

富士火山の青木ヶ原溶岩樹型の蛍光X線分析とX線回折法 (豎型と横臥型溶岩樹型の成分と単斜晶系)

沢 勲 Isao SAWA
井 上 央 Hisashi INOUE
立 原 弘 Hiroshi TACHIHARA

X-Ray Fluorescence Analysis and X-Ray Diffraction Method of Tree-Molds on Aokigahara Lava in Fuji Volcano

(The vertical and the transverse tree-mold of component and monoclinic system)

ABSTRACT

The Aokigahara (T) lava is on the northeastern and the northwestern skirt of the Fuji Volcano, at latitude $35^{\circ}21'16''$ N and longitude $138^{\circ}48'19''$ E. There distribute tree-molds formed in about 937 and 864 A.D. Major chemical compositions of these lava tree-molds are revealed by XRF (X-Ray Fluorescence) Analysis. These values are the same as those of lava tree-mold, and both lava tree-molds from VT (a vertical tree-mold) and TT (a transverse tree-mold) may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the tree-mold from VT and TT are as follows :

SiO₂ = 50.70, TiO₂ = 1.44, Al₂O₃ = 17.20, Fe₂O₃ = 11.80, MnO = 0.18,
MgO = 5.18, CaO = 9.74, Na₂O = 2.69, K₂O = 0.77, P₂O₅ = 0.29 in VT.
SiO₂ = 50.70, TiO₂ = 1.47, Al₂O₃ = 17.10, Fe₂O₃ = 12.00, MnO = 0.18,
MgO = 5.22, CaO = 9.69, Na₂O = 2.66, K₂O = 0.79, P₂O₅ = 0.30 in TT

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on the tree-molds in Aokigahara lava samples by X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials are triclinic, orthorhombic, cubic and monoclinic system. Where, in the monoclinic system, it is found that the lattice constants (Am, Bm and Cm axis), and axis angle (β m) are,

Am = 9.7665 Å, Bm = 8.9084 Å, Cm = 5.2102 Å and β m = 106.62° in VT,

Am = 9.8189 Å, Bm = 8.8932 Å, Cm = 5.2549 Å and β m = 105.86° in TT.

key words: Lava Tree-Mold, X-Ray Fluorescence Analysis, X-Ray Analyses, Lattice Constants, Monoclinic System

[大阪経済法科大学論集 第77号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 77 (2000), pp 31~63]

1 はじめに

本邦における溶岩樹型観察の論文は、史跡名勝天然記念物調査報告書（石原、1929）に始まり、津屋弘達・小川孝徳（1971）等によって引き継がれている。最近では、1996年以降自衛隊北富士演習場の鷹丸尾溶岩流における溶岩樹型群観察報告書（立原、1997, 1998）に述べられている。また、沢・井上・立原（1998）等によって柏原と青木ヶ原溶岩樹型の成分分析が行われた。今回は、成分分析値並びにX線回折による結晶構造から単斜晶系の格子定数を解析した。後者は含有率の多いケイ酸と格子定数との関係について解析を行った。一方、溶岩樹型の樹型形成樹木と樹林帯との密接な関係（渡辺ら、1997）も報告されている。青木ヶ原溶岩流は古文書（3代実録）によれば、噴火によって西の方に流れた溶岩流は、「セの海」に押し入り、「セの海」から「本栖湖」が独立する。この時に「川口湖」ができたのである。その64年後の貞観6～7年（西暦864～865年）に長尾山から噴出した記録がある。今回試料を採取したこの地域は、長尾山の噴火により火口から溶岩が流れ、溶岩流の勢いが弱くなり、傾斜の少ない「なるさわ博物館」の周辺が終着地になっている。この溶岩樹型は、地下において約100mの溶岩状態になり、約1,100年前に形成されたものである。測定に用いた試料は博物館の横にある壜型樹型（VT）および正面にある横臥型樹型（TT）から採集されたものである。

A) 長尾山溶岩流における青木ヶ原壜型溶岩樹型（VT）の概要

- a) 場 所：山梨県南都留郡鳴沢村ジラゴンノ8532-63
なるさわ富士山博物館正面の左側
- b) 海 抜：1,000m
- c) 経 度：北緯35°21' 16"；緯 度：東経138°48' 19"
- d) 洞 口：98～99cm（内部は巨大な円形状態）
- e) 深 度：410cm
- f) 調 査：1997年8月30日

B) 長尾山溶岩流における青木ヶ原横臥型溶岩樹型（TT）の概要

- a) 場 所：山梨県南都留郡鳴沢村ジラゴンノ8532-63
なるさわ富士山博物館正面の左側
- b) 海 抜：1,000m
- c) 経 度：北緯 $35^{\circ}21'16''$ ；緯 度：東経 $138^{\circ}48'19''$
- d) 洞 口：105～115cm（縦と横の差は10cm：ほぼ円形状態）
- e) 洞 奥：50～113cm（縦と横の差は63cm：ほぼ楕円形）
- f) 深 度：410cm
- g) 調 査：1997年8月30日

本報告では、サンプリングした溶岩樹型の化学組成と富士火山を構成する岩石の化学組成とを比較検討した。また、現在知られている溶岩樹型群は富士山群と濟州火山島であるが、富士山から1,150kmも離れた濟州火山島にある翰林溶岩樹型（横臥型と豎型）についても分析・比較を行った。以上について、一定な結論に達したので、ここに報告する。

2 実験方法

2.1 試料調製

本研究に用いた岩石試料は、ハンマーを用いて試料を約1cmのチップに荒砕し、超音波洗浄機を用いて純水で洗浄した。乾燥後、振動ミルにて、タングステンカーバイト製容器を用い、ヘキサソによる200メッシュ以下への湿式粉碎を行った。粉碎後の粉末について、 105°C で2時間の乾燥を行った。ガラスビートの希釈率は、試料と融剤の量が1：10の割合（試料0.400g：融剤 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ （無水四ホウ酸リチウム）：4.0g）である。これらを十分に混合させてから、理学電機製全自動卓上型高周波ビートサンプラーを用い、最初の2分間は 1200°C に加熱して、その後、加熱したまま5分間揺動させた。融剤は、マッフル炉によって 700°C で4時間以上乾燥したものを使用した。隔離剤としては

LiIを用いた。

2.2 蛍光X線分析

全岩化学組成分析は、蛍光X線分析装置（リガクRIX2100）にてガラスビー
ド法で行い、定量分析はFP法にて行った。測定条件は **Table1** のとおりである。

2.3 X線回折における一次検索の測定条件

測定にはX線管球のRh 対陰極管を使用した。試料マスクにはステンレス材
の測定試料径（30mmφ）を使用した。測定装置は、理学電機製のX線回折装
置RINT-2500（湾曲グラファイト・モノクロメータ使用）である。本装置で
は、制御コンピュータ（PC-9821）および付属ソフトウェアにより全自動分析
を行った。全自動分析におけるピーク・サーチの定性分析の測定条件は、次の
とおりである。①X線の管球（Cu）、②発散スリット（1°）、③散乱スリット
（1°）、④管電圧（50kV）、⑤管電流（300mA）、⑥走査軸（2θ/θ）、⑦受
光スリット（0.15mm）、⑧サンプリング幅（0.020°）、⑨アタッチメント（標
準試料ホルダー）、⑩走査速度（2 deg./min）、⑪ゴニオメーター（広角ゴニ
オメーター）およびデータ処理に用いたX線の波長（1.54056Å）である。

Table1 Measurement condition of X-ray fluorescence analysis of
tree-molds on Aokigahara lava in Fuji volcano

	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P
分光結晶	PET	LiF	PET	LiF	LiF	TAP	Ge	TAP	Ge	Ge
検出器	F-PC	SC	F-PC	SC	SC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC
測定時間 Peak	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	100秒	40秒	40秒
BG	20	20*2	20	20*2	20	20	50	20	20	20
スペクトル	Kα				X線管			縦型Rh管		
管電力	50kV				管電流			70mA		
フィルター	Out				分析径			30mmφ		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

一次検索の定性分析を行うための検索条件は、次のように分類できる。すなわち、①信頼性係数再評価は行う、②平滑化点数は9、③最低一致率は10%、④一致判定許容幅は3、⑤信頼性係数閾値は50、⑥回折角度は $2\theta = 3 \sim 80$ 度、⑦検索ファイルは鉱物ファイル、⑧検索方法はファイル1だけ検索、⑨不定成分は水素・酸素と炭素の三元素、⑩元素指定方法は指定元素のみ、⑪主成分は酸素・ナトリウム・マグネシウム・アルミニウム・ケイ素・カルシウムおよび鉄の7元素。⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子とも使用、⑬微成分は、燐・カリウム・チタンの3元素である。

