

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近に ある土質の単斜晶系と成分

沢	勲	Isao	SAWA
洪	忠烈	Choong-Ryeal	HONG
河	野久征	Hisayuki	KOHNO

[*The Computer Processing of Components and Monoclinic System of the Soil Samples from Jetavanavihara, India*]

ABSTRACT

Jetavanavihara is located in Sahet Mahet (or Sravasti) city, Bahraich, Uttra Pradesh State, northeastern of India. Sravasti city is located a vast collection of ruins in Gonda Districk, Oudh; Situated in lat. $27^{\circ}31'N$., and long. $82^{\circ}5'E$., on the south bank of Rapti river, 10 miles from Balrampur, and 6 miles from Ikauna. Jetavanavihara is wellknown as the first teaching place of buddha in the world.

It can be suggested that these facts are related to the crystal structure and lattice constants on the Soil samples on Jetavanavihara by X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials is monoclinic system. In the monoclinic system, it is found that the lattice constants (A, B and C axis), and axis angle (β) are,
 $A=11.2080\text{ \AA}$, $B=10.0528\text{ \AA}$, $C=8.9728\text{ \AA}$ and $\beta=127.63^{\circ}$ in model A,
 $A=7.6764\text{ \AA}$, $B=6.3880\text{ \AA}$, $C=7.2954\text{ \AA}$ and $\beta=109.06^{\circ}$ in model B.

Key words: Soil, Monoclinic System, Analysis of Lattice Constants

[大阪経済法科大学論集 第72号]

[*The Review of Osaka University of Economics and Law*, 72 (1998), p. 1-35]

1 はじめに

本研究における祇園精舎³⁾は、インド国の東北地方のSravasti市（Sahet Mahet:北緯27°31'と東経82°5'の地点）にある。祇園および精舎とは「祇樹給孤独園」の略および今の「寺院」のことである。祇園精舎は、釈尊が約2,500年前に初めて建立され、正法を説かれた「寺院」場所である。すなわち、日本や世界における仏教の源流地として考えられる。祇園精舎の土質⁴⁾に関する成分分析（含有量）や結晶構造（六方晶系の格子定数）の論文は、沢・河野ら⁵⁾が報告を行っている。祇園土の含有量（Wt%）⁴⁾は、Na₂O（0.73）、MgO（1.73）、Al₂O₃（16.32）、SiO₂（69.44）、P₂O₅（0.19）、K₂O（3.61）、CaO（0.62）、TiO₂（0.84）、MnO（0.07）、Fe₂O₃（6.45）である。

この論文では、X線回折法によって分析した結晶構造は、六方晶系・単斜晶系および非晶質成分の混晶である。前回の報告では、祇園精舎付近にある土質（祇土）の六方晶系の格子定数（Å）⁵⁾は、すなわち、 $A=4.9312\text{Å}$ 、 $C=5.3512\text{Å}$ および軸比（ C/A ） $=1.0852$ である。今回の研究では、単斜晶系の格子定数（ A 軸・ B 軸・ C 軸の3軸の長さ）および軸角 β （°）の値を、次のように求められた。

モデルAでは、 $A=11.2080\text{Å}$ 、 $B=10.0528\text{Å}$ 、 $C=8.9728\text{Å}$ および $\beta=127.63^\circ$ 、モデルBでは、 $A=7.6764\text{Å}$ 、 $B=6.3880\text{Å}$ 、 $C=7.2954\text{Å}$ および $\beta=109.06^\circ$ 。

モデルAはCD-ROM「JCPDS物質の番号（No.31-0966）のKAlSi₃O₈という長石（Sanidine）の単斜晶系」である。モデルBはCD-ROM「JCPDS物質の番号（No.20-0452）のCa（Al₂Si₂O₈）・4H₂OというGismondineの単斜晶系」である。単斜晶系の格子定数を算出は、モデルAとモデルBを参照した。格子定数の相違点は、各モデルにおける面指数の選択によって解析値が異なっているからである。このデータは東洋の二大聖者である孔子廟の構築物と比較し、双方の足跡に関する成因究明と共通点に一助としたい。

2 実験方法

2.1 試料調製のガラスビート作製

本研究に用いた試料は¹⁾、マンマーを用いて試料を約2 cmのチップに荒砕きし、超音波洗浄機を用いて蒸留水で洗浄した。これを恒温槽(110°C)で12時間以上乾燥後、ボールミルで200メッシュ以下に粉碎した。粉末試料はプラスチック製の試料瓶に入れて保存した。

試料と融剤の量を1:10の割合で混合し、希釈率としてガラスビートの作製方法は、サンプルには0.400 gとLiB₄O (四ホウ酸リチウム)を融剤として4.000 gを加えた。これらを十分に混合させてから白金ルツボに粉末試料を約1 g計量し、それをマッフル炉を用いて、そのルツボの蓋をかぶせ、最初の2分間は1200°Cに加熱して、その後、加熱したまま5分間も内動揺動させた。高周波炉の熔融温度(1200°C)と加熱時間(1200°C)以上灼熱した。灼熱した無水粉末試料をデシケータ内に十分冷却し、電子天秤で0.400 gを正確に秤量した。また融剤として使用する無水四ホウ酸リチウムを粉末試料との重量比率が正確に10:1となるように電子天秤で秤量した。用いた融剤は、マッフル炉によって700°Cで3時間以上乾燥したものを使用した。隔離剤としてはハロンガスを用いた。計量した粉末試料と融剤をメノウの乳鉢で十分に混合させた。これをAu-Pt合金(Au 5%, Pt 95%)の溶融ルツボに移し、理学電機工業社製気全自動卓上型高周波ビートサンプラーを用いてビートを作製した。粉末試料はプラスチック製の試料瓶に入れて保存した。

2.2 ピーク・サーチの定性分析

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SUS製のステンレス材の測定試料径(30 mm ϕ)のものを使用した。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・モノクロメータ使用)である。本装置では、制御コンピューターPC9821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

コンピュータ解析によるインド祇園精舍付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

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°） |
| ③ 散乱スリット（1°） | ④ 管内の電圧（40kV） |
| ⑤ 管内の電流（50mA） | ⑥ 走査軸（ $2\theta/\theta$ ） |
| ⑦ 受光スリット（0.15mm） | ⑧ サンプリング軸（0.020°） |
| ⑨ アタッチメント（標準試料ホルダー） | ⑩ 走査速度（4.00°/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（1.54056 Å）である。 | |

測定結果はオンラインで処理し、プリンターによって分析結果が出力されるようになっている。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、FORTRAN⁵⁾およびC言語である。この定性分析のチャートはFig. 1のとおりである。回折角度は、Cu α 線の 2θ を3度から90度までの範囲で行った。Fig. 1の定性分析を行うため、ピーク・サーチを行ったものがTable 1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⁶⁾。

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

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（3～90°）と波長によって計算した面間隔の範囲は、Table 1のとおりで、（26.43～1.20 Å）である。

相対強度4%以上をTable 1とFig. 1に表示下。面指数にすれば、次のとおりである。モデルAでは、相対強度4（021）面、17（20-1）面、4（11-2）面、100（220）面、4（20-2）面、13（002）面、4（11-3）面、5（241）面および10（350）面の9面指数である。これらの面間隔は、4.4937 Å（回折角度19.74°）から1.8197 Å（回折角度50.08°）の範囲にある。モデルBでは、相対強度4（012）面、17（12-1）面、4（12-2）面、100（130）面、13（310）面、4（14-2）面、5（214）面および10（440）面の8面指数である。これら

