

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870290

研究課題名(和文) 磁気岩石学的手法による磁性鉱物の結晶化と火山噴火プロセスの研究

研究課題名(英文) Eruption processes inferred from magnetic petrology of FeTi oxides

研究代表者

齋藤 武士 (SAITO, Takeshi)

信州大学・学術研究院理学系・准教授

研究者番号：80402767

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：IODP, EXP340で採取された火山砕屑性堆積物と御嶽山2014年噴火による火山噴出物を対象に、磁性を示すFeTi酸化物を岩石磁気学的手法と岩石学的手法を併用して詳細に解析することで、磁性鉱物の結晶化プロセスを明らかにし、そこから火山噴火プロセスを読み解く研究を行った。EXP340試料の解析からは、堆積物の運搬堆積プロセスの違いを反映して磁気岩石学的特徴が異なること、御嶽山の研究では、初生的噴出物の特徴を利用してその後の堆積物の移動・堆積プロセスを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the detailed eruption processes, magnetic petrologic analyses were carried out on samples from volcanoclastic sediments during IODP Expedition 340 and from volcanic materials of Ontake 2014 eruption. As a result, we found each deposit showed distinct magnetic petrologic characteristics and chemistry, grain size and grain shape of FeTi oxides are sensitive indicators of eruption processes.

研究分野：数物系科学

キーワード：FeTi酸化物 岩石磁気 IODP タービダイト 御嶽山 水蒸気噴火

1. 研究開始当初の背景

火山の噴火はどのようにして起こるのであるか？ どうして同じ火山から異なる化学組成のマグマが噴出したたり、また同じマグマでも異なる噴火様式によって噴出したりするのだろうか？ 火山学はこれらの問題に取り組み続け、ある程度の噴火予知や火山活動の予測が可能になってきた。火山性地震や、諸物理量の観測といった地球物理学的な研究が大きく進展したと同時に、多様な火山噴出物の解析が進み、物質科学的データから火山固有の噴火様式や、メカニズムを推定することが可能になってきたことも、大きな原因とわかってきた。

しかしながら、物質科学的側面からの研究は、主に珪酸塩鉄物(SiO_2 からなる鉄物)を中心に行われており、本研究が対象とする磁性鉄物(主に Fe と Ti からなる FeTi 酸化物)に着目した研究はまだ少ないというのが現状である。

ところで一方、磁性鉄物は、その名の通り強い磁性を示すことから、古地磁気学者や岩石磁気学者らによって精力的に研究されてきた。岩石磁気学的手法は、岩石に含まれる磁性鉄物の種類や量・形状について定量的なデータを提供してくれる。しかし岩石磁気学は、岩石の示す磁性から過去の地球磁場の情報を抽出することに主目的を置いており、鉄物の成因に関して答えることができない。

研究代表者はこれまで、古地磁気・岩石磁気学の立場から研究を行い、上記の意見を持つに至った。そこで、磁性の解析に岩石学的解析を加えることで磁性鉄物の成因を明らかにすれば、マグマや噴火プロセスの定量的な情報を抽出できると考え、火山噴出物に含まれる磁性鉄物の研究に取り組んできた。

これらの研究から、磁気学的手法と岩石学的手法を併用して磁性鉄物を解析し、その成因の理解を目指す独自の手法「Magnetic Petrology (磁気岩石学)」を獲得した。本研究計画はこれらの経験と実績を踏まえて立案された。

2. 研究の目的

火山噴出物に含まれる造岩鉄物は深部マグマ溜まりで最初の欠片が晶出してから、噴火によって地表にもたらされるまで、周囲の環境の変化に応じて結晶化と再平衡化を行い続ける。特に本研究が対象とする FeTi 酸化物は、珪酸塩鉄物より低い温度でも結晶化・再平衡化を行うことができる。また元素拡散も早いいため、噴火直前あるいは噴火中の急激な条件変化を詳細に記録していることが期待される。

磁性鉄物を岩石学的にかつ岩石磁気学的に解析することで、磁性鉄物の結晶化プロセスを解明し、磁性鉄物の含まれる火山噴出物の噴出プロセスを探ることに挑戦する。諸火山の多様な噴出物に対して、研究を行うことで、手法の有効性について広範に検討する。