このプログラムに従ってデータの処理を行った。その結果、この定性分析のチャートは **Fig.1** と **Fig.2** であり、ピーク・サーチを行ったデータは **Table2** である。ここで、左側は回折の面指数であり、この面指数に対応するのが青木ヶ原溶岩樹型の竪型 (左側) や横臥型 (右側) である。面指数は回折角度によってそれぞれが異なっている。回折角度 $2\theta (^{\circ})$ と面間隔 $d (\text{\AA})$ は、ブラッグの反射条件式によって決定される。⁹⁻¹⁷⁾

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 λ は波長 (\AA) で、この回折角度と波長によって計算した面間隔の範囲は、**Table2** のとおりである。

相対強度が15%以上になっているのは **Table2** である。すなわち、ICCDにおけるNo.24-0203のCa (Mg, Fe) Si_2O_6 という Augite の単斜晶系を基準とした面指数をピーク順にした。VT (**Fig.1**) における相対強度の16は (220) 面、30は (-221) 面、18は (310) 面、16は (-312) 面、20は (130) 面および22は (-112) 面の6つの面指数である。次にTT (**Fig.2**) における相対強度の16は (220) 面、22は (-221) 面、16は (310) 面および108は (-202) 面の4つの面指数である。半価幅が 0.30° 以上の面指数 (**Table2**) は、VT (**Fig.1**) では、半価幅0.306は (-202) 面、0.424は (112) 面、0.353は (330) 面、0.324は (041) 面、0.353は (-531) 面、0.306は (350) 面および0.588は (531) 面の7つの面指数である、TT (**Fig.2**) では、半価幅0.306は (020) 面、0.494は (-531) 面および0.400は (350) 面の3つの面指数である。

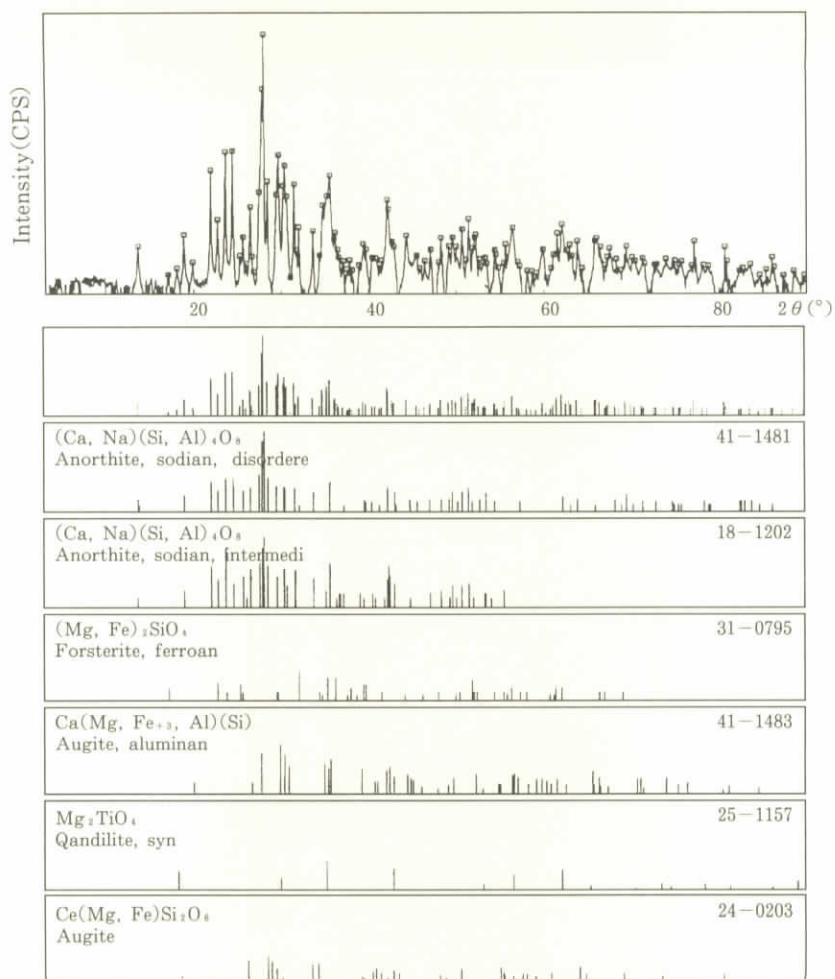


Fig.1 The qualitative analysis of 2nd search-match of the vertical tree-mold (VT) sample from Aokigahara lava in Fuji volcano

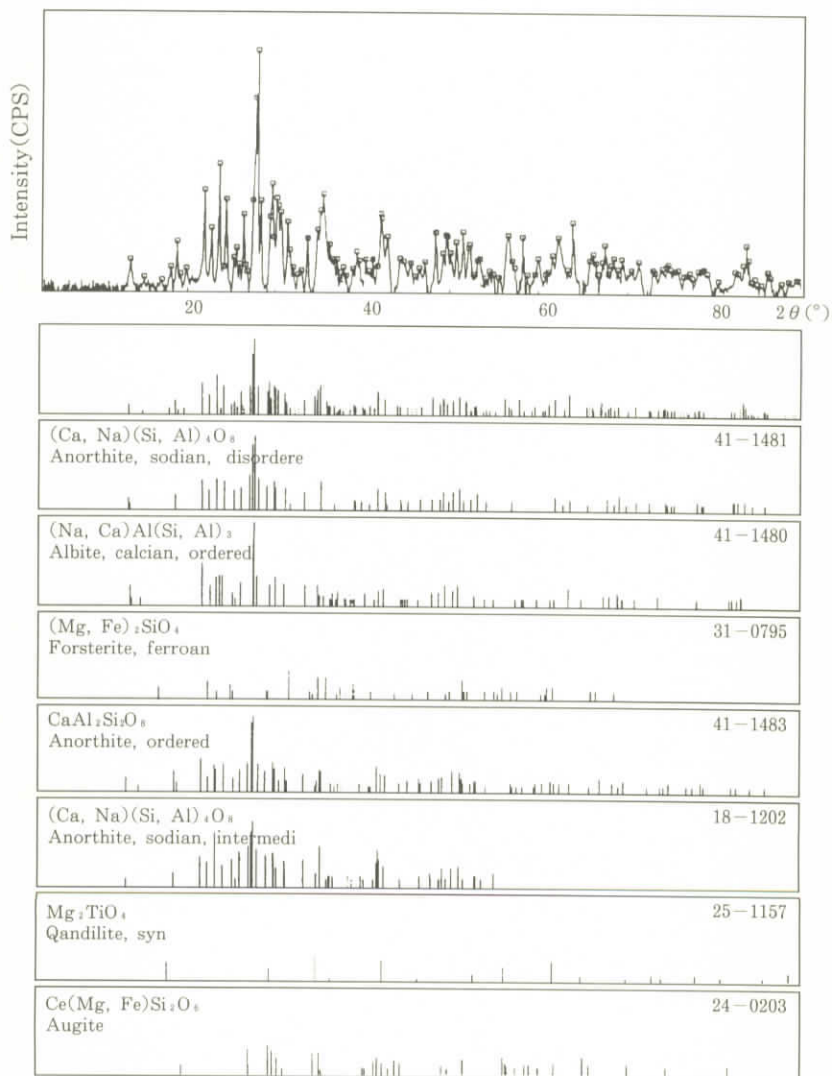


Fig.2 The qualitative analysis of 2nd search-match of the transverse tree-mold (TT) sample from Aokigahara lava in Fuji volcano

Table 2 The X-ray data (Miller index, lattice distance, half-width and relative intensity) of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano.

