

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

沢 勲 Isao SAWA  
河野 久征 Hisayuki KOHNO  
洪 忠 烈 Choong-Ryeal HONG

[The Computer Processing of Components and Monoclinic System of  
the Brick Samples from Jetaavanavihara, India]

ABSTRACT

Jetaavanavihara is located in Sahet Mahet (or Sravasti) city, Bahraich, Ultra Pradesh State, northeastern of India. Sravasti city is located a vast collection of ruins in Gonda District, Oudh; Situated in lat. 27°31'N., and long. 82°5'E., on the south bank of Rapti river, 10 miles from Balrampur, and 6 miles from Ikauna. Jetaavanavihara 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 brick samples on Jetaavanavihara 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 ( $\beta$ ) are,

A = 11.1819 Å, B = 10.0613 Å, C = 8.9658 Å and  $\beta = 127.29^\circ$  in model A,  
A = 7.6578 Å, B = 6.3612 Å, C = 7.2925 Å and  $\beta = 109.60^\circ$  in model B.

**Key words:** Brick, Monoclinic System, Analysis of Lattice Constants

[The Review of Osaka University of Economics and Law, 71 (1998), p. 77-111]

大阪経済法科大学論集 第71号



## 2 実験方法

### 2.1 試料調製のガラスエート作製

本研究に用いた試料は、フラスコを用いて試料を約2cmのチップに荒破きし、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℃）で12時間以上乾燥後、ボールミルで200μッシュ以下に粉砕した。粉末試料はフラスコ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エートの作製方法は、サンツルには0.400gとLiB<sub>4</sub>O<sub>4</sub>（四ホウ酸リチウム）を融剤として4.000gを加えた。これらを十分に混合させてから白金ツツボに粉末試料を約1g計量し、それをサンツル炉を用いて、そのルツボの蓋をかぶせ、最初の2分間は1200℃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。高周波炉の溶融温度（1200℃）と加熱時間（1200℃）以上灼熱した。灼熱した無水粉末試料をサンツル炉内に十分冷却し、電子天秤で0.400g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、サンツル炉によって700℃で3時間以上乾燥したものである。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モ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エートサンツラーを用いてエートを作製した。粉末試料はフラスコ製の試料瓶に入れて保存した。

### 2.2 エーケ・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。試料マスキにはSUS製のステンレス材の測定試料径（30mmφ）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（湾曲グラフナイト・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-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

相対強度が5%以上になっているのは、Table 1とFig. 1である。すなわち、面指数をピーク順にすれば、次のとおりである。モリアル「JCPDS物質の番号 (No.31-0966) のKAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>という長石 (Sanidine) の単斜晶系」では、相対強度5 (021) 面、22 (20-1) 面、5 (130) 面、100 (220) 面、6 (002) 面、

Table 1のとおりで、(6.5~1.4Å) である。

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、ここで、λは波長 (Å)、dは面間隔 (Å) およびθは回折角度 (°)

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

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る。このデータ処理に用いたコンピュータ言語は、FORTRAN<sup>®</sup>およびC言語である。このプログラムに従ってデータの処理を行った平滑化点数は11である。その結果、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、Cuk 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。ここで、上層部をB4または下層部をB5とし、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それぞれが異なっている。回折角度と面間隔 d (Å) は、ブライッグの反射条件式によって決定される<sup>®</sup>。

⑫データ処理に用いたX線の波長 (1.54056Å) である。

⑪ユニオメーター (広角ユニオメーター) および

⑨アタッチメント (標準試料ホルダー) ⑩走査速度 (4.00°/min)

⑦受光スリット (0.15mm) ⑧サンプルリフト軸 (0.020°)

⑤管内の電流 (50mA) ⑥走査軸 (2θ/θ)

③散乱スリット (1°) ④管内の電圧 (40kV)

①X線の管球 (Cu) ②発散スリット (1°)

条件は、次のとおりである。

コンピュータ解析によるインド祇園精舎にある燐瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

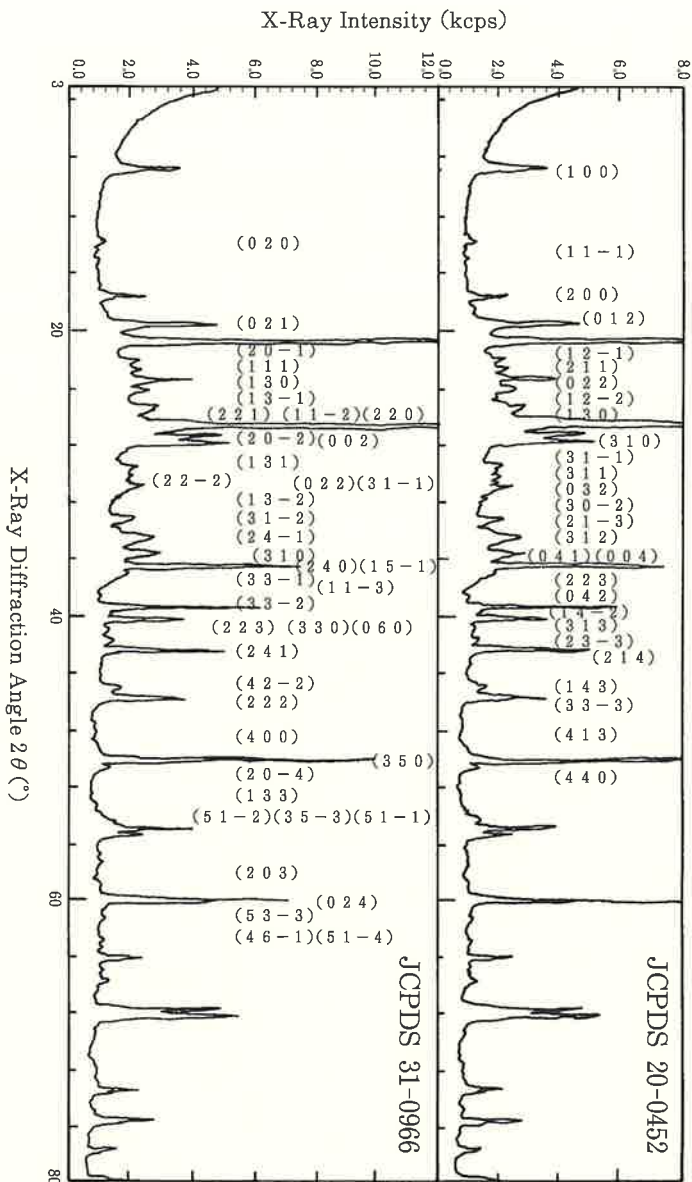


Fig. 1 The X-Ray Diffractograms of Black Sample from Jetaunavhara, India

コンピュータ解析によるインド碲固溶体にある燐瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、辻)

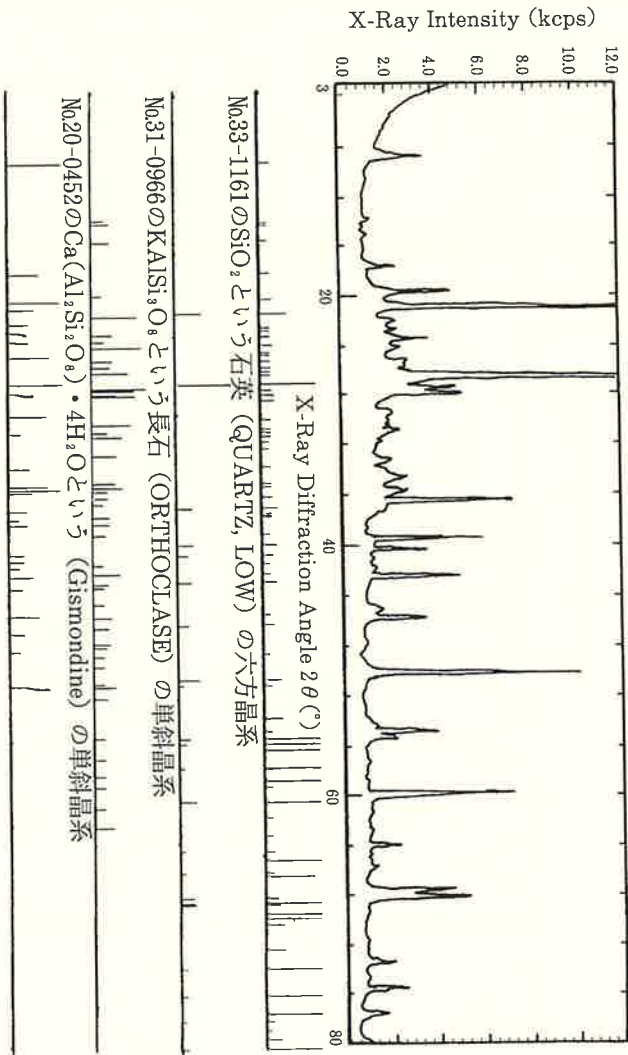


Fig. 2 The Qualitative Analysis of 2nd Search-Match of Bluck Sample from Jetavanthara, India

