

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

Paleomagnetic study of the Kikai-Akahoya tephra and the Ikegahara sediment of the Katsuyama Area, Fukui Prefecture

中島正志・藤井純子・山本博文・土田浩司
福井大学教育地域科学部地学教室

Tadashi Nakajima, Junko Fujii, Hirofumi Yamamoto, and Koji Tsuchida
Geological Laboratory, Faculty of Education and Regional Studies,
Fukui University, Fukui 910-8507, Japan

Abstract

Paleomagnetic measurements were made on the Kikai-Akahoya tephra (K-Ah) and the Ikegahara sediment (IK) of the Katsuyama Area, Fukui Prefecture. The stable component of remanent magnetization was isolated from the samples at 5 sites of K-Ah and at 12 horizons of IK through stepwise alternating field demagnetization up to 30 mT.

The site-mean directions of K-Ah are almost identical with one another. Magnetic minerals in the K-Ah samples are chiefly titanomagnetite or magnetite, which are considered to be not secondary minerals, based on experimental results of stepwise IRM acquisition and thermal demagnetization of a three-component IRM. These facts indicate that their magnetic directions were acquired under the geomagnetic field at the eruption time of K-Ah.

Horizon-mean magnetic directions from IK continuously change against depth with amplitude of about 15°. The change likely originated from ancient geomagnetic secular variation.

The paleomagnetic direction of the uppermost horizon of IK, which contains volcanic glass shards derived from K-Ah, is consistent with the directions obtained from K-Ah. This suggests that the formation of the horizon was nearly simultaneous with the eruption of K-Ah.

1. はじめに

先史時代の日本列島における地磁気分布を明らかにすることを目的として、著者の中島と藤井は始良 Tn テフラ (AT) や阿蘇 4 テフラ (Aso 4) などの第四紀広域テフラについての古地磁気研究をこの10年間続けている。約 2.6~2.9 万年前に噴出した AT と約 8.5~9 万年前に噴出した Aso 4 (町田・新井, 2003) の古地磁気研究で、それぞれのテフラ噴出時の日本列島における

地磁気分布を明らかにした(中島・藤井, 1995, 1998; 藤井ほか, 2000; Fujii *et al.*, 2001; Fujii *et al.*, 2002)。これら2つのテフラ噴出時の日本列島の地磁気伏角の分布は現在の地磁気伏角の分布(44~60°)と大差はないが, AT 噴出時の偏角は現在の地磁気(6~10°W)より約15°東偏(8~10°E)し, Aso 4 噴出時はやや西偏(1~3°W)しているという特徴がみられた。そして, これらのテフラ噴出時の日本列島内の地磁気分布は地心双極子磁場であると解釈できた。

藤井・中島(1998)は, その他の第四紀広域テフラである鬼界アカホヤテフラ(K Ah)と大山倉吉テフラについても古地磁気測定結果を報告し, 個々のテフラに特徴的な磁化方位が認められ, テフラの残留磁化がテフラ噴出時の地磁気を忠実に記録していることを明らかにした。しかし, 地磁気分布について議論するにはまだデータ数が不足しているため, 現在もこれらのテフラの古地磁気測定を継続して実施している。

今回, 宮崎県の2地点において新たにK Ahから試料を採取し, 古地磁気方位を求めた。また最近, 福井県六呂師高原の北西端に位置する勝山市池ヶ原の堆積物中にK Ah起源の火山ガラスが濃集していることが報告された(土田, 2004 MS)。その堆積物についても古地磁気測定を実施し, 興味ある結果が得られたので報告する。

2. 測定試料

古地磁気測定用試料の採取地点を図1および表1に示す。試料は, 1辺2cmのプラスチックキューブを地層に打ち込む方法(広岡, 1988; 中島・藤井, 1995)で採取した。キューブの底面には空気抜き径1mmの穴が開けられている。試料採取のための道具は, プラスチックキューブを挿入するためのシリンダー, プラスチックキューブを地層に打ち込むためのピストン, シリンダーを固定するための板, 試料の露頭での方位を測る磁気コンパスである。

2.1. 鬼界アカホヤテフラ(K Ah)

K Ahは, 南九州の鬼界カルデラから約7300年前に噴出した降下軽石, 火砕流堆積物とその降下火山灰からなり, 九州・四国地方から東北日本までを広く覆っている(町田・新井, 2003)。完新世とくに縄文時代の広域指標層として, また西南日本の縄文文化に大打撃を与えたテフラとして知られている。¹⁴C年代からみた噴出年代は6300 yBP(町田・新井, 1983)であるが, 福沢(1995)は三方五湖の水月湖の湖底堆積物の年縞を数えた結果, K Ahの噴出年代を7280 cal.yBPとした。

K Ahの古地磁気測定用試料は, KA1~KA5の5地点で採取した。KA1, KA2, KA3の3地点の試料は, 熊本県で採取したガラス質火山灰で, 藤井・中島(1998)から再掲したものである。K Ahは約20cmの層厚で黒ボク土中に挟まれていた。KA4とKA5は, 今回宮崎県で試料を採取した地点である。KA4(日向小林)の露頭では, 地表部の黒ボク土中の層厚約50cmのガラス質火山灰層から20個の定方位試料を採取した。KA5(高千穂峰)のK Ah火山灰層は, 層厚約100cmで牛のすね火山灰上部と牛のすね火山灰下部に挟まれていた(高橋・小林, 1999)。KA5

