

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

沢 勲 Isao SAWA
河 野 久 征 Hisayuki KOHNO

[*The Computer Processing of Components and Monoclinic System of the Brick Samples from Confucian Temple in Shandong, China*]

ABSTRACT

Confucius (B. C. 551-479) was china's most famous teacher, greatest philosopher, and political theorist, whose ideas have influenced the civilizations of all of eastern Asia. The Confucian temple remained one of the principal seats of learning by Confucius. The Confucian temple is located in Gufu-city, Gufu-prefecture, Shandong-province in China. Gufu-city is located southwest of Shandong-province; situated in latitude $35^{\circ}36' N.$, and longitude $117^{\circ}02' E.$.

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,

$A=11.2102 \text{ \AA}$, $B=10.0624 \text{ \AA}$, $C=8.9247 \text{ \AA}$ and $\beta=126.97^{\circ}$ in model A,

$A=7.9491 \text{ \AA}$, $B=6.5778 \text{ \AA}$, $C=7.4810 \text{ \AA}$ and $\beta=109.35^{\circ}$ in model B.

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

[大阪経済法科大学論集 第74号] [*The Review of Osaka University of Economics and Law*, Vol 74 (1999), pp. 1-34]

1 はじめに

孔子はすべての文明に大きく影響を与えた偉大な哲学者、政治的な理論家であり、世界五大聖者の一人である。中国の山東省にある孔子廟は、儒学の寺院で、孔子の教えを学ぶ最初の聖域の場所である。この聖域における実践の教えは、五徳・三法五元（三綱と五常）等がある。

この聖域に構築している煉瓦を分析し、約3,300kmも離れた祇園精舎の煉瓦との比較することは、考古学上に大きな意義がある。ゆえに、X線分析法を用いて分析を行った。X線分析法は、土壌や煉瓦中の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なっている^{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、本研究における孔子廟³⁾は、中国の山東省曲阜県曲阜（Gufu）市にある。曲阜市は（北緯35°36′と東経117°02′の地点）にある。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）⁴⁻⁸⁾や結晶構造（六方晶系の格子定数）の論文⁹⁻¹³⁾がある。孔子廟にある煉瓦の重量百分率（Wt%）⁶⁾は、次のとおりである。

Na₂O (1.76), MgO (1.37), Al₂O₃ (13.85), SiO₂ (72.47), P₂O₅ (0.53), K₂O (2.58), CaO (2.43), TiO₂ (0.71), MnO (0.09), Fe₂O₃ (4.22)。

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, 15)}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、孔子廟における煉瓦の六方晶系の格子定数（Å）¹¹⁾は、すなわち、 $A=4.8775$ Å, $C=5.4123$ Åおよび軸比（ C/A ）=1.1096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 （°）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、 $A=11.2102$ Å, $B=10.0624$ Å, $C=8.9247$ Åおよび $\beta=126.97^\circ$

モデルBでは、 $A=7.9491$ Å, $B=6.5778$ Å, $C=7.4810$ Åおよび $\beta=109.35^\circ$ 。

このモデルA（JCPDS31-0966の信頼性係数：152）の格子定数と軸角は、モデルB（JCPDS20-0452の信頼性係数：397）より大きい。それは、各モデ

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（沢、河野）

ルによって成分が異なっているからである。このデータは孔子廟にある煉瓦と東洋の二大聖者である構造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℃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℃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（30mm φ）を使用した。測定装置は、理学電機製のX線回折装

置RINT-1200（湾曲グラファイト・モノクロメータ使用）である。本装置では、制御コンピューター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（40 kV）、⑤管電流（200 mA）、⑥走査軸（ $2\theta/\theta$ ）、⑦受光スリット（0.30 mm）、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。

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 $2\theta = 3 \sim 80^\circ$ 、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・チタンと隣である。

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Table 1である。ここで、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 $2\theta (^\circ)$ と面間隔 $d (\text{\AA})$ は、ブラッグの反射条件式によって決定される⁹⁻¹⁰⁾。

