

# 富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折

— IT による成分分析と格子定数の解析 —

沢 勲 Isao SAWA 井上 央 Hisashi INOUE  
小川孝徳 Takanori OGAWA 立原 弘 Hiroshi TACHIHARA  
川村一之 Kazuyuki KAWAMURA 鈴木一年 Kazutoshi SUZUKI  
日向治子 Haruko HINATA 黒石川由美 Yumi KUROISHIKAWA

*The Component and X-ray Diffraction of  
Tree Mould in Mt. Fuji Children's World, Shizuoka Prefecture  
— Analysis of Component and Lattice Constants by IT —*

## ABSTRACT

The tree mould in Mt. Fuji children's world (FC) is toward the south in skirt of the Fuji volcano, at latitude  $35^{\circ} 15' 29''$  N and longitude  $138^{\circ} 46' 30''$  E. The location is 1105 Kazaki, Fuji-shi, Shizuoka Pref.. The above sea level and length of FC are 860m and 2m, respectively. Major chemical compositions of FC is revealed by XRF (X-ray Fluorescence) analysis. These values are the same as those of tree mould and FC may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for FC is as follows :  $\text{SiO}_2=50.40$ ,  $\text{TiO}_2=1.55$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=16.40$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.50$ ,  $\text{MnO}=0.19$ ,  $\text{MgO}=5.71$ ,  $\text{CaO}=9.60$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=2.57$ ,  $\text{K}_2\text{O}=0.82$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5=0.36$  in FC.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on FC sample in the sekotsuji lava flow 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 ( $\beta$ m) are, Am =  $9.7705\text{\AA}$ , Bm =  $8.9261\text{\AA}$ , Cm =  $5.1896\text{\AA}$  and  $\beta$ m =  $106.61^{\circ}$  in FC.

**Key words** : Fuji volcano, X-ray Fluorescence Analysis, X-ray Analyses, Lattice Constants, Monoclinic System

[大阪経済法科大学論集 第82号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 82 (2002), pp 1-39]

## 1 はじめに

富士山こどもの国(FC)の溶岩流は、勢子辻溶岩流で、富士市の代表的な溶岩樹型<sup>1-2)</sup>やユニークな洞窟がある。FCの位置は、富士山山頂の南側にある静岡県富士市桑崎1105に所在し、北緯 $35^{\circ}15'29''$ 、東経 $138^{\circ}46'30''$ である(Fig. 1)。FCのカatalogによると所在地は、東名高速富士I.C.を南下し、国道139号線(大月線)を吉原市街地の方へ(左折)進む。歩道橋を通過し、変則三差路を左折して、吉原高校通り、県道富士裾野線を北へ進むのである。FCは、「まるごと遊び冒険王国」といい、「草原の国」・「水の国」・「森の国」・「地の国」・「山の国」をテーマにした5つの小国等のエリアから構成されている。特に、「草原の国」の溶岩長城(遊歩道)が、草原の丘の爆裂火口から街まで続いていることが確認されている。ここは、まるで火山溶岩台地である。

FCの特徴は、洞窟の生成研究に貴重なもので、次のように要約できる。すなわち、①2次溶岩流が流れた後に、形成された未計測の洞窟がある。溶岩の流れを完全に確認することが不可能である。②洞窟の内部は、崩落が多く、天井部では、急冷却相を示す黒色の光沢になっている多彩なタイプの溶岩がある。③駐車場用地のため、洞窟周辺は囲いをしている。④床面では、気泡噴出痕や噴出時の破裂根が残されているが、崩落が多いため観察は困難であったのである。⑤生物の面では、生殖が確認している。

研究成果を要約すれば、蛍光X線分析による成分分析値およびX線回折によるデータチャートの解析から結晶構造(単斜晶系)の格子定数を最小二乗法によって解析を行った<sup>3-10)</sup>。この解析データから含有率の多いケイ酸と格子定数との関係について相関性の解析も行った。富士火山帯における他の火山・溶岩洞窟の成分とX線回折による結晶構造を比較・検討し、溶岩洞窟の成因究明の一助できる表現が可能になった。また、現在アジアに知られている溶岩樹型群は、富士火山群の青木ヶ原と柏原溶岩樹型が有名であり<sup>3, 4)</sup>、それに済州火山の翰林溶岩樹型がある。以上について、一定の結論に達したので、ここに報告する。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

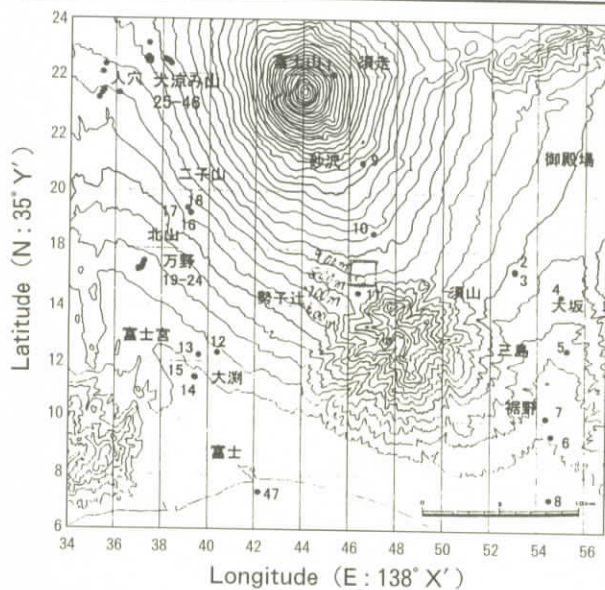
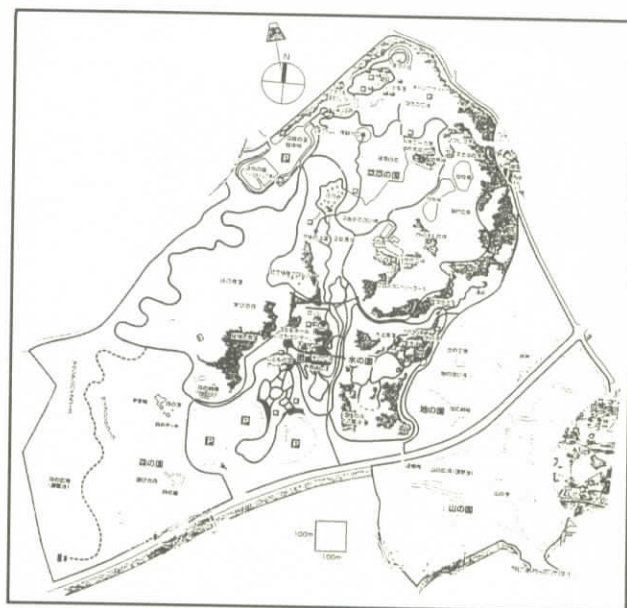


Fig.1 Lava Caves Distribution Map and Tree-Mould by Oubuchi Lava Flow of Topographic Map on Mt. Fuji Children's World. Counter Interval is 100m.

## 2 実験方法

### 2.1 試料調製<sup>4)</sup>

本研究に用いた岩石試料は、ハンマーを用いて試料を約1 cm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ド製容器を用い、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0.400 g:融剤 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (無水四ホウ酸リチウム):4.0 g)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LiFを用いた。

### 2.2 蛍光X線分析<sup>4)</sup>

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(Fig. 2)。測定条件は、Table 1の通りである。測定に用いた試料としては、FCから採集された溶岩の化学組成(Table 2)は、

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 50.40, \text{TiO}_2 = 1.55, \text{Al}_2\text{O}_3 = 16.40, \text{Fe}_2\text{O}_3 = 12.50, \text{MnO} = 0.19, \\ \text{MgO} &= 5.71, \text{CaO} = 9.60, \text{Na}_2\text{O} = 2.57, \text{K}_2\text{O} = 0.82, \text{P}_2\text{O}_5 = 0.36 \end{aligned}$$

の通りである。

### 2.3 X線回折における一次検索の測定条件<sup>4)</sup>

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(30 mm $\phi$ )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

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

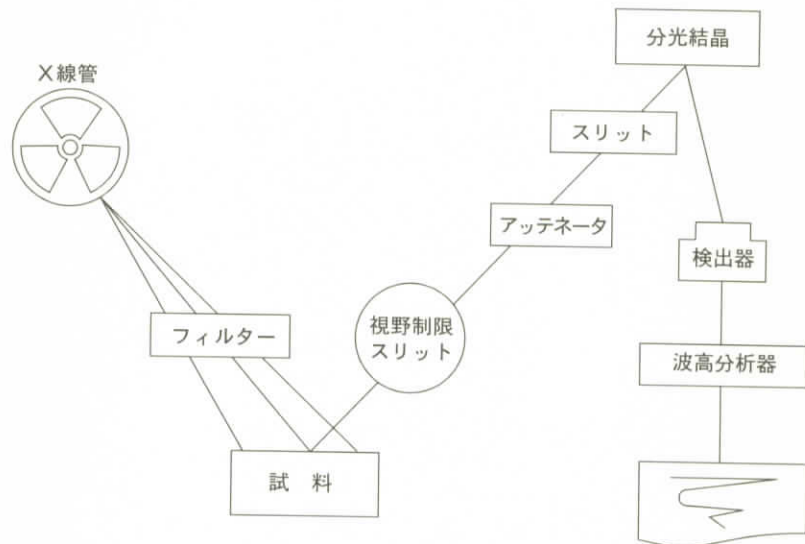


Fig.2 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Tree Mould in Mt. Fuji children's World in Fuji Volcano.

