

インド、祇園精舎に構築していた レンガの蛍光X線分析

沢 勲 Isao SAWA
網 干 善 教 Yoshinori ABOSHI
村 田 守 Mamoru MURATA

ABSTRACT

Jetavanavihāra (long. 82°5'E. and lat. 27°31'N.) is located in Sravasti city, northeastern of India. *Jetavanavihāra* remained one of the principal seats of Búddhist first learning.

Major chemical composition of the brick sample from *Jetavanavihāra* is determined by XRF using the fundamental parameter method consisting of fully auto quantitative analysis, semi quantitative analysis (order estimation) and group quantitative analysis.

Major chemical composition is as follows $\text{SiO}_2=69.44\text{Wt}\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=16.32\text{Wt}\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=6.45\text{Wt}\%$, $\text{K}_2\text{O}=3.61\text{Wt}\%$, $\text{MgO}=1.73\text{Wt}\%$, $\text{TiO}_2=0.84\text{Wt}\%$, $\text{Na}_2\text{O}=0.73\text{Wt}\%$, $\text{CaO}=0.62\text{Wt}\%$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.19\text{Wt}\%$ and $\text{MnO}=0.07\text{Wt}\%$, etc.

網干善教：関西大学文学部教授・文学博士
村田 守：理学電機工業(株)・理学博士

1 はじめに

日本の軍記物語の代表作品として『平家物語』の巻第一に、「祇園精舎の鐘の声、諸行無常の響あり、沙羅双樹の花の色……」と書かれている。一方、源隆国の編著といわれる仏教・世俗の説話を集成した『今昔物語集』にも、「須達(スダッタ・Sudatta)長者、造祇園精舎」や大安寺縁起なども書かれている。

平家物語は、平家一門の栄華とその没落・滅亡を描き、仏教の因果観・無常観を基調している。これからも理解できるように、祇園精舎は十分に存在していることが分かる。祇園精舎は、釈尊が初めて正法を説かれた場所である。すなわち、日本の仏教の源流地として考えられる。この聖地において、関西大学創立100周年記念事業として、発掘調査に一助できることになった。

今、発掘調査には当時に構築していたレンガや土壌および遺跡が考えられる。ここで、蛍光X線分析によってレンガの成分分析を行うことができた。

検量線を作成しない物理定数を用いたファンダメンタル・パラメータ法による蛍光X線分析を行うために^{(1)~(4)}、分析結果の正確さをBCS(British Chemical Standard)およびSTDのJG-1の試料を分析することで確認した。

その結果、インドの祇園精舎に構築していたレンガの主なる成分は、 $\text{SiO}_2=69.44\text{Wt}\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3=16.32\text{Wt}\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3=6.45\text{Wt}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=3.61\text{Wt}\%$ and $\text{MgO}=1.73\text{Wt}\%$ であり、他は $1\text{Wt}\%$ 以下である。ここに以下報告する。

2 理論式と実験方法

本研究において用いた祇園精舎のレンガは、当時に使用していた井戸現場付近の深さ150 cmの所である。祇園精舎のレンガは化学的な前処理を行わずに、直接ポールミルを用いて、50時間もつぶした。このレンガ粉を200メッシュに通した。粉末試料に4ホウ酸リチウム($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)を加え溶解し、ガラスビードを作成した。測定には、ステンレスマスク(30 mm ϕ)を用いた。

分析にした装置は、理学電機工業/全自動蛍光X線分析装置 System Device 3270 にファンダメンタル・パラメータ(FP)法のプログラムを組み込んだものを使用した。このFP法のプログラムのうち、オーダー分析とグループ

定量分析を行った。

元素が試料中に均一に分布している試料の
 蛍光X線強度の理論式は、**Fig. 1** のモデルの
 とおりで、次のとおりになる。

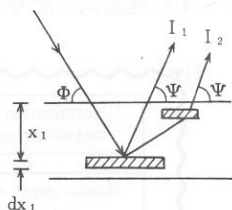


Fig. 1 Model of Primary and Secondary Excitations in Bulk Sample

$$I_1 = \frac{1}{\sin \psi} \int_{\lambda_m}^{\lambda_e} \frac{Q_{ip(\lambda)} I_0(\lambda)}{(\mu/\rho)_\lambda / \sin \phi + (\mu/\rho)_{ip} / \sin \psi} \cdot d\lambda \dots \dots \dots (1)$$

$$I_2 = \frac{1}{2 \sin \psi} \sum_{ig}^{\lambda_e} \frac{Q_{ig(\lambda)} Q_{if(jg)} I_0(\lambda)}{(\mu/\rho)_\lambda / \sin \phi + (\mu/\rho)_{ip} / \sin \psi} \times \left\{ \frac{\sin \psi}{(\mu/\rho)_{ip}} \ln \left[1 + \frac{(\mu/\rho)_{ip} / \sin \psi}{(\mu/\rho)_{ig}} \right] + \frac{\sin \phi}{(\mu/\rho)_\lambda} \ln \left[1 + \frac{(\mu/\rho)_\lambda / \sin \phi}{(\mu/\rho)_{ig}} \right] \right\} d\lambda \dots (2)$$

$$Q_{ip} = \left(\frac{\mu_i}{\rho_i} \right)_\lambda \cdot W_i \cdot \left(1 - \frac{1}{J_i} \right) \cdot \omega_i \cdot R_p^i \dots \dots \dots (3)$$

Total intensity:

$$I = I_1 + I_2 \dots \dots \dots (4)$$

I_1 : Contains absorption effect

I_2 : Contains enhancement effect

Table 1 Theoretical Equation of Fluorescent X-Ray Intensity

Chemical composition	Chemical composition of measuring element : W_i
	Chemical composition of coexisting elements : W_j
Physical constants	Mass absorption coefficient : (μ/ρ)
	Fluorescence yield : ω_i
	Jump ratio : J_i
	Transition probability : R_p^i
	Wavelength of fluorescent X-Ray and absorption edge : λ_i, λ_e^i
Instrumental factor	Primary beam distribution : $I_0(\lambda)$
	Incident and take off angles : ϕ, ψ
	Instrumental sensitivity: Crystal reflectivity etc.