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

Peak No.	回折角度 $2\theta$ ( $^\circ$ )	面間隔 $d$ ( $\text{\AA}$ )	半値幅 $\Delta$ ( $^\circ$ )	相対強度 $I/I_0$	Monoclinic JCPDS 31-0966			Monoclinic JCPDS 20-0452											
					$d$ ( $\text{\AA}$ )	$I/I_0$	$h$ $k$ $l$	$d$ ( $\text{\AA}$ )	$I/I_0$	$h$ $k$ $l$									
1	8.760	10.08604	0.210	4															
2	13.580	6.51507	0.120	2	6.48	12	0 2 0	9.99	2	1 0 0									
3	13.800	6.41170	0.240	2				5.93	2	1 1-1									
4	15.020	5.89354	0.180	2				5.01	4	2 0 0									
5	17.580	5.04067	0.210	3															
6	19.680	4.50727	0.360	5	4.58	4	0 2 1	4.47	4	0 1 2									
7	20.820	4.26298	0.210	22	4.22	70	2 0-1	4.27	35	1 2-1									
8	21.980	4.04055	0.180	3				4.05	4	2 1 1									
9	22.260	3.99035	0.120	3															
10	22.680	3.91740	0.300	3	3.94	16	1 1 1												
11	23.420	3.79527	0.240	5															
12	24.020	3.70181	0.210	3	3.77	80	1 3 0												
13	24.220	3.67169	0.240	3															
14	24.720	3.59855	0.150	3	3.61	16	1 3-1	3.61	2	0 2 2									
15	25.280	3.52009	0.270	4	3.54	12	2 2-1												
16	25.600	3.47681	0.270	3	3.47	45	1 1-2												
17	25.860	3.44244	0.120	3															
18	26.600	3.34832	0.210	100	3.31	100	2 2 0	3.43	2	1 2-2									
19	27.060	3.29244	0.150	4	3.29	60	0 0-2	3.34	100	1 3 0									
20	27.440	3.24770	0.270	6	3.24	65	2 0-2												
21	27.900	3.19519	0.210	6				3.19	18	3 1 0									
22	29.460	3.02945	0.270	3	2.992	50	1 3 1	3.06	2	3 1-1									
23	30.200	2.95688	0.210	3				2.99	2	3 1 1									
24	30.460	2.93223	0.210	3	2.934	8	2 2-2												
25	30.820	2.89880	0.180	3	2.901	30	0 2 2												
26	31.260	2.85899	0.120	2				2.87	2	0 3 2									
27	31.780	2.81339	0.210	2	2.783	2	1-1	2.82	2	3 0-2									
28	33.220	2.69465	0.330	3	2.769	20	1 3-2	2.70	18	2 1-3									
29	34.560	2.59318	0.120	3	2.601	18	3 1-2	2.62	2	3 1 2									
30	34.820	2.57441	0.150	3	2.571	30	2 4-1	2.56	2	0 4 1									

コンベクター製粉によるインド靑銅精金における狭可の単斜晶系と成分 (沢、河野、浜)

LiF 単結晶を用いた粉末 X 線回折法による結晶構造の決定 (沢、河野、井)

Peak No.	回折角度 $2\theta$ (°)	面間隔 $d$ (Å)	半値幅 $\Delta$ (°)	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	35.640	2.51703	0.300	4	2.515	8	3	1	0						
32	36.500	2.45967	0.270	8	2.480	4	2	4	0		2.46	8	0	0	4
33	36.940	2.45138	0.120	3											
34	37.100	2.42126	0.120	3	2.415	10	1	5	-1		2.40	2	2	2	3
35	37.240	2.41248	0.150	3	2.380	10	3	3	-1						
36	38.600	2.33055	0.180	2	2.328	6	1	1	-3		2.34	2	0	4	2
37	39.420	2.28394	0.300	7	2.263	2	3	3	2		2.28	6	1	4	-2
38	40.240	2.23927	0.180	4	2.234	2	2	2	-3		2.24	4	3	1	3
39	40.900	2.20465	0.240	2	2.206	2	3	3	0		2.19	2	2	3	-3
40	41.720	2.16319	0.450	2	2.163	25	0	6	0						
41	42.400	2.13006	0.300	6	2.124	8	2	4	1		2.13	6	2	1	4
42	44.960	2.01454	0.300	2	2.005	12	4	2	-2		2.01	2	1	4	3
43	45.740	1.98198	0.180	4	1.971	8	2	2	2		1.981	4	3	1	-3
44	48.060	1.89158	0.210	1	1.922	10	4	0	0		1.916	2	4	1	3
45	50.100	1.81924	.....	11	1.823	2	3	5	0		1.819	16	4	4	0
46	50.600	1.80243	0.270	2	1.801	16	2	0	-4						
47	53.280	1.71791	.....	1	1.720	2	1	3	3						
48	54.280	1.68860	.....	2	1.695	2	5	1	-2						
49	54.820	1.67323	0.180	5	1.675	4	3	5	-3						
50	55.260	1.66095	0.210	3	1.656	2	5	1	-1						
51	57.280	1.60708	.....	2	1.605	2	2	0	3						
52	58.720	1.57105	0.210	2	1.571	4	0	2	4						
53	59.920	1.54243	0.180	8	1.531	4	5	3	-3						
54	61.200	1.51320	0.390	2	1.512	4	4	6	-1						
55	62.680	1.48098	.....	2	1.477	2	5	1	-4						
56	63.980	1.45399	0.150	3											
57	65.700	1.42003	0.300	2											
58	67.700	1.38286	0.180	5											
59	68.100	1.37571	0.150	6											
60	68.280	1.37252	0.150	6											



8 (240) 面、7 (33-2) 面、6 (241) 面、11 (350) 面、5 (35-3) 面および 8 (53-3) 面の11個の面指数である。これらの面指数の間隔は、4.507 Å (回折角度19.68°) から1.542 Å (回折角度59.92°) までの範囲に集中している。モザルB「JCPDS物質の番号 (No.20-0452) のCa (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)·4H<sub>2</sub>OというGismondineの単斜晶系」では、相対強度5 (012) 面、22 (12-1) 面、100 (130) 面、6 (310) 面、8 (004) 面、7 (14-2) 面、6 (214) 面および11 (440) 面の8個の面指数である。これらの面指数の間隔は、4.507 Å (回折角度19.68°) から1.819 Å (回折角度50.100°) までの範囲に集中している。

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、モザルAでは、半値幅0.36 (021) 面、0.30 (111) 面、0.33 (13-2) 面、0.30 (310) 面、0.30 (33-2) 面、0.45 (060) 面、0.30 (241) 面、0.30 (42-2) 面、0.30 (33-2) 面、0.45 (060) 面、0.30 (241) 面、0.30 (42-2) 面、0.30 (33-2) 面、0.45 (060) 面、0.30 (241) 面、0.30 (42-2) 面、0.30 (310) 面および0.30 (143) 面の5個の面指数である。これらの面指数の間隔は、4.507 Å (回折角度19.68°) から2.015 Å (回折角度44.96°) 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検索モザルは鉱物モザルである

