

初期および中期ラスター彩陶器の 胎土分析による生産地推定

新免 歳靖

総合研究大学院大学 文化科学研究科 日本歴史研究専攻

岡野 智彦

中近東文化センター附属博物館

二宮 修治

東京学芸大学 文化財科学研究室

本研究では、イスラーム陶器の生産地推定に向けた基礎情報の取得を目指して、初期および中期ラスター彩陶器について化学分析を行った。分析資料は10世紀から13世紀にかけてイラク・エジプト・イランで製作されたと推定されるラスター彩陶器片40点である。ICP発光分光分析法を用いて、資料胎土の主成分8元素、微量成分2元素の化学組成を求め、クラスター分析による分類を行った。その結果、生産地に応じて資料を4群に分類することができた。さらに、化学組成の検討からもクラスター分析と整合性のある結果となった。

キーワード：ラスター彩陶器、胎土分析、イラク、エジプト、イラン、粘土胎土、複合胎土、ICP発光分光分析、クラスター分析、化学組成

- | | |
|----------------|---------------------|
| 1. はじめに | 5.2 クラスター分析 |
| 2. ラスター彩陶器について | 6. 結果および考察 |
| 3. 本研究の課題 | 6.1 クラスター分析による分類 |
| 4. 分析資料 | 6.2 化学組成から見たラスター彩陶器 |
| 5. 分析方法 | 7. おわりに |
| 5.1 ICP発光分光分析法 | |

1. はじめに

有史以来の東西世界における陶磁器生産の代表的地域を挙げると、東の代表が中国をはじめとして朝鮮半島や日本を含む東アジアであることは間違いない。一方で、西の代表として中近東地域が挙げられることは意外と知られていな

い。この場合の中近東地域とは今日的な意味での地理的範囲よりもやや広く、西アジアから北アフリカ、中央アジア、南アジアやヨーロッパの一部にまたがる地域である。そして7世紀以降、イスラーム教の誕生とその後の勢力拡張によりイスラーム文化圏として国境を越えた宗教的、

商業的な繋がりをもつに至った地域でもある。今日、このようなイスラーム文化圏で製作された陶器を総称してイスラーム陶器と呼んでいる¹⁾。その特徴は、イスラーム教の教えからくるモチーフの単一性と多民族によって製作されることに由来する色彩や文様表現などの多様性を同時に兼ね備えている点であり、ペルシア、シリア、トルコ、エジプトなどの各地で相互に影響し合いながらも独自に発展していくのである。

中近東文化センター附属博物館では、イスラーム陶器を多数所蔵・管理しており、その目録化を目的として2007年から展覧会を開催してきた(中近東文化センター附属博物館2007・2008)。同時に、東京学芸大学文化財科学研究室との共同研究として、イスラーム陶器の科学分析を実施している。ペルシア地域(現在のイラン)を中心とし、イラクやエジプトなど周辺地域も含めた製陶技術の年代的・地域的な特徴の把握を目的として、陶器の生産地推定研究、釉薬や胎土に用いられた技術の研究、近隣および遠隔地間における技術の伝播や原料移動に関する研究を進めている[二宮他2007、新免他2007・2008、岡野他2009]。本研究はその共同研究の一環として、初期から中期のラスター彩陶器に焦点をあて、自然科学分析結果について報告を行う。

2. ラスター彩陶器について

多種多様なイスラーム陶器の中でも、ラスター彩陶器は代表的な陶器と位置づけられている。ラスター彩陶器とは、乳白色釉(錫白釉)の上にラスター彩と呼ばれる金属光沢を持つ文様や絵画的な装飾が施された高級陶器である。ラスター彩の技法は、施釉され一度焼成された器に、銅や銀が溶かされた液体顔料で彩画し、還元焰で焼成することで、陶器の表面に非常に薄い膜を作り出す中近東発祥の装飾技法である。この装飾は光にかざすと金属的な輝きを発することから、英語のluster(輝く)という語が用いられ、ラスター彩と称されるようになった。三彩によっ

て重要無形文化財保持者(人間国宝)に選定された加藤卓男氏(1917～2005)が、イランではすでに技術的に失われていたラスター彩陶器の復元を行ったことはよく知られている[加藤2002]。

現在、ラスター彩陶器は9世紀のアッバース朝のイラクにおいて誕生したとされる[Watson 2006]。白釉藍彩陶器などに用いられた錫白釉の技術的な系譜の下、ガラス器に使用されていたラスター彩の技術が陶器に応用されたと考えられている。当初は、多彩ラスター彩陶器(複数の色調のラスター彩が施された陶器)が製作されていたが、より金属的な光沢を持つ単色ラスター彩陶器へと変わり、10世紀後半にアッバース朝の衰退に伴い、その生産地²⁾はファティマ朝のエジプトに移動した。しかし、エジプトでの生産も12世紀代には終了し、続いてシリアやセルジューク朝イランで生産が開始された。イランにおけるラスター彩陶器の生産は14世紀以降衰退し、18世紀までは製作されていたが、それ以降次第に忘れ去られ、現在では失われた技術となっている。一方、ラスター彩陶器の技法は13世紀にスペインへ伝わり、その後、イタリアなどでラスター彩技法を用いた陶器が製作される。

このようにラスター彩陶器の生産は、特定の時期においては限られた地域でしか生産されておらず、しかも、生産の中心地が移動した後、それ以前の生産地では生産の痕跡が認められなくなる。したがって、ラスター彩陶器の製作技術が特定の陶工集団によって独占され、パトロンとなる王侯貴族を求めて職人が移住することによって、生産地が移動したと考えられている[Watson 2006、杉村2004]。ただし、窯業地としてイラクのバスラ、イランのカーシャーン、シリアのラッカなどの都市が知られているものの、具体的な窯跡の調査はなされておらず、その生産の実態は依然として不明のままなのである[Canby 1997]。また、イスラーム陶器全体に言え



図1 遺跡の所在地

ることではあるが、資料には盗掘品や表採品なども多く、陶器の年代や産地に関する基礎データは不十分な状況にある〔佐々木2002〕。今後、考古学的な手法による発掘調査を実施し、出土資料の型式分類やその組み合わせ、資料の一括性の検討などを行うことが求められている。

しかし、このような発掘調査については中近東地域の政治的な情勢もあり困難な部分が多いことも事実である。そのため、資料的な限界を補完するために、従来から自然科学分析が積極的に導入されてきた。ラスタ－彩陶器（またはラスタ－彩陶器を含めたイスラーム陶器）は、ラスタ－彩装飾・釉薬・胎土などの個別の要素について、起源・年代・生産地・製作技術など様々な観点からの多くの自然科学的研究が行われてきた。特に、近年は分析法の発展によってイスラーム陶器や中世ヨーロッパ陶器のラスタ－彩技法に関する研究が進展している〔Pradell他2006・2008、三浦他2009〕。一方、釉薬についてもMasonやTiteによって、ラスタ－彩陶器を含めた9世紀から12世紀に属する陶器の白色釉薬の分析が行われ、時代が下るにつれて白色釉薬中の鉛や錫の含有量が増加することが明らかとなっている〔Mason, Tite 1997、Mason 2004〕。

3. 本研究の課題

このように、ラスタ－彩陶器を含めたイスラーム陶器の自然科学的研究には多くの蓄積があり、その内容も多岐に渡っている。しかし、全体的な傾向として時代や地域によって細分化された研究が多く、中近東地域における製陶技術³⁾について年代的な変遷や地域差、製品の流通や技術交流などの全体像は把握しにくい状況にある。

