

济州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の 熔岩に関する組成と三斜晶系

沢 勲 Isao SAWA
洪 始 煥 Sy-Hwan HONG
河 野 久 征 Hisayuki KOHNO

[A Comparison of Chemical Components and Lattice Constants with Triclinic System of Lavas from Manjang-gul Cave on Cheju Island and Luti-dong Cave on Paekdu-san]

ABSTRACT

The Paekdu-san Volcanoes and Cheju Island are situated at two ends of the Korean Peninsula. Luti-dong Cave lies to the northwest of Lake Tian-chi on the paekdu-san Volcanoes, while Manjang-gul Cave is located at Kimnyoung-ri at the northern side of Cheju Island.

It can be suggested that these facts are related to the crystal structure, lattice constants and axis angle on lava of the Manjang-gul in Cheju Island by X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials is triclinic system. In the triclinic system, it is found that the lattice constants (A, B and C axis), and axis angle (α , β and γ) are, A=8.10 Å B=12.69 Å C=7.11 Å $\alpha=98.9^\circ$ $\beta=113.9^\circ$ $\gamma=86.2^\circ$ in Model A A=8.19 Å B=12.88 Å C=7.11 Å $\alpha=93.3^\circ$ $\beta=116.1^\circ$ $\gamma=90.3^\circ$ in Model B A=8.15 Å B=12.79 Å C=7.11 Å $\alpha=96.1^\circ$ $\beta=115.0^\circ$ $\gamma=88.3^\circ$ in Manjang-gul A=8.17 Å B=12.88 Å C=7.11 Å $\alpha=93.4^\circ$ $\beta=116.1^\circ$ $\gamma=91.0^\circ$ in Luti-dong.

Key words: Lava cave, Lattice constants, Triclinic system

[大阪経済法科大学論集 第68号

The Review of Osaka University of Economics and Law, vol 68 (1996), pp 27-49]

1 はじめに

白頭山は、東アジアにおいて日本の富士山に次ぐ海拔2750m（白頭峰）の名山であり、その中央には天池がある。白頭山の形成は、今から古くは約1990万年から310万年までに約16回の火山活動が起こり、玄武岩台地が形成された^{1~3)}。一方、濟州火山島の山房山粗面安山岩は約74万年である。本研究に用いた鹿蹄洞窟中央部と萬丈窟石柱の年代測定値は、K-Ar法によって測定した坂谷徹丸氏らの報告によると、それぞれ約16万年前³⁾と42~3.2万年前^{4~6)}である。鹿蹄洞窟は、富士山北側五合目の小御岳（15万年前）⁷⁾や白頭山気象台より古く、白頭山群の天池瀑布より若いと考えられる。

萬丈窟石柱の試料については、蛍光X線分析^{8, 9)}とX線回折法^{10, 11)}によって分析を行った。分析の結果として、結晶構造は単斜晶系と三斜晶系および立方晶系の混晶であることが分かった。ここでは、三斜晶系の格子定数（A・B・Cの3軸の長さ）および軸角（ α , β and γ ）について報告し、合わせて鹿蹄洞との比較を行った。

2 実験方法

2.1 ピーク・サーチの定性分析

本研究に用いた試料は^{9~13)}、まず、サンプルをボールミルで200メッシュ以下に粉碎し、さらに、メノウの乳鉢で混合させたものである。希釈率としてガラスビート法は、サンプル4.000gの融剤として0.400gのLiB₄O（四ホウ酸リチウム）を加えた。

これらを十分に混合させた上、白金ルツボに入れ、蓋をした後、高周波炉の溶融温度と加熱時間を、それぞれ1200℃と7分に設定した。最初の2分間は1200℃に加熱し、その後、加熱したままで5分間内動揺させた。隔離剤としてはハロンガスを用いた。測定には測定試料径（30mmφ）のステンレス材マス

クを用いた。測定装置は、理学電機製のX線回折装置RINT-1200(湾曲グラフィット・モノクロメータ)である。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管内の電圧(50kV)、⑤管内の電流(200mA)、⑥走査軸(2θ/θ)、⑦受光スリット(0.30mm)、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(3.00°/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。

このデータ処理に用いたコンピュータのプログラム言語は、FORTRANおよびC言語である。このプログラム処理では平滑化点数を11とした。この定性分析結果のチャートはFig. 1のとおりである。回折角度は、CuKα線の2θを3度から90度までの範囲で行った。Fig. 1の定性分析のために行ったピーク・サーチの結果がTable 1である。萬丈窟における熔岩石柱に関する結晶構造は、主として三斜晶系・単斜晶系・立方晶系などがある。ここでは三斜晶系の2種類(JCPDS18-1202をモデルAとし、JCPDS20-0572をモデルBとする)の面指数を用いて格子定数の計算を行った。なお、括弧内の数字は面指数である。面指数は回折角度によって異なっている。回折角度と面間隔d(Å)は、ブラッグの反射条件式によって決定される^{10, 11)}。

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

ここで、λは波長(Å)、dは面間隔(Å)およびθは回折角度(°)である。この回折角度(20~90°)と波長によって計算した面間隔の範囲は、Table 1のとおり(4.46~1.33Å)である。回折角度から格子定数を求めるために、三斜晶系の2種類(モデルAおよびモデルBとする)を用いた面指数を引用したのがTable 1である。

① 半値幅 :

