

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

沢 勲 Isao SAWA 井上 央 Hisashi INOUE
小川孝徳 Takanori OGAWA 川村一之 Kazuyuki KAWAMURA
宮下弘文 Hirofumi MIYASHITA 本多 力 Tsutomu HONDA
田近雅洋 Masahiro TAJIKA 小門 淳 Atsushi KOKADO
宮崎 哲 Akira MIYAZAKI

The Component and X-ray Diffraction of Inusuzumiyama Fuketsu Cave of the Japanese highest Level where Vapor does Smoke, Fuji Volcano.

ABSTRACT

The Inusuzumiyama Fuketsu (IS) cave on the northeastern skirt of the Fuji Volcano, at latitude 35° 22' 42" N and longitude 138° 38' 28" E. The above sea level of IS cave is 1140m. Major chemical compositions of IS cave is revealed by XRF(X-ray Fluorescence) analysis. These values are the same as those of lava cave, and lava cave from IS may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the lava cave from IS cave is as follows :

SiO₂=50.90, TiO₂=1.56, Al₂O₃=17.29, Fe₂O₃=11.61, MnO=0.18,
MgO=5.22, CaO=9.67, Na₂O=2.72, K₂O=0.76, P₂O₅=0.29 in I₂.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on IS sample in the 1 Inusuzumiyama lava stream cave by X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials are triclinic, orthorhombic, cubic and monoclinic system. Where, in the monoclinic system, it is found that the lattice constants (Am, Bm and Cm axis), and axis angle (β m) are, Am = 9.7832 Å , Bm = 8.8974 Å , Cm = 5.1729 Å and β m=106.02° in I₂.

[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80号」/The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol. 80(2001), pp. 1 - 39

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

1 はじめに

犬涼み山風穴の溶岩流は、犬涼み山溶岩流で、犬涼み山の山頂から最も近い所にある洞窟である。犬涼み山風穴(第1から第12)の位置は、静岡県富士宮市人穴15-1に所在し、北緯35°22′34″(第12)から35°23′04″(第3)、東経138°37′31″(第5)から138°38′35″(第12)の範囲である(**Table 1**と**Fig. 1**)。犬涼み山風穴第12は、洞窟の中で両極端にある。

Table 1 The List of Inusuzumiyama Fuketsu Caves in Inusuzumiyama Lava Flow at Mt. Fuji

No.	Cave Name	Address	Length (m)	Elevation (m)	Latitude (N)	Longitude (E)
10	犬涼み山風穴 第1	富士宮市人穴15-1	191.5	1,140	35° 22′ 42″	138° 38′ 28″
11	むじな穴	富士宮市人穴15-1	118.2	1,095	35° 22′ 45″	138° 38′ 18″
12	犬涼み山風穴 第2	富士宮市人穴15-1	130.0	1,070	35° 22′ 49″	138° 38′ 11″
13	犬涼み山風穴 第3	富士宮市人穴15-1	* 50.0	1,000	35° 23′ 04″	138° 37′ 42″
14	犬涼み山風穴 第4	富士宮市人穴15-1	*120.0	995	35° 22′ 56″	138° 37′ 39″
15	犬涼み山風穴 第5	富士宮市人穴15-1	701.0	970	35° 22′ 51″	138° 37′ 31″
16	犬涼み山風穴 第6	富士宮市人穴15-1	*250.0	985	35° 22′ 49″	138° 37′ 48″
17	犬涼み山風穴 第7	富士宮市人穴15-1	93.7	975	35° 22′ 41″	138° 37′ 37″
18	犬涼み山風穴 第8	富士宮市人穴15-1	76.3	980	35° 22′ 41″	138° 37′ 40″
19	犬涼み山風穴 第9	富士宮市人穴15-1	49.0	985	35° 22′ 42″	138° 37′ 40″
20	犬涼み山風穴 第10	富士宮市人穴15-1	85.0	1,100	35° 22′ 41″	138° 37′ 47″
21	犬涼み山風穴 第11	富士宮市人穴15-1	35.0	1,000	35° 22′ 49″	138° 37′ 47″
22	犬涼み山風穴 第12	富士宮市人穴15-1	* * *	1,150	35° 22′ 34″	138° 38′ 35″
23	三ッ池穴	富士宮市人穴字西萩平777	2202.0	815	35° 22′ 30″	138° 35′ 56″
24	姥穴	富士宮市人穴字大畑平851-15-22	123.0	750	35° 22′ 03″	138° 35′ 45″
25	鶉穴(尻穴)	富士宮市人穴字西萩平744	820.1	733	35° 21′ 32″	138° 36′ 15″
26	新穴	富士宮市人穴字絶頂塚205-12	149.7	720	35° 21′ 40″	138° 35′ 50″
27	人穴	富士宮市人穴字石壺206	83.3	700	35° 21′ 31″	138° 35′ 41″

日本洞窟学会火山洞窟学部編 '98ケイブフェスティバルガイドブック(1998)参照

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

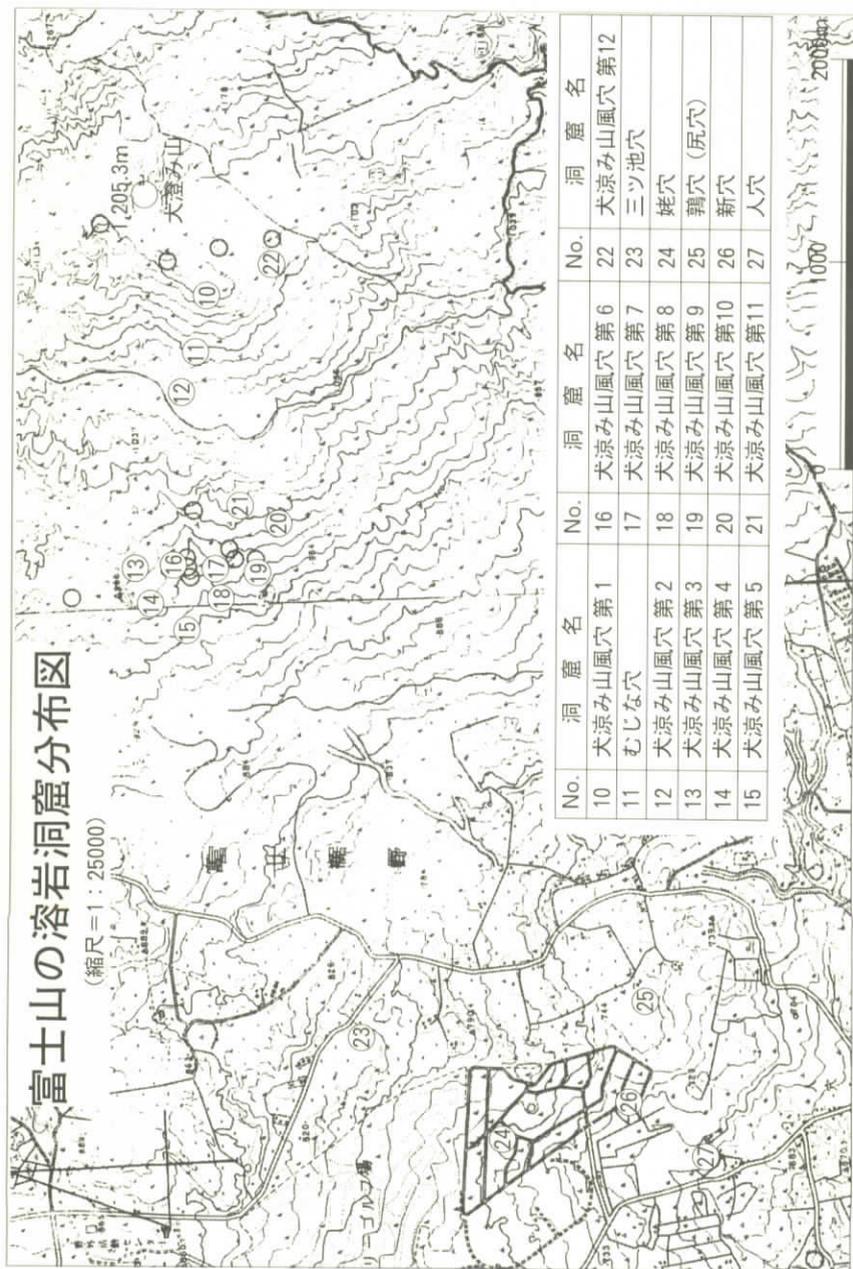


Fig. 1 Distribution Map of Lava in nusuzumiyama Fuketsu Cave and its Environs.