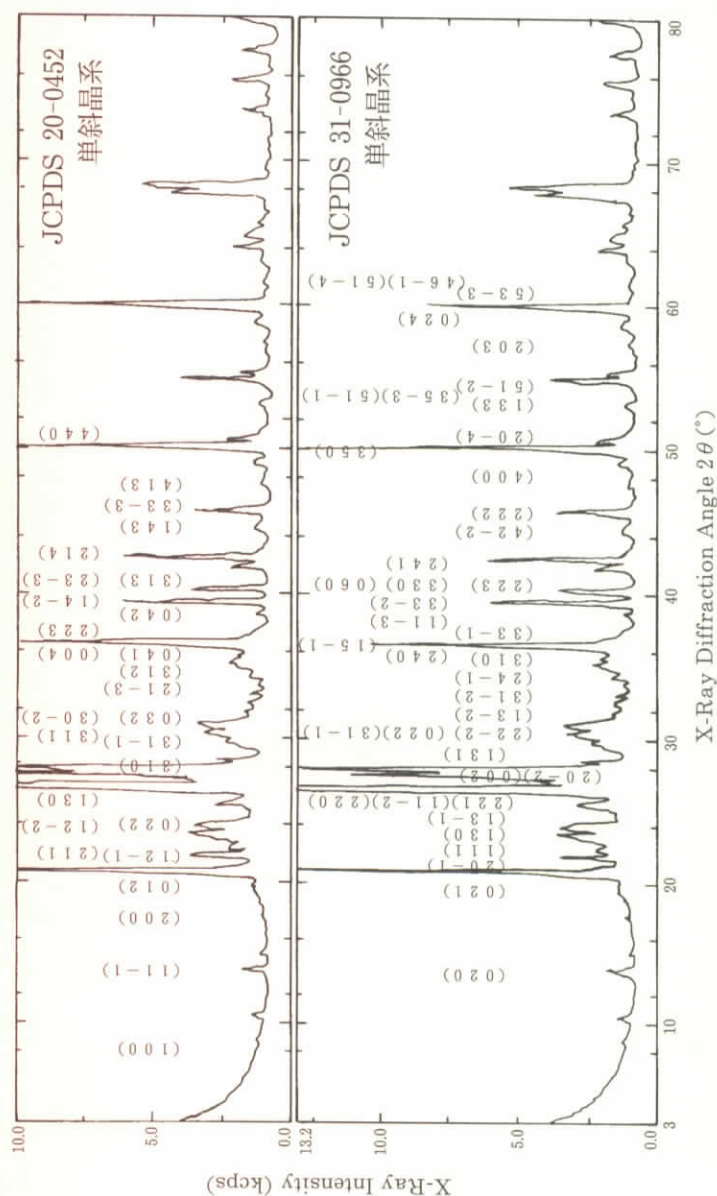


Fig. 1 The X-Ray Diffractograms of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

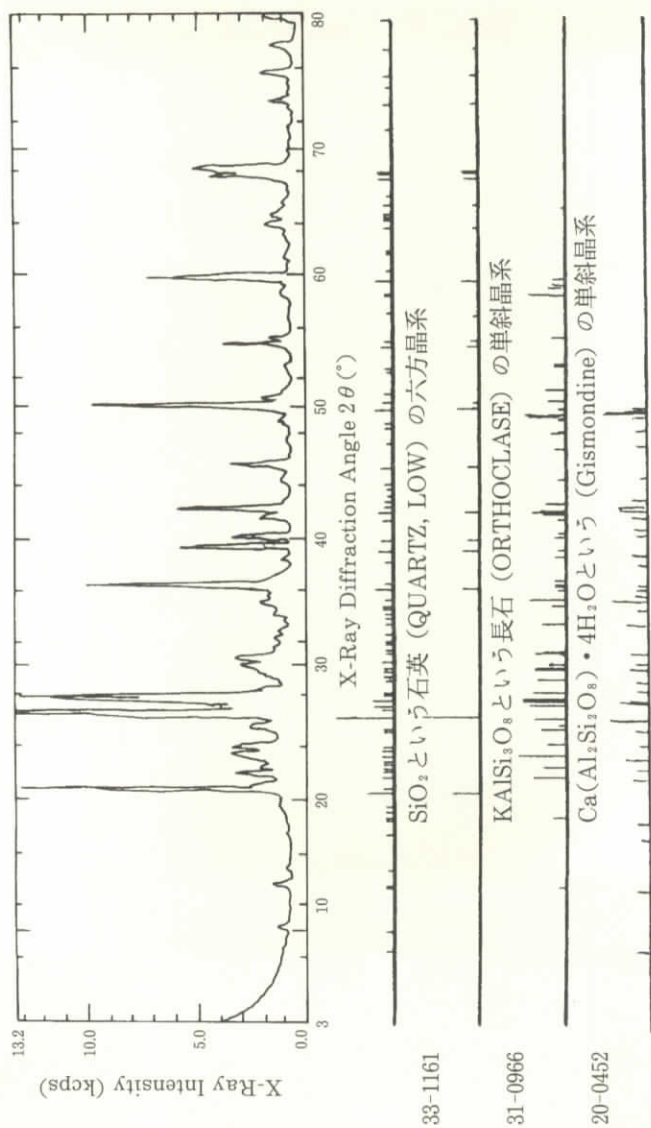


Fig. 2 The Qualitative Analysis of 2nd Search-Match of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

Table 1 The X-ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Relative Intensity and Half-Width) of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

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	8.760	10.08604	0.150	2				9.99	2	1 0 0
2	10.360	8.53167	0.330	2						
3	13.620	6.49603	0.180	2	6.48	12	0 2 0			
4	13.800	6.41170	0.210	2						
5	14.940	5.92492	0.270	1				5.93	2	1 1 -1
6	17.620	5.02931	0.180	2				5.01	4	2 0 0
7	18.700	4.74121	0.210	2						
8	18.900	4.69149	0.150	2						
9	19.320	4.59044	0.210	2	4.58	4	0 2 1			
10	19.800	4.48023	0.120	2				4.47	4	0 1 2
11	20.820	4.26298	0.210	21	4.22	70	2 0 -1	4.27	35	1 2 -1
12	21.140	4.19917	0.300	3						
13	21.980	4.04055	0.240	4				4.05	4	2 1 1
14	22.420	3.96224	0.150	3						
15	22.620	3.92765	0.180	3	3.94	16	1 1 1			
16	22.960	3.87026	0.180	3						
17	23.180	3.83402	0.210	3						
18	23.540	3.77619	0.210	4	3.77	80	1 3 0			
19	24.000	3.70485	0.240	4						
20	24.260	3.66573	0.210	3	3.61	16	1 3 -1	3.61	2	0 2 2
21	25.480	3.49291	0.150	3	3.54	12	2 2 -1			
22	25.680	3.46616	0.180	3	3.47	45	1 1 -2	3.43	2	1 2 -2
23	26.600	3.34832	0.210	100	3.31	100	2 2 0	3.34	100	1 3 0
24	27.160	3.28054	0.180	4	3.29	60	2 0 -2			
25	27.480	3.24307	0.270	11	3.24	65	0 0 2			
26	27.880	3.19744	0.360	13				3.19	18	3 1 0
27	28.260	3.15530	0.120	3						
28	28.480	3.13143	0.180	3						
29	29.420	3.03348	0.240	2				3.06	2	3 1 -1
30	29.700	3.00551	0.120	3						

