

# 須恵器産地分析に関する基礎研究 第一報

## 大阪陶邑窯跡 (1)

三	辻	利	一	*
武	内	孝	之	**
中	村		浩	***
桂	川	秀	嗣	
平	賀	章	三	
梅	本	秀	樹	

### 1 序

本邦で最初にロクロを使用して成形し、窯を用いて焼成した土器は須恵器である。この点で、須恵器は、それ以前の縄文式土器、弥生式土器および同時期の土師器と本質的に異なる。この須恵器は、5世紀から12世紀までの約700年間にわたって、全国各地の窯で生産されつづけた。<sup>1,2)</sup> 一方、平城宮跡はじめ各地の遺跡・古墳からも数多くの須恵器が発掘されている。これらの須恵器が、何処の窯で生産されたものであるかを知ることは、古代の社会交流を考察する上に興味深い。このため、考古学者も、器形や模様などの考古学的見地から、須恵器の産地推定を試みて来た。近年、自然科学的手法を用いて、この考古学的推定を補おうとする傾向が出て来た。その一例は、土器(焼成粘土)中に残存している鉱物種から産地を推定しようとするものである。<sup>3)</sup> これには、若干の欠点がある。須恵器の粘土粒子は細かく、普通の顕微鏡観察には不向きである上に、X線回折スペクトルでも、石英、クリストバライト、ムライト等の数種の鉱物によるピークに限られ、これらの組合わせから、産地を推定することはやや困難である。もう一つの例は化学分析による方法である。<sup>4,5)</sup> 勿論、これらの方法を用いて産地分析をする上には須恵器陶土は原産地に特異的な鉱物組成や化学組成をもつという地球化学的前提が基礎となっている。しかしながら、仮に、須恵器陶土はもっぱら一種類の粘土を用い、後代にみられるように、数種類の粘土または砂を混合することがなかったとしても、「これが須恵器粘土である」という確証のある粘土は皆無に近いため、上述の地球化学的前提を直接適用する訳にはいかない。そこで、我々は、窯跡出土の須恵器を分析して、窯の平均化学組成を固定し、古墳・遺跡出土の須恵器の分析結果から、これを窯に結びつけることが、須恵器の産地分析の具体的方法であると考えた。この方法が実際に適用出来るか、否かを決めるには、若干の基礎データが必要となる。すなわち、須恵器一個体の化学組成が、ある程度均質であるか、否か。また、一窯跡から多数の須恵器片が発掘されるが、これらを分析して平均化学組成

\* 京都大原子炉

\*\* 大阪府教委

\*\*\* 東邦大・教養・物理

が各窯跡ごとに固定出来るか、否か。窯または産出地域が異なれば見分けが出来る程度に、化学組成が異なるか、否か。といった点である。これらの基礎的な疑問に答えるためには、窯跡出土の須恵器を組織的に分析することが必要となる。この目的のためには、全国各地の古窯跡群が実験対象となるが、とりわけ須恵器編年の、I期からV期にわたる全期間の窯跡を有する大阪陶邑古窯跡群は、最良の実験場を提供してくれる。今回は、我々の考えた須恵器産地分析の方法が、可能であるか、否かという観点から、窯跡出土須恵器の分析を試みた。分析方法は、中性子放射化分析法がとられた。放射化分析法の利点は、(1)試料の量が少量でよい。通常20~200mgである。(2)同時多元素定量が可能である。(今回は15元素)。(3)微量元素の定量が可能である。という点にある。今日、これらの点で他法に比べて、放射化分析は最も秀れていると考えられている。以下に、今回、放射化分析した結果について報告する。

## 2 実験

須恵器試料は、大阪陶邑出土のものについては、大阪府教育委員会から提供を受けたものである。

これらの須恵器試料は、蒸留水で十分水洗したのち、超硬合金の粉砕器(タングステンカーバイド製、硬度:9.5~9.8)で小片に割り、さらに同材質製の乳鉢で細砕した。粉末は空気乾燥器の内で、約100℃で2時間乾燥したのち、50mlの試料ビンにつめて保存した。

中性子放射化は2つの方法で行われた。(A法)試料ビンより、約20mgの須恵器粉末を採取し、ポリエチレン管に封入して、京大原子炉圧気輸送管Pn-1(熱中性子束: $1.9 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ )で10分間照射した。冷却数時間後に $\gamma$ 線スペクトルを測定した。(B法)試料ビンより約200mgの須恵器粉末を採取し、ポリエチレン管に封入し、Pn-3(熱中性子束: $2.3 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ )で1時間照射した。数日間、冷却してのち、 $\gamma$ 線スペクトルを測定した。 $\gamma$ 線スペクトルの測定にはGe-Li検出器を2000チャンネル波高分析器に連結して使用した。定量法としては、単一標準法を採用した。A試料に対しては標準試料JB-1の1.369 MeVの $^{24}\text{Na}$ のピークを用い、またB試料に対しては、JB-1の1.292 MeVの $^{59}\text{Fe}$ の光電ピークをモノスタンダードとして定量した。定量に伴う計算はすべて、京大原子炉の大型電子計算機によった。

### 3 結果と考察

はじめに、本法による分析結果がどの程度に有効であるかをみるために、標準試料 JB-1, JG-1 を用いて各元素を定量した。表 1 に、その結果が示されている。各数値は、ppm 単位で表示されており、 $\bar{X}$  は平均値、 $V(\%)$  は変動係数である。変動係数は次式に従って計算された。

$$V(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|^2 / (n-1)}{\bar{X}^2}} \times 100$$

$n$  : 分析個数

$X_i$  : 個々の定量値

$\bar{X}$  : 平均値

表 1 より、一般にどの元素についても、変動係数は 15% 以下であった。K の変動係数が大きくなった理由として、次のことが考えられる。JB-1 では Na, Mn 量が比較的多く、これに対して K 量は比較的少ない。そのため、 $\gamma$  線スペクトルでは K の光電ピークは、Mn, Na のコンプトン散乱によるバックグラウンドの上に、ほんの少し頭を出しているだけで、K のピークの計数誤差が大きくなったとみられる。しかし、JG-1 や須恵器試料では K 量が比較的多く、逆に Mn 量が少ない所からこの測定条件から K の光電ピークを十分観測することが出来た。他の元素で変動係数が大きいのは近辺にある他の元素のピークによる妨害に起因する。表 1 には、他法による分析結果<sup>6)</sup>も並列してある。これらを比較すれば、Na, K, Mn, Fe, Th, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Rb, Cs は、他法の結果とほぼ一致したが、Sc, Co は少な目に、逆に Lu は多い目の定量値が得られた。以上の結果、定量値を相対的に比較して議論する限り、これら 15 元素の定量値は十分に有効であることがわかった。

