

科学者が夢みる古代へのロマン*

三辻 利一**

1. 考古学と自然科学

考古学は遺跡を発掘し、出土する遺物を通して過去を再現する学問分野である。研究する対象は物であるが、過去を再現するという作業は歴史学に近い。他方、自然科学も物を研究対象とするが、過去を再現する作業は中心にはない。もっとも、地質学では古生代、中生代という人類が出現する以前の遠い過去の再現に関わるし、生物学も「種の起源とその進化」の問題では過去を再現する作業を伴う。現在、最前線の物理学者たちが関わっている「宇宙の起源とその進化」に関する研究も150億年前という遠い、遠い過去にまでさかのぼる研究である。

しかし、本来、物理学や化学を中心とした自然科学は複雑な自然現象をより単純化して理解するために、万物の根源は何であるかを追求した。その結果、根源物質としての原子像を描くことに成功したのである。ドルトンによる原子模型は微少球としての原子像を描き、物質の三態間の状態変化を説明したし、気体分子運動論を展開する上に大きな利点を与えた。1913年、ボーアによって提出された「量子化された原子像」は蛍光X線の発生機構をはじめ、多くの現象を説明する上に役立った。

1895年のX線、1896年の放射能の発

見が導火線となって、原子は不可分であるという、ギリシャ以来の伝統的な考え方が破棄されることになった。このことは科学史上、革命的なことであった。1911年、ラザフォードはアルファ粒子の散乱実験によって、原子核が存在することを実証した。1932年のチャドウィックによる中性子の発見によって、原子核は陽子と中性子からなるという核模型が確立された。現在、我々は原子核もまた原子同様、殻構造をもつという核殻模型をもっている。この模型を使って、原子核の安定性や原子核反応も説明することができる。

こうして、19-20世紀の物理、化学者たちは優れた方法論を開発し、「見えない原子や原子核の世界」を見えるようにしたのである。この分野の研究も、この200年間で大筋はできあがった。その結果、物理学の最先端の研究者たちは極微世界から大宇宙へと目を転じ、素粒子、原子核、原子、星、力、時間を統一的に理解しようとして、「大宇宙の誕生とその進化」に関する研究に向かったのである。20世紀の自然科学は多くの、勝れた技術も開発した。これらの技術は多くの学問分野で活用されているばかりか、現代人の生活の中に深く入り込み、現代文明を支えている。

考古学も自然科学もともに、「物」を

* 第101回京都化学者クラブ例会 [1998年11月7日]

** 奈良教育大学教育学部文化財科学コース教授

研究対象とする点で共通する。両分野が結びつく基盤はここにある。しかし、考古学の目的は過去の再現であるのに対し、自然科学の目的は方法論の開発にある。考古学者はこれまで、肉眼による遺跡、遺物の観察を研究の基盤においてきた。肉眼観察の根底には主観がある。他方、自然科学者は実験という武器をもつ。実験データを通して現象は客観的に理解される。

考古学側は自らの内にはない、自然科学のもつこの武器が過去の再現に活用できると期待したのである。かつて、京都大学文学部の梅原末治教授が青銅鏡の元素分析を同大学理学部の近重真澄教授に依頼したのも、この点にあった。しかし、自然科学側が考古学側の要求に本格的に応えるためにはもう少し時間が必要であった。

自然科学の発展、とくに、それに伴われる技術開発は戦争に関わりがあるといわれる。最新鋭の武器の開発に関係するからである。自然科学が軍事産業から開放されるためには、1945年の第2次世界大戦の終結を待たなければならなかった。世界的にみて、自然科学が考古学と本格的に関わりをもつのは、1950年代以降である。1960年代には半導体検出器が開発され、ガンマ線スペクトルも線スペクトルに近い形で測定できるようになり、多成分系である岩石も非破壊で放射化分析できるようになった。1970年代に入ると、蛍光X線分析装置も完全自動式のものが市販されるようになり、奈良教育大学に設置された完全自動式蛍光X線分析装置は国立大学としては1号機であった。

質量分析計も精度がよくなった。赤外線スペクトルやガスクロマトグラフの解読にもコンピュータが大きな役割を果たすようになった。このようにして、自然科学側で開発された技術が考古遺物や遺跡の研究に活用できる背景が出来上がってきたのである。