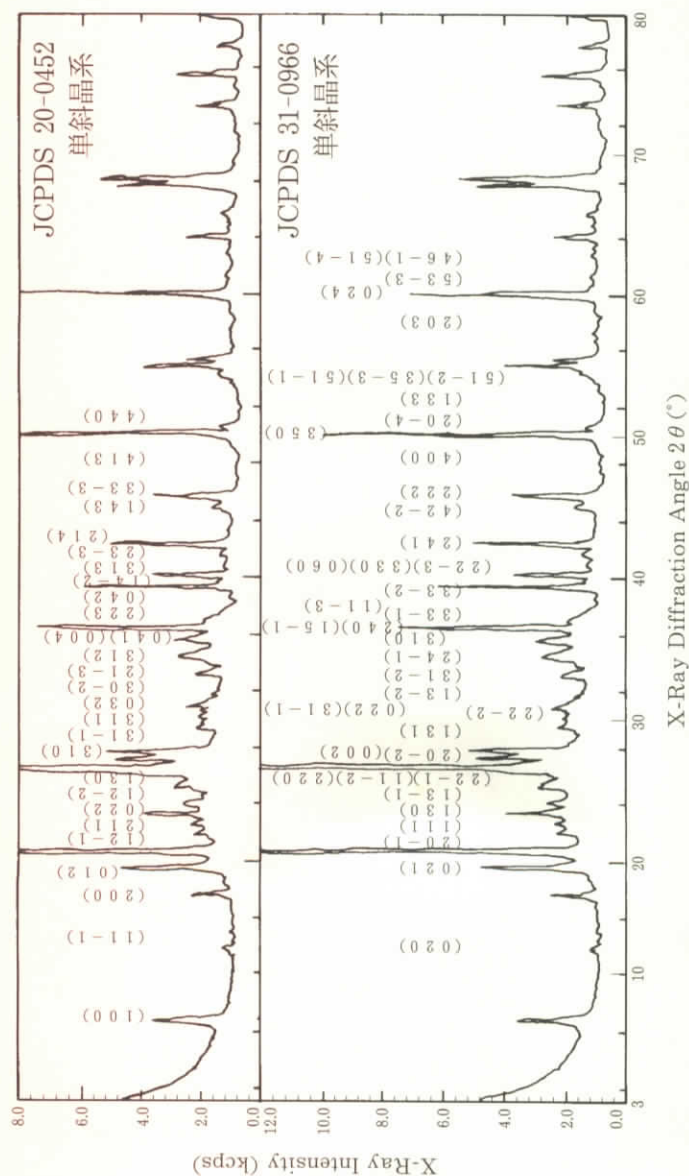


Fig. 1 The X-Ray Diffractograms of Soil Sample from Jetavanavihara, India

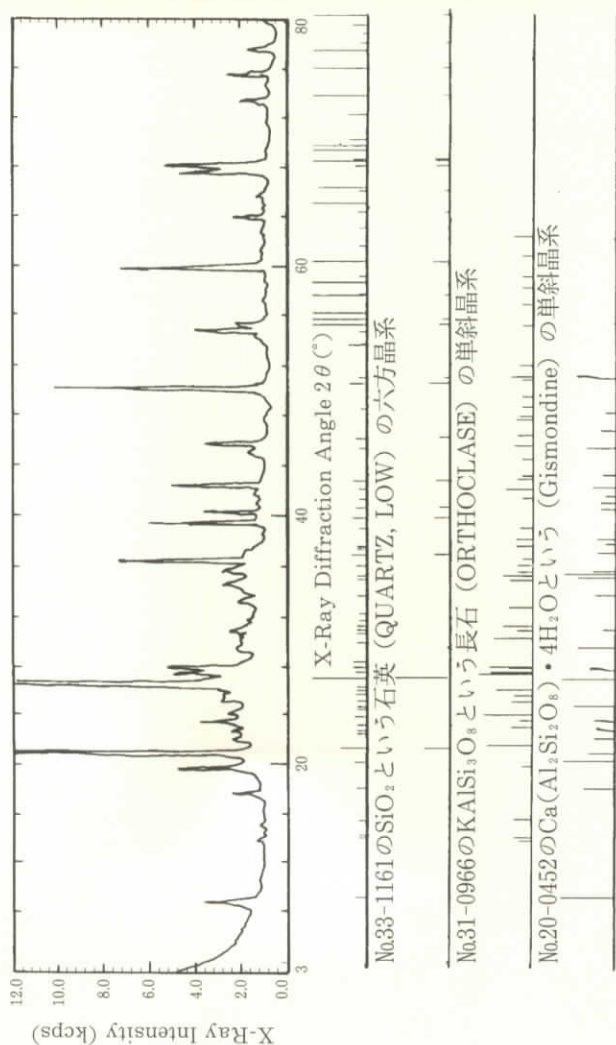


Fig. 2 The Qualitative Analysis of 2nd Search-Match of Soil Sample from Jetavanahihara, India

Table 1 The X-ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Relative Intensity and Half-Width) of Soil Sample from Jetavanavithara, India

Peak No.	回折角度 2θ (°)	面間隔 d (Å)	半値幅 Δ (°)	相対強度 I/I_0	Monoclinic JCPDS 31-0966				Monoclinic JCPDS 20-0452					
					d (Å)	I/I_0	h	k	l	d (Å)	I/I_0	h	k	l
1	3.340	26.43120	0.120	4										
2	6.200	14.24368	0.210	3						9.99	2	1	0	0
3	8.820	10.01756	0.180	8										
4	12.460	7.09806	0.210	2						5.93	2	1	1	1
5	13.820	6.40246	0.180	1	6.48	12	0	2	0	5.01	4	2	0	0
6	17.760	4.98998	0.210	3						4.47	4	0	1	2
7	18.740	4.73118	0.210	1	4.58	4	0	2	1	4.27	35	1	2	1
8	19.740	4.49371	0.450	4	4.22	70	2	0	1					
9	20.800	4.26703	0.180	17						4.05	4	2	1	1
10	21.560	4.11830	0.180	2										
11	22.000	4.03692	0.180	3	3.94	16	1	1	1					
12	22.320	3.97976	0.180	2										
13	22.840	3.89032	0.210	2										
14	23.240	3.82426	0.210	6	3.77	80	1	3	0					
15	23.500	3.78253	0.120	2										
16	23.800	3.73553	0.180	3										
17	24.240	3.66871	0.210	2	3.61	16	1	3	1	3.61	2	0	2	2
18	25.120	3.54214	0.240	2	3.54	12	2	2	1					
19	25.420	3.50102	0.180	3										
20	25.620	3.47414	0.180	4	3.47	45	1	1	2	3.43	2	1	2	2
21	26.600	3.34832	0.210	100	3.31	100	2	2	0	3.34	100	1	3	0
22	27.460	3.24538	0.180	4	3.29	60	2	0	2					
23	27.680	3.22009	0.210	13	3.24	65	0	0	2					
24	27.900	3.19519	0.210	6						3.19	18	3	1	0
25	29.460	3.02945	0.180	2						3.06	2	3	1	1
26	29.820	2.99369	0.270	3	2.992	50	1	3	1	2.99	2	3	1	1
27	30.280	2.94925	0.210	3	2.934	8	2	2	2					
28	30.780	2.90247	0.240	2	2.901	30	0	2	2	2.87	2	0	3	2
29	31.200	2.86435	0.240	3										
30	32.020	2.79285	0.300	2	2.783	2	3	1	1	2.82	2	3	0	2

Peak No.	回折角度 2θ (°)	面間隔 d (Å)	半値幅 Δ (°)	相対強度 I/I_0	Monoclinic JCPDS 31-0966					Monoclinic JCPDS 20-0452				
					d (Å)	I/I_0	h	k	l	d (Å)	I/I_0	h	k	l
31	33.140	2.70097	0.210	1	2.769	20	1	3-2		2.70	18	2	1-3	
32	34.400	2.60487	0.120	2	2.601	18	3	1-2		2.62	2	3	1	2
33	34.500	2.59755	0.120	2										
34	34.880	2.57011	0.300	3	2.571	30	2	4-1		2.56	2	0	4	1
35	35.640	2.51703	0.240	2	2.515	8	3	1	0					
36	36.000	2.49268	0.240	2	2.480	4	2	4	0					
37	36.480	2.46098	0.240	6						2.46	8	0	0	4
38	36.960	2.43011	0.150	2	2.415	10	1	5-1		2.40	2	2	2	3
39	37.680	2.38531	0.270	2	2.380	10	3	3-1		2.34	2	0	4	2
40	39.420	2.28394	0.300	4	2.328	6	1	1-3		2.28	6	1	4-2	
41	39.840	2.26083	0.240	1	2.263	2	3	3-2						
42	40.240	2.23927	0.300	3	2.234	2	2	2-3		2.24	4	3	1	3
43	40.880	2.20568	0.150	1	2.206	2	3	3	0	2.19	2	2	3-3	
44	41.720	2.16319	0.270	1	2.163	25	0	6	0					
45	41.900	2.15431	0.180	1										
46	42.400	2.13006	0.240	5	2.124	8	2	4	1	3.13	6	2	1	4
47	45.000	2.01284	0.240	1										
48	45.460	1.99354	0.240	3	2.005	12	4	2-2		2.01	2	1	4	3
49	45.720	1.98280	0.180	3	1.971	8	2	2	2	1.981	2	3	3-3	
50	47.020	1.93097	0.150	1	1.922	10	4	0	0	1.916	2	4	1	3
51	47.940	1.89604	0.210	1										
52	48.060	1.89158	0.150	1										
53	50.080	1.81992	0.150	10	1.823	2	3	5	0	1.819	16	4	4	0
54	50.620	1.80176	0.360	2	1.801	16	2	0	-4					
55	51.220	1.78206	0.150	1										
56	52.240	1.74963	0.150	2	1.720	2	1	3	3					
57	53.340	1.71612	0.180	1	1.695	2	5	1-2						
58	54.400	1.68516	0.180	1	1.675	4	3	5-3						
59	54.820	1.67323	0.180	3	1.656	2	5	1-1						
60	55.260	1.66095	0.180	2										

