

Paleomagnetic Estimate of the Emplacement
Temperature of the Aso-4 Distal Ash-flow
Deposits Distributed in Yamaguchi
Prefecture, Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-01-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤井, 純子, 中島, 正志 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/1839

山口県に分布する阿蘇4火砕流堆積物の定置温度の推定

Paleomagnetic Estimate of the Emplacement Temperature of
the Aso-4 Distal Ash-flow Deposits Distributed in Yamaguchi Prefecture, Japan

藤井 純子*

中島 正志*

(福井大学教育地域科学部地学教室)

1. はじめに

筆者らは、阿蘇4テフラ、始良Tnテフラや鬼界アカホヤテフラ等の第四紀後期に噴出した広域テフラについての古地磁気研究を続けている(Fujii *et al.*, 2001; 中島・藤井, 1995; 中島ほか, 2004)。測定した試料は主に降下火山灰であるが、その他に火砕流堆積物の溶結凝灰岩と遠方堆積相の火山灰についても測定している。一般的には溶結凝灰岩が持つ磁化は熱残留磁化(TRM)であり、火山灰は堆積残留磁化(DRM)である。しかし、山口県に分布する火山灰(火砕流堆積物の遠方堆積相)は、DRMを持つ他の降下火山灰より磁化強度が強いため、TRMを持っているのではないかと考えられた(Fujii *et al.*, 2002)。TRMを持っているならば、段階熱消磁実験によりこの火砕流が堆積地点に到達した時の温度(定置温度)を推定できる可能性があると考え、本研究に着手した。

火山災害の調査において、火砕流の定置温度は、噴火の周期性、噴出物の規模等と共に最も大事な要素であるが、地質時代の火砕流の定置温度の推定には有効な手段が少ないため、あまり考慮されていない。火砕流堆積物の定置温度推定でよく知られている方法は、段階熱消磁実験による古地磁気的手法であり、McClelland and Druitt(1989)、Zlotnicki *et al.*(1984)、酒井ほか(2004)などによる報告がある。それらはいずれも測定試料として岩石礫を使用しており、未固結試料についての試みは今回が初めてである。

2. 阿蘇4火砕流堆積物(宇部火山灰層)

阿蘇火山の活動は約27万年前に始まり、約9万年前までの間に4回の大噴火があり、現在の阿蘇カルデラが形成された(松本ほか, 1991)。小野ほか(1977)は、大規模な火砕流の流出を含むこれらの噴火サイクルをAso-1, Aso-2, Aso-3, Aso-4と呼んだ。Aso-4の規模が最も大きく、この時火砕流と同時に噴出した降下火山灰は、九州から北海道までの広範囲に堆積している(町田・新井, 1992)。

Aso-4サイクルの阿蘇4火砕流堆積物については、カルデラ東側の竹田地域では阿蘇-4Aと阿蘇-4Bの2つのサブユニット(小野ほか, 1977)に、別府地域、佐伯地域、犬飼地域および三重町地域では阿蘇-4Aと阿蘇-4Tの2つのサブユニット(星住ほか, 1988; 寺岡ほか, 1990, 1992; 酒井ほか, 1993)に、カルデラ北側の宮原地域では阿蘇-4A, 阿蘇-4Tおよび阿蘇-4Bの3つのサブユニット(鎌田, 1997)に分けられている。また、カルデラ西側においては8つのサブユニットに区分され、その中でも特に大規模な火砕流が八女軽石流および鳥栖オレンジ軽石流である(Watanabe, 1978)。カルデラ東側と北側の阿蘇-4Tは、この鳥栖オレンジ軽石流の堆積物に相当するとされている(鎌田, 1997)。阿蘇4火砕流の溶結凝灰岩からは 89 ± 7 kaのK-Ar年代が得られている(松本ほか, 1991)。

