

資 料

インド、祇園精舎に構築していた土質の X線回折分析

沢 勲 Isao SAWA
(大阪経済法科大学教授・工学博士)
網干 善教 Yoshinori ABOSHI
(関西大学文学部教授・文学博士)
村田 守 Mamoru MURATA
(理学電機工業(株)・理学博士)

*Analysis by X-Ray Diffraction Method of
Soil Sample from Jetavanavihāra, India*

ABSTRACT

Jetavanavihāra is located in Sravasti(or Sahet Mahet) city, Bahraich, Uttar Pradesh State, northeastern of India. Sravasti city is located a vast collection of ruins in Gonda District, Oudh; situated in lat.27°31'N., and long.82°5'E., Sravasti remained one of the principal seats of Buddhist learning; and 12 centuries afterwards, the chinese pilgrim collected with reverence the traditions of his faith which lingered round the sacred city.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants of soil sample in Jetavanavihāra by analysis of X-ray diffraction method. The lattice constants($a=4,9312\text{\AA}$ and $c=5,3512\text{\AA}$) were obtained by the method of least squares from the reflection patterns of the diffractometer.

1 は じ め に

祇園精舎は、インドの東北地方にあり、ウッタル・プラデッシュ州 (Uttar Pradesh state), バハライチ県 (Bahraich), シュラヴァスティ市 (Sravasti

City)にある。Sravasti(Sahet Mahet)市は、北緯27°31'と東経82°5'の地点にある。¹⁾

祇園精舎は、約2500年前に悟りを得たゴダマシッタルタが、初めて正法を説くために建立したので有名である。この祇園精舎が、今になって本格的な発掘調査を行うことになった。祇園精舎の土質と他の土質との相違を考えた。^{2,3)}ゴダマシッタルタに縁があった土質 (レンガ) は、どのような結晶構造なのか? 格子定数はどうなのかを分析するためにX線回折を行った。^{4,5)}

X線回折の分析とデータの処理に関しては、コンピュータ処理を行った。⁶⁾その処理には、ピーク・サーチの定性分析, 1次検索の定性分析および2次検索の定性分析である。その結果, 結晶構造は六方晶系であり, 六方晶系の格子定数は $a=4,9312\text{\AA}$ と $c=5,3512\text{\AA}$ である。ここで, この軸比(c/a)は1,0852である。

祇園精舎の土質は、石英と同類の結晶構造を有しているため石英との比較を行った。同時に、祇園精舎のレンガのX線回折分析を行った結果とを検討した。ここで、以下報告する。

2 実験方法と実験結果

2. 1 ピーク・サーチの定性分析

試料は、インドの東北地方にある祇園精舎に構築していた土である (付録Fig. 5と6)。この土をボールミルで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 (50kV) ③管電流 (200mA) 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°/min) ⑦発散スリット (1°) ⑧散乱スリット (1°) ⑨受光スリット (0.30mm) ⑩アタッチメント (標準試料ホルダー) であり、データ処理の波長は 1,54056Å である。

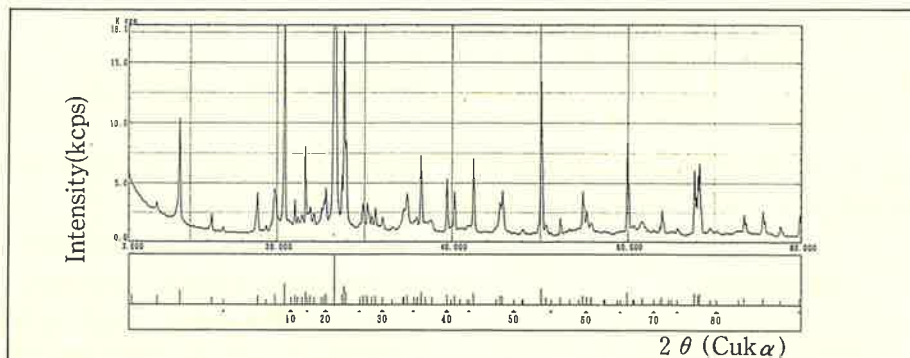


Fig.1 X-Ray Diffraction Chart of Peak Search System of Soil Sample from Jetavanavihāra, India

