

## 強磁性鉱物の熱磁化特性によるテフラの同定

岡 田 昭 明\*

Shomei OKADA: Identification of Quaternary tephras by thermomagnetic  
properties of ferromagnetic minerals

(1998年3月30日 受理)

### はじめに

強磁性鉱物のキュリー温度によるテフラの同定は Momose et al. (1968) に始まり, Maenaka (1971), 会田 (1978, 1994), Okada (1980), Yoshida (1980a; b), 近藤 (1980), 岡田 (1996) などにより, 日本の各地で成果をあげてきた。しかしながら, 火山ガラスの屈折率や斑晶鉱物の化学組成による同定法などと比べれば, 十分に普及した方法となっているとはいえない。

鳥取県の大山火山を噴出源とするテフラ群は, 下位から大山最下部火山灰層, 下部火山灰層, 中部火山灰層, 上部火山灰層に層序区分される。これらを構成するテフラの内容は, 大山を中心としてその東西南北の各地域で少しずつ異なるが, とくに東方域にもっとも多数のテフラが分布している。

大山東方域のテフラは, 降下軽石を主とし, 火山礫まじり粗粒火山灰 (以下火山砂と呼ぶ) および風化火山灰土 (以下ロームと呼ぶ) で構成される。肉眼的に特徴的な大山上部火山灰層を除くと, これらは各々よく似た層相を呈し, 野外観察のみでは同定・対比が困難である。岡田ほか (1990) は, 大山最下部火山灰層の模式露頭にみられる各テフラについて, 有色鉱物組成と強磁性鉱物の熱磁化特性を検討し, とくに強磁性鉱物のキュリー温度がテフラによって固有の値をもち, 同定・対比に有効であることを示した。同様な結果は大山上部火山灰層についても明らかにされている (岡田, 1994)。

大山最下部火山灰層から上部火山灰層までのすべてがそろって観察できる露頭は数少ない。その数少ない一つとして倉吉市の西方, 大栄町西高尾に西高尾ダムの建設に伴って出現した露頭がある。そこでは, 溝口凝灰角礫岩を覆って大山最下部火山灰層, 下部火山灰層, 中部火山灰層, 上部火山灰層が累重している。小論では, これらを構成するテフラを試料として用い, その熱磁化特性を明らかにするとともに, 強磁性鉱物のキュリー温度がテフラの同定示標としてきわめて有効であることを改めて述べる。

本露頭の存在を教えていただき, 露頭調査と試料採取に協力いただいた東伯町立東伯中学校の寺谷直美教諭にお礼申し上げます。

\* 地学教室

Department of Earth Sciences, Faculty of Education, Tottori University, Tottori 680-8551, Japan

## テフラの産状

西高尾ダム露頭は、大山の北東約 16 km にあり (図 1)、溝口凝灰角礫岩がつくる火山麓扇状地の末端部に位置している。西高尾ダム建設の際に掘削されてできた切り通し露頭で、標高 180 m ほどのやや開析された台地上にある (図 2)。露頭は高さ最大約 12 m、南東に面し、北東—南西方向に約 200 m にわたって連続している。この北東端のスケッチを図 3 に示す。

露頭最下部には、径 10 数 cm ~ 数 10 cm の風化の進んだデイサイト礫をもつ溝口凝灰角礫岩 (Mz) が約 1 m の厚さで顔を出しており、その表層 25 cm は赤色味の強いロームに漸移している。これを覆って全層厚約 12 m の大山テフラ群が、ほぼ水平に累重し、平坦な現地表面をつくっている。露頭中位の灰白色火山砂層と、その上位の黄褐色軽石層がそれぞれ層厚 70 cm、180 cm とひとときわ厚く、目につく。黄褐色軽石層は、その厚さと本露頭の位置からみて大山倉吉軽石 (DKP) であるとしてまず間違いない。灰白色火山砂層の下位には、5 枚の軽石層と 3 枚の火山砂層およびそれぞれの間にくるローム層が見られるが、ローム層はいずれも赤色味が強く、この特徴からこれらが大山最下部火山灰層に相当するものであると判断できる。