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。

### 3. 2 単斜晶系の格子定数の求め方

子定数を求めた。  
回は単斜晶系のモザルAとモザルBを引用して単斜晶系の数値解析を行って格  
(モザルBとする) である。以前に、石英の六方晶系は報告を行ったので、今  
番号 (No.20-0452) のCa (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)・4H<sub>2</sub>OというGismondineの単斜晶系  
という長石 (Sanidine) の単斜晶系 (モザルAとする) およびJCPDS物質の  
う石英 (Quartz) の六方晶系、JCPDS物質の番号 (No.31-0966) のKAISI<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
このサンプルに近い成分は、JCPDS物質の番号 (No.33-1161) のSiO<sub>2</sub>とい

Na<sub>2</sub>O (0.77), MgO (1.70), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18.00), SiO<sub>2</sub> (67.00), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.18),  
SO<sub>3</sub> (0.04), K<sub>2</sub>O (3.70), CaO (0.75), TiO<sub>2</sub> (0.91), MnO (0.08),  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.70), ZnO (0.02), SrO (Trace), ZrO<sub>2</sub> (0.03), Au<sub>2</sub>O (0.03).  
ると<sup>1)</sup>次の15成分である。すなわち、

この溶岩の定量分析値 (重量百分率Wt%) は、自動定性オージェ分析によ

### 3. 1 溶岩の定量分析と結晶構造の決め方

## 3 検 討

である。

- ⑧ 検案方法はフレイル1だけ検案する
- 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

コンピュータ解析によるインフ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

コンピュータ解析によるインド紙園精舎にある燐瓦の単斜晶系と成分(沢、河野、洪)

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

No.	カーブ No.	化学式	元素標準ピーク数	一致本数	信頼性係数
1	33-1161	QUARTZ, LOW	16	16	922
2	20-0452	GISMONDINE	18	11	280
3	31-0966	ORTHOCLASE	18	16	184
4	19-0926	MICROCLINE, MAX	18	17	107
5	11-0265	GREENALITE-1T	10	8	95
6	33-1205	TETRANATROLITE	18	12	87
7	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	17	81
8	9-0427	ALMANDINE	15	8	81
9	20-0759	NATROLITE	18	11	79
10	7-0025	MUSCOVITE-1M, SYN	18	12	79
11	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	16	78
12	17-0514	EPIDOTE	18	16	75
13	26-0911	ILLITE-2M1	18	15	75
14	22-0138	ALUMOHYDROCALCITE	18	11	74
15	22-0687	MICROCLINE, MAX	18	16	71
16	9-0478	ALBITE, POTASSIAN, HIGH, HEATED	18	13	65
17	19-1184	ALBITE, LOW	18	16	62
18	29-1360	BROOKITE	18	12	62
19	11-0313	KALIOPHILITE	18	16	57
20	19-0932	MICROCLINE, INTER	18	17	55
21	19-1180	ANALCIME	18	11	48
22	25-0843	MAJORITE	15	8	47
23	33-1279	REVDITE	18	15	46
24	10-0577	SANDINE, HIGH, SYN	17	13	44
25	10-0288	ANDRADITE, SYN	14	10	43
26	15-0655	UNNAMED MINERAL	18	11	41
27	24-0495	ILLITE-2M2	18	14	39
28	10-0360	ANORTHITE, SODIAN, HIGH, SYN	18	14	37
29	9-0465	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	14	36
30	26-1318	UNNAMED MINERAL	18	12	35
31	10-0493	PHLOGOPITE-2M1	18	13	32
33	22-0533	VESUVIANITE, FERRIAN	18	11	31
34	35-0156	PUMPELLYTE	18	11	27
35	35-0704	VASHEGYITE	18	12	27
36	31-0261	SCAWTLITE	18	14	25
37	19-1227	SANDINE	18	15	24
38	31-0635	ORTHOFERROSILITE, MAGNESIAN	18	11	23
39	26-1063	COLLINSITE	18	12	23
40	33-0669	GINITE	18	13	22
41	7-0042	MUSCOVITE-3T	18	14	21
42	35-0612	WICKSITE	18	14	20
43	15-0800	NATRON, SYN	18	12	20
44	33-1297	NARSARSUKITE, SYN	18	12	20
45	20-0020	ANORTHITE, LOW	18	16	19
46	25-0808	RICHTERITE, SYN	18	12	19
47	12-0625	YODERITE	18	12	19
48	33-0282	ANKERITE	18	11	18
49	17-0548	CLINOPHROSILITE, SYN	12	9	18
50	29-0288	PIEMONTE	18	13	17

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

面間隔  $[d(hkl)]$  は、フランクの反射条件式の面指数  $(hkl)$  と格子定数  $(A$  と  $C)$  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フランクを表示した。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、格子定数の  $A$  軸と  $C$  軸が求められる仕組みを行った。  $A$  軸、  $B$  軸、  $C$  軸および軸率  $\beta$  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。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  $X_1$ 、  $\dots$ 、  $X_n$  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  $X_1$ 、  $\dots$ 、  $X_n$  を使って、条件 (\*) の  $A$ 、  $B$ 、  $C$ 、  $\beta$  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。

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

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

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

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

### 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。

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。

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

式 (3) を A<sup>2</sup> について解くと、次のようになる。

### 3. 2 γ 格子定数 (A) の求め方

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

したがって、式 (11) より軸角 (β) は、π/2 < β < π の範囲で求まる。

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

また、cos β から式 (11) のような軸角の sin<sup>2</sup> β が求まる。

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

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。

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

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

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

X<sub>1</sub> と X<sub>3</sub> は式 (3) と (5) である。この式 (3) と (5) や条件 (\*) より

### 3. 2 β 軸角 (β) の求め方

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

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 (沢、河野、洪)

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

の係数では、

この正規方程式から作られる行列式(17)は、モジュールA(ΔA)とB(ΔB)

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

作られる行列式は次のようになる。

1<sup>2</sup> = γ および h<sup>2</sup> = δ と書くと X<sub>1</sub>、・・・、X<sub>4</sub> を求める正規方程式の係数から  
 間隔 (d) から 1/d(hkl)<sup>2</sup> = μ、面指数 (hkl) から h<sup>2</sup> = a、k<sup>2</sup> = β、

### 3. 3 手計算による連立方程式の解法 (クラメルの公式)

$$C = 2\sqrt{X_1} / (4X_1X_3 - X_4^2) \dots\dots\dots (16)$$

したがって、条件(\*)から格子定数Cは、式(16)のように求まる。

$$C^2 = \frac{4X_1}{4X_1X_3 - X_4^2} \dots\dots\dots (15)$$

式(15)をC<sup>2</sup>について解くと、A<sup>2</sup>の場合と同様に、式(14)が得られる。

### 3. 2 8 格子定数 (C) の求め方

$$A = 2\sqrt{X_3} / (4X_1X_3 - X_4^2) \dots\dots\dots (14)$$

コンピュータ解析による1ノド祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

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

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

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

である。まず、式(3)の $X_1$ を求めるクラマーの公式とその値は、式(18)のようになる。

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

この正規方程式から作られる行列式(18)は、モルA ( $X_{1A}$ ) とモルB ( $X_{1B}$ ) の係数では、

$$X_{1A} = \frac{\Delta}{1} \begin{vmatrix} 79,802 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 76,512 & 6133 & 791 & -713 \\ 45,101 & 791 & 1443 & -835 \\ -31,947 & -713 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots (18A)$$

$$X_{1B} = \frac{\Delta}{1} \begin{vmatrix} 22,810 & 512 & 591 & 205 \\ 26,251 & 1679 & 613 & -77 \\ 24,083 & 613 & 1213 & 193 \\ 3,967 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots (18B)$$

のようになる。式(18)を $X_1$ 値として、モルA ( $X_{1A}$ ) は0.01263623であり、モルB ( $X_{1B}$ ) は0.01920707である。つきに、式(4)の $X_2$ を求めるクラマーの公式とその値は、式(19)のようになる。

とモデル B (X<sub>2B</sub>) の係数では、  
 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<sub>2A</sub>)

