須恵器の放射化分析── 須恵器産地分析の方法について──

三 辻 利 一*

1. はじめに

平城宮趾，その他の古墳，遺跡周辺には窯跡が見つけられていないにもかかわらず，須恵器は数多く出土する。一方では，須恵器窯跡は，特定の地域に集中して，日本各地に見つけられている。したがって，須恵器は，これら特定地域で生産され，古墳，遺跡へ供給されていたと考えられる。この須恵器の流通の跡を追跡することは，須恵器が古代社会において，重要な日常生活用具であったと考えられるだけに興味深い。しかしながら，地方で生産された須恵器の地方色が，器形や模様に，明瞭に現われないため，もっぱら，経験と勘による土味の相違から，これまで，須恵器の産地が推定されて来たようである[1,2,3]。 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り[4]， 他の例は，元素分析によって，須恵器の元素組成から，これを原産地に結びつけようとするものである[5,6,7,8]。これらの方法は，いずれも，須恵器陶土は原産地に特異的な鉱物組成や元素組成をもつという地球化学的前提に基づいている。しかしながら，実際に，産地推定を行なう段になると，この地球化学的仮定をどのような形で適用するかという点で，若干，問題が出て来る。すなわち，運搬力に乏しかった古代では，陶土は，須恵器窯近辺で採取されていたと仮定しても，“これが須恵器陶土である”と確証のある粘土は，目下のところ皆無に近いこと，さらに，加工工程で，採取した粘土の粒度をそろえたり，砂などの異った土を混合したりする可能性があり，窯近辺の粘土を分析して，これを，供給先の須恵器の分析値に，直接，結びつけるには，やや，難点がある。以上のことを考慮に入れて，筆者は，粘土よりも，むしろ，須恵器窯と供給先の古墳，遺跡を結びつけることを考えた。つまり，須恵器窯の作動期間中に，焼成された須恵器を窯から取り出す際，破損していたものは全て，窯の灰原に放擲していたと考えられるから，窯体内，および，灰原から出土する須恵器片を多数，分析すれば，その窯で生産された須恵器の平均的元素組成についての情報が得られる筈である。その結果を，古墳，遺跡出土須恵器に結びつけることが，須恵器産地分析の具体的方法であると考えた。この考えが，実際に適用出来るか，否かは，窯跡出土

* 奈良教育大学，奈良市高畑町

須恵器片を，多数，分析してみれば判る。この目的のためには，全国各地の須恵器窯跡群が実験対象となるが，とりわけ，最古の，かつ，最大数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。

一方，須恵器の分析方法としては，その素材が厳選された陸水成粘土であるが故に，その元素組成は，その産出地によって，極端に相異するとは考えられず，そのため，出来るだけ多くの元素の定量結果を比較する必要があると予想されることから，同時多元素定量法が適当であると考えられる。さらに，分析対象となる須恵器片は，きめの細かい粘土からなるとはいえ，溶液などと違って，不均質系であり，かつ，同一窯が数年，ないし，十数年間使用されていたことを考慮に入れれば，一窯跡出土須恵器の平均元素組成を出すには，相当数の試料を分析する必要があるところから，精度の高い分析法よりも，手軽に，かつ，短時間に，多数の試料を処理出来る分析法が有効となる。この観点からすれば，放射化分析法，および，エネルギー分散型ケイ光X線分析法が最適と考えられる。後者に比べて，前者は，試料が少量でよい，微量元素の定量に有効である等の利点をもっている。ここでは，放射化分析法により得られた分析結果[7,8]から，主として，須恵器産地分析の方法について，述べることにする。

2. 実験方法

須恵器片試料としては，大阪陶邑古窯跡群，平城宮趾，野中古墳（大阪府），朝鮮高霊遺跡出土のものなど，合計，122点が分析された。これらの試料は，超硬合金製（タングステンカーバイド製，硬度：9.5～9.8）の乳鉢で紛砕された。

