

新潟焼山における火山噴出物の古地磁気研究と噴火史の検討

酒井 英男*・手塚 大貴*・早津 賢二**・藤田 正治***

Study of Paleomagnetism and Eruption History at Mt. Yakeyama in Niigata, Japan

Hideo SAKAI*, Hiroki TEZUKA*,
Kenji HAYATSU** and Masaharu FUJITA***

Abstract

Precise dating of the products of volcanic eruptions is crucial for conducting research and mitigation of volcanic disasters, and an effective method other than ^{14}C dating is required. In this study, we applied the geomagnetic dating method (Hirooka, 1971) to investigate the eruption history of Mt. Yakeyama in Niigata Prefecture, Japan. Mt. Yakeyama, one of Japan's many active volcanoes, has caused several volcanic hazards in recorded history.

Volcanic products that were believed to have erupted in the 14th and 18th centuries yielded geomagnetic ages that were consistent with previously reported ages (Hayatsu, 2008). On the other hand, volcanic products that were formerly assigned dates from the 9th to 10th century yielded geomagnetic dates of the 13th century. Furthermore, a volcanic product from the "Bouboudake stratum," whose age was hitherto unknown, yielded a geomagnetic date from around the 14th century.

These results show that the paleomagnetic method is effective for determining the age of volcanic products and/or reexamining formerly estimated ages obtained by other methods such as ^{14}C and stratigraphic dating.

By examining the volcanic products at Mt. Yakeyama using the ages estimated in this study, we can determine that the volcanic products from the 13th and 14th centuries have a large distribution, suggesting high volcanic activity at Mt. Yakeyama in the 13th and 14th centuries.

キーワード：新潟焼山, 火山噴出物, 残留磁化, 年代推定, 噴火史

Key words: Mt. Yakeyama, volcanic products, remanent magnetization, dating, eruption history

* 富山大学理学部
Faculty of Science, University of Toyama

** 妙高火山研究所
Myoko Volcano Research Laboratory

*** 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本報告に対する討論は平成27年5月末日まで受け付ける。

1. はじめに

活火山での災害の調査や対策において、過去の噴火の情報は必要であり、火山噴出物の年代と分布の同定が重要な課題となる。歴史時代の火山噴火の年代研究では、噴出物に挟在した炭化物を試料とする ^{14}C 年代法が汎用されている。ただこの方法は、炭化物が無いと適用できず、また噴火で焼けた（と考えられる）間接的年代であることにも留意が必要とされた。

その為、 ^{14}C 年代法とは独立な火山噴出物の年代推定法が望まれていた。その方法の一つとして、火山噴出物が獲得した残留磁化を用いて地磁気変動との対比から年代を推定する方法が考えられる。これは噴出物そのものを用いる年代法である。

歴史時代に噴火した火山で地磁気年代研究を行うには、対比できる地磁気変動が求まっている必要がある。その為、研究が可能な国は非常に少ない中で、日本ではHirooka (1971)による過去2000年間の詳細な地磁気変動が得られており、年代研究が可能となっている。そして遺跡では試料条件が良い場合は数10年の精度で年代推定が実施されている。

従来、国内の火山で、噴出物の地磁気年代研究が系統的に行われた例はあまり無い。その中で、味喜(1999)は桜島の歴史時代の火山噴出物での地磁気年代研究を報告している。酒井他(1993, 2004)では、岐阜県・長野県境の焼岳において紀元前後に噴火した中尾火砕流の研究を行った。同起源の堆積物は土砂災害の重要な対象となり、京都大学防災研究所が1960年代から調査・観測を継続している(芦田・澤田, 1989;堤他, 2013など)。磁化研究では火砕流堆積物の年代と定置形態が求まり、砂防学にも有用な情報が得られた(酒井他, 2004)。

本稿では、新潟県南部の新潟焼山(図1, 以下では焼山と称する)の火山噴出物について、地磁気年代を研究した結果を報告する。焼山は、糸魚川-静岡構造線の東側、妙高火山群の北端部に位置する活動的火山である。早津(1985, 1994, 2008)による詳細な火山地質の研究が行われてお

り、歴史時代に火砕流・溶岩流の噴出を幾度も生じ、日本海に達する火砕流が発生したことも判明した。早津(2008)では、“火山層序を編む方法-4. 地質年代学による方法”において焼山の年代推定の重要性を以下の様に述べている。

妙高火山群の活動史の研究における最も困難な課題の一つは、焼山の山体上部を構成する複数の溶岩流の年代と層位関係の決定である。分布が狭く厚い溶岩流の層位関係の検討は、非常に難しい。K-Ar年代は、焼山の様に新しい火山には適用できず、 ^{14}C 年代は、測定試料の発見が絶望的であり、可能性があるのは古地磁気(地磁気年代学)の方法である。今後、広い測定対象での、精度の高い測定法が開発されることを期待したい。

本研究では、こうした要望に応えるために、火山での地磁気年代法の有用性の確認も含めて、焼山において、層序等による年代が示されていた火山噴出物について磁化研究を実施した。

平成25年より自治体や研究機関からなる新潟焼山火山防災協議会が発足しており、焼山の火山活動の研究が望まれている。本稿では、近年の火山活動からも重要視されている焼山の火山活動史について、新たに得られた知見を報告する。