ただし、勝れた装置が開発されたからといって、直ちに、考古学に有意な情報が取り出せる訳ではない。そのための方法論の開発研究が必要である。ここにこそ、新しい考古学研究に参加する自然科学者の役割がある。例えば、土器の産地問題の研究でも、供給先の遺跡から出土した土器を分析すれば、直ちに、その産地が判明するというものではない。どの元素を使用すればよいのか、母集団（生産地）をどのように整理するか、生産地と消費地をどのようにして結びつけるかといった、基礎研究が必要である。その結果、産地推定法という方法論が導き出されるのである。この方法論は簡単に出来るものではない。実験データによって母集団を整理するのに、長い年月が必要である。筆者も20年を越える年月をかけた。このような方法論を作り上げることによって、自然科学者は考古学研究に役立っていくのである。この新しい方法論を駆使して、従来の考古学説をひっくり返すデータがでてくるかもしれない。もし、それができれば、この分野で活躍する自然科学者にとってこれほど幸運なことはない。

2. 産地問題の研究

欧米での、この分野の研究もそうで

あるが、「新しい考古学」の中心課題の一つが産地問題である。その理由は多くの考古遺物の産地判定には考古学的手法だけでは不十分で、自然科学の手法がもつ客観性が重要な役割を果たすからである。

黒曜石は破砕断面が鋭利であるところから、切断用具の製作には最適の素材である。そのため、金属器時代に入っても一部で使用された。しかし、その産地は限られている。特定の地域の露頭で産出した黒曜石を加工工場に運び、切断用具として使い易いように加工し、各地へ伝播、流通していったのである。その追跡には蛍光X線分析や放射化分析が使用される場合が多い。この場合の産地は露頭である。加工工場は一部にしか発見されていない。

青銅器は銅、錫、鉛の合金である。「周礼」考工記によると、器種によってこれらの金属の混ぜ方を変えている。また、再鑄すると、合金の組成も変わる。このようなことから、青銅器の元素分析は限られた条件のもとでしか役に立たない。しかし、鉛同位体法の開発によって、青銅器中の鉛同位体比を測定し、その素材の産地を推定することができるようになった。この場合、産地とは銅、錫、鉛の素材の産地である。これらの金属は同じ地域内の鉱脈で産出するといわれ、例えば、華南地域、華北地域といったかなり広い地域を産地としてとらえる。そのため、これらの地域内で産出したこれらの金属のインゴットの形で日本へ運び込まれ、銅鐸や青銅鏡が製作されたと考えられている。

鉄の素材の産地問題も考古学者には興味のあるところであるが、通常、鉄は炭素との合金である鋼の形で使用される。製品は殆どが鉄でできており、産地の目印になる元素は見つけ難い。そのため、産地問題の研究は遅れている。

土器は何処にでもある粘土が素材となる。縄文土器や弥生土器のように、その製作場所が残っていない土器もあるし、須恵器のように1000℃を越える高温で焼成する土器には、生産地である窯跡が各地に残っており、しかも、そこには大量の破片が出土する場合もある。この場合には、これらの窯跡が生産地であり、窯跡出土須恵器片を大量に分析して、須恵器の産地推定法を開発することができる。この方法が開発されれば、須恵器は古代、最大の窯業生産の産物であるだけに、その生産と供給の関係を解明することによって、須恵器を古代史研究の素材として活用する道が開かれることになる。

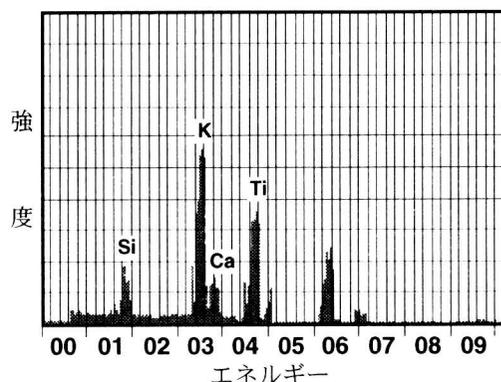
いずれにしても、産地問題の研究は自然科学が考古学に役立ちうる、最も重要な研究領域の一つであることには間違いない。

