

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

沢 勲 Isao SAWA 井上 央 Hisashi INOUE
川村一之 Kazuyuki KAWAMURA 本多 力 Tsutomu HONDA
勝間田隆吉 Takayoshi KATSUMATA 宮崎 哲 Akira MIYAZAKI

The Component and X-ray Diffraction of Subashiritainai Lava Cave of a World Most Height Class, Fuji Volcano.

ABSTRACT

The Subashiritainai lava cave is on the northeastern skirt of the Fuji Volcano, at latitude $35^{\circ} 22' 01''$ N and longitude $138^{\circ} 45' 33''$ E. The above sea level of the Subashiritainai lava cave is 2630m. Major chemical compositions of the Subashiritainai lava cave are revealed by XRF (X-Ray Fluorescence) analysis. These values are the same as those of lava cave, and lava cave from IC (the specimens inside the cavern), OC (the specimens the outside of the cavern) and UC (the specimens the upper part of the cavern) may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the lava cave from IC, OC and UC are as follows :

SiO₂ = 51.20, TiO₂ = 1.30, Al₂O₃ = 17.90, Fe₂O₃ = 10.90, MnO = 0.17,

MgO = 4.86, CaO = 9.90, Na₂O = 2.80, K₂O = 0.68, P₂O₅ = 0.26 in IC.

SiO₂ = 51.30, TiO₂ = 1.33, Al₂O₃ = 18.00, Fe₂O₃ = 11.00, MnO = 0.17,

MgO = 4.73, CaO = 9.80, Na₂O = 2.71, K₂O = 0.75, P₂O₅ = 0.27 in OC

SiO₂ = 51.00, TiO₂ = 1.27, Al₂O₃ = 17.50, Fe₂O₃ = 11.30, MnO = 0.17,

MgO = 5.64, CaO = 9.54, Na₂O = 2.70, K₂O = 0.67, P₂O₅ = 0.25 in UC.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on the lava stream samples in Subashiritainai lava 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 = 9.774 Å, Bm = 8.936 Å, Cm = 5.191 Å and β m = 116.37° in IC,

Am = 9.774 Å, Bm = 8.907 Å, Cm = 5.178 Å and β m = 116.36° in OC,

Am = 9.761 Å, Bm = 8.920 Å, Cm = 5.174 Å and β m = 116.26° in UC.

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78号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 78 (2000), pp1-39]

1 はじめに

須走胎内は、富士火山山頂火口から流れ出した北東方向にあり、須走・御殿場の溶岩流上流部にある。須走・御殿場口溶岩流 (Sub) は、飛鳥時代か、そのわずかな前の時代にか、(新期溶岩1300年~1500年) に噴出したと考えられる。この溶岩流は山頂火口から流れ出した新期溶岩流であり、北東は不浄流方向へ、南側は山頂浅間神社奥宮から御殿場口登山道の新六合までに分布している。胎内付近では、比較的平坦な丘状となり、淀んで比較的厚い層がなしたために、溶岩洞窟が形成されたといえる (小川孝徳)。小川孝徳の話しだと樹型ではなく溶岩洞窟であると言っている。98年と99年にの測量と観察を行ったのである。洞口は、人がやっと入れる位の狭さ、入ると20m位奥まで1本で続き支洞はない、そして祠がある。

この溶岩流は津屋弘達地質図によると八合目の小屋 (江戸屋) 付近標高3300~3200mより流れたと思われる。胎内のある所は急な斜面の斜度としては、15度、25度および33度の高い傾斜角が特徴 (通常、火山洞窟の平均傾斜角は4.5度以下である) である。これは、抜け殻説による形成の考え方の適用が可能であると思われるのである。したがって、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いため、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。須走胎内の位置は静岡県駿東郡小山町と山梨県富士吉田市大字上吉田字富士山北向5618に所在する場所であり、北緯35°22'01"、東経138°45'33"である。延長は20.2m、海拔は2630m (東アジアでは、勿論、世界最高所級) および溶岩流は須走溶岩流である。

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、IC (須走胎内洞窟内部にある試料)、OC (須走胎内洞窟入口の外部にある試料) およびUC (須走胎内洞窟より高い所の本八合目にある試料) の三点から採集されたものである。本報では、サンプリングした岩石の化学組成と結晶構造を明らかにし、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したい目的である。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)}と濟州火山の翰林溶岩樹型がある。富士山から1,150kmも離れた濟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^{9, 10)}についても分析・比較を行った。以上について、一定な結論に達したので、ここに報告する。

2 実験方法

2.1 試料調製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、タンクステンカーバイト製容器を用い、ヘキサンによる200メッシュ以下への湿式粉碎を行った。粉碎後の粉末について、105°Cで2時間の乾燥を行った。ガラスビートの希釈率は、試料と融剤の量が1:10の割合(試料0.400g:融剤 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (無水四ホウ酸リチウム):4.0g)である。これらを十分に混合させてから、理学電機製全自動卓上型高周波ビートサンプラーを用い、最初の2分間は1200°Cに加熱して、その後、加熱したまま5分間揺動させた。融剤は、マッフル炉によって700°Cで4時間以上乾燥したものを使用した。隔離剤としてはLiIを用いた。

2.2 蛍光X線分析⁴⁾

全岩化学組成分析は、蛍光X線分析装置(リガクRIX2100)にてガラスビード法で行い、定量分析はFP法にて行った。測定条件はTable 1のとおりである。

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

Table1 Measurement condition of X-ray fluorescence analysis of Tree-Molds on Aokigahara Lava in Fuji Volcano

	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P
分光結晶	PET	LiF	PET	LiF	LiF	TAP	Ge	TAP	Ge	Ge
検出器	F-PC	SC	F-PC	SC	SC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC
測定時間 Peak	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	100秒	40秒	40秒
BG	20	20*2	20	20*2	20*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			30mm ϕ			
アッテネータ	Out			スリット			Std.			
PHA	微分法			X線通路			真空			

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(30mm ϕ)を使用した。測定装置は、理学電機製のX線回折装置RINT-2500(湾曲グラファイト・モノクロメータ使用)である。本装置では、制御コンピュータ(PC-9821)および付属ソフトウェアにより全自動分析を行った。全自動分析におけるピーク・サーチの定性分析の測定条件は、次のとおりである。①X線の管球(Cu)、②発散スリット(1°)、③散乱スリット(1°)、④管電圧(50kV)、⑤管電流(300mA)、⑥走査軸(2 θ / θ)、⑦受光スリット(0.15mm)、⑧サンプリング幅(0.020°)、⑨アタッチメント(標準試料ホルダー)、⑩走査速度(2deg./min)、⑪ゴニオメーター(広角ゴニオメーター)および⑫データ処理に用いたX線の波長(1.54056Å)である。

一次検索の定性分析を行うための検索条件は、次のように分類できる。すなわち、①信頼性係数再評価は行う、②平滑化点数は9、③最低一致率は10%、④一致判定許容幅は3、⑤信頼性係数閾値は50、⑥回折角度は2 θ =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、燐・カリウム・チタンの3元素である。

このプログラムに従ってデータの処理を行った。その結果、この定性分析のチャートは **Fig. 1** (IC)、**Fig. 2** (OC) および **Fig. 3** (UC) 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 2** である。ここで、左側は回折図形の面指数のデータであり、このデータに対応するのが須走胎内洞窟の洞窟の内部 (IC)、洞窟外部 (OC) および洞窟の上部 (UC) 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 ($^{\circ}$) と面間隔 d (\AA) は、ブラッグの反射条件式によって決定される^{9~10)}。

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

ここで、 λ は波長 (\AA) で、この回折角度と波長によって計算した面間隔の範囲は、**Table 2** のとおりである。相対強度が15%以上になっているのは **Table 2** である。すなわち、ICCDにおけるNo.24-0203のCa (Mg, Fe) Si_2O_6 というAugiteの単斜晶系を基準とした面指数をピーク順にした。IC (**Fig. 1**) における相対強度の①100は(220)面、②30は(-221)面、③23は(310)面、④14は(-311)面、⑤10は(130)面、⑥12は(-131)面、⑦31は(-202)面、⑧14は(-112)面、⑨18は(-331)面、⑩13は(440)面および⑪10は(060)面の11の面指数である。次にOC (**Fig. 2**) における相対強度の①21は(220)面、②29は(-221)面、③22は(310)面、④15は(-311)面、⑤18は(130)面、⑥14は(-131)面、⑦31は(-202)面および⑧18は(-331)面の8つの面指数である。最後に、UC (**Fig. 3**) における相対強度の①100は(220)面、②22は(-221)面、③21は(310)面、④13は(-311)面、⑤11は(130)面、⑥24は(-202)面、⑦17は(-331)面および⑧17は(-331)面の8つの面指数である。