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

1.1 洞窟の形成状態

犬涼み山風穴第1 (IS) の位置は、富士山山頂の西側にある静岡県富士宮市人穴 15-1 で、北緯 $35^{\circ} 22' 43''$ 、東経 $138^{\circ} 38' 28''$ である (Table 1)。総延長: 191.5m、洞内高さ: 約 6 m、幅: 5~10m、溶岩流: 犬涼み山溶岩流、洞内温度: 14~15度および海拔: 1,140mである。さらに洞口 (Fig. 2 の上) は、噴火口下 2~300mで南北間 (2 m)、東西間 1.5m、深さ: 6 mであり、横穴は南から南西方向へ延びていると思われる。

- A. 洞窟内には、5 連結部分があり、きわめて狭く、傾斜が大きいので、天井が低いところの低地では泥が溜まり過ぎるため通行が困難である。空洞内にある連結部間には、かなりの落差が見られるため、不安定な部分が崩壊したと考えられる。
- B. 洞窟の左側壁には、柱状節理の薄層現象の溶岩 (Lamina・乱層) があ

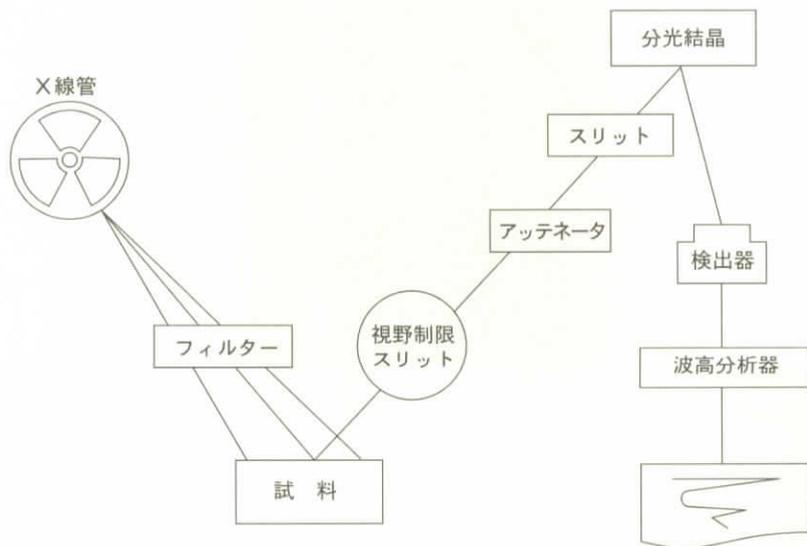


Fig. 2 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Lava on Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

る洞窟である。国内にある洞窟は、三ヶ池穴・神座風穴第1・ムジナ穴・不洞窟・本栖風穴第1などがあり、濟州火山の萬丈窟には、類似した大型のものがある。薄層は、世界でも例証が少なく、研究には貴重である。これは、水蒸気が噴煙することと、各薄層間からガスが放出され、連結部からの移動する過程で形成されたと考えられる。薄層には、ガス噴出時における SiO_2 (ケイ酸)、 Al_2O_3 (酸化アルミニウム)等の含有量によって異なるために、流体力学の理論によると流動速度が異なることが判明できる。

C. 洞窟内の各地に白いケイ酸鍾乳が見られた (Fig. 2の下)。ケイ酸と酸化アルミニウムの含有量が約7割含んでいることが解明された。国内にある洞窟は婆々穴にあり、濟州火山の挾才窟やビレモツには、類似した大型のものがある。さらに、X線回折によって結晶構造や岩石名が科学的に解明された。

D. 洞窟の左側壁には、溶岩棚の剥離している部分がある洞窟である。国内にある洞窟は、婆々穴にあり、濟州火山の萬丈窟やビレモツには、類似した大型のものがある。萬丈窟にある含有量の分析は本研究で解明された。さらに、モデルも計画中である。

E. 洞窟の入り口から下ると末端部になる。この末端部には、落盤が多く、スコリア層からなっている。このスコリア層は、この洞窟の下流部とその下部にあるムジナ穴の流部に塞がれ、また、海拔の度合いや洞窟の傾斜から分析すれば、当初は連結していたと思われる。

1.2 世界最大級の水蒸気が噴煙する洞窟

入口部では傾斜の大きい洞窟で、直径3mのガス噴出孔があるため水蒸気が噴煙する洞窟である。噴煙は、夏季には見られないが、冬季には見られる現象である。冬の1月に水蒸気が噴煙するのは、富士山にある洞窟(126ヶ所)の中で唯一の洞窟である。市川博英・流石皇甫(1998・1・10に調査:流石皇甫1998 富士山火山洞窟学研究会報 Vol. 2 No. 1 P.15 掲載)は、水蒸気の噴煙を確認した。すなわち、噴煙する状態は、高さ3m・横幅3mの規模であり、絶え間無く・音も無く・無臭である。

1.3 我が国最大級のコウモリ群

洞窟にはコキクガジラコウモリが、常時生息している。20年前に富士山洞窟研究者が調査したが、コウモリは1羽も見られなかったらしい。今回が第2回目の調査である。洞窟の入り口から約6mの下に下り、約20mのところに着くと、数百羽のコウモリ（あまりにも多いので分からない）の親と子のコウモリが見られた。コウモリの飛行速度が、あまりにも速いので撮影は困難であった。コウモリを見た瞬間、全身が硬直した。

洞窟の天井部には、生まれたばかりの赤児コウモリ群が、洞窟天井にぶら下がっていた。親が運ぶ食料を待っていると思われる。コウモリの出産期というタイミングに遭遇したのである。生命の躍動を目撃した。川村一之は、このようなコウモリ群を見たのが初めてあり、怖くて入れなかった。洞窟を調査し、帰りは1羽も見られなかった。遭遇することは大変なことである。静かな安息地に生きるコウモリにとっては、迷惑であろうと思い、可哀想な子供を連れて、どこかで悲しんでると思うと、また、どこかの安息地を探しているコウモリに申し訳ないと思うと、眠れられない一晩であった。コウモリの最大群団の生殖地にしては、この洞窟は日本一であると考えられる。洞窟環境の保全と保存を考えないと絶滅する可能性がある。

沢は20年前に萬丈窟でコウモリを捕獲し、同伴の調査団である日本の中央大学探検部学生にプレゼントしたことがある。韓国のテレビでは、筆者が捕獲した瞬間を放映している。それほど、捕獲した人が珍しいからである。1997年、富士山洞窟研究者と共に、韓国済州道南済州郡にある美千窟で数百羽の大人のコウモリを目撃した。おそらく韓国1番のコウモリの群団であろう。その時、何十枚の写真を取ったが一枚も写らなかった経験がある。

このような洞窟は、アジアでは見られず、世界でもめずらしい洞窟である。この洞窟にはコキクガジラコウモリが生殖しているため、水蒸気が噴煙する洞窟にコキクガジラコウモリが生殖地には、地形に対して相関関係があるため研究にも大きい意義がある。溶岩流がもつ流体力学としての特徴による形成の解釈もある^{1),2)}。このような沢山の特徴がある洞窟は珍しく、洞窟形成と成分

に関心があるため分析を行ったのである。

1.4 研究成果の要約

今回は、成分分析値並びにX線回折による結晶構造から単斜晶系の格子定数を解析した³⁻¹⁰⁾。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、IS(犬涼山風穴のある直径3mのガス噴出孔)から採集された溶岩の化学組成($\text{SiO}_2=50.90$, $\text{TiO}_2=1.56$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.29$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=11.61$, $\text{MnO}=0.18$, $\text{MgO}=5.22$, $\text{CaO}=9.67$, $\text{Na}_2\text{O}=2.72$, $\text{K}_2\text{O}=0.76$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.29$)と結晶構造における斜方晶系の格子定数($A_m = 9.7832 \text{ \AA}$, $B_m = 8.8974 \text{ \AA}$, $C_m = 5.1729 \text{ \AA}$ and $\beta_m=106.02^\circ$)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。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^{3,4)}、それに済州火山の翰林溶岩樹型がある。富士山から1,150kmも離れた済州火山島にある萬丈窟洞窟⁵⁻⁸⁾および白頭山の鹿鳴洞窟溶岩^{2,10)}についても分析・比較を行った。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⁴⁾

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、タングステンカーバイト製容器を用い、ヘキサソによる200メッシュ以下への湿式粉碎を行った。粉碎後の粉末について、105°Cで2時間の乾燥を行った。

ガラスビートの希釈率は、試料と融剤の量が1:10の割合(試料0.400g:融剤 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (無水四ホウ酸リチウム):4.0g)である。これらを十分に混合させてから、理学電機製全自動卓上型高周波ビートサンプラーを用い、最初の2分間は1200°Cに加熱して、その後、加熱したまま5分間揺動させた。融剤は、マッフル炉によって700°Cで4時間以上乾燥したものを使用した。隔離剤とし