3. 須恵器の産地問題の研究

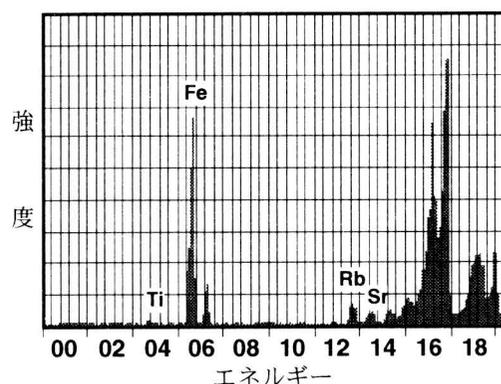
土器の素材は何処にでもある粘土である。ということは、土器の製作場所はあちこちにあるということを示唆している。そうなると、土器の製作場所である窯跡が残っていないと、産地問題の研究は非常に難しいと考えられる。この研究を始めるに当たり、窯跡（生産地）が残っている土器があるかどうか

かが最も重要な問題となったのも、そのためである。丁度、このころ、日本列島改造論にのっとり、全国各地では新幹線や高速道路の敷設事業が著しく進展し、各地の山中で須恵器窯跡が発掘された。筆者自身もしばしば、これらの窯跡を訪ねる機会をもった。多数の須恵器窯跡、その灰原からは大量の須恵器破片が出土するのを見て、筆者の考古遺物に対する考え方も一変した。しかも、須恵器窯跡は全国各地には数千基はあるとのこと、いずれも、大量の破片をもつという。このことを知って、これらの窯跡出土須恵器片を大量に分析すれば、元素分析による須恵器の産地推定法を開発できること、しかも、須恵器は古代最大の窯業生産の産物であることから、その伝播、流通を追跡すれば、日本古代史の研究にもつながってくることを考慮に入れると、須恵器の産地問題に関する研究は生涯をかけて研究する価値が十分あると判断した。

筆者が当初使用した分析装置は2次ターゲット方式のエネルギー分散型の蛍光X線分析装置であった。この装置で観測される須恵器のスペクトルを図1に示す。放射化分析によるガンマ線スペクトルに比べれば、ずっと単純である。ルーチン分析に使えるピークはK、Ca、Fe、Rb、Srの5元素であることがわかる。波長分散型に比べて分解能が悪く、Siのピークの左肩にAlのピークが重なり、Yの K_{α} 線にはRbの K_{β} 線が、また、Zrの K_{α} 線にはSrの K_{β} 線が重なることがわかって、Si、Al、Y、Zrの4元素を分析することを断念した。



(a) Tiターゲット



(b) Moターゲット

図1 須恵器の蛍光X線スペクトル

K、Ca、Fe、Rb、Srの5元素のうち、Feだけは異質である。元素の周期表ではK、Rbはアルカリ元素に、また、Ca、Srはアルカリ土類元素に属し、それぞれ、化学特性は類似する。したがって、これら5元素の内、2元素を取り出して分布図を作成するとすれば、主成分元素同志の組み合わせでK-Ca分布図を、微量元素同志の組み合わせでRb-Sr分布図を作成することになる。両分布図上で、各窯跡から出土する須恵器片の分析データが窯ごとに集中して分布するかどうか、また、異なる地域の窯間では地域差が認められるかどうか、

これからの研究を推進していく上で運命の分かれ道になる。ところが、幸運にも、この二つの条件は両分布図上で見事に表示できることが判明したのである。次の問題は全国各地の窯についても、このことが成立すかどうかである。それは実際、全国各地の窯跡出土須恵器片を根気強く分析して確かめてみなければわからない。そのため、全国各地の窯跡出土須恵器片を大量に集め、分析データを集積する作業が始まった。試料は全国各地の教育委員会を通して大量に集めることができた。そして、20年を越える年月をかけて分析データを集積した結果、各地の窯跡出土須恵器は例外なく、両分布図上で集中して分布し、地域差も示すことが立証された。また、窯群を構成する各窯跡出土須恵器は類似した化学特性をもつこと、言い換えれば、化学特性からも窯群にまとめることができることが示された。

両分布図での地域差の表示は直接的であるので、考古学者にも分かり易いという利点をもつ。しかし、自然科学者としてはもう少し正確な方法を開発しておかなければならない。

一般に、窯跡から出土するすべての破片を分析することは不可能である。任意に選択された一部の試料が分析されるに過ぎない。そのデータから、全試料についての化学特性を推計するのである。ここに統計学の考え方の導入が必要になってくるのである。その際、K - Ca、Rb - Srの両分布図で示された結果は統計学の手法でまとめられることになる。こうした考え方の中で、多

