

## 考古学における分析化学的検証の必要性

三 辻 利 一

### 1 はじめに

自然科学も考古学も、共に「物」を研究対象とする点で共通性があるが、「実験」という行為をもつか、もたないかで決定的な違いがある。自然科学では、観察された自然現象は「実験」を通して再現化され、客観化される。客観化された事実は自然法則として共有される。他方、考古学では肉眼観察を基礎にして遺物は分類、整理される。しかし、「実験」という行為が欠如しているために、観察された結果は主観性が強いものとなり、研究者間の論争を呼び起こすことになる。それ故、なかなか法則として定着しない。考古学側のもつこの欠点を補うために、考古学と自然科学の複合領域の研究分野が開かれることになったのであろう。

第2次世界大戦が終結した1945年頃からヨーロッパを中心に考古学（archeological sciences）が広がり、その波は1970年代、行政発掘という独特の発掘体制下で大量の遺物が出土していた日本にも及んできた。こうした背景から、1982年、考古学者と多分野の自然科学者が参加する日本文化財学会が設立された。当然、考古学者は高度に発達した技術をもつ自然科学の方法による「検証」を期待して、この学会に臨んだのである。自然科学者側でも簡単にこの「期待」に応えられると思った節がある。しかし、実際は事はそう簡単ではなかったのである。

自然科学者の本領は繰り返し実験することにあるから、博物館に展示されているような貴重品（文化財）は実験対象にはならない。土器のように大量に出土し、多くの研究者が実験できるような考古遺物こそが研究対象になるというのが筆者の考えである。土器の考古学研究はまず、土器の分類から始まる。肉眼観察を研究手段の基盤に置く考古学者は土器の形式分類から始めるのは当然のことである。

土器を分類してどうするか？ 歴史研究で基本的に重要な問題はいくつかあるが、その一つに「年代を知る」ことがある。土器の分類結果は年代観を入れて編年としてまとめられた。「土器編年」は考古学的方法論による成果である。以降、考古学者は出土土器の形式をみて、遺跡の年代を知る手掛かりを得た。その次の重要問題は「何処で」という場所の問題であり、土器については「産地問題」である。土器形式から考古学者は土器の伝播を追跡し、土器の生産と供給問題を通して、過去を再現しようと考えた。しかし、土器の素材はどこにでもある粘土であり、土器の産地は多い。土器形式から産地を分類、整理することは肉眼観察だけでは手に負えなくなったのである。産地の整理ができない限り、とても土器の産地問題には手がつかないのである。この時点で、「土器の元素分析による

生産地の整理」という課題が分析化学者にだされたのである。

筆者がこの分野の研究に着手したのはまさに、この時期であった。既に、多数の須恵器窯跡は全国各地で発掘されていた。そして、丁度、これに位相を合わせるかのように、土器などのケイ酸塩試料を大量に分析する上に最も適した完全自動式の蛍光X線分析装置が市販された。筆者はこの装置を使って、全国各地の窯跡出土須恵器を大量に分析し、須恵器産地推定法を開発した。この方法論の開発研究を通して得られた体験から、「考古学における分析化学的検証の必要性」について考察したい。

### 2 元素分析による須恵器窯跡の整理

土器の生産地は窯跡である。縄文土器や弥生土器などの低温で焼成する軟質土器の窯跡は殆ど残っていないが、5世紀代に朝鮮半島から伝えられた高度の技法で焼成した須恵器の窯跡は堅固に構築されたため、千数百年もの風雪に耐えて残った。その数は全国各地に数千基以上はあるといわれている。しかも、そこには、大量の破片が残っていた。これこそまさに、自然科学者にとって最高の実験対象である。これら进行分析することによって、窯跡を整理できれば、須恵器産地推定への道が開かれてくるはずである。

火成岩は石英、長石類、角閃石類、輝石類、雲母類などの鉱物（複雑な化合物）の集合体である。他方、土器の素材となる粘土は火成岩が風化して生成したものであり、シリカとアルミナで構成される粘土鉱物を主体とし、母岩の構成鉱物の微小破砕体も包含している。それ故、火成岩も粘土も多数の元素を含有することは周知の事実である。そのことは蛍光X線スペクトルやガンマ線スペクトルによって示されている。