Peak No.	回折角度 2θ (°)	面間隔 d (Å)	半値幅 Δ (°)	相対強度 I/I_0	Monoclinic JCPDS 31-0966				Monoclinic JCPDS 20-0452					
					d (Å)	I/I_0	h	k	l	d (Å)	I/I_0	h	k	l
61	55.760	1.64723	0.270	2										
62	57.180	1.60965	0.180	1										
63	57.340	1.60554	0.150	1	1.605	2	2	0	3					
64	58.760	1.57008	0.270	1	1.571	4	0	2	4					
65	59.080	1.56234	0.180	1										
66	59.900	1.54289	0.180	6										
67	60.600	1.52674	0.120	1	1.531	4	5	3	-3					
68	60.740	1.52355	0.150	1										
69	61.660	1.50301	.....	2	1.512	4	4	6	-1					
70	63.020	1.47381	0.150	1	1.477	2	5	1	-4					
71	63.720	1.45929	0.150	1										
72	63.960	1.45439	0.210	2										
73	64.740	1.43874	0.150	1										
74	65.040	1.43283	0.150	1										
75	65.740	1.41926	0.210	1										
76	67.680	1.38322	0.180	5										
77	68.080	1.37606	0.150	4										
78	68.280	1.37252	0.150	5										
79	69.500	1.35138	.....	1										
80	70.240	1.33894	0.240	1										
81	72.780	1.29835	.....	1										
82	73.420	1.28860	0.180	2										
83	75.600	1.25677	0.210	2										
84	77.600	1.22930	0.210	1										
85	79.820	1.20059	0.180	2										

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）の面間隔は、 4.4937 \AA （回折角度 19.74° ）から 1.820 \AA （回折角度 50.08° ）の範囲である。

さらに、半値幅が 0.30° 以上の面指数は、*Table 1*のとおりである。すなわち、モデルAでは、半値幅 0.45 （021）面、 0.30 （31-1）面、 0.30 （24-1）面、 0.30 （11-3）面、 0.30 （22-3）面および 0.36 （20-4）面の6面指数である。これらの面間隔は、 4.494 \AA （回折角度 19.74° ）から 1.802 \AA （回折角度 50.62° ）の範囲である。モデルBでは、半値幅 0.45 （012）面、 0.30 （30-2）面、 0.30 （041）面、 0.30 （14-2）面および 0.30 （313）面の5面指数である。これらの面指数の面間隔は、 4.4937 \AA （回折角度 19.74° ）から 1.8018 \AA （回折角度 50.62° ）までの範囲に集中している。

2.3 二次検索の定性分析

一次検索の定性分析を行うための検索条件は、次のとおりである。すなわち、

- ①信頼性係数再評価は行う
- ②平滑化点数は11である
- ③最低一致率は10%である
- ④一致判定許容幅は3である
- ⑤信頼性係数閾値は50である
- ⑥回折角度は $2\theta = 3 \sim 80$ 度である
- ⑦検索ファイルは鉱物ファイルである
- 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・酸素と炭素である
- ⑩主成分はアルミニウム・ケイ素と鉄
- ⑪元素指定方法は指定元素のみである
- ⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子ともを用いる
- 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・チタンと燐である。

3 検 討

3.1 溶岩の定量分析と結晶構造の決め方

この溶岩の定量分析値（重量百分率W t %）は、自動定性オーダー分析によると⁴⁾次の15成分である。すなわち、

Na₂O (0.88), MgO (1.70), Al₂O₃ (15.00), SiO₂ (69.00), P₂O₅ (0.70), SO₃ (0.05), K₂O (3.50), CaO (1.20), TiO₂ (0.76), MnO (0.11), Fe₂O₃ (6.90), ZnO (0.01), SrO (Trace), ZrO₂ (0.03), Au₂O (0.04)。

このサンプルに近い成分は、JCPDS物質の番号 (No.33-1161) のSiO₂という石英 (Quartz) の六方晶系とJCPDS物質の番号 (No.20-0452) のCa (Al₂Si₂O₈) · 4 H₂OというGismondineの単斜晶系 (モデルB) である。以前に石英の六方晶系は報告⁶⁾を行ったので、今回は単斜晶系のモデルA⁶⁾とモデルBを引用して単斜晶系の数値解析を行って格子定数を求めた。

3.2 単斜晶系の格子定数の求め方

単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。

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

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 1 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 1 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軸) と軸角 (β) が求められる仕組みである。格子定数および軸率の値を手計算と平行して、HITAC M-660-120EシステムでBrent法による数値計算も試みた。結果は、精密解と少なくとも有効数字4桁まで一致し、実用上遜色はなかった。

Table 2 The Qualitative Analysis of 1st Search-Match for Soil Sample from Jetavanavihara, India

No.	カード No.	化 学 式	元標準ピーク数	一致本数	信頼性係数
1	33-1161	QUARTZ, LOW	16	16	893
2	20-0452	GISMONDINE	18	11	349
3	26-0911	ILLITE-2M1	18	18	242
4	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	15	205
5	31-0261	SCAWTITE	18	16	185
6	7-0042	MUSCOVITE-3T	18	16	176
7	9-0478	ALBITE, POTASSIAN, HIGH, HEATED	18	17	160
8	10-0357	SANIDINE, HIGH, SYN	17	11	156
9	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	17	137
10	23-0117	JULGOLDITE	18	13	135
11	19-1184	ALBITE, LOW	18	15	134
12	30-0942	OSUMILITE-(MG)	17	11	124
13	29-0721	ORTHO FERROSILITE, SYN	18	12	124
14	17-0548	CLINO FERROSILITE, SYN	12	10	111
15	7-0025	MUSCOVITE-1M, SYN	18	15	101
16	30-0664	LAIHUNITE	18	11	95
17	9-0427	ALMANDINE	15	11	93
18	31-0635	ORTHO FERROSILITE, MAGNESIAN	18	11	90
19	10-0288	ANDRADITE, SYN	14	11	88
20	25-0177	TITANITE, SYN	18	13	88
21	26-1310	PHILLIPSITE	18	14	87
22	28-1037	USSINGITE	18	14	77
23	25-0618	SANIDINE, HIGH	18	15	71
24	29-0989	MERLINOITE	18	16	71
25	9-0343	ILLITE (TRIOCTAHEDRAL)	16	15	70
26	34-0189	FORSTERITE, SYN	18	14	67
27	20-0386	ECKERMANNITE, SYN	18	13	66
28	15-0800	NATRON, SYN	18	13	65
29	12-0625	YODERITE	18	14	63
30	24-0201	AUGITE	18	13	63
31	10-0495	PHLOGOPITE-1M	18	14	60
33	25-0843	MAJORITE	15	10	60
33	14-0426	USSINGITE	18	14	59
34	20-0321	CLINTONITE-1M	14	9	57
35	24-0205	HEDENBERGITE, MAGNESIAN, SYN	18	13	55
36	29-1495	RECTORITE	18	14	55
37	29-1360	BROOKITE	18	13	54
38	24-0027	CALCITE	15	11	51
39	14-0569	LIPSCOMBITE, SYN	18	13	50
40	37-0481	UNNAMED MINERAL, SYN	18	15	49
41	24-0203	AUGITE	18	13	47
42	21-1365	YAGITE	18	13	44
43	33-0664	HEMATITE, SYN	13	8	43
44	25-0156	PUMPELLYITE	18	12	39
45	14-0379	BRAZILIANITE	18	13	39
46	20-0669	NESQUEHONITE, SYN	18	15	37
47	19-1227	SANIDINE	18	15	35
48	33-1259	PREISWERKITE-2M1	18	13	35
49	34-0166	VERMICULITE	18	12	34
50	13-0122	ANDALUSITE	18	15	32

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

なお、Brent法は日立製品名は「日立数値計算プログラムライブラリMSL II」である。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 、 \dots 、 X_4 と略記し、これらを最小2乗法で求める。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。(*)の A 、 B 、 C は正の実数、 $\pi/2 < \beta < \pi$ とする。

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

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

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

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

3.2 α 格子定数(B)の求め方

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。

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

3.2 β 軸角(β)の求め方

X_1 と X_3 は式(3)と(5)である。この式(3)と(5)や条件(*)より

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

がえられる。この等式の右辺を式(6)の左辺と比べれば、等式

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

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）が得られる。これから式(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、式(11)より軸角(β)は、 $\pi/2 < \beta < \pi$ の範囲で求まる。