次に、須恵器の分析結果を示そう。まず、須恵器一個体の化学組成からみた均質度について検討した。大阪陶器、光明池地区の KM-114 号窯跡の窯体内から発掘した比較的破損の少ない<sup>ツキ</sup>環について、ミの底部 2 個所、フタ 1 個所、フタツマミを切りとって粉末にし、分析した結果を表 2 に示してある。どの元素についても、定量値はよく一致しており、変動係数は 10% 以下であることがわかる。この変動係数値は、標準試料のそれに準ずるものである。標準試料は均質であると考えられているから、同様に須恵器一個体も、均質であると考えられる。もし、須恵器の不均質度が大きかったら、サンプリングは非常に難しくなり、一個体の化学組成は固定し難くなる。

表1 標準試料の分析値 ( ppm )

	Na	K	Mn	Fe	Sc	Th	La	Ce	Sm	Eu	Lu	Yb	Rb	Cs	Co
JB - 1				64600	21.2	9.6	33.5	68	4.8	1.2	0.5	2.2	31	0.9	30.3
				63400	20.7	9.3	35.1	62	4.1	1.1	0.6	2.0	42	1.0	28.1
		13100	1260	62100	21.9	10.0		64	4.3	1.4	0.7	1.9	36	0.8	31.5
		13600	1200	65700	19.8	11.0	36.7	62	4.1	1.2	0.5	2.0	37	1.0	31.5
	19700	10400	1100	62700	19.0	7.8	33.0	61	4.1	1.3	0.5	1.9	39	1.1	30.5
	21600		1200	61400	19.8	11.8			4.4	1.4	0.6	1.4	40	0.9	30.3
X (ppm)	20650	12360	1204	63300	20.4	9.9	34.6	64	4.3	1.3	0.6	1.9	38	1.0	30.4
V (%)	6.5	13	5.4	2.5	5.2	14	9.9	4.7	6.4	9.7	15	12	10	11	4.1
By Others'	20800	11800	1161	63400	26	10	36	66	4.7	1.4	0.3	1.8	39	1.1	38
JG - 1	28800	39400	453	14600	4.9	14.4	20.6	56	4.0	0.8	0.6	2.7	188	7.2	2.9
	27000	34500	476	15400	4.7	14.1	24.9	53	3.6		0.8	3.1	194	7.8	3.1
X (ppm)	27900	36950	465	15000	4.8	14.3	22.8	54	3.8	0.8	0.7	2.9	191	7.5	3.0
By Others'	25100	32800	465	15500	6.5	13.4	23.5	44	4.6	0.7	0.4	1.0	186	10	7

表2 同一個体の均質性に関するデータ (ppm)

	Na	K	Mn	Fe	Sc	Co	La	Ce	Sm	Eu	Yb	Lu	Th	Rb	Cs
底 - 1	6940	31900	133	27000	127	5.8	39.1	118	6.5	0.58	4.1	1.3	23.8	129	8.2
底 - 2	7170	29800	144	27900	133	6.2	39.9	121	6.6	0.76	4.2	1.3	25.1	109	7.9
フ タ	5910	30100	147	27400	12.4	5.7	39.0	103	5.7	0.72	3.8	1.3	21.7	121	8.4
フタツマミ	5790	31300	137	27200	12.4	6.6	40.1	114	6.1	0.71	3.8	1.2	22.3	132	7.8
X	6452	30770	140	27370	12.7	6.1	39.5	114	6.2	0.69	4.0	1.3	23.2	123	8.1
V (%)	9.3	3.2	6.4	1.4	3.3	5.4	1.4	6.9	6.6	11.4	5.0	4.0	6.6	8.4	3.4

表3 大阪陶器窯跡出須恵器の分析値 ( ppm )

Sample No.	Na	K	Mn	Fe	Sc	Co	La	Ce	Sm	Eu	Yb	Lu	Th	Rb	Cs
<b>TK - 321</b>															
59	12100	20600	211	32200	11.8	6.7	34.0	79.1	4.4	—	2.5	0.53	14.4	122	5.7
60	14700	21100	204	32700	12.0	7.8	35.6	86.0	5.1	0.76	3.1	0.67	16.6	113	6.4
61	14300	20000	209	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
62	14200	20100	205	30100	12.0	9.2	36.6	96.4	5.6	0.68	3.0	0.86	18.7	104	6.4
63	14200	20500	207	30800	12.0	10.9	29.7	70.7	4.5	—	2.3	0.90	18.2	117	5.9
64	13200	21600	210	32600	12.0	9.1	38.0	89.4	5.2	—	3.3	0.93	18.1	134	6.2
65	13600	20000	180	31200	12.1	11.9	28.6	—	4.3	0.78	3.2	0.90	17.0	109	5.5
66	13300	20500	195	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
67	13400	18800	207	32500	11.6	6.8	30.1	83.9	4.5	0.78	2.4	0.77	14.9	128	5.4
68	12100	18200	184	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>X</b>	<b>13500</b>	<b>20100</b>	<b>201</b>	<b>31700</b>	<b>11.9</b>	<b>8.9</b>	<b>33.2</b>	<b>84.3</b>	<b>4.5</b>	<b>0.75</b>	<b>2.8</b>	<b>0.79</b>	<b>16.8</b>	<b>118</b>	<b>5.9</b>
<b>V (%)</b>	<b>9.4</b>	<b>5.0</b>	<b>5.5</b>	<b>3.3</b>	<b>1.4</b>	<b>2.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>6.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>1.0</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>7.0</b>
<b>TK - 36</b>															
81	3770	15500	101	36400	12.0	—	14.5	44.3	2.3	0.25	1.2	—	—	—	—
82	4650	12300	84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
83	6900	17700	137	29100	11.7	5.6	15.7	51.3	3.0	0.35	2.0	0.54	15.7	114	7.5
84	5700	18100	165	—	1.45	6.5	18.9	68.5	2.9	—	2.5	0.96	16.5	105	4.6
85	7050	15100	113	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>X</b>	<b>5610</b>	<b>15600</b>	<b>120</b>	<b>32800</b>	<b>12.7</b>	<b>6.0</b>	<b>16.4</b>	<b>54.7</b>	<b>2.7</b>	<b>0.30</b>	<b>1.9</b>	<b>0.75</b>	<b>16.1</b>	<b>109</b>	<b>6.0</b>
<b>V (%)</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>	<b>2.6</b>		<b>1.2</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>2.3</b>	<b>3.4</b>				