式(1)~(4)の理論式と記号の説明は、Table 1 のとおりである。⁽¹⁾

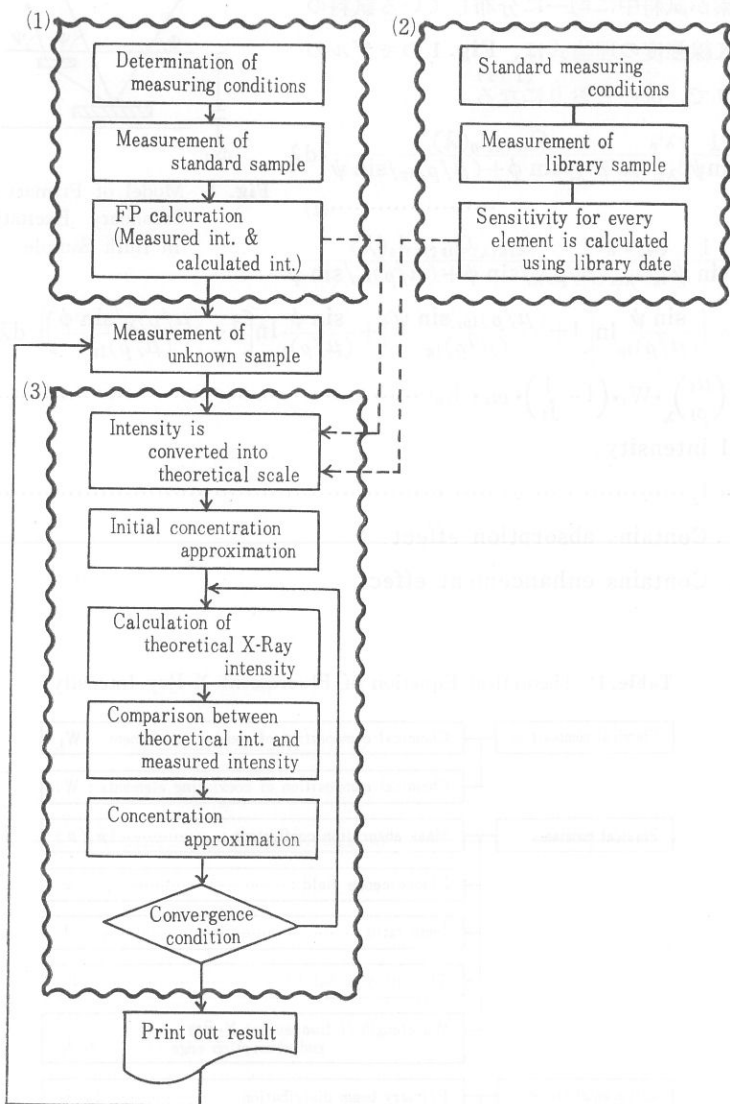


Fig. 2 Outline of Fundamental Parameter Method
 (1) Group analysis (2) Free analysis
 (3) Unknown sample analysis (calculation)

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析(沢、網干、村田)

次に、自動分析プログラムに用いたファンダメンタル・パラメータ法の流れ図は、Fig. 2 のとおりである。

各エレメントに対して共通な条件をまとめると、フィルター (out)、Diaphragm (30 mm)、Attenuator (1/1)、スリット (coarse)、X線管内の印加電圧 (50 kV) と電流(50 mA) である。

3 実験結果

3.1 酸化ナトリウム (Na₂O) の分析

酸化ナトリウムのオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (Analyzing Crystal: TAP) と波高分析器 (Pulse Height Analyser) すなわち PHA [LL (Lower Level 下限選別器) = 100 と UL

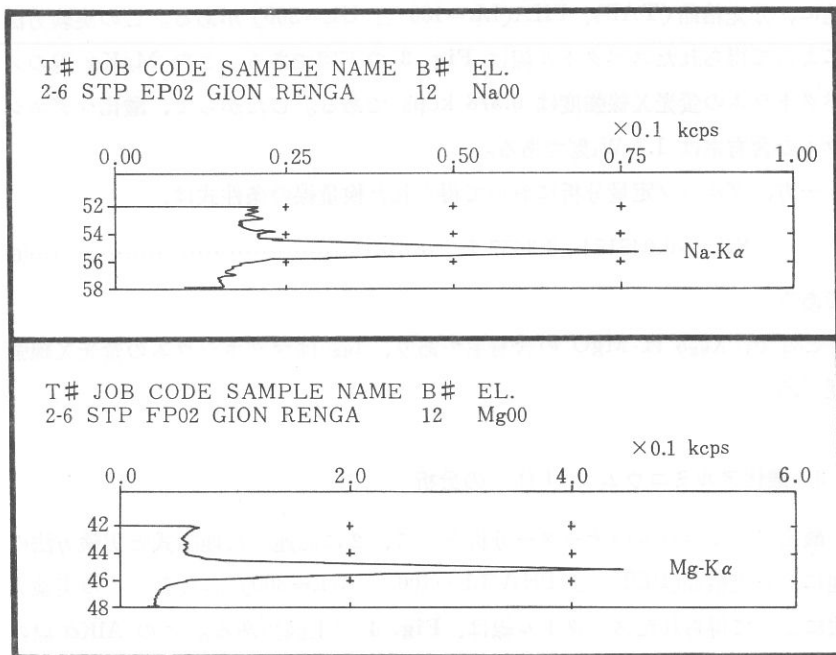


Fig. 3 Chart Recording of NaKα and MgKα X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析(沢、網干、村田)

