

模式地における大山最下部火山灰層中の 強磁性鉱物の熱磁気特性

岡田 昭明*・谷口 恵**・木下 直美***

Shomei OKADA, Megumi TANIGUCHI and Naomi KINOSHITA: Thermomagnetic Properties
of the Ferromagnetic Minerals in the Lowermost Member of the
Daisen Tephra Formation at It's Type Locality

(1990年8月31日 受理)

I はじめに

大山火山の周囲には、溝口凝灰角礫岩（三位・赤木，1967）と一括されている火山碎屑物およびその二次的堆積物からなる火山麓扇状地がひろく発達している。“大山火山灰層”（赤木，1973）はこの溝口凝灰角礫岩をおおう降下軽石を主体とするテフラ群で、最下部・下部・中部・上部に細分されている（山陰第四紀研究グループ，1967）。このうち最下部火山灰層は数多くの軽石層，火山砂層，風化火山灰層（いわゆるローム層）で構成されており，大山の北麓，東麓および南東方の岡山県北部に比較的まとまって分布することがわかっているが（佐治ほか，1975；岡田，1983；塩谷，1987MS），露出が断片的で不明な点が多い。ことにこの三地域間の対比はまだ充分にはなされていない。下部火山灰層以上にくらべてロームの赤色化がつよいのが共通する特徴で，このことから最終間氷期以前にさかのぼる中期更新世テフラであると考えられてきた（蒜山原団体研究グループ，1975；大西，1977）。

テフラの同定・対比の際の示標として，個々のテフラ層にふくまれる火山ガラスや特定鉱物の屈折率あるいは化学組成が利用されることが多い。しかしながら，噴出年代が古くかつ乾陸上に堆積したようなテフラでは，堆積後の風化変質により特に火山ガラスなどはほとんど消失してしまうことがある。大山最下部火山灰層はまさにそのようなテフラ群であって，火山ガラスはもちろん，風化が著しいものでは斑晶透明鉱物でさえほとんど検出されないことも稀ではない。こうした火山ガラスや透明鉱物に対して，鉄鉱物はテフラ中に普遍的にふくまれており，またいかなる風化状態のテフラであっても残存しているのが普通である。したがって，テフラの同定・対比に鉄鉱物の特性を利用できれば大いに意義あるものとなる。

一般に，テフラにふくまれる鉄鉱物は強磁性鉱物であり，その特性の一つにキュリーポイント等でしめされる熱磁氣的性質をあげることができる。キュリーポイントをテフラの同定・対比に活用する手法は Momose et al. (1968)，Kobayashi and Momose (1969) により開発され，信州ロームから関東ロームへ御岳 Pml 軽石を追跡するのに効果をあげた (Momose and

* 地学教室

** 地学教室（現在，鳥取県西伯郡会見町立会見小学校）

*** 地学教室（現在，鳥取県米子市立福米東小学校）

Kobayashi, 1972)。その後、大阪層群 (Maenaka, 1971; Maenaka and Yokoyama, 1972), 八ヶ岳 (会田, 1978), 支笏カルデラ (Okada, 1980; 近藤, 1983) 南九州 (Yoshida, 1980a; b), 大山火山 (岡田・谷本, 1986) などの地域でこの手法による成果が報告されている。

岡田 (1983) は、予察的熱磁気分析データにもとづいて大山東麓と北麓の最下部火山灰層の対比を試みたが、今後対比をより確実なものとしていくためにはよりおおくの基礎的データを収集することが必要である。このため本研究では、最下部火山灰層の模式地を倉吉市大河内に設定し、そこにみられるテフラ層について細かく試料採取をおこない、ふくまれる強磁性鉱物の熱磁気特性と、あわせて分析した重鉱物組成について検討した。

本研究にもちいた磁気天秤の製作・コンピューターとのオンライン化そして測定プログラムの作成にわたって、本学部物理学教室の安藤由和助教授に多くの助言・指導をいただいた。また、地学教室学生の高浜禎彦君には野外調査の一部を手伝っていただいた。記してお礼申しあげる。

II 模式地における大山最下部火山灰層の層序と産状

大山最下部火山灰層の模式地とした倉吉市大河内の露頭は、佐治ほか (1975) が詳細な記載をしたのと同じ露頭である (図1, Loc. 1)。大山山頂からほぼ東方 17 km の地点で、溝口凝灰角礫岩のつくる標高約 200 m の台地上に位置している。ここでは溝口凝灰角礫岩をおおって、全層厚約 13 m の“大山火山灰層”が露出している (図2)。露頭最上部には大山下部火山灰層に属する生竹軽石 (DNP) があり、その直下の厚さ約 50 cm の褐色ロームとともに、より下位の最下部火山灰層をゆるくきって軽微な斜交関係をみせている。DNP の基底には厚さ 5 cm の岩片に富むやや暗色の軽石薄層をともっており、また直下の褐色ローム中には上限から 10 cm の位置に、厚さ 5 cm にわたって岩片・軽石が断続的に点在している。これらは、本地点から約 4 km 南南西の関金町荒田を模式地とする大山荒田軽石 2 (DAP₂) および大山荒田軽石 1 (DAP₁) (岡田・谷本, 1986) にそれぞれ対比される。

最下部火山灰層は複数の軽石層、火山砂 (火山礫まじり粗粒火山灰) 層、およびローム層で構成されており、内部に斜交関係はみられず台地面に平行にほぼ水平に堆積している。軽石層の風化は著しく、色調をはじめとして岩相が類似しているため、野外での識別・同定はむずかしい。岡田 (1983) は佐治ほか (1975) の細分にもとづいて、ローム層を除く軽石層・火山砂層を下位から a, b, c, d, e, fpm, fvs, g, h₁, h₂ とよんだ。これらのうち、b, e, fvs が火山砂層で、ほかは軽石層である。本研究ではこの層序区分を再検討した結果、以下のような修正をおこな

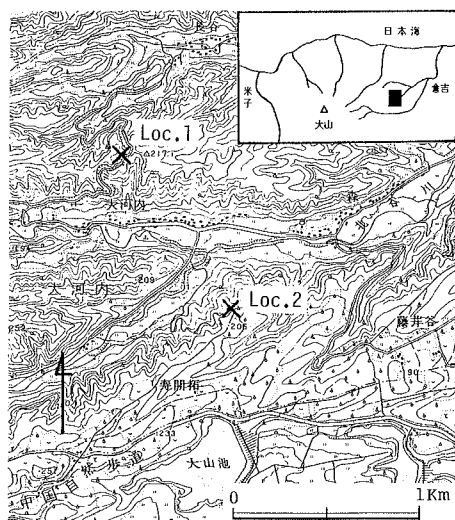


図1 露頭の位置
(国土地理院発行 2万5千分の1地形図「泰久寺」の一部を使用)

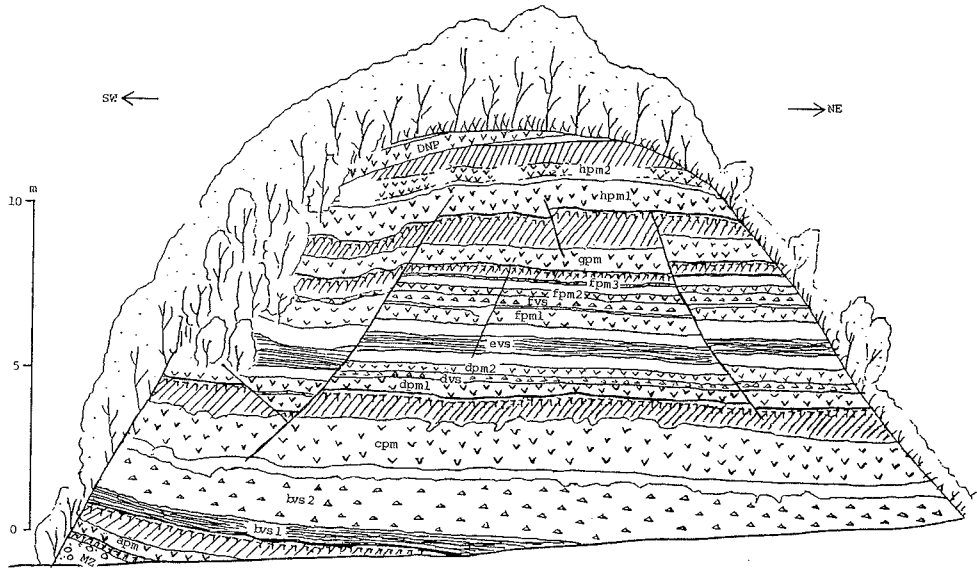


図2 大山最下部火山灰層の模式露頭 (Loc. 1) のスケッチ 凡例は図5

うことにした。

① まず、軽石層については上記の記号に続け pm をつけ、火山砂層についても同様に vs をつける (たとえば apm, bvs など)。ただしこれは仮称であって、今後最下部火山灰層の全容が明らかになってきた場合には、主要分布地の地名を加味するなどよりふさわしい命名が必要と考えている。

