

インド、Kapilavastu に構築していた
レンガの蛍光 X 線分析

XRF Fundamental Parameter Analysis
on Brick Sample from Kapilavastu, India

沢 勲 Isao SAWA
網 干 善 教 Yoshinori ABOSHI
河 野 久 征 Hisayuki KOHNO

ABSTRACT

Kapilavastu, the capital of the Sakyas, Uttar Pradesh State, north-eastern of India and ancient city. Kapilavastu (Gorakhpur) lying between 26°5'15" and 27°28'45" N. lat, and between 83°7' and 84°29' E. long. ; with an area of 4578 square miles. It was the birth-place of the Buddha.

Composition of the program used for calculating results analyzed by X-Ray fluorescent analysis using the semi-fundamental parameter (SFP) method were evaluated.

Major chemical composition is as follows; ① SiO₂=71.18 Wt%, ② Al₂O₃=15.49 Wt%, ③ Fe₂O₃ =6.37 Wt%, ④ K₂O=3.10 Wt%, ⑤ TiO₂=0.78 Wt%, ⑥ MgO=1.74 Wt%, ⑦ Na₂O=0.76 Wt%, ⑧ CaO=0.42 Wt%, ⑨ P₂O₅=0.10 Wt% and ⑩ MnO=0.07 Wt% etc.

1 はじめに

Kapilavastu 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) バスティ県 (Vastu Prefecture)、カピラヴァースト市 (古代都市) (Kapilavastu・Ancient City) にある。Kapilavastu (Gorakhpur) は、北緯 ($26^{\circ}5'15''\sim 27^{\circ}28'45''$) と東経 ($83^{\circ}7'\sim 84^{\circ}29'$) の地点にある。カピラヴァーストとは、釈尊生誕の国名であり、シャカ (釈迦) 族の領土であった。このカピラとは、サンジャ (数論) 学派の伝説的な祖の名前である。ヴァーストとは、城とか住所の意味である。

カピラ城とは、釈尊が出生し、求道者として道を歩むため生活し、結婚生活をした場所でもある。釈尊は29歳で出家し、35歳で悟り、45歳で仏教の教化活動を行って、80歳で死去した。その80歳の時、故国へ行く途中、食中毒を起してクシンナガラ (Kusinagara) で2本のサーラ樹 (サラソウジュ) の間に横たわって生涯を閉じた。筆者は現地を確認した。

ゴードマ・シッタータにとって、貴重な時代を過ぎたカピラ城の壁材としてのレンガが、どのような成分かを分析した。そして、祇園精舎のレンガと土質について、成分分析の比較を行った。

その結果、ファンダメンタル・パラメーター法によるグループ定量分析値は、次のとおりである。すなわち、 Na_2O (0.76Wt%)、 MgO (1.74Wt%)、 Al_2O_3 (15.49Wt%)、 SiO_2 (71.18Wt%)、 K_2O (3.10Wt%)、 TiO_2 (0.78Wt%) および Fe_2O_3 (6.37Wt%) 等である。

2 蛍光X線強度の理論式

蛍光X線強度に関する理論式は、Sherman (1955)⁽¹⁾ および Criss と Birks⁽²⁾ によって基本的^{(3)~(4)}にまとめられた。この基本式から2次励起強度式の修正を加えた白岩・藤野⁽⁵⁾ (1966) は、実用的な式^{(6)~(8)}として完成させた。

蛍光X線強度の理論式の実用的な前提条件として、次のことが必要である。

①元素は試料中に均一に分布していること、②蛍光X線強度は測定元素の含有率に比例し、同時に共存元素の吸収・励起の影響を受けること、③共存元素の

影響は吸収計数の物理定数を使用して計算すること、④装置・測定条件により発生する蛍光X線強度および検出強度が影響を受けることを基本としている。

ここでは、多層膜の層内、層間の吸収励起を考慮し、単層内の吸収励起の理論強度計算式、Laguitton と Mantler (1977)⁽³⁾ をのみを示す。

$$I_i = I_{pi} + I_{si} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{pi} = \frac{K(\lambda_i)}{\sin \phi_2} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_e^i} \frac{Q_i(\lambda)}{X} \{1 - \exp(-X\rho t)\} I_0(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{si} = \frac{K(\lambda_i)}{2 \sin \phi_2} \sum_j \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_e^i} Q_j(\lambda) Q_i(\lambda_j) I_0(\lambda) \times \left[\int_0^{\pi/2} \left\{ \frac{1 - \exp(-X_1\rho t)}{X_1 X_2} - \frac{1 - \exp(-X_2\rho t)}{X_2 X} \right\} \cdot \tan \theta d\theta + \int_{\pi/2}^{\pi} \left\{ \frac{\exp(-X_2\rho t) - \exp(-X\rho t)}{X_1 X_2} - \frac{1 - \exp(-X\rho t)}{X_2 X} \right\} \cdot \tan \theta d\theta \right] d\lambda \dots\dots\dots(3)$$

$$X = \frac{\mu(\lambda)}{\sin \phi_1} + \frac{\mu(\lambda_i)}{\sin \phi_2}, \quad X_1 = \frac{\mu(\lambda_i)}{\sin \phi_2} + \frac{\mu(\lambda_j)}{\cos \theta}$$

$$X_2 = \frac{\mu(\lambda)}{\sin \phi_1} - \frac{\mu(\lambda_j)}{\cos \theta} \dots\dots\dots(4)$$