最下部火山灰層を構成する上記 5 枚の軽石層は、下位のものから層厚 9, 28, 15, 18, 20 cm で、いずれも薄く、風化も著しい。とくに上位 2 枚の軽石層は、ともに断続していて連続性が悪い。下から 2 枚目と 3 枚目の軽石層の間には、三枚の火山砂層がはさまれる。このうち中位のは、層厚 35 cm とやや厚く、かつ主に粒径の違いによる水平な縞目が発達していて特徴的である。上位の火山砂にも同様な縞目が見られるが、中位のものより薄く (層厚 20 cm)、ブロック

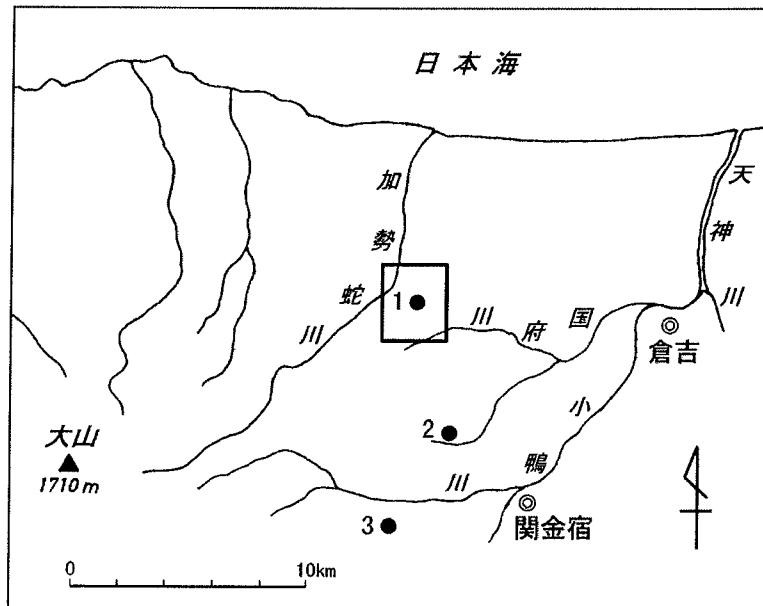


図 1 調査露頭の位置 (黒枠は図 2 の範囲.)

1: 大栄町西高尾ダム露頭 2: 倉吉市大河内露頭 3: 関金町荒田露頭



図2 西高尾ダム露頭の位置と周辺の地形  
(国土地理院発行2万5千分の1地形図「伯耆浦安」を使用)

状に分割されて断続的に続いている。下位の火山砂（層厚 15 cm）はロームをはさみず下から2枚目の軽石層の直上に位置し、縞目は見られない。後述するように、これら5枚の軽石層と3枚の火山砂層は、最下部火山灰層の模式露頭である倉吉市大河内（図1，地点2）のcpm, dpm1, gpm, hpm1, hpm2の各軽石層およびdvs, evs, fvsの火山砂層にそれぞれ対比されるものである。なお、赤色ローム層の層厚は、下位から62, 30, 55, 67, 45, 55, 95 cmであって、本露頭における最下部火山灰層の全層厚は、約5.7 mになる。

はじめにふれた灰白色火山砂は、最下部火山灰層の上位にあり、中部火山灰層構成層である大山倉吉軽石層の下位にあることから、下部火山灰層の構成層で大山の北麓に分布する名和火砕流に対比されるものと考えられる。ただし、本露頭の灰白色火山砂は、火砕流本体ではなくむしろ降下堆積物であって、津久井（1984）や荒川（1984）が指摘した“火砕流周辺の薄層部”にあたるものと考えられるため、以下では名和火山砂（Nw）と呼ぶことにする。

