

富士火山、柏原溶岩樹型の蛍光X線分析とX線回折法

— IT による豎型溶岩樹型の成分分析と単斜晶系の解析 —

沢 勲 Isao SAWA 立原 弘 Hiroshi TACHIHARA
井上 央 Hisashi INOUE 金 炳 宇 Byoung-Woo KIM

X-Ray Fluorescence Analysis and X-Ray Diffraction Method of Kashiwappara Lava Tree-Mold in Fuji Volcano.

—Vertical Tree-mold of Component and Monoclinic System by IT—

ABSTRACT

The Kashiwappara (LT) lava is on the northeastern and the northeastern skirt of the Fuji Volcano., at latitude $35^{\circ}25'17''\text{N}$ and longitude $138^{\circ}49'40''\text{E}$. There distribute tree-molds for med in about $3 \pm 20\text{A.D.}$ Major chemical Compositions of these lava tree-molds are revealed by XRF (X-Ray Fluorescence) Analysis. These values may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the tree-mold from LT are as follows :

$\text{SiO}_2=50.20$, $\text{TiO}_2=1.51$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.30$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.20$, $\text{MnO}=0.18$,
 $\text{MgO}=5.07$, $\text{CaO}=9.71$, $\text{Na}_2\text{O}=2.71$, $\text{K}_2\text{O}=0.77$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.31$ in LT.

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 Kashiwappara lava Sample 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 (A_m , B_m and C_m axis), and axis angle (β_m) are, $A_m = 9.8128 \text{ \AA}$, $B_m = 8.9196 \text{ \AA}$, $C_m = 5.2455 \text{ \AA}$ and $\beta_m = 105.77^{\circ}$ in LT.

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85号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol. 85 (2003), pp 1-35]

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（立原ほか、1997・1998）に述べられている。沢・井上・立原（1998）等によって青木が原と柏原溶岩樹型の成分分析が行われた。さらに、沢・井上ら（2001）等によって済州火山の翰林溶岩樹型のX線分析と偏光顕微鏡の報告がある。また、沢・井上・小川・立原（2002）等によって富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折が行われた。今回は、ITによる成分分析値並びに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。柏原溶岩流は古文書（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。青木が原溶岩は、西暦864～865年に長尾山から噴出した記録がある。が、柏原壺型溶岩樹型は、鷹丸尾溶岩流の源流である。今回、鷹丸尾溶岩流における柏原壺型溶岩樹型No.70（LT）で採取した試料（LT）は、下記の概要である。

- a) 場 所：山梨県富士吉田市上吉田字鷹丸尾5609-2
- b) 海 抜：1,000m
- c) 経 度：北緯 $35^{\circ} 25' 17''$ ；緯 度：東経 $138^{\circ} 49' 40''$
- d) 洞 口：430cm×368cm（内部は巨大な円形状態）
- e) 深 度：430cm
- f) 調 査：1996年（7から12月まで10日）
1997年（3から7月まで13日）

LTの特徴として、①溶岩の厚さは4～5cmである。②年代は、 ^{14}C の年代測定によると約2千年前である。③樹型LTの上部に、No.92の環状樹型がある。

環状樹型は、転び落ちる中で、LT 上部が高いため、流れが障害になって、方向が変えられぬまま留まっている現象である。④この溶岩樹型群での溶岩樹型は、単位面積当たりの樹型数（150）は、青木が原溶岩樹型より少ないが、日本では最大級である。その中で、108本は学術的に評価の高いものがある。

本報告では、蛍光X線分析によるLTの重量百分率（wt.%）は、それぞれ $\text{SiO}_2=50.20$, $\text{TiO}_2=1.51$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.30$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.20$, $\text{MnO}=0.18$, $\text{MgO}=5.07$, $\text{CaO}=9.71$, $\text{Na}_2\text{O}=2.71$, $\text{K}_2\text{O}=0.77$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.31$ である。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。さらに、計算値による陽電子百分率との回帰分析と決定係数（0.936）を算術した。一方、X線回折による単斜晶系の格子定数を、 $a_m=9.8128\text{ \AA}$, $b_m=8.9196\text{ \AA}$, $c_m=5.2455\text{ \AA}$ and $\beta_m=105.77^\circ$ を決定した。

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のチップに荒砕きし、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、タンゲステンカーバイト製容器を用い、ヘキサンによる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1,200°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

Table 1 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Tree-mold Sample from Kashiwappara 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	K α				X線管			縦型 Rh 管		
管電力	50kV				管電流			70mA		
フィルター	Out				分析径			30mm ϕ		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

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）にてガラスビーブド法で行い、定量分析はF P法にて行った。測定条件は **Table 1** 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（30mm ϕ ）を使用した。測定装置は、理学電機製のX線回折装置 RINT-2500（湾曲グラフィイト・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（2 θ / 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⑫データ処理に用いたX線の波長 (1.54056Å) である。

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、2次検索の定性分析のチャートは、**Fig. 1**である。この2次検索の分析のチャートから単斜晶系 (**Fig. 2**) と三斜晶系 (**Fig. 3**) の各ピークに対して面指数を決定した。単斜晶系の2次検索のピーク・サーチを行ったデータは **Table 2** である。ここで、左側はLT回折のデータであり、このデータに対応するのが面指数である。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 2θ (°) と面間隔 d (Å) は、ブラッグの反射条件式によって決定される⁹⁻¹⁰⁾。

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

ここで、 λ は波長 (Å) 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、**Table 3** のとおりである。

ICCD におけるNo.24-0203のCa (Mg,Fe) Si₂O₆ 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。半価幅が 0.30° 以上の面指数 (**Table 3** と **Fig. 2**) は、①半価幅0.353は(020)面、②半価幅0.400は(-221)面、③半価幅0.329は(240)面、④半価幅0.396は(440)面および⑤0.353は(350)面の5つの面指数である。相対強度20%以上は、①相対強度26は(220)面、②相対強度34は(-221)面、③相対強度26は(310)面および④相対強度32は(-312)面の4つの面指数 (**Table 3** と **Fig. 2**) である。

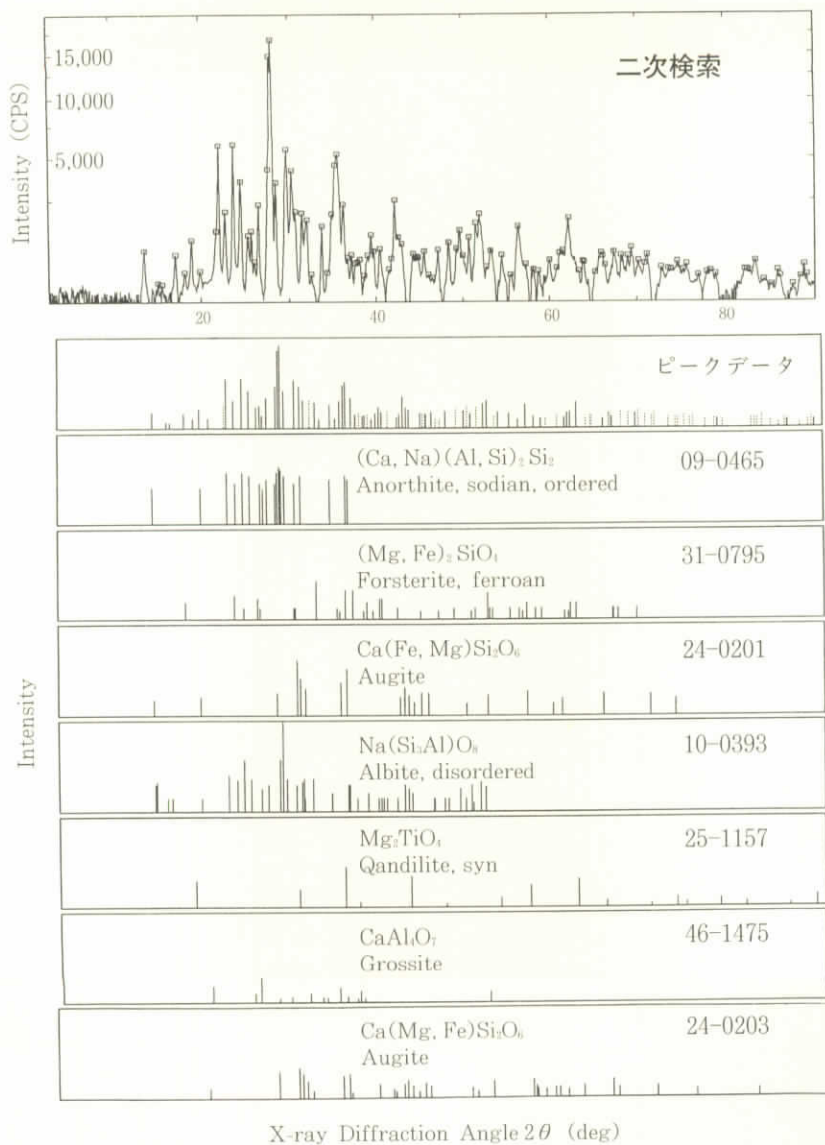


Fig. 1 The Qualitative Analysis of 2nd Search-match of Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