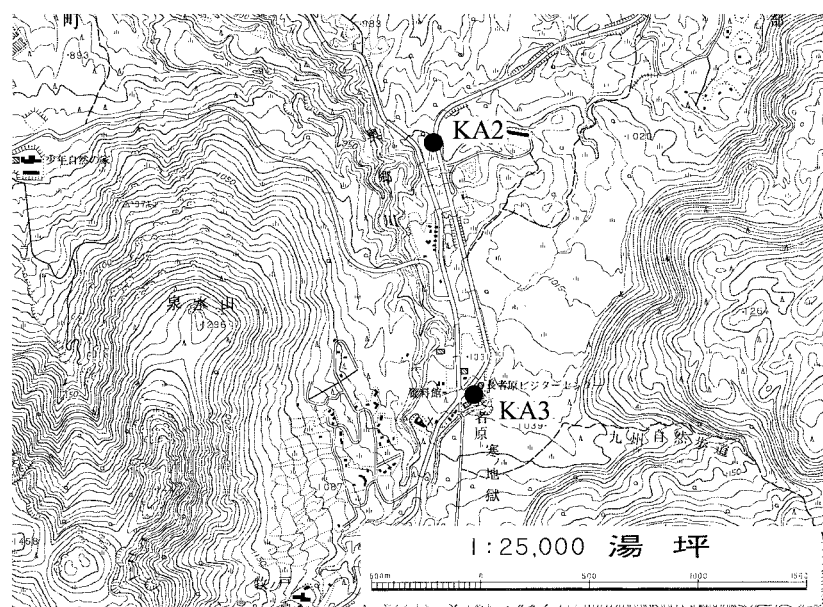
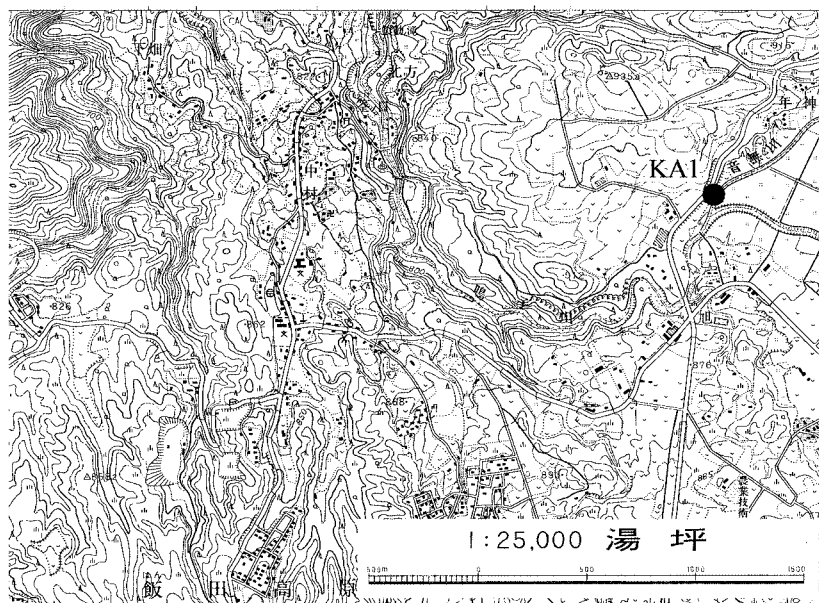


図 1 1. 試料採取地点．国土地理院発行の 25 万分の 1 地形図を使用．黒丸は試料採取地点．黒丸に付けた記号は地点番号で表 1 と同じ．

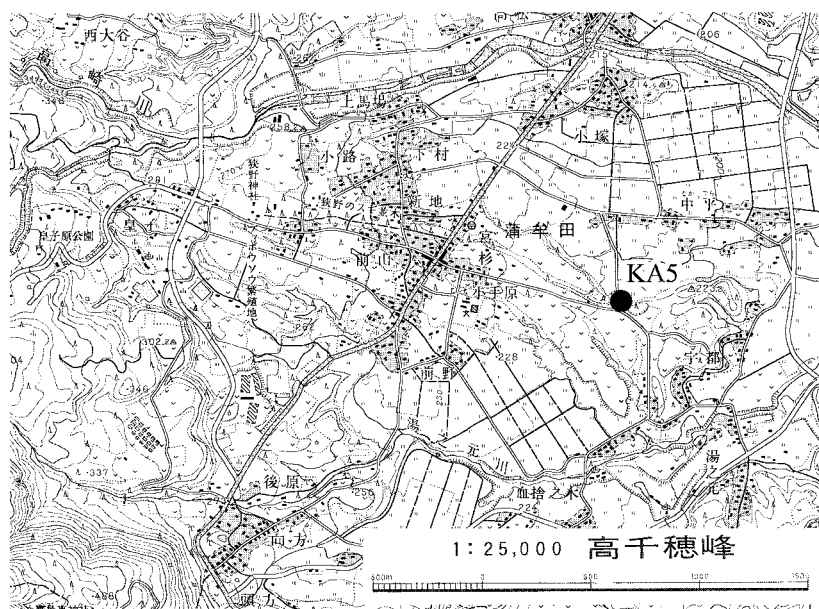
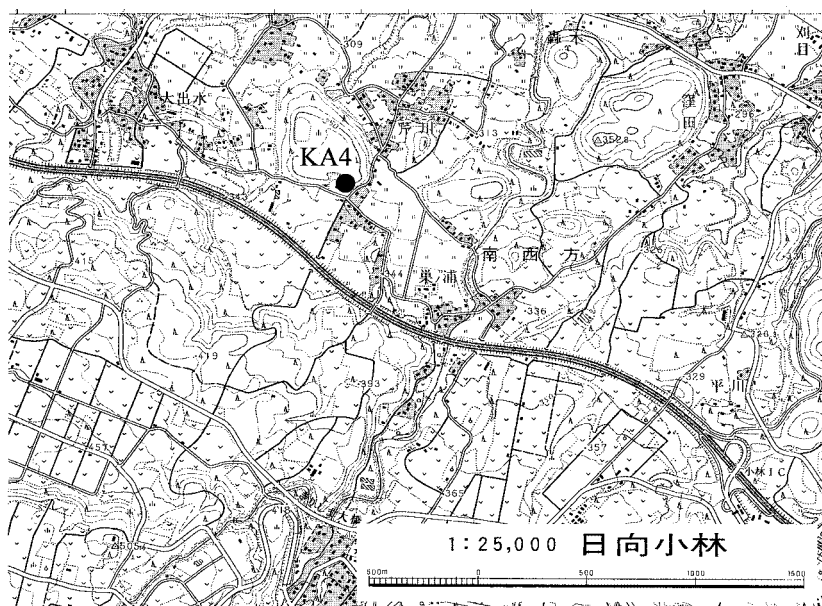


図 1 2 . 試料採取地点 . 国土地理院発行の 25 万分の 1 地形図を使用 . 黒丸は試料採取地点 . 黒丸に付けた記号は地点番号で表 1 と同じ .