② apm 層の下位には溝口凝灰角礫岩との間に、厚さ 35 cm の赤色化のややよいローム層がみられ、この基底を最下部火山灰層の基底とする。このローム層の上部ではクラックの発達が著しい。

③ bvs 層は、水平ラミナが発達する基底部と塊状・無層理の主部とに区分し、それぞれ bvs1, bvs2 とする。

④ dpm 層は、中部層準に火山砂層をはさむのでこれを dvs, 下部を dpm1, 上部を dpm2 とよぶことにして3分する。

⑤ fvs 層の上部 18 cm はあきらかに軽石質なので、fpm2 として fvs と区別する。

⑥ fpm2 層と上位の gpm 層とのあいだのローム中に、あらたに軽石薄層が識別されたのでこれを fpm3 とよぶことにする。

町田・新井 (1979) は、hpm1 を大山西方に分布主軸をもつ大山松江軽石 (DMP) に対比し、hpm2 を大山蒜山原軽石 (DHP) とよんだ。なお、gpm 以下の層準は津久井 (1984) の下部テフラ累層に相当する。

すでに述べたように最下部火山灰層中には斜交関係はみられない。しかしながら apm, bvs1, dpm1, gpm, hpm1 のそれぞれ直下のローム層には顕著なクラック帯がみとめられ、比較的長期の堆積休止期があったことをしめしている。また、最下部火山灰層の一般的特徴であるロームの赤色化は、これらクラック帯の発達するローム層および hpm2 の直上のローム層でとくに顕著である。

ルーム層をふくめたテフラ各層から重鉍物分析および熱磁気分析用の試料を採取した。層厚が概ね 30 cm をこえるものについては、複数層準にわけて試料採取をおこなった。

本露頭の柱状図を図 5 に、テフラ各層の特徴を表 1 にまとめてしめす。

III 方 法

1) 試料の調製

重鉍物分析および熱磁気分析に供した試料は以下の手順により調製した。

① テフラの原試料をビニール袋にとり、水を加えて袋ごと手でもみほぐし、粒子を分散させる。

② #250 の標準ふるいにとり、シルト以下の細粒部を洗い流す。

③ ①～②をくりかえしても細粒部を除去しきれない場合には、超音波洗浄器にかけたのち、②の処理をおこなう。

④ 流水下で #32, #60, #115, #250 の標準ふるいにより 4 粒度階 ($>1/2$, $1/2\sim 1/4$, $1/4\sim 1/8$, $1/8\sim 1/16$ mm) にふるいわけする。

⑤ $1/2$ mm 以下の各粒度階について半分に分け、その一方から棒磁石およびアイソダイナミック型マグネティックセパレータをもちい鉄鉍物と有色鉍物を取りだし、あわせて重鉍物分析用の試料とする。

⑥ 残り半分から棒磁石に吸着する成分を選別し、熱磁気分析用試料とする。

なお、重鉍物分析・熱磁気分析ともに、主として $1/4\sim 1/8$ mm フラクションについておこなった。

2) 重鉍物分析

重鉍物を選別した際に、供試試料に対する重量比をもとめて重鉍物量比とした。重鉍物は粒子のままカナダバルサムで封入してプレパラートにし、偏光顕微鏡下で 200 個以上を数え個数比をもとめた。ただし黒雲母については、試料の調製段階でヘキ開片に分解したり溢流したりしてしまうことがあるため個数比からは除外し、含有量の目安として多いものから A, C, R の 3 段階であらわした。

3) 熱磁気分析

熱磁気分析は試料のもつ磁化の、温度による変化を測定するもので、磁気天秤を使用するのが一般的である。筆者らの研究室では化学天秤を利用した自作の磁気天秤をもちいてきたが(岡田・谷本, 1986), このたびコンピューターとつないで記録および制御の自動化をおこなったので、装置の概要をやや詳しく記しておく。

使用した磁気天秤装置は天秤部、電磁石部、電気炉部、真空系部および制御・記録部からなる。この装置による測定では、試料の磁化に相当する天秤の振れと温度とを記録する。天秤部は、天秤の振れを光線によって CdS で検出し、変位計から引き戻しコイルへ電流をフィードバックする自動平衡型天秤(鰐崎・関沢, 1972; 灰田・近, 1974)で、電圧に変換されたフィードバック電流値がデータとして出力される。温度は試料に密着させた P-PR 熱電対の熱起電力で、これら両電圧はデジタルボルトメーターで読み取られ、GPIB インターフェース

を介して制御・記録部のコンピューターにとりこまれる。

電気炉部は、試料温度を一定速度で昇・降温させるもので、任意の温度にホールドすることもできる。この温度制御には、OP アンプによるミラー積分回路を応用したスイープジェネレーターを使用している。あらかじめ選択した昇降温速度に応じたスイープジェネレーターの出力と、電気炉に接している C-A 熱電対の起電力とを差動増幅回路に導き、その出力に応じた電力を SCR 電力調製器 (山菱電機 SPC-1105) から電気炉に供給している。スイープジェネレーターはリレー回路をはさんでコンピューターと結ばれており、温度の上昇・下降・ホールドの切り替えは測定プログラムによりコンピューター側から自動的におこなわれる。リレー回路への切り替え指令は PPI (8255) インターフェースを介して送られる。ここで使用したコンピューター NEC PC-9801F は外付け用 5 インチフロッピーディスクのインターフェースとして 8255A を内蔵しているので、これをそのまま利用した。天秤部、電気炉部の自動制御の概要を図 3 にしめす。

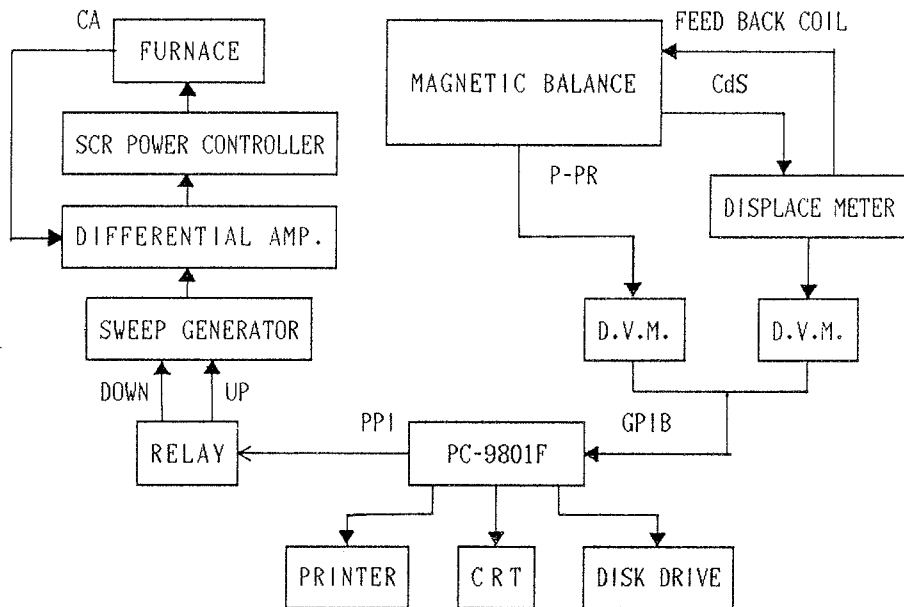


図 3 磁気天秤の自動制御の概要

電磁石部および真空系部は自動制御系からは独立しており、それぞれ単独に操作する。電磁石は最大発生磁界 5.37 KOe の玉川製作所 TM-YSF 8511-051 型を使用している。真空系は試料の酸化を防ぐために必要で、本装置では油回転ポンプと油拡散ポンプにより 10^{-4} Torr オーダーの真空度を達成している。なお真空引きしたのみでは装置内の温度勾配が大きく、加熱時と冷却時との熱磁化曲線にずれが生じるという問題があったが、本研究では真空引き後に N_2 ガスを封入し熱伝導度を高めることによりこの点を解決することができた。