半価幅が 0.50° 以上の面指数 (**Table 2**) は、UC (**Fig. 1**) では、半価幅①0.688は(-202)面、②0.861は(330)面、③0.554(420)面、④0.504は(510)面、⑤0.647は(-332)面、⑥0.903は(-223)面、⑦0.569は(260)面およ

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
 (沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

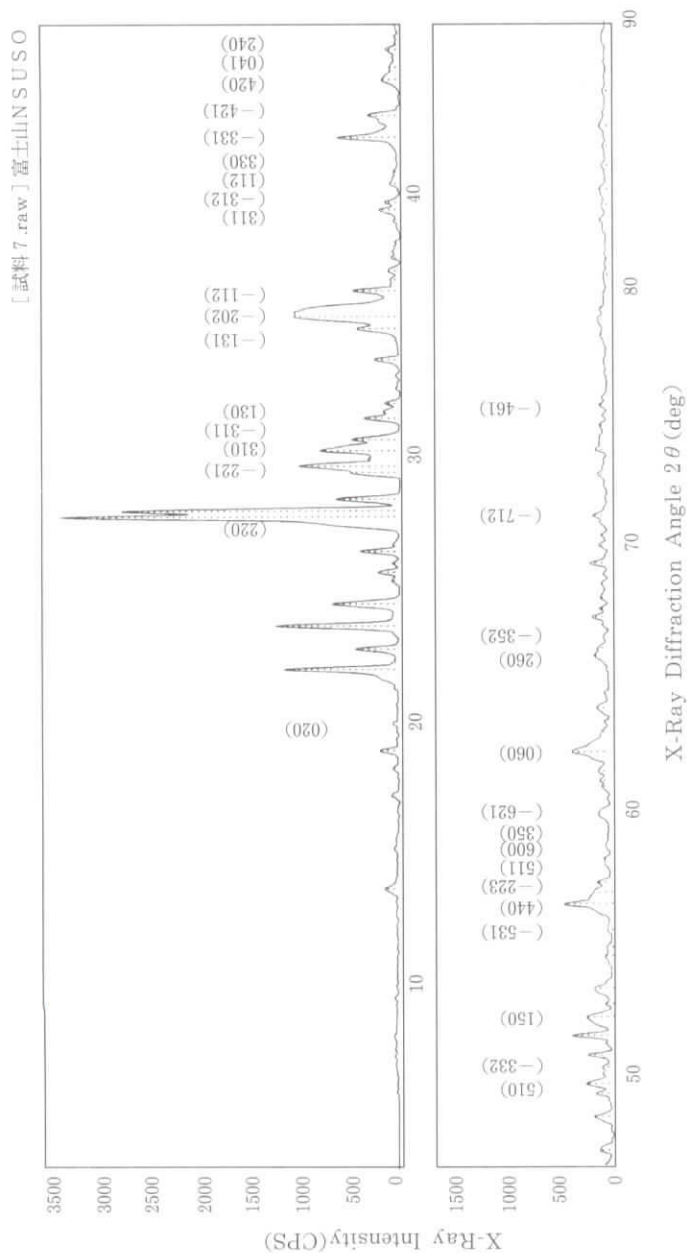


Fig.1 The X-ray Diffraction Pattern of Lava Sample (IC) from Subashiraitai Cave in Fuji Volcano

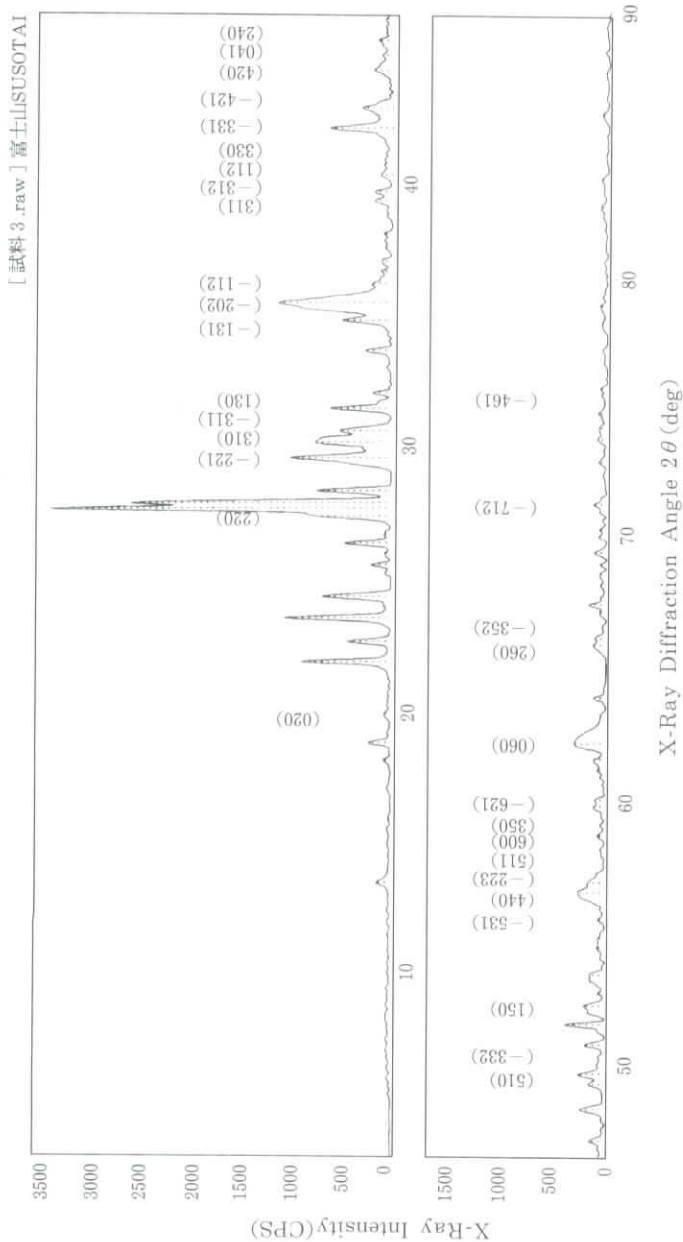


Fig.2 The X-ray Diffraction Pattern of Lava Sample (IC) from Subashiritainai Cave in Fuji Volcano

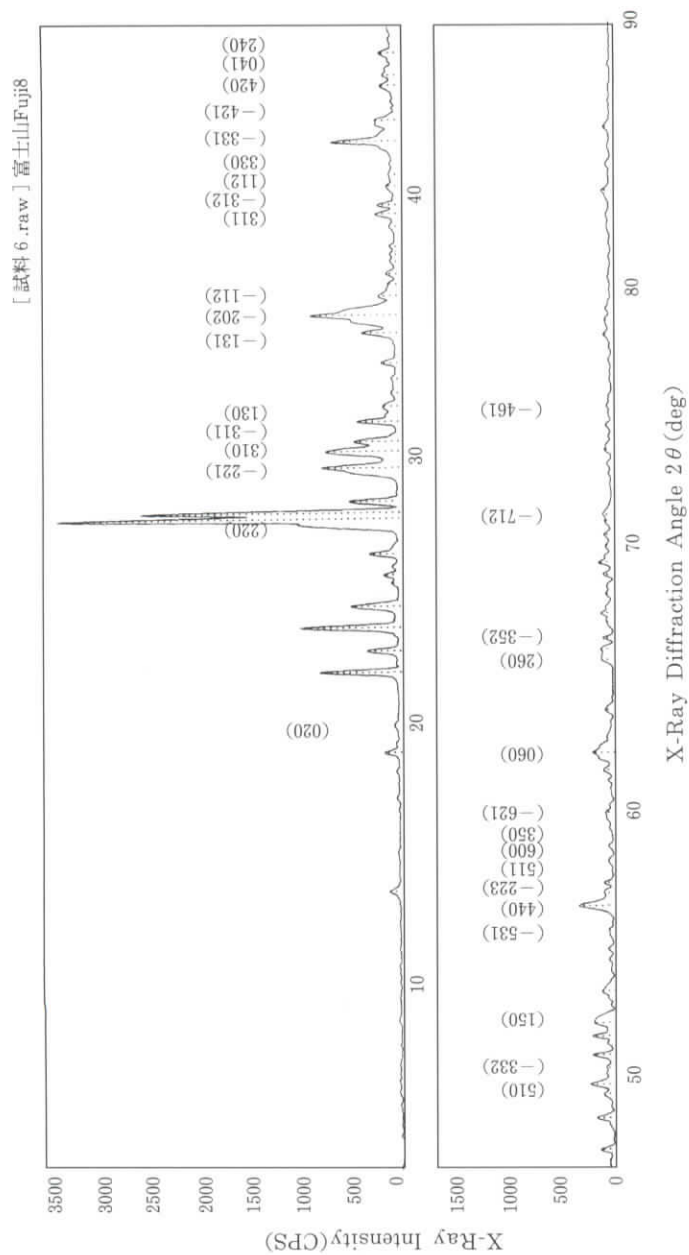


Fig.3 The X-ray Diffraction Pattern of Lava Sample (1C) from Subashiritainai Cave in Fuji Volcano

