磁化特性を用いた火山堆積物の定置温度の推定と分類

著者	酒井 英男, 澤田 豊明, 畚野 匡, 井口 隆
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	65
ページ	163-172
発行年	2004-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001151

磁化特性を用いた火山堆積物の定置温度の推定と分類

酒井英男[*1]・澤田豊明[*2]・畚野　匡[*3]・井口　隆[*4]

Classification of the Volcanic Sediments in Mt. Yakedake by the Rockmagnetism - Study of the Embedded Temperature -

Hideo SAKAI[*1], Toyoaki SAWADA[*2], Tadashi FUGONO[*3], and Takashi INOKUCHI[*4]

[*1]*Dept. Earth Sciences, Faculty of Science, Toyama University, Japan,*
Visiting Researcher of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
[*2]*Hodaka Sedimentation Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan*
[*3]*Nippon Koei Co.Ltd.,Sendai, Japan*
[*4]*Disaster Prevention Research Group,*
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

Abstract

Rockmagnetic study was carried out at the area around Mt. Yakedake, one of the most active volcano of the Norikura volcanic chain in central Japan.

We developed the method to analyze the temperature when the volcanic sediments embedded by their magnetic property. The method is applied on the volcanic sediments originated from Nakao pyroclastic flow, where the eruption occurred around 0 B.C. Through the determined embedded temperature, we could classify the volcanic sediments into three types, pyroclastic flow deposit, hot lahar deposit and cold lahar deposit. At the Nakao area, about 3km from the crater, the hot lahar reached and embedded at 400℃. Also, the archaeomagnetic dating analysis applied on the Nakao pyroclastic flow deposits suggests the eruption age concordant with the formerly estimated ^{14}C age of c.a. 2500 to 1500 B.P.

This study shows that the rockmagnetism is useful to investigate the depositional process and cooling history of volcanic sediments.

Key words : Remanent magnetization, Volcanic eruption, Embedded temperature, Mt. Yakedake, Nakao Pyroclastic flow

1. はじめに

火山被害の調査において，噴火の周期性，噴出物の規模と共に大事なパラメーターとして，火山堆積物の定置時（停地時）の温度が挙げられる．ハザードマップ作成においても重要な情報であるが，従来，有効な調査手法が無いために，定置温度についてはあまり考慮されていない．

本研究では，火山堆積物の磁化特性を用いて堆積時の定置温度の推定を試みた．露頭での判別が難しい場合も多い火山堆積物（火砕流，泥流，熱泥流）について，定置温度を探る調査方法を開発し，さらに，定置温度に基づいて火山堆積物を分類する有効な方法の確立を目的として，研究を実施した．

試料の磁化から定置温度を推定する際には，熱起源の

[*1] 富山大学理学部地球科学科，独立行政法人　防災科学技術研究所　客員研究員
[*2] 京都大学防災研究所　災害観測実験センター穂高砂防観測所
[*3] 日本工営株式会社　仙台支店
[*4] 独立行政法人　防災科学技術研究所　総合防災研究部門

磁化の検討が必要である．研究では，主に熱消磁法を利用したが，テリエ法（Sakai and Hirooka, 1986）も併用して，調査方法の信頼度を上げる工夫を施した．

調査は，岐阜県と長野県の県境に位置する焼岳において，現在より2500～1500年前に発生した大規模火砕流（中尾火砕流）を起源とする火山性堆積物を対象として実施した．室内実験で検討した定置温度の推定方法を，露頭の堆積物に適用しながら有効な方法へと改良し，得られた定置温度の情報に基づいて，中尾火砕流起源の火山性堆積物の分類を行った．また，火山堆積物の残留磁化が地磁気の化石となっている特性を利用し，地磁気永年変化との対比による年代調査も行った．

以上の磁化特性を利用する火山堆積物の総合的研究を，焼岳中尾火砕流堆積物を対象として実施した結果を報告する．

2．調査法の原理

2.1　熱残留磁化

火山岩に数パーセント含まれるマグネタイトやヘマタイトなどの鉄の酸化鉱物は，磁石になる性質がある．こうした磁性鉱物を含む火山岩は，高温から冷却する際，地磁気に並行な磁化（残留磁化）を獲得する．この磁化は非常に安定であり，再加熱等を受けなければ数百万年後でも殆ど変化せずに残り，当時の地磁気の化石となっている（**図2.1**）．加熱・冷却過程で獲得されるので，熱残留磁化（TRM: thermo remanent magnetization）と称されている．

