

大山倉吉軽石における重鉱物組成および 熱磁化特性の層内変化

岡田 昭明*・柴田 敏和**

Shomei OKADA* and Toshikazu SHIBATA**: Vertical variations of heavy mineral assemblage and thermomagnetic property of ferromagnetic minerals in the Dasien Kurayoshi Pumice

(1998年6月5日 受理)

はじめに

テフラ認定の示標として、火山ガラスや斑晶鉱物の屈折率あるいは化学組成などが一般的に利用されている。火山ガラスをほとんど含まない大山テフラの場合、強磁性鉱物の熱磁化特性、とくにキュリー温度がこの示標として有効であることをすでに報告してきた(岡田ほか, 1990; 岡田, 1994; 岡田, 1998 など)。

連続した降灰によるテフラ単層であっても、種々の本質的特性が一定している保証はなく、例えば西田(1991)は大阪層群アズキ火山灰層で、含まれる有色ガラスの化学組成が垂直方向に系統的に変異することを報告している。このような場合、単層内での試料採取層準の違いが同定示標の不一致を生じ、同一テフラでありながら別のテフラであるといった誤認の原因となりかねない。

小論では、大山火山のテフラ群のうちでもっとも厚いものの一つで、広域テフラとして知られる大山倉吉軽石(DKP)を材料に、斑晶鉱物組成と強磁性鉱物の熱磁化特性の、層内垂直変化について検討した。

試料と方法

検討に使用した大山倉吉軽石の試料は、大山の東方約17 kmに位置する倉吉市中野の露頭で採取した(図1, 図2)。ここは、DKPの分布主軸上にほぼあたっている。露頭下部から大山生竹軽石(DNP: 層厚40 cm+)、褐色ローム(32 cm)、大山関金軽石(DSP: 19 cm)、褐色ローム(12 cm)、大山倉吉軽石(DKP: 350 cm)、褐色ローム(50 cm)、偽ホーキ火山砂(Nh: 8 cm)、クラックの発達する褐色ローム(97 cm)、始良Tn火山灰(AT: 18 cm)、下のホーキ火山砂(Sh: 21 cm)、オドリ火山砂(Od: 30 cm)、上のホーキ火山砂(Uh: 20 cm)が累重し、表層はクロボクが覆っている。このほか、NhとATとの間の褐色ローム中に、約20 cmの厚さで軽石粒が散在する層準が見られるが、水平的な連続性は悪く、DKPに由来する軽石の二次的

* 地学教室 Department of Earth Sciences, Faculty of Education, Tottori University, Tottori 680-8551, Japan

** 鴨川中学校 Kamogawa Junior Highschool, Ootorii 25, Sekigane-cho, Tottori 682-0402, Japan

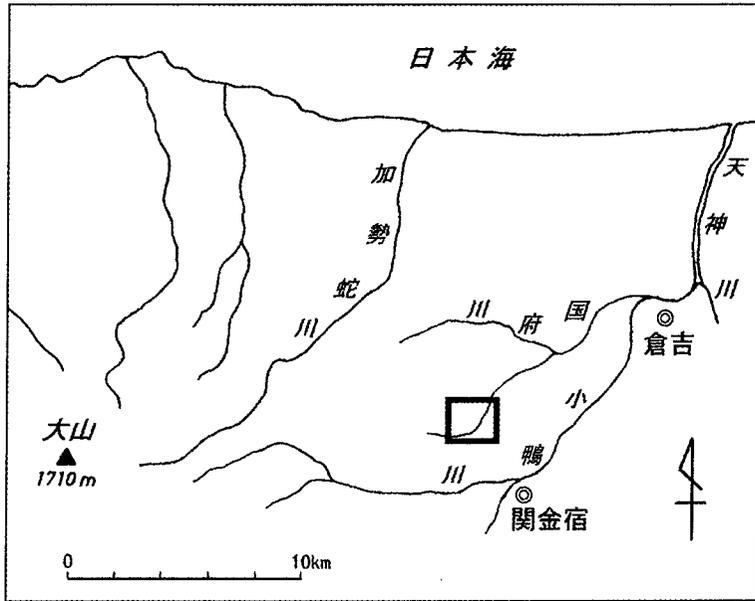


図1 調査地の位置 (黒枠は図2の範囲)