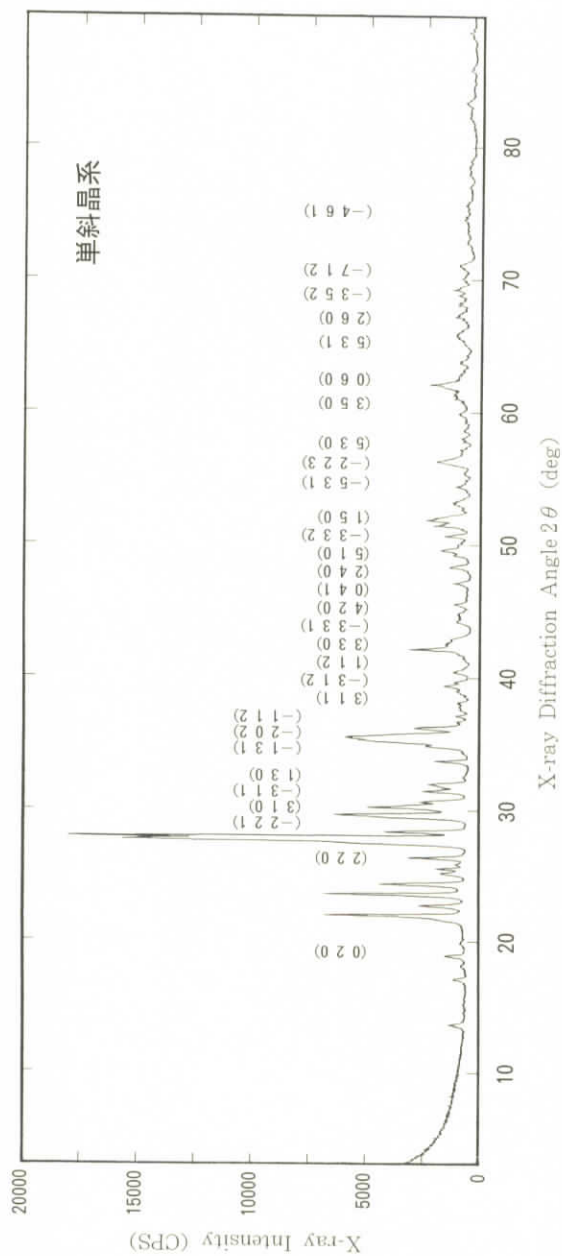


Fig. 2 The X-ray Diffraction Patterns (Monoclinic, Augite) of Tree-mold Sample from Kashiuppara in Fuji Volcano.

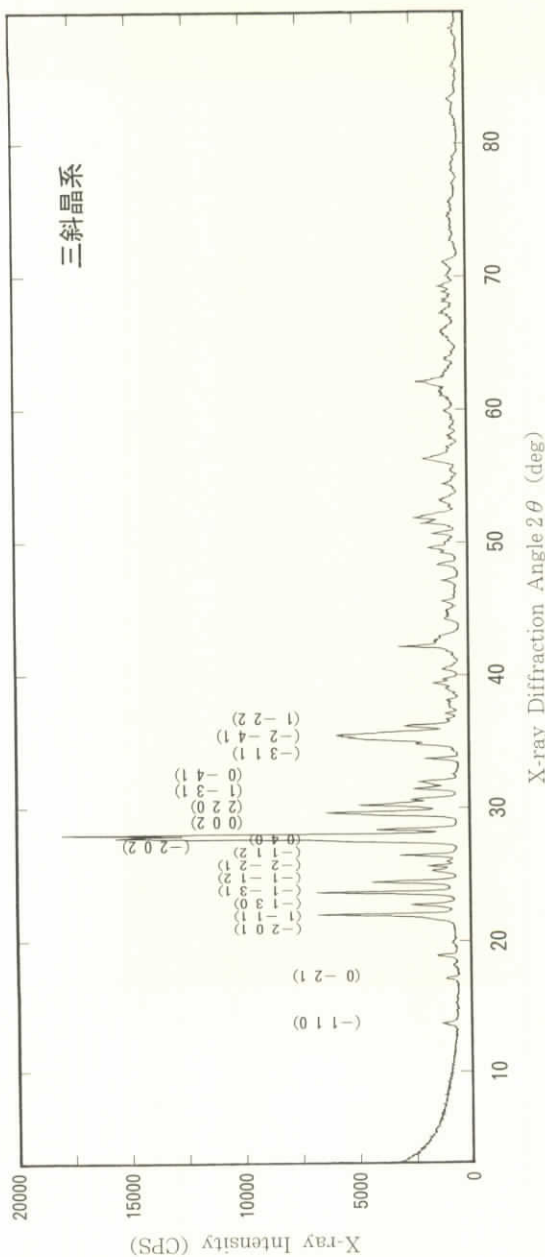


Fig. 3 The X-ray Diffraction Patterns (Triclinic, Anorthite) of Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

Table 2 The Qualitative Analysis of Ist Search-match for Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

番号	カード番号	化学式	鉱物名	Q	E	標準本数	一致本数	信頼係数
1	09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered		<input type="checkbox"/>	19	16	712
2	31-0795	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite, ferroan	I	<input type="checkbox"/>	40	31	681
3	24-0201	Ca(Fe,Mg)Si ₂ O ₆	Augite	I	<input type="checkbox"/>	24	16	616
4	10-0393	Na(Si ₃ Al)O ₈	Albite, disordered	*	<input type="checkbox"/>	42	32	582
5	25-1157	Mg ₂ TiO ₄	Qandilite, syn	*	<input type="checkbox"/>	17	9	536
6	46-1475	CaAl ₂ O ₇	Grossite	I	<input type="checkbox"/>	14	7	481
7	41-1481	(Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	Anorthite, sodian, disordered	I	<input type="checkbox"/>	66	50	661
8	18-1202	(Ca,Na)(Si,Al) ₃ O ₈	Anorthite, sodian, interme	I	<input type="checkbox"/>	52	41	653
9	09-0456	(Na,Ca)(Si,Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, disordered		<input type="checkbox"/>	19	11	644
10	41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, ordered	*	<input type="checkbox"/>	82	54	621
11	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	C	<input type="checkbox"/>	92	53	572
12	10-0357	(Na,K)(Si ₃ Al)O ₈	Sanidine, potassian, disordered		<input type="checkbox"/>	17	12	558
13	39-0386	Na ₂ CaAl ₂ Si ₂ O ₁₀	Liselite		<input type="checkbox"/>	26	15	548
14	17-0548	FeSiO ₃	Clinoferrosilite, syn		<input type="checkbox"/>	12	9	536
15	33-0670	Fe ₂ P	Barringerite, syn	C	<input type="checkbox"/>	26	15	523
16	41-1480	(Na,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, ordered	I	<input type="checkbox"/>	71	40	517
17	34-0098	CaFeSiO ₄	Kirschsteinite, syn	*	<input type="checkbox"/>	81	37	491
18	39-0341	Fe ₃ (PO ₄) ₂	Sarcopsite, syn	I	<input type="checkbox"/>	39	22	489
19	27-0250	Fe ₃ (PO ₄) ₂	Graftonite, syn	I	<input type="checkbox"/>	71	34	471
20	13-0421	(Fe,Mg,Ca)SiO ₃	Pigeonite	I	<input type="checkbox"/>	33	17	455
21	09-0478	(Na,K)(Si ₃ Al)O ₈	Anorthoclase, disordered	I	<input type="checkbox"/>	30	17	454
22	31-0633	(Fe,Mg) ₂ SiO ₄	Fayalite, magnesian	I	<input type="checkbox"/>	40	14	442
23	39-0368	Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	Grossular	*	<input type="checkbox"/>	39	16	440
24	13-0293	Mg ₂ Al ₂ Si ₂ O ₁₀	Indialite, syn	*	<input type="checkbox"/>	38	21	430
25	43-1484	Al ₂ O ₃	Corundum, syn	C	<input type="checkbox"/>	25	13	426
26	19-1184	NaAlSi ₃ O ₈	Albite, ordered	I	<input type="checkbox"/>	147	64	410
27	39-1425	SiO ₂	Cristobalite, syn	*	<input type="checkbox"/>	40	16	407
28	46-1212	Al ₂ O ₃	Corundum, syn	*	<input type="checkbox"/>	25	12	404
29	33-0302	Ca ₂ SiO ₄	Larnite, syn	*	<input type="checkbox"/>	57	30	404
30	34-0185	NaFe(SiO ₃) ₂	Aegirine, syn	*	<input type="checkbox"/>	36	14	397