しかし、含有元素がすべて分析できるわけではない。大量の試料の分析処理が必要であるから、迅速分析であることが必要である。そのため、分析対象となる元素は短時間の測定で高い蛍光X線強度が得られる数元素に限定される。この中で、地域差を有効に表すK、Ca、Rb、Srの4元素に着目してデータ解析は進められた。測定された生データはK-Ca、Rb-Srの両分布図上にプロットされ、地域差が比較された。その一例として、陶邑窯群（大阪府堺市）の須恵器と朝倉窯群（福岡県甘木市）の須恵器の両分布図を図1, 2に示す。各母集団の試料は星雲状にまとまって分布すること、さらに、両者には明らかな地域差があり、相互識別ができる可能性があることを示す。視覚上見やすいという点では両分布図は有効であるが、きちんと相互識別するには2群間判別分析法が適用される。判別分析に使われる因子はマハラノビスの汎距離である。母集団の重心から正負、等距離にある試料を同等に取り扱うため、二乗して

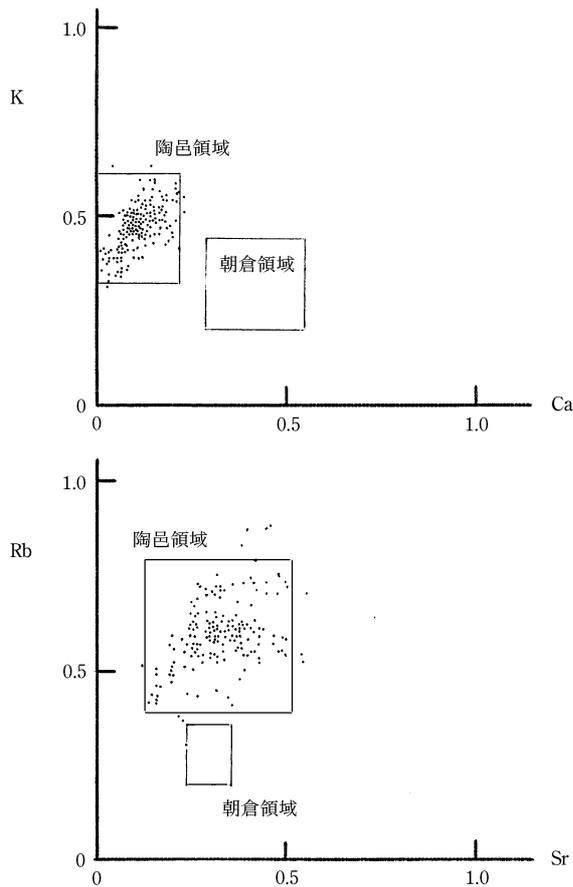


図1 陶邑窯群の須恵器の両分布図

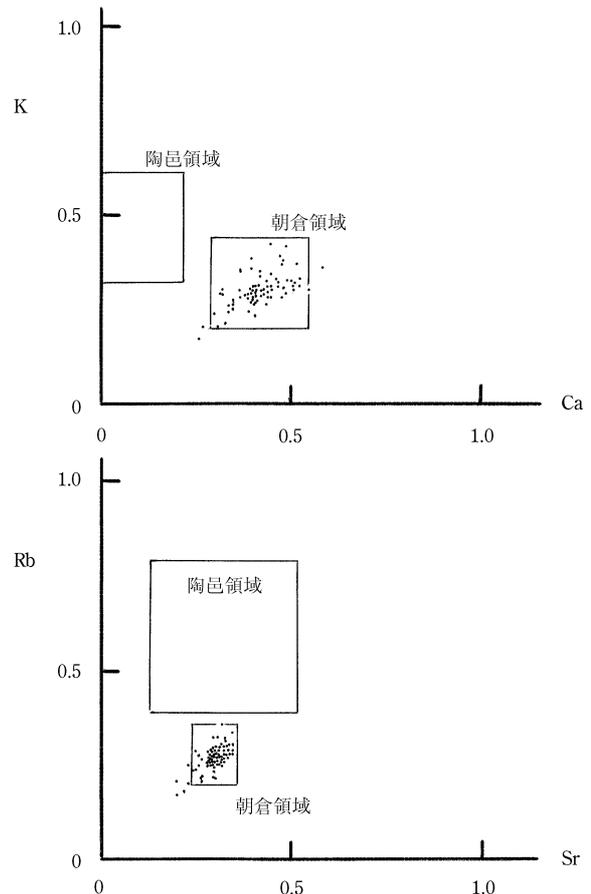


図2 朝倉窯群の須恵器の両分布図

負符号を除去して使用する。4元素の分析値を使って計算された。両群の全試料について両群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値を計算した結果は判別図上にプロットされた。陶邑群と朝倉群の2群間判別図は図3に示されている。中央に引かれた斜線は理想境界線と呼ばれ、両群の重心から等距離にある点の軌跡と定義される。両群の試料は理想境界線を挟んで完全に分離しており、相互識別は完全にできていることを示している。

