

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

沢 勲 Isao SAWA
河野久征 Hisayuki KHONO

[*The Computer Processing of Components and Monoclinic System of the Soil 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 Soil 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,

$A=11.1608 \text{ \AA}$, $B=10.0451 \text{ \AA}$, $C=9.0229 \text{ \AA}$ and $\beta=127.73^{\circ}$ in model A,
 $A=7.6800 \text{ \AA}$, $B=6.3613 \text{ \AA}$, $C=7.2755 \text{ \AA}$ and $\beta=109.32^{\circ}$ in model B.

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

[大阪経済法科大学論集 第75号] [*The Review of Osaka University of Economics and Law*, 75 (1999), 1-35]

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土質を分析し、約3,300kmも離れた祇園精舎の土質との比較することは、考古学上に大きい意義がある。ゆえに、X線分析法を用いて分析を行った。X線分析法は、土壌や土質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。孔子廟の土質^{4~8)} 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)^{9~13)} の報告がある。孔子廟にある土質の重量百分率 (Wt%)⁷⁾ は、次のとおりである。

Na₂O (1.98), MgO (1.45), Al₂O₃ (14.11), SiO₂ (69.75), P₂O₅ (0.42), K₂O (2.57), CaO (4.65), TiO₂ (0.69), MnO (0.09), Fe₂O₃ (4.30)。

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^{14~16)} および非晶質成分の混晶であることが判明した。前回は、孔子廟付近にある土質の六方晶系の格子定数 (Å)¹²⁾ は、A=4.8771 Å, C=5.4125 Å および軸比 (C/A)=1.1098であると報告している。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=11.1608 Å, B=10.0451 Å, C=9.0229 Å およびβ=127.73°

モデルBでは、A=7.6800 Å, B=6.3613 Å, C=7.2755 Å およびβ=109.32°。

このモデルA (JCPDS31-0966の信頼性係数: 451) の格子定数と軸角は、モデルB (JCPDS20-0452の信頼性係数: 211) 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土質の単斜晶系と成分（沢、河野）の成分が異なっているからである。このデータは孔子廟と東洋の二大聖者である構築物との比較を行い、下記の結論に達したので、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⁽⁴⁻⁸⁾は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。この試料を恒温槽（110°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（湾曲グラファイト・モノクロメータ使用）である。本装置で

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 (沢、河野)

は、制御コンピュータPC9821および付属ソフトウェアにより全自動分析を行った。全自動分析におけるピーク・サーチの定性分析の測定条件は、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 (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 ($4.00^\circ/\text{min}$)、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った。まず測定条件はピーク・サーチの定性分析と同様である。次にデータ処理の平滑化点数は9である。最後に検索条件は、次のように分類できる。すなわち、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、③元素指定方法は指定元素のみ、④信頼性係数再評価は行う、⑤最低一致率は10%、⑥一致判定許容幅は3、⑦信頼性係数閾値は50、⑧回折角度は $2\theta = 3 \sim 80^\circ$ 、⑨主成分はアルミニウム・ケイ素と鉄の3元素、⑩微成分はMg・Na・Ca・K・Ti・Pの六元素、⑪不定成分はH・O・Cの三元素および⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子とも使用する。

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。その結果、この定性分析のチャートは *Fig.1* のように定性分析を行った。ピーク・サーチを行ったものが *Table1* 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。各モデルの面指数は回折角度によって異なるため回折角度 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、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。

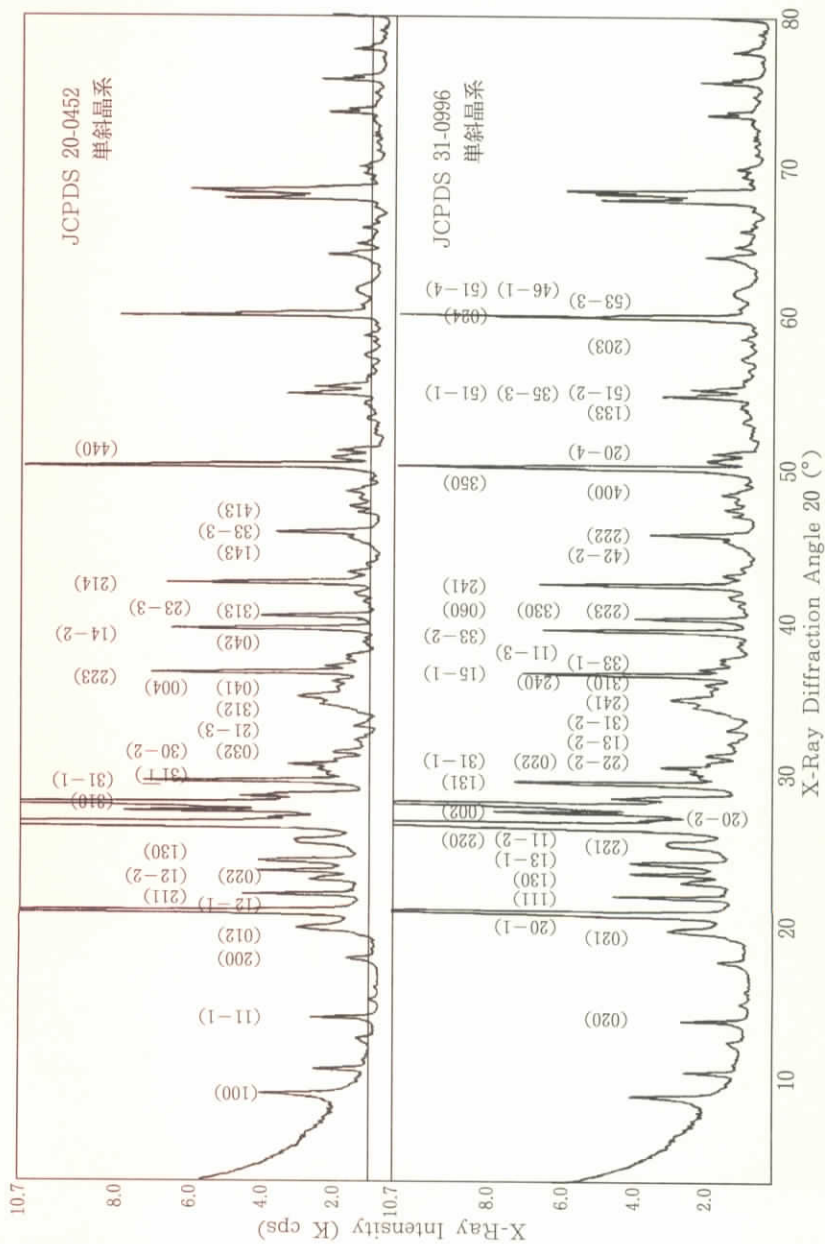


Fig.1 The X-Ray Diffractograms of Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