中性子放射化は，2つの方法で行われた。（A法）約20 mgの須恵器粉末を秤取し，ポリエチレン管に封入し，京大原子炉圧気輸送管 P_n-1（熱中性子束：1.9×10^{13} n/cm² sec）で10分間照射した。冷却数時間後にγ線スペクトルを測定した。（B法）約200 mgの試料をポリエチレン管に秤取し，P_n-3（熱中性子束：2.3×10^{13} n/cm² sec）で1時間照射した。数日間冷却してのち，γ線スペクトルを測定した。これらのγ線スペクトルは，本誌6号に示してある。定量分析には，A法では，標準試料JB－1の1.369 MeVの ^{24}Naの光電ピークを，また，B法では，JB－1の1.292 MeVの ^{59} Feの光電ピークがモノスタンダードとして使用された。

データ整理に際しては，一窯跡から出土する須恵器の分析値が，ある程度，ばらつくことが予想されるので，その“ばらつき”を表わす因子として，変動係数が次式にしたがって計算された。

$$V(\%)=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}|X_i-X|^2/(n-1)}}{X}\times100$$

n：分析個数

X_i：個々の定量値

X：平均値

3. 結果と考察

まず，須恵器一個体の元素組成が，どの程度，均質であるのだろうかという点である。KM（光明池地区）－114号窯跡の窯体内から出土した比較的破損の少ない坏（ヅキ）について，各部分を切りとって分析した結果を，第1表に示してある。どの元素についても，変動係数が10％以下で，よく一致していることがわかる。標準試料を分析しても，この程度の“ばらつき”は出て来るので，これは，本分析法が，本来持つ“ばらつき”と考えられる。標準物質を均質と考えるならば，この結果は，須恵器一個体も，同じ程度に均質であることを示している。須恵器の加工工程[2),9)]を考慮に入れるならば，この結果は，当然のことであろう。したがって，須恵器の一断片を分析すれば，須恵器一個体の元素組成がわかることになる。須恵器の完全一個体をつぶすことは，実際問題として，不可能であることを考え合わせると，この結果は，サンプリング上，きわめて重要である。

第1表　同一個体の均質性に関するデータ（ppm）
Data on the homogeneity of a pottery.

	Na	K	Mn	Fe	Sc	Co	La	Ce	Sm	Eu	Yb	Lu	Th	Rb	Cs
底 － 1	6940	31900	133	27000	12.7	5.8	39.1	118	6.5	0.58	4.1	1.3	23.8	129	8.2
底 － 2	7170	29800	144	27900	13.3	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	223	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

次に，同一窯から出土する須恵器片の元素組成に，どの程度の“ばらつき”が出て来るのかという問題がある。はじめに，特殊な例として，須恵器焼成中に，窯の天井が落ち，そのまま埋蔵されたと推定されるTK（高蔵寺地区）－321号窯体内から，任意に，10点須恵器片を選択し，分析した結果を第2表に示してある。分析値の“ばらつき”は，本法の精度限界に近く，この結果は，同時に焼成していた須恵器の陶土は，同質であったことを明瞭に示している。しかし，一般には，1つの窯は，数年，ないし，十数年にわたって使用されていたと考えられるので，その間に，使用陶土が変われば，分析値にも，ある程度の“ばらつき”が出ることは予想される。ただし，たとえ，陶土質が変わったとしても，窯近辺の粘土を使用している限り，土質の大きな変化があるとは考え

TK（高蔵寺地区）－321号窯跡出土須恵器の分析値（単位，ppm）

第2表　Analytical data of the potsherds which were thought to be baked at the same time (found in the oven, TK−321).