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

3.2γ 格子定数(A)の求め方

式(3)を A^2 について解くと、次のようになる。

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

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。

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

3.2δ 格子定数(C)の求め方

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。

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

したがって、条件(*)から格子定数Cは、式(16)のように求まる。

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

3.3 手計算による連立方程式の解法（クラーメルの公式）

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

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

この正規方程式から作られる行列式 (17) は、モデル A (Δ_A) と B (Δ_B) の係数では、

$$\Delta_A = \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 791 & -713 \\ 1231 & 791 & 1443 & -835 \\ -1753 & -713 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (17A)$$

$$= 32,351,908,266,692$$

$$\Delta_B = \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 591 & 205 \\ 512 & 1679 & 613 & -77 \\ 591 & 613 & 1213 & 193 \\ 205 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (17B)$$

$$= 693,648,364,439$$

である。まず、式 (3) の X_1 を求めるクラーメ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、モデル A (X_{1A}) とモデル B (X_{1B}) の係数では、

$$X_{1A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 80.230 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 76.806 & 6133 & 791 & -713 \\ 45.396 & 791 & 1443 & -835 \\ -32.297 & -713 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18A)$$

$$X_{1B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 22.590 & 512 & 591 & 205 \\ 26.049 & 1679 & 613 & -77 \\ 24.886 & 613 & 1213 & 193 \\ 3.802 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18B)$$

のようになる。式 (18) を X_1 値として、モデル A (X_{1A}) は 0.01269190 であり、モデル B (X_{1B}) は 0.01899557 である。つぎに、式 (4) の X_2 を求めるクラメルの公式とその値は、式 (19) のようになる。

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

のようになる。この正規方程式から作られる行列式 (19) は、モデル A (X_{2A}) とモデル B (X_{2B}) の係数では、

$$X_{2A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 80.230 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 76.806 & 791 & -713 \\ 1231 & 45.396 & 1443 & -835 \\ -1753 & -32.297 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19A)$$

$$X_{2B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 22.590 & 591 & 205 \\ 512 & 26.049 & 613 & -77 \\ 591 & 24.886 & 1213 & 193 \\ 205 & 3.802 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19B)$$

のようになる。式(19)を X_2 値として、モデルA (X_{2A}) は0.0098953であり、モデルB (X_{2B}) は0.0245062である。また、式(5)の X_3 を求めるクラーメルの公式とその値は、式(20)のようになる。

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

のようになる。この正規方程式から作られる行列式(20)は、モデルA (X_{3A}) とモデルB (X_{3B}) の係数では、

$$X_{3A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 80.230 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 76.806 & -713 \\ 1231 & 791 & 45.396 & -835 \\ -1753 & -713 & -32.297 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20A)$$

$$X_{3B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 22.590 & 205 \\ 512 & 1679 & 26.049 & -77 \\ 591 & 613 & 24.886 & 193 \\ 205 & -77 & 3.802 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20B)$$

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）のようになる。式（20）を X_3 値として、モデルA（ X_{3A} ）は0.01980303であり、モデルB（ X_{3B} ）は0.02103148である。最後に、式（6）の X_4 の値を求めるクラメルの公式とその値は、式（21）のようになる。

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

のようになる。この正規方程式から作られる行列式（21）は、モデルA（ X_{4A} ）とモデルB（ X_{4B} ）の係数では、

$$X_{4A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 1231 & 80.230 \\ 2005 & 6133 & 791 & 76.806 \\ 1231 & 791 & 1443 & 45.396 \\ -1753 & -713 & -835 & -32.297 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21A)$$

$$X_{4B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 591 & 22.590 \\ 512 & 1679 & 613 & 26.049 \\ 591 & 613 & 1213 & 24.886 \\ 205 & -77 & 193 & 3.802 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21B)$$

のようになる。式（21）を X_4 値として、モデルA（ X_{4A} ）は-0.01935933であり、モデルB（ X_{4B} ）は0.01305368である。

3.4 モデル（AとB）に関する単斜晶系の格子定数

グループ分析による重量百分率（Wt %）⁴⁾ は、Table 3のとおりである。
Na₂O (0.90), MgO (1.64), Al₂O₃ (14.89), SiO₂ (71.17), P₂O₅ (0.70), K₂O (3.40), CaO (1.03), TiO₂ (0.71), MnO (0.08) および Fe₂O₃ (5.48)。

このグループ分析による含有量からの格子定数Aは、モデルA（ A_A ）とモデルB（ A_B ）に関して、式（14）から式（22）のように求められる。

Table 3 Relation between Composition and Lattice Constants (Hexagonal and Monoclinic) of Soil Sample from Jetavanahara, India

重量百分率	祇園精舎			孔子廟			Maheth (PK)
	煉瓦 (JB)	土壌 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壌 (CS)	平均 (C)	
Na ₂ O	0.73	0.90	0.815	1.76	1.98	1.870	0.755
MgO	1.73	1.64	1.685	1.37	1.45	1.410	1.741
Al ₂ O ₃	16.32	14.89	15.605	13.85	14.11	13.980	15.488
SiO ₂	69.44	71.17	70.305	72.47	69.75	71.110	71.178
P ₂ O ₅	0.19	0.70	0.445	0.53	0.42	0.475	0.098
K ₂ O	3.61	3.40	3.505	2.58	2.57	2.575	3.104
CaO	0.62	1.03	0.825	2.43	4.65	3.540	0.421
TiO ₂	0.84	0.71	0.775	0.71	0.69	0.700	0.782
MnO	0.07	0.08	0.075	0.09	0.09	0.090	0.067
Fe ₂ O ₃	6.45	5.48	5.965	4.22	4.30	4.260	6.367
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.01	100.01	100.010	100.00
参考文献	経法論集40	経法論集41		経法論集51	経法論集53		経法論集48

六方晶系	祇園精舎			孔子廟			Maheth (PK)
	煉瓦 (JB)	土壌 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壌 (CS)	平均 (C)	
軸 a (Å)	4.9047	4.9312	4.918	4.8775	4.8771	4.877	4.8764
軸 c (Å)	5.3829	5.3512	5.367	5.4123	5.4125	5.412	5.4109
軸比 c/a	1.0975	1.0852	1.091	1.1096	1.1098	1.110	1.1096
参考文献	経法論集39	アジ研 1		経法論集49	経法論集52		アジ研 3
単斜晶系	祇園精舎			孔子廟			Maheth (PK)
	煉瓦 (JB)	土壌 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壌 (CS)	平均 (C)	
軸 a (Å)	11.1819	11.2080	11.195	11.2102	11.1608	11.186	11.1573
軸 b (Å)	10.0613	10.0528	10.057	10.0624	10.0451	10.054	10.0243
軸 c (Å)	8.9658	8.9728	8.969	8.9247	9.0229	8.974	8.9757
軸角 α	127.290	127.630	127.460	126.970	127.730	127.350	127.540
参考文献	経法論集71	経法論集72		経法論集	経法論集		経法論集

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分 (沢、洪、河野)

$$A_A = 2 \sqrt{0.019803 / (4 * 0.012691 * 0.019803 - 0.019359^2)} \dots\dots\dots (22A)$$

$$= 11.2080 \text{ \AA}$$

$$A_B = 2 \sqrt{0.02103148 / (4 * 0.01899557 * 0.02103148 - 0.01305368^2)} \dots\dots\dots (22B)$$

$$= 7.6764 \text{ \AA}$$

格子定数Bは、モデルA (B_A) とモデルB (B_B) に関して、式 (7) から式 (23) のように求められる。

$$B_A = \sqrt{1 / 0.0098953} = 10.0528 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23A)$$

$$B_B = \sqrt{1 / 0.0245062} = 6.3880 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23B)$$

格子定数Cは、モデルA (C_A) とモデルB (C_B) に関して、式 (16) から式 (24) のように求められる。

$$C_A = 2 \sqrt{0.012692 / (4 * 0.012692 * 0.019803 - 0.019359^2)} \dots\dots\dots (24A)$$

$$= 8.9728 \text{ \AA}$$

$$C_B = 2 \sqrt{0.01899557 / (4 * 0.01899557 * 0.02103148 - 0.01305368^2)} \dots\dots\dots (24B)$$

$$= 7.2954 \text{ \AA}$$

軸角 (β) は、モデルA (β_A) とモデルB (β_B) に関して、式 (12) から式 (25) のように求められる。

$$\beta_A = \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \frac{0.01935933}{\sqrt{0.012692 * 0.019803}} \right) = 127.63^\circ \dots\dots\dots (25A)$$

$$\beta_B = \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \frac{0.01305368}{\sqrt{0.01899557 * 0.02103148}} \right) = 109.06^\circ \dots\dots\dots (25B)$$

3.5 グループ分析値と六方晶系の格子定数との関係

両聖者遺跡の関する試料について、六方晶系のAh軸格子定数^{5~9)}は4.877 Åから4.931 Åの範囲である。その差は0.054 Å、平均は4.898 Å、標準偏差は0.022および分散は0.001である。含有量と六方晶系の格子定数との関係を解析するために、Table 3から最大含有量である3成分（ケイ酸（69.44Wt%）、酸化第二鉄（6.45Wt%）、酸化アルミニウム（16.32Wt%））を選んだ。含有量と六方晶系の格子定数との関係を検討した。すなわち、酸化第二鉄の含有量と格子定数との関係はFig. 3の上段部に、酸化アルミニウムの含有量と格子定数との関係はFig. 3の上部から2段目に、ケイ酸の含有量と格子定数との関係はFig. 3の上部から3段目に表示した。