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。

回折角度は、Cukα線の2θを(3,000~80,000) 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85までの範囲内でカウントを行った。この時、回折角度(2θ)は、(3,340~79,820) degの範囲である。面間隔d (Å)は、ブラッグの反射条件式として

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

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

が求められる。

この角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、(26.43210~1.20059) Å

である。Table 1における相対強度が10以上になっているピーク番号は、No.9(23265cps=17), No.21(144002cps=100), No.23(17602cps=13), およびNo.53(13429cps=10)である。

一方、半値幅の大きい値は、0.30Å以上の場合、No.8 (0.45Å) が大きい。次に、No.54 (0.36Å) で、0.30Åの半値幅はNo.30, No.34およびNo.40である。Table 1におけるQuartz, Lowの格子定数の計算を行った。その結果、a = 4.9133Åとc = 5.4053Å

であり、軸比は1.1001である。この格子定数より体積を求めて、X線による密度を求めるとDx = 2.649 (g/cm³) である。一方、シリコンの格子定数では、a = 5.43088 Åであり、c軸に近い値を有している。

2.2 一次検索の定性分析

一次検索の定性分析は、ピーク・サーチの定性分析と異って、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 : 200mA ④モノクロメーター (使用) ⑤受光スリット : 0.60mm 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 : 1,54066Å 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、回折角度(2θ = 3,000~80,000)の範囲を示したのがFig. 2である

Table 1 X-Ray Diffractograms of Soil Sample from Jetavanavihāra by Qualitative Analysis of Peak Search

ピークNo.	回折角度 2θ (Å)	面間隔 d (Å)	強度値 (cps)	半価幅 (Å)	相対強度 I/I_0	Quartz, low		
						面間隔 d (Å)	相対強度 I/I_0	面指数 hkl
1	3.340	26.43210	5174	0.120	4			
2	6.200	14.24368	3354	0.210	3			
3	8.820	10.01756	10383	0.180	8			
4	12.460	7.09806	2340	0.210	2			
5	13.820	6.40246	1265	0.180	1			
6	17.760	4.98998	4146	0.210	3			
7	18.740	4.73118	1380	0.210	1			
8	19.740	4.49371	4513	0.450	4			
9	20.800	4.26703	23265	0.180	17	4.257	22	100
10	21.560	4.11830	1700	0.180	2			
11	22.000	4.03692	3542	0.180	3			
12	22.320	3.97976	2079	0.180	2			
13	22.840	3.89032	2304	0.210	2			
14	23.240	3.82426	8062	0.210	6			
15	23.500	3.78253	2412	0.120	2			
16	23.800	3.73553	2987	0.180	3			
17	24.240	3.66871	2444	0.210	2			
18	25.120	3.54214	2829	0.240	2			
19	25.420	3.50102	3531	0.180	3			
20	25.620	3.47414	4612	0.180	4			
21	26.600	3.34832	144002	0.210	100	3.342	100	101
22	27.460	3.24538	5611	0.180	4			
23	27.680	3.22009	17602	0.210	13			
24	27.900	3.19519	8574	0.210	6			
25	29.460	3.02945	1562	0.180	2			
26	29.820	2.99369	3252	0.270	3			
27	30.280	2.94925	3292	0.210	3			
28	30.780	2.90247	2222	0.240	2			
29	31.200	2.86435	2913	0.240	3			
30	32.020	2.79285	2082	0.300	2			
31	33.140	2.70097	1269	0.210	1			
32	34.400	2.60487	2563	0.120	2			
33	34.500	2.59755	2755	0.120	2			
34	34.880	2.57011	4108	0.300	3			
35	35.640	2.51703	1763	0.240	2			
36	36.000	2.49268	2085	0.240	2			
37	36.480	2.46098	7314	0.240	6	2.457	8	110
38	36.960	2.43011	1762	0.150	2			
39	37.680	2.38531	1796	0.270	2			
40	39.420	2.28394	5385	0.300	4			
41	39.840	2.26083	1295	0.240	1			
42	40.240	2.23927	4248	0.300	3	2.237	4	111
43	40.880	2.20568	1197	0.150	1			
44	41.720	2.16319	1379	0.270	1			
45	41.900	2.15431	1381	0.180	1			