制御・記録部は前述のコンピューターとデータ出力用の CRT・プリンターおよびデータ保存用のフロッピーディスクドライブで構成される。BASIC で作成した測定プログラムは、試

料番号・試料重量・測定条件などのデータ入力部，測定データ読み取り部およびデータ出力部からなる。測定条件として，測定間隔（温度間隔）と最高到達温度をあらかじめ設定して入力する。データ読み取り部では，つねに試料温度を読んでおり，測定間隔分温度が上昇すると変位計の出力読み取りに切り替わる。この時の読み取り値（電圧）と温度とがデータとして保存されると同時に CRT 画面上にプロットされ，再び温度読み取りにもどる。設定した測定間隔ごとにこれがくりかえされて，画面上に加熱過程の熱磁化曲線が描かれていく。温度が設定した最高温度に達するとスウィープジェネレーターが下降に切り替わり，以後室温まで冷却過程の熱磁化曲線が描かれていく。なお，このプログラムでは熱磁化曲線を描いていく過程で，曲線の傾斜が変換するときの温度，すなわちキュリーポイントが自動的に検出され表示される。

本研究では，この装置による測定条件を磁場 1 KOe，昇降温速度約 10°C/min，到達温度 590~600°C，測定温度間隔 2°C に統一して使用した。図 4 に，標準試料としてニッケル粉末 (22.5 mg) と純粋にちかいマグネタイト粒子 (21.5 mg) とを混合した試料の測定記録を示す。

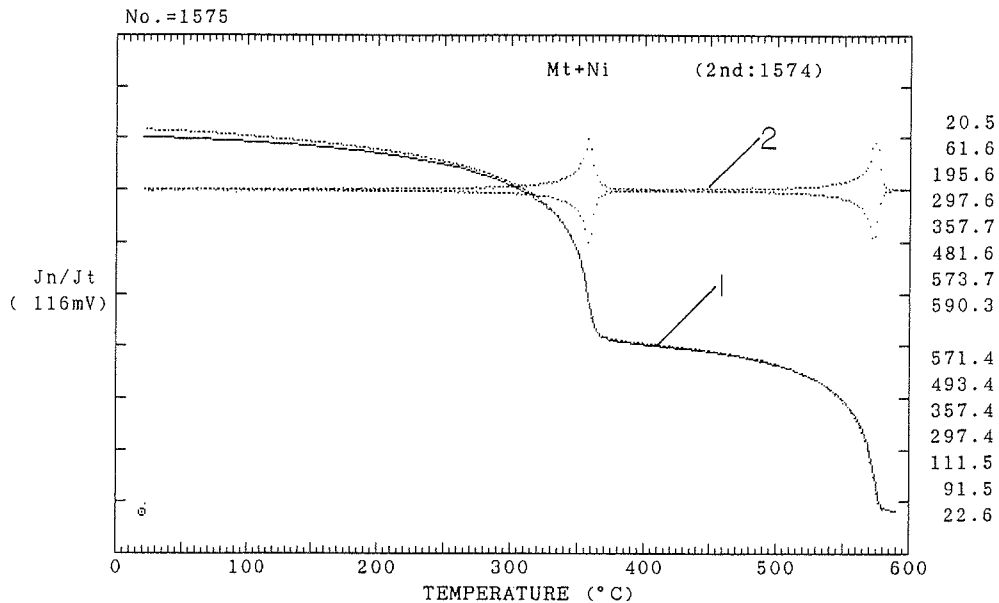


図4 磁気天秤による測定結果の例

- 1: ニッケル・マグネタイト混合試料の熱磁化曲線
2: 本文参照

図中，曲線 1 が試料の熱磁化曲線で，実線は加熱過程，点線は冷却過程のものであるが両曲線にほとんどずれはない。曲線 2 は，2°C 毎の変位計出力値の差を同一画面にプロットしたもので（縦軸の単位とは無関係），曲線 1 の傾斜変換点に対応してピーク（冷却過程では負のピーク）が得られる。図の右端に 100°C 間隔毎に検出された最大ピークのしめす温度が表示されている。このうち 357.7, 573.7 と表示された値がそれぞれニッケルとマグネタイトのキュリーポイントである。ただし小数点以下は意味がなく，温度の測定精度は ±1°C である。また，このように自動的に検出した値はノイズをひろっている可能性もあるため，実際には測定

後、曲線1と曲線2とを見くらべてキュリーポイントを決定している。

テフラ試料では、チタノマグヘマイトの分解（小島・小島，1972）など測定中の試料の変化により、加熱過程と冷却過程の熱磁化曲線にずれが生ずることが多い。本研究でとりあつかった試料では、このずれはわずかであり、2度のくりかえし測定によりほぼ一致した可逆的の曲線がえられた。これはアニール効果により、風化に際して生成したチタノマグヘマイトがほぼ完全に分解消滅したことをしめすものと考えられる。したがってキュリーポイントは、2nd runの加熱曲線からもとめた。なお、測定に要する試料の最少量は、試料の磁化強度にもよるが、一般には約30mgである。

IV 結 果

1) 重鉱物組成

重鉱物分析結果を表1，図5にしめす。

まず軽石層・火山砂層についてみると、すでに岡田（1983）で報告された結果と同様に、角閃石を主体として鉄鉱物をとめない、これに層準によって斜方輝石、カミングトン閃石あるいは黒雲母が加わっている。

斜方輝石は、下部火山灰層の構成層では10%以上の含有率で検出され、とくにDNPでは40%に達している。DAP₁ (16%)→DAP₂ (10%)→DNP (40%)という斜方輝石含有率の変遷は、関金町荒田における分析結果（DAP₁=19%，DAP₂=10%，DNP=41%）ときわめてよく一致している。これに対して最下部火山灰層では、一般に斜方輝石含有率は低い。とくにapm, fpm1, fpm2, fpm3, gpm, hpm1, hpm2の各層にはまったくふくまれないかあるいは検出されても1%以下である。このような中で、cpm, dvs, dpm2, evs, fvsは、5%程度以上の斜方輝石をふくむ点で特徴的であるといえる。また、bvs2では、3層準に細分して分析した結果、下部（試料No. 8）と中部（No. 9）では1%強であるのに上部（No. 10）では24%の斜方輝石が検出され、肉眼的には一様であっても岩質にはあきらかな違いがみとめられる。

つぎにカミングトン閃石は、町田・新井（1979）によって指摘されたように、hpm1を特徴づける鉱物で、10%をこえるような高率で含有されるテフラはほかにはない。hpm1では、下部（No. 47）で8%，中部（No. 48）で20%，上部（No. 49）で22%のカミングトン閃石をふくみ、下部と中・上部とでは含有率があきらかに異なる。