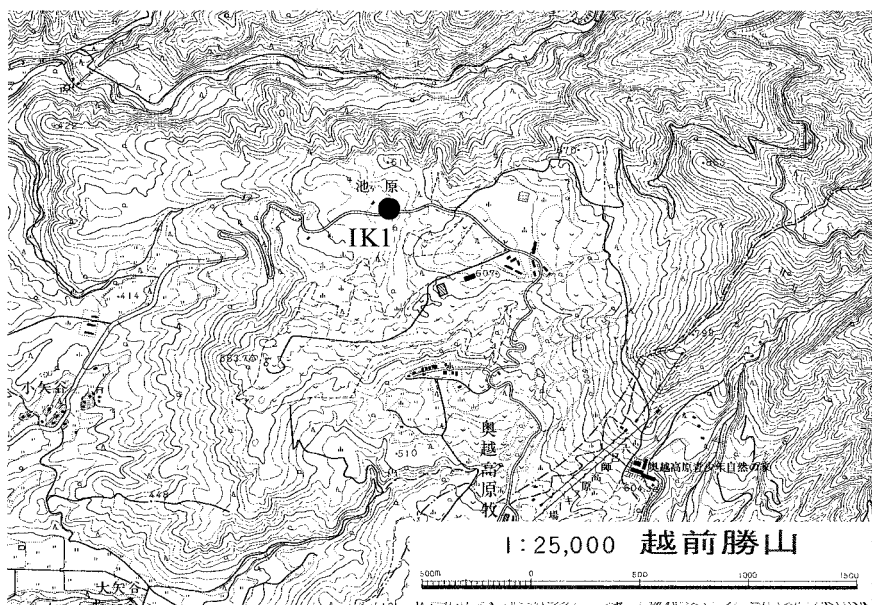


図 1 3 . 試料採取地点 . 国土地理院発行の 2 5 万分の 1 地形図を使用 . 黒丸は試料採取地点 . 黒丸に付けた記号は地点番号で表 1 と同じ .

表 1 . 試料採取地点 .

鬼界アカホヤテフラ

地点番号	地点名 (試料番号)	試料採取地点 (経度, 緯度)	文 献
KA1	湯坪1 (JT410-422)	大分県玖珠郡九重町長者原 (131° 14' 39.7" E, 33° 09' 31.5" N)	鎌田 (1997)
KA2	湯坪2 (JT423-434)	大分県玖珠郡九重町長者原 (131° 13' 49.4" E, 33° 07' 32.8" N)	鎌田 (1997)
KA3	湯坪3 (JT447-458)	大分県玖珠郡九重町長者原 (131° 13' 57.1" E, 33° 06' 55.4" N)	鎌田 (1997)
KA4	日向小林 (JF1-20)	宮崎県小林市巣ノ浦 (130° 54' 50.5" E, 31° 59' 46.9" N)	高橋・小林 (1999)
KA5	高千穂峰 (JF21-40)	宮崎県西諸県蒲牟田 (130° 59' 15.3" E, 31° 54' 16.3" N)	高橋・小林 (1999)

池ヶ原堆積物

地点番号	地点名 (試料番号)	試料採取地点 (経度, 緯度)	文 献
IK1	池ヶ原 (JF66-209)	福井県勝山市平泉寺町池ヶ原 (136° 34' 10.1" E, 36° 02' 3.0" N)	土田 (2004 MS)

では 20 個の定方位試料を採取した。

2.2. 池ヶ原堆積物

試料採取地点は六呂師高原の北西端に位置し、緩やかな坂道に面した露頭で堆積物は西に向かって緩やかに傾斜している。表層部を約 40 cm の黒ボク土が覆い、その下位は約 30 cm の岩屑なだれ堆積物である。さらにその下に約 10 cm の黒ボク土、約 20 cm の黒褐～暗褐色土壌、約 40 cm のにぶい黄褐色土壌が露出している。岩屑なだれ堆積物より下位のすべての層準に無色透明のバブルウォール型火山ガラスが含まれており、黒ボク土中には淡褐色のバブルウォール型火山ガラスも認められる。屈折率測定結果によれば、屈折率の異なる 2 種類の火山ガラス（平均屈折率 1.513 と 1.500）があり、形状、屈折率および産出層準からそれぞれ K Ah と AT 起源の火山ガラスといえる。黒ボク土では、洗い出した砂サイズ粒子の 45～60 % が火山ガラスであり、K Ah 起源のものが約 70 % 以上である。黒ボク土より下位の堆積物では、砂サイズの粒子中の 39～69 % が火山ガラスであり、その屈折率から AT 起源のものと考えられる。特に最下部の約 20 cm は砂サイズ粒子中の火山灰の割合が 59～69 % と高く、この付近に降灰層準があると推定される。

今回は、岩屑なだれ堆積物より下位の堆積物の 12 層準から計 143 個の定方位試料を採取した。

3. 測定方法および測定結果

3.1. 残留磁化

測定方法およびデータ処理方法は、中島・藤井（1995）による AT の場合と同じである。すべての試料について 5～30 mT までの段階交流消磁実験を実施した。残留磁化はフラックスゲート型のスピナー磁力計（夏原技研製 SMM 85 型）で測定した。交流消磁装置は夏原技研製の 2 軸回転方式で、増幅器は DEM 8601 2 型である。磁力計や消磁装置の内部は 3 層の μ メタルによって外部磁場が 10 nT 以下に遮蔽されている。

交流消磁に対して安定な磁化方位が得られた試料については、消磁ベクトル図で方位変化が停止した消磁段階以後のデータを用いて、原点に固定した直線近似により各試料の偏角と伏角を求め（Kirschvink, 1980）、地点（層準）ごとにその平均偏角（ D_m ）と平均伏角（ I_m ）を計算し（Fisher, 1953）、表 2 にまとめた。試料の露頭での方位は磁気コンパスで測定したため、 D_m は国土地理院の 2000 年偏角図（国立天文台, 2004）で示された試料採取地点の偏角を用いて真北からの値に補正している。 D_f と I_f は仮想磁極の位置（VGP）から福井県内の地点（136 °E, 36 °N）における偏角と伏角の値に換算したものである。

