pseudo-single domain)の領域に確認でき、単磁区粒子(SD: single domain)と多磁区粒子(MD: multidomain)の混合曲線上に沿って分布していることから、SD と MD の混合によって説明できる(Dunlop, 2002a, 2002b ; Heslop and Roberts, 2012)。測定結果は、Bcr/Bc が 1~5、Mrs/Ms が 0.05~0.5 の範囲に分布し、MD の割合が全体積の約 0~95%と幅が広い。一般的に、肉眼で観察できる磁性鉱物は MD であり、二次磁化が付きやすく不安定で変化しやすい。一方で、数  $\mu\text{m}$  以下の微細な磁性鉱物は SD であり、磁化が安定しており変化しにくいとされている(中井, 2004)。また、両者の中間的な PSD は、磁氣的なふるまいが SD に近く、同様に安定した NRM を獲得している。本研究で採取した試料は、PSD の領域に分布し、SD を含んでいることから、安定した初生磁化が記録されていると考えられる。

図 9 に熱磁気分析の代表的な結果を示す。宝永噴出物である宝永第 1 火口内のスパターでは、昇温曲線

(heating)は 500℃付近で飽和磁化( $J_s$ )が急激に減少し、580℃ですべての  $J_s$  が消磁されている。降温曲線 (cooling)は 500℃付近で急激に上昇し、その後緩やかに上昇している。一方で、日沢溶岩流では、昇温曲線 は 300℃までに全体の 80%の  $J_s$  が急激に減少しており、550℃で 100%の  $J_s$  が消磁されている。降温曲線は 500℃付近で急激に上昇し、その後緩やかに上昇している。これらの測定結果から、古地磁気方位測定を行った火山噴出物に含まれる磁性鉱物は、チタン含有量の異なるチタノマグネタイト(チタン磁鉄鉱)であり、噴火後の冷却時に安定した熱残留磁化を獲得したと考えられる。

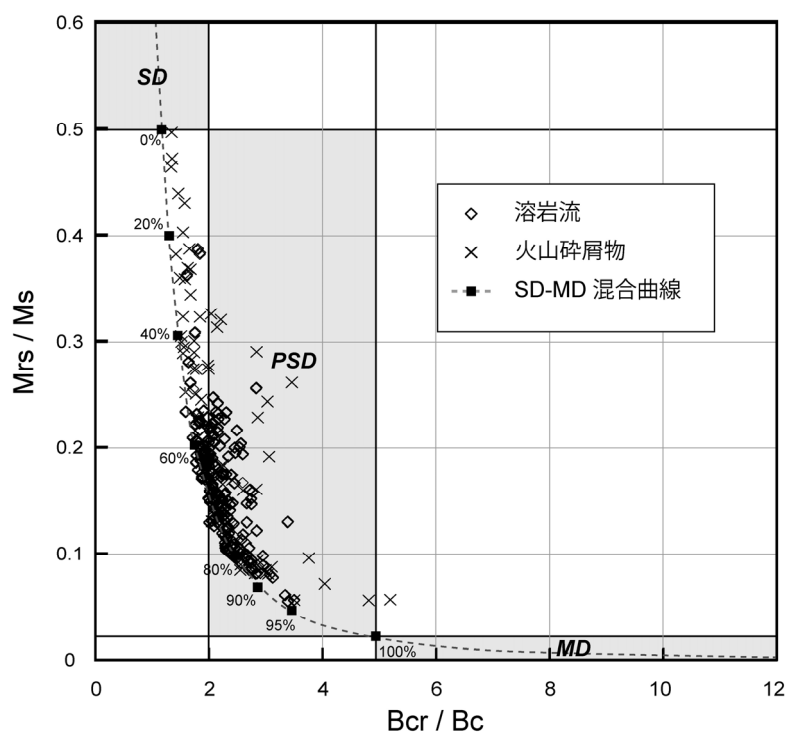


図 8 富士山の火山噴出物の Day plot

% : SD-MD 混合曲線上における MD の割合

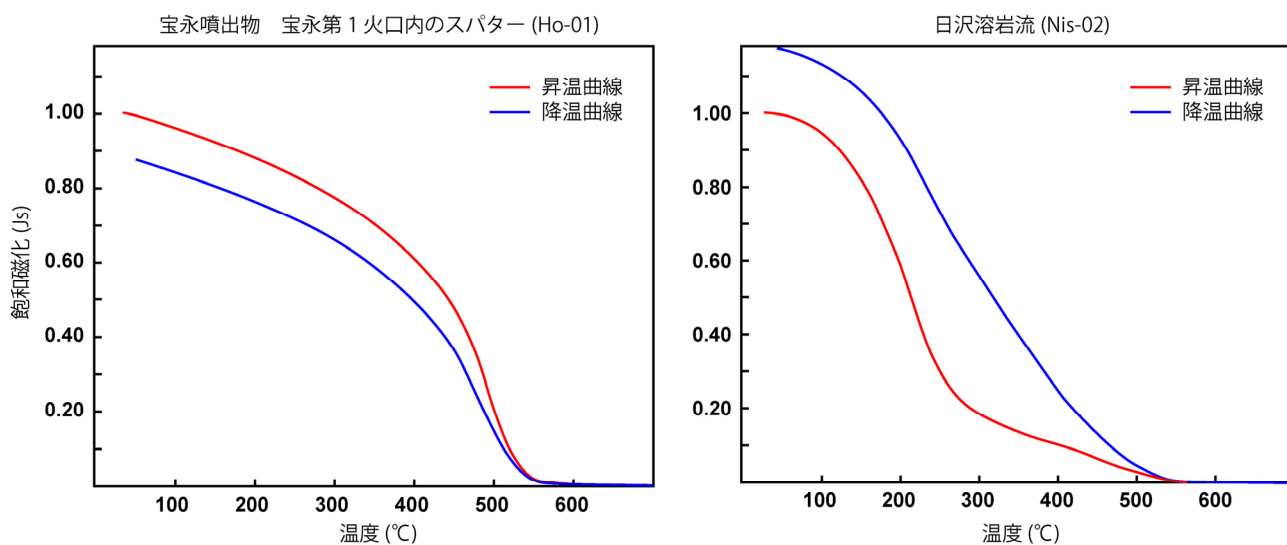


図 9 熱磁気分析結果の一例

左図：宝永第 1 火口内のスパター、右図：富士南麓に分布する日沢溶岩流

## II-1-4 火山噴出物の岩石学的特徴

### 1) 調査目的

本研究で採集した火山噴出物は、富士火山地質図第2版において須走d期から富士宮期(cal 15000 BC以降)に分類される溶岩流・火砕流堆積物・火砕丘であり、層序区分・分布域が示されていない未区分のものも含まれている。富士火山地質図第2版の層序区分を再検証するため、また富士山のマグマ供給系を解明するために、全岩化学組成分析から各層準の岩石学的特徴を明らかにする。

### 2) 調査方法

古地磁気方位測定した試料から、各地点につき全岩化学組成分析用コア試料を1つ選定した。外西ほか(2015)に従い、山梨県富士山科学研究所において、洗浄・乾燥後にマルチビーズショッカーを用いて粉碎した希釈率6倍のガラスビードを作成した。全岩化学組成分析は、東京大学地震研究所の蛍光X線分析装置(ZSX Primus II)を用いて主要元素および微量元素を測定した。本研究による火山噴出物の同定には富士火山地質図第2版で公開されている全岩化学組成値を用いた。

### 3) 結果及び考察

図10に過去3500年間(須走d期・c期)の火山噴出物の全岩化学組成分析結果を示す。層序区分に基づいた鉛直変化を示すため、縦軸は富士火山地質図第2版で推定されている噴火年代、横軸は100%規格化した $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ の値をwt%で表した。この活動期に噴火した火山噴出物は、 $\text{SiO}_2=50.5\sim53.4$  wt%、 $\text{TiO}_2=1.0\sim1.6$  wt%、 $\text{Al}_2\text{O}_3=16.5\sim19.0$  wt%、 $\text{FeO}=9.5\sim12.3$  wt%の組成幅があり、約2300年前に起こった最後の山頂噴火を境にして須走d期と須走c期では組成範囲や変化傾向が異なっている。須走c期では、 $\text{SiO}_2=51.5\sim53$  wt%、 $\text{TiO}_2=1.0\sim1.6$  wt%、 $\text{Al}_2\text{O}_3=17\sim18.5$  wt%、 $\text{FeO}=9.5\sim11.5$  wt%の組成幅を持つことから玄武岩から玄武岩質安山岩が噴出している。一方で、須走d期では、紀元前150年頃と推定される小天狗溶岩流のみが $\text{SiO}_2=53.4$  wt%と分化が進んだ玄武岩質安山岩の組成値を示すが、紀元前50年頃から西暦1100年頃にかけて $\text{SiO}_2$ と $\text{Al}_2\text{O}_3$ が増加し、 $\text{TiO}_2$ と $\text{FeO}$ では減少する傾向が認められる。金子ほか(2014)は、富士山のマグマ供給系として深部マグマ溜まり由来の玄武岩マグマと浅部マグマ溜まり由来の安山岩マグマの混合によるモデルを提示している。また、須走期に噴出した降下火砕物の全岩化学組成値は富士宮期の降下火砕物より系統的に高い $\text{SiO}_2$ 値を示すことから、噴火活動が低下した須走a期に浅部マグマ溜まりの分化が進んだと考えられている。このモデルに従うと、約2300年前後に深部マグマ溜まり由来の玄武岩マグマと浅部マグマ溜まり由来の安山岩マグマの混合比率が変化し、紀元前50年頃に深部マグマ溜まり由来の玄武岩マグマが卓越したことが示唆される。

富士山の火山噴出物は、活動期により全岩化学組成値の組成幅や変化傾向が異なり、斑晶の粒径や組み合わせなどの岩石学的特徴も踏まえて同一性や層序区分がなされている。一方で、全岩化学組成値や斑晶組み合わせは類似性があることから、火山噴出物の岩石学的特徴のみから噴火年代を推定・制約することができない。今後、火山噴出物の年代推定が10年単位など高分解能で可能となれば、富士山のマグマ供給系の詳細化に寄与することが期待される。

