

インド、マヘート遺跡の Pakki-Kuti にある 煉瓦の単斜晶系と成分

沢 勲 Isao SAWA
河野久征 Hisayuki KHONO

[*The Components and Monoclinic System of the Brick Samples from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India*]

ABSTRACT

Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth is well-known as deep meditation place for buddha in the world. Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth is located in Kapilavastu-ancient city and the capital of the Sakyas, Uttar Pradesh State, north-eastern of India.

Kapilavastu (Gorakhpur), lying between $26^{\circ}5'$ and $27^{\circ}28'$ N. latitude, and between $83^{\circ}7'$ and $84^{\circ}29'$ E. longitude.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on the brick samples on Confucian temple 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,

$A=11.1573\text{\AA}$, $B=10.0243\text{\AA}$, $C=8.9757\text{\AA}$ and $\beta=127.54^{\circ}$ in model A,

$A=7.6538\text{\AA}$, $B=6.3518\text{\AA}$, $C=7.1195\text{\AA}$ and $\beta=109.14^{\circ}$ in model B.

key words: Brick, Monoclinic System, Analysis of Lattice Constants

[大阪経済法科大学論集 第76号] [The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol 76 (2000), p.1-35]

1 はじめに

東洋の二大聖者は、釈尊と孔子である。この両聖者の思想は2,500年経った今日でも、人々の心に残っている。釈尊は仏教を教えるために最初に建てた祇園精舎がある。一方、孔子は儒教を教えた孔子廟がある。心のふるさとを教えた両聖域は約3,000kmも離れている。この両聖地の成分を比較することは、東洋遺跡の研究の中で大きな意義がある。その研究の中で類似成分が多いことに感激している。この聖域に構築している煉瓦や土壌を分析と比較することは、考古学上に大きな意義がある。ゆえに、ここでは、遺跡の分析に用いたのは、X線分析法である。X線分析法は、土壌や煉瓦には主成分元素および微量元素の定量分析に広く利用されている。近年には、各成分の結晶構造や重量百分率を得るために、X線回折装置や蛍光X線分析装置の自動化により迅速かつ簡単に行われている^{1, 2)}。それはコンピュータのソフトウェアの開発によって高信頼性が得られているからである。

ここで、マヘート遺跡のパッキッククッティ (Pakki-Kuti) は、釈尊が大悟のため瞑想にふけていた場所として世界的に有名である。マヘート遺跡のパッキッククッティの所在は、インド東北地方の Uttar Pradesh 州の Kapilavastu-ancient 市である。Kapilavastu (Gorakhpur) は、緯度 $26^{\circ} 5'$ と $27^{\circ} 28' N$ の間および東経 $83^{\circ} 7'$ と $84^{\circ} 29' E$ の間の地点である。

本研究におけるパッキッククッティの煉瓦⁷⁾は、東洋における最大聖者の遺跡に関する成分分析 (重量百分率)^{4~6)}や結晶構造 (六方晶系の格子定数) の論文^{9~13)}がある。パッキッククッティにある煉瓦の重量百分率 (wt.%)⁸⁾は、次のとおりである。

Na₂O (0.76), MgO (1.74), Al₂O₃ (15.49), SiO₂ (71.18), P₂O₅ (0.10), K₂O (3.10), CaO (0.42), TiO₂ (0.78), MnO (0.07), Fe₂O₃ (6.37)。

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^{9~13)}・単斜晶系^{14~17)}および非晶質成分の混晶であることが判明した。前回の報告では、パッキッククッティにおける煉瓦の六方晶系の格子定数 (\AA)¹³⁾は、すなわち、 $A=4.8764 \text{\AA}$, $C=5.4109 \text{\AA}$ および軸比 (C/A) = 1.1096である。今回の研究

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

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 （°）について決定した。すなわち、次のとおりである。

モデルAでは、 $A=11.1573\text{ \AA}$, $B=10.0243\text{ \AA}$, $C=8.9757\text{ \AA}$ および $\beta=127.54^\circ$

モデルBでは、 $A=7.6538\text{ \AA}$, $B=6.3518\text{ \AA}$, $C=7.1195\text{ \AA}$ および $\beta=109.14^\circ$ 。

このモデルA（JCPDS31-0966の信頼性係数：120）の格子定数と軸角は、モデルB（JCPDS20-0452の信頼性係数：218）よりも大きい値である。それは、各モデルによって成分が異なっているからである。このデータはパッキックッティにある煉瓦と東洋の二大聖者である構築物との成分比較を行い、一定な結論に達したので、ここに報告する。

2 実験方法

2.1 試料調製のガラスビート作製

本研究に用いた試料は^{4~8)}、マンマーを用いて試料を約2 cmのチップに荒砕し、超音波洗浄機を用いて蒸留水で洗浄した。これを恒温槽（100°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 LiB_4O_7 （無水四ホウ酸リチウム）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。高周波炉の溶融温度（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（Au5%, Pt95%）の溶融ルツボに移し、理学電機製全自動卓

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

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・サーチと一次検索の定性分析

測定にはX線管球のRh対陰極管を使用した。試料マスクにはステンレス材の測定試料径（30mmφ）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条件は、次のとおりである。①X線の管球（Cu）、②発散スリット（1°）、③散乱スリット（1°）、④管電圧（50kV）、⑤管電流（200mA）、⑥走査軸（ $2\theta/\theta$ ）、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。

一次検索の定性分析を行うための検索条件は、次のように分類できる。すなわち、①信頼性係数再評価は行う、②平滑化点数は9、③最低一致率は10%、④一致判定許容幅は3、⑤信頼性係数閾値は50、⑥回折角度は $2\theta = 3 \sim 80$ 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、⑨不定成分は水素・酸素と炭素の三元素、⑩元素指定方法は指定元素のみ、⑪主成分はアルミニウム・ケイ素と鉄の三元素。⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子とも使用、⑬微成分はマグネシウム・ナトリウム・カルシウム・カリウム・チタンと燐の六元素である。

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、FORTRAN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。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。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Table1である。ここで、

