

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

沢 勲 Isao SAWA
河野久征 Hisayuki KOHNO

ABSTRACT

「*Analysis by X-Ray Diffraction Method of Soil
Material from the Confucian Temple in China and
the Jetavanavihāra in India*」

CONFUCIUS (551-479 B.C.) 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°36'N., and longitude 117°02'E..

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure, lattice constants and lattice ratio of soil samples in the confucian temple and the Jetavanavihāra by analysis of X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials is hexagonal structure. In the hexagonal system, it is found that the lattice constants a- and c-axis are $a=4.8771\text{Å}$ and $c=5.4125\text{Å}$ in the confucian temple or $a=4.9312\text{Å}$ and $c=5.3512\text{Å}$ in the Jetavanavihāra, respectively.

(*The Review of the Osaka University of Economics and Law*, 52 (1993), pp. 1-20)

1 はじめに

孔子の出生地、儒教の聖地は、名跡として名高い五大地がある。すなわち、孔子廟・孔府（衍聖公府）・孔林（至聖林）・顔回廟（復聖廟）および周公廟（元聖廟）である。この孔府は、孔子学校とも言える。孔子廟は、中国山東省曲阜市曲阜市（Gufu）にある。曲阜市は、北緯 $35^{\circ}36'$ と東経 $117^{\circ}02'$ の地点にある。孔子廟の平面図は **Fig. 5** である。

孔子は世界五大聖者の一人である。この聖者の教えは、次のように要約できる。本性は天命の性であり、一に帰る最後の目的は中をとり一に貫徹する。本心は存念し養うことであり、行く所は聖域であり、サイクルは還源である。心種としては仁徳の心であり、本とするものは明徳であり、重んじる所は私欲をなくし清らかになることであり、修めるものは天理が流れることを知ることであり、情を抱くことは忠恕であり、結ぶものは法然であり、法の教えは存心養性であり、実践の教えは五徳（温徳・良徳・恭徳・儉徳・讓徳）であり、三法五元は三綱（君臣・父子・夫婦への道）・五常（仁義礼智信）であり、聖地は至善の地であり、そして聖域は上帝である¹⁾。

筆者は、インドの祇園精舎に構築している土質をX線回折法によって分析した^{2~6)}。その祇園精舎と孔子廟の土質を比較・検討を行った。その結果、結晶構造は共に六方晶系であった。この六方晶系の格子定数は、a軸（祇園精舎： 4.9312Å と孔子廟： 4.8771Å ）とc軸（祇園精舎： 5.3512Å と孔子廟： 5.4125Å ）である。一方、軸比は、祇園精舎では1.0852であり、孔子廟では1.1098である。以上の事項を以下記述する。

2 実験方法

2.1 ピーク・サーチの定性分析

試料は、中国山東省の西南地方にある孔子廟の土質である。この土質をポー

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 (沢、河野)

ルミルで200メッシュ以下に粉碎した。測定装置は、理学電機製のX線回折装置 RINT-1500 (モノクロメータ使用) である。ピーク・サーチの定性分析の測定条件は、次のとおりである。

①管球 (Cu) ②管電圧 (50 kV) ③管電流 (200 mA) ④ゴニオメータ (広角ゴニオメータ) ⑤サンプリング幅 (0.020°) ⑥走査速度 ($3,000^\circ/\text{min}$) ⑦発散スリット (1°) ⑧散乱スリット (1°) ⑨受光スリット (0.30 mm) および⑩アタッチメント (標準試料ホルダー) である。また、データ処理の波長は 1.54056 \AA である。

このデータ処理に用いたコンピュータのプログラム言語は、FORTRAN およびC言語である。このプログラムに従ってデータの処理を行った平滑化点数は9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。

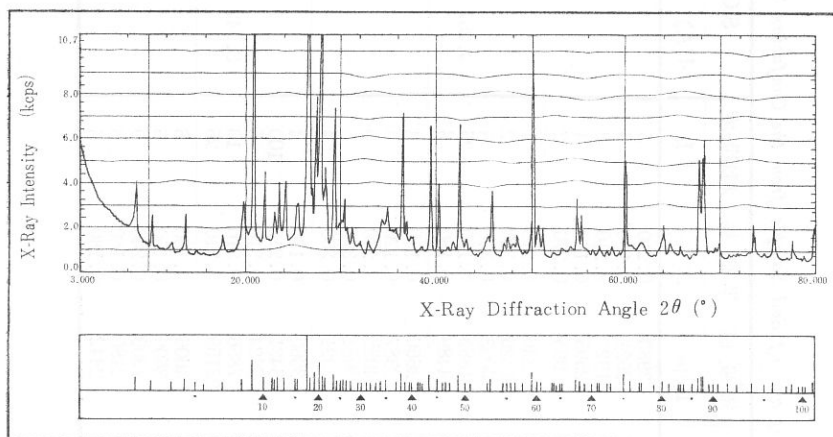


Fig. 1 X-Ray Diffraction Chart of Peak Search System of Soil Sample from the Confucian Temple in Shandong, China

回折角度は、CuK α 線の 2θ を ($3.000\sim 80.000$)deg 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。

Table 1 における定性分析のピーク・サーチの番号を1から102までの範囲内でカウントを行った。この時、回折角度 (2θ) は、 $8.820\sim 79.840$ deg の範囲である。面間隔 $d(\text{Å})$ は、ブラッグの反射条件式として

Table 1 X-Ray Diffractograms of Soil Sample from the Confucian Temple by Qualitative Analysis of Peak Search

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(沢、河野)