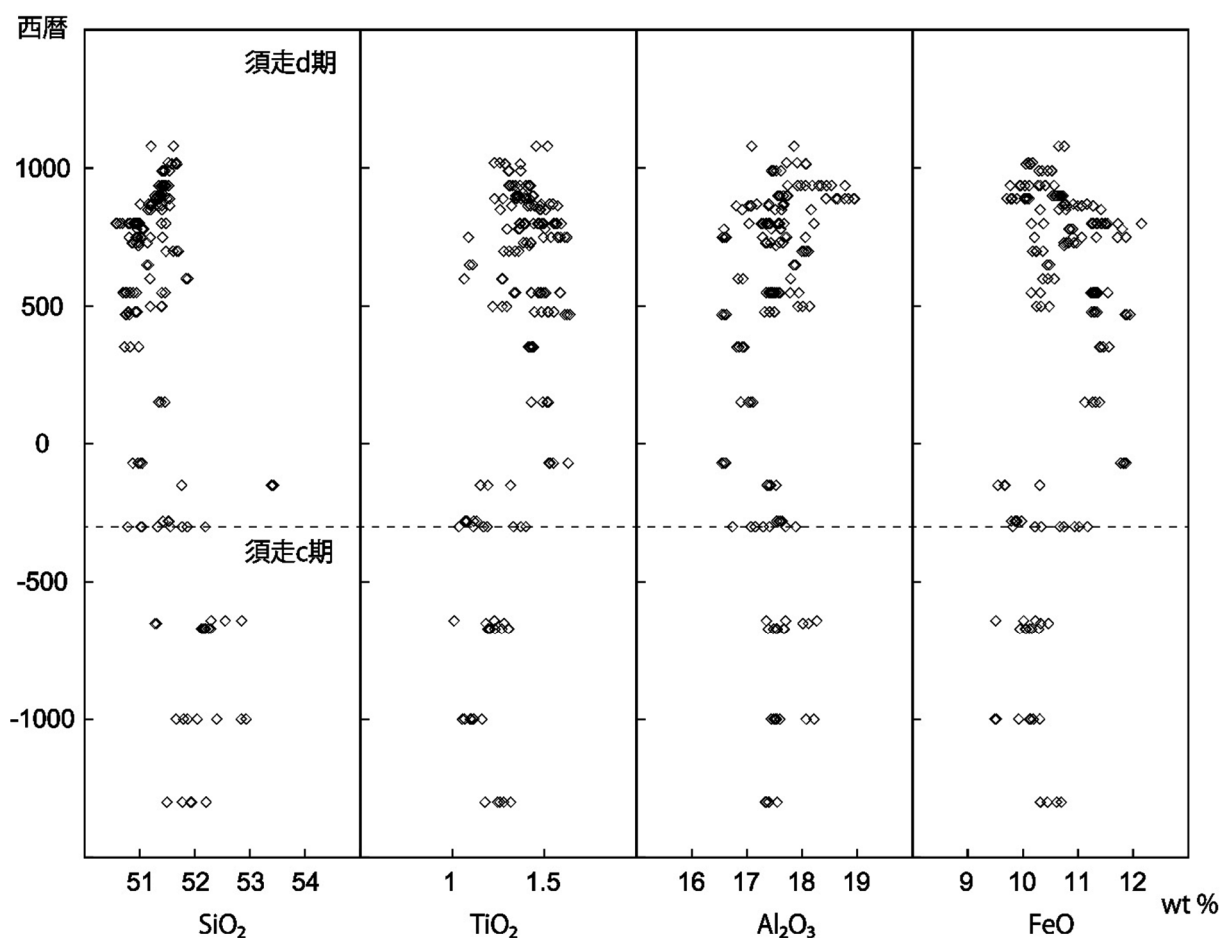


図 10 須走 d 期・c 期火山噴出物の全岩化学組成の層位変化

#### 引用文献

- Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K. and Torii, M. (1999) Holocene paleomagnetic secular variation at Lake Biwa, central Japan. *Geophys. J. Int.*, 136, 218-228.
- Dunlop, D. J. (2002a) Theory and Application of the Day Plot (Mrs / Ms versus Hcr / Hc) 1. Theoretical Curves and Tests Using Titanomagnetite Data. *J. Geophys. Res.*, 107, 2056.
- Dunlop, D. J. (2002b) Theory and Application of the Day Plot (Mrs / Ms versus Hcr / Hc) 2. Application to data for rocks, sediments, and soils. *J. Geophys. Res.*, 107, 2057.
- 畠山唯達・鳥居雅之・渋谷秀敏・広岡公夫 (2013) 日本の考古地磁気データベースと過去 2000 年の地磁気永年変化. 第 232 回生存圏シンポジウム.
- Heslop, D. and Roberts, A. P. (2012) Estimating best fit binary mixing lines in the Day plot. *J. Geophys. Res.*, 117, B01101.
- 外西奈津美・安田 敦・中田節也 (2015) ガラスビード法による蛍光 X 線分析装置 (XRF) を用いた珪酸塩岩石の主・微量成分分析. *震研彙報*, 90, 1-14.
- 金子隆之・安田 敦・嶋野岳人・吉本充宏・藤井敏嗣 (2014) 富士火山, 太郎坊に露出する新期スコリア層の全岩化学組成 - 富士黒土層形成期付近を境とするマグマ供給系の変化 -. *火山*, 59, 41-54.
- Kirschvink, J. L. (1980) The least-squares lines and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Roy. Astro. Soc.*, 62, 699-718.

- Kobayashi, M., Takada, A. and Nakano, S. (2007) Eruptive history of Fuji volcano from AD 700 to AD 1000 using stratigraphic correlation of Kozushima-Tenjosan Tephra. Bull. Geol. Surv. Japan, 57, 409-430.
- 小山真人 (1998) 歴史時代の富士山噴火史の再検討. 火山, 43, 323-347.
- 宮地直道 (1988) 新富士火山の活動史. 地質雑, 94, 433-452.
- 町田 洋 (1977) 火山灰は語る. 蒼樹書房, 324p.
- 中井睦美 (2004) ジオロジストのための岩石磁気学-帯磁率から古地磁気・AMS まで-, 地学双書 34, 181p.
- 高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・中野俊 (2016) 富士火山地質図 (第 2 版), 産業技術総合研究所, 56p.
- 津屋弘達 (1968) 富士火山地質図 (5 万分の 1). 特殊地質図 no. 12, 地質調査所, 24p.
- 山元孝広・高田 亮・石塚吉浩・中野 俊 (2005) 放射性炭素年代測定による富士火山噴出物の再編年. 火山, 50, 53-70.

## II-2 過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線の作成

### II-2-1 はじめに

地球の磁場は絶えず変化しており、この時間変化は地磁気永年変化として知られている。日本における過去の地磁気永年変化曲線は、主に西南日本の考古遺跡から得られた古地磁気データに基づき作成され (Hirooka, 1971)、考古遺跡や火山噴出物の年代推定に活用されてきた (広岡, 1988)。現在、国土地理院が発行している 2015 年磁気図では偏角は西に 6~10 度、伏角は 44~60 度と幅広い分布をしていることから、日本国内においては地域ごとに過去の地磁気変動を明らかにする必要がある。富士山近郊では東美濃・瀬戸地域を中心とする東海地方 292 基の考古地磁気データから西暦 700~1700 年までの期間の考古地磁気永年変化曲線 (広岡・藤澤, 2002) が作成されている。しかし、考古地磁気永年変化曲線は、考古試料の有無や土器編年に制約されているため、西暦 400 年以前について明らかにされていない。東海・関東地方において古地磁気方位を用いた年代推定手法を確立するためには、噴火年代が  $^{14}\text{C}$  年代値などで明らかな富士山の火山噴出物から作成された地磁気永年変化曲線が必要である。本研究では、新たに  $^{14}\text{C}$  年代測定・地上磁気異常測定を行い、前章の火山噴出物のデータベースを基に統計解析手法を用いて富士山における過去 3200 年間の古地磁気永年変化曲線を作成した。

### II-2-2 炭化木・土壌・菌核粒子の $^{14}\text{C}$ 年代値

#### 1) 調査目的

富士山の火山噴出物の噴火年代を定量的に明らかにする。

#### 2) 調査方法

年代測定試料として、古地磁気方位測定用の試料採取と同時に溶岩流直下や火砕流堆積物中の炭化木、 $^{14}\text{C}$  年代値が未報告である層準直下の土壌を採集した。採取した試料は、メス・ピンセットを用いて根等の付着物を取り除いた後、酸・アルカリ・酸 (AAA : Acid Alkali Acid) 処理を行い、不純物を化学的に除去した。また、静岡県御殿場市太郎坊露頭 (標高 1430 m) において宝永噴出物 (Ho-I) 直下の土壌層 (S24-10) 中からは菌核粒子が多産することを新たに発見した。これら菌核粒子 (Sclerotium grain) は、妙高火山において  $^{14}\text{C}$  年代値が報告されている (Watanabe et al., 2007)。そこで、炭化木が乏しい富士山の高標高域においても応用可能か検証するため、菌核粒子を土壌層から水簾により分離し、粒径ごとに計 4 mg 以上になるよう分別した。これら試料を真空ライン内で燃焼し、鉄を触媒として水素で還元して生成したグラファイトを株式会社 加速器分析研究所の NEC 社製 AMS を用いて炭素同位体比・ $\delta^{13}\text{C}$  値を測定した。測定では、米国国立標準局 (NIST) のショウ酸 (HOx II) を標準試料とし、この標準試料とバックグラウンド試料の測定も同時に実施した。

#### 3) 調査結果

代表的な年代測定結果を表 1 に示す。なお、 $^{14}\text{C}$  年代値の算出には、Libby の半減期 (5568 年) を用いている。暦年較正年代の計算には IntCal13 データベース (Reimer et al., 2013) を用い、OxCal v4.3 較正プログラム (Bronk Ramsey, 2009) を使用した。