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	29.800	2.99565	0.120	3	2.992	50	1 3 1	2.99	2	3 1 1
32	30.160	2.96071	0.150	3						
33	30.420	2.93600	0.210	3	2.934	8	2 2-2			
34	30.920	2.88965	0.330	4	2.901	30	0 2 2	2.88	2	0 3 2
35	31.560	2.83249	0.240	2				2.82	2	3 0-2
36	31.860	2.80650	0.270	2	2.783	2	3 1-1			
37	32.260	2.77261	0.210	2	2.769	20	1 3-2			
38	32.520	2.75104	0.210	2				2.70	18	2 1-3
39	33.040	2.70892	0.270	2						
40	33.840	2.64668	0.270	2						
41	34.240	2.61668	0.240	2						
42	34.580	2.59172	0.120	2	2.601	18	3 1-2	2.62	2	3 1 2
43	34.980	2.56300	0.270	3	2.571	30	2 4-1	2.56	2	0 4 1
44	35.200	2.54748	0.150	3	2.515	8	3 1 0			
45	35.680	2.51430	0.180	2	2.480	4	2 4 0			
46	36.520	2.45837	0.270	10	2.415	10	1 5-1	2.46	8	0 0 4
47	36.940	2.43138	0.120	2	2.380	10	3 3-1	2.40	2	2 2 3
48	38.620	2.32939	0.270	2	2.328	6	1 1-3	2.34	2	0 4 2
49	39.420	2.28394	0.270	6	2.263	2	3 3-2	2.28	6	1 4-2
50	40.240	2.23927	0.270	4	2.234	2	2 2-3	2.24	4	3 1 3
51	41.800	2.15923	0.330	3	2.206	2	3 3 0	2.19	2	2 3-3
52	42.400	2.13006	0.270	6	2.163	25	0 6 0	2.13	6	2 1 4
53	42.840	2.10919	0.210	2	2.124	8	2 4 1			
54	43.180	2.09337	0.210	2						
55	43.660	2.07146	0.150	1						
56	44.140	2.05004	0.210	1						
57	44.520	2.03342	.....	2	2.005	12	4 2-2	2.01	2	1 4 3
58	45.740	1.98198	0.270	4	1.971	8	2 2 2	1.981	4	3 3-3
59	47.560	1.91030	.....	1	1.922	10	4 0 0	1.916	2	4 1 3
60	48.680	1.86893	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	49.060	1.85534	0.420	2										
62	50.080	1.81992	0.180	10	1.823	2				1.819	16	4	4	0
63	50.600	1.80243	0.390	3	1.801	16								
64	51.280	1.78011	0.150	2										
65	52.880	1.72996	0.150	1	1.720	2								
66	53.160	1.72150	0.120	2	1.695	2								
67	54.840	1.67267	0.210	4	1.675	4								
68	55.280	1.66039	0.180	2	1.656	2								
69	57.460	1.60247	0.150	1	1.605	2								
70	58.780	1.56959	.....	2	1.571	4								
71	58.960	1.56523	0.150	2										
72	59.900	1.54289	0.180	8	1.531	4								
73	60.720	1.52401	0.180	1	1.512	4								
74	62.020	1.49515	0.150	1										
75	62.240	1.49039	0.180	1	1.477	2								
76	63.980	1.45399	0.210	2										
77	64.580	1.44192	0.150	2										
78	64.740	1.43874	0.150	2										
79	64.880	1.43598	0.150	2										
80	65.080	1.43205	0.240	2										
81	65.740	1.41926	0.120	2										
82	66.480	1.40524	0.150	1										
83	67.700	1.38286	0.240	5										
84	68.100	1.37571	0.150	5										
85	68.280	1.37252	0.150	6										
86	71.520	1.31809	.....	1										
87	73.420	1.28860	0.180	2										
88	74.760	1.26879	0.150	1										
89	75.600	1.25677	0.300	2										
90	77.620	1.22903	0.270	2										

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（沢、河野）

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

ここで、 λ は波長（Å）で、この回折角度と波長によって計算した面間隔の範囲は、**Table 1**のとおりである。

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。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21（20-1）面、100（220）面、11（002）面、10（15-1）面、6（33-2）面、6（060）面、10（350）面および8（53-3）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、相対強度、21（12-1）面、100（130）面、13（310）面、10（004）面、6（14-2）面、6（214）面および10（440）面の7個の面指数である。

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0.33（022）面、0.33（330）面および0.39（20-4）面の3つである。モデルBでは0.36（310）面、0.33（032）面および0.33（23-3）面の3つである。

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測定電圧（40 kV）、⑤測定電流（200 mA）、⑥走査軸（ $2\theta/\theta$ ）、⑦受光スリット（0.30 mm）、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 Å）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⁶⁾次の14成分である。すなわち、次のとおりである。Na₂O (2.00), MgO (1.50), Al₂O₃ (13.00), SiO₂ (72.00), P₂O₅ (0.68), SO₃ (0.05), K₂O (2.90), CaO (2.80), TiO₂ (0.80), MnO (0.10), Fe₂O₃ (4.00), ZnO (0.02), SrO (0.03), ZrO₂ (0.03)。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、JCPDS物質の番号(No.31-0966)のKAlSi₃O₈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Ca(Al₂Si₂O₈)・4H₂O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¹⁰⁾。今回は単斜晶系のモデルAとモデルBを引用^{14, 15)}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。

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

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)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。

Table 2 The Qualitative Analysis of 1st Search-Match for Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