名和火山砂とその上位の大山倉吉軽石との間には、下位からローム層（層厚 20 cm）、軽石層

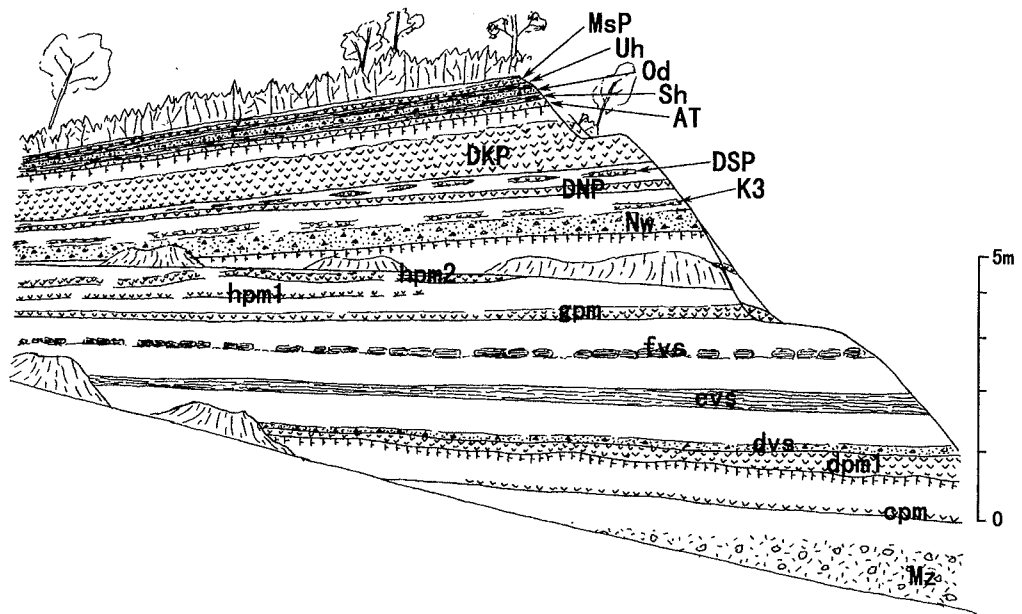


図3 西高尾ダム露頭のスケッチ  
(凡例は図5参照)

(10 cm), ローム層 (40 cm), 軽石層 (23 cm), ローム層 (25 cm), 軽石層 (5 cm) およびローム層 (15 cm) がはさまれる。ローム層はいずれも褐色ロームで, 上から2枚目のものだけにクラックの発達認められる。三枚の軽石層のうち中位のもは比較的厚く水平的な連続性が良いが, 上下の2枚はごく薄く, 連続性も悪い。また, 上位2枚を構成する軽石粒は黄褐色を呈し, 大山倉吉軽石層の軽石粒とよく似ているのに対して, 下位層の軽石粒は淡灰色で粒子の外形は不明瞭である。下位層のこの特徴は, 名和火山砂のすぐ上に位置するという層位関係も含めて, 大山山麓における三瓶木次軽石 (K<sub>3</sub>) の産状と一致している (津久井・柵山, 1981; 岡田・谷本, 1986)。

下位の軽石層が三瓶木次軽石である可能性が強いことから, これと大山倉吉軽石には含まれる2枚の軽石層は, 大山東麓の標準層序 (岡田ほか, 1995) に照らし合わせて, それぞれ下位から大山生竹軽石 (DNP), 大山関金軽石 (DSP) であると考えられる。大山関金軽石は大山倉吉軽石とともに大山中部火山灰層を構成するものであり, 名和火山砂, 三瓶木次軽石および大山生竹軽石は下部火山灰層の構成層である。なお, 下部火山灰層にはこのほか大山荒田軽石1 (DAP<sub>1</sub>), 大山荒田軽石2 (DAP<sub>2</sub>) があるが, これらは大山東地域に分布するものの南部に限られるため (岡田・谷本, 1986), 本露頭には存在しないと考える良い。

大山倉吉軽石層の上位には, クラックの発達した褐色ローム (層厚 35 cm) があり, これを覆って一見して大山上部火山灰層と判断できる一連のテフラが露頭最上部ののっている。これらは下位から始良 Tn 火山灰 (AT: 層厚 25 cm), 下のホーキ火山砂 (Sh: 35 cm), オドリ火山砂 (Od: 20 cm), 上のホーキ火山砂 (Uh: 35 cm), 弥山軽石 (MsP: 25 cm) であり, 最上部は 35 cm のロームが覆って現地表をつくっている。

## 強磁性鉱物の熱磁化分析とテフラの同定

ロームを除く全テフラから試料を採取し、磁気天秤による熱磁化分析をおこなった。試料は水中で良くもみほぐしたあと、篩い分けにより1/4~1/8 mmの粒径部を選別し、この粒径部から棒磁石に吸着する粒子を集めた。吸着粒子には単体の強磁性鉱物のほかに、細粒の強磁性鉱物を取り込んだ斜方輝石などの有色鉱物も含まれるが、これらを一緒に分析に供試した。熱磁化分析は、室温から600°Cまでの温度の変化に対する試料の磁化変化を測定するもので、得られた熱磁化曲線からキュリー温度を求めた。以上を含め、試料処理法、熱磁化分析法の詳細については岡田ほか(1990)に従った。