番号	面指数			青木ヶ原堅型			青木ヶ原横臥型		
	h	k	l	面間隔 d	半価幅 $\Delta(^{\circ})$	相対強度 I/I_0	面間隔 d	半価幅 $\Delta(^{\circ})$	相対強度 I/I_0
1	0	2	0	4.4624	0.188	2	4.4668	0.306	2
2	2	2	0	3.2431	—	16	3.2431	—	16
3	-2	2	1	3.0095	0.235	30	3.0075	0.212	22
4	3	1	0	2.9512	—	18	2.9550	0.188	16
5	-3	1	1	2.9154	0.165	16	2.9099	0.235	12
6	1	3	0	2.8378	0.188	20	2.8413	0.212	10
7	-1	3	1	2.5715	0.212	12	2.5461	0.188	14
8	-2	0	2	2.5377	0.306	16	2.5239	0.235	18
9	-1	1	2	2.5157	0.259	22	2.4754	0.188	6
10	3	1	1	2.3098	0.212	2	2.3110	0.212	2
11	-3	1	2	2.2297	0.235	4	2.2140	—	2
12	1	1	2	2.2098	0.424	2	2.1862	0.188	4
13	3	3	0	2.1416	0.353	14	2.1592	0.165	2
14	-3	3	1	2.1358	—	12	2.1378	—	12
15	4	2	0	2.1045	0.188	4	2.0421	0.282	4
16	0	4	1	2.0395	0.329	6	2.0265	0.188	2
17	2	4	0	1.9902	0.212	4	1.9910	0.235	2
18	5	1	0	1.8350	0.282	6	1.8343	—	6
19	-3	3	2	1.8213	—	4	1.8213	0.165	4
20	1	5	0	1.7515	—	6	1.7540	—	4
21	-5	3	1	1.6274	0.353	8	1.6263	0.494	8
22	-2	2	3	1.6066	—	2	1.6071	—	2
23	5	3	0	1.5843	0.212	12	1.5843	0.165	6
24	3	5	0	1.5313	0.306	4	1.5415	0.400	4
25	0	6	0	1.4934	0.259	8	1.4913	0.282	6
26	5	3	1	1.4177	0.588	6	1.4189	0.188	4
27	2	6	0	1.4147	—	6	1.4120	0.188	4
28	-3	5	2	1.4067	0.165	4	1.4064	—	2
29	-7	1	2	1.3229	0.165	2	1.3356	0.188	2
30	-4	6	1	1.2671	0.165	2	1.2602	0.165	2

Table 3 *The qualitative analysis of 1st search-match for the vertical tree-mold (VT) sample from Aokigahara lava in Fuji volcano*

Card No.	Chemical Formula	Mineral Name	Standard Number	Agreement Number	Reliability Factor	Crystal Structure
41-1481	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	56	55	729	Triclinic
18-1202	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	Anorthite,sodian,interme	52	43	727	Triclinic
31-1483	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite,ferroan	40	31	578	Orthorhombic
41-1483	Ca(Mg,Fe+3,Al)Si ₂ O ₆	Augite,aluminian	50	30	409	Monoclinic
25-1157	Mg ₂ TiO ₄	Qandilite,syn	17	7	399	Cubic
09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	19	17	725	Triclinic
20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	92	63	669	Triclinic
41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite,ordered	82	48	615	Triclinic
09-0458	(Na,Ca)(Al,Si) ₄ O ₈	Albite,calcaïn,disordered	42	29	581	Triclinic
10-0393	Na(Si ₃ Al)O ₈	Albite,disordered	42	29	581	Triclinic
41-1045	SiO ₂	Quartz,syn	28	13	483	Hexagonal
41-1480	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite,calcaïn,ordered	71	38	572	Triclinic

Plus 35 chemical composition to reliability factor 399

Table 4 *The qualitative analysis of 1st search-match for the transverse tree-mold (TT) sample from Aokigahara lava in Fuji volcano*

Card No.	Chemical Formula	Mineral Name	Standard Number	Agreement Number	Reliability Factor	Crystal Structure
41-1481	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	66	49	624	Triclinic
41-1480	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite,calcaïn,ordered	71	46	609	Triclinic
31-0795	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite,ferroan	40	24	596	Orthorhombic
41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Augite,ordered	82	52	5820	Triclinic
18-1202	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	Anorthite,sodian,interme	52	45	582	Triclinic
25-1157	Mg ₂ TiO ₄	Qandilite,syn	17	11	4995	Cubic
24-0203	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Augite	36	22	449	Monoclinic
09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	19	14	665	Triclinic
20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite,sodian,ordered	92	56	588	Triclinic
09-0456	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	Albite,calcaïn,disordered	42	29	581	Triclinic
10-0393	Na(Si ₃ Al)O ₈	Albite,disordered	42	27	554	Triclinic
41-1045	SiO ₂	Quartz,syn	28	17	478	Hexagonal

Plus 35 chemical composition to reliability factor 439

2.4 X線回折における二次検索の測定条件

全自動分析を行った二次検索の定性分析の測定条件は、次のとおりである。X線の管球（Cu）、発散スリット（1 deg.）、散乱スリット（1 deg.）、管電圧（50 kV）、管電流（300mA）、走査軸（ $2\theta/\theta$ ）、受光スリット（0.15mm）、サンプリング幅（0.020°）、アタッチメント（標準試料ホルダー）、走査速度（2°/min）、ゴニオメーター（RINT2000広角ゴニオメーター）およびデータ処理に用いたX線の波長（1.54056 Å）である。

3 定量分析の結果と格子定数の解析

3.1 定量分析と結晶構造

定量分析値（重量百分率wt.%）はグループ分析によると10成分である。
VT : $\text{SiO}_2=50.70$, $\text{TiO}_2=1.44$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.20$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=11.80$, $\text{MnO}=0.18$,
 $\text{MgO}=5.18$, $\text{CaO}=9.74$, $\text{Na}_2\text{O}=2.69$, $\text{K}_2\text{O}=0.77$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.29$ 。
TT : $\text{SiO}_2=50.70$, $\text{TiO}_2=1.47$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.10$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.00$, $\text{MnO}=0.18$,
 $\text{MgO}=5.22$, $\text{CaO}=9.69$, $\text{Na}_2\text{O}=2.66$, $\text{K}_2\text{O}=0.79$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.30$ 。
溶岩樹型に近い成分の物質番号ICCD（VTは *Table3* ; VTは *Table4*）は、次のとおりである。

No.41-1481の（Ca, Na） $(\text{Si, Al})_4\text{O}_8$ というAnorthiteの三斜晶系、

No.18-1202の（Ca, Na） $(\text{Si, Al})_4\text{O}_8$ というAnorthiteの三斜晶系、

No.31-0795の（Mg, Fe） $_2\text{Si}_4$ というForsteriteの斜方晶系、

No.25-1157の Mg_2TiO_4 というQandiliteの立方晶系、

No.24-0203のCa（Mg, Fe） Si_2O_6 というAugiteの単斜晶系

今回は単斜晶系のNo.24-0203を引用した単斜晶系の数値解析を行った格子定数である。

3.2 単斜晶系の格子定数の決め方

単斜晶系の格子定数 (沢ら、1996・1998) は、面間隔 (d) と面指数 (hkl) によって求められる。これらの関係式は、次のとおりである。

$$\frac{1}{d(hkl)^2} = \frac{h^2}{A^2 \sin^2 \beta} + \frac{k^2}{B^2} + \frac{l^2}{C^2 \sin^2 \beta} - \frac{2hl \cos \beta}{AC \sin^2 \beta} \quad \dots\dots (2)$$

面間隔 [d (hkl)] は、ブラッグの反射条件式の面指数 (hkl) と格子定数 (A、B、C) によって求められる。面指数 (hkl) は、Table1 のように決定し、格子定数を求めるためにデータシートを表示した。Table1 における面間隔 (d) と面指数 (hkl) から最小2乗法によって、格子定数 (A、B、C) が求められる仕組みを行った。計算の手順は式 (1) を書きかえると次のようになる。式 (2) の右辺第1項より第4項の未知の部分それぞれ X_1 、 \dots 、 X_4 と略記し、これらを最小2乗法によって処理する。次に確定となった X_1 、 \dots 、 X_4 を使って、条件 (*) の基で A、B、C、 β を次のように連立させて求める。

$$\frac{1}{A^2 \sin^2 \beta} = X_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{1}{B^2} = X_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{C^2 \sin^2 \beta} = X_3 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{-2 \cos \beta}{AC \sin^2 \beta} = X_4 \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここでは、(*) の格子定数 A、B、C は正の実数を $\pi/2 < \beta < \pi$ として表現する。

3.2 α 格子定数 (B) の求め方

式 (4) を $B^2 = 1/X_2$ と書き換えると、条件 (*) から次のように格子定数 B が求められる。

$$B = \sqrt{1/X_2} \dots\dots\dots (7)$$

3.2 β 軸角 (β) の求め方

X_1 と X_3 は式 (3) と (5) である。この式 (3) と (5) や条件 (*) より次式のように書きかえられる。

$$\sqrt{X_1 X_3} = 1 / (A C \sin^2 \beta) \dots\dots\dots (8)$$

この等式の右辺を式 (6) の左辺と比べれば、次のような等式が、

$$-2 \cos \beta \sqrt{X_1 X_3} = X_4 \dots\dots\dots (9)$$

得られる。それから式 (9) を書きかえると式 (10) のようになる。

$$\cos \beta = -\frac{1}{2} \frac{X_4}{\sqrt{X_1 X_3}} \dots\dots\dots (10)$$

また、 $\cos \beta$ から式 (11) のような軸角の $\sin^2 \beta$ が求まる。

$$\sin^2 \beta = 1 - \cos^2 \beta = 1 - \frac{1}{4} \frac{X_4^2}{X_1 X_3} \dots\dots\dots (11)$$