(Upper Level 上限選別器) = 300] がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 3 の上図である。この NaK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 0.060 kcps である。したがって、酸化ナトリウムの含有率は 0.77 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{\text{Na}_2\text{O}} = -0.064356 + 10.165 I_{\text{Na}} \dots\dots\dots(5)$$

である。

ここで、 $X_{\text{Na}_2\text{O}}$ は Na_2O の含有率であり、 I_{Na} はナトリウムの蛍光X線強度である。

3.2 酸化マグネシウム (MgO) の分析

酸化マグネシウムのオーダー分析として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶(TAP)、PHA(LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 3 の下図である。この MgK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 0.378 kcps である。したがって、酸化マグネシウムの含有率は 1.7 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{\text{MgO}} = 0.045154 + 3.3657 I_{\text{Mg}} \dots\dots\dots(6)$$

である。

ここで、 X_{MgO} は MgO の含有率であり、 I_{Mg} はマグネシウムの蛍光X線強度である。

3.3 酸化アルミニウム (Al₂O₃) の分析

酸化アルミニウムのオーダー分析として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶(PET) と PHA(LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は、Fig. 4 の上図である。この AlK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 11.616 kcps である。したがって、酸化アルミニウムの含有率は 18Wt% である。

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

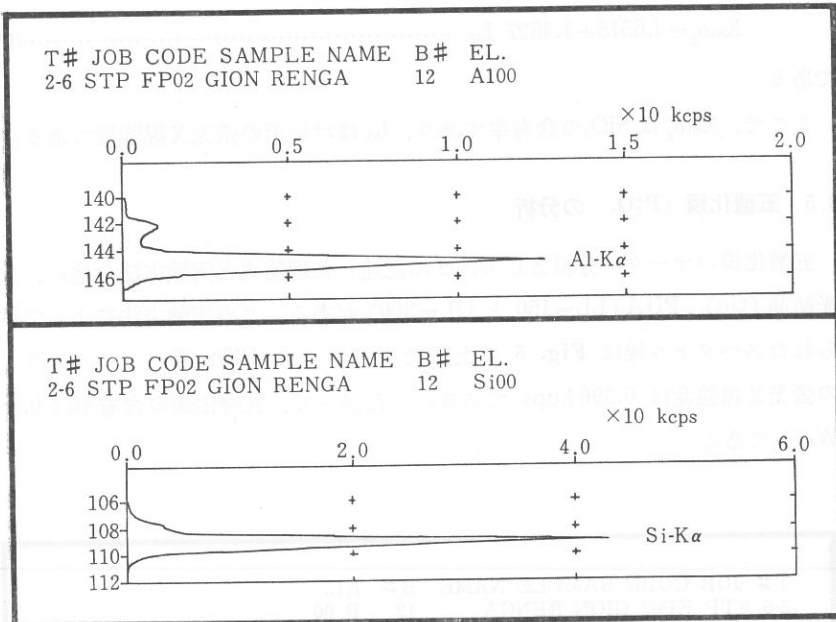


Fig. 4 Chart Recording of AlK α and SiK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{Al_2O_3} = 0.7069 + 1.2826 I_{Al} \dots \dots \dots (7)$$

である。

ここで、 $X_{Al_2O_3}$ は Al_2O_3 の含有率であり、 I_{Al} はアルミニウムの蛍光X線強度である。

3.4 けい酸 (SiO_2) の分析

けい酸のオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (PET) と PHA (LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 4 の下図である。この SiK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 40.492 keps である。したがって、けい酸の含有率は 67 Wt% である。

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{\text{SiO}_2} = 4.6518 + 1.4527 I_{\text{Si}} \dots\dots\dots(8)$$

である。

ここで、 X_{SiO_2} は SiO_2 の含有率であり、 I_{Si} はけい素の蛍光X線強度である。

3.5 五酸化磷 (P_2O_5) の分析

五酸化磷のオーダー分析として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (Ge)、PHA (LL=150 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 5 の上図である。この $\text{PK}\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 0.396 kcps である。したがって、五酸化磷の含有率は 0.18 Wt% である。