角閃石はいずれも緑色角閃石であるが、apmにはこのほかに青色味をおびた角閃石がふくまれ、きわめて特徴的である。

雲雲母は、あくまで目安的な比較ではあるが、apm, dpm2, fpm3, hpm2の各軽石層に多くふくまれる。

1枚のテフラ層を、複数の層準に細分して採取した試料の分析結果からは、上述のbvs2やhpm1の例のほかにも微量の斜方輝石の有無はあるが、一般には鉱物組合せおよび含有率ともに同一層内での大きな違いはみとめられない。

以上に述べてきた軽石層・火山砂層に対して、ローム層の重鉱物組成には鉄鉱物が卓越する傾向がある。とくにapm, bvs2, cpm, evs, fpm3の各層の上位のロームでは重鉱物の80~90%を鉄鉱物が占めている。しかしながら、同様なローム層であってもdpm2, fpm1, gpm, hpm1, hpm2のそれぞれの上位のロームや下部火山灰層中のロームではこの特徴は顕著ではない。ま

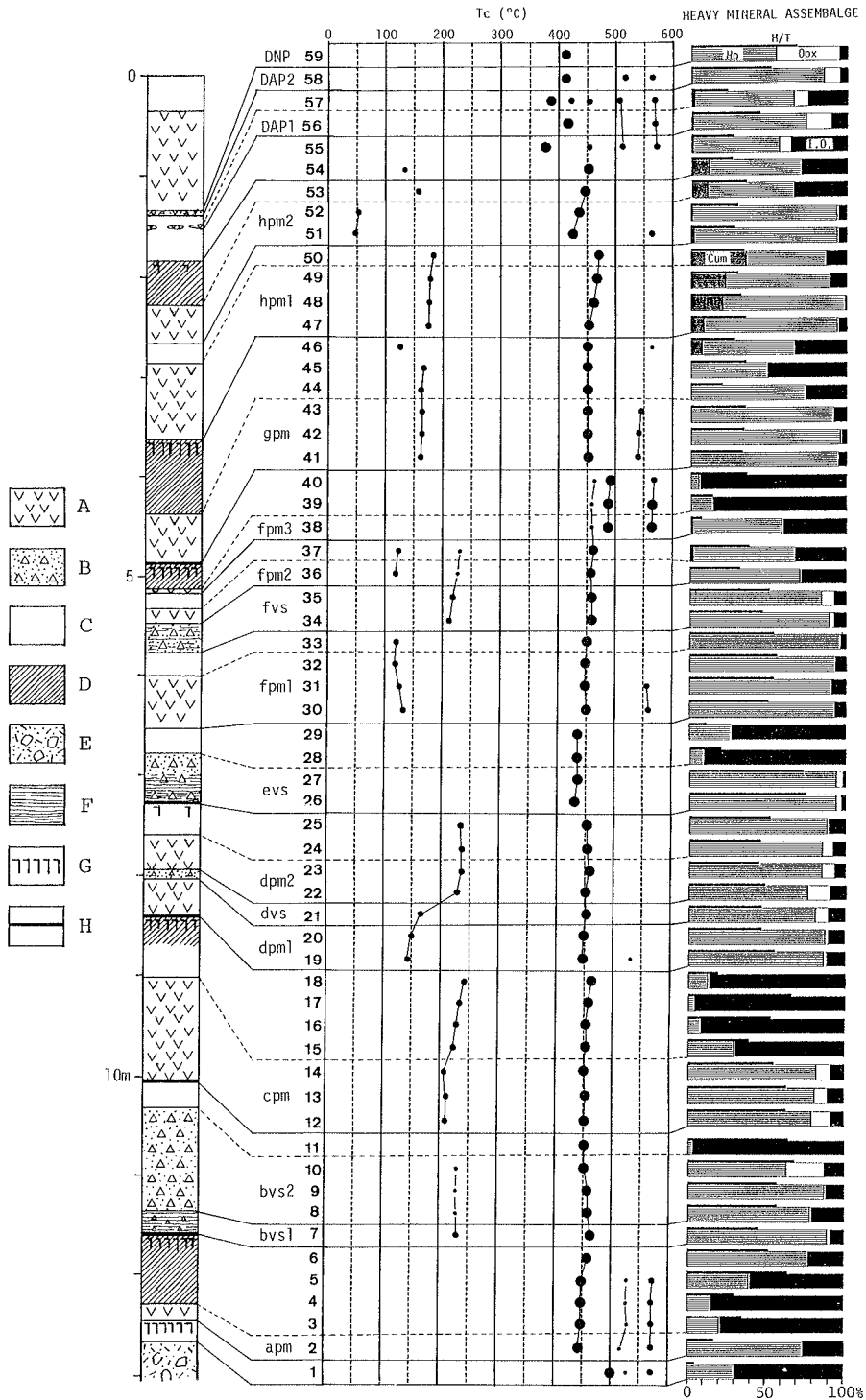
表1 大山最下部火山灰層の模式露頭における層序とテフラの諸特性

層序区分	岩相	層厚 (cm)	試料 No.	重鉱物分析結果								熱磁気分析結果 キュリーポイント (°C)				肉眼的特徴
				量比 (%)	重鉱物組成 (%)*				鑑定数	黒雲母	主相	副成分				
					Cum	Ho	Opx	I.O.				α相		β相		
表土		40~80														
下部火山灰層	DNP	軽石	105	59	67	—	53.7	40.1	6.2	309	C	411	—	—	粘土化つよい。下部に偏平につぶれた暗紫色軽石(長径 8cm)	
	DAP ₂	軽石	5	58	51	0.4	83.7	10.1	5.8	277	C	411	—	515 563	岩片多い	
		ローム	10	57	23	1.9	62.6	9.3	26.2	214	R	385	—	421 451 505 566	褐色	
大	DAP ₁	軽石	0~5	56	44	0.8	71.6	16.3	11.3	240	C	415	—	568	岩片多い。連続性悪い	
		ローム	35~40	55	27	1.1	54.6	16.3	11.3	264	R	376	—	453 510 571	褐色。下部 15 cm は淡褐色。下位と斜交	
		ローム		54	26	10.9	59.4	—	29.7	229	R	451	133	—		
山		ローム	40~60	53	35	9.5	54.9	—	35.6	253	R	445	157	—	赤色化つよい	
	hpm2	軽石	40~46	52	30	0.9	91.5	0.9	6.7	224	A	435	50	—	風化顕著。金色黒雲母めだつ	
		ローム	24~25	50	34	34.7	50.9	—	14.4	222	R	424	45	563		
最	hpm1	軽石	90~100	49	30	22.3	67.3	—	10.5	220	A	466	176	—	斜長石、岩片めだち白色に風化した黒雲母あり	
				48	32	19.7	77.5	—	2.8	218	C	460	175	—	軽石の粒径 1~3 cm	
				47	35	7.6	84.8	0.9	6.7	223	C	451	174	—	基底に径 3~6 cm の粗粒軽石・岩片ならぶ	
下		ローム	90~100	46	28	6.5	59.1	—	34.4	247	—	450	124	(564)	クラック帯	
				45	35	—	48.8	—	51.2	205	R	450	165	—	赤色化つよい	
				44	20	—	73.3	—	26.7	215	R	450	161	—		
最	gpm	軽石	60~70	43	35	—	90.7	—	9.3	215	C	450	163	544	斜長石・岩片(径 1.5 cm)・金色~白色風化黒雲母めだつ	
				42	34	—	95.2	0.5	4.3	208	C	450	162	540	基底に Mn・Fe の集積薄層	
				41	33	—	94.4	—	5.5	216	C	450	160	538		
下		ローム	22~30	40	36	—	4.9	0.5	94.7	206	R	491	—	(463) 566	クラック帯	
				39	14	—	14.4	—	85.6	216	C	486	—	(456) 564	赤色化つよい	
	fpm3	軽石	4~8	38	7	1.0	57.1	0.5	41.4	210	A	486	—	(459) 563	暗褐色細粒軽石。風化顕著	
下		ローム	19~30	37	38	1.7	64.5	—	33.8	231	—	460	123	(229)	赤色化よわい	
	fpm2	軽石	10~18	36	32	—	69.7	0.9	29.4	231	R	455	118	(226)	細粒軽石(径 1 cm)。風化顕著	
	fsv	火山砂	30~33	35	51	—	83.6	7.7	8.7	207	R	458	218	—	灰白色火山礫質火山灰。水平ラミナやや発達。しまりつよい	
			34	47	—	88.9	3.1	8.0	226	R	458	211	—	基底に 3 cm 径の粗粒岩片ならぶ		
	ローム	25~30	33	54	—	96.2	—	3.8	208	—	450	119	—	赤色化よわい		