46	42.400	2.13006	7051	0.240	5	2.127	6	200
47	45.000	2.01284	1250	0.240	1			
48	45.460	1.99354	3356	0.240	3			
49	45.720	1.98280	4291	0.180	3	1.9792	4	201
50	47.020	1.93097	822	0.150	1			
51	47.940	1.89604	974	0.210	1			
52	48.060	1.89158	1091	0.150	1			
53	50.080	1.81992	13429	0.150	10	1.8179	14	112
54	50.620	1.80176	1471	0.360	2	1.8021	< 1	003
55	51.220	1.78206	787	0.150	1			
56	52.240	1.74963	1984	0.150	2			
57	53.340	1.71612	1087	0.180	1			
58	54.400	1.68516	1184	0.180	1			
59	54.820	1.67323	4305	0.180	3	1.6719	4	202
60	55.260	1.66095	2659	0.180	2	1.6591	2	103
61	55.760	1.64723	1590	0.270	2			
62	57.180	1.60965	925	0.180	1	1.6802	< 1	210
63	57.340	1.60554	939	0.150	1			
64	58.760	1.57008	891	0.270	1			
65	59.080	1.56234	977	0.180	1			
66	59.900	1.54289	8303	0.180	6	1.5418	9	211
67	60.600	1.52674	1415	0.120	1			
68	60.740	1.52355	1368	0.150	1			
69	61.660	1.50301	1699	-----	2			
70	63.020	1.47381	1041	0.150	1			
71	63.720	1.45929	1366	0.150	1			
72	63.960	1.45439	2683	0.210	2	1.4536	1	113
73	64.740	1.43874	869	0.150	1			
74	65.040	1.43283	969	0.150	1			
75	65.740	1.41926	1206	0.210	1	1.4189	< 1	300
76	67.680	1.38322	6069	0.180	5	1.3820	6	212
77	68.080	1.37606	5664	0.150	4	1.3752	7	203
78	68.280	1.37252	6671	0.150	5	1.3718	8	301
79	69.500	1.35138	1206	-----	1			
80	70.240	1.33894	996	0.240	1			
81	72.780	1.29835	970	-----	1			
82	73.420	1.28860	2335	0.180	2	1.2880	2	104
83	75.600	1.25677	2689	0.210	2	1.2558	2	302
84	77.600	1.22930	1392	0.210	1			
85	79.820	1.20059	2308	0.180	2			

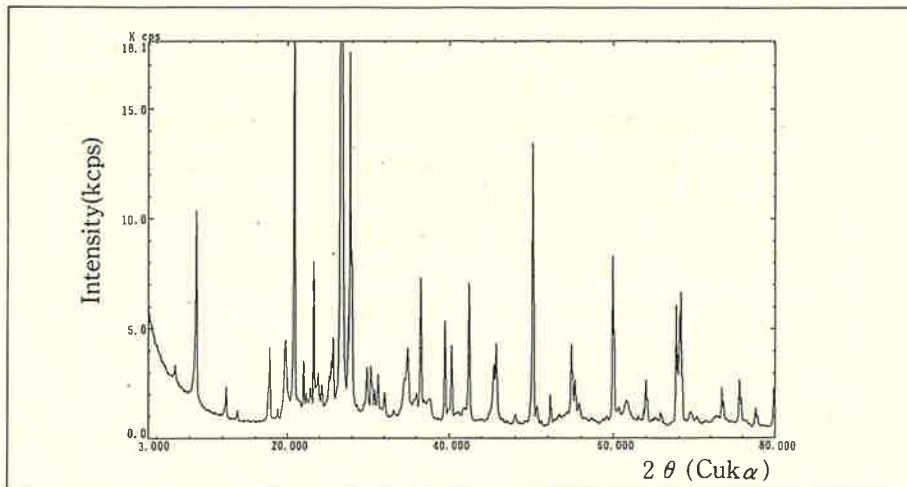


Fig.2 X-Ray Diffractograms of Soil Sample from Jetavanavihāra by Qualitative Analysis of 1st Search-Match