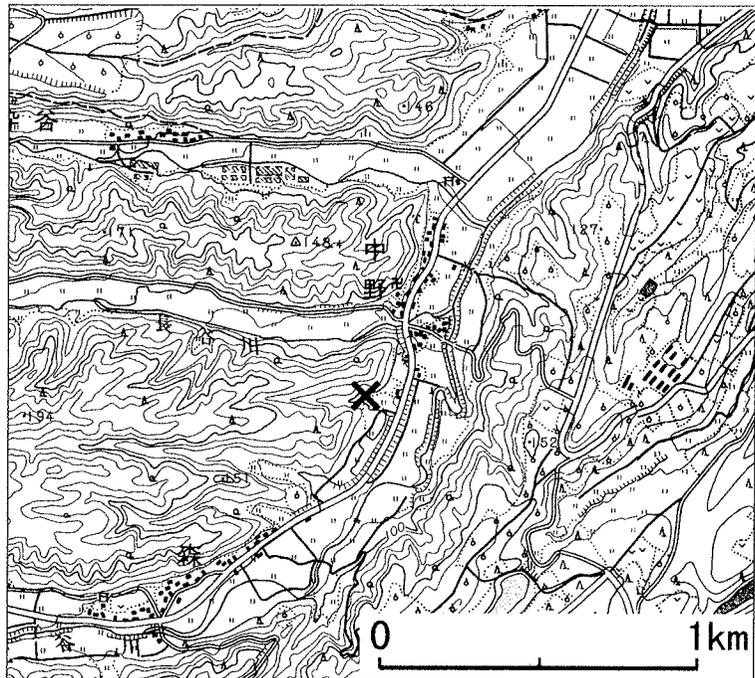


図2 試料採取露頭の位置 (国土地理院発行2万5千分の1地形図「泰久寺」「関金宿」を使用)

堆積物であると判断できる。DKPは層厚350cmで、全体的に黄橙色を呈するが、基底部約15cmは鉄分などの溶脱により白色化している。また、直下には厚さ5cmの灰色火山灰薄層を伴っている。

試料は、灰色火山灰薄層からAT火山灰直下の褐色ロームまでの計19層準から採取し、下位からNo.1, 2…19と試料番号をつけた(図3)。DKPについては、約30cmごとに細分し、計12層準の試料(No.2~13)を得た。このほか、試料No.1は灰色火山灰、No.16はNh火山砂、No.17は再堆積DKP、No.14, 15およびNo.18, 19は褐色ロームからのものである。ただし、薄層であるNh火山砂とローム中に点在する再堆積DKPについては、ロームと完全に分離して採取することは困難であった。

試料は水中で良くもみほぐしたあと、篩い分けにより選別した1/4~1/8mmの粒径部を二分し、いっぽうを重鉱物分析用、他方を熱磁気分析用試料とした。重鉱物分析用試料からは、磁気分離器を用いて有色鉱物および鉄鉱物を集め、試料全量に対する重量%を算出した。有色鉱物と鉄鉱物は、合わせて粒子のままプレパラートにし、偏光顕微鏡下で200粒以上の鉱物種を鑑定して個数%を求め、これを重鉱物組成とした。なお、全試料に黒雲母が含まれるが、処理過程で劈開片に分解するなど正確な定量が困難であるため、重鉱物組成からは除外してある。

熱磁気分析用試料からは、永久磁石に吸着する粒子を集め、磁気天秤により室温から600°Cまでの温度変化に対する試料の磁化変化を測定した。測定は、外部磁場0.1テスラ、加熱・冷却速度約10°C/分で、 2×10^{-1} パスカルまで真空引きしたあとチッソガスを封入した雰囲気中でおこなった。この測定により得られた熱磁化曲線からキュリー温度を求めた。以上のほか、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。

結果と考察

重鉱物組成

重鉱物分析結果を図3に示す。すべての試料に角閃石、斜方輝石、鉄鉱物が含まれ、さらに、Nh火山砂(試料No.16)およびそれより上位の試料からカミングトン閃石が検出される。