Q: 信頼性マーク E: 指定元素 : 主成分

Table 3 The X-ray Data (Miller index, lattice distance, half-width and relative intensity) of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

番号	面指数			面間隔 d (Å)	半価幅 Δ (°)	相対強度 I/I ₀
	h	k	l			
1	0	2	0	4.4624	0.353	2
2	2	2	0	3.2384	*****	26
3	-2	2	1	3.0055	0.400	34
4	3	1	0	2.9493	0.212	26
5	-3	1	1	2.9080	0.212	12
6	1	3	0	2.8395	0.235	12
7	-1	3	1	2.5701	0.188	12
8	-2	0	2	2.5225	0.282	4
9	-1	1	2	2.4767	0.282	4
10	3	1	1	2.3053	0.188	4
11	-3	1	2	2.2652	0.212	32
12	1	1	2	2.2265	0.282	14
13	3	3	0	2.1582	*****	4
14	-3	3	1	2.1196	0.259	4
15	-4	2	1	2.1036	0.282	2
16	4	2	0	2.0430	0.282	2
17	0	4	1	2.0317	*****	5
18	2	4	0	2.0162	0.329	4
19	5	1	0	1.8336	0.165	4
20	-3	3	2	1.8213	0.165	4
21	1	5	0	1.7590	0.188	12
22	-5	3	1	1.6817	0.212	4
23	4	4	0	1.6543	0.396	2
24	-2	2	3	1.6300	0.306	10
25	5	1	1	1.5843	0.282	2
26	6	0	0	1.5706	0.329	2
27	3	5	0	1.5396	0.353	4
28	-6	2	1	1.5204	0.165	2
29	0	6	0	1.4904	0.188	12
30	2	6	0	1.4151	0.188	4
31	-3	5	2	1.4067	0.165	4
32	-7	1	2	1.3268	0.165	4
33	-4	6	1	1.2599	0.165	2

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。

- ① X線の管球 (Cu)、② 発散スリット (1 deg.)、③ 散乱スリット (1 deg.)、④ 管電圧 (50kV)、⑤ 管電流 (300mA)、⑥ 走査軸 ($2\theta/\theta$)、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 ($2^\circ/\text{min}$)、⑪ ゴニオメーター (RINT2000広角ゴニオメーター) および⑫ データ処理に用いた X線の波長 (1.54056\AA) 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 (Table 4) である。SiO₂=50.20、TiO₂=1.51、Al₂O₃=17.30、Fe₂O₃=12.20、MnO=0.18、MgO=5.07、CaO=9.71、Na₂O=2.71、K₂O=0.77、P₂O₅=0.31。

二次検索によると、溶岩樹型に近い鉱物に対して、高い信頼係数と物質番号ICCD (Table 2 と Fig. 1) から、次のような化学式や結晶構造を要約した。

橄欖石は、信頼係数681のNa₃₁-0795・(Mg, Fe)₂SiO₄の斜方晶系、

灰長石は、信頼係数661のNa₄₁-1481・(Ca, Na)(Si, Al)₄O₈の三斜晶系、

灰長石は、信頼係数653のNa₁₈-1202・(Ca, Na)(Si, Al)₄O₈の三斜晶系、

普通輝石は、信頼係数616のNa₂₄-0201・Ca(Mg, Fe)Si₂O₆の単斜晶系

Qandilite は、信頼係数536のNa₂₅-1157・Mg₂TiO₄の立方晶系。

これらの鉱物は、Table 5 ような構造式、分子量、結晶構造、光沢、比重、硬度であり、JCPDS カードによる信頼係数が確認された。ゆえに、今回は、単斜晶系のNa₂₄-0201と同様のNa₂₄-0203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。

Table 4 Representative XRF Analysis Results (wt.%) for the Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

化学組成	青木ヶ原 溶岩樹型		柏原溶 岩樹型		こども の国溶 岩樹型	富士山 の最小 成分	富士山 の平均 成分	富士山 の最大 成分	富士山の 成分範囲
	堅型	横臥	堅型	横臥	MIN	AVG	MAX		
SiO ₂	50.70	50.70	50.20	50.40	50.20	50.50	50.70	48.00~51.30	
TiO ₂	1.44	1.47	1.51	1.55	1.44	1.49	1.55	1.03~ 1.97	
Al ₂ O ₃	17.20	17.10	17.30	16.40	16.40	17.00	17.30	15.83~19.03	
Fe ₂ O ₃ *	11.80	12.00	12.20	12.50	11.80	12.13	12.50	1.60~13.70	
MnO	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19	0.15~ 0.29	
MgO	5.18	5.22	5.07	5.71	5.07	5.30	5.71	3.80~ 6.76	
CaO	9.74	9.63	9.71	9.60	9.60	9.67	9.74	0.77~10.42	
Na ₂ O	2.69	2.66	2.71	2.57	2.57	2.66	2.71	2.29~ 3.16	
K ₂ O	0.77	0.79	0.77	0.82	0.77	0.79	0.82	0.52~ 1.16	
P ₂ O ₅	0.29	0.30	0.31	0.36	0.29	0.32	0.36	0.08~ 0.54	
MAX	50.70	50.70	50.20	50.40	50.20	50.50	50.70		
AVG	10.00	10.01	10.00	10.01	9.83	10.00	10.16		
MIN	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19		

Fe₂O₃ * : Total Fe₂O₃

Table 5 Representative Mineral, Chemical Formula, Structural Formula, Molecular Weight, Crystal Structure and Confidence Coefficient for the Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

鉱物名	Albite	Anorthite	Augite	Forsterite
鉱物名	アルバイト (曹長石)	アノーサイト (灰長石)	普通輝石	フォーステライト (橄欖石)
化学式	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	CaO·Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	CaO·(Mg,Fe)O· 2SiO ₂	CaO·(Mg,Fe)O· 2SiO ₂
構造式	Na(AlSi ₃ O ₈)	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	2(Mg,Fe) ₂ SiO ₄
分子量	522.59	278.22	288.41	284.39
結晶構造	三斜晶系	三斜晶系	単斜晶系	斜方晶系
光沢	玻璃	玻璃	黒色	無色
比重	2.62	2.76	3.2~3.99	3.2~4.4
硬度	6	6		
信頼係数	582	653	616	681
JCPDSカード	10-0393	18-1202	24-0201	31-0795

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・井上ら、1996・1998) は、面間隔 (d) と面指数 (hkl) からによって最小二乗法によって求められる (Table 6)。これらの関係式は、次のとおりである。

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

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、Table 6 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。面間隔 (d) と面指数 (hkl) から最小二乗法によって、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、これらを最小二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。

$$1/(A^2 \sin^2 \beta) = X_1 \dots\dots\dots (3)$$

$$1/B^2 = X_2 \dots\dots\dots (4)$$

$$1/(C^2 \sin^2 \beta) = X_3 \dots\dots\dots (5)$$

$$-2 \cos \beta / (AC \sin^2 \beta) = X_4 \dots\dots\dots (6)$$

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、

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

条件 (*) から次のように格子定数 B が求められる。

Table 6 The Lattice Constants of the Method of Calculation by X-ray Data for Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