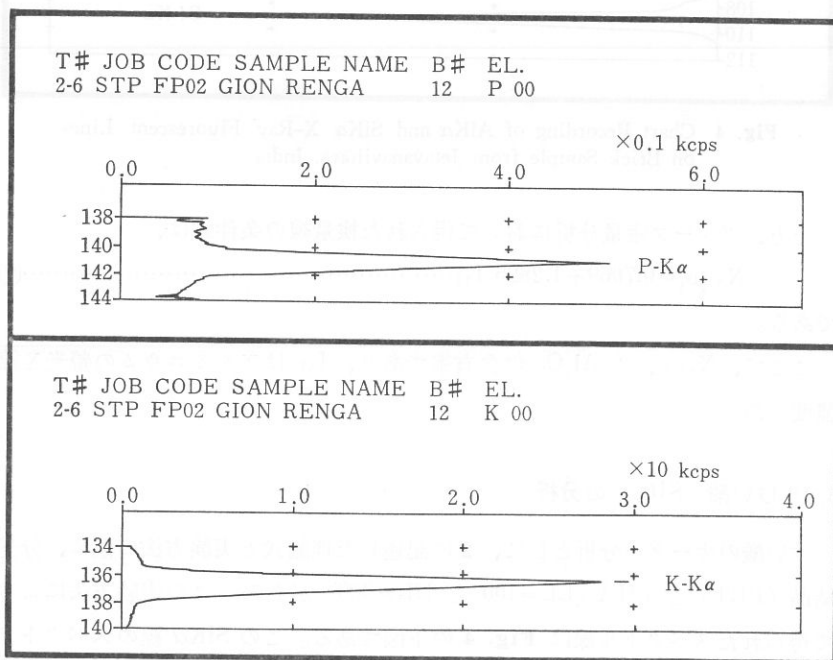


Fig. 5 Chart Recording of PK α and KK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{P_2O_5} = 0.0060378 + 0.41254 I_p \dots\dots\dots(9)$$

である。

ここで、 $X_{P_2O_5}$ は P_2O_5 の含有率であり、 I_p は磷の蛍光X線強度である。

3.6 酸化カリウム (K_2O) の分析

酸化カリウムのオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (Ge)、PHA (LL=150 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 5 の下図である。この $KK\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 27.458 kcps である。したがって、酸化カリウムの含有率は 3.7 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{K_2O} = -0.030930 + 0.40710 I_k \dots\dots\dots(10)$$

である。

ここで、 X_{K_2O} は K_2O の含有率であり、 I_k はカリウムの蛍光X線強度である。

3.7 酸化カルシウム (CaO) の分析

酸化カルシウムのオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、結晶 (Ge)、PHA (LL=150 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 6 の上図である。この $CaK\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 4.639 kcps である。したがって、酸化カルシウムの含有率は 0.75 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{CaO} = 0.061404 + 0.27943 I_{Ca} \dots\dots\dots(11)$$

である。

ここで、 X_{CaO} は CaO の含有率であり、 I_{Ca} はカルシウムの蛍光X線強度である。

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

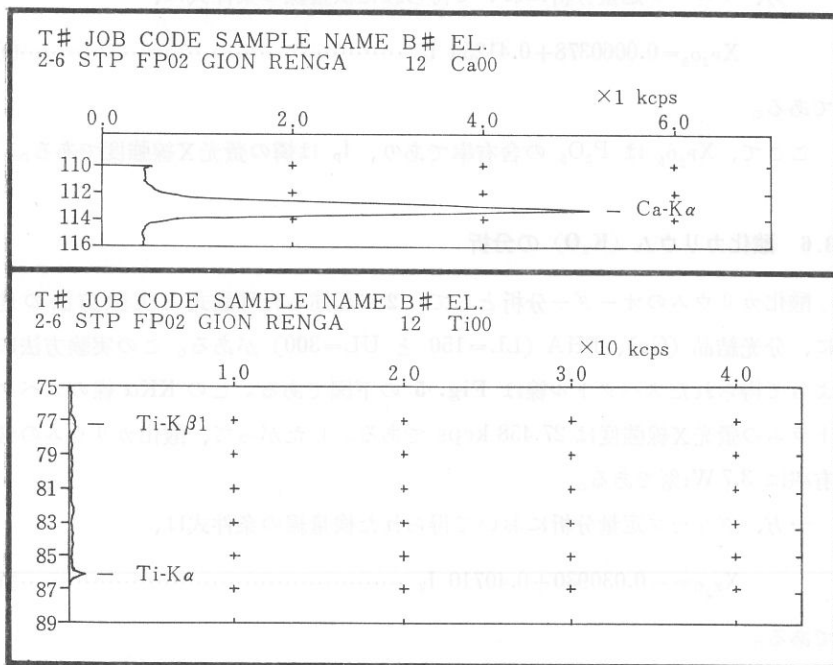


Fig. 6 Chart Recording of CaKα and TiKα X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

3.8 酸化チタニウム (TiO₂) の分析

酸化チタニウムのオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (LiF1)、PHA (LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 6 の下図である。この TiKα 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 0.848 kcps である。したがって、酸化チタニウムの含有率は 0.91 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{\text{TiO}_2} = 0.0070176 + 0.92146 I_{\text{Ti}} \dots\dots\dots (12)$$

である。

ここで、 X_{TiO_2} は TiO₂ の含有率であり、 I_{Ti} はチタンの蛍光X線強度である。

3.9 酸化マンガン (MnO) の分析

酸化マンガンのオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (LiF1) と PHA (LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 7 の上図である。この MnK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 0.514 kcps である。したがって、酸化マンガンの含有率は 0.083 Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{MnO} = 0.0072109 + 0.11209 I_{Mn} \dots\dots\dots (13)$$