須走口 2 溶岩流 (Sd-Sub2)、青木ヶ原溶岩流 (Sd-Aog)、水ヶ塚丸尾溶岩流 (Sd-Mzt)、焼野西丸尾溶岩流 (Sd-Yak)、剣ヶ峰噴出物 (Sc-Kng)、須走 c 期火砕流堆積物 (Sc-Pf1)、八軒溶岩流 (Sc-Hac) から採集した炭化木は、富士火山地質図第 2 版の既報値と概ね一致している。富士西麓に分布する十万石林道溶岩流 (Sb-Jmg) は、これまで年代未詳であったが、溶岩流直下の炭化木から  $5400 \pm 30$  yr BP の  $^{14}\text{C}$  年代値が新たに得られた。また、富士東麓の海苔川沿いの標高 1300 m 付近において富士火山地質図第 2 版では報告されていない火砕流堆積物 (Unknown pf1 1、2、3) を 3 層発見し、火砕流堆積物中の炭化木から  $1950 \pm 20$ 、 $1890 \pm 20$ 、 $1820 \pm 20$  yr BP の年代値が得られた。これにより、富士山では約 2000 年前頃に複数回の火砕流が発生し、富士東麓に流下していたことが示唆される。一方で、ふじさんミュージアムの敷地内において鷹丸尾溶岩流 (Sd-Tam) の

直下から採取した炭化木から得られた年代値は  $1470 \pm 20$  cal BP である。その較正暦年代は 557-640 cal AD の可能性範囲を示しており、歴史史料から推定されている西暦 800-802 年の延暦噴火の年代よりも古い。

図 11 に静岡県御殿場市太郎坊露頭で採集した菌核粒子の測定結果を示した。S24-10 中に含まれる菌核粒子は、粒径が 0.5 mm 以下(336 個)が古く、1.0 mm 以上(10、20 個)が新しい  $^{14}\text{C}$  年代値となる傾向が認められる。宝永噴出物(Ho-I)は西暦 1707 年に噴出したことが歴史史料から明らかにされており、S24-10 の各測定値が Ho-I より古い  $^{14}\text{C}$  年代値を示すことに矛盾はない。また、S24-10 下位の茶褐色土壌層(Brown soil)の上部、下部から産出した菌核粒子は、下位ほど古い  $^{14}\text{C}$  年代値が得られている。これらのことから、富士山麓においても粒径 1.0 mm 以上の菌核粒子を用いて火山噴出物の年代推定が可能であると考えられる。

表 1  $^{14}\text{C}$  年代測定結果

Unit	Sample No. (AAA Lab No)	Method	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (permil)	Calibrated $^{14}\text{C}$ age (yr BP)	Calendar age (cal BC/AD)	
Sd-Sub2	170618-02 (IAAA-172101)	AMS	Charcoal	$-29.07 \pm 0.36$	$1100 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 892-991 (95.4%)
Sd-Aog	170512-14b (IAAA-172105)	AMS	Charcoal	$-23.82 \pm 0.20$	$1210 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 774-901 (79.7%) AD 920-953 (15.7%)
Sd-Mzt	181111-03 (IAAA-181569)	AMS	Charcoal	$-24.97 \pm 0.18$	$1230 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 693-747 (29.5%) AD 763-880 (65.9%)
Sd-Inm	160727-01 (IAAA-172104)	AMS	Charcoal	$-25.32 \pm 0.45$	$1390 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 615-669 (95.4%)
Sd-Yak	170512-13 (IAAA-172103)	AMS	Charcoal	$-27.85 \pm 0.46$	$1440 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 579-653 (95.4%)
Sd-Tam	200601-01 (IAAA-201330)	AMS	Charcoal	$-26.08 \pm 0.17$	$1470 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 557-640 (95.4%)
Unknown pfl 3	171116-01a (IAAA-172107)	AMS	Charcoal	$-25.25 \pm 0.36$	$1820 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 132-242 (95.4%)
Unknown pfl 2	160626-02 (IAAA-172106)	AMS	Charcoal	$-30.71 \pm 0.30$	$1890 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 62-170 (93.0%) AD 194-209 (2.5%)
Unknown pfl 1	171117-01b (IAAA-172108)	AMS	Charcoal	$-27.26 \pm 0.42$	$1950 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	AD 3-87 (92.2%) AD 102-120 (3.2%)
Sc-Kng	200902-04 (IAAA-201333)	AMS	Charcoal	$-14.28 \pm 0.23$	$2320 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	406-374 BC (95.4%)
Sc-Pfl	170627-02 (IAAA-172110)	AMS	Charcoal	$-29.99 \pm 0.48$	$2540 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	799-746 BC (54.9%) 686-666 BC (10.5%) 643-553 BC (30.0%)
Sc-Hac	170512-11b (IAAA-172109)	AMS	Charcoal	$-26.01 \pm 0.34$	$2560 \pm 20$	$2\sigma$ (95%)	805-751 BC (85.1%) 684-668 BC (4.3%) 636-626 BC (1.1%) 615-590 BC (4.9%)
Sb-Jmg	170512-05b (IAAA-172111)	AMS	Charcoal	$-27.49 \pm 0.49$	$5400 \pm 30$	$2\sigma$ (95%)	4330-4236 BC (95.4%)

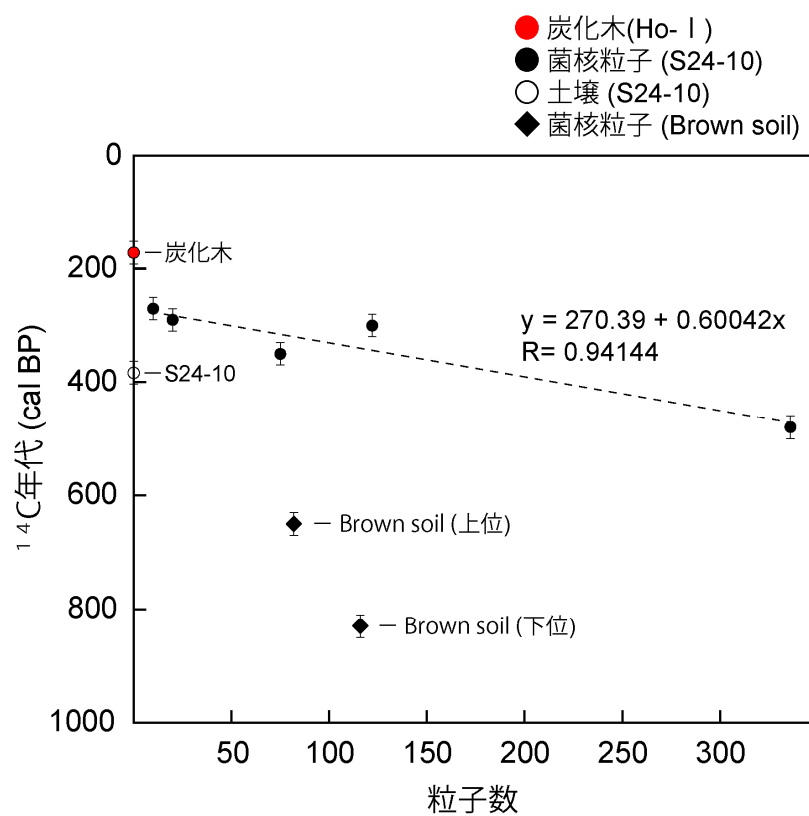
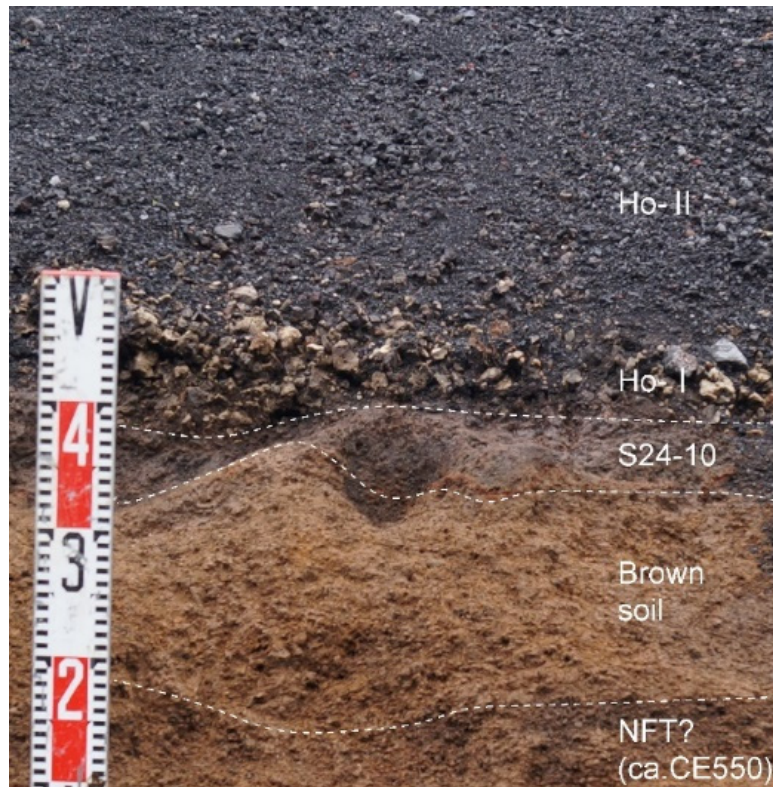


図 11 静岡県御殿場市太郎坊露頭の <sup>14</sup>C 年代測定結果



## II-2-3 青木ヶ原溶岩周辺の地上磁気異常測定

### 1) 調査目的

富士山麓では溶岩が及ぼす磁場によって空中磁気異常が確認されている(大熊ほか, 2016)。国内外の活火山では火山噴出物に記録された古地磁気方位が地磁気の観測値と比較して異なることが報告されており、その要因の 1 つとして局所的な磁気異常が挙げられている(メキシコ、パルクティン火山 1943-1952 年噴火; Urrutia-Fucugauchi et al., 2004 など)。磁気異常が古地磁気方位に及ぼす影響を把握するため、富士山北西麓、青木ヶ原溶岩周辺の全磁力測定を行い、富士山の溶岩が及ぼす磁気異常について明らかにする。

### 2) 調査方法

地上磁気測定は、2018 年 3~8 月にかけて、青木ヶ原溶岩周辺の自然遊歩道や道路脇、御坂山地と青木ヶ原溶岩の境界部においてテラテクニカ社製オーバーハウザー磁力計(GSM-19W)を携行して実施した(図 12)。測定は、検出器が地表から約 2 m の位置になるよう維持し、GPS と検出器を同期させることで緯度経度と全磁力を 1 秒ごとに記録させた。測定データは森林の中で GPS が測位できなかった地域や車や建物などの人工物の影響を排除し、159,312 秒(約 44 時間)の全磁力値を得た。