上式の積分で、 X_1 または X_2 が近似的に 0 の場合、 θ 積分の中括弧 { } の値は、 $0 - \pi/2$ の積分項では、

$$\{ \} = \{1 - (1 + X\rho t) \exp(-X\rho t) / X^2$$

$\pi/2 - \pi$ の積分項では、

$$\{ \} = -\{1 + (1 + X\rho t) \exp(-X\rho t) / X^2$$

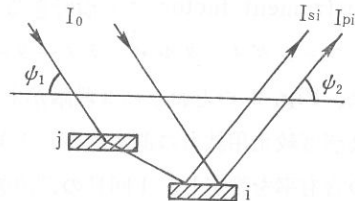
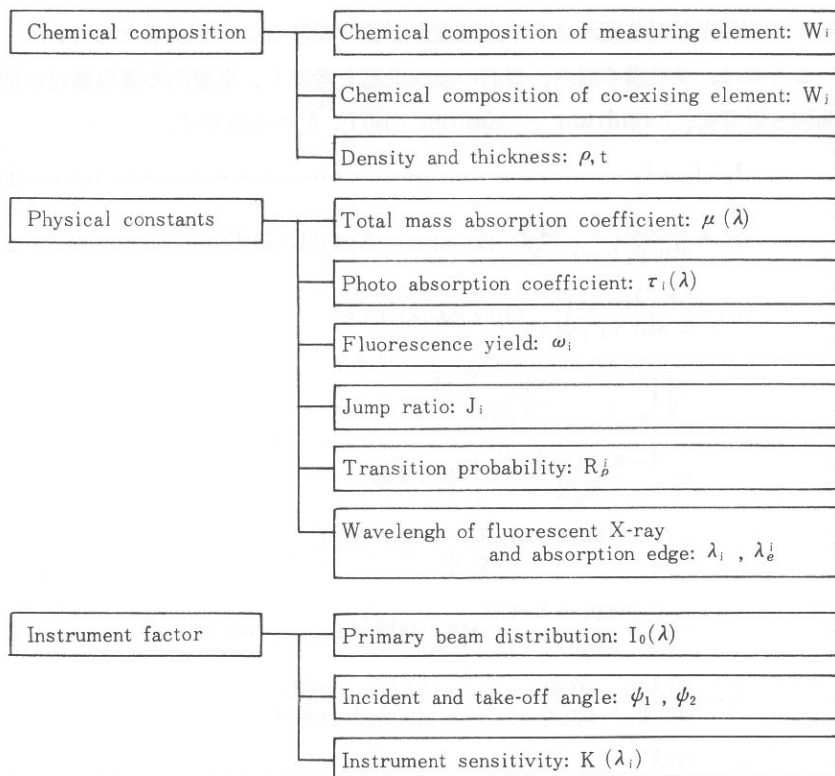


Fig. 1 Primary and Secondary Excitations in Bulk Sample

を用いる。このときの蛍光X線発生モデルを Fig. 1 に示す。

蛍光X線強度の理論的な導出に関して、各係数に関する説明は、Table 1 に

Table 1 Theoretical Equation of Fluorescent X-Ray Intensity



示す。Table 1 では、Chemical composition, Physical constants および Instrument factor に分類できる。

ファンダメンタル・パラメーター法での測定強度の含有率変換を求めるには、Fig. 2 のとおりに3段階がある。①測定強度を理論強度に換算すること、②感度校正用試料の測定強度と未知試料の測定強度を比較する。このときに仮の含有率を設定し、1回目の理論強度を計算する。含有率を再設定(計算強度と①の換算済み測定強度を対比)して、第2回目の理論強度を計算する。③収束条件の設定である。②の手続きをn回繰り返し、変化率が規程値より小さくする。その結果、設定含有率が最終の分析値として、コンピュータの高速処理を行う。

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

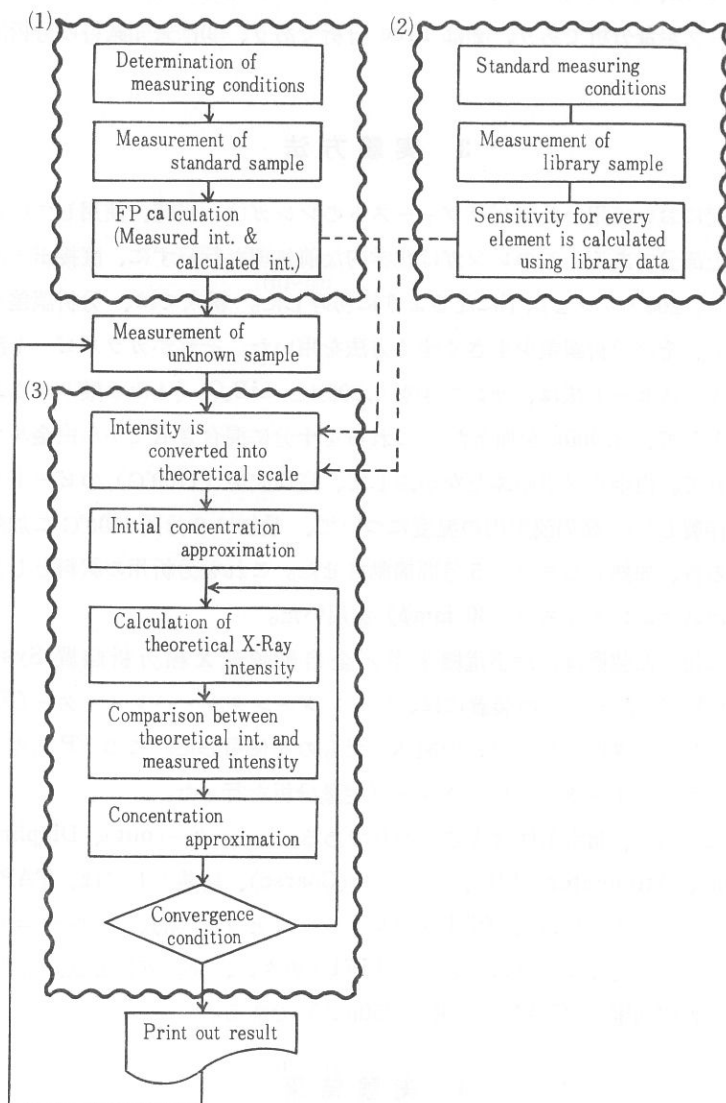


Fig. 2 Outline of Fundamental Parameter Method

- (1) Group analysis (2) Free analysis
(3) Unknown sample analysis (calculation)

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

Fig. 2 は、ファンダメンタル・パラメーター法の概要である。ここで、(1)はグループ定量分析であり、(2)は Free 分析であり、(3)は未知試料の分析法である。

3 実験方法

本研究において用いたカピラヴァーストのレンガは、当時、使用していた天竺蘭の上半分である。このレンガは化学的な前処理を行わずに、直接ボールミルを用い、200メッシュ以下になるように^{(10)~(17)}粉砕した。粉末では、分析誤差が大きいため、その分析誤差を小さくする方法を用いた。それがガラスビート法である。ガラスビート法は、サンプルを 0,300g と LiB_4O_7 (4 ホウ酸リチウム) を融剤として、3.000g を加えた。これらを十分に混合させてから白金ルツボに入れて、白金ルツボのふたをかぶして、高周波炉 (1100°C) のビードサンプリングで作製した。高周波炉内の温度について、最初は 2 分間 1100°C に加熱して、その後、加熱したままで 5 分間揺動させた。これを分析用の試料とした。測定にはステンレスマスク (30 mmφ) を用いた。

分析に用いた装置は、理学電機工業 / 全自動蛍光 X 線分析装置 System Device 3270 である。この装置には、ファンダメンタル・パラメーター (FP) 法のコンピュータ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。