そのため、それらの課題を明らかにするための前提として陶器の生産地、さらにその中の窯業地を確定する作業が求められ、特に胎土分析による生産地推定が有効となる⁴⁾。イスラーム陶器の胎土分析研究では、Masonらグループによる岩石学的な手法による生産地推定や電子顕微鏡観察等による技術研究が行われている〔Mason, Tite 1994・Mason 1995・Mason, Golombek 2003〕。また、MasonらはSEM-EDS（走査型電子顕微鏡付属エネルギー分散型X線分析装置）を用い、ラスタ－彩陶器をはじめとした陶器胎土の化学組成も求めている。しかし、この化学分析結果は資料個々の分析値の提示にとどまり、分析値の総合的な検討はなされていない〔Mason 2004〕。その他の研究を見ても釉薬研究に比べ、イスラーム陶器の胎土に関する研究はまだ少な

く、窯業地間での相違や年代的な変遷、高級品と普及品の差異などは十分に明らかになっているとは言いがたい。

そこで、本研究では、今後イスラーム陶器の生産地推定研究を進めていく上で指標となり得るデータの蓄積を目的として、中近東文化センターが所蔵する10世紀から13世紀のイラク・エジプト・イランで製作されたと推定されるラスター彩陶器の胎土分析を行った。ラスター彩陶器は時期によって生産地が限定されるため、共時的な資料を比較するうえで基準となる陶器である⁵⁾。胎土分析では、ICP発光分光分析法を用いて分析資料の化学組成を求め、多変量解析法による生産地間の比較を行った。また、ラスター彩陶器の胎土には、粘土質の胎土（以下、粘土胎土）と複合胎土と呼ばれる胎土の2種類が存在することが知られている。特に、複合胎土は中近東地域に特徴的な胎土であり、フリット胎土やストーンペーストなどとも呼ばれ、石英を主成分とし粘土やガラスなどと混合して焼成されるものである〔ヴルフ2001〕。これらの胎土の違いについても化学組成の面から検討を加える。

4. 分析資料

分析資料は中近東文化センターが所蔵するラスター彩陶器で、エジプトのフスタート、イランのサーヴェで採集された資料である。フスタートは、7世紀前半に建設された軍事都市であったが、10世紀以降インド洋方面と地中海方面とを結ぶ東西貿易の一大中継地点として繁栄した。20世紀初頭から考古学的調査が行われ、現在に至るまで続けられている。唐三彩から明染付までの中国陶磁器、イスラーム陶器などの膨大な陶磁器が出土している。サーヴェは、セルジューク朝時代（1038-1194）のイランの主要な陶器窯業地の1つだと考えられ、青釉陶器、白地藍彩陶器、中期ラスター彩陶器、ミナイ手陶器など多彩な陶器が採集されている。サーヴェの資料は三上次男氏や柿崎尚氏によって採集されたもの

である。

現在、ラスター彩陶器はイラク、エジプト、イランの順に生産地が移動したと考えられており、その展開に合わせて、4グループ、各10点の合計40点の陶器片を分析に供した。資料の選定は、岡野が行い、便宜的にA～Dグループとした。表1に資料の一覧を示す。

A・Bグループは、エジプトのフスタート遺跡から出土した単色ラスター彩陶器で、錫白釉上に金色のラスター彩が用いられている。いずれも10世紀のイラクで生産されたと推測される。Aグループは植物文様のラスター彩装飾を持つグループであり、Bグループはレ点などの点文様を持つグループである。ラスター彩陶器の編年研究によると、植物文様に続いて点文様が現れるとされていることから、AグループがBグループよりも古い資料と位置づけられる⁶⁾。器種は鉢や盤が主体である。

Cグループも、エジプトのフスタート遺跡から出土した単色ラスター彩陶器である。10世紀から12世紀前半のエジプトで生産されたと考えられる。この時期のラスター彩陶器は、ファティマ朝ラスター彩陶器と呼ばれている。フスタートからは、窯跡が見つかっており、窯業が行われていたことは確認されているが、ラスター彩陶器の製作については不明である。ラスター彩装飾には金色以外に黄色や茶色系（銅色）のラスター彩があり、釉薬には白色釉以外に乳青色や乳紫色の釉薬（C008・009・010）がある。文様の題材には植物・動物・人物・文字などが描かれる。

Dグループは、イランのサーヴェ遺跡から出土した単色ラスター彩陶器である。12世紀から13世紀にイランで生産されたと考えられる。鉢や盤の他に水注や壺など多様な器種が製作された。コバルト顔料によって着色された陶器も存在する。イランでは、特に動物文や人物文が多用され、また、陶工の名前や製作年代の記された陶器などが知られている。

表1 分析資料一覧

No.	出土遺跡	生産国	年代	釉薬	器種
A001	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A002	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A003	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A004	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A005	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A006	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A007	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	盤
A008	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A009	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
A010	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B001	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B002	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B003	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B004	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B005	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B006	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B007	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B008	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B009	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
B010	フスタート (エジプト)	イラク?	10世紀	乳白色	鉢
C001	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C002	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C003	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C004	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C005	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C006	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C007	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳白色	鉢
C008	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳紫色	鉢
C009	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳青色	壺
C010	フスタート (エジプト)	エジプト (ファーティマ朝)	10～12世紀前半	乳青色	鉢
D001	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D002	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D003	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D004	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	壺
D005	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D006	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	壺
D007	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D008	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	壺
D009	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢
D010	サーヴェ (イラン)	イラン	12～13世紀	乳白色	鉢

5. 分析方法

5.1 ICP 発光分光分析法

胎土分析にはICP発光分光分析法（誘導結合プラズマ発光分光分析法：Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry、以下ICP-AESとする）を用いた。ICP-AESは、一部の元素を除くほとんどの元素について超微量域の高感度・高精度分析が可能な分析法である。さらに①分析可能な定量濃度範囲が広い、②多元素の同時定量が可能、③マトリックス（共存元素）の影響が小さいなどの特徴が挙げられる。ただし、試料を溶液化する必要があるため、数十mgと微量であるが採取しなければならない。筆者らは、本方法を用いて、陶磁器の胎土分析研究を継続的に実施しており、分析結果を蓄積しつつある〔二宮他2006、佐藤他2007、新免他2009、水本他2009など〕。

分析試料の溶液化はテフロン加圧分解容器を用いた酸分解法によった。ダイヤモンドビットを装着した電動式ミニルーターによって、粉末試料として回収した。テフロン製分解容器に粉末試料を約50 mg精秤し、王水（硝酸：塩酸=1：3）0.5 ml、フッ化水素酸（HF）3 mlを加えた後、その容器をステンレス・スチール製分解容器に入れ、電気炉で加熱した（110℃で1時間）。室温まで冷却後、容器から約20 ml程度の純水でテフロンビーカーに移し、ホットプレート上で蒸発乾固を行った。蒸発乾固後、硝酸3.5 mlに、純水約5 mlを加えて加熱し、溶解後に、メスフラスコを用いて100 ml定容とした。