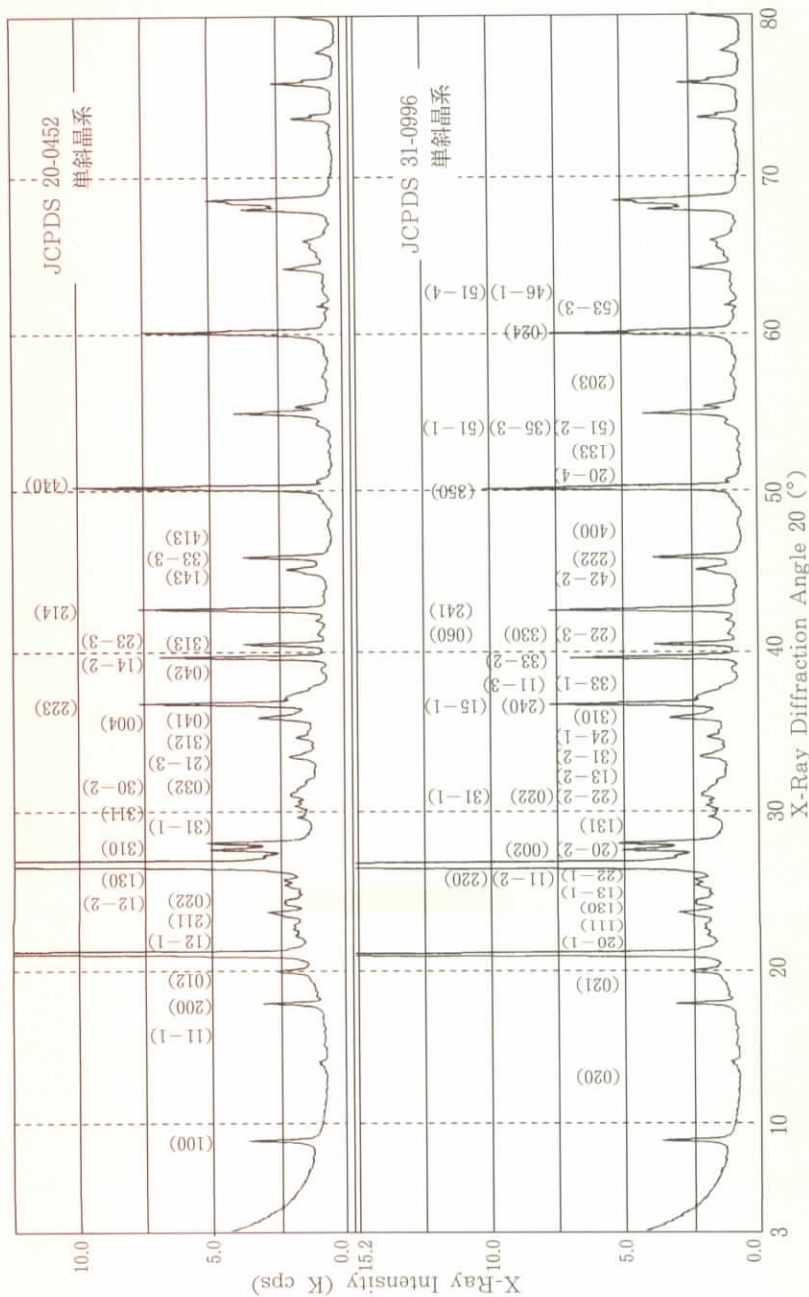


Fig.1 The X-Ray Diffractograms of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

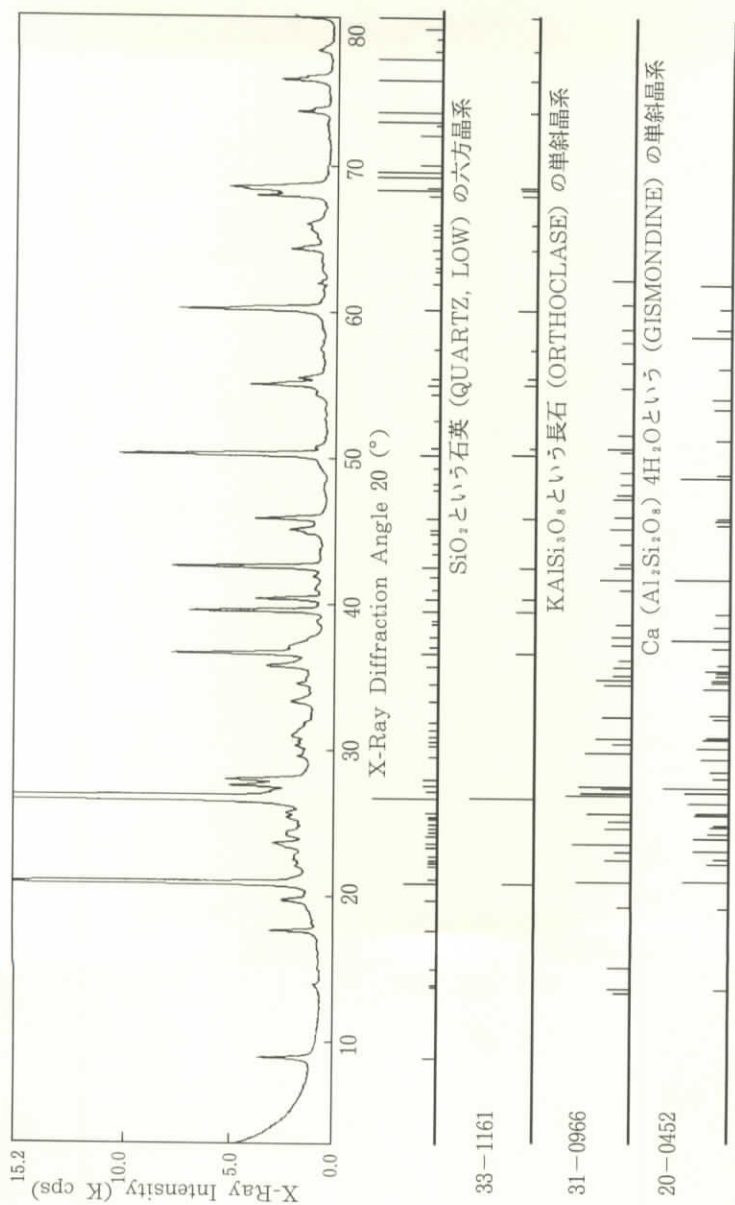


Fig.2 The Qualitative Analysis of 2nd Search-Match of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

Table 1 The X-ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Relative Intensity and Half-width) of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilawastu, India

ピーク No	回折角度 $2\theta(0)$	面間隔 d(A)	半価幅 $\Delta(^{\circ})$	相対強度 I/I ₀	MonoclinicJCPDS31-0996					MonoclinicJCPDS20-0452										
					d(A)	I/I ₀	h	k	l	d(A)	I/I ₀	h	k	l						
1	8.760	10.08604	0.180	4																
2	13.620	6.49603	0.120	1																
3	13.820	6.40246	0.150	1																
4	14.900	5.94073	0.330	1																
5	17.580	5.04067	0.210	3																
6	19.660	4.51181	0.390	3																
7	20.840	4.25893	0.210	26																
8	21.120	4.20310	0.120	2																
9	21.980	4.04055	0.210	2																
10	22.200	4.00100	0.180	2																
11	22.380	3.96923	0.150	2																
12	22.640	3.92423	0.210	2																
13	23.220	3.82750	0.150	3																
14	23.500	3.78253	0.210	3																
15	24.020	3.70181	0.240	3																
16	24.300	3.65978	0.270	2																
17	24.560	3.62163	0.180	2																
18	24.840	3.58143	0.240	2																
19	25.140	3.53937	0.180	2																
20	25.300	3.51735	0.150	2																
21	25.600	3.47681	0.330	3																
22	26.600	3.34832	0.210	100																
23	27.080	3.29005	0.150	3																
24	27.460	3.24538	0.210	5																
25	27.880	3.19744	0.270	5																
26	29.460	3.02945	0.180	2																
27	30.200	2.95688	0.180	2																
28	30.480	2.93035	0.150	2																
29	30.780	2.90247	0.150	2																
30	31.240	2.86078	0.120	2																