Table 1 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis for Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

項目	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
バック グラウンド (BG)	20	20 * 2	20	20 * 2	20 * 2	20	20	50	20	20
スペクトル	K $\alpha$				X線管			縦型 Rh 管		
管電圧	50kV				管電流			300mA		
フィルター	Out				分析径			30mm $\phi$		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

Table 2 Representative XRF Analysis results (wt.%) (Upper Berth) and Lattice Constants of Monoclinic Results (Å)  
(Lower Berth) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World

含有率 wt. %	溶岩樹型		須志胎内洞窟		犬涼み山 IS	厚原 AF	丸尾 MK	全平均	富士火山
	青木横臥 青木堅型	洞窟内	洞窟外	洞窟内					
SiO <sub>2</sub>	50.70	50.70	50.20	51.30	51.00	49.10	50.40	50.61	48.00~51.30
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.44	1.51	1.30	1.27	1.44	1.55	1.43	1.03~1.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.10	17.20	17.30	17.90	18.00	16.40	16.40	17.09	15.83~19.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.00	11.80	12.20	10.90	11.00	12.60	12.50	11.82	1.60~13.70
MnO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.19	0.19	0.18	0.15~0.29
MgO	5.22	5.18	5.07	4.86	4.73	6.35	5.71	5.40	3.80~6.76
CaO	9.63	9.74	9.71	9.90	9.54	10.37	9.60	9.74	0.77~10.42
Na <sub>2</sub> O	2.66	2.69	2.71	2.80	2.71	2.55	2.57	2.68	2.29~3.16
K <sub>2</sub> O	0.79	0.77	0.77	0.68	0.67	0.66	0.82	0.76	0.52~1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.29	0.31	0.26	0.27	0.28	0.36	0.30	0.08~0.54
Total	100.05	99.99	99.96	99.97	100.06	99.94	100.1	100.01	
单斜晶系A(Å)	9.7790	9.7643	9.8128	9.7985	9.7313	9.7138	9.7705	9.764	
单斜晶系B(Å)	8.8985	8.9218	8.9196	8.9279	8.9105	8.9084	8.9261	8.917	
单斜晶系C(Å)	5.1896	5.2144	5.2455	5.2287	5.1600	5.1742	5.1896	5.199	
单斜晶系β(°)	106.55	106.16	105.77	105.49	106.33	106.82	106.61	106.18	

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

のとおりである。①X線の管球 (Cu)、②発散スリット ( $1^\circ$ )、③散乱スリット ( $1^\circ$ )、④管電圧 (50 kV)、⑤管電流 (300 mA)、⑥走査軸 ( $2\theta/\theta$ )、⑦受光スリット (0.15 mm)、⑧サンプリング幅 ( $0.020^\circ$ )、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 ( $1.54056\text{\AA}$ ) 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回折図形を行ったデータの処理を行った定性分析の主なチャートのシートとピークは、Table 3から Fig. 3に関する ICCD による分類を行った。すなわち、No.18-1202 は、(Na, Ca) (Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>8</sub> である灰長石 (アノーサイト: Anorthite) の三斜晶系を基準とした。次に、No.41-1476 は KCl であるカリ岩塩 (Sylvite) の立方晶系を基準とした。第3に、No.31-0795 は、(Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> のであるフェルステライト (Forsterite) の斜方晶系を基準とした。最後に、No.19-0629 の FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> であるという磁鉄鉱 (magnetite) の立方晶系を基準とした面指数をピーク順にした。

これらの試料に関してピーク・サーチを行った Fig. 4 は、No.18-1202 における (Na, Ca) (Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>8</sub> ・灰長石である三斜晶系の各ピーク面指数である。次に行った Fig. 5 は、No.31-0795 における (Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> ・フェルステライトである斜方晶系の各ピーク面指数である。最後に行った Fig. 6 は、No.24-0203 における「輝石」Ca (Mg, Fe) Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> である三斜晶系の各ピーク面指数である。このチャートから格子定数を算術するため、試料に関してピーク・サーチを行ったデータは Table 3 である。ここで、左側からは、回折図形の面指数に対応する面間隔、バックグラウンド (BS)、X線回折強度の高さ・

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

Table 3 The X-Ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Half-Width and Relative Intensity) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World

番号	面指数			面間隔 d	BG (CPS)	高さ (CPS)	相対高さ HI%	面積	相対面積 AI%	半価幅 $\Delta$ (°)
	h	k	l							
1	0	2	0	4.4440	10	36	1.1	685	1.0	0.323
2	2	2	0	3.2087	15	3228	100.0	66011	100.0	0.348
3	-2	2	1	3.0055	13	496	15.4	11590	17.6	0.397
4	3	1	0	2.9493	8	631	19.5	20088	30.4	0.541
5	-3	1	1	2.9100	8	261	8.1	9250	10.5	0.602
6	1	3	0	2.8378	5	330	10.2	5799	8.8	0.299
7	-1	3	1	2.5701	8	189	5.9	2477	2.8	0.223
8	-2	0	2	2.5198	53	910	28.2	27822	42.1	0.520
9	-1	1	2	2.4714	21	292	9.0	4916	7.4	0.286
10	3	1	1	2.3062	4	68	2.1	786	1.2	0.197
11	-3	1	2	0.2265	8	96	3.0	1597	2.4	0.283
12	1	1	2	2.2068	8	45	1.4	701	1.1	0.265
13	3	3	0	2.1712	11	47	1.5	683	1.0	0.247
14	-3	3	1	2.1397	20	427	13.2	10071	15.3	0.401
15	-4	2	1	2.0998	8	224	6.9	6488	9.8	0.492
16	4	2	0	2.0378	7	93	2.9	4303	6.5	0.787
17	0	4	1	2.0077	39	43	1.3	2765	4.2	1.093
18	2	4	0	1.9868	32	56	1.7	982	1.5	0.298
19	5	1	0	1.8337	6	246	7.6	6710	10.2	0.464
20	-3	3	2	1.8193	11	61	1.9	3655	5.5	1.019
21	1	5	0	1.7565	10	233	7.2	5708	8.6	0.416
22	-5	3	1	1.6279	15	139	4.3	5911	9.0	0.723
23	4	4	0	1.6122	10	108	3.3	6075	9.2	0.956
24	-2	2	3	1.6035	10	60	1.9	451	0.7	0.128
25	5	1	1	1.5834	6	34	1.1	716	1.1	0.358
26	6	0	0	1.5706	4	50	1.5	636	1.0	0.216
27	3	5	0	1.5590	5	21	0.7	130	0.2	0.105
28	-6	2	1	1.5414	7	63	2.0	871	1.3	0.235
29	0	6	0	1.4895	33	214	6.6	6017	9.1	0.478
30	2	6	0	1.4181	7	78	2.4	1249	1.9	0.272
31	-3	5	2	1.4101	17	53	1.6	815	1.2	0.261
32	-7	1	2	1.3271	6	47	1.5	1275	1.9	0.461
33	-4	6	1	1.2630	8	31	1.0	580	0.9	0.318



富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

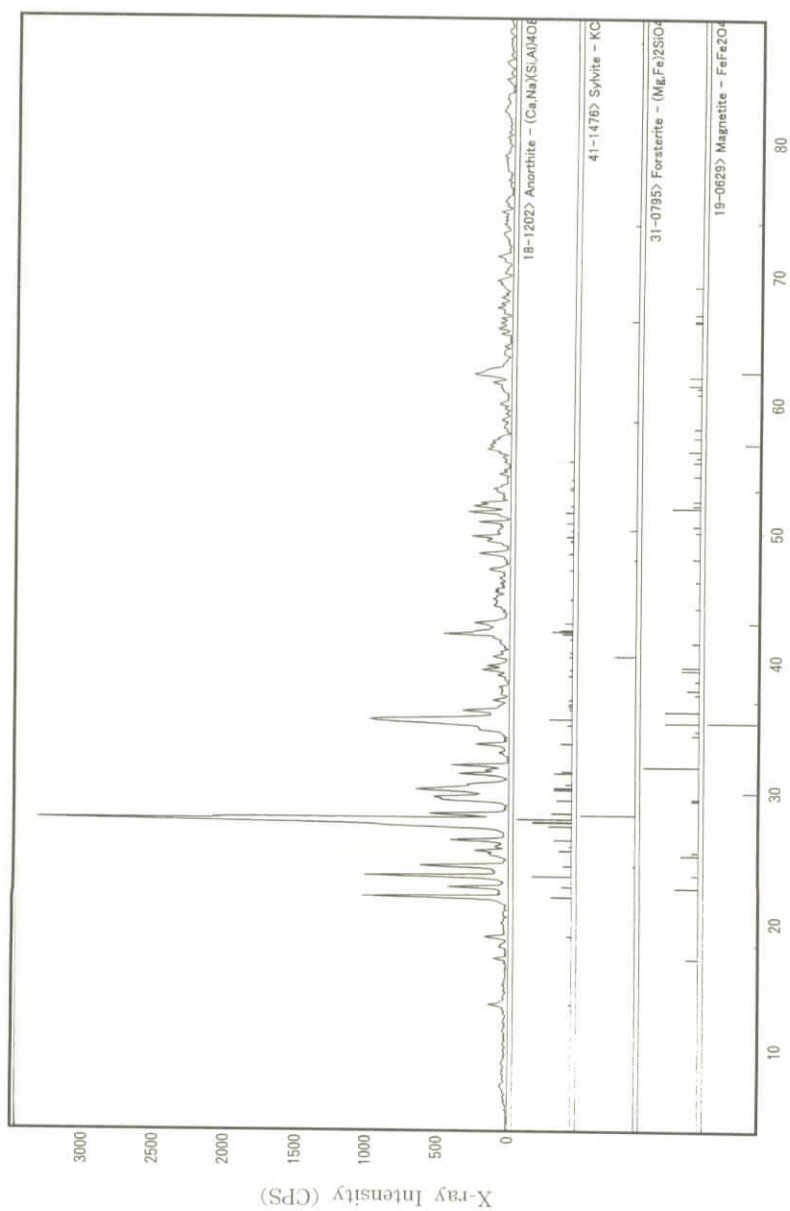


Fig.3 The X-ray Diffraction Patterns of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