分析機器にはセイコー電子工業製SPS1200Aを使用した。測定元素は、主成分8元素（Ti：チタン、Al：アルミニウム、Fe：鉄、Mn：マンガン、Mg：マグネシウム、Ca：カルシウム、Na：ナトリウム、K：カリウム）、微量成分2元素（Sr：ストロンチウム、Ba：バリウム）の計10元素である。主成分元素は岩石学の慣例により酸化物として表記する。Si（ケイ素）は溶液化の際に揮発させるため測定できないが、主成分8元素の酸

化物の合計値を100%から差し引くことによってSiO₂の推定値とした。測定元素以外に、胎土中には鉛（Pb）が含有していることが指摘されている〔Mason, Tite 1994〕。しかし、蒸発乾固によって一部が蒸発し、正確に測定することができない可能性があるため、定量元素に加えなかった。

測定は多元素逐次（シーケンシャル）分析を行った。多元素逐次分析は、測定元素を分析波長の短いものから順次測定していくものである。測定に際し、他元素の発光線が測定元素に影響を与えないことを確認し、感度の優れた波長を選出した⁷⁾。標準溶液および定量性の検討には、GSJ（Geological Survey of Japan：産業技術総合研究所地質調査総合センター）配布の標準岩石JB-1a（玄武岩）とJG-1a（カコウセン緑岩）を用いた。定量方法は、ブランク溶液と標準試料溶液1点により検量線を作成する2点法を用い、標準溶液（JB-1a、JG-1a）ごとに算出した定量値の一致度を確認したうえで、平均値を求めた。

5.2 クラスタ分析

各資料の化学組成の特徴を明らかにするために、定量された元素存在量によるクラスタ分析を実施した。クラスタ分析は、異なる性質のものが混合している集団（対象）中から、似たものを集めてグループ（クラスタ）を作り、対象を分類する方法の総称である。胎土分析値による陶磁器の識別、あるいは類似性の検討に有効な方法である。距離尺度が短い資料間の化学組成が、より類似度が高いと判断することができる。

クラスタ分析にはSPSS社製多変量解析ソフトSPSS14.0Jを使用した。距離尺度には標準化ユークリッド平方距離、分類手法にはWard法を選択した。クラスタ分析の変数には測定した10元素を用いた。各変数はZ得点で標準化を行うことによって、存在量が異なる主成分元素と微量成分元素を一緒に論じても統計処理上の問題は生じない。

6. 結果および考察

ICP-AESによるラスタ-彩陶器の胎土分析結果を後述するクラスター分析の分類結果とともに表2に示す。元素存在量（濃度）の単位は、主成分元素が%、微量成分元素がppmである。

分析結果の検討では、前述したように測定した10元素をパラメーターとするクラスター分析を行う。各グループを胎土の化学組成の類似性によって再分類し、分析資料全体の関係を樹形図（デンドログラム）として図示する。ただし、クラスター分析は、資料間における元素濃度の類似性を総合的に計算する方法であるため、各元素濃度の個別の傾向を明らかにすることはできない。しかし、陶磁器や土器の胎土は、特定の元素濃度に特徴的な差異が認められる場合もあるため〔三辻1983、山崎他1994〕、いくつか元素について濃度分布図を作成し、クラスター分析による分類結果に検討を加える。

6.1 クラスター分析による分類

クラスター分析結果のデンドログラムを図2に示す。本図は、併合距離が短い資料ほど類似性が高いことを示している。その結果、分析資料40点は、A・Bグループの20点からなるI群、Cグループの7点からなるII群、Cグループの残り3点からなるIII群、Dグループの10点からなるIV群の4群に大別された。I・II・IV群はさらに群内で細分された。全体的に見るとまずI群とII群、III群とIV群がそれぞれ併合し、さらに両者が併合する結果となっている。このクラスター分析によって分類した各群の平均値を表3に示す。また、各群の代表的な資料について、胎土の断面写真を掲載した⁸⁾。以下、各群の詳細を見る。

I群：イラク産と推定される初期ラスタ-彩陶器のA・Bグループ20点からなる。群内は2つのクラスターによって構成されるが、両クラスターにはA・Bグループの資料が混合して帰属し、どちらかのグループでまとまる傾向は認められ

ない。このA・Bグループの資料は、併合距離が最小段階で同一クラスターを形成しており、胎土の化学組成の類似性はかなり高い。したがって、A・Bグループは、ほぼ同一の陶器原料によって製作された可能性を指摘できる。なお、両グループはモチーフによって時期差があるとされるが、前述したように両グループの資料はクラスター内で混在している。そのため、A・Bグループの資料の生産時期に時間差があるとしても、陶器原料には年代的な違いはほとんど認められないと判断できる。

B004の胎土断面を写真5に示す。やや白味の強い黄色、または肌色の粘土胎土である。写真からも、ほとんど鉱物らしい鉱物を含んでおらず、水簸され精製された粒子の細かい粘土によって製作されていることが伺える。

II群：Cグループのエジプトファ-ティマ朝ラスタ-彩陶器のうち、7点がII群としてクラスターを形成した。その中でC005を除く6点は、併合距離が最小段階で同一クラスターを形成しており、胎土の化学組成の類似性はかなり高い。これらをIIa群とした。C005はIIa群とわずかに離れて併合し、例えばCaO濃度が約30%と高濃度であるといった特徴（IIa群のCaO濃度の平均値は約16%である）が認められたため、本資料の1点のみではあるがIIb群とした。C005は編年的にIIa群の資料よりも若干新しい資料とされており、この違いは胎土の年代的な変化を示している可能性もある。

IIa群C001の胎土断面を写真6に、IIb群C005の胎土断面を写真7に示す。いずれの資料も粘土胎土であるが、茶色粘土に多くの鉱物粒子を含んでいることを確認できる。その中でも、IIb群のC005は白色鉱物が目立つことから、この鉱物は方解石（炭酸カルシウム）であり、高Ca濃度の要因となっていると推測される。この点はX線回折による含有鉱物の同定を行っており、稿を改めて報告したい。