インド、マハート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

ピーク No	回折角度 $2\theta(^\circ)$	面間隔 d(A)	半価幅 $\Delta(^\circ)$	相対強度 I/I ₀	MonoclinicJCPDS31-0996					MonoclinicJCPDS20-0452				
					d(A)	I/I ₀	h	k	l	d(A)	I/I ₀	h	k	l
31	31.700	2.82030	0.120	2	2.783	2	3	1	1	2.82	2	3	0	1
32	31.800	2.81166	0.180	2	2.769	20	1	3	2	2.70	18	2	1	3
33	33.220	2.69465	0.360	2	2.601	18	3	1	2	2.62	2	3	1	2
34	34.440	2.60194	0.360	2	2.571	30	2	4	1	2.56	2	0	4	1
35	35.640	2.51703	0.300	3	2.515	8	3	1	0	2.46	8	0	0	4
36	36.520	2.45837	0.240	7	2.480	4	2	4	0					
37	36.880	2.43520	0.120	2										
38	37.000	2.42758	0.150	2	2.415	10	1	5	1					
39	37.660	2.38653	0.180	2	2.380	10	3	3	1	2.40	2	2	2	3
40	38.560	2.33288	0.240	1	2.328	6	1	1	3	2.34	2	0	4	2
41	38.760	2.32130	0.210	1										
42	39.420	2.28394	0.300	6	2.263	2	3	3	2	2.28	6	1	4	2
43	40.260	2.23820	0.300	4	2.234	2	2	2	3	2.24	4	3	1	3
44	40.900	2.20465	0.240	1	2.206	2	3	3	0	2.19	2	2	2	3
45	41.780	2.16022	0.240	2	2.163	25	0	6	0					
46	42.420	2.12910	0.300	7	2.124	8	2	4	1	2.13	6	2	1	4
47	43.340	2.08601	0.150	1										
48	44.100	2.05181	0.210	1										
49	44.740	2.02393	0.120	2										
50	45.000	2.01284	0.210	2	2.005	12	4	2	2	2.01	2	1	4	3
51	45.760	1.98116	0.210	4	1.971	8	2	2	2	1.981	4	3	3	3
52	47.760	1.90276	0.180	1	1.922	10	4	0	0	1.916	2	4	1	3
53	48.120	1.88936	0.210	1										
54	49.220	1.84968	0.150	1										
55	50.100	1.81924	0.180	9	1.823	2	3	5	0	1.819	16	4	4	0
56	50.580	1.80309	0.240	2	1.801	16	2	0	4					
57	52.460	1.74281	0.150	1	1.720	2	1	3	3					
58	54.200	1.69090	0.360	2	1.695	2	5	1	2					
59	54.820	1.67323	0.180	4	1.675	4	3	5	3					
60	55.280	1.66039	0.180	2	1.656	2	5	1	1					

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

ピーク No	回折角度 $2\theta(^\circ)$	面間隔 d(A)	半価幅 $\Delta(^\circ)$	相対強度 I/I ₀	MonoclinicJCPDS31-0996					MonoclinicJCPDS20-0452				
					d(A)	I/I ₀	h	k	l	d(A)	I/I ₀	h	k	l
61	57.220	1.60862	—	1	1.605	2	2	0	3					
62	59.920	1.54243	0.180	7	1.571	4	0	2	4					
63	61.660	1.50301	0.150	2	1.531	4	5	3	3					
64	62.500	1.48481	0.300	1	1.512	4	4	6	1					
65	62.800	1.47844	0.180	1	1.477	2	5	1	4					
66	63.420	1.46547	0.210	1										
67	64.000	1.45358	0.210	2										
68	64.940	1.43480	0.180	2										
69	65.380	1.42620	0.120	2										
70	65.740	1.41926	0.180	2										
71	67.700	1.38286	0.180	4										
72	68.100	1.37571	0.150	4										
73	68.260	1.37287	0.180	5										
74	72.560	1.30174	0.240	1										
75	73.440	1.28830	0.210	2										
76	75.620	1.25648	0.210	3										
77	77.600	1.22930	0.240	2										
78	79.840	1.20034	0.210	2										

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

Table 2 The Qualitative Analysis of 1st Search-match for Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

No.	カードNo.	化 学 式	元 素 標準ピーク 本 数	一致本数	信頼性係数
1	33-1161	QUARTZ, LOW	16	16	860
2	20-0452	GISMONDINE	18	12	218
3	31-0966	ORTHOCLASE	18	15	120
4	22-0687	MICROCLINE, MAX	18	17	114
5	19-0926	MICROCLINE, MAX	18	18	114
6	31-0261	SCAWTITE	18	14	78
7	19-0605	ENSTATITE, FERROAN	18	12	48
8	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	17	46
9	19-1184	ALBITE, LOW	18	16	43
10	22-0138	ALUMOHYDROCALCITE	18	11	42
11	11-0313	KALIOPHILITE	18	16	34
12	26-0911	ILLITE-2M1	18	15	28
13	33-1205	TETRANATROLITE	18	11	25
14	9-0478	ALBITE,POTASSIAN,HIGH,HEATED	18	13	25
15	29-1360	BROOKITE	18	14	25
16	22-0533	VESUVIANITE, FERRIAN	18	12	19
17	24-0495	ILLITE-2M2	18	16	17
18	12-0625	YODERITE	18	13	16
19	17-0514	EPIDOTE	18	15	15
20	12-0229	GMELINITE, SYN	18	13	14
21	35-0704	VASHEGYITE	18	12	11
22	16-0333	HYDROCALUMITE	18	12	10
23	15-0700	NAHCOLITE, SYN	18	12	10
24	22-0675	MICROCLINE, INTER	18	15	10
25	27-1056	WOLLASTONITE-1TR, FERROAN	18	13	10
26	16-0167	HOGBOMITE-18R	18	12	10
27	25-0156	PUMPELLYITE	18	11	9
28	10-0495	PHLOGOPITE-1M	18	13	9
29	29-0288	PIEMONTITE	18	13	9
30	21-1272	ANATASE, SYN	13	7	8
31	14-0426	USSINGITE	18	13	8
32	29-1410	GHANTALITE	18	13	7
33	22-0700	HYDROTALCITE, SYN	11	8	7
34	26-1063	COLLINSITE	18	12	7
35	21-1365	YAGITE	18	12	6
36	25-0618	SANIDINE, HIGH	18	15	6
37	31-0300	PSEUDOWOLLASTONITE	18	12	6
38	19-1227	SANIDINE	18	14	5
39	20-0223	STANFIELDITE	18	13	5
40	29-1424	PARAVAUXITE	18	12	4
41	20-0669	NESQUEHONITE, SYN	18	13	4
42	9-0343	ILLITE(TRIOCTAHEDRAL)	16	13	4
43	8-0151	TINTICITE	18	12	3
44	15-0800	NATRON, SYN	18	14	3
45	11-0265	GREENALITE-1T	10	6	3
46	15-0653	WEGSCHEIDERITE	18	12	3
47	29-0308	FUKALITE	18	12	3
48	19-1178	HERSCHELITE	18	13	3
49	25-0808	RICHTERITE, SYN	18	13	3
50	5-0616	VISEITE	12	8	2

左側は回折のデータであり、このデータに対応するのが中央部のモデルAや右側のモデルBである。面指数は回折角度によってそれぞれが異なっている。回折角度 2θ ($^\circ$) と面間隔 d (\AA) は、ブラッグの反射条件式によって決定される⁹⁻¹⁰⁾。

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

ここで、 λ は波長 (\AA) で、この回折角度と波長によって計算した面間隔の範囲は、**Table1** のとおりである。

相対強度が5%以上になっているのは **Table1** 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。まず、モデルA「JCPDS (No.31-0966) の KAlSi_3O_8 という長石 (Sanidine) の単斜晶系」では、相対強度26 (20-1) 面、100 (220) 面、5 (002) 面、7 (240) 面、6 (33-2) 面、7 (241) 面、9 (350) 面および7 (024) 面の8個の面指数である。次にモデルB「JCPDS (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」では、26 (12-1) 面、100 (130) 面、5 (310) 面、7 (004) 面、6 (14-2) 面、7 (214) 面および7 (440) 面の7個の面指数である。パッキョクティにある煉瓦は、東洋の二大聖者である構築物成分 (煉瓦と土質) の相対強度と類似点が多いことが判明した。