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

Table2 The X-ray data (Miller index, lattice distance, half-width and relative intensity) of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

番号	面指数			洞窟内			洞窟外			洞窟上		
	h	k	l	面間隔	半価幅	相対強度	面間隔	半価幅	相対強度	面間隔	半価幅	相対強度
				d	$\Delta(^{\circ})$	I/I_0	d	$\Delta(^{\circ})$	I/I_0	d	$\Delta(^{\circ})$	I/I_0
1	0	2	0	4.4661	0.277	1.6	4.4404	0.244	1.6	4.4491	0.306	1.3
2	2	2	0	3.2110	0.447	100.0	3.2451	0.515	21.3	3.2066	0.301	100.0
3	-2	2	1	3.0094	0.337	29.7	3.0075	0.290	29.3	3.0035	0.322	22.0
4	3	1	0	2.9530	0.471	23.3	2.9511	0.525	22.4	2.9417	0.411	21.0
5	-3	1	1	2.9135	0.381	14.0	2.9117	0.472	14.8	2.9062	0.380	12.5
6	1	3	0	2.8412	0.268	10.3	2.8359	0.211	17.6	2.8377	0.249	11.7
7	-1	3	1	2.5687	0.329	12.3	2.5686	0.248	14.2	2.5701	0.222	9.9
8	-2	0	2	2.5363	0.688	30.7	2.5225	0.545	31.1	2.5212	0.443	24.3
9	-1	1	2	2.4701	0.289	13.6	2.4729	0.379	4.9	2.4728	0.354	4.7
10	3	1	1	2.2829	0.424	6.1	2.2828	0.401	4.7	2.2829	0.233	5.5
11	-3	1	2	2.2673	0.312	4.4	2.2641	0.244	4.7	2.2641	0.169	4.8
12	1	1	2	2.2297	0.450	2.9	2.2297	0.555	2.8	2.2266	0.441	2.1
13	3	3	0	2.2067	0.861	1.7	2.2079	0.811	1.9	2.2036	0.431	1.2
14	-3	3	1	2.1407	0.317	18.0	2.1397	0.285	17.5	2.1388	0.269	17.4
15	-4	2	1	2.1007	0.367	9.5	2.1026	0.387	8.4	2.1008	0.355	5.6
16	4	2	0	2.0386	0.554	5.5	2.0386	0.551	5.0	2.0404	0.357	3.9
17	0	4	1	2.0188	1.207	3.0	2.0137	0.624	2.2	2.0239	0.463	2.8
18	2	4	0	1.9902	0.327	3.4	1.9886	0.219	2.5	1.9877	0.223	3.0
19	5	1	0	1.8350	0.504	7.4	1.8344	0.370	7.2	1.8343	0.479	6.7
20	-3	3	2	1.8138	0.647	2.5	1.7978	0.156	5.2	1.8131	0.760	1.6
21	1	5	0	1.7509	0.402	6.9	1.7496	0.363	5.7	1.7565	0.483	5.8
22	-5	3	1	1.6537	0.216	0.9	1.6242	0.696	7.7	1.6269	0.369	10.3
23	4	4	0	1.6263	0.456	13.4	1.6143	0.682	4.6	1.6148	0.695	2.7
24	-2	2	3	1.6154	0.903	4.8	1.5824	0.234	1.3	1.6045	0.161	2.7
25	5	1	1	1.6055	0.157	3.7	1.5701	0.224	1.7	1.5838	0.243	1.5
26	6	0	0	1.5834	0.287	1.8	1.5605	0.147	1.1	1.5696	0.163	1.4
27	3	5	0	1.5710	0.319	1.0	1.5439	0.409	3.1	1.5406	0.512	2.2
28	-6	2	1	1.5410	0.377	2.8	1.5382	0.446	2.9	1.5123	0.157	1.5
29	0	6	0	1.4895	0.493	10.4	1.4912	0.563	7.9	1.4895	0.538	5.6
30	2	6	0	1.4158	0.569	4.0	1.4154	0.522	3.6	1.4185	0.556	3.2
31	-3	5	2	1.4105	0.760	3.0	1.4105	0.607	3.2	1.4109	0.700	3.5
32	-7	1	2	1.3223	0.281	3.9	1.3219	0.337	3.5	1.3219	0.492	2.5
33	-4	6	1	1.2591	0.194	1.8	1.2559	0.465	1.7	1.2702	0.182	1.2

び⑧0.760は(-352)面の8つの面指数である。OC (Fig. 2) では、半価幅①0.515は(220)面、②0.525は(310)面、③0.545は(-202)面、④0.555は(112)面、⑤0.611は(330)面、⑥0.551は(420)面、⑦0.624は(041)面、⑧0.696は(-531)面、⑨0.682は(440)面、⑩0.563は(060)面、⑪0.522は(260)面および⑫0.607は(-352)面の12の面指数である。OC (Fig. 2) では、半価幅①0.760は(-332)面、②0.695は(440)面、③0.512は(350)面、④0.538は(060)面、⑤0.556は(260)面および⑥0.700は(-352)面の6つの面指数である。

2.4 X線回折における二次検索の測定条件⁴⁾

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(300mA)、⑥走査軸($2\theta/\theta$)、⑦受光スリット(0.15mm)、⑧サンプリング幅(0.020°)、⑨アタッチメント(標準試料ホルダー)、⑩走査速度(2°/min)、⑪ゴニオメーター(RINT2000広角ゴニオメーター)および⑫データ処理に用いたX線の波長(1.54056Å)である。

3 定量分析の結果と結晶構造

須走胎内洞窟に関する岩石の性質を調べるために、洞窟における3点をサンプリングした。須走胎内における溶岩洞窟の蛍光X線分析による全岩化学組成をTable 3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¹⁰⁾。須走胎内の溶岩はSiO₂が48.0~51.3wt.% (平均51.15wt.%)で、玄武岩質である。富士山に見られる溶岩の含有率の範囲は元素毎にかなり広がらないが、その中で須走胎内の溶岩は、TiO₂、MnO、K₂Oについては低い値を、SiO₂、Fe₂O₃、CaOについては高い値をもつ。富士山に見られる溶岩が玄武岩質の組成範囲が狭い中、須走胎内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はKuno (1966)によるものである。したがって、双方

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

Table 3 Representative XRF analysis results (wt.%) for the lava (IC, OC and UC) samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

wt.%	洞窟内 (IC)	洞窟外 (DC)	洞窟上 (UC)	平均	富士火山
SiO ₂	51.2	51.3	51	51.15	48.00~51.30
TiO ₂	1.3	1.33	1.27	1.3	1.03~1.97
Al ₂ O ₃	17.9	18	17.5	17.75	15.83~19.03
Fe ₂ O ₃	10.9	11	11.3	11.15	1.60~13.70
MnO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15~0.29
MgO	4.86	4.73	5.64	5.08	3.80~6.76
CaO	9.9	9.8	9.54	9.75	0.77~10.42
Na ₂ O	2.8	2.71	2.7	2.74	2.29~3.16
K ₂ O	0.68	0.75	0.67	0.7	0.52~1.16
P ₂ O ₅	0.26	0.27	0.25	0.26	0.08~0.54
Total	99.97	100.06	100.04		

の溶岩とも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の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.%）はグループ分析による結果である。

ICでは、

SiO₂=51.20, TiO₂=1.30, Al₂O₃=17.90, Fe₂O₃=10.90, MnO=0.17,
MgO=4.86, CaO=9.90, Na₂O=2.80, K₂O=0.68, P₂O₅=0.26。