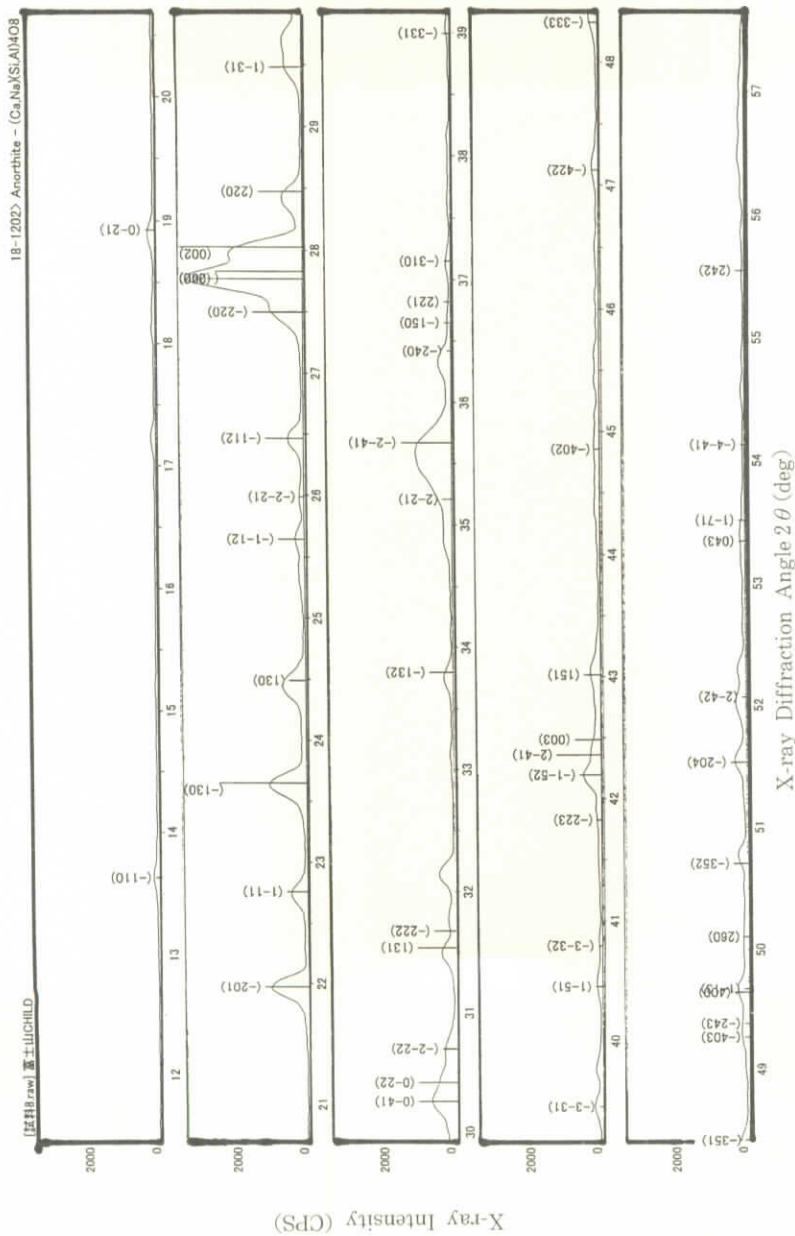


Fig.4 The X-ray Diffraction Patterns (ICCD No. 18-1202, Anorthite) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

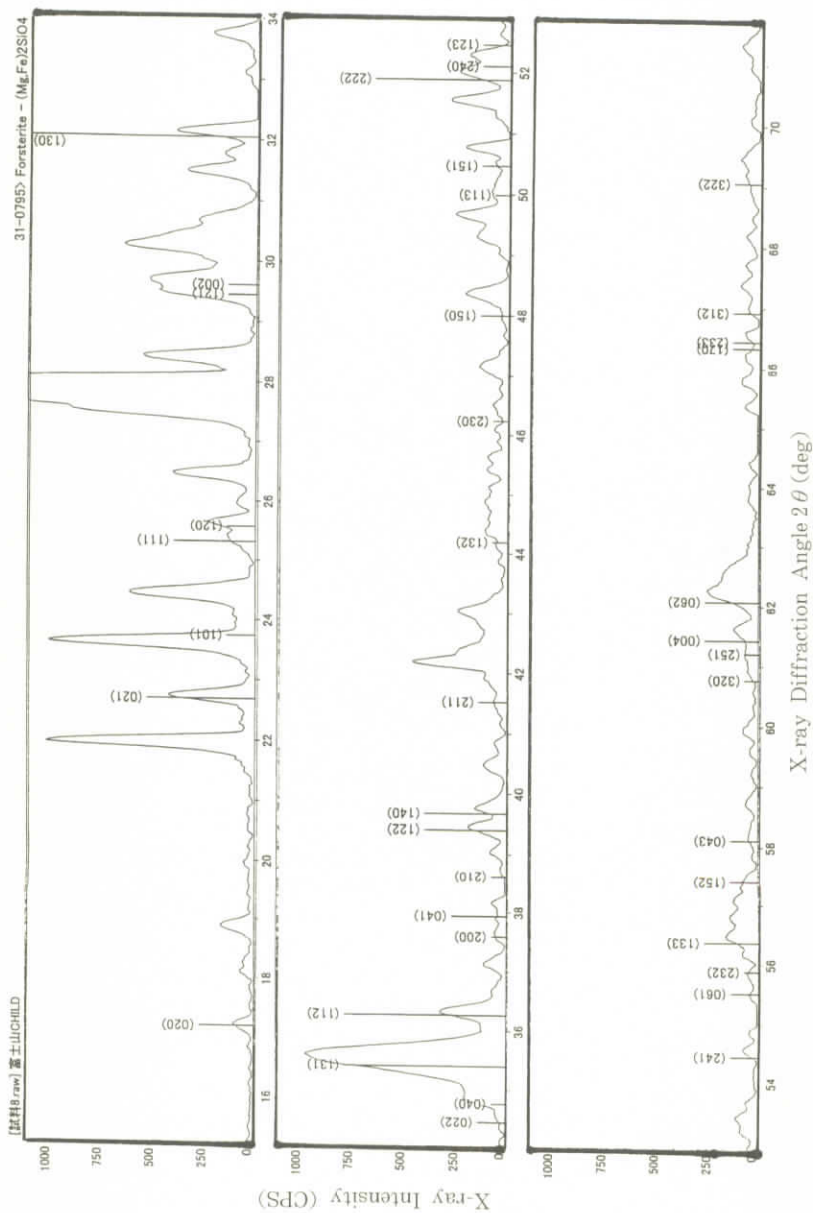


Fig.5 The X-ray Diffraction Patterns (ICCD No. 31-0795, Forsterite) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

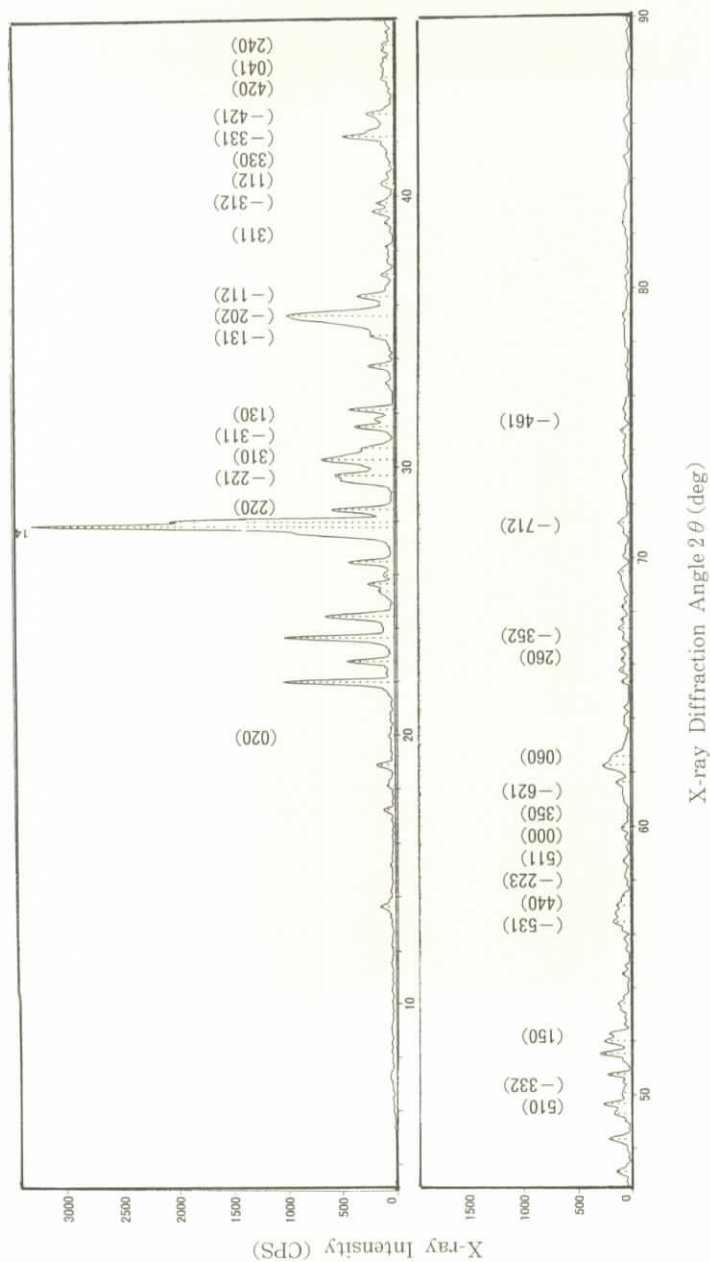


Fig.6 The X-ray Diffraction Patterns (ICCD No. 24-0203, Augite) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

面積・半価幅のデータである。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<sup>9-17)</sup>。

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

ここで、 $\lambda$  は波長 ( $\text{\AA}$ ) 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、**Table3** のとおりである。ICCD における No.24-0203 では、Ca (Mg, Fe)  $\text{Si}_2\text{O}_6$  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。

高さの相対強度 (HI%) が 15% 以上 (**Table3** と **Fig.7** 横軸) になっている面指数は、①高さの相対強度 100.0 は (220) 面、②15.4 は (-221) 面、③19.5 は (310) 面、④10.2 は (130) 面、⑤28.2 は (-202) 面、⑥13.2 は (-331) 面の 6 つの面指数である。面指数の (220) 面を 100.0 とすれば、15% 以上の面指数は 2 割である。

面積の相対強度 (AI%) が 10% 以上 (**Table3** と **Fig.7** 縦軸) になっている面指数は、①面積の相対強度 100.0 は (220) 面、②17.6 は (-221) 面、③30.4 は (310) 面、④1.05 は (-311) 面、⑤42.1 は (-202) 面、⑥15.3 は (-331) 面、⑦10.2 は (510) 面の 7 つの面指数である。面指数の (220) 面を 100.0 とすれば、15% 以上の面指数は 2 割である。厚原風穴と比較すれば、相対強度が小さく、しかも、面指数の数も少ない。