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

てはLiFを用いた。

2.2 蛍光X線分析⁴⁾

全岩化学組成分析は、蛍光X線分析装置(リガク RIX2100)にてガラスピード法で行い、定量分析はF P法にて行った。測定条件は **Table 2** 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⁴⁾

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(**Table 2**)は、次のとおりである。①X線の管球(Cu)、②発散スリット

Table 2 Measurement Condition of X-ray Fluorescence Analysis of Lava on Inusuzumiyama 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	K α				X線管			縦型Rh管		
管電圧	50kV				管電流			70mA		
フィルター	Out				分析径			30mmφ		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

(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 (0.15mm)、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
(1.54056 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
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、
磷・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. 3** 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 **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・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 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⁹⁻¹⁷⁾。

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

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。

高さの相対強度 (HI%) が15%以上 (**Table 3** と **Fig. 3**) になっている面
指数は、①高さの相対強度 100.0 は(220)面、②37.7 は(-221)面、③35.9 は
(-202)面、④27.3 は(310)面、⑤19.5 は(-112)面、⑥17.9 は(-331)面、⑦
16.5 は(-131)面および⑧16.2 は(-311)面の8の面指数である。面指数の

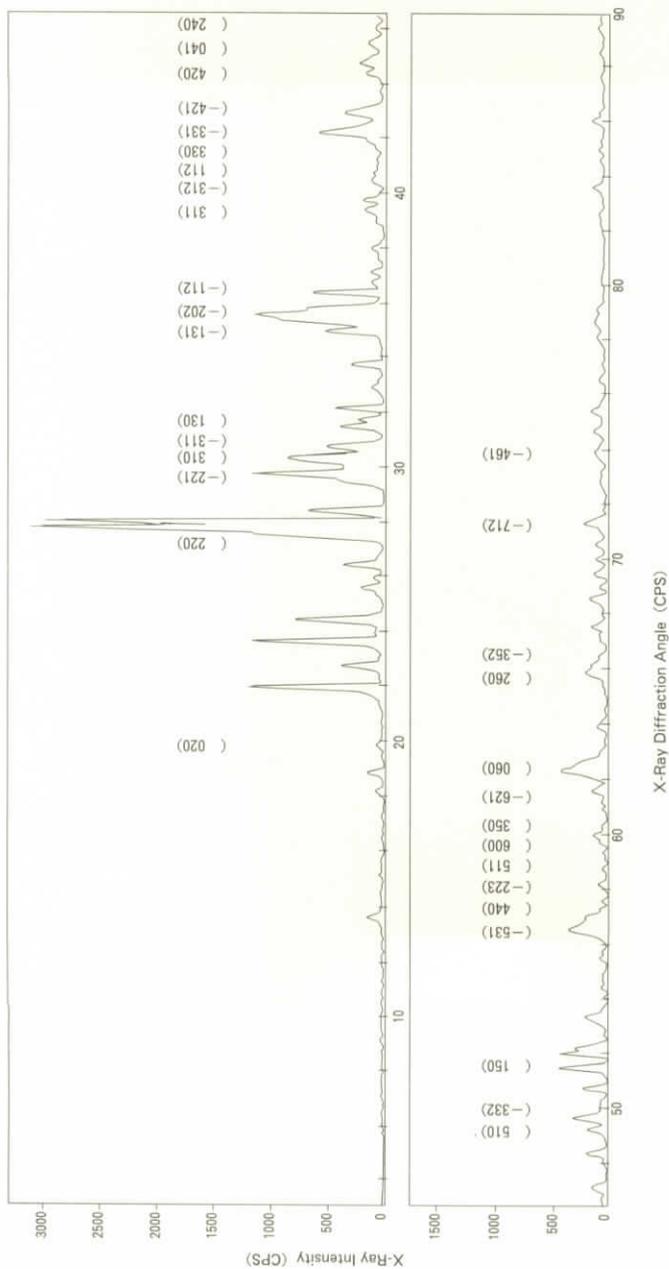


Fig. 3 The X-ray Diffraction Pattern of Lava Sample from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

Table 3 The X-Ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Half-Width and Relative Intensity) of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu cave in Fuji volcano.

番号	面指数			面間隔 d	BG	高さ		面積		半価幅 Δ (°)
	h	k	l			I%	I%			
1	0	2	0	4.4787	17	50	1.6	607	0.8	0.206
2	2	2	0	3.2110	8	3116	100.0	73765	100.0	0.402
3	-2	2	1	2.9996	0	1176	37.7	21892	29.7	0.316
4	3	1	0	2.9454	8	850	27.3	23262	31.5	0.465
5	-3	1	1	2.9026	8	505	16.2	6843	9.3	0.230
6	1	3	0	2.8395	8	385	12.4	4537	6.2	0.200
7	-1	3	1	2.5659	21	514	16.5	7867	10.7	0.260
8	-2	0	2	2.5239	30	1119	35.9	30502	41.4	0.463
9	-1	1	2	2.5088	75	607	19.5	23859	32.3	0.668
10	3	1	1	2.3109	6	66	2.1	2468	3.3	0.636
11	-3	1	2	2.2265	10	118	3.8	3560	4.8	0.513
12	1	1	2	2.2130	10	88	2.8	3363	4.6	0.611
13	3	3	0	2.1873	28	37	1.2	1199	1.6	0.551
14	-3	3	1	2.1397	28	559	17.9	11937	16.2	0.363
15	-4	2	1	2.1054	7	349	11.2	6169	8.4	0.300
16	4	2	0	2.0713	11	26	0.8	203	0.3	0.133
17	0	4	1	2.0387	7	153	4.9	3569	4.8	0.397
18	2	4	0	2.0239	7	213	6.8	5815	7.9	0.464
19	5	1	0	1.8343	20	304	9.8	6151	8.3	0.344
20	-3	3	2	1.7984	17	214	6.9	1858	2.5	0.148
21	1	5	0	1.7572	18	431	13.8	6696	9.1	0.264
22	-5	3	1	1.6258	21	333	10.7	10228	13.9	0.522
23	4	4	0	1.6138	16	191	6.1	9368	12.7	0.834
24	-2	2	3	1.5989	19	40	1.3	152	0.2	0.065
25	5	1	1	1.5843	5	88	2.8	1227	1.7	0.237
26	6	0	0	1.5701	5	57	1.8	838	1.1	0.250
27	3	5	0	1.5415	7	125	4.0	2631	3.6	0.358
28	-6	2	1	1.5341	7	55	1.8	1458	2.0	0.451
29	0	6	0	1.4887	14	410	13.2	10957	14.9	0.454
30	2	6	0	1.4166	4	187	6.0	6046	8.2	0.550
31	-3	5	2	1.3858	7	132	4.2	2745	3.7	0.354
32	-7	1	2	1.3343	17	81	2.6	991	1.3	0.208
33	-4	6	1	1.2599	13	117	3.8	1904	2.6	0.277

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

(220)面を 100.0 とすれば、他の面指数の HI は 37.7%以下である。

面積の相対強度 (AI%) が 15%以上 (**Table 3** と **Fig. 3**) になっている面指数は、①面積の相対強度 100.0 は(220)面、②41.4 は(-202)面、③32.3 は(-112)面、④31.5 は(310)面、⑤29.7 は(-221)面、⑥16.2 は(-331)面および⑦14.9(060)面の 7 の面指数である。面指数の(220)面を 100.0 とすれば、他の面指数の AI は 41.4%以下である。

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. 4** 上図である。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。

$$AI = -0.251 + 1.001 (HI) \quad (R^2 = 0.954) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$AI = -0.191 + 0.992(HI) + 1 \times 10^{-4}(HI)^2 \quad (R^2 = 0.954) \quad \dots\dots\dots (3)$$

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 (Δ) が 0.50° 以上の面指数 (**Table 3**) は、①半価幅 0.834 は(440)面、②0.668 は(-112)面、③0.636 は(311)面、④0.611 は(112)面、⑤0.551 は(330)面、⑥0.550 は(260)面、⑦0.522 は(531)面および⑧0.513 は(-312)面の 8 つの面指数である。

半価幅 (Δ) に対する HI (\diamond 表示) と AI (\square 表示) との関係を求めたのが **Fig. 4** の下図である。ここでは、直線 (式 2) と双曲線 (式 3) 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 0.065~0.834 である。半価幅 0.4 のところに最大値の HI (\diamond 表示) と AI (\square 表示) になっている。半価幅 0.4 以下と以上の面指数はそれぞれ 19 と 14 である。半価幅 0.4 以下の範囲では、HI (\diamond 表示) は AI (\square 表示) より大きい。一方、半価幅 0.4 以上の範囲では、HI (\diamond 表示) は AI (\square 表示) より小さい傾向である。

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
 (沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