もう一つの例を示そう。図4, 5には陶邑窯群内にある、ほぼ同時期と推定される大庭寺1, 2号窯の須恵器試料の両分布図を示す。両窯の試料も星雲状にまとまって分布することがわかる。しかし、両群の試料は重なって分布しており、相互識別は難しいことを示している。判別分析の結果は図6に示されている。両群の試料は理想境界線に沿って重なって分布しており、相互識別はできないことを明示している。相互識別ができないということは同じ粘土を素材として使用したことを示唆している。いま、両極端の例を示したが、部分的にしか相互識別できない場合もある。一般に、同一窯群内の個々の窯間の相互識別は困難であった。このことは窯群内の多数の窯を窯群として一つにまとめることができることを示している。このようにして、全国各地の多数の窯跡は少数の窯跡群として整理できることがわかった。

### 3 須恵器の産地推定

上述した元素分析による生産地の整理法は再現性、普遍性、

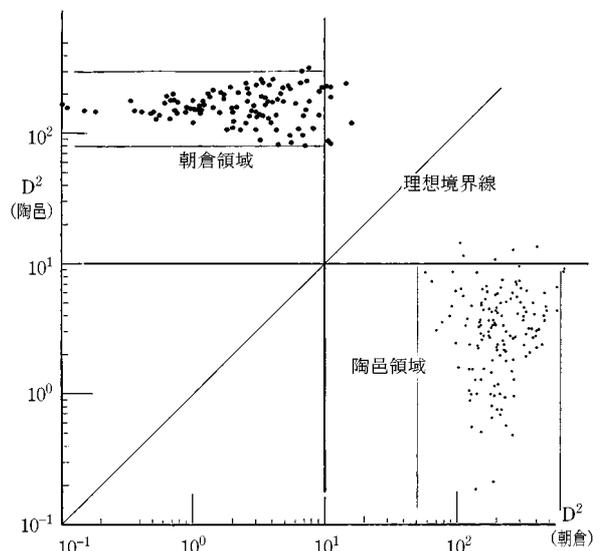


図3 朝倉群と陶邑群の相互識別 (K, Ca, Rb, Sr 因子使用)

客観性からみて、さらに数量化できるという点で、肉眼観察による考古学的方法に比べてはるかに優れることは言うまでもない。しかし、重要な欠点がある。それは年代に関する情報が分析化学的方法では得られない点である。ここに、土器形式に基づく考古学的方法の導入が必要となる。年代観をいれて、元素分析による生産地の再整理をすると、対象となる生産地はごく少数に限定され、須恵器の産地推定は現実のものとなる。次