2. 残留磁化と地磁気の記録

岩石や堆積物には重量数%の鉄の酸化鉱物が含まれ、特に磁鉄鉱や赤鉄鉱等の鉱物は永久磁石と

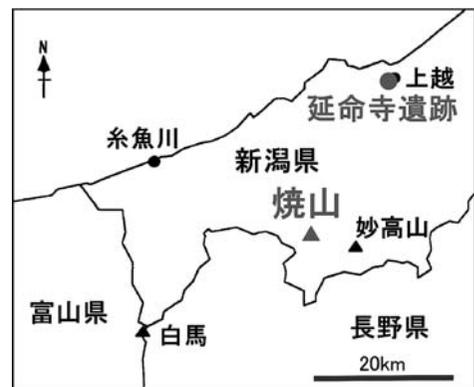


図1 新潟焼山および節2.1に示す上越市延命寺遺跡の位置

なる強磁性の物性を有する。そして火山噴出物に含まれる磁性鉱物は、噴火時の高温からの冷却過程で地磁気方向に帯磁し、その集合として、火山噴出物は当時の地磁気を記憶した熱残留磁化を獲得している。熱残留磁化は安定で数千年後も残り、それを読みとることで過去の地磁気を復元できる。残留磁化（以下では磁化と略す）と地磁気は、図2の様に、方向を示す偏角と伏角および強度の3成分で表現される。

地磁気は地球中心部の流体域の運動で生じており、時代と共に変化している。

Hirooka (1971) は、国内の多数の遺跡での焼土の磁化を研究し、過去2000年間における詳細な地磁気変動を求めた。偏角と伏角の同期間の変動に20度以上の複雑な変化があったことも判明した。そして、得られた地磁気変動を標準に、年代不明の試料の磁化を求めて対比することにより年代推定も可能となった。これを考古地磁気（あるいは地磁気）年代推定法と称している。Hirooka (1971) による地磁気変動は主に近畿地方を中心とした西南日本の試料で研究されている。

本研究では、この変動を用いて焼山 (36.92°N, 138.03°E) の火山噴出物の年代を研究するが、対照する地磁気変動の基準点 (京都: 35°N, 135.9°E) とは離れている。地表での地磁気は、場所により違い、特に緯度による伏角変化は大きい。赤道付近では伏角は浅く、極では±90°まで深くなる。焼山と京都の現在の伏角の違いは約2°ある。本研究ではこの地域による地磁気差を考慮し、磁化を地磁気変動と対比するにあたり、標準

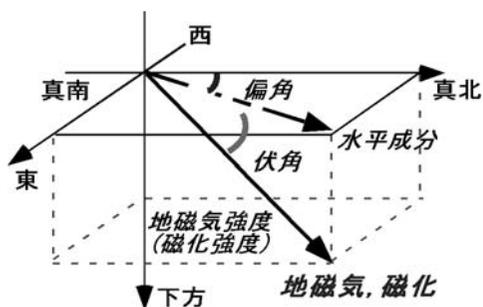


図2 地磁気と残留磁化 偏角・伏角と強度

の京都の地磁気変動から仮想磁極 (VGP) を求め、焼山の地磁気変動に変換して利用することにした。

図3に示す過去2000年間の偏角と伏角の図は、Hirooka (1971) の Fig. 13, 14をもとに上記の変換を行い加筆した図である (手塚, 1998)。この変換により、伏角はHirooka (1971) の値より数度深くくなった。また、地磁気強度も変動しているが (Sakai & Hirooka, 1986)、本研究では磁化方向だけ扱う為、図3の偏角と伏角の変動を年代推定に利用する。

2.1 残留磁化による年代推定の例

地磁気年代推定の例として、新潟県上越市に所在する奈良時代の延命寺遺跡 (図1) で行った研究を紹介する (酒井他, 2008)。同遺構では天平8年の木簡が出土しており、遺構は8世紀中葉以前の短期間に機能したと考えられていた。図4に示す焼土面において、焼土を容量10ccの定方位試料として採取した。そして磁化測定を行って得た複数試料の磁化を平均し、遺構の磁化方向を求めた結果、図3の地磁気変動との対比から、奈良時代としてA.D.730年頃の年代が推定された。この年代は考古学的にも妥当であった。

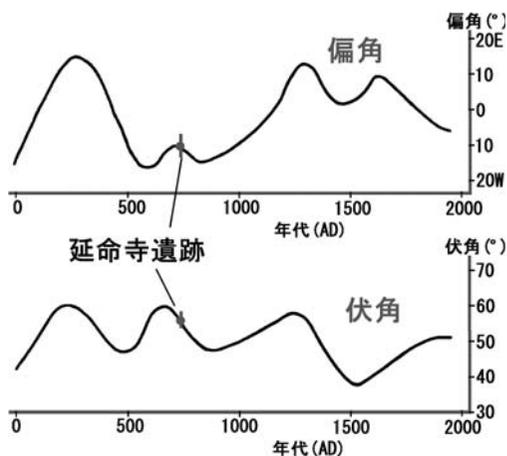


図3 地磁気の過去2000年間における変動 偏角・伏角は、Hirooka (1971) の図を元に焼山地域の値に変えて加筆した (手塚, 1998)



図4 上越市延命寺遺跡における焼土の採取状況と磁化測定の結果

表1 延命寺遺跡の磁化測定結果

試料数	偏角	伏角	誤差角 (α_{95})	磁化強度 (Am^2/kg)
12	-10.4°	57.2°	1.7°	2.85×10^{-1}

3. 研究試料と方法

3.1 調査地の概要

焼山（標高2400.3m）は、糸魚川-静岡構造線の東側において、南北につながる妙高火山群の北端部に位置し、同火山群で唯一噴火記録を有する活動的火山である（早津，1985，1995，2008）。火山活動の開始は約3000年前と若い³、歴史時代に火砕流や溶岩流の噴出を繰り返している。そして古代・中世には、日本海に達する火砕流や6 kmを越