変量解析法の中の2群間判別分析法を本研究に最も適した方法として取り上げることにした。この方法における最も重要な因子はマハラノビスの汎距離という統計学上の距離であり、Dという文字で表示する。D値は母集団の重心を挟んで正、負両側に分布する点を等価に評価するために、二乗して負符号を消去して使用するのが普通である。

一例として、陶邑群(大阪府堺市)と朝倉窯群(福岡県甘木市)の2群間判別分析の結果について説明する。通常、母集団として50 - 100点程度の試料が分析される。まず、両母集団の全試料について両母集団の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値、 D^2 (陶邑)、 D^2 (朝倉)をK、Ca、Rb、Srの4因子を使って計算する。その結果は両対数グラフ上にプロットされる。両群の相互識別の結果は図2に示されている。両者は完全に相互識別されることがわかる。しかし、これだけでは両群の領界は判然としない。そのために、検定にかけられる。ここでホテリングの T^2 式が使用される。この式は D^2 に対してF分布する。したがって、F検定にかけられることになる。通常、5%の危険率がかけられる。使用因子数が4、試料数が50 - 100程度の母集団では $D^2 \leq 10$ が検定合格ラインとなる。 $D^2(X) \leq 10$ が母集団(X)に帰属するための条件となる。つまり、産地推定においては産地(X)に帰属する必要条件となる。

このような訳で、図2では D^2 (陶邑) = 10、 D^2 (朝倉) = 10のところをラインを引いてある。他方、両群の試料はそれぞれ、まとまって分布するため、互

いに相手群の重心から一定の距離のところにとまって分布する。図2では陶邑群の試料は D^2 (朝倉) = 50 - 600の範囲内に、また、朝倉群の試料は D^2 (陶邑) = 80 - 300の範囲内に分布することが経験的にわかる。したがって、この図では陶邑領域は D^2 (陶邑) ≤ 10 、 D^2 (朝倉) = 50 - 600であり、朝倉領域は D^2 (朝倉) ≤ 10 、 D^2 (陶邑) = 80 - 300となる。こうして、検定にかけることによって両母集団の領域が決定されることになる。

図3には朝倉窯群の周辺の古墳出土須恵器の分析結果を図2の両群の判別図上にプロットしたものである。図2で決定した朝倉領域に分布する試料が

朝倉群産と推定されるものであり、陶邑領域に分布する試料が陶邑産と推定されるものである。両者はともに5世紀代の初期須恵器の窯群である。時期的にも一致している。このように2群間判別分析では無差別に二つの母集団を選択している訳ではない。考古学的な諸条件を満足する母集団が選択される。それも、地元で須恵器を生産すれば、必ず、地元産の製品が出土するとの考えから、地元産か外部地域からの搬入品かを識別するという立場から、適当な二つの母集団が選択される。地元にも二つの母集団がある場合には、2群間判別分析は何回か繰り返されることになる。こうして、K、Ca、Rb、Srの

