

<講演要旨>

## 縄文土器の理化学的分析

—胎土分析を中心にして—

西田泰民

### 1 分析の方法について

現在、土器の分析に用いられている方法にはおおまかに成分の分析を主としたものと製作技法の解明を主としたものとがある。後者には焼成温度や焼成雰囲気（還元状態、酸化状態）の推定などが含まれる。筆者には後者の分析の経験がないので今回はそれについては特に触れず、成分分析を中心に述べることとする。さらに最近行われるようになった土器に付着した物質の分析（脂質分析など）も広義には土器の理化学分析に含まれるであろうが、これについても省略する。

成分分析では非常に大ざっぱな言い方をすれば土器を拡大して観察することによって、知りたい情報を得る。その拡大レベルには3段階ほどあり、表1に示したように元素レベル、結晶レベル、肉眼レベルと分けることができるであろう。

元素分析で現在主流となっているのは蛍光X線分析と放射化分析（正確には熱中子放出化分析）であり、発表論文も日にすることが多い。ただし、両方の方法とも検出できる元素に制限があることは、考古学専門家のため書かれた解説書の中でも触れられていないことが多い。

蛍光X線分析装置は原則的には大部分の元素をカバーすることができるが、そのためには複数のX線源が必要である。分析を行う側がその設備を持っているか否かは分析装置そのものの性能とはまた別の問題である。また放射化分析では、明らかにこの方法では定量するのが困難な元素があるほか、半減期が数秒の短寿命核種から数年から数万年におよぶ長寿命核種まで測定できる環境を測定者が備えているかどうかが問題となる。放射化分析と元素の相性については表3の通りである。これからも分かるように土器の主成分である珪素は放射化分析では基本的に分析ができない。同じ元素分析であっても蛍光X線分析の結果で表示される元素と放射化分析の結果で表示される元素の種類に違いがあったり、分析者が異なると定量されている元素の種類が異なるのはこれらの理由によるものである。地域や技法を特徴づけるとして、これまで取り沙汰されているストロンチウム、ルビジウム、チタンといった元素も各研究者の持つ測定環境、条件によって目をつけられるようにならったといつてもよいであろう。なお蛍光X線分析のそのほかの有効な利用法としては土器表面に塗布された赤色顔料の推定があり、水銀が検出された場合には朱の使用、鉄のみの検出の場合にはベンガラの使用と判断することが出来る。

結晶レベルの分析ではX線回折、偏光顕微鏡による観察例が多い。土器を分析する場合には

表-1 基本のレベル

		放射化分析 蛍光X線分析
ミクロ	元素レベル	E P M A P I X E I C P 発光分析
		X線回折
	結晶レベル	偏光顕微鏡 電子顕微鏡
マクロ	肉眼レベル	ルーペ 実体顕微鏡 X線透過法

表-2 分析法と資料の処理

分析法	破壊の有無	回収の可否
放射化分析	非破壊	不可
蛍光X線分析	非破壊／破壊	可能
EPMA	破壊	可能
PIXE	非破壊	可能
ICP	破壊	不可
X線回折	破壊	可能

表-3 放射化分析の測定可能元素

◎高感度、□感度良好、△利用可、◎感度良好、ただし複数性

#### 放射化分析法が有利な元素

X線回折は土器粉末を使用するのが普通である。定量分析には適せずおおまかな量比を知ることができるのみである。難点は含まれる複数の結晶の回折結果が同時に表示されるため多くの種類の鉱物が含まれる場合判読が難しい点と、含有鉱物が未知である場合同定に非常に手間がかかることがある。また均等に粉末にするため、胎土中の鉱物や岩石の形状についての情報は失われ、火山ガラスなど結晶でないものは分析の対象とならない。偏光顕微鏡による観察も光が透過する程の薄片（約0.03mm）を作成するか、粉碎し鉱物粒を取り出す必要があるので、破壊分析に入る。特に薄片試料の作成には時間と熟練が必要である。粘土鉱物は電子顕微鏡でないと観察することが出来ない。