キーワード：阿蘇4火砕流堆積物, 定置温度, 宇部火山灰層, 山口県, 段階熱消磁実験

*Junko Fujii and Tadashi Nakajima

(Geological Laboratory, Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui, Fukui, 910-8507)

阿蘇4火砕流は、海を渡り、山口県の日本海側にまで到達している。この阿蘇4火砕流の遠方堆積相は宇部火山灰層と呼ばれており、宇部から小郡地域に広く分布する（日本の地質『中国地方』編集委員会，1987）。宇部火山灰層は、下部と上部に分けられ、下部（PYL）は灰白色～黄白色の粘土化した火山灰、上部（PYU）はおがくず状を呈する黄褐色～赤褐色のガラス質火山灰である。PYLとPYUは、それぞれ北九州の八女粘土および鳥栖ロームに相当し（河野・堂面，1971）、阿蘇カルデラ西側の八女軽石流および鳥栖オレンジ軽石流に相当する。この宇部火山灰層は山口市や旧美祢郡、さらには分水嶺を越えて日本海側の阿武郡にもその分布が確認されており（松尾，1981）、阿蘇カルデラからは120～150kmの距離にある。

宇部火山灰層からの試料は、段階交流消磁によって安定な磁化方位が得られており、その磁化方位は層序学的対比を裏付けていた（藤井ほか，2000）。また、等温残留磁化（IRM）獲得実験と三成分IRMの段階熱消磁実験から、宇部火山灰層中に含まれる主要な磁性鉱物は、阿蘇4テフラ（町田・新井，1992）の広域型降下火山灰中の磁性鉱物と同様にマグネタイトやチタノマグネタイトであることが確かめられた（藤井・中島，2002）。

阿蘇4テフラの中で、宇部火山灰層の磁化強度は、溶結凝灰岩と降下火山灰の磁化強度の中間の値を示す（図1；Fujii *et al.*，2002）。DRMを持つ降下火山灰の値よりもほぼ一桁磁化強度が大きいことから、宇部火山灰層は、火砕流が停止した時にはまだ高温であり、TRMを獲得している可能性がある。また、火砕流が高温だったと考えられるもう一つの証拠は、引き伸ばされた軽石（パミス）を含むことである。山口県の試料採取地点の中で最も給源に近いPY4の露頭では、上部層の中に引き伸ばされたパミスが多数含まれていた。このパミスが、いつ引き伸ばされたのか、つまり火砕流が流れ