半値幅が0.25°以上の面指数はTable 1、Fig. 1およびFig. 2に示したピーク

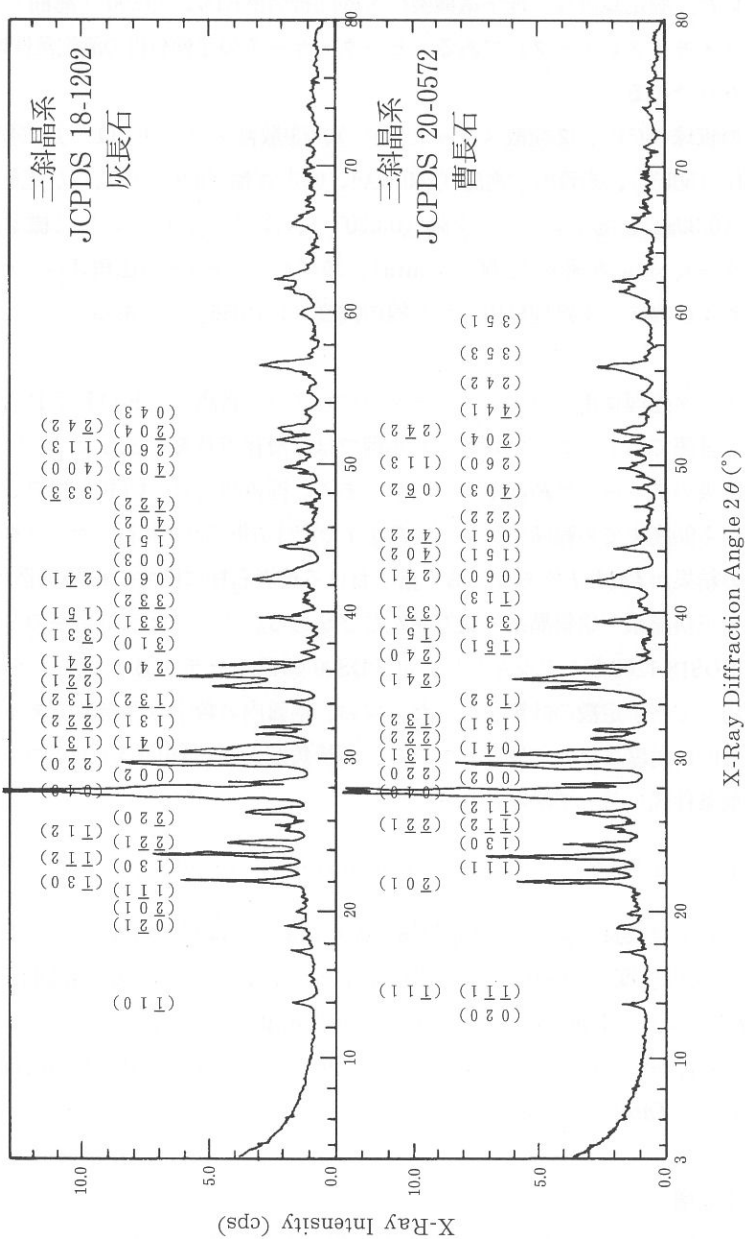


Fig. 1 The X-Ray Diffractograms of Manjang-gul Cave on Cheju Island

Table 1 The X-Ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Relative Intensity and Half-Width) for Manjang-gul Cave on Cheju Island

Peak No.	回折角度	面間隔	半価幅	相対強度	Triclinic JCPDS 18-1202			Triclinic JCPDS 20-0572		
	2θ (°)	d (Å)	Δ (°)	I/I ₀	d (Å)	I/I ₀	h k l	d (Å)	I/I ₀	h k l
1	13.680	6.46767	0.240	11	6.490	2	-1 1 0	6.44	16	-1 1 0
2	15.160	5.83943	0.240	7				5.82	6	-1 -1 1
3	15.660	5.65409	0.150	7				5.65	5	-1 1 1
4	17.220	5.14523	0.150	12						
5	18.040	4.91316	0.210	8						
6	18.900	4.69149	0.210	13	4.685	6	0 -2 1			
7	19.880	4.46238	0.240	10						
8	20.840	4.25893	0.300	9						
9	21.960	4.04418	0.240	39	4.042	35	-2 0 1	4.03	84	-2 0 1
10	22.740	3.90720	0.240	21	3.904	16	1 -1 1	3.88	20	1 -1 1
11	23.640	3.76045	0.210	45	3.759	70	-1 3 0	3.75	61	1 1 1
12	24.400	3.64501	0.270	27	3.632	12	1 3 0	3.63	28	1 3 0
13	25.300	3.51735	0.300	12						
14	25.620	3.47414	0.180	16	3.471	20	-1 -1 2	3.47	8	-1 -1 2
15	25.960	3.42940	0.210	11	3.426	2	-2 -2 1	3.42	3	-2 -2 1
16	26.440	3.36822	0.240	22	3.365	30	-1 1 2	3.37	15	-1 1 2
17	26.600	3.34832	0.150	17						
18	27.600	3.22924	0.120	61	3.241	40	-2 2 0	3.21	100	-2 2 0
19	27.740	3.21326	0.270	100	3.210	70	0 4 0	3.21	100	0 4 0
20	28.000	3.18401	0.210	84	3.181	100	0 0 2	3.18	88	0 0 2
21	28.400	3.14006	0.240	27	3.132	35	2 2 0	3.13	30	2 2 0
22	29.560	3.01943	0.180	43	3.027	25	1 -3 1	3.02	14	1 -3 1
23	29.680	3.00749	0.300	54						
24	30.300	2.94735	0.450	35	2.951	30	0 -4 1	2.949	19	0 -4 1
25	30.680	2.91171	0.240	27	2.910	10	-2 -2 2	2.911	10	-2 -2 2