TK-321

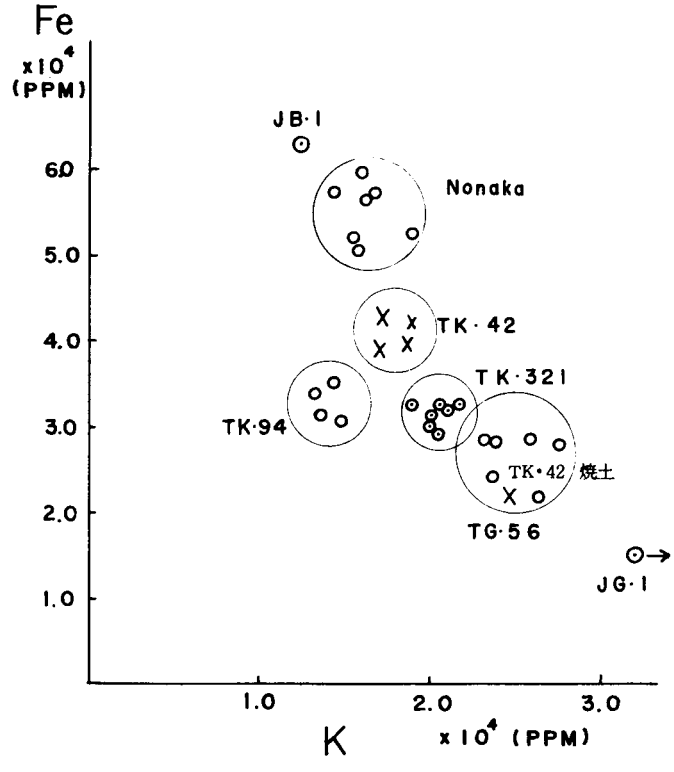
	Na	K	Mn	Fe	Sc	La	Ce	Yb	Lu	Th
59	12100	20600	211	32200	11.8	34.0	79	2.5	0.5	14.4
60	14700	21100	204	32700	12.0	35.6	86	3.1	0.7	16.6
61	14300	20000	209	——	——	——	——	——	——	——
62	14200	20100	205	30100	12.0	36.6	96	3.0	0.9	18.7
63	14200	20500	207	30800	12.0	29.7	71	2.3	0.9	18.2
64	13200	21600	210	32600	12.0	38.0	86	3.3	0.9	18.1
65	13600	20000	180	31200	12.1	28.6	——	3.2	0.9	17.0
66	13300	20500	195	——	——	——	——	——	——	——
67	13400	18800	207	32500	11.6	30.1	84	2.4	0.8	14.9
68	12100	18200	184	——	——	——	——	——	——	——
X	13500	20100	201	31700	11.9	33.2	84	2.8	0.8	16.8
V(%)	9.4	5.0	5.5	3.3	1.4	11	10	18	10	9.0

られない。そこで，大阪陶邑内のいくつかの窯について，1窯跡当たり，5～10点の須恵器片を採取して分析した。分析値の“ばらつき”を各窯ごとに計算した結果が，第3表に示されている。この結果は，1つの窯跡から出土する須恵器片の元素組成が，全くデタラメに変動する例は皆無であり，ある程度の“ばらつき”はあっても，同一窯の須恵器陶土は，ほぼ，同質であることを示している。この結果は，産地分析を行う上で，非常に重要である。1窯跡出土須恵器片の平均元素組成が固定されない限り，供給源としての窯の化学特性は決定出来ず，産地分析は，事実上，不可能となるからである。ただし，1窯跡から出土する須恵器片は，相当数になるから，より正確な平均元素組成を得ようとすると，出来るだけ多くの須恵器片を分析する必要が出て来る。この種の研究で，多数の試料の分析を行わなければならない理由は，まず，この点にある。また，第3表によれば，いくつかの窯では，NaとMnの“ばらつき”は大きい。この点については，未だ，正確な理由はわからないが，最近，得られた結果によると[10]，自然釉中に，NaとMnが濃縮されていたところから，あるいは，自然釉によるのかもしれない。NaとMnを除けば，第3表より，変動係数20％以下で，窯の元素組成が固定出来ることがわかる。

第3の問題点は，固定された元素組成からみて，窯間の識別が，どの程度可能かという点である。そのために，第1図には，主成分元素として，Kと Feを，また，第2図には，微量元素として，LaとCeを両軸にとり，各窯を分布させてみた。Na, Mn, および，Scを軸に選択しなかった理由は，前二者については，その“ばらつき”が大きい窯が出たためであり，Scは，窯間で大した差違がな