TK - 94																
50	2920	13600	97	31700	98	—	205	524	33	—	25	0.88	145	752	44	
51	3250	14400	104	35500	114	9.8	25.6	64.0	4.1	1.3	2.6	0.78	14.1	97.0	7.5	
52	3160	13200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
53	3220	13600	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
X	3140	13700	104	33600	10.6	9.8	23.0	58.2	3.7	1.3	2.5	0.83	14.3	86.1	6.0	
V (%)	4.7	3.7	6.3	8.0	10.8	—	15	14	15	—	—	85	2.0	18	37	

TK - 2																
54	5480	21300	170	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
55	6050	18400	124	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
56	6130	20200	124	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
57	2100	14700	121	43600	13.5	8.4	8.8	66.0	3.5	0.86	2.7	0.74	19.8	97	5.9	
58	3650	17700	164	43200	12.7	11.3	11.3	51.0	2.5	—	2.3	0.74	14.5	139	4.9	
X	4680	18400	140	43400	13.1	9.9	22.9	58.5	3.0	0.86	2.6	0.74	17.1	118	5.4	
V (%)	37	14	17													

TK - 42																
69* 烧土	5530	17000	140	39400	12.1	7.1	16.7	55.3	2.4	—	1.8	0.94	14.5	139	4.8	
70	16200	24800	272	22400	8.5	11.6	36.3	121	7.7	0.91	3.7	1.1	14.1	109	6.1	
71	—	—	—	34600	11.3	7.6	23.9	86.0	4.1	0.83	2.6	0.81	15.5	119	6.5	
73	7160	17300	88	43700	13.2	7.6	19.8	73.0	3.4	0.65	2.8	0.87	17.0	105	5.2	
X	6345	17150	114	39200	12.2	7.4	20.1	71.4	3.3	0.74	2.4	0.87	15.7	121	5.5	
V (%)	23	6.6	31	11	7.8	3.6	18	21	25	17	22	6.9	8.8	13	14	

Sample No.	Na	K	Mn	Fe	Sc	Co	La	Ce	Sm	Eu	Yb	Lu	Th	Rb	Cs
<b>TG - 44</b>															
75	4050	14900	229	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
76	5260	14200	260	30200	11.2	14.3	21.2	75.7	3.9	0.92	2.5	0.68	13.8	116	8.8
77	7840	17300	272	32500	12.4	10.9	23.8	87.4	4.3	0.45	2.8	0.89	18.8	90	6.8
<b>X</b>	<b>6550</b>	<b>15500</b>	<b>229</b>	<b>31350</b>	<b>11.8</b>	<b>12.6</b>	<b>22.5</b>	<b>81.5</b>	<b>4.1</b>	<b>0.69</b>	<b>2.6</b>	<b>0.79</b>	<b>16.3</b>	<b>103</b>	<b>7.8</b>
<b>TG - 56</b>															
6	8050	23600	159	28900	10.0	7.0	28.9	60.0	2.8	0.43	2.7	0.75	13.0	110	5.3
7	6860	23300	138	29100	10.0	—	31.2	61.7	3.1	0.39	3.2	0.53	13.4	107	6.5
8	5800	26500	118	22100	8.8	6.5	31.7	64.4	3.9	0.58	2.8	0.79	12.4	132	—
<b>X</b>	<b>6660</b>	<b>24800</b>	<b>133</b>	<b>26700</b>	<b>9.6</b>	<b>6.8</b>	<b>30.6</b>	<b>62.0</b>	<b>3.3</b>	<b>0.47</b>	<b>2.9</b>	<b>0.68</b>	<b>12.9</b>	<b>116</b>	<b>5.9</b>
<b>V (%)</b>	<b>15.6</b>	<b>6.5</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>7.2</b>	<b>5.3</b>	<b>4.6</b>	<b>3.6</b>	<b>18</b>	<b>2.2</b>	<b>7.3</b>	<b>2.0</b>	<b>3.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>
<b>KM - 128</b>															
9	5790	21500	146	37000	10.5	6.5	25.4	68.0	3.8	0.58	2.8	0.83	16.6	144	8.0
10	2440	19500	124	33900	11.4	5.7	25.7	65.4	3.4	0.51	2.4	0.79	17.4	129	8.5
11	2330	21500	127	39500	14.9	9.2	38.8	81.6	—	0.85	3.1	0.65	17.0	141	1.0
12	6670	21100	121	30200	12.2	6.5	41.7	10.8	5.9	0.86	3.4	1.1	18.1	141	7.6
16	6580	18800	136	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	4960	20200	183	38700	13.9	8.4	37.9	97.7	5.7	0.58	3.6	0.97	22.1	158	9.0
18	1880	18900	122	30700	10.9	7.5	27.5	71.4	3.5	0.63	2.8	0.83	17.8	125	7.6
<b>X</b>	<b>4378</b>	<b>20200</b>	<b>137</b>	<b>33500</b>	<b>12.3</b>	<b>7.3</b>	<b>32.8</b>	<b>82.0</b>	<b>4.5</b>	<b>0.67</b>	<b>3.0</b>	<b>0.86</b>	<b>18.1</b>	<b>145</b>	<b>8.5</b>
<b>V (%)</b>	<b>4.8</b>	<b>6.4</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>2.2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.6</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.7</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>



KM - 22															
87	7720	14900	271	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
88	6040	13200	278	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>X</b>	<b>6880</b>	<b>14700</b>	<b>275</b>												

TK - 85															
388	8460	20800	250	36500	—	14.5	30.6	—	—	1.3	—	—	—	119	—
389	9070	20200	176	40800	119	11.6	30.7	96.0	3.4	0.6	5.0	0.7	14.8	85	8.6
390	7100	20000			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
391	6940	20700	252	35100	13.4	14.7	39.1	96.3	6.4	0.8	3.3	0.6	17.2	101	10.2
392	9910	20900	135	31300	11.0	14.9	31.5	80.7	3.4	0.7	3.8	0.5	14.2	161	4.5
393	6010	16300		37100	12.6	12.3	34.5	88.4	3.5	0.6	4.2	1.3	21.0	232	10.5
394	9510	20100	160	39500	12.4	14.9	33.1	86.9	4.9	0.4	4.3	0.8	18.4	134	9.0
<b>X</b>	<b>8780</b>	<b>20500</b>	<b>195</b>	<b>36800</b>	<b>12.3</b>	<b>13.8</b>	<b>33.8</b>	<b>90</b>	<b>4.3</b>	<b>0.7</b>	<b>4.1</b>	<b>0.6</b>	<b>17.1</b>	<b>139</b>	<b>8.6</b>
<b>V (%)</b>	<b>18</b>	<b>8.5</b>	<b>27</b>	<b>9.1</b>	<b>7.2</b>	<b>10</b>	<b>9.7</b>	<b>7.2</b>	<b>3.0</b>	<b>4.9</b>					