図4に各テフラについて得られた熱磁化曲線を示す。これらはすべて2回繰り返し測定を行ったうちの、2回目の加熱過程曲線である。図中、実線の曲線が西高尾ダム露頭からの試料の測定結果で、点線の曲線は、大山東麓における標準試料についての測定結果である。各曲線から求めたキュリー温度の位置を曲線から垂直におろした破線で示してある。標準試料の測定結果には、中部火山灰層および下部火山灰層については、それらが模式的に分布する関金町荒田の露頭(図1, 地点3)からの試料の測定結果を、また、最下部火山灰層については、その模式露頭である倉吉市大河内で得られた結果(岡田ほか, 1990)のうち、層相や層序に矛盾がなくかつ熱磁化曲線がもっとも良く一致するものを示してある。野外での同定が確実な大山上部火山灰層についても、比較のために倉吉市大河内露頭(最下部火山灰層模式露頭の約100 m東)の試料についての測定結果(岡田, 1994)を示した。各試料から得られたキュリー温度の値を表1にまとめて示す。

図4に明らかなように、西高尾露頭の試料の分析結果は、標準試料の分析結果と、熱磁化曲線のパターンもキュリー温度もきわめて良く一致している。図5に露頭柱状図に対応させて各テフラのキュリー温度を図示した。黒丸と白丸は、それぞれ西高尾露頭の試料のキュリー温度と標準試料のキュリー温度を示しており、同一試料中に複数種の強磁性鉱物が含まれる場合は、主成分の強磁性鉱物(主相)のキュリー温度を大きな丸、副成分の強磁性鉱物(副相)のそれを小さな丸で表現してある。主相、副相ともに、西高尾露頭の試料と標準試料のキュリー温度の、層準間での変化はほぼ完全に一致しているといえる。

以上の結果、西高尾露頭の最下部火山灰層構成テフラは、下位からcpm軽石層、dpm軽石層、dvs火山砂層、evs火山砂層、fvs火山砂層、gpm軽石層、hpm1軽石層およびhpm2軽石層にそれぞれ矛盾無く同定できる。最下部火山灰層から得られるキュリー温度の特徴については、すでに岡田ほか(1990)や岡田(1996)で述べたが、今回の測定結果から改めて列挙すれば以下ようになる。

(1) 主相の示すキュリー温度は450°C付近に集中するが、evs火山砂とhpm2軽石ではやや低く、fvs火山砂ではやや高い傾向がある。

(2) 副相として得られるキュリー温度は層準ごとに大きく変化し、個々のテフラの特徴づけに大きく役立つ。ただし、evs火山砂だけは、得られるキュリー温度が一つで、副相に相当する成分をもっていない。

(3) hpm2軽石層がもつ副相のキュリー温度は、50°C以下という際だって低い温度を示し、逆にcpm軽石層やfvs火山砂層には200°Cを越えるときに高いキュリー温度の副相が含まれている。