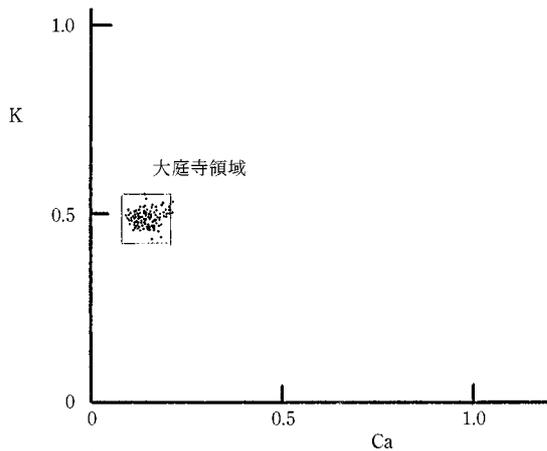


図4 大庭寺1号窯出土大カメの指紋図

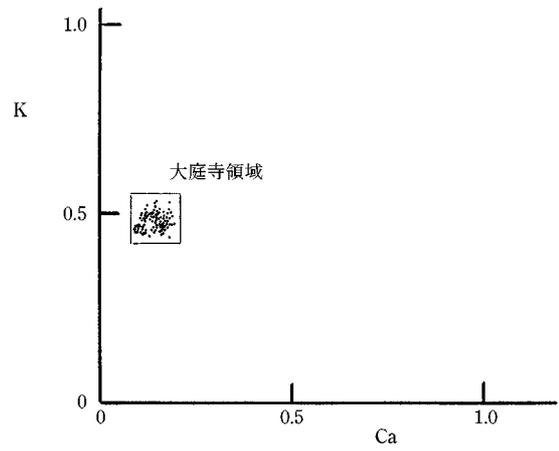
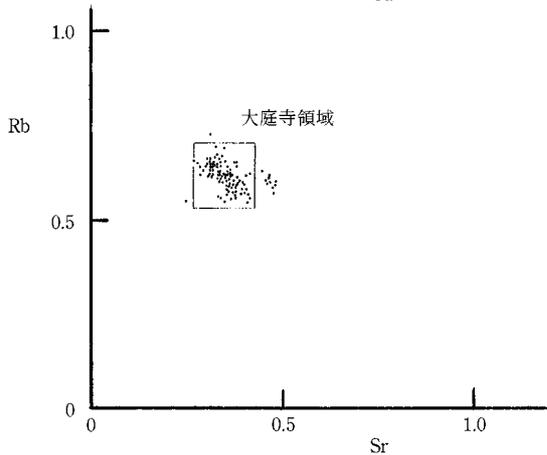
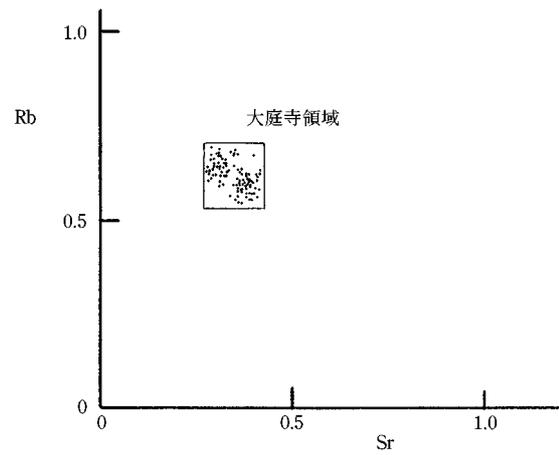


図5 大庭寺2号窯出土大カメの指紋図



に、その実例を示す。須恵器製作技術が導入された当初の5世紀代には、須恵器窯跡は限られた地域に少数見つけられているに過ぎない。ただ、どういふ訳か、和泉陶邑に窯跡の数は圧倒的に多い。このことはなんらかの目的をもって陶邑で須恵器の大量生産が始まったことを意味する。この事実注目して、筆者は「地方窯周辺の古墳出土須恵器の産地問題」から取り上げることにした。そして、地元産か、陶邑産かを問う2群間判別分析を適用した。

前述した朝倉窯跡群周辺の古墳出土須恵器の産地推定を実例として取り上げる。図3では両群の試料は理想境界線を挟んで完全に分離していることは説明したが、両群への帰属条件についてはなにも説明しなかった。各群への帰属のための必要条件は5%危険率をかけたホテリングの $T^2$ 検定に合格する条件から求められる。ホテリング $T^2$ 式は使用因子数(この場合は4である)、母集団の試料数とマハラノビスの汎距離の二乗値( $D^2$ で表す)の関数であり、F分布関数となる。5%危険率のF分布表より合格する条件を求めることはできる。筆者が通常使用している大きさの母集団(試料数50~100程度)では、 $D^2(X) < 10$ が帰属のための必要条件となる。(X)は母集団名である。そのため、図3では $D^2(\text{陶邑}) = 10$ と $D^2(\text{朝倉}) = 10$ のところを線を引きいてある。両母集団の試料のほとんどは、それぞれ $D^2(\text{陶邑}) < 10$ と $D^2(\text{朝倉}) < 10$ の領域に分布することが確かめられる。しかし、それぞれの領域の一部の空間に試料は分布するだけで、広々とした空白空間が残っている

