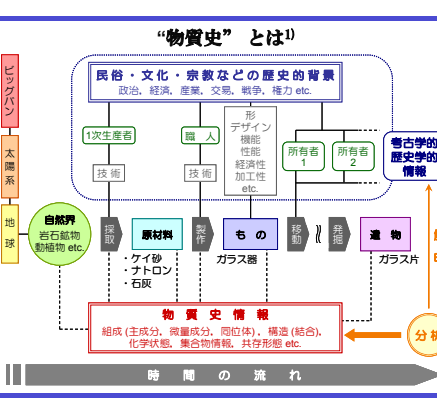


## はじめに

あらゆる物質には、その物質の起源と現在までの履歴の情報が、物質の中に様々な形で潜んでいます。我々はこれを**物質史（物質の歴史）**と呼んでいます。

考古学は、発掘により出土した遺物と遺構を研究して過去を明らかにする学問ですが、当研究室では**最先端の分析技術**を用いて、出土遺物に潜する**物質史の情報を**読み解き、考古学的情報として活用する研究を行っています。

貴重な遺物は国外への持ち出しが困難なことから、我々は世界最高水準の**ポータブルX線分析装置をメーカーと共同開発**し、国内外の様々な考古遺跡や美術館・博物館などへと持ち込み、学生も主役となって貴重な資料の**非破壊分析**を行っています。



**ザダール（クロアチア）**  
ローマ時代（後1～4 C）  
地中海ガラスなど

**カマン・カレホウツク（トルコ）**  
青銅器時代～オスマン時代  
土器、ガラス、地中探査など

**オンサイト分析実施地域**

**ギザ（エジプト）**  
古王国時代 ファイアンスなど

**テル・シェハマッド他（シリア）**  
アッシリア大帝国～ローマ時代  
ガラス、施釉陶器、石製品など

**ラーヤ（エジプト）**  
イスラーム時代（後7 C～）  
ガラス、ラスター彩陶器など

**アブ・シール南丘陵・ダハシュール北・ルクソール（エジプト）**  
古王国～末期王朝時代土器、ファイアンス、ガラス、など

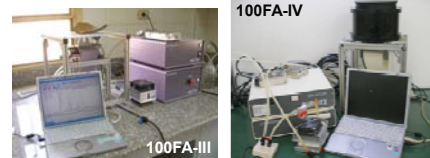
**海外でのその他の分析調査**  
中国（河北省、広西省）、シリア（カトナ、テル・フェハリア、テルハラブ）、イタリア（タルクニア）、ラオス、カンボジア、タイ、インド（ローフタク）

**海外でのその他の分析調査**

## 装置開発

### ポータブル蛍光X線分析装置

- 100FA-IIIは大型遺物の非破壊分析に対応した汎用型<sup>2)</sup>、100FA-IVはNaまで分析可能な軽元素対応型<sup>3,4)</sup>
- ポータブルでは世界最高レベルの感度



### XRFの装置構成と測定条件

| 共同開発   | OURSTEX (株)                  |
|--------|------------------------------|
| X線源    | Pd管球                         |
| 検出器    | SDD                          |
| 冷却     | ペルチェ素子 + 水冷                  |
| モ/コ-メタ | 湾曲結晶グラファイト                   |
| 管電圧    | 40 kV                        |
| 管電流    | 白色X線 0.25 mA<br>単色X線 1.00 mA |
| 測定時間   | 200～300 sec.<br>(Live time)  |
| 装置重量   | 30 kg → 20 kg                |

### ポータブル粉末X線回折計<sup>5)</sup>

- ポータブル型の回折計は世界的にもきわめて希少
- 壁画などの大型試料であっても、非破壊・非接触で分析可能
- 蛍光X線分析の機能も有し、単独でも高精度な相同定を実現



### 装置構成と測定条件

| 共同開発   | (株) テクノ・エクス   |
|--------|---------------|
| X線源    | Cu管球          |
| 検出器    | Si-PIN        |
| 冷却     | 空冷            |
| 管電圧    | 30 kV         |
| 管電流    | 0.3 mA        |
| 測定可能範囲 | 0～80°         |
| ステップ幅  | 0.1°/step     |
| 計数時間   | 3～9 sec./step |
| 装置重量   | 約15 kg        |