ピーク番号	回折角度 $2\theta(^{\circ})$	面間隔 $d(\text{\AA})$	強度値 $I(\text{cps})$	半価幅 $\Delta(^{\circ})$	相対強度 I/I_0	SiO ₂ (Quartz, Low)			祇園精舎		マヘート孔子廟	
						$d(\text{\AA})$	I/I_0	h k l	土質	レンガ	レンガ	レンガ
1	8.820	10.01756	3983	0.210	5							
2	10.440	8.46647	2521	0.180	3							
3	12.460	7.09806	1325	0.210	2							
4	13.820	6.40246	2595	0.180	4							
5	14.940	5.92492	995	0.270	2							
6	15.800	5.60430	846	0.270	1							
7	17.720	5.00116	1626	0.300	2							
8	19.760	4.48920	3003	0.330	4							
9	20.820	4.26298	21883	0.180	26	4.257	22	1 0 0	○	○	○	○
10	22.020	4.03330	4489	0.180	6							
11	22.980	3.86693	2666	0.150	4							
12	23.140	3.84056	2387	0.120	3							
13	23.540	3.77619	4055	0.240	5							
14	24.220	3.67169	4081	0.390	5							
15	25.360	3.50916	2991	0.300	4							
16	25.580	3.47948	3060	0.180	4							
17	26.600	3.34832	85431	0.210	100							
18	27.000	3.29962	3824	0.210	5							
19	27.420	3.25003	7856	0.210	10							
20	27.900	3.19519	22159	0.210	26							
21	28.380	3.14223	4606	0.150	6							
22	28.540	3.12498	3609	0.150	5							
23	29.360	3.03954	7309	0.240	9							
24	29.760	2.99959	2180	0.180	3							
25	30.100	2.96648	2442	0.180	3							

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(沢、河野)

ピーク番号	回折角度		面間隔 d(Å)	強度値 I(cps)	半価幅 Δ(°)	相対強度 I/I ₀	SiO ₂ (Quartz, Low)		祇園精舎		孔子廟	
	2θ(°)	h k l					d(Å)	I/I ₀	土質	レンガ	レンガ	レンガ
26	30.440		2.93411	3250	0.210	4						
27	30.800		2.90063	1882	0.300	3						
28	31.240		2.86078	2014	0.360	3						
29	32.060		2.78945	1410	0.240	2						
30	32.360		2.76427	1134	0.210	2						
31	32.940		2.71691	1434	0.180	2						
32	33.360		2.68366	1067	0.210	2						
33	33.860		2.64517	1320	0.240	2						
34	34.420		2.60340	2387	0.150	3						
35	34.920		2.56726	2990	0.360	4						
36	35.940		2.49671	2057	0.330	3						
37	36.500		2.45967	7125	0.240	9	2.457	8	○	○	○	○
38	36.920		2.43265	2246	0.300	3						
39	37.360		2.40501	1643	0.150	2						
40	37.620		2.38898	1656	0.240	2						
41	38.300		2.34811	1089	0.240	2						
42	38.520		2.33521	1203	0.270	2						
43	38.800		2.31900	1129	0.210	2						
44	39.420		2.28394	6559	0.270	8	2.282	8	○	○	○	○
45	40.240		2.23927	4031	0.300	5	2.237	4	○	×	×	○
46	40.800		2.20982	1025	0.240	2						
47	41.220		2.18827	1186	0.360	2						
48	41.580		2.17015	1302	0.240	2						
49	42.400		2.13006	6680	0.330	8	2.127	6	○	○	○	○
50	43.140		2.09522	1613	0.360	2						

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（沢、河野）

ピーク番号	回折角度 2θ(°)	面間隔 d(Å)	強度値 I(cps)	半価幅 Δ(°)	相対強度 I/I ₀	SiO ₂ (Quartz, Low)			祇園精舎		孔子廟	
						d(Å)	I/I ₀	h k l	土質	レンガ	土質	レンガ
51	43.680	2.07056	1118	0.360	2							
52	45.420	1.99520	1599	2							
53	45.740	1.98198	3637	0.180	5							
54	47.100	1.92788	1360	0.240	2		4	2 0 1				
55	47.480	1.91333	1584	0.270	2							
56	47.920	1.89678	1293	0.120	2							
57	48.460	1.87690	1673	0.210	2							
58	49.180	1.85109	1034	0.150	2							
59	50.080	1.81992	11072	0.180	13		14	1 1 2				
60	50.660	1.80043	2091	0.240	3		<1	0 0 3				
61	51.100	1.78596	1911	0.150	3							
62	52.240	1.74963	900	0.360	2							
63	52.500	1.74158	893	0.240	2							
64	52.760	1.73361	845	0.210	1							
65	53.160	1.72150	1098	0.180	2							
66	53.340	1.71612	1075	0.210	2							
67	54.820	1.67323	3348	0.150	4		4	2 0 2				
68	55.260	1.66095	2536	0.150	3		2	1 0 3				
69	55.780	1.64669	1130	0.270	2							
70	56.640	1.62371	966	0.360	2							
71	57.180	1.60965	1075	0.150	2		<1	2 1 0				
72	57.360	1.60503	1196	0.180	2							
73	58.240	1.58285	933	0.180	2							
74	58.620	1.57350	1193	0.150	2							
75	59.920	1.54243	8001	0.180	10		9	2 1 1				

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 (沢、河野)