III群：Cグループのエジプトファ-ティマ朝

表2 ICP-AESによる胎土分析結果

No.	クラス ター分 析によ る分類	Oxide concentrations (%)								Concentrations(ppm)			
		TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	合計	*SiO ₂	Sr	Ba
A001	I	0.63	12.2	6.38	0.12	6.34	19.7	2.81	1.30	49.4	50.6	413	222
A002	I	0.69	12.1	6.58	0.12	7.09	18.1	2.43	1.49	48.5	51.5	408	203
A003	I	0.75	13.2	7.16	0.12	7.85	20.2	2.88	1.52	53.7	46.3	421	220
A004	I	0.68	12.7	6.72	0.12	7.34	19.2	1.63	1.55	49.9	50.1	346	207
A005	I	0.73	13.3	7.05	0.13	7.42	20.8	2.31	1.32	53.1	46.9	434	225
A006	I	0.67	11.4	6.53	0.12	6.94	20.7	3.09	0.87	50.4	49.6	396	154
A007	I	0.70	12.2	6.93	0.12	7.55	19.7	1.81	1.11	50.2	49.8	380	209
A008	I	0.71	13.3	6.99	0.12	7.28	20.0	1.67	0.81	50.8	49.2	417	205
A009	I	0.68	12.4	6.82	0.12	7.61	20.4	2.07	0.91	51.0	49.0	428	224
A010	I	0.69	11.4	6.88	0.12	6.61	20.1	1.61	0.97	48.4	51.6	389	219
B001	I	0.73	11.2	7.03	0.12	6.77	17.1	1.84	1.16	45.9	54.1	321	188
B002	I	0.68	12.0	6.71	0.12	7.01	18.7	1.95	1.36	48.6	51.4	414	206
B003	I	0.65	10.3	6.20	0.11	6.55	21.0	1.82	1.13	47.7	52.3	398	195
B004	I	0.69	11.3	6.96	0.13	6.68	18.9	2.00	0.93	47.5	52.5	359	209
B005	I	0.64	10.6	6.31	0.11	6.57	19.9	3.12	1.40	48.7	51.3	397	208
B006	I	0.74	14.0	7.38	0.13	7.28	21.0	1.56	1.00	53.0	47.0	415	240
B007	I	0.72	12.8	7.00	0.12	7.39	19.1	3.16	1.14	51.5	48.5	382	209
B008	I	0.69	12.6	6.70	0.11	6.60	20.7	2.41	1.08	50.8	49.2	421	213
B009	I	0.70	12.2	7.02	0.12	6.95	19.6	2.08	0.98	49.7	50.3	359	215
B010	I	0.66	12.4	6.45	0.11	6.83	20.5	2.51	1.46	50.9	49.1	416	223
C001	II a	1.31	13.6	8.62	0.12	3.54	14.6	1.63	1.36	44.7	55.3	545	323
C002	II a	0.90	10.9	6.39	0.08	2.81	16.5	1.56	1.71	40.8	59.2	682	257
C003	II a	0.90	10.8	6.18	0.08	2.78	15.4	1.57	1.56	39.3	60.7	804	279
C004	II a	1.09	11.7	7.45	0.09	3.37	17.4	1.49	1.44	44.1	55.9	806	305
C005	II b	0.56	6.08	3.64	0.06	0.78	29.1	0.78	0.90	41.9	58.1	398	379
C006	II a	0.96	11.2	6.58	0.08	3.28	16.6	1.50	1.43	41.7	58.3	921	289
C007	II a	0.98	10.8	6.54	0.08	2.91	16.5	1.39	1.39	40.5	59.5	712	282
C008	III	0.31	4.64	1.27	0.04	0.67	3.65	2.64	0.85	14.1	85.9	313	93
C009	III	0.30	4.30	1.27	0.01	0.51	4.32	2.96	0.70	14.4	85.6	266	67
C010	III	0.31	4.33	1.28	0.01	0.53	3.21	2.75	0.76	13.2	86.8	225	56
D001	IV	1.02	6.11	0.81	0.01	0.99	1.50	3.03	1.05	14.5	85.5	650	56
D002	IV	0.83	7.00	0.93	0.02	1.08	1.73	3.14	1.47	16.2	83.8	728	218
D003	IV	0.86	8.13	0.89	0.01	1.06	1.71	3.60	1.41	17.7	82.3	926	160
D004	IV	0.90	6.55	1.00	0.02	0.95	1.59	3.16	1.39	15.5	84.5	537	72
D005	IV	0.97	7.49	0.91	0.02	1.20	1.54	3.77	1.31	17.2	82.8	853	169
D006	IV	0.70	8.63	0.96	0.02	1.21	2.76	3.86	1.64	19.8	80.2	1244	135
D007	IV	0.69	6.64	0.89	0.01	1.06	1.66	3.08	1.65	15.7	84.3	637	140
D008	IV	0.84	6.19	2.06	0.03	0.94	1.47	3.38	1.43	16.3	83.7	536	89
D009	IV	0.81	5.61	0.97	0.02	0.92	1.66	2.81	1.70	14.5	85.5	379	61
D010	IV	0.81	5.44	1.27	0.02	0.91	1.57	2.97	1.47	14.5	85.5	373	59

*SiO₂の濃度は、100から残りの元素濃度の合計を差し引いた値である。

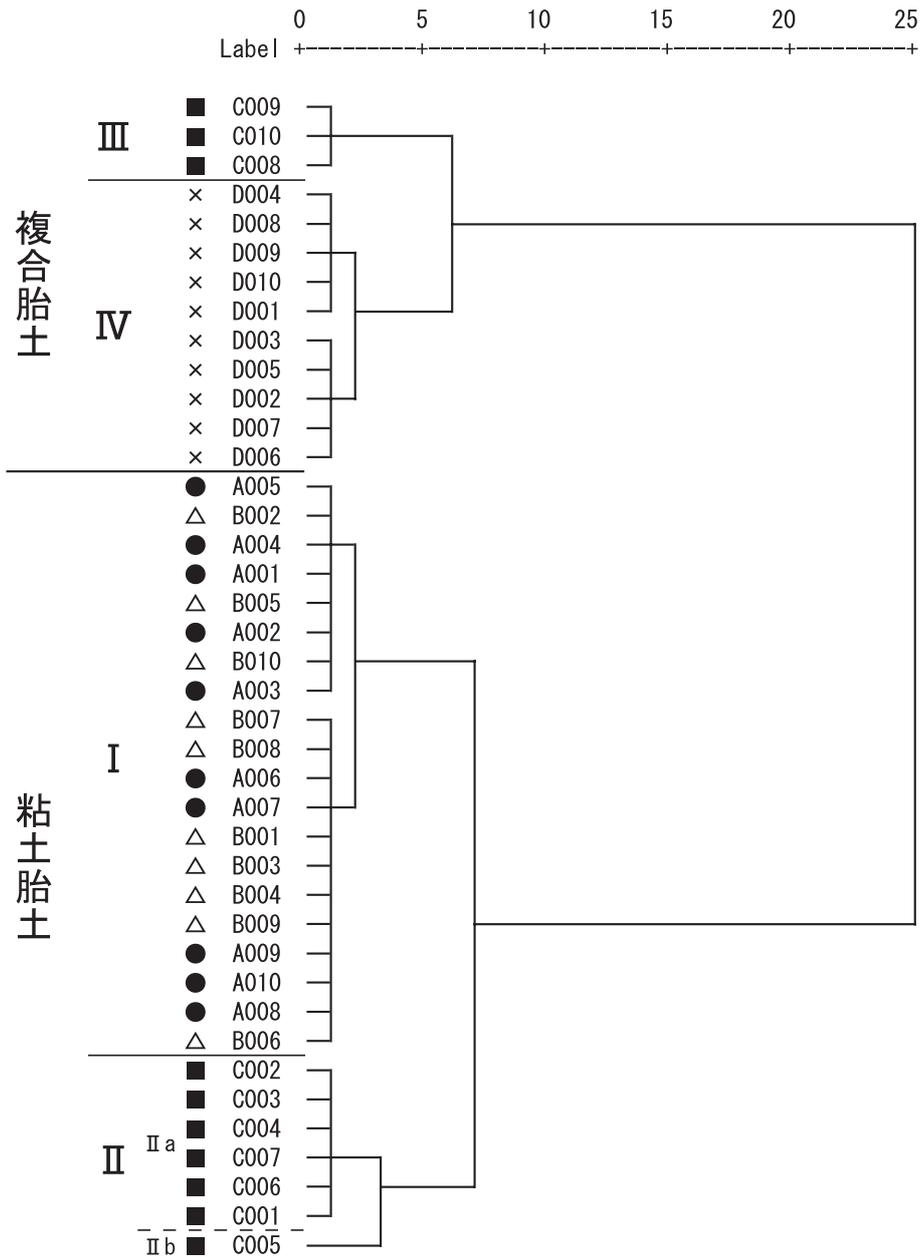


図2 クラスタ-分析結果
 (● : Aグループ、△ : Bグループ、■ : Cグループ、× : Dグループ)