である。

ここで、 X_{MnO} は MnO の含有率であり、 I_{Mn} はマンガンの蛍光X線強度である。

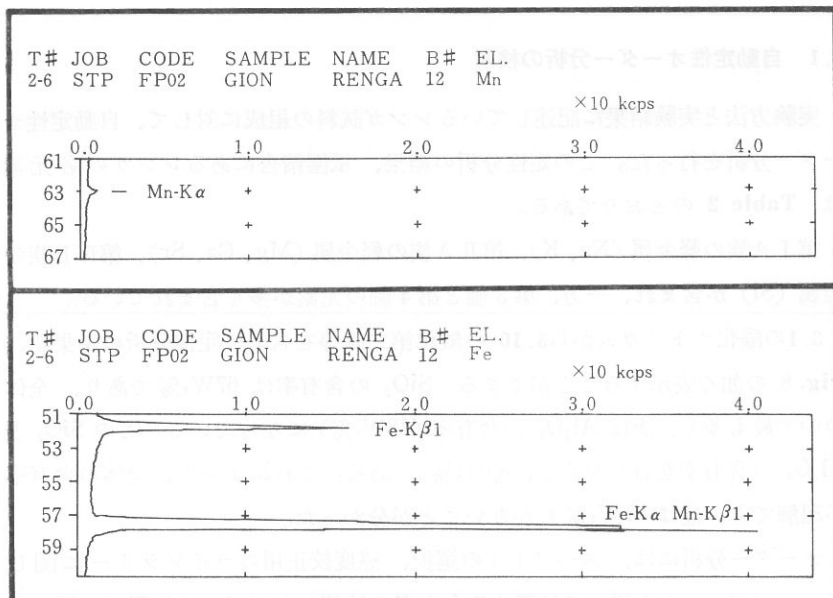


Fig. 7 Chart Recording of MnK α and FeK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

3.10 酸化第二鉄 (Fe₂O₃) の分析

酸化第二鉄のオーダー分析として、2に記述した理論式と実験方法の他に、分光結晶 (LiF1) と PHA (LL=100 と UL=300) がある。この実験方法によって得られたスペクトル線は Fig. 7 の下図である。この FeK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は 65.497 kcps である。したがって、酸化第二鉄の含有率は 6.7Wt% である。

一方、グループ定量分析において得られた検量線の条件式は、

$$X_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0.067184 + 0.076947 I_{\text{Fe}} \dots \dots \dots (14)$$

である。

ここで、 $X_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ は Fe₂O₃ の含有率であり、 I_{Fe} は鉄の蛍光X線強度である。

4 検 討

4.1 自動定性オーダー分析の検討

実験方法と実験結果に記述しているレンガ試料の組成に対して、自動定性オーダー分析を行った。この定性分析の結果、祇園精舎にあるレンガの各元素は、Table 2 のとおりである。

第I A族の軽金属 (Na、K)、第II A族の軽金属 (Mg、Ca、Sr)、第IV B族の金属 (Si) が含まれ、一方、第3 価と第4 価の元素が多く含まれている。

3.1の酸化ナトリウムから3.10 の酸化第二鉄等を含めて定性分析の結果を、Fig. 8 の如く表示することができる。SiO₂ の含有率は 67Wt% であり、全体の中で最も多く、次に Al₂O₃ の含有率 (18Wt%) になっている。この SiO₂ と Al₂O₃ の含有率を合わせると、85Wt% である。これによって、全体の含有率が理解でき、他は 15 Wt% しかないことが分かった。

オーダー分析には、スペクトルの選択、感度校正用のライブラリーに関して、コンピュータを用いて処理する含有率の演算およびバッチ処理が必要である。

スペクトルの自動選択をするプログラムを設定しておく、自動的に蛍光X

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

Table 2 Periodic Table of Elements in Brick Sample from Jetavanavihāra, India

	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VI A	VIA	VII A	VIII	IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VI B	
1	1 H 1.008															
2															8 O 15.999	
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305										13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064	
4	19 K 39.098	20 Ca 40.080		22 Ti 47.88			25 Mn 54.938		26 Fe 55.847		30 Zn 65.37					
5		38 Sr 87.62		40 Zr 91.22												
6										79 Au 196.97					典型金属元素	
			遷移金属元素												(水素包含)	
																典型金属元素

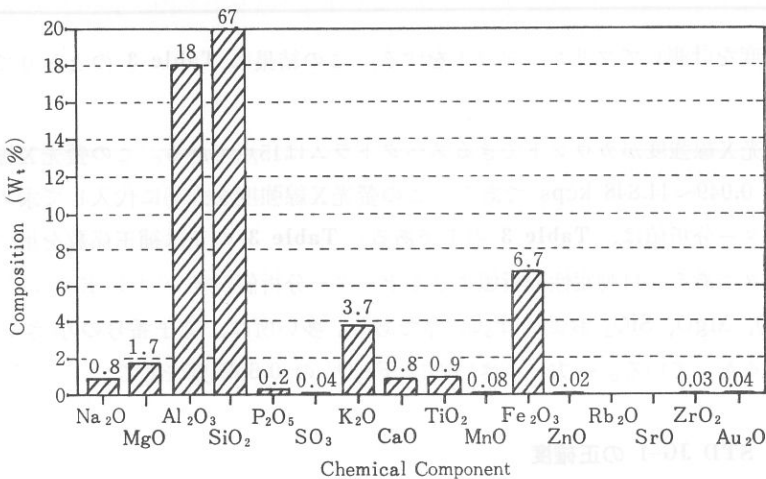


Fig. 8 Relation between X-Ray Fluorescent Composition Data and Chemical Component of Brick Sample from Jetavanavihāra, India

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

Table 3 Order Analytical Results by Fundamental Parameter Method on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