図 12 オーバーハウザー磁力計による地上磁気異常測定

### 3) 調査結果

図 13 に地表踏査から作成した青木ヶ原溶岩周辺の地上磁気異常図を示した。全磁力測定の結果、富士山北西麓、青木ヶ原溶岩周辺の全磁力は、およそ 38,000~56,000 nT と幅広い値を示した。国際標準地球磁場モデルによる 46,700 nT を基準(ゼロ)にすると、湖畔~標高 1,000 m 付近では $\pm 9,000$  nT 以下と変動が大きく、標高 1,200 m 以上の富士山麓では $\pm 3,000$  nT 以下と変動が小さい傾向が見られた。特に西湖の西側や本栖湖の東側などでは、富士山から噴出した溶岩の北側はマイナス(青色)、南側はプラス(赤色)を示し、磁気異常が南北で対に確認された。このことから溶岩が現在の地球磁場と同じ方向(北向き)に磁化しているため、溶岩の磁場が地磁気を北側では弱め、南側では強めたと考えられる。

図 14 に測定エリアに分布する岩石の磁気特性について横軸に帯磁率、縦軸に残留磁化の対数グラフで示した。御坂山地を構成する新第三紀中新世の泥岩や砂岩などの堆積岩類や花崗岩などの火成岩類は富士山の溶岩に比べて残留磁化が 1/10 以下と非常に低いことから、磁気異常は、磁性が異なる御坂山地の岩石と富士山から噴出した溶岩が接している境界付近で大きく、磁気特性が類似した火山噴出物が重なり合う富士山麓では小さいと考えられる。以上のことから、火山噴出物が起因となる磁気異常が確かに認められるが、磁性の異なる御坂山地との境界付近など限定的であることが明らかとなった。本研究では火山噴出物が重なり合う富士山麓において測定試料を採取しており、火山噴出物が及ぼす磁気異常は地磁気に比べ有意に小さいことから、火山噴出物に記録されている古地磁気方位に影響を及ぼした可能性は低いと考えられる。

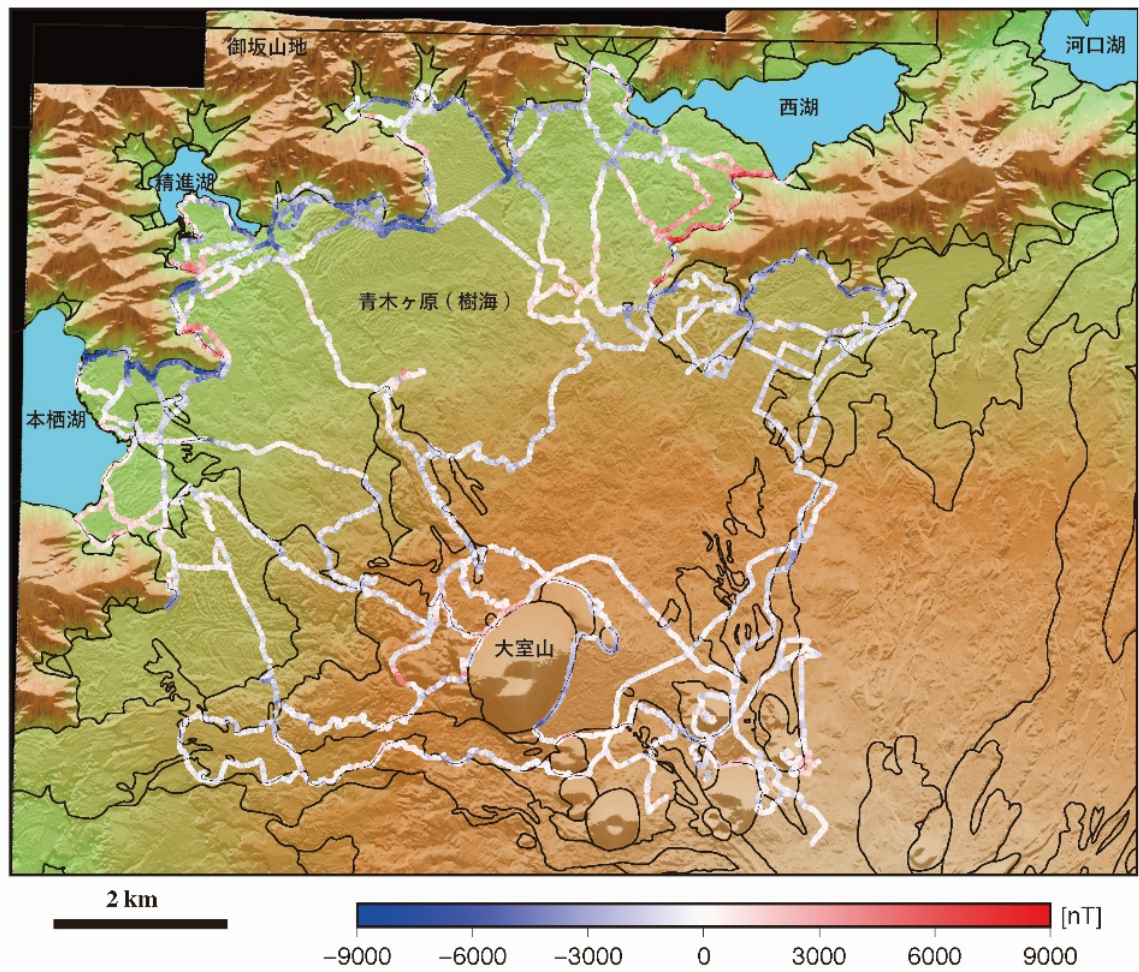


図 13 青木ヶ原溶岩周辺の地上磁気異常図

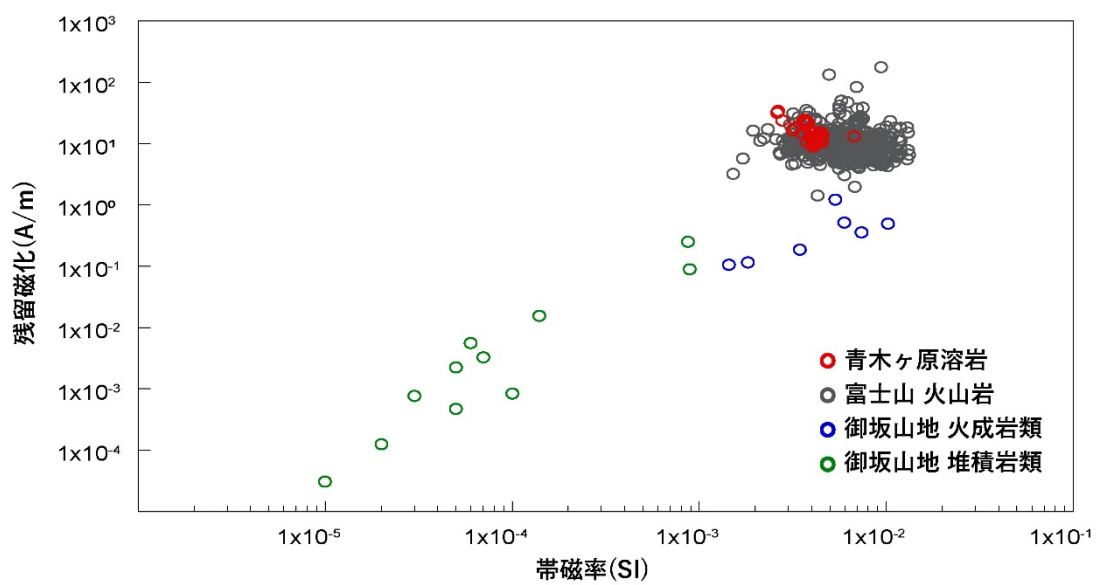


図 14 測定エリアに分布する岩石の磁気特性



## II-2-4 地磁気方位データの統計解析

### 1) 調査目的

富士山の火山噴出物から得られた古地磁気方位(偏角・伏角)データを統計解析し、富士山周辺における古地磁気永年変化曲線を作成する。

### 2) 調査方法

II-1-2 に示したように、高田ほか(2016)の火山噴出物の噴火年代の推定値は、考古地磁気永年変化曲線との対比による年代推定結果と必ずしも一致していない。そのため、II-2-2 で新たに測定した  $^{14}\text{C}$  年代値および考古地磁気永年変化曲線との対比による年代推定結果に基づき、火山噴出物の噴火年代を更新した(図 15)。富士火山地質図第 2 版では推定される年代値(色相)が異なる古地磁気方位が重複しているが、本研究で更新した年代値では色相が漸移的に変化している。古地磁気永年変化曲線作成では、 $\alpha 95$  が  $5^\circ$  以内の古地磁気方位データを採用し、大室山降下スコリアの噴火年代を基準点として赤池ベジアン情報量基準(ABIC)が最小となるモデル選択を行った。なお、古地磁気永年変化曲線の統計解析手法に関しては、Shibuya et al. (2018)に示されている。

大室山降下スコリアは、高田ほか(2016)により紀元前 1200~1300 年頃に噴出したと推定されている。しかし、Tani et al. (2013)の報告では大室山降下スコリア下位にある天城カワゴ平テフラ(Kg)の噴火年代がウィグルマッチング法を用いて 3,151~3,125 cal BP と高精度に推定されている。また、Yamamoto et al. (2021)は河口湖のボーリングコア試料を用いて大室山降下スコリアの噴火年代を  $2938 \pm 29$  cal BP と高精度に明らかにしていることから、本研究では大室山降下スコリアの噴火年代を紀元前 1000 年と仮定した。また、本研究の野外調査においても西暦 1100 年~現在に至る間に西暦 1707 年宝永噴火以外の火山噴出物が確認されていない。令和 2 年度は新型コロナウイルス感染防止対策として登山道が閉鎖されたため、富士山の山頂部や登山道沿いによりのみ分布が報告されている火山噴出物の古地磁気方位データを補完することができなかった。