面指数	面間隔	m	a	b	c	d	am	bm	cm	dm	ab	ac	ad	bc	bd	cd	a ²	b ²	c ²	d ²		
h, k, l	d	1/d ²	h ² k ² l ²	1 ²	h ²	k ²	l ²	h	b	m	cm	dm	ab	ac	ad	bc	bd	cd	a ²	b ²	c ²	d ²
1	0	2	0	4.4624	0.0502	0	4	0	0	0.000	0.201	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	16	0	0
2	2	0	3.2384	0.0954	4	4	0	0	0.381	0.381	0.000	0.000	16	0	0	0	0	0	16	16	0	0
3	-2	1	3.0055	0.1107	4	4	-2	0	0.443	0.443	0.111	-0.221	16	4	-8	4	-8	-2	16	16	1	4
4	3	1	2.9493	0.1150	9	1	0	0	1.035	0.115	0.000	0.000	9	0	0	0	0	0	81	1	0	0
5	-3	1	2.9080	0.1183	9	1	-3	0	1.064	0.118	0.118	-0.355	9	9	-27	1	-3	-3	81	1	1	9
6	1	3	0	2.8395	0.1240	1	9	0	0.124	0.116	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	1	81	0	0
7	-1	3	1	2.5701	0.1514	1	9	-1	0.151	1.363	0.151	-0.151	9	1	-1	9	-9	-1	1	81	1	1
8	-2	2	2.5225	0.1572	4	0	4	-4	0.629	0.000	0.629	-0.629	0	16	-16	0	0	-16	16	0	16	16
9	-1	2	2.4767	0.1630	1	1	4	-2	0.163	0.163	0.652	-0.326	1	4	-2	4	-2	-8	1	1	16	4
10	-3	1	2.3053	0.1882	9	1	1	3	1.694	0.188	0.188	0.565	9	9	27	1	3	3	81	1	1	9
11	-3	1	2.2652	0.1949	9	1	4	-6	1.754	0.195	0.780	-1.169	9	36	-54	4	-6	-24	81	1	16	36
12	1	2	2.2265	0.2017	1	1	4	2	0.202	0.202	0.807	0.403	1	4	2	4	2	8	1	1	16	4
13	-3	3	0	2.1582	0.2147	9	9	0	1.932	1.932	0.000	0.000	81	0	0	0	0	0	81	81	0	0
14	-3	3	1	2.1196	0.2226	9	9	-3	2.003	2.003	0.223	-0.668	81	9	-27	9	-27	-3	81	81	1	9
15	-4	2	1	2.1036	0.2260	16	4	1	3.616	0.904	0.226	-0.904	64	16	-64	4	-16	-4	256	16	1	16
16	4	2	0	2.0430	0.2396	16	4	0	3.833	0.958	0.000	0.000	64	0	0	0	0	0	256	16	0	0
17	0	4	1	2.0317	0.2423	0	16	1	0.000	3.876	0.242	0.000	0	0	0	16	0	0	0	256	1	0
18	2	4	0	2.0162	0.2460	4	16	0	0.984	3.936	0.000	0.000	64	0	0	0	0	0	16	256	0	0
19	5	1	0	1.8336	0.2974	25	1	0	7.436	0.297	0.000	0.000	25	0	0	0	0	0	625	1	0	0
20	-3	3	2	1.8213	0.3015	9	9	4	2.713	2.713	1.206	-1.809	81	36	-54	36	-54	-24	81	81	16	36
21	1	5	0	1.7590	0.3232	1	25	0	0.323	0.880	0.000	0.000	25	0	0	0	0	0	1	625	0	0
22	-5	3	1	1.6817	0.3536	25	9	1	8.840	3.182	0.354	-1.768	225	25	-125	9	-45	-5	625	81	1	25
23	4	0	1.6543	0.3654	16	16	0	0	5.846	5.846	0.000	0.000	256	0	0	0	0	0	256	256	0	0
24	-2	2	3	1.6300	0.3764	4	4	9	1.506	1.506	3.387	-2.258	16	36	-24	36	-24	-54	16	16	81	36
25	5	1	1.5843	0.3984	25	1	1	5	9.960	0.398	0.398	1.992	25	25	125	1	5	5	625	1	1	25
26	6	0	1.5706	0.3874	36	0	0	0	13.947	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	0
27	3	5	0	1.5396	0.4219	9	25	0	3.797	10.547	0.000	0.000	225	0	0	0	0	0	81	625	0	0
28	-6	2	1	1.5204	0.4326	36	4	1	15.574	1.730	0.433	-2.596	144	36	-216	4	-24	-6	1296	16	1	36
29	0	6	1	1.4904	0.4502	0	36	0	0.000	16.207	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1296	0	0
30	2	6	0	1.4151	0.4994	4	36	0	1.997	17.977	0.000	0.000	144	0	0	0	0	0	0	1296	0	0
31	-3	5	2	1.4067	0.5054	9	25	4	4.548	12.634	2.021	-3.032	225	36	-54	100	-150	-24	81	625	16	36
32	-7	1	1.3268	0.5681	49	1	4	-14	27.835	0.568	2.272	-7.953	49	196	-686	4	-14	-56	2401	1	16	196
33	-4	6	1	1.2599	0.6300	16	36	1	10.080	22.679	0.630	-2.520	576	16	-64	36	-144	-4	256	1296	1	16
SUM:				9.3717	370	322	48	-62	134.410	122.461	14.828	-23.399	2458	514	-1268	282	-516	-218	8722	7138	204	514

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。

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

この等式の右辺を式 (6) の左辺と比べれば、つぎのような等式が、

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

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。

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

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

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

したがって、

$$\beta = \cos^{-1} (1 - 2^{-1}) (X_4 / X_1 X_3) \dots\dots\dots (12)$$

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。

$$\begin{aligned} A^2 &= X_1^{-1} (1 / \sin^2 \beta) = 4 X_1 X_3 / \{X_1 (4 X_1 X_3 - X_4^2)\} \\ &= 4 X_3 / (4 X_1 X_3 - X_4^2) \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

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。

3.2 δ 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。

$$C^2 = 4X_1 / (4X_1X_3 - X_4^2) \dots\dots\dots (15)$$

したがって、

$$C = 2\sqrt{X_1 / (4X_1X_3 - X_4^2)} \dots\dots\dots (16)$$

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 (hkl)² = μ、面指数（hkl）からh² = α、k² = β、l² = γおよびhk = δと書くとX₁、…、X₄を求める正規方程式の係数から作られる行列式（沢・井上ら、1996・1998）は次のようになる。

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

この正規方程式から作られる行列式（17）は、LTとTTの係数では、

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 282 & -516 \\ 514 & 282 & 204 & -218 \\ -1268 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} = 2.02737E+12 \dots\dots\dots (17_{\Delta})$$

である。まず、式（3）のX₁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。

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

この正規方程式から作られる行列式 (18) は、X の係数では、

$$X_{1LT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 134.410 & 2458 & 514 & -1268 \\ 122.461 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.828 & 282 & 204 & -218 \\ -23.399 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \\ = 0.011213 \dots \dots \dots (18_{1LT})$$

のようになる。式 (18) の X_{1LT} は 0.011213 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_{2LT} の係数では、

$$X_{2LT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 134.410 & 514 & -1268 \\ 2458 & 122.461 & 282 & -516 \\ 514 & 14.828 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.399 & -218 & 514 \end{vmatrix} \\ = 0.012569 \dots \dots \dots (19_{2LT})$$

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_{3LT} の係数では、

$$X_{3LT} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 134.410 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 122.461 & -516 \\ 514 & 282 & 14.828 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.399 & 514 \end{vmatrix}$$

$$= 0.039241 \dots \dots \dots (20_{\text{LIT}})$$

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、 $X_{4\text{LIT}}$ の係数では、

$$X_{4\text{LIT}} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 134.410 \\ 2458 & 7138 & 282 & 122.461 \\ -1268 & -516 & -218 & 14.828 \\ 514 & 282 & 204 & -23.399 \end{vmatrix} \\ = 0.011399 \dots \dots \dots (21_{\text{LIT}})$$