ピーク番号	回折角度 $2\theta(^{\circ})$	面間隔 d(Å)	強度値 I(cps)	半価幅 $\Delta(^{\circ})$	相対強度 I/I ₀	SiO ₂ (Quartz, Low)			祇園精舎		孔子廟	
						d(Å)	I/I ₀	h k l	土質	レンガ	マヘート	レンガ
76	60.640	1.52583	1292	2							
77	61.600	1.50433	1408	2							
78	61.800	1.49994	1389	0.210	2							
79	63.020	1.47381	836	0.240	1							
80	63.980	1.45399	2206	0.180	3	1.4536	1	1 1 3	○	○	○	○
81	64.700	1.43954	1405	0.180	2							
82	65.740	1.41926	1266	0.180	2	1.4189	<1	3 0 0	○	○	○	○
83	65.960	1.41506	1004	0.150	2							
84	66.260	1.40938	897	0.210	2							
85	67.140	1.39303	934	0.180	2							
86	67.700	1.38286	5097	0.180	6	1.3820	6	2 1 2	○	○	○	○
87	68.100	1.37571	5273	0.120	7	1.3752	7	2 0 3	○	○	○	○
88	68.280	1.37252	6061	0.150	8	1.3718	8	3 0 1	○	○	○	○
89	68.960	1.36064	1035	0.150	2							
90	69.380	1.35342	1224	0.210	2							
91	69.860	1.34529	1359	0.150	2							
92	70.900	1.32809	858	0.150	2							
93	71.860	1.31269	933	0.150	2							
94	73.420	1.28860	2195	0.210	3	1.2880	2	1 0 4	○	○	○	○
95	74.720	1.26937	924	2							
96	75.620	1.25648	2396	0.180	3	1.2558	2	3 0 2	○	○	○	○
97	77.060	1.23656	729	0.180	1							
98	77.620	1.22903	1517	0.210	2	1.2285	1	2 2 0	×	×	○	○
99	78.420	1.21848	707	0.240	1							
100	78.840	1.21304	792	0.180	1							
101	79.080	1.20996	663	0.150	1							
102	79.840	1.20034	2112	0.180	3	1.1999	2	2 1 3	×	×	○	○

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

- ここで、 λ : 波長 (Å)
- d : 面間隔 (Å)
- θ : 回折角度 (deg)

が求められる。

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、(10.01756~1.20034) Åである。

X線回折の相対強度が10%以上になっているのは**Table 1** のとおりである。すなわち、ピーク番号順にすれば、次のとおりである。No. 9では21883cps=26%、No. 17では85431cps=100%、No. 19では7856cps=10%、No. 20では22159cps=26%、No. 59では11072cps=13% および No. 75では8001cps=10%である。ここでは、No. 19とNo. 20は面指数が決定できない。それは、SiO₂以外の成分が混入しているからである。

さらに、半価幅が0.36 Å以上のものは**Table 1** のとおりである。すなわち、No. 14(0.39 Å)はこの全ピークの中で最高の半価幅である。一方、半価幅(0.36 Å)は6個のピークがある。No. 28、No. 35、No. 47、No. 51、No. 62 および No. 70である。この半価幅の大きいピーク番号のものは、面指数を決めることができないことがわかった。

2.2 一次検索の定性分析^{2~8)}

一次検索の定性分析は、ピーク・サーチの定性分析と異なって、次のような測定条件を設定した。

①管球 (Cu) ②管電圧 (50kV) ③管電流 (200 mA) ④モノクロメータ (使用) ⑤受光スリット (0.60 mm) ⑥ゴニオメータ (広角ゴニオメータ) ⑦サンプリング幅 (0.020°) ⑧走査速度(3,000°/min) ⑨発散スリット (1°) ⑩散乱スリット (1°) および ⑪アタッチメント(標準試料ホルダー)である。一方、データ処理に関しては、波長(1.54066 Å) および平滑化点数は9として行った。

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検索ファイルは鉱物ファイルである。②検索方法はファイル1だけ検索する。③元素指定方法は指定元素のみから成るものである。④主成分は、アルミニウム、ケイ素および鉄である。⑤微成分は、マグネシウム、ナトリウム、カルシウム、カリウム、チタンおよび燐である。⑥不確定成分は、水素、酸素および炭素である。⑦信頼性係数計算方法は角度と強度因子とも用いる。⑧信頼性係数再評価は行う。⑨最低一致本数は8である。⑩最低一致率は10%である。⑪一致判定許容幅は3である。および⑫信頼性係数閾値は50である。回折角度($2\theta=3.000\sim 80.000$)の範囲を示したのが **Fig. 2** である。ここでは、中国の孔子廟にある土質分析を報告する。

Fig. 2 におけるX線強度値として、10000cps 以上になっている回折角度(2θ)は、No. 9 (100面)の21883cps、No. 17の85431cps、No. 20の22159cps および No. 59 (112面)の11072cps の4個所ピークである。

Table 2 においては、測定条件と検索条件を設定した後に、一次検索として50個の化学式を引き出すことができた。**Table 2** における化学式の中で、元素標準ピーク本数は9~18であり、一致本数は、8~18であり、そして、信

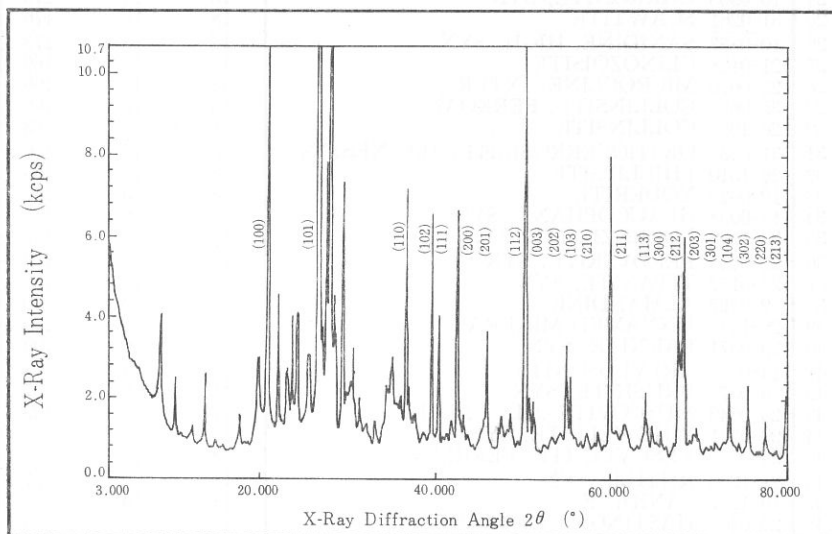


Fig. 2 X-Ray Diffractograms of Soil Sample from the Confucian Temple by Qualitative Analysis of 1st Search-Match