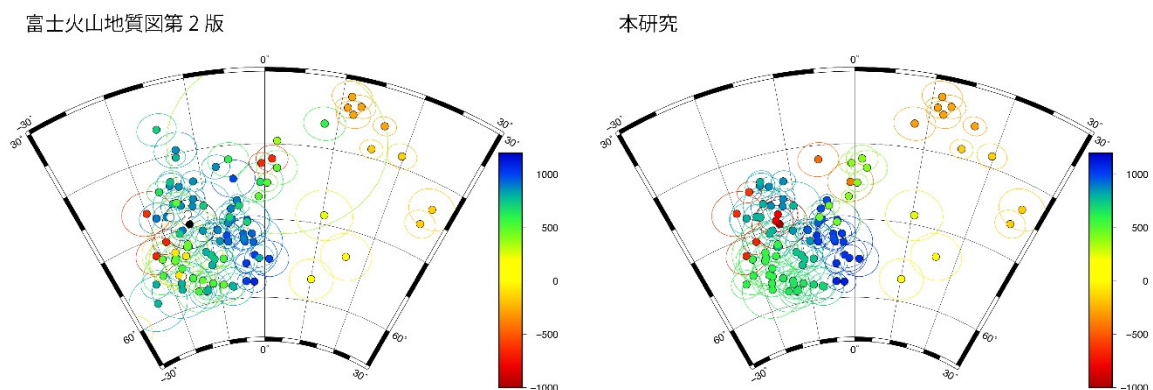


図 15 古地磁気方位測定結果の比較

左図：富士火山地質図第 2 版による噴火年代値を用いて古地磁気方位をプロットした。

右図：本研究で更新した噴火年代値を用いて古地磁気方位をプロットした。

### 3) 調査結果

紀元前 1000 年～西暦 1100 年にかけて噴出した富士山の火山噴出物 111 地点 (38 層準) の古地磁気方位データ及び新たに測定した  $^{14}\text{C}$  年代値を用いて、古地磁気永年変化曲線を作成した (図 16)。西暦 1100 年頃 (青色) から紀元前 400 年頃 (黄緑色) の地磁気変動は、西南日本の考古地磁気永年変化曲線の変化と概ね一致している。紀元前 400 年頃 (黄緑色) から 1000 年頃 (赤色) の地磁気変動は、反時計回りに大きくループを描いて東偏から西偏に移行している。この傾向は、韓国において 3～4 世紀頃 (黄色) と推定されている横口附窯社の考古地磁気測定結果 (成・広岡, 2000) と類似している。しかし、この期間については、富士山の古地磁気方位データが乏しいことから、ABIC によるモデル選択では最小二乗法によりループが内側に偏っている。この期間の火山噴出物は、約 2300 年前 (オレンジ色) の山頂噴火前後のため富士山山頂部などに分布が限定され、本研究では古地磁気方位データが補完できていない。

熊本県の阿蘇山では、火山噴出物の古地磁気方位を用いて約 3300 から 5000 年前頃にかけての古地磁気永年変化曲線が作成されている (穴井ほか, 2021)。約 3300 年前と推定されている米塚溶岩流の古地磁気方位は西偏 10～15 度、伏角 40～50 度付近を示しており、約 4100 年前と推定される赤水溶岩流にかけて時計回りに大きくループを描いている。本研究で約 3000 年前と推定した大室山降下スコリアは阿蘇山の米塚溶岩流の古地磁気方位と類似していることから、富士山と阿蘇山の古地磁気方位データを対比することにより、古地磁気永年変化曲線を延伸できることが期待される。そのためにも阿蘇山と同時期に噴火した須走 c 期以前の火山噴出物の古地磁気方位データおよび  $^{14}\text{C}$  年代値を補完することが今後の課題である。

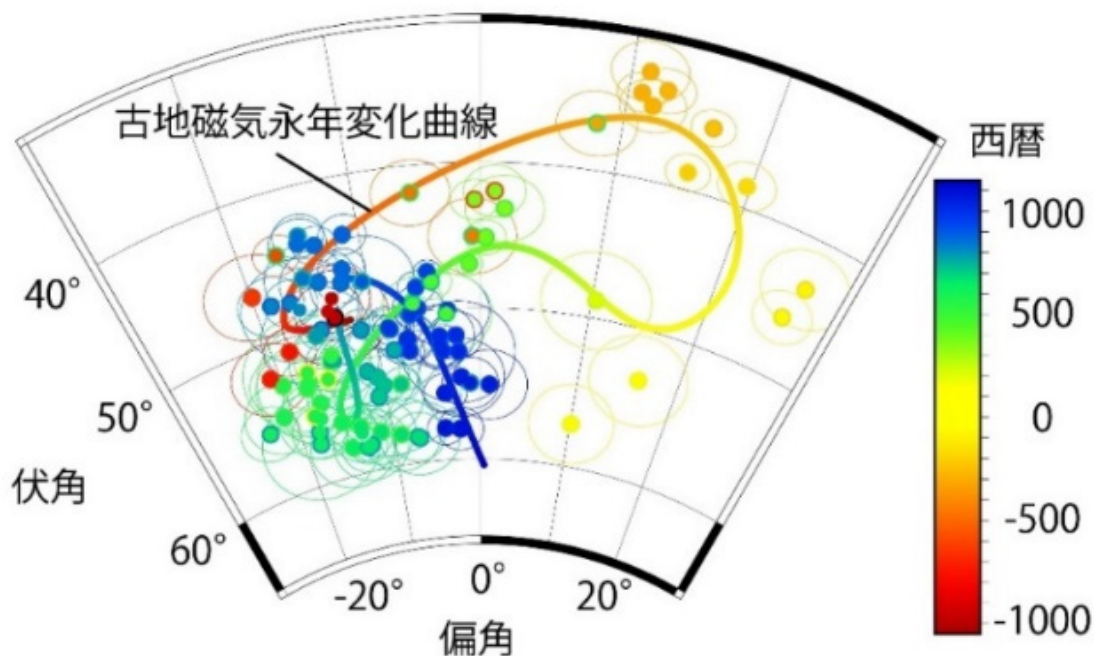


図 16 富士山の火山噴出物を用いた古地磁気永年変化曲線

## 引用文献

- 穴井千里・宮縁育夫・宇津木充・吉川 慎・望月伸竜・渋谷秀敏・大倉敬宏(2021) 古地磁気・岩石磁気学的手法を用いた阿蘇火山中岳火口周辺域の完新世噴出物の分類と噴火年代の再検討. 火山, 60, 171-186.
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51, 337-360.
- Hirooka, K. (1971) Archaeomagnetic study for the past 2,000 years in southwest Japan. Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral., 38, 167-207.
- 広岡公夫(1988) 古地磁気・考古地磁気編年による年代推定. 地質学論集, 20, 305-318.
- 広岡公夫・藤澤良祐(2002) 東海地方の地磁気永年変化曲線. 考古学と自然科学, 45, 29-54.
- 大熊茂雄・中塚 正・中野 俊・佐藤秀幸・大久保綾子(2016) 富士火山地域高分解能空中磁気異常図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 空中磁気図, 47.
- Shibuya, H., Haruta, A., Mochizuki, N. and Miyabuchi, Y. (2018) Paleomagnetic directions of 3-5 ka basaltic volcanoes in the Aso central cone, Kyushu Japan: Further extension of the paleosecular variation curve. Japan Geoscience Union 2018 Meeting Abstract, SIT22-42.
- 成 亨美・広岡公夫(2000) 韓国の考古地磁気変動に関する研究とその考古学的応用. 考古学と自然科学, 39, 15-32.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatte, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. vM., and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon, 55, 1869-1887.
- Tani, S., Kitagawa, H., Wan H., Park, JH., Sung, KS. And Park, G. (2013) Age Determination of the Kawagodaira Volcanic Eruption in Japan by  $^{14}\text{C}$  Wiggle-Matching. Radiocarbon, 55, 748-752.
- Urrutia-Fuuauchi, J., Alva-Valdivia, L.M., Gouithaichvili, A., Rivas, M.L. and Morales, J. (2004) Palaeomagnetic, rock-magnetic and microscopy studies of historic lava flows from the Paricutin volcano, Mexico: implications for the deflection of palaeomagnetic directions. Geophys. J. Int, 156, 431-442.
- Yamamoto, S., Nishizawa, F., Yoshimoto, M., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Suga, H. and Ohkouchi, N. (2021) Dating lake sediments using compound-specific  $^{14}\text{C}$  analysis of  $\text{C}_{16}$  fatty acid: A case study from the Mount Fuji volcanic region, Japan. Geochemistry, Geophysics, Geosystems., 22, e2020GC009544.
- Watanabe, M., Sato, H., Matsuzaki, H., Kobayashi, T., Sakagami, N., Maejima, Y., Ohta, H., Fujitake, N. and Hiradate, S. (2007)  $^{14}\text{C}$  ages and  $^{13}\text{C}$  of sclerotium grains found in forest soils. Soil Science and Planet Nutrition, 53, 125-131.

## II-3 富士山の噴火履歴の解明

### II-3-1 はじめに

富士山の噴火履歴については、山麓に降り積もった降下火砕物(テフラ)の層序(宮地, 1988)や歴史史料の解釈(小山, 1998a)から明らかにされ、西暦 781 年以降(歴史時代)に噴火が 10 回あったと推定されている。しかし、高田ほか(2016)は、富士火山地質図第 2 版において歴史史料から推定されている西暦 1435 年と 1511 年の噴火に該当する火山噴出物を確認していない。また、山元ほか(2020)は、西暦 800-802 年の延暦噴火とされる鷹丸尾溶岩流を 900~1000 cal AD と推定した須走口馬返 6' 降下火砕物と対比させ、西暦 937 年の承平噴火と推定した。このように歴史時代噴火とされる噴火事象においても、研究者間で噴火年代の解釈が異なり、火山噴出物も特定されていない。

富士山における噴火イベントの把握や予測を行うためには、噴火事象の規模や様式、それらの時間変化などを時空間的に理解することが必要である。古地磁気学的手法の利点は、火山噴出物の古地磁気方位を地磁気永年変化と対比する年代推定に加え、古地磁気方位の変位量から噴火イベントの同時性、時間間隙を捉えられることにある。富士山の噴火履歴を明らかにするため、本研究で作成した古地磁気永年変化曲線を用いて火山噴出物の噴火年代推定および歴史時代噴火の再調査を実施した。

### II-3-2 過去 3200 年間に噴火した火山噴出物の噴火年代

#### 1) 調査目的

前章までの研究に基づいて作成された古地磁気永年変化曲線(図 16)を用いて過去 3200 年間に噴火した火山噴出物の噴火年代を推定し、富士山の噴火履歴(噴火頻度・休止期)を明らかにする。