部	fpm1	軽石	40~65	32 31 30	56 54 51	— — —	93.3 91.0 93.1	— — —	6.7 9.0 6.9	223 222 233	R C C	446 447 449	117 124 131	(491) 555 558	上部 15 cm は火山砂まじり 風化顕著
		ローム	30~40	29 28	11 20	— —	27.4 9.4	— —	72.6 90.6	212 212	C C	434 434	— —	— —	よわいクラックあり 赤色化よわく粘質
火	evs	火山砂	58~60	27 26	73 75	— —	93.5 94.0	4.2 2.8	2.3 3.3	216 215	R R	435 430	— —	— —	fvs に似る。乾くと白っぽい。下半部に水平ラミナ発達 基底に Mn・Fe の集積薄層
		ローム	38~42	25 24	52 46	— —	87.7 85.1	1.4 6.9	10.9 7.9	220 202	C R	451 453	233 235	— —	赤色化よわい
山	dpm2	軽石	20~52	23 22	45 49	— —	85.1 75.8	8.2 13.7	6.7 10.5	208 219	A A	456 450	235 228	— —	最大径 (軽石 3 cm, 岩片 7 cm)
	dvs	火山砂	13~15	21	47	—	80.7	8.0	11.3	238	R	452	164	—	暗色火山礫質火山灰
灰	dpm1	軽石	40~47	20 19	47 55	— —	87.4 85.9	2.2 1.7	10.4 12.4	231 241	C C	447 447	148 141	— (531)	岩片 (径 3 cm) dpm2 より多い 基底に Mn・Fe の集積層 (5 cm)
		ローム	74~78	18 17 16 15	19 66 53 39	— — — —	11.6 4.0 8.0 29.2	0.5 0.4 — 0.5	87.9 223 92.0 70.3	215 — 212 219	— — — —	461 455 452 452	240 233 228 223	— — — —	クラック帯 上半部赤色化つよい cpm との境界なみうつ
層	cpm	軽石	110~ 125	14 13 12	55 63 63	— — —	81.9 81.3 79.4	8.8 8.3 12.3	9.3 10.0 8.3	226 229 228	R C C	449 451 450	207 210 209	— — —	粘土化のため軽石粒の外形不明瞭 基底に Mn・Fe の集積薄層
		ローム	30~37	11	64	—	3.2	—	96.8	217	R	450	—	—	赤色化よわい。bvs2 との境界なみうつ
層	bvs2	火山砂	122~ 130	10 9 8	68 57 57	— — —	63.4 86.6 77.5	23.9 1.4 1.4	12.7 12.0 21.1	213 217 213	R C C	450 456 456	230 230 230	— — —	暗灰色火山礫質火山灰 塊状無層理。しまりつよい
	bvs1	火山砂	33~43	7	45	—	89.2	1.8	9.0	222	C	461	230	—	水平ラミナ発達。基底に Mn・Fe の集積層 (2.5 cm)
層		ローム	78~79	6 5 4 3	52 64 30 35	— — — —	76.5** 39.3** 15.0** 20.2**	— 0.5 — 0.5	23.5 60.2 85.0 79.3	217 209 207 208	A C R R	456 446 445 445	— — — —	(525) 570 (524) 569 (526) 569	クラック帯 赤色化つよい
	apm	軽石	20~30	2	17	—	73.5**	—	26.5	234	A	441	—	(516) 569	風化顕著。岩片多い
	ローム	35	1	5	—	30.1	—	69.9	206	A	499	—	(525) 569	クラック帯	
		溝口凝灰角礫岩	50 m ⁺												

* Cum : カミングトン閃石 Ho : 角閃石 Opx : 斜方輝石 I.O. : 鉄鉱物

** 青色味をおびた角閃石をふくむ



た、ロームの赤色化の程度とも明確な関連はないようにみえる。ここでは含有率は別にして、ローム層の鉱物組合せは直下の軽石層あるいは火山砂層のそれと類似することが多い点に注目しておきたい（たとえば apm, cpm, dpm2, fpm1, gpm, hpm1, DAP₁ とそれぞれの直上のローム層）。とくに apm の上位のローム (No. 3~6) からは、apm に特有な上述の青色味をおびた角閃石が例外なく検出されるし、また hpm1 の場合は直上のローム (No. 50) およびさらに hpm2 の上位のローム (No. 53, 54) からもカミングトン閃石が高率で検出される。ただし、DAP₁ 直下のローム層 (No. 55) には、それよりも下位層準で含有率の低い斜方輝石が16%もふくまれ特異である。

重鉱物量比については、軽石層・火山砂層、ローム層をとうしてとくに系統的な特徴はみられないが、evs や DNP では量比が高く、fpm3 ではきわめて低い。

2) 強磁性鉱物の熱磁気特性

各試料中にふくまれる強磁性鉱物についての熱磁気分析結果を表1および図5にしめす。熱磁化曲線からキュリーポイント (Tc) を読み取る際に、主成分の強磁性鉱物がしめすと考えられるもっとも明瞭な Tc, これに準じる副成分の Tc, および曲線にわずかに傾斜変換点がみとめられる程度の微量成分の Tc に分類した。これらは表1では、それぞれ主相の欄、副成分の欄、同欄の () 内にしめし、図5では大・中・小の黒丸でしめた。

最下部火山灰層の軽石層・火山砂層についての分析結果をみると、主相の Tc は多くの場合 450°C 付近にきわめてよく集中しており、これだけではテフラ層相互の識別あるいは同定の示標とはなりがたい。しかしながら、副成分として共存する強磁性鉱物の Tc には個々の層に特有な値がみとめられ、これに着目すれば識別・同定が可能となる。この副成分の Tc には、主相の Tc より低温側にくるものと高温側にくるものがあり、いずれも同一層中ではばらつくことがなく安定した値をしめす。低温側の Tc は、50°C 付近 (hpm2), 100~150°C (dpm1, fpm1, fpm2), 150~200°C (dvs, gpm, hpm1), 200~250°C (bvs1, bvs2, cpm, dpm2, fvs1) といった明瞭に異なる温度範囲に分布している (図6-1~4)。apm, evs, fpm3 には低温側の Tc はみとめられない (図6-5, 6)。いっぽう、主相よりも高温側の Tc は apm, fpm1, fpm3, gpm にみとめられ、これらのうち gpm では 450°C 付近に、ほかは 550°C 以上にある。

以上のような熱磁気特性をもつ最下部火山灰層の軽石層・火山砂層のなかで、もっとも特異なテフラは fpm3 である。fpm3 からは 459°C, 486°C, 563°C に Tc が検出され、このうち後2者がともに主相をなしている (図6-6)。このような Tc をしめす熱磁化曲線のパターンは、“大山火山灰層”構成層の中できわめて異質である。evs もまた、副成分をとまわず主相のみからなること、その主相の Tc も 430~435°C とやや低いことで特徴的である。

最下部火山灰層のローム層にふくまれる強磁性鉱物の熱磁気特性は、若干の例外 (No. 53, No. 46) はあるが、直下の軽石層・火山砂層のそれとほとんど一致している。すなわちローム