DKPの重鉱物含有率は、 $42 \pm 5\%$ と比較的一定している。また、最下部の試料No.2を除くと、角閃石 $58 \pm 3\%$ 、斜方輝石 $35 \pm 5\%$ 、鉄鉱物 $7 \pm 3\%$ であって、組成も一定している。ただし、試料No.2では角閃石が70%と高率であり、斜方輝石は25%と低率で有意に相違している。試料No.2は、鉄分などの溶脱により白色化した軽石を含む。一般に風化の影響は、鉄鉱物の相対的含有率の増加を導くが、試料No.2にはそれが認められないことから、上に述べた組成の相違はマグマの組成変化を示すもので、本質的な特性と考えられる。

DKP直下の灰色火山灰(試料No.1)は、重鉱物含有率7%、角閃石81%、斜方輝石9%、鉄鉱物10%で、試料No.2よりもさらに角閃石が卓越し、斜方輝石は減少している。この火山灰薄層は、ほぼ常にDKPの基底に伴われており、DKPの先駆的噴出物であると考えられる。したがって、試料No.1からNo.2を経てNo.3以上への重鉱物組成の系統的变化は、DKP噴出初期のマグマ組成の変化を反映しているものであろう。

次に、DKPの上位の試料について、下位のものから分析結果を見ていくと、まずDKP直上の褐色ローム(試料No.14, 15)では、鉄鉱物が増加し、斜方輝石がやや減少しているが基本的にはDKPと同様な組成を示す。この上位のNh火山砂(試料No.16)は、8%のカミングト