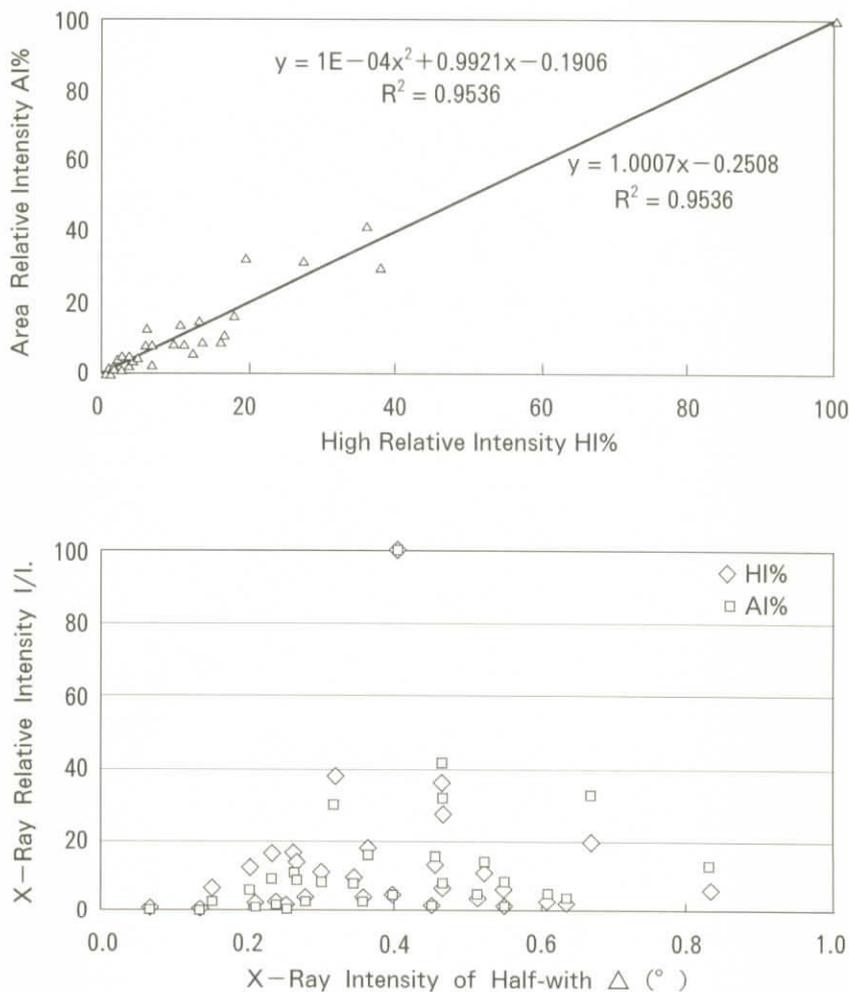


Fig.4 Relation between X-Ray Density and Relative Intensity of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

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 (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。

3 定量分析の結果と格子定数の解析

IS 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¹¹⁾。IS の溶岩 (**Table 4** の上段) では、SiO₂ が 50.90 wt.% 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、その中で犬涼み山風穴第 1 の溶岩は、SiO₂、TiO₂、Fe₂O₃、MgO、Na₂O、K₂O および P₂O₅ については平均より多く、Al₂O₃ および CaO については平均より少ない含有率である。富士山に見られる溶岩が玄武岩質の組成範囲が狭い中、犬涼み山風穴第 1 洞窟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. 5**) は、Kuno(1966)によるものである。したがって、IS 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。

SiO₂ = 50.90, TiO₂ = 1.56, Al₂O₃ = 17.29, Fe₂O₃ = 11.61, MnO = 0.18,

MgO = 5.22, CaO = 9.67, Na₂O = 2.72, K₂O = 0.76, P₂O₅ = 0.29 .

IS の溶岩に近い成分の物質番号 ICCD (**Table 5**) は、No.10-0393 の Na

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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

wt. %	溶岩樹型		須走胎内洞窟			犬涼み IS	全平均	富士火山
	青木横臥	青木堅型	柏原堅型	洞窟内	洞窟外			
SiO ₂	50.70	50.70	50.20	51.20	51.30	51.00	50.86	48.00~51.30
TiO ₂	1.47	1.44	1.51	1.30	1.33	1.27	1.41	1.03~1.97
Al ₂ O ₃	17.10	17.20	17.30	17.90	18.00	17.50	17.29	15.83~19.03
Fe ₂ O ₃	12.00	11.80	12.20	10.90	11.00	11.30	11.61	1.60~13.70
MnO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.15~0.29
MgO	5.22	5.18	5.07	4.86	4.73	5.64	5.22	3.80~6.76
CaO	9.63	9.74	9.71	9.90	9.80	9.54	9.67	0.77~10.42
Na ₂ O	2.66	2.69	2.71	2.80	2.71	2.70	2.72	2.29~3.16
K ₂ O	0.79	0.77	0.77	0.88	0.75	0.67	0.76	0.52~1.16
P ₂ O ₅	0.30	0.29	0.31	0.26	0.27	0.25	0.29	0.08~0.54
Total	100.05	99.99	99.96	99.97	100.06	100.04	100.01	
单斜晶系A(Å)	9.7790	9.7643	9.8128	9.7985	9.7313	9.7201	9.7832	9.77
单斜晶系B(Å)	8.8985	8.9218	8.9196	8.9279	8.9105	8.9403	8.8974	8.92
单斜晶系C(Å)	5.1896	5.2144	5.2455	5.2287	5.1600	5.2118	5.1729	5.20
单斜晶系β(°)	106.55	106.16	105.77	105.49	106.33	105.97	105.90	106.02

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

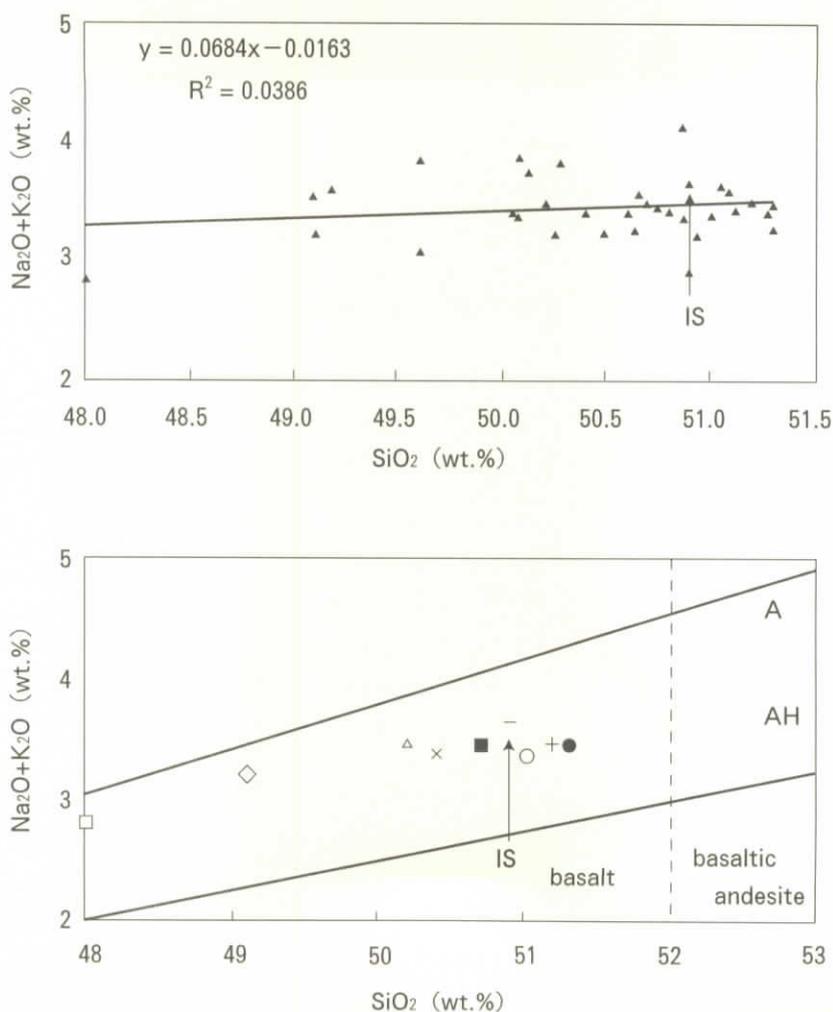


Fig.5 Plot of SiO_2 vs. (Na_2O+K_2O) Contents of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano. The Letter A denotes for Alkali Basalt Rock-Series; AH, high Alumina-Basalt Rock-Series; Minus Sign Rocks from IS. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS(Total Alkali versus Silica) Diagram.