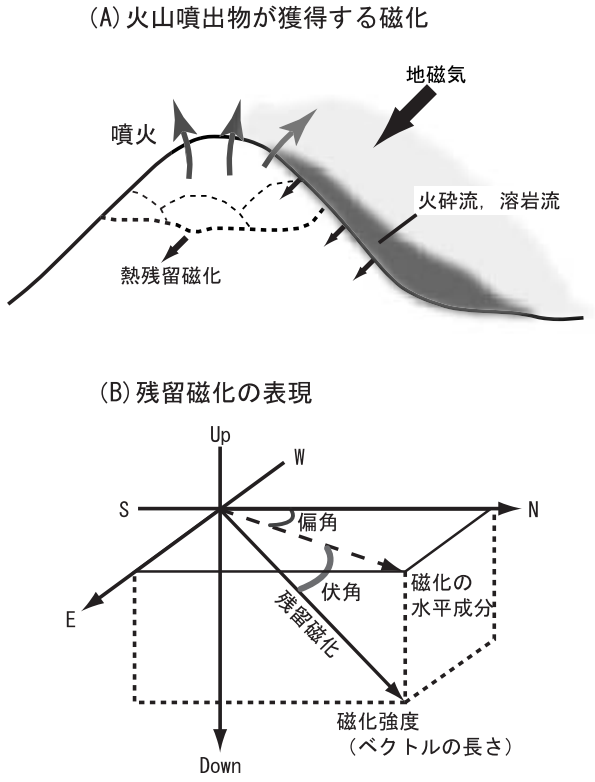


図2.1　火山噴出物の残留磁化獲得の様子を上に，下には残留磁化のパラメータを示す．

Fig. 2.1　Shematic sketch of the magnetization process for volcanic erupted material（upper diagram）and the parameters of remanent magnetization（lower diagram）.

熱残留磁化は加熱を被った当時の地磁気に平行な方向と共に，地磁気強度に比例した磁化強度を持つ．つまり火山岩の磁化は，生成時の地球磁場の方向と強さの記録となっている．

2.2　磁化による定置温度の推定と火山堆積物の分類の原理

本研究で主な対象とする火砕流の角礫は，高温で定置した場合には火山岩と同様に，定置時の地磁気の方向と強度を記憶した熱残留磁化を獲得している．当時の地磁気と平行な磁石となった後，角礫が動いていなければ，角礫の磁化は地磁気の化石として利用できる（**図2.2**B）．

十分に冷却後に流下し定置した泥流の場合には，常温で磁化が固定されてから移動するので，泥流中の角礫の磁化は，どの温度範囲の成分も有意に地磁気の方向を向かず，また近傍にある複数の角礫の磁化方向も揃わない（**図2.2**C）．

火砕流として定置後に，十分に冷えないうちに熱泥流として再び流下する場合がある．その場合，下流に定置した角礫の磁化は，地磁気方向を向く低温成分と，それ以外の高温部の二成分もしくは多成分の熱残留磁化をもつことになる（**図2.2**D）．

上述の磁化から火山堆積物を分類する原理（**図2.2**）をまとめると以下の様になる．

①火砕流堆積物：角礫は高温で定置しており，磁化は単一成分で地磁気方向を向いて固定される．

②泥流堆積物：火砕流として定置し，冷却後に泥流として流下した場合，複数試料の磁化方向は集中せず，低温成分にも地磁気方向の熱残留磁化はない．

③熱泥流堆積物：火砕流として定置後，十分に冷却しない間に流下した場合，磁化は高温と低温の二成分からなり，低温成分は地磁気方向を向く．

この様に，火砕流の磁化の温度特性を調べることで，火山堆積物を区別することができる．定置温度は被熱温度および冷却速度に依存し，これらは物質の比熱や大きさによる違いもあり，角礫と基質（マトリックス）では異なると考えられる．基質は定方位での採集および加熱実験での扱いが容易で無いため，本研究では角礫試料を研究対象とした．

2.3　熱消磁とザイダーベルト図法

磁化の温度特性は，熱消磁法の実験により求められる．熱消磁実験は，試料を段階的に加熱し，その後，無磁場空間において冷却することにより，磁化の方向と強さの温度変化を調べることができる．含まれる磁性鉱物のキューリー温度が調査が可能な最高温度となり，一般には570～670℃である．

火山堆積物の磁化の温度変化を解析する際に，ザイダーベルト図法が利用できる（Zijderveld, 1967）．この図法は，3次元ベクトルの磁化を鉛直と水平成分に分解し，

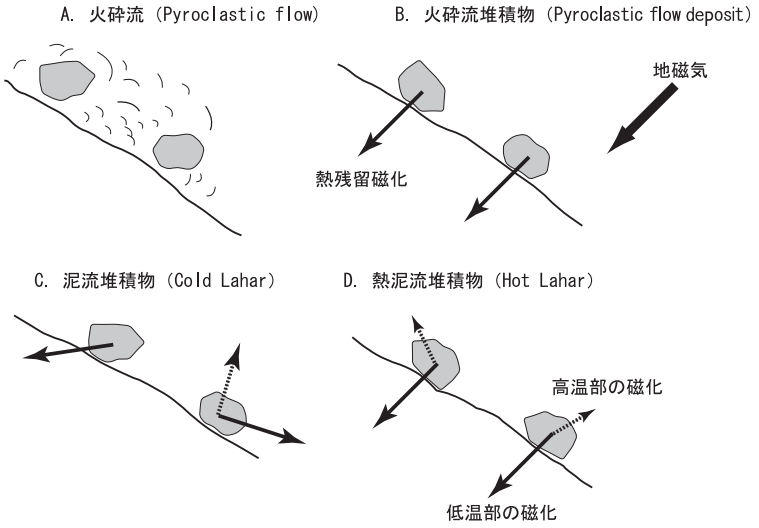


図 2.2　磁化から火山堆積物を分類する原理を火山堆積物の種類と角礫の磁化（矢印）から示している．二成分の磁化において，波線矢印は高温部で獲得された磁化を示し，実線矢印は低温部での磁化を表す．（A） 火砕流と角礫，（B） 火砕流の場合，（C） 泥流堆積物の場合，（D） 熱泥流堆積物の場合

Fig. 2.2　Schematic diagramfor the magnetization process of conglomerate in the volcanic sediment. Magnetization is shown by the arrow. For the conglomerate with two magnetic components, broken arrow indicates the magnetization of component of the higher temperature range and the solid arrow indicates the component of lower temperature range.（A） Pyroclastic flow and the conglomerates.（B） The case of pylocalstic flow deposit.（C） The case of the cold lahar deposit.（D） The case of the hot lahar deposit.