**Fig.7** 上図では、高さの相対強度 (HI) と面積の相対強度 (AI%) との関係を求めたのがである。ここでは、直線 (式 2) と双曲線 (式 3) の回帰方程式の関係と決定係数を算術した。

$$AI = 1.21 + 1.03 (HI) \quad \dots\dots\dots (R^2=0.96) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$AI = -0.85 + 1.49 (HI) - 0.004 (HI)^2 \quad \dots\dots\dots (R^2=0.98) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式 2 (直線の式) と式 3 (双曲線の式) における回帰方程式の決定係数は、それぞれ 0.96 と 0.98 で、高い信頼性であることが認められた。したがって、

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

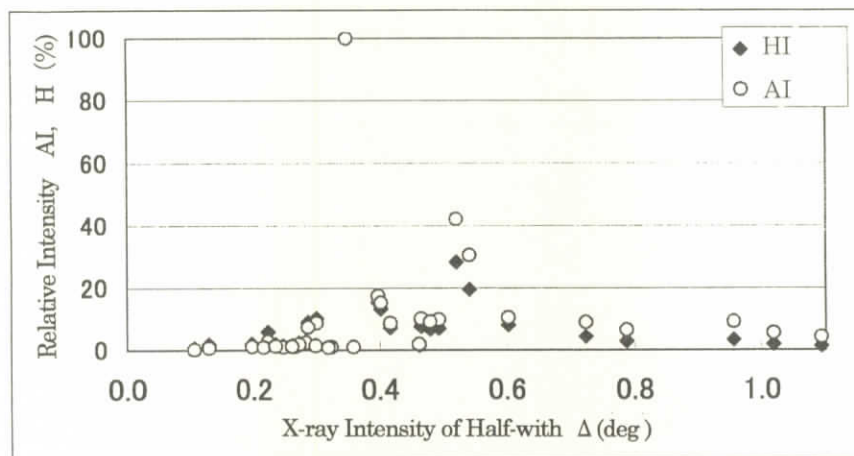
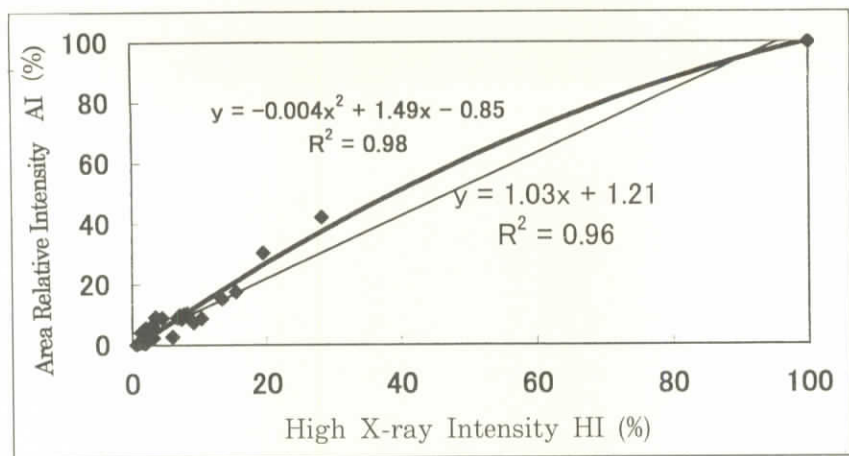


Fig. 7 Relation between Relative Intensity (AI: Area and HI: High) and X-Ray Half-width ( $\Delta$ ) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

式3 (双曲線の式) の決定係数は、式2 の決定係数より僅かに大きい。厚原風穴の溶岩より高い決定係数である。

半価幅 ( $\Delta$ ) が  $0.40^\circ$  以上の面指数 (Table 3) は、①0.541 の面指数は (310) 面、②0.602 は (-311) 面、③0.520 は (-202) 面、④0.401 は (-331) 面、⑤0.492 は (-421) 面、⑥0.787 は (420) 面、⑦1.093 は (041) 面、⑧0.464 は (510) 面、⑨1.019 は (-332) 面、⑩0.416 は (150) 面、⑪0.723 は (-531) 面、⑫0.956 は (440) 面、⑬0.478 は (060) 面および⑭0.461 は (-712) 面の14個の面指数である。厚原風穴と比較すれば、相対強度と面指数の数では異なっている。

半価幅 ( $\Delta$ ) に対する HI (Fig. 7 : ◆表示) と AI (Fig. 7 : ○表示) との関係求めた。ここでは、直線 (式1) と双曲線 (式2) のような回帰方程式の関係と決定係数は得られない。半価幅の範囲は  $0.11 \sim 1.09$  である。半価幅  $0.4$  以下では HI が大きく、半価幅  $0.4$  以上では AI が大きい。これは、回折角度の小さい所では、HI が大きく、回折角度の大きい所では、AI が大きいからである。相対強度の9割が、20%以下である。

#### 2.4 X線回折における二次検索の測定条件<sup>4)</sup>

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。  
①X線の管球 (Cu)、②発散スリット ( $1 \text{ deg.}$ )、③散乱スリット ( $1 \text{ deg.}$ )、  
④管電圧 (50 kV)、⑤管電流 (300 mA)、⑥走査軸 ( $2\theta/\theta$ )、⑦受光スリット (0.15 mm)、  
⑧サンプリング幅 ( $0.020^\circ$ )、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 (RINT 2000 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 ( $1.54056 \text{ \AA}$ ) である。  
面指数と面間隔から最小2乗法によって格子定数を計算するシートを Table 4 のように処理した。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

Table 4 The X-Ray Data (Miller Index, Lattice Distance and Calculation Sheet of Method of Least Squares) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World

番号	面指数			面間隔			m	1/d <sup>2</sup>	a	b	c	d	am	bm	cm	dm	ab	ac	ad	bc	bd	cd	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	c <sup>2</sup>	d <sup>2</sup>	
	h	k	l	a	b	c																					d
1	0	2	0	4.404	0.0507	0	4	0	0	0	0	0	0.000	0.203	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	16	0	0	
2	2	2	0	3.2087	0.0971	4	4	0	0	0	0	0	0.389	0.389	0.000	0.000	16	0	0	0	0	0	16	16	0	0	
3	-2	2	1	3.0655	0.1107	4	4	1	-2	0	0	0	0.443	0.443	0.111	-0.221	16	4	-8	4	-8	-2	16	16	1	4	
4	3	1	0	2.9493	0.1150	9	1	0	0	0	0	0	1.035	0.115	0.000	0.000	9	0	0	0	0	0	81	1	0	0	
5	-3	1	0	2.9100	0.1181	9	1	1	-3	0	0	0	1.063	0.118	0.118	-0.354	9	9	-27	1	-3	-3	81	1	1	9	
6	1	3	0	2.8378	0.1242	1	9	0	0	0	0	0	0.124	1.118	0.000	0.000	9	0	0	0	0	0	1	81	0	0	
7	-1	3	1	2.5701	0.1514	1	9	1	-1	0	0	0	0.151	1.363	0.151	-0.151	9	1	-1	9	-9	-1	1	81	1	1	
8	-2	0	2	2.5198	0.1575	4	0	4	-4	0	0	0	0.630	0.000	0.630	-0.630	0	16	-16	0	0	-16	16	0	16	16	
9	-1	1	2	2.4714	0.1637	1	1	1	4	-2	0	0	0.164	0.164	0.655	-0.327	1	4	-2	4	-2	-8	1	16	4	1	
10	3	1	1	2.3062	0.1880	9	1	1	1	3	0	0	1.692	0.188	0.188	0.564	9	9	27	1	3	-3	81	1	1	9	
11	-3	1	2	2.2265	0.2017	9	1	4	-6	0	0	0	1.816	0.202	0.807	-1.210	9	36	-54	4	-6	-24	81	1	16	36	
12	1	2	2	2.2068	0.2053	1	1	4	2	0	0	0	0.205	0.205	0.821	0.411	1	4	2	4	2	8	1	16	4	4	
13	3	3	0	2.1712	0.2121	9	9	0	0	0	0	0	1.909	1.909	0.000	0.000	81	0	0	0	0	0	81	81	0	0	
14	-3	3	1	2.1397	0.2184	9	9	1	-3	0	0	0	1.966	1.966	0.218	-0.655	81	9	-27	9	-27	-3	81	81	1	9	
15	4	2	1	2.0998	0.2268	16	4	1	-4	0	0	0	3.629	0.907	0.227	-0.907	64	16	-64	4	-16	-4	256	16	0	16	
16	4	2	0	2.0378	0.2408	16	4	0	0	0	0	0	3.853	0.963	0.000	0.000	64	0	0	0	0	0	256	16	0	0	
17	0	4	1	2.0077	0.2481	0	16	1	0	0	0	0	0.000	3.969	0.248	0.000	0	0	0	16	0	0	0	256	1	0	
18	2	4	0	1.9868	0.2533	4	16	0	0	0	0	0	1.013	4.053	0.000	0.000	64	0	0	0	0	0	16	256	0	0	
19	5	1	0	1.8337	0.2974	25	1	0	0	0	0	0	7.455	0.297	0.000	0.000	25	0	0	0	0	0	625	1	0	0	
20	-3	3	2	1.8133	0.3021	9	9	4	-6	0	0	0	2.719	2.719	1.209	-1.813	81	36	-54	36	-54	-24	81	81	16	36	
21	1	5	0	1.7565	0.3241	1	25	0	0	0	0	0	0.324	8.103	0.000	0.000	25	0	0	0	0	0	1	625	0	0	
22	-5	3	1	1.6279	0.3774	25	9	1	-5	0	0	0	9.434	3.396	0.377	-1.887	225	25	-125	9	-45	-5	625	81	1	25	
23	4	4	0	1.6122	0.3847	16	16	0	0	0	0	0	6.156	6.156	0.000	0.000	256	0	0	0	0	0	256	256	0	0	
24	-2	2	3	1.6035	0.3889	4	4	9	-6	0	0	0	1.556	1.556	3.500	-2.334	16	36	-24	36	-24	-54	16	16	81	36	
25	5	1	1	1.5834	0.3989	25	1	1	5	0	0	0	9.971	0.399	0.399	1.994	25	25	125	1	5	5	625	1	1	25	
26	6	0	0	1.5706	0.4054	36	0	0	0	0	0	0	14.594	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	0	
27	3	5	0	1.5390	0.4114	9	25	0	0	0	0	0	3.703	10.286	0.000	0.000	225	0	0	0	0	0	81	625	0	0	
28	-6	2	1	1.5415	0.4208	36	4	1	-6	0	0	0	15.150	1.683	0.421	-2.525	144	36	-216	4	-24	-6	1296	16	1	36	
29	0	6	0	1.4895	0.4507	0	36	0	0	0	0	0	0.000	16.226	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	1296	0	0	
30	2	6	0	1.4181	0.4973	4	36	0	0	0	0	0	1.989	17.901	0.000	0.000	144	0	0	0	0	0	16	1296	0	0	
31	-3	5	2	1.4101	0.5029	9	25	4	-6	0	0	0	4.526	12.573	2.012	-3.018	225	36	-54	100	-150	-24	81	625	16	36	
32	-7	1	2	1.3271	0.5678	49	1	4	-14	0	0	0	27.822	0.568	2.271	-7.949	49	196	-686	4	-14	-56	2401	1	16	196	
33	-4	6	1	1.2630	0.6269	16	36	1	-4	0	0	0	10.030	22.568	0.627	-2.508	576	16	-64	36	-144	-4	256	1296	1	16	
				SUM:	9.4398	370	322	48	-62	135	-491	122	706	14	990	-23	521	2458	514	-1263	282	-516	-218	8722	7138	204	514
				面間隔	m	a	b	c	d	Y <sub>am</sub>	Y <sub>bm</sub>	Y <sub>cm</sub>	Y <sub>dm</sub>	Y <sub>ab</sub>	Y <sub>ac</sub>	Y <sub>ad</sub>	Y <sub>bc</sub>	Y <sub>bd</sub>	Y <sub>cd</sub>	Y <sub>a<sup>2</sup></sub>	Y <sub>b<sup>2</sup></sub>	Y <sub>c<sup>2</sup></sub>	Y <sub>d<sup>2</sup></sub>				