No.	カード No.	化 学 式	元 標準ピーク 本 数	一致本数	信頼性係数
1	33-1161	QUARTZ, LOW	16	16	927
2	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	18	480
3	20-0452	GISMONDINE	18	15	397
4	19-1184	ALBITE, LOW	18	17	363
5	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	18	333
6	34-0192	HERCYNITE, SYN	11	10	303
7	9-0427	ALMANDINE	15	13	292
8	19-0926	MICROCLINE, MAX	18	18	258
9	9-0457	ALBITE, CALCIAN, LOW	18	18	249
10	22-0687	MICROCLINE, MAX	18	18	239
11	26-0911	ILLITE-2M1	18	17	234
12	37-0415	WADSLEYITE	12	11	229
13	23-1406	PARGASITE	18	14	206
14	9-0478	ALBITE, POTASSIAN, HIGH, HEATED	18	17	189
15	10-0357	SANIDINE, HIGH, SYN	17	13	189
16	25-0843	MAJORITE	15	13	179
17	10-0360	ANORTHITE, SODIAN, HIGH, SYN	18	18	166
18	11-0313	KALIOPHILITE	18	15	160
19	31-0966	ORTHOCLASE	18	17	152
20	22-0675	MICROCLINE, INTER	18	17	150
21	11-0330	WARDITE	18	12	147
22	33-1202	WARDITE	18	14	140
23	19-0932	MICROCLINE, INTER	18	18	137
24	19-1227	SANIDINE	18	16	135
25	25-0177	TITANITE, SYN	18	13	134
26	10-0495	PHLOGOPITE-1M	18	15	131
27	29-0989	MERLINOITE	18	15	124
28	9-0449	GYROLITE	17	12	114
29	35-0632	SCORZALITE	18	12	110
30	9-0465	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	18	109
31	25-0808	RICHTERITE, SYN	18	16	109
33	13-0499	MAGNESIO-RIEBECKITE, SYN	18	15	109
33	20-0469	HASTINGSITE, MAGNESIAN	18	13	97
34	10-0190	DORFMANITE, SYN	18	16	95
35	24-0027	CALCITE	15	11	95
36	31-0261	SCAWTITE	18	13	95
37	34-0136	LAZULITE	18	14	86
38	22-1121	CRICHTONITE	18	15	86
39	14-0171	SIGLOITE	18	14	85
40	8-0155	DUFRENITE	18	14	85
41	28-1037	USSINGITE	18	14	84
42	26-1063	COLLINSITE	18	15	83
43	7-0042	MUSCOVITE-3T	18	15	82
44	35-0685	USHKOVITE	16	13	81
45	14-0569	LIPSCOMBITE, SYN	18	14	72
46	13-0562	ZOISITE, SYN	18	14	72
47	34-0148	ANAPAITE	18	16	68
48	25-0649	MUSCOVITE-2M2, CALCIAN	17	16	68
49	33-1279	REVDITE	18	16	65
50	18-0276	MARGARITE-2M1	18	12	64

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（沢、河野）

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MSLⅡ」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。

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

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

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

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

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。

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

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

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

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

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

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（沢、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。

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 (沢、河野)

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

3.3 手計算による連立方程式の解法 (クラームルの公式)

面間隔 (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、

$$X_{1A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 79.089 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 76.290 & 6133 & 791 & -713 \\ 44.899 & 791 & 1443 & -835 \\ -31.608 & -713 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18A)$$

$$X_{1B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 21.292 & 512 & 591 & 205 \\ 24.558 & 1679 & 613 & -77 \\ 22.661 & 613 & 1213 & 193 \\ 3.665 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18B)$$

のようになる。式 (18) を X_1 値として、モデル A (X_{1A}) は 0.01246569 であり、モデル B (X_{1B}) は 0.01777828 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、

$$X_{2A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 79.089 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 76.290 & 791 & -713 \\ 1231 & 44.899 & 1443 & -835 \\ -1753 & -31.608 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19A)$$

$$X_{2B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 21.292 & 591 & 205 \\ 512 & 24.558 & 613 & -77 \\ 591 & 22.661 & 1213 & 193 \\ 205 & 3.665 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19B)$$

のようになる。式(19)を X_2 値として、モデルA (X_{2A}) は0.00987631であり、モデルB (X_{2B}) は0.02311204である。また、式(5)の X_3 を求めるクラメー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、

$$X_{3A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 79.089 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 76.290 & -713 \\ 1231 & 791 & 44.899 & -835 \\ -1753 & -713 & -31.608 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20A)$$

$$X_{3B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 21.292 & 205 \\ 512 & 1679 & 24.558 & -77 \\ 591 & 613 & 22.661 & 193 \\ 205 & -77 & 3.665 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20B)$$

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（沢、河野）

のようになる。式 (20) を X_3 値として、モデル A (X_{3A}) は 0.01966763 であり、モデル B (X_{3B}) は 0.02007246 である。最後に、式 (6) の X_4 の値を求めるクラメル公式とその値は、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、

$$X_{4A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 1231 & 79.089 \\ 2005 & 6133 & 791 & 76.290 \\ 1231 & 791 & 1443 & 44.899 \\ -1753 & -713 & -835 & -31.608 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21A)$$

$$X_{4B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 591 & 21.292 \\ 512 & 1679 & 613 & 24.558 \\ 591 & 613 & 1213 & 22.661 \\ 205 & -77 & 193 & 3.665 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21B)$$

のようになる。式 (21) を X_4 値として、モデル A (X_{4A}) は -0.01883246 であり、モデル B (X_{4B}) は -0.01252107 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 (W t %) ⁶⁾ は、Table 3 のように、Na₂O (1.76), MgO (1.37), Al₂O₃ (13.85), SiO₂ (72.47), P₂O₅ (0.53), K₂O (2.58), CaO (2.43), TiO₂ (0.71), MnO (0.09), Fe₂O₃ (4.22)。などの成分である。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。

Table 3 Relation between Composition and Lattice Constants (Hexagonal and Monoclinic) of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