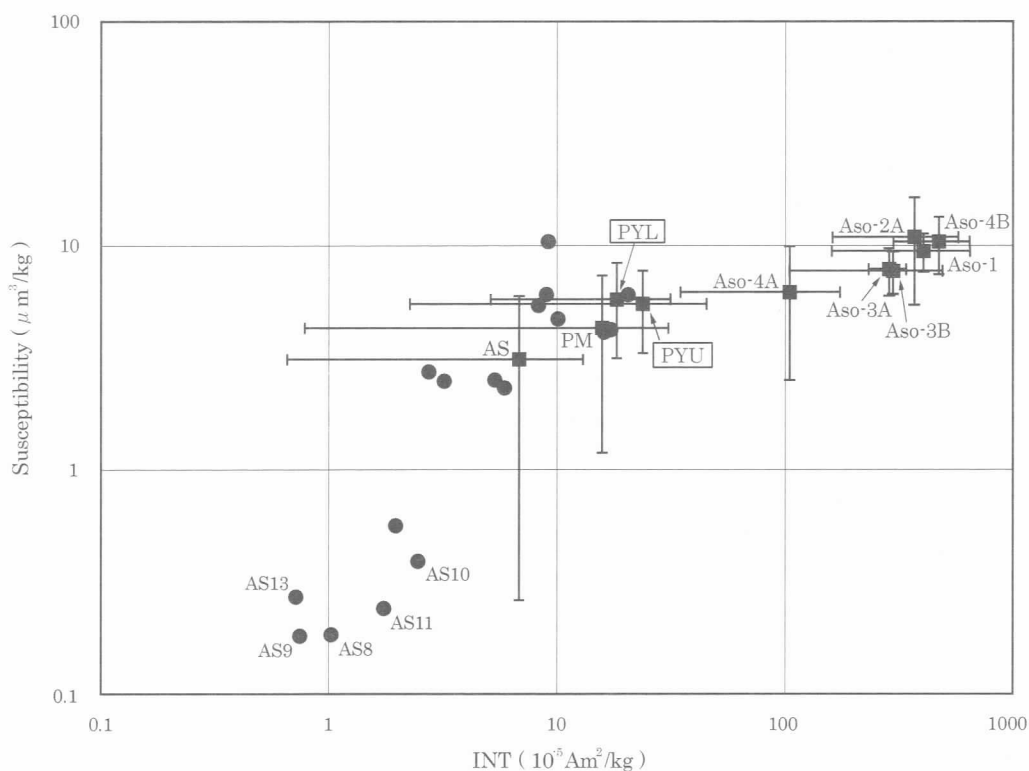


図1 阿蘇4テフラの帯磁率と磁化強度

縦軸は帯磁率、横軸は磁化強度。■は溶結凝灰岩の各ユニット（Aso-1, Aso-2A, Aso-3A, Aso-3B, Aso-4A, Aso-4B）の平均値、宇部火山灰層（PYL, PYU）の平均値、宮崎県の火砕流堆積物（PM）の平均値、広域型降下火山灰（AS）の平均値を示す。●は広域型降下火山灰の各サイトの平均値を示す。（Fujii *et al.* (2002) の Fig. 12 を一部修正。）

ている途中か堆積後かはわからないが、火砕流がこの地点に到達し堆積した時には高温であった可能性が高いと考えられる。このような理由から、宇部火山灰層が現在地に到達した時にはまだ高温であり、TRM を獲得したと推定した。

3. 阿蘇4火砕流堆積物の熱消磁実験

3.1 測定試料および試料採取地点

従来、未固結の火山灰は、脆く崩れやすいため、プラスチックキューブを押し込む方法で試料を採取してきた(中島・藤井, 1955)。このプラスチックキューブの融点は約160℃で、通常の段階熱消磁実験には使えないため、未固結の試料の熱消磁実験は今まで行っていなかった。今回は熱消磁実験を実施するため、夏原技研に石英製のサンプル管の製作を依頼した。そのサンプル管を用いて、段階熱消磁のための定方位試料を藤井ほか(2000)およびFujii *et al.* (2001)と同じ地点において新たに採取した。地点番号は、Fujii *et al.* (2001)の試料採取地点番号をそのまま使用した。

試料採取地点を図2および表1に示す。二重丸の5地点で下部層と上部層を、黒丸の1地点で下部層を、そして白丸の1地点で上部層を採取した。給源から一番遠いPY1は、分水嶺を越えた日本海側に位置する。