### 3 定量分析の結果と結晶構造

FCに関する岩石の性質を調べるために、サンプリングした溶岩樹型の蛍光X線分析による全岩化学組成を **Table 2** 上段に示した。併せて、富士山の火山噴出物の化学組成も示した<sup>11)</sup>。FCの溶岩樹型では、 $\text{SiO}_2$ が50.40wt.%で、玄武岩質である。富士山に見られる溶岩洞窟の含有率の平均と比較すれば、その中でFCの溶岩は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、および $\text{Na}_2\text{O}$ の4つの組成については平均より少なく、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ および $\text{P}_2\text{O}_5$ に6つの組成については平均より多い含有率である。富士山に見られる溶岩が玄武岩質の組成範囲が狭い中、FCの溶岩も同様に玄武岩質である。

横軸にケイ酸、縦軸に酸化ナトリウム酸化カリウムの和との関係からアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩との境界線 (**Fig. 8**) は、Kuno (1996) によるものである。したがって、FCはアルカリ玄武岩であることが分かる。これらの溶岩の溶融は高温の上昇、粘性や圧力の減少および融点を低下させる組成物の付加によって、周囲の熔岩を溶かして析出するものと思われる。一方、温度と粘性の関係および熔岩中の水の量と粘性の関係からも検討を要する。今回は単斜晶系である No.24-0203 を引用した数値解析を行った格子定数である。ゆえに、FCの鉱物は、灰長石・フェルステライト・磁鉄鉱・カリ岩塩と普通輝石が含まれていることがX線回折により確認された。

## 4 格子定数の解析

### 4.1 単斜晶系の格子定数の決め方<sup>4-6)</sup>

単斜晶系の格子定数 (沢ら、1996・1998・2000・2001) は、面間隔 ( $d$ ) と面指数 ( $hkl$ ) によって求められる。格子定数の解析におけるモデル化と問題の構成から変数間の関係を求めるため解析を行ったのである。解析における情報システムを対象とする関係式は、次のとおりである。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

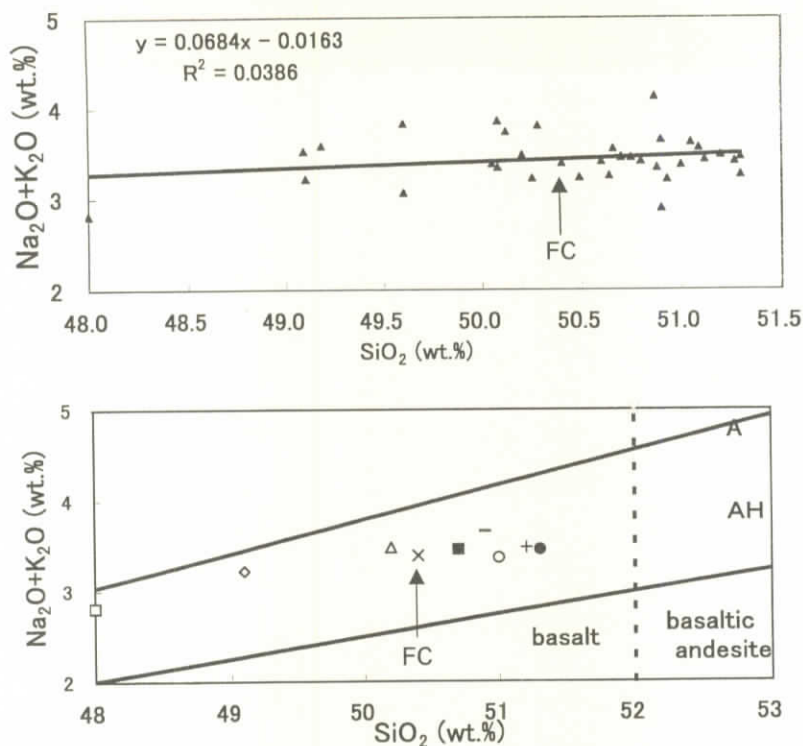


Fig.8 Plot of  $\text{SiO}_2$  vs.  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  Contents of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World. The Letter A denotes for Alkali Basalt Rock-Series; AH, high Alumina-Basalt Rock-Series; Minus Sign Rocks from MLS. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS (Total Alkali versus Silica) Diagram.

$$\frac{1}{d(hkl)^2} = \frac{h^2}{A^2 \sin^2 \beta} - \frac{k}{B^2} + \frac{l^2}{C^2 \sin^2 \beta} - \frac{2hl \cos \beta}{AC \sin^2 \beta} \dots\dots\dots (4)$$

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 3のように決定し、格子定数を求めるためのデータシートである。Table 4における面間隔 (d) と面指数 (hkl) から回帰方程式の最小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 (4) 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、 $\beta$  を次のように連立させて求める。

$$1/(A^2 \sin^2 \beta) = X_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$1/B^2 = X_2 \dots\dots\dots (6)$$

$$1/(C^2 \sin^2 \beta) = X_3 \dots\dots\dots (7)$$

$$-2 \cos \beta / (AC \sin^2 \beta) = X_4 \dots\dots\dots (8)$$

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。

#### 4.2 $\alpha$ 格子定数 (B) の求め方<sup>4, 6)</sup>

式 (4) を  $B^2 = 1/X_2$  と書き換えると、

$$B = \sqrt{1/X_2} \dots\dots\dots (9)$$

条件 (\*) から次のように格子定数Bが求められる。

#### 4.2 $\beta$ 軸角 ( $\beta$ ) の求め方<sup>4, 6)</sup>

$X_1$  と  $X_3$  は式 (5) と (7) である。この式 (5) と (7) や条件 (\*) より次式のように書きかえられる。

$$\sqrt{X_1 X_3} = 1 / (AC \sin^2 \beta) \quad \dots\dots\dots (10)$$

この等式の右辺を式(8)の左辺と比べれば、つぎのような等式が得られる。

$$-2 \cos \beta \sqrt{X_1 X_3} = X_4 \quad \dots\dots\dots (11)$$

それから式(9)を書きかえると式(12)のようになる。

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

また、 $\cos \beta$ から式(13)のような軸角の $\sin^2 \beta$ が求められる。

$$\sin^2 \beta = 1 - \cos^2 \beta = (1 - 4^{-1}) (X_4^2 / X_1 X_3) \quad \dots\dots\dots (13)$$

したがって、

$$\beta = \cos^{-1} (1 - 2^{-1} (X_4^2 / X_1 X_3)) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式(13)より軸角( $\beta$ )は $\pi/2 < \beta < \pi$ の範囲で表現できる。

#### 4.2 $\gamma$ 格子定数(A)の求め方<sup>4, 6)</sup>

式(5)を $A^2$ について解くと、次のようになる。

$$\begin{aligned} A^2 &= X_1^{-1} (1 / \sin^2 \beta) = 4 X_1 X_3 / \{X_1 (4 X_1 X_3 - X_4^2)\} \\ &= 4 X_3 / (4 X_1 X_3 - X_4^2) \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

したがって、条件(\*)から格子定数Aは式(16)のように求められる。

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

条件(\*)から格子定数Aは式(16)のように求められる。

#### 4.2 $\delta$ 格子定数(C)の求め方<sup>4, 6)</sup>

式(7)を $C^2$ について解くと $A^2$ の場合と同様に式(17)が得られる。

$$C^2 = 4 X_1 / (4 X_1 X_3 - X_4^2) \dots\dots\dots (17)$$

したがって、

$$C = 2 \sqrt{X_1 / (4 X_1 X_3 - X_4^2)} \dots\dots\dots (18)$$

条件(\*)から格子定数Cは、式(18)として与えられる。

#### 4.3 手計算による連立方程式の解法 (クラームルの公式)<sup>4-6)</sup>

面間隔(d)から $1/d(hkl)^2 = \mu$ 、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。

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

この正規方程式から作られる行列式(19)は、FCの係数では、

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 282 & -516 \\ 514 & 282 & 204 & -218 \\ -1268 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{FC})$$

=2.02737E+12

である。まず、式(5)の $X_1$ 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。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

$$X_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \gamma \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \delta \mu & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

この正規方程式から作られる行列式 (20) は、 $X_1$  の係数では、

$$X_{1PC} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 135.491 & 2458 & 514 & -1268 \\ 122.706 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.990 & 282 & 204 & -218 \\ -23.521 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{PC})$$

=0.011361

のようになる。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 (21) ようになる。

$$X_2 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \delta \mu & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21)$$

この正規方程式から作られる行列式 (21) は、 $X_{2PC}$  の係数では、

$$X_{2PC} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 135.491 & 514 & -1268 \\ 2458 & 122.706 & 282 & -516 \\ 514 & 14.990 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.521 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_{PC})$$

=0.012551

のようになる。式 (7) の  $X_3$  を求めるクラームルの公式とその値は、式 (22) のようになる。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

$$X_3 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \delta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \delta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \delta \mu & \Sigma \gamma \delta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \delta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (22)$$