したがって、

$$\beta = \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \frac{X_4}{\sqrt{X_1 X_3}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

式 (11) より軸角 (β) は $\pi/2 < \beta < \pi$ の範囲で表現できる。

3.2 γ 格子定数 (A) の求め方

式 (3) を A^2 について解くと、次のようになる。

$$A^2 = \frac{1}{X_1} \frac{1}{\sin^2 \beta} = \frac{4 X_1 X_3}{X_1 (4 X_1 X_3 - X_4^2)} = \frac{4 X_3}{4 X_1 X_3 - X_4^2} \dots\dots\dots (13)$$

したがって、条件 (*) から格子定数Aは式 (14) のように求められる。

$$A = 2 \sqrt{X_3 / (4 X_1 X_3 - X_4^2)} \dots\dots\dots (14)$$

条件 (*) から格子定数Aは式 (14) のように求められる。

3.2δ 格子定数 (C) の求め方

式 (5) をC²について解くとA²の場合と同様に式 (15) が得られる。

$$c^2 = \frac{4 X_1}{4 X_1 X_3 - X_4^2} \dots\dots\dots (15)$$

したがって、

$$C = 2 \sqrt{X_1 / (4 X_1 X_3 - X_4^2)} \dots\dots\dots (16)$$

条件 (*) から格子定数Cは、式 (16) として与えられる。

3.3 手計算による連立方程式の解法 (クラームルの公式)

面間隔 (d) から $1/d^2 = \mu$ 、面指数 (hkl) から $h^2 = \alpha$ 、 $k^2 = \beta$ 、 $l^2 = \gamma$ および $hk = \delta$ と書くと X_1 、 \dots 、 X_4 を求める正規方程式の係数から作られる行列式 (沢ら、1996・1998) は次のようになる。

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (17)$$

この正規方程式から作られる行列式 (17) は、VTとTTの係数では、

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 282 & -516 \\ 514 & 282 & 204 & -218 \\ -1268 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (17_A)$$

$$= 2.02737+12$$

である。まず、式 (3) の X_1 を求めるクラームルの公式とその値は、式 (18) のようになる。

$$X_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \gamma \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \delta \mu & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

この正規方程式から作られる行列式 (18) は、 X_{IVT} と X_{ITT} の係数では、

$$X_{IVT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 135.513 & 2458 & 514 & -1268 \\ 122.745 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.935 & 282 & 204 & -218 \\ -23.494 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_{VT})$$

$$= 0.0113721$$

$$X_{ITT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 135.584 & 2458 & 514 & -1268 \\ 123.213 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.991 & 282 & 204 & -218 \\ -23.476 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_{TT})$$

$$= 0.011381$$

のようになる。式 (18) の X_{IVT} はと X_{ITT} は0.011372と0.011381である。つぎに、式 (4) の X_2 を求めるクラームルの公式とその値は、式 (19) のようになる。

$$X_2 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \delta \mu & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

この正規方程式から作られる行列式 (19) は、 X_{2VT} と X_{2TT} の係数では、

$$X_{2VT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 135.513 & 514 & -1268 \\ 2458 & 123.745 & 282 & -516 \\ 514 & 14.935 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.494 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{VT})$$

$$= 0.012563$$

$$X_{2TT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 135.584 & 514 & -1268 \\ 2458 & 123.213 & 282 & -516 \\ 514 & 14.991 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.476 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{TT})$$

$$= 0.012629$$

のようになる。式 (5) の X_3 を求めるクラームルの公式とその値は、式 (20) のようになる。

$$X_3 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \delta \mu & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

この正規方程式から作られる行列式 (21) は X_{3VT} と X_{3TT} の係数では、

$$X_{3VT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 135.513 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 123.745 & -516 \\ 514 & 282 & 14.935 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.494 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{VT})$$

$$= 0.039876$$

$$X_{3TT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 135.584 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 123.213 & -516 \\ 514 & 282 & 14.991 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.476 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{TT})$$

$$= 0.040411$$

のようになる。最後に、式(6)の X_4 の値を求めるクラームルの公式とその値は、式(21)のようになる。

$$X_4 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta \mu \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21)$$

この正規方程式から作られる行列式(21)は、 X_{4VT} と X_{4TT} の係数では、

$$X_{4VT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 135.513 \\ 2458 & 7138 & 282 & 123.745 \\ -1268 & -516 & -218 & -23.494 \\ 514 & 282 & 204 & 14.935 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_{VT})$$

$$= 0.01187$$

$$X_{4TT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 135.584 \\ 2458 & 7138 & 282 & 123.213 \\ 514 & 282 & 204 & 14.991 \\ -1268 & -516 & -218 & -23.476 \end{vmatrix} \dots\dots (21_{TT})$$

$$= 0.012221$$

のようになる。式 (21) の X_{4VT} はと X_{4TT} は 0.01187 と 0.012221 である。

3.4 単斜晶系の格子定数

このグループ分析による重量百分率からの格子定数 A は A_{VT} と A_{TT} に関して、式 (14) から式 (22) のように求められる。

$$A_{VT} = 2 \sqrt{0.039876 / (4 * 0.011372 * 0.039876 - 0.01870^2)} \dots\dots (22_{VT})$$

$$= 9.7665 \text{ \AA}$$

$$A_{TT} = 2 \sqrt{0.040411 / (4 * 0.011381 * 0.040411 - 0.012221^2)} \dots\dots (22_{TT})$$

$$= 9.8189 \text{ \AA}$$

格子定数 B は、式 (7) から式 (23) のように求められる。

$$B_{VT} = \sqrt{1 / 0.012563} = 8.9084 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_{VT})$$

$$B_{TT} = \sqrt{1 / 0.012629} = 8.8932 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_{TT})$$

格子定数 C は CVT と CTT に関して、式 (16) から式 (24) のように求められる。

$$C_{VT} = 2 \sqrt{0.011372 / (4 * 0.011372 * 0.039876 - 0.01870^2)} \dots\dots (24_{VT})$$

$$= 5.2102 \text{ \AA}$$

$$C_{TT} = 2 \sqrt{0.011381 / (4 * 0.011381 * 0.040411 - 0.012221^2)} \dots\dots (24_{TT})$$

$$= 5.2549 \text{ \AA}$$

軸角 (β) は β_{VT} と β_{TT} に関して式 (12) から式 (25) のように求められる。

$$\beta_{VT} = \cos^{-1} (1 - 2^{-1}) \frac{0.011870}{\sqrt{0.011372 * 0.039876}} = 106.62^\circ$$

..... (25_{VT})

$$\beta_{TT} = \cos^{-1} (1 - 2^{-1}) \frac{0.012221}{\sqrt{0.011381 * 0.039876}} = 105.86^\circ$$

..... (25_{TT})

4 考 察

4.1 全岩化学組成および考察

青木ヶ原溶岩樹型群（VTとTT）の溶岩樹型2試料についての蛍光X線分析による全岩化学組成（沢・井上、1998）、および富士火山における火山噴出物の化学組成範囲（津屋、1938・1971）を合わせて **Table5** に示した。富士火山における火山噴出物の SiO₂ 組成範囲は、48.0（八幡穴洞窟）～51.3（須走胎

Table5 Representative XRF analysis results (wt.%) for the lava in the tree-mold (VT and TT) samples from Aokigahara lava in Fuji volcano, together with volcanic eruptive in Cheju Island.

NAME	青木ヶ原(AT)			柏原(KT)	富士火山	濟州火山
	壜型(VT)	横臥(TT)	平均	壜型(VKT)		
SiO ₂	50.70	50.70	50.70	50.20	48.00～51.30	41.20～66.31
TiO ₂	1.44	1.47	1.46	1.51	1.03～1.97	0.00～3.57
Al ₂ O ₃	17.20	17.10	17.30	17.30	15.83～19.03	13.19～25.20
Fe ₂ O ₃ *	11.80	12.00	11.90	12.20	1.60～13.70	0.67～14.24
MnO	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15～0.29	0.00～1.53
MgO	5.18	5.22	5.20	5.07	3.80～6.76	0.00～10.61
CaO	9.74	9.63	9.69	9.71	0.77～10.42	1.07～12.76
Na ₂ O	2.69	2.66	2.68	2.71	2.29～3.16	1.41～8.09
K ₂ O	0.77	0.79	0.78	0.77	0.52～1.16	0.05～5.63
P ₂ O ₅	0.29	0.30	0.30	0.31	0.08～0.54	0.00～1.71