ON - 45															
220	10500	24300	148	26800	10.3	8.1	27.2	65.9	2.1	1.3	2.0	0.6	13.3	103	7.0
221	11800	21300	142	28300	10.8	10.1	34.7		6.1	0.3	2.1	0.9	14.4	100	5.4
222	9930	24000	152	27600	7.4	7.1	24.8	60.5	2.7	—	1.6	0.9	12.1	99	4.8
223	9830	23300	178	28500	9.7	9.5	28.7	79.2	5.3	0.7	2.4	0.9	15.4	86	7.5
<b>X</b>	<b>10510</b>	<b>23200</b>	<b>155</b>	<b>27800</b>	<b>10.3</b>	<b>8.7</b>	<b>28.8</b>	<b>69</b>	<b>4.1</b>	<b>0.8</b>	<b>2.0</b>	<b>0.8</b>	<b>13.8</b>	<b>97</b>	<b>6.2</b>
<b>V (%)</b>	<b>8.6</b>	<b>5.8</b>	<b>10</b>	<b>2.8</b>	<b>6.2</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>13</b>							

Sample No.	Na	K	Mn	Fe	Sc	Co	La	Ce	Sm	Eu	Yb	Lu	Th	Rb	Cs
<b>ON - 26</b>															
184	7300	21000	134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
185	1810	16000	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
186	4870	16000	127	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
187	7990	17900	89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
188	6570	20000	125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
189	1980	15300	57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
190	9130	21300	151	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
191	2000	14300	73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
192	2760	16500	81	45600	10.7	6.6	37.5	86.4	4.5	0.6	3.8	1.0	19.0	13.4	8.2
193	2380	17200	78	59300	11.5	7.0	35.0	107	5.0	—	4.0	0.8	17.7	5.2	6.8
194	4880	17200	101	32500	10.0	8.5	28.7	72.8	4.4	0.5	3.4	0.5	13.7	12.5	6.3
195	9210	16500	110	31500	11.0	6.7	30.1	87.6	4.5	—	3.5	0.8	12.7	7.9	4.9
196	2970	17300	82	41900	11.2	6.1	32.5	77.8	4.1	0.7	2.3	0.5	16.7	12.6	7.7
197	2570	17900	81	41200	11.2	5.8	34.2	89.3	4.9	0.4	3.7	0.6	14.3	7.3	9.8
198	7330	22000	155	33200	11.3	8.1	45.8	113	8.2	1.0	6.5	0.8	17.5	12.5	6.3
199	4780	18900	79	41300	10.9	6.4	32.1	86.8	5.6	1.2	3.1	0.9	18.2	6.9	7.6
<b>X</b>	<b>7040</b>	<b>19100</b>	<b>129</b>	<b>32400</b>	<b>10.8</b>	<b>6.9</b>	<b>34.8</b>	<b>90</b>	<b>5.2</b>	<b>0.7</b>	<b>3.4</b>	<b>0.7</b>	<b>14.6</b>	<b>9.8</b>	<b>7.2</b>

次に、同一の窯から出土する須恵器の化学組成に、どの程度の変動があるのかという観点から、一つの窯から幾つかの須恵器片を採取して分析してみた。今回は、窯としては時期や地域にとらわれずに、任意に大阪陶邑高蔵寺地区（TK記号）、光明池地区（KM記号）、大野池地区（ON記号）、樽地区（TG記号）が選ばれた。分析結果は、表3に示されている。なお表中に、棒線を引いてあるのは、たまたま電子計算機が計数をおとした所か、または未定量の箇所である。ここでの問題は、各窯のそれぞれの元素の変動係数である。その値の小さいものとしては、TK-321、TK-94、TG-56、ON-45等があげられる。これらの窯では多くの元素が、標準試料に準ずる変動係数値をもち、したがって窯の化学組成は、ほぼ均質とみてよい、云いかえれば、これらの窯では、各々同一種類の陶土を材料として使用していたと云えよう。このうち、特にTK-321号は、須恵器焼成中に、天井が落ち、そのまま埋蔵された窯であると云われており、したがって窯体内から採取された試料は、同時に焼成されていたものと考えられる。そうすると、少なくとも、同時に焼成していた須恵器の陶土は、全く同一種類であるということになり、妥当な結果であると考えられる。この他の窯についても、ON-26を除いて、どの窯の、どの元素についても20%程度以下であることがわかる。主成分元素の中では、とくに、Na量の変動が大きく、したがって産地分析上使いにくい。この理由は目下のところ説明出来ない。特に、ON-26号窯においては、Na量の変動は極端である。幾種類かの異った粘土を使っていたことが疑われるので、NaとMn、NaとKの相関図を図1、2に描いてみた。同時に、窯の均質性のよいTK-321、ON-45の各点もプロットした。この結果、ON-26の分散度が、TK-321やON-45に比べて大変大きいことがわかる。そこで、比較的集中度の高い部分をON-26-Iとし、残りをON-26-IIとして分割した。そうすると、これらの中間にくる3点を除けば、ON-26はほぼ他の窯と比較される程度の分散度をもった2つの集団に分かれる。このことからON-26号窯では、2種類の異った陶土を使用していたのではないかと推定されるのである。しかし、微量元素については、良く一致している点もあり、この推定には、まだ疑問が残る。さらに多くの試料について検討する必要がある。このように、化学組成の変動という点からみても、種々の性質をもった窯があることは判ったが、一つの窯跡から出土する須恵器の化学組成が、全くデタラメに変動することは皆無であったし、また、我々がこれまで分析した古墳・遺跡出土須恵器に比べて、どの窯についても変動は少なかった。