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 (沢、河野)

Table 2 Qualitative Analysis of 1st Search-Match for Soil Sample from the Confucian Temple, China

No.	カードNo.	化 学 式	元素 標準 本	標 ク 一 致 本 数	信頼性 係 数
1	33-1161	QUARTZ, LOW	16	16	917
2	24-0027	CALCITE	15	13	501
3	31-0966	ORTHOCLASE	18	16	451
4	5-0586	CALCITE, SYN	16	15	402
5	19-1184	ALBITE, LOW	18	18	380
6	29-0989	MERLINOITE	18	17	374
7	21-0149	MAGNESIO-HORNBLLENDE, FERROAN	18	15	354
8	9-0466	ALBITE, LOW	18	18	312
9	7-0042	MUSCOVITE-3T	18	17	287
10	30-0664	LAIHUNITE	18	13	282
11	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	17	274
12	11-0615	XIFENGITE, SYN	9	8	266
13	20-0554	ALBITE, LOW	18	18	263
14	31-0250	HYDROGROSSULAR, INTERMEDIATE	14	12	233
15	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	17	221
16	20-0386	ECKERMANNITE, SYN	18	16	220
17	17-0514	EPIDOTE	18	15	214
18	20-0452	GISMONDINE	18	14	211
19	9-0457	ALBITE, CALCIAN, LOW	18	17	208
20	26-0911	ILLITE-2M1	18	17	203
21	9-0478	ALBITE, POTASSIAN, HIGH, HEATED	18	14	203
22	26-1372	FERRO-PARGASITE	15	12	198
23	19-0926	MICROCLINE, MAX	18	17	187
24	16-0905	GARRONITE, SYN	18	16	176
25	31-0261	SCAWTITE	18	15	176
26	10-0357	SANIDINE, HIGH, SYN	17	13	173
27	21-0128	CLINOZOISITE	18	17	169
28	22-0675	MICROCLINE, INTER	18	15	166
29	35-0635	COLLINSITE, FERROAN	18	16	166
30	26-1063	COLLINSITE	18	15	163
31	31-0635	ORTHO FERROSILITE, MAGNESIAN	18	16	156
32	26-1310	PHILLIPSITE	18	17	156
33	12-0625	YODERITE	18	15	140
34	15-0058	GLAUCOPHANE, SYN	18	16	135
35	33-1298	LORENZENITE, SYN	18	15	127
36	22-0153	PEROVSKITE, SYN	14	12	124
37	25-0177	TITANITE, SYN	18	15	122
38	9-0427	ALMANDINE	15	12	119
39	26-1318	UNNAMED MINERAL	18	16	119
40	29-0371	LARNITE, SYN	18	16	109
41	14-0633	ARFVEDSONITE	18	14	108
42	9-0077	BRUSHITE, SYN	18	16	107
43	25-0649	MUSCOVITE-2M2, CALCIAN	17	15	102
44	20-0231	WHEWELLITE, SYN	18	15	101
45	22-0533	VESUVIANITE, FERRIAN	18	14	98
46	21-1276	RUTILE, SYN	11	9	97
47	19-1227	SANIDINE	18	16	95
48	20-0469	HASTINGSITE, MAGNESIAN	18	14	88
49	29-1258	FERRO-HORNBLLENDE, PARGAS	17	13	87
50	17-0745	GRUNERITE	18	14	86

信頼性係数は86~917の広範囲にわたっている。この信頼性係数が100個以上のものは、44個の化学式が含まれている。信頼性の大きいのが917である。すなわち、カードNo.が33-1161で、化学式が QUARTZ, LOW である。QUARTZ, LOW の元素標準ピーク本数や一致本数が、共に、16である。その結果、孔子廟にある土壌としての主成分は、QUARTZ（石英）の鉱物名と類似していることが判明できた。

2.3 二次検索の定性分析^{2~8)}

二次検索の定性分析を行うため、測定条件とデータの処理方法は、2.2と同様である。祇園精舎のレンガと土質、マヘート遺跡の Pakki-Kuti（パキックッティ）のレンガおよび孔子廟のレンガ材と同種類の化学式をプロットしたのが Fig. 3 である。