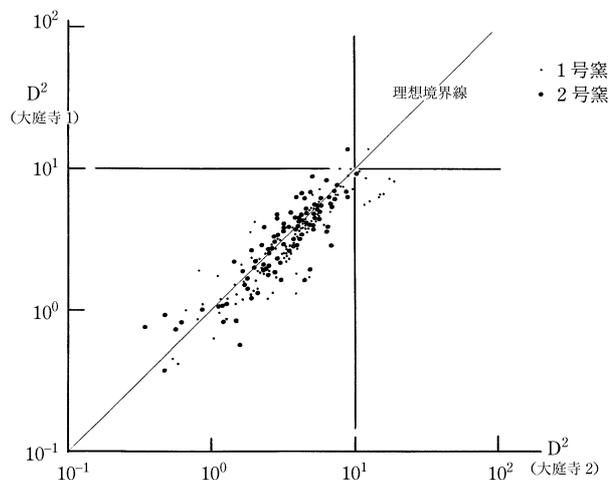


図6 大庭寺1号窯, 2号窯の大かめの相互識別

ことがわかる。この空白空間を除去するため、相手群からの $D^2$ 値を利用した。その結果、陶邑領域は「 $D^2(\text{陶邑}) < 10$ ,  $D^2(\text{朝倉}) = 50 - 600$ 」であり、朝倉領域は「 $D^2(\text{朝倉}) < 10$ ,  $D^2(\text{陶邑}) = 80 - 300$ 」となることは図3からわかる。

もし、朝倉窯跡群周辺の古墳から出土した須恵器が地元産であれば朝倉領域に分布するし、陶邑からの搬入品があれば陶邑領域に分布するはずである。その結果は図7に示されている。地元、朝倉窯跡群の製品が多数検出されているが、同時に陶邑か

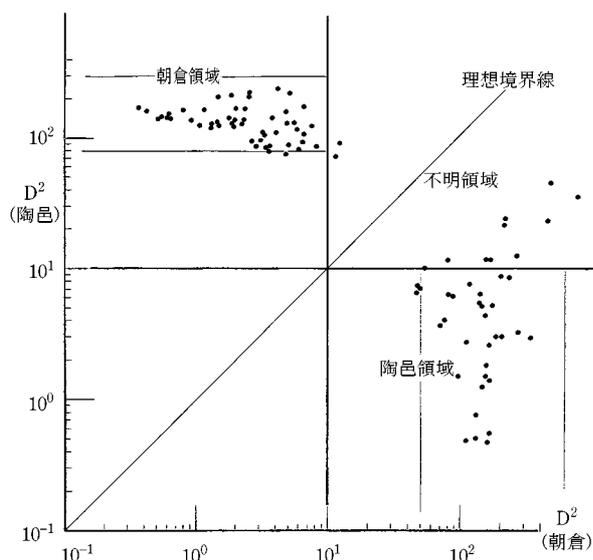


図7 朝倉窯群周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定 (K, Ca, Rb, Sr 因子使用)

らの搬入品も相当数あることがわかった。このようにして、各地の古墳から出土した古い須恵器の産地問題は地元産の製品か、陶邑からの搬入品かを問う2群間判別分析法で大部分が解決できることがわかった。これが「分析化学的検証の必要性」を示す一例である。分析化学的方法の検証をうけてはじめて、陶邑産の須恵器が地方の古墳に供給されていたことが実証されたのである。

平安時代に入ると、須恵器生産は古代最大の窯業生産として発展し、各地に数十基単位の大規模窯群が形成され、その製品は日常用具として広く使用されることになった。8~9世紀代の須恵器の伝播は大規模窯群の製品がどこまで広がって分布するかが問題となる。そのため、地元の大規模窯群と他の周辺地域の窯群間の2群間判別分析法が適用される。ここでも、考古学的方法で得られた結果を検証するという形で分析化学的方法が適用される。