以上の結果、窯の化学組成は十分に固定出来ると考えられた。

図1 Na と Mn 相関図

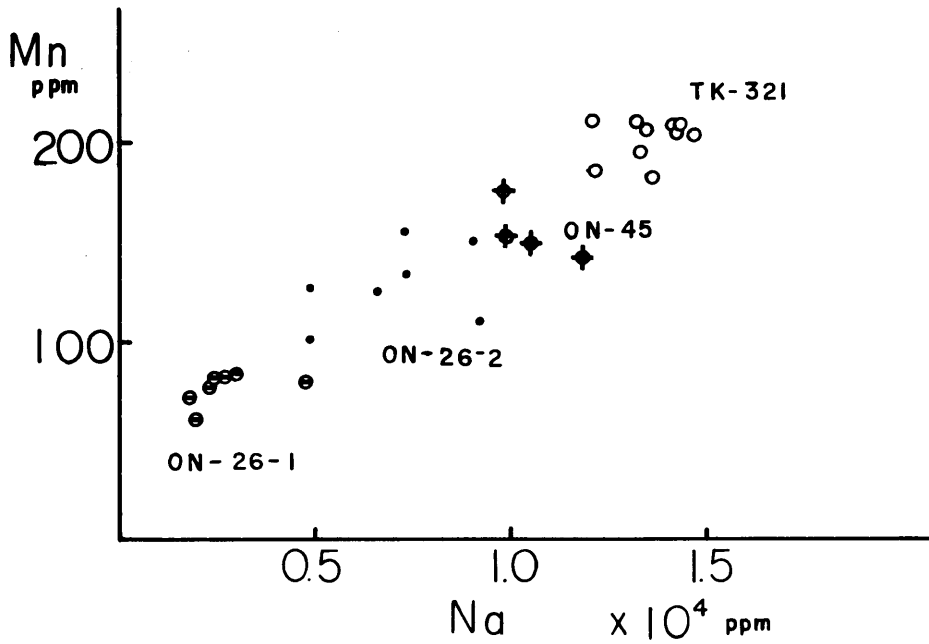
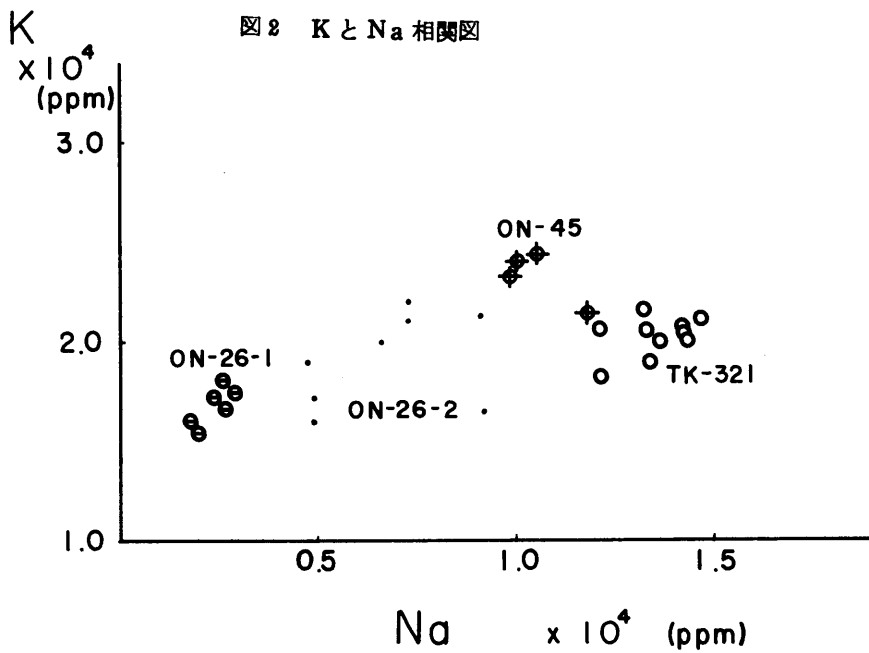


図2 K と Na 相関図



次に、表3に基づいて化学組成は窯間で、どの程度に相異なるのか比較検討してみよう。そのためには、まづ各窯について元素ごとに平均値を計算し、一次元プロットをとってみることである。この結果を図示したものが図3である。

次に、この図において、変動係数を考慮に入れて、識別出来なくなったものを1群にまとめて整理してみた。たとえば、Kについては、図3よりTK-42焼土とTG-56は区別がつかないが、KM-114とは区別がつく。また、TK-321, TK-94, TK-36, TK-42, TG-44等は相互の区別は出来ない。このようにして整理したのが表4である。この結果によれば、たとえば、ThはKM-114を除いてどの窯でもよく似た含量をもち、窯の識別には、使用し難い元素であることがわかる、Sm, Luも同様である。しかし、他の元素については、窯の識別には使えることが判る。こうして、各元素について窯を分類しておけば、窯の類似性は次のようにして知ることが出来る。たとえば、A窯とB窯は、全く同一の陶土を使用していたとすると、どの元素についてもA窯とB窯はこの分類表で常に同じグループに属して挙動する筈である。こうした考えに基づいて、表4を点検してみた。たとえば、TK-321とKM-128についてみてみよう。K, Fe, Sc, La, Ce, Yb, Lu, Eu, Sm, Coについては区別出来ないが、NaとMnおよびRbについては区別出来る。TK-321とKM-128は比較的よく似ているが、やはり、別の陶土を使っていたと考えられる。また同じ窯でも、須恵器粘土と窯体壁粘土は全く異なることも判った。すなわち、TK-42とTK-42焼土はこの分類表上ではEu, RbおよびThについてだけ同じグループに入っているにすぎない。残りの全元素において、別々に挙動する。このようにして、今回分析された全ての窯について調べていくと、全元素について全く区別出来ない窯は一つもないことがわかった。云いかえれば、同じ陶土を使用していた窯は一つもなかったことがわかった。こうして、同じ大阪陶邑の窯でも、出来るだけ多くの元素を定量し、比較すれば窯間の識別は出来ることがわかった。

図3の一次元プロットを任意に2つ選び出して、2次元プロットをとれば、2元素間の相関関係を表わすことが出来る。いくつかの例を図4, 5, 6, 7, 8に示してある。これらの図中には、比較のため、他地域の分析結果も入れてある。大阪府下野中古墳および朝鮮の高靈, 望星里, 扶余, 星山洞, 北九州・天観寺山窯跡のものである。これらはいくつかの例外(遺跡)を除いて同一地域、窯出土のものはほぼ局在化していることが判る。

以上の結果を産地分析という立場から、総括してみよう。まづ、第一点は、須恵器一個体の化学組成の均質性である。もし、これが不均質であるとする、一須恵器片の分析結果は無意味で一個体全体の分析値が意味をもつことになる。