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

の公式とその値は、式 (20) のようになる。  
 モデル B (X<sub>2B</sub>) は 0.02471278 である。また、式 (5) の X<sub>3</sub> を求めるクラメール  
 のようになる。式 (19) を X<sub>2</sub> 値として、モデル A (X<sub>2A</sub>) は 0.00987848 であり、

$$X_{2B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 205 & 3.967 & 193 & 591 \\ 591 & 24.083 & 1213 & 193 \\ 512 & 26.251 & 613 & -77 \\ 1182 & 22.810 & 591 & 205 \end{vmatrix} \quad (19B)$$

$$X_{2A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 79.802 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 76.512 & 791 & -713 \\ 1231 & 45.101 & 1443 & -835 \\ -1753 & -31.947 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \quad (19A)$$

とモデル B (X<sub>2B</sub>) の係数では、  
 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<sub>2A</sub>)

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

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 (沢、河野、洪)



$$X_{3A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 79.802 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 76.512 & -713 \\ 1231 & 791 & 45.101 & -835 \\ -1753 & -713 & -31.947 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20A)$$

$$X_{3B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 22.810 & 205 \\ 512 & 1679 & 26.251 & -77 \\ 591 & 613 & 24.083 & 193 \\ 205 & 205 & 3.967 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20B)$$

のようになる。式(20)を $X_3$ 値として、モデルA ( $X_{3A}$ )は0.01965502であり、モデルB ( $X_{3B}$ )は0.02117938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。

$$X_4 = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma a^2 & \Sigma a\beta & \Sigma a\gamma & \Sigma a\delta \\ \Sigma a\beta & \Sigma b^2 & \Sigma b\gamma & \Sigma b\delta \\ \Sigma a\gamma & \Sigma b\gamma & \Sigma c^2 & \Sigma c\delta \\ \Sigma a\delta & \Sigma b\delta & \Sigma c\delta & \Sigma d^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21)$$

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、

$$X_{4A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 79.802 & 1231 \\ 2005 & 6133 & 76.512 & 791 \\ 79.802 & 76.512 & 45.101 & -835 \\ 1231 & 791 & -835 & -31.947 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21A)$$

$$X_{4B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 22.810 & 205 \\ 512 & 1679 & 26.251 & -77 \\ 591 & 613 & 24.083 & 193 \\ 205 & 205 & 3.967 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21B)$$

$$C_A = 2 \sqrt{0.012636 / (4 * 0.012636 * 0.019655 - 0.019097^2)} \dots \dots \dots (24A) = 8.9658 \text{ \AA}$$

(24) のように求められる。  
格子定数Cは、モジュールA (C<sub>A</sub>) とモジュールB (C<sub>B</sub>) に関して、式(16)から式

$$B_B = \sqrt{1 / 0.0247128} = 6.3612 \text{ \AA} \dots \dots \dots (23B)$$

$$B_A = \sqrt{1 / 0.0098785} = 10.0613 \text{ \AA} \dots \dots \dots (23A)$$

(23) のように求められる。  
格子定数Bは、モジュールA (B<sub>A</sub>) とモジュールB (B<sub>B</sub>) に関して、式(7)から式

$$A_B = 2 \sqrt{0.021179 / (4 * 0.019207 * 0.021179 - 0.013510^2)} \dots \dots \dots (22B) = 7.6578 \text{ \AA}$$

$$A_A = 2 \sqrt{0.019655 / (4 * 0.012636 * 0.019655 - 0.019097^2)} \dots \dots \dots (22A) = 11.1819 \text{ \AA}$$

る。  
A (A<sub>A</sub>) とモジュールB (A<sub>B</sub>) に関して、式(14)から式(22) のように求められる成分である。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、モジュールA (A<sub>A</sub>) とモジュールB (A<sub>B</sub>) に関して、式(14)から式(22) のように求められる。  
Na<sub>2</sub>O (0.73), MgO (1.73), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (16.32), SiO<sub>2</sub> (69.44), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.19), K<sub>2</sub>O (3.61), CaO (0.62), TiO<sub>2</sub> (0.84), MnO (0.07) および Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.45) などの

グループ分析による重量百分率 (Wt%)<sup>(1)</sup> は、Table 3 のように、

### 3. 4 モジュール (A と B) に関する単斜晶系の格子定数

あり、モジュールB (X<sub>B</sub>) は0.01350981である。  
のようになる。式(21)をX<sub>A</sub>値として、モジュールA (X<sub>A</sub>) は-0.01909663で  
コンピュータ解析によるXRD 図精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

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

重量百分率	祇園精舎			孔子廟			Maheth (PK)
	煉瓦 (JB)	土壇 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壇 (CS)	平均 (C)	
Na <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.32	14.89	15.605	13.85	14.11	13.980	15.488
SiO <sub>2</sub>	69.44	71.17	70.305	72.47	69.75	71.110	71.178
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.70	0.445	0.53	0.42	0.475	0.098
K <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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							
軸 a (Å)	煉瓦 (JB)	土壇 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壇 (CS)	平均 (C)	Maheth (PK)
	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	テゾ研 1		経法論集49	経法論集52		テゾ研 3
単斜晶系							
軸 a (Å)	煉瓦 (JB)	土壇 (JS)	平均 (J)	煉瓦 (CB)	土壇 (CS)	平均 (C)	
	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	8.9723	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	経法論集		経法論集	経法論集		経法論集

コンピュータ解析に於ては、六方晶系と単斜晶系との軸比の相違を調べる (矢野、野田)

ここで、酸化第二鉄 (Fig. 3 上)・酸化アルミニウム (Fig. 3 中の上)・ケイ酸 (Fig. 3 中の下) およびこの3成分 (Fig. 3 下) の重量百分率と六方晶系の格子定数との関係を表示した。酸化第二鉄 (Fig. 3 上) と酸化アルミニウム

$$\begin{aligned} \text{Ch (\AA)} &= 5.390 - 0.00001\text{Wt} \dots\dots\dots (27) \\ \text{Ah (\AA)} &= 4.897 + 0.00001\text{Wt} \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

を求めた (Fig. 3)。

成分と六方晶系の格子定数 (AhとCh) との関係を、つぎのような回帰係数に増大し、Ch軸格子定数<sup>2)</sup>はわずかに減少している傾向である。これらの3である。微細に分析すれば、祇園精舎にある煉瓦のAh軸格子定数<sup>2)</sup>はわずかに増大し、Ch軸格子定数<sup>2)</sup>はわずかに減少している傾向である。祇園精舎にある煉瓦のAh軸格子定数 (4.9047 Å) は、中間より大きい値で、祇園精舎にある土壌よりは小さく、孔子廟001である。この両聖者遺跡の中で祇園精舎にある煉瓦のAh軸格子定数 (4.9047 Å) は、中間より大きい値で、祇園精舎にある土壌よりは小さく、孔子廟001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。祇園精舎と孔子廟にあるAh軸格子定数<sup>2)</sup>は4.877 Åから4.931 Åまでの範囲

### 3. 5 グループ分析値と六方晶系の格子定数との関係

$$\beta_B = \cos^{-1} \left( -\frac{1}{2} \frac{0.01350981}{\sqrt{0.019207 * 0.021179}} \right) = 109.57^\circ \dots\dots\dots (25B)$$

$$\beta_A = \cos^{-1} \left( -\frac{1}{2} \frac{0.01909663}{\sqrt{0.012636 * 0.019655}} \right) = 127.29^\circ \dots\dots\dots (25A)$$