Component Definition	Spec-trum	Auto Analysis (W _t %)	Order Analysis			Group Analysis (W _t %)	BCS 375(W _t %)	
			Intensity (kcps)	I (W _t %)	II (W _t %)		EXP	DATA
Na ₂ O	NaKα	0.77	0.049	0.84	0.85	0.73	10.000	10.40
MgO	MgKα	1.70	0.328	1.70	1.80	1.73	...	0.05
Al ₂ O ₃	AlKα	18.00	13.138	17.00	18.00	16.32	21.000	19.80
SiO ₂	SiKα	67.00	44.848	67.00	68.00	69.44	67.000	67.10
P ₂ O ₅	PKα	0.18	0.505	0.25	0.25	0.19	0.022	...
SO ₃	SKα	0.04	0.110	0.06	0.06		0.170	...
K ₂ O	KKα	3.70	8.815	3.90	3.90	3.61	0.800	0.79
CaO	CaKα	0.75	2.206	0.74	0.75	0.62	0.960	0.89
TiO ₂	TiKα	0.91	0.851	0.93	0.94	0.84	...	0.38
MnO	MnKα	0.08	0.512	0.07	0.07	0.07
Fe ₂ O ₃	FeKβ1	6.70	12.357	7.20	6.10	6.45	0.140	0.12
ZnO	ZnKα	0.02	0.616	0.02	0.02		0.024	...
SrO	SrKα	Trace	0.906	Trace	Trace		Trace	...
ZrO ₂	ZrKα	0.03	3.979	0.03	0.03		0.018	...
Au ₂ O	AuLβ1	0.04	0.687	0.04	0.04		0.034	...
TOTAL		99.92		99.78	100.81	100.00	100.168	99.53

線強度を計測してプリントアウトをする。この結果は **Table 3** のとおりである。

蛍光X線強度がカウントできるスペクトラムは15点である。この蛍光X線強度は 0.049~44.848 kcps である。この蛍光X線強度を式(4)に代入して求めたオーダー分析値は、**Table 3** の I である。**Table 3** の II は補正係数を用いたデータである。自動定性分析値よりもオーダー分析値が多いコンポネントは Na₂O、MgO、SiO₂ および P₂O₅ 等である。多い所は、原子番号の小さい所が多くなっている。一方、小さいのは Fe₂O₃ の 0.6 W_t% である。

4.2 STD JG-1 の正確度

グループ定量分析の信頼度を確認するため、STD JG-1 の標準試料の化学

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

Table 4 Analytical Results of STD JG-1 Sample by Group Analysis

Component	Raw Intensity (kcps)			Net Intensity (kcps)	Chemical Analysis (Wt%)	X-Ray (Wt%)		DELTA Δ (Wt%)
	Peak	BG.1	BG.2			NORM.	UN NORM.	
Na ₂ O	0.3913	0.0413	0.0338	0.3538	3.41	3.4302	3.4195	0.0202
MgO	0.2886	0.0828	0.0572	0.2185	0.74	0.7474	0.7450	0.0074
Al ₂ O ₃	10.618	0.0937	0.1053	10.517	14.29	14.4245	14.3794	0.1345
SiO ₂	46.786	0.2168	0.1963	46.581	72.75	72.6727	72.4454	-0.0773
P ₂ O ₅	0.2927	0.0758	0.0740	0.2178	0.10	0.0923	0.0920	-0.0077
K ₂ O	10.370	0.3826	0.3008	10.033	3.97	3.9893	3.9768	0.0193
CaO	8.1815	0.5718	1.0420	7.3645	2.19	2.1501	2.1434	-0.0399
TiO ₂	0.4057	0.1174	0.1117	0.2910	0.26	0.2740	0.2732	0.0140
MnO	0.9607	0.4653	0.4006	0.5262	0.06	0.0629	0.0627	0.0029
Fe ₂ O ₃	25.225	0.9157	0.7538	24.391	2.21	2.1566	2.1498	-0.0534
TOTAL					99.98	100.0000	99.6872	

分析を参考にした。**Table 4** は、生の蛍光X線強度のピークポジション(Peak)、バックグラウンドの1(BG. 1) およびバックグラウンドの2(BG. 2)を測定した。

正味の蛍光X線強度値と標準化した化学分析 (Chemical Analysis) の誤差 (DELTA) を、次のとおり求める。

$$\text{DELTA}(\Delta) = [\text{NORM.}] - [\text{Chemical}] \dots\dots\dots(15)$$

ここで、プラスの合計が 0.1983 で、マイナスの合計が 0.1783 である。この差は 0.02 であり、平均すれば 0.002 Wt% になる。ゆえに、化学分析を行うことがなくても、蛍光X線のグループ定量分析によって信頼性を高めることができる⁽⁵⁾。

4.3 グループ定量分析の検討

グループ定量分析は、プログラムに設定された各元素の蛍光X線強度を測定して物理定数 (ファンダメンタル・パラメータ) 法によって定量分析の演算処理を行った。この演算処理における各スペクトラムのピークポイント、バックグラウンド(BG. 1 と BG. 2)に関する角度と時間は、**Table 5** のとおりであ

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

Table 5 Relation between Peak Point and Back Ground(BG. 1 and BG. 2) on Component Spectrum on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