図8 大阪陶器窯の平均元素分布

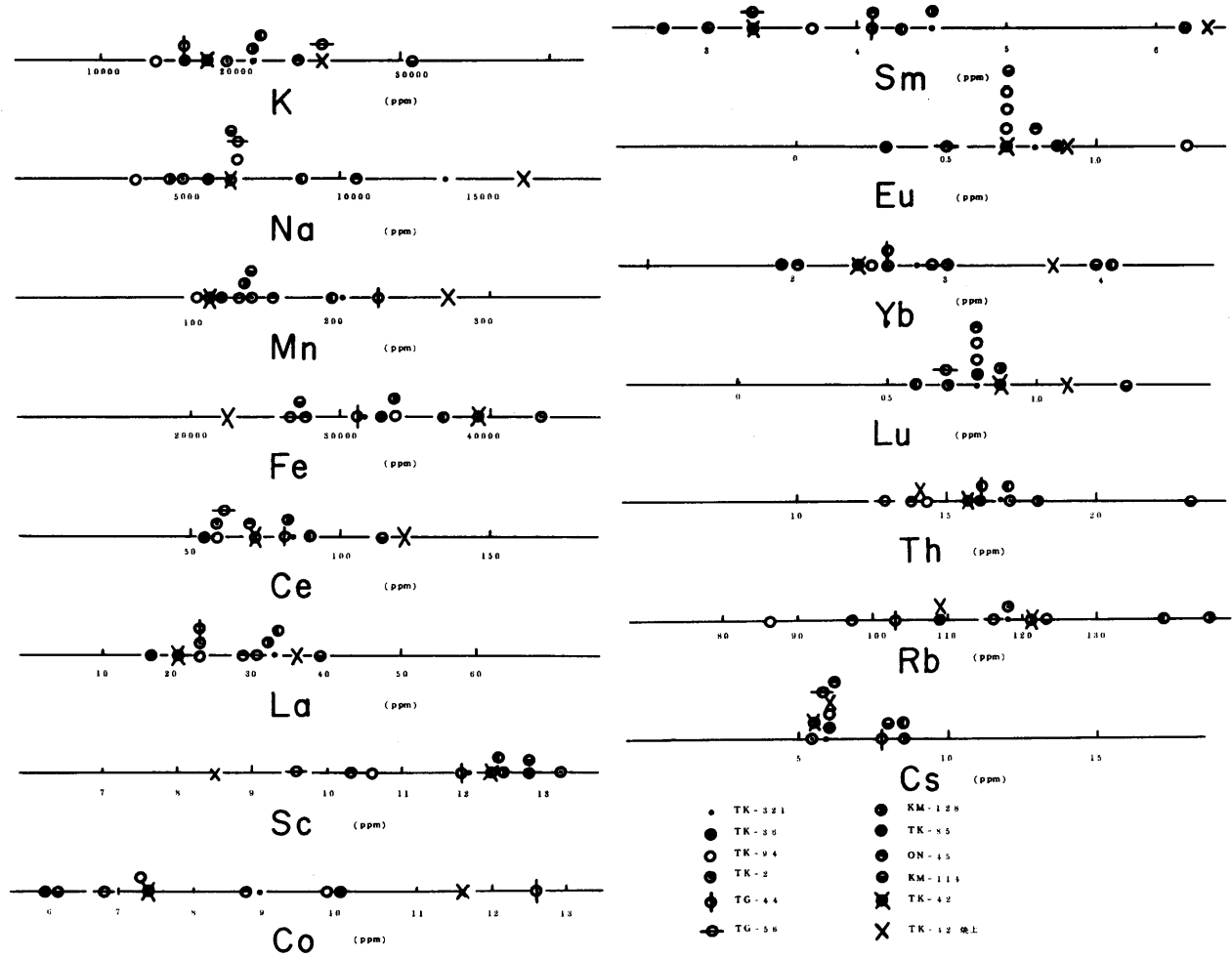


表4 各元素による大阪陶器窯の分類

K	TK-94 TG-44 TK-36 TK-42 TK-2 TK-321 KM-128 TK-85	ON-45 TG-56 TK-42*	KM-114		
Na	TK-94 KM-128 TK-2 TK-36 TK-42 TG-56 KM-114	TK-85 ON-45	TK-321	TK-42*	
Mn	TK-94 TK-42 TK-36 TG-56 TK-2 KM-128 KM-114 ON-45	TK-85 TK-321 TG-44	TK-42*		
Fe	TK-42*	TG-56 ON-45 KM-114	TG-44 TK-321 TK-36 TK-94 KM-128	TK-85 TK-42	TK-2
Ce	TK-36 TK-94 TK-2 TG-56 ON-45 TK-42	KM-128 TG-44 TK-321 TK-85	KM-114 TK-42*		
La	TK-36 TK-42* TK-94 TK-2 TG-44	ON-45 TG-56 KM-128 TK-85 TK-321 TK-42 KM-114			

Co	TK-36 KM-114 TG-56 TK-42 KM-128	ON-45 TK-321	TK-94 TK-2	TK-42*	TG-44	TK-85
Sm	TK-36 TK-2 TK-42 TG-56 TK-94 TG-44 ON-45 TK-85 TK-321 KM-128	KM-114	TK-42*			
Eu	TK-36 TG-56	TK-42 TG-44 KM-128 TK-85 KM-114 TK-321 ON-45 TK-2 TK-42*	TK-94			
Yb	TK-36 ON-45 TK-42 TK-94 TK-2 TG-44 TK-321 TG-46 KM-128	TK-42* KM-114 TK-85				



Lu	TK-85 TK-2 TG-56 TK-321 TK-36 TK-94 TG-44 ON-45 TK-42 KM-128	TK-42*	KM-114
Th	TG-56 ON-45 TK-42* TK-94 TK-42 TK-36 TG-44 TK-321 TK-2 KM-128	KM-114	
Rb	TK-94	ON-45 TG-44* TK-42* TK-36 TG-56 TK-321 TK-2 TK-42 KM-114	TK-85 KM-128
Cs	Not Separated		