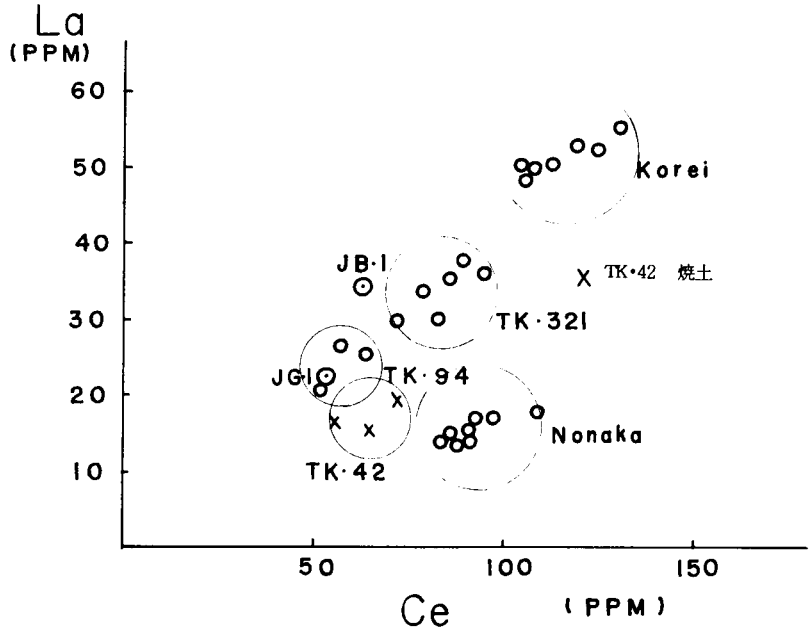
第3表　大阪陶邑古窯跡出土須恵器の分析値の変動係数(%)
Variation coefficients on the potsherds found in some ovens in the Southern Osaka district.

Oven No.	Na	K	Mn	Fe	Sc	La	Ce
TK. 321	9	5	6	3	2	22	11
TK. 94	5	4	6	8	10	14	15
TG. 56	15	6	12	15	7	5	4
TK. 85	15	9	25	9	7	9	7
ON. 45	9	6	10	3	6	14	13
KM. 128	32	6	16	12	14	20	21
TK. 42	23	7	30	11	8	18	21
TK. 36	25	15	26	15	12	13	15
TK. 2	37	14	17	4	6	11	10