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

Peak No.	回折角度 2θ (°)	面間隔 d (Å)	半価幅 Δ (°)	相対強度 I / I ₀	Triclinic JCPDS 18-1202			Triclinic JCPDS 20-0572		
					d (Å)	I / I ₀	h k l	d (Å)	I / I ₀	h k l
26	31.480	2.83951	0.180	20	2.834	30	1 3 1	2.835	17	1 3 1
27	31.740	2.81684	0.180	11	2.822	16	-1 -3 2	2.815	6	-1 -3 2
28	32.100	2.78607	0.210	19						
29	33.720	2.65583	0.240	12	2.650	18	-1 3 2	2.656	7	-1 3 2
30	34.900	2.56869	0.330	31	2.547	6	2-2 1	2.518	23	2-2 1
31	35.520	2.52526	0.240	40						
32	35.760	2.50886	0.240	28	2.515	40	-2 -4 1	2.518	23	-2 -4 1
33	36.300	2.47277	0.240	28	2.465	2	-2 4 0	2.455	4	-2 4 0
34	37.140	2.41875	0.210	9	2.418	4	-3 1 0	2.417	3	-1 -5 1
35	37.600	2.39020	0.150	7						
36	38.180	2.35522	0.120	7				2.354	2	-1 5 1
37	38.640	2.32823	0.180	6						
38	38.960	2.30984	0.150	7	2.308	4	-3 3 1	2.300	4	-3 3 1
39	39.420	2.28394	0.180	18	2.282	2	-3 -3 1	2.280	6	-3 -3 1
40	39.740	2.26628	0.240	11				2.268	3	-1 1 3
41	40.400	2.23077	0.150	8	2.228	4	1-5 1			
42	40.900	2.20465	0.150	9	2.210	2	-3 -3 2			
43	41.580	2.17015	0.150	8						
44	42.160	2.14163	0.330	21	2.140	16	0 6 0	2.142	8	0 6 0
45	42.540	2.12337	0.150	14	2.132	35	2-4 1	2.121	10	2-4 1
46	42.760	2.11295	0.150	11	2.101	12	1 5 1	2.103	4	1 5 1
47	44.340	2.04126	0.390	14	2.019	2	-4 0 2	2.061	3	-4 0 2
48	45.540	1.99022	0.180	8				1.989	5	0 6 1
49	47.140	1.92633	0.150	9	1.927	4	-4 -2 2	1.921	7	-4 -2 2
50	48.360	1.88055	0.180	9	1.879	2	2 2 2	1.875	8	2 2 2

済州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

51	49.220	1.84968	0.150	9	1.848	2	-4	0	3	1.847	8	-4	0	3
52	49.680	1.83363	0.330	13	1.835	10	4	0	0	1.835	4	0	-6	2
53	50.040	1.82128	0.150	10	1.819	2	2	6	0	1.820	11	2	6	0
54	50.720	1.79844	0.210	10	1.799	10	1	1	3	1.794	7	1	1	3
55	51.460	1.77431	0.180	15	1.772	12	-2	0	4	1.773	14	-2	0	4
56	51.960	1.75840	0.150	13	1.755	2	-2	4	2	1.745	5	2	-4	2
57	52.140	1.75275	0.210	14	1.716	4	0	4	3	1.712	5	-4	4	1
58	52.280	1.74839	0.180	13										
59	53.360	1.71552	0.180	8										
61	54.560	1.68059	0.150	8										
61	55.780	1.64669	0.150	8						1.612	3	3	5	3
62	56.420	1.62952	0.180	19						1.540	3	3	5	1
63	57.060	1.61275	0.270	7										
64	58.260	1.58236	-	6										
65	59.880	1.54386	0.210	9										
66	61.560	1.50521	0.150	13										
67	62.200	1.49125	0.150	15										
68	63.820	1.45725	0.150	7										
69	64.080	1.45196	0.150	7										
70	64.520	1.44312	0.150	7										
71	65.780	1.41849	0.180	9										
72	65.960	1.41506	0.120	11										
73	66.520	1.40450	0.150	10										
74	67.000	1.39560	0.240	7										
75	67.200	1.39193	0.150	8										
76	67.500	1.38647	0.180	8										
77	67.740	1.38214	0.150	8										
78	68.260	1.37287	0.180	7										
79	68.460	1.36935	0.150	7										
80	68.680	1.36550	0.120	7										