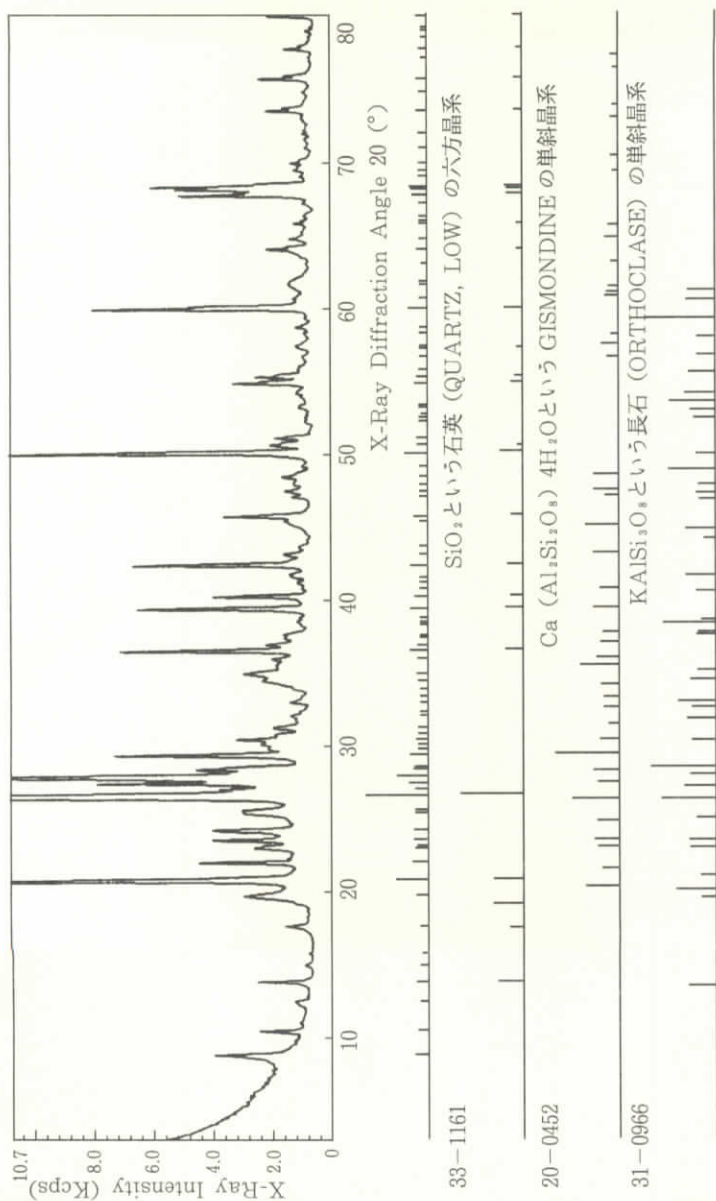


Fig.2 The Qualitative Analysis of 2st. Search-Match for Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

Table 1 The X-ray Data (Miller Index, Lattice Distance, Relative Intensity and Half-width) of Soil Sample from Confucian

ピーク No	回折角度 2θ (°)	面間隔 d(A)	半価幅 Δ (°)	相対強度 I/I ₀	Monoclinic JCPDS31-0996					Monoclinic JCPDS20-0452						
					d(A)	I/I ₀	h	k	l	d(A)	I/I ₀	h	k	l		
1	8.820	10.01756	0.210	5								9.99	2	1	0	0
2	10.440	8.46647	0.180	3												
3	12.460	7.09806	0.210	2												
4	13.820	6.40246	0.180	4	6.48	12	0	2	0							
5	14.940	5.92492	0.270	2								5.93	2	1	1	1
6	15.800	5.60430	0.270	1												
7	17.720	5.00116	0.300	2								5.01	4	2	0	0
8	19.760	4.48920	0.330	4	4.58	4	0	2	1	1		4.47	4	0	1	2
9	20.820	4.26298	0.180	26	4.22	70	2	0	1			4.27	35	1	2	1
10	22.020	4.03330	0.180	6								4.05	4	2	1	1
11	22.980	3.86693	0.150	4	3.94	16	1	1	1							
12	23.140	3.84056	0.120	3												
13	23.540	3.77619	0.240	5	3.77	80	1	3	0							
14	24.220	3.67169	0.390	5	3.61	16	1	3	1			3.61	2	0	2	2
15	25.360	3.50916	0.300	4	3.54	12	2	2	1							
16	25.580	3.47948	0.180	4	3.47	45	1	1	2			3.43	2	1	2	2
17	26.600	3.34832	0.210	100	3.31	100	2	2	0			3.34	100	1	3	0
18	27.000	3.29662	0.210	5	3.29	60	2	0	2							
19	27.420	3.25003	0.210	10	3.24	65	0	0	2							
20	27.900	3.19519	0.210	26												
21	28.380	3.14223	0.150	6												
22	28.540	3.12498	0.150	5												
23	29.360	3.03954	0.240	9												
24	29.760	2.99959	0.180	3	2.992	50	1	3	1			3.06	2	3	1	1
25	30.100	2.96648	0.180	3								2.99	2	3	1	1
26	30.440	2.93411	0.210	4	2.934	8	2	2	2							
27	30.800	2.90063	0.300	3	2.901	30	0	2	2			2.87	2	0	3	2
28	31.240	2.86078	0.360	3												
29	32.060	2.78945	0.240	2	2.783	2	3	1	1			2.82	2	3	0	2
30	32.360	2.76427	0.210	2	2.769	20	1	3	2							

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 (沢、河野)