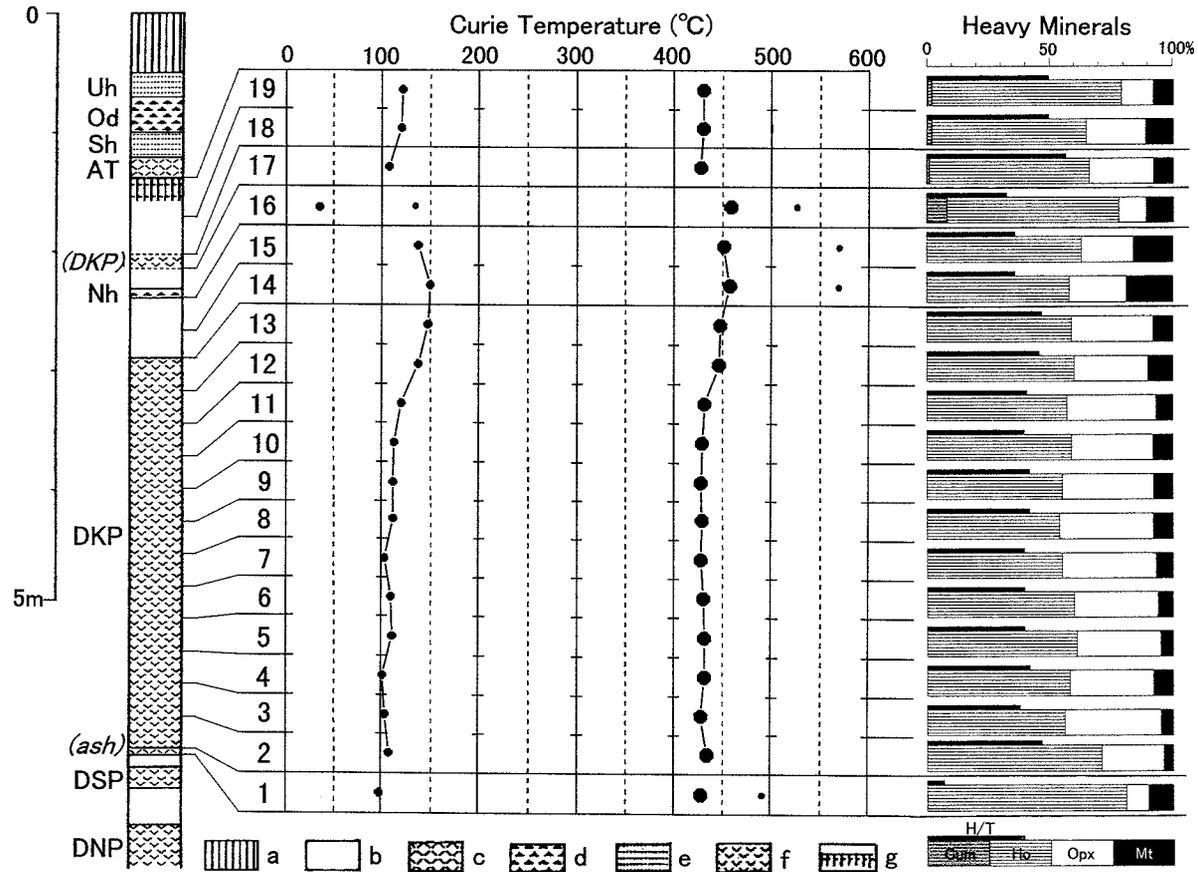


図3 中野露頭の柱状図とキュリー温度測定結果および重鉱物分析結果

(柱状図右の数字は試料番号. テフラの記号および黒丸の大小は本文参照.)

a: クロボク b: 褐色ローム c: 火山灰 d: 火山砂 e: 火山砂 (フォールユニットによる縞目) f: 軽石 g: クラック

H/T: 重鉱物含有率 Cum: カミングトン閃石 Ho: 角閃石 Opx: 斜方輝石 Mt: 鉄鉱物

ン閃石と、11%という低率の斜方輝石で特徴的づけられ、特異である。試料 No. 17 では再び DKP に類似した組成にもどり、この試料層準が DKP の再堆積と判断されたことと矛盾しない。ただし、重鉱物含有率が57%と高い値を示し、わずかながらカミングトン閃石（1%）が含まれるという点は DKP と相違している。この違いは、試料 No. 17 にロームが混ざっていることで説明できる。ローム中にはその直下のテフラから上方拡散した鉱物粒子が含まれることがしばしば認められる。カミングトン閃石は、試料 No. 18, 19 の褐色ロームからも2%程度検出され、これは下位の Nh 火山砂に由来するものと考えられる。また、試料 No. 18, 19 の重鉱物含有率は50%と高率である。したがって、試料 No. 17 にみられる DKP との相違点は、混入したロームによるものと結論できる。

熱磁化特性

図4は、各試料から得られた熱磁化曲線である。いずれも、連続2回の測定をおこない、2回目の加熱過程の曲線を示してある。試料 No. 2~11, 12~13, 14~15 および 18~19 は、それぞれがほとんど一致した曲線となるため、まとめて図示した。すべての試料から2つ以上の複数のキュリー温度 (T_c) が検出され、組成の異なる複数の強磁性鉱物が含まれることを示している。とくに、420~460°C および 150°C 以下にキュリー温度をもつものが、全試料に共通している。前者はチタノマグネタイト (β 相)、後者はヘモイルメナイト (α 相) であると考えられる。

図5は、試料 No. 3, 7, 13 (DKP の下部, 中部, 上部) について、実体顕微鏡下で手選した β 相, α 相それぞれについての熱磁化曲線と、選別前のそれとを比較したものである。実線は加熱過程、点線は冷却過程を示す。ただし α 相の曲線には、除去しきれなかった β 相の影響が現れている。選別後に求まる α 相と β 相のキュリー温度は、選別前に求めた値と極めて良く一致していて、上に述べたように、420~460°C および 150°C 以下にくるキュリー温度がそれぞれ β 相, α 相によるものであることが確かめられる。

各試料から得られたキュリー温度を図3に示す。図3では、複数種の強磁性鉱物のうち、熱磁化曲線のパターンから含有量が多いと判断されるものほど大きな黒丸で示してある。以下では、含有量をもっとも多く主要な強磁性鉱物を主相、ほかを副相とよぶことにする。

DKP からは全層準を通じて β 相1種, α 相1種のキュリー温度が得られ、前者が主相である。試料 No. 2 から No. 11 までは、 β 相のキュリー温度は $429 \pm 4^\circ\text{C}$ に極めて良く集中し、 α 相の場合も $108 \pm 10^\circ\text{C}$ に集中していて、安定した特性であることが示されている。しかしながら、最上部の No. 12, 13 では、 β 相は 445, 446°C, α 相でも 137, 147°C と明らかに高くなる。この高温側に変異したキュリー温度は、DKP 直上の褐色ローム (試料 No. 14, 15) に引き継がれている。この褐色ロームの熱磁化曲線は、高温部で尾を引き、試料 No. 14 では 568°C, No. 15 では 569°C にわずかながらキュリー温度が検出される。