える溶岩の流出を引き起こした。近年も、1949年，1974年，1983年に小規模な水蒸気噴火を発生させており，1997年には異常噴気と山頂付近での火山灰が報告されている（伊藤他，2000）。

火山体は、溶岩流・火砕流・降下火砕物等の噴出物と崩壊堆積物で構成される。噴出物は、標高約2000mに達する新第三系中新統の難波山層を基盤とし、比高400mの溶岩円頂丘を中心に北へ約20km 続いて分布する。岩石は角閃石斑晶を含む珪長質安山岩～デイサイトから構成される。

早津（2008）は、活動形態、腐植土、古文書及び降下火山灰層の対比から、焼山の活動期を表1の5期間に区分している。日本における地磁気年代推定法は、紀元後の期間に適用可能なので、調査は表1の第3期～第5期の火山噴出物を対象とし、表2に星印を記す地層で行った。以下では、早津（1985，1994，2008）をもとに火山活動史と地質概要を述べる。

(1) 第3期の活動

焼山の最大規模の火砕流である早川火砕流が生じ、続く前山溶岩流の噴出時期である。

早津（1985，2008）では、早川火砕流の噴出時期は、多数の¹⁴C年代、早川火砕流と同時期の降下テフラであるYK-KGcの多数の¹⁴C年代および同テフラと考古遺物との層位関係から、約1000年

表2 新潟焼山の火山活動史と本研究の対象

時代	活動史区分	地層名		備考	年代
		基本層序	テフラ層など		
近代・近世	第5期	新期火砕堆積物	笹倉段丘礫層	噴気活動 水蒸気爆発	1974年 1962-3年 1949年 1852年 1773年
		★大谷火砕流堆積物II	YK-KGa	水蒸気爆発・硫黄噴出 火砕流の噴出	
中世	第4期	★焼山溶岩流 ★大谷火砕流堆積物I	YK-KGb	溶岩ドームの形成 火砕流の噴出	1361年
古代	第3期	★前山溶岩流	火打川原湖成層	八龍池の形成 焼山最大の溶岩流の流出	887年・989年？
		★早川火砕流堆積物	YK-KGc	焼山最大の火砕流の噴出	
先史時代	第2期	？	YK-KGd	マグマ噴火	約2,000年～2,500年前
	第1期	前川土石流堆積物	YK-KGe	焼山の誕生	約3,000年前

★一の倉溶岩流の形成は第3期，★坊々抱溶岩流の形成は不明とされている
早津（2008）の図Ⅲ-55に加筆した 星印の層序試料を研究対象とした

前の平安時代としている。前山溶岩流は、早川溶岩流の上位に時間間隙の証拠を挟まず重なっており、早川火砕流とほぼ同時期の噴出物と考えられる。また約1000年前の平安時代に対応する焼山の噴火記録として887年と989年の2つの記録が知られている。以上から、早川火砕流・前山溶岩流の噴出時期は、887年および989年のどちらか（または両方）の記録に対応する可能性が高いとされた。

一の倉溶岩流は、早川火砕流堆積物の上位に位置し岩質が類似するので第3期に属する可能性が高い。坊々抱岩溶岩流については、早津（1985）では層準不明ながら第3期に含まれる可能性が示されたが、早津（2008）では不明とされている。

(2) 第4期の活動

第4期の活動は、焼山溶岩流の流出による溶岩円頂丘形成に特徴づけられ、大谷火砕流堆積物Iも、伴って噴出したとされる。含まれる炭化木片から、630-680y.B.P.の¹⁴C年代が報告されており、またA.D.1361年の噴火記録が残っている。

(3) 第5期の活動

第4期後の現在までの活動期である。この時期には大谷火砕流堆積物IIの火砕流が発生しており、古文書では1773年の噴火によるとの記録が残っている。

3.2 研究試料

本研究の試料は、北側山麓の大谷火砕流堆積物I、II、前山溶岩流、一の倉溶岩流、早川火砕流堆積物、山頂付近の焼山溶岩流、坊々抱岩溶岩流より採取した。

図5には、早津（2008）の図Ⅲ-18の地質図を引用し、試料採取地点を星印で示している。調査は、主に模式露頭の溶岩流と火砕流の角礫を対象とし、各層準では複数の離れた露頭から複数個の試料を採取した。各試料はこぶし大の大きさで、現地の磁北と水平の基準マークを付けた定方位試料としている。

3.3 熱消磁とザイダーベルト図

実験室において、採取した岩石から直径約25mm、長さ20mmの円柱試料を作成し、最初に、全試料の自然残留磁化（NRM: natural remanent magnetization）を測定した。測定では、富山大学・磁気シールド室の超伝導磁力計（2G社760R）を使用した。

試料の磁化には、冷却過程で獲得される熱起源の磁化（初生磁化）だけでなく、その後で諸種の要因による二次磁化が付着していることが多い。そこで研究に用いる初生磁化を抽出するため、試料を無磁場中で加熱冷却する熱消磁を行った。具



St: 笹倉段丘礫層	Y8: 早川火砕流堆積物
Ut: 未区分段丘礫層	Y7: 泊溶岩流
Cd: 崩壊堆積物	Y5: 焼山川火砕流堆積物
Md: 湿地堆積物	Y6: 坊々抱岩溶岩流
Y13: 新規火砕流堆積物	Y4: 赤倉沢溶岩流
Y12: 大谷火砕流堆積物	Y3: 火打山川溶岩流
Y11: 焼山溶岩流	Y2: 真川溶岩流
Hg: 火打川原湖成層	Nd: 西尾野川岩屑崩れ堆積物
Y10: 一の倉溶岩流	Bs: 基盤岩類
Y9: 前山溶岩流	