分析において、測定条件は次のとおりである。フィルター(out)、Diaphragm (30mm)、Attenuator (1/1)、スリット (Coarse)、結晶としては、TAP (ナトリウムとマグネシウム)、PET (アルミニウムとケイ素)、ゲルマニウム (隣、カリウムとカルシウム) および LiF1 (チタン、マンガンと鉄) であり、X線管内の印加電圧 (50kV) と電流 (50mA) である。

4 実験結果^{(10)~(17)}

4.1 酸化ナトリウム (Na_2O) の分析⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

酸化ナトリウムの実験条件として、2 の理論式と実験方法の他に、結晶

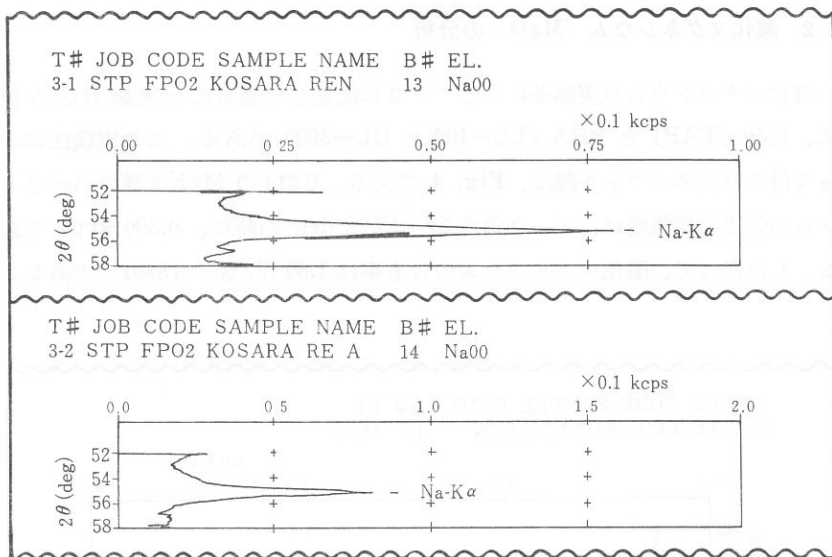


Fig. 3 Chart Recording of NaK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

(TAP) 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. 3 である。B#14の NaK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=55.12$ deg の時に、0.064 kecps である。したがって、酸化ナトリウムの含有率は0.81 Wt % (S8891) 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、

$$X_{Na_2O} = -0.064356 + 10.165 I_{Na} \dots\dots\dots(5)$$

である。ここで、 X_{Na_2O} 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。

4.2 酸化マグネシウム (MgO)⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ の分析

酸化マグネシウムの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、結晶 (TAP) と PHA (LL=100 と UL=300) がある。この実験法によって得られたスペクトル線は、Fig. 4 である。B#14 の MgK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=45.22$ deg の時に、0.390 kcps である。したがって、酸化マグネシウムの含有率は 1.80 Wt% (S 8891) である。

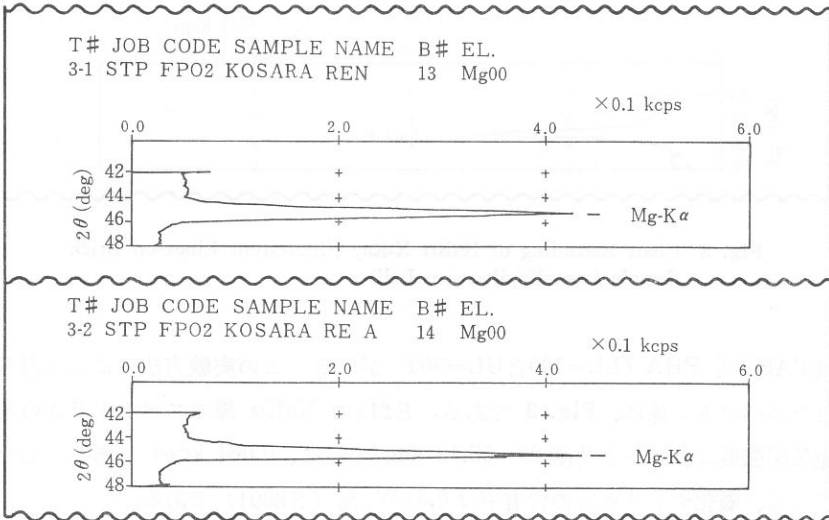


Fig. 4 Chart Recording of MgK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

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、

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

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

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

度である。

4.3 酸化アルミニウム (Al_2O_3) の分析 ⁽¹²⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁷⁾

酸化アルミニウムの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、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. 5 である。B#14 の $AlK\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=145.12$ deg の時に、10.772 kcps である。したがって、酸化マグネシウムの含有率は 16.00 Wt % (S8891) である。

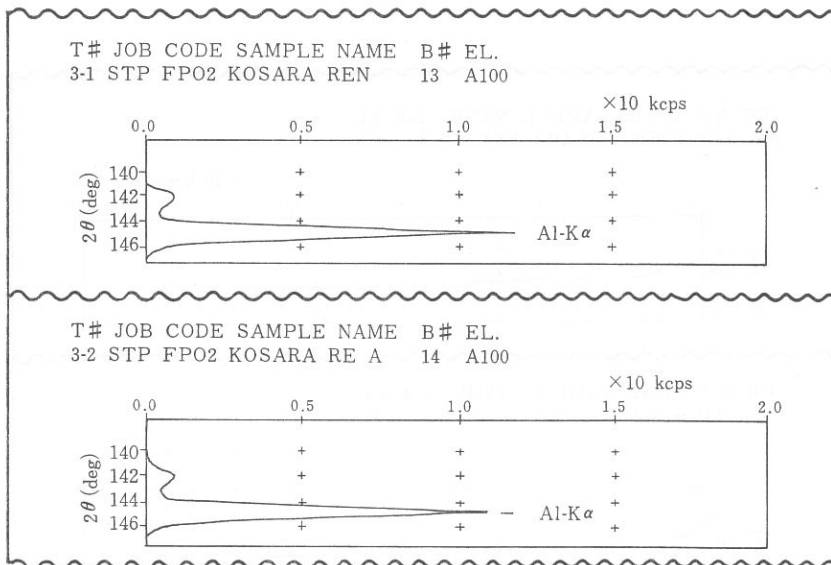


Fig. 5 Chart Recording of $AlK\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

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、

$$X_{Al_2O_3} = 0.73069 + 1.2826 I_{Al} \dots\dots\dots(7)$$

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

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。

4.4 けい酸 (SiO_2) の分析⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

けい酸の実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、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. 6 である。B#14 の $SiK\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=109.21$ deg の時に、41.887 kcps である。したがって、けい酸の含有率は 69.00 Wt % (S8891) である。