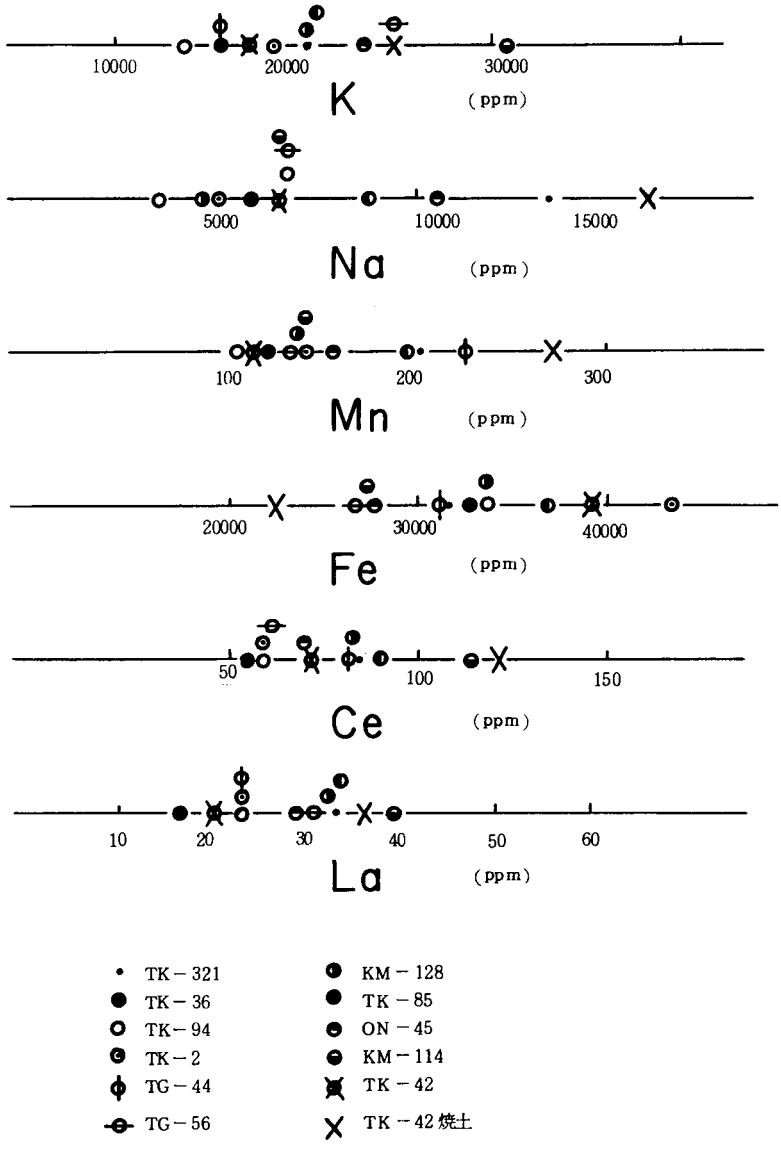


第1図　窯跡出土須恵器の K～Fe分布図
Distribution of the potsherds found in some ovens between K and Fe content.

かったからである。また，1窯跡の分布は，平均点を中心として，全分析値を含むようにして，円を描いてある。この円が重なるものもあれば，全く重ならないものもある。大阪陶邑と朝鮮のものを比較しても，極端に離れて分布していないことがわかる。同時に，大阪陶邑内の窯でも，必ずしも，同一の元素組成をもつとは限らないことがわかる。大阪陶邑内の窯間でも，識別することが可能であることを示すために，各元素ごとに，各窯出土須恵器片の平均値をとり，一次元の軸上にプロットしたのが，第3図である。これに変動係数を加味して，区別出来なくなったものを，1つのグループにまとめて整理してみた。結果は，第4表に示されている。たとえば，Kについては，TK－94，TG－44，TK－321等は区別つかないが，KM－114とは区別される。こうして，元素ごとに，窯を分類しておけば，窯の類似性は，次のような考え方で理解できる。すなわち，A窯とB窯は，全く同一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，同じグループに属する筈である。一方，異った陶土を使用しておれば，粘土のこと故，類似の含量の元素があったとしても，いずれかの元素では，異った含量を持ち，別のグループに属する筈である。こうした考え方で，第4表を点検すれば，同一陶土を使用していた窯は，1つもないことがわかる。いいかえれば，ここに分析された全ての窯は，互いに，識別可能であると断定することが出来る。もっとも，ここに選択された窯は，時期，地域に無関係に，任意に取り出されたものである。もし，元素組成よりみて，窯間の識別が出来なければ，第1，第2の条件が満足されたとして



第2図　窯跡出土須恵器のLa～Ce分布図
Distribution of the potsherds found in some ovens between La and Ce content.



第3図　大阪陶邑窯の平均元素分布
Distribution of the potsherds in the Southern Osaka district.

も，産地分析は不可能となる。いわば，第5表に示された3条件は，須恵器産地分析の必要条件と云えるものであり，この条件を満足しない窯は，産地分析が困難となろう。

次に，須恵器の産地分析を，実際に試みる前に，古墳，遺跡から出土する須恵器の分析値が，どの程度に広く分布するかを調べてみた。第4図，および，第5図には，5世紀後半の野中古墳，それと同時期の朝鮮高霊遺跡，8世紀の平城宮趾から出土した須恵器片の分析値を分布させた。同時に，

第4表　各元素による大阪陶邑窯の分類

Classification of some ovens in the Southern Osaka district by the chemical composition.