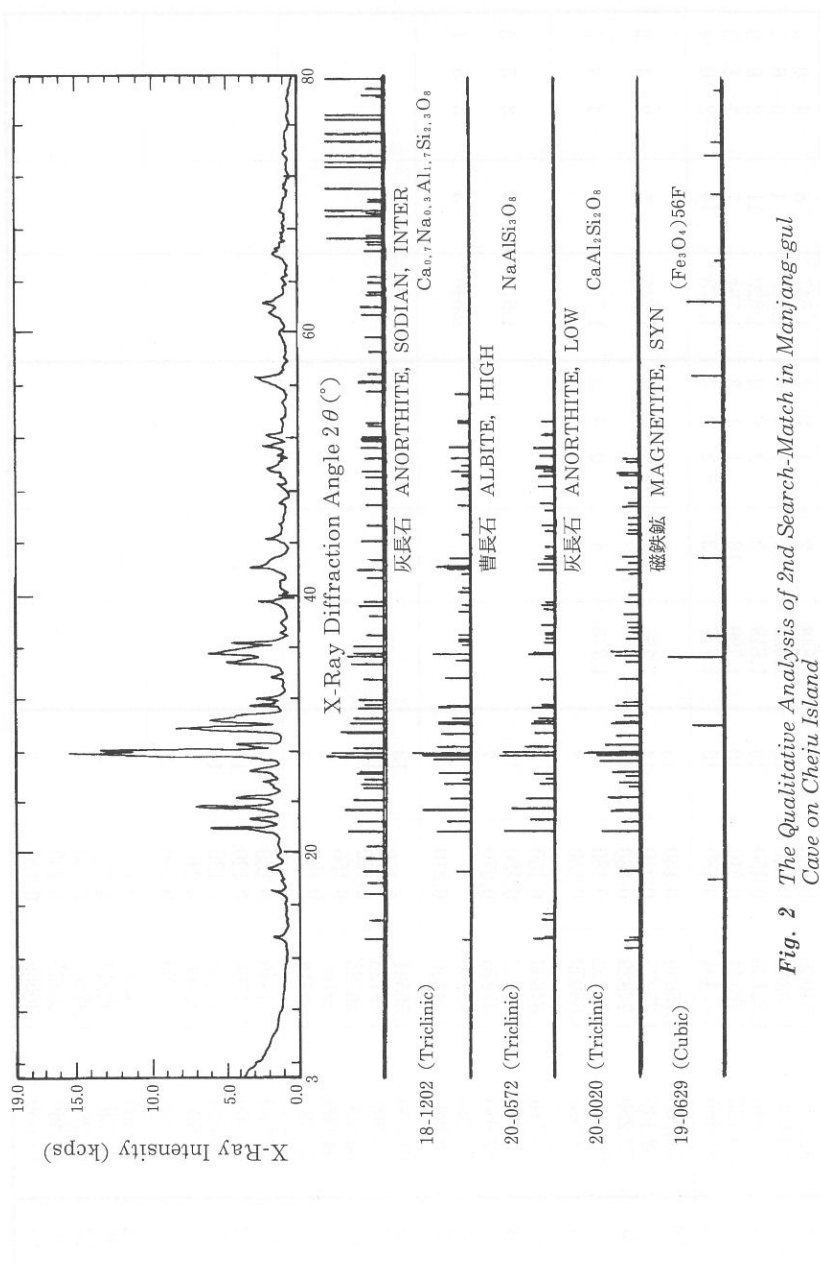


Fig. 2 The Qualitative Analysis of 2nd Search-Match in Marjang-gul Cave on Cheju Island

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系(沢、洪、河野)

ク番号・半値幅(°) / モデルA・モデルBの面指数を用いて比較を行った。半値幅が大きいけれども面指数がないピークの番号は、No. 8(半値幅:0.30)、No.13(半値幅:0.30) およびNo.24(半値幅:0.45)の3個である。面指数としてモデルAとモデルBには、次の7個である。すなわち、

No.12・0.27/(130)面・(130)面 No.19・0.27/(040)面・(040)面
No.30・0.33/(2-21)面・(2-21)面 No.30・0.33/(2-21)面・(2-21)面
No.44・0.33/(060)面・(060)面 No.47・0.39/(-402)面・(-402)面
No.52・0.33/(400)面・(0-62)面

② 相対強度:

相対強度が30%以上の面指数はTable 1、Fig. 1およびFig. 2に示したのである。この中でピーク番号/相対強度(%) / モデルA・モデルBの面指数を用いて比較を行った。すなわち、

No. 9 / 39 / (-201)面・(-201)面 No.11 / 45 / (-130)面・(111)面
No.18 / 61 / (-220)面・(-220)面 No.19 / 100 / (040)面・(040)面
No.20 / 84 / (002)面・(002)面 No.22 / 43 / (1-31)面・(1-31)面
No.24 / 35 / (0-41)面・(0-41)面 No.30 / 31 / (2-21)面・(2-21)面

2.2 二次検索の定性分析

一次検索の定性分析の検索条件は^{10, 11}次のとおりである。すなわち、①信頼性係数再評価をする、②平滑化点数は9点、③最低一致率は10%、④一致判定許容幅は3、⑤信頼性係数閾値は50、⑥回折角度は $2\theta = 3 \sim 80$ 度、⑦検索ファイルは鉱物ファイル、⑧検索方法はファイル1だけ検索する、⑨不定成分は水素・酸素と炭素、⑩元素指定方法は指定元素のみ、⑪主成分はアルミニウム・ケイ素と鉄、⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子をともに用いる、最後に、⑬微成分はマグネシウム・ナトリウム・カルシウム・カリウム・チタンと燐などである。

3 検 討

3.1 熔岩石柱の定量分析と結晶構造の決め方

自動定性オーダー分析によると、この熔岩石柱の定量分析値（重量百分率：Wt%）^{8, 9)} は次の15成分である。

Na₂O (3.60), MgO (5.50), Al₂O₃ (17.00), SiO₂ (49.00), P₂O₅ (0.28), SO₃ (0.05), K₂O (0.86), CaO (8.10), TiO₂ (2.10), Cr₂O₃ (0.06), MnO (0.20), Fe₂O₃ (13.00), SrO (0.05), ZrO₂ (0.02), NbO (0.00)。

この試料に近い成分は、**Table 2** と **Fig. 2** のようにJCPDS物質の番号・化学式・岩石名および結晶構造である。このサンプルに近い成分は、次のとおりである。すなわち、

- 第1 にNo.18-1202 (Ca_{0.7}, Na_{0.3})(Si_{2.3}, Al_{1.7}) O₈ 灰長石の三斜晶系
- 第2 にNo.20-0572 NaAlSi₃O₈ 曹長石の三斜晶系
- 第3 にNo.20-0020 CaAl₂Si₂O₈ 灰長石の三斜晶系
- 第4 にNo.19-0629 SiO₂ 磁鉄鉱の立方晶系。

ここでは定量分析値に対応する結晶構造の面指数は、**Table 2** のように第1のNo.18-1202と第2のNo.20-0572の三斜晶系並びに第4の立方晶系などを参照し、X線回折による結晶構造の解析と格子定数を求めたのである。

3.2 三斜晶系の格子定数の決め方

三斜晶系の格子定数は、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¹⁰⁾。

$$\frac{1}{d(hkl)^2} = \frac{1}{V^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl) \dots\dots\dots (2)$$

$$V = ABC \sqrt{(1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma + 2\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma)} \dots\dots\dots (3)$$

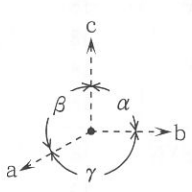
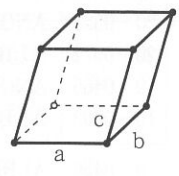
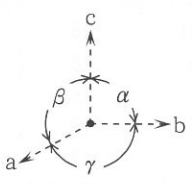
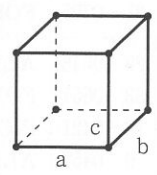
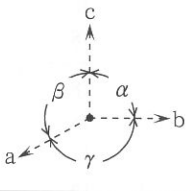
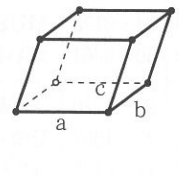
$$S_{11} = B^2 C^2 \sin^2 \alpha \dots\dots\dots (4)$$

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系 (沢、洪、河野)

Table 2 *The Qualitative Analysis of 1st Search-Match (JCPDS Number, Chemical Formula, Numbers of Peak, Agreement Points and Confidence Coefficient) in Manjang-gul Cave on Cheju Island*