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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

	Card No.	Chemical Formula	Mineral Name	Standard Number	Agreement Number	Reliability Factor	Crystal Structure
1	18-1202	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ O ₈	Anorthite, sodian, intermediate	3.2	56	2.784	Triclinic
2	10-035 ₃	Na(Si ₂ Al)O ₆	Albite, disordered	5.0	60	2.608	Triclinic
3	41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, ordered	5.1	56	2.761	Triclinic
4	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	6.5	68	2.759	Triclinic
5	41-1480	(Na ₂ ,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, ordered	8.3	62	2.644	Triclinic
6	41-1476	KCl	Sylvite	9.5	100	1.988	Cubic
7	19-0629	Fe ₃ O ₄	Magnetite, Syn	9.6	23	5.197	Cubic
8	41-1483	Ca(Mg,Fe+3,Al)Si ₂ O ₆	Augite, aluminian	13.8	11	3.298	Monoclinic
9	24-0201	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Augite	14.1	28	3.702	Monoclinic
10	31-0795	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite, ferroan	16.9	10	3.141	Orthorhombic
11	09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	22.6	85	2.769	Triclinic
1	31-0795	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite, ferroan	16.9	10	3.141	Orthorhombic
2	41-1483	Ca(Mg,Fe+3,Al)Si ₂ O ₆	Augite, aluminian	13.8	11	3.298	Monoclinic
3	19-0629	Fe ₃ O ₄	Magnetite, Syn	9.6	23	5.197	Cubic
4	24-0201	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Augite	14.1	28	3.702	Monoclinic
5	18-1202	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ O ₈	Anorthite, sodian, intermediate	3.2	56	2.784	Triclinic
6	41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, ordered	5.1	56	2.761	Triclinic
7	10-0393	Na(Si ₂ Al)O ₆	Albite, disordered	5.0	60	2.608	Triclinic
8	41-1480	(Na ₂ ,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, ordered	8.3	62	2.644	Triclinic
9	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	6.5	68	2.759	Triclinic
10	09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	22.6	85	2.769	Triclinic
11	41-1476	KCl	Sylvite	9.5	100	1.988	Cubic
1	41-1476	KCl	Sylvite	9.5	100	1.988	Cubic
2	10-0393	Na(Si ₂ Al)O ₆	Albite, disordered	5.0	60	2.608	Triclinic
3	41-1480	(Na ₂ ,Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈	Albite, calcian, ordered	8.3	62	2.644	Triclinic
4	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	6.5	68	2.759	Triclinic
5	41-1486	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, ordered	5.1	56	2.761	Triclinic
6	09-0465	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	Anorthite, sodian, ordered	22.6	85	2.769	Triclinic
7	18-1202	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ O ₈	Anorthite, sodian, intermediate	3.2	56	2.784	Triclinic
8	31-0795	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Forsterite, ferroan	16.9	10	3.141	Orthorhombic
9	41-1483	Ca(Mg,Fe+3,Al)Si ₂ O ₆	Augite, aluminian	13.8	11	3.298	Monoclinic
10	24-0201	Ca(Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Augite	14.1	28	3.702	Monoclinic
11	19-0629	Fe ₃ O ₄	Magnetite, Syn	9.6	23	5.197	Cubic

Plus 44 chemical composition to reliability factor

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

(Si₃Al)O₈という Albite の三斜晶系、No.18-1202 の Ca₂(Na)(Si,Al)₄O₈と
いう Anorthite の三斜晶系、No.19-0629 の Fe₃O₄ という Magnetite の立方
晶系、No.24-0201 の Ca(Mg, Fe)Si₂O₆ という Augite の単斜晶系、No.31-
0795 の (Mg, Fe)₂Si₄ 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、IS の鉱物は、斜長石(灰長石)、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、斜長石とカンラン石は偏向顕微鏡写真 (**Fig. 6**: 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 倍にしたクロス
ニコル(上図)は、発砲(Pore)が見られた。倍率を 47 倍にしたオープンニコル
(下図)は、OI(カンラン石)と CPX(単斜輝石)が見られた。CPX から分かる
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⁴⁻⁶⁾

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。

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

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
定数を求めるためにデータシートを表示した。**Table 3** 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

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

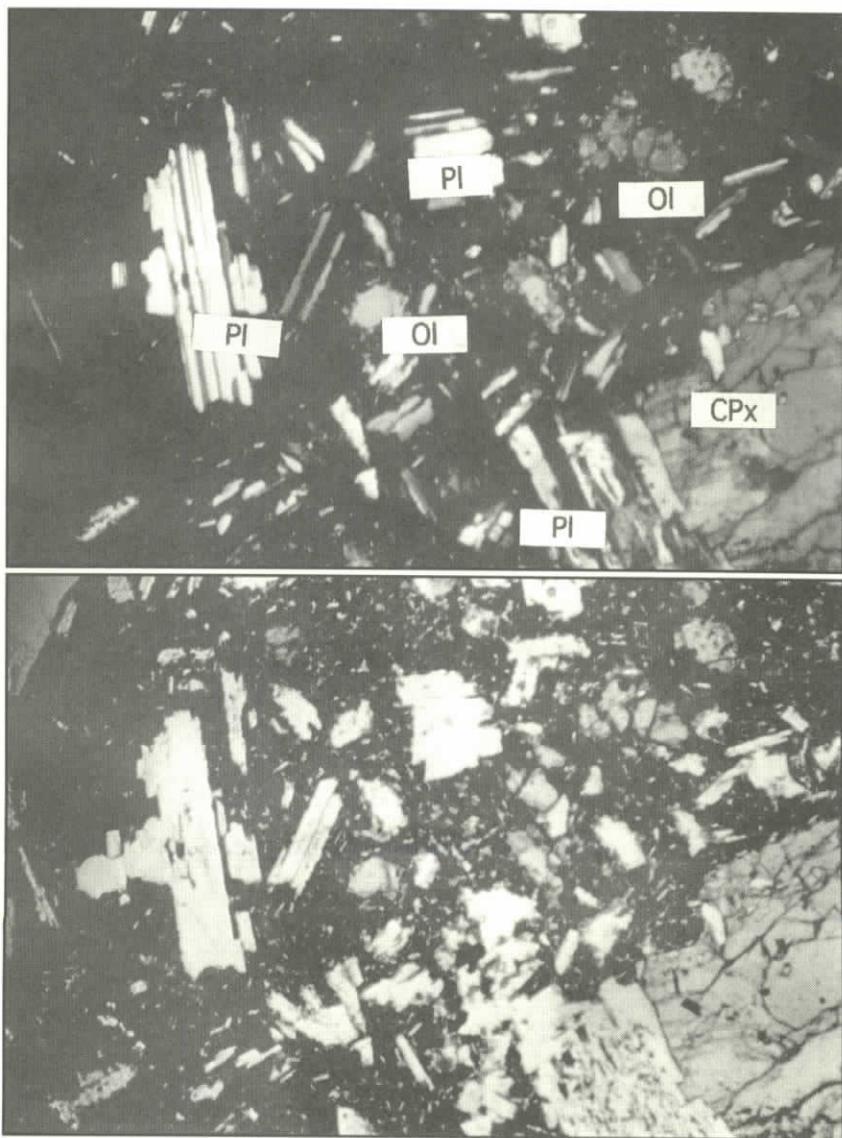


Fig. 6 Polarizing Microscope Photo (Open Nicol and Crossed Nicols: 47 times) of Lava Sample from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

オープンニコル(下の写真)・クロスニコル(上の写真)

OI: かんらん石・PI: 輝石・CPx: 単斜輝石・写真: 47倍

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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、 β を次のように連立させて求める。

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

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

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

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

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 α 格子定数(B)の求め方^{4~6)}

式(6)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 β 軸角(β)の求め方^{4~6)}

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。

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

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。

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

それから式(11)を書きかえると式(12)のようになる。

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

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

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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

したがって、

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

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

4.2 γ 格子定数(A)の求め方⁽⁴⁻⁶⁾

式(5)を A^2 について解くと、次のようになる。

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

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。

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

条件(*)から格子定数Aは式 (16) のように求められる。

4.2 δ 格子定数(C)の求め方⁽⁴⁻⁶⁾

式(5)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。

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

したがって、

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

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)⁽⁴⁻⁶⁾

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

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

る行列式(沢ら、1996・1998)は次のようになる。

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

この正規方程式から作られる行列式(19)は、VTとTTの係数では、

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

=2.02737E+12

である。まず、式(5)のX₁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、X₁の係数では、

$$X_{1IS} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 135.501 & 2458 & 514 & -1268 \\ 123.289 & 7138 & 282 & -516 \\ 15.059 & 282 & 204 & -218 \\ -23.633 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{IS})$$

=0.011296

のようになる。つぎに、式(6)のX²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。

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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

この正規方程式から作られる行列式(21)は、 X_{2IS} の係数では、

$$X_{2IS} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 135.501 & 514 & -1268 \\ 2458 & 123.289 & 282 & -516 \\ 514 & 15.059 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.633 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_{IS})$$

$$= 0.012623$$

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(22)は X_{3IS} の係数では、

$$X_{3IS} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 135.501 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 123.289 & -516 \\ 514 & 282 & 15.059 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.633 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (22_{IS})$$

$$= 0.040404$$

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。

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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