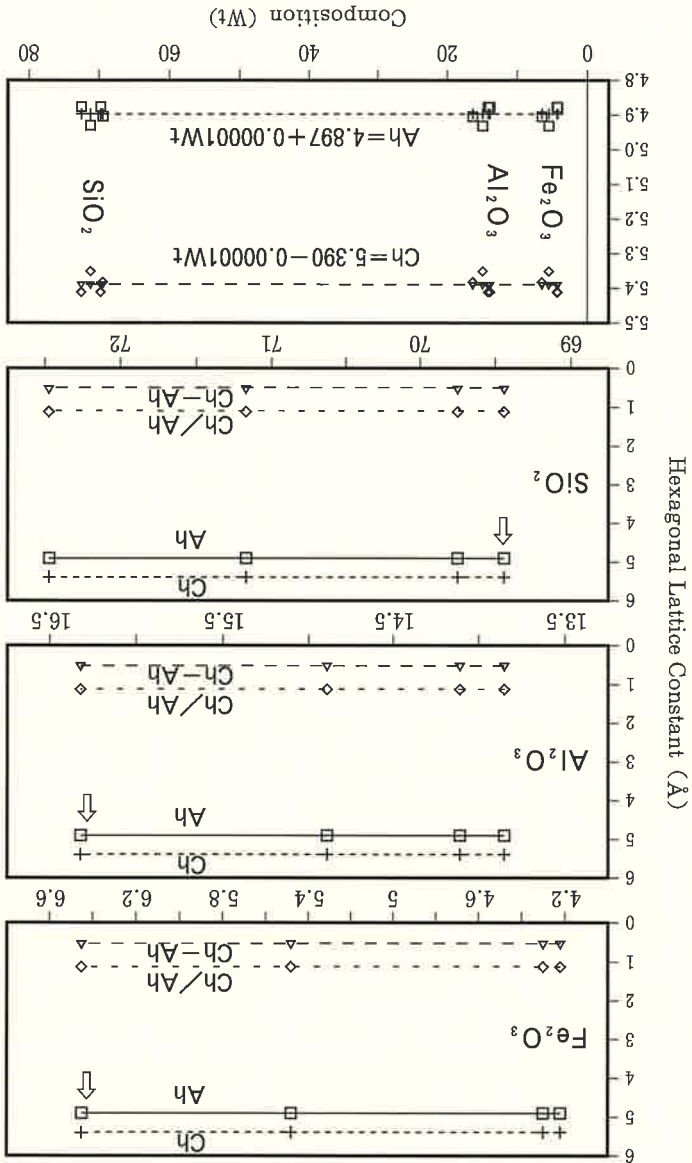
(25) のように求められる。

軸角 (β) は、モジュール (β<sub>A</sub>) とモジュール (β<sub>B</sub>) に関して、式(2)から式

$$C_B = 2 \sqrt{0.019207 / (4 * 0.019207 * 0.021179 - 0.013510^2)} = 7.2925 \text{ \AA} \dots\dots\dots (24B)$$

コンピュータ解析によるX線祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

Fig. 3 Relation between Composition and Hexagonal Lattice Constant of Blich Sample from Jetaunavahara, India



コンピュータ解析によるX線回折精査にある燻瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、浜)

両聖者の遺跡にある格子定数のA<sub>m</sub>軸は11.1608Åから11.2080Åの範囲であ

### 3.6 グリナー分析値と単斜晶系の格子定数 (A<sub>m</sub>) との関係

$$\text{Wt (Al}_2\text{O}_3) = 81 - 13.94\text{Ch} \dots (R^2=0.129) \dots (33)$$

$$\text{Wt (Fe}_2\text{O}_3) = 87 - 13.44\text{Ch} \dots (R^2=0.122) \dots (32)$$

$$\text{Wt (SiO}_2) = 40 + 5.76\text{Ch} \dots (R^2=0.016) \dots (31)$$

定係数を求めた。

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格子定数Ahと重量百分率は、両聖者の遺跡の中では中間の値である。これらの酸化アルミニウムはわずかに小さくなる傾向である。祇園精舎にある煉瓦の格子定数Chが大きくなるにつれ、ケイ酸はわずかに大きく、酸化第二鉄・

$$\text{Wt (Al}_2\text{O}_3) = 58 + 14.91\text{Ah} \dots (R^2=0.129) \dots (30)$$

$$\text{Wt (Fe}_2\text{O}_3) = -67 + 14.86\text{Ah} \dots (R^2=0.113) \dots (29)$$

$$\text{Wt (SiO}_2) = 107 - 7.31\text{Ah} \dots (R^2=0.021) \dots (28)$$

定係数を求めた。

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格子定数Ahと重量百分率は、両聖者の遺跡の中では中間の値である。これらの酸化アルミニウムはわずかに大きくなる傾向である。祇園精舎にある煉瓦の格子定数Ahが大きくなるにつれ、ケイ酸はわずかに小さく、酸化第二鉄・

わずかに増大し、格子定数Chはわずかに減少していることが確認された。

がって、Fig. 3 下から重量百分率が大きくなるにしたがって、格子定数Ahはwt%)・ケイ酸 (69.44wt%) 等が、最大級の含有率であるからである。したの3成分を選んだのは、酸化第二鉄 (6.45wt%)・酸化アルミニウム (16.32 (AhとCh) になっている。この3成分を比較したのが、Fig. 3 下である。こ中の下) の成分は最小重量百分率のところに祇園精舎にある煉瓦の格子定数 (Fig. 3 中の上) の成分は最大重量百分率のところに、また、ケイ酸 (Fig. 3

コンピュータ解析によるXRF祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

$$\begin{aligned} \text{Wt (SiO}_2) &= 52.54 + 1.82B_m \dots\dots\dots (37) \\ \text{Wt (Al}_2\text{O}_3) &= 98.95 - 8.36B_m \dots\dots\dots (38) \\ \text{Wt (Fe}_2\text{O}_3) &= 237.78 - 22.83B_m \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

な回帰係数と決定係数を求めた。

中)。これらの3成分と六方晶系の格子定数(Bm)との関係を、つぎのよう  
子定数Bhと重量百分率の関係では、格子定数の大きい側の値である (Fig. 4  
る傾向である。これらは3.7と同様の傾向である。祇園精舎にある煉瓦の格  
ケイ酸はわずかに大きく、酸化第二鉄・酸化アルミニウムはわずかに小さくな  
その平均は10.055Å、差は0.0173Åである。格子定数Bmが大きくなるにつれ、  
両聖者にある遺跡の格子定数Bmは10.0451Åから10.0624Åの範囲である。

### 3.7 グループ分析値と単斜晶系の格子定数(Bm)との関係

金属間距離は、イオン半径と共有結合半径よりも大きいからである。  
間距離と金属間距離に影響していると考えられる。その理由は、原子間距離と  
ミニウムと酸化第2鉄であり、大きくなる成分はケイ酸である。これは、原子  
(Am)の値が大きくなるにつれ、重量百分率が小さくなる成分は、酸化アル  
である。その範囲は、0.77から0.321であり、その差は0.244である。格子定数  
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  
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、  
正の回帰係数はケイ酸(46.16)、負の回帰係数は酸化アルミニウム(11.14)

$$\begin{aligned} \text{Wt (Fe}_2\text{O}_3) &= 145.59 - 12.54A_m \dots\dots\dots (36) \\ \text{Wt (Al}_2\text{O}_3) &= 139.53 - 11.14A_m \dots\dots\dots (35) \\ \text{Wt (SiO}_2) &= -239.88 + 27.69A_m \dots\dots\dots (34) \end{aligned}$$

Table 3 と Fig. 4 E) を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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  
量百分率が6%以上の成分は、酸化アルミニウム、ケイ酸および酸化第2  
る。その平均は11.190Å、差は0.0494Åである。グループ分析により求めた重

コンピュータ解析によるイソト祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分(沢、河野、洪)