図5 早津（2008）の地質図（図Ⅲ-18）を加筆、本研究の試料採取地点を星印で示す

体的には、加熱温度を段階的に上げて、各温度で二次磁化を調べて消磁する熱消磁実験を、最高670℃までの幾つかの温度で行った。

熱消磁の結果はザイダーベルト図 (Zijderveld, 1967) で解析した。これは図6の様に、三次元の磁化ベクトルの終点を水平面投影 (水平成分) と鉛直面投影 (鉛直成分) に分解して、磁化方向と大きさを平面図に表現する方法である。水平面投影では、横軸に磁化の南北成分を、縦軸には東西成分を取って黒丸で示し、また鉛直面投影では、横軸には同じ南北成分を、縦軸には上下成分を取って白抜き丸で表現する。この様に磁化を鉛直・水平成分に分解して平面図に投影し、次に水平面投影の面を90°回転させて鉛直平面と重ね合わせることで、磁化ベクトルを二次元に表すことができる。

磁化が一成分からなる場合は、消磁温度を上げ

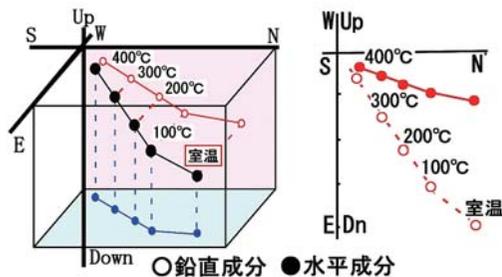


図6 熱消磁の結果を示すザイダーベルト図の概念図 (左) と結果の例 (右)

ても磁化は、方向を変えずに減少し、各温度での磁化データは図の原点に向かう直線上にプロットされる。しかし二次磁化が大きい場合は、プロットは複雑になる。研究では、消磁結果のザイダーベルト図のプロットに主成分分析法 (Kirshvink, 1980) を適用して信頼できる磁化方向を求めた。

各サイトの消磁結果において、不安定な磁化の試料を除いて、信頼度の高い試料の磁化を求めた。そしてフィッシャー統計 (Fisher, 1953) により、サイト毎の磁化平均と信頼度パラメータ (95%信頼角 α_{95} と精度係数 K) を求めて、地磁気変動との対比により年代を検討した。

4. 磁化の研究結果

以下には、各サイトの状況と実験結果を述べる。各サイトでは、熱消磁後の磁化方向のシュミットネット投影と、ザイダーベルト図での消磁結果を示している。

4.1 早川火砕流堆積物

山頂火口より距離約9kmの焼山温泉裏の比高約30mの露頭から、火砕流堆積物中の角礫 (本質岩塊) を採取した。露頭は2層のユニットからなるが、炭化木が認められる上部層 (図7左) から10試料を採取した。右図の様に、熱消磁の結果、高温までの安定な磁化が、7試料から得られ、磁化方向は中図の様に集中した。

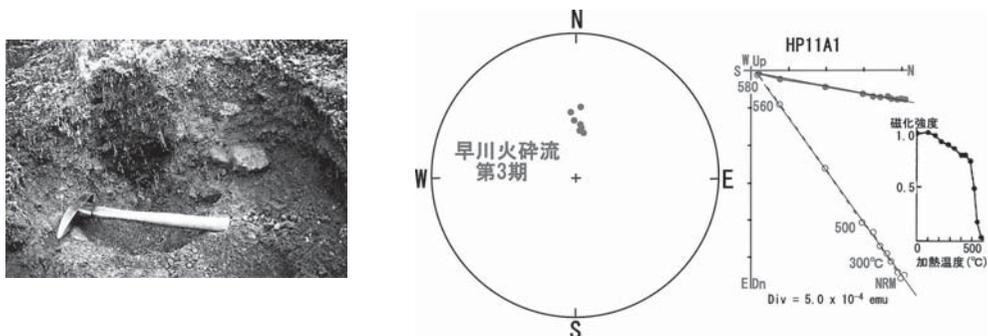


図7 左：早川火砕流堆積物と含まれていた炭化木 中：熱消磁後の磁化方向 (シュミットネット投影) 右：ザイダーベルト図での熱消磁の結果例

4.2 前山溶岩流

試料は、火打山川沿いと溶岩台の2サイトから7個を採取した。熱消磁では、100℃の消磁段階で安定な磁化が得られ、両サイトの4試料の磁化方向はほぼ一致した(図8)。

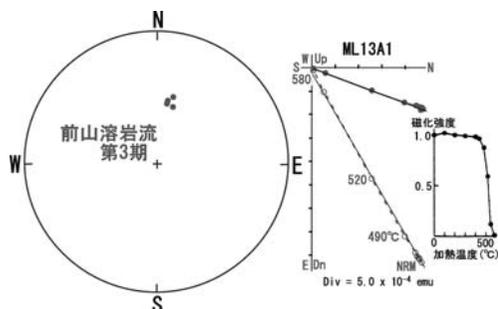


図8 左：前山溶岩流の熱消磁後の磁化方向
右：熱消磁のサイダーベルト図の例

4.3 一の倉溶岩流

焼山川涸れ沢沿いの2つの溶岩流末端部の露頭から試料を3個採取した。熱消磁では100℃以上の温度で安定な磁化が得られた(図9)。

4.4 坊々抱岩溶岩流

模式露頭の周辺には巨大な岩塊が密集しており、研究試料は、複数の岩塊から6個を採取した。熱消磁では、100℃以上の温度で3試料から安定な磁化を得た(図10)。

4.5 焼山溶岩流

山頂付近に分布する焼山溶岩流では、中央火口内の火口壁(図11左)において噴気による変質影響が少ない場所を選び、6試料を採取した。中図と右図に示す様に、熱消磁では4試料より220℃以上の温度で安定な磁化が得られ、磁化方向は集中した。

