

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400490

研究課題名(和文) 地磁気永年変化を利用した火山噴出物の対比

研究課題名(英文) Correlating volcanic products using geomagnetic secular variations.

研究代表者

渋谷 秀敏 (Shibuya, Hidetoshi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・教授

研究者番号：30170921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：火山の噴火史を明らかにする上で、溶岩や火山砕屑物・火山灰などの層序関係を知ることが極めて重要である。本研究は、まだまだあまり用いられていない、古地磁気方位一致/不一致を対比のツールとして用いようとするものである。有用性をテストするフィールドには阿蘇中央火口丘北西部に分布する玄武岩質溶岩地域を用いた。

古地磁気測定結果は一般に極めて良好で、測定した岩石から4.3-3.3kaの古地磁気永年変化曲線を描くことができた。これは、地磁気永年変化研究に大きく資することになる成果である。

得られた永年変化曲線から溶岩の年代を推定すると、現在の火山地質図の分類を大きく見直す必要があることが見出された。

研究成果の概要(英文)：In the central cone of Aso volcano, Kyushu Japan, there are several basaltic activities of 3-5 ka in age. The lava flows from those cones spread on the northwestern flank of the central cones, and they were classified in the relation to the cones.

We have carried out the paleomagnetic direction measurements to draw the paleomagnetic secular variation curve (PSVC) of the duration to extend it back to pre-historic ages. The PSVC is exceptionally precise as it is from volcanic lavas, and it will help understanding the nature of the geomagnetic fluctuations.

The PSVC enabled us to assign the ages of each lavas in the sites. They require a revision of the classification of the lavas, and to alter the eruption mode from sporadic to continuous within the active duration.

研究分野：古地磁気学

キーワード：地磁気永年変化 火山噴出物 溶岩対比 年代決定

1. 研究開始当初の背景

火山の噴火史を明らかにする上で、溶岩や火山砕屑物・火山灰などの層序関係を知ることは極めて重要である。しかし、火山噴出物は複雑な地形の上に堆積する機会が多いので、連続性が悪く、単純な層序的手法が利用できない場合が多い。そこで、噴出物の年代測定、化学組成、噴出シーケンスなど、さまざまな手段を用いて対比するのであるが、一つの火山の噴出物は化学組成が似ている場合も多い、年代測定の解像度が十分に細かくない、などの問題点もある。また、層序は出来ても時間間隙についてはなかなか分からない場合が多い。そこで、本研究では古地磁気方位・強度の一致/不一致を対比のツールとして用いようと思図した。

地磁気永年変化は、地球磁場方位が数百年程度の周期で振動する(完全な周期性は認められないので、特徴的時間で変動すると言うべきであるが)現象を言う。その範囲は偏角で $\pm 20^\circ$ 程度、伏角で $30^\circ \sim 60^\circ$ 程度である(例えば、Butler 1996)。この周期は火山の寿命と比べて十分短いので、火山噴出物の古地磁気方位はこの永年変化の一時期を捉えることになり、その方位の異同から溶岩の対比が可能になる。永年変化の層序学への利用は、火山灰の同定にはわずかとはいえ適用例があるものの(例えば、Hayashida et al. 1996)、溶岩への適用はあまりなされていない。溶岩の古地磁気方位は(いくつかの問題点はあるものの)極めて精度良く(通常誤差 3° 程度、 2° 以内も稀ではない)決定できる。従って、溶岩の対比の当否をきわめて明確に示すことが出来ると考えた。

また、過去数千年程度の地磁気永年変化の特徴は、考古遺跡中の焼土の古地磁気測定(考古地磁気学)から知られており(例えば、Hirooka 1971)、そこから得られた永年変化の速度を仮定すれば、異なる溶岩の古地磁気方位の違いから年代差の見積もることも不可能ではない。

2. 研究の目的

研究の目的は2つある。

1) 火山岩、特に古地磁気方位が溶岩の対比に有効であることを示す。つまり、同時に噴出した一枚の溶岩が同じ磁化方位を持つことを示す一方、他の方法で見分けられない数十年以上噴出年代が異なる溶岩が異なる磁化方位を持つことを示す。