図4 MnzK相関図

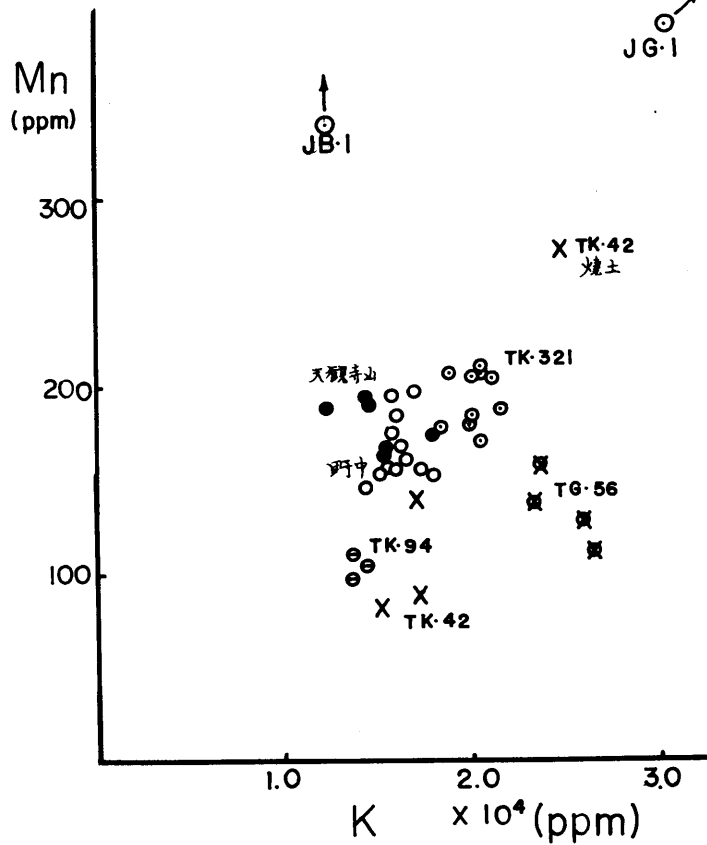


図5 FeとKの相関図

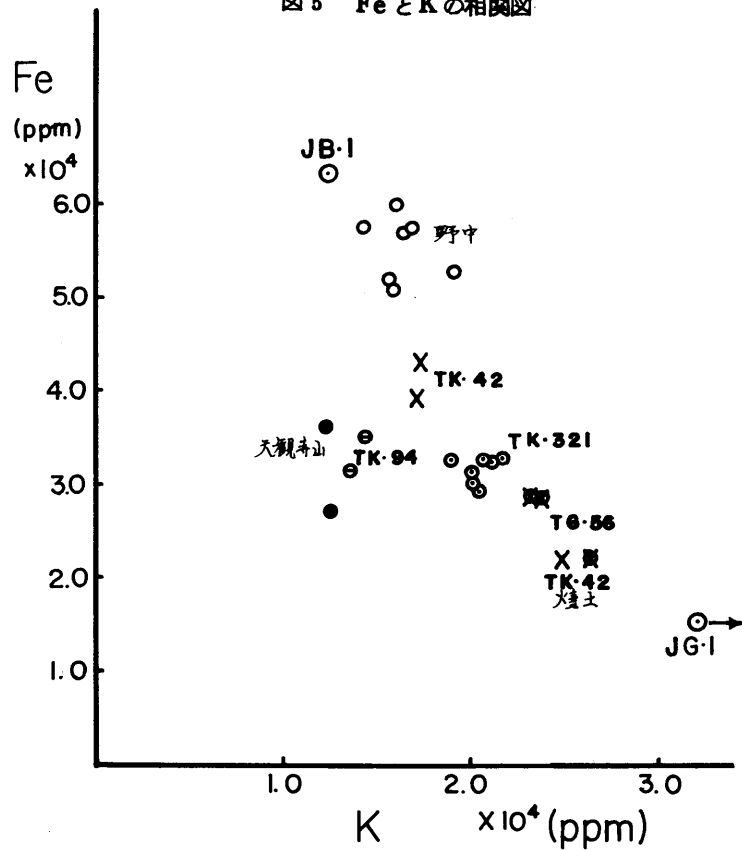


図6 NaとK相関図

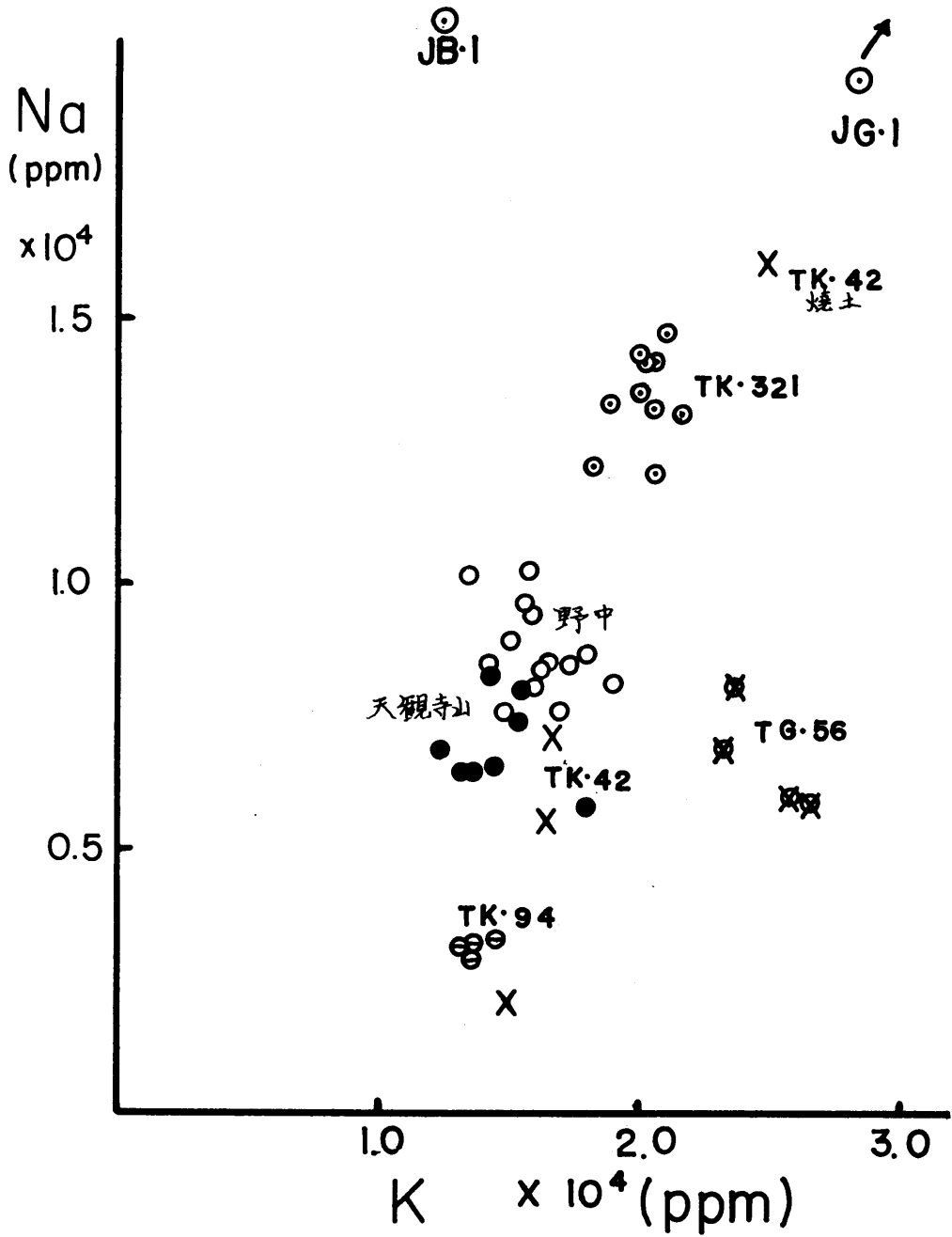


図7 LaとFeの相関図

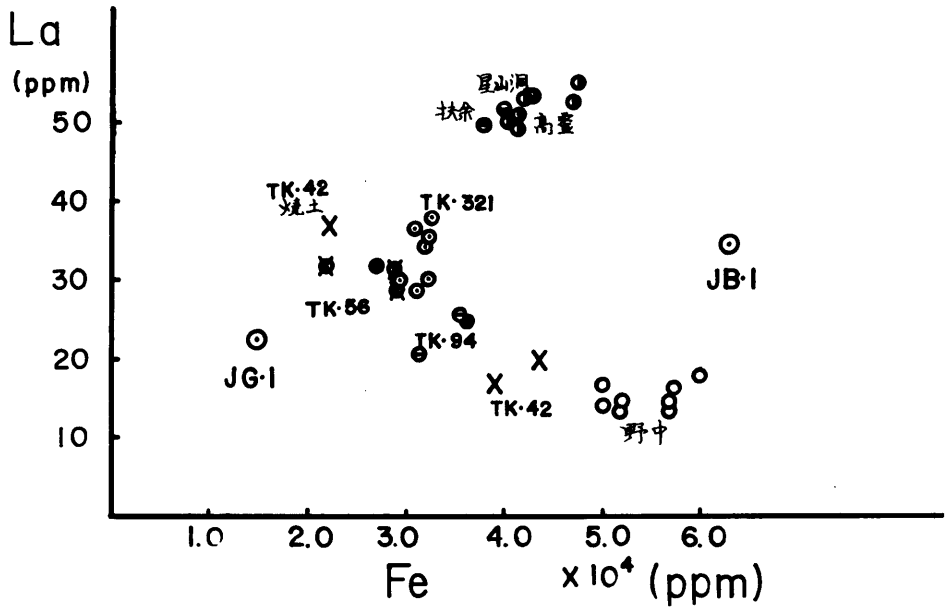
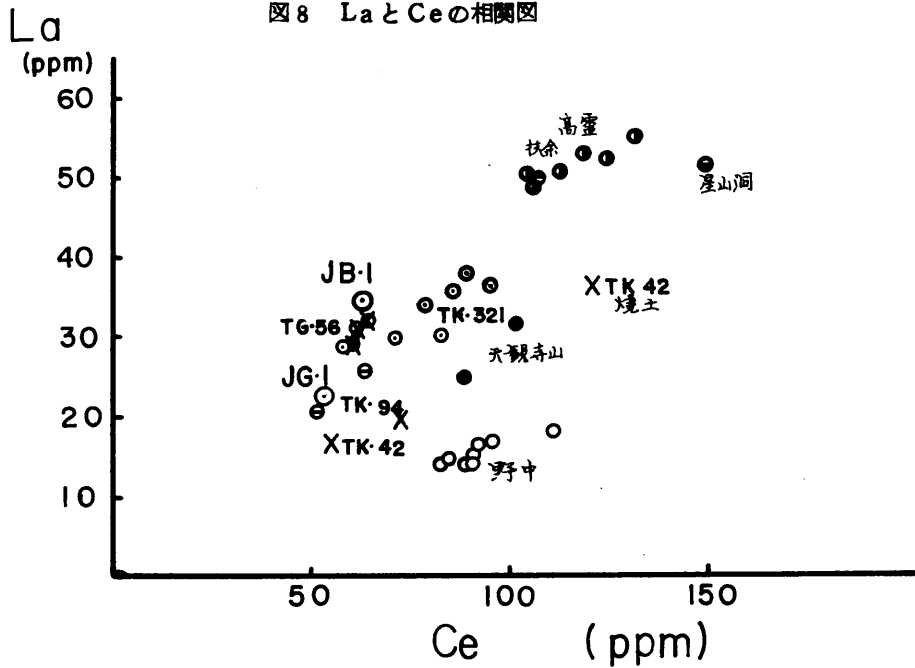


図8 LaとCeの相関図



実際問題として、須恵器の完全一個体をつぶすことは不可能であり、この場合、須恵器一個体の化学組成を固定することは出来なくなる。第2点は、一つの窯について、化学組成が固定出来るか、否かである。もし、これが出来ないと、化学組成からみて各窯の特性は消失し、窯間の区別はつかなくなる。第3点は、化学組成からみて、窯間の識別が出来るかどうかである。須恵器の素材は粘土であるため、地域が異ったとしても、その化学組成が大きく異なることは期待出来ない。むしろ類似していると予想される。しかも、不均質系であるため、須恵器一個体、さらには一窯跡の化学組成はある程度変動があることが予想される。したがって、この広がり以上に窯間には組成差のあることが必要となる。仮に、(1)、(2)の条件が成立したとしても、(3)の条件が成立しなければ、須恵器の産地分析は困難となろう。このような考えから表5に示された3条件は、産地分析のための必要条件であると考えられる。勿論、この条件は、窯跡出土の須恵器に適用されるものであり、この3条件が成立しない窯については、産地分析は出来ないことになろう。