#### 4 産地推定から歴史研究へ

産地推定のデータが蓄積されると、歴史研究の材料となる。前述した陶邑産の須恵器は北は岩手県南部から南は鹿児島県南部に至るまで、全国各地の古墳から大量に検出されている。土器がこれほど大規模に伝播した前例はない。この背後には何か重要な事実が隠されているに違いない。「陶邑産の須恵器が何故、各地の古墳へ供給されたのか？」これは倭の五王の時代の興味深い問題である。

邪馬台国の女王卑弥呼の死後、前方後円墳の時代に入る。それ以前には円墳と方墳が各地の豪族の首長墓として築かれていた事実を考慮に入ると、円墳と方墳が合体して前方後円墳となったと考えるのは自然である。円墳の社会と方墳の社会が統合されたことを象徴するのが前方後円墳であるとも考えられよう。古墳の形は身分の違いを表すといわれる。前方後円墳の被葬者は地方の豪族の首長の墳墓であるということは定説となっている。地方でも大型の前方後円墳が築造された時期もあったが、倭の五王がいた5世紀代中期以降には畿内に最大級の前

方後円墳が集中し、地方の首長墓はより小型の前方後円墳となる。古墳の規模もまた、被葬者の身分の高低を示す。こうして古墳の形と規模で身分の差を示す社会体制が畿内にいた倭王を頂点に出来上がったのだと都出比呂志大阪大学教授はいう。前方後円墳体制と名付けられている。そして、前方後円墳体制が頂点に達したとみられる5世紀代の後半に(最大の前方後円墳である仁徳陵がこの時期に築造されたと推定されている)、須恵器という硬い土器を焼成する新技術が朝鮮半島から導入され、倭の五王の孫元である和泉陶邑(現在の大阪府堺市泉北ニュータウン周辺)で集中的に生産され、各地の豪族の墳墓である古墳に供給されていったのである。逆に、地方窯の製品が畿内の古墳に持ち込まれたデータはない。一方的に地方の古墳へ供給され、祭祀道具として使用されたのである。このことは倭王を頂点とした倭国の結束を一層固めるために、従来の軟質土器(土師器)に代わって新式の須恵器を地方豪族に配布したのだとも考えられよう。さらに、この時期に突如として須恵器の集中的な生産が陶邑で開始されたということは前方後円墳体制での、新しい祭祀道具として、須恵器を祭祀形式の一つに加えるために、須恵器製作技術を導入したとも考えられよう。このような考えは分析化学的手法による須恵器伝播のデータから着想された仮説であり、考古学側には新しく提示された未解決の問題である。このように、大量の実験データを背景にして開発された方法論を使って、過去を再現するロマンに満ちた仮説をつくる作業に分析化学者も参加することができる。

#### 5 結びにかえて

最後に、「考古学における分析化学の検証とは何か」について考えたい。自然科学の特徴は「実験」という行為をもつ点にある。繰り返し行われる実験を通して、見つけられた現象は再現され、普遍化される。最後は数式化され、単純化されて理解される。この行為の積み重ねの上に複雑な自然現象は理解されていった。さらに重要な点は、自然科学は「技術」を生み出すことである。自然現象の解明も、そこから技術を生み出すことも、その根底には「実験」がある。人類は中世の長い錬金術の時代を経て、「実験」という行為を身に付けていったものと推察される。

自然科学はこの200年ほどの間に驚異的な発展を遂げ、本来は「神の世界」だと考えられていた宇宙にまで飛び出すところまで来た。この高度に開発された技術を考古学者が活用したいと考えるのは当然のことである。この技術の活用の仕方も単純ではない。物質を透過する能力があるX線が発見されたとき、ミイラに照射され、古代エジプト人の病理が研究された。日本でも大阪府高槻市にある阿武山古墳の石棺の中の冠はX線透視によって大織冠であることがわかり、藤原鎌足の墳墓であることが確認された。さらに、埼玉県行田市の「さきたま稲荷山古墳」出土の鉄剣に金で象嵌されていた115文字を浮き上がらせたのもX線の金と鉄の透過能の差を利用したものであった。X線の物理的性質は考古遺物の検査にきわめて有効であった。