2) 古地磁気永年変化曲線を構築する。日本周辺の古地磁気永年変化曲線は上記の考古地磁気学によるもの以前、すなわち紀元前の方位については堆積物の古地磁気研究(Ali et al., 1999)によるもののみである。これを一般に信頼できるとされる熱残留磁化を持った溶岩の古地磁気で構築できれば、永年変化研究を進めることができる。

3. 研究の方法

今回報告する成果は主として阿蘇中央火山口丘北西部に分布する玄武岩質溶岩の古地磁気についてである。これらの玄武岩質溶岩は、すべてアカホヤ火山灰層(7.3ka)の上位であることが知られており(小野・渡辺 1985)下位から中岳新期・赤水・杵島岳・往生岳・米塚と分類されている。それらの年代は木片の産出がないことから直接的な測定は難しいものの、対比されるテフラの年代などから、赤水溶岩が4.1ka、米塚溶岩が3.3kaとされている(Miyabuchi, 2011)。

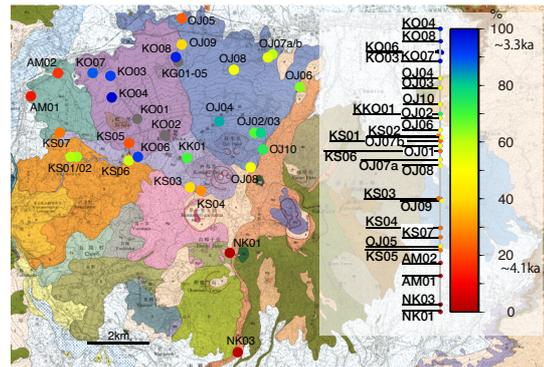


図1 試料採取地点。阿蘇火山地質図上(小野・渡辺 1985)に示した。NK:中岳新期・AK:赤水・KS:杵島岳・OJ:往生岳・KO/KG:米塚・KK:上米塚と分類された溶岩からのサイトである。サイトの色は本研究による古地磁気方位から右図のように決定された年代。

試料は図1に示したサイトからポータブルドリルで採集した。杵島岳溶岩・往生岳溶岩に多数のサイトを設定したのは、両者が岩石学的に区別しにくく、境界を古地磁気学的に決定できることを期待したからである。また、米塚溶岩も分布域が広く、時間的な隔たりを確かめるために多数のサイトを設定した。他に、層序関係が明らかでない上米塚スコリア丘からも試料を採集した。

個々の試料のオリエンテーションには磁針を用いた。玄武岩火山地域ではローカルな磁気異常から偏角がサイト毎に異なる可能性があるため、サイトの近くで偏角測定を行い、補正に用いた。地磁気永年変化の研究では、オリエンテーションの誤差が大きく効くので、特に留意した。磁化測定測定は標準的な方法に沿って行った。全試料段階交流消磁して、消磁曲線の最小二乗法で各試料の磁化方位を決定し、サイト平均をフィッシャー統計に基づいて計算した。

4. 研究成果

上記の手法で得られたサイト平均方位と95%信頼限界円をプロットすると、図2の右図となる。これから、これから $\alpha 95$ の大きな6サイトと、ローカルな磁場の大きな2サイト(すべて、米塚溶岩)を省くと左図となる。これを見ると、一般的には層位の低い方から

見事に方位が並んでいるのが見て取れる。これは、まさしく、古地磁気永年変化を記録しているからと考えられて、本研究でこの火山活動の期間の永年変化曲線を描くことができたのは大きな成果である。