#### 2) 調査方法

富士山の火山噴出物の噴火年代に関して、図 17 に高田ほか(2016)と本研究を比較して示す。高田ほか(2016)による噴火年代の推定では、図 17 左のように同時期と推定されている火山噴出物の古地磁気方位(偏角・伏角)が一致していない。著者らが作成した古地磁気永年変化曲線を基に、テフラ層序から相対的な年代推定がされている火山噴出物の噴火年代を検証した。

#### 3) 調査結果

図 18 に高田ほか(2016)と本研究による噴火年代推定値の散布図を示した。大部分の火山噴出物是对角線上に分布が認められるが、一部では約 1000 年も推定される噴火年代が異なる。富士南麓に分布する六番林道溶岩流は、高田ほか(2016)により大室山降下スコリアと S-22 降下スコリアの間であることから紀元前 1400~300 年前の間に噴出したとされているが、古地磁気永年変化を用いることで紀元前 960 年頃に噴出したと推定された。同じく、富士南東麓に分布する西二ツ塚溶岩流は、富士東麓のテフラ層序(山元ほか, 2011)から西暦 550 年頃と推定されているが、本研究では西暦 720 年頃と推定された。また、富士北麓に分布する滝沢 2 溶岩流は、S-16-2 あるいは S-17 降下スコリアの直上(上杉, 1998)であることから紀元前 700-600 年と推定されてきたが、本研究では西暦 370 年頃と推定された。地磁気永年変化を時間軸として火山噴出物の噴火年代を見直すことにより、図 17 右のように富士山の噴火履歴を整理することができ、噴火の同時性や時間間隙を検証することが可能となる。

本研究では約 2300~3000 年前の古地磁気方位データが補完できていないものの、古地磁気永年変化曲線を作成した紀元前 1000 年頃から西暦 1100 年にかけて噴火休止期は確認できず、西暦 400~1100 年の期間に亘って断続的に噴火していたことが明らかである。また、本研究においても小山(1998a)が推定した西暦 1435 年と 1511 年の噴火に該当する火山噴出物を確認できていないことから、西暦 1100~1707 年の約 600 年間は溶岩流を出すような明確な噴火は確認できない。

本研究の結果は、古地磁気永年変化を用いることで、火山噴出物の古地磁気方位(偏角・伏角)から噴火年

代の推定が可能であることを示している。しかし、古地磁気永年変化曲線が交差する西暦 450 年頃と 1000 年頃などでは古地磁気方位のみから噴火年代を推定することができない。そのため、古地磁気永年変化を用いた噴火年代の推定においても火山噴出物の層序などの制約条件が必要であり、火山噴出物の噴火年代の詳細化には異なる年代推定手法を組み合わせることが不可欠である。

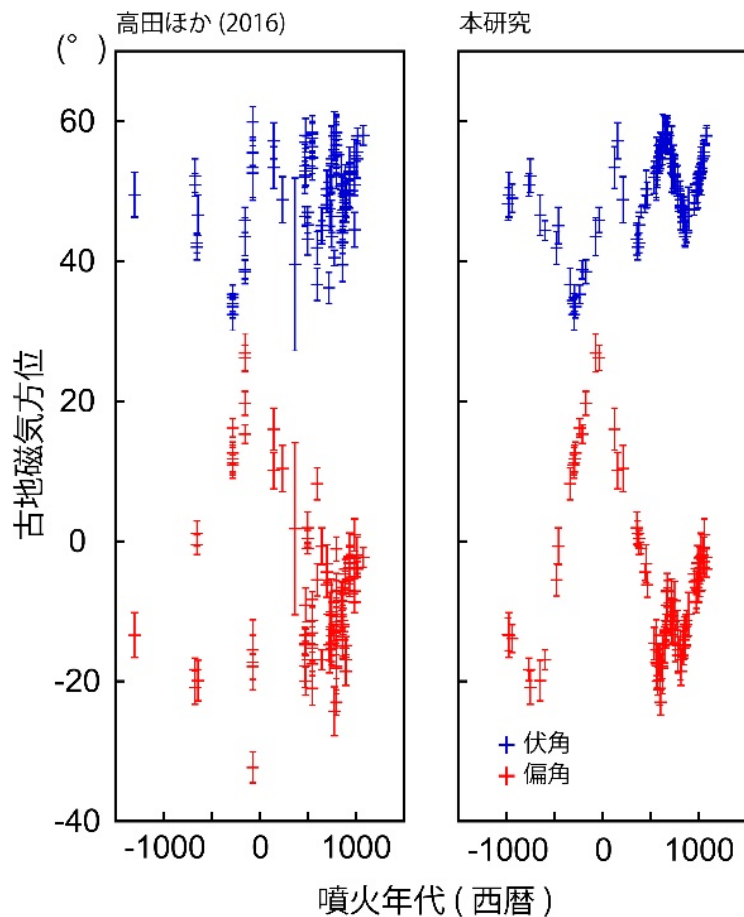


図 17 富士火山地質図第 2 版と本研究による噴火年代推定値の比較

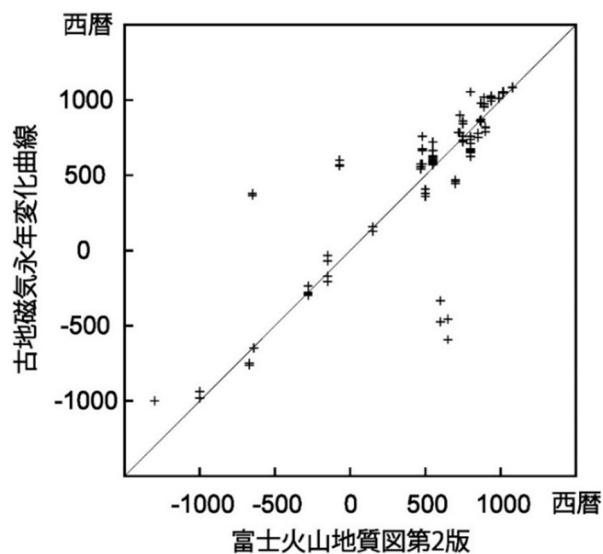


図 18 噴火年代推定値の散布図

### II-3-3 鷹丸尾溶岩流・火砕流堆積物の噴火年代

#### 1) 調査目的

富士火山北東麓の野外調査において新たに発見された鷹丸尾火砕流堆積物の古地磁気方位測定から噴火年代および流下・定置過程を明らかにする。

#### 2) 調査方法

富士北麓、北富士演習場内に分布する鷹丸尾溶岩流および鷹丸尾火砕流堆積物(新称)の分布域・噴火規模を推定するために地表踏査し、鷹丸尾火砕流堆積物からは定方位サンプルを3地点から採取した。火山噴出物や火山体が及ぼす局所的な磁気異常の影響を排除するため、試片の方位付けにはサンコンパスを用いた。正確な古地磁気方位を得るために1地点当たり16~20試料を採集し、スピナー磁力計を用いて古地磁気方位を測定した。また、鷹丸尾火砕流堆積物の定置温度を明らかにするために段階熱消磁実験を行った。

#### 3) 調査結果

鷹丸尾火砕流堆積物は、富士火山北麓、北富士演習場内に分布する鷹丸尾溶岩流の下位にあり、標高1,430 mの与兵衛流河床から標高1,120 m地点まで分布域が確認できた。また、露出が確認できるだけでも長さ約3.6 km、最大幅700 m、層厚2~15 mあり、平均断面法での試算では約1,240万 $\text{m}^3$ と見積もられ、富士火山防災マップで試算に用いられた滝沢B火砕流堆積物(242万 $\text{m}^3$ :内閣府,2004)のおよそ5倍の噴出量と推計される。鷹丸尾火砕流堆積物下部の炭化木片の $^{14}\text{C}$ 年代測定からは、 $1,500 \pm 30$  yr BP、 $1,490 \pm 30$  yr BPの年代値が得られ、噴火年代は西暦590頃と推定される。

段階交流消磁実験による鷹丸尾火砕流堆積物の磁化方位は、D(偏角)=-17.3°、I(伏角)=55.8°を示す1地点とD=-13°、I=57°付近を示す2地点に分かれ、西暦600頃と西暦630頃に噴火した2回のフローユニットと推定される。段階熱消磁実験の結果、主要な磁性鉱物はキュリー温度(520~580°C)からチタノマグネタイトであり、580°C以上の高温で流下したことが推定される。また、火砕流に取り込まれた類質岩片は、420°Cを境に高温成分と低温成分に分かれ、低温成分が火砕流堆積物の本質物の磁化方位と一致することから流下・定置過程において被熱されたことが明らかである。

富士山北東麓に分布する鷹丸尾溶岩流は、これまで歴史資料の解釈に基づいて西暦800~802の2年間に中規模の溶岩流を噴出したと考えられてきた(小山,1998b)。一方で、山元ほか(2020)は、900~1000 cal ADと推定した須走口馬返6'降下火砕物と対比させ、鷹丸尾溶岩流を西暦937年の承平噴火と推定している。古地磁気方位の解析により、鷹丸尾溶岩流は西暦580~700のおよそ120年間にかけて小規模な溶岩流が数十年間隔で4回噴出したと推定される(図5)。また、富士火山地質図第2版では噴火年代がそれぞれ異なって推定されている檜丸尾1溶岩流(西暦550年)、中ノ茶屋溶岩流(西暦480-620年)、青沢溶岩流(西暦480年)の古地磁気方位を解析した結果、この3層準も西暦580~700の間に断続的に噴出し、北東-南西方向に卓越する割れ目火口から同時期に南麓および北麓へ流下したことが明らかとなった。鷹丸尾火砕流堆積物は、この一連の溶岩流を噴出した噴火イベントの平均方位と一致し、全岩化学組成や岩石学的特徴も類似している。また、鷹丸尾火砕流堆積物は溶岩流に覆われていることから、溶岩流に先行して火砕流が発生したと推定される(図19)。