特異な重鉱物組成をもつ Nh 火山砂は、熱磁化特性でも 455°C の主相のほかに、50°C 以下という低温部にキュリー温度をもつ α 相が含まれることで特徴づけられている (岡田, 1996)。試料 No. 16 からは、458°C の主相のほかに 35°C にキュリー温度が認められ、この特徴と一致している。なお、134°C と 525°C にもわずかにキュリー温度が検出されるが、これらは試料に混ざったロームに由来するものであろう。

Nh 火山砂の上位に位置する再堆積 DKP から AT 火山灰直下のロームまでは、類似した熱磁

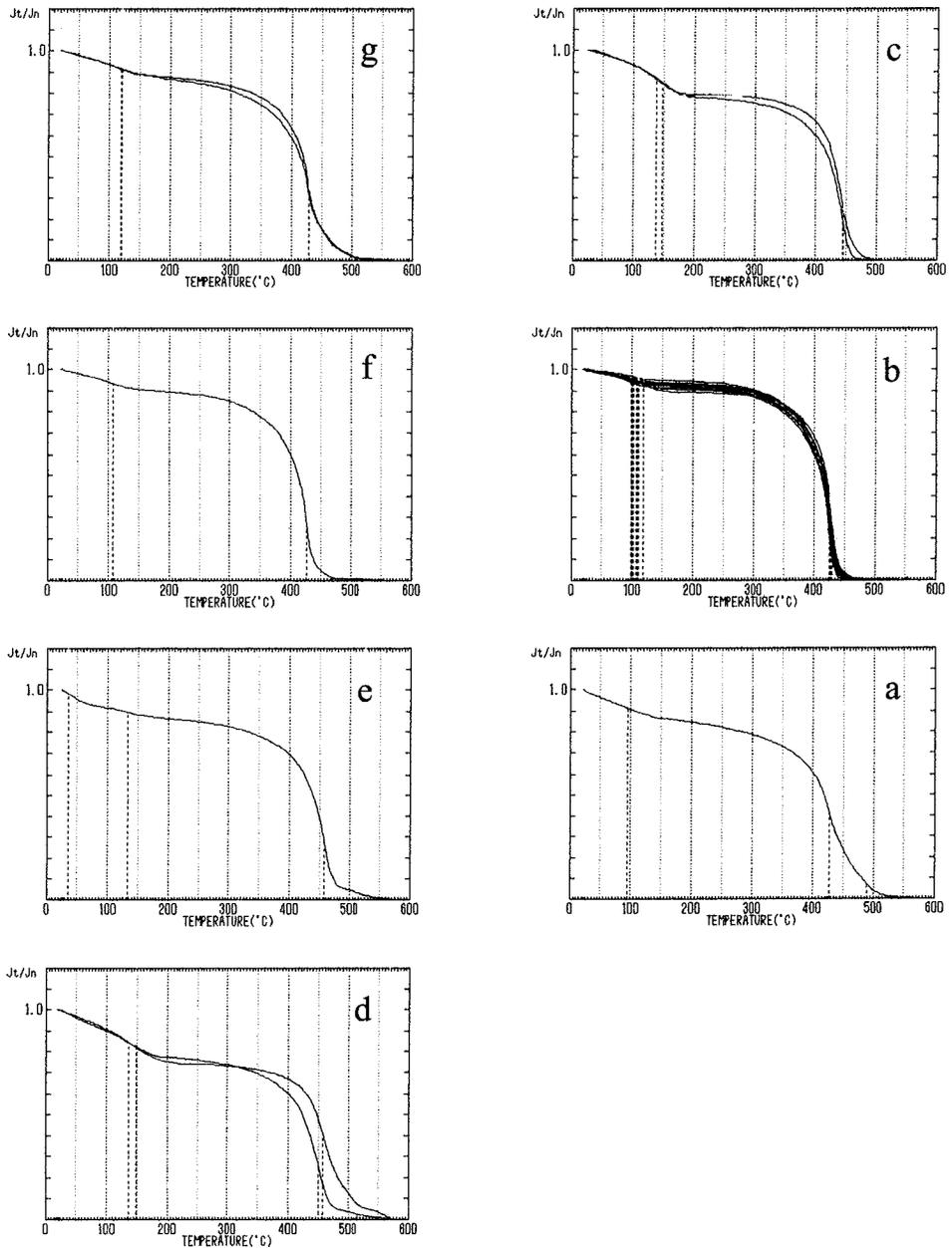


図4 各試料の熱磁化曲線（曲線から垂直に降ろした破線はキュリー温度の位置）

a: 試料 No. 1 (灰色火山灰) b: No. 2~11 (DKP) c: No. 12~13 (DKP) d: No. 14~15 (褐色ローム) e: No. 16 (Nh 火山砂) f: No. 17 (再堆積 DKP) g: No. 18~19 (褐色ローム)

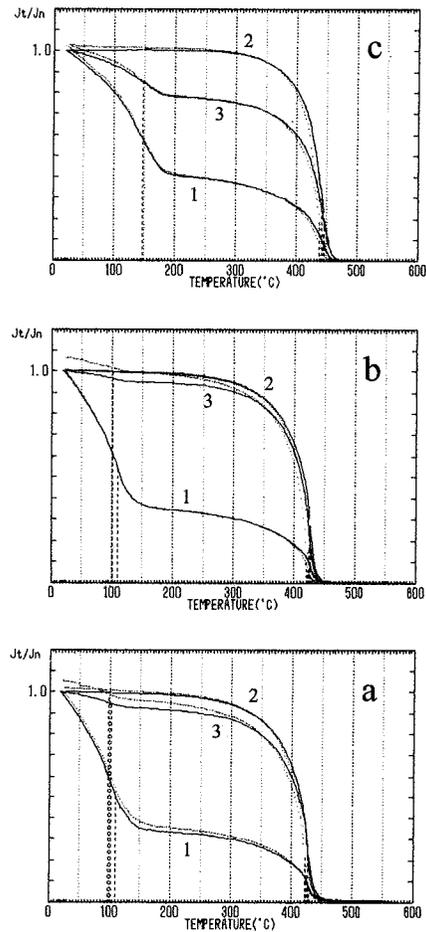


図5 鏡下で選別したチタノマグネタイトとヘモイルメナイトおよび選別前原試料の熱磁化曲線
 a: 試料 No. 3 b: No. 7 c: No. 13
 1: ヘモイルメナイト (α相) 2: チタノマグネタイト (β相)
 3: 選別前原試料