重量百分率	祇園精舎			孔子廟		
	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
MgO	1.73	1.64	1.685	1.37	1.45	1.410
Al ₂ O ₃	16.32	14.89	15.605	13.85	14.11	13.980
SiO ₂	69.44	71.17	70.305	72.47	69.75	71.110
P ₂ O ₅	0.19	0.70	0.445	0.53	0.42	0.475
K ₂ O	3.61	3.40	3.505	2.58	2.57	2.575
CaO	0.62	1.03	0.825	2.43	4.65	3.540
TiO ₂	0.84	0.71	0.775	0.71	0.69	0.700
MnO	0.07	0.08	0.075	0.09	0.09	0.090
Fe ₂ O ₃	6.45	5.48	5.965	4.22	4.30	4.260
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.01	100.01	100.010
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	アジ研1			アジ研3		
	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
軸 C (Å)	5.3829	5.3512	5.367	5.4123	5.4125	5.412
軸比 C/A	1.0975	1.0852	1.091	1.1096	1.1098	1.110
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	アジ研1			アジ研3		
	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
軸 B (Å)	10.0613	10.0528	10.057	10.0624	10.0451	10.054
軸 C (Å)	8.9658	8.9728	8.969	8.9247	9.0229	8.974
軸角 α	127.290	127.630	127.460	126.970	127.730	127.350
参考文献	経法論集71	経法論集72		経法論集74	経法論集	経法論集

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（沢、河野）

$$A_A = 2 \sqrt{0.019668 / (4 * 0.012466 * 0.019668 - 0.018832^2)} \dots\dots\dots (22A)$$

$$= 11.2102 \text{ \AA}$$

$$A_B = 2 \sqrt{0.020072 / (4 * 0.017778 * 0.020072 - 0.012521^2)} \dots\dots\dots (22B)$$

$$= 7.9491 \text{ \AA}$$

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。

$$B_A = \sqrt{1 / 0.0098763} = 10.0624 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23A)$$

$$B_B = \sqrt{1 / 0.0231120} = 6.3612 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23B)$$

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。

$$C_A = 2 \sqrt{0.012466 / (4 * 0.012466 * 0.019668 - 0.018832^2)} \dots\dots\dots (24A)$$

$$= 8.9247 \text{ \AA}$$

$$C_B = 2 \sqrt{0.017778 / (4 * 0.017778 * 0.020073 - 0.012521^2)} \dots\dots\dots (24B)$$

$$= 7.4810 \text{ \AA}$$

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。

$$\beta_A = \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \frac{0.01883246}{\sqrt{0.012466 * 0.019668}} \right) = 126.97^\circ \dots\dots\dots (25A)$$

$$\beta_B = \cos^{-1} \left(-\frac{1}{2} \frac{0.0125211}{\sqrt{0.017778 * 0.020073}} \right) = 109.35^\circ \dots\dots\dots (25B)$$

3.5 グループ分析値と六方晶系の格子定数との関係

祇園精舎と孔子廟にある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。孔子廟付近にある煉瓦の格子定数（Ah:4.8775 Å）は、両聖者遺跡と比べると、祇園精舎にある煉瓦と土壌より小さく、その他の遺跡物より大きいデータ（Table 3の中央）である。孔子廟付近にある煉瓦の格子定数（Ch:5.4123 Å）は、両聖者遺跡^{9~13)}と比べると、孔子廟にある土壌より小さく、その他の遺跡物より大きいデータ（Table 3中央）である。

孔子廟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）¹¹⁾はわずかに増大し、（Ch）¹¹⁾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）。

$$\text{Ah} (\text{\AA}) = 4.897 + 0.00001\text{Wt} \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{Ch} (\text{\AA}) = 5.390 - 0.00001\text{Wt} \dots\dots\dots (27)$$

ここで、酸化第二鉄（Fig. 3上の左側矢印）、酸化アルミニウム（Fig. 3中の上の左側矢印）、ケイ酸（Fig. 3中の下の右側矢印）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。重量百分率と六方晶系の格子定数との関係図では、孔子廟にある酸化第二鉄（Fig. 3上）と酸化アルミニウム（Fig. 3中の上）の重量百分率は小さい、ケイ酸（Fig. 3中の下）は大きい。この3成分を比較したのが、Fig. 3下である。この3成分を選んだのは、酸化第二鉄（4.22Wt%）・酸化アルミニウム（13.85Wt%）・ケイ酸（72.47Wt%）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。

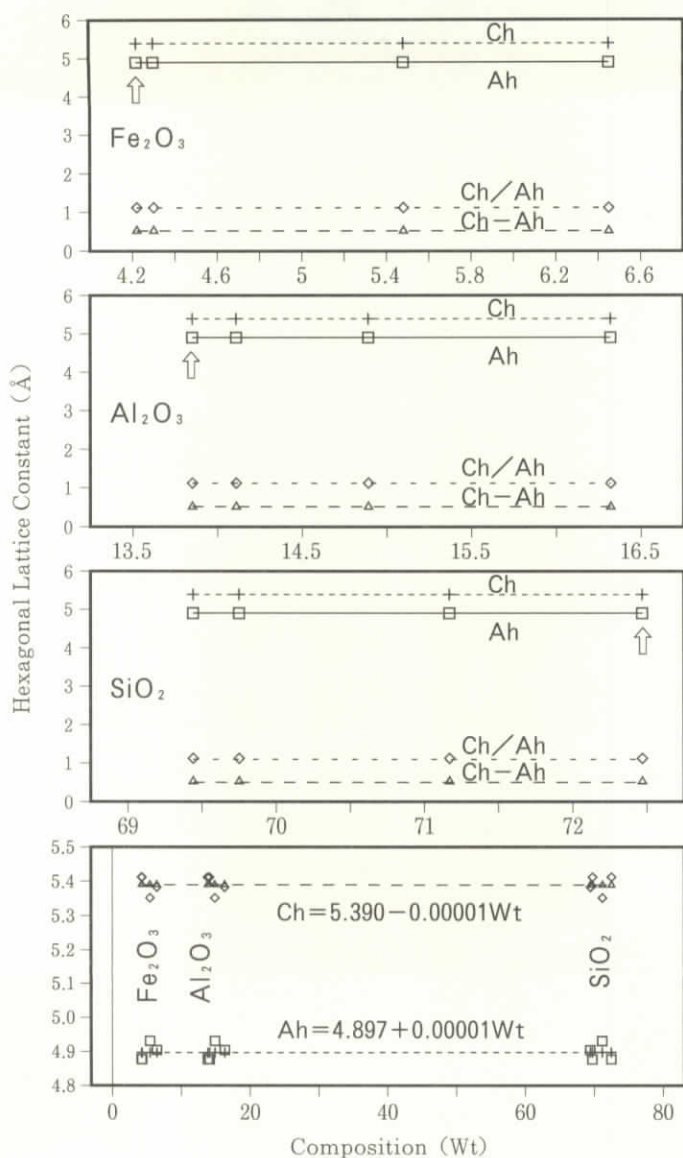


Fig. 3 Relation between Composition and Hexagonal Lattice Constant of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