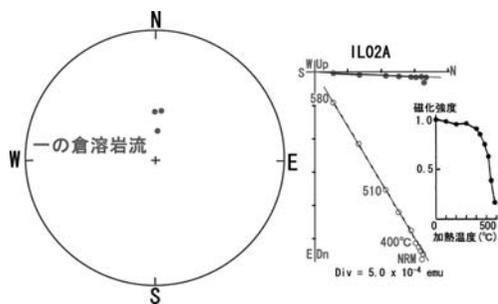


図9 左：一の倉溶岩流の熱消磁後の磁化方向
右：熱消磁のサイダーベルト図の例

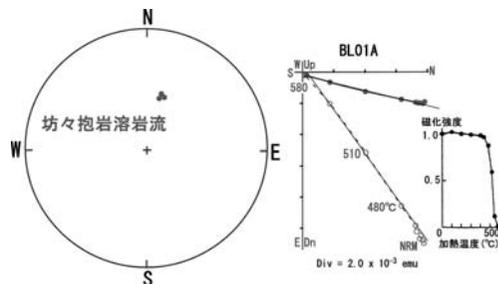


図10 左：坊々抱岩溶岩流の熱消磁後の磁化方向
右：熱消磁のサイダーベルト図の例

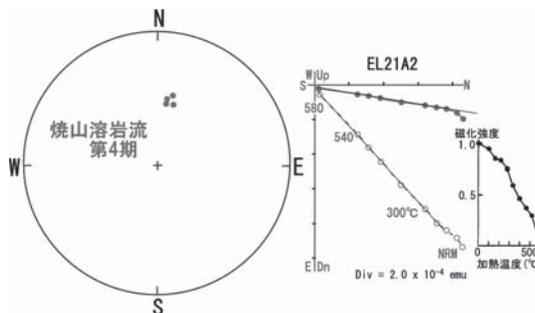


図11 左：焼山溶岩流の露頭 中：熱消磁後の磁化方向 右：熱消磁の例のサイダーベルト図

4.6 大谷火砕流堆積物

大谷火砕流堆積物Ⅰの試料は、北側山麓の山頂火口より約4kmの道路切割り(層厚約1m)において、角礫10個を採取した(図12左上)。大谷火砕流堆積物Ⅱの試料は、北側斜面の山頂火口より約1km地点の焼山川最上流部の沢(図12左下)から7個を採取した。層厚は20mを超えていた。熱消磁の結果、火砕流堆積物Ⅰの7試料と火砕流堆積物Ⅱの5試料から、500℃以下の温度範囲で安定な磁化を得た(図12の中図および右図)。

図13には、表に示した各サイトの磁化方向と誤差角(α_{95})を地磁気変動(Hirooka, 1971を加筆)と対比している。地磁気変動については、第2節で示した様に、焼山と京都との緯度差等の影響を補正している。

各サイトの年代は、早津(1985, 1994, 2008)を参考にした。第3期の火山噴出物については、3.1節で示した様に、 ^{14}C 年代とも調和する古文書の887年と989年の噴火記録を用いて、その間の年代として磁化方向を示した。第4期と第5期の研

5. 考察

5.1 磁化方向と地磁気変動との比較

前節で示した様に、各サイトの試料について熱消磁で安定な磁化を求め、平均磁化を算出した。表3には、磁化方向と信頼度パラメータ(α_{95} 角とk)をまとめている。多くのサイトでは、磁化方向の誤差角 α_{95} は5°以下であったが、一の倉溶岩流では α_{95} は11°と、他のサイトに比べて磁化の集中度は低かった。

表3 残留磁化の測定結果

	試料数(個)	偏角の平均(°)	伏角の平均(°)	α_{95} (°)	k
大谷火砕流Ⅱ	5	1.6	51.1	3.4	510
大谷火砕流Ⅰ	7	9.8	50.4	3.9	238
焼山溶岩流	4	12.8	50.2	4.0	516
坊々抱岩溶岩流	3	16.7	52.3	3.5	1268
一の倉溶岩流	3	4.2	63.4	11.4	118
前山溶岩流	4	15.5	58.8	4.1	510
早川火砕流	7	3.5	58.9	4.6	171