一般的に、「自然科学の検証」とは考古遺物の検査を意味する場合が多い。しかし、土器や石器を元素分析しても、分析データがでてくるだけで、考古学に有意な情報はすぐには入手

できないのである。目的をもった方法論が開発されていない限り、分析データは読めないのである。土器の産地問題では、産地推定法が開発されていないかぎり、分析データは生きてこないのである。

分析化学による検証とは、まず大量の試料の分析データから方法論を開発し、その方法論を通じた検証であるという認識はきわめて重要である。そして、この方法論の開発こそが分析化学者に課せられた重要な研究課題なのであり、技術者としてではなく、研究者としての本領が発揮できる場でもある。「分析化学の検証」とは、単なる「検査」という意味をこめた一般的な「自然科学の検証」とは異なる点に注目すべきである。そして、そのような方法論の開発は簡単にできるものではなく、それこそ、研究者が生涯をかけなければならないほどの大きな研

究対象なのである。そのような方法論が開発されれば、土器の伝播をとおりて新しい考古学が展開できるはずであり、歴史研究は新しい手段をもつことになる。



三辻利一 (Toshikazu MITSUJI)  
大谷女子大学 (〒584-0066 大阪府富田林市錦織北 3-11-1)。理学博士。現在の研究テーマ 古代土器の伝播・流通に関する方法論の開発研究。主な著書 出版社名 “古代土器の産地推定法”(ニューサイエンス)。趣味 古代文学・音楽・絵画を読む・聴く・見ること。宇宙論にも興味がある。

## 原稿募集

### I & D 欄の原稿を募集してます

内容：実際に分析を行っている現場での分析法や分析技術にまつわるちょっとしたアイデア、実験器具の創案あるいは改良、コンピュータなどのソフトウェアなど。I は Idea, Information あるいは Innovation の I, D は Design, Development あるいは Device の D を意味しています。

執筆上の注意：1) 2000 字以内 (図・表は 1 枚 500 字に換算) とする。2) 簡単な図などを積極的に

入れる。

採用の可否は編集委員会にご一任ください。採用分については規定の原稿料をお支払いします。原稿の送付先及び問い合わせは下記へ。

〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2  
五反田サンハイツ 304 号

(社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

〔電話：03-3490-3537〕

## レンタカー特別割引のご案内

ニッポンレンタカー販売㈱とレンタカーの本会会員特別割引を実施しておりますので、ご利用ください。

優待割引内容 24 時間料金の約 40% off

利用方法

(1) ニッポンレンタカー予約センターに、希望クラスと利用日を予約してください。予約センターの電話番号は、次の 5 か所です。

東京 03-3469-0919 大阪 06-6232-0919  
名古屋 052-203-0919 福岡 092-721-0919  
札幌 011-251-0919

(2) 割引クーポン券 (ワンデイクーポン) を、利用日の 10 日前までに購入してください。希望クラス、枚数 (1 枚で 24 時間)、氏名、本会名及び会員番号、電話番号、クーポン券送付先を明記し、はがき又は FAX で下記へ申し込みます。

〒150-0047 東京都渋谷区神山町 5-5、ニッポンレンタカー販売㈱第 2 営業部、FAX：03-3468-7146

(3) クーポン券は、申込者が指定した送付先 (自宅又は勤務先など) へ郵送します。送付先は詳しく正確に。

(4) 代金 (クーポン券代 + 郵送料) は、クーポン券受領と引換に郵便局員に支払ってください。

(5) クーポン券の有効期間は購入後 6 か月間です。

主なクラス (車種) と割引料金 (通常料金)

B-A (サニーなど)	7,400 円 (10,500 円)
B-B (インテグラなど)	8,600 円 (13,000 円)
B-C (ブルーバードなど)	9,500 円 (15,000 円)
L-C (マーク II など)	11,400 円 (17,000 円)
L-D (ダイヤモンドなど)	14,300 円 (22,500 円)
D-C (ハイエースなど)	9,300 円 (14,500 円)

なお、料金等は変更される場合があります。