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

$$X_{4IS} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 135.501 \\ 2458 & 7138 & 282 & 123.289 \\ -1268 & -516 & -218 & 15.059 \\ 514 & 282 & 204 & -23.633 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (23_{IS})$$

=0.011706

のようになる。

4. 4 単斜晶系の格子定数^{4~6)}

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。

$$A_{IS} = 2 \sqrt{0.040404 / (4 \times 0.011296 \times 0.040404 - 0.011706^2)}$$

$$= 9.7832 \text{ \AA} \dots\dots\dots (24)$$

格子定数Bは、式 (9) から式 (25) のように求められる。

$$B_{IS} = \sqrt{1 / 0.012632} = 8.8974 \text{ \AA} \dots\dots\dots (25)$$

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。

$$C_{IS} = 2 \sqrt{0.011296 / (4 \times 0.011296 \times 0.040404 - 0.011706^2)}$$

$$= 5.1792 \text{ \AA} \dots\dots\dots (26)$$

軸角(β)に関しては、式 (14) から式 (27) のように求められる。

$$\begin{aligned}\beta_{\text{IS}} &= \cos^{-1}(1 - 2^{-1})(0.011706 / \sqrt{0.011296 \times 0.040404}) \\ &= 105.90^\circ \dots\dots\dots (27)\end{aligned}$$

5. 考 察

5.1 全岩化学組成および考察

岩石の IS 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)¹⁾を合わせて **Table 4** に示した。富士火山における火山噴出物の SiO₂組成範囲は、48.0 (八幡穴洞窟)~51.3wt.%の範囲で、平均 51.15wt.%の玄武岩質(塩基性岩)である。IS のケイ酸(SiO₂: 50.90 wt.%)とアルカリ成分(Na₂O+K₂O: 3.65 wt.%) は、富士火山における洞窟の中では、それぞれ最大級と最大である。

さらに、IS の SiO₂は、青木ヶ原樹型の溶岩より多く、須走胎内洞窟のより少ない含有率である。一方、済州火山における火山噴出物 (沢・井上、1999・2000)^{7・8)}の SiO₂組成範囲 (41.20~66.31wt.%) は、富士火山より広い範囲で、済州火山の平均値よりわずかに大きい値である。済州火山は、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^{3・4)}

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^{3・4)}。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 Anorthite が同定された。しかしながら、元素情報および ICDD カード記載のピークに対してピークがシフトしていることを考慮すると、ICDD カード

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山風穴の成分とX線回折
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

記載の構成元素に対して他の元素が固溶しているものと思われる。したがって、Anorthite は、ICDD カードに相当するかについては断定できない。そのため、比較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 IS の鉱物信頼性係数は 3.2 から 22.6 の範囲、鉱物相対強度は 10 から 100 の範囲、密度は 1.988 から 5.197 (g/m^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.)が大コキクなるにつれ、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^{3, 4)}

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 IS 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. 5** と **Table 4** は、横軸に SiO_2 (wt.%), 縦軸に ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (wt.%) をとり、それぞれの熔岩の化学組成(Miyashiro, 1978 ; R.W.Le Maitre, 1938) をプロットした。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。

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

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

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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. 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)¹²⁾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。ISの 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。IS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³⁻⁴⁾

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.%である。ISの K_2O (wt.%)は、0.91 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大の含有率である。一方、濟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、この濟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. 7**と**Table 4**は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に K_2O (wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。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。

$$\text{K}_2\text{O} = 2.298 + 0.030 (\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.462) \cdots \cdots (30)$$

境界線は、Miyashiro, 1978¹³⁾; R.W.Le Maitre, 1978¹⁴⁾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)。IS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。IS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(下図)は、青木ヶ原樹型の成分と似たような特徴の成

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
 (沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

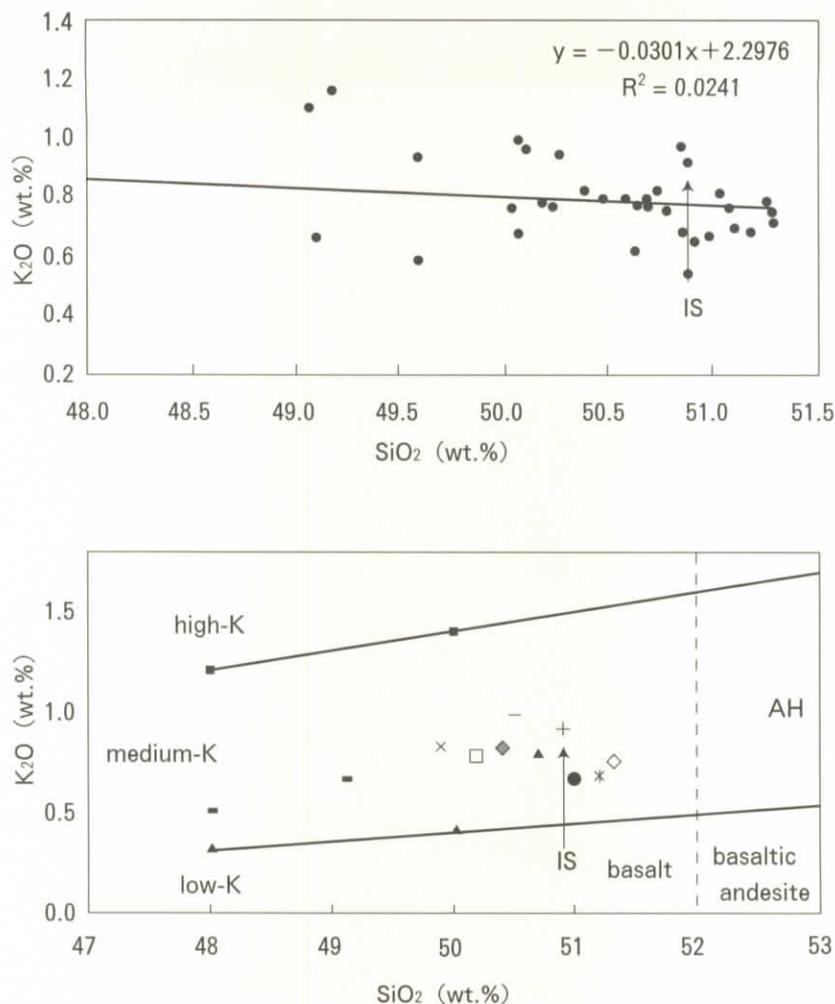


Fig.7 Plot of SiO_2 vs. K_2O contents of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano. Division of Basalts (with $SiO_2 \geq 48\%$, Basaltic Andesites and Andesites in Low-K, Medium-K and High-K Types. Note that High-K is NOT Synonymous with Potassic. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS diagram.

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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。IS のカリウム成分は、SiO₂組成と (Na₂O + K₂O)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(Fe₂O₃・MgO・CaO)との関係³⁻⁴⁾

ケイ酸と有色鉱物(Fe₂O₃・MgO・CaO)成分との関係を究明するため、Fig. 8 と Table 4 は、横軸に SiO₂ (wt.%)、縦軸に (Fe₂O₃・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 Fe₂O₃成分である。中図は MgO 成分である。下図は CaO である。

A. 火山噴出物の Fe₂O₃(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 Fe₂O₃(wt.%)は、12.10 wt.%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 0.67~14.24 wt.%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。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。

$$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{上}) = 48.87 - 0.732 (\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.827) \cdots (31)$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{下}) = 40.38 - 0.736 (\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.235) \cdots (32)$$

ここで、上の直線は Fe₂O₃としての全体の鉄であり、下の直線は Fe₂O₃のみである。ケイ酸が増大するにつれ、Fe₂O₃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。

B. 火山噴出物の MgO(wt.%)組成範囲は 3.80~6.76 wt.%である。IS の MgO(wt.%)は 5.86 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。

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
 (沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