化曲線を示し、主相と副相はそれぞれ 426, 107°C (試料 No. 17), 429, 119°C (No. 18), 429, 120°C (No. 19) のキュリー温度をもつ。再堆積 DKP から得られるキュリー温度は、DKP 本体の試料 No. 1~11 で得られるものと一致している。したがって、この再堆積 DKP は、DKP の最上部でなくそれより下位からもたらされたものといえる。

いっぽう、DKP 直下の灰色火山灰 (試料 No. 1) では、主相 (427°C) は DKP のものと違いないが、副相のキュリー温度は 95°C とやや低い。また、熱磁化曲線は高温側で緩傾斜となり、不明瞭ながら 490°C 付近にもキュリー温度が求まる。

以上の結果、DKP に含まれる強磁性鉱物のキュリー温度は極めて一定しているが、最上部の約 60 cm ではより高温に変異するという系統的な層内垂直変化が認められた。Tsukui (1985)

は、DKPの下部、中部、上部に含まれる鉄-チタン酸化鉱物のEPMA分析結果を報告している。それによると、倉吉西の試料では β 相のウルボスピネル成分は下部で低く、中、上部ではより高いこと、 α 相のイルメナイト成分は下部から上部に系統的に増加することが示されている。これは、 β 相、 α 相とも上部でキュリー温度が低くなることを意味しており、今回の分析結果と矛盾している。なお、Tsukui (1985) では、鳥取砂丘および丹後半島で採取したDKP試料についても分析されており、これらについては倉吉西試料とは逆の結果が示されている。とくに α 相では上部で不連続的にキュリー温度が高くなる結果となっていて、この点は今回の分析結果と一致している。