ピーク No	回折角度 2θ (°)	面間隔 d(A)	半価幅 Δ(°)	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
31	32.940	2.71691	0.180	2					2.70	18	2	1	3
32	33.360	2.68366	0.210	2									
33	33.860	2.64517	0.240	2									
34	34.420	2.60340	0.150	3					2.62	2	3	1	2
35	34.920	2.56726	0.360	4					2.56	2	0	4	1
36	35.940	2.4671	0.330	3									
37	36.500	2.45967	0.240	9					2.46	8	0	0	4
38	36.920	2.43265	0.300	3									
39	37.360	2.40501	0.150	2					2.40	2	2	2	3
40	37.620	2.38898	0.240	2									
41	38.300	2.34811	0.240	2					2.34	2	0	4	2
42	38.520	2.33521	0.270	2									
43	38.800	2.31900	0.210	2									
44	39.420	2.28394	0.271	8					2.28	6	1	4	2
45	40.240	2.23927	0.300	5					2.24	4	3	1	3
46	40.800	2.20982	0.240	2									
47	41.220	2.18827	0.360	2					2.19	2	2	3	3
48	41.580	2.17015	0.240	2									
49	42.400	2.13006	0.330	8					2.13	6	2	1	4
50	43.140	2.09522	0.360	2									
51	43.680	2.07056	0.360	2									
52	45.420	1.99520	—	2									
53	45.740	1.98198	0.180	5					2.01	2	1	4	3
54	47.100	1.92788	0.240	2					1.981	4	3	3	3
55	47.480	1.91333	0.270	2					1.916	2	4	1	3
56	47.920	1.89678	0.120	2									
57	48.460	1.87690	0.210	2									
58	49.180	1.85109	0.150	2									
59	50.080	1.81992	0.180	13					1.823	2	3	5	0
60	50.660	1.80043	0.240	3					1.801	16	4	4	0

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 (沢、河野)

ピーク No	回折角度 2θ(°)	面間隔 d(Å)	半価幅 Δ(°)	相対強度 I/I ₀	MonoclinicJCPDS31-0996					MonoclinicJCPDS20-0452					
					d(Å)	I/I ₀	h	k	l	d(Å)	I/I ₀	h	k	l	
61	51.100	1.78596	0.150	3											
62	52.240	1.74963	0.360	2											
63	52.500	1.74158	0.240	2											
64	52.760	1.73361	0.210	1											
65	53.160	1.72150	0.180	2	1.720	2	1	3	3						
66	53.340	1.71612	0.210	2											
67	54.820	1.67323	0.150	4	1.695	2	5	1	2						
68	55.260	1.66095	0.150	3	1.675	4	3	5	3						
69	55.780	1.64669	0.270	2	1.656	2	5	1	1						
70	56.640	1.62371	0.360	2											
71	57.180	1.60965	0.150	2											
72	57.360	1.60503	0.180	2	1.605	2	2	0	3						
73	58.240	1.58285	0.180	2											
74	58.620	1.57350	0.150	2	1.571	4	0	2	4						
75	59.920	1.54243	0.180	10	1.531	4	5	3	3						
76	60.640	1.52593	—	2											
77	61.600	1.50433	—	2	1.512	4	4	6	1						
78	61.800	1.49994	0.210	2											
79	63.020	1.47381	0.240	1	1.477	2	5	1	4						
80	63.980	1.45399	0.180	3											
81	64.700	1.43954	0.180	2											
82	65.740	1.41926	0.180	2											
83	65.960	1.41506	0.150	2											
84	66.260	1.40938	0.210	2											
85	67.140	1.39303	0.180	2											
86	67.700	1.38286	0.180	6											
87	68.100	1.37571	0.120	7											
88	68.280	1.37252	0.150	8											
89	68.950	1.36064	0.150	2											
90	69.380	1.35342	0.210	2											

ピーク No	回折角度	面間隔	半価幅	相対強度	MonoclinicJCPDS31-0996			MonoclinicJCPDS20-0452						
	2θ (°)	d(A)	Δ (°)	I/I ₀	d(A)	L/I ₀	h	k	l	d(A)	L/I ₀	h	k	l
91	69.860	1.34529	0.150	2										
92	70.900	1.32809	0.150	2										
93	71.860	1.31269	0.150	2										
94	73.420	1.28860	0.210	3										
95	74.720	1.26937	—	2										
96	75.620	1.25648	0.180	3										
97	77.060	1.23656	0.180	1										
98	77.620	1.22903	0.210	2										
99	78.420	1.21848	0.240	1										
100	78.840	1.21304	0.180	1										
101	79.080	1.20996	0.150	1										
102	79.840	1.20034	0.180	3										

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、5 (130) 面、5 (13-1) 面、100 (220) 面、5 (20-2) 面、10 (002) 面、9 (240) 面、8 (33-2) 面、5 (22-3) 面、8 (241) 面、5 (222) 面および13 (350) 面の12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26 (12-1) 面、6 (211) 面、5 (022) 面、100 (130) 面、26 (310) 面、9 (004) 面、8 (14-2) 面、5 (313) 面、8 (214) 面、5 (33-3) 面および13 (440) 面の11の面指数である。両モデルにおける回折角度は 20.82° （面間隔： 4.263 \AA ）から 50.08° （面間隔： 1.820 \AA ）の範囲である。

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33 (021) 面、0.39 (13-1) 面、0.30 (22-1) 面、0.30 (022) 面、0.36 (24-1) 面、0.33 (310) 面、0.30 (22-3) 面および0.33 (241) 面の8個の面指数である。モデルBでは、33 (012) 面、0.39 (022) 面、0.36 (032) 面、0.36 (041) 面、0.30 (313) 面および0.33 (214) 面の6個の面指数である。両モデルにおける回折角度は 19.76° （面間隔： 4.4892 \AA ）から 42.40° （面間隔： 2.130 \AA ）の範囲である。

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 (50kV)、⑤測定電流 (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⁷⁾ 次の14成分である。すなわち、次のとおりである。Na₂O (2.40), MgO (1.50), Al₂O₃ (13.00), SiO₂ (69.00), P₂O₅ (0.53), SO₃ (0.04), K₂O (2.80), CaO (5.30), TiO₂ (0.83), MnO (0.10), Fe₂O₃ (4.10), 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¹²⁾。今回は単斜晶系のモデルAとモデルBを引用¹⁴⁻¹⁶⁾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。

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

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) および軸角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) と軸角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