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（沢、河野）

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

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

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

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、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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

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

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

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, 15)}は11.1608 Åから11.2080 Åの範囲で、平均は11.190 Å、差は0.0472 Åである。孔子廟にある格子定数Amは11.210 Åで、祇園精舎の土壌より小さく、その他より大きい。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上の右側矢印である。グループ分析により求めた重量百分率が6 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）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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

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

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

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 $B_m^{14, 15)}$ は10.0451 Åから10.0624 Åの範囲で、平均は10.055 Å、差は0.0173 Åである。孔子廟にある格子定数 B_m は10.062 Åで、両聖者遺跡の中で最長格子定数である。格子定数 B_m と重量百分率の関係として、孔子廟の格子定数はFig. 4の右側矢印である。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。

$$Wt(SiO_2) = 52.54 + 1.82B_m \quad \cdots \cdots (R^2=0.001) \quad \cdots \cdots (37)$$

$$Wt(Al_2O_3) = 98.95 - 8.36B_m \quad \cdots \cdots (R^2=0.017) \quad \cdots \cdots (38)$$

$$Wt(Fe_2O_3) = 237.78 - 22.83B_m \quad \cdots \cdots (R^2=0.109) \quad \cdots \cdots (39)$$

格子定数 B_m が大きくなるにつれ、ケイ酸、酸化第二鉄と酸アルミニウムの傾向は3.6と同様の傾向である。

3.8 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（ C_m ）との関係

両聖者にある遺跡の格子定数 $C_m^{14, 15)}$ は8.9247 Åから9.0229 Åの範囲で、平均は8.972 Å、差は0.0982 Åである。孔子廟にある格子定数 C_m は8.925 Åで、両聖者遺跡の中で最短格子定数である。格子廟にある煉瓦の格子定数 C_m と重量百分率の関係では、Fig. 4下の左側矢印である。これらの3成分と単斜晶系の格子定数（ 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。

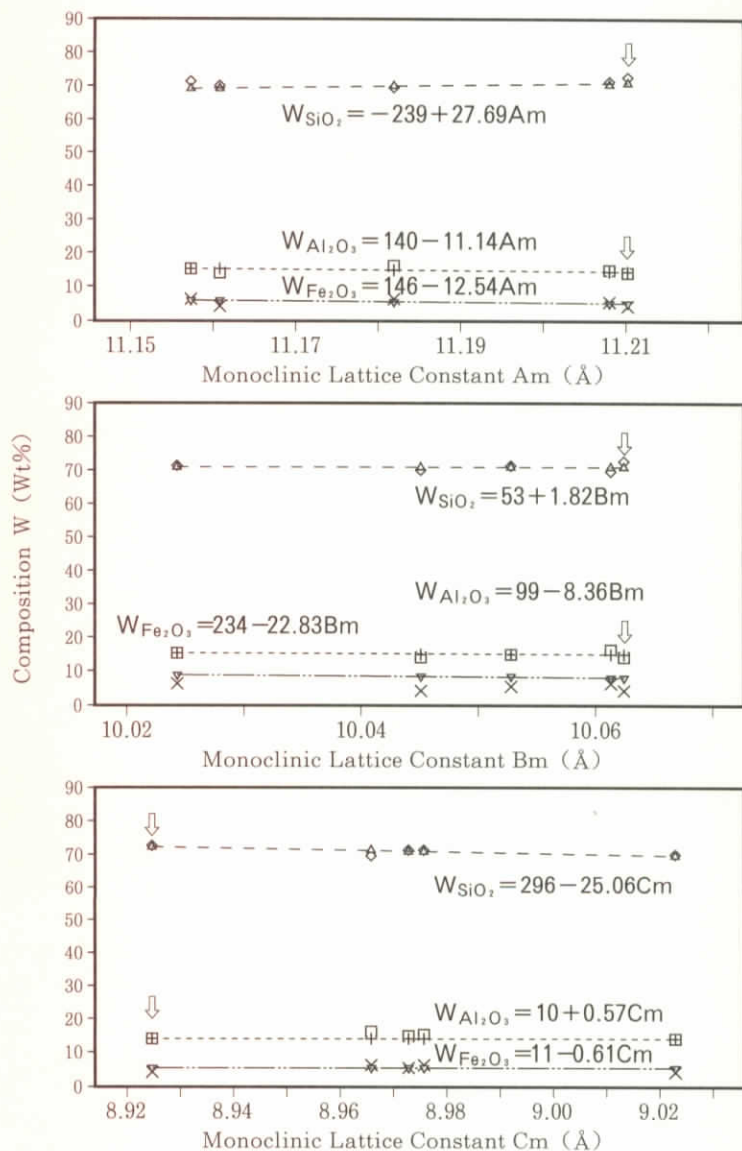


Fig. 4 Relation between Composition and Monoclinic Lattice Constant of Brick Sample from Confucian Temple in Shandong, China