ラスタ-彩陶器のうち、残る3点がⅢ群としてクラスタ-を形成した。3点の併合距離が最小段階で同一クラスタ-を形成しており、胎土の化学組成の類似性はかなり高いと考えられる。これらは、乳青色や乳紫色釉薬が施されたC008・009・010の3点であり、白色からややピンク色を呈する複合胎土である。

C008の胎土断面を写真8に示す。白色胎土の

中に、やや大粒の角状で透明な物質が散見できる。白色胎土の大半は細かい石英が融着したものであり、角状の物質はガラス片や大粒の石英または長石類と考えられる。

Ⅳ群：イラン産と推定される中期ラスタ-彩陶器のDグループ10点からなる。本群は2つのクラスタ-によって構成されるが、それぞれ併合距離が最小段階で同一クラスタ-を形成してお

表3 クラスタ分析によって分類した各群の平均値

分類	資料数		Oxide concentrations(%)								Concentrations(ppm)		
			TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	*SiO ₂	Sr	Ba
I	20	平均値	0.69	12.2	6.79	0.12	7.03	19.8	2.24	1.17	50.0	396	210
		標準偏差	0.03	0.9	0.31	0.00	0.42	1.0	0.54	0.23	2.0	30	17
IIa	6	平均値	1.02	11.5	6.96	0.09	3.11	16.2	1.52	1.48	58.1	745	289
		標準偏差	0.16	1.1	0.92	0.01	0.32	1.0	0.08	0.13	2.1	129	23
IIb	1	平均値	0.56	6.08	3.64	0.06	0.78	29.1	0.78	0.90	58.0	398	379
III	3	平均値	0.31	4.42	1.27	0.02	0.57	3.73	2.78	0.77	86.1	268	72
		標準偏差	0.01	0.18	0.01	0.02	0.09	0.56	0.16	0.07	0.6	44	19
IV	10	平均値	0.84	6.78	1.07	0.02	1.03	1.72	3.28	1.45	83.8	686	116
		標準偏差	0.10	0.99	0.35	0.01	0.10	0.36	0.34	0.18	1.6	253	53

*SiO₂の濃度は、100から残りの元素濃度の合計を差し引いた値である。

り、胎土の化学組成の類似性はかなり高いと考えられる。さらに、次の段階で両クラスターが併合しており、資料の全体的な化学組成も類似性が高い。本群も白色の複合胎土である。

D003の胎土断面を写真9に示す。こちらはIV群のC008の写真と比較すると、白色胎土のマトリックス部分（石英粒）の融着が進み、やや透明で光沢感がある胎土となっている。III群とIV群の胎土では、ケイ素（石英）を溶けやすくする働きを持つアルカリ元素（Na、Kなど）の濃度に際立った違いは認められない。そのため、III群のC008に比べIV群のD003の胎土の融着が進んでいるということは、より高温で焼成されたことに起因すると推察される。III・IV群の全ての資料各群の胎土を観察したわけではないので、この焼成温度の違いが各群の資料に該当するのかは明らかではないが、焼成温度の差異は窯構造や焼成技術を反映していると考えられる。したがって、石英の融着具合が焼成技術の発展を検討する上での指標となりえる可能性がある。

以上のような結果からA・Bグループはいずれもイラク製ラスタ彩陶器のみ、Dグループもイラン製ラスタ彩陶器のみで構成されることが明らかとなった。また、Cグループ、すなわちファティマ朝ラスタ彩陶器は粘土胎土と複

合胎土の資料の2群に分離された。ただし、それぞれはCグループの資料のみで構成され、他のグループの資料が混在していない。したがって、全ての群の資料は、基本的に同一の生産地ごとにまとめ、他の生産地の資料とは混在しない結果となった。

また、今回のクラスタ分析では粘土胎土と複合胎土の違いによって、大きくI・II群とIII・IV群に分類された。ラスタ彩陶器における粘土胎土から複合胎土への変化は、従来の研究通り、エジプトのファティマ朝期に画期があるとされてきたが、本結果もそれを追認する結果となった。また、複合胎土の資料でもC（エジプト産）とD（イラン産）グループが完全に分離することが明らかとなった。従来、複合胎土の場合、石英が主体となることから、化学分析では十分に分類できない可能性が指摘されていた[Mason 1995]。しかし、少なくとも今回の資料においては化学分析による分類ができ、化学組成により生産地推定が可能となることが示唆された。