Table2 The Qualitative Analysis of 1st Search-match for Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

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	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, SODAIN, 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

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（沢、河野）

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項の未知の部分をそれぞれ X_1 、……、 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 、……、 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。

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

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。

$$A = 2 \sqrt{X_3 / (4 X_1 X_3 - X_4^2)} \dots\dots\dots (14)$$

3.2 δ 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。

$$c^2 = \frac{4 X_1}{4 X_1 X_3 - X_4^2} \dots\dots\dots (15)$$

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

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

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、

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

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

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

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

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、

$$X_{1A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 80.615 & 2005 & 1231 & -1753 \\ 76.973 & 6133 & 791 & -713 \\ 45.321 & 791 & 1443 & -835 \\ -32.389 & 713 & 835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_A)$$

$$X_{1B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 22.692 & 512 & 591 & 205 \\ 26.262 & 1679 & 613 & -77 \\ 24.045 & 613 & 1213 & 193 \\ 3.884 & -77 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (18_B)$$

のようになる。式 (18) を X_1 値として、モデルA (X_{1A}) は0.01283231であり、モデルB (X_{1B}) は0.01903753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) 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、

$$X_{2A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 80.615 & 1231 & -1753 \\ 2005 & 76.973 & 791 & -713 \\ 1231 & 45.321 & 1443 & -835 \\ -1753 & -32.389 & -835 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_A)$$

$$X_{2B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 22.692 & 591 & 205 \\ 512 & 26.262 & 613 & -77 \\ 591 & 24.045 & 1213 & 193 \\ 205 & 3.884 & 193 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (19_B)$$

のようになる。式 (19) を X_2 値として、モデル A (X_{2A}) は 0.00991039 であり、モデル B (X_{2B}) は 0.02471237 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、

$$X_{3A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 80.615 & -1753 \\ 2005 & 6133 & 76.973 & -713 \\ 1231 & 791 & 45.321 & -835 \\ -1753 & -713 & -32.389 & 1231 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_A)$$

$$X_{3B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 22.692 & 205 \\ 512 & 1679 & 26.262 & -77 \\ 591 & 613 & 24.045 & 193 \\ 205 & -77 & 3.884 & 591 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20_B)$$

のようになる。式 (20) を X_3 値として、モデル A (X_{3A}) は 0.01963363 であ

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（沢、河野）

り、モデルB (X_{3B}) は0.02121294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。

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

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、

$$X_{4A} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 4117 & 2005 & 1231 & 80.615 \\ 2005 & 6133 & 791 & 76.973 \\ 1231 & 791 & 1443 & 45.321 \\ -1753 & -713 & -835 & -32.389 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_A)$$

$$X_{4B} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} 1182 & 512 & 591 & 22.692 \\ 512 & 1679 & 613 & 26.262 \\ 591 & 613 & 1213 & 24.045 \\ 205 & -77 & 193 & 3.884 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (21_B)$$

のようになる。式 (21) を X_4 値として、モデルA (X_{4A}) は-0.01942427であり、モデルB (X_{4B}) は-0.01329530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主な10成分の重量百分率 (W t %) ⁷⁾ は、Table3 のとおりである。

Na₂O (1.98), MgO (1.45), Al₂O₃ (14.11), SiO₂ (69.75), P₂O₅ (0.42), K₂O (2.57), CaO (4.65), TiO₂ (0.69), MnO (0.09), Fe₂O₃ (4.30)。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 Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

重量百分率	祇園精舎			孔子廟			Maheth(PK)
	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	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	煉瓦(JB)	土壌(JS)	平均(J)	煉瓦(CB)	土壌(CS)	平均(C)	Maheth(PK)
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	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	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	127.460	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

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（沢、河野）

$$A_A = 2 \sqrt{0.019634 / (4 * 0.012832 * 0.019634 - 0.019424^2)} \dots\dots (22_A)$$

$$= 11.1608 \text{ \AA}$$

$$A_B = 2 \sqrt{0.021213 / (4 * 0.019038 * 0.021213 - 0.013295^2)} \dots\dots (22_B)$$

$$= 7.6800 \text{ \AA}$$

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。

$$B_A = \sqrt{1 / 0.0099104} = 10.0451 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_A)$$

$$B_B = \sqrt{1 / 0.0247124} = 6.3613 \text{ \AA} \dots\dots\dots (23_B)$$

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。

$$C_A = 2 \sqrt{0.012832 / (4 * 0.012832 * 0.019633 - 0.019424^2)} \dots\dots (24_A)$$

$$= 9.0229 \text{ \AA}$$

$$C_B = 2 \sqrt{0.019038 / (4 * 0.019038 * 0.021213 - 0.013295^2)} \dots\dots (24_B)$$

$$= 7.2755 \text{ \AA}$$

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。

$$\beta_A = \cos^{-1} \left(\frac{1}{2} \frac{0.01942427}{\sqrt{0.012466 * 0.019634}} \right) = 127.73^\circ \dots\dots\dots (25_A)$$

$$\beta_B = \cos^{-1} \left(\frac{1}{2} \frac{0.0132953}{\sqrt{0.019038 * 0.021213}} \right) = 109.32^\circ \dots\dots\dots (25_B)$$

3.5 グループ分析値と六方晶系の格子定数との関係

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、平均は4.898 Åである。孔子廟付近にある土質の格子定数 (Ah:4.8771Å) を両聖者遺跡と比較した。すなわちマヘート遺跡にある煉瓦より大きく、その

他の遺跡物より小さいデータ (Table 3 の中央) である。孔子廟付近にある土質の格子定数 (Ch : 5.4125 Å) を両聖者遺跡と比較した。すなわち孔子廟とマヘート遺跡にある煉瓦より大きく、その他の遺跡物より小さいデータ (Table 3 中央) である。

孔子廟にある土質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。微細に解析すれば、含有率が增大するにつれ、格子定数 (Ah)^{14~16)} はわずかに増大し、(Ch)^{14~16)} は僅かな減少の傾向である。これらの3成分 (SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃) と六方晶系の格子定数 (AhとCh) との関係 (Fig. 3) を、つぎのような回帰係数を求めた。