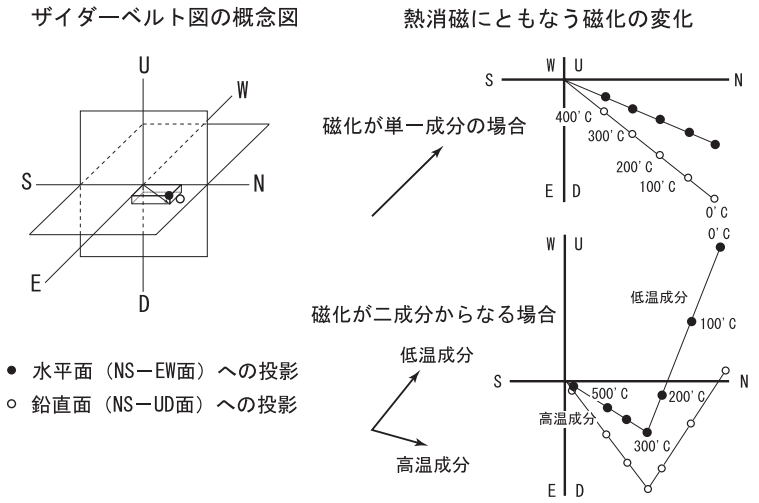


図 2.3　ザイダーベルト図法を示す．磁化の鉛直面（NS-上下）への投影は中抜き丸により，水平面（NS-EW）には黒丸でプロットしている．右上図は，単一成分の磁化の熱消磁の例であり，右下図は，磁化が二成分からなる場合の消磁例を示す．NRMは消磁前の磁化であり，プロット横の数字は熱消磁の加熱温度を示す．

Fig. 2.3　Zijderveld diagram to analyze the progressive thermal demagnetization result. The diagram in the upper figure shows the sample with single magnetization component and the lower diagram is the sample with two magnetization components. NRM (natural remanent magnetization) is the magnetization before demagnetization; and the numbers by plots indicate the heating temperatures at the thermal demagnetization.

鉛直面（NS -上下）への投影は白丸（中抜き）で，水平面（NS - EW）へ投影した成分は黒丸でプロットする（**図 2 . 3**）．そして，水平面を 90 度回転させて鉛直面と重ね合わせることで，3 次元ベクトルを 2 次元のグラフで表現する図法である．

図 2.3 の右上図は，磁化が単一成分からなる場合のザイダーベルト図である．熱消磁に伴う磁化の変化は，方向を変えずに強度の減少となるので，変化する磁化を表すプロットは，消磁実験を行う前の磁化（自然残留磁化, NRM : natural remanent magnetization）から，原点に向かう直線にのる．右下図は磁化が二成分の合ベクトルからなる試料の場合で，ある点（温度）を境に直線が 2 本引ける．折れ曲がり点において低温部の磁化が消去されたことになる．火山堆積物の場合，この折れ曲がり点に対応する温度が，その試料が現地に到達した当時の定置時における温度となる．ザイダーベルト図は，三成分以上の磁化の分離にも利用できる．

熱消磁法による磁化の分離は，二成分や他成分の磁化が熱起源でない場合にも成り立つので，一部試料ではテリエ法（Sakai *et al*., 1986, 1987）による熱起源の検討法も行った．

3． 調査地域と実験装置

調査は，岐阜県と長野県の県境に位置する焼岳（標高 2,455 m）において実施した．焼岳は乗鞍火山帯の中で最も活動的な火山であり，最近でも大正池の形成や昭和 37 年の火山泥流発生等の噴火が知られている．火山活動には，周期性も指摘されている（和田ほか，1990 ; 酒井ほか，1991）．

焼岳では，今から 2500 ～ 1500 年前に大規模な中尾火砕流が発生している．中尾火砕流およびその起源の火山堆積物は，岐阜県と長野県にまたがる東西 6 km，南北 4 kmの広範囲に分布しており（**図 3 . 1**），岐阜県の足洗谷地域においては堆積物の層厚は，20 kmに達している．挟まれる木片の ^{14}C 年代から，火山噴火は 2100 年前と 1300 年前の 2 回おきた可能性も示唆されている（藤井他，1988）．原山（1990）は，堆積層の相変化と明瞭な成層構造から，中尾火砕流は，円頂丘溶岩の噴出に伴って逐次崩壊して形成された“Block and ash flow”であると指摘している．また，中尾火砕流起源の堆積物は，焼岳周辺地域に頻繁に発生している土石流の源にもなっており，砂防の面でも研究が進んでいる（芦田・澤田，1989）．