祇土の格子定数（Ah）と含有量（Fig. 3における上部の三段）は、両聖者遺跡の中では、それぞれ最大と中間である。これらの3成分と六方晶系の格子定数（Ah）との関係を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

$$\text{Wt}(\text{SiO}_2) = 107 - 7.31\text{Ah} \quad \cdots \cdots (R^2=0.021) \quad \cdots \cdots (26)$$

$$\text{Wt}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -67 + 14.86\text{Ah} \quad \cdots \cdots (R^2=0.113) \quad \cdots \cdots (27)$$

$$\text{Wt}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 58 + 14.91\text{Ah} \quad \cdots \cdots (R^2=0.129) \quad \cdots \cdots (28)$$

格子定数Ahが大きくなるにつれ、ケイ酸（式26）はわずかに小さく、酸化第二鉄（式27）・酸化アルミニウム（式28）はわずかに大きくなる傾向である。回帰係数と決定係数は、ともにケイ酸、酸化第二鉄、酸化アルミニウムの順に大きくなる傾向である。これは、ケイ酸よりも酸化第二鉄と酸化アルミニウムの変化量が大きいからである。

祇土の格子定数（Ch）と含有量（Fig. 3における上部の三段）は、両聖者の遺跡の中では、それぞれ最大と中間である。これらの3成分と六方晶系の格子定数（Ch）との関係を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

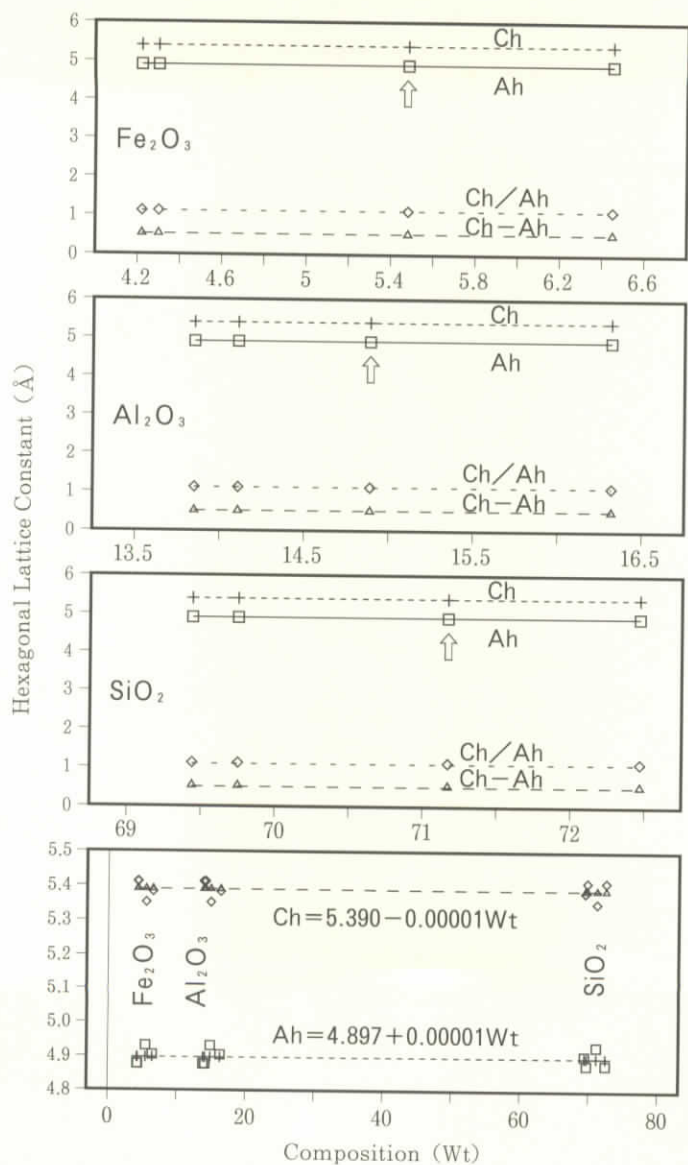


Fig. 3 Relation between Composition and Hexagonal Lattice Constant of Soil Sample from Jetavanavihara, India

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

$$\text{Wt}(\text{SiO}_2) = 40 + 5.76\text{Ch} \cdots \cdots (R^2=0.016) \cdots \cdots (29)$$

$$\text{Wt}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 87 - 13.44\text{Ch} \cdots \cdots (R^2=0.122) \cdots \cdots (30)$$

$$\text{Wt}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 81 - 13.94\text{Ch} \cdots \cdots (R^2=0.129) \cdots \cdots (31)$$

格子定数（Ch）が大きくなるにつれ、ケイ酸（式29）はわずかに大きく、酸化第二鉄（式30）と酸化アルミニウム（式31）はわずかに小さくなる傾向である。すなわち、回帰係数は、格子定数Ahとは逆の現象で、決定係数は類似している。

祇土における3成分の含有量と格子定数との関係をFig. 3における最下段に表示し、つぎのような回帰係数を求めた。

$$\text{Ah}(\text{\AA}) = 4.897 + 0.00001\text{Wt} \cdots \cdots (32)$$

$$\text{Ch}(\text{\AA}) = 5.390 - 0.00001\text{Wt} \cdots \cdots (33)$$

含有量が大きくなるにつれ、Ah格子定数はわずかに大きい。それは、式26～28から分かるように、マイナスである回帰係数のケイ酸よりもプラスである回帰係数の酸化第二鉄と酸化アルミニウムの変化量が多いからである。一方、含有量が大きくなるにつれ、Ch格子定数はわずかに小さく変化する傾向である。それは、式29～31から分かるように、プラスである回帰係数のケイ酸よりもマイナスである回帰係数の酸化第二鉄と酸化アルミニウムの変化量が多いからである。

3.6 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（Am）との関係

両聖者遺跡に関する格子定数のAm軸は11.1608 Åから11.2080 Åの範囲である。その平均は11.190 Å、差は0.0494 Åである。グループ分析により求めた含有量が6 Wt%以上の成分は、酸化アルミニウム、ケイ酸および酸化第二鉄の3成分である。これらの3成分と単斜晶系の格子定数（Am）との関係（Table 3とFig. 4上段部）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

$$\text{Wt}(\text{SiO}_2) = -238.88 + 27.69\text{Am} \cdots \cdots (R^2=0.321) \cdots \cdots (34)$$

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

$$\text{Wt}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 139.53 - 11.14 \text{Am} \quad \cdots \cdots (R^2=0.077) \quad \cdots \cdots (35)$$

$$\text{Wt}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 145.59 - 12.54 \text{Am} \quad \cdots \cdots (R^2=0.085) \quad \cdots \cdots (36)$$

正の回帰係数はケイ酸（27.69）、負の回帰係数は酸化アルミニウム（11.14）と酸化第2鉄（12.54）である。決定係数の小さい値から大きい順にすれば、酸化第2鉄（0.085）や酸化アルミニウム（0.077）およびケイ酸（0.321）の順である。その範囲は、0.77から0.321、その差は0.244である。格子定数（Am）の値が大きくなるにつれ、含有量が大きくなる成分はケイ酸（式34）で、小さくなる成分は酸化アルミニウム（式35）と酸化第2鉄（式36）である。この3成分における単斜晶系（Am）の回帰方程式は、六方晶系（Ah）と類似している。

3.7 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（Bm）との関係

両聖者遺跡に関する格子定数Bmは10.0451Åから10.0624Åの範囲である。その平均は10.055Å、差は0.0173Åである。3.6と同様に、この3成分と六方晶系の格子定数（Bm）との関係（Table 3とFig. 4の中段部）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

$$\text{Wt}(\text{SiO}_2) = 52.54 + 1.82 \text{Bm} \quad \cdots \cdots (R^2=0.001) \quad \cdots \cdots (37)$$

$$\text{Wt}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 98.95 - 8.36 \text{Bm} \quad \cdots \cdots (R^2=0.017) \quad \cdots \cdots (38)$$

$$\text{Wt}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 237.78 - 22.83 \text{Bm} \quad \cdots \cdots (R^2=0.109) \quad \cdots \cdots (39)$$

正の回帰係数はケイ酸（1.82）、負の回帰係数は酸化アルミニウム（8.36）と酸化第2鉄（22.83）である。決定係数の小さい値から大きい順にすれば、ケイ酸（0.001）、酸化アルミニウム（0.017）、酸化第2鉄（0.109）の順である。その範囲は0.001から0.109、その差は0.108である。格子定数（Bm）の値が大きくなるにつれ、含有量が大きくなる成分はケイ酸（式37）で、小さくなる成分は酸化アルミニウム（式38）と酸化第2鉄（式39）である。この3成分における単斜晶系（Bm）の回帰方程式は、六方晶系（Ah）や単斜晶系（Am）と類似している。