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

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

ここで、重量百分率と六方晶系の格子定数との関係図は、Fig. 3 である。すなわち酸化第二鉄 (Fig. 3 上図の左側矢印)、酸化アルミニウム (Fig. 3 中の上図の左側矢印)、ケイ酸 (Fig. 3 中の下図の左側矢印) の3成分である。孔子廟にある土質に関して、3成分の重量百分率は小さい。この3成分を比較したのがFig. 3 下図である。この3成分の酸化第二鉄 (4.305Wt%)・酸化アルミニウム (14.11Wt%)・ケイ酸 (69.75Wt%) の含有率の存在が、明白になったのである。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。

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

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

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

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) および酸化アルミニウム (式29) はわずかに大きくなる傾向を確認した。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、

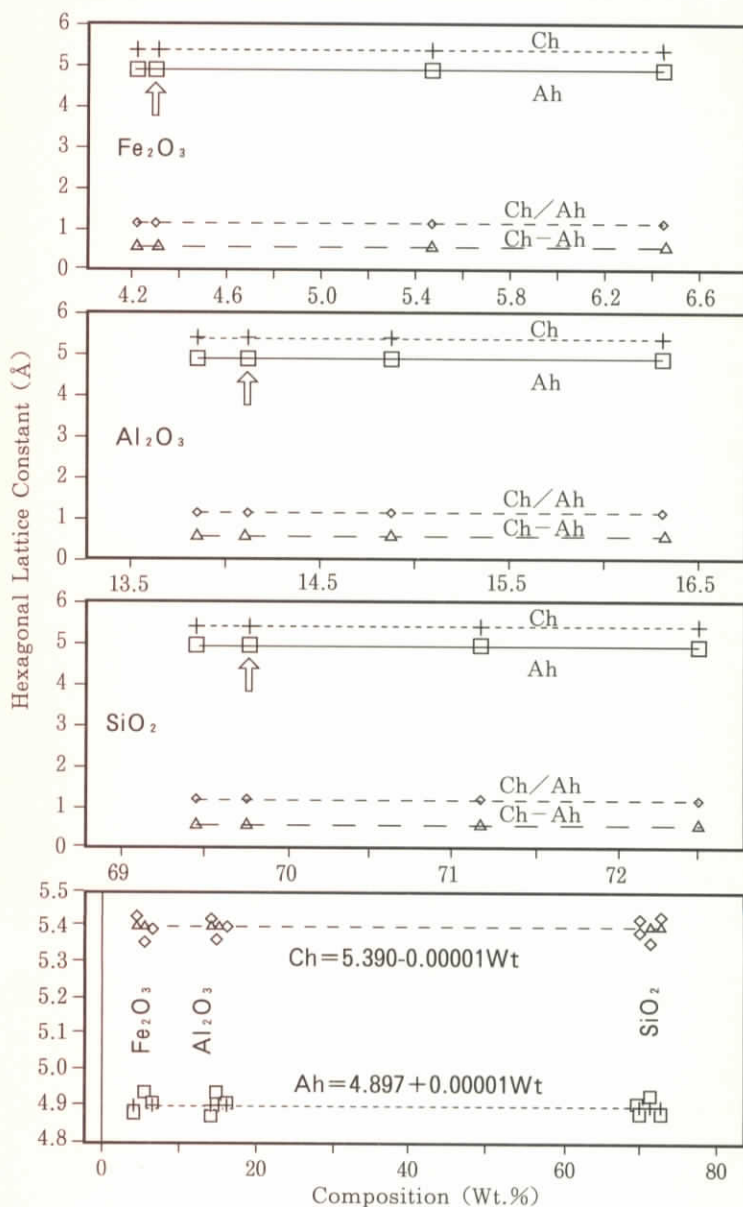


Fig.3 Relation Between Composition and Hexagonal Lattice Constant of Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、河野）

つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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

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

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

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）や酸化アルミニウム（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軸は11.1608Åから11.2080Åの範囲、平均は11.190Å、差は0.0472Å⁹⁻¹⁰である。孔子廟にある格子定数Amは11.161Åで、マヘート遺跡の煉瓦より大きく、その他より小さい。格子定数Amと重量百分率の関係はFig.4（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6Wt%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（Am）との関係（Table3とFig.4上図）を、つぎのような回帰係数と決定係数を求めた。