OCでは、

SiO₂=51.30, TiO₂=1.33, Al₂O₃=18.00, Fe₂O₃=11.00, MnO=0.17,
MgO=4.73, CaO=9.80, Na₂O=2.71, K₂O=0.75, P₂O₅=0.27。

UCでは、

SiO₂=51.00, TiO₂=1.27, Al₂O₃=17.50, Fe₂O₃=11.30, MnO=0.17,
MgO=5.64, CaO=9.54, Na₂O=2.70, K₂O=0.67, P₂O₅=0.25。

須走胎内洞窟の溶岩に近い成分の物質番号 ICCD (**Table 4**) は、

No.18-1202の (Ca,Na) (Si,Al)₄O₈ という Anorthite の三斜晶系、

No.10-0393の Na (Si₃Al) O₈ という Albite の三斜晶系、

No.19-0629の Fe_3O_4 という Magnetite の立方晶系

No.24-0201の $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_8$ という Augite の単斜晶系等である。

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

今回は単斜晶系のNo.24-0201を引用した単斜晶系の数値解析を行った格子定数である。ゆえに、須走胎内洞窟の鉱物は、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. 4: 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(Fig. 4 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(Fig. 4 下図)は、OI(かんらん石)とPI(斜長石)が見られた。

4 格子定数の解析

4.1 単斜晶系の格子定数の決め方^{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。これらの関係式は、次のとおりである。

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

面間隔 [d(hkl)] は、ブラッグの反射条件式の面指数(hkl)と格子定数(A、B、C)によって求められる。面指数(hkl)は、Table 2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 2における面間隔(d)と面指数(hkl)から最小2乗法によって、格子定数(A、B、C)が求められる仕組みを行った。計算の手順は式(1)を書きかえると次のようになる。式(2)の右辺第1項より第4項の未知の部分それぞれ X_1 、…、 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 、…、 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。

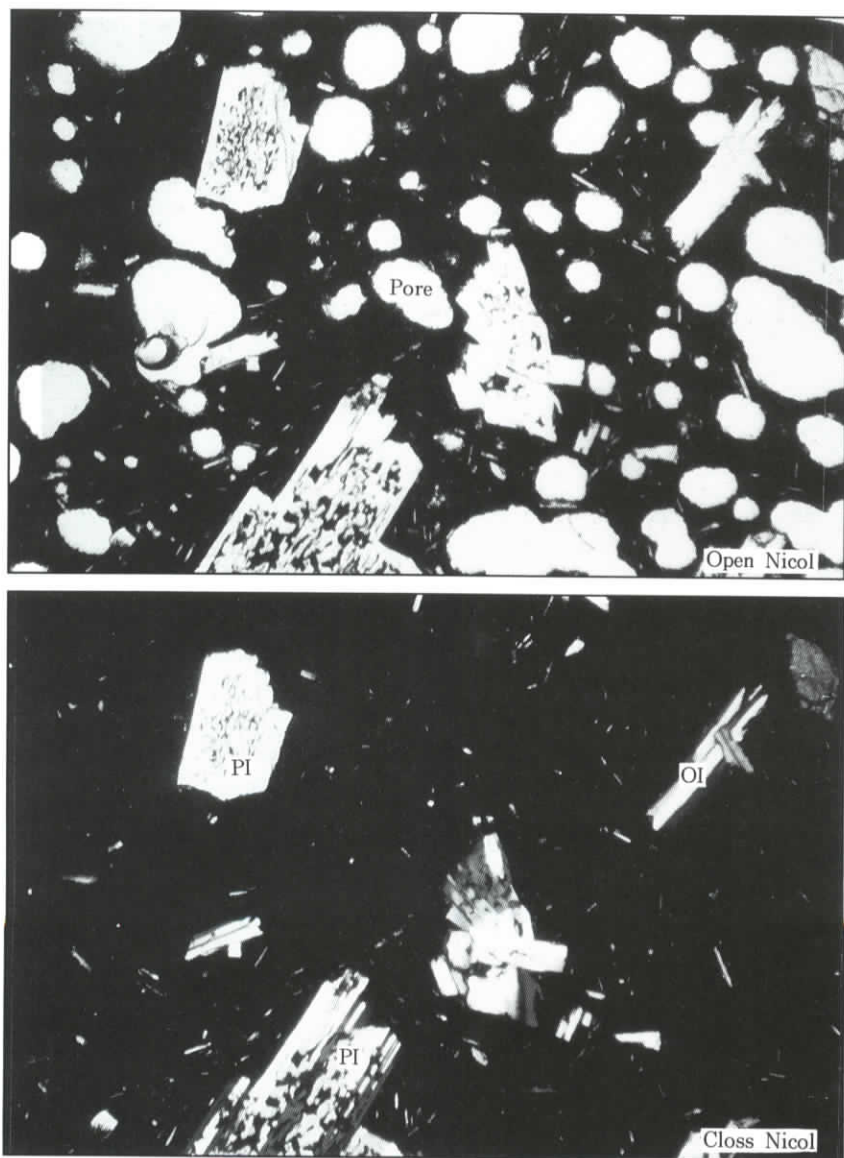


Fig.4 Polarizing microscope photo (open nicol and closs nicol : 47times)
of lava sample from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

(Pore : 発泡, OI : かんらん石, PI : 斜長石)

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

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

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

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

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

4.2 α 格子定数 (B) の求め方^{4, 6)}

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

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

4.2 β 軸角 (β) の求め方^{4, 6)}

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

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

この等式の右辺を式(6)の左辺と比べれば、次のような等式が、

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

得られる。それから式(9)を書きかえると式(10)のようになる。

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

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

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

したがって、

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

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

4.2 γ 格子定数 (A) の求め方^{4, 6)}

式 (3) を A^2 について解くと、次のようになる。

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

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

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

条件 (*) から格子定数Aは式 (14) のように求められる。

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 (15) が得られる。

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

したがって、

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

条件 (*) から格子定数Cは、式 (16) として与えられる。

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

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

この正規方程式から作られる行列式 (17) は、VTとTTの係数では、

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

= 2.02737E+12

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

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

この正規方程式から作られる行列式 (18) は、 X_{1VT} と X_{1TT} の係数では、

$$X_{1ic} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 134.670 & 2458 & 514 & -1268 \\ 122.434 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.890 & 282 & 204 & -218 \\ -23.510 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_{ic})$$

$$= 0.011216$$

$$X_{1oc} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 136.337 & 2458 & 514 & -1268 \\ 123.267 & 7138 & 282 & -516 \\ 15.104 & 282 & 204 & -218 \\ -23.654 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_{oc})$$

$$= 0.011446$$

$$X_{1uc} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 136.199 & 2458 & 514 & -1268 \\ 122.615 & 7138 & 282 & -516 \\ 14.977 & 282 & 204 & -218 \\ -23.618 & -516 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_{uc})$$

$$= 0.011451$$

のようになる。式 (18) の X_{1ic} 、 X_{1oc} および X_{1uc} は 0.011216 と 0.011446 およ
 び 0.011451 である。つぎに、式 (4) の X_2 を求めるクラームルの公式とその値
 は、式 (19) ようになる。

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

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

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

$$X_{21c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 134.670 & 514 & -1268 \\ 2458 & 122.434 & 282 & -516 \\ 514 & 14.890 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.851 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{1c})$$

$$=0.012546$$

$$X_{20c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 136.337 & 514 & -1268 \\ 2458 & 123.267 & 282 & -516 \\ 514 & 15.104 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.654 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{0c})$$

$$=0.012595$$

$$X_{21c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 136.199 & 514 & -1268 \\ 2458 & 122.615 & 282 & -516 \\ 514 & 14.977 & 204 & -218 \\ -1268 & -23.618 & -218 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_{1c})$$

$$=0.012511$$

のようになる。式 (19) の X_{21c} 、 X_{20c} および X_{21c} は0.012546と0.011595および0.012511である。式 (5) の X_3 を求めるクラームルの公式とその値は、式 (20) のようになる。

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

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

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

$$X_{31c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 134.670 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 122.434 & -516 \\ 514 & 282 & 14.890 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.510 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{1c})$$

$$= 0.039388$$

$$X_{30c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 136.337 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 123.267 & -516 \\ 514 & 282 & 15.104 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.654 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{0c})$$

$$= 0.040780$$

$$X_{31c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 136.199 & -1268 \\ 2458 & 7138 & 122.615 & -516 \\ 514 & 282 & 14.977 & -218 \\ -1268 & -516 & -23.618 & 514 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_{1c})$$

$$= 0.039827$$

のようになる。式 (20) の X_{31c} 、 X_{30c} および X_{31c} は 0.039388 と 0.040780 および 0.039827 である。最後に、式 (6) の X_4 の値を求めるクラームルの公式とその値は、式 (21) のようになる。