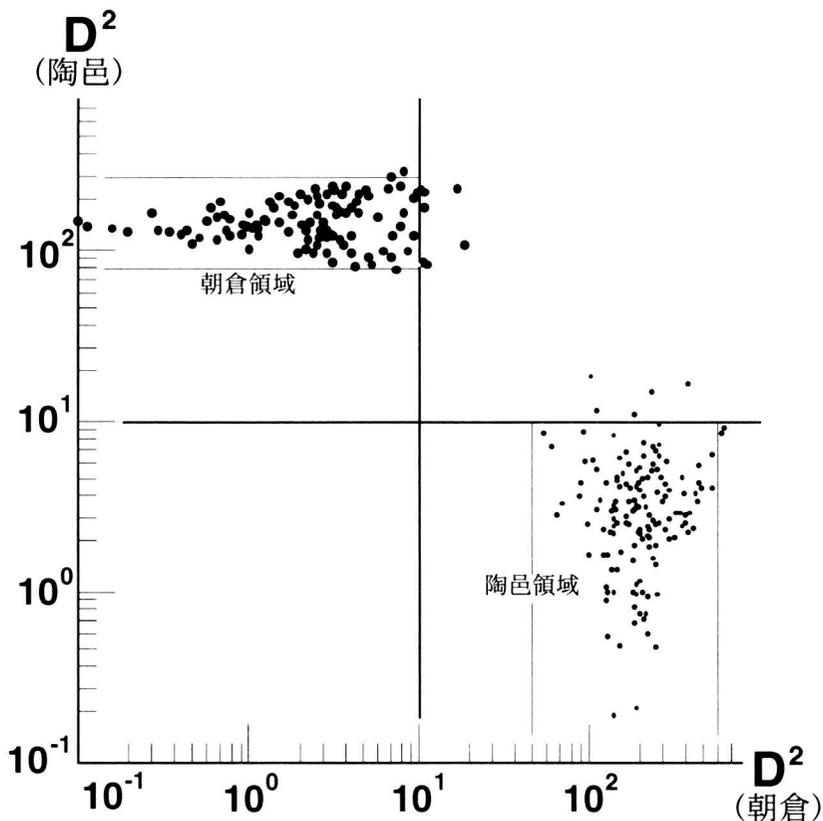


図2 朝倉群と陶邑群の相互識別 (K, Ca, Rb, Sr 因子使用)

4 因子を中心とした 2 群間判別分析法が須恵器産地推定法として提案されたのである。

4. 初期須恵器、埴輪の伝播、流通に関する研究

さて、この産地推定法は実際、どのように適用されていくのか。物事をより単純化して考えるのが自然科学者の常套手段である。したがって、より単純な系への適用を優先する。それは初期須恵器の産地問題についてである。初期須恵器とは須恵器製作という高度の土器製作技法が朝鮮半島から伝来した当初のころの須恵器のことである。もちろん、その窯跡の数は少ないし、

須恵器が伝播する理由も単純であろうと予想されたからである。まず、最初に取り上げられたのは九州北部地域である。この地域は高度の文化をもつ朝鮮半島に近く、接触の頻度も高かったと考えられたからである。もう一つは 5 世紀代の巨大古墳が並び、倭の五王がいたと推定される畿内中枢部である。ここには初期須恵器の窯跡の数も他の地域には比類がないくらい多い。そこで、筑紫の国の朝倉窯群の周辺の高墳群から出土する須恵器の産地問題を問題解決の突破口にしようと考えたのである。図3にはその結果を示してある。予想通り、地元、朝倉群産の製品は検出されたが、陶邑産の須恵器が検出さ

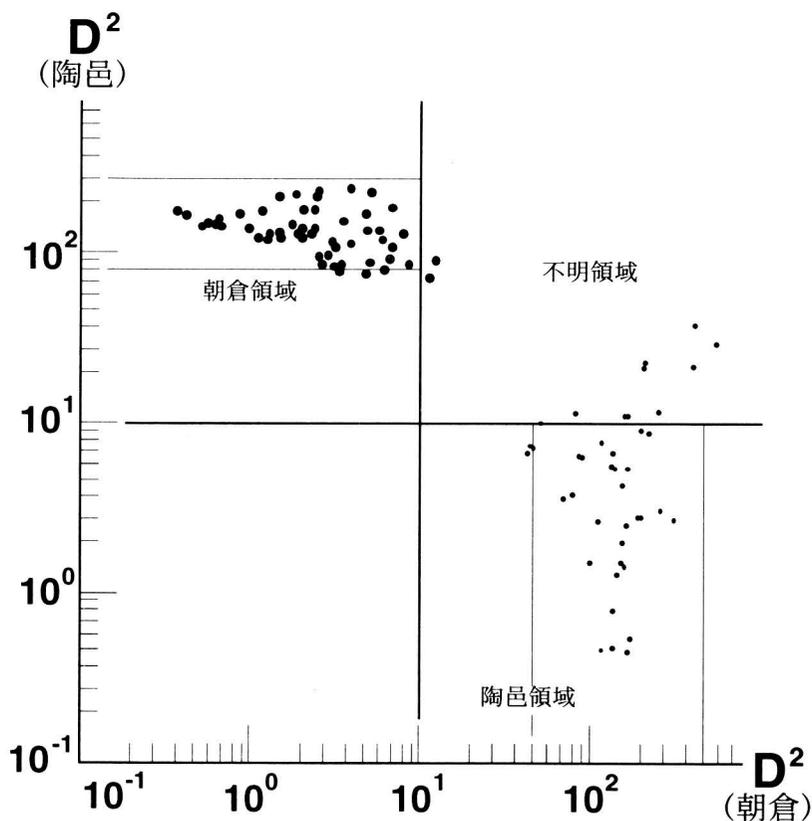


図3 朝倉窯群周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定 (K,Ca,Rb,Sr 因子使用)

