

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654166

研究課題名(和文) SQUIDグラジオメータによる氷床コア中の火山灰の非破壊検出

研究課題名(英文) Non-destructive magnetic detection of volcanic ash in ice cores with SQUID gradiometer

研究代表者

小田 啓邦(Oda, Hirokuni)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：90356725

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：氷床コアの火山灰層は時間軸提供と大規模噴火確認に重要である。本研究は氷床コア試料に含まれる微量火山灰の非破壊磁気検出を目指したが、氷床掘削コア試料のアクセスと低温実験室使用の困難から、火山灰を含む模擬試料・南極氷試料・雪試料の分析となった。模擬試料は桜島・阿蘇の火山灰およびTiva Canyon Tuffを用いて測定を行った。また、2013年にナンセン氷原で採取した火山灰を含む氷試料について液体窒素で冷却をしながら測定を行った。さらに、2015年2月は阿蘇火山の2014年11月以降の火山灰降灰にあわせて、その南方約50kmに分布する雪からコア試料を採取して液体窒素で冷却をしながら測定を行った。

研究成果の概要(英文)：Identification of volcanic ash layers in ice cores are important in providing time markers for comparison among multiple ice cores and in recognizing large volcanic eruptions that lead to global climate change. In this study, we pursued to develop non-destructive magnetic detection method of thin volcanic ash layers in ice cores. However, the difficulties in accessing to drilled ice cores and using low temperature room, our experiments were limited to modeled cores, Antarctic ice and snow samples with volcanic ashes. For modeled cores, volcanic ashes from Sakurajima and Aso volcanoes and Tiva Canyon tuff were measured. As a real ice sample, Antarctic ice collected from Nansen Ice Field was used while cooling with liquid nitrogen. As a real deposited volcanic ash, snow cores were collected 50km south of Aso volcano in Feb. 2015 during the time of active ash falls after Nov., 2014.

研究分野：古地磁気学・岩石磁気学

キーワード：SQUIDグラジオメータ 火山灰 南極 磁性鉱物 非破壊検出 氷 雪 残留磁化

1. 研究開始当初の背景

氷床コアには火山灰等の固体粒子が含まれるが、氷床コアの氷自体が地球環境の貴重な情報を保持するために、氷を溶かして固体粒子を集めることが困難である。いっぽうで、硫酸イオンなどに感度を持つ電気伝導度を用いて非破壊分析を行うことで火山の噴火の指標とする研究はこれまでも行われてきた。電気伝導度は火山活動と直接関係の無い硫酸イオン以外のイオンにも感度を持つため、これを補う手法を開発することは有意義であると考えた。このため、SQUID グラジオメータを用いた非破壊磁性分析によって、氷床コアに含まれる火山活動にともなう固体微粒子(火山灰)を検出することを目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高感度 SQUID グラジオメータによる磁気的手法を用いて氷床コアに含まれる火山灰粒子を非破壊検出することである。氷床コアはグリーンランドおよび南極を中心として世界各国のプロジェクトによって多数採取されていて、過去 80 万年におよぶ地球環境記録の宝庫であり、現在も様々な分析・解析によって新たな知見が得られ続けている。日本では国立極地研究所の保有する「ドームふじ」の氷床コア試料が知られている。

氷床コアに含まれる火山灰層は異なる地点の氷床コア間に同時期面を提供すること、短期間の気候変化につながる大規模な噴火に関係するものも含まれることからその検出は極めて重要である。また、南極の氷に含まれる火山灰は自然状態でも残留磁化を保持することが知られている (Funaki and Nagata, 1985)。本研究ではこの氷床コアに含まれる火山灰層の非破壊検出、特に肉眼等で検出不能なものを磁気的手法を用いて効率的検出を行うことを目標とした。

3. 研究の方法

グラジオメータは試料直上と離れたところに 2 つのピックアップコイルを配置することによって環境磁気ノイズの影響を受けにくいというメリットがあるので、試料の非破壊分析は SQUID グラジオメータを用いて行うこととした。金沢工業大学では医療用脳磁計システムのための SQUID グラジオメータの開発を行い、脳の微弱な磁場を検出するために感度の向上につとめてきた (Kawai et al., 2008)。測定にはこの SQUID グラジオメータ (図 1) を用いたが、試料の移動には産業技術総合研究所が保有する非磁性試料送り装置を用いた。また、試料の測定は金沢工業大学の大型磁気シールドルームの中で扉を開けた状態で行った。試料には火山灰を含む模擬試料・南極氷試料・雪試料の 3 種類を用いた。模擬試料は桜島・阿蘇の火山灰および Tiva Canyon Tuff を用いて測定を行った。ま