6.2 化学組成から見たラスタ彩陶器

続いてこれらの胎土の特性を化学組成から検討を加える。表3を見ると主成分元素であるAl・

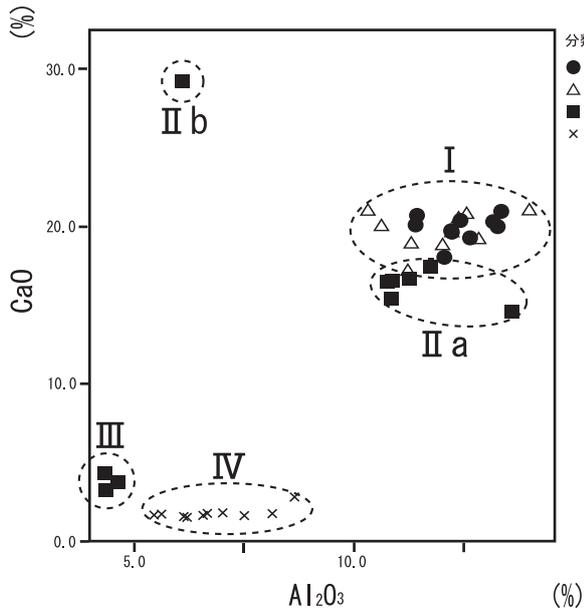


図3 Al₂O₃-CaO 濃度分布図

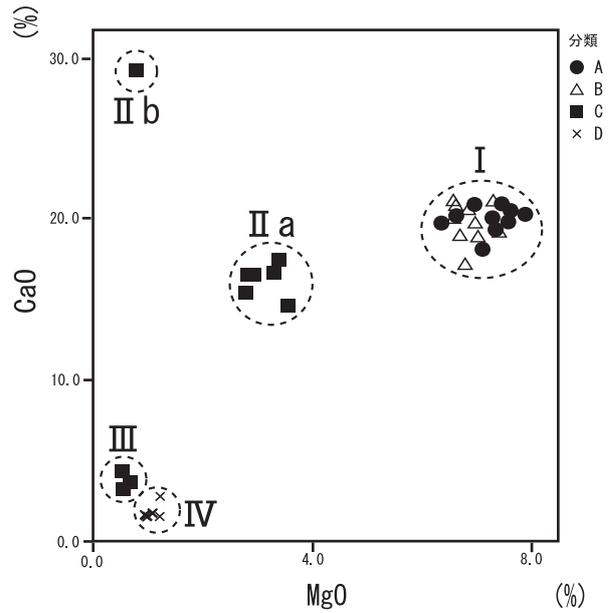


図4 MgO-CaO 濃度分布図

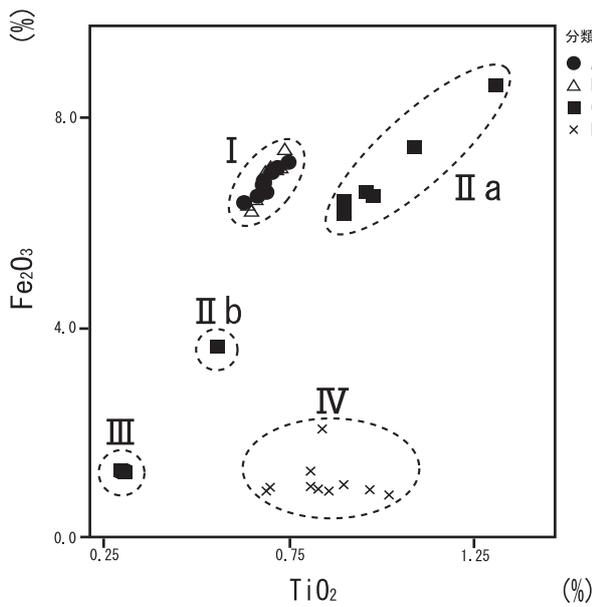


図5 TiO₂-Fe₂O₃ 濃度分布図

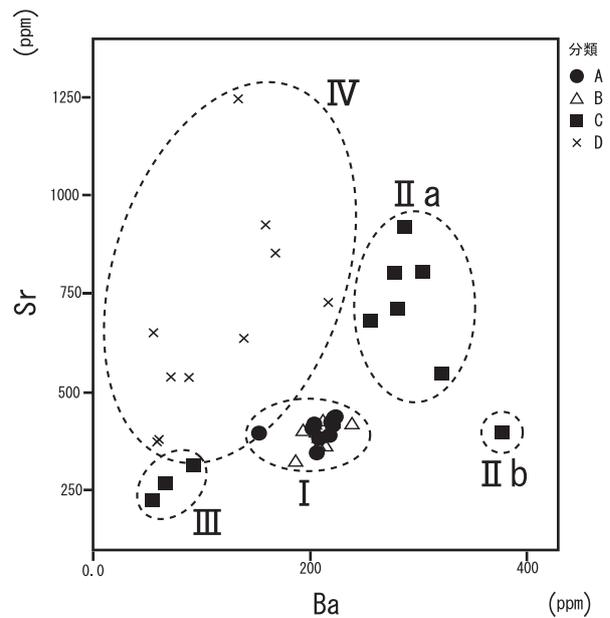


図6 Ba-Sr 濃度分布図

Ca・Mg・Fe・Tiの濃度が、群ごとにまとまる傾向が認められた。そこで、これらの元素の濃度分布図を図3～5に示す。微量成分元素のSrとBaの濃度も特徴的な値を示す傾向が認められたため、元素濃度分布図を図6に示す。なお、本図では、各群の分布域を明確にするために、その分布範囲を点線で括った。この範囲は各群の母集

団の範囲を示すものではなく、あくまでも便宜的なものである。

全体的な傾向としては、今回作成した4点の分布図中でI～IV群がそれぞれよく分離していることがわかる。特に、粘土胎土であるI・II群はAl・Fe・Mg・Caの濃度が高く、一方、III・IV群ではこれらの元素濃度は低い。これは、多様

な鉱物類を含む陶土により製作された陶器（粘土胎土）と、成分の約8割が石英からなる陶器（複合胎土）の違いを示している。また、I・II群のケイ素（ SiO_2 ）の推定濃度が50～58%であるのに対し、I・II群の SiO_2 の推定濃度は84～86%と大きく異なっており、胎土の材質の違いを大きく反映していることがわかる。この点は、Alの濃度からも伺え（図3）、I・II群の Al_2O_3 濃度が10～13%であるのに対し（ただし、IIb群は6%と低い）、III・IV群は4～8%と濃度が低い（特にIII群はいずれも4%程度）。

I・II群の粘土胎土の資料間でも化学組成に特徴が認められた。特に、MgOとCaOの濃度分布図（図4）を見ると、どの資料においてもCaO濃度が約15～21%の範囲に比較的まとまっているのに対し、MgO濃度はI群が6～7%、IIa群が約3%程度、IIb群（C005）が約0.8%と特徴的な差異を示した。また、IIb群のC005はCaO濃度が約30%と全資料中でもっとも高い値を示した点も特徴的である。

一方、III・IV群の複合胎土間でも化学組成に差異が認められた。特に TiO_2 と Fe_2O_3 の濃度分布図（図5）を見ると、 Fe_2O_3 濃度がほとんど変わらないのに対し、 TiO_2 濃度はIII群が0.3%と低く、IV群が0.8～1%程度と倍以上の値であることがわかる。この TiO_2 濃度がどのような胎土原料の違いに由来するのかは今後の課題であるが、現時点ではエジプト産の複合胎土とイラン産の複合胎土を分別する上での指標の1つとなり得るものである。

今回測定した微量成分元素は、SrとBaの2元素ではあるが、これらの元素による群ごとの分別も可能であった（図6）。その中でも、IV群のSr濃度のバラツキが大きい点が特徴的である。他の群の濃度が比較的まとまる傾向にあることを考慮すると、この点は特異である。イラン国内の異なる窯業地で焼成された可能性も想定できる。

以上、元素の化学組成による検討によっても、

クラスター分析による分類結果とほぼ整合性のある結果となることが明らかとなった。

7. おわりに

本研究では、10世紀から13世紀にかけてイラク・エジプト・イランで製作されたと考えられるラスター彩陶器について、ICP-AESによる胎土分析と、クラスター分析、化学組成による検討を行った。

その結果は、A～Dグループごとに胎土の化学組成がまとまり、化学的な特徴が明らかとなった。ラスター彩陶器には粘土胎土と複合胎土の資料が存在するが、生産地に応じてそれぞれを明確に分類することができた。特に、A・Bグループのイラク製と推測される資料は、資料の製作時期に差があることが指摘されていたが、いずれもきわめて類似した化学組成を示した。このことは、A・Bグループのラスター彩陶器が同一の原料によって継続的に製作され、さらに想像を逞しくするならば、特定の窯業地において同一の陶工集団によって製作された可能性を示唆しているといえよう。

また、C・Dグループの複合胎土のラスター彩陶器についても、従来、化学分析による分別が難しいと考えられていたが、分析の結果、化学組成によって完全に判別することができた。これは、複合胎土は石英が主体で基本的な原料が類似しているものの、陶土やガラスフリットなどの原料に成分の差が存在していたためと推測できる。複合胎土は、エジプトで考案され、陶工の移動などによって、シリア経由でセルジューク朝下のイランに伝播した技術であると想定されている。今回の分析結果は、エジプトとイランの複合胎土の技術伝播と技術改良の考察において、大きな一歩といえる。

今後はラスター彩陶器の胎土分析結果を柱として、その他の様々な陶器の胎土との比較を行うことで、イスラーム文化圏内の製陶技術の共通性や独自性を明らかにしていきたい。なお、