さらに、半値幅が 0.30° 以上の面指数は **Table1** のとおりである。すなわち、モデルAでは0.39 (021) 面、0.33 (11-2) 面、0.36 (31-2) 面、0.36 (24-1) 面、0.30 (310) 面、0.30 (33-2) 面、0.30 (22-3) 面、0.30 (241) 面、0.36 (51-2) 面および0.30 (46-1) 面の10面である。モデルBでは、0.33 (11-1) 面、0.39 (021) 面、0.33 (12-2) 面、0.36 (21-3) 面、0.36 (312) 面、0.30 (041) 面、0.30 (14-2) 面、0.30 (313) 面および0.30 (214) 面の9面である。パッキョクティにある煉瓦は、東洋の二大聖者である構築物成分 (煉瓦と土質) の相対強度と類似点が異なっている。

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

2.3 二次検索の定性分析

全自動分析を行った。全自動分析における二次検索の定性分析の測定条件は、次のとおりである。①X線の管球 (Cu)、②発散スリット (1°)、③散乱スリット (1°)、④管電圧 (50 kV)、⑤管電流 (200mA)、⑥走査軸 ($2\theta/\theta$)、⑦受光スリット (0.60mm)、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 ($3.00^\circ/\text{min}$)、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 \AA) である。

3 検 討

3.1 定量分析と結晶構造の決め方

この定性分析値 (重量百分率wt.%) は、自動定性オーダー分析によると⁸⁾ 次の15成分である。すなわち、次のとおりである。

Na_2O (0.78), MgO (1.80), Al_2O_3 (16.00), SiO_2 (70.00), P_2O_5 (0.10), SO_3 (0.04), K_2O (3.20), CaO (0.52), TiO_2 (0.83), MnO (0.08), Fe_2O_3 (6.70), ZnO (0.02), SrO (Trace), ZrO_2 (0.03), Au_2O (0.03)。

このサンプルに近い成分は、JCPDS 物質の番号 (No.33-1161) の SiO_2 という石英 (Quartz) の六方晶系、JCPDS 物質の番号 (No.31-0966) の KAlSi_3O_8 という長石 (Sanidine) の単斜晶系 (モデルA) 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 (モデルB) である。石英の六方晶系は報告を行った¹⁶⁾。今回は単斜晶系のモデルAとモデルBを引用¹⁴⁻¹⁷⁾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決め方

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。

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

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、Table1 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。Table1 における面間隔 (d) と面指数 (hkl) から最小2乗法によって、格子定数 (A、B、C) が求められる仕組みを行った。格子定数 (A、B、C) および軸角 β の値を手計算と平行して、HITACM-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「日立数値計算プログラムライブラリMSL」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。

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

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

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

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

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。

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

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

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

$$\sqrt{X_1 X_3} = 1 / (A C \sin_2 \beta) \dots\dots\dots (8)$$

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

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

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。

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

3.2 γ 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。

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

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

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

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

3.2.6 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。

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

したがって、条件 (*) から格子定数 C は、式 (16) のように求まる。

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

3.3 手計算による連立方程式の解法 (クラームルの公式)

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

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

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、

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

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

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

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

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

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

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

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

$$X_{1A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 80.497 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 77.165 & 6133 & 791 & -713 \\ 45.396 & 791 & 1443 & -835 \\ -32.319 & 713 & 835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_A)$$

$$X_{1B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 22.759 & 512 & 591 & 205 \\ 26.332 & 1679 & 613 & -77 \\ 24.074 & 613 & 1213 & 193 \\ 3.954 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_B)$$

のようになる。式 (18) を X_1 値として、モデルA (X_{1A}) は0.01277324であり、モデルB (X_{1B}) は0.01912758である。つぎに、式 (4) の X_2 を求めるクラームルの公式とその値は、式 (19) 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、

$$X_{2A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 80.497 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 77.165 & 791 & -713 \\ 1231 & 45.396 & 1443 & -835 \\ -1753 & -32.319 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_A)$$

$$X_{2B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 22.759 & 591 & 205 \\ 512 & 26.332 & 613 & -77 \\ 591 & 24.074 & 1213 & 193 \\ 205 & 3.954 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_B)$$

のようになる。式 (19) を X_2 値として、モデルA (X_{2A}) は0.00995160であり、モデルB (X_{2B}) は0.0248575である。また、式 (5) の X_3 を求めるクラ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、

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

$$X_{3A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 80.497 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 77.165 & -713 \\ 1231 & 791 & 45.396 & -835 \\ -1753 & -713 & -32.319 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots (20_A)$$

$$X_{3B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 22.759 & 205 \\ 512 & 1679 & 26.332 & -77 \\ 591 & 613 & 24.047 & 193 \\ 205 & -77 & 3.954 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots (20_B)$$

のようになる。式 (20) を X_3 値として、モデルA (X_{3A}) は0.01973669であり、モデルB (X_{3B}) は0.02120621である。最後に、式 (6) の X_4 の値を求めるクラメールの公式とその値は、式 (21) のようになる。

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

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、

$$X_{4A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 1231 & 80.497 \\ 2005 & 6133 & 791 & 77.165 \\ 1231 & 791 & 1443 & 45.396 \\ -1753 & -713 & -835 & -32.319 \end{vmatrix} \dots\dots (21_A)$$

$$X_{4B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 591 & 22.759 \\ 512 & 1679 & 613 & 26.332 \\ 591 & 613 & 1213 & 24.074 \\ 205 & -77 & 193 & 3.954 \end{vmatrix} \dots\dots (21_B)$$

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

のようになる。式 (21) を X_4 値として、モデル A (X_{4A}) は -0.01934465 であり、モデル B (X_{4B}) は -0.01348647 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.%)⁸ は、Table 3 のように、 Na_2O (0.76), MgO (1.74), Al_2O_3 (15.49), SiO_2 (71.18), P_2O_5 (0.10), K_2O (3.10), CaO (0.42), TiO_2 (0.78), MnO (0.07), Fe_2O_3 (6.37) などの 10 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。

$$A_A = 2 \sqrt{0.019737 / (4 * 0.012773 * 0.019737 - 0.019345^2)} \dots\dots (22_A)$$

$$= 11.1573 \text{ \AA}$$

$$A_B = 2 \sqrt{0.021206 / (4 * 0.019128 * 0.021206 - 0.013486^2)} \dots (22_B)$$

$$= 7.6538 \text{ \AA}$$

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。

$$B_A = \sqrt{1 / 0.0099516} = 10.0243 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_A)$$

$$B_B = \sqrt{1 / 0.0247858} = 6.3518 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_B)$$

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。

$$C_A = 2 \sqrt{0.012773 / (4 * 0.012773 * 0.019737 - 0.019345^2)} \dots (24_A)$$

$$= 8.9757 \text{ \AA}$$

$$C_B = 2 \sqrt{0.019128 / (4 * 0.019128 * 0.021206 - 0.013486^2)} \dots (24_B)$$

$$= 7.1195 \text{ \AA}$$

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。

Table 3 Relation between Composition and Lattice Constants (Hexagonal and Monoclinic) of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapitavastu, India

重量百分率	祇園精舎			孔子廟			Maheth(PK)
	煉瓦(JB)	土壤(JS)	平均(J)	煉瓦(CB)	土壤(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	100.00	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)	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							
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	127.450	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74	経法論集75		経法論集76