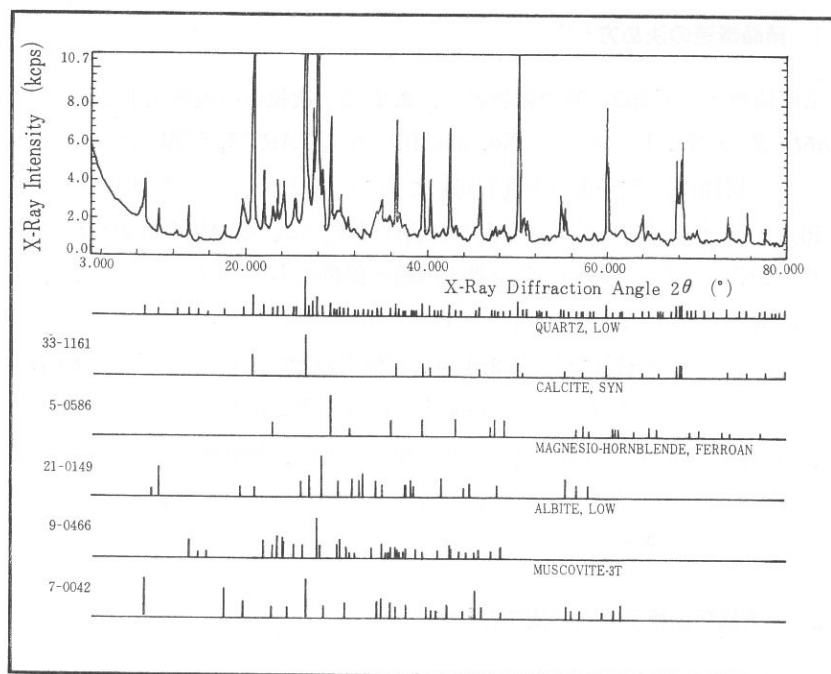


Fig. 3 Qualitative Analysis of 2nd Search-Match of Soil Sample from the Confucian Temple, China

Fig. 3 において、孔子廟の土質に近い波形は、No. 1 の33-1161(QUARTZ, LOW)、No. 4 の5-0586(CALCITE, SYN)、No. 7 の21-0149(MAGNESIO-HORNBLLENDE, FERROAN)、No. 8 の9-0466(ALBITE, LOW) および No. 9 の7-0042(MUSCOVITE-3T) である。

Table 2 と **Fig. 3** との比較において、回折図形・ピーク本数・一致本数および信頼性係数との間に孔子廟の土質についてより一層の確信が得られた。

上記の No. 1 における33-1161 (QUARTZ, LOW) は、標準ピーク本数が16であっても、信頼性係数が917 という大きい値であるからである。すなわち、この孔子廟の土質は33-1161のQUARTZ, LOWに近い成分であることが認められた。

3 検 討

3.1 結晶構造の決め方^{2~8)}

祇園精舎と孔子廟の土質の鉱物名は、2.2の一次検索の定性分析によって**Table 2**のNo. 1のカードNo. 33-1161のQUARTZ, LOWによってわかった。同様に、孔子廟の土質も同じである。それは、元素標準ピーク本数(16)、一致本数(16)および最大の信頼性係数では、祇園精舎が893および孔子廟が917である。この両寺院の最大信頼性係数は小さく24である。また、主成分はQUARTZ(石英)である一致点を判明した。

一方、孔子廟の土質に関して2.3の2次検索の定数分析においては**Fig. 3**のようにプロットしたチャートからも十分に説明することができる。したがって、石英は六方晶系であることから孔子廟の土質は、祇園精舎のレンガや土質および孔子廟にあるレンガ同様に、六方晶系の結晶構造である類似点をも発見することができた³⁾⁶⁾。

3.2 六方晶系の格子定数の決め方^{2~8)}

六方晶系の格子定数は、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^{2~8)}。

$$d(hkl) = \frac{a}{\sqrt{\frac{4}{3}(h^2+k^2+hk)+\frac{a^2}{c^2}l^2}} \dots\dots\dots(2)$$

面間隔(d)は、ブラッグの反射条件式によって、波長が与えられると求められる。孔子廟の土質の面指数(hkl)は、Table 3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 3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

Table 3 The Lattice Constants Calculated Lattice Distance in the Reflection Patterns

面間隔	相対強度	面指数	$\frac{1}{d^2}=m$	$\alpha = h^2 + k^2 + hk$	$\beta = l^2$	$\alpha\beta$	α^2	β^2	αm	βm
d(Å)	I/I ₀	h k l								
4.2630	26	1 0 0	0.055	1	0	0	1	0	0.055	0.055
3.3483	100	1 0 1	0.089	1	1	1	1	1	0.089	0.089
2.4597	9	1 1 0	0.165	3	0	0	9	0	0.495	0.000
2.2839	8	1 0 2	0.192	1	4	4	1	16	0.192	0.768
2.2393	5	1 1 1	0.199	3	1	3	9	1	0.597	0.199
2.1301	8	2 0 0	0.220	4	0	0	16	0	0.880	0.000
1.9820	5	2 0 1	0.255	4	1	4	16	1	1.020	0.255
1.8199	13	1 1 2	0.302	3	4	12	9	16	0.906	1.208
1.8004	3	0 0 3	0.309	0	9	0	0	81	0.000	2.781
1.6732	4	2 0 2	0.357	4	4	16	16	16	1.428	1.428
1.6610	3	1 0 3	0.362	1	9	9	1	81	0.362	3.258
1.6097	2	2 1 0	0.386	7	0	0	49	0	2.702	0.000
1.5424	10	2 1 1	0.420	7	1	7	49	1	2.940	0.420
1.4540	3	1 1 3	0.473	3	9	27	9	81	1.419	4.257
1.4193	2	3 0 0	0.496	9	0	0	81	0	4.464	0.000
1.3829	6	2 1 2	0.523	7	4	28	49	16	3.661	2.092
1.3757	7	2 0 3	0.528	4	9	36	16	81	2.112	4.752
1.3725	8	3 0 1	0.531	9	1	9	81	1	4.779	0.531
1.2886	3	1 0 4	0.602	1	16	16	1	256	0.602	9.632
1.2565	3	3 0 2	0.633	9	2	18	81	4	5.697	1.266
1.2290	2	2 2 0	0.662	12	0	0	144	0	7.944	0.000
1.2003	3	2 1 3	0.694	7	9	63	49	81	4.858	6.246
TOTAL						253	688	734	47.202	39.237