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

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

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

$$X_{41c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 134.670 \\ 2458 & 7138 & 282 & 122.434 \\ -1268 & -516 & -218 & 14.890 \\ 514 & 282 & 204 & -23.510 \end{vmatrix} \dots\dots (21_{1c})$$

$$= 0.011230$$

$$X_{40c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 136.337 \\ 2458 & 7138 & 282 & 123.267 \\ 514 & 282 & 204 & 15.104 \\ -1268 & -516 & -218 & -23.654 \end{vmatrix} \dots\dots (21_{0c})$$

$$= 0.012157$$

$$X_{41c} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 8722 & 2458 & 514 & 136.199 \\ 2458 & 7138 & 282 & 122.615 \\ 514 & 282 & 204 & 14.977 \\ -1268 & -516 & -218 & -23.618 \end{vmatrix} \dots\dots (21_{1c})$$

$$= 0.011751$$

のようになる。式 (21) の X_{41c} 、 X_{40c} および X_{41c} は 0.011230、0.012157 および 0.011751 である。

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 (14) から式 (22) のように求められる。

$$A_{1c} = 2 \sqrt{0.039388 / (4 \times 0.011216 \times 0.039388 - 0.011230^2)} \dots\dots (22_{1c})$$

$$= 9.774 \text{ \AA}$$

$$A_{0c} = 2 \sqrt{0.040780 / (4 \times 0.011446 \times 0.040780 - 0.012157^2)} \dots\dots (22_{0c})$$

$$= 9.774 \text{ \AA}$$

$$A_{uc} = 2 \sqrt{0.039827 / (4 \times 0.011451 \times 0.039827 - 0.011751^2)} \cdots (22_{uc})$$

$$= 9.761 \text{ \AA}$$

格子定数Bは、式(7)から式(23)のように求められる。

$$B_{ic} = \sqrt{1 / 0.012526} = 8.936 \text{ \AA} \cdots (23_{ic})$$

$$B_{oc} = \sqrt{1 / 0.012595} = 8.907 \text{ \AA} \cdots (23_{oc})$$

$$B_{uc} = \sqrt{1 / 0.012511} = 8.920 \text{ \AA} \cdots (23_{uc})$$

格子定数Cに関して、式(16)から式(24)のように求められる。

$$C_{ic} = 2 \sqrt{0.011216 / (4 \times 0.011216 \times 0.039388 - 0.011230^2)} \cdots (24_{ic})$$

$$= 5.191 \text{ \AA}$$

$$C_{oc} = 2 \sqrt{0.011446 / (4 \times 0.011446 \times 0.040780 - 0.012157^2)} \cdots (24_{oc})$$

$$= 5.178 \text{ \AA}$$

$$C_{uc} = 2 \sqrt{0.011451 / (4 \times 0.011451 \times 0.039827 - 0.011751^2)} \cdots (24_{uc})$$

$$= 5.174 \text{ \AA}$$

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

$$\beta_{ic} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{2} \right) \frac{0.011230}{\sqrt{0.011216 \times 0.039388}} = 116.37^\circ$$

..... (25_{ic})

$$\beta_{oc} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{2} \right) \frac{0.012157}{\sqrt{0.011446 \times 0.040780}} = 116.36^\circ$$

..... (25_{oc})

$$\beta_{uc} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{2} \right) \frac{0.011751}{0.011451 \times 0.039827} = 116.26^\circ$$

..... (25_{uc})

5 考 察

5.1 全岩化学組成および考察

須走胎内洞窟における三ヶ所の岩石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)を合わせて **Table 3** に示した。富士火山における火山噴出物の SiO_2 組成範囲は、48.0(八幡穴洞窟)~51.3(須走胎内洞窟) wt.%で、須走胎内洞窟の SiO_2 は、富士山火山における洞窟の中では最大であり、平均51.15wt.%の玄武岩質(塩基性岩)である。

さらに、 SiO_2 のICは、OCより少なく、UCより多い含有率ある。さらに、富士山犬涼み第2洞窟と近い成分である。一方、濟州火山における火山噴出物(沢・井上、1999・2000)の SiO_2 組成範囲(41.20~66.31wt.%)は、富士火山より広い範囲で、濟州火山の平均値よりわずかに大きい値である。濟州火山は、海底からの隆起物と火山による混合の噴出物であるから広い範囲であることが考えられる。

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カード記載の構成元素に対して他の元素が固溶しているものと思われる。したがって、Anorthiteは、ICDDカードに相当するかについては断定できない。そのため、比較のプロファイルの近い物質を定性分析結果に記載した。

定性分析結果を記載した須走胎内洞窟の鉱物信頼性係数では、3.2から23.4

の範囲である。ここでは、主な鉱物のみを **Table 4** に表示した。その他、存在の可能性のある物質を記載したが、これらもピークのシフトやピーク強度比が異なることが確認された。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。さらに、密度 D (g/cm^3) と相対強度 (I/I_0) の関係からも理解できる (**Fig. 5**)。この関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められたものである。

$$D = 4.0327 - 0.0192 (I/I_0) \dots (R^2=0.462) \dots \dots \dots (26)$$

式 (26) から相対強度が大きくなるにつれ、密度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 須走胎内のケイ酸とアルカリ成分(Na_2O+K_2O)との関係^{3, 4)}

富士火山における火山噴出物の (Na_2O+K_2O) 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須走胎内洞窟の (Na_2O+K_2O) は平均1.72wt.%で玄武岩質である。一方、濟州火山島における火山噴出物の (Na_2O+K_2O) 組成範囲は1.46~13.72wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この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. 6** と **Table 3** は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に (Na_2O+K_2O) (wt.%) をとり、それぞれの熔岩の化学組成 (Miyashiro, 1978; R.W.Le Maitre, 1978) をプロットした。上図は富士火山帯における全体成分である。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 (Na_2O+K_2O) 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みの成分である。下図のA線はアルカリ玄武岩系であり、下図のAH線は非アルカリ玄武岩系である。2本の境界線があり、上部境界線より上の領域がアルカリ玄武岩、下の領域が非アルカリ玄武岩、2本の境界線に挟まれる部分が高アルミナ質玄武岩です。**Fig. 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 (1996) 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。須

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

Table 4 *The qualitative analysis of search-match for the lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano*

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

Plus44 chemical composition to reliability factor

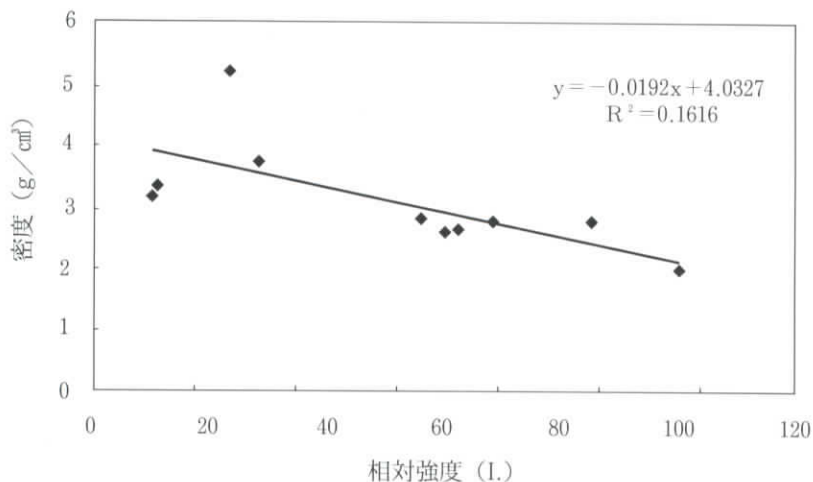


Fig.5 Relation between X-ray density and relative intensity of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano

走胎内洞窟のSiO₂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。須走胎内洞窟のアルカリ成分は、富士火山洞窟内では平均に近い成分である。