Fe₂O₃* : Total Fe₂O₃

内洞窟) wt.%で、その中間にある試料 (VTとTT) の SiO_2 は50.70wt.%で玄武岩質 (塩基性岩) である。VTとTTの SiO_2 組成は、KT・須走胎内洞窟より子供国 (こどもの国・丸尾公園内の洞窟)・犬涼2 (犬涼み山風穴第2洞窟)・本八合 (富士山頂本八合目) の方が近い成分である。さらに、VTとTTの SiO_2 組成は、鳴沢村字前丸尾 (津屋、1971) (864の51.wt.%、分化脈の52.9 wt.%および丸尾の51.3wt.%) より小さい含有率である。

一方、濟州火山における火山噴出物 (沢・井上、1990・1996・1999・2000) の SiO_2 組成範囲 (41.20~66.31wt.%) は、富士火山より広い範囲で、濟州火山の平均値よりわずかに大きい値である。濟州火山は、海底からの隆起物と火山による混合の噴出物であるから広い範囲であることが考えられる。富士火山において2番目に多い噴出物 (Al_2O_3) は15.83~19.03wt.%の範囲である。熔岩樹型のVTとTTは、17.20と17.10wt.%である。VTとTTの含有率は富士火山や濟州火山島から比較すれば、平均値よりやや少ない値である。

4.2 含有鉱物および考察

一般に熔岩洞窟とされるものには、玄武岩に形成されることが多く、安山岩にも一部が存在する。玄武岩には、カンラン石、普通輝石および斜長石の鉱物が含有する。安山岩には、斜方輝石、普通輝石、斜長石および石英の鉱物が含有する。これらの鉱物が、富士山地域の熔岩樹型にどの程度に含まれているかを知るために次のように検討を行った。定性分析は、蛍光X線分析結果の元素情報を参考にして解析を行った。定性分析の結果、いずれの試料も主成分としてAnorthiteが同定された。しかしながら、元素情報およびICDDカード記載のピークに対してピークがシフトしていることを考慮すると、ICDDカード記載の構成元素に対して他の元素が固溶しているものと思われる。したがって、Anorthiteは、ICDDカードに相当するかについては断定できない。そのため、比較のプロファイルの近い物質を定性分析結果に記載した。

定性分析結果を記載したVTとTTにおける各鉱物は、それぞれ *Table3* および *Table4* に表示した。VTとTTの信頼係数では、斜長石 (729と624)、カンラン石 (578と596) および灰長石 (725と665) である。その他、存在の可能性の

ある物質を記載したが、これらもピークのシフトやピーク強度比が異なることが確認された。これら定性分析結果に記載した物質も他元素の固溶や固溶に伴う構造の変化が考えられる。

4.3 ケイ酸とアルカリ成分 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) との関係

富士火山における火山噴出物の ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 組成範囲は2.81 (八幡穴) ~4.32wt.%で、その平均より極わずかに多いVTとTTの ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は3.46と3.45wt.%で玄武岩質である。一方、済州火山島における火山噴出物の ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 組成範囲は1.46~13.72wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値より小さい値である。ケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、**Fig.3** と **Table5** は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (wt.%) をとり、それぞれの熔岩の化学組成 (Miyashiro, 1978; R.W. Le Maitre, 1938) をプロットした。上図は富士火山帯における全体成分であり、下図は富士火山帯における洞窟のみの成分である。

下図のA線はアルカリ玄武岩系であり、下図のAH線は非アルカリ玄武岩系である。2本の境界線があり、上部境界線より上の領域がアルカリ玄武岩、下の領域が非アルカリ玄武岩、2本の境界線に挟まれる部分が高アルミナ質玄武岩です。**Fig.3**におけるアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩との境界線は、KUNO (1966) によるものである。これによると、双方の熔岩樹型とも高アルミナ玄武岩であることが分かる。VTとTTのアルカリ成分は、 SiO_2 組成と同様に、KT・須走胎内より子供国・犬涼2・本八合の方が近い成分である。

4.4 ケイ酸と酸化カリウムとの関係

富士火山における火山噴出物の K_2O 組成範囲は0.52 (八幡穴) ~1.16wt.%で、その平均値に近いVTとTTの K_2O (wt.%) は0.77と0.79wt.%の玄武岩質である。一方、済州火山島における火山噴出物の K_2O 組成範囲は0.05~5.63wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値より小さい値である。ケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、**Fig.4** は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に K_2O (wt.%) をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプ

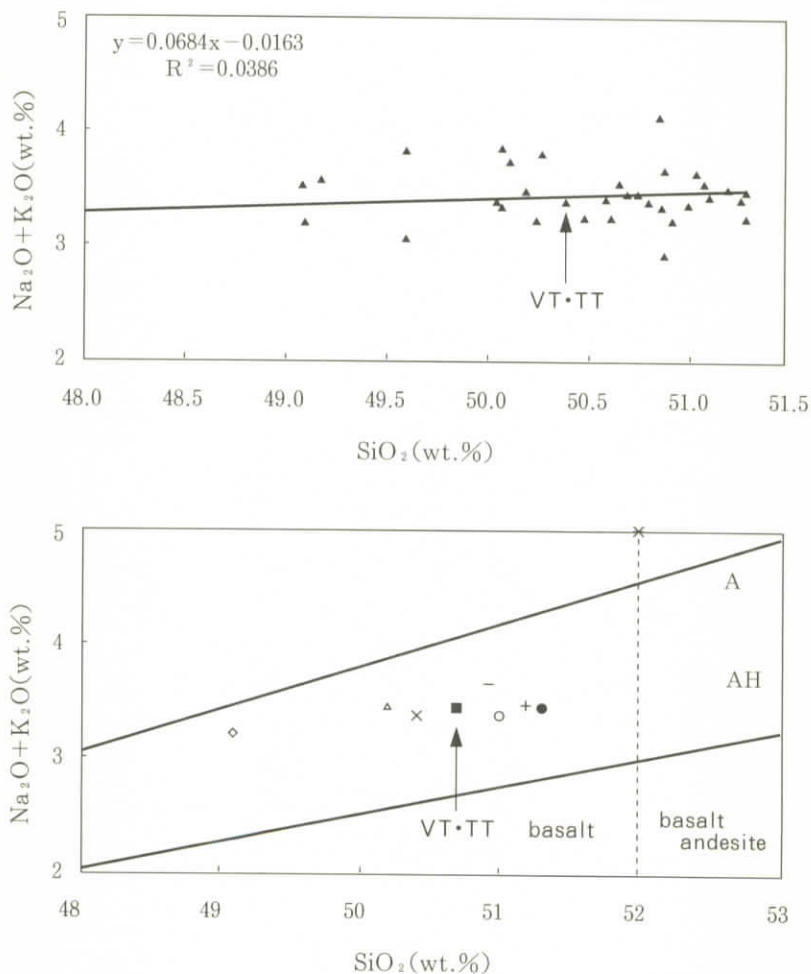


Fig.3 plot of SiO_2 vs. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ contents of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano. The letter A denotes for alkali basalt rock-series; AH, high alumina-basalt rock-series; solid square rocks from AT (VT and TT); triangle, rocks from KT (Kasiwappara lava Tree-mold). The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

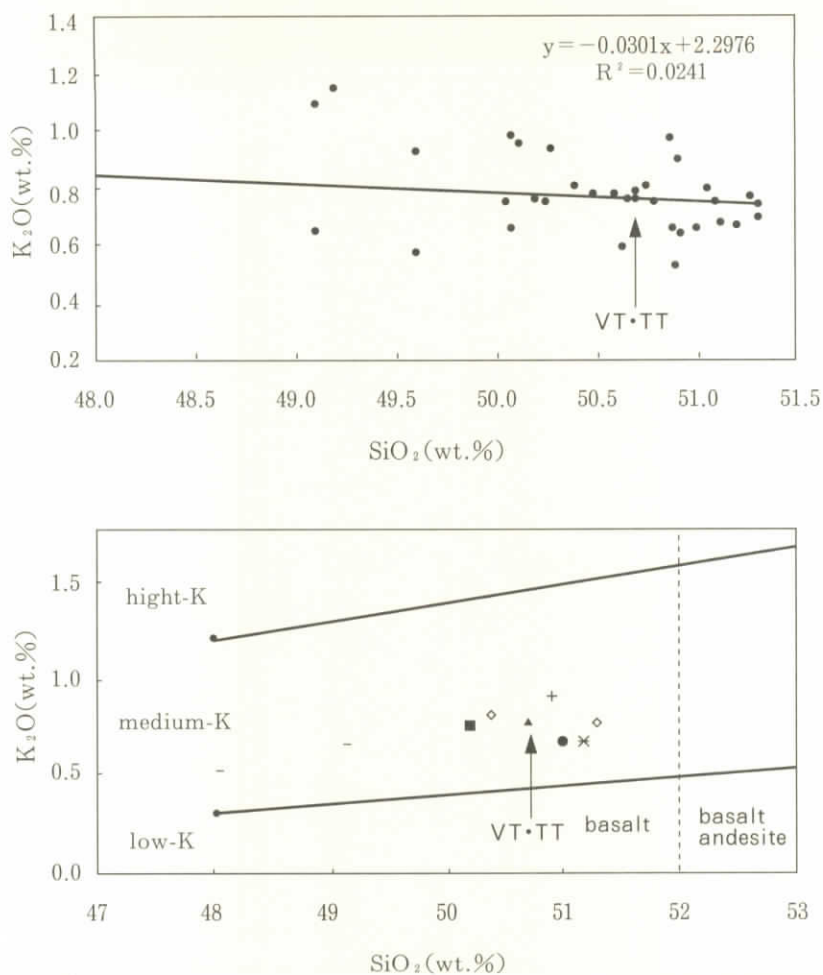


Fig.4 plot of SiO_2 vs. K_2O contents of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano. Division of basalts (with $SiO_2 \geq 48\%$, basaltic andesites and andesites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