表5 産地分析のための基礎三条件

1. 同一個体の化学組成の均質性
2. 個々の窯跡の化学組成固定の可能性
3. 化学組成からみて窯跡間の識別の可能性

(この三条件は窯跡出土の須恵器に適用される)

我々は、今回特にこの必要条件が、どの程度に成立するのかという観点から、分析を進めて来た。ここに示された結果は、完全とまでは云わなくても、ほぼ満足出来る結果であった。この結果、窯跡出土の須恵器を分析しておいて、すべての窯の化学組成表を作成しておけば、これに対応させることによって、古墳・遺跡を産地の窯跡に結びつけることが出来よう。

本研究を進めるに当たり、特に中性子放射化および $\gamma$ 線測定において種々お世話になった京大原子炉ホットラボの諸氏ならびに計測研・中野氏に対し深謝する次第です。

#### 4 文 献

- (1) 三上次男・楢崎彰一編 『日本の考古学』 歴史時代 上 河出書房新社 (1967)
- (2) 田辺昭三 『須恵』 陶磁大系 4 平凡社 (1975)
- (3) 市川米太 考古学と自然科学 第4号 8 (1971)
- (4) 三辻利一 考古学と自然科学 第5号 59 (1972)
- (5) 三辻利一他 考古学と自然科学 第6号 43 (1973)
- (6) A. Ando et al, Geological Survey of Japan 153 (1971)