のようになる。ゆえに、式（21）の $X_{4\text{LIT}}$ は0.011399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_{LIT} に関して、式（14）から式（22）のように求められる。

$$A_{\text{LIT}} = 2\sqrt{0.039241 / (4 \times 0.011213 \times 0.039241 - 0.011399^2)} \\ = 9.8128 \text{ \AA} \dots \dots \dots (22)$$

格子定数Bは、式（7）から式（23）のように求められる。

$$B_{\text{LIT}} = \sqrt{1 / 0.012569} = 8.9196 \text{ \AA} \dots \dots \dots (23)$$

格子定数Cは C_{LIT} に関して、式（16）から式（24）のように求められる。

$$C_{\text{LIT}} = 2\sqrt{0.011213 / (4 \times 0.011213 \times 0.039241 - 0.011399^2)} \\ = 5.2455 \text{ \AA} \dots \dots \dots (24)$$

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

$$\begin{aligned} \beta_{LT} &= \cos^{-1}(1-2^{-1})(0.011870/\sqrt{0.011372 \times 0.039876}) \\ &= 105.77^\circ \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

4 考 察

4.1 全岩化学組成および考察

試料LTの組成に対して、分子量から陽電子百分率を計算し（Table 7）、蛍光X線分析により各酸化物を測定（Table 4）し、この重量百分率W（wt.%）と陽電子百分率P（%）との相関係数と決定係数（Fig. 4）を次式のように求めた。

$$W = 1.96 + 0.829 W \dots\dots\dots (R^2=0.936) \dots\dots\dots (26)$$

前式から相関関係の比較を行った結果、相関係数と決定係数は、それぞれ0.829と0.936である。Fig. 4における実線と点線は、それぞれ回帰分析の結果であり、両百分率が同値の場合である。この15%での百分率は、理論と実験の差異が無く、離れるのいつれて大きく、SiO₂はより大きい。これらを鮮明に表示したのがFig. 4下図の棒グラフである。測定値より多い計算値の酸化物は、SiO₂、Al₂O₃、Na₂OおよびK₂Oの5つの酸化物であり、その外の酸化物は少ない酸化物である（Table 7）。

富士山にある溶岩樹型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Table 4に示した。富士山における火山噴出物のSiO₂組成範囲は、50.20（LT）～50.70（青木が原）wt.%で、その中間にある試料（こども国）のSiO₂は50.40wt.%で玄武岩質（塩基性岩）である。さらに、LTのSiO₂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、分子百分率より7.8wt.%

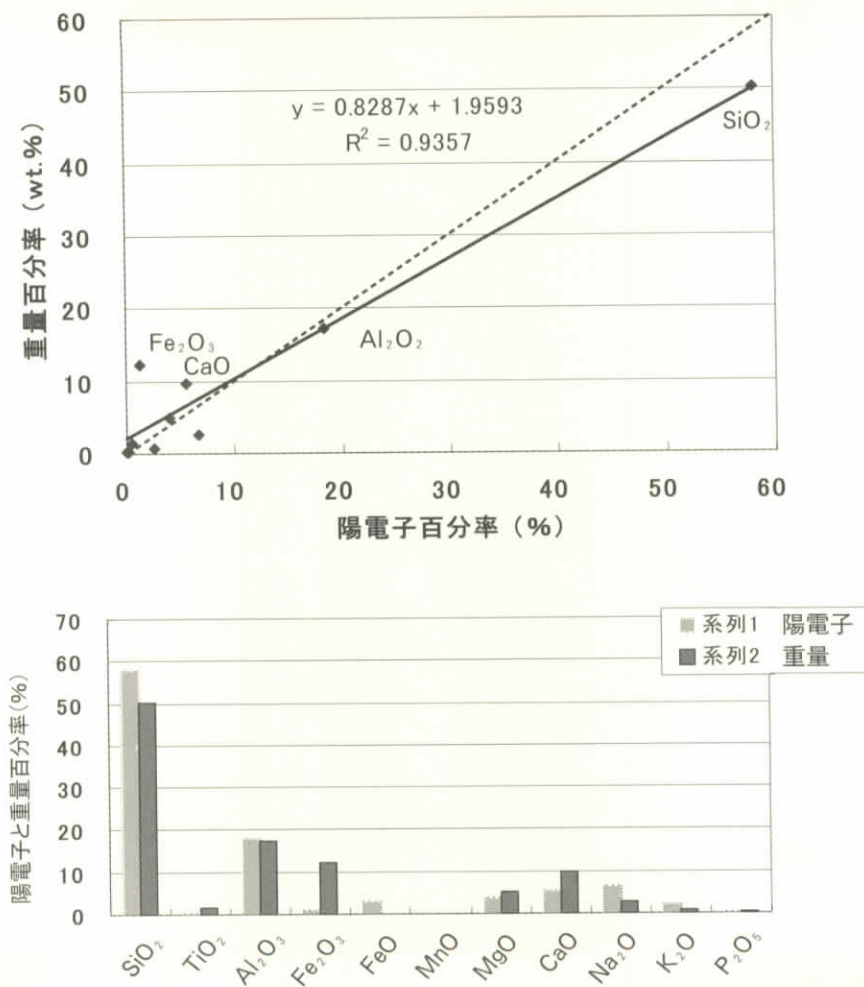


Fig. 4 Relation between of Weight (W) vs. Positron (P) Contents of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

Table 7 Relation between of Weight and Positron Contents of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

酸化物	分子量	分子比例	陽電子数	陽電子 比 例	千陽電子	陽電子 百分率 A (%)	測定値B (wt.%)	AとBの 差 (%)
SiO ₂	60.09	1.024	1.00	1.0238	1023.80	58.03	50.20	7.83
TiO ₂	79.90	0.009	1.00	0.0091	9.14	0.52	1.51	-0.99
Al ₂ O ₃	101.96	0.162	2.00	0.3233	323.26	18.32	17.30	1.02
Fe ₂ O ₃	159.69	0.012	2.00	0.0229	22.92	1.30	12.20	-10.90
FeO	71.85	0.053	1.00	0.0532	53.17	3.01		3.01
MnO	70.94	0.001	1.00	0.0011	1.13	0.06	0.18	-0.12
MgO	40.30	0.070	1.00	0.0695	69.48	3.94	5.07	-1.13
CaO	56.08	0.097	1.00	0.0967	96.65	5.48	9.71	-4.23
Na ₂ O	61.98	0.059	2.00	0.1171	117.13	6.64	2.71	3.93
K ₂ O	94.20	0.022	2.00	0.0440	43.95	2.49	0.77	1.72
P ₂ O ₅	141.95	0.002	2.00	0.0035	3.52	0.20	0.31	-0.11
	938.94	1.509	16.00	1.7642	1764.15	99.99	99.96	0.03

$$R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti) \quad 2.259 \quad 2152.86$$

$$R2 = 6Ca + 2Mg + Al \quad \quad \quad 1042.12$$

$$\text{和} \quad \quad \quad 3194.98$$

$$\text{差} \quad \quad \quad 1110.74$$

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SiO₂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（Al₂O₃）は15.83～19.03wt.%の範囲である。溶岩樹型のLTは、17.32wt.%で、計算値より1.02wt.%少ない含有率である。LT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

一般に溶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、富士山地域の溶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アノーサイトが同定された。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、アノーサイトは、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LTにおける各鉱物は、Table 4に表示した。LTの信頼係数では、曹長石（582）、灰長石（653）、普通輝石（616）およびカンラン石（681）である。それぞれの結晶構造は、三斜晶系、単斜晶系および斜方晶系である。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。灰長石（信頼係数653）には、 H_2O は鉱物粒の隙間に入るにより液体相を形成する。 $CaAl_2Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O = CaAl_2Si_2O_8(OH)_2 + H_2O$ の化学式に分離した分子 H_2O は、鉱物粒の境界面に沿って吸着しながら移動する状態で含まれる。橄欖石（信頼係数（681）には、フォルステライトともいい、酸素の六方最密状態と鉱物粒の境界面の隙間にマグネシウム、鉄とケイ素が混入する状態がある。