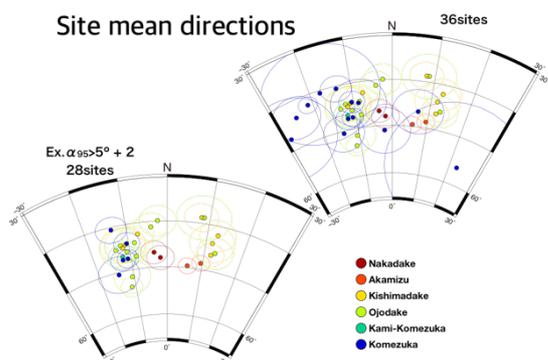


図2 古地磁気方位の等面積投影図。色は溶岩の従来の分類を表している。左図は不適当なサイトのデータを除いたもの（本文参照）。

全体としては現在までの通りに並んでいる、古地磁気方位であるが、杵島岳溶岩と往生岳溶岩とされて来たサイトについては、両者がかかなり混じり合っている。両者のサイトの平均方位も曲線状に並んでいることから、古地磁気測定の問題というより、これは分類の問題と思われる。そこで、スムーズな永年変化曲線を描いて、各サイトの溶岩の年代を古地磁気学的に割り当てることを考えた。

詳細は割愛するが、①古地磁気方位の近くを永年変化曲線は通る。②方位の変化速度の変動はあまり大きくない。という両方の条件をバランスする曲線を最小自乗法で求めた。両者のバランスの最適値は ABIC (Akaike's Bayesian Information Criteria, Akaike, 1980) を用いて客観的に決定した。その上で、得られた永年変化曲線から得た各サイトの年代が自己無矛盾になるようまで繰り返し計算を行った。

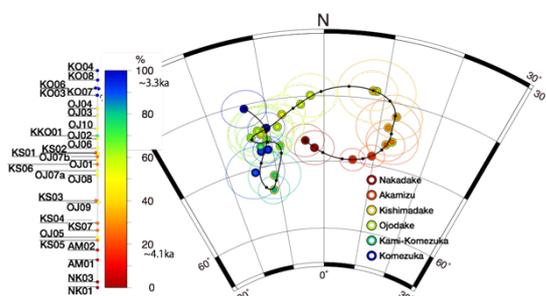


図3 古地磁気永年変化曲線。左図はその曲線から推定した各サイトの年代である。年代は0-100%で示してある。方位のプロットの色は外側が既存の溶岩分類によるもので、内側が左図の古地磁気年代推定によるものである。

図3は得られた古地磁気永年変化曲線を示したものである。左図はその永年変化曲線から推定した各サイトの年代である。年代は

0-100%で示してあるが、2点を決めれば一意の年代を割り当てることができる。例えば赤水溶岩が4.1ka 米塚溶岩が3.3kaとすれば、この永年変化曲線は4.3-3.3kaの永年変化を示していることになる。

図1のサイト位置プロットの色は図3による古地磁気年代を示している。これを見ると、杵島岳溶岩とされているものでも、西方へ流れた溶岩流は若いことが見て取れる。一方、往生岳溶岩とされていたもののうち、末端部はかなり古く、杵島岳溶岩中腹と同じ時代のもが見られる。杵島岳を作った溶岩が全体に広がって、その後往生岳溶岩がそのうえを覆ったものだと考えれば、これらの説明は可能である。

また、これまで、杵島岳・往生岳付近の地形は、山体に対応する2回の噴火で形成されたと考えられていたのに対して、かなり連続した多数回の噴火で形成されたものであることが示唆される。むしろ、中岳新期溶岩から米塚溶岩まで、何回にも分けて噴出したものと考えた方が良さそうである。

これらの事実は古地磁気学による溶岩の対比や極めて細かい年代決定が有効であることを示しており、極めて大きな成果である。また、今回得られた永年変化曲線と雲仙の六ツ木火砕流(4.2ka)で Shibuya et al. (2007) が報告した古地磁気方位は極めてよく対応していることが見出された。これは、異なる火山の溶岩の年代を対比する可能性を示すもので、予察的には富士山の古地磁気との対応も整合的であることが確かめられている。