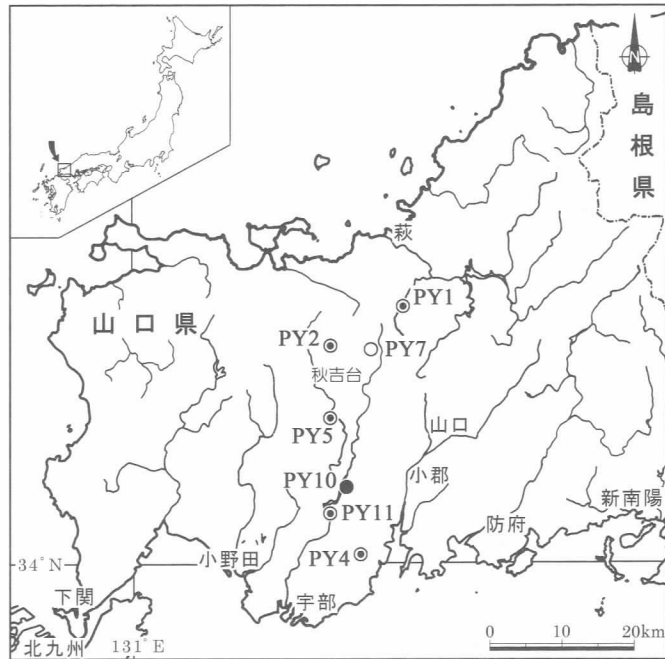


図2 試料採取地点

地点番号は表1と同じ。二重丸は宇部火山灰層の下部層と上部層の両方、黒丸は下部層のみ、白丸は上部層のみを採取した地点。

表1 試料採取地点

地点番号、地点名、試料採取地点の緯度・経度は、Fujii *et al.* (2001)と同じ。試料採取地点は、2001年における旧市町村名で表している。

地点番号	地点名	採取層準	試料採取地点(緯度, 経度)
PY1	角力場 (すもうば)	上部層, 下部層	山口県阿武郡旭村角力場 (131°23' 54.1" E, 34°19' 15.8" N)
PY2	芝尾 (しばお)	上部層, 下部層	山口県美祢郡秋芳町芝尾 (131°17' 41.9" E, 34°16' 26.9" N)
PY4	岡 (おか)	上部層, 下部層	山口県吉敷郡阿知須町岡 (131°20' 38.0" E, 34°00' 43.8" N)
PY5	岩永市 (いわながいち)	上部層, 下部層	山口県美祢郡秋芳町岩永下郷岩永市 (131°17' 44.0" E, 34°10' 54.5" N)
PY7	松原 (まつばら)	上部層	山口県美祢郡美東町赤松原 (131°21' 12.1" E, 34°16' 07.1" N)
PY10	花香 (はなが)	下部層	山口県宇部市花香 (131°19' 02.1" E, 34°05' 51.2" N)
PY11	荒瀬 (あらせ)	上部層, 下部層	山口県宇部市二俣瀬荒瀬 (131°17' 46.6" E, 34°03' 33.5" N)

3. 2 段階熱消磁実験

熱消磁は、DEM-8602 型温度コントローラーを持つ夏原技研製の熱消磁装置 (TMS-92S) を用いて行った。この装置は 3 層の円筒 μ -メタルによって、外部磁場は 10nT 以下に遮断されている。

最初は試行錯誤を繰り返したが、最終的には各地点から 3~6 個の試料について、50°C, 100°C, その後 25°C おきに 600°C までの 22 段階で熱消磁を行い、そのつど古地磁気方位の測定を行った。

3. 3 定置温度の推定方法

定置温度をどのようにして推定するのかについて以下に簡単に説明する。

例えば、ある試料の測定結果から図 3 の上図のような磁化方位の変化が見られたとする。A は段階熱消磁による磁化方位の変化をシュミット・ネットにプロットしたものである。この試料は、600°C までの熱消磁でも磁化方位がほとんど変わらず、安定な磁化をもっている。B はこれをベクトル図に表したものである。黒丸は水平面に投影した成分を、白丸は鉛直面に投影した成分を表している。この例では、消磁の度に磁化強度は弱くなるが、方位は変わらないので、それぞれの測定値は原点に向かう直線にのっている。このような結果が出た場合、この試料の定置温度は 600°C 以上であると考えられる。マグネタイトの最高ブロッキング温度が約 580°C なので、定置温度の上限は不明である。

次に、下図のような磁化方位の変化が見られたとする。この試料の場合、350°C までの段階熱消磁では磁化方位が変化しないが、350°C を越えて熱消磁を行うと、磁化方位が少しずつ変化して、高温では安定な磁化方位を得ることができない。350°C までの熱消磁後の値は原点に向かう直線にのっているが、350°C を越えて熱消磁を行うと、この直線からずれてしまう。このような結果が出た場合、この試料の定置温度は 350°C であると考えられる。つまり未固結火砕流 (火山灰) の流れが停止し、その位置で堆積し粒子が落ち着いた時の温度が 350°C だったと考えられる。350°C よりもブロッキング温度の低い磁性鉱物は、この停止した位置で TRM を獲得する。