図5 大山最下部火山灰層模式露頭の柱状図および熱磁気分析結果と重鉱物分析結果

柱状図 (A: 軽石 B: 火山砂 C: ローム D: 赤色化ローム E: 凝灰角礫岩 F: ラミナ G: クラック帯 H: Fe・Mn 集積層。テフラ名の右の数字は試料番号)

Tc (黒丸の大・中・小: それぞれ主成分, 副成分, 微量成分の強磁性鉱物のキュリーポイント)

重鉱物組成 (H/T: 重鉱物量比 Cum: カミングトン閃石 Ho: 角閃石 Opx: 斜方輝石 I.O.: 鉄鉱物)

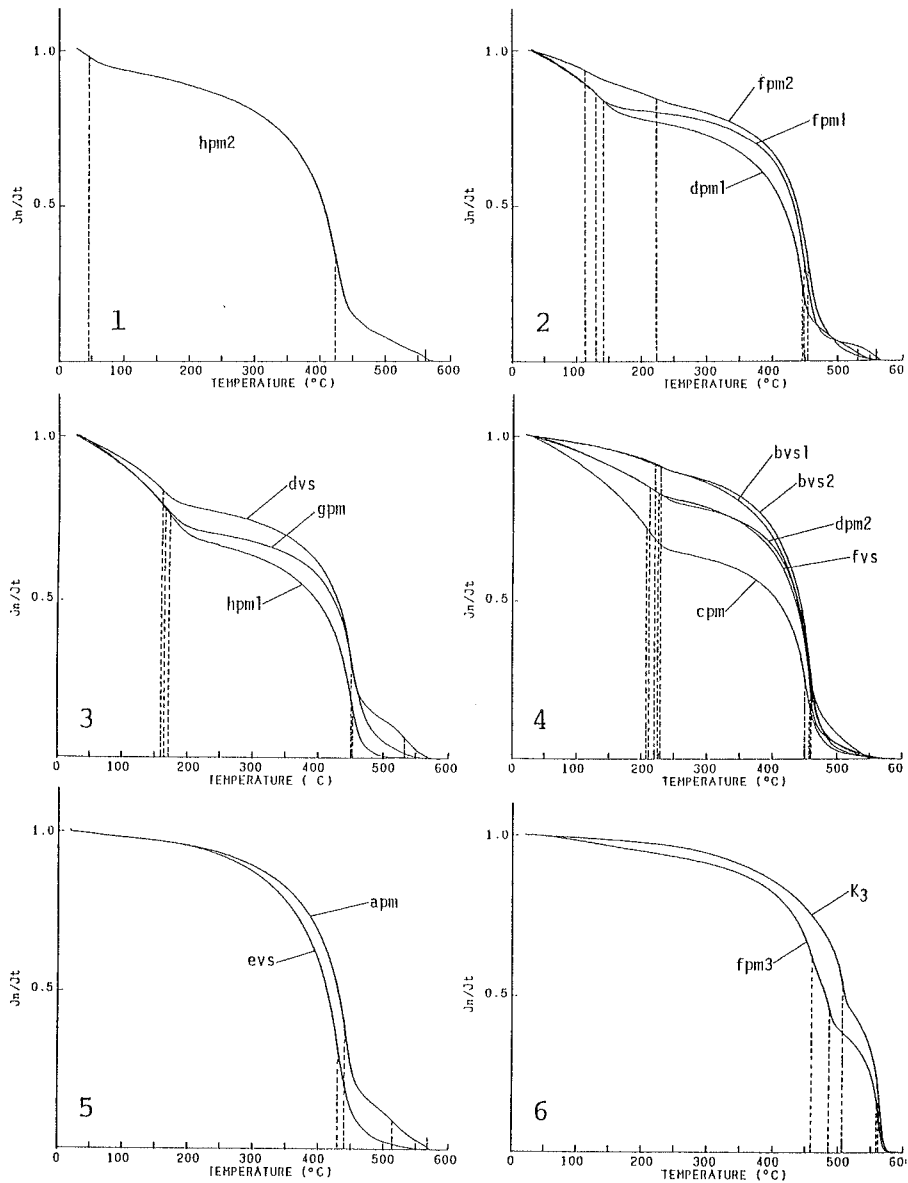


図6 強磁性鉱物の熱磁化曲線 (点線はキュリーポイントの位置)

1 : hpm2 (試料 No. 51)

2 : dpm1 (No. 19), fpm1 (No. 30), fpm2 (No. 36)

3 : dvs (No. 21), gpm (No. 41), hpm1 (No. 47)

4 : bvs1 (No. 7), bvs2 (No. 8), cpm (No. 12), dpm2 (No. 22), fvs (No. 34)

5 : apm (No. 2), evs (No. 26)

6 : fpm3 (No. 38), K_3 (関金町大山池)

層とその直下のテフラ層には同種の強磁性鉱物がふくまれるということをしめしている。とくに直下の軽石層や火山砂層の層厚が薄い場合には、さらに下位の層準に由来する強磁性鉱物が混入しているようにみえる。たとえば層厚 4~8 cm の fpm3 の上位のローム (No. 39, 40) では、490°C 付近 (主相)、565°C 付近 (副成分) のほかに 460°C 付近にもわずかながら Tc が検出される。これらは fpm3 から同様に検出されるが、460°C 付近に Tc をもつ強磁性鉱物は fpm2 および fvs の主相をなすものであって、これが上位層準まで混入しているものと考えられる。

以上のような最下部火山灰層についての分析結果に対して、下部火山灰層ではやや異なった点がみられる。その一つは、DAP₁、DAP₂、DNP の各軽石層中にふくまれる強磁性鉱物の主相の Tc は 410~415°C の範囲にあり、最下部火山灰層の場合よりあきらかに低いという点である。また、ローム層についてみると、試料 No. 55 や 57 では 4~5 点の Tc が検出され、ふくまれる強磁性鉱物の種類が複雑であることをしめしている。

V 結果に対する検討

重鉱物分析では分類しなかったが、最下部火山灰層にふくまれる強磁性鉱物には、チタノマグネタイト系列 (β相) に属するものとイルメナイト—ヘマタイト系列 (α相) に属するものがある。hpm1 の 1/2~1/4 mm フラクション中の強磁性鉱物を持ちいて、実体顕微鏡下でこの両者を選別し、それぞれについて熱磁気測定をおこなった。その結果と、選別前の測定結果とをくらべると、hpm1 中の強磁性鉱物の主相は β相であり、副成分は α相であることがわかる (図 7)。このことから他の層準に副成分としてふくまれる強磁性鉱物も、主相よりも低温側に Tc をもつものは α相であると考えられる。したがって、最下部火山灰層中の強磁性鉱物の主相の Tc が 450°C 付近に一定しており、副成分の Tc が層準によって異なるということは、β相の化学組成は一定しているのに対して α相のそれは変化していることを意味している。すなわちテフラ層の特性は β相よりも α相につよくあらわれるということが結論できる。

重鉱物分析結果から、bvs2 および hpm1 ではそれぞれの層内に岩質の変化がみとめられたが、熱磁気分析結果にはこれに対応するような明確な変化はみられない。ただし、hpm1 では下部から上部へ主相の強磁性鉱物の Tc が高くなる傾向があり、これが岩質の変化に対応するものなのかもしれない。

つぎに、これまでのべてきたような強磁性鉱物の熱磁気特性や重鉱物組成の特徴が、水平的にどの程度安定するものなのかを検討した。このため模式地から南東 1 km に位置する、北谷川対岸の台地上の露頭 (図 1 の Loc. 2) をえらび、そこに露出するテフラについて分析をおこない比較・検討をおこなった (表 2)。ここでは下位から cpm, dpm1, dvs, dpm2, evs, fpm1, gpm, hpm1 の各テフラを、相互の累重関係に