5.4 須走胎内の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K₂O組成範囲は0.52(八幡穴)~1.16wt.%である。須走胎内洞窟におけるIC、OCおよびUCのK₂O(wt.%)は、それぞれ0.68、0.75および0.67wt.%であり、富士火山の全体では中間に近い成分である。一方、済州火山島における火山噴出物のK₂O組成範囲は0.05~5.63wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値より小さい値である。ケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、Fig. 7とTable 3は、横軸にSiO₂(wt.%)、縦軸にK₂O(wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。境界線は、Miyashiro, 1978; R.W.Le Maitre, 1978に基づいている。上図は富士火山帯における全体成分成分であり、下図は富士火山帯における洞窟のみの成分である。

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
 (沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

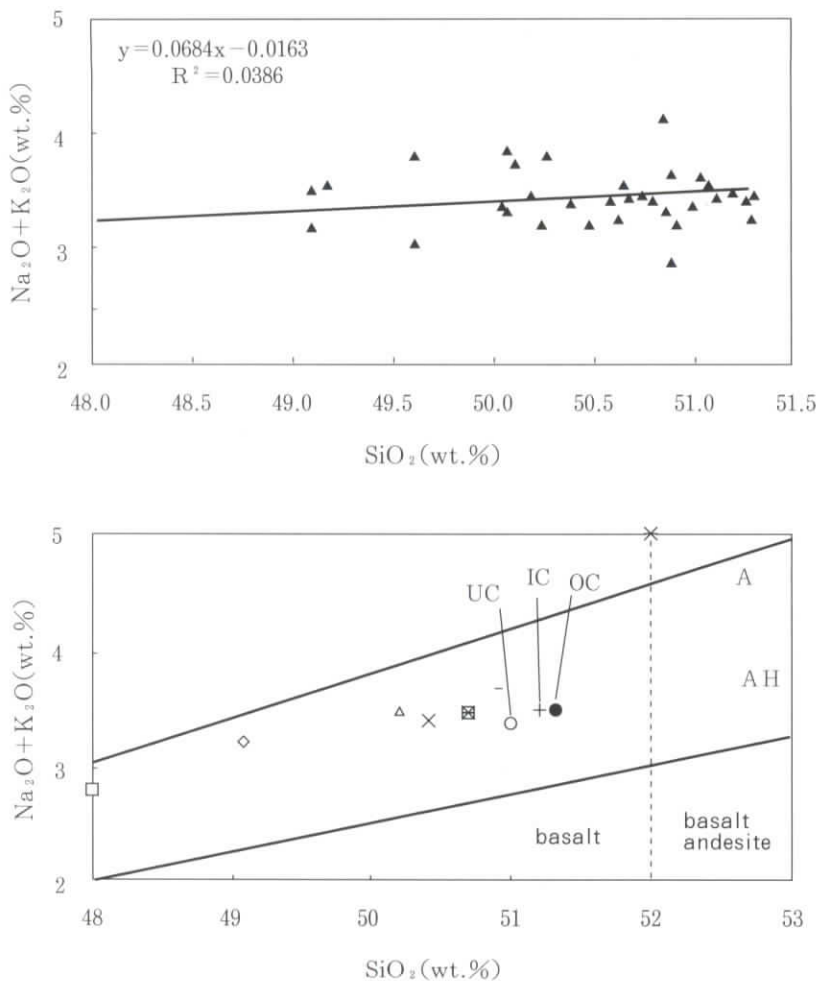


Fig.6 Plot of SiO_2 vs. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ contents of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano. The letter A denotes for alkali basalt rock-series; AH, high alumina-basalt rock-series; solid circle rocks from OC; plus sign rocks from IC; open circle rocks from and UC). The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

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
 (沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

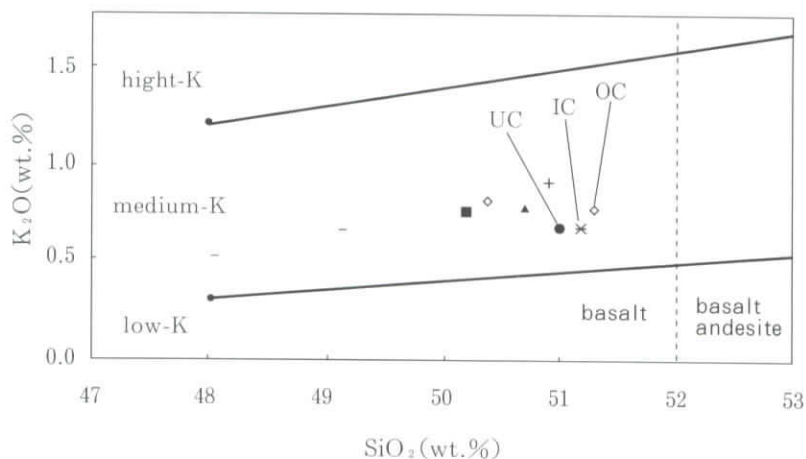
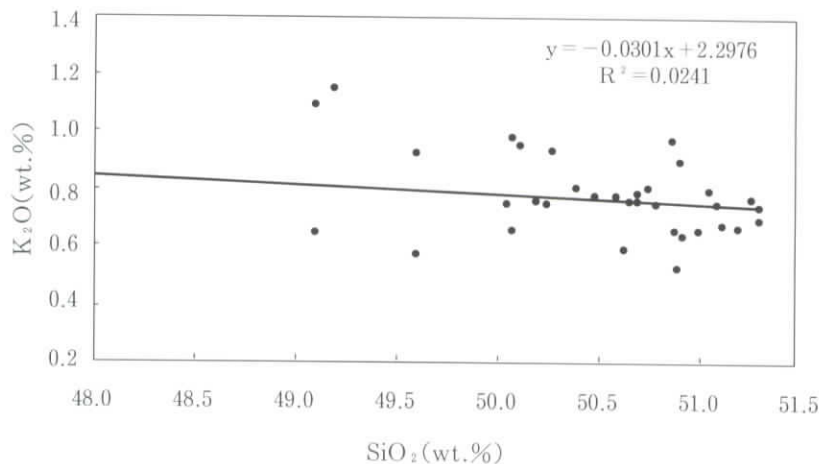


Fig.7 Plot of SiO_2 vs. K_2O contents of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano. Division of basalts (with $SiO_2 \geq 48$ %, basaltic andesites and andesites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick vertical lines indicate the equivalent position of the fields in the TAS diagram.

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

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。須走胎内洞窟におけるIC、OCおよびUCの K_2O (wt.%)は、回帰直線の値と近いカリウム成分である。UCのカリウム成分は、 SiO_2 組成と (Na_2O+K_2O) 組成と同様に、犬涼2(犬涼み山風穴第2)に近い成分であり、次に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. 7**における横軸52 (wt.%)を基準線として、その以下は玄武岩であり、その以上は玄武岩質安山岩である。したがって、双方の熔岩樹型ともmedium-Kの高アルミ玄武岩であることが分かる。須走胎内のIC、OCおよびUC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 須走胎内のケイ酸と有色鉱物 ($Fe_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO$)との関係^{3, 4)}

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. 8**と**Table 3**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。**Fig. 8** (上の図)は富士火山帯における Fe_2O_3 成分である。**Fig. 8** (中の図)は富士火山帯におけるMgO成分である。**Fig. 8** (下の図)は富士火山帯におけるCaOである。

富士火山における火山噴出物の Fe_2O_3 (wt.%)組成範囲は1.60~13.70(八幡穴) wt.%である。その平均値より多いIC、OCおよびUCの Fe_2O_3 (wt.%)は、10.90、11.00および11.30wt.%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0.67~14.24wt.%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。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。富士火山における火山噴出物のMgO (wt.%)組成範囲は3.80~6.76wt.%である。IC、OCおよびUCのMgO (wt.%)は、4.86、4.73および5.64wt.%である。ケイ酸が増大するにつれ、 Fe_2O_3 は、 Fe_2O_3 と同様にわずかな減少の傾向である。同様に、IC、OCおよびUCのCaO (wt.%)は、9.90、9.80および9.54wt.%である。ケイ酸が増大するにつれ、 Fe_2O_3 はとMgOと異なった減少から増大の傾

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
 (沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