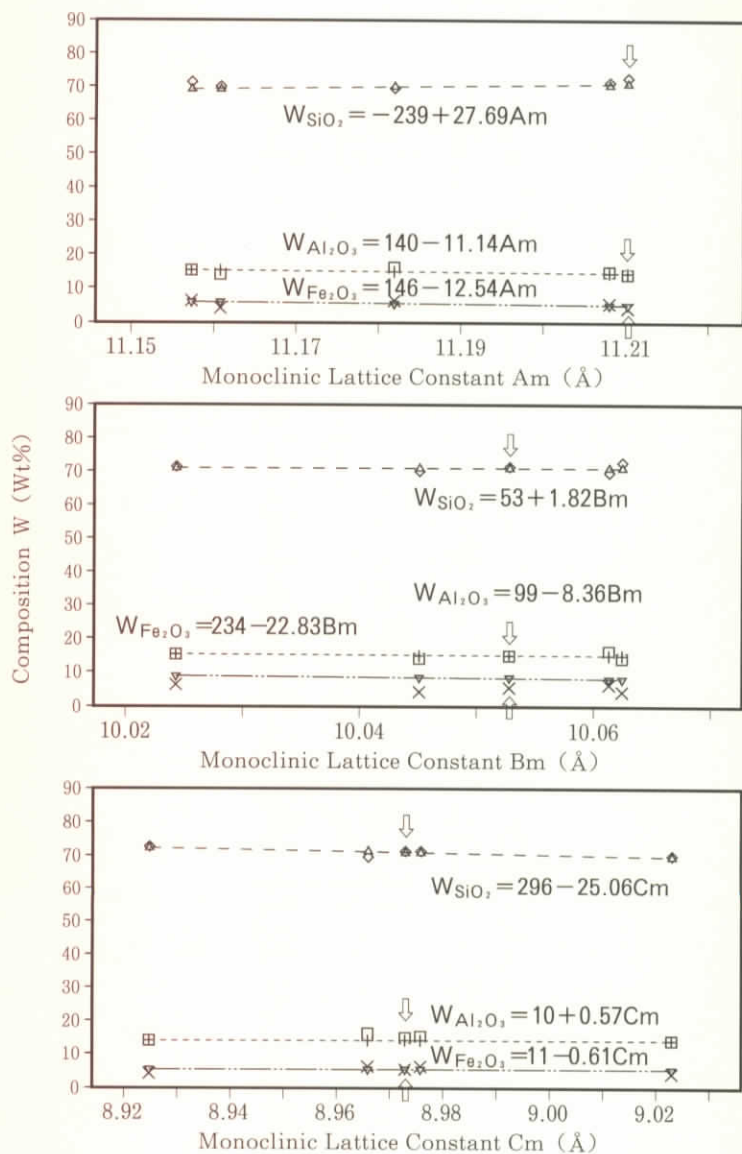


Fig. 4 Relation between Composition and Monoclinic Lattice Constant of Soil Sample from Jetavanavihara, India

3.8 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（Cm）との関係

両聖者にある遺跡の格子定数Cmは8.9247 Åから9.0229 Åの範囲である。その平均は8.972 Å、差は0.982 Åである。3.6と同様に、この3成分と六方晶系の格子定数（Cm）との関係（Table 3とFig. 4の下段部）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

$$\text{Wt}(\text{SiO}_2) = 295.67 - 25.06 \text{Cm} \cdots \cdots (R^2=0.5090) \cdots \cdots (40)$$

$$\text{Wt}(\text{Al}_2\text{O}_3) = 9.86 + 0.57 \text{Cm} \cdots \cdots (R^2=0.0004) \cdots \cdots (41)$$

$$\text{Wt}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 10.83 - 0.61 \text{Cm} \cdots \cdots (R^2=0.0003) \cdots \cdots (42)$$

正の回帰係数は酸化アルミニウム（0.57）、負の回帰係数はケイ酸（25.06）、酸化第2鉄（0.61）である。決定係数の大きい値から小さい順にすれば、ケイ酸（0.5090）、酸化アルミニウム（0.0004）、酸化第2鉄（0.0003）の順である。その範囲は0.0003から0.5090、その差は0.5087である。格子定数（Cm）の値が大きくなるにつれ、含有量が小さくなる成分はケイ酸（式40）と酸化第2鉄（式42）で、大きくなる成分は酸化アルミニウム（式41）である。

3.9 ケイ酸とアルカリ性との関係

ケイ酸に対するアルカリ性（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）との関係を検討した。Fig. 5におけるアルカリ類は、（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）が比較的に近い領域では、ケイ酸が大きくなるにつれ、（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）は大きい。一方、両聖者における関係は、狭い範囲なので、その逆である。Fig. 5における○内の番号は、①祇園精舎にある煉瓦（祇煉）⁴¹、②祇園精舎にある土壌（祇土）¹⁰、③孔子廟にある煉瓦（孔煉）¹¹、④孔子廟にある土壌（孔土）¹² および⑤マヘートにある煉瓦（マ煉）¹³ である。ここでは両聖者遺跡である成分を確認するために、ケイ酸の含有量から基準を定めた鉱物名から分類できる^{14, 15}。

ケイ酸の含有量は、最大値（72.47Wt%）と最小値（69.44Wt%）および平均値（70.708Wt%）である。このデータから石英安山岩や酸性岩（低アルカリ系）で、主成分は石英であり長石と雲母であることが確認された。一方、混

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

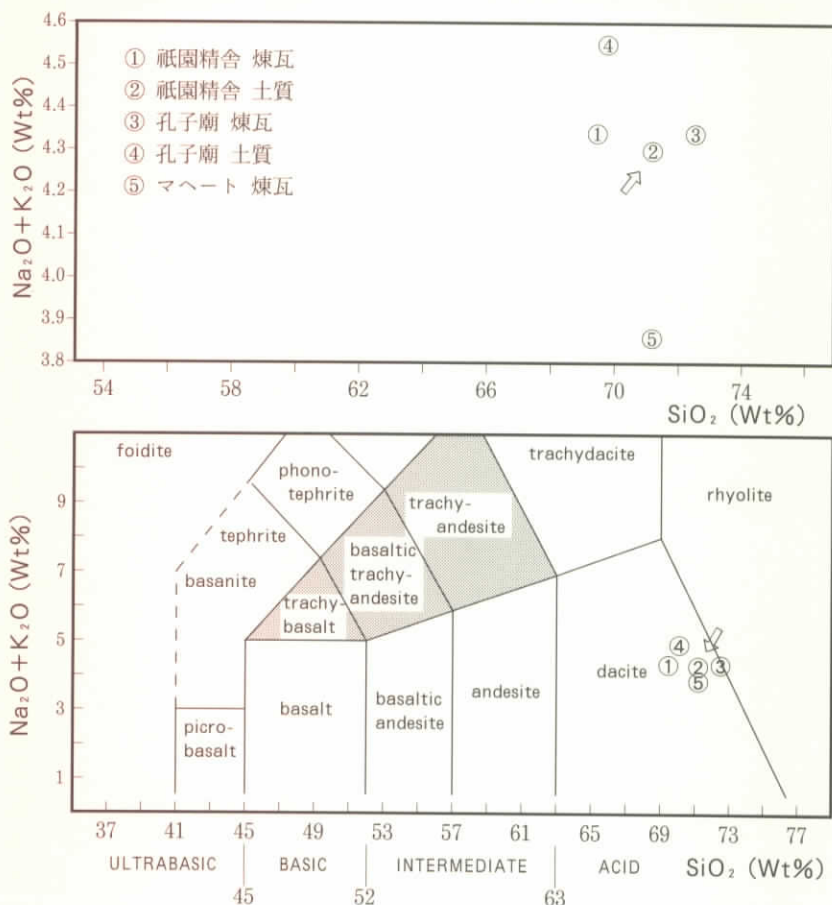


Fig. 5 Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks using the Total Alkali versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al. 1986, Fig.2)

合含有量の ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) は、最大値 (4.55Wt%) と最小値 (4.30Wt%) および平均値 (4.38Wt%) である。**Fig. 5** 上と下にある番号より比較を行った。その結果、②祇園精舎にある土質のケイ酸は、各成分の中間値で、①祇煉と④孔土より多く、その他より少ない。また、②祇土のアルカリ性は、①祇煉、

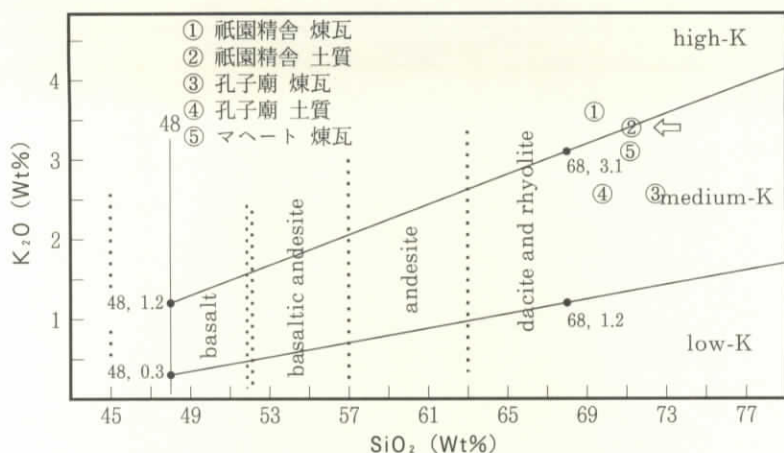


Fig. 6 Division of basalts (with $\text{SiO}_2 > 48\%$), Basaltic andesites, andsites, dacites and rhyolites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick stippled Lines indicate the equivalent position of some of the fields in the TAS diagram.