Component	Spectrum	Peak		BG. 1		BG. 2	
		2θ	FT	2θ	FT	2θ	FT
		deg	sec	deg	sec	deg	sec
Na ₂ O	NaKα	55.20	100	53.50	50	56.88	50
MgO	MgKα	45.28	100	43.25	50	47.23	50
Al ₂ O ₃	AlKα	144.78	40	141.00	20	147.00	20
SiO ₂	SiKα	109.10	40	106.50	20	111.10	20
P ₂ O ₅	PKα	141.00	40	139.35	20	142.55	20
K ₂ O	KKα	69.95	100	67.50	50	71.93	50
CaO	CaKα	61.93	60	60.35	30	63.38	30
TiO ₂	TiKα	86.16	100	85.56	50	86.84	50
MnO	MnKα	63.01	40	62.12	20	63.99	20
Fe ₂ O ₃	FeKα	57.55	40	56.68	20	58.41	20

る。ここで、KKα と CaKα の Peak (2θ) 値に対して Fig. 5 の下図と Fig. 6 の上図と一致しないのは分光結晶 (LiF1) を用いたからである。

各スペクトルの蛍光X線強度に対してピークポイントを求めるため、バックグラウンド (BG. 1 と BG. 2) の中間点の値から、正味の蛍光X線強度 (Net Intensity) を計算した。ここで、Net Intensity (正味の強度) は、次のように計算した。

$$I_{\text{Net}} = I_p - [I_{\text{BG.1}} \sim I_{\text{BG.2}}] \dots \dots \dots (16)$$

ここで、 I_{Net} : 正味の蛍光X線強度

I_p : ピーク位置の蛍光X線強度

$I_{\text{BG.1}}$: バックグラウンドの1の蛍光X線強度

$I_{\text{BG.2}}$: バックグラウンドの2の蛍光X線強度

各スペクトルに対するピークポイントやバックグラウンド (BG. 1 と BG. 2) の生の蛍光X線強度 (Raw Intensity) は、Table 6 のとおりである。

Table 6 の Net-Intensity は、Peak に対して BG. 1 と BG. 2 から求めた値である。ノーマライズ化しない含有率 (Unnormalized Wt%) は、収束

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

Table 6 Group Analytical Results by Fundamental Parameter(thick) Method on Brick Sample from Jetavanavihāra, India

Component	Spectrum	Raw Int. (keps)			Net-Intensity (keps)	Unnormalized (Wt%)	Normalized (Wt%)	Results (Wt%)
		Peak	BG. 1	BG. 2				
Na ₂ O	NaKα	0.107	0.038	0.033	0.072	0.697	0.729	0.73
MgO	MgKα	0.558	0.086	0.058	0.486	1.658	1.735	1.73
Al ₂ O ₃	AlKα	12.493	0.113	0.114	12.380	15.599	16.320	16.32
SiO ₂	SiKα	42.643	0.206	0.192	42.445	66.372	69.441	69.44
P ₂ O ₅	PKα	0.511	0.086	0.076	0.430	0.182	0.190	0.19
K ₂ O	KKα	9.076	0.382	0.294	8.742	3.453	3.613	3.61
CaO	CaKα	2.823	0.570	0.957	2.051	0.592	0.620	0.62
TiO ₂	TiKα	0.996	0.130	0.116	0.872	0.804	0.842	0.84
MnO	MnKα	0.979	0.485	0.407	0.531	0.063	0.066	0.07
Fe ₂ O ₃	FeKα	70.827	0.996	0.898	69.880	6.160	6.445	6.45
TOTAL						95.580	100.001	100.00

条件を満足した最後の値である。ノーマライズ化した含有率 (Normalized Wt%)は、全体が 100Wt%なるように換算した値である。このようなプロセスによってグループ定量分析を求めた。

グループ定量分析の最終値は、Table 6 の Results である。Results の中で、含有率が 5 Wt%以上のコンポネントは、最も多い順にすれば、SiO₂ (69.44 Wt%)、Al₂O₃(16.32 Wt%) および Fe₂O₃ (6.45 Wt%) の順になっている。この3つのコンポネントを合わせると 92.21 Wt%であり、他の成分の合計は 8 Wt%以下である。これらの関係を半対数のグラフに表示したのが Fig. 9 である。いずれも 1Wt% 以下のコンポネントが多いことが分かった。

このグループ定量分析の信頼度に関しては、Table 3 の表示の如く、BCS 375の実験値(EXP) と DATA によって確認することができた。一方、4.2 の STD JG-1 の正確度において、式(15)から Table 4 によって整理することができた。