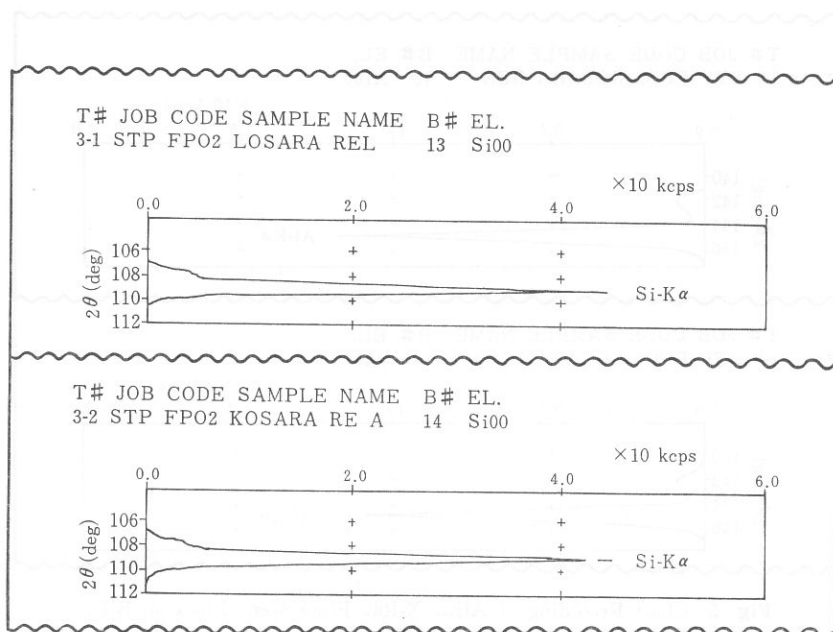


Fig. 6 Chart Recording of $SiK\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

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、

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

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

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。

4.5 五酸化燐 (P_2O_5) の分析⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

五酸化燐の実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、結晶 (Ge) と 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. 7 である。B#14 の $\text{PK}\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=141.03$ deg の時に、0.235 kcps である。したがって、五酸化燐の含有率は 0.10 $\text{Wt} \%$ (S8891) である。

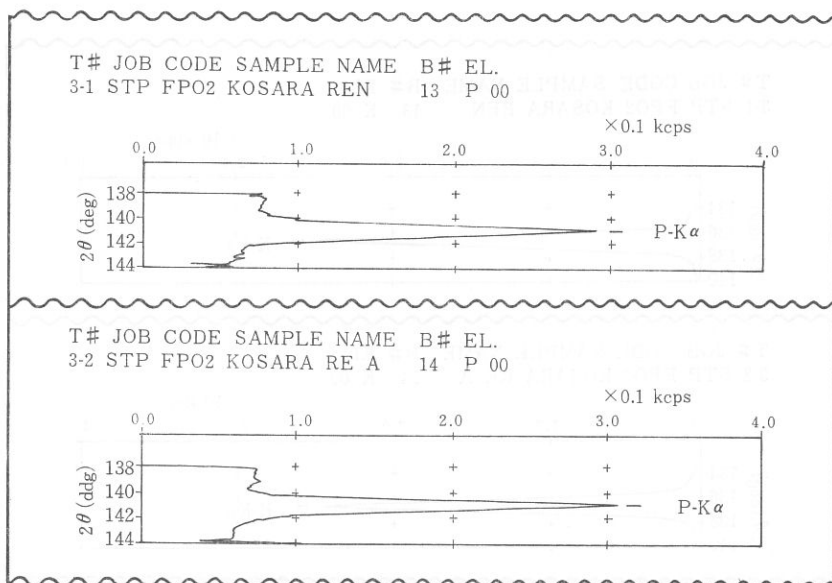


Fig. 7 Chart Recording of $\text{PK}\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

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。

4.6 酸化カリウム K_2O の分析⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

酸化カリウムの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、結晶 (LiF1) と 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. 8 である。B#14 の $KK\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=136.69$ deg の時に、23.783 kcps である。したがって、酸化カリウムの含有率は 3.20 $W_t \%$ (S 8891) である。

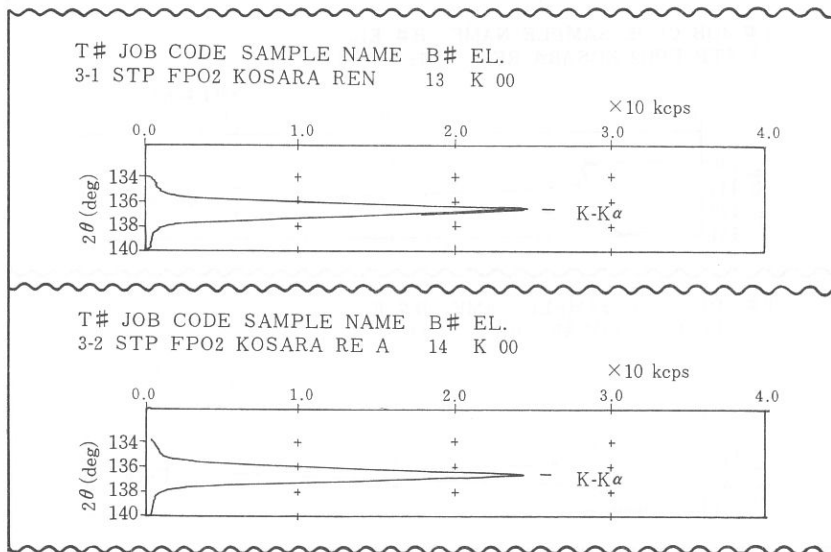


Fig. 8 Chart Recording of $KK\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

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。

4.7 酸化カルシウム (CaO) ⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ の分析

酸化カルシウムの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、結晶 (LiF1) と 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. 9 である。B#14 の $CaK\alpha$ 線のスペクトラ