池ヶ原堆積物では、上下 2～5 cm の間隔で、同層準から 2～4 個ずつ試料を採取した。ほぼ同じ磁化方位を示すということを目安に試料をまとめると、上下約 5 cm 間隔の 12 層準（IK1 1～IK1 12）に区分できた。表 2 の IK1 1 の層準 11 cm とは岩屑なだれ堆積物とその下位の黒ボク土との境界を基準とし、その下位 11 cm の深さまで、層準 15 cm とは深さ 11 cm から 15 cm ま

表 2. 古地磁気測定結果. N: 試料数, Dm: 平均偏角, Im: 平均伏角, α_{95} および k: Fisher (1953) の統計値, VGP: 仮想磁極の位置, Lon: VGP の経度, Lat: VGP の緯度, Df および If: VGP から計算した福井県内の地点 (136 ° E, 36 ° N) における偏角と伏角, MDF: 磁化強度が消磁前の 2 分の 1 になる消磁磁場, 磁化強度: 消磁前の磁化強度, $\kappa^{fd\%}$: 周波数依存性帯磁率.

鬼界アカホヤテフラ

地点番号	地点名	N	Dm (° E)	Im (°)	α_{95} (°)	k	VGP		Df (° E)	If (°)	MDF (mT)	磁化強度 (10 ⁻⁵ Am ² /kg)	帯磁率 (μ m ³ /kg)	$\kappa^{fd\%}$ (%)
							Lon(° E)	Lat(° N)						
KA1	湯坪1	12	-0.7	49.3	4.4	97.7	322.7	87.0	-0.4	52.4	5	3.35	4.25	0.6
KA2	湯坪2	11	-0.1	49.5	3.0	232.5	313.0	87.2	0.2	52.6	5	2.29	1.85	1.2
KA3	湯坪3	12	6.8	47.9	2.6	277.7	254.9	82.8	7.5	51.6	8	1.71	1.88	0.1
KA4	日向小林	20	-0.7	45.0	3.7	80.5	317.5	84.5	-0.2	49.7	5	2.85	3.26	0.3
KA5	高千穂峰	18	-2.1	50.4	2.5	196.8	18.6	88.1	-2.1	54.6	6	2.05	2.04	0.1

池ヶ原堆積物

地点番号	層準 (深さ)	N	Dm (° E)	Im (°)	α_{95} (°)	k	VGP		Df (° E)	If (°)	MDF (mT)	磁化強度 (10 ⁻⁵ Am ² /kg)	帯磁率 (μ m ³ /kg)	$\kappa^{fd\%}$ (%)
							Lon(° E)	Lat(° N)						
IK1-1	11cm	24	-1.9	53.7	1.8	260.1	358.0	87.6	-1.9	53.7	9	6.55	5.86	8.0
IK1-2	15cm	10	-7.8	51.0	3.5	193.2	15.0	82.2	-7.9	54.0	10	6.71	5.67	8.5
IK1-3	19cm	9	-3.2	55.1	4.1	156.9	38.7	87.4	-3.2	55.1	12	7.90	5.04	8.3
IK1-4	24cm	9	4.7	56.7	4.5	134.6	206.9	86.0	4.7	56.6	12	5.91	4.54	8.1
IK1-5	29cm	13	-3.4	51.2	5.7	53.4	351.7	85.0	-3.4	51.2	13	5.95	3.87	7.6
IK1-6	35cm	9	-10.8	53.3	5.0	108.0	35.9	80.9	-10.8	53.4	14	4.94	2.84	6.0
IK1-7	40cm	13	0.4	51.4	5.2	64.1	311.7	86.0	0.3	51.3	14	5.99	2.82	6.3
IK1-8	45cm	14	-3.6	52.4	4.8	69.8	1.9	85.8	-3.6	52.4	14	5.35	2.66	6.9
IK1-9	50cm	9	-9.3	49.4	6.3	67.1	12.6	80.3	-9.4	49.4	13	4.36	2.65	5.7
IK1-10	56cm	8	8.6	48.2	9.0	38.5	267.4	80.1	8.5	48.1	12	5.33	2.58	5.1
IK1-11	60cm	5	-4.5	45.6	8.0	91.6	340.9	80.2	-4.6	45.6	11	5.28	3.31	4.7
IK1-12	70cm	5	-8.6	56.5	9.3	68.4	57.6	83.0	-8.6	56.5	9	6.33	4.01	4.8

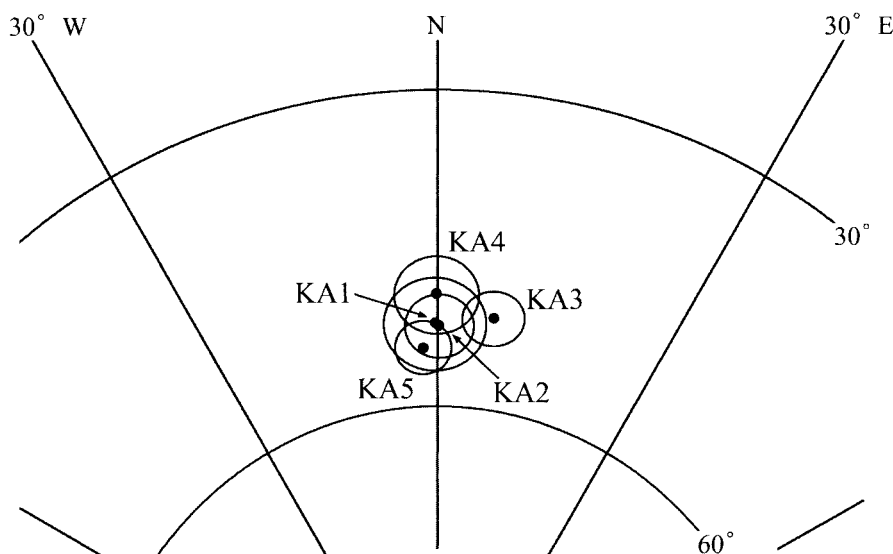


図2 . K Ah の地点平均磁化方位 . 黒丸は地点平均磁化方位 (D_f , I_f ; 表2) のシュミット投影点で, 楕円は α_{95} , KA 1 などの記号は地点番号で表1と同じ .