ロットした。境界線は、Miyashiro, 1978 ; R.W.Le Maitre, 1938に基づいている。上図は富士火山帯における全体成分成分であり、下図は富士火山帯における洞窟のみの成分である。

富士火山の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、カリウム成分は同様にわずかな減少傾向を示している。VT・TTの K_2O 組成は、回帰直線の値と近いカリウム成分である。VTとTTのカリウム成分は、 SiO_2 組成と (Na_2O+K_2O) 組成と同様に、KT・須走胎内より子供国（こどもの国・丸尾公園）・犬涼2（犬涼み山風穴第2）・本八合（富士山頂本八合目）の方が似たような特徴である。下図における上の線はhigh-Kとmedium-Kの境界線の玄武岩系であり、下の線はmedium-Kとlow-Kの境界線の玄武岩系である。Fig.4における横軸52（wt.%）を基準線として、その以下は玄武岩であり、その以上は玄武岩質安山岩である。したがって、双方の熔岩樹型ともmedium-Kの高アルミナ玄武岩であることが分かる。VTとTTのカリウム成分は、 SiO_2 組成と (Na_2O+K_2O) 組成と同様に、KT・須走胎内より子供国・犬涼2・本八合の方が似たような特徴である。富士火山における洞窟の無色鉱物（ K_2O を除いた SiO_2 、 Na_2O および (Na_2O+K_2O) ）の成分は、共通性がある。

4.5 ケイ酸と有色鉱物（ $Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO$ ）との関係

富士火山における火山噴出物の Fe_2O_3 （wt.%）組成範囲は1.60～13.70（八幡穴）wt.%で、その平均値より多いVTとTTの Fe_2O_3 （wt.%）は11.80と12.00wt.%である。一方、濟州火山島における火山噴出物の Fe_2O_3 （wt.%）組成範囲は0.67～14.24wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この濟州火山島の平均値よりはるかに多い含有率である。富士火山における火山噴出物の MgO （wt.%）組成範囲は3.80～6.76wt.%で、その平均値とはほぼ同様のVTとTTの CaO （wt.%）は5.18と5.22wt.%である。ケイ酸と有色鉱物（ $Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO$ ）成分との関係を究明するため、Fig.5は、横軸に SiO_2 （wt.%）、縦軸に $(Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO)$ （wt.%）をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。上の図は富士火山帯における Fe_2O_3 成分であり、中の図は富士火山帯における MgO 成分および下の図は富士火山帯における CaO である。

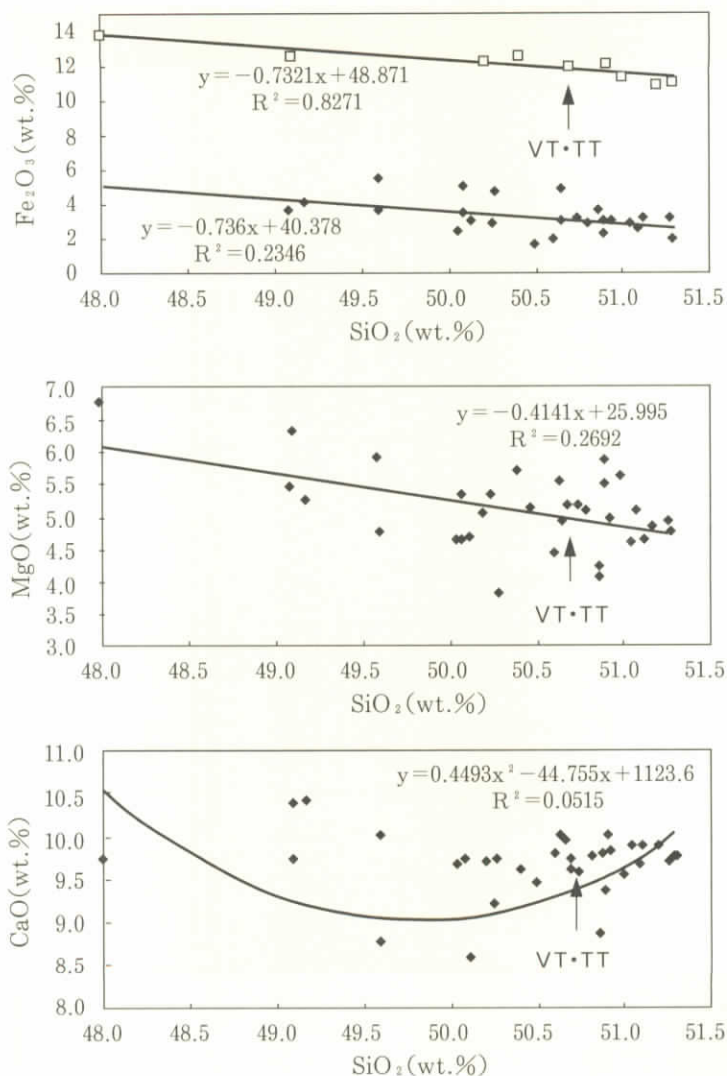


Fig.5 Relation between SiO_2 composition and color mineral (Fe_2O_3 , MgO and CaO) contents of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano.

富士火山の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、 Fe_2O_3 と MgO の成分は同様に減少の傾向である。ケイ酸が増大するにつれ、洞窟の無色鉱物 ($\{\text{K}_2\text{O}$ を除いた SiO_2 、 Na_2O および $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$) の成分は増大の傾向である。一方、有色鉱物は減少の傾向である。

4.6 ケイ酸と格子定数 (A_m) との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数 (A_m) 組成範囲は9.713 (厚原穴：厚原風穴第一) ~9.819 (TT) Åで、その平均値 (9.764 Å) よりわずかに多いVTとTTの A_m は9.764と9.779 Åである。一方、濟州火山島における火山噴出物の A_m 範囲 (沢ら、1996・1998) は9.754~9.819 Åで、富士火山より狭い範囲である。ケイ酸と A_m との関係を究明するため、Fig.6とTable6は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に格子定数 (A_m : Å) をプロットした。上図の上線は濟州火山島における溶岩洞窟の成分であり、下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

濟州火山の洞窟：

$$A_m (\text{Å}) = 9.62 + 0.003 \text{WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.099) \cdots (26)$$

富士火山の洞窟：

$$A_m (\text{Å}) = 9.52 + 0.005 \text{WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.023) \cdots (27)$$

両方火山の洞窟：

$$A_m (\text{Å}) = 9.59 + 0.004 \text{WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.037) \cdots (28)$$

濟州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、 A_m はわずかな増大の傾向である。決定係数は0.1以下である。 A_m のVTとTTは、回帰直線の値とほぼ近い値である。VTとTT間の A_m は、子供国・犬涼2・須走胎内HおよびKTが含まれている。