また、Ogura et al. (1995) は、大山テフラの帯磁率を測定した中で、DKPでは最上部で大きな値になることがあることを示した。今回の分析結果は、この帯磁率の層内垂直変化に対応しているものと考えられる。

ま と め

1. 大山倉吉軽石 (DKP) の重鉱物組成は、角閃石、斜方輝石、鉄鉱物からなり、それらの含有率は層内の垂直方向に良く一定している。ただし、基底部では角閃石の含有率が高く、斜方輝石のそれは低く有意な相異が認められる。

2. DKPの先駆的噴出物である、DKP直下に伴われる灰色火山灰は、DKPと同じ重鉱物組み合わせをもつが、DKP基底部よりもさらに角閃石含有率が高く、斜方輝石含有率が低い。このようなDKP直下からDKP下部への重鉱物組成の系統的变化は、風化等により二次的に組成が変化したものではなく、DKP噴出初期のマグマ組成の変化を反映しているものと考えられる。

3. DKPに含まれる強磁性鉱物は β 相1種、 α 相1種からなる。そのキュリー温度は、 β 相で $429 \pm 4^\circ\text{C}$ 、 α 相で $108 \pm 10^\circ\text{C}$ で、下部から上部まで極めて良く一定している。ただし、最上部では β 相で 446°C 、 α 相で 147°C まで系統的に高くなる。このキュリー温度の層内垂直変化は、帯磁率の変化と対応している。

4. DKPにおける重鉱物組成と熱磁化特性の層内垂直変化には、明瞭な対応関係が認められないが、DKP直下の灰色火山灰中の α 相のキュリー温度が 95°C とやや低いのは、重鉱物組成に見られる系統的变化に対応するものかもしれない。

文 献

- 西田史朗 (1991): 火山ガラス化学組成の層内垂直変化——大阪層群ピンク・アズキ火山灰層を例にして——. 第四紀研究, **30**(4), 239-250.
- Ogura, H., Yoshikawa, S., Okada, S. and Yamamoto, Y. (1995): Magnetic Susceptibility of the Daisen Tephra Formation in West Japan and its Applicability to Tephrostratigraphy. The Quaternary Research, **34**(2), 65-73.
- 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 (1996): 恩原遺跡の火山灰層. 稲田孝司編「恩原2遺跡」, 岡山大学文学部考古学教室, 238-246.
- 岡田昭明 (1998): 強磁性鉱物の熱磁化特性によるテフラの同定. 鳥取大学教育学部研究報告 (自然科学), **47**(1), 69-79.

Tsukui, M. (1985): Temporal Variation in Chemical Composition of Phenocrysts and Magmatic Temperature at Daisen Volcano, Southwest Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **26**, 317-336.

Abstract

The vertical variations of heavy mineral assemblage and thermomagnetic property of ferromagnetic minerals were examined on the Daisen Kurayoshi Pumice (DKP). The DKP is a late Pleistocene widespread tephra in Japan. At the eastern foot of Mt. Daisen about 17 km from eruption center, 3.5 m thick DKP were divided into twelve horizons and specimens were collected from each horizon. At the investigated outcrop, the DKP is accompanied by thin volcanic ash layer at its base and covered by volcanic soil (loam). In this volcanic soil, the thin volcanic sand layer and a layer of pumice grains reworked from the DKP are intercalated. The specimens of all these layers were also collected and examined.

The DKP has biotite, hornblende, orthopyroxene, titanomagnetite and hemoilmenite as heavy mineral components. Modal composition is unique in the DKP except its lowest part. From the thin volcanic ash layer to the main part of DKP through the lowest part of DKP, the systematic modal variation is recognizable; the decrease in hornblende and increase in orthopyroxene.

The Curie temperatures of titanomagnetite ($429 \pm 4^\circ\text{C}$) and hemoilmenite ($108 \pm 10^\circ\text{C}$) measured by thermomagnetic balance are also unique in the DKP except its uppermost part. In the uppermost part of DKP, the Curie temperatures of both titanomagnetite and hemoilmenite are systematically varied to higher temperature; 446°C and 147°C respectively.

There are no correspondance between vertical variation of heavy mineral assemblage and that of thermomagnetic property.