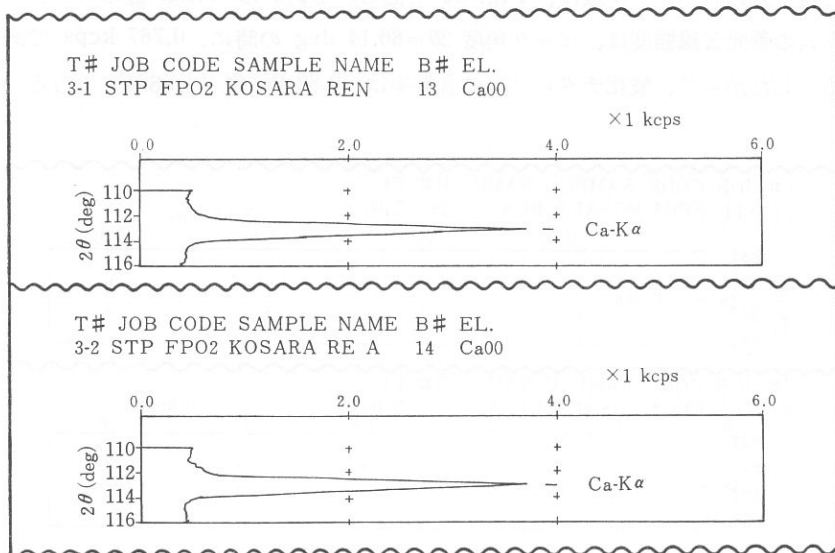


Fig. 9 Chart Recording of $CaK\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

ムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=113.09$ deg の時に、3.274 kcps である。したがって、酸化カルシウムの含有率は 0.52 Wt % (S8891) 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、

$$X_{CaO} = 0.061604 + 0.27943 I_{Ca} \dots\dots\dots(1)$$

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。

4.8 酸化チタニウム (TiO₂) の分析 ⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

酸化チタニウムの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、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. 10 である。B#14 の TiK α 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=86.14$ deg の時に、0.787 kcps である。したがって、酸化チタニウムの含有率は、0.82 Wt % (S8891) である。

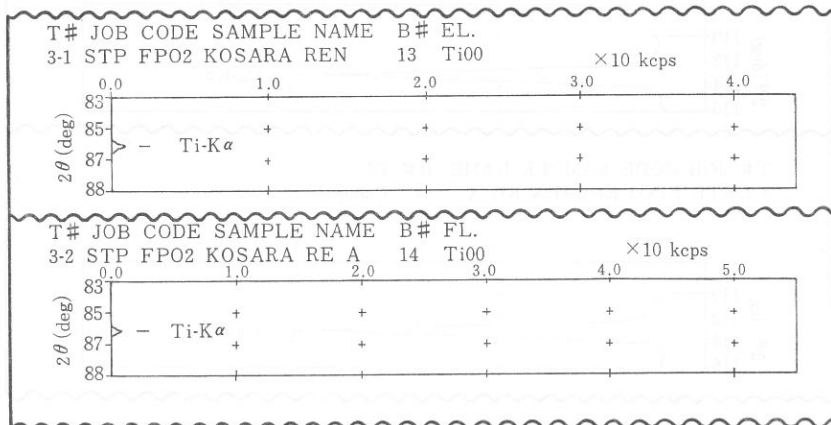


Fig. 10 Chart Recording of TiK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、河野）

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

4.9 酸化マンガン (MnO) ⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ の分析

酸化マンガンの実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、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. 11 である。B#14 の $\text{MnK}\alpha$ 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=62.97$ deg の時に、0.543 kecps である。したがって、酸化マンガンの含有率は、0.086 Wt % (S8891) 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、

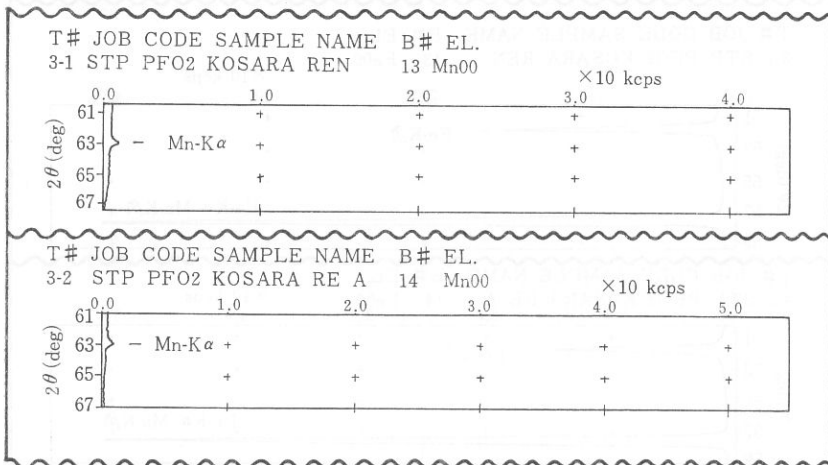


Fig. 11 Chart Recording of $\text{MnK}\alpha$ X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

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

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。

4.10 酸化第二鉄 (Fe_2O_3) の分析 ⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

酸化第二鉄の実験条件として、2 に記述した理論式と実験方法の他に、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. 12 である。B#14の FeK β 1 線のスペクトラムの蛍光X線強度は、ピーク角度 $2\theta=51.73$ deg の時に、13.191 kcps である。したがって、酸化第二鉄の含有率は、8.00 Wt % (S8891) 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、

$$X_{Fe_2O_3} = 0.067184 + 0.76947 I_{Fe} \dots\dots\dots(14)$$

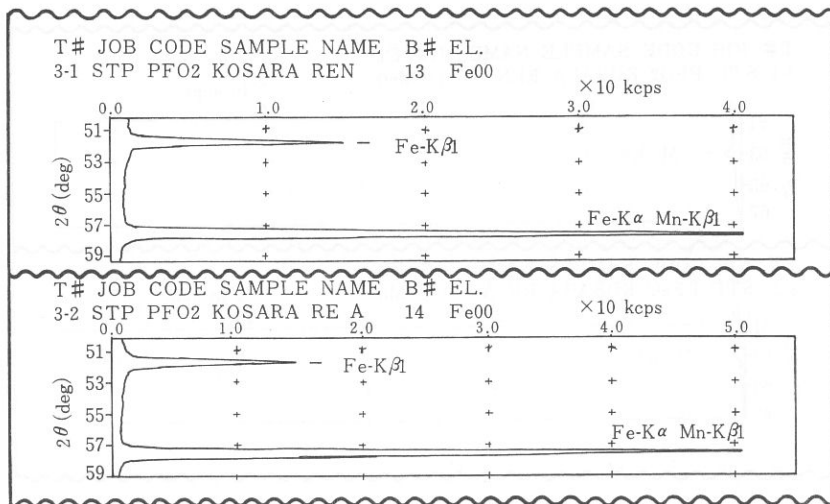


Fig. 12 Chart Recording of FeK α X-Ray Fluorescent Lines on Brick Sample from Kapilavastu, India