本資料については、電子顕微鏡による胎土の観察、X線回折、釉薬の蛍光X線分析なども平行して行っている。これらの結果については、稿を改めて報告したい。

注

- 1) 特にイスラーム勢力によって地域的な統合がなされた9世紀以降の陶器をイスラーム陶器と呼ぶことが多い。
- 2) 本稿では国レベルの範囲を「生産地」とし、各国内での具体的な製作地を「窯業地」というように階層的に表記した。ただし、「生産地推定」という時の「生産地」は、「生産地」と「窯業地」の両者を含めた意味での使用と、前者のみの意味で使用した場合がある。
- 3) この場合の製作技術は、考古学的には成形・絵付け・施釉などの製陶技法、窯詰めなどの焼成や窯構造や窯道具といった様々な面から検討が可能である。一方、自然科学的手法では、釉薬や着色する顔料の種類とその調合、施釉方法、胎土に用いられる粘土やその他の原料の種類、焼成温度などを明らかにすることができる。
- 4) 胎土とは、土器や陶磁器を形づくっているボディの部分を指し、粘土や陶石、様々な含有物（岩石・鉱物や有機物など）によって構成される。胎土分析とはこの胎土を調査することによって生産地、製作技術、用途などを明らかにする研究である。主に、蛍光X線分析などを使用した化学分析や顕微鏡観察による岩石や鉱物分析が用いられる。
- 5) イスラーム陶器は、窯業地遺跡から採集された資料であっても、発掘調査によって出土した資料ではない場合も多く、また、窯業地と推定されているものの窯跡の発掘は行われていない、または窯跡が見つからないこともあるため生産地推定研究には不十分な状況にある。しかし、ラスタ-彩陶器は消費地遺跡出土資料であっても、考古学的な成果により生産国レベルでの生産地推定は行われており、大枠での標準的なデータを収集することは可能である。現状では、このような資料の分析結果を蓄積して行くことによって、考古学的な成果との整合性や矛盾を明らかにしていく必要がある。
- 6) AグループのA010は内面に植物文様、外面に点文様が施されており、両グループの過渡期の資料とも考えられる。
- 7) 波長 (nm) は以下の通りである。Ba: 233.5、

Mn: 257.6、Fe: 259.9、Mg: 279.6、Ti: 334.9、Al: 396.6、Ca: 396.8、Sr: 407.8、Na: 589.6、K: 769.9。
8) 資料断面写真の撮影にはデジタル顕微鏡（キーエンス社製VHX-500）を用いた。20～200倍率で観察を行った。

参考文献

- ハンス・E.ヴルフ
2001 (原著1966) 『ペルシアの伝統技術—風土・歴史・職人』平凡社。
- 岡野智彦
2004 「イラン遺跡採集のペルシア陶器片資料」『東洋陶磁』34、pp. 31-44、東洋陶磁学会。
- 岡野智彦
2007 「イスラーム陶器の誕生とイラン西部の陶器」『魅惑のペルシア陶器』pp. 12-27、中近東文化センター附属博物館。
- 岡野智彦・新免歳靖・河壽由美子・二宮修治
2009 「イランの遺跡採集イスラーム陶器片の科学分析」『扶桑 田村晃一先生喜寿記念論文集』青山考古25・26、青山考古学会。
- 岡野智彦・高橋忠久
1994 『タイルの美Ⅱ イスラーム編』ToTo出版。
- 加藤卓男
2002 『砂漠が誘う ラスタ-彩遊記』日本経済新聞社。
- 佐々木達夫
2002 「西アジアの陶磁」『東洋陶磁学会三十周年記念 東洋陶磁史 —その研究の現在—』pp. 301-309、東洋陶磁学会。
- 佐藤香子・伊東聡・新免歳靖・二宮修治
2007 「元素存在量にもとづく遺跡陶磁器の生産地推定に関する基礎的研究」『2007東アジア文化遺産保存国際シンポジウム』pp. 313-314、国立中央博物館（韓国）。
- 新免歳靖・佐藤香子・松崎広子・伊東聡・岡野智彦・足立拓朗・二宮修治
2007 「イランにおける紀元前2千年紀から9・10世紀の陶器釉薬の分析科学的研究」『日本文化財科学会第24回大会発表要旨集』pp. 178-179、日本文化財科学会。
- 新免歳靖・佐藤香子・伊東聡・三浦麻衣子・二宮修治
2008 「ペルシア陶器を科学するPart 2」『煌め

- きのペルシア陶器』 pp. 26-32、中近東文化センター博物館。
- 新免歳靖・佐藤香子・二宮修治
2009 「東京都文京区弓町遺跡6次調査から出土したベトナム産焼締陶器の生産地推定」『東京都文京区弓町遺跡第6地点』 pp. 235-238、テイケイトレード株式会社埋蔵文化財事業部。
- 杉村棟
2004 「イスラーム美術から見た陶器」『東洋陶磁』 34、pp. 5-12、東洋陶磁学会。
- 中近東文化センター
1985 『ラスター彩陶器 —初期ラスター彩から中期ラスター彩への流れ』。
- 中近東文化センター
1992 『イスラームの都市生活 —アル=フスタート遺跡出土品を中心として』。
- 中近東文化センター附属博物館
2007 『魅惑のペルシア陶器』。
- 中近東文化センター附属博物館
2008 『煌めきのペルシア陶器』。
- 二宮修治・新免歳靖・佐藤香子・松崎広子
2007 「ペルシア陶器を科学する」『魅惑のペルシア陶器』 pp. 28-33、中近東文化センター附属博物館。
- 二宮修治・菊池一弥・曾方絵里・新免歳靖・浜田恵子
2006 「放射化分析による近世陶磁器の生産地推定—尾戸窯製品の同定をめぐって—」『田村遺跡群 第9分冊総論』 pp. 355-384、高知県埋蔵文化財センター。
- 三浦早苗・加藤慎啓・中井 泉・真道洋子
2009 「蛍光X線分析によるイラク製初期ラスター彩陶器の特性化」『X線分析の進歩』 40、pp. 339-348、アグネ技術センター。
- 水本和美・新免歳靖・二宮修治
2009 「紀州徳川家の付家老新宮水野家の御庭焼「三楽園焼」」『国立歴史民俗博物館研究論集』 153、国立歴史民俗博物館 pp. 21-62。
- 三辻利一
1983 『古代土器の産地推定法』 ニュー・サイエンス社
- 山崎一雄・成瀬晃司・堀内秀樹・大橋康二・望月明彦・杉崎隆一・内田哲男・小山睦夫・高田實弥・藁科哲男・東村武信
1994 「東京大学医学部附属病院地点出土の江戸時代の陶磁器片の材質および産地」『考古学雑誌』 79 (4) pp. 87-123、日本考古学会。
- Canby, S.R.
1997 *Islamic Lustreware. Pottery in the Making*, pp. 110-115, Smithsonian Institution Press.
- Mason, R.B.
2004 *Shine Like the Sun*. MAZDA.
- Mason, R.B., Golombek, L.
2003 *Petrography of Iranian Safavid Ceramics. Journal of Archaeological Science*, 30, pp. 251-261.
- Mason, R.B., Tite, M.S.
1994 *The Beginnings of Islamic Stonepaste Technology. Archaeometry*, 36, pp. 77-91.
- Mason, R.B.
1995 *Criteria for the Petrographic Characterization of Stonepaste Ceramics. Archaeometry*, 37, pp. 307-321.
- Mason, R.B., Tite, M.S.
1997 *The Beginnings of Tin-opacification of Pottery Glazes. Archaeometry*, 39, pp. 41-58.
- Mason, R.B., Tite, M.S., Paynter, S., Salter, C.
2001 *Advances in Polychrome ceramics in the Islamic world of the 12th century AD. Archaeometry*, 43, pp. 191-209.
- Pradell, T., Molera, J., Bayes, C., Roura, P.
2006 *Luster decoration of ceramics: mechanisms of metallic luster formation. Appl Phys A*, 83, pp. 203-208.
- Pradell, T., Molera, J., Smith, A.D., Tite, M.S.
2008 *The invention of Iraq 9th and 10th centuries AD. Journal of Archaeological Science*, 35, pp. 1201-1215.
- Watson, O.
2006 *Ceramics from Islamic Lands*. Thames & Hudson.

