

ガラスの考古学  
フスタートおよびラーヤ遺跡出土ガラス



(早稲田大学蔵) 84



(早稲田大学蔵) 86



(早稲田大学蔵) 85



87



(中近東文化センター イスラーム・エジプト調査隊蔵) 88

ガラスの博物誌～ガラス文化の源流を辿る～

財団法人 中近東文化センター

「ガラスの博物誌展企画委員会」発行より抜粋 (P. 38・P80-81)

# 非破壊・その場分析によりイスラーム・ガラスの 化学組成変遷を明らかにする

保倉 明子, 加藤 慎啓, 沢田 貴史, 中井 泉

<sup>1</sup> ツタンカーメン王の調査も、当初はカイロの考古学博物館での調査が予定されていたが、ミイラをルクソールから持ち出すべきでない、という抗議があり、「王家の谷」の地下墓の近くに駐車した特別装備のライトバン内の CT スキャン装置にミイラを入れて分析が行われた。

<sup>2</sup> NASA の火星探査機マーズ・パシファインダーの無人探査車ローバーでは同様の X 線検出器が搭載され、火星岩石を分析し、大きな話題となった。そのほか、ハンディタイプの非常に小型の蛍光 X 線装置も市販されており、奈良県高松塚古墳の壁画顔料の分析に用いられている。

<sup>3</sup> OURSTEX 100FA 装置 (OURSTEX 株式会社、大阪府寝屋川市)



<sup>4</sup> 中井 泉 他、「新開発の 3 ビーム励起源とシリコンドリフト検出器を備えた可搬型蛍光 X 線分析装置によるシナイ半島出土遺物のその場分析の試み」、『X 線分析の進歩』、33、2002 年、pp.331-334；真田貴志 他、「新開発のポータブル蛍光 X 線分析装置によるエジプト、アブ・シール南丘陵遺跡出土遺物のその場分析」、『X 線分析の進歩』、34、2003 年、pp.289-306。

<sup>5</sup> クロアチア・ザダル考古学博物館における分析



<sup>6</sup> 沢田貴史 他、「ポータブル蛍光 X 線分析装置によるシナイ半島出土ガラスの化学分析 - 2002 年度調査報告」、川床睦夫編、『エジプト・シナイ半島 ラーヤ・トゥール地域の考古学的調査 2002 年度』、中近東文化センター・イスラーム・エジプト調査委員会、2002 年、pp.60-65；沢田貴史 他、「ポータブル蛍光 X 線分析装置によるシナイ半島出土遺物の化学分析 - 出土ガラスについての 2003 年度調査報告」、川床睦夫編、『エジプト・シナイ半島 ラーヤ・トゥール地域の考古学的調査 2003 年度』、中近東文化センター・イスラーム・エジプト調査委員会、2003 年、pp.63-68；中川映理 他、「ポータブル蛍光 X 線分析装置を用いたラーヤおよびフスタート遺跡出土のイスラーム陶器の化学分析」、川床睦夫編、前掲書。2003 年、pp.69-73；沢田貴史 他、

発掘した遺構やその出土遺物を詳細に観察することにより当時の生活や文化を研究する考古学分野にも自然科学の手法が積極的に取り入れられつつある。2005 年 1 月、ツタンカーメン王のミイラを X 線 CT スキャンで調査したことが大きく報道され、人々の関心が高いことを表している。このような発掘により得られた遺物では基本的に非破壊分析が求められ、また、現地から遺物を持ち運びすることは困難な場合が多い<sup>1</sup>。この点において X 線を使った分析は現場分析に向いており、比較的早くから考古学分野でも用いられてきた。一方で、X 線装置に関する技術は日々進歩しており、非常に小型の X 線発生装置や検出器が開発され、活躍の場をますます広げている<sup>2</sup>。我々は企業の協力を得て考古遺物の分析に適した装置の開発を行い<sup>3,4</sup>、実際にエジプト、トルコ、イタリア、クロアチアなどの海外の発掘調査隊施設へ装置を持ち込み、分析を行っている<sup>5,6</sup>。また中近東文化センター、愛知県陶磁資料館、岡山市立オリエント美術館、MIHO MUSEUM などの美術館・博物館などでも調査を行っている。本稿では、エジプトの中世イスラーム時代の遺跡から出土したイスラーム・ガラスについて分析を行った結果を紹介する。

我々は 2001 年から毎夏、エジプト、カイロの南東およそ 400 km、シナイ半島の紅海沿岸に位置するトゥールにおいて、中近東文化センター・イスラーム・エジプト調査隊（隊長：川床睦夫主任研究員）が発掘調査を実施しているワーディー・アットゥール修道院遺跡（6～14 世紀）、ラーヤ遺跡（6～12 世紀）およびキーラーニー遺跡（13～20 世紀）出土遺物の分析を行っている（図版 87）。いずれの遺跡からもイスラーム圏で製作された良質の陶器、ガラス器などが多数出土しており、東西海上交易ルートの主要な港湾都市として機能していたと考えられている<sup>7</sup>。