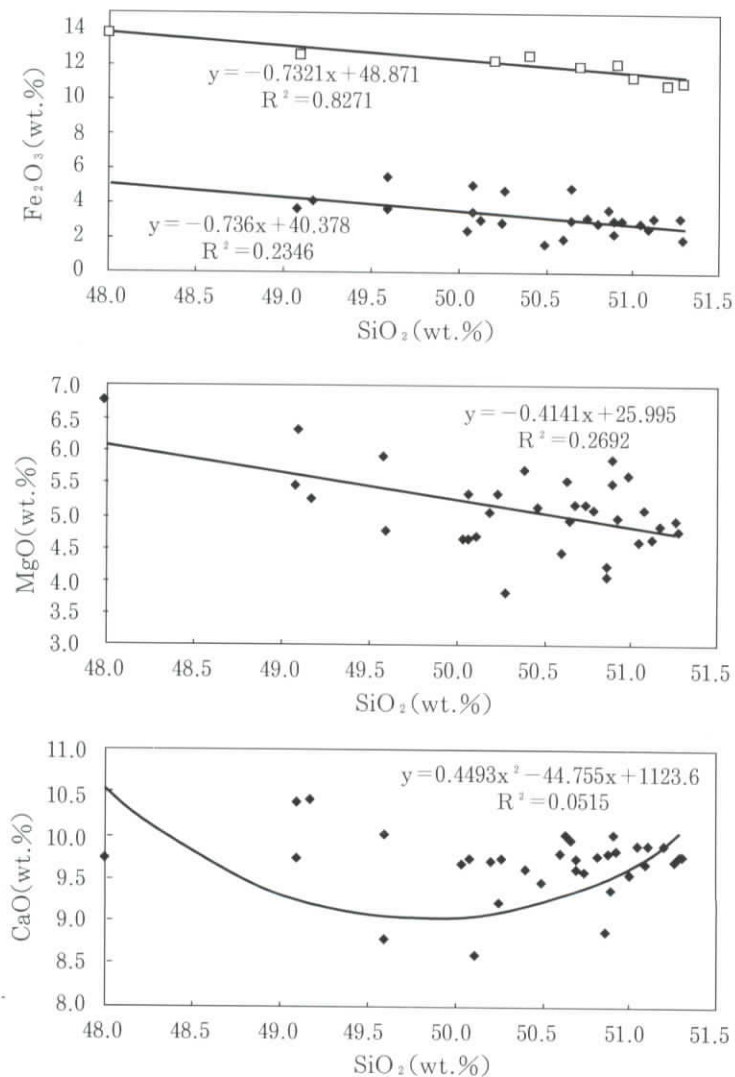


Fig.8 Relation between SiO_2 composition and color mineral (Fe_2O_3 , MgO and CaO) contents of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

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_2O_3 とMgOの成分は同様に減少の傾向である。ケイ酸が増大するにつれ、洞窟の無色鉱物{(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 須走胎内のケイ酸と格子定数(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。須走胎内のICとOCのAmは、平均値(9.764 Å)より大きく、それぞれ9.774 Åと9.774 Åである。しかしながら、UCは平均値(9.764 Å)より小さい9.770 Åである。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 3とTable 5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。Fig. 9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、Fig. 9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. 9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:

$$\text{Am} (\text{Å}) = 9.62 + 0.003 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.099) \cdots (27)$$

Table 5 Representative lattice constants of monoclinic results (Å) for the lava (IC, OC and UC) samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano

結晶系	洞窟内(IC)	洞窟外(OC)	洞窟上(UC)	平均	富士火山
単斜晶系A(Å)	9.774	9.774	9.761	9.77	9.714~9.819
単斜晶系B(Å)	8.936	8.907	8.92	8.921	8.893~8.940
単斜晶系C(Å)	5.191	5.178	5.174	5.181	5.159~5.255
単斜晶系β(°)	116.37	116.36	116.26	116.33	105.49~116.37

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

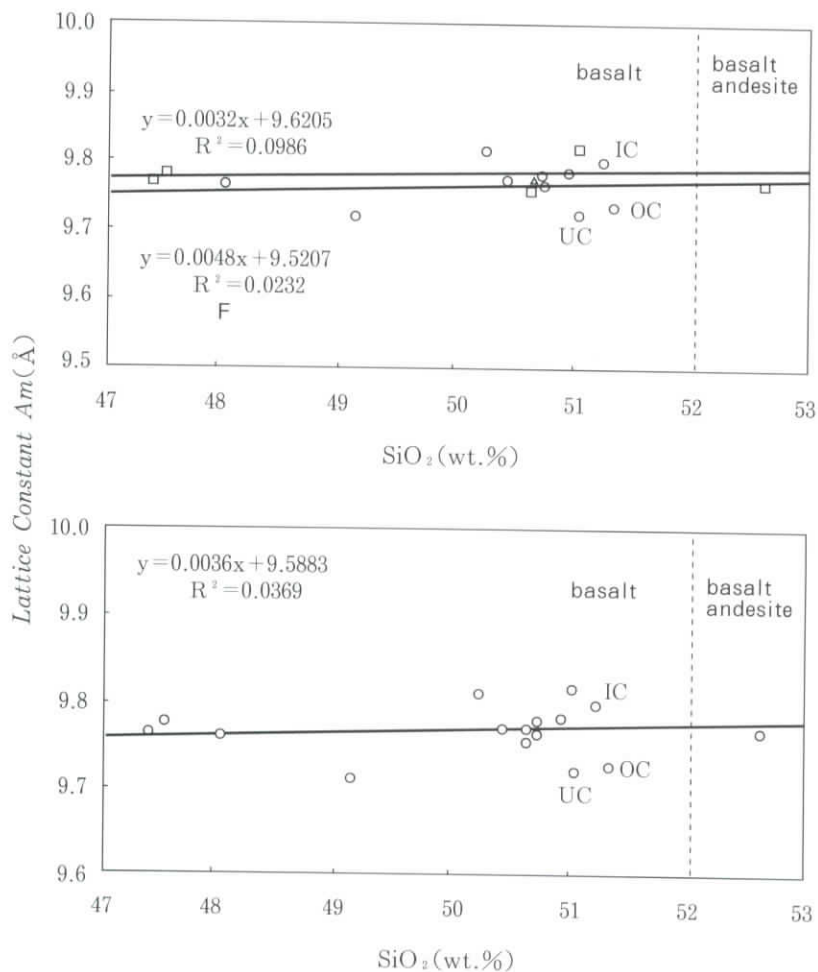


Fig.9 Relation between SiO₂ composition and monoclinic lattice constant (Am) of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

富士火山の洞窟：

$$Am (\text{\AA}) = 9.52 + 0.005 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.023) \cdots (28)$$

両方の火山洞窟：

$$Am (\text{\AA}) = 9.59 + 0.004 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.037) \cdots (29)$$

濟州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、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OCとUCは、回帰直線の値とは遠い値である。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い値である。が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踏まれている。須走胎内洞窟における格子定数Am(平均：9.770 Å)は、Bm(平均：8.921 Å)とCm(平均：5.181 Å)より大きい値である。

5.7 須走胎内のケイ酸と格子定数(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8.916 Åである。須走胎内のICとUCのBmは、平均値(8.916 Å)より大きく、それぞれ8.936 Åと9.774 Åである。OCのBmはわずかに小さい8.907 Åである。一方、濟州火山島における火山噴出物のBm範囲(沢ら、1996・1998)は8.893～8.934 Åで、富士火山より狭い範囲である。須走胎内洞窟における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 3とTable 5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。Fig. 10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、Fig. 10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. 10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：

$$Bm (\text{\AA}) = 8.97 - 0.001 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.029) \cdots (30)$$