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

$$\beta_A = \cos^{-1} \left(\frac{1}{2} \frac{0.019345}{\sqrt{0.012773 * 0.019737}} \right) = 127.54^\circ \quad \dots\dots\dots (25_A)$$

$$\beta_B = \cos^{-1} \left(\frac{1}{2} \frac{0.013486}{\sqrt{0.019128 * 0.021206}} \right) = 109.14^\circ \quad \dots\dots\dots (25_B)$$

3.5 グループ分析値と六方晶系の格子定数との関係

インドの祇園精舎、中国の孔子廟やパァキッククッティにある煉瓦と土質の主成分は石英である。石英の結晶構造は六方晶系である。ここで、六方晶系のAh軸格子定数⁹⁻¹³⁾は4.877 Åから4.931 Åまでの範囲で、平均値は4.898 Åである。パァキッククッティ付近にある煉瓦の格子定数(Ah:4.8764 Å)は、両聖者遺跡と比べると、0.0007 Åの最短格子定数のデータ (Table3 の右側) である。パァキッククッティ付近にある煉瓦の格子定数 (Ch : 5.4109 Å) は、両聖者遺跡⁹⁻¹³⁾と比べると、祇園精舎の煉瓦や土壌より大きく、その他の遺跡物より小さいデータ (Table3 右側) である。

パァキッククッティにある煉瓦の格子定数の傾向は、重量百分率の増大とは関係なくほぼ同じで測定誤差の範囲内である。微細に分析すれば、含有率が増大するにつれ、格子定数 (Ah)¹³⁾はわずかに増大し、(Ch)¹³⁾は僅かな減少の傾向である。これらの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を求めた (Fig.3)。

$$\text{Ah} (\text{Å}) = 4.897 + 0.00001 (\text{wt.}\%) \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{Ch} (\text{Å}) = 5.390 - 0.00001 (\text{wt.}\%) \quad \dots\dots\dots (27)$$

ここで、酸化第二鉄 (Fig.3 上図の右側矢印)、酸化アルミニウム (Fig.3 中の上図の中央より右側矢印)、ケイ酸 (Fig.3 中の下図の中央より右側矢印) およびこの3成分 (Fig.3 下図) 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。重量百分率と六方晶系の格子定数との関係図では、パァキッククッティにある酸化第二鉄 (Fig.3 上図) と酸化アルミニウム (Fig.3 中の上図) の重量百分率は小さく、ケイ酸 (Fig.3 中の下図) は大きい。この3成分を比

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

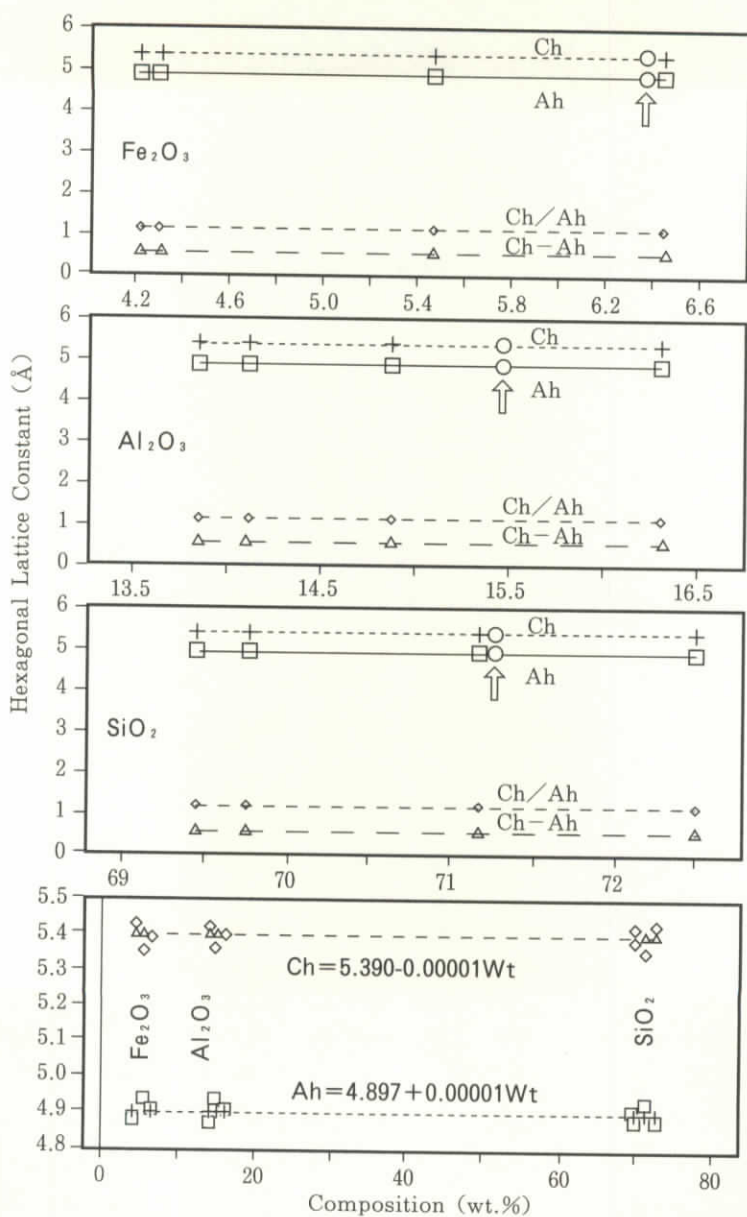


Fig.3 Relation between Composition and Hexagonal Lattice Constant of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

較したのが、Fig.3 下図である。この3成分を選んだの酸化第二鉄（4.37wt.%）・酸化アルミニウム（15.49wt.%）・ケイ酸（71.18wt.%）等が最大級の含有率であるからである。したがって、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はわずかに増大し、Chはわずかに減少していることが確認された。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。

$$W(\text{SiO}_2) = 107 - 7.31Ah \quad \cdots \cdots (R^2=0.021) \quad \cdots \cdots (28)$$

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

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

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（式28）、酸化第二鉄（式29）・酸化アルミニウム（式29）はわずかに大きくなる傾向であることが、数値解析によって確認した。一方、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。

$$W(\text{SiO}_2) = 40 + 5.76Ch \quad \cdots \cdots (R^2=0.016) \quad \cdots \cdots (31)$$

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

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

この式により格子定数Chが大きくなるにつれ、ケイ酸はわずかに大きく（式31）、酸化第二鉄（式32）・酸化アルミニウム（式33）はわずかに小さくなる傾向であることが理解できる。ここで、重量百分率が大きくなると、Ahは大きく、Chは小さくなる逆の傾向が見られたのである。

3.6 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（Am）との関係

両聖者の遺跡にある格子定数のAm軸¹⁴⁻¹⁷は11.1608 Åから11.2080 Åの範囲で、平均値は11.190、差は0.0494 Åである。パキッククティにある格子定数Amは11.157 Åで、平均との差は0.033 Å、両聖者遺跡⁹⁻¹⁰と比べる、最短の格子定数である。格子定数Amと重量百分率の関係として、格子廟の格子定数はFig.4 右上図の左側矢印である。グループ分析により求めた重量百分率が6

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

wt.%以上の成分は、酸化アルミニウム、ケイ酸および酸化第2鉄の3成分である。この3成分と単斜晶系の格子定数（ A_m ）との関係（Table3とFig.4上）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

$$W(\text{SiO}_2) = -239.88 + 46.16 A_m \cdots \cdots (R^2=0.321) \cdots \cdots (34)$$