No.	カード No.	化 学 式	元 標準ピーク 本 数	一致本数	信頼性係数
1	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	17	631
2	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	18	585
3	20-0572	ALBITE, HIGH	18	17	570
4	9-0465	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	18	544
5	10-0393	ALBITE, HIGH	18	18	531
6	9-0456	ALBITE, CALCIAN, HIGH, SYN	18	18	484
7	12-0301	ANORTHITE, LOW	18	18	478
8	10-0360	ANORTHITE, SODIAN, HIGH, SYN	18	17	464
9	20-0020	ANORTHITE, LOW	18	18	432
10	31-0795	FORSTERITE, FERROAN	18	16	374
11	20-0548	ALBITE, CALCIAN, HIGH	18	18	371
12	33-0657	FORSTERITE, FERROAN	18	16	304
13	13-0421	PIGEONITE	18	15	303
14	9-0457	ALBITE, CALCIAN, LOW	18	15	272
15	11-0654	DIOPSIDE	18	14	264
16	17-0548	CLINOFERROSILITE, SYN	12	9	257
17	24-0201	AUGITE	18	14	237
18	24-0203	AUGITE	18	16	198
19	34-0175	MUSCOVITE-2M2	18	13	173
20	30-0664	LAIHUNITE	18	17	172
21	29-0330	AFWILLITE	18	11	171
22	28-1037	USSINGITE	18	13	160
23	13-0122	ANDALUSITE	18	13	159
24	19-1184	ALBITE, LOW	18	15	158
25	20-0554	ALBITE, LOW	18	15	156
26	31-0809	CLINOHUMITE, HYDROXYL, SYN	18	12	148
27	13-0294	CORDIERITE, SYN	18	16	143
28	24-0202	AUGITE, ALUMINIAN	18	14	139
29	19-0629	MAGNETITE, SYN	11	8	138
30	25-0154	DIOPSIDE, ALUMINIAN, SYN	18	15	137

Table 3 The Crystal System, Crystallographic Axis, Bravais Lattice, Space Lattice in Manjang-gul Cave on Cheju Island

Crystal System	Crystallographic Axis	Bravais Lattice	Space Lattice
单斜晶系 (Monoclinic)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ 	单纯格子 P (Primitive Lattice) 底心格子 C (Base Centered Lattice)	
立方晶系 (Cubic)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 	体心格子 I (Body Centered Lattice) 单纯格子 P (Primitive Lattice) 面心格子 F (Face Centered Lattice)	
三斜晶系 (Triclinic)	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ 	单纯格子 P (Primitive Lattice)	

$$S_{22} = A^2 C^2 \sin^2 \beta \dots\dots\dots (5)$$

$$S_{33} = A^2 B^2 \sin^2 \gamma \dots\dots\dots (6)$$

$$S_{12} = ABC^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma) \dots\dots\dots (7)$$

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系(沢、洪、河野)

$$S_{23} = A^2BC (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) \dots\dots\dots (8)$$

$$S_{13} = AB^2C (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta) \dots\dots\dots (9)$$

式(2)は、面間隔 [d (hkl)]、ブラッグの反射条件式の面指数 (hkl)、格子定数 (A, B, C) および軸角 (α, β, γ) の間の関係を示すものである。数値計算用の原始データを **Table 1** に示す。

A, B, C および α, β, γ の数値計算は次の手順で求めた。

(手順1) まず6次元の変数 ($h^2, k^2, l^2, hk, kl, hl$) を $1/\{d(hkl)\}^2$ に最小2乗回帰させて、重回帰係数 X_1, \dots, X_6 を推定する。

(手順2) Newtonの逐次近似法 (Brent法) を適用して、式(3), \dots , 式(9)を連立させる近似解 A, B, C, α, β, γ を求める。

こうして求めた値はサンプルの測定値と少なくとも有効数値4桁まで一致し、数値解法の実用性が確認された。なお、Brent法の適用には「日立数値計算プログラムライブラリMSL II」を使った。

3.3 線形回帰モデル (付クラメールの公式の適用例)

$$(1/V^2) B^2C^2 \sin^2 \alpha = X_1 \dots\dots\dots (10)$$

$$(1/V^2) A^2C^2 \sin^2 \beta = X_2 \dots\dots\dots (11)$$

$$(1/V^2) A^2B^2 \sin^2 \gamma = X_3 \dots\dots\dots (12)$$

$$(1/V^2) 2ABC^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma) = X_4 \dots\dots\dots (13)$$

$$(1/V^2) 2A^2BC (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) = X_5 \dots\dots\dots (14)$$

$$(1/V^2) 2AB^2C (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta) = X_6 \dots\dots\dots (15)$$

と置き、(この節だけ) $1/\{d(hkl)\}^2, h^2, k^2, l^2, hk, kl, hl$ をそれぞれ $\mu, \alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ と書くと線形回帰モデルは

$$\mu = X_1 \alpha + X_2 \beta + X_3 \gamma + X_4 \delta + X_5 \epsilon + X_6 \zeta + R \text{ (誤差項)}$$

また、列ベクトルからつくられる行列をそれぞれ、 $Y = (\mu), X = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta), B = (X_1, \dots, X_6)$ と略記すると、正規方程式は $X'XB$

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系(沢、洪、河野)

= X'Y。これから B = (X'X)⁻¹X'Y。クラームルの公式を適用した場合の形を以下に示す。

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \epsilon & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \epsilon & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \alpha \epsilon & \Sigma \beta \epsilon & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \epsilon^2 & \Sigma \epsilon \zeta \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \epsilon \zeta & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

まず、式(10)の X₁の正しい値はクラームルの公式から式(17)のようになる。

$$X_1 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \epsilon & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \epsilon & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \gamma \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \delta \mu & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \epsilon \mu & \Sigma \beta \epsilon & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \epsilon^2 & \Sigma \epsilon \zeta \\ \Sigma \zeta \mu & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \epsilon \zeta & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots (17)$$