での範囲を意味する。

K Ahの残留磁化方位 (D_f , I_f , α_{95}) のシュミット投影を図2に示す。KA 3は他の地点と比べやや東にずれるように見える。しかし, α_{95} の範囲が互いに重なるため有意な差とはいえず, 全体として方位はよく一致している。

図3は池ヶ原堆積物の偏角と伏角の深さ (層準) に対する変化である。縦軸は岩屑なだれ堆積物とその下位の黒ボク土との境界からの深さ (cm) で, 偏角・伏角の誤差線は α_{95} を表す。グラフはデータ解析/グラフ作成ソフトウェア KaleidaGraph (Synergy Software 社製) を用いて作成した。曲線は三次元スプライン回帰曲線である。

偏角は $11 \sim 9^\circ \text{W}$, 伏角は $46 \sim 57^\circ$ の範囲で滑らかに変化している。この変化は地磁気永年変化を反映したものと考えられる。

3 2 . 帯磁率

帯磁率の測定には Bartington 製 MS 2 B 型帯磁率計を用いた。この帯磁率計は 0.46 kHz の低周波 (LF) と 4.6 kHz の高周波 (HF) の2周波測定が可能であり, 全試料について2周波測定を実施した。残留磁化を測定した後, 試料が自然に乾燥するのを待って, 帯磁率の測定を行った。表2に示した帯磁率は LF 測定値を重量で割った重量帯磁率 (χ^H ; $\mu\text{m}^3/\text{kg}$) で, 全試料について

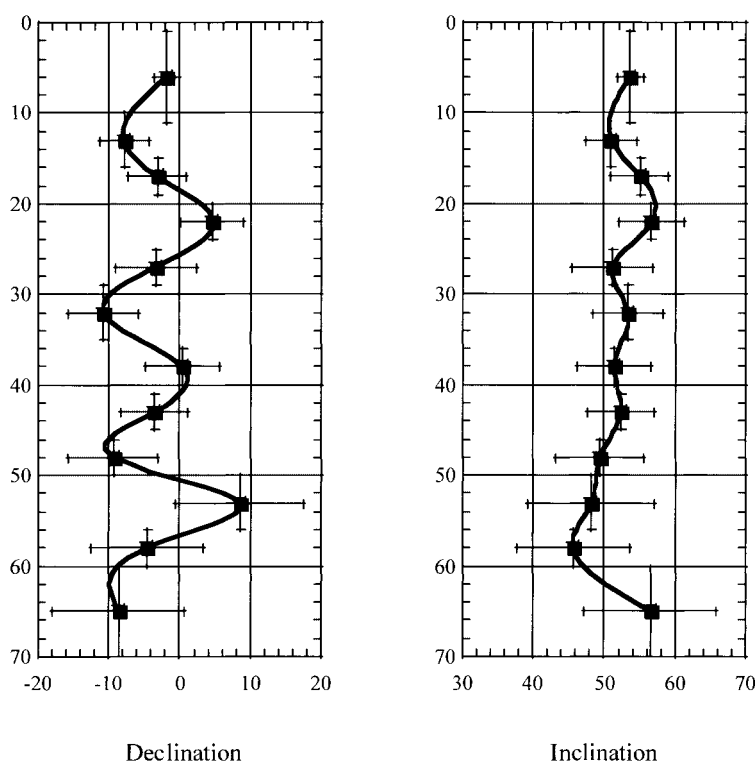


図3．池ヶ原堆積物における偏角と伏角の変化．縦軸は岩屑なだれ堆積物とその下位の黒ボク土との境界からの深さ (cm)．左図は偏角 (°), 右図は伏角 (°), 偏角・伏角の誤差線は α_{95} , 曲線は KaleidaGraph (Synergy Software 社製) による三次元スプライン回歸曲線．

の測定値の平均である。周波数依存性帯磁率 ($\kappa^{fd\%}$; %) は「 $100 \times (\text{LF 帯磁率} - \text{HF 帯磁率}) / \text{LF 帯磁率}$ 」で算出した。 $\kappa^{fd\%}$ は微小な超常磁性粒子の含有量の目安になる (Dearing, 1994)。堆積物試料では $\kappa^{fd\%}$ が 2 % 以下の場合には堆積時の状態が保存されていると解釈され、それ以上の時はバクテリアが生産する磁性鉱物の増加や発酵・腐食などによって堆積時から存在する磁性鉱物が一部変質していることなどを考慮する必要があるとされている。K Ah の $\kappa^{fd\%}$ はすべて 2 % 以下であり、堆積時の状態が保存されているとみなせるので、KA 1 から KA 5 は古地磁気研究に適した試料であるといえる。しかし、池ヶ原堆積物試料の $\kappa^{fd\%}$ は数%の値である。これは池ヶ原堆積物の試料には変質を受けた部分が混在している可能性があることを示唆している。また、上位の層準ほど帯磁率、 $\kappa^{fd\%}$ とともに値が大きくなっている。このことは、上位ほど土壌化が進んでいることを示しているものと考えられる。黄土層では土壌化された部分で帯磁率が大きくなることが報告されており、これは土壌化作用によってマグネタイトあるいはヘマタイトの微粒子 (1

～100 nmの広い粒径分布を示す)が形成されるためであると推定されている(鳥居・福田, 1998; 鳥居, 2000)。

3 3 . 段階的 IRM 獲得と三成分 IRM の熱消磁実験

残留磁化を測定した試料と石膏を混ぜ合わせた合成試料について、段階的 IRM 獲得と三成分 IRM の熱消磁実験 (Lowrie, 1990) を実施した。合成試料の作製方法および実験方法は藤井・中島 (2002) と同じである。