Fig.2におけるX線強度値として、10.00kcps以上になっている回折角度 (2θ) は、No.3の 8.820\AA 、No.9の 20.800\AA 、No.21の 26.600\AA 、No.23の 27.680\AA およびNo.53の 50.080\AA である。

検索条件として、①検索ファイルは鉱物ファイル 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を選定した。主成分はAl, SiおよびFeであり、微成分はMg, Na, K, Ti

およびPであり、不確定成分はH, OおよびCである。⁴⁾

信頼性係数計算方法は、角度および強度因子を用いた、さらに、信頼性係数の再評価を行った。この時、最低一致本数は8、最低一致率は10%、一致判定許容量を3とし、そして、信頼性係数閾値は50である。これらの条件を満足させて表示したのが Table 2 である

Table 2 Qualitative Analysis of 1st Search-Match for Soil Sample from Jetavanavihāra, 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	893
2	20-0452	GISMONDINE	18	11	349
3	26-0911	ILLITE-2MI	18	18	242
4	18-1202	ANORTHITE, SODIAN, INTER	18	15	205
5	31-0261	SCAWTITE	18	16	185
6	7-0042	MUSCOVITE-3T	18	16	176
7	9-0478	ALBITE, POTASSIAN, HIGH, HEATED	18	17	160
8	10-0357	SANIDINE, HIGH, SYN	17	11	156
9	20-0528	ANORTHITE, SODIAN, LOW	18	17	137
10	23-0117	JULGOLDITE	18	13	135
11	19-1184	ALBITE, LOW	18	15	134
12	30-0942	OSUMILITE-(MG)	17	11	124
13	29-0721	ORTHO FERROSILITE, SYN	18	12	124
14	17-0548	CLINO FERROSOLITE, SYN	12	10	111
15	7-0025	MUSCOVITE-1M, SYN	18	15	101

plus 35 chemical composition to reliability factor 32

Table 2において、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12~18であり、一致本数は、8~18であり、そして、信頼性係数は32~893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、15個の化学式が含まれている。信頼性の大きいのが893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

2.4 顕微鏡写真

サンプルは、200メッシュ以下に粉碎された供試料を、さらに、メノウの乳鉢を用いて粉碎した。そして、顕微鏡写真に用いた装置および実験方法は、次のとおりである。

(1)実験装置名:

オリンパス光学工業製 走査型レーザ顕微鏡

(2)実験の条件:

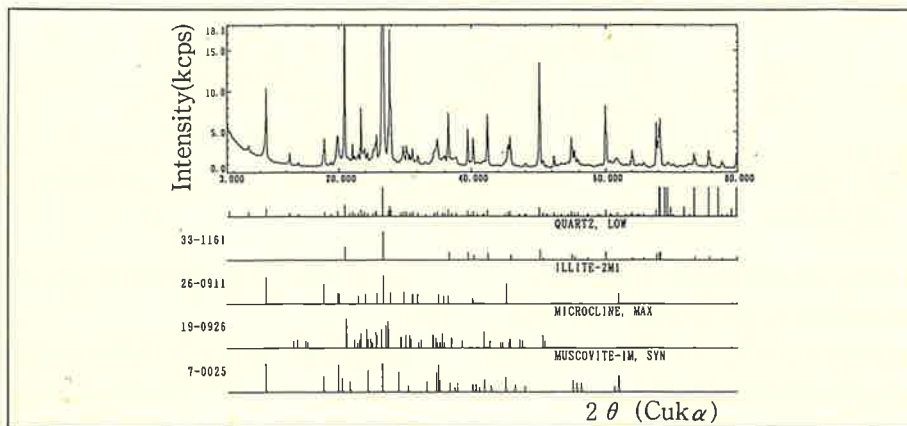


Fig.3 Qualitative Analysis of 2nd Search— Match of Soil Sample from Jetavanavihāra, India