本研究では，岐阜県側に分布する中尾火砕流起源の火

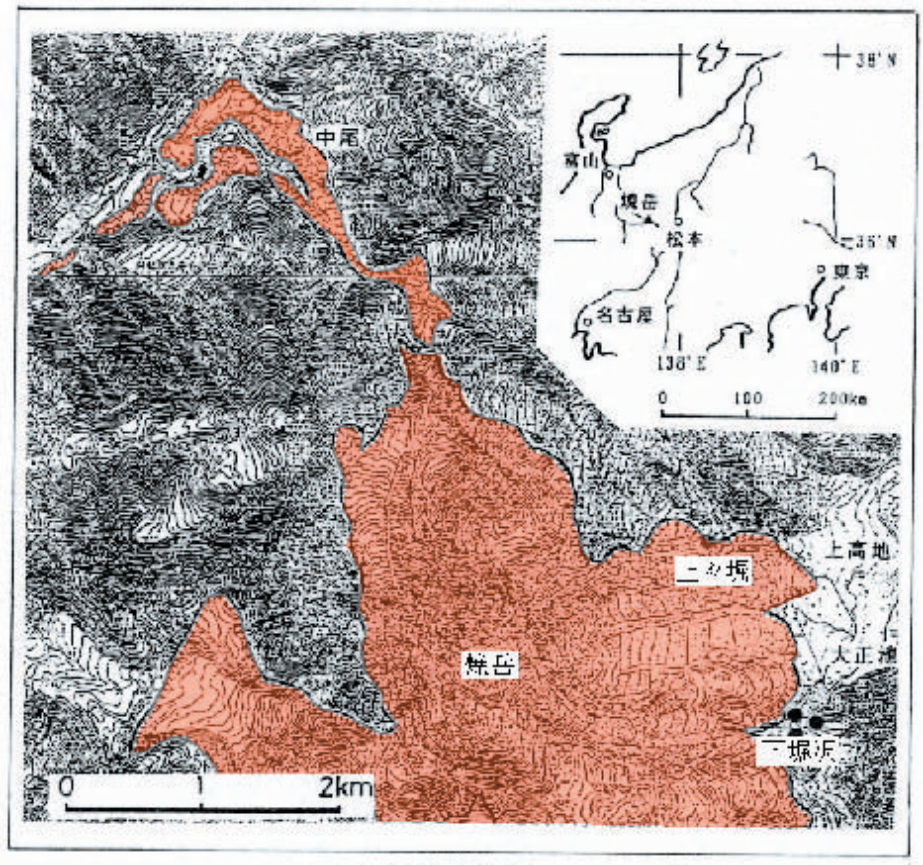


図 3. 1　焼岳中尾火砕流起源の火山噴出物の分布
Fig. 3. 1　Map around Mt. Yakedake and the distribution of the volcanic sediments originated from Nakao pyroclastic flow.



図 3.2　磁化調査試料の採集露頭 YK 1 地点の様子
Fig. 3.2　Photograph of the outcrop at sampling site YK1.

山堆積物を調査対象として，**図 4.1** に示す白水谷，割谷，中尾の各地域から火山堆積物中の角礫を採集した．各地点において，直径が数 cm から 10 数 cm の角礫を，現場での方位を記して 5 ～ 10 個を採集し，実験室で，それらを 24 mm 径× 20 mm 長の円柱状試料に整形して，研究に用いた．**図 3.2** には，角礫試料を採集した YK 1地点の露頭状況を示している．

試料の残留磁化の測定には，スピナー磁力計（夏原技研製 SMM - 85 型）とスクイッド磁力計（CCL GM122 型）を使用した．

4．焼岳中尾火砕流への手法の適用

4. 1　各地点の角礫が示す磁化方向

図 4.1 には，各地点から採集した複数個の角礫試料が示す自然残留磁化（NRM）の方向を，シュミット等積投影図に示している．試料の採集時に磁気コンパスを用いて方位を付けたため，残留磁化のデータには偏角補正が必要であるが，地形図を参照して焼岳周辺における偏角値 -6.8 度を用いて補正した．自然残留磁化は消磁実験を行う前の磁化であるので，図の結果には複数の磁化の合ベクトルとなっている場合も含まれている．

4. 2　白水谷と割谷地域の磁化方向

焼岳上流の白水谷流域（YK - 1 地点と MN - 6 地点）から採集した角礫の磁化は北向きで，伏角は 60 度前後と，現在の地磁気に近い方向に集中している．**図 4.2** に示す熱消磁実験では，消磁による磁化の方向変化は殆ど無く，残留磁化は単一成分であった．この結果は，白水谷流域の堆積物は，**図 2.2 B** の様に高温の火砕流として同地域に定置したことを示しており，これは同地域での地質調査（畚野，1990）とも矛盾がない．

下流の割谷流域における YK - 5 と YK - 7 地点の角礫の磁化（NRM）方向は，かなりばらついている（**図 4.1**）．また熱消磁実験でも，高温部と低温部の磁化方向がまとまる傾向は無く，割谷地域における中尾火砕流起源の堆積物は，**図2. 2C**の例の様に，常温に近い泥流の状態で運搬されて堆積したため，磁化方向がまとまらなかったと考えられる．

4. 3　中尾地域の角礫の磁化方向

中尾地域の YK 8 地点で採取した 5 個の角礫が示す磁化方向は，北に近いものの，白水谷地域の角礫の磁化方向の集中度に比べるとかなりばらついている（**図 4.1**）．

図 4.3 には，YK 8 地点で認められた直径 1 m 近い巨礫から採取した試料 YK 88 の，熱消磁の結果を示している．消磁により，約 400 ℃ を境として高温部と低温部の2 つの磁化成分が明確に分離された．またテリエ法実験では，高温部と低温部の磁化は共に熱起源であることがわかった．