そのために必要な岩石磁気学的分析機器を導入し、解析手法の構築と改良を行い、磁性鉄物の精密な解析に必要な方法論を確立する。

3. 研究の方法

カリブ海小アンチル諸島沖で国際深海掘削計画(以下 IODP)の第340次航海によって採取された火山砕屑性堆積物を主な研究対象として研究を開始した。加えて、本研究期間中の2014年9月に噴火した御嶽山の火山噴出物も研究対象に加えた。

岩石磁気学的分析は信州大学の岩石磁気実験室で行った。本研究費を用いて導入した携帯磁化率計(KT-10)は、野外でサンプリングポイントを選定する際に利用し、効率的な試料採取に有効であった。さらに本研究費を用いて、実験室のスピンナー磁力計(SMD-88)の試料回転システムの改良とソフトウェアの更新、磁気天秤装置(NMB-2000M)用の直流電源装置(GS200)の更新、交流消磁装置のコントローラー(DEM-95C)の改良を行い、より高精度で安定な磁気分析が行えるようになった。信州大学では実施不可能な鉄物分析と一部の岩石磁気学的分析に関しては、高知大学海洋コア総合研究センターの全国共同利用に申請し、必要な分析を行った。

4. 研究成果

(1) IODP, EXP340, 火山砕屑物の研究

IODP 第340次航海で採取された、火山砕屑物を母材とする多様な堆積物について岩石磁気学的測定を行った結果、層厚1mを超す厚い火山砕屑性混濁流堆積物(タービダイト、以下ではTB)と層厚数十センチ程度の薄いTB、さらに降下火山灰層で、異なる特徴を示すことが明らかとなった。厚いTBは細粒で帯磁率異方性の比較的強い最上部をもち、中央部は帯磁率異方性が弱く、下部に向かって粒子サイズが大きくなる傾向を示す。厚いTBのベースは帯磁率異方性が比較的強く、帯磁率も大きい。流れの下部では、重いFe鉄物の沈降・濃集が起き、底部でのせん断応力を反映して強い帯磁率異方性を示していると考えられる。熱磁気分析からは少なくとも2つのキュリー点の異なる磁性鉄物(おそらくTi-rich, Ti-poor titanomagnetite)の存在が示され、TB下部に向かってTi-rich titanomagnetiteの寄与が増加する。また半遠洋性堆積物はTi-rich titanomagnetiteのシグナルをほとんど示さない。このことからTi-rich titanomagnetiteは火山起源であると考えられる。それに対し、薄いTBはTi-rich titanomagnetiteの寄与が小さく、火山起源の重く粗粒なFe鉄物を欠いた堆積物であると考えられる。降下火山灰層は、帯磁率が大きく、粗粒でTi-rich titanomagnetiteの寄与が大きい、火山灰層の上部に連続して堆積する部分は細粒で、Ti-rich titanomagnetiteの寄与が小さい。噴火マグ

マ起源の火山灰が海中を沈降中に粗粒な下部と細粒な上部に分級したと考えられる。

レーザー粒度分析の結果と電子顕微鏡による粒子観察の結果も岩石磁気学的測定結果と調和的であった。TBの本体部分は淘汰が良く、粒度分布のカーブは粗い粒子に鋭いピークを持つユニモダルなカーブを示す。TBの最上部や降下火山灰層の上部層は半遠洋性堆積物に似て、なだらかでピークが細かい粒子の方に触れた粒度分布カーブを示し、鏡下でも淘汰が悪く、粗粒な粒子に細かい粒子がたくさん付着している様子が観察された。降下火山灰層はTBほど淘汰が良くなく、細かい粒子も多く見られた。これは厚さが同程度のTBとは全く異なる結果である。降下火山灰層が海中を沈降中に被る分級作用はTBほど強くないことが示唆される。