肉眼レベルでは破片資料ならば実体顕微鏡による観察が非常に有効である。ただし架台の構造上、大型の完形品は観察が無理なことがあり、ルーペに頼らざるを得ない。X線透過法はまだ、一般的ではないが、図1のように破片の中の様子をおおまかにつかむことができる便利な方法である。

考古学資料の分析の場合、実際の分析にかかる前に問題となるのは資料を破壊してよいのか、あるいは破壊してはならないのかという点である。分析方法によっては破壊をまぬがれないものもあり、たとえ分析法自体は非破壊であるとしても機器に合わせた大きさに資料を壊して一部を分取しなければならないこともあります。分析する面が平らであることを要求されることもある。

また放射化分析では見た目には非破壊であっても放射性物質が生成するために分析を行なった資料の回収ができなくなる。表1で掲げた方法について、資料の処理に関する条件を示したのが表2である。

## 2 分析の実際と問題点

### ・元素分析について

最近前節あげた分析のうち最もミクロなレベルである元素分析のデータの発表を多く見るようにになった。特に三辻利一が精力的に進めている須恵器についての分析が端緒となっていると思われるが、ややもすれば、分析をすれば産地がわかるという安易な認識が広まりつつあるのではないかと危惧している。考古遺物を扱っている分析者には産地分析に対する楽観論者と悲観論者がいると筆者は考えているが、筆者はどちらかといえば悲観論の立場に立つ。元素分析は本来地球化学的な方法である。前節で述べた事柄と関係するが、自然科学の分析においては、繰り返し同じ結果が確かめられるのが基本であり、そのために形状や重量など同じ条件の均質化されたサンプルを数多く揃えることが前提である。形状を揃える、均質化するとは具体的には粉末化することである。岩石を主な材料とする地球化学ではこのようなサンプルの条件は問題とはならない。しかし考古遺物では全てについてこのような条件を満たすことは難しい。

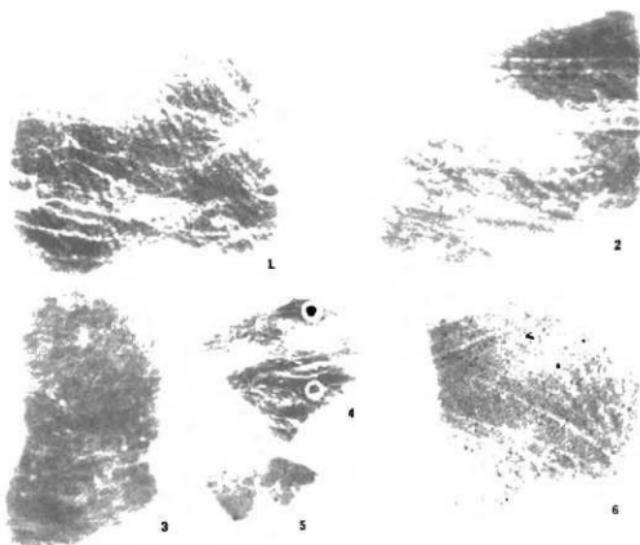


図1 繊維土器と繊維非含有土器の軟X線透視

基本的に破壊を伴う分析は敬遠される上に、数に限りがあり、遺物の種類によっては同じ条件のサンプルを複数揃えることを望めないものがある。また現段階では残念ながら非破壊分析の精度にはまだまだ問題がある。従って考古遺物の分析の際には遺物を破壊しても精度を上げるか、精度を断念して遺物を残すかというジレンマに陥ることになるのである。分析方法自体は地球化学で確立されているので結果に大きな狂いはないにしても、複数の方法によるクロスチェックが行われているか否かも重要である。

次に問題になるのは、考古遺物の自然科学的分析全てに共通して言えることであるが、出される数値をどのように考えるかである。これは単にどのような解釈に結び付けるかということではなく、数値をどの程度謙虚に受け止めるかということであるといった方がよいであろう。上器は岩石のような自然産品でも、工業製品のような均質化された製品でもない。さらに実験的に再現することが非常に困難な長期間の埋没という条件が加わっている。考古学的解釈へ進