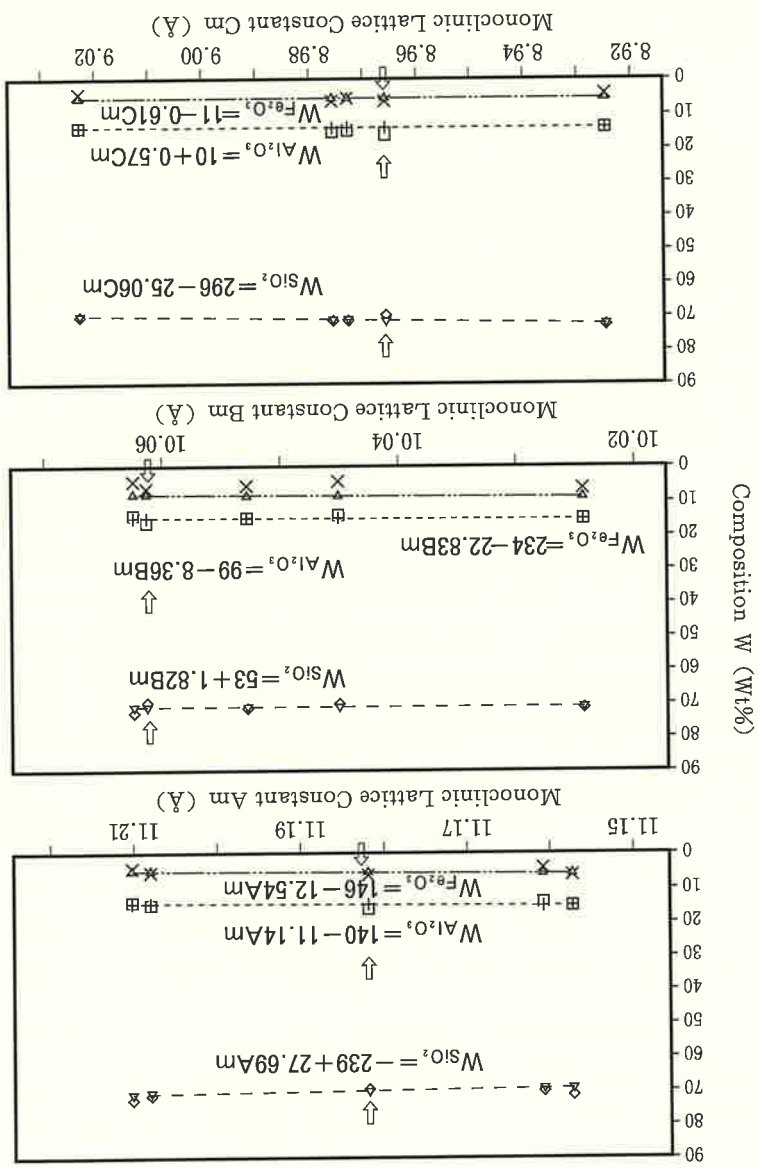


Fig. 4 Relation between Composition and Monoclinic Lattice Constant of Blix Sample from Detawanavithara, India



ケイ酸の重量百分率にあわせて比較をすれば、  
のようになる。水素イオン指数 $pH$  (塩基性 $>7$  中性 $=7$ 、酸性 $<7$ ) から

ケイ酸63Wt% ≤ Dacite (石英安山岩)

ケイ酸52Wt% ≤ Basaltic-andesite ≤ ケイ酸57Wt% ≤ Andsite (安山岩) ≤

41Wt% ≤ Picro-basalt ≤ ケイ酸45Wt% ≤ Basalt (玄武岩) ≤

ら分類できる<sup>14, 15)</sup>。すなわち、

である成分を確認するために、ケイ酸の重量百分率から基準を定めた鉱物名か  
廟にある土壌<sup>16)</sup>および⑤マハートにある煉瓦<sup>17)</sup>である。ここでは両聖者の遺跡  
精舎にある煉瓦<sup>1)</sup>、②祇園精舎にある土壌<sup>18)</sup>、③孔子廟にある煉瓦<sup>19)</sup>、④孔子  
様に増していることが見られる。Fig. 5上と下にある番号は、それぞれ①祇園  
い領域である。広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、 $(Na_2O+K_2O)$ も同  
 $K_2O$ の関係図であり、含有量のアルカリ成分 $(Na_2O+K_2O)$ が比較的に多  
は、Fig. 5のとおりである。Fig. 5におけるアルカリ類は $SiO_2 - (Na_2O +$   
ケイ酸に対するアルカリ性(酸化ナトリウムと酸化カリウムの和)との関係

### 3.9 ケイ酸と $Na_2O+K_2O$ との関係

$$Wt(Fe_2O_3) = 10.83 - 0.61C_m \dots (R^2=0.0003) \dots (42)$$

$$Wt(Al_2O_3) = 9.86 + 0.57C_m \dots (R^2=0.0004) \dots (41)$$

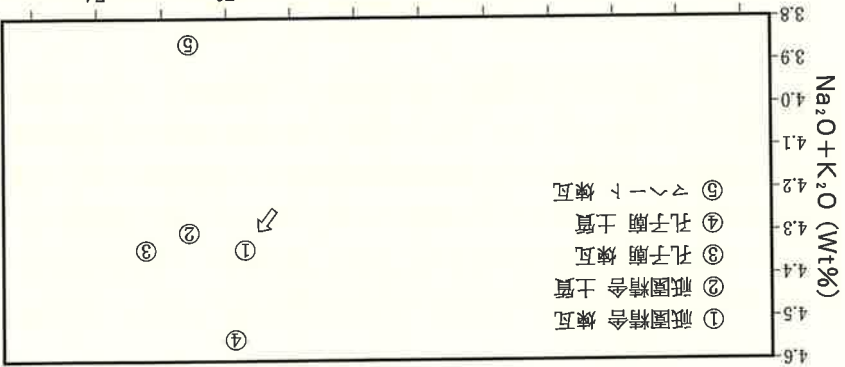
$$Wt(SiO_2) = 295.67 - 25.06C_m \dots (R^2=0.5090) \dots (40)$$

子定数 $(C_m)$ との関係を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。  
子定数の中間の左側の値である (Fig. 4下)。これらの3成分と六方晶系の格  
傾向である。祇園精舎にある煉瓦の格子定数 $C_m$ と重量百分率の関係では、格  
イ酸と酸化第二鉄はわずかに小さく、酸化アルミニウムはわずかに大きくなる  
の平均は $8.972\text{Å}$ 、差は $0.982\text{Å}$ である。格子定数 $C_m$ が大きくなるにつれ、ケ  
両聖者にある遺跡の格子定数 $C_m$ は $8.9247\text{Å}$ から $9.0229\text{Å}$ の範囲である。そ

### 3.8 グルーブ分析値と単斜晶系の格子定数 $(C_m)$ との関係

コンピュータ解析によるインク祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分(沢、河野、洪)

コンピュータ解析によるイソトッ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)



- ① 祇園精舎煉瓦
- ② 祇園精舎土質
- ③ 孔子廟煉瓦
- ④ 孔子廟土質
- ⑤ 〱〱〱煉瓦

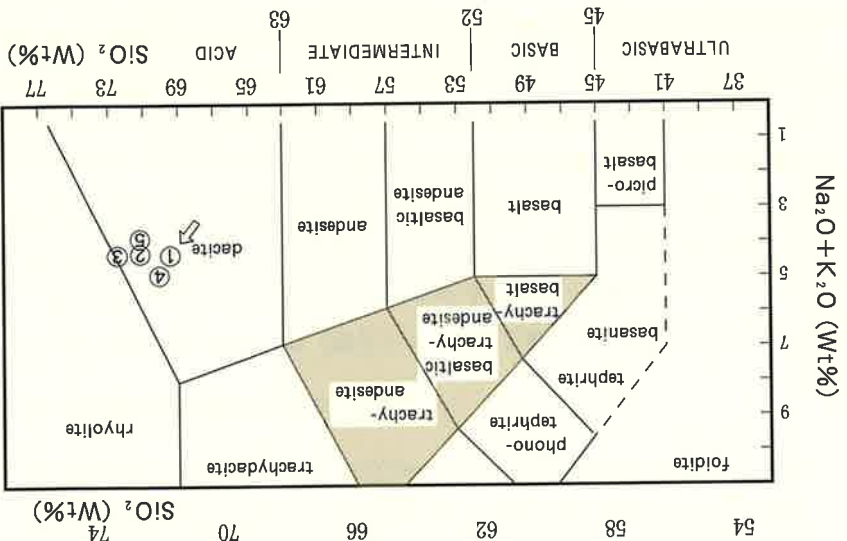


Fig. 5 Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks using the Total Alkali versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al. 1986, Fig. 2)