4.3 ケイ酸とアルカリ成分（ Na_2O+K_2O ）との関係

富士火山における溶岩樹型の（ Na_2O+K_2O ）組成範囲は、3.45（こども国）～3.48（T）wt.%で、その平均より極わずかに多いLTの（ Na_2O+K_2O ）は3.48wt.%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（ Na_2O+K_2O ）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、**Table 4**と**Fig. 5**は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (wt.%) をとり、それぞれの溶岩の化学組成（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成分であり、下図は富士火山帯における洞窟と溶岩樹型の成分である。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で、0.039の決定係数である。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ある。**Fig. 5**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、双方の溶岩樹型とも高アルミナ玄武岩であることが分かる。LTのアルカリ成分は、 SiO_2 組成と同様に、KT・須走胎内・こども国・犬涼2・本八合とほぼ近い成分である。

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LTの K_2O (wt.%) は0.77wt.%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、**Table 4**と**Fig. 6**は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に K_2O (wt.%) をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。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、0.024の決定係数である。下図は富士火山帯における溶岩洞窟と溶岩樹型の成分である。

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。LTの K_2O 組成は、回帰直線の値と近いカリウム成分である。LTのカリウム成分は、 SiO_2 組成と $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 組成と同様に、青木が原溶岩樹型・須走胎内・こどもの国・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

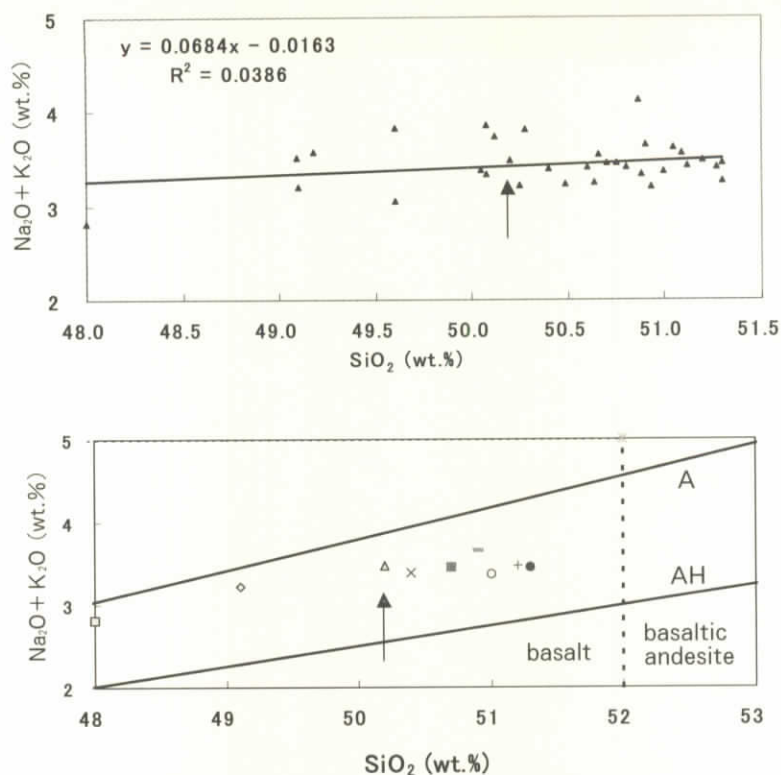


Fig. 5 Plot of SiO₂ vs. (Na₂O+K₂O) Contents of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano. The letter A denotes for alkali basalt rock-series; AH, high alumina-basalt rock-series; solid square rocks from AT (LT and TT); triangle, rocks from KT (Kashiwappara lava Tree-mold). The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

の線は medium-K と low-K の境界線の玄武岩系である。**Fig. 6**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、双方の溶岩樹型とも medium-K の高アルミナ玄武岩であることが分かる。富士火山における洞窟の無色鉱物 [(K₂O を除いた

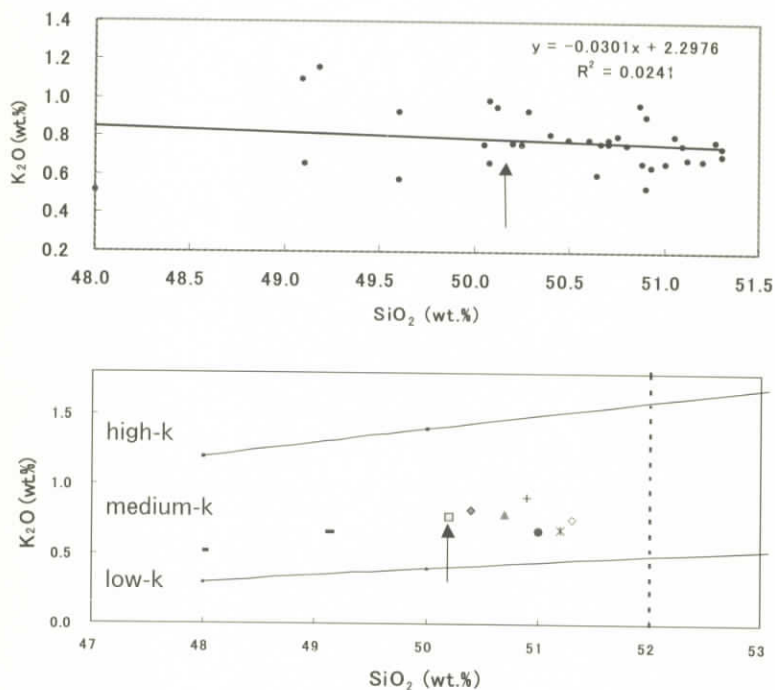


Fig. 6 Plot of SiO₂ vs. K₂O Contents of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano. Division of basalts (with SiO₂: 48%, basaltic andesites and andesites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

SiO₂、Na₂Oおよび (Na₂O+K₂O) の成分は、共通性がある。

4.5 ケイ酸と有色鉱物 (Fe₂O₃・MgO・CaO) との関係

富士火山における火山噴出物の Fe₂O₃ (wt.%) 組成範囲は1.60~13.70 (八幡穴) wt.%で、その平均値より多いLTの Fe₂O₃ (wt.%) は12.20wt.%である。一方、濟州火山島における火山噴出物の Fe₂O₃ (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、その平均値とほぼ同様の LT の CaO (wt.%) は9.71wt.%である。ケイ酸と有色鉱物 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot \text{CaO}$) 成分との関係を究明するため、Table 4 と Fig. 7 は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot \text{CaO}$) (wt.%) をとり、それぞれの溶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。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 (決定係数：0.827 と 0.235：溶岩洞窟と樹型) と MgO (決定係数：0.269) の成分は共に減少の傾向で、CaO (決定係数：0.052) の成分は双曲線状の傾向である。Table 4 と Fig. 8 は、ケイ酸が増大するにつれ、洞窟の無色鉱物 { K_2O 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 (決定係数：0.879ふと0.115：溶岩洞窟と樹型) である。

4.6 ケイ酸と格子定数 (Am) との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数 (Am) 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 LT の Am は9.81283 Åである。一方、濟州火山島における火山噴出物の Am 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 Am との関係を究明するため、Table 8 と Fig. 8 は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に格子定数 (Am：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。この富士火山の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$\text{Am}(\text{Å}) = 9.52 + 0.005 W_{\text{SiO}_2}(\text{wt.}\%) \dots\dots\dots (R^2=0.023) \dots\dots (27)$$

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、Am 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。Am の LT は、回帰直線