一方、古地磁気永年変化研究では、現在まで、精度や分解能が十分でなかった、日本付近の古地磁気永年変化曲線が4,400年前まで明らかになったことは大きな成果である。今回得られた曲線と特に伏角の変化において、先行研究と異なっており、それをうけてきた、世界的な地球磁場モデルに変更を迫るものである。我々が、0-1600年前までは考古地磁気研究でまた、1600-3000年前や4000-5000年前については富士山での同様の研究で永年変化曲線を描こうと進めており、本研究と相俟って、過去5000年の古地磁気永年変化を世界中のどこより詳しく復元できる地域としていきたいと考えている。

<引用文献>

- Butler, R. E. (1992) Paleomagnetism, Blackwell Scientific Publications.
- Hayashida, A, Kamata, H. and Danhara, T. (1996) Correlation of widespread tephra deposits based on paleomagnetic directions: Link between a volcanic field and sedimentary sequences in Japan, *Quatern. Int.*, **34-36**, 89-98.
- 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.

Ali, M., Oda, H., Hayashida, A., Takemura, K. and Torii, M. (1999) Holocene palaeomagnetic secular variation at Lake Biwa, central Japan, *Geophys. J. Int.*, **136**, 218-228.

小野晃司・渡部一徳 (1985) 阿蘇火山地質図、地質調査所。

Miyabuchi, Y. (2011) Post-caldera explosive activity inferred from improved 67-30 ka tephrostratigraphy at Aso Volcano, Japan, *J. Vol. Geotherm. Res.*, **205**, 94-111.

Akaike, H. (1980) Likelihood and the Bayes procedure, in *Bayesian Statistics*, edited by J. M. Bernardo, M. H. DeGroot, D. V. Lindley and A. F. M. Smith, pp. 143-166, Univ. Press, Valencia, Spain.

Shibuya, H., Iwasaki, Y., Tanaka, H., and Hoshizumi, H. (2007) Paleomagnetism of Unzen volcano: A volcanic record (Senbongi excursion) of the Iceland Basin event and the Brunhes VGP distribution for Japan, *Earth Planets Space*, **59**, 763-774, 2007

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 4 件)

① Hatakeyama, T., Kitahara, Y., Yokoyama, S., Kameda, S., Shiraishi, J., Tokusawa, K., Mochizuki, N., Magnetic survey of archaeological kiln sites with Overhauser magnetometer: A case study of buried Sue ware kilns in Japan, *J. Archaeological Science: Report*, **18**, 568-576, 2018.

② 長谷川健, 望月伸童, 大岩根尚, 堆積物から超大規模噴火の継続時間を読み取る方法, *地学雑誌*, **127**(2), 273-288, doi:10.5026/jgeography.127.273, 2018.

③ 穴井千里, 渋谷秀敏, 望月伸童 (2017) 宮古島に分布する琉球層群の磁気層序, *地質雑*, **123**, 1035-1048. DOI:10.1016/j.icarus.2017.04.005

④ Ishizuka, O., R. N. Taylor, N. Geshi, N. Mochizuki, Large-volume lateral magma transport from the Mull volcano: An insight to magma chamber processes, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **18**, doi:10.1002/2016GC006712, 2017.

[学会発表] (計 19 件)

① Shibuya, H., Haruta, A., Mochizuki, N., Miyabuchi, I., Paleomagnetic Directions of 3-5ka Basaltic Volcanoes in the Aso Central Cone, Kyushu Japan: Further Extension of the Paleosecular Variation Curve, Japan Geoscience Union, 2018.

② Baba, A., Shibuya, H., Mochizuki, N., Yoshimoto, M., Holocene paleomagnetic secular variation at Fuji volcano, Japan, Japan

Geoscience Union, 2018.

③ 馬場章, 吉本充宏, 内山高, 渋谷秀敏, 望月伸童, 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, 日本地球惑星科学連合, 2018.

④ Shibuya, H., Mochizuki, N., Miyabuchi, Y.: Paleomagnetic Directions of 3-4ka Basaltic Volcanoes in the Aso Central Cone, Kyushu Japan: Contributions to the Paleosecular Variation and the Volcano-Stratigraphic Studies, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2017.