この式(17)の X₁の計算値では、モデルAが0.018205とモデルBが0.018530である。つぎに、式(11)の X₂の正しい値はクラームルの公式から式(18)のようになる。

$$X_2 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \epsilon & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \epsilon & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \delta \mu & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \alpha \epsilon & \Sigma \epsilon \mu & \Sigma \gamma \epsilon & \Sigma \delta \epsilon & \Sigma \epsilon^2 & \Sigma \epsilon \zeta \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \zeta \mu & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \epsilon \zeta & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots (18)$$

この式(18)の X₂の計算値は、モデルAが0.006362とモデルBが0.006059である。また式(12)の X₃の正しい値はクラームルの公式から式(19)のようになる。

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

$$X_3 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \delta \mu & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \varepsilon \mu & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \varepsilon^2 & \Sigma \varepsilon \zeta \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \zeta \mu & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \varepsilon \zeta & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots (19)$$

この式(19)の X_3 の計算値は、モデルAが 0.024100 とモデルBが 0.024664 である。この式(13)の X_4 の正しい値はクラームルの公式から式(20)のようになる。

$$X_4 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta \mu & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \varepsilon \mu & \Sigma \varepsilon^2 & \Sigma \varepsilon \zeta \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \zeta \mu & \Sigma \varepsilon \zeta & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots (20)$$

この式(20)の X_4 の計算値は、モデルAが -0.000102 とモデルBが 0.000741 である。また式(14)の X_5 の正しい値はクラームルの公式から式(21)のようになる。

$$X_5 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \mu & \Sigma \alpha \zeta \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \mu & \Sigma \beta \zeta \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \mu & \Sigma \gamma \zeta \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \mu & \Sigma \delta \zeta \\ \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \varepsilon \mu & \Sigma \varepsilon \zeta \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \zeta \mu & \Sigma \zeta^2 \end{vmatrix} \dots\dots (21)$$

この式(21)の X_5 の計算値は、モデルAが 0.003453 とモデルBが 0.001657 である。最後に式(15)の X_6 の正しい値はクラームルの公式から式(22)のようになる。

$$X_6 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta & \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \alpha \delta & \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \alpha \mu \\ \Sigma \alpha \beta & \Sigma \beta^2 & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \beta \delta & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \beta \mu \\ \Sigma \alpha \gamma & \Sigma \beta \gamma & \Sigma \gamma^2 & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \gamma \mu \\ \Sigma \alpha \delta & \Sigma \beta \delta & \Sigma \gamma \delta & \Sigma \delta^2 & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \delta \mu \\ \Sigma \alpha \varepsilon & \Sigma \beta \varepsilon & \Sigma \gamma \varepsilon & \Sigma \delta \varepsilon & \Sigma \varepsilon^2 & \Sigma \varepsilon \mu \\ \Sigma \alpha \zeta & \Sigma \beta \zeta & \Sigma \gamma \zeta & \Sigma \delta \zeta & \Sigma \varepsilon \zeta & \Sigma \zeta \mu \end{vmatrix} \dots\dots (2)$$

この式(2)の X_6 の計算値はモデルAが0.016756とモデルBが0.018873である。

3.4 グループ分析値と三斜晶系の格子定数

萬丈窟のグループ分析による重量百分率 (Wt%)^{8, 9)} は、次のとおりである。

Na₂O(3.071), MgO(6.482), Al₂O₃(14.697), SiO₂(53.073), P₂O₅ (0.311), K₂O (1.045), CaO (7.821), TiO₂ (2.025), MnO (0.136), Fe₂O₃(11.338)。

コンピュータによる格子定数の数値計算は、モデルAとBに次のように分類した。まずモデルAにおいて、回帰係数の標準誤差 (Table 4) は、それぞれ $X_1 : 0.0006903$ 、 $X_2 : 0.0002495$ 、 $X_3 : 0.0009604$ 、 $X_4 : 0.0006359$ 、 $X_5 : 0.0008894$ および $X_6 : 0.0013638$ である。なお、Brent法に適用した初期ベクトル (Table 5) は、 $A_v=9.0000$ 、 $B_v=10.0000$ 、 $C_v=8.0000$ および $\alpha_v=1.5700$ 、 $\beta_v=1.9200$ 、 $\gamma_v=1.5700$ である。T値 (Table 6) は、それぞれ $X_1 : 26.37$ 、 $X_2 : 25.50$ 、 $X_3 : 25.09$ 、 $X_4 : 0.16$ 、 $X_5 : 3.88$ および $X_6 : 12.29$ である。決定係数 (Table 7) は0.96318、多重相関係数は0.98142。残差の標準誤差は

Table 4 The Standard Error of Regression Coefficient in Manjang-gul Cave on Cheju Island

Model	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
A=MANJ-M18	0.0006903	0.0002495	0.0009604	0.0006359	0.0008894	0.0013638
B=MANJ-M20	0.0000475	0.0000125	0.0000522	0.0000348	0.0000469	0.0000834
Average	0.0003689	0.0000873	0.0003375	0.0002236	0.0003121	0.0004824

Table 5 The Initial Vector in Manjang-gul Cave on Cheju Island

Model	A_v	B_v	C_v	α_v	β_v	γ_v
A=MANJ-M18	9.0000	10.0000	8.0000	1.5700	1.9200	1.5700
B=MANJ-M20	8.1044	12.6895	7.1129	1.7256	1.9873	1.5041
Average	8.5522	11.3448	7.5565	1.6478	1.9537	1.5371

Table 6 The Computed T Values in Manjang-gul Cave on Cheju Island

Model	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
A=MANJ-M18	26.37	25.50	25.09	0.16	3.88	12.29
B=MANJ-M20	390.14	486.21	472.78	21.27	35.36	226.25
Average	208.26	255.86	248.94	10.72	19.62	119.27

Table 7 The Coefficient of Determination, Multiple Correlation Coefficient, Standard Error of Dependent Variable and F-Value in Manjang-gul Cave on Cheju Island