数が、共に、16である。その結果、祇園精舎の主成分は、QUARTZ (石英)の鉱物名であることが判明できた。

2.3 二次検索の定性分析

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。祇園精舎と同類の化学式をプロットしたのがFig. 3 である

Fig.3において、祇園精舎の土質に近い波形は、33-1161(QUARTZ, LOW), 26-0911(ILLITE-2MI), 19-0926(MICROCLINE-MAX), および7-0025(MUSCOVITE-1M, SYN) である。

信頼性係数として26-0911のILLITE-2MIは242であり、MUSCOVITE-1M, SYNは101である。この波形から考察すると、QUARTZ, LOWが祇園精舎の土質の構造に近いことが理解できる。

(イ)使用レーザ ; Ar⁺ レーザ

(アルゴンレーザ)

(ロ)使用の波長 ; 488 nm

(ハ)対物レンズ ; MSPlan 40×

(ニ)走査の範囲 ; サンプル上で0.1mm×0.075mm

(ホ)写真の長辺 ; 0.1mm

(ヘ)写真の倍率 ; 約850倍

(3)観察の方法:

(イ)反射像 ; 通常の落射型顕微鏡と同様に、反射光を観察した。

(ロ)蛍光像 ; Ar⁺ レーザの波長 488nmの光で、励起させて行った。蛍光像における蛍光は515 nmより短い波長の光をカットするバリアフィルターを用いた。

(ハ)偏光像 ; 直線偏光された光をサンプルに入射し、その反射光の中から偏光成分に垂直な偏光成分のみを用いた。

実験には、カラー写真と白黒の写真を観察し、写真を写した。論文では、白黒の反射法と偏光法をFig. 4のように示すことができた。

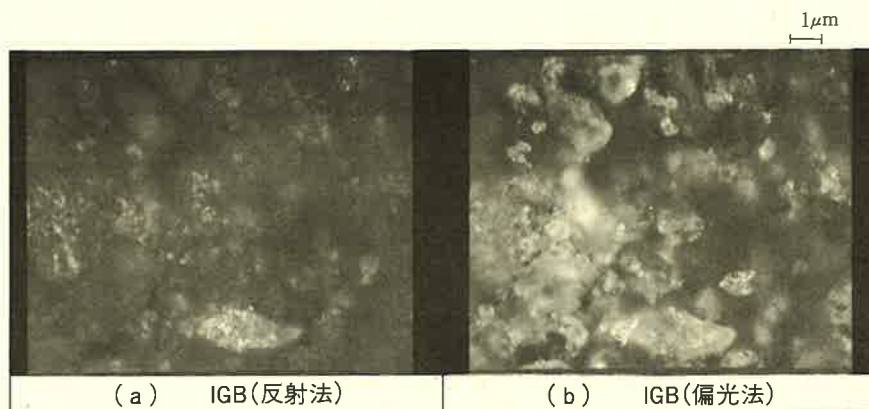


Fig.4 Scanning Ar⁺ Laser Photomicrographs of soil sample from Jetavanavihāra, India

Fig.4の左の反射法は、同一の色が多く、カラーで鮮明に観察できるけれども、白黒では、見分けが付かない状態である。Fig.4の右の偏光法では、球状の粒群が沢山集っている。この反射法や偏光法でのカラーで見られた主なものの中で、球状の粒群の中で金色の光に輝く長方形のものが見られた。金色はAu₂O₃が約0.03Wt %が含まれているからである³⁾。

とができる。

したがって、石英は六方晶系であることから祇園精舎の土質は、祇園精舎のレンガと同様に、六方晶系になっていることが分った。²⁾

3.2 六方晶系の格子定数の決め方

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、次の通りである。

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

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。面指数(hkl)は、結晶構造によって異なるため、面間隔に対応して決定できる。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 軸が求められた。 a 軸と c 軸の値は、コンピュータの FORTRAN 言語を用いて、次のとおり情報処理の演算を行った。⁶⁾

3 検 討

3.1 結晶構造の決め方

祇園精舎の土質の鉱物名は 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No33-1161のQuartz, Lowによって分った。それは、元素標準ピーク本数(16)、一致本数(16) および信頼性係数(893) につて説明することができる。すなわち、主成分はQuartz (石英) である。Microline (長石) やMuscovite (雲母) 等が含まれている。