た、2013 年にナンセン氷原で採取した火山灰を含む氷試料について液体窒素で冷却をしながら測定を行った。さらに、2015 年 2 月は阿蘇火山の 2014 年 11 月以降の火山灰降灰にあわせて、その南方約 50km に分布する雪からコア試料を採取して液体窒素で冷却をしながら測定を行った。試料は自然状態(自然残留磁化) およびヘルムホルツ型コイルで円筒の軸方向に 25mT の等温残留磁化を着磁した状態で行った。

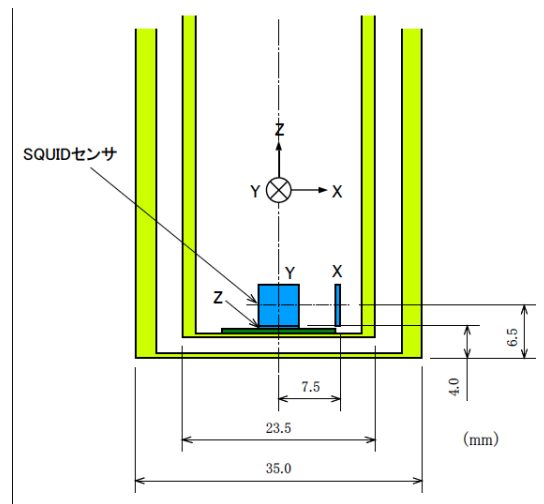


図 1 . SQUID グラジオメータの模式図

4. 研究成果

平成 24 年度は桜島で採取された 2008 年噴火の火山灰 (宮城ほか, 2011) および北海道で採取された阿蘇 4 火山灰 (噴出年代 8.5-9 万年) を用いて人工的に作成した氷床コアを模した試料についての予察的結果を得た。上記火山灰を人工的に作成した氷の間に挟んで火山灰層を模したものを用意して SQUID グラジオメータにて測定を行った。結果は火山灰をゼラチンと混ぜて地球磁場中で自然に凍らせたものはいずれの試料も検出が困難であるが、その試料をネオジム磁石で後から磁化させた場合は検出可能であることがわかった。センサを氷表面に近づけることにより感度が大幅に向上することもわかった。さらに、寒天に火山灰を混ぜた模擬試料を用いた試料の非破壊検出に成功した。火山灰試料は、Aso4 火山灰、桜島火山灰の他に米国で採取された磁性鉱物の粒径が揃っている Tiva Canyon Tuff (TCT) 試料を用いた。それぞれ 5mg あるいは 50mg の火山灰を 200cc の寒天溶液で薄めたものを地球磁場中で固めた試料を用いたが、自然状態の試料は 50mg の桜島火山灰と TCT が検出可能であった。電磁石によって 25mT の等温残留磁化を着磁させた試料については Aso4 火山灰以外は十分に検出できた。

平成 25 年度は、桜島火山灰と阿蘇 4 火山灰を寒天に均一に溶かして直径 6cm 長さ 10cm

の半円筒に固めたものを模擬火山灰層として SQUID グラジオメータにて測定を行った。桜島火山灰は $250 \mu\text{g}/\text{cc}$ であれば自然状態で検出可能、着磁をすれば $25 \mu\text{g}/\text{cc}$ でも検出可能であった。阿蘇 4 火山灰は $250 \mu\text{g}/\text{cc}$ であれば検出可能であるがノイズとの分離が困難であった。ノイズレベルは 2pT 程度であったが、今回はノイズ低減のために新たなサンプル移動装置を利用して計測を行った。ポイントソース・半円筒形の氷床コアを模した Tiva Canyon Tuff を均質に分散させたファントム（標準試料）に加えて、2013 年にナンセン氷原で採取した火山灰を含む氷試料について測定結果が得られた。また、測定に用いたナンセン氷原の氷試料を液体窒素で冷却しながらマイクロフォーカス X 線 CT による高分解能撮像にも成功し、火山灰粒子の 3 次元分布が確認できた。

平成 26 年度は阿蘇火山の 2014 年 11 月以降の火山灰噴出にあわせて、2015 年 2 月にその南方約 50km に位置する五ヶ瀬ハイランドスキー場周辺に分布する雪から直径 7cm、長さ 50cm のコアを 3 本採取して測定を行った。雪試料断面の目視確認で着色した層準が確認された。これら雪試料について超伝導岩石磁力計および SQUID グラジオメータで測定を行ったが、雪が融けないように液体窒素で -100 程度まで冷却の後に 10 分以内に測定を行った。岩石磁力計による自然残留磁化強度は $2\text{--}7 \times 10^{-6} \text{ emu}$ 程度であり、伏角は 50 程度であった。3 本のコアのうち 1 本について SQUID グラジオメータによる測定を行ったが、自然残留磁化の測定で、表面から深さ 5.5cm、28cm、および 39cm において -6pT 、 $+5\text{pT}$ 、 $+24\text{pT}$ のシグナルが Z 軸ピックアップコイル（試料からの距離が最も近い）で得られた。同じ試料に 25mT で等温残留磁化を着磁したところ、上記 3 カ所の深さにおいて -0.1nT 、 -0.6nT 、 -1.9nT の信号が得られた（図 2）。これらが実際に阿蘇火山の噴火に伴う火山灰を多く含むか検討が必要である。

<引用文献>

Funaki, M., & Nagata, T. (1985). A report of natural remanent magnetization of dirt ice layers collected from Allan Hills, Southern Victoria Land, Antarctica. *Memoirs of National Institute of Polar Research. Special issue*, 39, 209-213.