む前になぜこのような数値がでたのかを謙虚に考える必要があるのではないか。そのためには考えられるかぎりの実験的基礎データを積み重ねておくことが必須のはずである。そのような手続きを怠っていると思われるのが、成分分析ではないが、土器の焼成温度の推定である（大沢他1980）。発表によれば草創期の土器が450～500℃で焼かれているというが、焼成実験を一度でも行ったことがあれば、野焼きの温度が4, 500℃という低い温度にとどまらないことがわかつていたはずである。得られた推定値が土器全体が受けた熱を示しているのか、焼成時間との相関はないなど検討すべき事柄は多数あったはずである。

元素分析は産地同定の方法として行われているのが現状である。地球上に元素が偏在することは地球化学的に知られており、考古遺物の元素分析ではいわばそれを逆手にとって生産地の特定を試みる。しかし元素の偏在がなぜ生じたのかは噴出物の場合には説明できても、土器の原料となる粘土のような成因、種類共に非常に複雑な堆積物についてはきちんと説明されていない。本当に数種類の元素の濃度の差だけで産地同定までできるのか問題があるのではないか。原料の産地が特定でき、しかも生産管理が行き届いているような場合でないと、元素分析は有効性を持たないであろう。日本のやきものでは須恵器以降の製品がそれにあたる。ただしこれまでの分析法は本来違いを出すことが出来ても、同じであることを示すことは必ずしも出来ない。すなわちたまたま同じであるのか、本当に同じであるのかを弁別する手段や根拠を持っていないといえる。また元素分析結果を安易にクラスター分析によって群に分けてしまうのも納得し難い。都合の良いところで群を区切ることができると欠点がクラスター分析にはあり、また何種類もある計算法のうち、どれを、またなぜ選んだかを明示した論文がないのはもっと問題にされるべきではないのであろうか。

このような点を考え合わせると、縄文土器のような粗粒の混入物の多い土器の場合にはまず結晶レベルまでの分析のデータを集めするのが望ましいと考えられる。そしてどうしても元素分析を行なう必要がある場合には粘土分と鉱物、岩石片を分離したうえで行なうべきである。

#### ・偏光顕微鏡による方法

粘土中に含まれた粒径の比較的大きな鉱物、岩石片を偏光顕微鏡で観察するのがこの方法である。縄文土器、弥生土器など粘土以外の粗い粒子が多く含まれている場合に適した方法であるといえる。夾雜物を見る分析法とも呼べるかも知れない。この方法にはおおまかに土器の薄片を作つて観察する方法と細かく砕いて鉱物を取り出して観察する方法とがある。後者の方法ではさらに比重の大きな鉱物をよりわけてその量比を算出する重鉱物分析が主である。それぞれの分析までの手順を図2に示した。

両者には長所・短所があり、薄片観察では直接粒子が入っている状況を見ることができ、火山ガラス、プラントオパールなどが含まれていればそれを確認することができる。土器を粉末にする方法ではあらかじめそれらが入っていることを知らなければ見逃してしまうであろう。

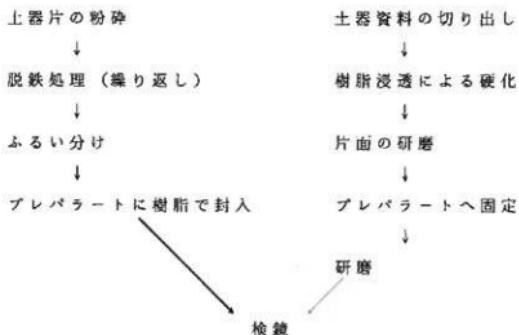


図2 重鉱物分析と薄片作成の手順

また岩石の種類も薄片では特定しやすいが、粒子の外面しかみない方法では大まかな判断しかできない。ことに不透明鉱物として正体不明のまま報告されるものの割合が多い場合があり、なぜ他の方法を用いて同定を行わなかったのか気にかかるケースがある。さらに重鉱物分析は粒度を揃えてからの分析なので、標準化されているとも、ある程度バイアスのかかった分析であるともいうことができるであろう。一方、薄片を用いた分析の欠点の一つは元の土器にくらべてそのデータとなる資料がかなり小さいことであるといえる。面積2~3 cm<sup>2</sup>、厚さ0.03ミリの薄片で一つの土器を代表せざるを得ない。また含まれる粒子の客観的数量化がやや難しく、多大の時間と労力が必要である。