一方, 2.3の2次検索の定性分析において, 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

```
C$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$  
C      SOC      A      (      14      )      $$  
C X-線回折による格子定数、体積と結合間隔の計算  
C LATTICE CONSTANTS,VOLUMES AND BOND LENGTHS      $$  
C$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$  
  
01          REAL G,MH,MK,ML,Z,X,Y  
02          REAL S(5),SS(5)/5=0.0/LA,LC,LV  
03          WRITE(6,610)  
04          WRITE(6,620)  
05          111 DO 1000 I=1,5  
06              SS(I) = 0.0  
07          1000 CONTINUE  
08          112 READ(5,S10,END=90 ) G, MH, MK, ML  
09          IF(G.LE.0.0) GO TO 30
```

```

10      X= MH*MH + MK*MK + MH*MK
11      Y= ML*ML
12      Z= 1. / ( G * G )
13      S(1) = X * X
14      S(2) = X * Y
15      S(3) = Y * Y
16      S(4) = X * Z
17      S(5) = Y * Z
18      DO 20 J=1,5
19      20 SS(J) = SS(J) + S(J)
20      WRITE(6,630) G,MH,MK,ML,Z,X,Y,S
21      GO TO 112
22      30 WRITE(6,640)
23      WRITE(6,650) SS
24      B1 = SS(1) * SS(3) - SS(2) * SS(2)
25      B2 = (SS(4) * SS(3) - SS(5) * SS(2)) / B1
26      B3 = (SS(1) * SS(5) - SS(2) * SS(4)) / B1
27      C 格子定数の計算 ( LATTICE CONSTANTS )
28      LA = SQRT ( 4.0 / ( 3.0 * B2 ) )
29      LC = SQRT ( 1.0 / B3 )
30      WRITE(6,660) B1,B2,B3
31      WRITE(6,630)
32      WRITE(6,710)
33      C 体積の計算 ( UNIT VOLUME BY X-RAY )
34      LV = LA * LA * LC * 0.866
35      C 結合間隔の計算 ( BOND LENGTHS BY X-RAY )
36      D1=SQRT((0.5774*LA)**2 + (0.0667*LC)**2)
37      D2=SQRT((0.5774*LA)**2 + (0.0577*LC)**2)
38      D3=SQRT((0.5774*LA)**2 + (0.0747*LC)**2)
39      C
40      WRITE(6,740) D1, D2, D3
41      GO TO 111
42      90 STOP
43      510 FORMAT(F10.4, 3F5.0)
44      610 FORMAT(1H1,30X,'*****EXPERIMENTAL DATA *****',/
45      1H , 9X,71('=' ) /
46      1H , 9X, ' ' G MH MK ML',
47      ' ' Z X Y X*X ',
48      ' ' X*Y Y*Y X*Z Y*Z')
49      620 FORMAT(1H , 9X,71('-'))
50      630 FORMAT(1H , 9X, F7.2, 3F4.0, F6.2,
51      3(F5.0), F7.0, F9.0, F6.2, F8.2)
52      640 FORMAT(1H , 9X,71('+'))
53      650 FORMAT(1H , 9X,15X,'T O T A L',
54      11X, F5.0, F7.0, F9.0, F6.2, F8.2)
55      660 FORMAT(1H ,12X, 'MATRIX FACTER *** ',
56      2X, 3HB1=, F11.1, 3X, 3HB2=, F10.7,
57      3X, 3HB3=, F10.7)
58      710 FORMAT(1H-,10X, 'S A M P L E (555...555)')
59      720 FORMAT(1H-,10X, 'LATTICE CONSTANTS' (10E-8 CM)',
60      5X, 4HLA =, F8.3, //45X, 4HLC =, F8.3 )
61      730 FORMAT(1H-,10X, 'UNIT VOLUME BY X-RAY V(CM**3)',
62      5X, 4HV =, F9.3 )
63      740 FORMAT(1H-,10X, 'BOND LENGTH BY X-RAY(10E-8CM)',
64      5X, 4HD1 =, F8.4, //45X, 4HD2 =, F8.4,
65      5X, 4HD3 =, F8.4, //45X, 4HD3 =, F8.4//)
66      END