畚野（1990）は，この巨礫の上側の堆積層に，水蒸気が吹き出した痕跡であるパイプ構造を見つけている（**図 4.4**）．このパイプ構造は，角礫が現在地に到着して定置した際に高温状態にあったこと，さらに周囲に水蒸気を含んだ堆積物が存在していたことを示している．磁化の調査で示された，角礫の定置時の温度が 400 ℃と高温であったことは，これが熱源となって周囲の堆積物中の水を蒸発させてパイプ構造を生じた一連の過程を説明すると考えられる．

巨礫試料で認めた高温部と低温部の 2 成分からなる熱残留磁化は，YK 8 地点における他の 5 個の角礫試料か

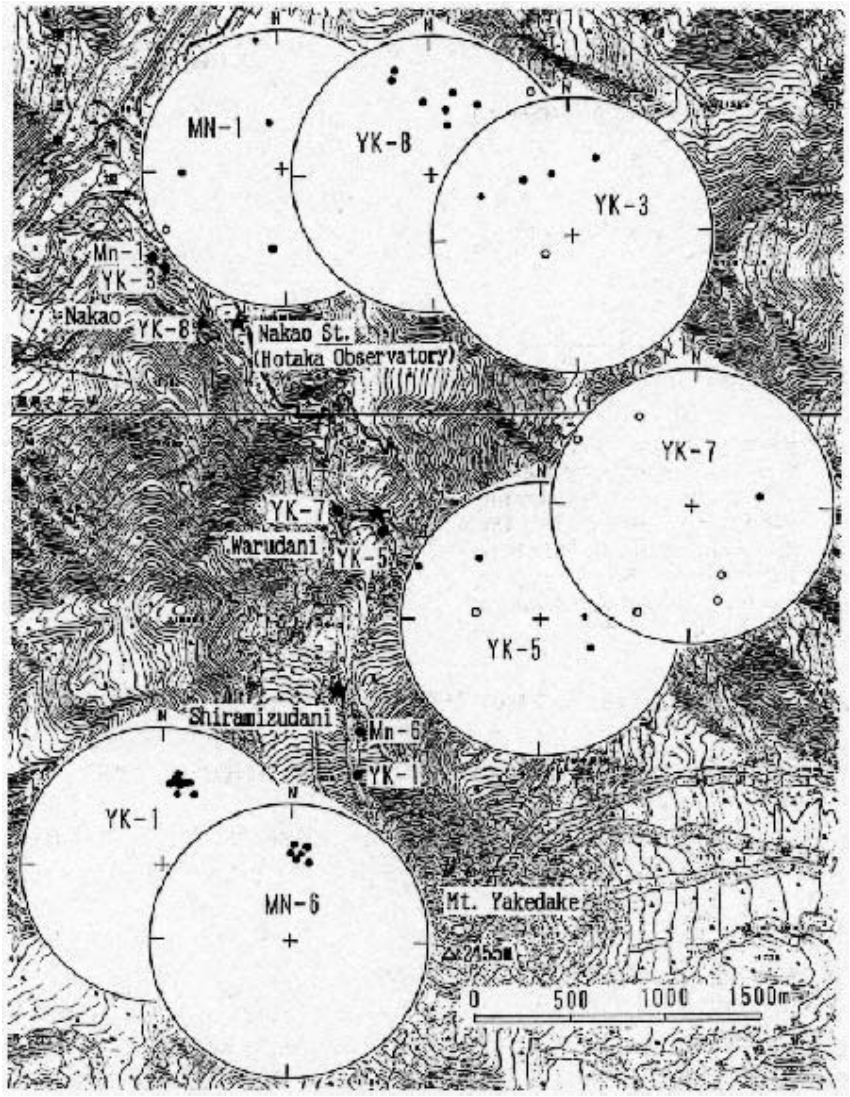


図4.1　焼岳の実験試料の採集地点および，NRM方向のシュミット投影図
Fig. 4.1　Sampling sites for the paleomagnetic study at Mt. Yakedake. The magnetization（NRM） of the samples for each site is shown in the Schmidt equal area net. The closed circle in the net indicates the magnetization of the normal inclination and the open circle shows the reversed inclination.

らも検出された．**図4.5**には，6個の角礫試料の磁化について，400℃を境とする低温部と高温部の磁化を分離して，それぞれをシュミットネットに投影している．6試料の低温成分の磁化方向は，白水谷上流のYK-1地点とほぼ一致する方向に集中している．しかし，高温部の磁化方向にはまとまる傾向は見られない．

これらの結果を解釈すると，YK8地点での堆積過程は以下のようになる．中尾火砕流は，上流地域で一旦堆積して400℃まで冷却する際に高温部の磁化を獲得した．その後，熱泥流となり，YK-8地点まで運ばれる過程で，高温部の磁化成分はばらばらな方向となった．そして，現在地に到達して常温まで冷却する間に，低温部の磁化が当時の地磁気方向に獲得された．中尾地域のMN-1とYK-3地点においても同様に，角礫試料から高温部と低温部の二成分の磁化が検出されており，YK8地点と同

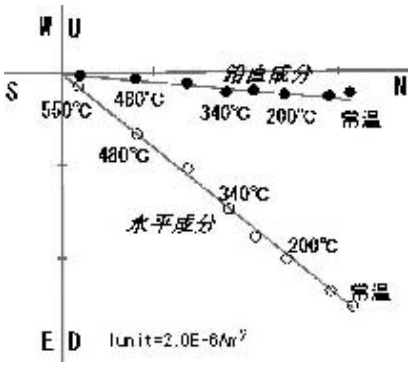


図4.2　YK-1地点における試料の段階熱消磁実験に伴う磁化方向の変化をザイダーベルト図で示した．
Fig. 4.2　Result of progressive thermal demagnetization experiment of the sample at YK-1 shown in the Zijderveld diagram.