(2) 御嶽山 2014 年噴出物の研究

南麓に分布する濁川を中心に火山泥流堆積物の調査と分析を行った。2014年噴火の初生的な噴出物として、山頂東斜面の石室山荘周辺や、開田高原でも試料採取を行った。

現地調査の結果、濁川上流部には2014年噴火に由来する堆積物が分布していることが明らかとなった。河川周辺に分布する堆積物の最上位に位置する2014年噴出物を母材とする堆積物は、全体が明灰色を呈し、下位の黄褐色の基質や円磨した礫からなる噴火前の堆積物と区別できる。この堆積物の直下には新鮮な植物片(葉や根)が挟まれることから、ごく最近に堆積した地層だということが分かる。

東に位置する支流である赤川周辺には様々な厚さの火山泥流堆積物が分布することが分かった。堆積物は塊状で淘汰が悪い。基質は粘着質な泥で、含まれる礫は亜角から亜円で、角礫状の白色岩片も多く含まれる。一方、下位に位置する噴火前の堆積物は円磨された礫から構成される。基底には2-4cmの淘汰の良い細粒火山灰層が堆積する。火山泥流堆積物は下流へ行くに従って層厚は薄くなり、濁川が王滝川と合流する地点では10cm程度であった。その上位には、2015年4月20日に発生した融雪期の降雨に伴う出水による堆積物が堆積する。赤川の流路内では層厚が1mに達するが、流路から溢れ出した部分では3-7cm程度で、また分布も限られている。堆積物は淘汰が良く、基質は褐色の砂質で、黄色-オレンジ色に変質した礫を特徴的に含む。

一方、赤川の約300m西を並走する白川流域には、赤川で観察されるような厚い連続した堆積物は見られない。流域の一部に最大で層厚3cm程度の2014年噴火を母材とする堆積物が確認できた。淘汰の良い粘着質な泥質層で、明灰色を呈する。下位に堆積する噴火前の砂質層とは明瞭な境界で接するが、上位に堆積する褐色の砂質層へは漸移的に変化する。

噴火口の東約1kmに位置する石室山荘周辺では層厚8cm程度の堆積物が分布する。全体的に粘着質な泥質層からなり、上位2cm程度には空隙が目立つ。

EPMA測定の結果、2014年噴出物はほとんどが変質した岩片からなり、含まれるFe鉱物はpyrite(FeS_2)が支配的であることが分かった。Pyriteは自形で、化学組成は均質である。微量成分を若干含むが、磁性に影響するCo・Niは $0.17 \cdot 0.23\text{wt.}\%$ 以下と低く、 FeS_2 が磁化を獲得している可能性は低い。変質の程度が低い岩片中にはFeTi酸化物が残存しており、ferrian-ilmeniteやtitanohematiteに加えて、Usp成分を7-30%含むtitano-magnetiteが含まれる。このtitano-magnetiteが主要な磁化の担い手と考えられる。

熱磁気分析の結果、2014年噴出物にはpyriteの分解による380以上での急激な磁化の上昇が認められた。また2014年噴出物の濃集度を反映して磁化の上昇率が変化することが分かった。この磁化の上昇は噴火前の堆積物には確認されず、今回の噴出物の同定に有効であると考えられる。

磁気ヒステリシス分析の結果、すべての試料はPSD領域(Day et al., 1977)にプロットされたが、その分布域は独立していた。火山泥流堆積物の試料がプロットされる領域に比べて、通常の流量の河川が運搬する浮流土砂が卓越する試料は左上方にプロットされ、磁性鉱物が細かい傾向を示した。初生的な噴出物は分布領域の右下に集中し、磁性鉱物が粗い傾向を示した。濁川周辺で採取した試料のうち、赤川上流の火山泥流堆積物の基底部の細粒火山灰層は、初生的な噴出物と同じ領域にプロットされた。

本研究の結果、2014年噴出物に含まれる磁性鉱物のほとんどは自形のpyriteであることが明らかとなった。加熱実験中に380以上でmagnetiteへ変化することから、今回の噴出物は酸性熱水変質帯で形成され、pyrite生成以降380以上に昇温していないことが示された。この温度は粘土鉱物の生成温度(200以上、宮城ほか, 2014; 240-350, 井村ほか, 2014)から推定される噴出物の温度とも調和的である。