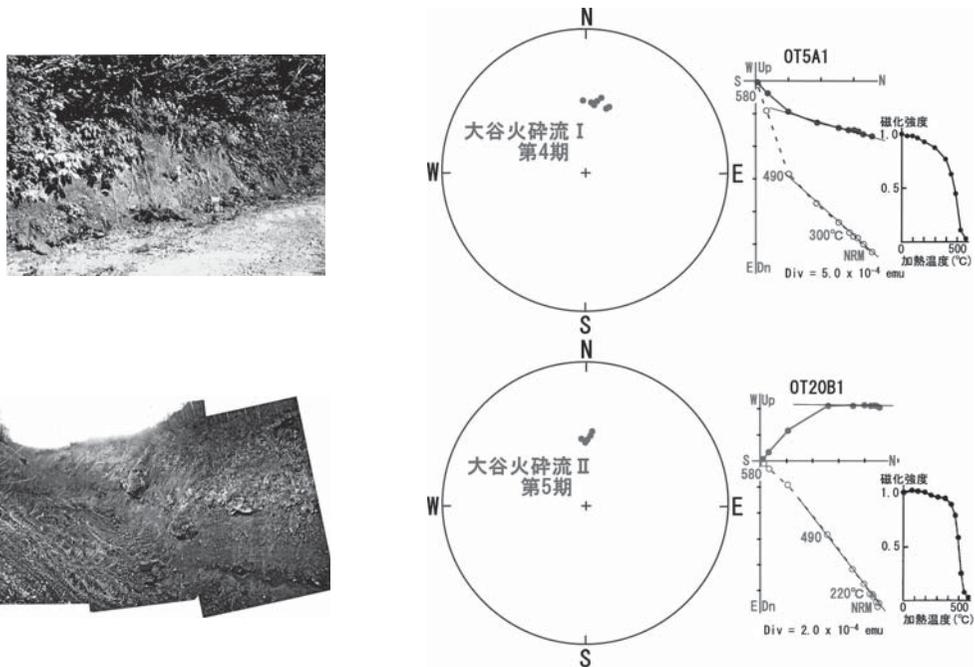


図12 左：大谷火砕流堆積物Ⅰ・Ⅱの試料採取露頭 中：熱消磁後の磁化方向 右：熱消磁の例のザイダーベルト図

究試料についても、噴火記録のある1361年と1773年をそれぞれの年代として磁化方向を示した。坊々抱岩溶岩流の年代は、不明とされているので、図には載せていない。

5.2 各サイトの年代

図13をみると、第5期（18世紀）の大谷火砕流堆積物Ⅱおよび、第4期（14世紀）の大谷火砕流堆積物Ⅰと焼山溶岩流の磁化方向は、地磁気変動と良く合っている。これは、早津（1985, 2008）で示された層序や年代と磁化年代が調和的であることを示している。

一方、第3期の一の倉溶岩流、前山溶岩流、早川火砕流堆積物の磁化方向は、9-10世紀の地磁気からは離れており、むしろ13世紀頃の地磁気と対応した。最近、早川他（2011）は、早川火砕流堆積物について1235年前後の¹⁴C年代を報告しており、本研究で得られた磁化の年代は、この年代に調和する結果であった。

磁化方向と地磁気変動との対比をもとに、各サイトの年代を改めて検討した結果を図14に示す。第3期の早川火砕流については、早川他（2011）による¹⁴C年代の1235年頃にプロットした。前山溶岩流と一の倉溶岩流は早川火砕流の上位に位置

する（早津, 2008）ので若干新しい時代とした。両溶岩流の磁化方向は早川火砕流の磁化より東偏しているが、この傾向は、地磁気変動との対比において両溶岩流の年代がより新しい年代との見解と調和的である。

年代が不明とされていた坊々抱岩溶岩流については、磁化方向（偏角と伏角）は、14世紀初め頃の地磁気変動との対応が可能であり、この年代でのデータ（図14）としてプロットした。

表4には、表2の火山活動史表に、本研究で推定した年代を加筆して示している。

従来、8, 9世紀の年代が推定されていた火山噴出物では、磁化研究から13-14世紀の形成と考えられた。また年代が不明であった坊々抱岩溶岩流も、焼山溶岩流や大谷火砕流堆積物Ⅱと同様な磁化方向を示しており、13, 14世紀に形成された可能性が高い。