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（沢、河野）

を行った^{7~11)}。a軸とc軸の値は、コンピュータのFORTRAN言語をBASICを用いて、次のとおりに情報処理の演算を行った^{9~11)}。

コンピュータ処理の手順は、次のとおりに処理を行った。

式(2)を書き換えると、次のようになる。

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3a^2}(h+k+hk) + \frac{l^2}{c^2} \dots\dots\dots(3)$$

この式(3)において、第1項と第2項をまとめると

$$X = \frac{4}{3a^2} \dots\dots\dots(4)$$

あるいは

$$Y = \frac{1}{c^2} \dots\dots\dots(5)$$

となる。これを式(3)に代入すると

$$\frac{1}{d^2} = X(h+k+hk) + Yl^2 \dots\dots\dots(6)$$

のようになる。ここで、 $(1/d)=m$, $h+k+hk=\alpha$ および $l^2=\beta$ に書き換えた。その結果、次のような行列式になる。

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} \sum\alpha^2 & \sum\alpha\beta \\ \sum\beta\alpha & \sum\beta^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 688 & 253 \\ 253 & 734 \end{vmatrix} \\ &= \sum\alpha^2 \times \sum\beta^2 - (\sum\alpha\beta)^2 = 440\ 983 \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

格子定数のa軸を求めるために、次の行列式を用いたのが次式である。

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum\alpha m & \sum\alpha\beta \\ \sum\beta m & \sum\beta^2 \end{vmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 47.202 & 253 \\ 39.237 & 734 \end{vmatrix} \\ &= \frac{1}{\Delta} (\sum\alpha m \times \sum\beta^2 - \sum\beta m \times \sum\alpha\beta) \\ &= 0.056\ 055\ 011 \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

この $X=0.056\ 055\ 011$ の値を式(4)に代入をした。すなわち、

$$a^2 = \frac{4}{3X} = \frac{4}{0.168\ 165\ 033} \dots\dots\dots(9)$$

である。ここで、格子定数のa軸は、次のとおりに決定することができた。

$$a = 4.8771\text{\AA}$$

したがって、格子定数の a 軸は 4.8771Å である。

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{1}{A} \begin{vmatrix} \sum \alpha^2 & \sum \alpha m \\ \sum \beta \alpha & \sum \beta m \end{vmatrix} = \frac{1}{A} \begin{vmatrix} 688 & 47.202 \\ 253 & 39.237 \end{vmatrix} \\
 &= \frac{1}{A} (\sum \alpha^2 \times \sum \beta m - \sum \beta \alpha \times \sum \alpha m) \dots \dots \dots (10) \\
 &= 0.034 \ 134 \ 989
 \end{aligned}$$

式(10)の値を式(5)に代入して、格子定数の c 軸を計算した結果は、次のとおりである。

$$c = \sqrt{\frac{1}{Y}} = 5.4125\text{Å} \dots \dots \dots (11)$$

この行列式の値を、式(4)と(5)に代入することによって求められる格子定数の a 軸の値は、a=4.8771Å であり、c 軸の値は、c=5.4125Å である。この両軸の軸比は、すなわち、(c/a) は 1.1098 である。

文献中の α-石英 (SiO₂) の格子定数は、a=4,903~4,913Å および c=5,539~5,405Å の範囲に含まれていることが多い。一般の α-石英と比較すれば、孔子廟にある土質の a 値は小さくなり、c 軸は大きくなっている。これは、蛍光 X 線分析値によるとケイ酸、酸化アルミニウム、酸化鉄および酸化カリウムの含有率によって異なっている。これらは、主としてこの 4 成分の構成比率によって、格子定数が異なっていることがわかる。また、格子定数の軸比も 1.08 から 1.11 まで変っていることがわかった。

東洋の二大聖者は、仏教のゴードマツタルタと儒教の孔子である。この両者が最初に建設したのが、祇園精舎と孔子廟である。この両者に関する寺院内のレンガ材と土質を比較するために、多重記録による X 線回折図形を行ったのが **Fig. 4** である。この **Fig. 4** に関する測定条件は、次のとおりである。

- ①管球は銅である、
- ②管電圧は 50 kV、
- ③管電流は 200 mA、
- ④ゴニオメータは広角ゴニオメータ、
- ⑤サンプリング幅は 0.020°、
- ⑥走査速度は 3,000°/min、
- ⑦発散と散乱スリットは、共に 1°であり、そして⑧受光スリットは 0.30 mm である。この場合、モノクロメーターを使用した。

Fig. 4 における回折図形は、上より、Maheth(Pakki-Kuti) のレンガ材、祇園精舎の土質、祇園精舎のレンガ材、孔子廟の土質および孔子廟のレンガ材