ガラスの原料は珪砂、ソーダ灰、石灰石などであり、基本的には現代のガラス工業もローマ時代のガラス製造も同様である。その化学組成の分析結果から、イスラーム・ガラスの製造原料であるソーダ源として、鉱物資源である天然ソーダのナトロンと、ナトリウム、カリウムに富む植物灰の二種類が用いられていたことが知られている。これらはマグネシウムとカリウムの含有量からその識別が可能であり、マグネシウムとカリウムの酸化物換算の含有量が各 1.5% 未満のものをナトロン・ガラス、それ以上のものが植物灰ガラスと判断できる。エジプトおよびシリアで製造されたイスラーム・ガラスは 8 世紀半ば頃に組成の変遷が起こったと報告されている<sup>8</sup>。つまり、ローマ・ガラスの伝統を受け継ぐナトロン・ガラスが 9 世紀頃まで製造され、その後、植物灰ガラスが製造され始めたと考えられている。この変化についての詳しい原因はわかっていないが、9 世紀半ば頃を境に完全に植物灰ガラスの製造へ移行したと考えられる。ラーヤ遺跡およびワーディー・アットゥール修道院遺跡は、まさにこの時期に栄えていた遺跡であることから、出土したガラスを分析することで、すでに真道によって分類されている様々な装飾分類（図版 88）<sup>9</sup>に加え、イスラーム・ガラスの変遷を探るための重要な情報を提供することが期待される。

分析装置は OURSTEX 100 シリーズである。使用する X 線を単色化することにより、ポータブルでありながら、実験室で使用されている一般的な大型の分析装置を凌ぐ高感度な検出が実現している<sup>4,10</sup>。総重量は 25 kg 程度であり、スーツケースに詰めて現地へ持って行くことができ、100 V の交流電源で稼動する<sup>11</sup>。X 線照射面積は直径 5 mm 程度であり、基本的には試料に X 線照射および検出部を接触させて測定を行う。一測定に必要な時間は 100~300 秒程度であり、迅速に多数の試料を測定することができる。得られる蛍光 X 線スペクトルから含有元素の種類とその含有量を求めることができる。一例として、得られた蛍光 X 線スペクトルを図 1 に示す。ガラスの主成分であるケイ素 (Si)、カルシウム (Ca) のほかに、微量元素であるルビジウム (Rb)、ストロンチウム (Sr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe) などが検出されている。これらの蛍光 X 線強度について濃度既知のガラス<sup>12</sup>から作成した検量線を利用することにより、定量値を算出した。

結果として得られたカリウムとストロンチウムの含有量を図 2 に示す。図に見られるように、大きく 3 つのグループに分けることができた。すでに報告されている分析値<sup>13</sup>との比較から、この A と C はナトロン・ガラス、B は植物灰ガラスと分類されることが示唆された。ラーヤ遺跡城塞区からのガラスは主に A と B タイプであり、この時期にナトロン・ガラスと植物灰ガラスが共に流通していたことが示された。一方、ラーヤ遺跡居住区からのガラスは主として A と C タイプであり、B タイプはほとんどない。つまり、植物灰ガラスがまだ出現していないことが推定され、当時のガラス組成の変遷を知るうえで、大変興味深い結果となった。この違いについては、現在さらに微量元素の組成から詳細な検討をしているところである。

このように、発掘現場で遺物の非破壊測定をすることで大量の試料の分析ができ、科学的な新たな知見を得ることが可能となる<sup>14</sup>。さらに発掘現場において分析した結果について、考古学者とともに議論し、データが示す意義、解釈をより深めることができる。自然科学者と考古学者の共同作業による「その場分析」の大きな特徴であり、さらに発掘現場において分析した結果について考古学者とともに議論したり必要に応じてさらに測定を行い、研究を一層深めることができる。自然科学者と考古学者とのまさに共同作業による「その場分析」が可能となる。