③孔煉と④孔土より小さく、⑤マ煉より大きい。

3.10 ケイ酸と酸化カリウムとの関係

ケイ酸に対する酸化カリウムとの関係は、Fig. 6 のとおりである。アルカリ成分の中で酸化カリウムが比較的が多い領域である。すなわち、酸化カリウムは、酸化ナトリウムよりも2～4倍多い。広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、酸化カリウムは増大する傾向である。一方、両聖者における関係は、狭い範囲なので、その逆である。Fig. 6 の上にある番号は、Fig. 5 上と同様である。したがって、祇土はhigh-Kであることが確認され、①祇煉より小さく、その他より大きい。

3.11 ケイ酸と酸化マグネシウム、酸化第2鉄、酸化カリウムとの関係

ケイ酸に対する酸化マグネシウム、酸化第2鉄、酸化カリウムとの関係 ($\text{SiO}_2 - (\text{MgO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O})$) を検討 (Fig. 7) である。この関係は、比較

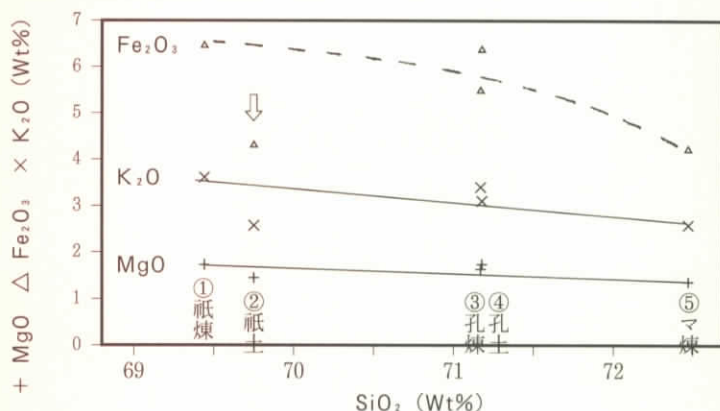


Fig. 7 Relation between Composition SiO₂ and MgO, Fe₂O₃, K₂O of Soil Sample from Jetavanavihara, India

的に広い領域で、ケイ酸が大きくなるにつれ、酸化マグネシウム、酸化第2鉄、酸化カリウムは減少の傾向である。両聖者における関係は、広い領域と同様に減少の傾向である。ケイ酸と酸化第2鉄との関係では、ケイ酸が増大するにつれ、酸化第2鉄は放物線状に減少している。また、ケイ酸と酸化マグネシウムや酸化カリウムとの関係では、ケイ酸が増大するにつれ、酸化マグネシウムや酸化カリウムは直線状に減少している。この中で、ケイ酸と酸化マグネシウムとの相関係数が大きい。

3.12 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

軽金属のIaに属する酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係を検討した。酸化カリウムに対する酸化ナトリウムとの関係は、Fig. 8のとおりである。Fig. 8におけるアルカリ類は(K₂O-Na₂O)の関係図であり、含有量のアルカリ成分の中で酸化カリウムが比較的が多い領域である。すなわち、この両組成は、軽金属のIa属（カリウムは第2周期とナトリウムは第3周期）である。広い範囲では酸化カリウムが増大するにつれ、酸化ナトリウムは一定な傾向は見られない。が、両聖者遺跡の狭い範囲では双曲線状に減少する逆の傾向であ

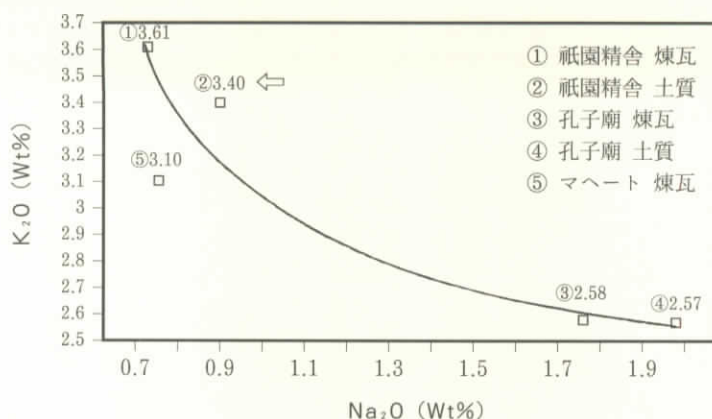


Fig. 8 Relation between Composition K_2O and Na_2O of Soil Sample from Jetavanavihara, India

る。Fig. 8にある番号は、Fig. 5上と同様である。したがって、祇土では、両聖者の中で酸化カリウムは多く、酸化ナトリウムは小さいことが確認された^{14, 15)}。これは、広い範囲と類似の傾向である。

3.13 有色鉱物と無色鉱物との関係

有色鉱物と無色鉱物との関係を検討した。有色鉱物 ($MgO + Fe_2O_3 + CaO$) と無色鉱物 ($SiO_2 + Na_2O + K_2O$) との関係図は、Fig. 9のとおりである。周期律表におけるIIaのマグネシウムとカルシウムは有色鉱物であり、Iaのナトリウムとカリウムは無色鉱物である。ここでは、有色鉱物と無色鉱物における量比の目安として図示した。有色鉱物と無色鉱物は、それぞれの場所に地殻表面にある岩石の風化作用によって生じた無機物と、いろいろな動物や植物が腐敗して地表に堆積したものである。それゆえに、有色・無色鉱物は、それぞれの地域によって成分が異なるのも当然である。広い範囲では、有色鉱物が多いほど、無色鉱物が少なくなる傾向である。両聖者における構築物の成分は、広い範囲の場合と類似している。祇土は、有色鉱物では孔煉より少なく、他より多い、さらに、無色鉱物では孔煉瓦より多く、他より少ない傾向がある。

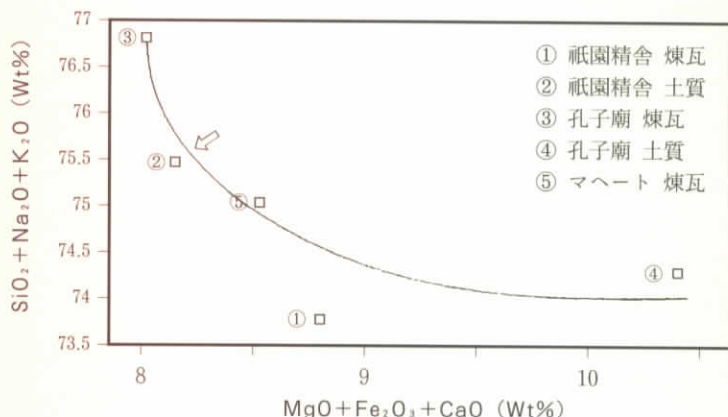


Fig. 9 Relation between Composition $MgO + Fe_2O_3 + CaO$ and $SiO_2 + Na_2O + K_2O$ of Soil Sample from Jetavanavihara, India

4 おわりに

インド、祇土成分に対して、X線回折図形とコンピュータの情報処理によって、単斜晶系の格子定数と各成分の解析を行った。その結果は、次のとおりである。

(a) ピーク・サーチの定性分析

回折角度の 2θ ($3 \sim 80^\circ$) の範囲において、それぞれ42個のピークをサーチした。相対強度が4%以上の面指数として、モデルAでは、(021) 面、(20-1) 面、(11-2) 面、(220) 面、(20-2) 面、(002) 面、(11-3) 面、(241) 面および (350) 面の9面指数である。モデルBでは、(012) 面、(12-1) 面、(12-2) 面、(130) 面、(310) 面、(14-2) 面、(214) 面および (440) 面の8面指数である。

さらに、半値幅が 0.30 \AA 以上の面指数は、モデルAでは、(021) 面、(31-1) 面、(24-1) 面、(11-3) 面、(22-3) 面および (20-4) 面の6面指数である。モデルBでは、(012) 面、(30-2) 面、(041) 面、(14-2) 面および (313) 面の