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、村田）

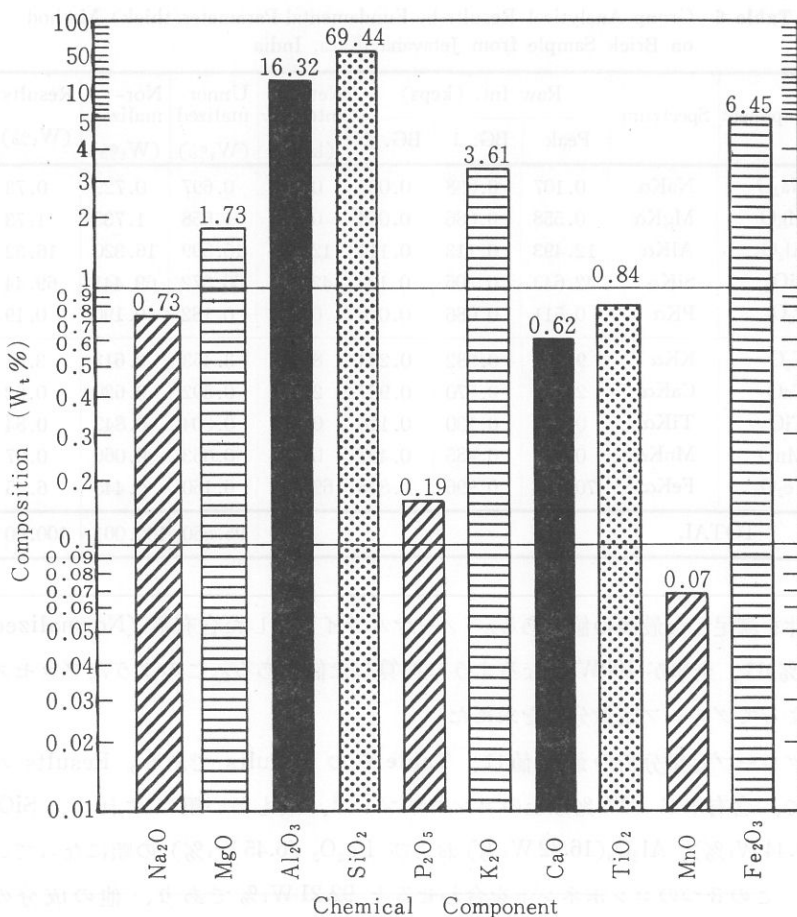


Fig. 9 Relation between Composition Data and Chemical Component

5 おわりに

釈迦のお教えは、民族を越えて、年代を越えて、国家を越え沢山の人が信じている。釈迦がこの世を終えて、約2500年もなっているのに、その教えが終らない正法がある。本当に素晴らしい教えであると考えられる。この聖域の発生地である祇園精舎を構築していたレンガの蛍光X線分析の結果は、次のとおりである。

インド、祇園精舎に構築していたレンガの蛍光X線分析(沢、網干、村田)

- (1) 化学周期律表から見ると、3価・4価元素が多く含んでいる。
- (2) 典型金属元素のⅠAとⅡAには、ナトリウム・カリウムとマグネシウム・カルシウムが含まれている。一方、ⅢBには、アルミニウムが含まれている。他は遷移金属が含まれている。
- (3) 蛍光X線分析によって得られた含有率の多いコンポネントは、 $\text{SiO}_2=69.44\text{ Wt}\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3=16.32\text{ Wt}\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3=6.45\text{ Wt}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O}=3.61\text{ Wt}\%$ および $\text{MgO}=1.73\text{ Wt}\%$ であり、他は $1\text{ Wt}\%$ 以下である。すなわち、 $1\text{ Wt}\%$ 以下は次のとおりである。 $\text{Na}_2\text{O}=0.73\text{ Wt}\%$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5=0.19\text{ Wt}\%$ 、 $\text{CaO}=0.62\text{ Wt}\%$ 、 $\text{TiO}_2=0.84\text{ Wt}\%$ および $\text{MnO}=0.07\text{ Wt}\%$ である。

謝 辞

この論文の試料採集に当たり、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関西大学校友会事業部長・上原洋允団長をはじめ団員にご協力をいただきました。この報告書の作成に当たり、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) 河野久征、村田 守、片岡由行、新井智也：X線分析の進歩、**19**(1988)、307
- (2) 片岡由行：The Rigaku-Denki Journal, **20**(1989)、28
- (3) J. W. Criss and L.S. Birks：Anal. Chem., **40**(1968)、1080
- (4) K. Ohno, J. Fujiwara, I. Morimoto：X-Ray Spectrometry, **9**(1980)、138
- (5) 金 景勲、片山佐一：分析化学、**20**(1971)、29
- (6) 沢 勲：大阪経済法科大学論集、**34**(1988)、23
- (7) 沢 勲、村田 守：大阪経済法科大学論集、**35**(1989)、63
- (8) 沢 勲、高 文玉、金 景植：洞窟、**19**(1989)、29
- (9) 沢 勲、洪 始煥、村田 守：洞窟、**20**(1989)、34
- (10) 沢勲、網干善教、村田守：大阪経済法科大学論集、**39**(1990)、23
- (11) 沢勲、網干善教、村田守：大阪経済法科大学アジア研究所年報、**1**(1990)

付 録

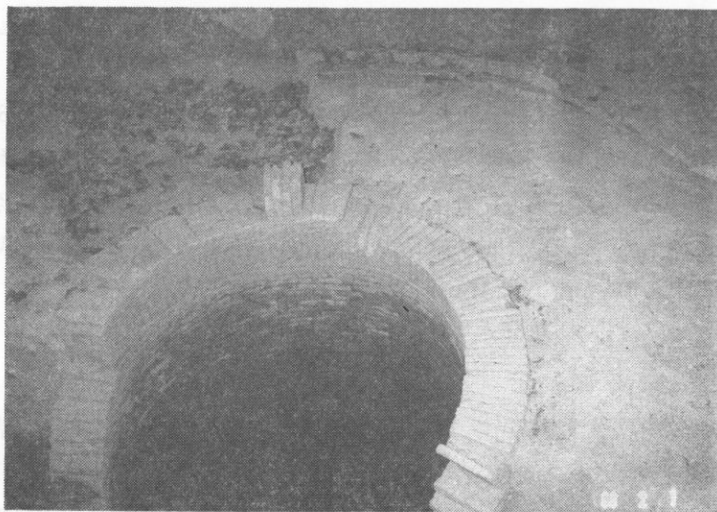


Fig. 10 祇園精舎内の井戸発掘現場



Fig. 11 祇園精舎の井戸発掘現場付近