Model	Coefficient of Determination	Multiple Correlation Coefficient	STD.Error Dependent Variable	F-Value
A=MANJ-M18	0.96318	0.98142	0.018510	178
B=MANJ-M20	0.99987	0.99994	0.001100	56980
Average	0.98153	0.99068	0.009805	28579

0.018510、F値は178であった。これらの統計量からTable 8に示すように格子定数はA軸=8.104 Å、B軸=12.690 Å、C軸=7.113 Åおよび軸角は α 角=98.9°、 β 角=113.9°、 γ 角=86.2°であることが統計的に検証された。

つぎにモデルBにおいて、回帰係数の標準誤差 (Table 4) は、それぞれ X_1 : 0.0000475、 X_2 : 0.0000125、 X_3 : 0.0000522、 X_4 : 0.0000348、 X_5 : 0.0000469および X_6 : 0.0000834であった。なお、Brent法に適用した初期ベクトル (Table 5) は、 $A_v=8.1044$ 、 $B_v=12.6895$ 、 $C_v=7.1129$ および $\alpha_v=1.7256$ 、 $\beta_v=1.9873$ 、 $\gamma_v=1.5041$ である。T値 (Table 6) は、それぞれ X_1 : 390.14、

済州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

Table 8 *The Lattice Constants (Å for At, Bt and Ct) and Lattice Angle (° for αt , βt and γt) in Manjang-gul Cave on Cheju Island*

Model	At (Å)	Bt (Å)	Ct (Å)	αt (°)	βt (°)	γt (°)
A=MANJ-M18	8.104	12.690	7.113	98.9	113.9	86.2
B=MANJ-M20	8.187	12.880	7.108	93.3	116.1	90.3
Average	8.146	12.785	7.111	96.1	115.0	88.3
18-1202	8.176	12.865	7.102	93.3	116.2	90.3
20-0572	8.149	12.880	7.106	93.4	116.3	90.3

X_2 : 486.21、 X_3 : 472.78、 X_4 : 21.27、 X_5 : 35.36および X_6 : 226.25である。決定係数（Table 7）は0.99987、多重相関係数は0.99994。残差の標準誤差は0.001100、F値は56980であった。これらの統計量からTable 8に示すように格子定数はAt軸=8.187Å、Bt軸=12.880Å、Ct軸=7.108Åおよび軸角は αt 角=93.3°、 βt 角=116.1°、 γt 角=90.3°であることが統計的に検証された。

3.5 鹿蹄洞窟と萬丈窟双子石柱の格子定数

格子定数Atについて、鹿蹄洞窟における格子定数は8.164Åから8.172Åまでの範囲で、その差と平均値はそれぞれ0.008Åと8.167Åである。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は8.146Åである。この両者間の平均と差異は、それぞれ8.157Åと0.021Åである。

格子定数Btについて、鹿蹄洞窟における格子定数は12.86Åから12.890Åまでの範囲で、その差と平均値はそれぞれ0.030Åと12.877Åである。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は12.785Åである。この両者間の平均と差は、それぞれ12.831Åと0.092Åである。

格子定数Ctについて、鹿蹄洞窟における格子定数は7.106Åから7.111Åまでの範囲で、その差と平均値はそれぞれ0.005Åと7.108Åである。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は7.111Åである。この両者間の平均と差は、そ

Table 9 The Composition and Lattice Constants (Å for A, B and C) and Lattice Angle (° for α , β and γ) in Manjang-gul Cave on Cheju Island and Luti-dong Cave on the Paekdu-san Volcanoes

Element	Luti-dong Cave			Mt. Paekdu-san MIN/MAX	Manjang-gul Cave	Cheju Island MIN/MAX	Cave Average	Luti-Manj
	South Position	Middle Position	North Position					
Na ₂ O (Wt%)	3.562	3.488	2.823	2.8 / 6.1	3.265	2.1 / 6.4	3.285	0.026
MgO (Wt%)	4.121	4.501	3.222	0.0 / 4.6	6.148	0.1 / 10.6	4.498	-2.200
Al ₂ O ₃ (Wt%)	18.410	17.290	17.230	10.9 / 18.4	15.167	13.8 / 19.2	17.024	2.476
SiO ₂ (Wt%)	50.230	49.790	51.840	47.5 / 72.9	50.987	45.1 / 65.5	50.712	-0.367
P ₂ O ₅ (Wt%)	0.380	0.413	0.288	0.0 / 0.8	0.297	0.1 / 1.0	0.345	0.063
K ₂ O (Wt%)	1.280	1.354	1.483	1.3 / 5.5	1.038	0.8 / 5.6	1.289	0.334
CaO (Wt%)	9.159	8.886	7.648	0.2 / 9.2	8.062	1.1 / 10.1	8.439	0.502
TiO ₂ (Wt%)	2.309	2.435	2.374	0.2 / 2.6	2.150	0.1 / 0.3	2.317	0.223
MnO (Wt%)	0.117	0.122	0.091	0.1 / 0.2	0.163	0.1 / 0.3	0.123	-0.053
Fe ₂ O ₃ (Wt%)	9.048	9.749	8.548	2.0 / 10.1	12.557	1.1 / 11.9	9.976	-3.442
結晶系								
六方晶系 A (Å)	4.914	4.901	4.903					
六方晶系 C (Å)	5.415	5.429	5.460					
立方晶系 A (Å)					8.549			
単斜晶系 A (Å)	9.774	9.774	9.761		6.967		8.368	2.803
単斜晶系 B (Å)	8.936	8.907	8.920		7.670		8.295	1.251
単斜晶系 C (Å)	5.191	5.178	5.174		5.093		5.137	0.088
単斜晶系 β (°)	116.370	116.360	116.290		90.730		103.555	25.610
三斜晶系 A (Å)	8.166	8.172	8.164		8.146		8.157	0.021
三斜晶系 B (Å)	12.890	12.880	12.860		12.785		12.831	0.092
三斜晶系 C (Å)	7.106	7.106	7.111		7.111		7.109	-0.003
三斜晶系 α (°)	93.300	93.400	93.300		96.100		94.717	-2.767
三斜晶系 β (°)	116.100	116.100	116.100		115.000		115.550	1.100
三斜晶系 γ (°)	90.800	91.000	90.600		88.300		89.550	2.500