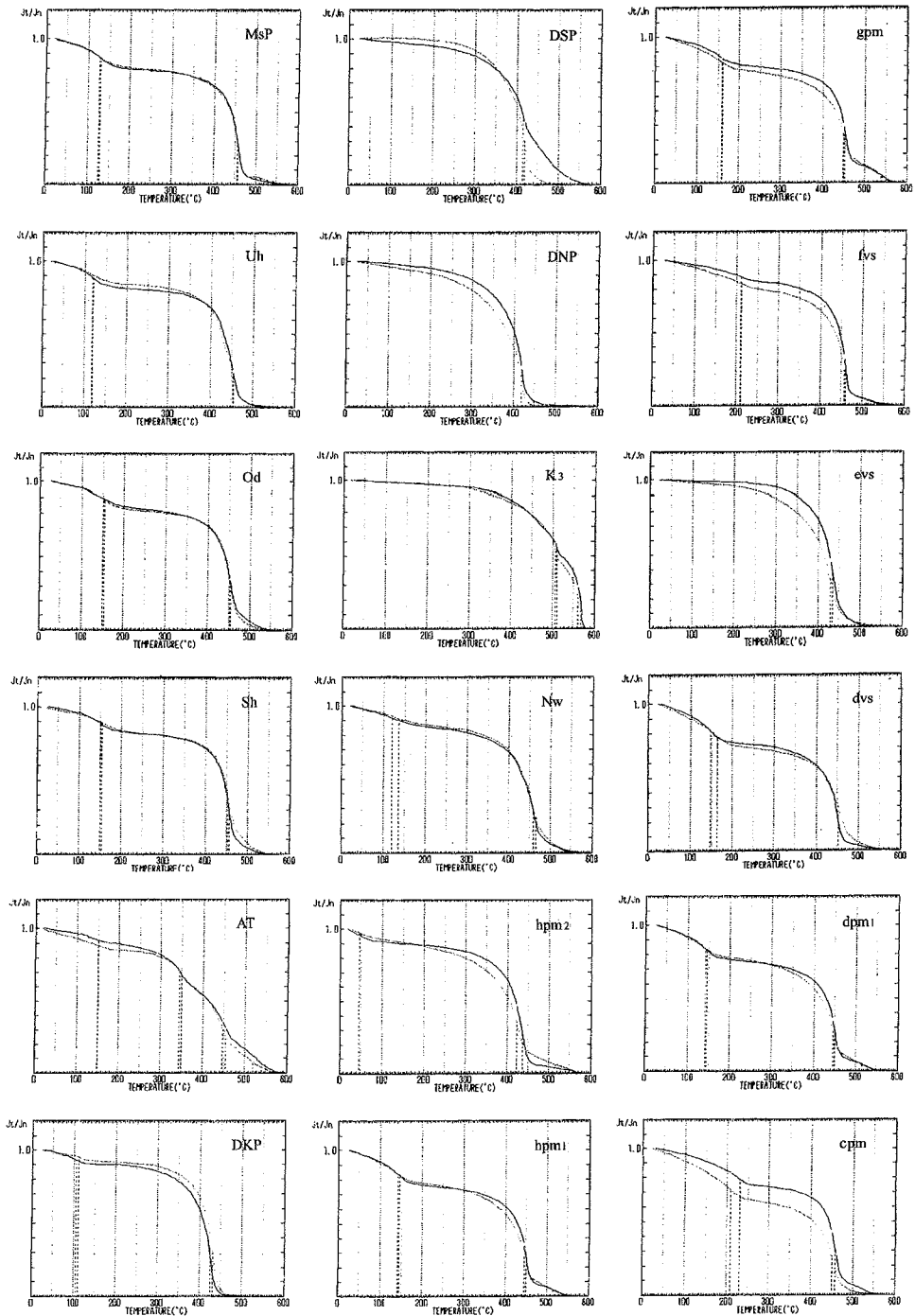


図4 各テフラ中に含まれる強磁性鉍物の熱磁化曲線  
 実線：西高尾ダム露頭の試料 点線：標準試料  
 (出線から降ろした破線はキュリー温度の位置を示す)

表1 西高尾ダム試料(上段)と標準試料(下段)中の強磁性鉱物のキュリー温度

テフラ	キュリー温度 (°C)					
	<200	200-300	300-400	400-500	500-550	550<
MsP	129			458		
	126			456		
Uh	120			455		
	119			450		
Od	150			451		
	154			453		
Sh	155			454		
	155			452		
AT	150		350	451	520	
	150		345	447	525	
DKP	105			426		
	110			431		
DSP				415		
				419		
DNP				419		
				415		
K3					511	567
					506	561
Nw	120			459		
	136			465		573
hpm2	45			438		565
	45			422		560
hpm1	170			455		
	174			451		
gpm	161			452	541	
	160			450	538	
fvs		210		460		
		211		458		
evs				435		
				430		
dvs	150			452		
	164			452		
dpm1	145			450	515	
	141			445		
cpm		230		458		
		209		450		

次に、下部火山灰層および中部火山灰層については、露頭調査時に推定された対比に誤りは無かったと結論できる。とくに、岡田・谷本(1986)や岡田ほか(1990)がすでに指摘したように、三瓶木次軽石からは510°Cと560°C付近にキュリー温度が明瞭に求まり、きわめて特徴的であって、同定の確かさを裏付けるものである。また、大山倉吉軽石、大山関金軽石、大