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、河野）

である。

ここで、 $X_{Fe_2O_3}$ は Fe_2O_3 の含有率であり、 I_{Fe} は鉄の蛍光X線強度である。

5 検 討

5.1 自動定性オーダー分析の検討⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

インドの東北地方にあるカピラヴァースト城に構築していたレンガについて自動定性分析を行った。この自動定性分析に関する各元素は、Table 2 のとおりである。

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

族 周期	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VI	
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												典型金属元素 (水素包含)
			典型金属元素												

Table 2 に表示している各元素のグループは、次のとおりである。すなわち、第 I A 族の軽金属では、1 の水素、11 のナトリウムと 19 のカリウムがあり、第 II A 族の軽金属では、12 のマグネシウム、20 のカルシウムおよび 38 のストロンチウムがあり、さらに第 IV B 族の重金属では、22 のチタンおよび 40 のジルコニウムなどが含まれている。他は各族に対してそれぞれ 1 元素しか含まれていない。一方、第 3 周期には、11 のナトリウム、12 のマグネシウム、13 のアルミニウム、14 のケイ素、15 のリンおよび 16 のイオウの 6 元素が含まれている。同様に、第 4 周期には、19 のカリウム、20 のカルシウム、22 のチタン、25 のマンガン、26 の鉄および 30 の亜鉛がある。さらに、第 5 と第 6 周期には、それぞれ 38 のストロンチウム、40 のジルコニウムと 79 の金が含まれている。

この成分の中で、半導体の材料である 14 のケイ素が沢山含まれていること

Table 3 Order Analytical Results by Fundamental Parameter Method of Brick Sample from Kapilavastu, India

Component	Order Analysis					Group Analysis	BCS 375	
	# 13	# 14					EXP	STD
		S8891	S8892	S8961	S8962			
Na ₂ O	0.78	0.81	0.82	0.94	0.95	0.76	10.00	10.40
MgO	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.74		0.05
Al ₂ O ₃	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	15.49	21.00	19.80
SiO ₂	70.00	69.00	69.00	69.00	70.00	71.18	67.00	67.10
P ₂ O ₅	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.10	0.02	
SO ₃	0.04	0.04	0.04	0.07	0.07		0.17	
K ₂ O	3.20	3.20	3.20	3.40	3.40	3.10	0.80	0.79
CaO	0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.42	0.96	0.89
TiO ₂	0.83	0.82	0.84	0.86	0.87	0.78		0.38
MnO	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07		
Fe ₂ O ₃	6.70	8.00	6.80	7.20	6.00	6.37	0.14	0.12
ZnO	0.02	0.02	0.02				0.02	
SrO	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace		Trace	
ZrO ₂	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02		0.02	
Au ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03		0.03	

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

と、79の金が含まれていることは興味を引く所である。したがって、これらの各成分に対して、自動定性オーダー分析を行った結果を、Table 3 に表示した。

Table 3 における自動定性オーダー分析は、#13と#14の4回と合わせて5回も行った。同様な資料の経年変化とか、装置の性能とか、技術の進歩等に影響があるために数回も行った。#13は自動分析値、S8891とS8892は1988年9月に測定、S8961とS8962は1989年6月に測定を行った結果である。カピラヴァースト城に構築していたレンガの中に SiO_2 の含有率が、69~70 Wt % が含まれている。これは他の所に見られない程の多い量である。ケイ素は温度依存性が大きく、時には絶縁体になったり、時には最高の導体に変化できるマジック石と言われている。次に多いのは、 Al_2O_3 で 16 Wt % である。アルミニウムは軽金属で応用面が広いことは周知の事実である。第3番目に多いのは、 Fe_2O_3 で 6.00~8.00 Wt % である。この SiO_2 、 Al_2O_3 および Fe_2O_3 の含有率を合わせると、約90 Wt % になっている。ゆえに、他の12コンポネントは約10 Wt %

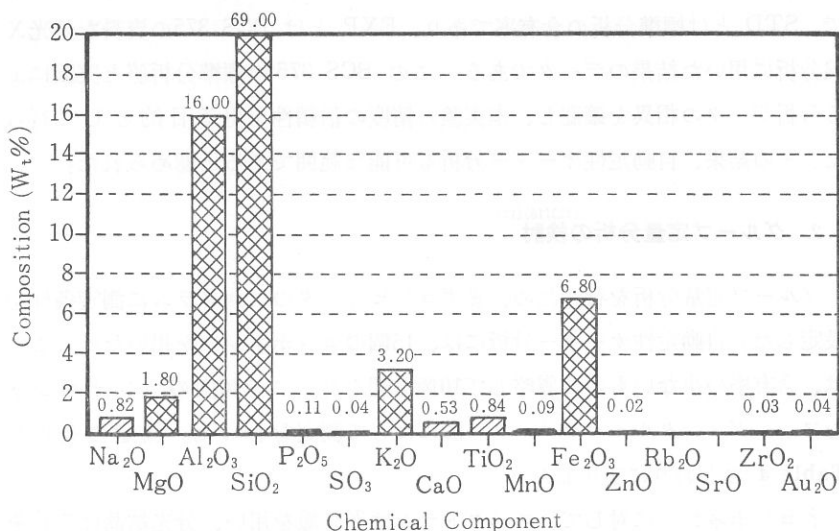


Fig. 13 Relation between X-Ray Fluorescent Composition Data and Chemical Component of Brick Sample from Kapilavastu, India (S8892 Data in Table 3)

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

になっている。一方、特に興味があるのは、 Au_2O が 0.03~0.04 Wt% が含まれていることである。金が含まれていることも特筆すべきである。

釈尊の成果期に生活した城の中で、特に冥想した周囲のレンガは、オーラーが発生する。いや、やすらぎや調和が与えられる地域の特性があって、自ら選んで生きた土地であると想像できる。

Table 3 における S8892 のデータを図示したのが、Fig. 13 である。

Fig. 13 において、含有率が 10 Wt% 以上のものは、 SiO_2 (69Wt%)、 Al_2O_3 (16Wt%) であり、1 Wt% 以上は、 Fe_2O_3 (6.8Wt%)、 K_2O (3.2Wt%) および MgO (1.8Wt%) の 5 種のコンポネントしか存在していないのである。

この 1 Wt% 以上の含有率は、第 3 周期の 12 のマグネシウム、13 のアルミニウムおよび 14 のケイ素の順になり、第 4 周期の 19 のカリウムおよび 26 の鉄が含まれている。いずれも、第 3 と第 4 周期に多いことがわかった。