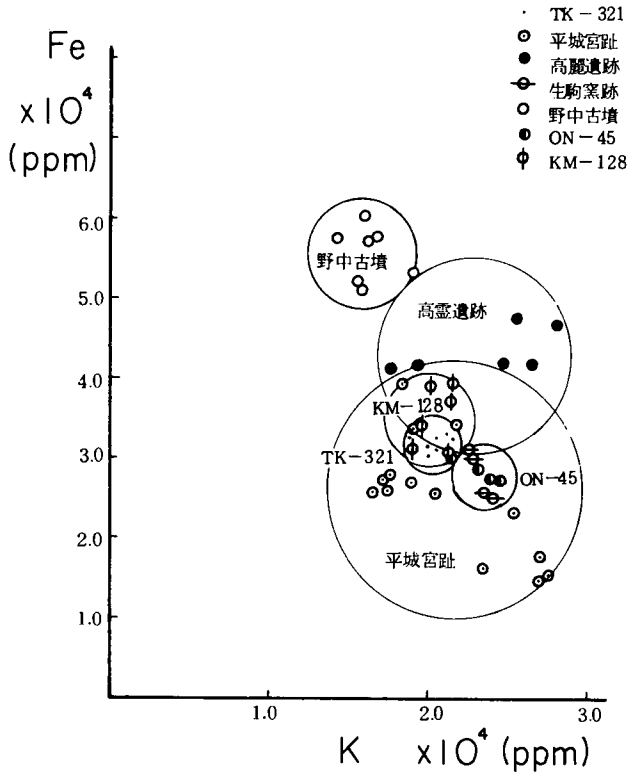
K	TK-94 TG-44 TK-36 TK-42 TK- 2 TK-321 KM-128 TK-85	ON-45 TG-56 TK-42*	KM-114		
Na	TK-94 KM-128 TK- 2 TK-36 TK-42 TG-56 KM-114	TK-85 ON-45	TK-321	TK-42*	
Mn	TK-94 TK-42 TK-36 TG-56 TK- 2 KM-128 KM-114 ON-45	TK-65 TK-321 TG-44	TK-42*		
Fe	TK-42*	TG-56 ON-45 KM-114	TG-44 TK-321 TK-36 TK-94 KM-128	TK-85 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 TG-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			
Sc	TK-42*	TG-56 ON-45 TK-94	TG-44 TK-321 TK-42 TK-85 KM-128 TK-36 KM-114 TK- 2		

第5表

産地分析のための基礎三条件

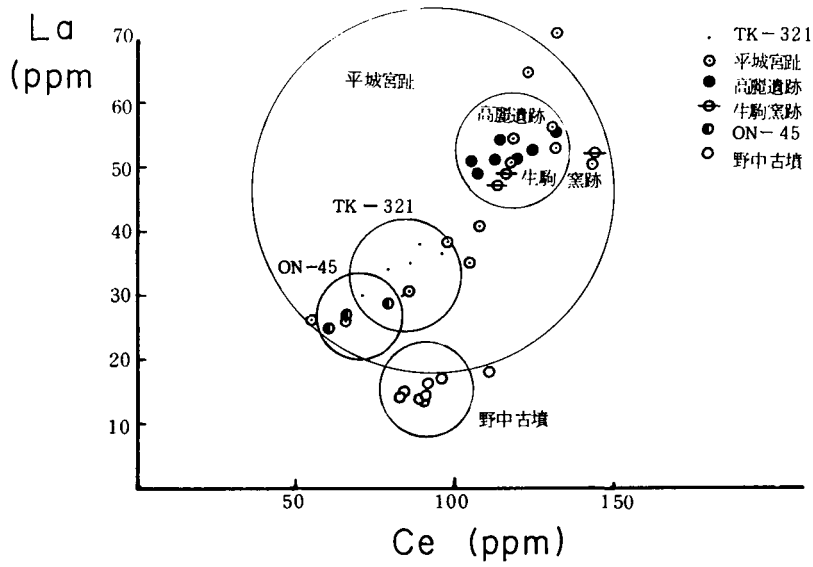
1. 同一個体の化学組成の均質性
2. 個々の窯跡の化学組成固定の可能性
3. 化学組成からみて窯跡間の識別の可能性

（この三条件は窯跡出土の須恵器に適用される）



第4図　遺跡出土須恵器のK～Fe 分布図

Distribution of the potsherds found in the old ruins between K and Fe content.



第5図　遺跡出土須恵器の La～Ce 分布図
Distribution of the potsherds found in the old ruins between La and Ce content.

比較のために，窯跡のデータも，一部入れてある。ここでいえることは，どの2元素を軸に選択しても，平城宮趾出土須恵器片の分布は，他の遺跡や窯跡に比べて，著しく大きく拡がるということである。このことは，遺跡が大きければ大きい程，多くの窯跡から，須恵器を供給されていたことの反映であると考えられる。この点では，野中古墳とは，全く対照的である。恐らく，470年代と推定される野中古墳の須恵器は，1～2個所の窯から供給されていたのだろうと推察される。5世紀後半というのは，時期的にみても，須恵器製作の新技術が，伝来した当初の頃と考えられ，須恵器窯が，ごく限られた数しかなかったことであろうと推定されるから，この結果は妥当と考えられる。一方，高霊遺跡のものの分布は，やや，大きく，少くとも数個所の窯から，土器を供給されていたと推定される。より高度の土器成形，焼成技術を持っていた朝鮮では，この時期には，既に，多くの窯があった筈である。このように，古墳，遺跡の分布は，窯跡の分布に比べて大きいのが特徴であり，いかに，陶土質が，化学組成からみて類似したものであるとはいえ，複数の窯から供給されていたということが，如実に反映されている。