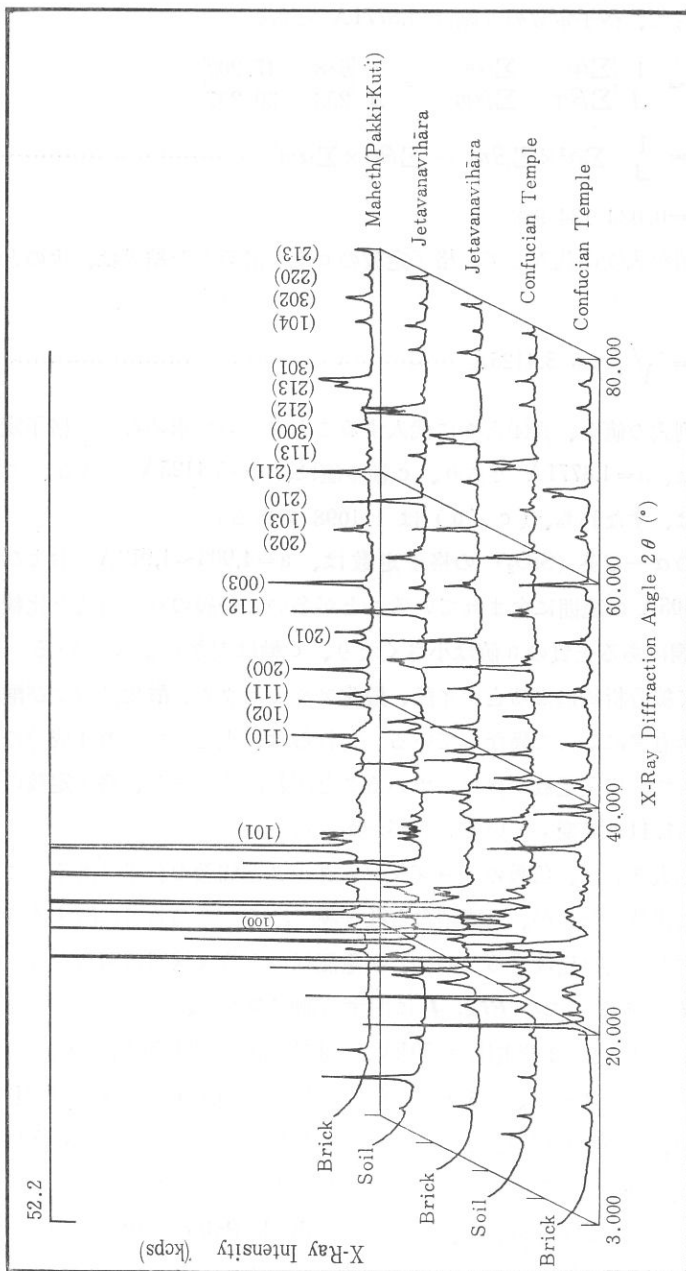


Fig. 4 X-Ray Diffractograms of Soil and Brick Samples in the Confucian Temple in China and the Jetavanavihara in India

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 (沢、河野)

である。いずれも、共通した回折図形が得られているが、特に、マヘート遺跡以外は共通したピークが多いことが認められた。以上の結果により **Table 4** では、この両聖者の最初寺院と一般の石英との比較を行った。孔子廟の格子定数 (a と c) と軸比 (c/a) の値を100とした場合、他との関係を比較すれば、次のとおりである。すなわち第1に、格子定数 a において孔子廟の値は、マヘート遺跡よりも 0.0007Å 大きく、祇園精舎よりも (0.0176~0.0541Å) 小さい値である。また、孔子廟のレンガ材との差は 0.0004Å というわずかに小さい値である。すなわち、孔子廟のレンガ材や土質または祇園精舎のレンガ材や土質も、実験誤差内という程に近似値であることがわかった。第2に、格子定数 c においては、格子定数 a との逆である。孔子廟の格子定数 c は、祇園精舎のレンガ材や土質よりも大きい値である。が、孔子廟のレンガとは 0.0002Å というわずかな差で大きい値である。第3に、孔子廟の軸比は、マヘート遺跡 (レンガ)、祇園精舎 (レンガや土質)、孔子廟 (レンガ) および一般の石英よりも 2%程に大きくなっている。以上の事項により、格子定数は 1%以内に、軸比は 2%以内の範囲に含まれていることが認められた^{6~8)}。

Table 4 The Lattice Constants and Lattice Ratio of Soil Sample in the Confucian Temple in China and the Jetavanavihāra in India

Lattice Constant Samples		Lattice Constants				Lattice Ratio		Remarks
		a(Å)	Ratio	c(Å)	Ratio	c/a	Ratio	
Confucian Temple Jetavanavihāra	Soil	4.8771	100.00	5.4125	100.00	1.1098	100.00	経法論集52
	Soil	4.9312	101.11	5.3512	98.87	1.0852	97.78	アジ研年報 1
Confucian Temple	Brick	4.8775	100.01	5.4123	100.00	1.1096	99.98	経法論集49
Jetavanavihāra	Brick	4.9047	100.57	5.3829	99.45	1.0975	98.89	経法論集39
Maheth(Pakki-Kuti)	Brick	4.8764	99.99	5.4109	99.97	1.1096	99.98	アジ研年報 3
ASTM(SiO ₂) General(α-SiO ₂)	SiO ₂	4.9133	100.74	5.4053	99.87	1.1001	99.13	
	SiO ₂	4.9030		5.3930				
		4.9130		5.4030				

4 おわりに

中国山東省の西南地方にある孔子廟の土質に対して、X線回折図形とコンピュータの情報処理によって、化合物の格子定数を決定することができた。したがって、祇園精舎と比較することができた結果は、次のとおりである。

4.1 ピーク・サーチの定性分析^{6~8)}

孔子廟の土質に関する回折角度の 2θ (8.820~79.40) Å の範囲において、それぞれ 102 個のピークをサーチし、これに対応した面間隔(d)、X線強度値(I)、半価幅および相対強度 (I/I_0) を求めることができた。

4.2 一次検索の定性分析^{6~8)}

孔子廟にある土質成分は祇園精舎の土質成分と同様に⁶⁾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。孔子廟の土質に近い化学式は50個がある。その中では、No.1 のカード Na33—1161 の化学式 (QUARTZ, Low) が最も近い成分であることが認められた。これは、祇園精舎の土質と同様であることが実験の結果から認められた^{6~8)}。

孔子廟の認定資料としては元素標準ピーク本数が16であり、一致本数が16であり、さらに信頼性係数が最大値 917 であり、祇園精舎とわずかな差である。

また、蛍光X線分析によって得られたケイ酸、酸化アルミニウム、酸化鉄および酸化チタンなどの10余種によって確認することができたのである^{12~14)}。

4.3 結晶構造と格子定数^{6~8)}

孔子廟にある土質の材料は、祇園精舎と同様に石英と同質であることが、蛍光X線分析の含有率とX線分析によって科学的に認められた^{12~14)}。ゆえに、結晶構造は六方晶系であることを判定することができた。この六方晶系の格子定数は、回折角度より求めた面間隔と面指数を用いて、コンピュータ処理を行った。その結果 $a=4.8771\text{Å}$ と $c=5.4125\text{Å}$ でさらに軸比は (c/a) 1.1098