一方、Table 3 の BCS とは、British Chemical Standard の略で、375 とはカピラヴァースト城に構築していたレンガに近い成分値である。この中で、STD とは標準分析の含有率であり、EXP とは BCS 375 の資料を蛍光 X 線分析に用いた結果のデータである。この BCS 375 の標準分析値と実験による分析データの相異を確認し、本実験の精度の信頼性を得る目的として行った。その結果、自動定性オーダー分析も可能な範囲であると認められた。

5.2 グループ定量分析の検討⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

グループ定量分析を行うため、まずコンピュータのプログラムに測定条件を設定した。自動定性オーダー分析には、15 個のコンポネントを用いた。ここでは、含有率の少ないものは省略して 10 個を選んだ。この 10 個のコンポネントをファンダメンタル・パラメーター法によって測定を行った。測定条件を Table 4 のとおりに表示した。

各コンポネントに対して、スペクトラムは $K\alpha$ 線を用い、分光結晶はそれぞれ TAP、PET、Ge、LiF1 を用いた。PHA の下限は 100 と 150 であり、上限は 300 である。ピークの角度 2θ に対して、設定の測定時間 (FT) は 40、60 お

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析 (沢、網干、河野)

Table 4 Relation between Peak Point and Back Ground (BG. 1 and BG. 2) on Component Spectrum on Brick Sample from Kapilavastu, India

Component	Spectrum	Analyzing Crystal	PHA		Peak		BG. 1		BG. 2	
			LL	UL	2θ(°)	FT(sec)	2θ(°)	FT(sec)	2θ(°)	FT(sec)
Na ₂ O	NaKα	TAP	100	300	55.20	100	53.50	50	56.88	50
MgO	MgKα	TAP	100	300	45.28	100	43.35	50	47.23	50
Al ₂ O ₃	AlKα	PET	100	300	144.78	40	141.00	20	147.00	20
SiO ₂	SiKα	PET	100	300	109.10	40	106.50	20	111.10	20
P ₂ O ₅	PKα	Ge	150	300	141.00	40	139.35	20	142.55	20
K ₂ O	KKα	LiF1	150	300	69.95	100	67.50	50	71.93	50
CaO	CaKα	LiF1	150	300	61.93	60	60.35	30	63.38	30
TiO ₂	TiKα	LiF1	100	300	86.16	100	85.56	50	86.84	50
MnO	MnKα	LiF1	100	300	63.01	40	62.12	20	63.99	20
Fe ₂ O ₃	FeKα	LiF1	100	300	57.55	40	56.68	20	58.41	20

よび 100 sec に設定したのがピークポジションである。ピークポジションの前と後のベースラインを、それぞれ BG. 1 と BG. 2 とした。

各スペクトルの X線強度に対して、Peak、BG. 1 および BG. 2 の値から正味の X線強度 (Net Intensity) を算出した。すなわち、正味 (Net) の蛍光 X線強度は、次のとおりである。

$$I_N = I_P - (I_{BG,1} \sim I_{BG,2}) \dots\dots\dots(15)$$

- ここで、 I_N ; 正味の蛍光 X線強度
- I_P ; ピークポジションでの蛍光 X線強度
- $I_{BG,1}$; バックグラウンド 1 の蛍光 X線強度
- $I_{BG,2}$; バックグラウンド 2 の蛍光 X線強度

以上のような条件にしたがって、グループ定量分析の結果は、Table 5 のとおりである。

Table 5 において、各コンポーネントのスペクトラムに対して、Peak、BG. 1

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光 X 線分析 (沢、網干、河野)

Table 5 Group Analytical Results by Fundamental Parameter (thick)
Method on Brick Sample from Kapilavastu, India

Component	Spectrum	Raw Int. (kcps)			Net-Intensity (kcps)	Unnormalized (W _t %)	Normalized (W _t %)	Results (W _t %)
		Peak	BG. 1	BG. 2				
Na ₂ O	NaKα	0.1113	0.0382	0.0330	0.0757	0.735	0.755	0.76
MgO	MgKα	0.5683	0.0859	0.0569	0.4968	1.695	1.741	1.74
Al ₂ O ₃	AlKα	11.675	0.1076	0.1091	11.566	15.082	15.488	15.49
SiO ₂	SiKα	44.578	0.2142	0.1898	44.378	69.311	71.178	71.18
P ₂ O ₅	PKα	0.2984	0.0778	0.0696	0.2248	0.095	0.098	0.10
K ₂ O	KKα	7.9724	0.3792	0.2868	7.6443	3.023	3.104	3.10
CaO	CaKα	2.1549	0.5571	0.8901	1.4242	0.410	0.421	0.42
TiO ₂	TiKα	0.9497	0.1276	0.1134	0.8288	0.761	0.782	0.78
MnO	MnKα	0.9948	0.4730	0.4126	0.5505	0.065	0.067	0.07
Fe ₂ O ₃	FeKα	71.649	1.0022	0.9015	70.697	6.200	6.367	6.37
TOTAL						97.376	100.001	100.01

および BG. 2 の蛍光 X 線強度を測定した。この測定値が、すなわち Raw Intensity である。この Raw Intensity を式(4)に代入して計算処理を行うと、Net-Intensity の値になる。この Net-Intensity の値を用いて、Unnormalized 含有率を算出した。この Unnormalized の含有率は、収束条件を満足した最後の値である。この Unnormalized の値から全体を 100 W_t % になるように換算すれば、Normalized 含有率になる。このような条件から情報処理を行った最終的な値が、Results のデータである。この Results のデータは、化学分析の結果と同様な信頼性をもった処理方法である。

この高い信頼性をもった最終的なデータに対して、Fig. 14 のとおりに表示した。

Fig. 14 はセミ・ログのグラフを用いた。その理由は、1 W_t % 以下の含有率が多いためである。含有率の多い順によれば、SiO₂ (71.18W_t%)、Al₂O₃ (15.49W_t%)、Fe₂O₃ (6.37W_t%)、K₂O (3.10W_t%) および MgO (1.74W_t%) などである。これらは 1 W_t % 以上である。この中で上位の 3 つのコンポネントを合わせると、93.04 W_t % になっている。これは、祇園精舎のレンガ (92.21 W_t%) と祇園精舎の土質 (89.44 W_t%) とを比較すれば、それぞれ