```

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を書きかえると、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

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

となる。これを式3に代入すると

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

のようになる。ここで、 $(1/d) = m$,

$h+k+hk=a$, および $l^2=\beta$ をおきかえると、次のような行列式になる。

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha \beta \\ \Sigma \beta \alpha & \Sigma \beta^2 \end{vmatrix} \\ = \Sigma \alpha^2 \times \Sigma \beta^2 - (\Sigma \alpha \beta)^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$X = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha m & \Sigma \alpha \beta \\ \Sigma \beta m & \Sigma \beta^2 \end{vmatrix} \\ = \frac{1}{\Delta} (\Sigma \alpha m \times \Sigma \beta^2 - \Sigma \beta m \times \Sigma \alpha \beta) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$Y = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \Sigma \alpha^2 & \Sigma \alpha m \\ \Sigma \beta \alpha & \Sigma \beta m \end{vmatrix} \\ = \frac{1}{\Delta} (\Sigma \alpha^2 \times \Sigma \beta m - \Sigma \beta \alpha \times \Sigma \alpha m) \quad \dots\dots\dots(9)$$

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、 $a = 4,9312 \text{ \AA}$ であり、c軸の値は、 $c = 5,3512 \text{ \AA}$ である。この両軸の軸比は、すなわち、 (c/a) は1,0852である。

文献中の α -石英(SiO_2)の格子定数は、 $a = 4,903 \sim 4,913 \text{ \AA}$ および $c = 5,393 \sim 5,405 \text{ \AA}$ 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、祇園精舎のa値は大きくなり、c軸は小さくなっている。これは、蛍光X線分析値によると SiO_2 の含有量が70Wt%で、 Al_2O_3 が15Wt%が含まれており、他に10余種の成分が含まれた要因である。

SiO_2 から Al_2O_3 に置き換えることによって、その軸も1,1001から1,0851に変わって小さくなっていることが分かった。

4 おわりに

インドの東北地方にある祇園精舎の土質に対して、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。その結果は、次の通りである。

(a) ピーク・サーチの定性分析

回折角度の 2θ ($3,340 \sim 79,82$) $^\circ$ の範囲において、それぞれ85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。

(b) 一次検索の定性分析

祇園精舎の土質成分に近い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。こ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No33-1161の化学式(Quartz, Low)が最も近いことが分かった。それは、信頼性係数が893であるからである。石英(Quartz, SiO_2)はこの土質の中で70Wt%も含まれていることを蛍光X線分析によって確認できた。³⁾

(c) 結晶構造と格子定数

祇園精舎の土質は、石英と同質であることが、蛍光X線分析の含有率とX線分析によって認められた。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 $a = 4,9312 \text{ \AA}$ と $c = 5,3512 \text{ \AA}$ で、軸比は (c/a) 1,0852である。

謝 辞

本論文の試料採集に当り、関西大学創立100周年記念事業の関係者および現地調査に同行した校友会事業部長・上原洋允団長と団員に対して、特に、ご協力をいただきました。この報告の作成に当り、関西大学工学部教授の片山佐一博士に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) W, W, Hunter, C.I.E., LL.D.; *The Imperial Gazetteer of India*, P107 London(1981)
- 2) 沢勲, 網干善教・村田守: 大阪経済法科大学論集, **39**, P23 (1990)
- 3) 沢勲, 網干善教・村田守: 大阪経済法科大学論集, **40**, P25 (1990)
- 4) Kyong-Hun KIM・Saichi KATAYAMA: *Technology Report of Kansai University*, **16**, P75 (1975)
- 5) 金景勲・片山佐一: 応用物理, **39**, P1026 (1970)
- 6) 沢勲: *THE FORTRAN* P196 弘文社 (1987)

〔付録〕



Fig. 5 祈園精舎の井戸の発掘現場



Fig. 6 祈園精舎における井戸の発掘現場付近