以上のような基礎データから考えられる須恵器産地分析の具体的方法としては，まず，出来るだけ多くの窯跡について，その平均元素組成を決定し，そのリストを作成することが必要となる。勿論，窯跡を，前以って，考古学的手法で，時期別に分類しておくことが出来れば好都合である。こうした上で，古墳，遺跡出土須恵器の分析値に対応する窯をリストより選び出すことは，一見，困難なように見えるが，多変量解析理論を適用し，大型計算器を駆使すれば，十分に達成出来ると考

えられる。最終的には，考古学的考察も，十分，加味されることが必要であろう。

全国に散在する須恵器窯数に比べれば，ここで取扱われた窯は，ほんの一部に過ぎないので，産地分析を実際に行うことは，時期尚早ではあるが，ここに得られたデータから若干の考察を試みてみよう。まず，野中古墳に対応する窯は，目下のところ不明である。外見上の土質は，朝鮮系の高霊，星山洞等で出土した土器とよく類似しているが，分析結果からは，結びつけ難い。また，大阪陶邑の最古の窯の一つである TG（ 栂地区 ）－56とも結びつけ難い。一方，平城宮趾の須恵器は，同時期の大阪陶邑の ON（ 大野池地区 ）－45，および，生駒窯とは結びつく。しかし，いかに，平城宮趾の須恵器片の分布が広いとはいえ，野中古墳，高霊遺跡などは結びつかないことは（ 勿論，時期的にも全く異なるが ），第４図，および，第５図よりわかるであろう。

本論文では，これまで得られた放射化分析のデータから考えられる須恵器産地分析の方法の大要が述べられたが，細かい点で，まだ，多くの未解決の問題がある。これらについて，目下，検討中であり，今後の発展に期したい。

最後に，本論文は，神戸商船大，北野耕平氏，大阪教委，中村浩氏，奈良国立文化財研，小笠原好彦氏，奈良教育大，平賀章三氏，東邦大，桂川秀嗣氏，京大原子炉，武内孝之氏，中野幸廣氏，小山睦夫氏，その他，ホットラボ，および，計測研の諸氏の協力によって得られた成果に基づいて，執筆したものである。上記の諸氏に対し，ここに，厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

1） 小笠原　好彦，“考古学と自然科学”， 6　26（1973）

2） 田辺　昭三，“須恵”陶磁大系４，平凡社（1975）

3） 三上次男，楢崎彰一編，“日本の考古学 Ⅳ”，河出書房新社（1967）

4） 市川　米太，“考古学と自然科学”， 4　8（1971）

5） 三辻　利一，“考古学と自然科学”， 5　59（1972）

6） 三辻　利一他，“考古学と自然科学” 6　43（1973）

7） 三辻　利一他，奈良教育大学古文化財教育研究報告， 5　17（1976）

8） 三辻　利一他，同上， 5　39（1976）

9） “陶邑”，泉北丘陵埋蔵文化財発掘調査報告書， 1（1976）

10） 三辻　利一他，未発表データ（1976）

Activation Analysis of the Japanese Old Pottery, Sueki

Toshikazu MITSUJI

Nara University of Education, Takabatake, Nara

122 Sueki samples were analyzed. The sourcing procedure of the Japanese old pottery, Sueki, was discussed on the strength of the analyzed data. The following results were obtained for the potsherds found in the remains of Sueki's kilns;

(1) A Sueki pottery was homogeneous in the chemical composition.

(2) The mean chemical composition of the potsherds found in a kiln was fixed with the variation coefficients less than about 20 %.

(3) It was thoroughly possible to discriminate one kiln from the others by the chemical composition.

It was concluded that the sourcing procedure of Sueki was to relate the ancient tombs or the old imperial palaces etc. (as demanders) to kilns (as suppliers) by the chemical composition of the potsherds.