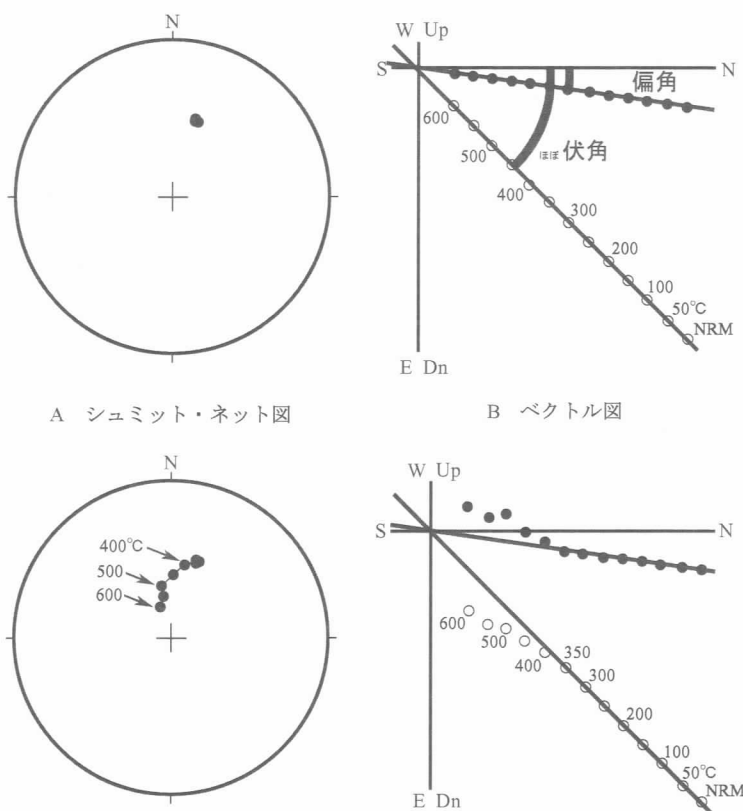


図 3 熱消磁結果の例 (仮想)

A はシュミット・ネット図、B はベクトル図を表す。ベクトル図の黒丸は水平面へ投影した成分、白丸は鉛直面へ投影した成分を示す。原点に固定した直線近似により偏角と伏角を求める。

3. 4 熱消磁実験結果と定置温度の推定

各地点における段階熱消磁結果の代表例をベクトル図に示す(図4~8)。試料によって若干の差はあるものの、同地点からの試料についてはほぼ同じ結果が得られた。

(1) 上部層

試料採取地点の中で阿蘇カルデラに最も近いPY4の試料(DA2)では、300~550℃の安定な成分が認められた(図4)。約300℃までの成分は粘性残留磁化(VRM)であると考えられる。3試料について同様の結果が得られ、定置温度は550℃と考えられる。少し内陸部に入ったPY11の試料(ET11)では、50~250℃の低温成分と、275~450℃の高温成分の2成分が認められた(図5)。VRMはごくわずかに見られた。6試料について同様の結果が得られ、定置温度は400~475℃と考えられる。給源からの距離が最も遠いPY1の試料(B202)では、175~250℃の低温成分と、275~500℃の高温成分の2成分が認められた(図6)。しかし、三成分IRMの熱消磁実験より、ピロタイトやゲーサイト等の二次的な磁性鉱物を含むことがわかっているため(藤井・中島, 2002)、化学残留磁化の可能性を考える必要がある。