段階的 IRM 獲得実験には英国 Magnetic Measurement 社製の Pulse Magnetizer を使用し、段階的により大きな直流磁場に試料をさらし、その都度獲得した IRM 強度を測定した。今回、10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 100, 150, 250, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 (mT) の19段階に磁場を設定した。IRM 強度は夏原技研製 SMM 85 型スピナー磁力計で測定した。KA 1 から KA 3 については神戸大学理学部で IRM 獲得実験を行い、2500 mT までの16段階に磁場を設定した。

三成分 IRM は、Pulse Magnetizer を用いて、合成試料の互いに直交する3軸方向にそれぞれ大きさの異なる磁場をかけてつけた。設定磁場は Z 軸方向に 3000 mT, Y 軸方向に 400 mT, X 軸方向に 120 mT とし、大きな磁場から順にかけた。これにより、3000～400 mT の高抗磁力を持つ磁性鉱物は Z 軸方向に、400～120 mT の中抗磁力を持つ磁性鉱物は Y 軸方向に、120 mT より小さい低抗磁力を持つ磁性鉱物は X 軸方向に磁化されることになる。その後、それぞれの試料について熱消磁実験を行った。IRM はブロッキング温度まで温度が上がると消磁されるが、キュリー温度の少し下に最も高いブロッキング温度があるので、IRM 強度が急に減少するところを熱消磁図から読み取ると試料中に含まれる磁性鉱物のキュリー温度を推定できる。したがって、段階的 IRM 獲得実験だけでは磁性鉱物を同定できない場合でも、高抗磁力 (hard) ・中抗磁力 (medium) ・低抗磁力 (soft) 成分に分けた消磁曲線からキュリー温度を推定して、含まれている磁性鉱物を同定することが可能になる。

熱消磁は DEM 8602 型温度コントローラーを持つ TMS 92S 型熱消磁装置 (夏原技研製) を使用し、50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 530, 560, 590, 620, 650, 680, 710 () の17段階で行った。合成試料はもろくて崩れやすいため、100 まではプラスチックキューブに入れたまま実験を行い、その後プラスチックキューブを切りはずした。

今回測定結果が得られたのは、K Ah と池ヶ原堆積物の最上部 IK1 1 からの試料である。K Ah と IK1 1 からの段階的 IRM 獲得実験と三成分 IRM の熱消磁実験結果の典型例を図 4 に示す。

段階的 IRM 獲得曲線はどちらもほぼ同様の傾向を示した。磁場 100 mT で飽和磁化の 8 割以上を獲得するため、圧倒的に低抗磁力成分が多いといえる。

熱消磁実験では K Ah と IK1 1 の間に違いが見られた。K Ah では低抗磁力成分が約 77 % , 中抗磁力成分は約 18 % , 高抗磁力成分は約 5 % である。全体的にどの成分もなだらかに減少し

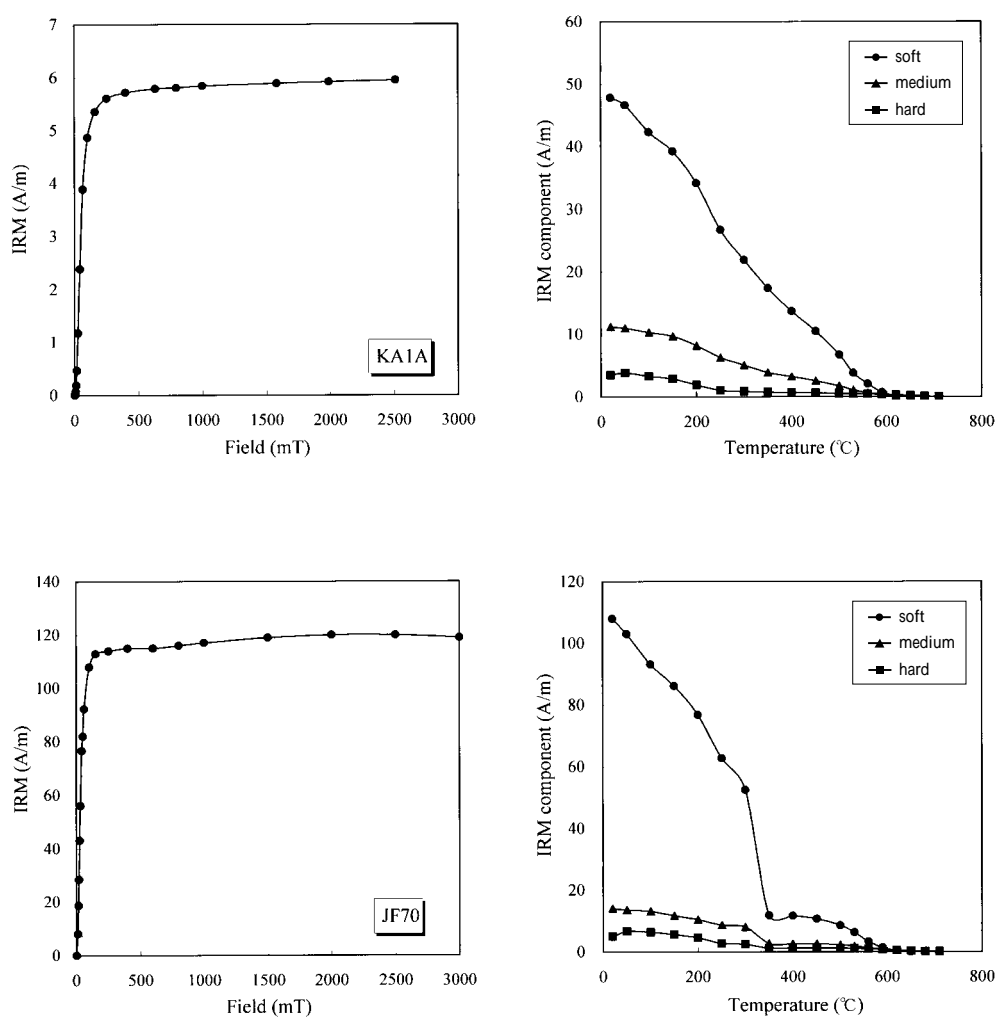


図4．IRM獲得図（左）および三成分IRMの熱消磁図（右）．上図はK Ah試料，下図は池ヶ原堆積物のIK1-1からの試料の典型例．低抗磁力（soft）成分は120 mT以下，中抗磁力（medium）成分は120～400 mT，高抗磁力（hard）成分は400～3000 mTの抗磁力をもつ磁性鉱物が獲得したIRM.