### 3 繩文土器の分析の実践例

#### ・産地分析

これまで行われている胎土分析のほぼ全てがここに含まれる。

火山島は地質条件が単純であるため、出土した土器が島内産の原料で作られているか、島外産の原料で作られているか、胎土中の岩石、鉱物から知ることが比較的容易である。一時、伊豆七島の縄文土器を対象として胎土分析の論文が多く発表されたのはそのためである（古城1978、今村1980など）。清水芳裕の取り上げた中国地方も産地分析に向いた地質条件であった（清水1973）。それに対して沖積地で作られた土器にはさまざまな地質の背景を持つ地域から流れ込んだ岩石や鉱物が含まれており、産地分析という観点からは扱いにくい。また小さな島ではなく、広い地域を扱う場合地質図からの情報だけで産地を想定する方法には限界がある。

そのような意味で最近発表された八ヶ岳山麓での河西らの研究では土器だけでなく周辺の河川流域の堆積物の細かな分析を合わせ行っており、評価されるべき試みである（河西1989）。同様に細かな河川堆積物のデータを背景にして奥田尚は精力的に土器中の岩石・鉱物の肉眼による分析を行っているが、フィールドが西日本であることもあり縄文土器の分析例は発表されていないようである。

関東地方の土器を扱い井上巌はX線回折のみで土器の胎土分類を行い、産地の違いを反映させようとしているが、実際の鉱物を直接見ずに粉末にしてしまうこの方法にはあまり賛同できない（井上巌1987など）。

#### ・粒度分析

筆者は同時期に存在する異なる系統の土器の分析として加曾利B式期の精製土器と粗製土器をとりあげ、粒度の分析を行ったことがある（西田1984）。とりあげた遺跡は千葉県市原市内の紙園原貝塚である。図3は比較的まとまった出土状況を示した地点の土器の分析結果である。横軸は砂の中に1～4ミリの粗粒の砂の含まれる割合、縦軸は砂に対する粘土の割合である。ただし顕微鏡での計数結果であるので、この数値は実際の土器製作時における砂と粘土の混合比を表しているわけではない。図示したように粗製土器、精製土器それぞれがまとまりを見せており、この地域においては精製土器の方がやや粗粒の砂を多く含む傾向が認められた。また含まれる岩石や鉱物の種類にはあまり差が認められなかった。一方同時期の他の遺跡においては粗製土器の方に粗粒砂が多く含まれていることがわかっているので、現在のところ、この粒度の差は機能差というよりは、製作技術の背景（材料もしくは製作者）が両者において異なっていたのではないかと考えている。なお誤解のないように付記しておくと、ここで言う精製・粗製とは文様から区分される群であって、胎土を含めての分類によるものではない。

#### ・特殊な胎土の土器の分析

縄文土器には九州の曾畠式の滑石、関東地方の阿玉台式の雲母、北陸・中部地方の一部の押型文土器の黒鉛などある地域や時期に特有な混和材を用いられたことが知られている。しかしながらこれらの特殊な混和材を用いた土器の分析は殆ど行われていない。

また神奈川県寺尾遺跡、山形県日向洞穴などの草創期の土器には獣毛が入っているものがあるといわれている。日本の土器製作開始間もない頃のことだけに大変興味を引かれるが、これも今のところ確認・同定する手立てがなく本当に獣毛なのか、どんな動物の毛なのかも判っていない。

他の時期にはあまり見かけないが、撻糸文土器の一部には軽量な胎土と形容される多孔質な土器がある（戸田1989など）。イギリスでは石灰分を含んだ土器が、埋没中にその石灰分が溶け出して多孔質となる事例が知られている（Gillam1951）、これもそうであるかも知れないが、孔があるだけなので確認する手立てがない。