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

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

この関係式における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）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であり、その差は0.244である。格子定数（ A_m ）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。

3.7 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（ B_m ）との関係

両聖者にある遺跡の格子定数 B_m ¹⁴⁻¹⁷⁾ は10.0451 Åから10.0624 Åの範囲で、平均値は10.055 Å、差は0.0173である。パキッククッティにある格子定数 B_m は10.024 Åで、平均との差は0.021 Å、両聖者遺跡⁹⁻¹⁰⁾と比べ、格子定数の A_m 軸と同様に、最短の格子定数である。格子定数 B_m と重量百分率の関係として、パキッククッティの格子定数はFig.4中側の左側矢印である。この3成分と単斜晶系の格子定数（ B_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。

$$W(\text{SiO}_2) = 52.54 + 1.82 B_m \cdots \cdots (R^2=0.001) \cdots \cdots (37)$$

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

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

格子定数 B_m が大きくなるにつれ、ケイ酸、酸化第2鉄と酸化アルミニウムの傾向は3.6と同様の傾向である。

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

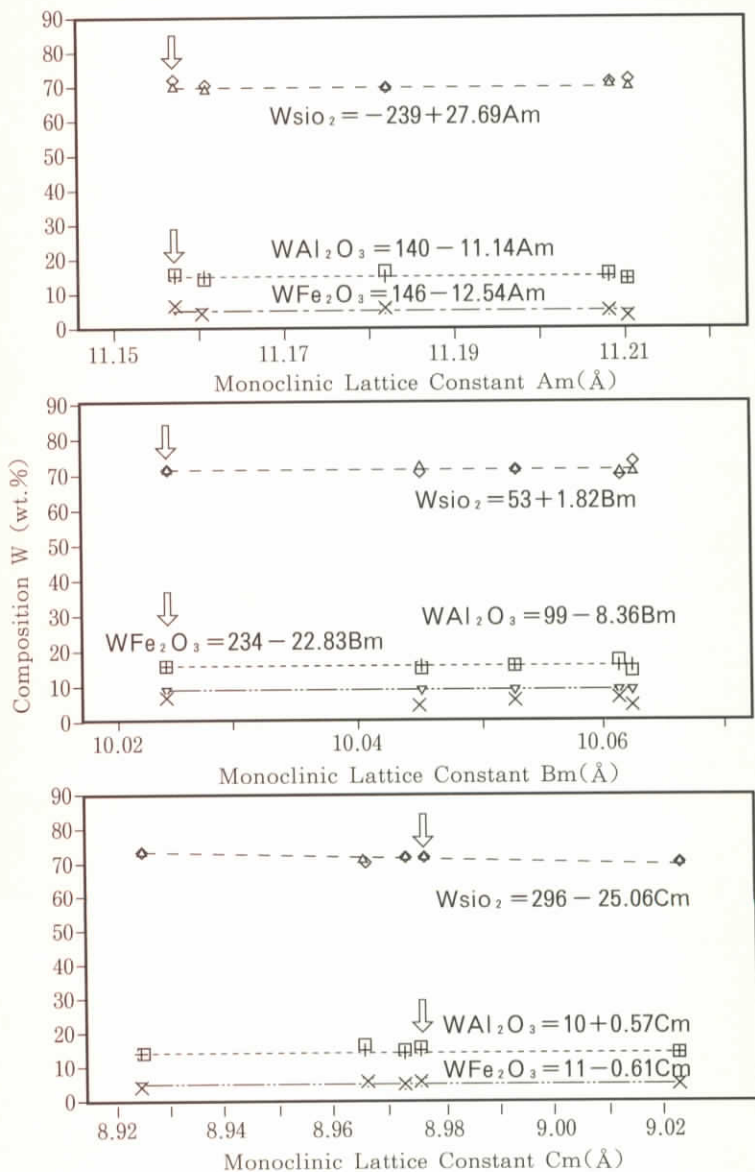


Fig.4 Relation between Composition and Monoclinic Lattice Constant of Brick Sample from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

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^{14-17} は 8.9247 \AA から 9.0229 \AA の範囲で、平均値は 8.972 \AA 、差は 0.0982 \AA である。パァキッククッティにある格子定数 Cm は 8.976 \AA 、平均との差は 0.004 \AA 大きく、両聖者遺跡⁹⁻¹³ と比べる、大きい方の格子定数である。格子廟にある煉瓦の格子定数 Cm と重量百分率の関係では、**Fig.4** 下の中央矢印である。これらの3成分と単斜晶系の格子定数 (Cm) との関係、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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

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

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

格子定数 Cm が大きくなるにつれ、ケ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傾向である。

3.9 ケイ酸と ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) との関係

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) との関係を表示した。**Table3** (上段) と **Fig.5** (パァキッククッティの煉瓦矢印) では、アルカリ成分が比較的に少ないことが分かる。広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、アルカリ成分も同様に増していることが見られる。が、ここでの狭い領域では見られない。**Fig.5** 上と下にある番号は、それぞれ祇園精舎にある煉瓦⁴⁾、祇園精舎にある土壌⁵⁾、孔子廟にある煉瓦⁶⁾、孔子廟にある土壌⁷⁾ およびパァキッククッティにある煉瓦 (矢印)⁸⁾ である。

ここでは両聖者の遺跡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ら分類できる¹⁴⁻¹⁷。この分類によりケイ酸は、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 (**Fig.5** 下図) から分かるようにパァキッククッティの煉瓦は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。

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

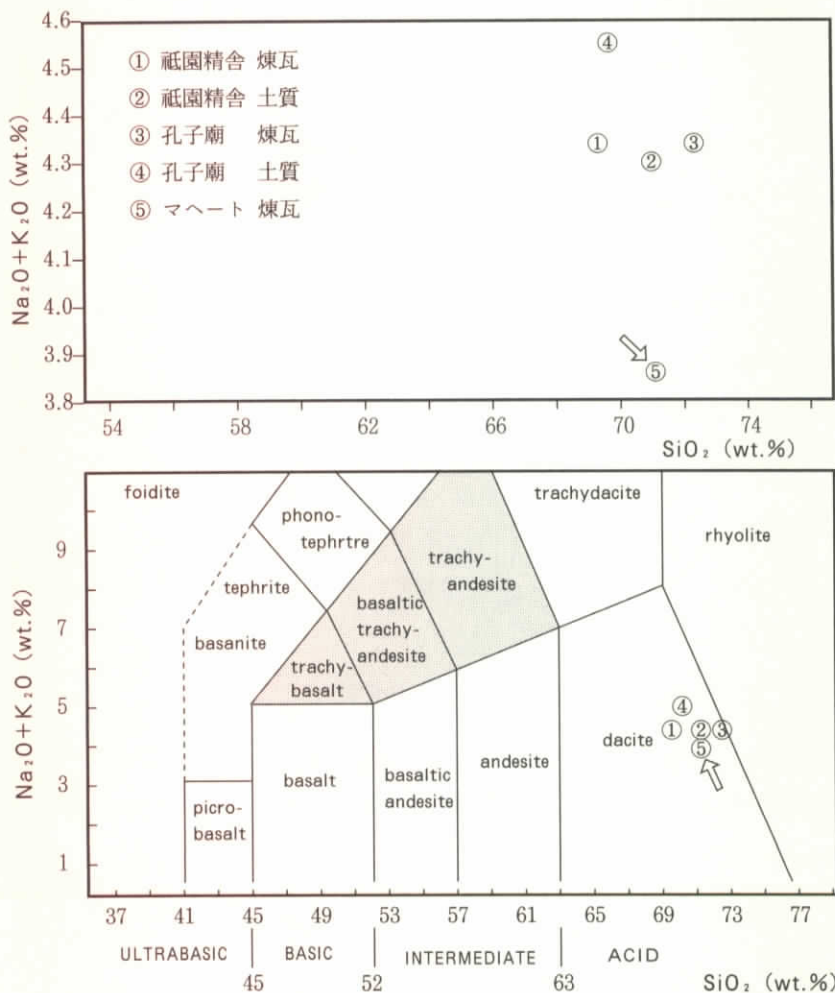


Fig.5 Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, using the Total Alkali versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al. 1986. Fig.2).