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

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

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

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。

3.7 グループ分析値と単斜晶系の格子定数（Bm）との関係

両聖者の遺跡にある格子定数のBm軸は10.0451Åから10.0624Åの範囲で、

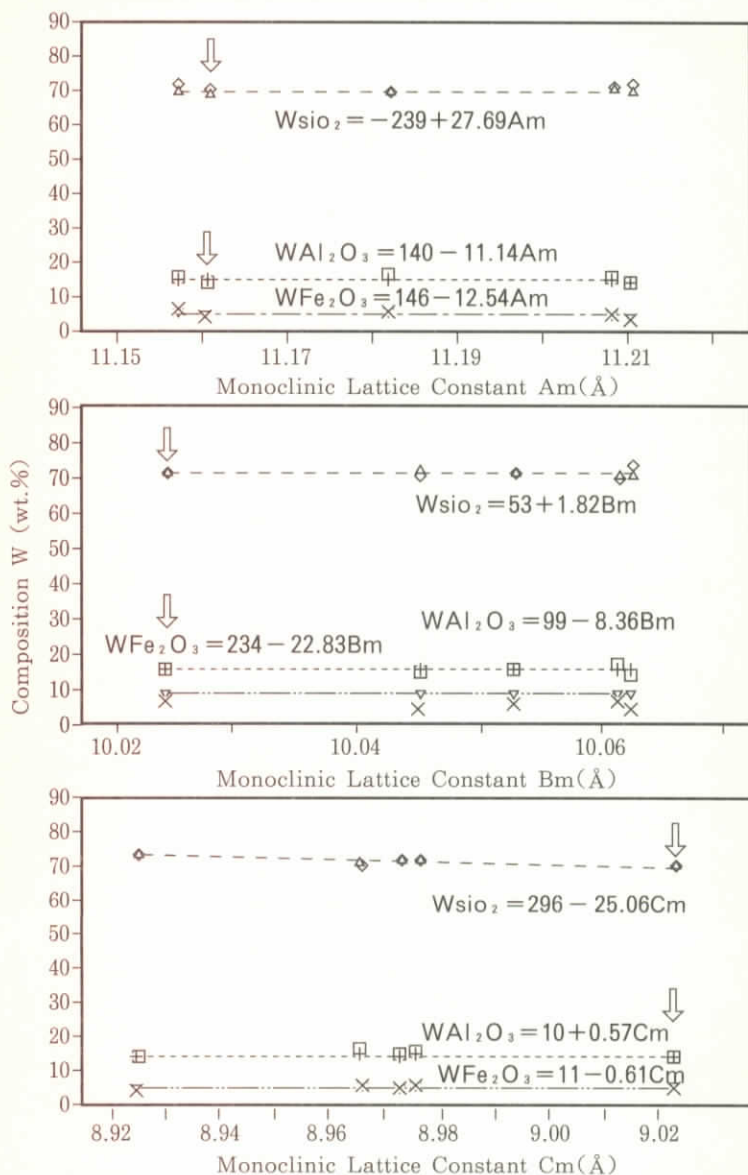


Fig.4 Relation Between Composition and Monoclinic Lattice Constant of Soil Sample from Confucian Temple in Shandong, China

コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、河野）

平均は10.055 Å、差は0.0173 Å^{9~10)}である。孔子廟にある格子定数B_mは10.045 Åで、孔子定数A_mと同様にマヘート遺跡の煉瓦より大きく、その他より小さい。格子定数B_mと重量百分率の関係はFig.4（中図の左側矢印）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。

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

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

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

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のC_m軸は8.9247 Åから9.0229 Åの範囲で、平均は8.972 Å、差は0.0982 Å^{9~10)}からである。孔子廟にある格子定数C_mは9.023 Åで、両聖者遺跡の中で最長格子定数である。孔子廟にある土質の格子定数C_mと重量百分率の関係では、Fig.4（下図の左側矢印）である。これらの3成分と六方晶系の格子定数（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。

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

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

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

格子定数C_m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(Na₂O+K₂O)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、Fig.5のとおりである。Fig.5（孔子廟の土質は矢印）におけるアルカリ

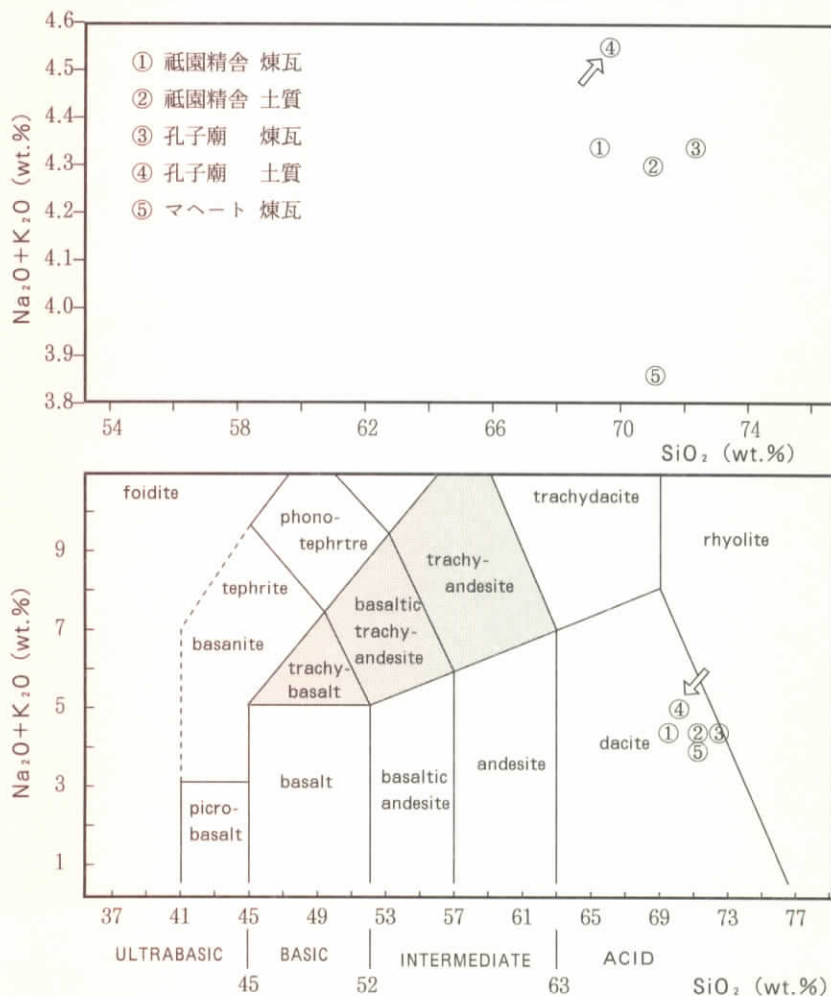


Fig.5 Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks using the Total Alkali versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al. 1986, Fig.2).

成分が比較的に多い領域である。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。が、ここでは狭い範囲であるから一定な傾向は見られない。Fig.5 上と下にある番号は、祇園精舎にある煉

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（沢、河野）

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（矢印）⁷⁾およびマヘートにある土質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^{17, 18)}。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）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（70.71Wt%）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。

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、**Fig.6**（孔子廟の土質は下側の矢印）のとおりである。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、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、孔子廟にある土質は、東洋2大聖者遺跡の中で最も小さいmeidum-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、**Fig.7**（孔子廟の土質は中央の右側矢印）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

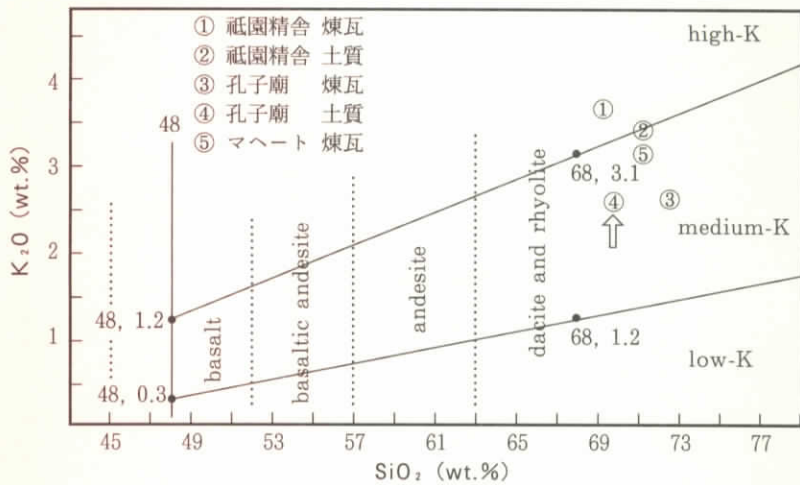


Fig.6 Division of basalts (with $SiO_2 > 48\%$), Basaltic andesites, andsites, dacites and rhyolites in low-K, medium-K and high-K types. Note that high-K is NOT synonymous with potassic. The thick stippled Lines indicate the equivalent position of some of the fields in the TAS diagram.