この正規方程式から作られる行列式 (23) は  $X_{3FC}$  の係数では、

$$X_{3FC} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 135.491 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 122.706 & -516 \\ 514 & 282 & 14.990 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.521 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (22_{FC})$$

=0.040767

のようになる。最後に、式 (8) の  $X_4$  の値を求めるクラメールの公式とその値は、式 (23) のようになる。

$$X_4 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta \mu \end{vmatrix} \dots\dots\dots (23)$$

この正規方程式から作られる行列式 (23) は、 $X_{4FC}$  の係数では、

$$X_{4FC} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 135.491 \\ 2458 & 7138 & 282 & 122.706 \\ -1268 & -516 & -218 & 14.990 \\ 514 & 282 & 204 & -23.521 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (23_{FC})$$

=0.012570

のようになる。

#### 4.4 単斜晶系の格子定数<sup>4~6)</sup>

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、式(16)から式(24)のように求められる。

$$\begin{aligned} A_{FC} &= 2\sqrt{0.040271/(4 \times 0.011361 \times 0.040271 - 0.011945^2)} \\ &= 9.7705 \text{ \AA} \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

格子定数Bは、式(9)から式(25)のように求められる。

$$B_{FC} = \sqrt{1/0.012551} = 8.9261 \text{ \AA} \dots\dots\dots (25)$$

格子定数Cに関しては、式(18)から式(26)のように求められる。

$$\begin{aligned} C_{FC} &= 2\sqrt{0.11361/(4 \times 0.011361 \times 0.040271 - 0.011945^2)} \\ &= 5.2040 \text{ \AA} \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

軸角( $\beta$ )に関しては、式(14)から式(27)のように求められる。

$$\begin{aligned} \beta_{FC} &= \cos^{-1}(1 - 2^{-1})(0.011945/\sqrt{0.011361 \times 0.040271}) \\ &= 106.61^\circ \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

FCから採集された溶岩のと結晶構造における斜方晶系の格子定数(**Table 2** 下段)を要約すれば、 $A_m = 9.7705 \text{ \AA}$ ,  $B_m = 8.9261 \text{ \AA}$ ,  $C_m = 5.1896 \text{ \AA}$  and  $\beta_m = 106.61^\circ$ である。

## 5 考 察

### 5.1 全岩化学組成および考察

岩石のFCと他の成分と比較するため、富士火山における火山噴出物の化学組成範囲(津屋、1938・1971)<sup>1)</sup>を合わせて**Table 2**上段に示した。富士火山における火山噴出物のSiO<sub>2</sub>組成範囲は、48.0(八幡穴洞窟)~51.3wt.%の範



囲で、平均 51.15wt.%の玄武岩質（塩基性岩）である。FC のケイ酸（ $\text{SiO}_2$  : 50.40wt.%）とアルカリ成分（ $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} : 3.21\text{wt.}\%$ ）は、富士火山における洞窟の中では、それぞれ最小級である。

さらに、FC の  $\text{SiO}_2$  は、八幡穴洞窟と濟州の翰林溶岩樹型の溶岩より多く、青木ヶ原樹型や須走胎内洞窟のより少ない含有率である。すなわち、富士火山では、少ない含有量である。一方、濟州火山における火山噴出物（沢・井上、1999・2000）<sup>7-8)</sup> の  $\text{SiO}_2$  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。

FC ケイ酸の含有率（50.40wt.%）は、八幡風穴・厚原風穴・柏原溶岩樹型より多く、他は少ない。FC 酸化アルミニウムの含有率（16.40wt.%）は、犬涼み山溶岩・厚原風穴より多く、他は少ない。FC 酸化鉄の含有率（12.50wt.%）は、八幡風穴・厚原風穴より少なく、他は多い。FC 酸化カルシウムの含有率（9.60wt.%）は、犬涼み山溶岩・須走胎内本八合目溶岩より多く、他は少ない。最後に、FC 酸化マグネシウムの含有率（5.71wt.%）は、八幡風穴・厚原風穴・犬涼み山溶岩より少なく、他は多い傾向である。

## 5.2 含有鉱物および考察<sup>3, 4)</sup>

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<sup>3-4)</sup>。これらの鉱物が、富士山地域の熔岩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 Augite 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、Augite 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、

比較的プロファイルの近い物質を定性分析結果に記載した。

### 5.3 ケイ酸とアルカリ成分( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )との関係<sup>3, 4)</sup>

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.%である。その平均値 (3.44wt.%) に近い FC の ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) は 3.39 wt.%の玄武岩質である。一方、濟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、この濟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. 8**と **Table 2**上段は、横軸に  $\text{SiO}_2$  (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。関係式 (**Fig. 8** 上図) は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) = -0.016 + 0.068 W(\text{SiO}_2) \cdots \cdots (R^2=0.04) \cdots \cdots (28)$$

**Fig. 8** 上図は、富士火山帯における洞窟の成分を含めた全体成分である。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、アルカリ成分 ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) は同様にわずかな増大の傾向 (勾配: 0.068) を示している。**Fig. 8** 下図は、富士火山帯における溶岩樹型と洞窟の成分のみである。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ある。**Fig. 8** 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)<sup>12)</sup>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。

### 5.4 ケイ酸と酸化カリウムとの関係<sup>3-4)</sup>

富士火山における火山噴出物の  $\text{K}_2\text{O}$  組成範囲は 0.52 (八幡穴) ~ 1.16wt.% である。FC の  $\text{K}_2\text{O}$  は、0.82wt.%で、富士火山の全体と富士火山洞窟の全体でも中間より多い含有率である。一方、濟州火山島における火山噴出物の  $\text{K}_2\text{O}$

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

組成範囲は0.05~5.63wt.%で、富士火山より小さい値である。ケイ酸とカリウム成分との関係を究明するため、**Fig. 9**と**Table 2**上段は、横軸にSiO<sub>2</sub> (wt.%)、縦軸にK<sub>2</sub>O (wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。関係式は、散布図(**Fig. 9**上図)に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{K_2O} = 2.298 + 0.030 W_{(SiO_2)} \dots (R^2 = 0.024) \dots \dots \dots (29)$$

境界線は、Miyashiro, 1978<sup>13)</sup>; R.W.Le Maitre, 1978<sup>14)</sup>に基づいている。上図は富士火山帯における全体成分であり、**Fig. 9**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増大し、それから減少傾向を示している。FCにおけるK<sub>2</sub>O (wt.%)は、回帰直線の値より多いカリウム成分である。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. 9**における横軸52 (wt.%)を基準線として、それ以下は玄武岩であり、それ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。FCのカリウム成分は、SiO<sub>2</sub>組成と(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)組成と同様に似たような特徴である。

### 5.5 ケイ酸と有色鉱物(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・MgO・CaO)との関係<sup>3, 4)</sup>

ケイ酸と有色鉱物(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・MgO・CaO)成分との関係(沢・井上・川村, 2000<sup>15)</sup>; 沢・井上・小川 2001<sup>17)</sup>を究明するため**Fig. 10**と**Table 2**上段は、横軸にSiO<sub>2</sub> (wt.%)、縦軸に(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・MgO・CaO : wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。富士火山帯における上図はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分である。中図はMgO成分である。下図はCaOである。

火山噴出物のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt.%)組成範囲は1.60~13.70 (八幡穴) wt.%である。その洞窟の平均値(12.01wt.%)より多いFCのFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、12.50 wt.%である。一方、済州火山島における火山噴出物のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成範囲は0.67~14.24 wt.%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はるかに多い含有率である。関係式は、散布図(**Fig. 10**上図)に引かれた直線の方程式によ

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

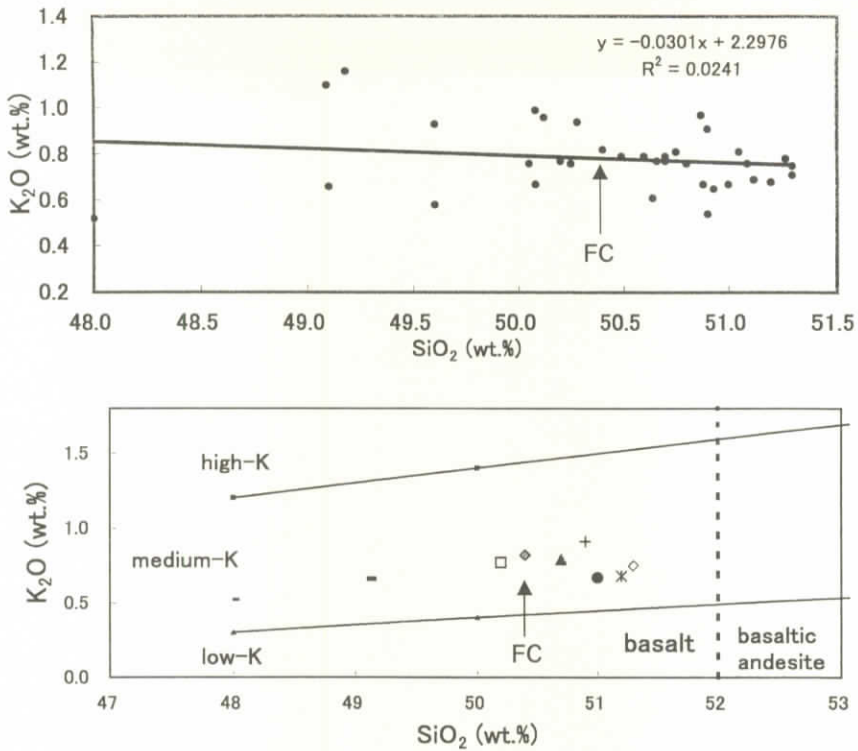


Fig.9 Plot of  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  Contents of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World. Division of Basalts (with  $SiO_2 \geq 48\%$ , Basaltic Andesites and Andesites in Low-K, Medium-K and High-K Types. Note that High-K is NOT Synonymous with Potassic. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS diagram.