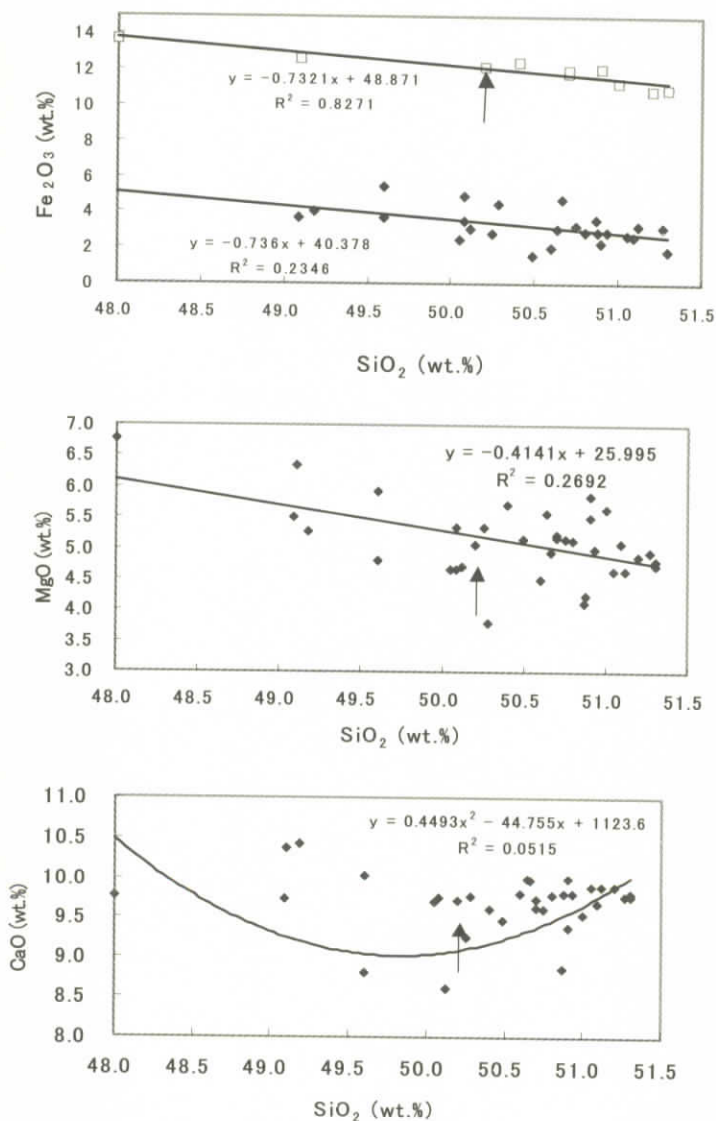


Fig. 7 Relation between SiO_2 Composition and Color Mineral (Fe_2O_3 , MgO and CaO) Contents of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

Table 8 Representative Lattice Constants (\AA) for the Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

単斜晶系の格子定数と角度	青木ヶ原溶岩樹型		柏原溶岩樹型		こどもの国溶岩樹型	富士山の最小成分	富士山の平均成分	富士山の最大成分	富士山の成分範囲
	竪型	横臥	竪型	横臥	MIN	AVG	MAX		
Am(\AA)	9.7643	9.7790	9.8128	9.7705	9.7643	9.7817	9.8128	9.714~9.813	
Bm(\AA)	8.9218	8.8985	8.9196	8.9261	8.8985	8.9165	8.9261	8.897~9.940	
Cm(\AA)	5.2144	5.1896	5.2455	5.1896	5.1896	5.2098	5.2455	5.159~5.246	
β m($^\circ$)	106.16	106.55	105.77	106.61	105.77	106.27	106.61	105.49~106.95	

の値とわずかに長い格子定数である。LTのAmは、須走胎内より短く、こども国・犬涼2・青木が原樹型より長い格子定数である。すなわち、Cmは、火山溶岩の中で最長級の格子定数である。

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) \AA で、その平均8.916 \AA より大きい値である。LTのBmは8.9196 \AA 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 \AA で、富士火山より狭い範囲である。LTのBmは、濟州火山島の平均値(8.915 \AA)の中間値である。ケイ酸とBmとの関係を究明するため、Table 8とFig. 9は、横軸にSiO₂(wt.%)、縦軸に格子定数(Bm: \AA)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。この富士火山の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$Bm(\text{\AA}) = 8.74 + 0.004 W_{\text{SiO}_2}(\text{wt.}\%) \dots\dots\dots (R^2=0.073) \dots\dots (28)$$

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、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以下である。両洞窟におけるBmのLTは、回帰直線の値とほぼ近い値である。LT

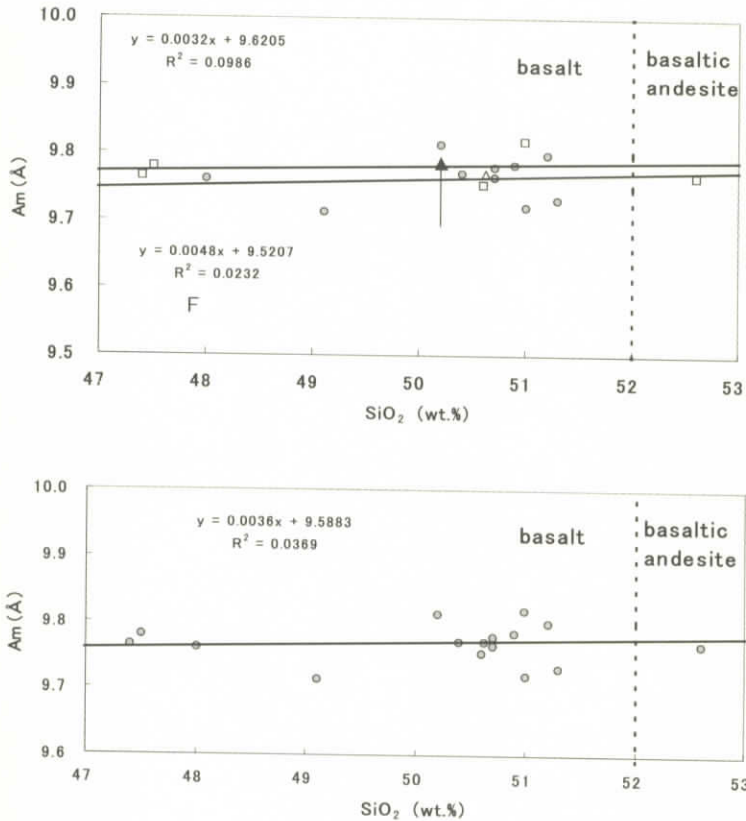


Fig. 8 Relation between SiO₂ and Monoclinic Lattice Constant (Am) of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

の SiO₂ 組成は、青木が原・須走胎内より子供国・犬涼 2 ・本八合方が近い成分であるが、実験誤差の範囲内と考えられる

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 (こどもの国)~5.255 (青木が原の横臥型) Å で、その平均値 (5.195 Å) よりわずかに

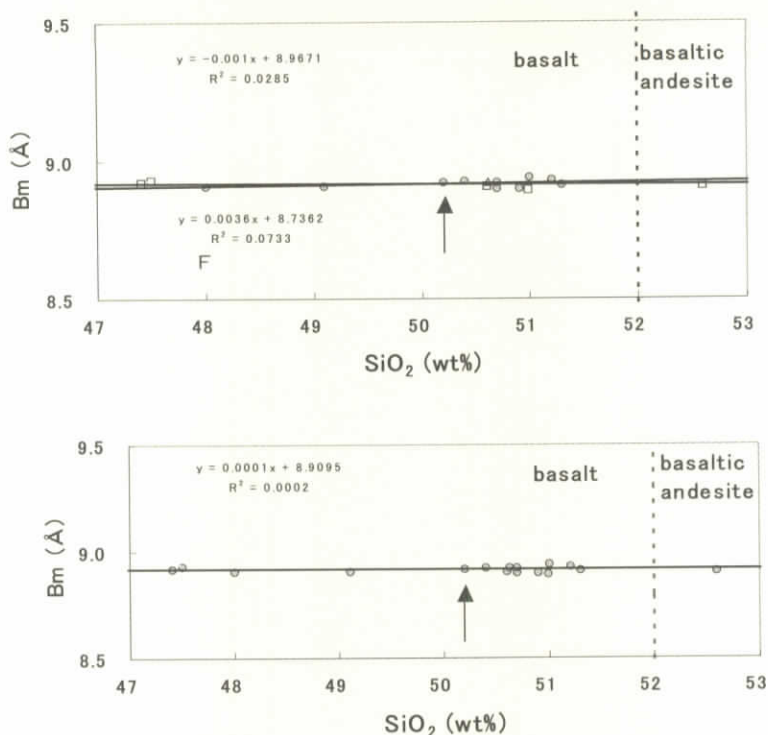


Fig. 9 Relation between SiO₂ Composition and Monoclinic Lattice Constant (Bm) of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