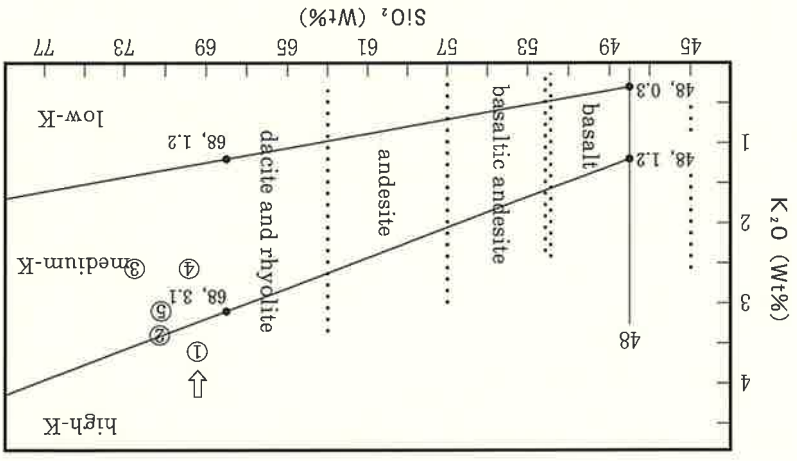
Ultra-basic ≦  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \leq 45\text{Wt}\%$  ≦ Basic (塩基性岩) ≦  
 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \leq 52\text{Wt}\%$  ≦ Intermediate (中性岩) ≦  
 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \leq 63\text{Wt}\%$  ≦ Acid (酸性岩) ようになる。

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。Fig. 6におけるアルカリ類は ( $Si_2O-K_2O$ ) の関係図であり、含有量のアルカリ成分

### 3. 10 ケイ酸と酸化カリウムとの関係

②祇園精舎にある土壌と⑤マヘトにある煉瓦より大きい。  
 ③孔子廟にある土壌、④孔子廟にある土壌および⑤マヘトにある煉瓦より小さい。また、アルカリ性は、④孔子廟にある土壌より小さく、精舎にある土壌、③孔子廟にある煉瓦、④孔子廟にある土壌および⑤マヘトの番号より比較を行った。その結果①祇園精舎にある煉瓦のケイ酸は、②祇園精舎にある土壌、③孔子廟にある煉瓦、④孔子廟にある土壌および⑤マヘトのケイ酸との関係から石英安山岩であることが認められた。Fig. 5上と下にある  $(Na_2O + K_2O)$  および平均値 (4.38wt%) である。Fig. 5下にあるケイ酸と ( $Na_2O$  wt%) および含有率の ( $Na_2O + K_2O$ ) は、最大値 (4.55wt%) と最小値 (4.30 wt%) である。このデータから石英安山岩や酸性的岩 (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。一方含有率の ( $Na_2O + K_2O$ ) は、最大値 (4.55wt%) と最小値 (4.30 wt%) および平均値 (4.38wt%) である。このデータから石英安山岩や酸性的岩 (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。この分類により含有率のケイ酸は、最大値 (72.47wt%) と最小値 (69.44 wt%) および平均値 (70.708wt%) である。

Fig. 6 Division of basalts (with  $SiO_2 > 48\%$ ), Basaltic andesites, andesites, 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.



コンピュータ解析による1つ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

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。

### 3.12 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

していることが確認された<sup>14, 15)</sup>。

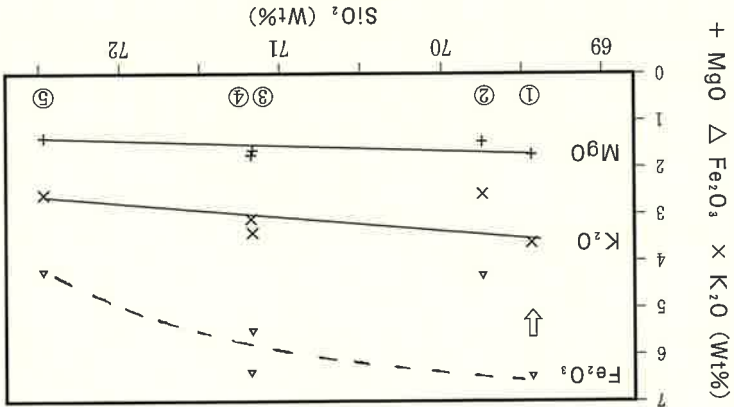
ないところでは酸性である。祇園精舎にある煉瓦は、広い分野での傾向と類似は塩基性である。一方ケイ酸が多く、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などの少のケイ酸は乏しく、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などの富んでいるところ (SiO<sub>2</sub>-MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O) を検討したのが、Fig. 7 である。広い分野でケイ酸に対する酸化マグネシウム、酸化第2鉄、酸化カリウムとの関係

### 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

精舎における煉瓦は high-K であることが確認された。

れる。Fig. 6 上と下にある番号は、Fig. 5 上と同様である。したがって、祇園野ではケイ酸が増大するにつれ、酸化カリウムも同様に増していることが見られ、全体で4番目に多い組成であり、酸化ナトリウムよりも2~4倍多い。広い分の中で酸化カリウムが比較的に多い領域である。すなわち、酸化カリウムは、

Fig. 7 Relation between Composition SiO<sub>2</sub> and MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O of Blich Sample from Jetaavanavithara, India



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 (沢、河野、洪)

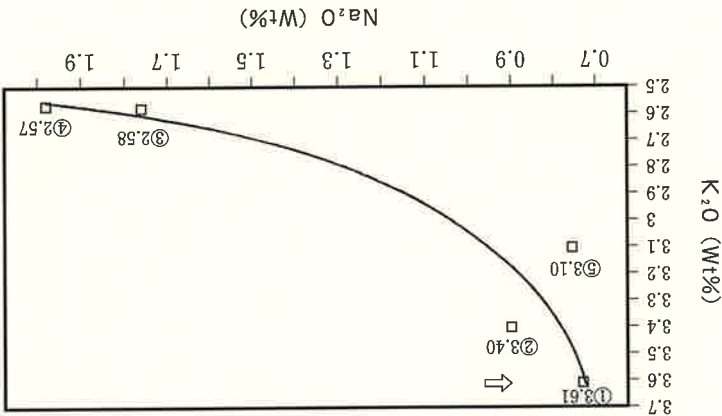
有色鉱物と無色鉱物との関係を検討した。有色鉱物 ( $MgO + Fe_2O_3 + CaO$ ) と無色鉱物 ( $SiO_2 + Na_2O + K_2O$ ) との関係図は、Fig. 9のとおりである。周期律表におけるIIaのマグネシウムとカルシウムは有色鉱物であり、Iaのナトリウムとカリウムは無色鉱物である。ここでは、有色鉱物と無色鉱物における量の目安として図示した。有色鉱物と無色鉱物は、地殻表面にある岩石の

### 3.13 有色鉱物と無色鉱物との関係

の含有率であることが確認された<sup>14, 15)</sup>。

瓦では、両聖者の中で酸化カリウムは極小の含有率で、酸化ナトリウムは極大Fig. 8にある番号は、Fig. 5上と同様である。したがって、祇園精舎にある煉瓦で見られるが、両聖者にある遺跡の狭い分野ではその逆の傾向である。広い分野では酸化カリウムが増大するにつれ、酸化ナトリウムも同様に増して成は、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。カリ成分の中で酸化カリウムが比較的広い領域である。すなわち、この両組Fig. 8におけるアルカリ類は ( $K_2O - Na_2O$ ) の関係図であり、含有量のアル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 Relation between Composition  $K_2O$  and  $Na_2O$  of Brick Sample from Jetaavanavathara, India



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 (沢、河野、洪)