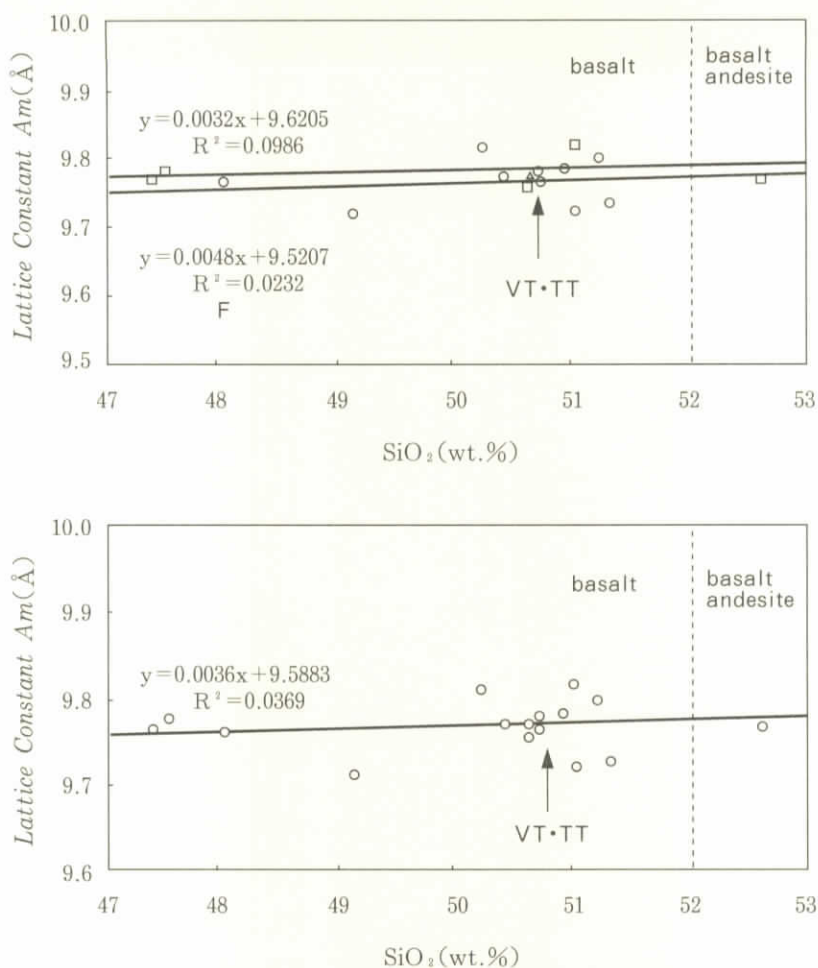


Fig.6 Relation between SiO₂ composition and monoclinic lattice constant (Am) of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano.

Table 6 Representative lattice constants of monoclinic results (Å) for the lava in the tree-mold (VT and TT) samples from Aokigahara lava in Fuji volcano, together with volcanic eruptive in Cheju Island.

NAME	青木ヶ原(AT)			柏原(KT)	富士火山	濟州火山島
	豎型(VT)	横臥(TT)	平均	豎型(VKT)		
Am	9.7643	9.7790	9.7717	9.8128	9.714~9.813	9.754~9.819
Bm	8.9218	8.8985	8.9102	8.9196	8.897~9.940	8.893~9.934
Cm	5.2144	5.1896	5.2020	5.2455	5.159~5.246	5.189~5.255
Bm	106.16	106.55	106.36	105.77	105.49~106.95	105.72~106.62

4.7 ケイ酸と格子定数 (Bm) との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数 (Bm) 組成範囲は8.897 (TT) ~8.940 (本八合目) Åで、その平均8.916 Åより大きい値であるVTのBmは8.922およびわずかに小さいBmは8.899である。一方、濟州火山島における火山噴出物のBm範囲 (沢ら、1996・1998) は8.893~8.934 Åで、富士火山より狭い範囲である。VTとTTのBmは、濟州火山島の平均値 (8.915 Å) の中間値である。ケイ酸とBmとの関係を究明するため、Fig.7とTable6は、横軸にSiO₂ (wt.%)、縦軸に格子定数 (Bm : Å) をプロットした。上図の上線は濟州火山島における溶岩洞窟の成分であり、下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

濟州火山の洞窟 :

$$Bm (\text{Å}) = 8.97 - 0.001 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.029) \quad \cdots (29)$$

富士火山の洞窟 :

$$Bm (\text{Å}) = 8.74 + 0.004 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.073) \quad \cdots (30)$$

両方火山の洞窟 :

$$Bm (\text{Å}) = 8.91 + 0.0001 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.0002) \quad \cdots (31)$$

濟州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、Bmはわずかな減少 (濟州火山) と増大 (濟州火山) の傾向がある。決定係数は0.03以下

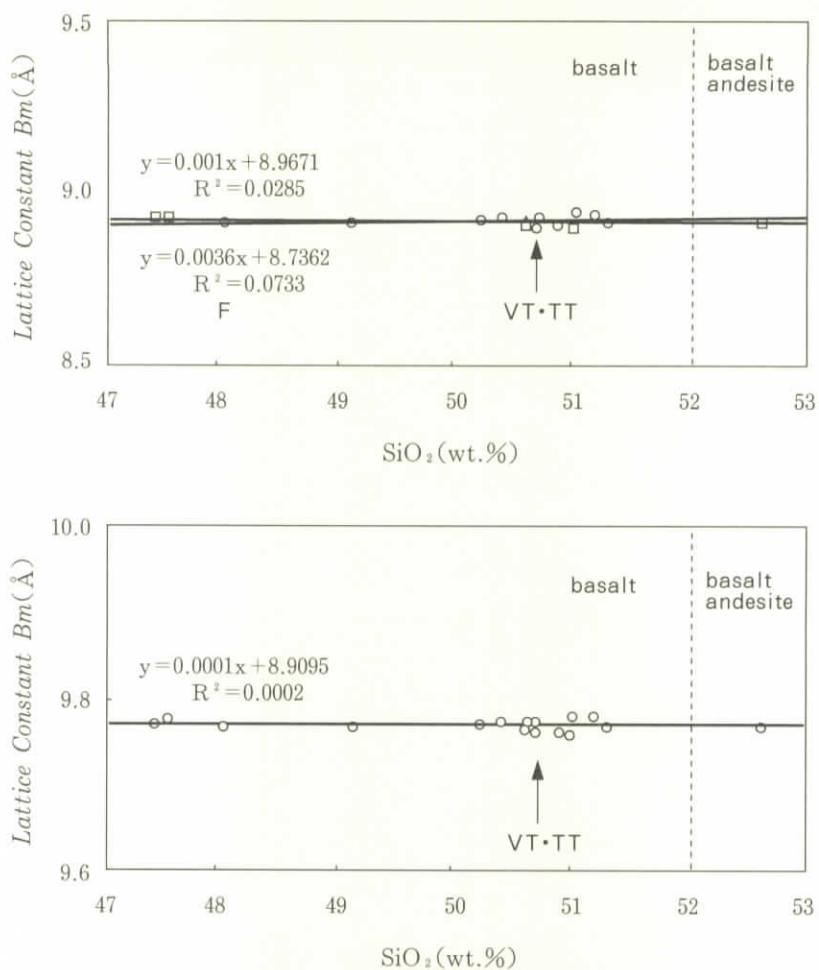


Fig.7 Relation between SiO₂ composition and monoclinic lattice constant (Bm) of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano.

である。両洞窟におけるBmのVTとTTは、回帰直線の値とほぼ近い値である。VTとTTのSiO₂組成は、KT・須走胎内より子供国・犬涼2・本八合方が近い成分である。VTとTT間のBmは、犬涼2と八幡穴の洞窟が含まれている。

4.8 ケイ酸と格子定数（Cm）との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数（Cm）組成範囲は5.159（子供国）～5.255（TT）Åで、その平均値（5.195Å）よりわずかに大きいVTのCmは5.214とわずかに小さいTTのCmは5.190である。一方、濟州火山島における火山噴出物のCm範囲（沢ら、1996・1998）は5.189～5.255Åで、富士火山より狭い範囲である。VTとTTのCmは、濟州火山島の平均値（5.211Å）よりわずかに大きいVTとわずかに小さいTTの間である。ケイ酸とCmとの関係を究明するため、Fig.8とTable6は、横軸にSiO₂（wt.%）、縦軸に格子定数（Cm：Å）をプロットした。上図の上線は濟州火山島における溶岩洞窟の成分であり、下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

濟州火山の洞窟：

$$Cm (\text{Å}) = 4.98 + 0.005 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.230) \quad \cdots (32)$$

富士火山の洞窟：

$$Cm (\text{Å}) = 4.67 + 0.010 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.133) \quad \cdots (33)$$

上方火山の洞窟：

$$Cm (\text{Å}) = 4.89 + 0.006 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.127) \quad \cdots (34)$$

濟州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、Cmはわずかな増大の傾向がある。決定係数は0.23以下である。VTとTT間のCmは、本八合目・KTおよび須走胎内の洞窟が含まれている。