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）
5面指数である。

（b） 二次検索の定性分析

祇土の成分は、それぞれの化学式を決定することができた。その決定に対して、元素標準ピーク本数、一致本数および信頼性係数から確認することができた。各層に近い化学式と結晶構造は、主成分として、 SiO_2 （石英：Quartz：六方晶系）および $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ （Gismondine）の単斜晶系である。この単斜晶系の解析には、モデルBを導入した。

（c） 結晶構造と格子定数

この土質は長石と同質であることが、蛍光X線分析の含有量とX線分析の回折によって相関性から単斜晶系を確認した。この単斜晶系の格子定数は、回折角度より求めた面間隔と面指数を用いて、最小二乗法によるコンピュータ処理を行った。すなわち、モデルAでは、格子定数はA軸=11.2080 Å、B軸=10.0528 Å、C軸=8.9728 Åおよび軸角の β は127.63°である。モデルBでは、格子定数はA軸=7.6764 Å、B軸=6.3880 Å、C軸=7.2956 Åおよび軸角の β は109.06°である。

（d） 含有量と六方晶系の格子定数

祇土の最大成分であるケイ酸・酸化アルミニウムおよび酸化第2鉄に関して含有量と六方晶系の格子定数との関係を求めた。Ah軸の格子定数が大きくなるにつれ SiO_2 含有量は小さくなるが、 Fe_2O_3 と Al_2O_3 は大きくなる。一方、Ch格子定数では、Ah格子定数の逆である。

（e） 含有量と単斜晶系の格子定数

祇土の最大成分であるケイ酸・酸化アルミニウムおよび酸化第2鉄に関して含有量と単斜晶系の格子定数との関係を求めた。Am軸とBmの格子定数が大きくなるにつれ SiO_2 の含有量は大きいが、 Fe_2O_3 と Al_2O_3 の含有量は少ない。一方、Cmの格子定数が大きくなるにつれ、 Al_2O_3 の含有量は多く、

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

SiO_2 と Fe_2O_3 の含有量は少ない。

（f） ケイ酸とアルカリ性との関係

含有量のケイ酸は、最大値（72.47Wt%）と最小値（69.44Wt%）および平均値（70.708Wt%）である。このデータから石英安山岩（酸性岩）で、主成分は石英であり長石と雲母等が含まれている。その結果、祇土はhigh-Kであることが確認された。また、②祇土は、①マ煉より多く、その他より少ない。

（g） ケイ酸と酸化カリウムとの関係

広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、酸化カリウムは増大する傾向である。一方、両聖者における関係は、狭い範囲なので、その逆である。したがって、祇土はhigh-Kであることが確認され、①祇煉より小さく、その他より大きい。

祇土はこの SiO_2 と Na_2O の関係からもhigh-Kであることが確認された。また、②祇土の K_2O は、①祇煉より小さく、その他より大きい。

（h） ケイ酸と酸化マグネシウム、酸化第2鉄、酸化カリウムとの関係

ケイ酸に対する3組成（ MgO 、 Fe_2O_3 、 K_2O ）の関係では、比較的広い領域で、ケイ酸が大きくなるにつれ、3組成は減少の傾向である。両聖者における関係は、広い領域と同様に減少の傾向である。ケイ酸と酸化第2鉄との関係では、ケイ酸が増大するにつれ、酸化第2鉄は放物線状に減少している。また、ケイ酸と酸化マグネシウムや酸化カリウムとの関係では、ケイ酸が増大するにつれ、酸化マグネシウムや酸化カリウムは直線状に減少している。この中で、ケイ酸と酸化マグネシウムとの相関係数が大きい。

（i） 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

広い分野では酸化カリウムが増大するにつれ、酸化ナトリウムは一定な傾向は見られない。が、両聖者遺跡の狭い分野では双曲線状における逆の傾向である。したがって、祇土では、両聖者の中で酸化カリウムは多く、酸化ナトリウムは小さいことが確認され、広い領域と同様の傾向である。

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

（j） 有色鉱物と無色鉱物との関係

広い分野では、有色鉱物が多いほど、無色鉱物が少なくなっている傾向である。これは、広い分野の場合と類似している。祇土は、有色鉱物では孔煉より少なく、他より多い、さらに、無色鉱物では孔煉瓦より多く、他より少ない傾向がある。

参 考 文 献

- (1) 沢勲・片山佐一：「急冷法で作った $(\text{BiSb})_2(\text{TeSe})_3$ 系の格子定数と密度」
応用物理39（1970）P.1028～1033
- (2) Isao SAWA and Saichi KATYAMA：「Lattice Constants and Densities of $(\text{BiSb})_2(\text{TeSe})_3$ Compounds Prepared by the Annealing Techhique」
Technology Reports of Kansai University 16（1975）P.75～85
- (3) W.W.Hunter, C.I.E., LL.D：The Imperial Gazetteer India（1981），107
London
- (4) 沢勲・村田守：「インド、祇園精舎に構築していた煉瓦の蛍光X線分析」
大阪経済法科大学論集 40（1990）P.25～44
- (5) 沢勲・村田守：「インド、祇園精舎に構築していた煉瓦のX線回折分析」
大阪経済法科大学論集 39（1990）P.23～34
- (6) 沢勲・村田守：「インド、祇園精舎に構築していた土質のX線回折分析」
大阪経済法科大学アジア研究所年報 1（1990）P.79～88
- (7) 沢勲・河野久征：「中国、山東省の孔子廟にある煉瓦のX線分析」
大阪経済法科大学論集 49（1992）P.1～16
- (8) 沢勲・河野久征：「中国の孔子廟とインドの祇園精舎にある土質のX線回折分析」
大阪経済法科大学論集 52（1993）P.1～20
- (9) 沢勲・河野久征：「インド、マヘート遺跡のPakki-kutiに構築していた煉瓦のX線回折分析」
大阪経済法科大学アジア研究所年報 3（1992）P.25～36
- (10) 沢勲・村田守：「インド、祇園精舎に構築していた土質の蛍光X線分析」
大阪経済法科大学論集 41（1990）P.1～19

コンピュータ解析によるインド祇園精舎付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、洪、河野）

- (11) 沢勲・河野久征：「中国、山東省の孔子廟にある煉瓦の蛍光X線分析」
大阪経済法科大学論集 51（1993）P.1～24
- (12) 沢勲・河野久征：「中国の孔子廟とインドの祇園精舎にある土質の蛍光X線分析」 大阪経済法科大学論集 53（1993）P.1～24
- (13) 沢勲・河野久征：「インド、マヘート遺跡のPakki-kutiに構築していた煉瓦の蛍光X線分析」 大阪経済法科大学論集 48（1992）P.23～48
- (14) A.Miyashiro: 「Nature of Alkalic Volcanic Rock Series」 Contrib. Mineral. petrol. 66（1978）P.91-104
- (15) R.W.Le Maitre: 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』（1939）, Blackwell Scientific Publications
- (16) 沢勲・河野久征・洪始煥：「コンピュータ解析によるインド祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分」 大阪経済法科大学論集 71（1998）P.77～111

the 1990s, the number of people in the UK who are aged 65 and over has increased by 1.5 million (1990–1999) and is projected to increase by a further 1.5 million by 2010 (Office of National Statistics 2000).

There is a growing awareness of the need to develop strategies to meet the needs of the ageing population. The Department of Health (1999) has identified the need to develop a new paradigm of care for the ageing population, one that is based on the concept of 'active ageing'. This paradigm is based on the idea that ageing is a process, not a state, and that the goal of care should be to promote the health and well-being of older people, rather than to simply manage their decline. The Department of Health (1999) has identified a number of key areas for action, including: promoting the health and well-being of older people; improving the quality of life of older people; and ensuring that older people have access to the services and resources they need.

One of the key areas for action is the need to improve the quality of life of older people. This is a broad concept, but it includes the need to ensure that older people have access to the services and resources they need to live well. This includes access to housing, transport, and social services. It also includes access to health and social care services. The Department of Health (1999) has identified a number of key areas for action in this regard, including: improving the quality of housing for older people; improving access to transport for older people; and improving access to social services for older people.

Another key area for action is the need to ensure that older people have access to the services and resources they need to live well. This includes access to housing, transport, and social services. It also includes access to health and social care services. The Department of Health (1999) has identified a number of key areas for action in this regard, including: improving the quality of housing for older people; improving access to transport for older people; and improving access to social services for older people.

One of the key areas for action is the need to ensure that older people have access to the services and resources they need to live well. This includes access to housing, transport, and social services. It also includes access to health and social care services. The Department of Health (1999) has identified a number of key areas for action in this regard, including: improving the quality of housing for older people; improving access to transport for older people; and improving access to social services for older people.

Another key area for action is the need to ensure that older people have access to the services and resources they need to live well. This includes access to housing, transport, and social services. It also includes access to health and social care services. The Department of Health (1999) has identified a number of key areas for action in this regard, including: improving the quality of housing for older people; improving access to transport for older people; and improving access to social services for older people.