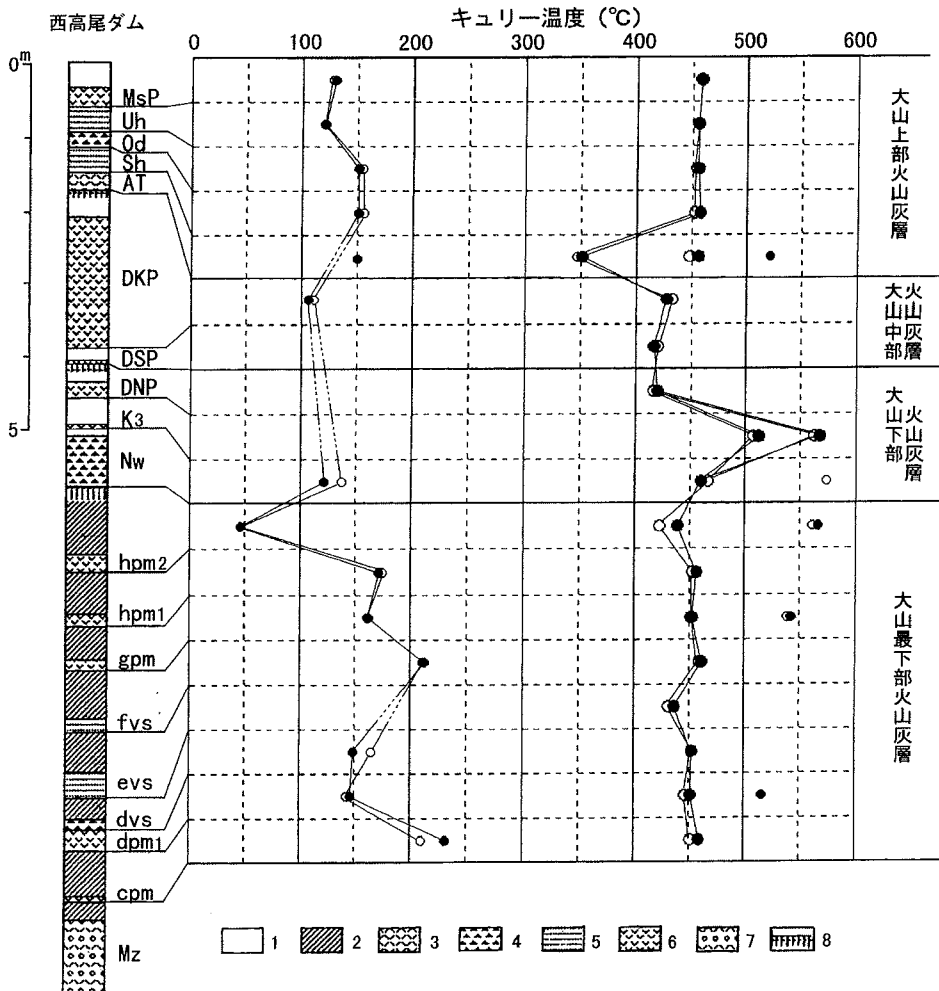


図5 西高尾ダム露頭の柱状図と各テフラ中の強磁性鉄物のキュリー温度

1:ローム 2:赤色ローム 3:ガラス質火山灰 4:火山砂 5:縞目の発達する火山砂 6:軽石  
7:凝灰角礫岩 8:クラック帯

(黒丸は西高尾ダム露頭の試料, 白丸は標準試料)

山生竹軽石に含まれる主相のキュリー温度は、410~430°Cにあつて、他の多くの大山テフラのそれが450°C付近に集中しているのと比べてやや低いことも大きな特徴といえる。なお、この三枚の軽石層のうち大山倉吉軽石層のみに副相が検出されていて、他の二枚の軽石層との識別に役立つように見えるが、場所によっては大山関金軽石層や大山生竹軽石層からも同様な副相が認められる場合がある。

大山上部火山灰層は、野外での同定が容易であるが、それでも上のホーキ火山砂層と下のホーキ火山砂層は、互いに層相が酷似していて、それぞれが単独に露出するような場合には同定は困難となる。岡田 (1994) は、多数の試料の分析結果から、下のホーキ火山砂層とオドリ火山