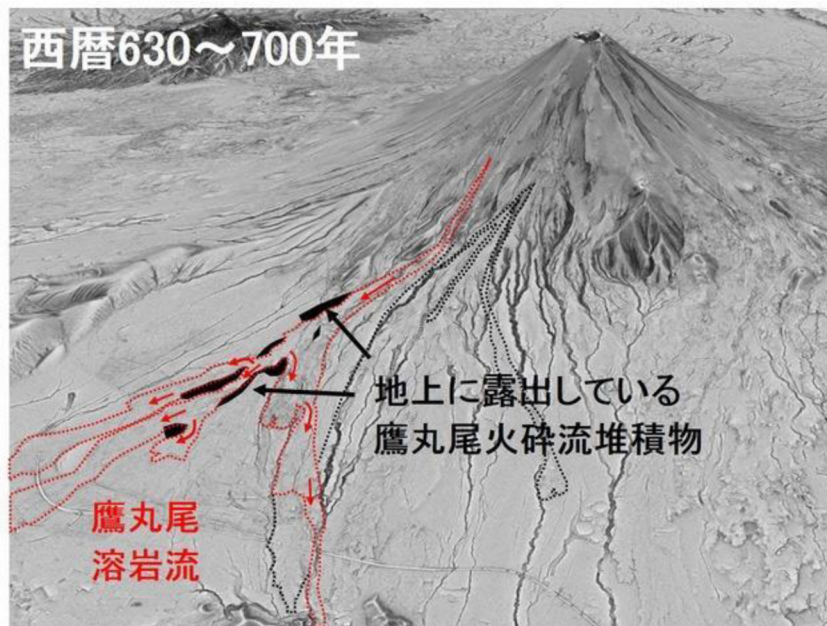
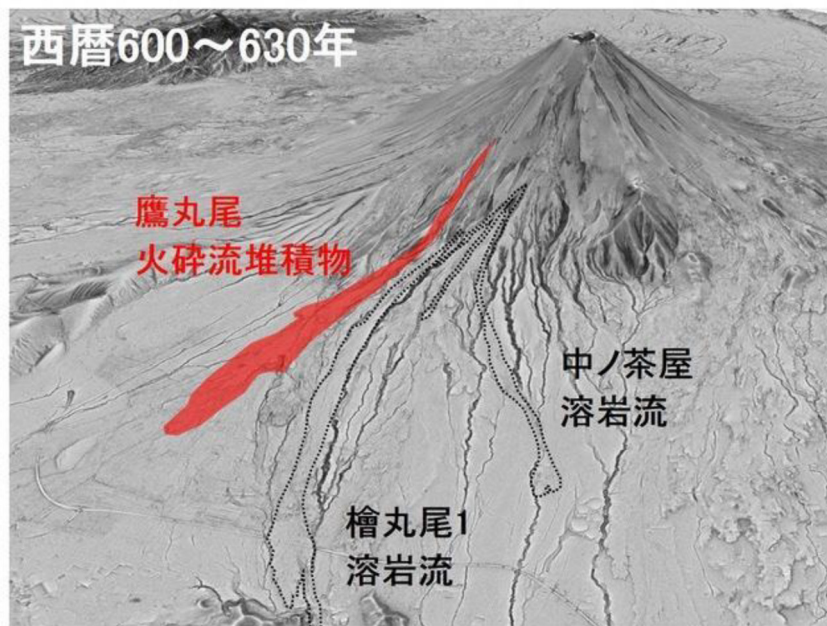


図 19 鷹丸尾火砕流発生前後で推定される噴火の推移  
(富士山火山防災対策協議会, 2021)

## II-3-4 宝永山の形成史

### 1) 調査目的

宝永山については脱ガスしたマグマの貫入による隆起モデルが提唱されており (Miyaji et al., 2011)、マグマ貫入による山体崩壊未遂の可能性と予知可能な山体崩壊の例として避難計画策定の必要性が指摘された (小山, 2018)。本研究では宝永火口近傍相の地質調査・全岩化学組成分析・古地磁気測定を実施し、宝永山の形成過程を明らかにする。

### 2) 調査方法

富士火山南東麓に位置する宝永山は、宝永噴火の際に古富士火山の一部が隆起して形成されたと推定されてきた (Tsuya, 1955)。津屋 (1968) は、Tsuya (1955) の宝永山凝灰岩層を古富士火山の火山砂礫および泥流層 (OLFm) に分類し、富士火山地質図上に赤岩 (Akaiwa) の名称を併記している。そこで西暦 1707 年宝永噴出物の分布域・層序を再検証するため、2018 年に宝永火口周辺および宝永山麓を地表踏査した。また、宝永山の形成年代推定および宝永噴出物と対比するため、全岩化学組成分析と古地磁気測定を実施した。試料採取は、宝永山山頂付近 (Ho-03)、宝永第一火口内の火砕丘 (Ho-01)、御殿庭侵食谷 (Ho-05) の 3 地点で行なった。火山噴出物や火山体が及ぼす局所的な磁気異常の影響を排除するため、試料の方位付けにはサンコンパスを用いた。正確な古地磁気方位を得るためにエンジンドリルを用いて 1 地点当たり 14~20 試料を採集し、段階交流消磁実験に加えて段階熱消磁実験により定置温度を推定した。

### 3) 調査結果

赤岩を含む宝永山麓では多種多様な類質岩片が認められるものの、主には緻密な暗灰色火山礫・火山岩塊、火山弾から構成され、斑れい岩岩片や斑れい岩を捕獲した火山弾も認められる。それらの鏡下観察・全岩化学組成分析・古地磁気測定結果から宝永火口近傍相を新たに 9 つの Unit (Unit1~9) に区分し、それらの分布域を明らかにした (図 20)。

Unit3、4、7、9 の古地磁気方位は古地磁気永年変化曲線の西暦 1707 頃の古地磁気方位と一致し (図 21)、全岩化学組成分析結果においても宝永山を構成する近傍相 (Unit1~9) は遠方相の Ho-I~IV (Unit A~Q: Miyaji et al., 2011) に類似している (図 22)。Ho-II (Unit C・D) に相当する Unit 3 に含まれる岩塊の被熱温度は最低 480℃以上である。Unit 3 は、宝永火口から南東方向に放出された火砕物が急速に堆積し、下位ほど堆積後に高温状態が維持されていたと推定される。Ho-II (Unit E・F) に相当する Unit 4 の暗灰色火山礫・火山岩塊は SiO<sub>2</sub> 含有量が 53.1~57.6 wt.% である。この組成領域は Ho-II と Ho-III の中間であり、遠方相では報告例に乏しい。その要因として、脱ガスによって密度が高くなったために噴煙柱に取り込まれることが少なく、火砕物の多くが火口近傍に堆積したと考えられる。Ho-III (Unit K~M) に相当する Unit 7 (赤岩) 形成の際には、高温の火山弾やスパターが定置する一方で堆積時には基質部が冷めていたと推定される。また、Unit 7 の古地磁気方位に有意な冷却後の傾動が認められないことから、宝永山の山体は、形成時から現在に至るまで大きく変化していないと考えられる。

これらの新たな知見に加えて、宝永噴出物のアイソパック (Miyaji et al., 2011)、マグマ供給系 (藤井, 2007) と史料と絵図 (小山, 2009) も考慮すると、宝永山は、古い富士火山 (富士火山星山期) の山体が隆起して形成されたのではなく、西暦 1707 年の宝永噴出物が降り積もって形成された火砕丘であると結論される (図 23)。

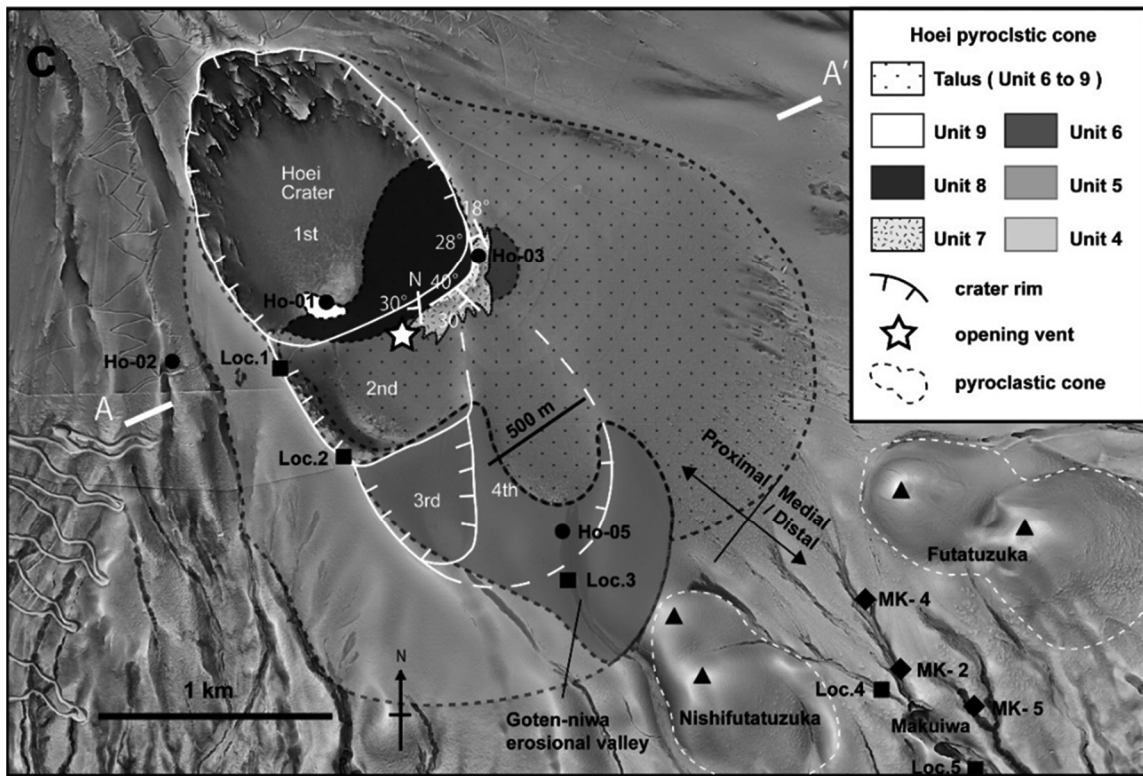


図 20 宝永火口近傍相の岩相区分図(馬場ほか, 投稿中)