ていて、590 で全ての成分の磁化が消失していることから、K Ahの残留磁化の担い手はチタノマグネタイトとマグネタイトであると推定できる。これはATやAso 4などの他の第四紀広域テフラの実験結果と同じである（藤井・中島，2002）。

IK1-1では低抗磁力成分が圧倒的に多く、590 で全ての成分の磁化が消失している。この消

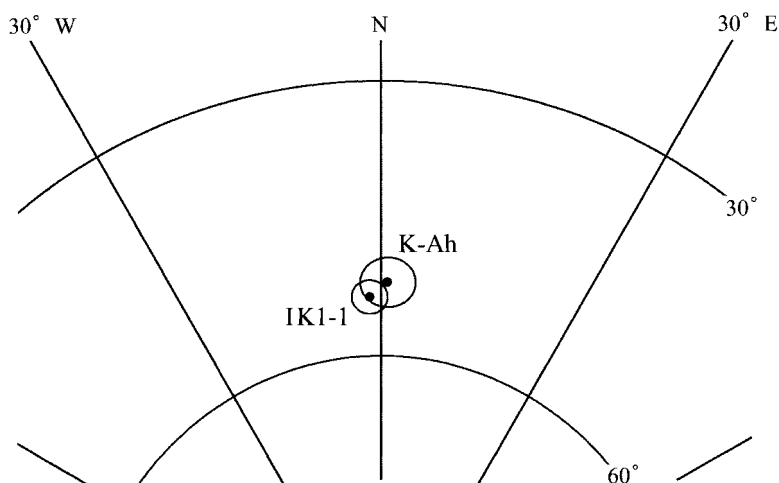


図5．K Ah の磁化方位と池ヶ原堆積物（IK1 1）の磁化方位の比較．

磁特性はK Ah と似ている。しかし、低抗磁力成分の消磁曲線では、急激な磁化の減少を特徴とする少なくとも2つの異なるブロッキング温度が読み取れる。高温部の580～590 のブロッキング温度を示す磁性鉱物はマグネタイトであるが、中温部の300～350 のブロッキング温度を示すものは、グレイジャイト、マグヘマイトあるいはチタノマグネタイトである可能性が高い。現在までに福井大学で実施した火山灰試料の三成分IRMの熱消磁実験（藤井・中島，2002）では、IK1 1のような特徴を示す消磁図は得られていない。もしIK1 1にグレイジャイトやマグヘマイトが含まれているとすれば、その残留磁化は堆積時に獲得した一次磁化（堆積残留磁化）だけでなく、堆積後に獲得した二次磁化（化学残留磁化）も重なっていることになる。

4．池ヶ原堆積物の古地磁気測定結果についての考察

池ヶ原堆積物の各層準（IK1 2～IK1 12）で残留磁化測定を行った試料から1個、またIK1 1をさらに4つの亜層準に細分してそれぞれ1個の試料を選び、火山ガラスの分析を行った。K Ah起源の火山ガラスが認められたのはIK1 1からの4つの試料だけで、火山ガラスの65～77%がK Ah起源のものであった。したがって、このK Ah ガラス濃集層の堆積時期はK Ah 噴出時とほぼ同時期と考えることができる。図5は本研究で明らかになったK Ah 噴出時の地磁気方位と、IK1 1の磁化方位である。2つの方位は α_{95} の範囲内でよく一致し、IK1 1層準がK Ah 噴出時とほぼ同時期に形成されたことを強く示唆している。

IK1 1の試料では、三成分IRMの熱消磁実験（図4）からグレイジャイトが存在する可能性があり、もし本当にグレイジャイトなら、少なくともIK1 1の磁化方位の意味は単純に堆積時

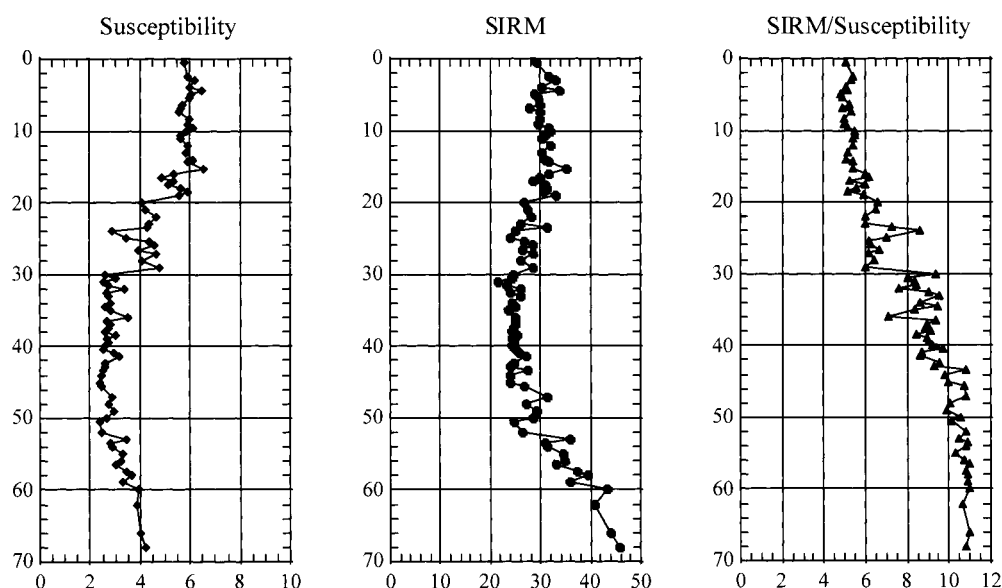


図6．池ヶ原堆積物の帯磁率($\mu\text{m}^3/\text{kg}$)，SIRM(Am^2/kg)およびSIRM／帯磁率(kA/m)の深さ(cm)に対する変化．