The Chemical characterization of Lusterware bodies of the Early and Middle Period in the Middle East

SHINMEN, Toshiyasu

The Graduate University for Advanced Studies,
Department of Japanese History, School of Cultural and Social Studies

OKANO, Tomohiko

The Museum of the Middle Eastern Culture Center in Japan

NINOMIYA, Shuji

Tokyo Gakugei University, Research Laboratory for Scientific Studies on Cultural Properties

Islamic lusterware was the most characteristic ware produced in the Islamic world. Ceramic bodies analysis was applied to Lusterware of the early and middle periods to reveal the problems of provenance attribution of ceramics. Forty shards of lusterware which could have been produced in Iraq, Egypt, or Iran from the 10th to 13th century were analysed by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). The samples were analysed for 10 elements (Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, Sr and Ba). The analytical data were subjected to cluster analysis to classify the shards into compositional groups. The results obtained indicated that the shards can be classified into four separate groups according to provenance attribution. The cluster analysis classifications were supported by considerations of the chemical compositions of the lusterware's body.

Key words: Lusterware, analysis of ceramic body, Iraq, Egypt, Iran, clay body, stonepaste body, Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES), cluster analysis, chemical composition



写真1 Aグループ フスタート遺跡出土単色ラスター彩陶器 (10世紀 イラク?)



写真2 Bグループ フスタート遺跡出土単色ラスター彩陶器 (10世紀 イラク?)



写真3 Cグループ フスタート遺跡出土単色ラスタ彩陶器 (10～12世紀前半 エジプト)



写真4 Dグループ サーヴェ遺跡出土単色ラスタ彩陶器 (12～13世紀 イラン)

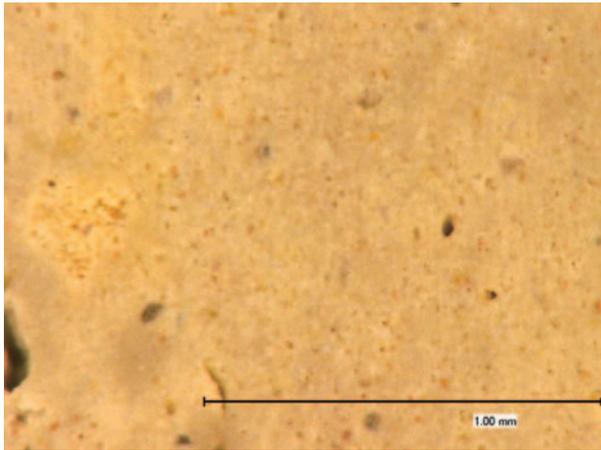


写真5 クラスタ I 群の胎土断面写真
(資料No. B004)

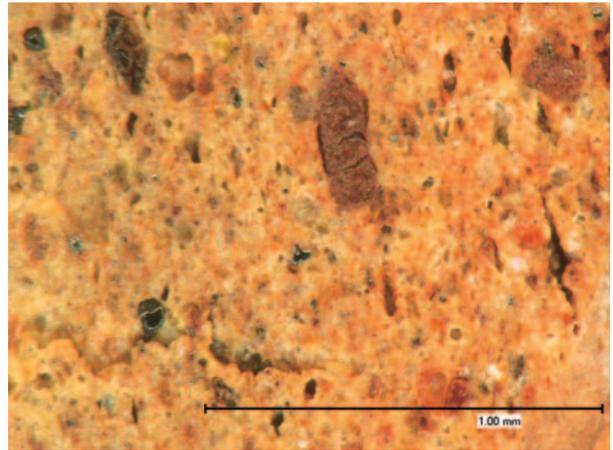


写真6 クラスタ II a 群の胎土断面写真
(資料No. C001)

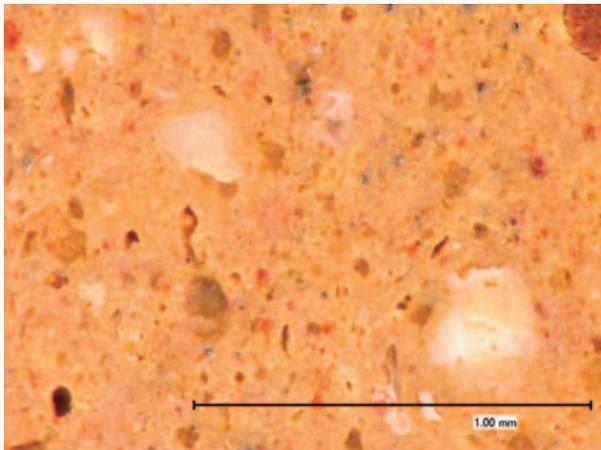


写真7 クラスタ II b 群の胎土断面写真
(資料No. C005)

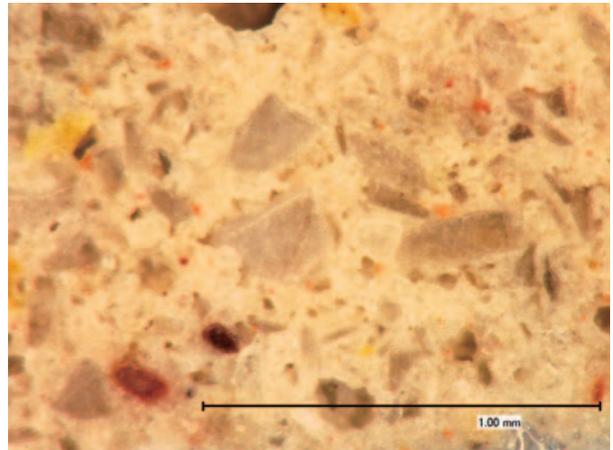


写真8 クラスタ III 群の胎土断面写真
(資料No. C008)

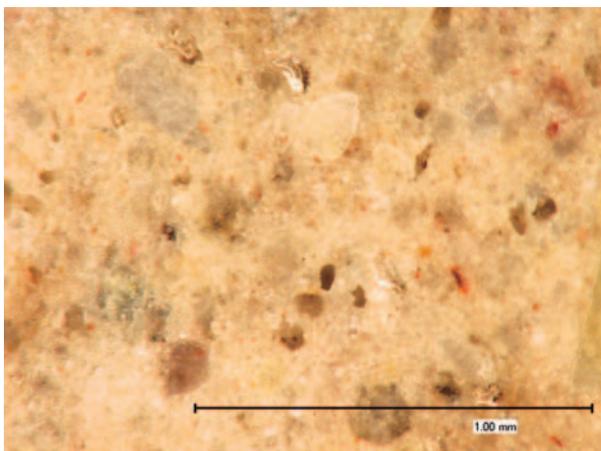


写真9 クラスタ IV 群の胎土断面写真
(資料No. D003)

キーエンス社製デジタル顕微鏡
VHX-500 倍率200倍