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

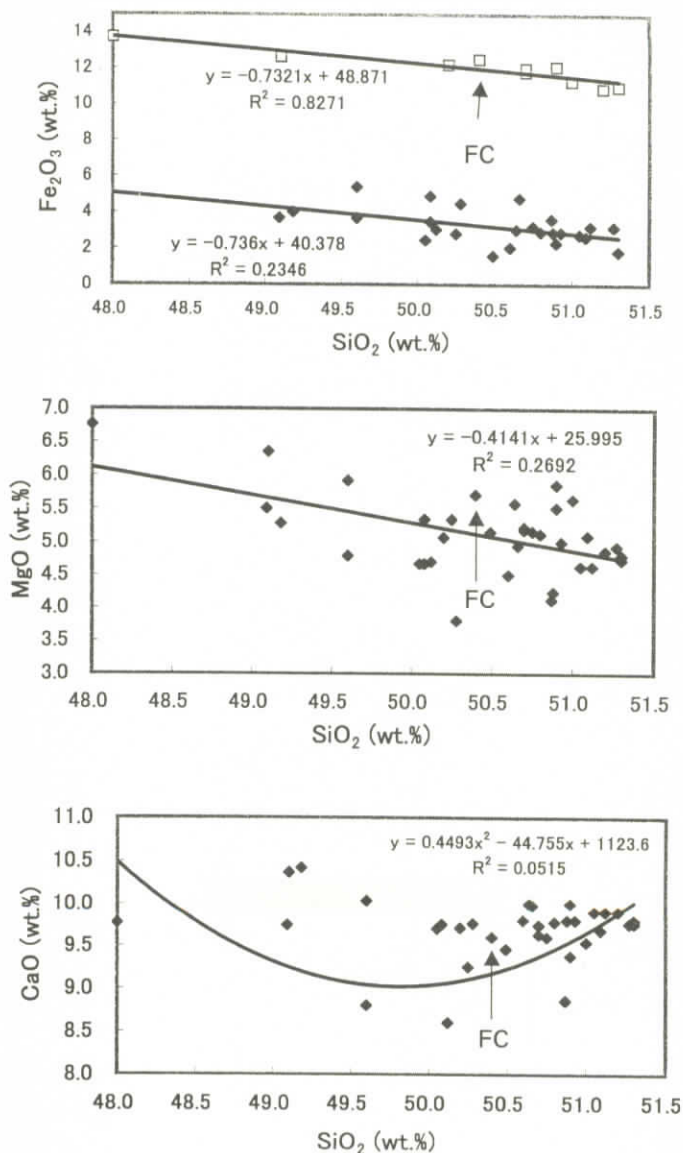


Fig.10 Relation between  $\text{SiO}_2$  Composition and Color Mineral ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{CaO}$ ) Contents of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

て求められる。

$$W_{\text{Fe}_2\text{O}_3}(\text{上}) = 48.87 - 0.732 W(\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.827) \cdots (30)$$

$$W_{\text{Fe}_2\text{O}_3}(\text{下}) = 40.38 - 0.736 W(\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.235) \cdots (31)$$

ここで、**Fig.10** 上図：上直線は  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  としての全体であり、下直線は  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  のみである。ケイ酸が増大するにつれ、酸化第2鉄は、わずかな減少の傾向である。上と下直線の勾配は、ほぼ似ている。一方、決定係数は、0.24と0.83でそれぞれ異なる値である。火山噴出物の  $\text{MgO}$  (wt.%) 組成範囲は、3.80~6.76 wt.%である。FCの  $\text{MgO}$  (wt.%) は5.71で、洞窟の平均値5.54より大きい。関係式は、散布図 (**Fig.10** 中図) に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{\text{MgO}} = 26.00 - 0.414 W(\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.269) \cdots (32)$$

ケイ酸が増大するにつれ、 $\text{MgO}$  は減少の傾向である。決定係数は、0.27である。火山噴出物の  $\text{CaO}$  (wt.%) 組成範囲は、0.77~10.42wt.%である。FCの  $\text{CaO}$  は9.60wt.%で、富士火山洞窟の平均5.54wt.%より多い。関係式は、散布図 (**Fig.10** 下図) に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{\text{MgO}} = 1124 - 44.76W(\text{SiO}_2) + 0.449 W^2(\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.051) \cdots (33)$$

$\text{CaO}$  は、ケイ酸が増大するにつれ、減少し、それから増大の傾向である。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と  $\text{MgO}$  とは、異なっている。すなわち、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、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と  $\text{MgO}$  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  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  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。が、有色鉱物は減少の傾向である。ここで、決定係数が小さいから相関性は、きわめて小さい。

## 5.6 ケイ酸と格子定数(Am)との関係<sup>3~4)</sup>

富士火山における火山洞窟の格子定数(Am)の範囲(沢・井上・川村, 2000<sup>15)</sup>; 沢・井上・小川 2001<sup>17・18)</sup>は9.714(厚原風穴第一)~9.819Åで、その

平均値 (9.764 Å) である。FC の Am は、9.771 Å で、平均値より大きい。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 2 の上段と下段の関係から Fig. 11 は、横軸に SiO<sub>2</sub> (wt.%)、縦軸に格子定数 (Am) をプロットした。Fig. 11 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、上図の下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、Fig. 11 下図は、両方を合せた溶岩洞窟の関係式である。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。

濟州火山洞窟における Fig. 11 上図の上線 (ym) :

$$\text{Am}(\text{\AA}) = 9.62 + 0.003 \text{W}_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.099) \cdots (34)$$

富士火山洞窟における Fig. 11 上図の上線 (yf) :

$$\text{Am}(\text{\AA}) = 9.52 + 0.005 \text{W}_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.023) \cdots (35)$$

両方火山洞窟における Fig. 11 下図の直線 (yc) :

$$\text{Am}(\text{\AA}) = 9.59 + 0.004 \text{W}_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.037) \cdots (36)$$

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 (勾配は 0.023, 0.037 および 0.098) である。決定係数は 0.1 以下である。格子定数 Am の FC は、回帰直線の値とは近い値である。ここで、濟州火山洞窟の Am の切片は、富士火山洞窟の Am より 0.1 Å 大きい値である。萬丈窟における上段ブリッチのケイ酸は大きく、翰林溶岩樹型は小さい値である。その間に、富士火山洞窟におけるケイ酸が含まれている。FC における格子定数 Am (9.771 Å) は、Bm (平均: 8.916 Å) と Cm (平均: 5.195 Å) より大きい。

## 5.7 ケイ酸と格子定数(Bm)との関係<sup>1-4)</sup>

富士火山における火山洞窟の格子定数 (Bm) の範囲 (沢・井上・川村、2000<sup>5)</sup>; 沢・井上・小川 2001<sup>17, 18)</sup> は、8.8974 (青木ヶ原樹型の横臥型) ~8.940 (本八合目) Å で、その平均 8.916 Å である。FC の Bm は、8.9261 Å で、平均

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

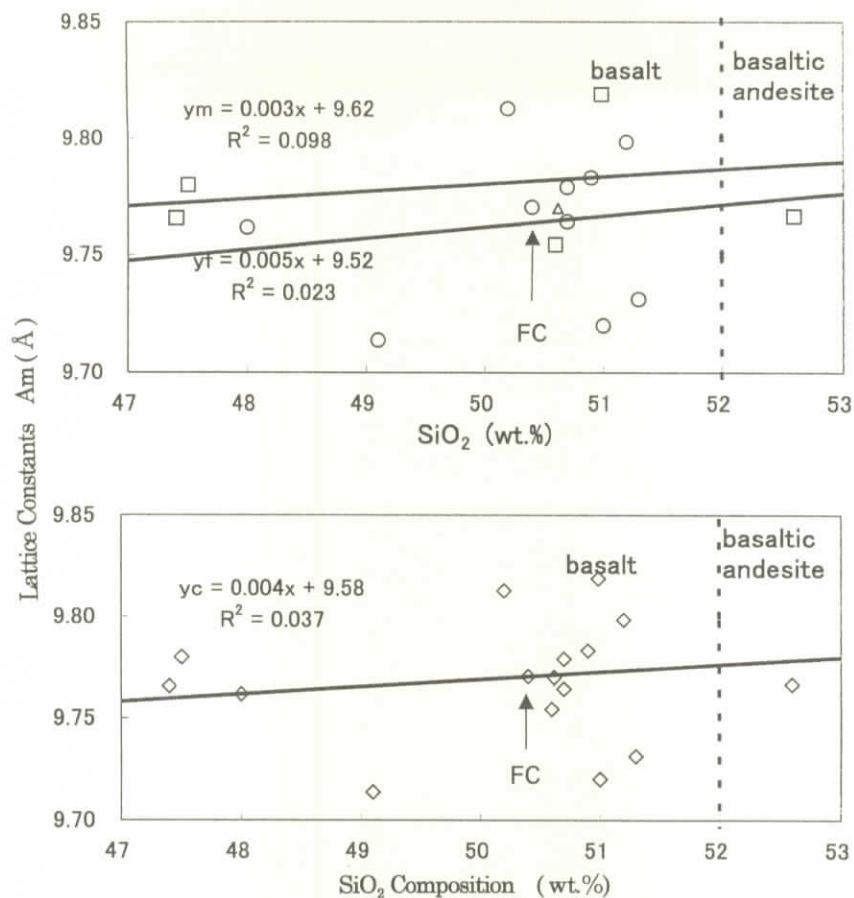


Fig.11 Relation between  $\text{SiO}_2$  Composition and Monoclinic Lattice Constants ( $A_m$ ) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.