である。一方、祇園精舎の格子定数は、 $a=4.9312\text{\AA}$ と $c=5.3512\text{\AA}$ である。その結果、格子定数 a は祇園精舎が大きく、格子定数 c は孔子廟が大きいことがわかった。

謝 辞

この研究は、1992年度の本学研究補助金による成果である。

この論文の作成に当って、資料調査にご協力をいただいた関西大学図書館閲覧参考課長の藤井収先生ならびに本学図書館の石川禹基課長と岩本正雄主任に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 沢景一郎『信頼性管理』沢企業管理社 P57 (1981)
- (2) 金景勲・片山佐一「急冷法で作った $(\text{Bi}\cdot\text{Sb})_2(\text{Te}\cdot\text{Se})_3$ 系の格子定数と密度」応用物理 **39** P1026 (1970)
- (3) 金景勲・片山佐一「化合物 $(\text{Bi}\cdot\text{Sb})_2(\text{Te}\cdot\text{Se})_3$ の原子パラメータと結合間隔」応用物理 **40** P55 (1971)
- (4) 金景勲・片山佐一「化合物 $(\text{Bi}\cdot\text{Sb})_2(\text{Te}\cdot\text{Se})_3$ の温度因子と性能指数」応用物理 **40** P1327 (1971)
- (5) Kyong—Hun KIM・Saichi KATAYAMA「*Lattice Constants and Dencities of $(\text{Bi}\cdot\text{Sb})_2(\text{Te}\cdot\text{Se})_3$ Compound Prepared by the Annealing Technique*」Technology Report of Kansai University **16** P75 (1975)
- (6) 沢 勲・網干善教・村田守「インド、祇園精舎に構築していたレンガのX線回折分析」大阪経済法科大学論集 **39** P23 (1990)
- (7) 沢 勲・網干善教・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 創刊号 P79 (1990)
- (8) 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** P1 (1992)
- (9) 沢 勲『THE FORTRAN』弘文社 P196
- (10) 沢 勲『ザ・パソコンPC-9801』大阪経済法科大学出版部 (1988)
- (11) 沢 勲・富川国広『THE BASIC』弘文社 (1987)
- (12) 沢 勲・網干善教・村田守「インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析」大阪経済法科大学論集 **40** P25 (1990)
- (13) 沢 勲・網干善教・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** P1 (1990)

- (14) 沢 勲・河野久征「中国、山東省孔子廟にある煉瓦の螢光X線分析」大阪経済法
科大学論集 51 P 1 (1993)

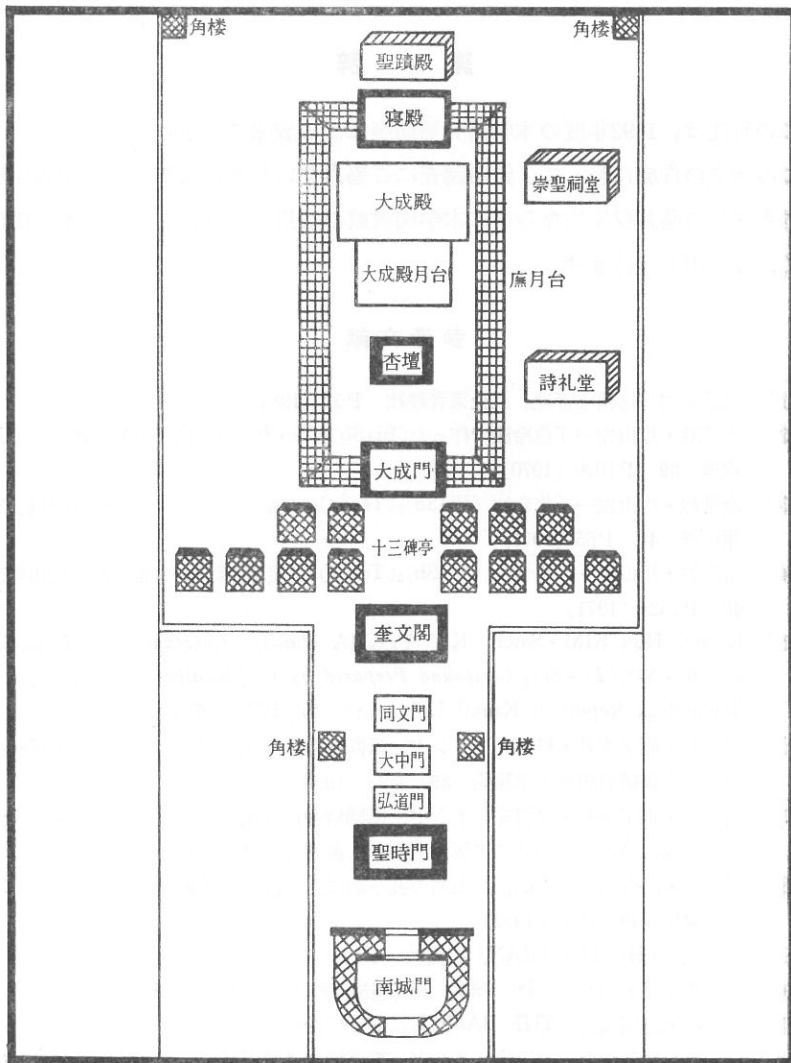


Fig. 5 孔子廟の平面図