れたことは大きな驚きであった。次いで、同じ九州北部地域の佐賀市にある神籠池窯周辺の古墳出土須恵器の産地推定が行われた。地元、神籠池窯の製品は少数しか検出されなかった。神籠池窯は1基しかないところから、当然のことと受け止められた。しかし、朝倉窯群の製品の他に、陶邑からの供給品が相当数検出されたことは以降の研究の考え方に大きな影響を与えることとなった。もしかしたら、初期須恵器は一方的に伝播するのではないかという考え方が浮かんできたのである。神籠池窯の製品は朝倉窯群の周辺の古墳群へは供給されていないことが確かめられた。どうやら、朝倉窯群の製品は一方的に神籠池窯周辺の古墳群へ供給されているようである。同様に、陶邑群の製品も一方的に朝倉窯群や神籠池窯周辺の古墳群へ供給されていた可能性が出てきたのである。こうして、今度は畿内の古墳、遺跡出土須恵器の中に朝倉窯群や神籠池窯の製品を探すことになった。大庭寺遺跡、小墓遺跡はじめ、多数の古墳、遺跡出土須恵器を分析した。しかし、殆どが陶邑産の須恵器で、九州北部地域からの搬入品は検出されなかった。こうして、陶邑産の須恵器が一方的に全国各地の古墳へ供給された可能性もでてきたのである。もし、陶邑の須恵器工人集団（鉄をも溶かす高温を生み出す高度の技術をもつ集団）が倭王の配下に帰属し、また、地方窯の須恵器工人集団は地方豪族の首長の配下に帰属するものとすれば、5-6世紀代の陶邑産の須恵器の全国各地の古墳への伝播は倭国についての重

要な情報をもっているのではなかろうかと考えられた。

現在、5-6世紀代の全国各地の古墳出土須恵器の分析データは相当数集積されている。それによると、その分布範囲は北は東北地方南部から、南は九州南部地域にまでわたっており、丁度、前方後円墳の分布範囲とほぼ、対応する。祭祀道具としての陶邑産須恵器は下賜品的な意味をもって、政治的に上位のところから下位のところへと、一方的に伝播したのではなかろうか？考古学者によると、弥生時代末には物流が盛んとなり、古墳時代に入ってから須恵器は商品として売買され、各地へと伝播していったという。筆者のデータをみていると、この理由はどうしても理解し難いのである。地方窯の製品は窯周辺の古墳からしか出土しないのである。地方でも、例えば、九州北部地域のように地元で須恵器を製作しているにもかかわらず、陶邑からの製品を大量に受け入れているのである。「ワカタケル」や「王賜」の文字を刻み込んだ鉄剣が出土する江田舟山古墳や稲荷台1号墳にも陶邑産と推定される須恵器が検出されているのである。陶邑産の須恵器は流れとなって、各地に伝播しているのに対し、朝鮮半島産の陶質土器は検出されるものの、その伝播は流れとはなっていない。このような考古学側との見解の違いは今後、さらに、分析データを集積していく過程で明らかにされるだろう。例えば、前方後円墳から須恵器が出土すれば、必ず、陶邑産の須恵器があるのかどうか、また、円墳や方墳にも、さらに、横穴

墓にも古いところには陶邑産の須恵器が供給されていたかどうか。これらを徹底的に洗うことによって、陶邑産の須恵器は地方の小古墳にも直接供給されたのか、それとも、地方の大豪族の手を通して配布されたのかといった問題も検討されることになる。さらに、供給された陶邑産の須恵器の年代の問題も検討する必要がある。陶邑内には初期、古式須恵器の窯跡はいくつもある。供給された陶邑産須恵器の時期差もわかれば、データはさらに面白く読めるだろう。筆者はまた、陶邑産の須恵器が地方へ供給されなくなる時期が全国各地、一律に同じなのだろうか、それとも、地域によっては早くから地元産の製品にとって代わられているのだろうか。この問題についても、横穴墓群出土須恵器を古いところから新しいところまで、時間軸にそって、大量に試料を採集し、分析すれば、興味深いデータがでてくるかもしれない。