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

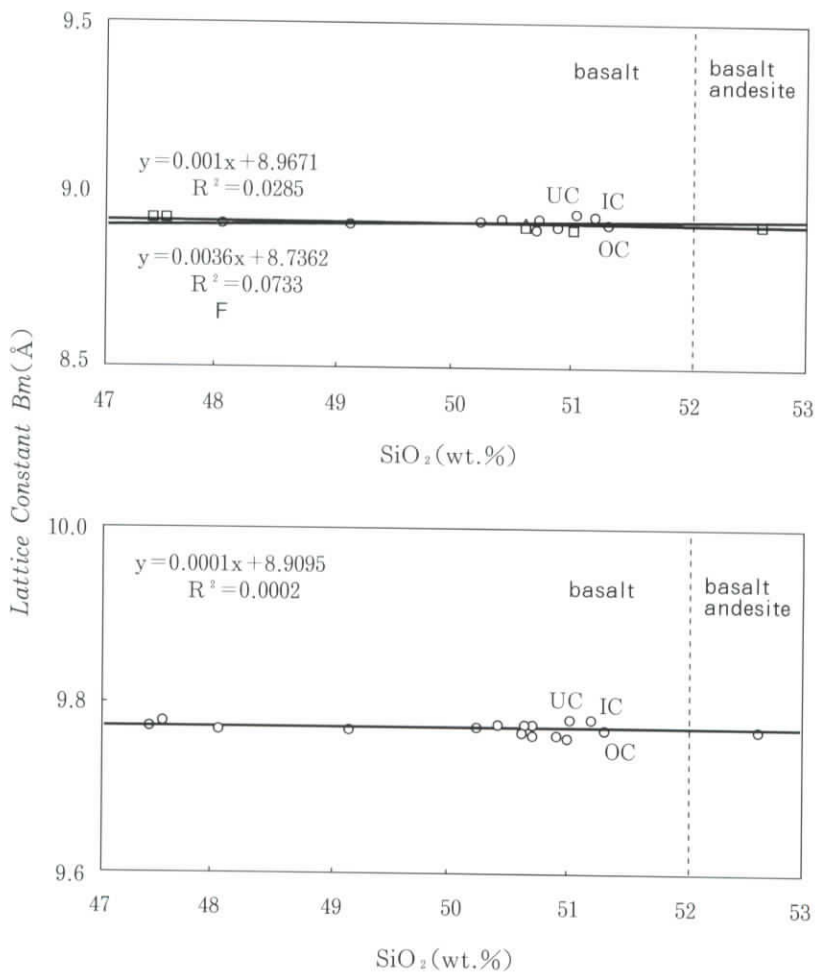


Fig.10 Relation between SiO₂ composition and monoclinic lattice constant (Bm) of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

富士火山の洞窟：

$$B_m (\text{\AA}) = 8.74 + 0.004 W\text{SiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.073) \cdots (31)$$

両方の火山洞窟：

$$B_m (\text{\AA}) = 8.91 + 0.0001W\text{SiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.0002) \cdots (32)$$

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、 B_m 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 B_m のIC、OCとUCは、回帰直線の値とほぼ近い値である。IC、OCとUCの SiO_2 組成は、犬涼み2と萬丈窟の石柱が近い成分である。格子定数 B_m 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 B_m の切片は、富士火山洞窟の B_m より 0.23\AA 大きい値である。須走胎内洞窟における格子定数 B_m (平均： 8.921\AA)は、 A_m (平均： 9.770\AA)より小さく、 C_m (平均： 5.181\AA)より大きい値である。

5.8 須走胎内のケイ酸と格子定数(C_m)との関係^{3, 4)}

富士火山における火山噴出物の格子定数(C_m)の範囲は 5.159 (子供国)~ 5.255 (TT) \AA で、その平均値(5.195\AA)である。須走胎内のICとUCの C_m は、平均値(5.195\AA)より小さく、それぞれ 5.191\AA 、 5.178\AA および 5.174\AA である。一方、濟州火山島における火山噴出物の C_m 範囲(沢ら、1996・1998)は 5.189 ~ 5.255\AA で、富士火山より狭い範囲である。須走胎内の C_m は、濟州火山島の平均値(5.211\AA)よりわずかに小さい値である。ケイ酸と C_m との関係を究明するため、Table 3とTable 5の関係からFig. 11は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に格子定数(C_m : \AA)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、Fig. 11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：

$$C_m (\text{\AA}) = 4.98 + 0.005W\text{SiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.230) \cdots (33)$$

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
 (沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

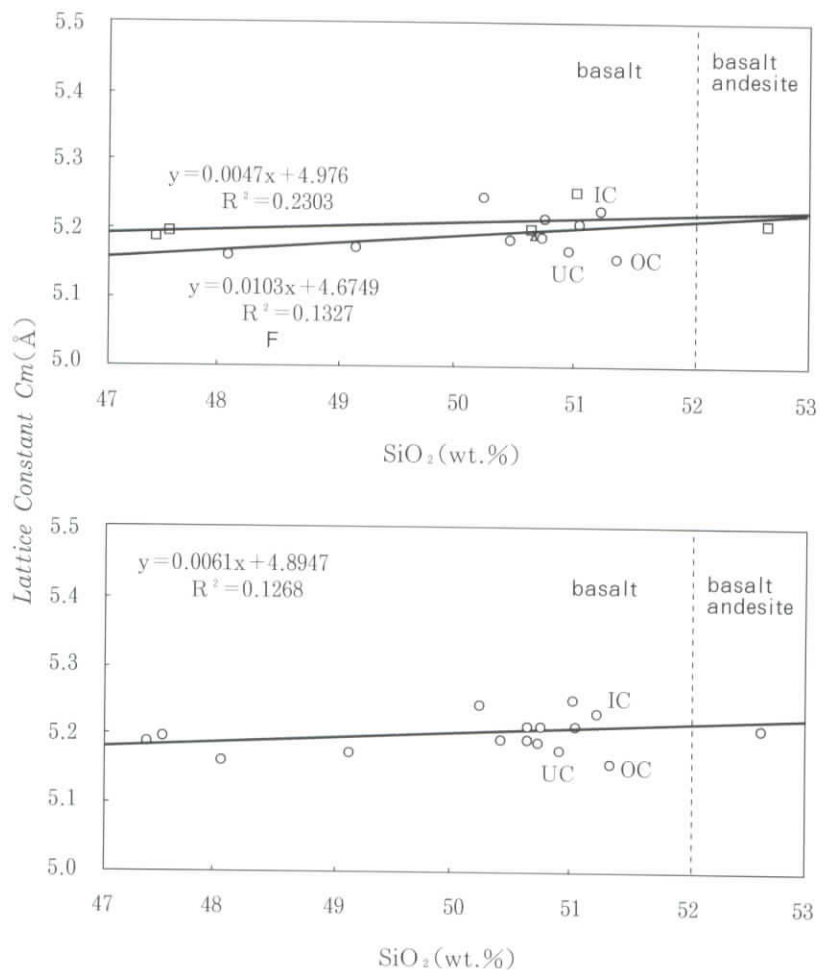


Fig.11 Relation between SiO₂ composition and monoclinic lattice constant (C_m) of lava samples from Subashiritainai cave in Fuji volcano.

富士火山の洞窟：

$$C_m (\text{\AA}) = 4.67 + 0.010 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.133) \cdots (34)$$

両方の火山洞窟：

$$C_m (\text{\AA}) = 4.89 + 0.006 \text{ WSiO}_2 (\text{wt.}\%) \cdots (R^2=0.127) \cdots (35)$$

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IC、OCとUCは、回帰直線の値とわずかに遠い値である。IC、OCとUCの SiO_2 組成は、犬涼み2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。須走胎内洞窟における格子定数 C_m （平均：5.181 \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

須走胎内洞窟におけるIC（須走胎内洞窟内部にある試料）、OC（須走胎内洞窟入口の外部にある試料）およびUC（須走胎内洞窟より高い所の本八合目にある試料）の三点から採集されたものである。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、須走胎内洞窟の平均は51.15wt.%で、それぞれ玄武岩質(塩基性岩)である。
- 2) SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O および P_2O_5 の含有率は、UCが高く、ICがあ中間であり、そしてOCが低いのである。一方、 CaO と Na_2O の含有率は、ICが高く、UCがあ中間であり、そしてOCが低いのである。いずれにせよ、OCは低い値である。
- 3) 須走胎内洞窟の溶岩は、高アルミナ玄武岩である。
- 4) 須走胎内洞窟の鉱物は、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F偏向顕微鏡写真により観察されたのである。

5) 須走胎内洞窟の結晶構造は、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。

6) ケイ酸が増大するにつれ、 Na_2O 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 は増大の傾向である。すなわち、格子定数の A_m と C_m は、ケイ酸の含有率に依存している。

7) ケイ酸が増大するにつれ、 K_2O 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。

8) 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。すなわち、格子定数の B は、ケイ酸の含有率に依存せず、測定誤差の範囲内である。

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

濟州火山島の萬丈窟(沢ら、1990)、白頭山の鹿蹄洞(沢ら、1996)の溶岩洞窟には、アルカリ玄武岩が分布している。一方、富士火山における須走胎内洞窟の溶岩は、高アルミナ玄武岩であった。これらの違いは、熔岩樹型の成因研究において重要な意味があると考えられる。

謝 辞

この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周年記念による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. 富士山溶岩洞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(竪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. 济州火山島の万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關す
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. 白頭山の鹿蹄洞と济州火山島の万丈窟に
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. volcanol.*, (2), 29:195-222.

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
(沢、井上、川村、本多、勝間田、宮崎)

- 13) A. Miyashiro, 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.