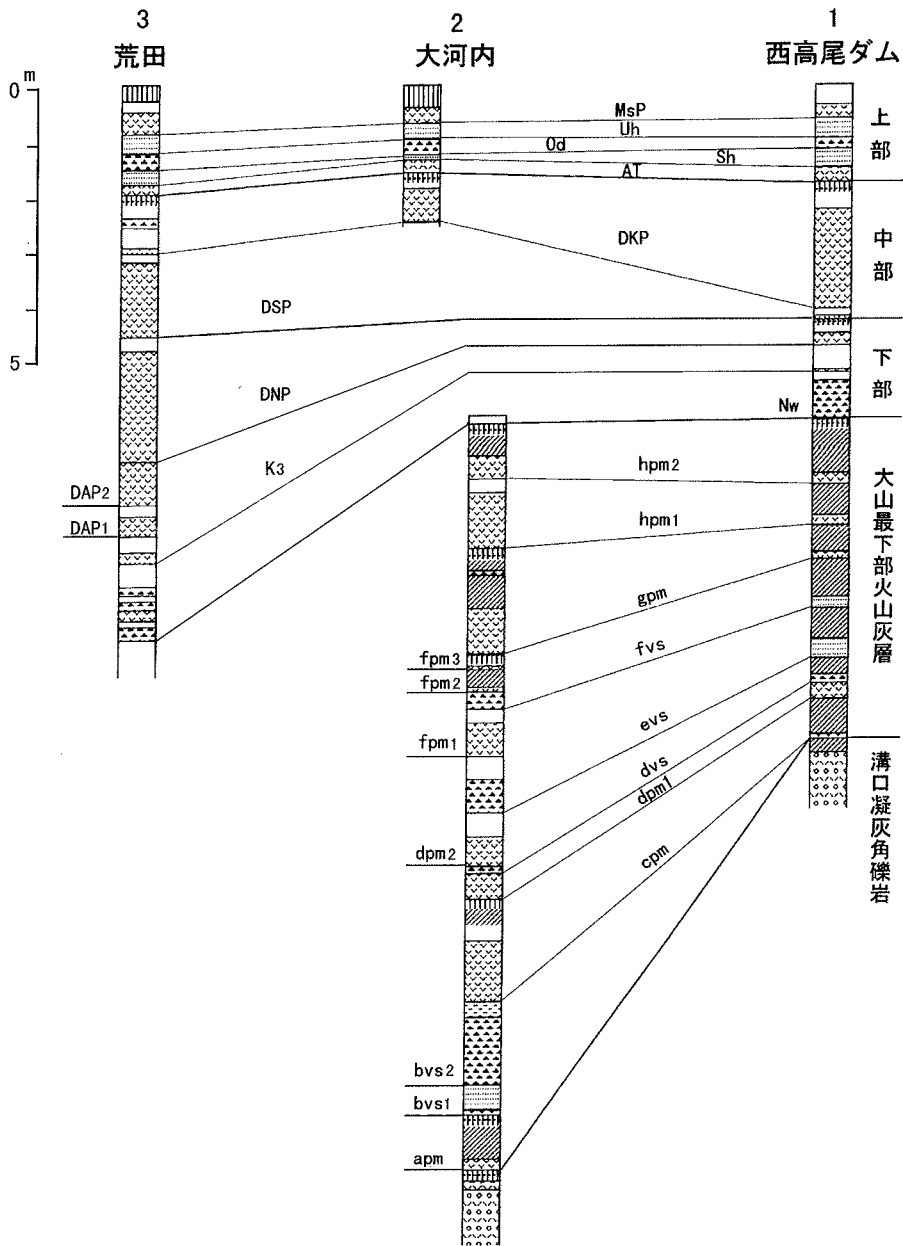


図6 柱状対比図  
(柱状図の位置は図1, 凡例は図5 参照)

砂層の副相のキュリー温度は135~170℃の範囲にあり、上のホーキ火山砂層と弥山軽石層のそれは110~135℃にあつて、前二者と後二者とはこれにより識別可能であることを示した。今回分析した西高尾露頭の場合も、この結果と完全に一致している。上部火山灰層の基底に位置