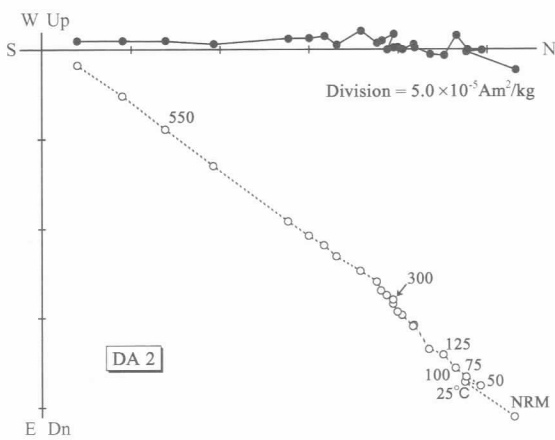


図4 PY4の熱消磁ベクトル図

黒丸は水平面への投影、白丸は鉛直面への投影。DA2は試料番号。25℃おきに600℃までの24段階で熱消磁を行った。

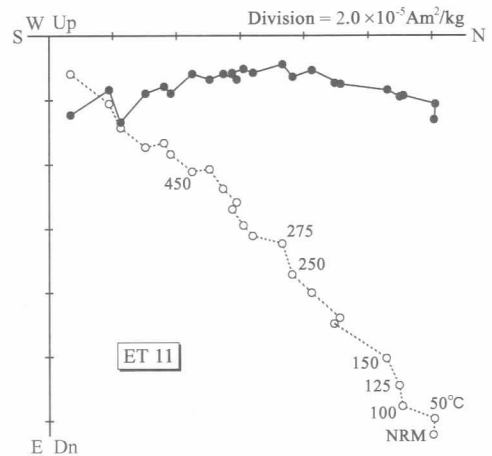


図5 PY11の熱消磁ベクトル図

黒丸は水平面への投影、白丸は鉛直面への投影。ET11は試料番号。50℃, 100℃, その後25℃おきに600℃までの22段階で熱消磁を行った。

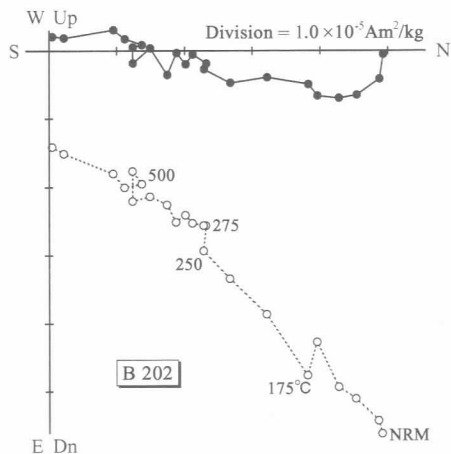


図6 PY1の熱消磁ベクトル図

黒丸は水平面への投影、白丸は鉛直面への投影。B202は試料番号。50℃, 100℃, その後25℃おきに600℃までの22段階で熱消磁を行った。

上部層では、安定な1成分または2成分が認められ、この安定成分が得られた温度を火砕流堆積物の定置温度と推定した。2成分が見られるのは、おそらく火山灰が堆積後に降雨や地下水などの影響を受けて締まったときに粒子が回転したためと考えられる。

また、宇部火山灰層の残留磁化が熱残留磁化であることを確認するために、富山大学理工学研究院生の小林智紀氏に、テリエ法による古地磁気強度の測定を依頼した。PY4とPY11の試料については古地磁気強度が求められ、熱残留磁化を持つことを支持する結果が得られた。しかし、阿蘇カルデラから最も遠いPY1の試料については、まだ検討の必要がある結果となった(小林, 2004)。

(2) 下部層

PY4の試料(DA6)では325~520℃の安定な成分が認められた(図7)。250℃までの低温成分はVRMであると考えられる。4試料について同様の結果が得られ、定置温度は475~540℃と考えられる。やや内陸部に入ったPY10の試料(ET22)では、100~300℃の安定な成分が認められた(図8)。100℃までの低温成分はVRMであると考えられる。5試料について同様の結果が得られ、定置温度は300℃と考えられる。