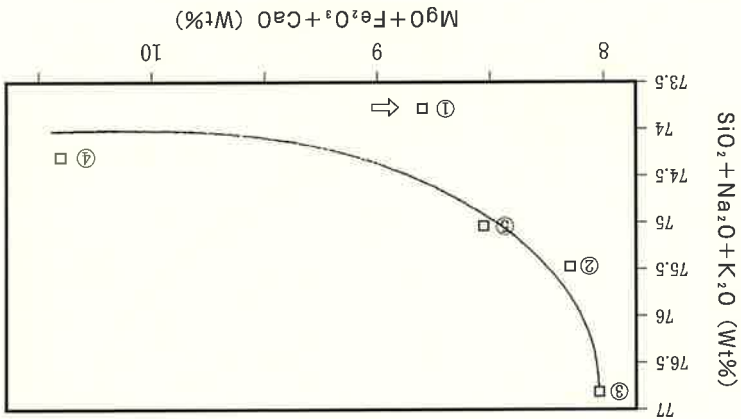
(a) ピーク・サーチの定性分析  
 回折角度の  $2\theta$  ( $3\sim 80^\circ$ ) の範囲において、それぞれ42個のピークをサーチした。その特徴として、相対強度が5%以上は、モリアルAでは(021)面、(20-1)面、(130)面、(220)面、(002)面、(240)面、(33-2)面、(241)面、(350)面、(35-3)面および(53-3)面の11個の面指数である。これらの面指

次のとおりである。  
 イソフ、祇園精舎にある煉瓦成分に対して、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、

#### 4 おわりに

風化作用によって生じた無機物と、動物や植物の多くが腐敗して地表に堆積している。地域によって成分が異なるのは、当然のことである。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。祇園精舎にある煉瓦は、広い分野での傾向と類似し、無色鉱物の含有率が最も少ないことが確認された。

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



コンピュータ解析によるイソフ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分(沢、河野、洪)

および酸化第 2 鉄に関して重量百分率と六方晶系の格子定数との関係を求めた。

(D) 重量百分率と六方晶系の格子定数

モナル B では、格子定数は A 軸 = 7.6578 Å、B 軸 = 6.3612 Å、C 軸 = 7.2956 Å および軸角の  $\beta$  は 109.60° である。  
モナル A では、格子定数は A 軸 = 11.1819 Å、B 軸 = 10.0613 Å、C 軸 = 8.6558 Å および軸角の  $\beta$  は 127.29° である。

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、X線分析の回折によって相関性を試みた。また、結晶構造は単斜晶系であることが確認された。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

(c) 結晶構造と格子定数

この煉瓦のサンプルは、長石と同質であることが、蛍光 X線分析の含有率と X線分析の回折によって相関性を試みた。また、結晶構造は単斜晶系であることが確認された。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、モナル A とする) および JCPDS 物質の番号 (No. 20-0452) の  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  という Gismondine の単斜晶系 (モナル B とする) である。

(b) 二次検査の定性分析

祇園精舎にある煉瓦の成分は、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 JCPDS の化学式と結晶構造は、JCPDS 物質の番号 (No. 33-1161) の  $\text{SiO}_2$  という石英 (Quartz) の六方晶系、JCPDS 物質の番号 (No. 31-0966) の  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  という長石 (Sanidine) の単斜晶系 (モナル A とする) および JCPDS 物質の番号 (No. 20-0452) の  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  という Gismondine の単斜晶系 (モナル B とする) である。

コンピュータ解析による X線回折による煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野、洪)

広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) も同様に増していることが見られる。この分類により含有率のケイ酸は、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、その結果①祇園精舎にある煉瓦のケイ酸は、②祇園精舎にあることが確認された。

(f) ケイ酸とNa<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>Oとの関係

- Wt (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 10.83 - 0.61Cm ..... (R<sup>2</sup>=0.0003) ..... (42)
- Wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 9.86 + 0.57Cm ..... (R<sup>2</sup>=0.0004) ..... (41)
- Wt (SiO<sub>2</sub>) = 295.67 - 25.06Cm ..... (R<sup>2</sup>=0.5090) ..... (40)
- Wt (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 237.78 - 22.83Bm ..... (R<sup>2</sup>=0.109) ..... (39)
- Wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 98.95 - 8.36Bm ..... (R<sup>2</sup>=0.017) ..... (38)
- Wt (SiO<sub>2</sub>) = 52.54 + 1.82Bm ..... (R<sup>2</sup>=0.001) ..... (37)
- Wt (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 145.59 - 12.54Am ..... (R<sup>2</sup>=0.085) ..... (36)
- Wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 139.53 - 11.14Am ..... (R<sup>2</sup>=0.077) ..... (35)
- Wt (SiO<sub>2</sub>) = -239.88 + 46.16Am ..... (R<sup>2</sup>=0.321) ..... (34)

インドの祇園精舎にある煉瓦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鉄に関して重量百分率と単斜晶系の格子定数との関係を求めた。

(e) 重量百分率と単斜晶系の格子定数

- Wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 81 - 13.94Ch ..... (R<sup>2</sup>=0.129) ..... (33)
- Wt (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 87 - 13.44Ch ..... (R<sup>2</sup>=0.122) ..... (32)
- Wt (SiO<sub>2</sub>) = 40 + 5.76Ch ..... (R<sup>2</sup>=0.016) ..... (31)
- Wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 58 + 14.91Ah ..... (R<sup>2</sup>=0.129) ..... (30)
- Wt (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = -67 + 14.86Ah ..... (R<sup>2</sup>=0.113) ..... (29)
- Wt (SiO<sub>2</sub>) = 107 - 7.31Ah ..... (R<sup>2</sup>=0.021) ..... (28)

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 (沢、河野、洪)



有色鉱物と無色鉱物との関係として、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。

(1) 有色鉱物と無色鉱物との関係

増していることが見られるが、両聖者にある遺跡の狭い分野ではその逆の傾向がある。広い分野では酸化カリウムが増大するにつれ、酸化ナトリウムも同様に増大する。面組成は、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）でアルカリ成分の中で酸化カリウムが比較的に多い領域である。すなわち、この軽金属のIaに属する酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係は、含有量の増大する傾向にある。

(i) 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

酸化ナトリウムと酸化カリウムとの関係は、含有量の増大する傾向にある。面組成は、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）でアルカリ成分の中で酸化カリウムが比較的に多い領域である。すなわち、この軽金属のIaに属する酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係は、含有量の増大する傾向にある。

(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

ケイ酸に対する酸化カリウムとの関係は、酸化カリウムは、全体で4番目に多い組成であり、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、酸化カリウムも同様に増していることが見られる。祇園精舎にある煉瓦はhigh-Kであることが確認された。

(8) 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、酸化カリウムは、全体で4番目に多い組成であり、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、酸化カリウムも同様に増していることが見られる。祇園精舎にある煉瓦はhigh-Kであることが確認された。

コンピュータ解析によるイソトプ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野、洪）

舎にある土壌、③孔子廟にある煉瓦、④孔子廟にある土壌および⑤マハートにある煉瓦より小さい。また、アルカリ性は、④孔子廟にある土壌より小さく、

②祇園精舎にある土壌と⑤マハートにある煉瓦より大きい。

- (1) 沢敷・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 Technique」Technology Reports of Kansai University 16 (1975) P.75-85
- (3) W. W. Hunter, C. I. E., L. L. D. : The Imperial Gazetteer India (1981), 107 London
- (4) 沢敷・村田守：「インフ、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) 沢敷・村田守：「インフ、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) 沢敷・村田守：「インフ、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) 沢敷・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

### 参考文献

この研究は、本学研究補助金による成果である。この論文のフォーマ作成において、理学電機工業(株) 関根浩平氏・(株) リガクの入江成夫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。

### 謝 辞

無色鉱物の含有率が最も少ないことが確認された。なくなっている傾向である。祇園精舎にある煉瓦は、広い分野での傾向と類似するのは、当然のことである。広い分野では、有色鉱物が多いほど、無色鉱物が少動物や植物の多くが腐敗して地表に堆積している。地域によって成分が異なる。鉱物と無色鉱物は、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、有色。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。有色コンピュータ解析によるインフ祇園精舎にある煉瓦の単斜晶系と成分(沢、河野、洪)

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(沢、河野、洪)

- (8) 沢敷・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) 沢敷・河野久征：「インド、マハート遺跡のPakki-kuttiに構築していた煉瓦のX線回折分析」大阪経済法科大学マヅメ研究所年報 3 (1992) P.25~36
- (10) 沢敷・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
- (11) 沢敷・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) 沢敷・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) 沢敷・河野久征：「インド、マハート遺跡のPakki-kutti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 Alkalie 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