する始良 Tn 火山灰層からは、4つのキュリー温度が得られるが、このうち、150°Cと450°Cにあるものは直上の下のホーキ火山砂層から混入した強磁性鉱物のものであって、350°Cおよび520°Cのキュリー温度がAT火山灰層本来の強磁性鉱物によるものである(岡田, 1994)。

#### ま と め

以上に述べてきたように、大山東麓に分布するテフラに含まれる強磁性鉱物の熱磁化特性、とくにキュリー温度は個々のテフラ層に固有の値があり、かつそれが分布の拡がりに関わらず水平的に安定していて、優秀な同定示標であるといえる。図6は、小論で取り扱った4露頭の柱状対比図である。最下部火山灰層や大山生竹軽石層、大山関金軽石層などの場合、西高尾ダム露頭はその主要分布地から北方へはずれているため、これらがいずれもきわめて薄くなっていることが読みとれる。小論では触れなかったが、たとえば最下部火山灰層のcpm軽石やhpm1軽石の重鉱物組成は、西高尾ダム露頭の試料では不透明鉱物の含有率が60~95%に達していて、模式露頭での組成と大きく異なっている。薄層であることにより風化が著しく進行した結果であると考えられるが、このように重鉱物組成が同定示標になり得ない場合であっても、キュリー温度を用いれば確実な同定が可能である。

なお、本研究の結果、詳細な分布がまだ十分に解明されていない大山最下部火山灰層の構成層のうち、apm, bvs1, 2, dpm2, fpm1, 2, 3の各テフラの分布範囲は、西高尾ダム露頭が位置する大山北東部へは達していないと結論できる。

#### 引 用 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.
- 会田信行 (1994): 関東地方に分布する“Pm-I”の熱磁気特性. 第四紀, **27**, 11-16.
- 荒川 宏 (1984): 大山火山北西部における火山麓扇状地の形成. 地理評, **57**(12), 831-855.
- 近藤 務 (1983): 石狩低地帯南東部の後期更新世テフラ Aafa Mpfa の強磁性鉱物の熱磁気的性質——対比への適用例——. 地球科学, **37**(4), 205-218.
- Maenaka K. (1971): Ferromagnetic minerals in volcanic ash of the Osaka Group in Japan. J.G.R., **76**, 2798-2802.
- 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.
- 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・谷本慎一 (1986): 大山下部火山灰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.
- 岡田昭明・谷口 恵・木下直美 (1990): 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. 鳥取大学教育学部研究報告(自然科学), **39**(2), 143-160.
- 岡田昭明 (1994): 大山上部火山灰と始良 Tn 火山灰に含まれる強磁性鉱物の熱磁化特性, 第四紀, **26**, 5-16.
- 岡田昭明・佐治孝之・樋口和之 (1995): 大山テフラと蒜山原. 日本地学教育学会第49回全国大会(鳥取)野外研修案内書, 28 p.
- 岡田昭明 (1996): 大山蒜山原軽石(DHP)と大山最下部火山灰 hpm2 軽石について. 鳥根大学地球資源環境学研究報告, **15**, 53-60.
- 津久井雅志・柵山雅則 (1981): 大山山麓における三瓶山起源の降下軽石層の発見とその意義. 地質雑, **87**(8), 559-562.
- 津久井雅志 (1984): 大山火山の地質. 地質学雑誌, **90**(9), 643-658.

- Yoshida, M. (1980): Identification of tephtras by magnetic measurement (1)—Akahoya and Miike pumice with special attention to grain size effect ——. *The Quaternary Research*, **19**, 39–47.
- Yoshida, M. (1980b): Identification of tephtras by magnetic measurement (2)—Application to tephtras in southwestern Kyushu ——. *The Quaternary Research*, **19**, 99–106.

### Abstract

For identificate and correlate the Quaternary tephtras, the thermomagnetic properties of ferromagnetic minerals contained in the Daisen tephtra formation are analysed by means of thermomagnetic balance.

The investigated outcrop is 16km northeast of the Daisen volcano. At the outcrop, ten pumice fall layers and eight ash fall layers are exposed. Almost all these tephtra layers are very thin and remarkably weatherd because the outcrop is situated apart from their distribution axes. The results of the thermomagnetic analysis show that these thin and weathered tephtras are completely correlated to thick and more fresh tephtras of their main distribution area. The thermomagnetic properties of ferromagnetic minerals including the Curie temperature are effective indicators for identification of tephtra layers.