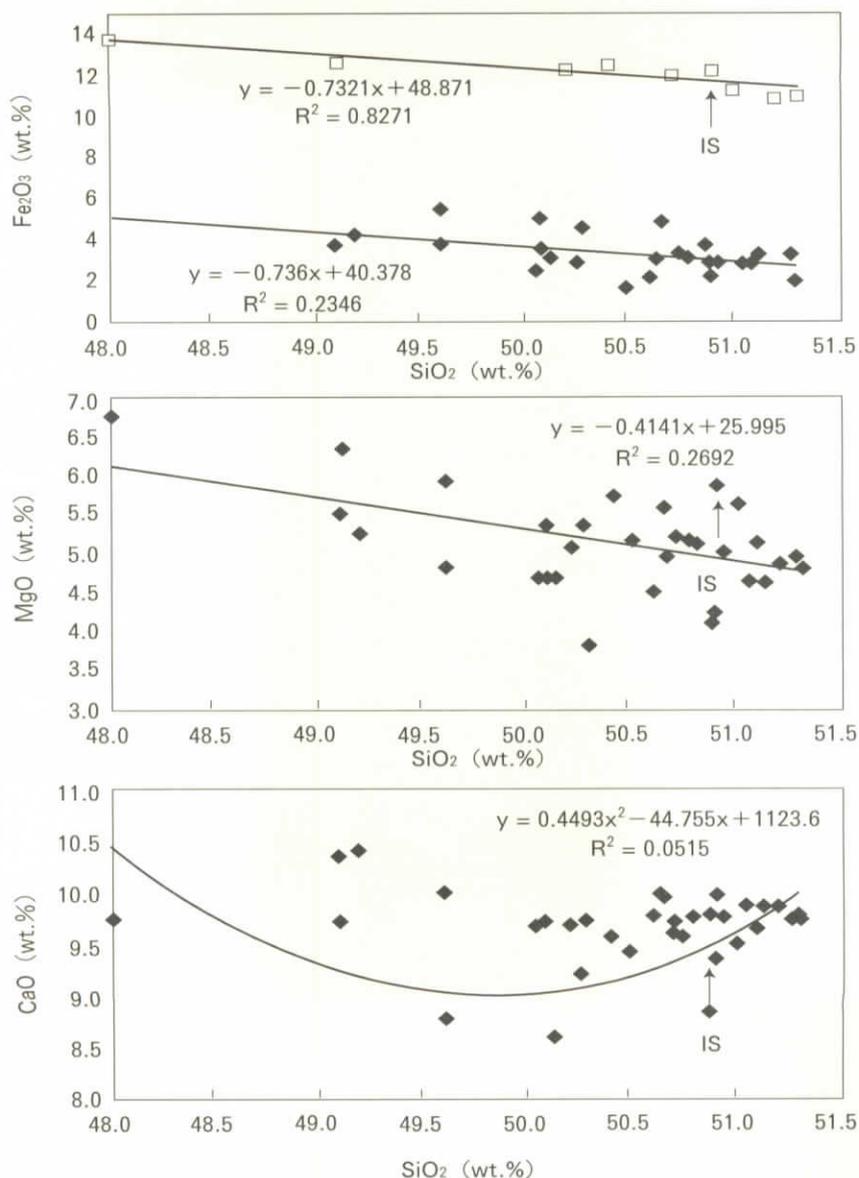


Fig.8 Relation between SiO₂ Composition and Color Mineral (Fe₂O₃, MgO and CaO) contents of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave in Fuji Volcano.

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

$$\text{MgO} = 26.00 - 0.414 (\text{SiO}_2) \cdots (R^2 = 0.269) \cdots (33)$$

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。IS の CaO は 9.38 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。

$$\text{MgO} = 1134 - 44.76(\text{SiO}_2) + 0.449 (\text{SiO}_2)^2 \cdots (R^2 = 0.051) \cdots (34)$$

CaO は、ケイ酸が増大するにつれ、Fe₂O₃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、Fe₂O₃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 {(K₂Oを除いた SiO₂、Na₂O および (Na₂O+K₂O)} 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^{3~4)}

富士火山における火山噴出物の格子定数(Am)の範囲は 9.713(厚原穴：厚原風穴第一)~9.819(TT) Åで、その平均値(9.764 Å)である。IS の Am は、9.78 32 Åで、平均値(9.764 Å)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 4 の関係から Fig.9 は、横軸に SiO₂(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、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：

$$\text{Am}(\text{Å}) = 9.62 + 0.003\text{WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.099) \cdots (35)$$

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
 (沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

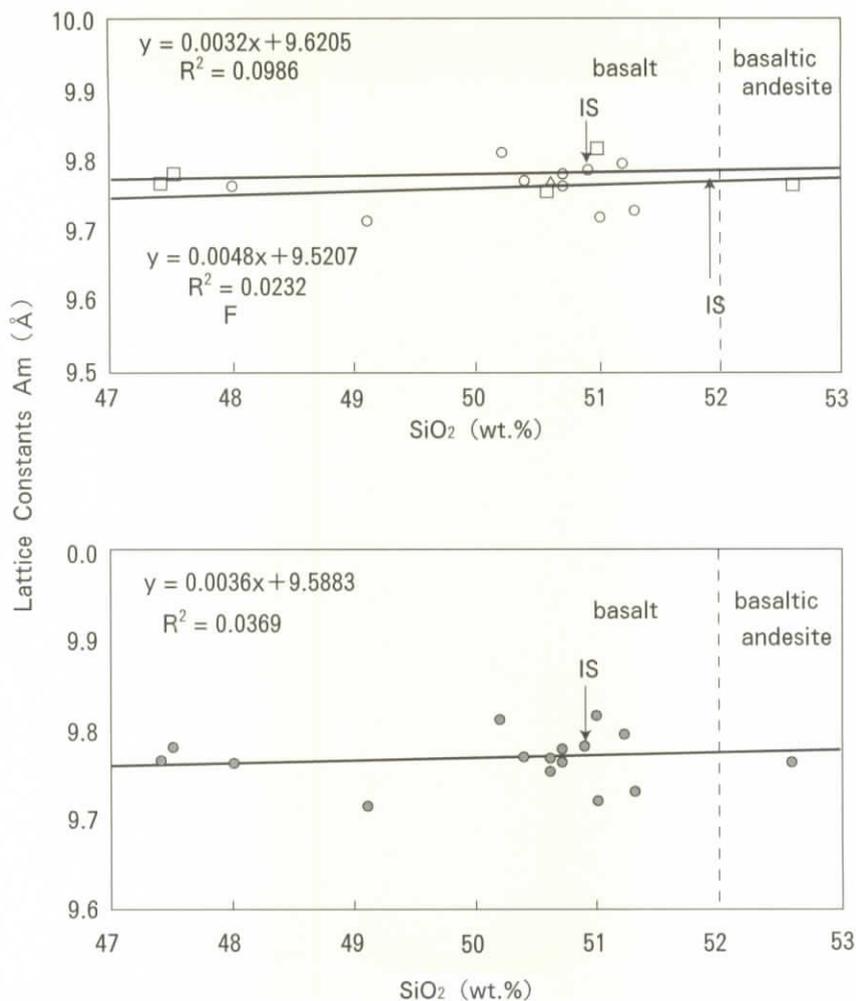


Fig.9 Relation between SiO₂ Composition and Monoclinic Lattice Constant (Am) of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave.

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山風穴の成分とX線回折
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

富士火山の洞窟：

$$Am(\text{\AA}) = 9.52 + 0.005 \text{ WSiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.023) \cdots (36)$$

両方火山の洞窟：

$$Am(\text{\AA}) = 9.59 + 0.004 \text{ WSiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.037) \cdots (37)$$

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IS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コキク、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。IS窟における格子定数Am(：9.7832Å)は、Bm(平均：8.974Å)とCm(平均：5.1729Å)より大きい値である。

5.7 ケイ酸と格子定数(Bm)との関係³⁻⁴⁾

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8.916Åである。ISのBmは、8.974Åで、平均値(8.916Å)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。IS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、Table 4の関係からFig. 10は、横軸にSiO₂(wt.%)、縦軸に格子定数(Bm：Å)をプロットした。上図の上線は濟州火山島における溶岩洞窟の成分であり、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：

$$Bm(\text{\AA}) = 8.97 - 0.001 \text{ WSiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.029) \cdots (38)$$

富士火山の洞窟：

$$Bm(\text{\AA}) = 8.74 + 0.004 \text{ WSiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.073) \cdots (39)$$

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
 (沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