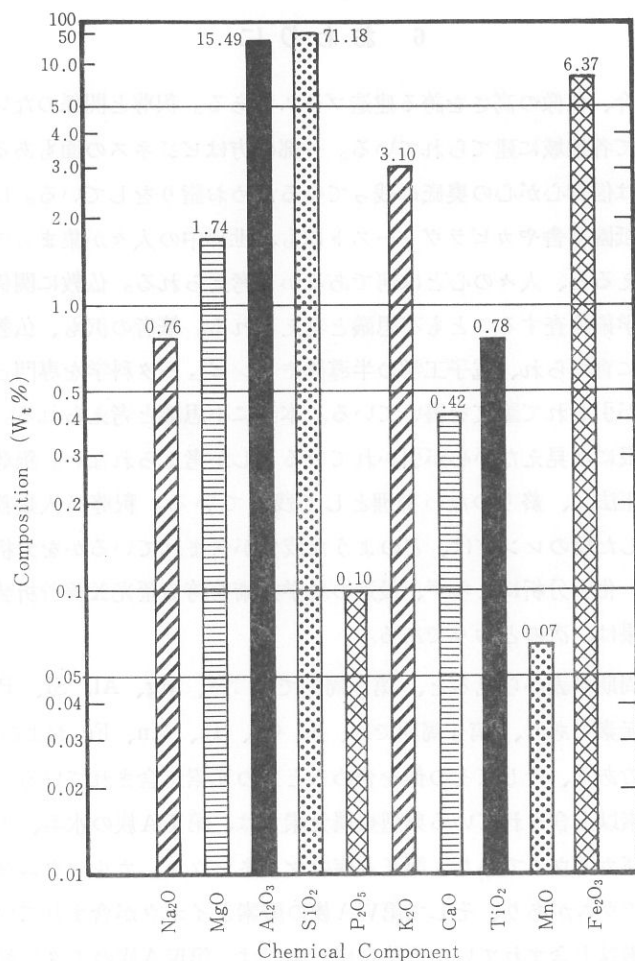


Fig. 14 Relation between X-Ray Fluorescent Composition Data and Chemical Component of Brick Sample from Kapilavastu, India

0.83 Wt %と 0.36 Wt %も多くなっている。いずれも釈尊に関する祇園精舎のレンガや土質、およびカピラヴァースト城の成分分析において、SiO₂の含有率が70 Wt %も達していることが、物質世界と精神世界に興味を引く所である。

6 おわりに

日本は、今、仏像の高さを誇る建造ブームである。釈尊と関係のない人が興味を引かれて各地域に建てられている。一部の方はビジネスの面もある。けれども、大衆は信仰心が心の奥底に残っているためお詣りをしている。はるかなるインドの祇園精舎やカピラヴァーストにも、世界中の人々が集まっている。これから考えると、人々の心とは何であるかと考えられる。仏教に関係のない関西大学が学術論査することも不思議と考えられる。筆者の沢も、仏教に関係のない環境に育てられ、電子工学の半導体やコンピュータ科学を専門としているのに興味が引かれて論文を書いている。本当に不思議と考えられる。この不思議とは、眼には見えない心が引かれているとしか考えられない。釈尊が教えた八正道の正法は、終りのない神理として残っている。釈尊が人類救済のため、座禅をした所のレンガは、どのような成分が含まれているかを分析した。その分析は、化学分析によらず、最近の科学技術を誇る蛍光X線分析装置である。その結果は、次のとおりである。

- (1) 化学周期律表から見ると、第3周期では Na、Mg、Al、Si、P および S の6元素であり、第4周期では、K、Ca、Ti、Mn、Fe および Zn の6元素であり、そしてその他を含めると17の元素が含まれている。
- (2) 2元素以上含まれている典型金属元素では、第I A族の水素、ナトリウムおよびカリウムであり、第II A族のマグネシウム、カルシウムおよびストロンチウムがあり、そして第VI A族の酸素とイオウが含まれている。
- (3) 2元素以上含まれている遷移金属元素では、第IV A族のチタンおよびジルコニウムである。
- (4) S8962データの自動定性オーダー分析では、 SiO_2 (70.00Wt%)、 Al_2O_3 (16.00Wt%)、 Fe_2O_3 (6.00Wt%)、 K_2O (3.40Wt%) および MgO (1.80Wt%) などが1Wt%以上である。金の成分である Au_2O は0.03Wt% も含まれている。この5成分を合わせると、97.2Wt%である。
- (5) グループ定量分析においては、 SiO_2 (71.18Wt%)、 Al_2O_3 (15.49Wt%)、 Fe_2O_3 (6.37Wt%)、 K_2O (3.10Wt%) および MgO (1.74Wt%) などが

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光 X 線分析 (沢、網干、河野)

1 Wt % 以上である。この 5 成分を合わせると 97.88 Wt % である。

- (6) グループ定量分析は、自動定性オーダー分析値と比べると、すなわち(4)と(5)において、(5)のグループ定量分析値が多く 0.26 Wt % である。

謝 辞

この論文の作成に当ってご助言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に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) J. Sherman : Spectrochem. Acta, **1**(1955), 283.
- (2) J.W. Criss and L.S. Birks : Anal. Chem., **40** (1968), 1080.
- (3) D. Laguitton, M. Mantler : Adv. X-Ray Anal., **20** (1977), 515.
- (4) D. Laguitton, W. Parrish : Anal. Chem., **49** (1977), 1152.
- (5) T. Shiraiwa and N. Fujino : Jpn. J. Appl. Phys., **5** (1966), 886.
- (6) K. Ohno, J. Fujiwara, I. Morimoto : X-Ray Spectrometry, **9** (1980), 138.
- (7) 河野、村田、片岡、新井 : X線分析の進歩, **19** (1988), 307.
- (8) B.A.R. Vrebos, P.A. Pella : X-Ray Spectrometry, **17** (1988), 3.
- (9) 片岡由行 : The Rigaku-Denki Journal, **20** (1989), 28.
- (10) 金景勲、片山佐一 : 分析化学, **20** (1971), 29.
- (11) 沢 勲 : 大阪経済法科大学論集, **34** (1989), 23.
- (12) 沢 勲、村田 守 : 大阪経済法科大学論集, **35** (1989), 63.
- (13) 沢 勲、高 文玉、金 景植 : 洞窟, **19** (1989), 29.
- (14) 沢 勲、洪 始煥、村田 守 : 洞窟, **20** (1989), 34.
- (15) 沢 勲、網干善教、村田 守 : 大阪経済法科大学論集, **39** (1990), 23.
- (16) 沢 勲、網干善教、村田 守 : 大阪経済法科大学論集, **40** (1990), 25.
- (17) 沢 勲、網干善教、村田 守 : 大阪経済法科大学論集, **41** (1990), 1.

インド、Kapilavastu に構築していたレンガの蛍光X線分析（沢、網干、河野）



Fig. 15 釈尊が禪定していたカピラヴァーストの地下室を上部より撮影した。



Fig. 16 釈尊が禪定していたカピラヴァーストの地下室の通路口に立っている調査団員。