大きいLTのCmは5.2455とわずかに長い格子定数である。一方、済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。LTのCmは、済州火山島の平均値（5.211Å）よりわずかに大きいLTとわずかに長い格子定数である。ケイ酸とCmとの関係を究明するため、Table 8とFig.10は、横軸にSiO₂ (wt.%)、縦軸に格子定数（Cm：Å）をプロットした。上図の上線は済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。この富士火山の関係は、つぎのような回帰方程式と

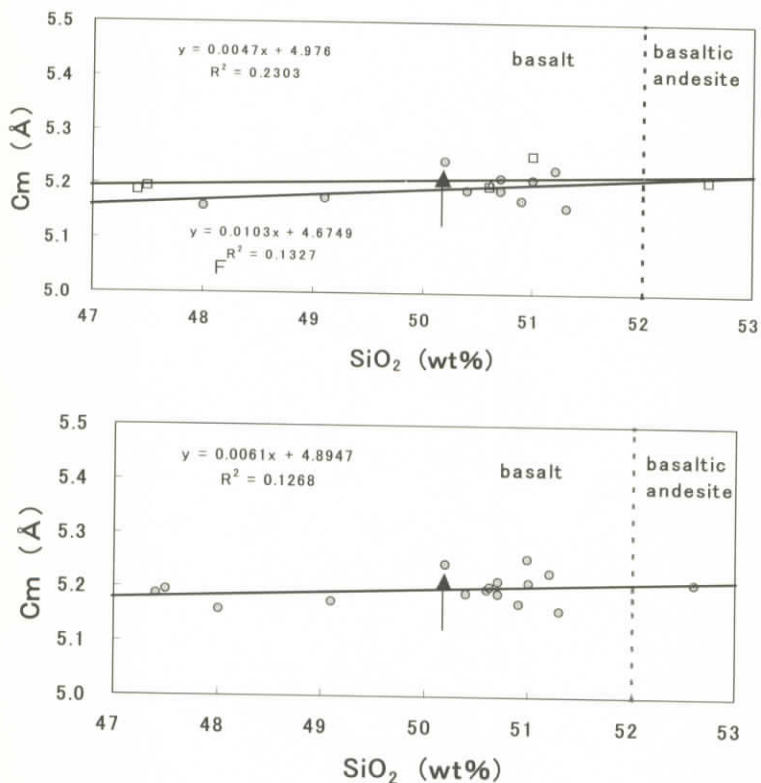


Fig.10 Relation between SiO₂ Composition and Monoclinic Lattice Constant (Cm) of Lava Tree-mold Sample from Kashiwappara in Fuji Volcano.

決定係数として与えられる。

$$Cm(\text{Å}) = 4.67 + 0.010 W_{\text{SiO}_2}(\text{wt.}\%) \dots\dots\dots (R^2=0.133) \dots\dots (29)$$

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。Cmは、火山溶岩の中で最長級の格子定数である。決定係数は0.13以下である。

5 おわりに

柏原溶岩樹型群における豎型溶岩樹型の蛍光X線分析の結果と計算された分子百分率との比較、さらにX線回折により単斜晶系の格子定数を求めた。ゆえに、以下を要約する。

- 1) SiO_2 の含有率について、柏原溶岩樹型群は50.20wt.%で、玄武岩質（塩基性岩）である。
- 2) 富士山における柏原溶岩樹型群の酸化物 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O の含有率は高いが、その他の元素については含有率がほぼ同じである。
- 3) LT 溶岩樹型は、高アルミナ玄武岩である。
- 4) LT 鉱物は、斜長石（灰長石）、カンラン石、普通輝石が多い。
- 5) LT 結晶構造は、灰長石・曹長石・輝石および橄欖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 の含有量（決定係数：0.039）と格子定数（ A_m と C_m ）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、次の酸化物と格子定数が減少の傾向である。すなわち、 K_2O 組成（決定係数：0.024）、 Fe_2O_3 組成（決定係数：0.827）および MgO 組成（決定係数：0.269）である。
- 8) 分子百分率と含有率との相関係数と決定係数は、それぞれ0.829と0.936である。
- 9) ケイ酸が増大するにつれ、格子定数の B （決定係数：0.073）はほぼ一定である。すなわち、ケイ酸の含有率に依存せず、測定誤差の範囲内である。
- 10) 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（決定係数：0.879と0.115）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。

済州火山島の萬丈窟（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、富士山の柏原樹型における今回分析した溶岩樹型は、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と肥塚義明君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) 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.
- 3) 久野 久 (1968) 『火山及び火山岩』, 255pp. 岩波全書。
- 4) 小川孝徳 (1971) 『富士総合学術調査報告書』, (株)堀内浩庵会, 120-128.
- 5) 津屋弘達 (1971) 『富士総合学術調査報告書』, (株)堀内浩庵会, 2-127.
- 6) Halliday, W. R. (1975) 「Depths of the Earth-Caves and Cavers of the United States-」. 432pp. Harper & Row, Publication.
- 7) R. W. Le Maitre (1978) 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』, Blackwell Scientific Publications.
- 8) A. Miyashiro (1978) 「Nature of Alkali Volcanic Rock Series」. *Contrib. Mineral. Petrol.* 66: 94~104.
- 9) 富士宮市立郷土資料館 (1991) 『富士宮の火山洞窟。富士宮市立郷土資料館調査報告書』, 第2号。62pp. 富士宮教育委員会。
- 10) 裾野市教育委員会 (1991) 『富士南麓の溶岩洞窟—裾野市を中心に—』, 裾

野市文化財調査報告』第5集。56pp。裾野市立富士山資料館。

- 11) KUNO, H. (1996) 「Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs」. *Bull. volcano.*, (2), 29:195-222.
- 12) 立原弘編著・小川孝徳監修（1997）『山梨県富士山北麓柏原溶岩樹型群観察報告書』。126pp。日本洞窟学会火山洞窟学部。
- 13) 本多力（1997）「富士山溶岩風穴内の溶岩棚形成に対する熱流体力学的解釈」。洞窟学雑誌, 22:81-88.
- 14) 渡辺長敬・槇田但人（1997）「柏原溶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）, 2:29-34.
- 15) 小川孝徳、立原弘、上野俊一、吉行瑞子（1998）『'98ケイプフェスティバルガイドブック』。71pp。日本洞窟学会火山洞窟学部。
- 16) 本多力（1998）「富士山溶岩樹型および内壁の再溶融（胎内）発生機構の物理・化学的考察」。洞窟学雑誌, 23:29-38.
- 17) 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.
- 18) 沢勲・井上久・立原弘（2000）「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」。大阪経済法科大学論集, 77:31-63.
- 19) 沢勲・井上久・川村一之・本多力・勝間田隆吉・宮崎哲（2000）「世界最高所級である富士火山、須走胎内洞窟の成分とX線回折」。大阪経済法科大学論集, 78:1-39.
- 20) 沢勲・井上久・金龍哲・裏斗安（2001）「済州火山の翰林溶岩樹型のX線分析と偏光顕微鏡」。大阪経済法科大学論集, 79:1-36.
- 21) 沢勲・井上久・小川孝徳・立原弘・川村一之・本多力・伊東典夫・日向治子（2001）「富士山・厚原風穴の成分とX線回折」。大阪経済法科大学論集, 81:1-37.
- 22) 沢勲・井上久・小川孝徳・立原弘・川村一之・鈴木一年・日向治子・黒石川由美（2002）「富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折」。大阪経済法科大学論集, 81:1-39.
- 23) 立原弘・沢勲・黒石川由美・小川孝徳・本多力・金柄宇・槇田但人・渡辺

富士火山、柏原溶岩樹型の蛍光X線分析とX線回折法（沢、立原、井上、金）

長敬・日向治子・中植あさら（2002）「溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデル」．大阪経済法科大学論集，84:1-46.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that proper record-keeping is essential for the integrity of the financial system and for the ability to detect and prevent fraud.

2. The second part of the document outlines the specific requirements for record-keeping. It states that all transactions must be recorded in a timely and accurate manner, and that the records must be maintained for a minimum of five years. The document also discusses the importance of ensuring that the records are accessible and readable, and that they are protected from loss or damage.

3. The third part of the document discusses the consequences of failing to comply with the record-keeping requirements. It states that failure to maintain accurate records can result in the imposition of penalties, including fines and imprisonment. The document also discusses the importance of cooperating with the authorities in the event of an investigation.