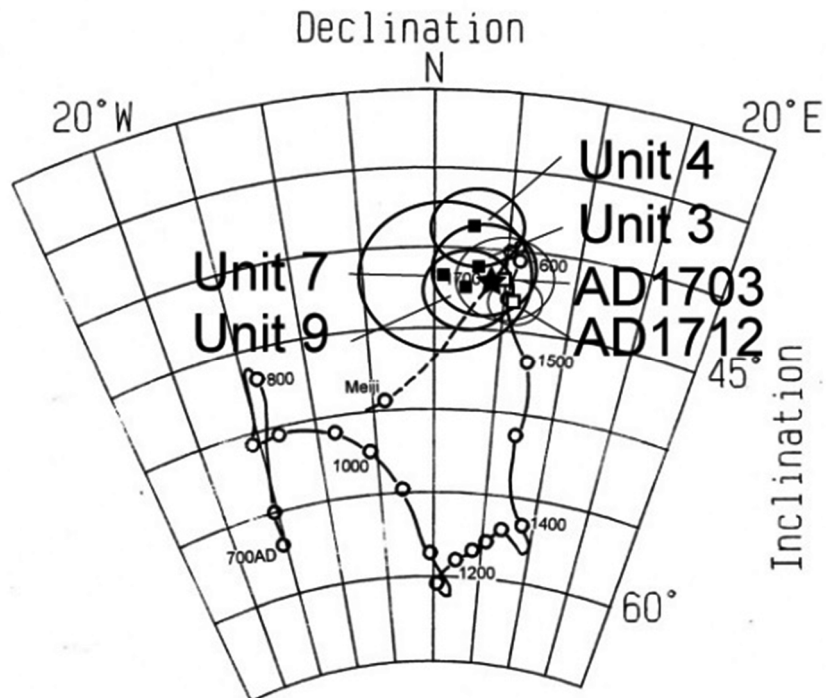


図 21 古地磁気方位測定結果(馬場ほか, 投稿中)

黒四角: 古地磁気方位の平均値、白四角: 古地磁気方位(広岡, 1990)、大小の円: 信頼限界円( $\alpha 95$ )、  
 黒色実線: 考古地磁気永年変化曲線(広岡・藤澤, 2002)、数字: 西暦 Dec: 偏角、Inc: 伏角

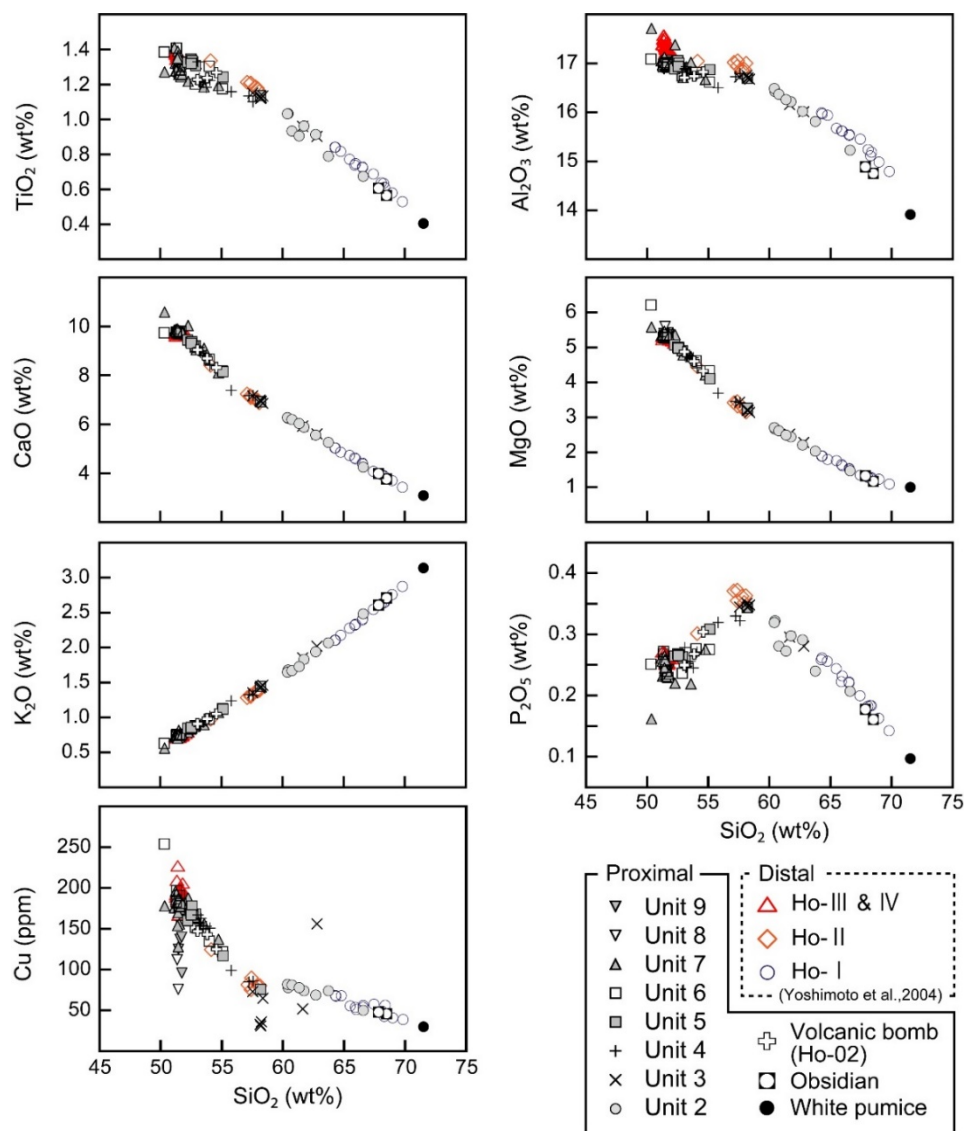


図 22 宝永火口近傍相の全岩化学組成(馬場ほか, 投稿中)

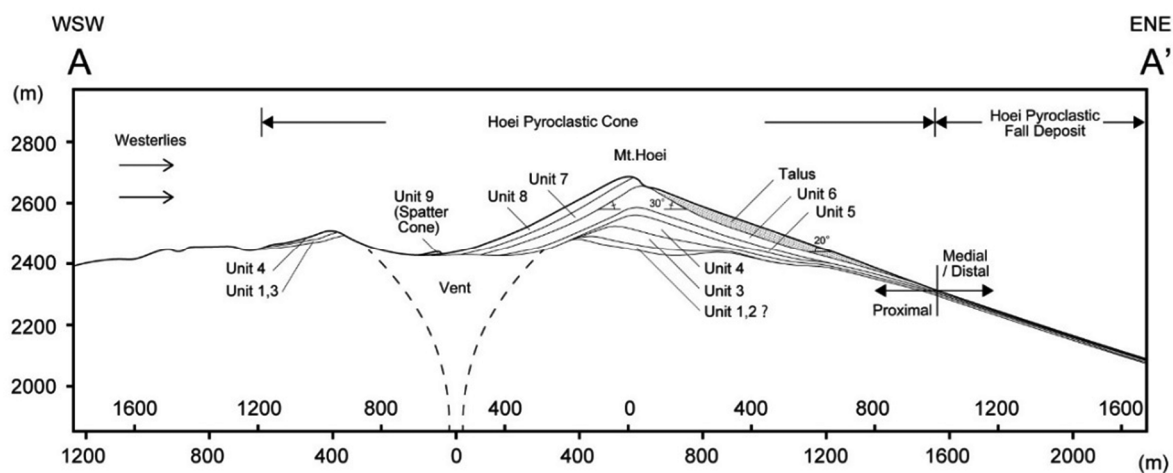


図 23 宝永山の断面図(馬場ほか, 投稿中)

## 引用文献

- 藤井敏嗣 (2007) 富士火山のマグマ学. 「富士火山」(荒牧重雄・藤井敏嗣・中田節也・宮地直道編), 山梨県環境科学研究所, 233-244.
- 富士山火山防災対策協議会 (2021) 富士山ハザードマップ(改訂版)検討委員会報告書, 185p.
- 広岡公夫(1990) 東大構内御殿下記念館地点焼土の考古地磁気測定. 東京大学埋蔵文化財調査室発掘調査報告書, 4, 215-220.
- 広岡公夫・藤澤良祐(2002) 東海地方の地磁気永年変化曲線. 考古学と自然科学, 45, 29-54.
- 小山真人 (1998a) 歴史時代の富士山噴火史の再検討. 火山, 43, 323-347.
- 小山真人 (1998b) 噴火堆積物と子機六からみた延暦十九～二十一年(800-802)富士山噴火 -古代東海道は富士山の北麓を通っていたか?-. 火山, 43, 349-371.
- 小山真人 (2009) 富士山噴火とハザードマップー宝永噴火の16日間ー. 古今書院, 174 p.
- 小山真人 (2018) 富士山の火山防災対策において山体崩壊をどう取り扱うべきか?. JpGU2018, [SVC40-P02]
- 宮地直道 (1988) 新富士火山の活動史. 地質雑, 94, 433-452.
- Miyaji, N., Kan' no, A., Kanamaru, T. and Mannen, K. (2011) High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., 207, 113-129.
- 内閣府 (2004) 富士山ハザードマップ検討委員会報告書, 240p.
- 高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・中野俊 (2016) 富士火山地質図(第2版), 産業技術総合研究所.
- Tsuya, H. (1955) Geological and Petrological Studies of Volcano Fuji, V.5. On the 1707 eruption of Volcano Fuji. Bull. Earthq. Res. Inst., 33, 341-383.
- 津屋弘達 (1968) 富士火山地質図 (5万分の1). 特殊地質図 no.12, 地質調査所, 24p.
- 上杉陽 (1998) 富士吉田市史, 資料編第1巻 自然・考古, 141-399.
- 山元孝広・中野 俊・高田 亮・小林 淳 (2011) 富士火山東斜面における最新期火山噴出物の層序. 地調研報, 62, 405-424.
- 山元孝広・中野 俊・石塚吉浩・高田 亮 (2020) 新期富士火山降下火砕物の再記載と噴出量の見積もり. 地調研報, 71, 517-580.
- Yoshimoto, M., Fujii, T., Kaneko, T., Yasuda, A. and Nakada, S. (2004) Multiple magma reservoirs for the 1707 eruption of Fuji volcano, Japan. Proc. Japan Acad., Ser. B80, 103-106.





R-02-2022

令和3年度  
山梨県富士山科学研究所研究報告書  
第47号

MFRI Research Report

---

2022年発行

編集・発行  
山梨県富士山科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾 5597-1  
電話：0555-72-6211  
FAX：0555-72-6204  
<https://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>

---