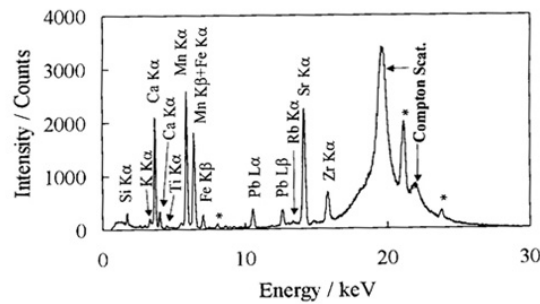


図 1 出土ガラスから得られる蛍光 X 線スペクトルの一例  
\* : 装置由来のピーク

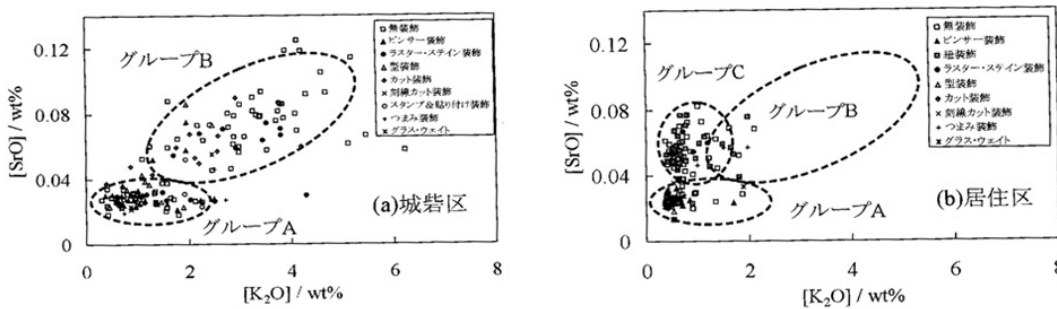


図 2 ラーヤ遺跡城塞区(a)および居住区(b)出土ガラスの SrO vs. K<sub>2</sub>O プロット

中井 泉 東京理科大学理学部 教授  
 保倉明子 東京理科大学理学部 助手  
 沢田貴史 東京理科大学理学部 大学院修士課程終了  
 加藤慎啓 東京理科大学理学部 大学院修士課程

「ポータブル蛍光 X 線分析装置を用いるシナイ半島出土ガラスのその場分析と化学組成による特性化」、『分析化学』、53(3)、2004年、pp. 153-160。  
<sup>7</sup> 川床睦夫、大村幸弘、『中近東文化センターの海外発掘調査』、中近東文化センター、1999年。  
<sup>8</sup> 年代および製造地域が明記されているガラスウエイトを系統的に分析した結果をもとに報告された。Sayre, E. V. and R. W. Smith, "Analytical Studies of Ancient Egyptian Glass," *Recent Advances in Science and Technology of Materials*, 3, 1974, pp. 47-69。  
<sup>9</sup> 真道洋子、『イスラームのガラスーガラスに見られるイスラームの生活と美ー』、中近東文化センター、2002年、pp. 42-65; Shindo, Y., "Islamic Glass Finds from Raya, Southern Sinai", *Annales du 15<sup>e</sup> Congrès de l'AIHV* 2001, pp.180-184。  
<sup>10</sup> 表1 最小検出限界(M.D.L.)

Element	M.D.L. [wt%]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.31
SiO <sub>2</sub>	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.008
SO <sub>3</sub>	0.003
CaO	0.08
TiO <sub>2</sub>	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004
SrO	0.0004

(社)セメント協会製蛍光 X 線分析用セメント標準試料を分析し検量線を得た。M.D.L. は下記の式を用いて計算を行った。

$$M.D.L. = 3k \sqrt{\frac{I_{back}}{T}}$$

ここで、 $I_{back}$ : バックグラウンド強度、 $T$ : 測定時間、 $k$ : 検量線の勾配。  
<sup>11</sup> 500 W の発電機と電流制御のインバーターがあれば、電源のない場所でも作動することができる。  
<sup>12</sup> アメリカの National Institute of Standards and Technology (NIST) では化学組成を保証したガラス標準物質を頒布している。我々はこのガラス標準物質の他に、原料を秤りとして合成した濃度既知のガラス試料を用いて検量線を作成した。

<sup>13</sup> Brill, R. H., *Chemical Analyses of Early Glasses*, Vol. 1, The Tables, Corning, New York, The Corning Museum of Glass, 1999; Brill, R. H., *Chemical Analyses of Early Glasses*, Vol. 2, The Catalogue, The Corning Museum of Glass, Corning, New York, 1999; 桜井清彦、川床睦夫、『エジプト・イスラーム都市 アル=フスタート遺跡発掘調査1978~1985年』、早稲田大学出版部、1992年; Mirti, P. and M. Gulmini, "Glass Fragments from the Crypta Balabi in Rome: The Composition of Eighth-Century Fragments," *Archaeometry*, 43, 4, 2001, pp. 491-502。

<sup>14</sup> 2004年、我々は唐招提寺の国宝・白琉璃舎利壺(はくろりしやりこ)を分析する機会を得た。唐の高僧鑑真和尚が請来したと伝えられる大変貴重なガラス器である。その化学組成から中世イスラームにおいて製造されたガラスであるということが示唆された。この時代、はるか遠いイスラーム世界で製作されたガラスが中国を経由して、はるばると日本へやってきたのだろう。本法は、このように貴重な文化財の分析にも適している。