Kawai, J., et al. (2008). Superconducting Pickup Coils Fabricated On A Glass Epoxy Polyimide Resin Substrate For SQUID Magnetometers, *J. Phys.: Conference Ser.* 97, 012275

宮城磯治・伊藤順一・篠原宏志 (2011) 火山灰から見た 2008 年の桜島昭和火口の再活動過程, *火山*, 55, 21-39.

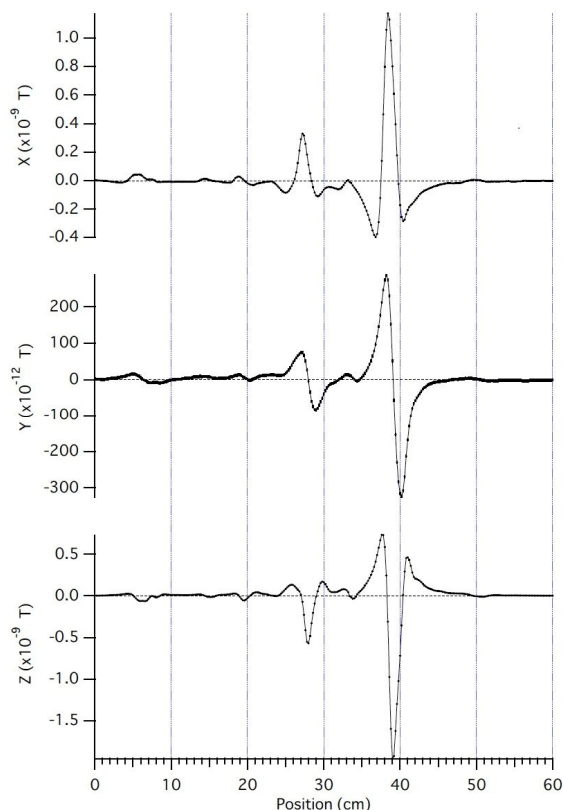


図 2 . 2014 年 11 月以降に降灰した阿蘇火山灰を含むと思われる雪試料に 25mT で人工的に着磁した後の SQUID グラジオメータによる測定結果。

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)

[雑誌論文](計 1 件)

菅沼悠介, 福田洋一, 青山雄一, 岡田雅樹 東ドロンイングモードランド, セール・ロンダーネ山地調査隊報告 2013 (JARE-55)、南極資料、査読の無、0 巻、2014、0、DOI なし

[学会発表](計 6 件)

菅沼悠介 堆積残留磁化獲得メカニズムと地球磁場極性逆転年代の高精度決定 日本地質学会第 121 年学術大会 (招待講演) 2014 年 09 月 15 日 鹿児島大学

小田啓邦・河合淳・菅沼悠介・船木實・今栄直也・三河内岳・宮城磯治 Non-destructive Magnetic Detection of Thin Ash Layers in Ice Cores Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting 2014 年 07 月 30 日 札幌

小田 啓邦、宮城 磯治、河合淳、菅沼悠介、船木實、今栄直也 氷床コアに含まれる微量火山灰の磁気的手法による非破壊検出
第4回極域科学シンポジウム 2013年11月14日～2013年11月14日 国立極地研究所（立川市）

河合淳、小田啓邦、宮本政和、菅沼悠介、船木實 SQUID Gradiometer の氷床コア中における火山灰検出への応用
第74回応用物理学会秋季学術講演会 2013年09月17日～2013年09月17日 同志社大学京田辺キャンパス（京都市）

小田 啓邦、宮城 磯治、河合淳、菅沼悠介、船木實 氷床コアに含まれる微量火山灰の磁気的手法による非破壊検出
日本地球惑星科学連合 2013年大会 2013年05月23日～2013年05月23日 幕張メッセ国際会議場（千葉市）

小田啓邦・宮城磯治・河合淳・菅沼悠介・船木實 氷床コアに含まれる微量火山灰の磁気的手法による非破壊検出の可能性
第3回極域科学シンポジウム / 第35回極域気水圏シンポジウム 2012年11月29日～2012年11月29日 国立極地研究所（東京都）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 啓邦 (ODA, Hirokuni)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員
研究者番号：90356725

(2) 研究分担者

河合 淳 (KAWAI, Jun)
金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授
研究者番号：10468978

(3) 研究分担者

菅沼悠介 (SUGANUMA, Yusuke)
国立極地研究所・教育研究系・助教
研究者番号：70431898