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、Table3 (上段) とFig.6 (パァキッ=

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

クッティの煉瓦は右側の矢印)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、酸化カリウムは両聖者の中で中間である。すな
わち、祇園精舎と孔子廟遺跡の中間である。またhigh-Kとmedium-Kの中間線
上の下側にあるためmedium-Kであることが確認された。**Fig.6**は、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。ここでは、狭い範囲なので識別は困難である。

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を検
討したのが、**Table3**（上段）と**Fig.7**（パァキッククッティの煉瓦は右側矢印）
である。一般に広い分野について、ケイ酸の含有量が少ないところでは、酸化
マグネシウムと酸化第2鉄などは富む塩基性である。一方ケイ酸の含有量が多
くところでは、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などが少ない酸性である。パァ
キッククッティにある煉瓦は、広い分野での傾向と類似していることが確認さ
れた¹⁴⁻¹⁷。

3.12 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

軽金属のaに属する酸化カリウム（第2期）と酸化ナトリウム（第3期）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、**Table3**
（上段）と**Fig.8**（パァキッククッティの煉瓦は左中の矢印）で、酸化カリウ
ムが中間で、酸化ナトリウムが少ない。すなわち、一般に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である¹⁴⁻¹⁷。

3.13 有色鉱物と無色鉱物との関係

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、**Table3**（上段）と**Fig.9**（パァキッククッティの煉瓦は左上の矢印）
である。有色鉱物は周期律表におけるaのマグネシウムとカルシウムで、無色
鉱物はaのナトリウムとカリウムはである。ここでは有色鉱物と無色鉱物にお

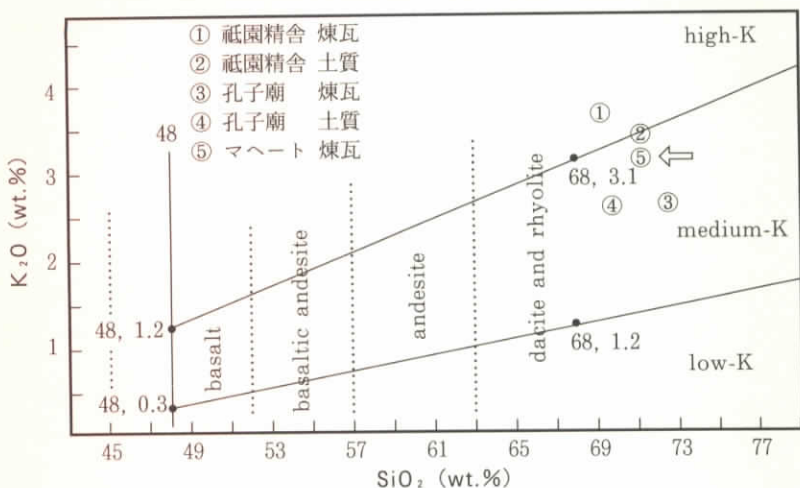


Fig.6 Division of Basalts (with $\text{SiO}_2 > 48\%$), Basaltic Andesites, Andesites, Dacites and Rhyolites in Low-K, Medium-K and High-K types. Note that High-K is NOT Synonymous with Potassic. The thick Stippled Lines Indicate the Equivalent Position of Some of the Fields in the TAS diagram.

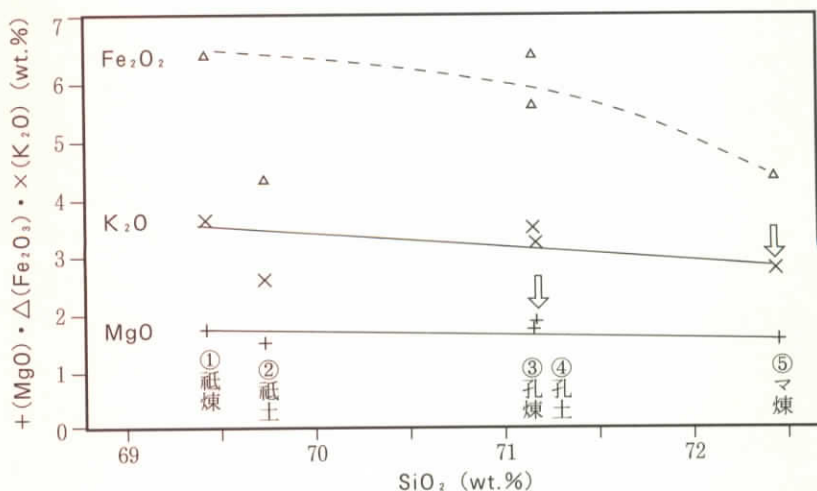


Fig.7 Relation between Composition SiO_2 and MgO , Fe_2O_3 , K_2O of Brick Samples from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

ける含有量の比を目安として図示した。したがって、パキッククッティの煉瓦は、両聖者の中で無色鉱物と有色鉱物ともに、中間の含有率であることが確認された¹⁴⁻¹⁷⁾。

4 おわりに

インド、パキッククッティにある煉瓦成分に対して、X線回折図形とコンピュータ処理を行った。その内容は格子定数の決定、格子定数と含有率との関係および各化合物間の関係を解析したのである。さらに東洋の聖者遺跡の成分との比較を行い結論に達したので、ここに要約する。

(a) ピーク・サーチの定性分析

回折角度の 2θ ($8\sim 80^\circ$)の範囲において、それぞれ102個のピークをサーチした。相対強度(5%以上)の面指数は、モデルAでは8面指数とモデルBでは7面指数である。これらの面間隔は、 4.512 \AA から 1.485 \AA の範囲である。半値幅(0.33 \AA 以上)の面指数は、モデルAでは10面指数とモデルBでは9面指数である。これらの面間隔は 5.941 \AA から 2.129 \AA の範囲である。

(b) 二次検索の定性分析

パキッククッティにある煉瓦の成分は、それぞれの化学式を解明した。すなわち、各層に近いJCPDS番号・化学式・鉱物名および結晶構造は、JCPDS番号No.33-1161)の SiO_2 という石英(Quartz)の六方晶系である。次に近いのはJCPDS番号(No.31-0966)の KAlSi_3O_8 という長石(Sanidine)の単斜晶系(モデルA)である。東洋聖者の遺跡鉱物との比較のために信頼性評価をするため、JCPDS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(モデルB)についても分析を行ったのである。

(c) 結晶構造と格子定数

パキッククッティにある煉瓦は、石英(主成分)と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解明した。また、