れぞれ 7.109\AA と -0.003\AA である。

軸角 α_t について、鹿蹄洞窟における格子定数は 93.300° から 93.400° までの範囲で、その差と平均値はそれぞれ 0.1° と 93.333° である。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は 96.100° である。この両者間の平均と差は、それぞれ 94.717° と -2.767° である。

軸角 β_t について、鹿蹄洞窟における格子定数は 116.100° で同じである。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は 115.000° である。この両者間の平均と差は、それぞれ 115.550° と 1.100° である。

軸角 γ_t について、鹿蹄洞窟における格子定数は 90.600° から 91.000° までの範囲で、その差と平均値はそれぞれ 0.4° と 88.300° である。一方、萬丈窟双子石柱における格子定数は 88.300° である。この両者間の平均と差は、それぞれ 89.550° と 2.500° である。

4 おわりに

萬丈窟にある双子熔岩石柱に対して行ったX線回折図形とコンピュータ処理により、三斜晶系の格子定数と軸角を決定することができた。次のように要約される。

(a) 結晶構造と格子定数

この熔岩のサンプルは、石英・輝長石・曹長石・斜長石と同質である。これは蛍光X線分析の含有率とX線分析の解析から得られた相関性によるものである。また、結晶構造は立方晶系、単斜晶系および三斜晶系の3つを混合した晶系であることが確認された。この報告における三斜晶系の格子定数と軸角は次のとおりである。すなわち、

モデルA：格子定数では、A軸= 8.104\AA 、B軸= 12.690\AA 、C軸= 7.113\AA

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

軸角では、 α 角 = 98.9°、 β 角 = 113.9°、 γ 角 = 86.2°
モデル B : 格子定数では、A 軸 = 8.187 Å、B 軸 = 12.880 Å、C 軸 = 7.108 Å
軸角では、 α 角 = 93.3°、 β 角 = 116.1°、 γ 角 = 90.3°
平均 : 格子定数では、A 軸 = 8.146 Å、B 軸 = 12.785 Å、C 軸 = 7.111 Å
軸角では、 α 角 = 96.1°、 β 角 = 115.0°、 γ 角 = 88.3°

(b) モデル A と B の比較

モデル A の格子定数は、モデル B よりも大きい格子定数と角度は、C 軸と α である。その他は逆である。

(c) 鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩石柱の比較

格子定数 A_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 8.167 Å と 8.146 Å である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 8.157 Å と 0.021 Å である。格子定数 B_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 12.877 Å と 12.785 Å である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 12.831 Å と 0.092 Å である。格子定数 C_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 7.108 Å と 7.111 Å である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 8.109 Å と -0.003 Å である。軸角 α_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 93.333° と 96.100° である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 94.717 Å と -2.767° である。軸角 β_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 116.100° と 115.000° である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 115.550° と 1.100° である。軸角 γ_t について、鹿蹄洞窟と萬丈窟における熔岩の平均格子定数は、それぞれ 90.800° と 115.000° である。この両者間の平均と差異は、それぞれ 115.550° と 1.100° である。

謝 辞

この研究は、本学研究補助金による成果である。この試料の採集などには、

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系(沢、洪、河野)

中国延辺大学と本学の関係者に感謝の意を表したい。この論文のデータ作成にあたり、理学電機工業(株) 閑歳浩平氏・(株) リガクの入江成夫氏に多くのご協力を頂いた。さらに、第1回白頭山国際共同研究調査団員(板谷徹丸博士、傍島茂雄氏、鄭大聲博士、中岡愛彦氏、中島保教授ならびに林信太郎博士)の関係各位に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 王季平編「白頭山誌」吉林文史出版社(1989)
- (2) 洪永国「白頭山の地質」*Jour. Geol. Soc. Korea* 26 (1990) p.199~126
- (3) 沢勲「白頭山への道」大阪経済法科大学出版部(1992)
- (4) H.Okada, T.Itaya, I.Sawa and S.H.Hong「K-Ar Age Determination of a Stalagmite in Manjyang-gul, Jeju Island, Korea」*J. SE Asian Earth Sci.* 6 (1991) P.127-130
- (5) 沢勲・村田守・河野久征:「白頭山の鹿鳴洞と濟州火山島の萬丈窟における溶岩洞窟の成分比較」洞窟学雑誌 15 (1990) P.42~46
- (6) 沢勲・村田守・洪始煥・鹿島愛彦:「大韓民国萬丈窟双子熔岩石柱について二、三の知見」洞窟学雑誌 15 (1990) P.42~46
- (7) 諏訪彰編「富士山—その自然のすべて—」同文書院(1992)
- (8) 沢勲:「濟州火山島の玄武岩と萬丈窟との溶岩分析」大阪経済法科大学論集 50 (1992) P.5~26
- (9) 沢勲・洪始煥:「萬丈窟の溶岩石柱と濟州火山島の溶岩に関する定量分析」大阪経済法科大学論集 54 (1993) P.35~62
- (10) 沢勲・劉忠傑・河野久征:「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 (1996) P.29~61
- (11) 沢勲・劉忠傑・河野久征:「白頭山、鹿蹄洞溶岩に関する三斜晶系の格子定数」大阪経済法科大学論集 66 (1996) P.21~47
- (12) 沢勲・劉忠傑・林哲浩・河野久征:「白頭山、天池気象駅の東側にある溶岩と濟州火山島の定量分析」大阪経済法科大学論集 57 (1994) P.59~84

濟州火山島の萬丈窟熔岩石柱と白頭山鹿蹄洞の熔岩に関する組成と三斜晶系（沢、洪、河野）

- (13) 沢勲・劉忠傑・林哲浩・河野久征：「白頭山、鹿鳴峰の北側にある溶岩洞窟と濟州火山島の萬丈窟の定量分析」大阪經濟法科大学論集 58 （1994）
P.7～38