下部層では、6地点のうち3地点において高温部で残留磁化が不安定になり、定置温度を推定できなかった。これは上部層に比べて、磁化強度が弱いことも原因の一つだと考えられる。また、PY10についてはテリエ法による古地磁気強度が求められたが、現在の地球磁場強度よりもかなり弱いため、熱残留磁化起源であるとは言い切れない(小林, 2004)。カルデラからの距離が最も近いPY4では高温であったと考えられるが、その他の地点において下部層は定置温度が低かった可能性が考えられる。

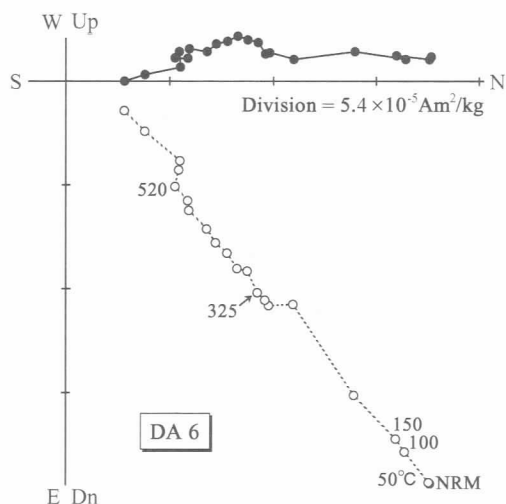


図7 PY4の熱消磁ベクトル図

黒丸は水平面への投影、白丸は鉛直面への投影。DA6は試料番号。250℃までは50℃おきに、250℃以降400℃までは25℃おきに、400℃以降は20℃おきに、600℃までの21段階で熱消磁を行った。

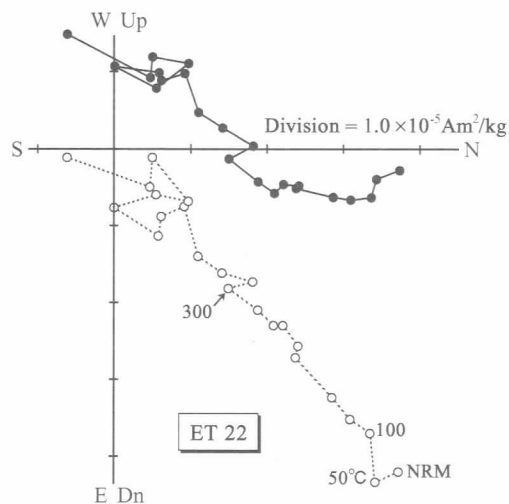


図8 PY10の熱消磁ベクトル図

黒丸は水平面への投影、白丸は鉛直面への投影。ET22は試料番号。50℃, 100℃, その後25℃おきに600℃までの22段階で熱消磁を行った。

4. まとめと今後の課題

- (1) 山口県に分布する阿蘇4火砕流堆積物の段階熱消磁実験から、火砕流が到達し堆積したときの温度、すなわち定置温度は、上部層では400~550℃であったと推定できる。
- (2) 下部層の定置温度は給源に最も近い地点では475~540℃と推定できるが、他の地点では300℃前後で、上部層に比べて定置温度が低かったと考えられる。

定置温度と給源からの距離の関係を明らかにするには、一つの地点において、地表面からの深さや水平方向の温度の変化などを考えた試料採取が必要になってくる。そこで、2地点において、下部層と上部層の境界からの深さを変えて試料を採取し、段階熱消磁実験を行った。詳しいデータ整理が終わっていないため大まかなことしか言えないが、PY5では下部層と上部層の境界より2m上位の上部層の試料でも、かなり高い温度(500℃前後)の定置温度が得られている。しかし、上部層が3m以上あるPY4では、境界より3m上位の試料は磁化強度が弱く、600℃までの熱消磁はできなかった。厚く堆積した火砕流の上位の部分は、熱残留磁化を持つ前に冷えてしまったのかもしれない。堆積当時の上部層の地表面がわからないため単純には言えないが、今後さらに詳しい検討を行っていきたい。