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（沢、河野）

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

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

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

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）との関係は、Table 3（上段）とFig. 5（孔子廟の煉瓦は矢印）のようにアルカリ成分が比較的が多い領域である。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。Fig. 5上と下にある番号は、それぞれ①祇園精舎にある煉瓦⁴⁾、②祇園精舎にある土壌⁵⁾、③孔子廟にある煉瓦（矢印）⁶⁾、④孔子廟にある土壌⁷⁾ および⑤マヘートにある煉瓦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^{16, 17)}。すなわち、 $41\text{Wt}\% \leq \text{Picro-basalt} \leq \text{ケイ酸}45\text{Wt}\% \leq \text{Basalt}$ （玄武岩） $\leq \text{ケイ酸}52\text{Wt}\% \leq \text{Basaltic-andesite} \leq \text{ケイ酸}57\text{Wt}\% \leq \text{Andsite}$ （安山岩） $\leq \text{ケイ酸}63\text{Wt}\% \leq \text{Dacite}$ （石英安山岩）のようになる。水素イオン指数pH（塩基性 >7 中性 $=7$ 、酸性 <7 ）からケイ酸の重量百分率にあわせて比較をすれば、 $\text{Ultra-basic} \leq \text{ケイ酸}45\text{Wt}\% \leq \text{Basic}$ （塩基性岩） $\leq \text{ケイ酸}52\text{Wt}\% \leq \text{Intermediate}$ （中性岩） $\leq \text{ケイ酸}63\text{Wt}\% \leq \text{Acid}$ （酸性岩）のようになる。

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、含有率（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）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下にあるケイ酸とアルカリ性との関係から石英安山岩であることが認められた。

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（沢、河野）

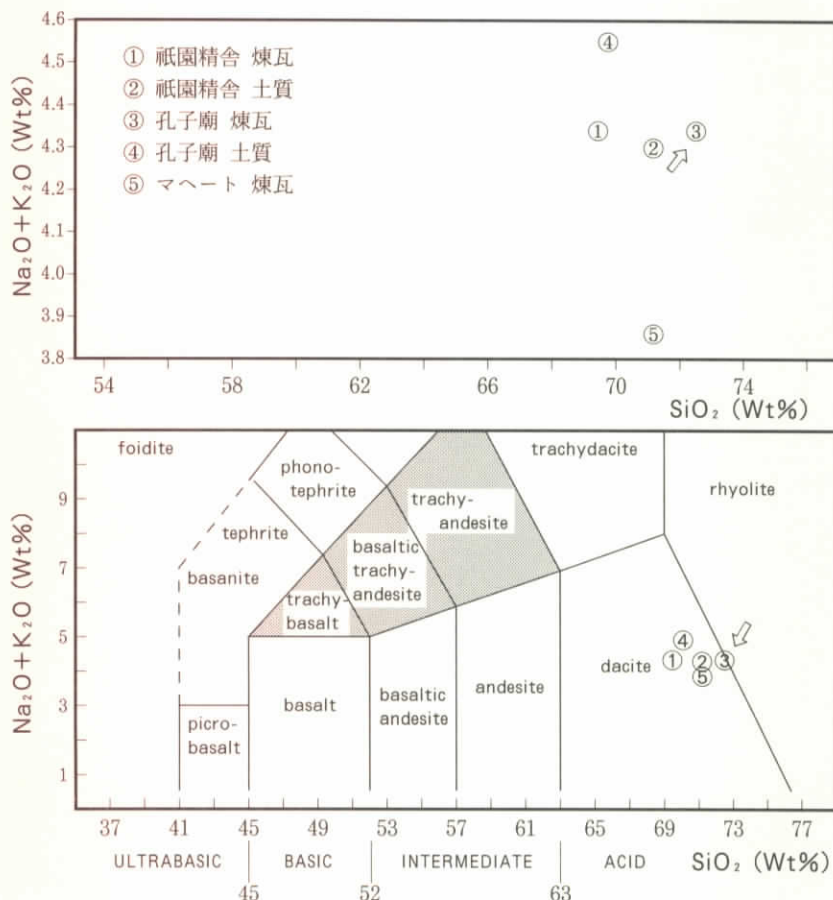


Fig. 5 Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks using the Total Alkali versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al. 1986, Fig.2)

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、Table 3（上段）と Fig. 6（孔子廟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

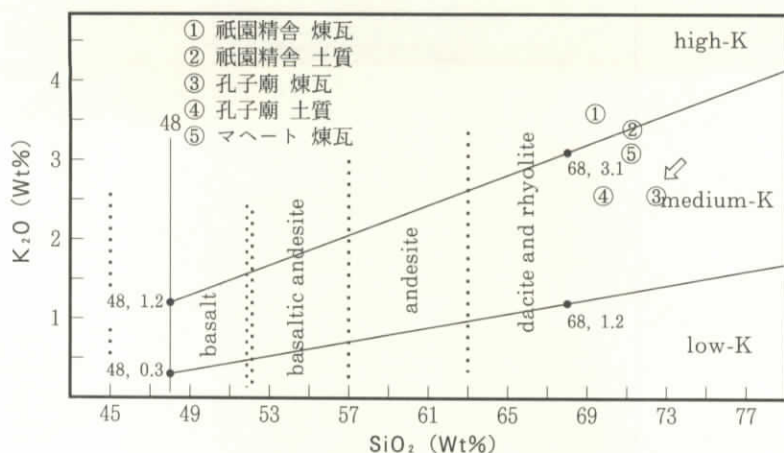


Fig. 6 Division of basalts (with $\text{SiO}_2 > 48\%$), Basaltic andesites, andsites, dacites and rhyolites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick stippled Lines indicate the equivalent position of some of the fields in the TAS diagram.