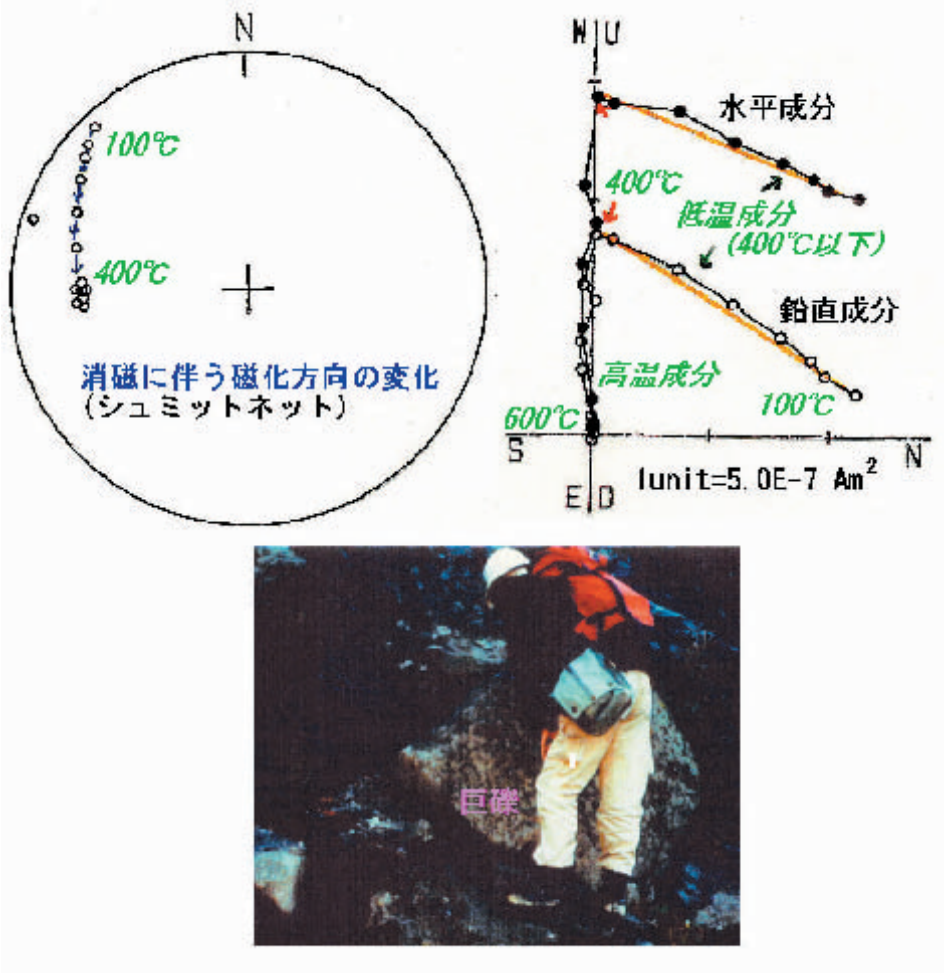


図 4.3　YK - 8 地点の巨礫試料 YK 88（下図）の熱消磁実験の結果．左は消磁に伴う磁化方向の変化をシュミットネットに示している．右のザイダーベルト図の数字は消磁の加熱温度を表す．

Fig. 4.3　Result of progressive thermal demagnetization experiment of the sample YK88 collected from large conglomerate（lower figure）. In the left, change of the magnetic direction is represented in Schmidt net projection. In the Zijderveld diagram（right）, numbers show the thermal demagnetization step in ˚C .

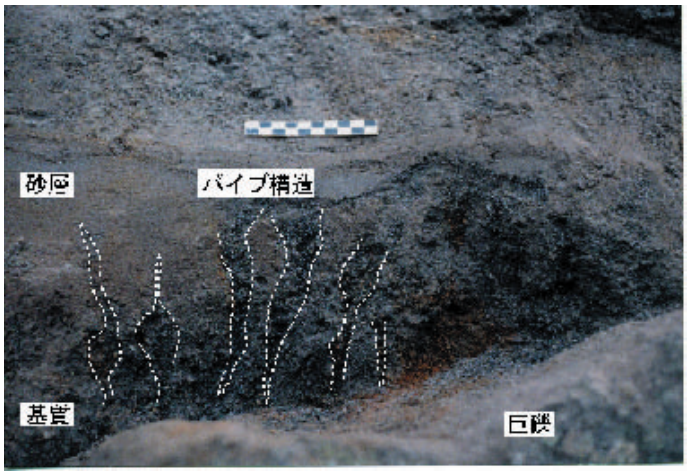


図 4.4　巨大な角礫試料 YK 88 の上部の堆積層中で認めたパイプ構造（奄野，1990）

Fig. 4.4　Pipe structure in the sediment above the large conglomerate from which the sample YK-88 is taken（Fugono, 1990）.