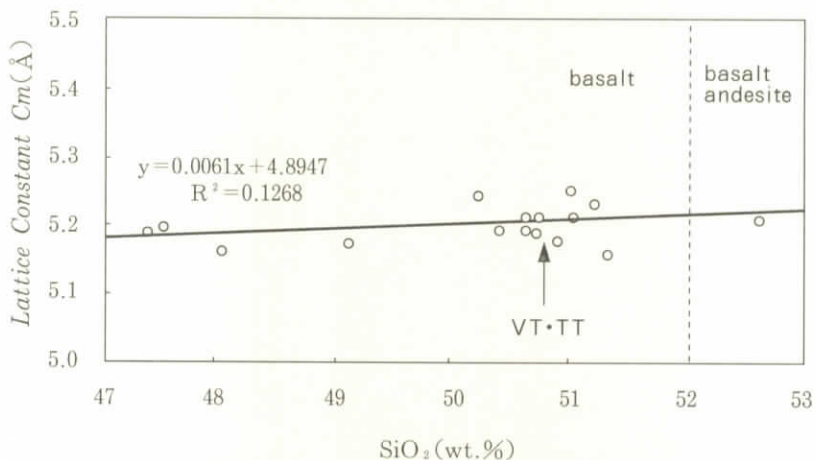
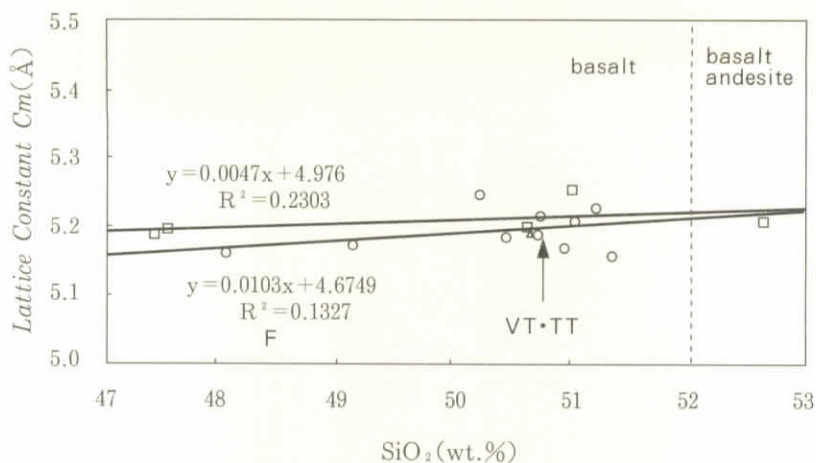


Fig.8 Relation between SiO_2 composition and monoclinic lattice constant (C_m) of lava tree-mold samples from Aokigahara lava in Fuji volcano.

5 お わ り に

青木ヶ原溶岩樹型群における堅型と横臥型の溶岩樹型の分析の結果、以下のことが分かった。

1) SiO_2 の含有率について、青木ヶ原溶岩樹型群は50.70wt.%で、双方とも玄武岩質（塩基性岩）である。

2) SiO_2 、 MgO の含有率は青木ヶ原溶岩樹型群の溶岩の方が高く、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O の含有率は柏原溶岩樹型群の溶岩の方が高いが、その他の元素については含有率がほぼ同じである。

3) 双方の溶岩樹型とも高アルミナ玄武岩である。

4) 双方の鉱物は、斜長石（灰長石）、カンラン石、普通輝石が多い。

5) VTとTTの結晶構造は、灰長石・曹長石・輝石の混合物である三斜晶系・単斜晶系・立方晶系・斜方晶系の混晶である。

6) ケイ酸が増大するにつれ、 Na_2O (VTは2.69wt.% ; TTは2.66wt.%) ・ $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 組成 (VTは3.46wt.% ; TTは3.45wt.%) ・ 格子定数 (A_m ; VTは9.764 Å ; TTは9.779 Å) および格子定数 (C_m ; VTは5.214 Å ; TTは5.190 Å) は増大の傾向である。すなわち、格子定数の A_m と C_m は、ケイ酸の含有率に依存している。

7) ケイ酸が増大するにつれ、 K_2O (VTは0.77wt.% ; TTは0.79wt.%) ・ Fe_2O_3 組成 (VTは11.80wt.% ; TTは12.00wt.%) ・ MgO 組成 (VTは9.71wt.% ; TTは9.63wt.%) ・ 有色鉱物 (VTは26.72wt.% ; TTは26.85wt.%) は減少の傾向である。

8) ケイ酸が増大するにつれ、格子定数 (B_m ; VTは8.922 Å ; TTは8.899 Å) はほぼ一定である。すなわち、格子定数の B は、ケイ酸の含有率に依存せず、測定誤差の範囲内である。

9) 無色鉱物の成分が増大するにつれ、有色鉱物の成分は減少の傾向である。ここで、無色鉱物の含有率は SiO_2 に大きく影響し、有色鉱物の含有率は Fe_2O_3 に大きく影響しているのである。

濟州火山島の萬丈窟(沢ら、1990)、白頭山の鹿蹄洞(沢ら、1996)の溶岩洞窟には、アルカリ玄武岩が分布している。一方、富士山の青木ヶ原樹型における今回分析した双方の溶岩樹型は、高アルミナ玄武岩であった。これらの違いは、溶岩樹型の成因研究において重要な意味があると考えられる

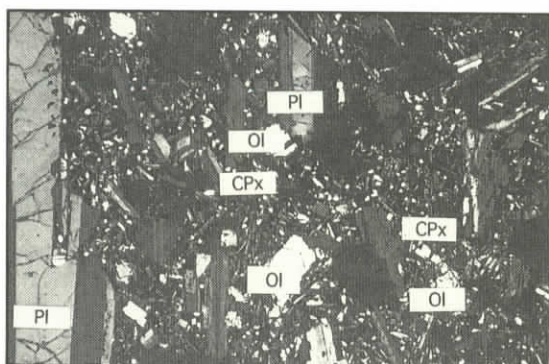
謝 辞

この研究は、本学研究補助金による成果である。この論文のデータ作成にあたっては(株)リガクの中村和樹氏に多くのご協力を頂き、関係各位に感謝の意を表します。この試料採集にあたっては富士山火山洞窟学研究会の川村一之事務局長始め、なるさわ富士山博物館の渡辺芳明・三浦春彦氏、さらに、データ処理には藤田浩史氏に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 石原初太郎, 1929. 史跡名勝天然記念物調査報告書第4号. 山梨県.
- 2) KUNO, H., 1996. Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. *Bull. volcanol.*, (2), 29:195-222.
- 3) 小川孝徳, 1971. 富士総合学術調査報告書。(財)堀内浩庵会, 120-128.
- 4) 沢勲・井上久・立原弘, 1998. 富士火山の柏原と青木ヶ原溶岩樹型の成分比較. *洞窟学雑誌*, 28:39-45.
- 5) 沢勲・井上久, 1999. X-ray fluorescence analysis and K-Ar age determination of a lava bridge in Manjang-gul cave, Korea. *洞窟学雑誌*, 29: 57-63.
- 5) 沢勲・井上久・河野久征, 2000. X-ray analysis and K-Ar age determination on lava bridge in Manjang-gul cave. *大阪経済法科大学論集*, 76 :37-56.
- 6) 沢勲・洪始煥・河野久征, 1998. 濟州火山島の萬丈窟の双子溶岩石柱の単斜晶系と立方晶系. *大阪経済法科大学論集*, 70:55-78.

- 7) 沢勲・劉忠傑・河野久征, 1996. 白頭山、鹿鳴峰の北側にある溶岩に関する単斜晶系の格子定数. 大阪経済法科大学論集, 64:29-61.
- 8) 沢勲・村田守・河野久征, 1996. 白頭山の鹿蹄洞と濟州火山島の萬丈窟における熔岩洞窟の成分比較. 洞窟学雑誌, 21:65-70.
- 9) 沢勲・村田守・洪始煥・鹿島愛彦, 1990. 大韓民国万丈窟双子熔岩石柱についての二、三の知見. 洞窟学雑誌, 15:42-46.
- 10) 立原弘編, 1997. 山梨県富士山北麓, 柏原熔岩樹型群観察報告書. 日本洞窟学会火山洞窟学部、126p・サカエプリント社 東京.
- 11) 立原弘, 1998. 熔岩樹型の観察. ケイプフェスティバルガイドブック, 45-62.
- 12) 津屋弘達, 1938. 富士火山の地質学的並に岩石学的研究 (II). 東京大学地震研究所彙報, 16 : 638-657.
- 13) 津屋弘達, 1971. 富士総合学術調査報告書. (財)堀内浩庵会, 2-127.
- 14) 渡辺長敬・植田但人, 1997. 柏原熔岩樹型群の樹型形成樹木と樹林帯について, 学部報 (日本洞窟学会火山洞窟学部会), 2:29-34.
- 15) A. Miyashiro, 1978. Nature of Alkali Volcanic Rock Series. *Contrib. Mineral.Petrol.* 66 P.94~104.
- 16) R. W. Le Maitre, 1978. 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』, Blackwell Scientific Publications.



付録：富士火山の青木ヶ原樹型（横臥型）溶岩の偏光顕微鏡写真（クロスニコル，47倍で表示）Pl（斜長石），Ol（かんらん石），Cpx（単斜輝石）