値 (8.9159 Å) より大きい。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。FC における 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、Table 2 の上段と下段の関係から Fig. 11 は、横軸に SiO<sub>2</sub>、縦軸に格子定数 (Bm) 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、上図の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。

濟州火山洞窟における Fig. 12 上図の上線 (ym) :

$$Bm(\text{Å}) = 8.97 - 0.001 W_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.029) \cdots (37)$$

富士火山洞窟における Fig. 12 上図の下線 (yf) :

$$Bm(\text{Å}) = 8.74 + 0.004 W_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.073) \cdots (38)$$

両方火山洞窟における Fig. 12 下図の直線 (yf) :

$$Bm(\text{Å}) = 8.91 + 0.0001 W_{\text{SiO}_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.0002) \cdots (39)$$

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 (富士火山) の傾向 (勾配は、濟州: -0.001、富士山: 0.0036 および全体 0.0001) がある。決定係数は 0.03 以下である。両洞窟における Bm は、回帰直線の値とほぼ近い値である。格子定数 Bm は、回帰直線の値とほぼ近い値である。ここで、濟州火山洞窟の Bm の切片は、富士火山洞窟の Bm より 0.23 Å 大きい値である。FC における格子定数 Bm (8.9261) は、Am (平均: 9.7635 Å) より小さく、Cm (平均: 5.1946 Å) より大きい。

## 5.8 ケイ酸と格子定数 (Cm) との関係<sup>3~4)</sup>

富士火山における火山洞窟の格子定数 (Cm) の範囲 (沢・井上・川村、2000<sup>10)</sup>; 沢・井上・小川 2001<sup>17, 18)</sup> は 5.159 (子供国) ~5.255 Å で、その平均値 (5.195 Å) である。FC の Cm は、5.1896 Å で、平均値 (5.1946 Å) より小さ

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
 (沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

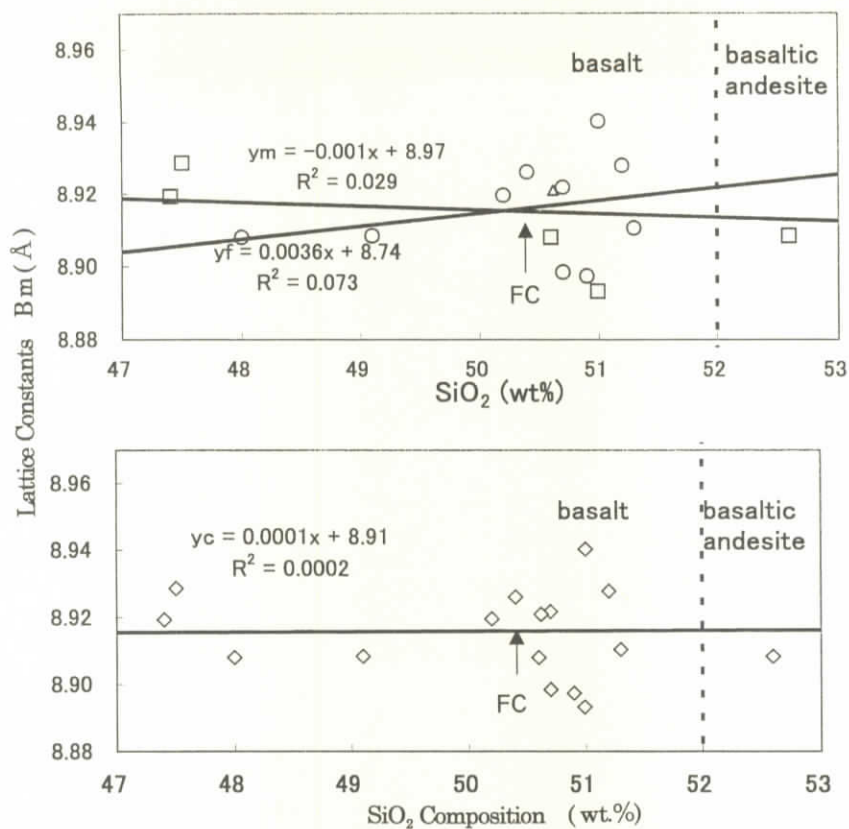


Fig.12 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Monoclinic Lattice Constants (Bm) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

い。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 5.189~5.255 Å で、富士火山より狭い範囲である。FC の Cm は、済州火山島の平均値 (5.211 Å) よりわずかに小さい値である。ケイ酸と Cm との関係を究明するため、Table 2 の上段と下段の関係から Fig. 13 は、横軸に SiO<sub>2</sub>、縦軸に格子定数 (Cm) 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、上図の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式である。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。

済州火山洞窟における Fig. 13 上図の上線 (ym) :

$$Cm(\text{\AA}) = 4.98 + 0.005 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.230) \cdots (40)$$

富士火山洞窟における Fig. 13 上図の下線 (yf) :

$$Cm(\text{\AA}) = 4.67 + 0.010 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.133) \cdots (41)$$

両方火山洞窟における Fig. 13 下図の直線 (yc) :

$$Cm(\text{\AA}) = 4.89 + 0.006 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.127) \cdots (42)$$

済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 (勾配は、済州 : 0.0047 と富士山 : 0.0103) がある。決定係数は 0.23 以下である。両洞窟における Cm の FC は、回帰直線の値とわずかに遠い値である。ここで、済州火山洞窟の Cm の切片は、富士火山洞窟の Cm より 0.21 Å 大きい値である。FC における格子定数 Cm (5.1896 Å) は Am (平均 : 9.7635 Å) と Bm (平均 : 8.9159 Å) より小さい。

## 6 お わ り に

富士山、静岡県にある丸尾公園内の溶岩樹型 (FC) から採集された分析の結果、以下のことが分かった。

- 1) SiO<sub>2</sub> の含有率について、FC は 50.40 wt.% で玄武岩質 (塩基性岩) である。
- 2) FC の溶岩は、高アルミナ玄武岩である。

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

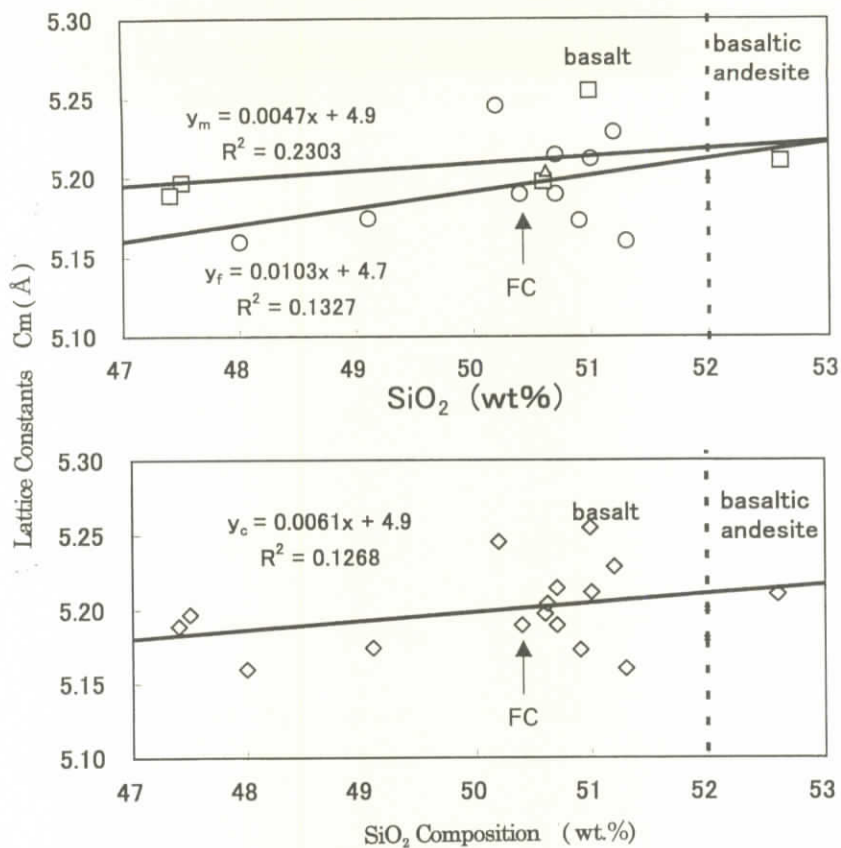


Fig.13 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Monoclinic Lattice Constants (Cm) of Tree-Mould on Mt. Fuji Children's World.

- 3) FCの鉱物は、灰長石・フェルステライト・磁鉄鉱・カリ岩塩と普通輝石が含まれている。
- 4) FCの結晶構造は、混合物であることから三斜晶系・単斜晶系・立方晶系および斜方晶系の混晶である。
- 5) ケイ酸が増大するにつれ、 $\text{Na}_2\text{O}$ 組成・ $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 組成・格子定数  $A_m$  および格子定数  $C_m$  は増大の傾向で、ケイ酸の含有率に依存している。
- 6) ケイ酸が増大するにつれ、 $\text{K}_2\text{O}$ 組成・ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 組成・ $\text{MgO}$ 組成および有色鉱物は減少の傾向で、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、格子定数  $B_m$  は、ほぼ一定で、ケイ酸の含有率に依存せず、測定誤差の範囲内である。
- 8) 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。無色鉱物の含有率は  $\text{SiO}_2$  に大きく影響し、有色鉱物の含有率は  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  に大きく影響しているのである。

## 謝 辞

この論文の関するの試料の採集と調査は、富士山火山洞窟学研究会会員によるものである。X線に関するデータ作成にあたっては、(株)リガクの尾方三知郎と岩田明彦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。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) 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積. 洞窟学雑誌, 22: 81-88.
- 2) 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.
- 3) 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

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

比較. 洞窟学雑誌, 28: 39-45.

- 4) 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 (豎型と横臥型溶岩樹型の成分と単斜晶系). 大阪経済法科大学論集, 77: 31-63.
- 5) 沢勲・村田守・洪始煥・鹿島愛彦, 1990. 大韓民国万丈窟双子溶岩石柱についての二、三の知見. 洞窟学雑誌, 15: 42-46.
- 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・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.
- 8) 沢勲・井上久・河野久征, 2000. X-ray analysis and K-Ar age determination on lava bridge n Manjang-gul cave. 大阪経済法科大学論集, 76: 37-56.
- 9) 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.
- 10) 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溶岩洞窟の成分比較. 洞窟学雑誌, 21: 65-70.
- 11) 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.
- 12) KUNO, H., 1996. Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. Bull. volcano., (2), 29: 195-222.
- 13) Miyashiro, A., 1978. Nature of Alkali Volcanic Rock Series. Contrib. Mineral. Petrol. 66: 94-104.
- 14) R. W. Le Maitre, 1978. 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』, Blackwell Scientific Publications.
- 15) 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

富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折  
(沢、井上、小川、立原、川村、鈴木、日向、黒石川)

学論集, 78:1-39.

- 16) 沢勲・井上久・金龍哲・斐斗安, 2001. 濟州火山の翰林溶岩樹型のX線分析と偏光顕微鏡(豎型と横臥型の年代測定・成分分析・単斜晶系・偏光顕微鏡). 大阪経済法科大学論集, 79:1-36.
- 17) 沢勲・井上久・小川孝徳・川村一之・宮下弘文・本多力・田近雅洋・小門淳・宮崎哲, 2001. 水蒸気が噴煙する日本最大級の洞窟、富士火山にある犬涼み山風穴の成分とX線回折. 大阪経済法科大学論集, 80:1-39.
- 18) 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.