様な過程を経て熱泥流として堆積したと考えられる．**図4.5**の下には，2回の堆積過程を経たことによる磁化獲得の様子を，模式的に示している．

5．磁化を用いた中尾火砕流の分類と年代推定

以上の磁化測定の結果をまとめると，中尾火砕流は，上流の白水谷流域では火砕流として定置したが，下流の割谷流域では上流域で十分に冷えた後，泥流化した火山性堆積物が常温で堆積したと考えられる．さらに下流の中尾地域では，一旦上流域で定置した火砕流は冷却の途中に熱泥流になって，400℃程度の温度を持った状態で現在地に到達したと推察される．中尾地域の巨礫の上部堆積物にパイプ構造が認められたことも考え併せると，水が関与して熱泥流となっていると解釈でき，このことは，1500～2500年前に焼岳で発生した大規模な中尾火砕流は，積雪時期の噴火で生じた可能性も示唆される．

次に，火砕流が獲得している残留磁化の方向と強度が噴火当時の地磁気の化石となっていることを利用して，地磁気の永年変動との対比により火砕流発生の時代推定を試みた．

白水谷上流域の試料の磁化および，中尾地域の試料から分離した低温部の磁化方向を，地磁気の経年変化（Hirooka, 1971；広岡・酒井1984）と比較した．**図5.1**

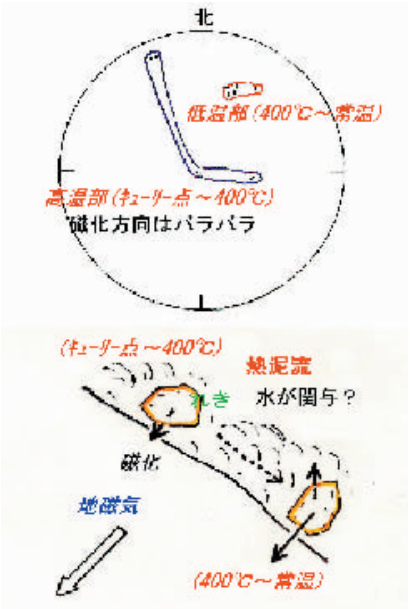


図4.5　YK-8地点の6個の角礫試料の熱消磁から分離された，各角礫の磁化を上にシュミットネットに示している．下には，熱泥流として到着した火山堆積物の堆積過程を表している．

Fig. 4.5　Schmidt net showing the two magnetization components separated by thermal demagnetization experiment, for the five conglomerate samples at YK-8 site. The magnetization components（＞400 ˚C）and the components（＜400 ˚C）are summarized, respectively. Lower figure is the schematic diagram showing the sedimentation process for the volcanic sediment as hot lahar.

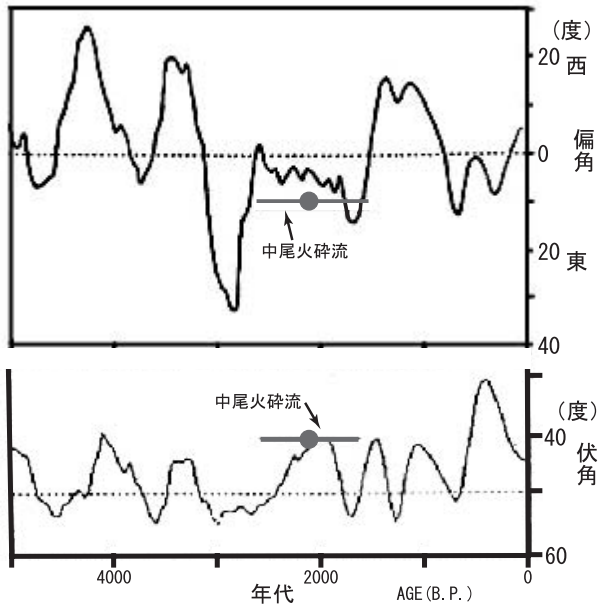


図5.1　中尾火砕流堆積物から求めた磁化の偏角と伏角を地磁気の経年変化（Hirooka, 1971；広岡・酒井, 1984）と比較している．

Fig. 5.1　Direction of remanent magnetization for the Nakao pyroclastic flow and the secular variation of the geomagnetic field (Hirooka, 1971；Hirooka and Sakai, 1984).

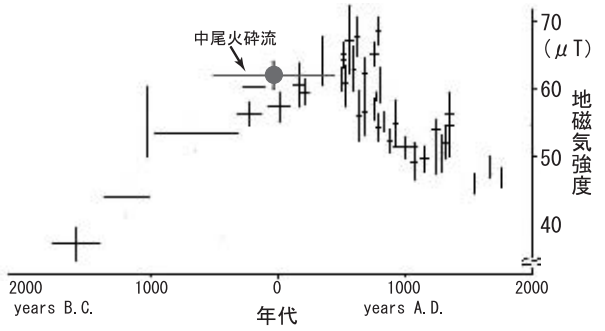


図5.2　中尾火砕流から得た磁場強度を過去の地磁気強度変化（Sakai & Hirooka, 1986）と比較している．

Fig. 5.2　Comparison of the geomagnetic field intensity obtained from Nakao pyroclastic flow and the secular change of geomagnetic field intensity by Sakai & Hirooka（1986）.