現地調査の結果、赤川流域には厚い連続した火山泥流堆積物が認められるのに対して、白川流域には薄い火山灰層がわずかに確認できたのみであった。また赤川の河川は噴火直後から現在まで、2014年噴出物を浮流土砂として含んだ濁った流れであるのに対し、白川の水は噴火直後からほとんど濁っていない。これらのことから、赤川の上流には2014年噴出物が厚く堆積しているのに対し、白川の上流域には2014年噴出物はほとんど堆積していない可能性が示唆される。空中写真や上空からの観察によれば噴火直後に発生した火砕流は噴火口から南西方向に流下して、赤川と白川の源頭部に堆積したと考えられ

ているが(及川ほか,2014;金子ほか,2014),火砕流本体の部分は赤川上流部にのみ堆積しているのかもしれない。

磁気ヒステリシス分析の結果,2014年噴火の初生的噴出物に含まれる磁性鉱物の粒径が大きいことが分かった。今回の調査範囲は火口周辺6km以内であり,噴火初期の爆発で生産された粗く重いFe鉱物が火口周辺に早い段階で降下して堆積した可能性がある。同様の岩石磁気学的特徴を示した火山灰層が赤川上流の火山泥流堆積物の基底部分に見つかった。この地点は先行研究で示された火砕流の分布域の外側に位置するが,火砕流に伴うash-cloud surgeが到達した可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計10件)

齋藤武士・片岡香子・松元高峰・河島克久・伊豫部勉・佐々木明彦・鈴木啓助,磁気岩石学的解析による御嶽山2014年噴出物の堆積過程。日本地球惑星科学連合2016年大会,千葉,2016年5月24日。

片岡香子・松元高峰・齋藤武士・河島克久・伊豫部勉・佐々木明彦・鈴木啓助・長橋良隆,冠雪火山における噴火後の火山土砂流出特性 - 御嶽山2014年噴火後の例 - 。雪氷研究大会(2015・松本),松本,2015年9月15日。

片岡香子・松元高峰・齋藤武士・河島克久・伊豫部勉・佐々木明彦・鈴木啓助・長橋良隆,御嶽山2014年噴火後に発生した降雨型ラハールとRain-on-snowによる出水イベントおよび堆積物の特徴。日本地質学会第122年学術大会,長野,2015年9月12日。

齋藤武士・片岡香子・松元高峰・佐々木明彦,御嶽山2014年噴出物の岩石磁気学的特徴。日本地球惑星科学連合2015年大会,千葉,2015年5月24日。

齋藤武士・片岡香子,小アンティル諸島沖で掘削された火山砕屑性堆積物(ODP Site U1397, 1398)の堆積過程。地球電磁気・地球惑星圏学会,松本,2014年11月2日。

片岡香子・齋藤武士,Lesser Antilles 諸島沖に堆積した遠方火山砕屑堆積物の堆積過程。火山学会。福岡,2014年11月2日。

渡邊紘記・三宅康幸・齋藤武士,長野県美ヶ原高原ヤテイ倉沢に分布する軽石質堆積物の堆積過程。日本地質学会第121年学術大会,鹿児島,2014年9月13日。

Takeshi Saito, How the micro-structures of Fe-Ti oxides can affect

bulk rock magnetic properties? Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual meeting, Sapporo, Japan, 2014年7月30日。

齋藤武士・片岡香子,岩石磁気学的手法による火山砕屑性堆積物(ODP Site U1397, 1398)の堆積過程の検討。日本地球惑星科学連合2014年大会,横浜,2014年4月30日。

Takeshi Saito, Kyoko S. Kataoka and IODP Expedition 340 Scientific Party, Rock magnetic studies on marine volcanoclastic sediments off Martinique, Lesser Antilles volcanic arc, IODP Expedition 340. 2013 AGU fall meeting, San Francisco, USA, 2013年12月12日。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 武士 (SAITO, Takeshi)

信州大学・学術研究院理学系・准教授

研究者番号: 80402767

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし