

# 富士山・厚原風穴の成分とX線回折

— IT による図表と成分分析 —

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 本多 力 Tsutomu HONDA  
伊東典夫 Norio ITOU 日向治子 Haruko HINATA

*The Component and X-ray Diffraction of  
Atsuhara Fuketsu Cave in Shizuoka Prefecture, Fuji Volcano.*

— Chart and Component Analysis by IT —

## ABSTRACT

The Atsuhara Fuketsu (AF) cave is toward the southwest in skirt of the Fuji Volcano, at latitude  $35^{\circ}11'49''$  N and longitude  $138^{\circ}39'51''$  E. The location is 1461-6 Atsuhara, Fujinomiya-shi, Shizuoka Pref.. The above sea level and length of AF cave are 110m and 88.9m, respectively. Major chemical compositions of AF cave is revealed by XRF (X-ray Fluorescence) analysis. These values are the same as those of lava cave, and lava cave from AF may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the lava cave from AF cave is as follows :

SiO<sub>2</sub>=49.10, TiO<sub>2</sub>=1.44, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=16.40, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=12.60, MnO=0.19,  
MgO=6.35, CaO=10.37, Na<sub>2</sub>O=2.55, K<sub>2</sub>O=0.66, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0.28 in AF.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on AF cave sample in the Oubuchi 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 = 9.7138Å, Bm = 8.9084Å, Cm = 5.1742Å and  $\beta$ m=106.82° in AF.

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

[大阪経済法科大学論集 第81号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 81 (2001), pp 1-37]

## 1 はじめに

厚原風穴第1 (AF) の溶岩流は、大淵溶岩流で、富士市の代表的な洞窟である。AF の位置は、富士山山頂の西南側にある静岡県富士市厚原 1461-6 に所在し、北緯  $35^{\circ}11'49''$ 、東経  $138^{\circ}39'51''$  である (Table 1 と Fig.1)。AF は 1978 年 9 月防災水槽建設工事により、市道地下 5.4m で確認された。

AF 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、① 2 次溶岩流が流れた後に、一部では 2 重構造の洞窟からなる。② 天井部では、風圧の影響がなく、急冷却相を示す黒色の光沢になっている多彩な溶岩鐘乳石があり、長さは約 2 cm 以下・径は約 5mm 以下である。③ 壁面では、2 次溶岩流が流れることによって生成した溶岩棚もある。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ため縄状溶岩などが見られる。⑤ 生物の面では、フジマシマクモが生殖している。

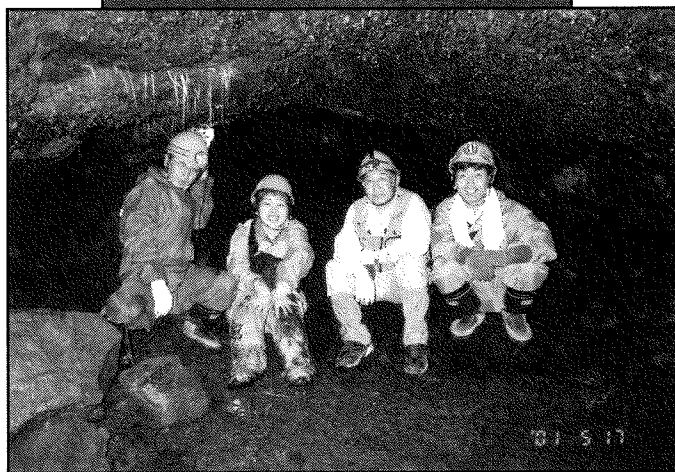
洞窟の形成状態として、洞口 (Fig.2) は、日本フィルコン(株)の北西かどの三叉路交差点の中央部にあるマンホールである。マンホールの洞口部は、梯子とコンクリートで固められた階段からなっている。洞窟の中央部では、天井部が高く多悪直立歩行が可能であるが、上流部と下流部では天井部が低いためほふくしなければならぬ。道路の下ある AF は、自動車走行中の重量と振動のため、崩落の跡が次第に増大している。その対策を行政の方から検討して頂きたい。天井からぶら下がっている木の根は数 10 本もあり、長さは 10~30cm が多く、150cm 位のものあが、日本テレビ撮影時には無くなっていた。AF の総延長と海拔はそれぞれ 88.9m と 110m で、海拔は富士山の火山洞窟なかでは最も低いところ (110m) である。洞窟の幅と高さは、それぞれ 2~9.3m と 1.2~1.63m で、支同数は 5 本である。この AF は 1979 年 3 月、富士市天然記念物に指定されている。

研究成果を要約すれば、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<sup>3~10)</sup>。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。測定に用いた試料としては、AF から採集された溶岩の化学組成 ( $\text{SiO}_2=49.10$ ,  $\text{TiO}_2=1.44$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=16.40$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.60$ ,





厚原風穴の入口  
であるマンホール  
(日本テレビ上映)



**Fig.2** Outside and Inside in Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.  
(上) 洞窟入口は、道路上の交差点がある中央部分である。(沢勲：2001.5)  
(下) 2重層から溶岩洞窟の低い天井部分で、木の根が降りている日本テレビスタップ。(沢勲：2001.5)

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

MnO=0.19, MgO=6.35, CaO=10.37, Na<sub>2</sub>O=2.55, K<sub>2</sub>O=0.66, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0.28 wt.%)と結晶構造における斜方晶系の格子定数 (Am=9.7138 Å, Bm=8.9084 Å, Cm=5.1742 Å and βm=106.82。)を明らかにした。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とするのが目的であるから関連性の重要性も検討する必要がある。以上について、一定の結論に達したので、ここに報告する。

## 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、タング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0.400 g:融剤Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(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.3)。測定条件はTable2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<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 mmφ)を使用した。測定装置は、理学電機製のX線回折

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

装置 RINT-2500 (湾曲グラフィット・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 (50 kV)、⑤管電流 (300 mA)、⑥走査軸 (2θ/θ)、⑦受光スリット (0.15 mm)、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 (1.54056 Å) 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 2θ = 3~80 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

Table2 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Lava on Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji volcano

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	Kα				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 φ		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

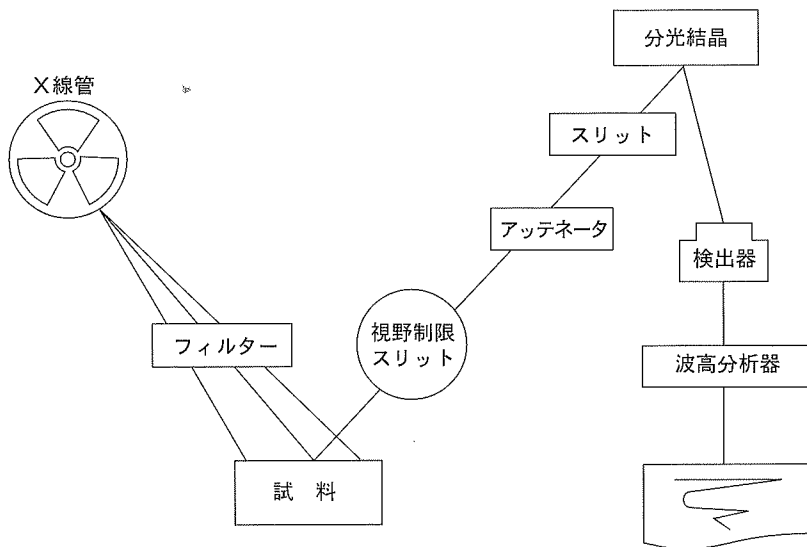


Fig.3 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Lava on Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

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  
 チャートのシートは Fig.4 である。これらの試料に関してピーク・サーチを行っ  
 たデータは Table3 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・面積・半幅のデー  
 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>。

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

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 の 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。

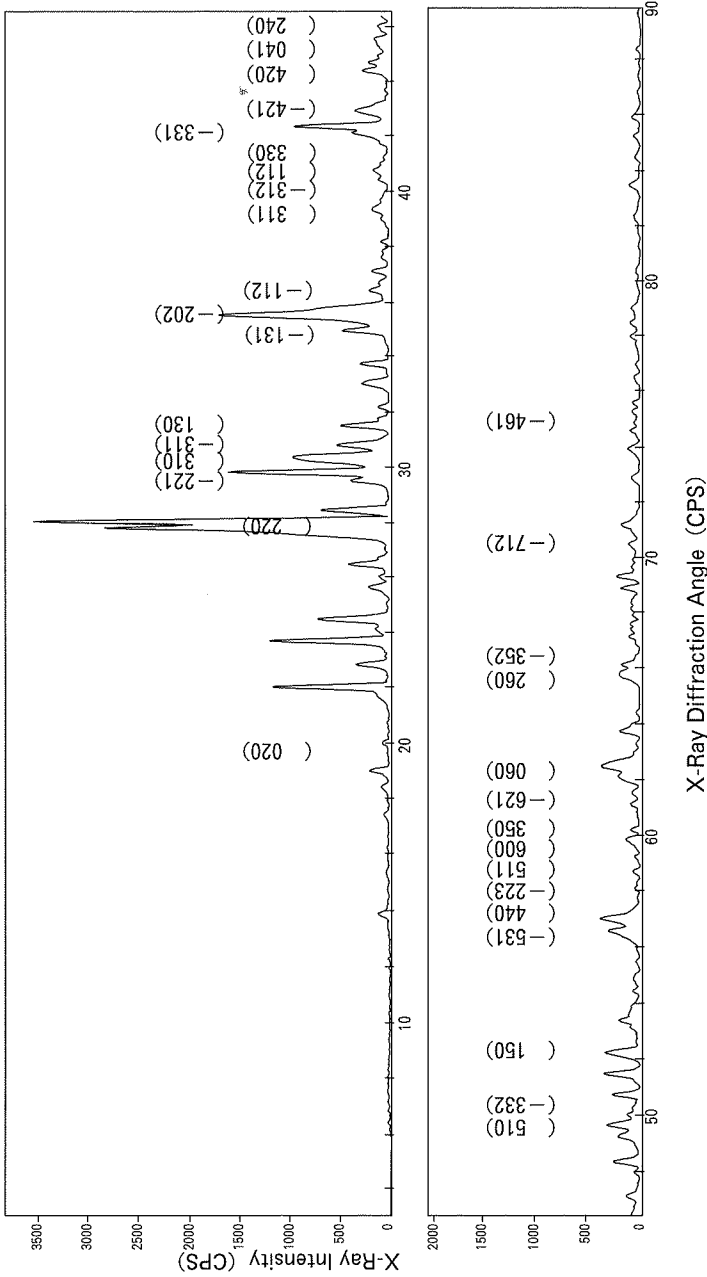


Fig.4 Fig.4 The X-ray Diffraction Pattern of Lava Sample from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.



Table3 The X-Ray Data (Miller Index, Lattice Distance and Calculation Sheet of Method of Least Squares) of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu cave in Fuji Volcano.

番号	面指数			面間隔 d	BG	高さ		面積		半価幅 $\Delta$ (°)
	h	k	l			I%	I%			
1	0	2	0	4.4622	11	66	1.8	897	1.9	0.231
2	2	2	0	3.1840	9	3590	100.0	46073	100.0	0.218
3	-2	2	1	2.9957	9	1632	45.5	18253	39.6	0.190
4	3	1	0	2.9417	13	975	27.2	22366	48.5	0.390
5	-3	1	1	2.9024	13	522	14.5	6997	15.2	0.228
6	1	3	0	2.8378	11	490	13.6	5641	12.2	0.196
7	-1	3	1	2.5644	3	472	13.1	8642	18.8	0.311
8	-2	0	2	2.5252	27	1708	47.6	33391	72.5	0.332
9	-1	1	2	2.4636	9	196	5.5	3790	8.2	0.329
10	3	1	1	2.2873	9	159	4.4	4308	9.4	0.461
11	-3	1	2	0.2276	10	91	2.5	2361	5.1	0.441
12	1	1	2	2.2098	9	145	4.0	3794	8.2	0.445
13	3	3	0	2.1425	9	353	9.8	7311	15.9	0.352
14	-3	3	1	2.1309	9	945	26.3	16762	36.4	0.302
15	-4	2	1	2.1036	7	331	9.2	6311	13.7	0.324
16	4	2	0	2.0369	7	267	7.4	4327	9.4	0.276
17	0	4	1	2.0239	6	198	5.5	6109	13.3	0.525
18	2	4	0	1.9869	13	134	3.7	3579	7.8	0.454
19	5	1	0	1.8343	19	323	9.0	8604	18.7	0.453
20	-3	3	2	1.8213	9	124	3.5	4462	9.7	0.612
21	1	5	0	1.7490	21	334	9.3	4599	10.0	0.234
22	-5	3	1	1.6242	9	312	8.7	8144	17.7	0.444
23	4	4	0	1.6122	6	400	11.1	9151	19.9	0.389
24	-2	2	3	1.5844	6	42	1.2	473	1.0	0.191
25	5	1	1	1.5692	11	59	1.6	343	0.7	0.099
26	6	0	0	1.5571	10	37	1.0	191	0.4	0.088
27	3	5	0	1.5424	11	128	3.6	2051	4.5	0.272
28	-6	2	1	1.5340	14	83	2.3	621	1.3	0.127
29	0	6	0	1.4827	18	364	10.1	10777	23.4	0.503
30	2	6	0	1.4162	2	206	5.7	4995	10.8	0.412
31	-3	5	2	1.4098	4	186	5.2	5093	11.1	0.465
32	-7	1	2	1.3327	36	83	2.3	856	1.9	0.175
33	-4	6	1	1.2656	6	59	1.6	1517	3.3	0.437

高さの相対強度 (HI%) が15%以上 (*Table3* と *Fig.4*) になっている面指数は、①高さの相対強度 100.0 は (220)面、②45.5 は (-221)面、③27.2 は (310)面、④14.5 は (-3 1 1)面、⑤47.6 は (-202)面、⑥26.3 は (-331)面の6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15%以上 (*Table3* と *Fig.4*) になっている面指数は、①面積の相対強度 100.0 は (220)面、②39.6 は (-221)面、③48.5 は (310)面、④15.2 は (-3 1 1)面、⑤18.8 は (-131)面、⑥72.5 は (-202)面、⑦15.9 は (330)面、⑧36.4 は (-331)面、⑨18.7 は (510)面、⑩17.7 は (-531)面、⑪15.9 は (440)面および⑫23.4 は (060)面の12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3割である。

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 *Fig.5* 図である。ここでは、直線 (式2) と双曲線 (式3) の回帰方程式の関係を決定係数として、次のものを求めた。

$$AI = 3.96 + 1.05 (HI) \quad (R^2 = 0.915) \dots\dots\dots (2)$$

$$AI = 1.04 + 1.48 (HI) + 0.005 (HI)^2 \quad (R^2 = 0.935) \dots\dots\dots (3)$$

式2の直線と式3の双曲線の回帰方程式の関係を決定係数として比較すれば、両者が0.954で信頼性が高いことが認められたのである。

半価幅 ( $\Delta$ ) が0.40°以上の面指数 (*Table3*) は、①半価幅 0.461 は (311)面、②0.441 は (-312)面、③0.445 は (112)面、④0.454 は (041)面、⑤0.454 は (240)面、⑥0.453 は (510)面、⑦0.612 は (-332)面、⑧0.444 は (-531)面、⑨0.503 は (060)面、⑩0.465 は (-352)面、⑪0.465 は (-352)面および⑫0.437 は (-461)面の12の面指数である。

半価幅 ( $\Delta$ ) に対する HI (*Fig.5* 上) と AI (*Fig.5* 下) との関係を求めた。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

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

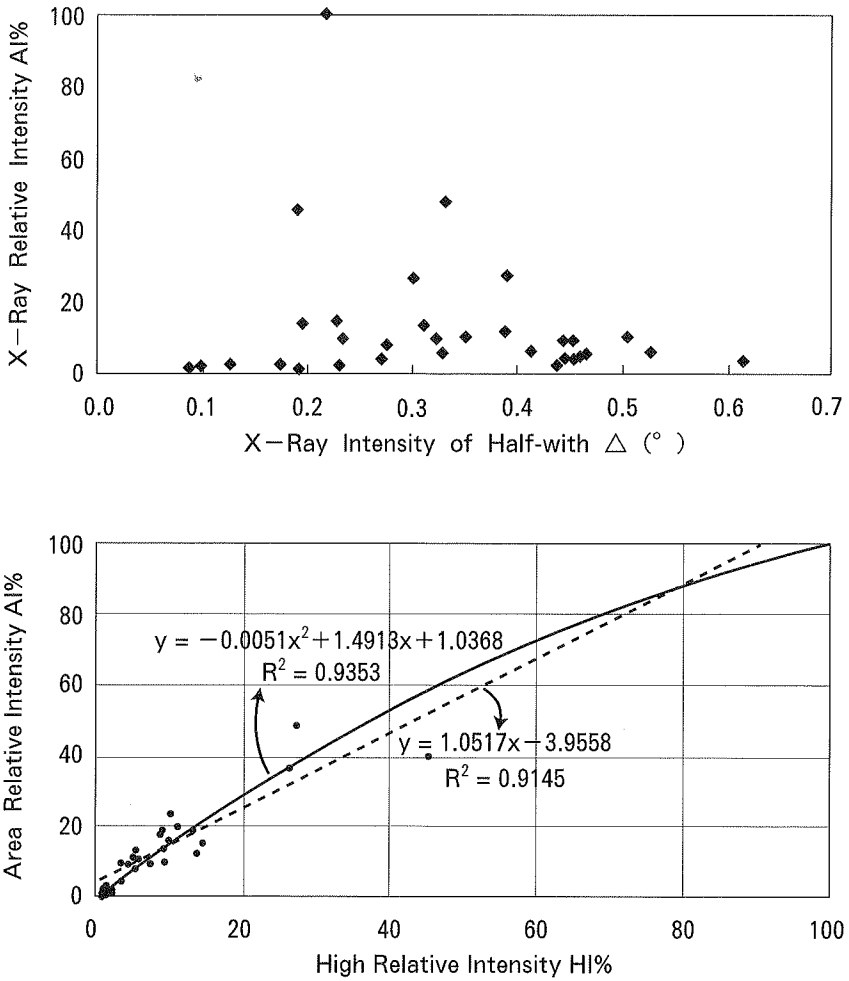


Fig.5 Relation between X-Ray Density and Relative Intensity of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

係数は得られない。半価幅の範囲は 0.088~0.612 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 deg.)、③散乱スリット (1 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°)、⑨アタッチメント (標準試料ホルダー)、⑩走査速度 (2°/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 Å) 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作成して確認してから処理したのである。

### 3 定量分析の結果と結晶構造

AF 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の蛍光X線分析による全岩化学組成を **Table 4** 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>13)</sup>。AF の溶岩 (**Table 4** の上段) では、SiO<sub>2</sub> が 49.10wt.% 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 AF の溶岩は、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O および P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> については平均より少なく、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO および CaO 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、AF の溶岩も同様に玄武岩質であり、含有率はほぼ中間にある。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.6**) は、Kuno (1966) によるものである。したがって、AF 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。定量分析値 (重量百分率 wt.%) の IS はグループ分析による結果である。

Table 4 Representative XRF Analysis Results (wt.%) (Upper Berth) and Lattice Constants of Monoclinic Results (Å) (Lower Berth) for the Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

含有率 wt. %	溶岩樹型		須志胎内洞窟		犬涼み山 風穴 IS	厚原風穴 AF	全平均	富士火山
	青木整型	柏原整型	洞窟外	洞窟内				
SiO <sub>2</sub>	50.70	50.70	51.20	51.30	51.00	49.10	50.64	48.00~51.30
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.44	1.30	1.33	1.27	1.44	1.42	1.03~1.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.10	17.20	17.90	18.00	17.50	16.40	17.18	15.83~19.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.00	11.80	10.90	11.00	11.30	12.60	11.74	1.60~13.70
MnO	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.15~0.29
MgO	5.22	5.18	4.86	4.73	5.64	6.35	5.36	3.80~6.76
CaO	9.63	9.74	9.90	9.80	9.54	10.37	9.76	0.77~10.42
Na <sub>2</sub> O	2.66	2.69	2.80	2.71	2.70	2.55	2.70	2.29~3.16
K <sub>2</sub> O	0.79	0.77	0.68	0.75	0.67	0.66	0.75	0.52~1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.29	0.26	0.27	0.25	0.28	0.29	0.08~0.54
Total	100.05	99.99	99.97	100.06	100.04	99.94	100.01	
単斜晶系A(Å)	9.7790	9.7643	9.7985	9.7313	9.7201	9.7138	9.77	
単斜晶系B(Å)	8.8985	8.9218	8.9279	8.9105	8.9403	8.9084	8.92	
単斜晶系C(Å)	5.1896	5.2144	5.2287	5.1600	5.2118	5.1729	5.20	
単斜晶系β(°)	106.55	106.16	105.49	106.33	105.97	106.82	106.02	

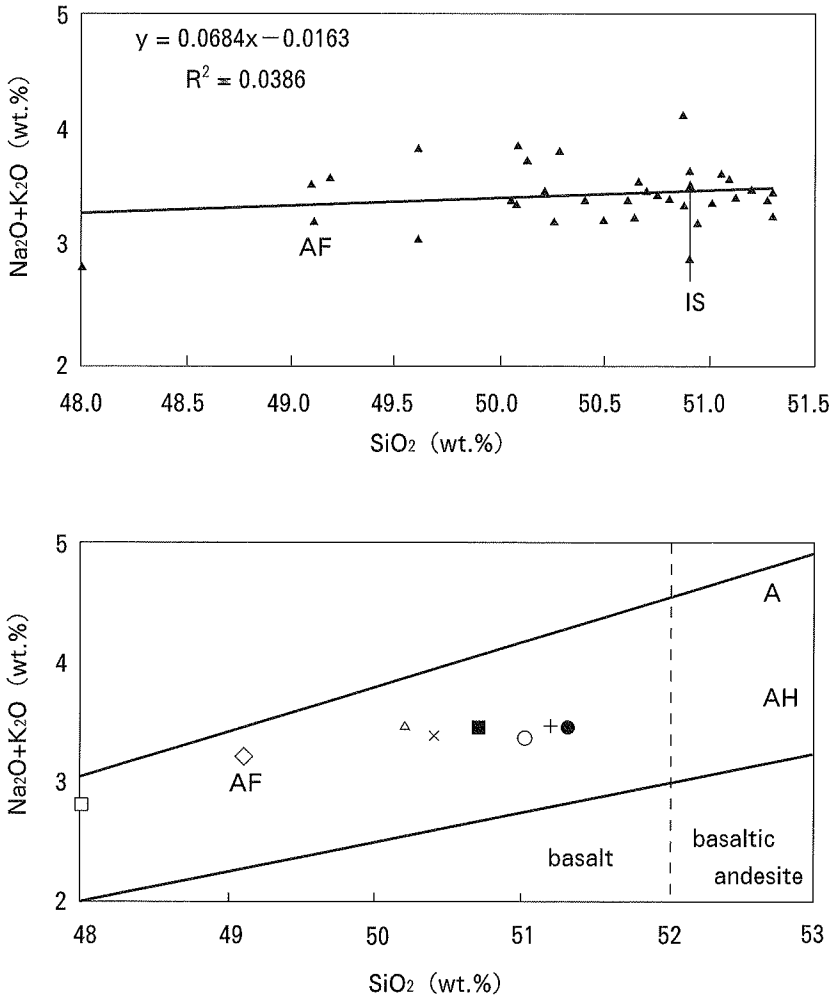


Fig.6 Plot of  $\text{SiO}_2$  vs. ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) Contents of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano. The Letter A denotes for Alkali Basalt Rock-Series; AH, high Alumina-Basalt Rock-Series; Minus Sign Rocks from AF. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS (Total Alkali versus Silica) Diagram.

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

SiO<sub>2</sub>=49.10, TiO<sub>2</sub>=1.44, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=16.40, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=12.60, MnO=0.19,

MgO=6.35, CaO=10.37, Na<sub>2</sub>O=2.55, K<sub>2</sub>O=0.66, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0.28 in AF.

AFの溶岩に近い成分の物質番号ICCD (*Table 5*)は、No.10-0393のNa(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>8</sub>というAlbiteの三斜晶系、No.18-1202のCa, Na(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>というAnorthiteの三斜晶系、No.19-0629のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>というMagnetiteの立方晶系、No.24-0201のCa(Mg, Fe)Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>というAugiteの単斜晶系、No.31-0795の(Mg, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>というForsteriteの斜方晶系などである。

今回は単斜晶系のNo.24-0201を引用した数値解析を行った格子定数である。ゆえに、AFの鉱物は、カンラン石と普通輝石がX線回折により確認された。さらに、輝石とカンラン石は偏向顕微鏡写真 (*Fig.7*: オープンとクロスニコル)により観察されたのである。倍率を47倍にしたオープンニコルの上図は、発砲(Pore)が見られた。倍率を47倍にしたクロスニコルの下図は、OI(カンラン石)とPI(輝石)が見られた。これからも分かるようにNo.24-0201を引用した単斜晶系の数値解析から格子定数を算術したのである。

## 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)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。

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

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。まず、面指数と面間隔との関係を明らかにするデータシートを作成した。面間隔(d)と面指数(hkl)から回帰方程式

Table 5 The Qualitative Analysis of Search-Match for the Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

コード 番号	化学式	鉱物名	元素標準 ピーク本数	一致本数	信頼性系数	結晶構造
1	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$	Albite, calcian, disordered	19	9	559-597	Triclinic
2	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anorthite, sodian, ordered	19-23	14-85	665-2769	Triclinic
3	$\text{Na}(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_8$	Albite, disordered	5-42	27-60	554-2608	Triclinic
4	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_8$	Anorthite, sodian, intermediate	3-52	43-56	582-2784	Triclinic
5	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Magnetite, Syn	9.6	23	5197	Cubic
6	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anorthite, sodian, ordered	7-92	56-58	588-2759	Triclinic
7	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	Augite	14.1	28	3702	Monoclinic
8	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	Augite	36	22	449	Monoclinic
9	$\text{Mg}_2\text{TiO}_4$	Quandilite, syn	17	7月11日	399-495	Cubic
10	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	Forsterite, ferroan	17-40	10月31日	578-3141	Orthorhombic
11	$\text{SiO}_2$	Quartz, syn	28	13-17	478-483	Hexagonal
12	KCl	Sylvite	9.5	100	1.988	Cubic
13	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_8$	Albite, calcian, ordered	8-71	38-62	572-2644	Triclinic
14	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_8$	Anorthite, sodian, ordered	66	49-55	624-729	Triclinic
15	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}+3, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$	Augite, aluminian	14-50	11月30日	409-3298	Monoclinic
16	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Anorthite, ordered	5-82	48-56	582-2761	Triclinic

Plus 44 chemical composition to reliability factor



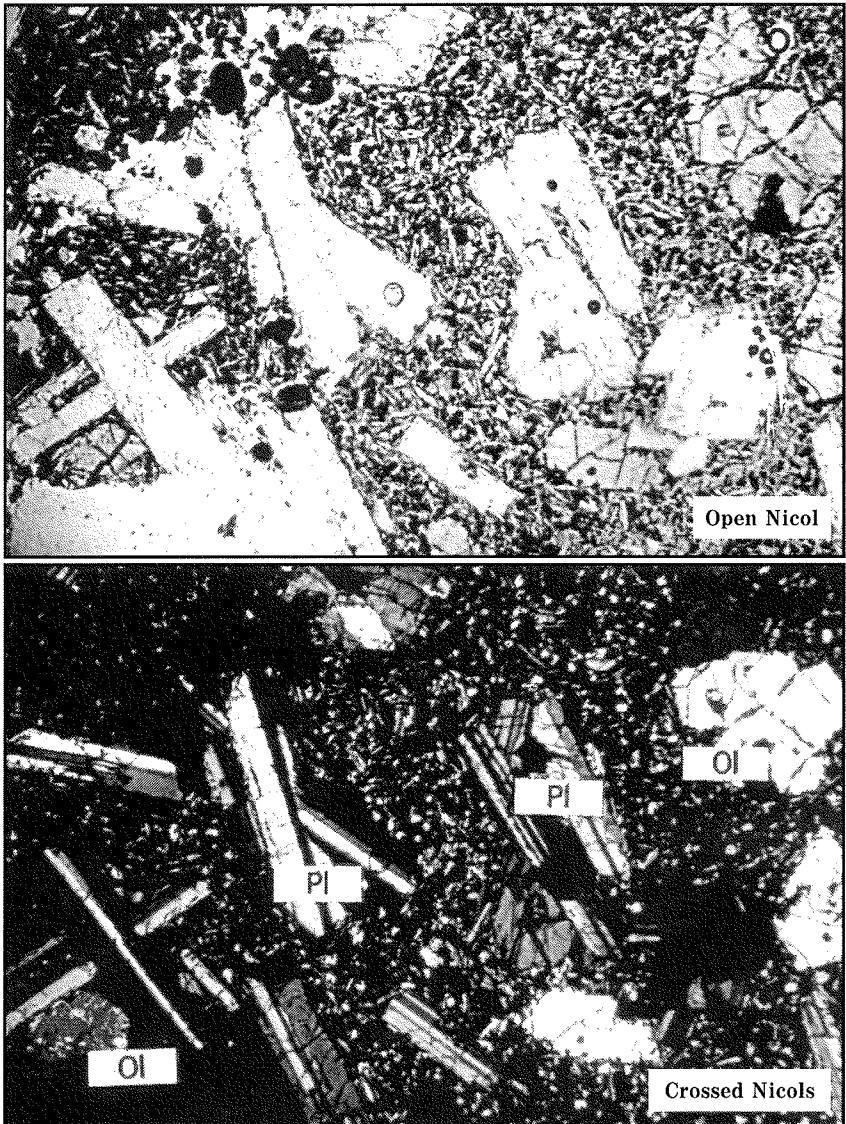


Fig. 7 Polarizing Microscope Photo (Open Nicol and Crossed Nicols: 47 times) of Lava Sample from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

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。

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

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。

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

それから式(9)を書きかえると式(12)のようになる。

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

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

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

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

したがって、

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

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。

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

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。

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

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 $1/d^2 (hkl)^2 = \mu$ 、面指数(hkl)から $h^2 = \alpha$ 、 $k^2 = \beta$ 、

富士山・厚原風穴の成分と X線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

$l^2 = \gamma$  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、AF の係数では、

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

$$= 2.02737E+12$$

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。

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

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、

$$X_{1AF} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 136.875 & 2458 & 514 & -1268 \\ 123.386 & 7138 & 282 & -516 \\ 15.075 & 282 & 204 & -218 \\ -23.595 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{AF})$$

$$= 0.011567$$

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、 $X_{2AF}$  の係数では、

$$X_{2AF} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 136.875 & 514 & -1268 \\ 2458 & 123.386 & 282 & -516 \\ 514 & 15.075 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.595 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_{AF})$$

=0.012601

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。

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

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

$$X_{3AF} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 136.875 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 123.386 & -516 \\ 514 & 282 & 15.075 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.595 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (22_{AF})$$

=0.040767

のようになる。最後に、式 (8) の  $X_4$  の値を求めるクラーム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、 $X_{4AF}$  の係数では、

$$X_{4AF} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 136.875 \\ 2458 & 7138 & 282 & 123.386 \\ -1268 & -516 & -218 & 15.075 \\ 514 & 282 & 204 & -23.595 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (23_{AF})$$

$$= 0.012570$$

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。

$$A_{AF} = 2\sqrt{0.040767/(4 \times 0.011567 \times 0.040767 - 0.012570^2)}$$

$$= 9.7138 \text{ \AA} \dots\dots\dots (24)$$

格子定数Bは、式 (9) から式 (25) のように求められる。

$$B_{AF} = \sqrt{1/0.012601} = 8.9084 \text{ \AA} \dots\dots\dots (25)$$

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。

$$C_{IS} = 2\sqrt{0.11567/(4 \times 0.011567 \times 0.040767 - 0.012570^2)}$$

$$= 5.1742 \text{ \AA} \dots\dots\dots (26)$$

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

$$\begin{aligned}\beta_{18} &= \cos^{-1}(1 - 2^{-1})(0.012570/\sqrt{0.011567 \times 0.040767}) \\ &= 106.82^\circ \dots\dots\dots (27)\end{aligned}$$

## 5 考 察

### 5.1 全岩化学組成および考察

岩石の AF 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 1* 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。AF のケイ酸(SiO<sub>2</sub>: 49.10wt.%) とアルカリ成分(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O: 3.21wt.%) 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、AF の SiO<sub>2</sub> 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 SiO<sub>2</sub> 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。

### 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

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

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 (Table 5)。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。

定性分析結果を記載した AF の No.24-0201 を引用した単斜晶系の鉱物信頼性係数は 3702、鉱物相対強度は 10 から 100 の範囲、密度は 1.988 から 5.197 ( $\text{g}/\text{mm}^3$ ) の範囲である。ここでは、主な鉱物のみを Table 5 に表示した。その他、鉱物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。それは、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からなると考えられる。密度 (D: 縦軸) と相対強度 (I/I.: 横軸) の関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$D = 4.033 - 0.019 (I/I.) \dots\dots (R^2=0.462) \dots\dots\dots (28)$$

式 (28) から相対強度 (I/I.) が大きくなるにつれ、密度 (D) は小さくなる傾向が見られたのである。決定係数は 0.462 であることから、一応の関係が理解できるのである。

### 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、その平均より極わずかに多い AF の ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) は平均 1.72wt.% 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. 6 と Table 4 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. LeMaitre,



富士山・厚原風穴の成分と X線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

1938) をプロットした。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) = -0.016 + 0.068 W(\text{SiO}_2) \cdots \cdots (R^2 = 0.462) \cdots \cdots (29)$$

上図は富士火山帯における全体成分である。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を示している。下図は富士火山帯における洞窟の成分である。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ある。Fig.6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、双方の熔岩樹型とも高アルミナ玄武岩であることが分かる。AFの  $\text{SiO}_2$  の含有率は、富士火山洞窟内では大きいけれども、富士火山の全体ではやや大きい含有率である。AFのアルカリ成分は、富士火山洞窟内では平均に近い成分である。

#### 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。AFの  $\text{K}_2\text{O}$  (wt.%) は、0.66 (wt.%) であり、富士火山の全体では最大級含有率、富士火山洞窟の全体では最少の含有率である。一方、済州火山島における火山噴出物の  $\text{K}_2\text{O}$  組成範囲は 0.05~5.63 (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.8と Table 4は、横軸に  $\text{SiO}_2$  (wt.%)、縦軸に  $\text{K}_2\text{O}$  (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、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{\text{K}_2\text{O}} = 2.298 + 0.030 W(\text{SiO}_2) \cdots \cdots (R^2 = 0.02) \cdots \cdots (30)$$

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、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(上図)。AFにおける $K_2O$  (wt.%) は、回帰直線の値より多いカリウム成分である。AFのカリウム成分は、 $SiO_2$  組成と  $(Na_2O+K_2O)$  組成(下図)は、青木ヶ原樹型の成分と似たような特徴の成分である。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.8** 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。AFのカリウム成分は、 $SiO_2$  組成と  $(Na_2O+K_2O)$  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( $Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO$ )との関係<sup>3~4)</sup>

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. 9** と **Table 4** 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。富士火山帯における上図は  $Fe_2O_3$  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  $Fe_2O_3$  (wt.%) 組成範囲は 1.60~13.70 (八幡穴)(wt.%) である。その平均値より多い  $Fe_2O_3$  (wt.%) は、12.60 (wt.%) である。一方、済州火山島における火山噴出物の  $Fe_2O_3$  (wt.%) 組成範囲は 0.67~14.24 (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、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{Fe_2O_3}(\text{上}) = 48.87 - 0.732 W(SiO_2) \cdots (R^2=0.827) \cdots (31)$$

$$W_{Fe_2O_3}(\text{下}) = 40.38 - 0.736 W(SiO_2) \cdots (R^2=0.235) \cdots (32)$$

ここで、上の直線は  $Fe_2O_3$  としての全体の鉄であり、下の直線は  $Fe_2O_3$  のみである。ケイ酸が増大するにつれ、 $Fe_2O_3$  はわずかな減少の傾向である。勾配はほぼ同じであるが、決定係数は異なっている。火山噴出物の  $MgO$  (wt.%) 組成範囲は 3.80~6.76 (wt.%) である。AFの  $MgO$  は 6.35 (wt.%)

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

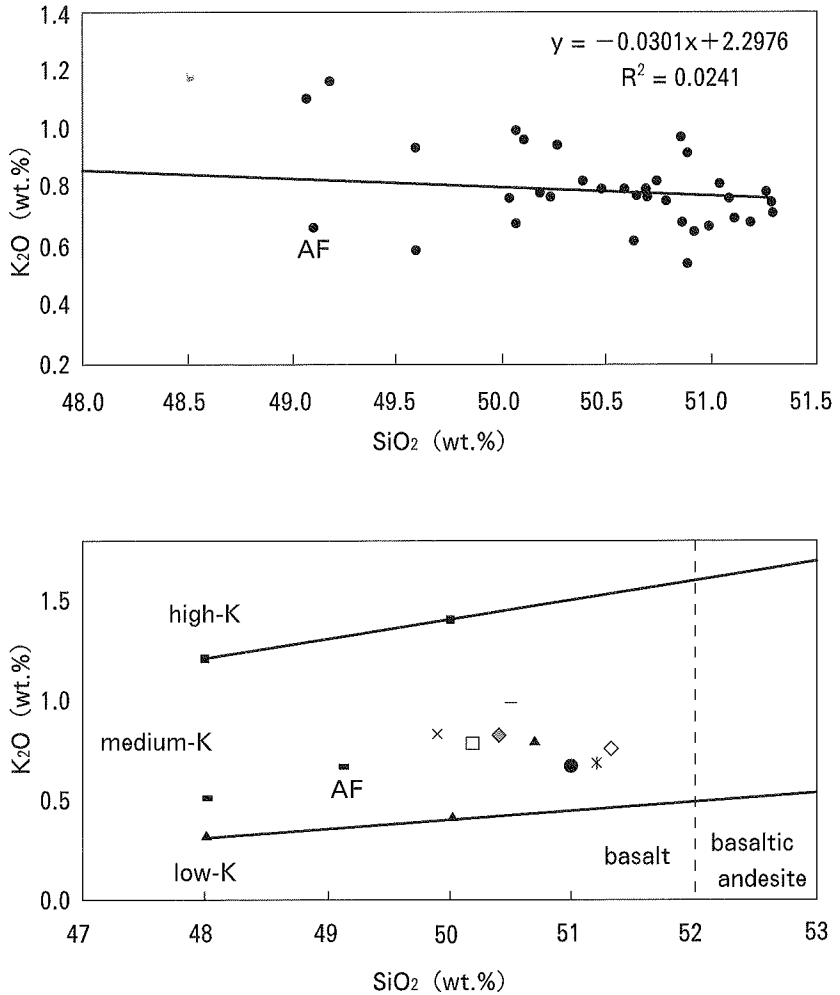


Fig.8 Plot of  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  contents of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano. Division of Basalts (with  $SiO_2 \geq 48$ wt.%, Basaltic Andesites and Andesites in Low-K, Medium-K and High-K Types. Note that High-K is NOT Synonymous with Potassic. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS diagram.

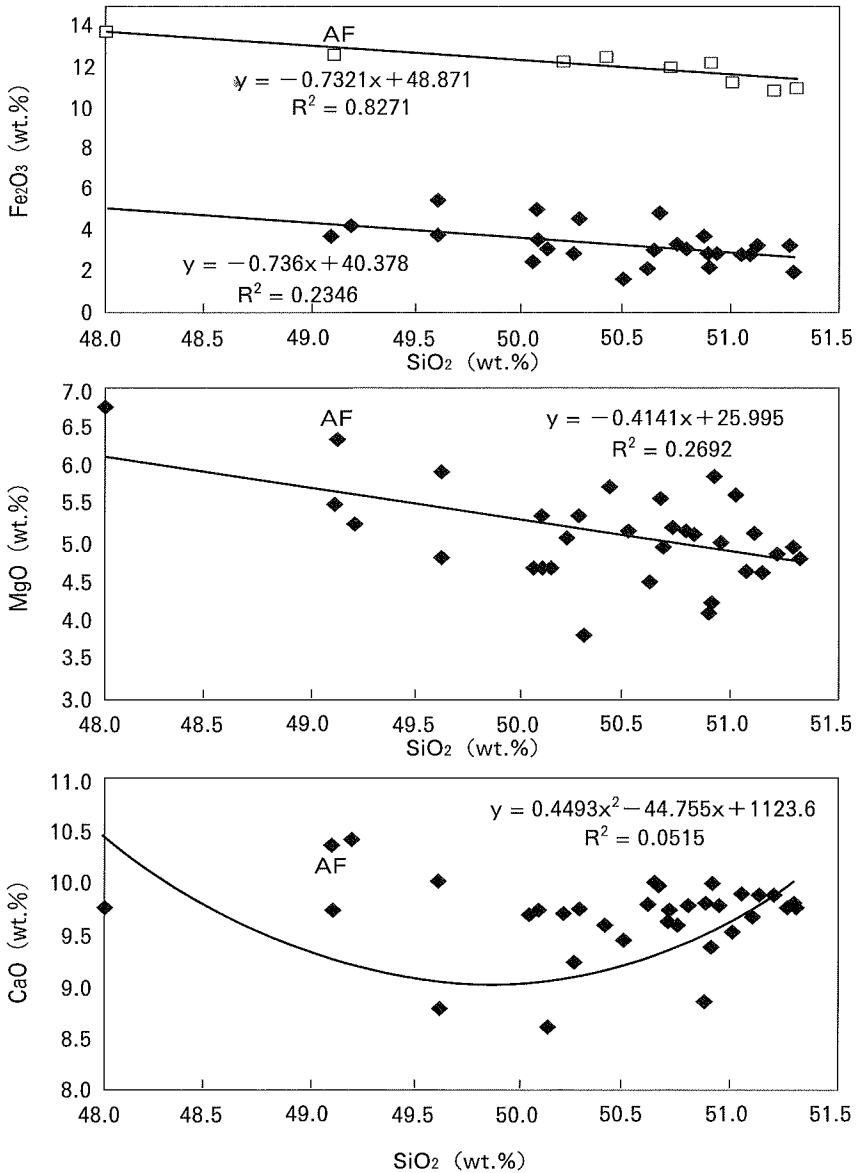


Fig.9 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Color Mineral (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and CaO) contents of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

である。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{MgO} = 26.00 - 0.414 W_{(SiO_2)} \cdots (R^2 = 0.269) \cdots (33)$$

ケイ酸が増大するにつれ、MgO は減少の傾向である。火山噴出物の CaO (wt.%) 組成範囲は、0.77~10.42 (wt.%) である。AF の CaO は 10.37 (wt.%) である。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

$$W_{MgO} = 1124 - 44.76 W_{(SiO_2)} + 0.449 W^2_{(SiO_2)} \cdots (R^2 = 0.051) \cdots (34)$$

CaO は、ケイ酸が増大するにつれ、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と MgO と異なった傾向があり、減少し、それから増大の傾向である。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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と MgO の成分は同様に減少の傾向である。一方、ケイ酸が増大するにつれ、洞窟の無色鉱物 {(K<sub>2</sub>Oを除いた SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O および (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>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。

### 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噴出物の格子定数 (Am) の範囲は 9.714 (厚原風穴第一) ~9.819 Å で、その平均値 (9.764 Å) である。AF の Am は、9.714 Å で、平均値 (9.77 Å) より小さい。一方、済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 5 の関係から Fig.10 は、横軸に SiO<sub>2</sub> (wt.%)、縦軸に格子定数 (Am) 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。

済州火山の洞窟：

$$Am(\text{Å}) = 9.62 + 0.003 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.099) \cdots (35)$$

富士火山の洞窟：

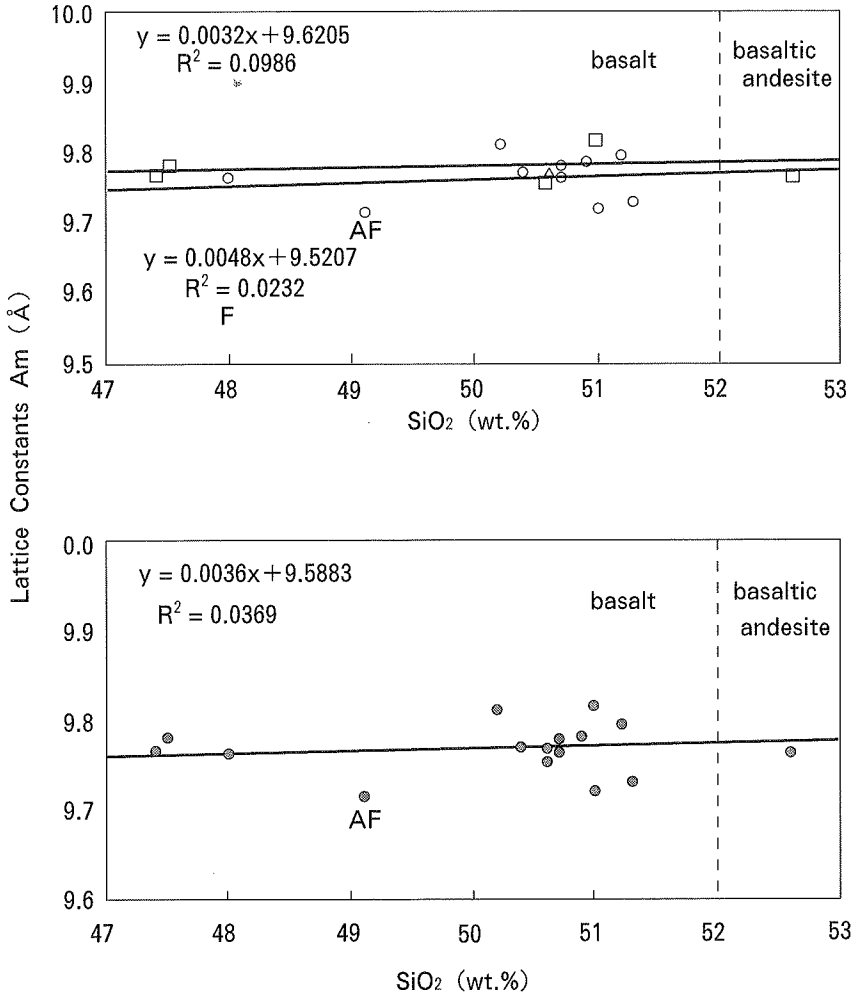


Fig.10 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Monoclinic Lattice Constant (Am) of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave.

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

$$Am(\text{\AA}) = 9.52 + 0.005 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.023) \cdots (36)$$

両方火山の洞窟：

$$Am(\text{\AA}) = 9.59 + 0.004 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.037) \cdots (37)$$

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。格子定数AmのAF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0.1Å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。AFにおける格子定数Am(9.714Å)は、Bm(平均：8.908Å)とCm(平均：5.174Å)より大きい値である。

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

富士火山における火山噴出物の格子定数(Bm)の範囲は8.897(青木ヶ原樹型の横臥型)~8.940(本八合目)Åで、その平均8.92Åである。AFのBmは、8.908Åで、平均値(8.92Å)より小さい。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8.893~8.934Åで、富士火山より狭い範囲である。AFにおけるBmは、濟州火山島の平均値(8.915Å)の中間値である。ケイ酸とBmとの関係を究明するため、Table4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。

濟州火山の洞窟：

$$Bm(\text{\AA}) = 8.97 - 0.001 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.029) \cdots (38)$$

富士火山の洞窟：

$$Bm(\text{\AA}) = 8.74 + 0.004 W_{SiO_2} (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.073) \cdots (39)$$

両方火山の洞窟：

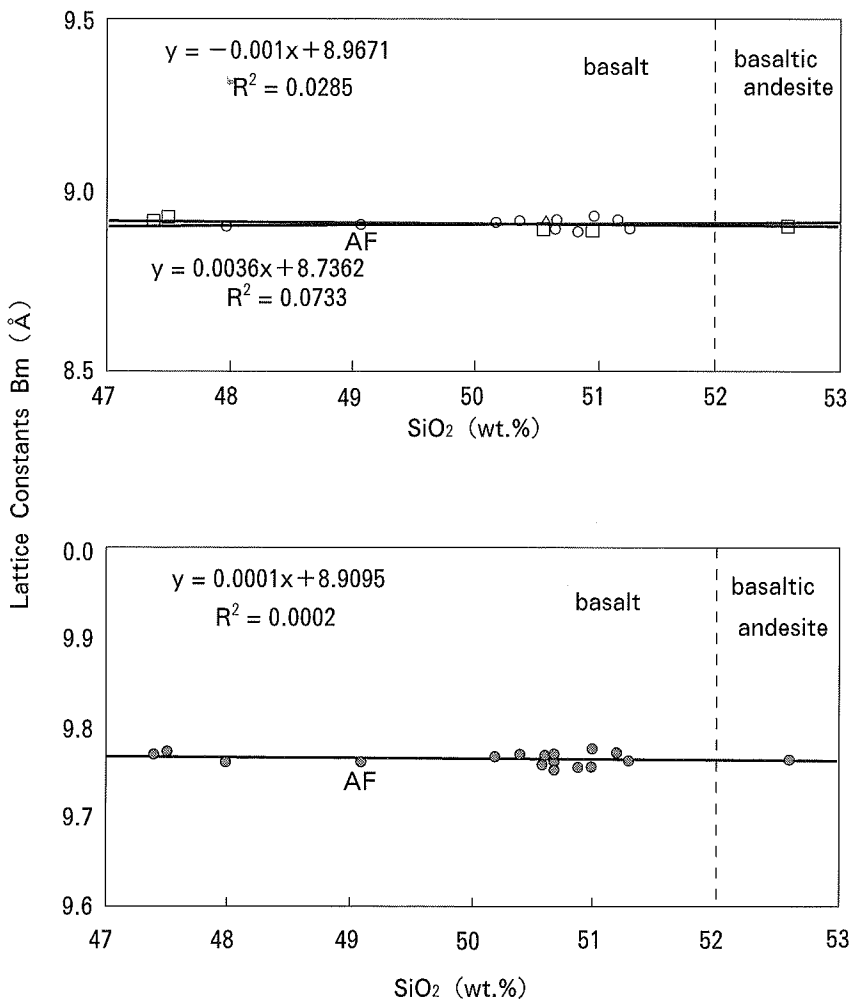


Fig.11 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Monoclinic Lattice Constant (Bm) of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave.



富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

$$Bm(\text{\AA}) = 8.91 - 0.0001W_{SiO_2} \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.0002) \cdots (40)$$

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0.23Å大きい値である。AFにおける格子定数Bm(8.08Å)は、Am(平均:9.77Å)より小さく、Cm(平均:5.20Å)より大きい値である。

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

富士山における火山噴出物の格子定数(Cm)の範囲は5.159(子供国)~5.255Åで、その平均値(5.195Å)である。AFのCmは、5.174Åで、平均値(5.195Å)より小さいのである。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、富士山より狭い範囲である。AFのCmは、濟州火山島の平均値(5.211Å)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、Table4の関係からFig.12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：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.98 + 0.005W_{SiO_2} \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.230) \cdots (41)$$

富士火山の洞窟：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.67 + 0.010 W_{SiO_2} \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.133) \cdots (42)$$

上方火山の洞窟：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.89 + 0.006 W_{SiO_2} \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.127) \cdots (43)$$

富士山・厚原風穴の成分とX線回折(沢、井上、小川、立原、川村、本多、伊東、日向)

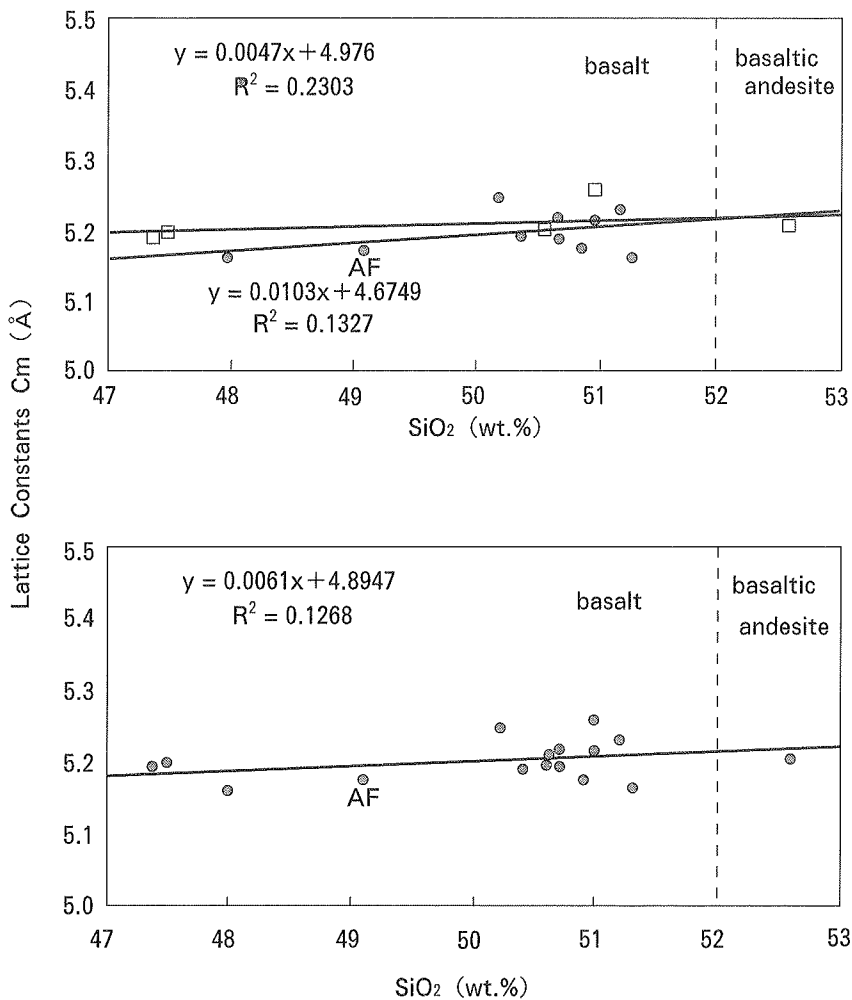


Fig.12 Relation between SiO<sub>2</sub> Composition and Monoclinic Lattice Constant (Cm) of Lava Samples from Atsuhara Fuketsu Cave .

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。両洞窟におけるCmのAFは、回帰直線の値とわずかに遠い値である。ここで、濟州火山洞窟のCmの切片は、富士火山洞窟のCmより0.21Å大きい値である。AFにおける格子定数Cm(5.174Å)はAm(平均:9.77Å)とBm(平均:8.92Å)より小さい値である。

## 6 お わ り に

富士山、厚原風穴AFから採集された試料についてX線分析の結果、以下のことが分かった。

- 1) SiO<sub>2</sub>の含有率について、AFは49.10(wt.%)で玄武岩質(塩基性岩)である。
- 2) AFの溶岩は、高アルミナ玄武岩である。
- 3) AFの鉱物は、カンラン石と輝石がX線回折により確認され、さらに、輝石とカンラン石は偏向顕微鏡写真からも観察された。
- 4) AF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・斜方晶系の混晶である。
- 5) ケイ酸が増大するにつれ、Na<sub>2</sub>O組成・(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)組成・格子定数Amおよび格子定数Cmは増大の傾向である。すなわち格子定数のAmとCmは、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、K<sub>2</sub>O組成・Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>組成・MgO組成および有色鉱物は減少の傾向である。
- 7) ケイ酸が増大するにつれ、格子定数Bmはほぼ一定である。Bmは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SiO<sub>2</sub>に大きく影響し、有色鉱物の含有率はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に大きく影響しているのである。

## 謝 辞

この論文は本学の研究補助金による成果である。こ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  
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(堅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熔岩洞窟の成分比較. 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. 66P. 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. 大阪経済法科大学論集, 78:1-39.
- 16) 沢勲・井上久・金龍哲・裴斗安, 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.