に示すように，中尾火砕流が獲得している磁化方向は，2500 ～ 1500 年前の地磁気の化石として矛盾はなく，同時期に獲得された磁化と見なすことができる．またＹＫ-１,ＹＫ-５,ＹＫ-７,ＹＫ-８地点の試料から，テリエ法実験により求めた地磁気強度は，現在の 1.3 ～ 1.6 倍の値となった．地磁気強度の経年変化（Sakai & Hirooka, 1986）と比較すると，2500 ～ 1500 年前の値として妥当である（**図 5.2**）．

つまり，火山堆積物に記憶された古地磁気記録は，従来報告されていた中尾火砕流の ^{14}C 年代（藤井ほか, 1974；原山, 1990）を支持する．地磁気の経年変動と角礫の磁化を対比して年代を探る地磁気年代測定法は，木片を使う ^{14}C 年代測定法に比べて，火砕流の直接的な年代法である利点がある．遺跡焼土を用いる研究においては，誤差は ± 25 年程度での年代測定が可能となっており，精度を上げることで今後さらに利用できると考える．

6．まとめ

火山堆積物の研究において重要な堆積時の温度を見積る手段として，残留磁化を利用する推定方法を開発した．同手法により，火山堆積物が現在地に到達した時の定置温度が求められ，その結果に基づいて火山堆積物の分類が可能となる．焼岳の中尾火砕流起源の堆積物について，岐阜県側の火山堆積物を採集して，上述の手法により調査した結果，中尾火砕流は，白水谷流域では火砕流として定置しており，下流の割谷流域では泥流，中尾地域には熱泥流として到達し定置したことが判明した．中尾地域の熱泥流堆積物では，残留磁化の実験および，露頭の巨礫試料周辺におけるパイプ構造の存在から，火砕流に水が関与して熱泥流として流下・堆積したことが考えられた．この結果は，中尾火砕流の噴火時期が積雪期であった可能性も示唆する．

本研究により，火山噴火に伴う被熱や被災温度の検討に，火山堆積物の磁化を利用する調査は十分に貢献できることが示され，また，定置温度の情報は火山堆積物の分類にも役立つことが判明した．

今後，火山堆積物の残留磁化を用いる研究手法の活用により，火山地域における砂防調査や噴火時のハザードマップ作成において，噴出物の量や流下の範囲に加えて，新たな情報として被熱温度の検討が可能になると考える．

謝辞

磁化測定において，平井徹氏にご助力頂いた．

参考文献

1）芦田和男・沢田豊明（1989）：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, No.**32** B-2,471-486.
2）畚野匡（1990）：焼岳，中尾火砕流の成因とパイプ構造．日本火山学会講演予稿集, 104.
3）藤井昭二・澤田豊明・武沢正（1974）：焼岳火山の中尾火砕流堆積物とそれらの放射性 炭素年代． 第四紀研究, 13, 1-5.
4）原山智（1990）：上高地地域の地質．地域地質研究報告 （５万分の1地質図幅），地質調査所，175ｐ.
5）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.
6）広岡公夫・酒井英男（1984）：先史時代の地磁気永年変化．「古文化財の自然科学的研究」， 古文化財編集委員会編，同朋社出版，812-816.
7）Sakai, H. and Hirooka, K.（1986）: Archaeointensity Determinations from Western Japan. J. Geomag. Geoelectr., 38, 1323-1329.
8）Sakai, H.（1987）: Paleomagnetic study of the Middle Paleolithic hearth at Douara cave. Univ. Mus., Univ. Tokyo, Bull., 29, 123-131.
9）酒井英男・平井徹・沢田豊明・中山武・和田博夫・三雲健（1991）：焼岳における電磁気観測．京都大学防災研究所年報，No.**34** B-1, 343-354.
10）和田博夫・三雲健・小泉誠（1990）：飛騨地方北部及び富山湾・能登半島周辺の最近の地震活動，京大防災研究所年報，No.**33** B-1，57-74.
11）Zijderveld, J.D.A.（1967）: A.C. Demagnetization of rocks: analysis of result, in Method in Palaeomagnetism edited by D.W. Collinson, K.M. Creer and S.K.Runcorn,254-286,Elsevier,Amsterdam.

（原稿受理：2003 年 10 月 20 日）

要　旨

火山堆積物の堆積時の温度を見積る手段として，残留磁化を利用する推定法を開発し，定置温度から火山堆積物を分類する調査を，焼岳の中尾火砕流起源の堆積物で実施した．岐阜県側の火山堆積物に手法を適用した結果，中尾火砕流は白水谷流域では火砕流，下流の割谷流域では泥流，中尾地域は熱泥流として定置したことが判明した．中尾地域の熱泥流堆積物では，実験結果と露頭状況から，火砕流に水が関与して熱泥流になった痕跡があり，噴火は積雪期であったことも示唆された．また，残留磁化と地磁気変動との対比から，中尾火砕流の噴出時代を推定した結果は，従来得られている同火砕流の^{14}C年代（2500～1500年前）と矛盾は無かった．火山堆積物の磁化を冷却時の化石として火山噴火の年代も検討できることも示された．

被熱および被災温度の導入に，磁化の調査は大きく貢献でき，火山堆積物の分類にも役立つ．本研究で示した磁化を利用する手法により，火山地域の砂防ハザードマップ作成において温度パラメータを加えることが可能になると考える．

キーワード：残留磁化，火山噴火，定置温度，焼岳火山，火砕流