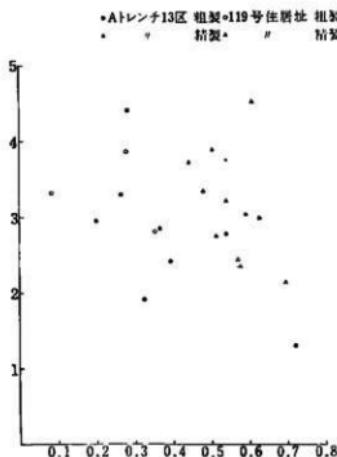


図3 精製土器と粗製土器の粒分析

諸磯b式土器では浮縁文に器壁部分と異なる種類の粘土を用いた例が報告されている。成瀬によれば化学分析で2つの粘土の違いが明らかに出来たとのことである(成瀬1980)。しかし縄文土器については近畿の弥生土器で知られているような2種類の粘土を用いて成形された例(大阪府東山遺跡など)は今のところ報告されていない。

#### ・縄維土器

東日本の早期から前期前半に特徴的な纖維混入の土器は時間的にも空間的にも大きな広がりを持っていた。縄維土器の出土は世界各地で知られており、たとえば北アメリカ中南部、アラスカ、東南アジア、メソポタミア、東南ヨーロッパなどにあり、実物を見たことがないが中国の夾炭黑陶もその部類のようである。その多くは古い時代に現れてやがて作られなくなるという共通性を持っており、各国共通の研究テーマとなりうる興味深い土器である。ただし、縄文土器のようにその時代の土器全てが縄維土器であるとは限らず、同時期に他の胎土の土器が伴う場合も多い。アフリカでは民族例として縄維の含まれる土器がある。縄維土器は草食動物の糞を粘土に混ぜることによって製作することが出来るので、家畜動物のいる社会においては糞を粘土に混ぜて素地とする例が多く知られている。この種の土器もあえて分析資料とした報告例は数少ない。古くには草野俊助が現在でいう円筒下層式の土器中の纖維について短い報告を行ったことがあり、炭化した組織の観察から纖維は禾本科もしくは莎草科(スゲ類)の枯れた

草を打ってまたは揉んで柔らかくしたものではないかと述べている（草野1980）。早期条痕文系土器のX線撮影から川松康人は纖維を一本単位で使う、纖維を数本束ねて使う、纖維を丸めて塊で使うの三通りの方法があったことを想定した（川松1980）。また小西雅徳は茅山下層式、黒浜式、黒浜式末期の三時期の土器をサンプルとして同様の分析を行い、素地作成時と粘土紐作成時にそれぞれ纖維の混入が行われた可能性を指摘した（小西1986）。さらに関山式、有尾式系上器を用いた北爪らの分析もその可能性を追認している（北爪他1986）。筆者の扱ったのは黒浜式の最後の段階のもので、纖維の同定には至らなかったが、少なくとも從来言われていたような禾本科の植物ではないことがわかった（西田1986）。また図1に示したようにX線透視から纖維の単位が比較的長く、器壁に沿って走行していることがわかった。また福田らによる電子顕微鏡を用いた前期の纖維土器の観察では、禾本科植物とチップ状木片が確認できたという（福田他1987）。

最近アメリカにおいて纖維土器がどんな利点を持ち得たのかを実験によって検討した論文が発表されている。纖維土器の研究の土壤が古くからある日本においてなぜこのような発想の研究がこれまで現れなかつたのか不思議であり、残念でもある。このスキボーらの論文では纖維を含ませて焼いた粘土板を用いて、衝撃耐性、摩擦耐性、熱衝撃耐性、熱効率、携帯性（すなわち重さ）、可塑性、成型の容易さなどを検討している（Skibo J. M. et al. 1989）。その研究では纖維土器の利点は可塑性と軽量性にあり、移動の多い集團にふさわしい土器製作法であったのではないかと結論づけている。なお北アメリカの纖維土器の原料には南部ではヤシ、中部ではカヤツリグサ属、ウシクサ属、キビ属が使われたという（Peterson 1980, Reid 1983）。