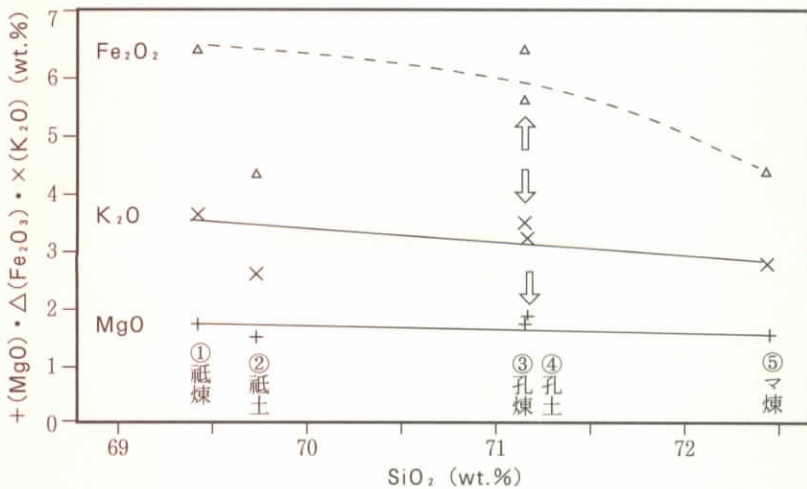


Fig.7 Relation Between Composition and SiO_2 and MgO , Fe_2O_3 , K_2O of Soil Samples from Confucian Temple in Shandong, China

コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、河野）

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。孔子廟にある土質は、孔子廟にある煉瓦と同様の傾向で、広い分野での傾向と類似していることが確認された^{17, 18)}。

3.12 酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係

アルカリ性の中で、軽金属のaに属する酸化カリウムと酸化ナトリウムとの関係を究明するために図示（Fig.8）した。Fig.8（孔子廟の土質は右下の矢印）におけるアルカリ類は（ K_2O-Na_2O ）の関係図であり、アルカリ成分の中で酸化カリウムの含有量が比較的が多い領域である。すなわち、この両組成は、無色鉱物であり、軽金属のa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。したがって、孔子廟の土質では、両聖者の中で酸化カリウムと酸化ナトリウムは極小含有率であることが確認された^{17, 18)}。

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（ $SiO_2+Na_2O+K_2O$ ）との関係を検討した。この関係はFig.9（孔子廟の土質は左上の矢印）のとおりである。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、無色鉱物はaのナトリウムとカリウムである。孔子廟の土質では、両聖者の中で無色鉱物と有色鉱物は、共に、極小級の含有率であることが確認された^{16, 17)}。

4 おわりに

中国、孔子廟にある土質成分に対して、X線回折図形とコンピュータ処理を行った。それらの格子定数と含有率との関係の解析ならびに各成分間の相関分析も行った。ここに、以下のような結論に達したので、要点を報告する。

(a) ピーク・サーチの定性分析

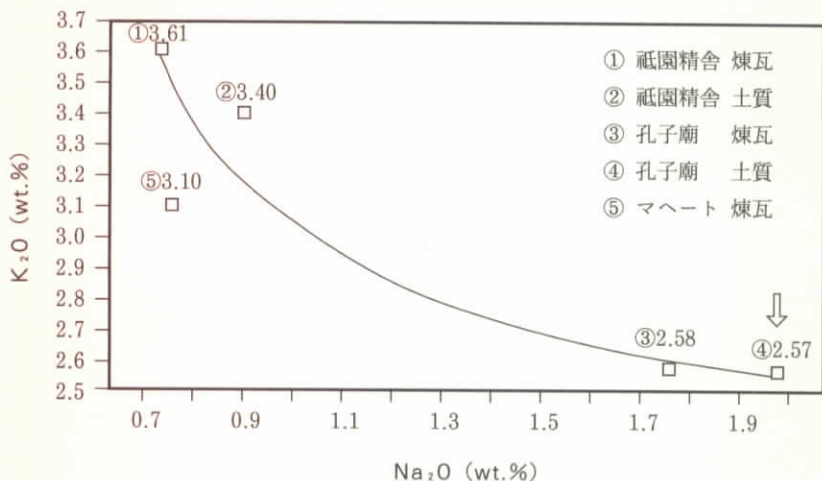


Fig.8 Relation Between Composition K_2O and Na_2O of Soil Samples from Confucian Temple in Shandong, China

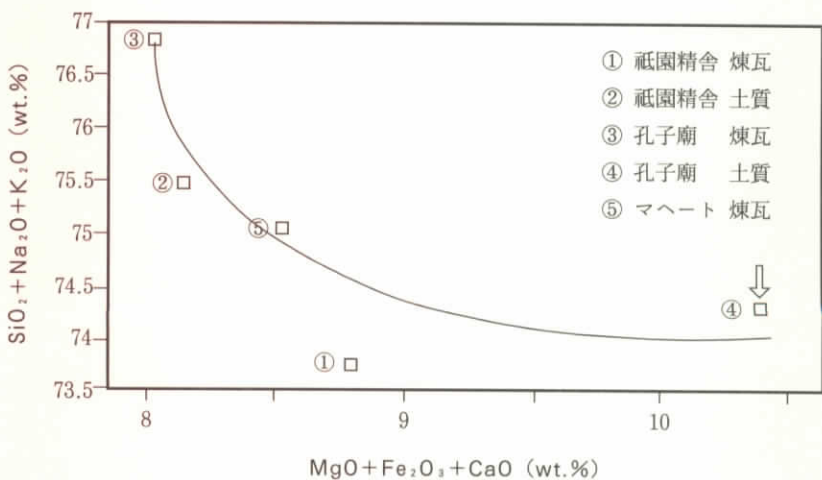


Fig.9 Relation Between Composition $MgO+Fe_2O_3+CaO$ and $SiO_2+Na_2O+K_2O$ of Soil Samples from Confucian Temple in Shandong, China