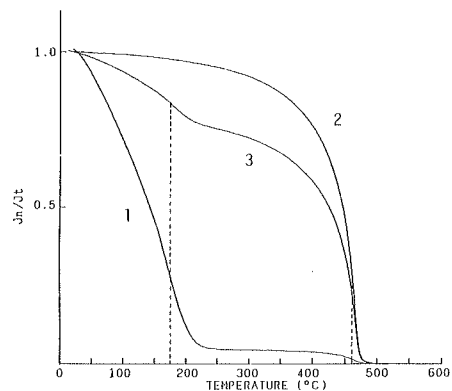


図 7 鏡下で選別した hpm1 層中にふくまれる強磁性鉱物の α相と β相の熱磁化曲線
1: α相 2: β相 3: 選別前の試料

表2 模式地南東1kmの露頭 (Loc. 2) における層序とテフラの特性

層序区分	岩相	テフラ名		層厚 (cm)	重鉱物分析結果						熱磁気分析結果*** キュリーポイント (°C)				
		1*	2**		量比 (%)	重鉱物組成 (%)				鑑定数	黒雲母	主相	副成分		
						Cum	Ho	Opx	I.O.				α相	β相	
下部	軽石	DNP	DNP	56	68	—	79.8	15.2	5.0	223	C	404 (-7)	—	—	
	ローム			48	23	2.9	80.1	4.4	12.6	206	C	448	—	371 501 564	
	火山砂	?		16											
最下	ローム			38	36	2.4	81.6	—	16.0	205	A	442	—	500 (566)	
	軽石	hpm1	hpm2	19	27	0.5	86.9	1.9	10.7	206	A	421 (-3)	50 (0)	560 (-3)	
			hpm1	43	38	13.1	77.0	0.9	8.9	213	C	464 (0)	160 (-14)	—	
ローム			50	17	5.5	55.8	0.5	38.2	217	A	449	129	—		
下部	軽石	gpm	gpm	15~20	25	—	84.2	—	15.3	215	A	451 (+1)	170 (+7)	540 (0)	
	ローム		(fpm3)	15~20	22	0.5	16.7	1.4	81.4	210	C	489 (+3)	—	565 (+2)	
	ローム質軽石	fpm2?	fpm2	15	21	0.9	63.8	—	35.3	224	R	463 (+8)	130 (+12)	—	
火山	火山砂	fvs?	fpm1	35~45	38	0.5	76.4	0.5	22.7	216	R	456 (+7)	130 (0)	—	
	軽石	fpm1		35	35	—	93.8	—	6.3	227	C	449 (0)	129 (0)	560 (+2)	
	ローム			35~40											
山	火山砂：ラミナ	evs	evs	40~70	83	—	84.8	—	11.4	211	R	440 (+5)	—	—	
	ローム			20~30											
灰	軽石	dpm2	dpm2	28	44	—	78.9	1.3	19.7	228	A	452 (0)	239 (+4)	—	
	火山砂	dvs	dvs	25	50	—	90.6	1.3	8.0	224	C	457 (+5)	173 (+9)	—	
層	軽石	dpm1	dpm1	30	48	—	81.4	1.4	17.2	221	C	451 (+4)	164 (+16)	529 (-2)	
	ローム			65											
	軽石	cpm	cpm	40 ⁺	22	—	91.3	0.4	8.3	242	A	452 (+2)	230 (+20)	—	

* 露頭における同定

** 分析結果による同定

*** 〈 〉内は模式地における測定値との差

もとづき露頭において識別できる。fpm1 の直上には、fvs, fpm2 とおもわれる火山砂と風化の著しいローム質軽石がみられるが、みだれた堆積状態のためはっきりしない。これらの最下部火山灰層をおおって、露頭最上部に下部火山灰層がのる。表層の軽石層は DNP に同定されるが、その下位はローム層と所属不明の火山砂で DAP₂ や DAP₁ はすくなくとも肉眼的には識別できない。

表 2 から、重鉄物組成では鉄物組合せをみるかぎり、各テフラとも模式地での組成とよく一致していることがわかる。しかしながら組成比では一致しない点がみられ、とくに模式地で特徴的に 8~14% の斜方輝石をふくんでいた cpm, dvs, dpm2 からはわずか 1% 程度の斜方輝石しか検出されない。このことは、鉄物組成のみを示標とするテフラの同定・対比の限界をしめしている。いっぽう、熱磁気分析結果では、模式地において層準ごとにみられた強磁性鉄物の特性の相違が、本露頭においても対応よくみとめられる。また、露頭で対比が不明であったり、肉眼的に識別不可能であった層準について、強磁性鉄物の Tc の特徴から、以下のような同定がなされた。

① fvs に同定されるのではないかと思われた fpm1 直上の火山砂は、 α 相の Tc が 129°C であることに加えて、560°C にも β 相の Tc がもともることから、fvs ではなく fpm1 そのものに同定される。つまりこの火山砂は、模式地で fpm1 の上部 15 cm にみられる火山砂まじりの層準 (表 1 参照) に対比される。

② fpm1 の上位のローム質軽石層と gpm とのあいだに位置するローム層からは、489, 565°C という fpm3 に固有な強磁性鉄物の Tc が検出される。したがってこの層準には fpm3 の混入が確認される。

③ これらの同定の結果、fpm1 の上位のローム質軽石層は検出される Tc の値に若干の相違があるが fpm2 に対比され、したがって本地点では fvs を欠除することがわかる。

④ hpm1 の上部 19 cm は、その下位の軽石より濃い色調の黄褐色を呈している。この層準から採取した試料の分析結果は、hpm1 の特徴とは大きくことなり、検出される Tc の値 (50, 421, 563°C) から hpm2 に同定される。

以上のような結果から、各テフラ層について本地点と模式地とでの Tc 測定値の差をもとめた (表 2)。同一層について複数の測定値がある場合には、その測定値でしめされる温度幅に本地点での測定値が入っていれば差は ± 0 とし、はずれていれば温度幅両端のうち近い方の値との差をもとめた。この差の値が小さければ、強磁性鉄物の熱磁気的性質は水平的に一定していることになる。表 2 からわかるように主相や副成分の β 相の Tc ではこの値は小さく、ほぼ 8°C 以内におさまっている。これに対して、 α 相の Tc ではこの差が 20°C に達する場合 (cpm 層) があり、 β 相よりも安定性に欠ける。したがって α 相の Tc はテフラごとに固有な値があるが、そのばらつきは比較的大きく、同定・対比の示標にする場合にはこの点の注意が必要である。

ところで、下部火山灰層のローム層には、ふくまれる強磁性鉄物の種類が複雑であることをしめす多数の Tc がもともる層準があった。DAP₁ の直下 (試料 No. 55) および DAP₁ と DAP₂ のあいだにくるローム (No. 57) がそれである。この両層準の試料からえられる Tc のうち、500°C 以上の高温部にある 2 点の Tc は、三瓶火山を給源とする三瓶木次軽石 (K₃) に特有な値と一致する。大山東麓地域では、K₃ は DAP₁ の下位にくることがわかっており (岡田・谷本, 1986)、これらのローム層中に K₃ 由来の強磁性鉄物が混入していると考えて矛盾しない。

また、同じ両試料から検出される 380°C 付近の Tc は、阿蘇カルデラを給源とする阿蘇 4 火山灰 (Aso-4; 町田ほか, 1985) にふくまれる強磁性鉱物によるものであると考えられる (木下・岡田, 1989)。下部火山灰層のローム層で検出される多数の Tc は、このような外来のテフラの混入をしめすものと考えられるが、この問題については稿を改めて報告する予定である。

最下部火山灰層中でもっとも特徴的な fpm3 は、多くの点で三瓶木次軽石 (K₃) に似ている。図 6-6 には、Loc. 2 の南方の関金町大山池で採取した K₃ の熱磁化曲線を fpm3 のそれと重ねてしめしてある。重鉱物量が 7% 程度ときわめて低いこと、黒雲母に富みわずかながら斜方輝石をもつこと、高温部に強磁性鉱物の主相の Tc が 2 点検出されることなどは、K₃ の特性にはほぼ一致している。ただし、2 点もとまる Tc のうち低い方の Tc は 486°C であって、2 点とも 500°C 以上にくる K₃ の場合よりやや低い。こうしたわずかな相違はあるが、両者の類似性は fpm3 が三瓶火山起源であることをしめしているものと思われ、今後同火山地域との対比が問題となる。