以上の様に、歴史時代の火山噴出物について、層序学や古文書等の従来研究による年代の検討や年代推定が難しい対象の研究に、地磁気年代法は有用であることが示された。

また本研究で得た火山噴出物の年代のまとめ（図14や表4）から、焼山において13-14世紀に多くの地層が形成されていることが示された。これ

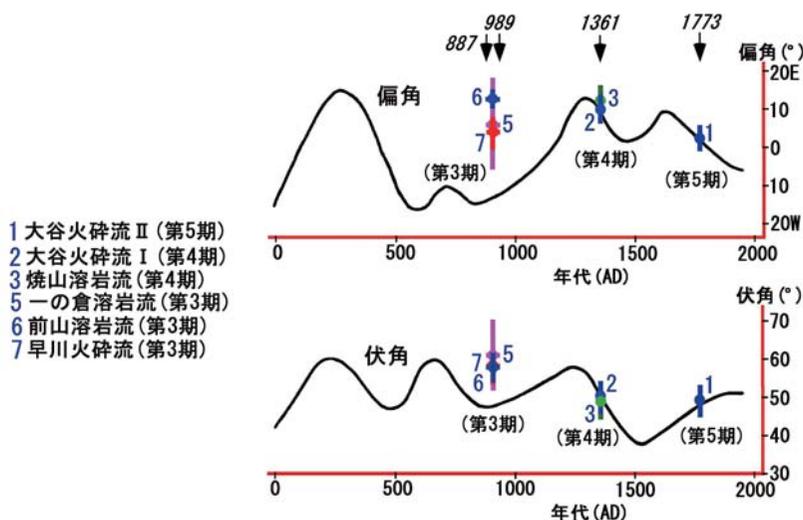


図13 各サイトの磁化方向と地磁気変動（Hirooka, 1971を加筆）との比較

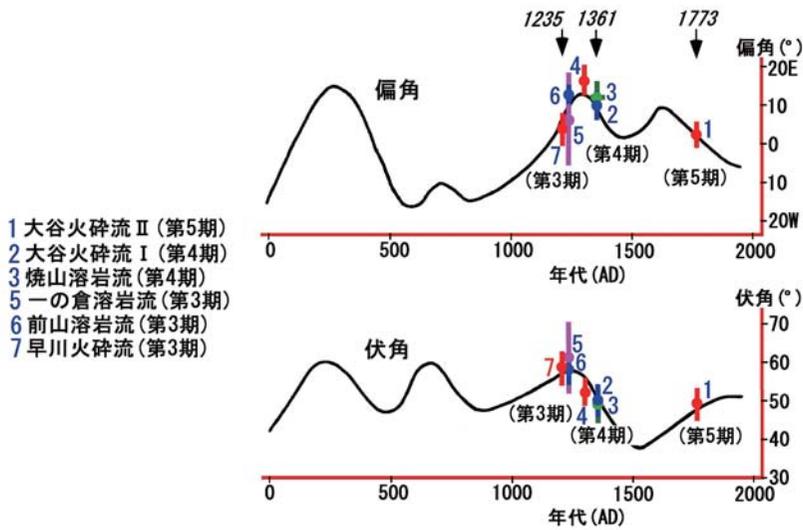


図14 各サイトの磁化と地磁気変動との対比による年代案, A.D.1235年は早川他 (2011) を参照した

表4 新潟焼山の火山活動史

時代	活動史区分	地層名		備考	年代	本研究の推定
		基本層序	テフラ層など			
近代・近世	第5期	新期火砕堆積物	笹倉段丘礫層	噴気活動 水蒸気爆発	1974年 1962-3年 1949年 1852年 1773年	18世紀 ★大谷火砕流堆積物Ⅱ
		★大谷火砕流堆積物Ⅱ	YK-KGa	水蒸爆発・硫黄噴出 火砕流の噴出		
中世	第4期	★焼山溶岩流 ★大谷火砕流堆積物Ⅰ	YK-KGb	溶岩ドームの形成 火砕流の噴出	1361年	14世紀 ★焼山溶岩流 ★大谷火砕流堆積物Ⅰ ★坊々抱岩溶岩流
古代	第3期	★前山溶岩流	火打川原湖成層	八龍池の形成 焼山最大の溶岩流の流出	887年・989年?	13世紀 ★前山溶岩流 ★一の倉溶岩流 ★早川火砕流堆積物
		★早川火砕流堆積物	YK-KGc	焼山最大の火砕流の噴出		
先史時代	第2期	?	YK-KGd	マグマ噴火	約2,000年~2,500年前	
	第1期	前川土石流堆積物	YK-KGe	焼山の誕生	約3,000年前	

早津 (2008) を基に加筆した表2の右欄に、本研究での推定結果を加えている

より、13-14世紀に焼岳では活発な火山活動があったことが推測される。

早津 (2008) で示されている様に、第3期の火山噴出物は、考古学調査により平安時代の遺構で見つかっており、その¹⁴C年代 (約1000年前) から焼山では平安時代に火山活動があった可能性は高い。その為、今後、本研究の調査地と共に他の地域での第3期火山噴出物の年代を研究し、焼山の平安時代の火山活動について更に検討する必

要がある。

地磁気年代研究については、Hirooka (1971) による地磁気永年変動曲線の提唱後も研究は行われ、データが蓄積されてきた。そして、地磁気変動の地域による違い (地域差) を調べると、時代によって異なり、かなり大きい地域差が存在する時代もあるとわかってきた。東美濃・瀬戸地域を中心とする東海地方では、詳細な多くの考古地磁気データを基に永年変化が求められ (広岡・藤澤,

2002), 同地域での年代推定に利用されている。

現在, 考古地磁気の研究結果のデータベース化も進められており, 新たな地磁気永年変動曲線の作成も検討されている。検討が進んだ際には, 本研究の年代も見直すことができると考える。また地磁気年代研究では, 地磁気強度の変動を用いる方法もある。地磁気方向の研究に比べて複雑な実験となり時間もかかるが, 年代推定の信頼性を上げるには有用であり, 本研究の対象も含めて, 地磁気強度による研究の実施も予定している。

焼山は豪雪地帯に位置するので, 特に融雪期の噴火では, 噴出物が融雪泥流を生じて非常に大きな被害が起きると推定されている(堤他, 2013)。本研究で示唆された13-14世紀の大きな火山活動も含めて, 焼山の歴史時代の噴火状況を正確に把握することはハザードマップの作成においても重要な情報となると考える。

6. まとめ

新潟焼山では, 早津(1985, 1994, 2008)による地質学研究から詳細な火山活動史が求められていた。そのうちの紀元後の活動で生じた火山噴出物について磁化を研究し, Hirooka (1971)の地磁気方向の変動との比較により年代を推定した。従来の火山活動史との対比を行った結果, 以下の知見を得た。

(1) 第5期活動期に噴出した大谷火砕流堆積物Ⅱでは18世紀頃の地磁気年代が得られ, 古文書による1773年頃の噴火年代と良く合った。また第4期活動期の焼山溶岩流と大谷火砕流堆積物Ⅰの磁化方向は, 地磁気変動との対比では14世紀頃が妥当と得られ, この年代は, 噴火記録(A.D.1361年)と矛盾は無かった。

以上の様に, 第4期と第5期の火山噴出物の地磁気年代は早津(1985, 1994, 2008)の層序を支持する結果であった。

(2) 坊々抱岩溶岩流については, 層位的に上下関係が判明しておらず, 早津(1985)では岩質の類似から第3期(9世紀, 10世紀)に属する可能性が示唆され, 早津(2008)では時期不明とされていた。本研究で得られた磁化方向は14