領域である。すなわち、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。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、孔子廟にある煉瓦はmedium-Kであることが確認された。

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、Table 3（上段）とFig. 7（孔子廟の煉瓦は中央矢印）である。広い分野でのケイ酸は乏しく、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では塩基性である。一方ケイ酸が多く、酸化マグネシウムと酸化第2鉄などの少ないところでは酸性である。孔子廟にある煉瓦は、広い分野での傾向と類似していることが確認された^{16, 17)}。

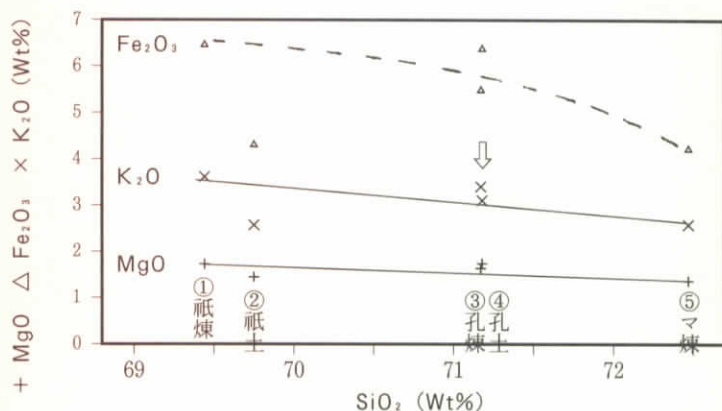


Fig. 7 Relation between Composition SiO_2 and MgO , Fe_2O_3 , K_2O of Brick Samples from Confucian Temple in Shandong, China

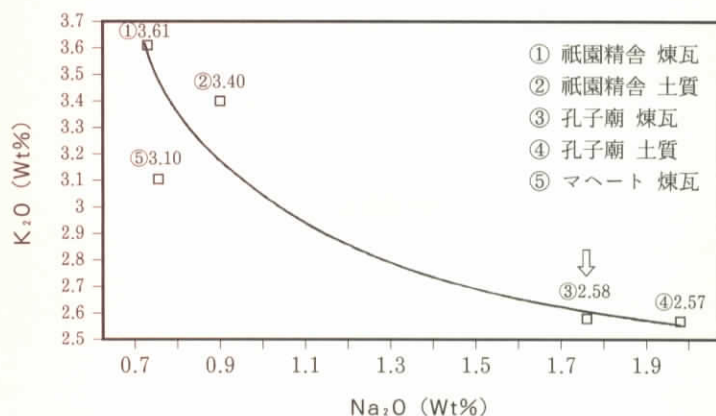


Fig. 8 Relation between Composition K_2O and Na_2O of Brick Samples from Confucian Temple in Shandong, China

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、Table 3（上段）とFig. 8

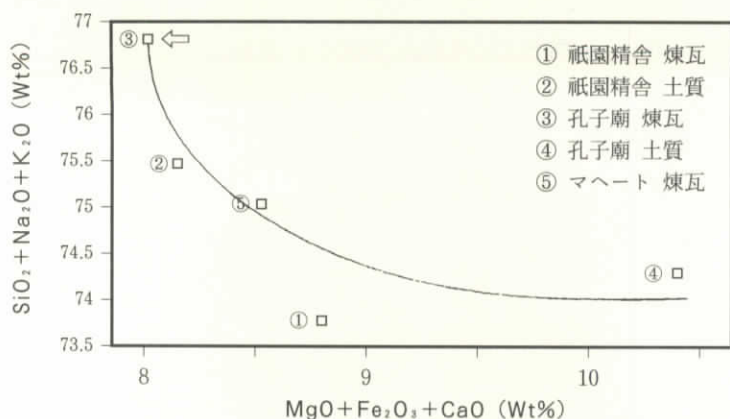


Fig. 9 Relation between Composition $MgO + Fe_2O_3 + CaO$ and $SiO_2 + Na_2O + K_2O$ of Brick Samples from Confucian Temple in Shandong, China

（孔子廟の煉瓦は左上の矢印）で、含有量にある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。Fig. 8にある番号は、Fig. 5上と同様である。したがって、孔子廟の煉瓦では、両聖者の中で酸化カリウムは最大含有率で、酸化ナトリウムは極小含有率であることが確認された^{16, 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、Table 3（上段）とFig. 9（孔子廟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Ⅱaのマグネシウムとカルシウムで、無色鉱物はⅠaのナトリウムとカリウムである。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。したがって、孔子廟の煉瓦では、両聖者の中で無色鉱物は最大含有率で、有色鉱物は極小含有率であることが確認された^{16, 17)}。

4 おわりに

中国、孔子廟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とモデルBは共に7個である。これらの面間隔は、 4.263 \AA から 1.543 \AA の範囲である。半値幅（ 0.33 \AA 以上）の面指数は、モデルAとモデルBは共に3個である。これらの面間隔は 4.199 \AA から 1.802 \AA の範囲である。

（b） 二次検索の定性分析

孔子廟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

孔子廟にある煉瓦は、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解明した。また、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が確認された。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＝

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（沢、河野）

11.2102 Å、B軸=10.0624 Å、C軸=8.9247 Åおよび軸角は $\beta = 126.97^\circ$ 。モデルAでは格子定数はA軸=7.9491 Å、B軸=6.5778 Å、C軸=7.4810 Åおよび軸角は $\beta = 109.35^\circ$ である。

（d） 重量百分率と単斜晶系の格子定数

孔子廟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、孔子廟にある煉瓦の鉱物名はQuartz（石英：主成分）とAnorthite（長石）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

広い分野ではケイ酸が増大するにつれ、 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ も同様に増している。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（dacite）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。孔子廟にある煉瓦はmedium-Kであることが確認された。

（g） 有色鉱物と無色鉱物との関係

有色鉱物（ $\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ ）と無色鉱物（ $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ）との関係が明白になった。孔子廟の煉瓦では、両聖者の中で無色鉱物は最大含有率で、有色鉱物は極小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および藤田浩史様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 $(\text{BiSb})_2(\text{TeSe})_3$ 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) 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
- (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線回折分析」
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) A.Miyashiro: 「Nature of Alkalic Volcanic Rock Series」 Contrib. Mineral. Petrol. 66 (1978) P.91-104
- (17) R.W.Le Maitre: 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』 (1939), Blackwell Scientific Publications