VI ま と め

1) 模式地における大山最下部火山灰層は、10層の軽石層 (apm, cpm, dpm1, dpm2, fpm1, fpm2, fpm3, gpm, hpm1, hpm2)、5層の火山砂層 (bvs1, bvs2, dvs, evs, fvs) およびこれらに介在するローム層で構成されている。

2) 軽石層・火山砂層にふくまれる強磁性鉱物には、チタノマグネタイト系列 (β 相) のものとイルメナイト—ヘマタイト系列 (α 相) のものがある。このうち β 相は主成分鉱物 (主相) としてすべてのテフラにふくまれており、また apm, fpm1, fpm3, gpm には主相とは異なる組成の β 相が副成分あるいは微量成分としてふくまれている。 α 相は apm, evs, fpm3 からは検出されず、これら以外の層準に副成分鉱物としてふくまれる。

3) 主相の β 相がしめすキュリーポイント (Tc) は、全層準を通じて 450°C 付近にきわめて良く集中しており、最下部火山灰を噴出した活動中、強磁性鉱物の主相の化学組成はほとんど変化せず一定していたことをしめしている。

4) これに対して α 相の組成変化は大きく、検出される Tc はテフラ層ごとに特定の温度範囲に分布している。したがって、 α 相の熱磁氣的性質はテフラの同定・対比の示標として有効であると結論できる。ただ同一テフラを水平に追跡した場合、Tc の値のばらつきは β 相より α 相で大きくなることがみとめられるので、同定・対比に際してはこの点に注意を必要とする。

5) 最下部火山灰層のなかでもっとも特徴的なテフラは、本研究で新たに識別された fpm3 層である。fpm3 にみられる強磁性鉱物の熱磁氣特性は、大山火山を噴出源とするテフラのそれとは異質であり、重鉱物組成の特徴とともにむしろ三瓶火山起源のテフラに類似している。

6) ローム層にみられる重鉱物組成および強磁性鉱物の熱磁氣的性質は、その下位、とくに直下の軽石層あるいは火山砂層のもつそれらと類似していることが多い。つまり軽石層や火山砂層にふくまれる重鉱物・強磁性鉱物は直上のローム層まで連続してふくまれるのが一般的にみとめられる。したがってローム層のある特定の層準にこれらと異なる特性が検出された場合には、肉眼的に識別ができなくてもその層準に別のテフラの混入を確認できることになる。

文 献

- 会田信行 (1978) ハヶ岳新期火山灰層の自然残留磁化と強磁性鉱物. 第四紀研究, 17 (2), 86-94.
- 赤木三郎 (1973) 大山火山の地質. 日本自然保護協会調査報告, 45, 3-92.
- 灰田宗孝・近 桂一郎 (1974) 自動トルク計, 磁気天秤用のダンピング回路. 固体物理, 9 (8), 43-45.
- 鱒崎 有・関沢和子 (1972) 自動振磁気天秤回路の半導体化. 固体物理, 7 (7), 46-48.
- 蒜山原団地研究グループ (1975) 岡山県蒜山原の第四系 (1). 地球科学, 29, 153-160.
- 木下直美・岡田昭明 (1989) 風化火山灰 (いわゆるローム) に混在する阿蘇4火山灰の検出 (演旨). 日本第四紀学会講演要旨集, 19, 54-55.
- Kobayashi, K. and Momose, K. (1969) Thermomagnetic analysis of ferromagnetic minerals in pumice as a method in tephrochronology. Etudes sur le Quaternaire dans le Monde, VIII Congres INQUA, 959-962.
- 近藤 務 (1983) 石狩低地帯南東部の後期更新世テフラ, Aafa, Mpa の強磁性鉱物の熱磁氣的性質—対比への適用例—. 地球科学, 37 (4), 205-218.
- 町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層—分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑誌, 88 (5), 33-50.
- ・———・百瀬 貢 (1985) 阿蘇4火山灰—分布の広域性と後期更新世示標層としての意義—. 火山, 第2集, 30 (2), 49-70.
- Maenaka, K. (1971) Ferromagnetic minerals in volcanic ash of the Osaka Group in Japan. J. G. R., 76, 2798-2802.
- and Yokoyama, T. (1972) Ferromagnetic minerals involved in volcanic ash-layers of Osaka Group, typical Plio-Pleistocene sediments in South-West Japan. The Quaternary Research, 11 (4), 270-280.
- 三位秀夫・赤木三郎 (1967) 5万分の1土地分類基本調査「米子」. 経済企画庁, 72 p.
- Momose, K., Kobayashi, K., Minagawa, K. and Machida, M. (1968) Identification of tephra by means of ferromagnetic minerals in pumice. Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 1275-1292.
- 小嶋 稔・小嶋美都子 (1972) 岩石磁気学. 共立全書, 220 p.
- Okada, S. (1980) Thermomagnetic properties of ferromagnetic minerals in the Shikotsu Pumice Fall Deposit distributed in Southwest Hokkaido, Japan. J. Fac. Education Tottori Univ., Nat. Sci., 29 (2), 173-183.
- 岡田昭明 (1983) 大山火山灰層の層序—とくに強磁性鉱物のキュリーポイントによる最下部火山灰の対比—. 鳥取大学教育学部研究報告, 自然科学, 32, 39-51.
- ・谷本慎一 (1986) 大山下部火山灰層から新たに発見された2枚の降下軽石層について. 鳥取大学教育学部研究報告, 自然科学, 35 (1-2), 33-42.
- 大西郁夫 (1977) 岡山県蒜山原層の花粉化石. 第四紀研究, 16 (2), 83-86.
- 佐治孝之・田崎和江・赤木三郎・麻田 齊 (1975) 大山火山降下堆積物の層序とその特徴. 地球科学, 29, 199-210.
- 山陰第四紀研究グループ (1969) 山陰海岸地域の第四系. 地団研専報, 15, 354-376.
- 塩谷真一 (1987ms) 大山南東域における第四紀火山噴出物の層序学的研究. 鳥取大学教育学部卒業論文.
- 津久井雅志 (1984) 大山火山の地質. 地質学雑誌, 90 (9), 643-658.
- Yoshida, M. (1980a) Identification of tephra by magnetic measurement (1) — Akahoya and Miike pumice with special attention to grain size effect—. The Quaternary Research, 19, 39-47.
- (1980b) Identification of tephra by magnetic measurement (2) — Application to tephra in south-western Kyushu—. The Quaternary Research, 19, 99-106.

Abstract

For identification and correlation of the Quaternary tephra layers, the thermomagnetic analysis of ferromagnetic minerals in the lowermost member of the Daisen Tephra formation was performed and discussed. At the type locality, the member is composed of 10 layers of pumice fall, 5 layers of lapilli bearing coarse volcanic ash and 12 intercalated layers of weathered volcanic ash soil. Fifteen nine samples were collected from

the various horizons of these layers.

Two kinds of ferromagnetic mineral, ilmenite-hematite series mineral (α phase) and titanomagnetite series mineral (β phase), are distinguished. The main phase minerals (β phase) of ferromagnetic mineral in almost all the samples have the same Curie points of $440 \sim 460^\circ\text{C}$. On the contrary, the Curie points of the β phase minerals ($45 \sim 240^\circ\text{C}$) characteristically show the unique narrow range for each tephra layer. Although the values of the latter are a little scattered horizontally, Curie points of both α and β phases are uniform vertically in one unit of tephra. Consequently, such thermomagnetic properties of α phase mineral as above mentioned are available for identification and correlation of tephra layers.

The heavy mineral assemblage of each sample was also analyzed and discussed.