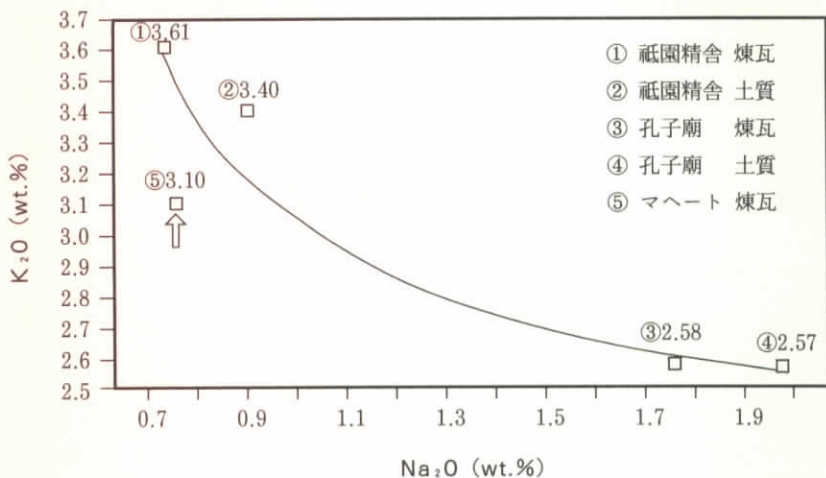


Fig.8 Relation between Composition K_2O and Na_2O of Brick Samples from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

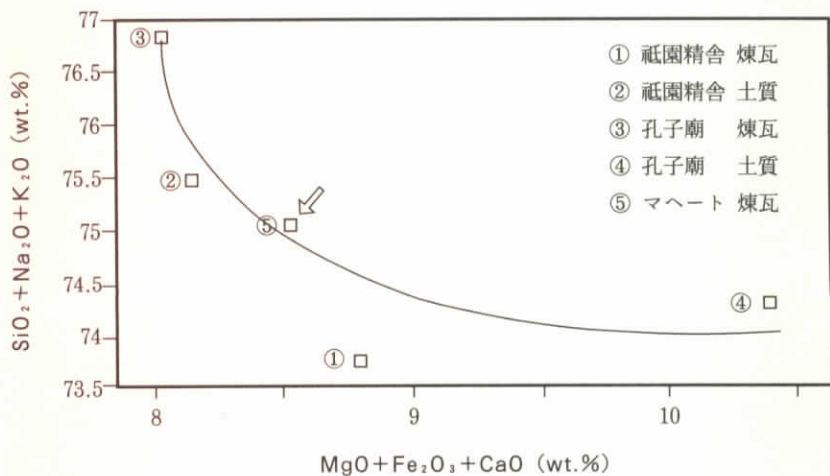


Fig.9 Relation between Composition $MgO+Fe_2O_3+CaO$ and $SiO_2+Na_2O+K_2O$ of Brick Samples from Pakki-Kuti of the Ruins of Maheth in Kapilavastu, India

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

結晶構造は主に六方晶系と単斜晶系等からなる混合した晶系であることも確認された。ここでは単斜晶系における格子定数と軸角を決定した。すなわち、モデルAでは格子定数はA軸=11.1573 Å、B軸=10.0243 Å、C軸=8.9757 Åおよび軸角は $\beta=127.54$ 。モデルAでは格子定数はA軸=7.6538 Å、B軸=6.3518 Å、C軸=7.1195 Åおよび軸角は $\beta=109.14^\circ$ である。

(d) 重量百分率と単斜晶系の格子定数

パァキッククッティ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コンピュータ解析によって明らかにされた。さらに、パァキッククッティにある煉瓦の鉱物名はQuartz（石英：主成分）とOrthoclase（長石）・Muscovite（雲母）の化合物であることが定性されたのである。

(e) ケイ酸と $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ との関係

パァキッククッティの煉瓦では、アルカリ成分が比較的少ないことが分かる。広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、アルカリ成分も同様に増していることが見られる。が、ここでの狭い領域では見られない。

この分類によりケイ酸は、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（Fig.5 下図）から分かるようにパァキッククッティの煉瓦は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。

(f) 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

一般に広い分野について、ケイ酸の含有量が少ないところでは、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などは富む塩基性である。一方ケイ酸の含有量が多ところでは、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などが少ない酸性である。パァキッククッティにある煉瓦は、広い分野での傾向と類似していることが確認された。

(g) ケイ酸と酸化カリウムとの関係

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分（沢、河野）

ケイ酸に対する酸化カリウムとの関係は、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、酸化カリウムは両聖者の中で中間である。すなわち、祇園精舎と孔子廟遺跡の中間である。またhigh-Kとmedium-Kの中間線上の下側にあるためmedium-Kであることが確認された。

(h) 有色鉱物と無色鉱物との関係

有色鉱物 ($MgO+Fe_2O_3+CaO$) と無色鉱物 ($SiO_2+Na_2O+K_2O$) との関係では、有色鉱物は周期律表におけるaのマグネシウムとカルシウムで、無色鉱物はaのナトリウムとカリウムはである。したがって、パキック=クッティの煉瓦は、両聖者の中で無色鉱物と有色鉱物ともに、中間の含有率であることが確認された。

謝 辞

この研究は、本学研究所補助金による成果である。この論文のデータ作成にあたって、理学電機工業（株）関歳浩平氏・（株）リガクの入江成夫氏並びに、コンピュータ処理には藤田浩史に多くのご協力を頂き、関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 沢勲・片山佐一：「急冷法で作った $(BiSb)_2(TeSe)_3$ 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 $(BiSb)_2(TeSe)_3$ Compounds Prepared by the Annealing Technique」
Technology Reports of Kansai University 16 (1975) P.75~85
- 3) 叶驍軍『中国都城歴史図鑑（第1集）』欄州大学出版社、(1986)
- 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

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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」大阪経済法科大学論集 39 (1990) P.23~34
- 10) 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
- 11) 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
- 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X線回折分析」大阪経済法科大学論集 52 (1993) P.1~20
- 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
- 14) 沢勲・河野久征・洪忠烈：「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
- 15) 沢勲・河野久征・洪忠烈：「コンピュータ解析によるインド祇園精舎にある土質の単斜晶系と成分」大阪経済法科大学論集 72 (1998) P.1~35
- 16) 沢勲・河野久征：「コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある煉瓦の単斜晶系と成分」大阪経済法科大学論集 74 (1999) P.1~34
- 17) 沢勲・河野久征：「コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある土質の単斜晶系と成分」大阪経済法科大学論集 75 (1999) P.1~35
- 18) A. Miyashiro : 「Nature of Alkali Volcanic Rock Series」 Contrib. Mineral. Petrol. 66 (1978) P.94~104

インド、マヘート遺跡のPakki-Kutiにある煉瓦の単斜晶系と成分 (沢、河野)

- 19) R. W. Le Maitre: 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』 (1939), Blackwell Scientific Publications

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses and income.

The second part of the document provides a detailed breakdown of the accounting cycle. It outlines the ten steps involved in the process, from identifying the accounting entity to preparing financial statements. Each step is explained in detail, with examples provided to illustrate the concepts.

The third part of the document discusses the various types of accounts used in accounting. It categorizes accounts into assets, liabilities, equity, revenue, and expense accounts. It also explains the normal balances for each type of account and how they are used to calculate the net income or loss for a period.

The fourth part of the document discusses the importance of adjusting entries. It explains how these entries are used to ensure that the financial statements reflect the true financial position of the company at the end of the period. Examples of adjusting entries are provided to illustrate the process.

The fifth part of the document discusses the preparation of financial statements. It outlines the steps involved in preparing the balance sheet, income statement, and statement of owner's equity. It also discusses the importance of providing a clear and concise explanation of the results of the financial statements.