倭の五王の時代は王権の非常に強い時代であったと推察される。このことを須恵器以外、埴輪の伝播の問題からも併せて追跡することができる。埴輪は本来、古墳の近くで野焼きで焼成され、古墳に並べられた物である。須恵器生産の影響を受け、5世紀代には一部登り窯で生産された。大量生産が目的であったと推察される。

畿内、摂津の三嶋野古墳群内には新池窯群、河内の古市古墳群内には土師の里、誉田白鳥窯群がある。これらの製品がどこへ供給されたのかを追跡することによって、埴輪の窯生産の理由が理解できるはずである。これらの窯

周辺の古墳出土埴輪を大量に分析した結果、これらの窯生産の製品は他の古墳群へ供給するためのものではなく、窯群近くにある巨大古墳に大量の埴輪を並べるための集中生産であったことがわかってきた。新池窯群の製品は太田茶臼山古墳と今城塚古墳から大量に検出されており、河内窯群の製品は誉田御廟山古墳から大量に検出されている。同時期の周辺の古墳からも出土するが、新池窯群の製品は古市古墳群からは出土しておらず、また、河内窯群の製品も三嶋野古墳群からは出土していない。窯生産の埴輪の伝播にも地方豪族の首長の大きな権力が潜在していることが推察される。

同様に、九州北部の岩戸山古墳には立山山窯群の製品が供給されており、この製品は他地域の古墳群へは供給されていない。岩戸山古墳は磐井の墳墓であるといわれている。筑紫の国の首長の墳墓への埴輪の供給図式は畿内の大王クラスの人物の墳墓への供給図式とよく似ている。ここにも筑紫の君として大きな勢力を振るった磐井の性格がよく読みとれる。このようなことは従来の考古学では引き出せなかった情報である。

もう一つの問題は埴輪の古墳での配置と胎土との関係である。古市古墳群にある6世紀初頭の矢倉古墳と、山口県柳井市にある4世紀末の柳井茶臼山古墳からは形象埴輪と円筒埴輪が出土しており、形式的にも数種類に分類されている。ところが、胎土分析の結果、胎土は2種類であることが判明した。さらに、若干の埴輪は配置場所もわ

かっており、これをもとに、古墳での埴輪配置が復元されている。分析結果を対応させると、同一種類の胎土の埴輪はまとめて並べられていることがわかった。このことは埴輪生産者は古墳での埴輪の配置場所も指定されていることを示している。さらに、2種類の胎土のうち、主成分の埴輪は古墳前方部の、被葬者からみて左側に、副成分の埴輪は右側に配置されていることが見つけられた。このことは古墳の左側と右側はそれぞれ、別の価値観を与えられていることを示している。これまた、従来の考古学では指摘されていなかったことである。

このようにして、新しい方法はこれまでの考古学にはなかった新情報を続々、提供しつつある。

欧米諸国での、この分野の研究材料は我が国に比較すると、驚くほど豊富である。エジプト文明、メソポタミア文明、ギリシャ・ローマ文明、それに、

中南米の文明には金属類、ガラス、顔料、染料など実に様々な素材がそろっており、その分析もかなり進んでいる。アメリカ合衆国ではこの分野を「考古化学」と呼んでおり、「化学」の立場から、人類文化史の進展を追跡している新興の研究分野である。これに対して、日本ではこれらの素材は文化財と呼び、貴重品である。国立文化財研究所や国立博物館などの、一部の限られた人々にしか手に入らない。ところが、日本は土器の国である。出土する土器破片は欧米諸国をはるかにしのぐ。これが奈良教育大学でも大量の土器試料を分析できた理由である。しかも、日本の土器に関する考古学研究は欧米諸国からは「クレイジー」といわれるくらい詳細を極める。日本のもつ、この特異性に自然科学の手法を上手く結びつければ、欧米諸国には真似のできない、面白い新考古学を展開することができるだろう。これが筆者が描く「大きな夢」である。