世紀の地磁気に近い方向を示したことから, 坊々抱岩溶岩流の形成は, 第4期の可能性が考えられた。

(3) 早川火砕流堆積物, 前山溶岩流と一の倉溶岩流は, 9-10世紀の形成とされていた(早津1985, 1994, 2008)が, 磁化方向は, 同時代の地磁気方向とは離れ, 13世紀頃の地磁気に近い結果であった。早川他(2011)は早川火砕流堆積物について, ^{14}C 年代の研究からA.D.1235年前後の年代を提示しており, 地磁気年代は, この年代と調和した。

本研究で得た火山噴出物の年代のまとめから, 焼山では, 13-14世紀に多くの地層が形成されていることが示され, これにより, 13-14世紀頃の焼山に活発な火山活動があったことが推測された。

ただ早津(2008)で示されている様に, 第3期の火山噴出物が平安時代の遺構で見つかっており, 焼山では平安時代にも火山活動があった可能性は高い。その為, 本研究の調査地と共に他の地域での第3期火山噴出物の年代を研究し, 平安時代の火山活動について更に検討する必要がある。地磁気年代推定の信頼性を上げるため, 今後, 地磁気強度による研究の実施も予定している。

豪雪地帯に位置する焼山では, 融雪期に噴火が起きた場合, 融雪泥流による甚大な被害の発生も予想されている(堤他, 2013)。13-14世紀に示唆された大規模な火山活動も含めて, 焼山の歴史時代の噴火状況の把握はハザードマップの作成においても重要である。

本研究では, 新潟焼山火山において, 層位的な方法では決定できない火山噴出物の噴出時期について磁化研究から重要な情報を得ることができた。今後, 他の火山においても, 地磁気年代研究を積極的に行っていくことが望まれる

謝辞

研究の一部において社団法人北陸建設弘済会「北陸地域の活性化に関する研究助成事業」の研究

助成（堤大三代表）を用いた。研究を進めるにあたり、富山大学名誉教授の広岡公夫先生にご助言を頂いた。

参考文献

- 芦田和男・沢田豊明：山地流域における出水と土砂流出 (18), 京都大学防災研究所年報, 第32号 B-2, pp.471-486, 1989.
- Fisher, R.A.: Dispersion on a sphere, Proc. R. Soc. London, Vol.217A, pp.295-305, 1953.
- 早川由紀夫・藤根 久・伊藤 茂・Lomtatize Zaur・尾寄大真・小林紘一・中村賢太郎・黒沼保子・宮島宏・竹之内耕：新潟焼山早川火砕流噴火の炭素14ウイグルマッチング年代, 地学雑誌, Vol.120, pp.536-546, 2011.
- 早津賢二：妙高火山群－その地質と活動史－, 第一法規出版, 344p., 1985.
- 早津賢二：新潟焼山火山の活動と年代, 地学雑誌, Vol.103, pp.149-165, 1994.
- 早津賢二：妙高火山群－多世代火山のライフヒストリー, 実業公報社, 424p., 2008.
- Hirooka, K.: Archaeomagnetic study for the past 2000 years in Southwest Japan, Mem, Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser Geol. Mineral., Vol.38, pp.167-207, 1971.
- 広岡公夫・藤澤良祐：東海地方の地磁気永年変化曲線, 考古学と自然科学, 45, pp.29-54, 2002.
- 伊藤英之・早津賢二・鈴木浩二：新潟焼山1997～1998年の小規模噴火活動, 火山, Vol.45, pp.181-186, 2000.
- Kirshvink, J.L.: The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data, Geophys. J.R. Astron. Soc., Vol.62, pp.699-718, 1980.
- 味喜大介：古地磁気方位・強度測定による桜島の溶岩流の年代推定, 火山, Vol.44, pp.111-122, 1999.
- Sakai, H. and K. Hirooka: Archaeointensity determinations from western Japan, J. Geomag. Geoelectr., Vol.38, pp.1323-1329, 1986.
- 酒井英男・豊本正成・平井 徹・畚野 匡・沢田豊明・藤井昭二：岩石磁気学的手法による焼岳火山噴出物の分類, 富山県地学研究論集, Vol.10, pp.33-42, 1993.
- 酒井英男・澤田豊明・畚野 匡・井口 隆：磁気物性を用いた火山堆積物の定置温度の推定と分類, 防災科学技術研究所研究報告, 第65号, pp.163-171, 2004.
- 酒井英男・山本 豊・菅頭明日香・岸田 徹：新潟県上越市延命寺遺跡の焼土遺構 (SX1905) の考古地磁気研究, 新潟県埋蔵文化財調査報告書第201集, 新潟県教育委員会, pp.107-113, 2008.
- 手塚大貴：富山大学修士論文, 第四紀火山堆積物の岩石磁気・古地磁気, 68p, 1998.
- 堤 大三・酒井英男・藤田正治・宮田秀介・上石 勲：融雪型火山泥流の発生機構解明とその防災への適応に関する事業報告書, 社団法人北陸建設弘済会北陸地域づくり研究所, 2013.
- 堤 大三・野中理伸・水山高久・志田正雄・市田児太郎・宮田秀介・藤田正治：山地流域における定量的な掃流砂量計測, 京都大学防災研究所年報第56号 B, pp.465-470, 2013.
- Zijderveld, J.D.A.: A.C. demagnetization of rocks: Analysis of results, Method in Paleomagnetism (Collinson, D.W. and Creer, K.M. eds.), Elsevier, New York, 254-286, 1967

(投稿受理：平成26年1月27日
訂正稿受理：平成26年6月24日)