#### 4 まとめにかえて 一胎土分析に必要な視点—

元素分析を含めて、これまで胎土分析といえば産地同定の方法としてしか思われていないくらいがあるし、分析者自身も産地分析という意識しか持っていない場合が多いようである。しかしその前に胎土の分析とはまず材質分析であることを忘れてはならないはずである。分析で分かるのは産地ではなく、胎土調整法という製作技法でしかないと筆者は考えている。したがって産地分析を目的とした胎土分析が行われてもまったく不思議ではない。たとえば共時的資料では同一型式の中の異なる器種の胎土の分析、通時の資料では複数の型式にまたがる土器製作技術の連続性の検討など取り上げるべきテーマはいろいろあるのは言うまでもない。

またはじめに述べたように分析の常道として一つの方法だけで通すのではなく、常に方法論の検討と改善を行い、複数の方法を繰り出してその解明に当たるべきである。これまで発表された胎土分析を扱った論文の参考文献には実践例ばかりが挙げられ、方法論的考察がほとんど挙げられていないを見ると、分析者側が方法の向上という点にあまり関心を持っていないかのように思われる。それぞれのもともと開発された分野では分析法として完成されているかも

知れないが、考古遺物の分析法としてはまだ未完成の筈である。そしてわかったことだけでなく、わからなかったことをも明示して方法の充実に努めるべきではないだろうか。

(財団法人 古代学協会研究員)

### 文献

- 井上 嶽 1987 「神明遺跡出土土器胎土分析報告」『神明・矢垂』、埼玉県埋蔵文化財調査事業団
- 今村啓爾他 1980 「伊豆諸島の縄文文化」、武藏野美術大学考古学研究会
- 大沢真澄他 1980 「上器の材質と焼成および黒曜石の産地」『考古学ジャーナル』172
- 河西 学・樋原功一・木村昭二 1989 「八ヶ岳南麓地域とその周辺地域の縄文時代中期末土器群の胎土分析」『帝京大学山梨文化財研究所研究報告』1
- 川松康人 1980 「条痕文土器のX線写真観察について」『藤の台Ⅱ』、藤の台遺跡調査会
- 北爪健二・菊池 実 1986 「縄文土器のX線写真撮影」『三後沢遺跡・十二原Ⅱ遺跡』、群馬県埋蔵文化財事業団
- 草野俊助 1930 「壬寺式土器破片に残存する植物織維」『史前学雑誌』2-6
- 古城 泰 1978 「伊豆諸島出土土器の製作地について」『くろしお』3
- 小西雅徳 1986 「縄文土器の光学的観察」『あざみ野遺跡』、國學院大学
- 清水芳裕 1973 「縄文時代の集団領域について」『考古学研究』19-4
- 1983 「胎土分析2」『縄文文化の研究』5、雄山閣
- 青原正明他 1980 「東山遺跡」、大阪文化財センター
- 戸田哲也 1989 「縄文土器の型式学的研究と編年(中編その2)」『神奈川考古』25
- 成瀬正和 1980 「浮線部分と母体部分の色調が異なる諸磯b式土器の胎土について」『伊勢塚・東光寺裏』、埼玉県教育委員会
- 西田泰民 1984 「精製土器と粗製土器」『東京大学文学部考古学研究室研究紀要』4
- 1986 「楕の内遺跡出土の黒浜式土器と諸磯a式土器の胎土」『楕の内遺跡発掘調査報告書』、野田市遺跡調査会
- 福田芳生・三門 楢 1987 「走査型電子顕微鏡で観た縄文土器」『なりた』39

- Peterson D. A. 1980 "The Introduction, Use and Technology of Fiber-tempered Pottery in the Southwestern United States", in "Early Native Americans", D. L. Brown ed., The Hague
- Reid K. C. 1983 "The Nebo Hill Phase: Late Archaic Prehistory in the Lower Missouri Valley", in "Prehistoric Hunters and Gatherers in the American Midwest",

J. R. Phillips & J. A. Brown eds., New York

Skibo J. M. et al. 1989 "Organic-tempered Pottery: an experimental study",  
American Antiquity 54-1

Gillam J. P. 1951 "Dales Ware: a distinctive Romano-British cooking pot", Antiquaries  
Journal 31-34

本文は平成元年度千葉市立加曾利貝塚博物館考古学講座の講演内容を  
まとめていただいたものです。（編集者）