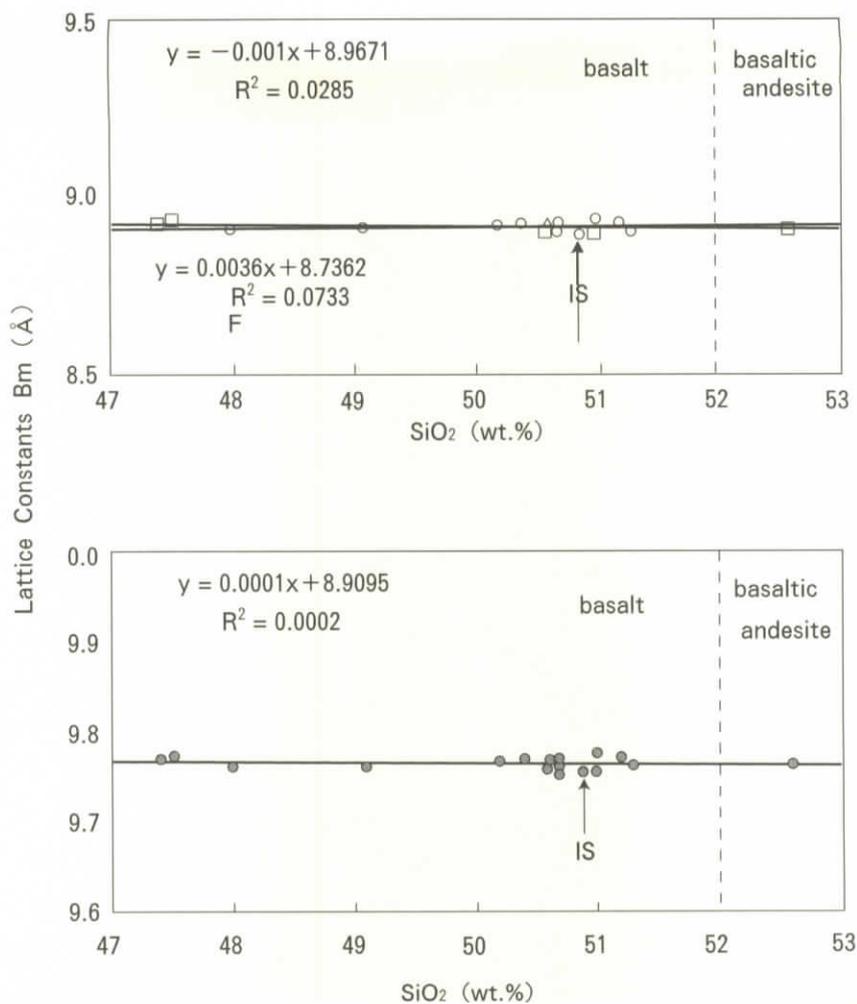


Fig.10 Relation between SiO₂ Composition and Monoclinic Lattice Constant (Bm) of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave.

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

両方火山の洞窟：

$$Bm(\text{\AA}) = 8.91 - 0.0001W\text{SiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.0002) \cdots(40)$$

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。ISのSiO₂組成は萬丈窟の石柱に近い成分である。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。ISにおける格子定数Bm(平均：8.974Å)は、Am(平均：9.770Å)より小さく、Cm(平均：5.181Å)より大きい値である。

5.8 ケイ酸と格子定数(Cm)との関係³⁻⁴⁾

富士火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)~5.255(TT)Åで、その平均値(5.195Å)である。ISのCmは、5.1729Å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、富士火山より狭い範囲である。IS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、Table 4の関係からFig. 11は、横軸にSiO₂(wt.%)、縦軸に格子定数(Cm：Å)をプロットした。上図の上線は濟州火山島における溶岩洞窟の成分であり、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：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.98 + 0.005W\text{SiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.230) \cdots(41)$$

富士火山の洞窟：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.67 + 0.010 W\text{SiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.133) \cdots(42)$$

上方火山の洞窟：

$$Cm(\text{\AA}) = 4.89 + 0.006 W\text{SiO}_2 \text{ (wt.\%)} \cdots (R^2=0.127) \cdots(43)$$

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

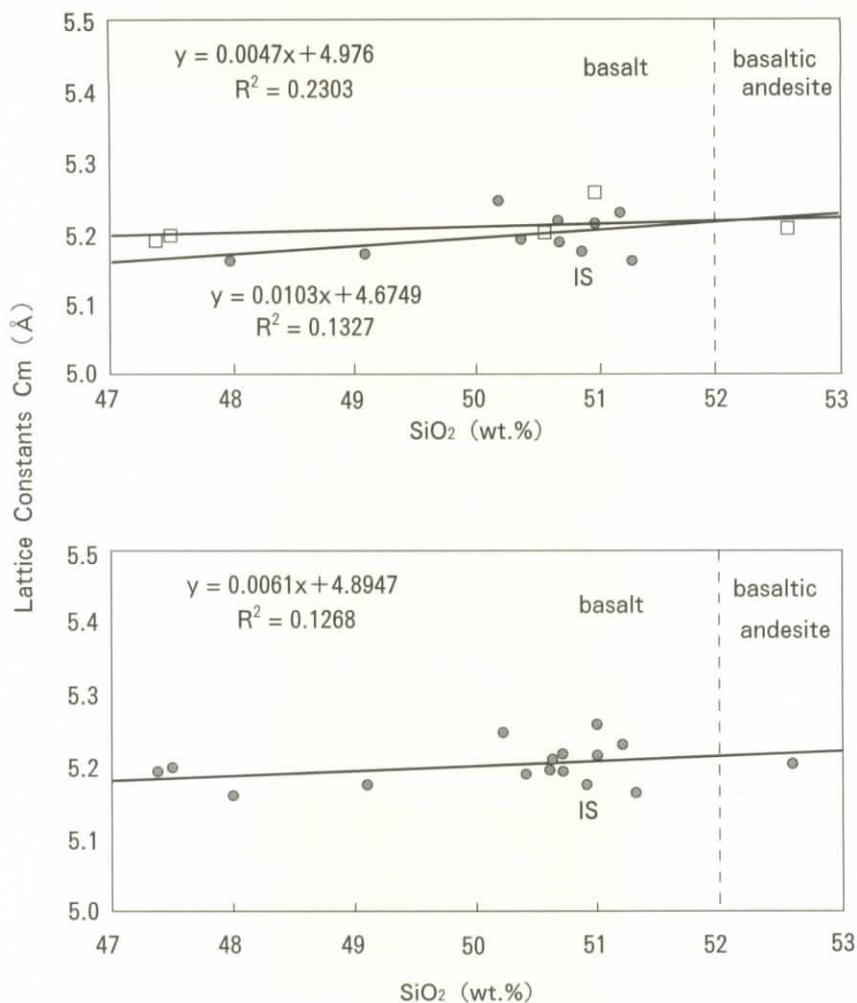


Fig.11 Relation between SiO₂ Composition and Monoclinic Lattice Constant (Cm) of Lava Samples from Inusuzumiyama Fuketsu Cave .

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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、 C_m 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 C_m の IS は、回帰直線の値とわずかに遠い値である。ISC、OC と UC の SiO_2 組成は、須走胎内洞窟と萬丈窟の石柱に近い成分である。ここで、濟州火山洞窟の C_m の切片は、富士火山洞窟の C_m より 0.21 \AA 大きい値である。IS における格子定数 C_m (5.1729 \AA) は A_m (平均: 9.770 \AA) と B_m (平均: 8.921 \AA) より小さい値である。

6. お わ り に

IS から採集された分析の結果、以下のことが分かった。

- 1) SiO_2 の含有率について、IS は 50.90 wt.% で玄武岩質(塩基性岩)である。
- 2) IS の溶岩は、高アルミナ玄武岩である。
- 3) IS の鉱物は、斜長石(灰長石)、カンラン石と普通輝石が X 線回折により確認され、さらに、斜長石とカンラン石は偏向顕微鏡写真により観察された。
- 4) IS 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_2O 組成・(Na_2O+K_2O)組成・格子定数 A_m および格子定数 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。
- 6) ケイ酸が増大するにつれ、 K_2O 組成・ Fe_2O_3 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 B_m はほぼ一定である。 B_m 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_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。

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。この研究は、富士山火山洞窟学研究会創立30周年記念行事の一環として行われた研究成果の報告である。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釈. 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 (縦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 in Manjang-gul cave. 大阪経済法科大学論集, 76:

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
(沢、井上、小川、川村、宮下、本多、田近、小門、宮崎)

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・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, 78:1-39 Z.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document also highlights the need for regular reconciliation of bank statements and the company's records to identify any discrepancies early on.

In addition, the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle, which consists of eight steps: identifying the accounting cycle, journalizing, posting, determining debits and credits, preparing a trial balance, adjusting entries, preparing financial statements, and closing the books. Each step is explained in detail, with examples provided to illustrate the process. The document also includes a section on the importance of internal controls, which are designed to prevent and detect errors and fraud.

The document concludes by emphasizing the role of the accountant in providing accurate and timely financial information to management and other stakeholders. It stresses that a strong foundation in accounting principles and practices is essential for the success of any business.

The second part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income. The document also highlights the need for regular reconciliation of bank statements and the company's records to identify any discrepancies early on.

In addition, the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle, which consists of eight steps: identifying the accounting cycle, journalizing, posting, determining debits and credits, preparing a trial balance, adjusting entries, preparing financial statements, and closing the books. Each step is explained in detail, with examples provided to illustrate the process. The document also includes a section on the importance of internal controls, which are designed to prevent and detect errors and fraud.

The document concludes by emphasizing the role of the accountant in providing accurate and timely financial information to management and other stakeholders. It stresses that a strong foundation in accounting principles and practices is essential for the success of any business.