の地磁気方位とは見なせなくなる。

有機物含有量が多く還元的な環境ではグレイジャイトやピロタイトのような硫化鉱物がバクテリアによって生産されていることがある。堆積物コア試料中のグレイジャイトの存在の指標として飽和残留磁化 (SIRM) と帯磁率の比が使われることがある (Snowball and Torii, 1999)。帯磁率が大きくなった黒ボク土や黒褐～暗褐色土壌 (IK1 1, IK1 2, IK1 3) は、やや湿性の還元的な環境で堆積しグレイジャイトが生成された可能性があるため、SIRM と帯磁率の比について調べてみた。池ヶ原堆積物の個々の試料について測定した帯磁率、SIRM、およびSIRM／帯磁率の深さに対する変化を図6に示す。SIRMは3000 mTの磁場中で獲得したものである。Snowball and Torii (1999) はグレイジャイト含有層のSIRM／帯磁率は50～80 kA/mであるとレビューしているが、得られたSIRM／帯磁率は5～11 kA/mであり、グレイジャイトが存在するとはいえない値となった。鳥居 (私信) によれば、この比だけではグレイジャイトの存在について肯定も否定も出来ないということである。

Snowball and Torii (1999) は、グレイジャイトの残留磁化が堆積時とほぼ同時 (長くても100年以内) に獲得したと見なせる例と、堆積後かなりの時間の経過後 (少なくとも15万年) に獲得したと見なせる例を紹介している。今後の研究により池ヶ原堆積物中にグレイジャイトが形成されていることが明らかになれば、グレイジャイトの化学残留磁化が堆積時とほぼ同時期に獲得

された例の一つになると考えられる。

5. まとめ

K Ah を九州の 5 地点で採取し、古地磁気測定を実施した。30 mT までの段階交流消磁により各地点で安定な磁化方位が得られた。各地点の磁化方向は地点内および地点間でもよくまとまっていた。全平均磁化方位 (D_f , I_f , α_{95}) は (1.0° E, 52.2° , 2.7°) である。三成分 IRM の熱消磁実験からは、試料中に含まれる主な磁性鉱物はチタノマグネタイトとマグネタイトであり、二次的な磁性鉱物はほとんど含まれていないことが明らかになった。したがって、今回得られた K Ah の磁化方位は、テフラ堆積時に獲得された一次磁化（堆積残留磁化）であると考えられる。

池ヶ原堆積物の 12 層準の古地磁気測定結果は地磁気永年変化を記録していた。K Ah 起源の火山ガラスが濃集する最上部の IK1-1 の磁化方位は、九州の 5 地点で得られた K Ah の磁化方位とほぼ同じであり、この層準が K Ah 堆積時とほぼ同じ時期に形成されたことを強く示唆していた。しかし、三成分 IRM の熱消磁実験からはグレイジャイトあるいはマグヘマイトが形成されている可能性がある。池ヶ原堆積物の残留磁化の意味を明確にするには、IRM の低温熱消磁 (Torii *et al.*, 1996) や堆積物中の硫黄の確認などさらに検討する必要がある、今後の課題となった。

謝辞 本研究を進めるにあたって、岡山理科大学総合情報学部の鳥居雅之教授と富山大学理学部の酒井英男教授には、グレイジャイトの同定に関していろいろご教示いただいた。神戸大学理学部の乙藤洋一郎教授には、IRM 獲得実験の際に便宜を図っていただいた。また、福井大学教育地域科学部の服部 勇教授には、原稿を読んでいただいた。これらの方々に心より感謝申し上げます。

引用文献

- Dearing, J., 1994, *Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 system*. 104p, Bartington.
- Fisher, R.A., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc.*, **A217**, 295-305.
- 藤井純子・中島正志, 1998, 第四紀広域テフラの古地磁気方位. 福井大学教育学部紀要, , no.51, 47-60.
- 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, , no.54, 47-55.
- Fujii, J., T. Nakajima, and K. Hirooka, 2002, The geomagnetic field's configuration over the Japanese Islands at the time when the Aso-4 tephra was deposited. *Mem. Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, no.1, 63-91.
- Fujii, J., T. Nakajima, and H. Kamata, 2001, Paleomagnetic directions of the Aso pyroclastic-flow and the Aso-4 co-ignimbrite ash-fall deposits in Japan. *Earth Planets Space*, **53**, 1137-1150.
- 藤井純子・中島正志・石田志朗・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**, 227-232.
- 福沢仁之, 1995, 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物. 第四紀研究, **34**, 135-149.
- 広岡公夫, 1988, 古地磁気・考古地磁気編年による年代推定. 地質学論集, no.29, 305-318.

- Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. Roy. astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- 国立天文台編, 2004, 理科年表 平成16年. 945p, 丸善.
- Lowrie, W., 1990, Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophysical Research Letters*, **17**, 159-162.
- 町田 洋・新井房雄, 1983, 広域テフラと考古学. 第四紀研究, **22**, 134-148.
- 町田 洋・新井房雄, 2003, 新編 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 336p, 東京大学出版会.
- 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, **34**, 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**, 371-383.
- Snowball, I., and M. Torii, 1999, Incidence and significance of magnetic iron sulphides in Quaternary sediments and soils. In Maher, B.A., and R. Thompson, ed., *Quaternary climates, environments and magnetism*, Cambridge, UK., 199-230.
- 高橋正樹・小林哲夫編, 1999, 九州の火山. フィールドガイド 日本の火山5, 152p, 築地書館.
- 鳥居雅之, 2000, 黄土層の磁性 まだやることはあるか?! . 月刊地球, **22**, 146-148.
- 鳥居雅之・福岡浩司, 1998, 黄土層の初磁化率: レヴィュー. 第四紀研究, **37**, 33-45.
- Torii, M., K. Fukuma, C.-S. Horng, and T.-Q. Lee, 1996, Magnetic discrimination of pyrrhotite-and greigite-bearing sediment samples. *Geophysical Research Letters*, **23**, 1813-1816.
- 土田浩司, 2004 MS, 大野市南東部に分布する岩屑なだれ堆積物について. 福井大学教育地域科学部卒業論文, 65p.