コンピュータ解析による中国孔子廟付近にある土質の単斜晶系と成分（沢、河野）

回折角度の 2θ ($8.8\sim 79.8^\circ$) 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12個、モデルBでは11個である。これらの面間隔は、 4.263 \AA (20.82°) から 1.820 \AA (50.08°) の範囲である。半値幅 0.30 \AA 以上の面指数は、モデルAでは8個、モデルBでは6個である。これらの面間隔は、 4.489 \AA (19.76°) から 2.130 \AA (42.40°) の範囲である。

(b) 二次検索の定性分析

孔子廟にある土質の成分は、JCPDS番号・化学式・鉱物名と結晶構造に近いものを解明した。まず、最も近いのは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。このモデルAの面指数から単斜晶系の格子定数を決定した。信頼性評価を高めるために、他の聖者遺跡にある煉瓦・土壌とを比較するために、次のモデルBを用いた。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の単斜晶系から格子定数も求める手順にした。

(c) 結晶構造と格子定数

孔子廟にある土質は、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も確認された。この単斜晶系の格子定数は、モデルAでは格子定数はA軸= 11.1608 \AA 、B軸= 10.0451 \AA 、C軸= 9.0229 \AA および軸角は $\beta=127.73^\circ$ 、モデルBでは格子定数はA軸= 7.6800 \AA 、B軸= 6.3613 \AA 、C軸= 7.2755 \AA および軸角は $\beta=109.32^\circ$ である。

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

孔子廟にある土質は、石英安山岩や酸性岩 (dacite) で、鉱物名として主成分はQuartz (主成分: 石英)、Muscovite (雲母)、Calcite (方解石)、Albite (長石) である化合物が定性された。聖者の中では最大にアルカリ性であるこ

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（沢、河野）とも判明した。

(e) 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。孔子廟にある土質は最小のmedium-Kである。

(f) 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 ($SiO_2+Na_2O+K_2O$) との関係が明白になった。したがって、孔子廟の土質では、両聖者の中で無色鉱物と有色鉱物は、共に、極小級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に多くのご協力を頂き、データ処理には藤田浩史氏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」

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（沢、河野）

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) 沢勲・河野久征：「コンピュータ解析による中国孔子廟にある煉瓦の単斜
晶系と成分」大阪経済法科大学論集 74 (1999) P.1~34
- 17) A. Miyashiro : 「Nature of Alkali Volcanic Rock Series」 Contrib.
Mineral. Petrol. 66 (1978) P.94~104
- 18) R. W. Le Maitre: 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary

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（沢、河野）

of Terms』(1939), Blackwell Scientific Publications

Table 1. Mean (SD) age, height, weight, and body mass index (BMI) of the 100 children in the study

Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg m ⁻²)
6.0	115.5 (6.0)	20.5 (4.0)	15.5 (2.5)
6.5	120.5 (6.0)	23.5 (4.5)	16.0 (2.5)
7.0	125.5 (6.0)	27.0 (5.0)	17.0 (2.5)
7.5	130.5 (6.0)	31.0 (5.5)	18.0 (2.5)
8.0	135.5 (6.0)	35.0 (6.0)	19.0 (2.5)
8.5	140.5 (6.0)	39.0 (6.5)	20.0 (2.5)
9.0	145.5 (6.0)	43.0 (7.0)	21.0 (2.5)
9.5	150.5 (6.0)	47.0 (7.5)	22.0 (2.5)
10.0	155.5 (6.0)	51.0 (8.0)	23.0 (2.5)
10.5	160.5 (6.0)	55.0 (8.5)	24.0 (2.5)

2.2.2. *Physical activity and sedentary behaviour*

Physical activity was measured using the ActiGraph accelerometer (model GT1M, University of Massachusetts Lowell, Lowell, MA, USA) attached to the waist of the children. The ActiGraph accelerometer is a small, lightweight device that records movement in three dimensions (x, y, z) and calculates the number of steps taken and the amount of time spent in different levels of physical activity.

The ActiGraph accelerometer was worn on the waist for 7 days. The children were asked to wear the accelerometer during all waking hours, except when sleeping, bathing, or swimming. The accelerometer was programmed to record data in 1-min epochs. The data were downloaded to a computer and analysed using the ActiGraph software (version 4.2.2, University of Massachusetts Lowell, Lowell, MA, USA).

The ActiGraph accelerometer was programmed to record the number of steps taken and the amount of time spent in different levels of physical activity. The levels of physical activity were defined as follows: sedentary (0.00–0.99 MET), light (1.00–1.99 MET), moderate (2.00–2.99 MET), and vigorous (3.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of sedentary behaviour. The levels of sedentary behaviour were defined as follows: sitting (0.00–0.99 MET), standing (1.00–1.99 MET), and lying (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of sleep. The levels of sleep were defined as follows: light sleep (0.00–0.99 MET), deep sleep (1.00–1.99 MET), and REM sleep (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of inactivity. The levels of inactivity were defined as follows: sitting (0.00–0.99 MET), standing (1.00–1.99 MET), and lying (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of activity. The levels of activity were defined as follows: sedentary (0.00–0.99 MET), light (1.00–1.99 MET), moderate (2.00–2.99 MET), and vigorous (3.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of behaviour. The levels of behaviour were defined as follows: sitting (0.00–0.99 MET), standing (1.00–1.99 MET), and lying (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of sleep. The levels of sleep were defined as follows: light sleep (0.00–0.99 MET), deep sleep (1.00–1.99 MET), and REM sleep (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of inactivity. The levels of inactivity were defined as follows: sitting (0.00–0.99 MET), standing (1.00–1.99 MET), and lying (2.00–5.99 MET).

The ActiGraph accelerometer was also programmed to record the amount of time spent in different levels of activity. The levels of activity were defined as follows: sedentary (0.00–0.99 MET), light (1.00–1.99 MET), moderate (2.00–2.99 MET), and vigorous (3.00–5.99 MET).