文献

- Fujii, J., Nakajima, T., and Kamata, H., 2001, Paleomagnetic directions of the Aso pyroclastic-flow and the Aso-4 co-ignimbrite ash-fall deposits in Japan. *Earth, Planets and Space*, 53, pp.1137-1150.
- Fujii, J., Nakajima, T., and Hirooka, K., 2002, The geomagnetic field's configuration over the Japanese Islands at the time when the Aso-4 tephra was deposit. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, no.1, pp.63-91.
- 藤井純子・中島正志, 2002, 第四紀火山灰についての段階的IRM獲得実験と三成分IRMの熱消磁実験. 福井大学教育地域科学部紀要, II, no.54, pp.47-55.
- 藤井純子・中島正志・松尾征二, 2000, 山口県に分布する阿蘇4テフラの古地磁気方位. 第四紀研究, 39, pp.227-232.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988, 別府地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 131p, 地質調査所.
- 鎌田浩毅, 1997, 宮原地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 127p, 地質調査所.
- 小林智紀, 2004, 考古遺跡や火山噴出物の熱磁気特性. 富山大学理工学研究科, 修士論文, 52p.
- 河野通弘・堂面春雄, 1971, 中国西部の洪積世後期の火山灰層. 第四紀, no.16, pp.53-54.
- 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 276p, 東京大学出版会.
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳, 1991, 阿蘇火山岩類のK-Ar年代測定—火山層序との整合性と火砕流試料への適応—. 日本火山学会1991年秋季大会講演要旨集, pp.73.
- 松尾征二, 1981, 阿武郡旭村及び阿東町の洪積世火山灰層. 山口県の自然, 5, pp.12-18.
- McClelland, E.A. and Druitt, T.H., 1989, Paleomagnetic estimates of emplacement temperatures of pyroclastic deposits on Santorini Greece. *Bull. Volcanol.*, 51, pp.16-27.
- 中島正志・藤井純子, 1995, 始良Tnテフラの古地磁気方位. 第四紀研究, 37, pp.297-307.
- 中島正志・藤井純子, 1998, 阿蘇4火山灰および阿蘇火砕流堆積物の古地磁気方位. 第四紀研究, 37, pp.371-383.
- 中島正志・藤井純子・山本博文・土田浩司, 2004, 鬼界アカホヤテフラと福井県勝山市の池ヶ原堆積物の古地磁気研究. 福井大学教育地域科学部紀要, II, no.56, pp.1-15.
- 日本の地質『中国地方』編集委員会, 1987, 日本の地質7 中国地方. 290p, 共立出版.
- 小野晃司・松本徂夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和, 1977, 竹田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 145p, 地質調査所.
- 酒井 彰・寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・坂巻幸雄, 1993, 三重町地域の地質. 地域地質研究報告(5

- 万分の1地質図幅), 115p, 地質調査所.
- 酒井英男・澤田豊昭・畚野 匡・井口 隆, 2004, 磁化特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報告, no.65, pp.163-172.
- 寺岡易司・奥村公男・村田明広・星住英夫, 1990, 佐伯地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 78p, 地質調査所.
- 寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・吉岡敏和・酒井 彰・小野晃司, 1992, 犬飼地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 129p, 地質調査所.
- Watanabe, K., 1978, Studies on the Aso pyroclastic flow deposits in the region to the west of Aso caldera, southwest Japan, I: *Geology. Mem. Fac. Educ. Kumamoto Univ.*, no.27, pp.97-120.
- Zlotnicki, J., Pozzi, J.P., Boudon, G., and Moreau, M.G., 1984, A new method for the determination of the setting temperature of pyroclastic deposits (example of Guadeloupe: French West Indies). *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **21**, pp.297-312.