⑤ 馬場章, 吉本充宏, 金丸龍夫, 渋谷秀敏: 富士火山, 古地磁気学的手法を用いた AD450~800 の噴火推移の検討, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 142 回講演会, 2017.

⑥ 望月伸童, 渋谷秀敏, 阿蘇カルデラ完新世火山岩の古地磁気強度測定, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 142 回講演会, 2017.

⑦ Shibuya, H., Mochizuki, N., Hasegawa, T. and Okada, M., Connecting marine and on-land paleointensity studies, Geological Society of America, Cordilleran meeting, 2017.

⑧ Mochizuki, N., Miyabuchi, Y., Shibuya, H., Paleomagnetic secular variation of 3-4 ka from lava flows around the post-caldera cones of Aso Volcano and its contribution to the volcanic stratigraphy, Japan Geoscience Union-American Geophysical Union, Joint Meeting, 2017.

⑨ Shibuya, H. and Hatakeyama, T. An Archeomagnetic Secular Variation Curve in Japan drawn from the Archeomagnetic Database of Japan, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2016

⑩ 望月伸童, 長谷川健, 伊豆大島テフラの自然残留磁化の基礎研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 140 回講演会, 2016

⑪ 望月伸童 渋谷秀敏 弥頭隆典 宮縁育夫, 阿蘇火山中央火口丘群における完新世溶岩流の古地磁気学的研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 140 回講演会, 2016

⑫ 望月伸童, 藤井哲夢, 長谷川健, 岡田誠, 渋谷秀敏, 絶対古地磁気強度とテフロクロロジー: 相対古地磁気強度変動曲線の絶対較正, 日本地球惑星科学連合, 2015

⑬ Shibuya, H., Hatakeyama, T. and Mochizuki, N., Reexamination of geomagnetic secular variation in Kinki District using samples from Suemura kilns (IV), Japan Geoscience Union, 2016.

⑭ 渋谷秀敏, 望月伸童, 畠山唯達, 陶邑窯跡群試料を用いた近畿地方における地磁気永年変化の再検討(III), 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回講演会, 2015.

⑮ Mochizuki, N., S. Fujii, T. Hasegawa, Y. Yamamoto, T. Hatakeyama, M. Okada and H. Shibuya, Paleointensity determination of

welded tuffs extruded with tephra layers: A new approach to calibration of relative paleointensity stacks, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2015.

- ⑩ Yamamoto, Y., N. Mochizuki, H. Shibuya, H. Tsunakawa, Tsunakawa-Shaw method - an absolute paleointensity technique using alternating field demagnetization, American Geophysical Union, Fall Meeting, 2015.
- ⑪ 望月伸竜, 渋谷秀敏, 弥頭隆典, 宮縁育夫, 阿蘇火山中央火口丘群における完新世溶岩流の古地磁気学的研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会第136回講演会, 2014.
- ⑫ 阿比留拓哉, 渋谷秀敏, 望月伸竜, 弥頭隆典, 宮縁育夫, 阿蘇火山中央火口丘群における火山岩・テフラの古地磁気学的研究, 日本地球惑星科学連合, 2014.
- ⑬ 藤井哲夢, 望月伸竜, 長谷川健, 岡田誠, 渋谷秀敏, 溶結凝灰岩による絶対古地磁気強度測定: 相対古地磁気強度と絶対古地磁気強度の対比, 日本地球惑星科学連合, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋谷 秀敏 (SHIBUYA, Hidetoshi)

熊本大学大学院・先端科学研究部・教授

研究者番号: 30170921

(2) 研究分担者

望月 伸竜 (MOCHIZUKI, Nobutatsu)

熊本大学大学院先端機構・准教授

研究者番号: 60422549

(4) 研究協力者

長谷中 利昭 (HASENAKA, Toshiaki)

宮縁 育夫 (MIYABUCHI, Ikuo)

馬場 章 (BABA, Akira)