

卒業論文要旨
In-Air-PIXE 装置の胎土分析への応用

（環境計測） 中山 千歳

1. はじめに

本研究室では、考古遺物の産地推定をテーマの一つとしてこれまで銅寛永銭や鉄寛永銭の考古試料の分析を行ってきた。本研究では、考古遺物である土器の産地推定や美術・工芸品等の真贋判定を視野に入れ、今回は現在使われている焼物の原材料に特徴的な元素があるかどうか探った。

土器の産地推定を行うことで、古代における権力関係、交易や技術を知ることが出来る。今まで、蛍光 X 線や X 線回折など、様々な手法で土器の胎土分析が行われてきたが、本研究では特徴付けの出来る元素を幅広く見るために PIXE 法を用いた。そして将来的な土器の分析に備え、大気中で測定を行うことにした。

PIXE 法とは、荷電粒子励起 X 線法 (Particle-Induced X-ray Emission) のことである。加速させた荷電粒子を標的に衝突させると、標的中の原子が励起し、特性 X 線を放出する。特性 X 線は元素に固有の波長を持つ。これを検出することで標中の元素の定性、定量分析が行える。PIXE 法の利点として、非破壊分析であること、多元素同時分析ができること、微量のサンプルで測定できること等が挙げられる。

2. 実験

実験は、京都大学工学研究科原子核工学専攻 放射実験室の 4 MV バンデグラフ型加速器と In-Air-PIXE 装置を用いて行った。本研究では、検出効率や測定精度を上げるために以下の点を改良した。

- ・ 重い方の元素の感度を上げるために、試料に照射するプロトンビームのエネルギーを 2.0 MeV から 2.1 MeV に上げた。ビーム電流は約 1.5 nA であった。
- ・ SN 比を良くするために、分解能が 136 eV の Si(Li)検出器の置く位置をビームより 90° から 135° に変え、試料と検出器の距離を 100 mm から 50 mm にした。
- ・ プロトンビームのエネルギーの低下や特性 X 線の減衰を防ぐために、試料を保持するアクリルパイプで組み合わせた気密な槽の中をヘリウムガスで置換した。この槽の中を十分にガス置換できるように、作り変えた。ガス置換はフロー (10 cc/min) で行った。
- ・ プロトンが検出されるのを阻止するために、80 μm 厚のマイラー膜を張ったキャップを検出器のヘッドに被せた。
- ・ 測定時に試料を傾けてもこぼれないようにするために、5 mm 厚、外径 12 mm、内径 8 mm のアルミニウムのパイプに、水分を除去したり、細かく砕いた試料を 3分の2程度入れ、プレス機で 310 atm、3 分間プレスし、ペレット状にした。
- ・ 試料に照射される電流量をカレント・インテグレーターで測定できるようにし、1 サンプル当たり 0.6 μC で測定した。

試料は、含有元素の比較を行うために信楽焼・清水焼・丹波焼など京都近辺の窯元、業者から焼物の材料および原料を入手した。それらは、粘土状のものと岩石状のものであった。

試料は、粘土状のものは信楽焼が 3 個、清水焼が 8 個、丹波焼が 5 個で、岩石状のものは愛知県、岐阜県、滋賀県、兵庫県、熊本県などで採取されたもので、28 個であった。

3. 解析結果および考察

測定においては、試料の均一性をみるために幾つかの試料について、複数回測定してスペクトルに再現性があることを確認した。解析の結果、主要な元素として、Al、Si、K、Ca、Ti、Fe、微量な元素として、S、Cl、Sc、V、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、合計 15 個の元素を見出すことが出来た。これらの元素を解析ソフト PIXAN を用いて濃度を算出した。

解析結果の一例として岩石試料について報告する。図 1 に岩石試料の解析結果の一例として愛知県、熊本県、愛媛県、岐阜県、兵庫県で採取された瀬戸蛙目、別天草、伊予陶石、白木節、出石という岩石試料の X 線スペクトルを 2.4 ~ 7.5 keV のエネルギー範囲で示す。

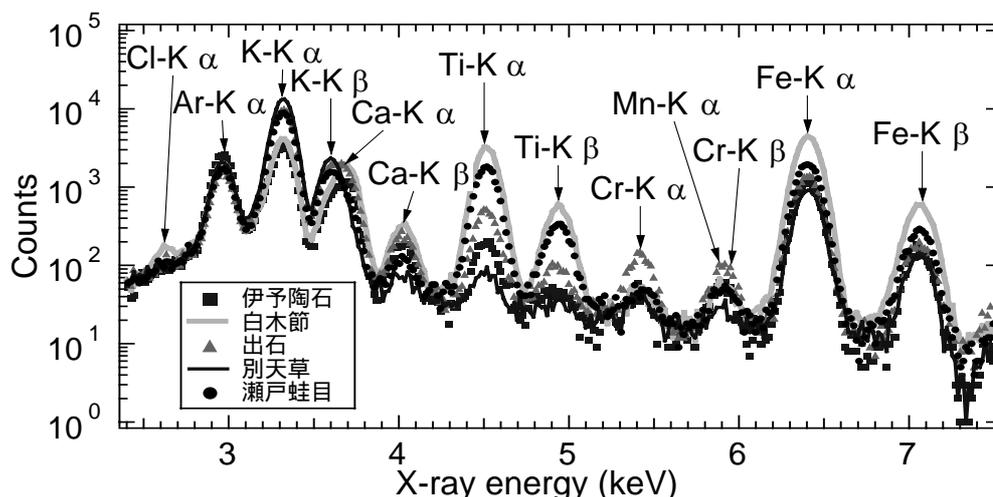


図 1 岩石試料の X 線スペクトル

今回 Cl、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe 元素の含有量に違いが出た。個別に見ていくと、瀬戸蛙目と別天草に関しては、K-Ca 比は、スペクトルでも濃度でも大きな違いはない。しかし、Ti の濃度の違いは顕著で、瀬戸蛙目の Ti の濃度は、別天草の 30 倍で 2717 ppm であった。伊予陶石と白木節に関しても同様で、白木節の Ti の濃度は、伊予陶石の 16 倍で 4871 ppm であった。出石に関しては、図 1 から分かるように、Cr が 200 ppm 程度多く存在した。

三辻ら¹⁾は、K-Ca 比を用いて古代土器(須恵器)の産地を分類し、かなりの成果をあげているが、幾つかのものについては K-Ca 比だけでは分類出来ないものがあると知られている。こうしたものについては K、Ca 以外の指標が必要である。今回 Cl、Mn、Fe の差異は顕著ではなかったが、Ti、Cr に関しては、土器の産地推定のための指標として使える可能性を見出せた。

[参考文献]

1) 三辻利一「胎土分析 30 年を振り返って」日本文化財科学会会報 第 44 号 p21 ~ 40 2002 年