## 国外での調査

### 古代エジプトの遺跡調査

早稲田大学エジプト学研究所（隊長：吉村作治教授）が継続的な発掘調査を行っているメンフィス周辺の遺跡、**アブ・シール南丘陵遺跡**と**ダハシュール北遺跡**、ルクソール **王家の谷**へと分析装置を持ち込み、現地出土資料や壁画の分析を行っている。



ダハシュール北 アブ・シール南丘陵

### ラメサイド期のガラス着色剤<sup>3)</sup>

エジプトにおいてガラス生産が開始されたのは新王国時代の第18王朝中期（前15 C）であり、第18王朝を通じて大規模なガラス生産が行われた（～前13 C）。しかしながら、続く第19～20王朝（前13～11 C）の**“ラメサイド期”**ではガラス生産が大幅に縮小されたといわれ、その生産規模など不明な点が多い。

当研究室による最新の分析調査によって、ラメサイド期のガラスは第18王朝とは異なる組成的特徴を持つことが明らかとなり、**ガラス生産体系に変化があった可能性**が示された。



分析したラメサイド期のガラス製品

### アメンホテプIII世王墓の壁画顔料

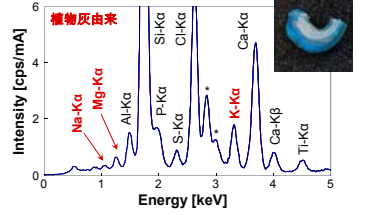
新王国時代第18王朝を代表するファラオである**アメンホテプIII世の王墓**は王家の谷に位置し、鮮やかな顔料で描かれた壁画が残されている。この壁画について非破壊オンサイト分析を行うことで、使用されている顔料の種類や、特徴的な灰色の背景が何に由来するのかなどを明らかとした。



アメンホテプIII世王墓内の壁画

### エジプト最古の透明ガラス

アブ・シール南丘陵遺跡出土の**エジプト最古の透明ガラス**（前16 C頃）について蛍光X線分析を行い、組成を明らかにした。このガラスには融剤として植物灰が用いられていた<sup>6)</sup>。

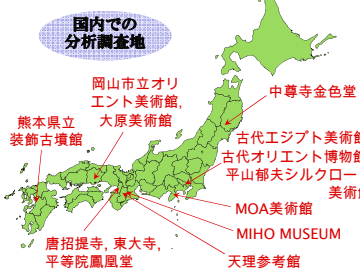


青色ガラスビーズのXRFスペクトル（白色X線励起）

## 国内での調査

### 陸と海のシルクロード

ガラスの製造技術は前25 C頃のメソポタミアを起源に持ち、エジプトや地中海地域に伝わり、その後南アジアを経て東アジアへ、そして日本へと伝わったものとされる。当研究室では古代の交易路**“陸と海のシルクロード”**を科学的に実証するために、西アジアから日本に至る様々な地域の**ガラスの化学分析**を行っている。

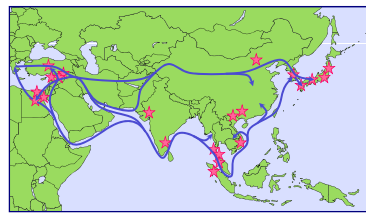


### 熊本市内の古墳ガラス<sup>9,10)</sup>

熊本市の古墳から出土したガラスビーズについて、その組成が東南アジアのものである可能性が明らかになった。すなわち、**東南アジア製のガラスが当時日本へ流入していたこと**を示す科学的根拠が提示された。



対象とした熊本市内の古墳（★）と出土ガラス



陸と海のシルクロードと現時点での調査地域（★）



唐招提寺での国宝白瑠璃舍利堂の分析風景<sup>9)</sup>

**白瑠璃の起源**  
唐招提寺の舍利堂も正倉院の瑠璃碗も、起源はササーンガラス（ペルシャ）である。左：正倉院所蔵の白瑠璃碗。右：分析した同型のガラス。（岡山市立オリエント美術館）

### 平等院鳳凰堂の平安後期ガラス

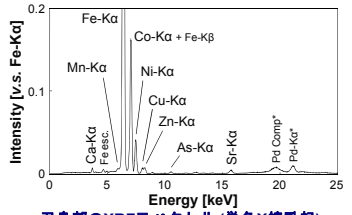
平等院鳳凰堂の国宝阿彌陀如来像の台座から発見された**平安後期のガラス約500点**について、蛍光X線分析により起源を解明した<sup>13)</sup>。



平等院鳳凰堂と堂内で発見されたガラス

## 世界最古の鉄剣<sup>7)</sup>

トルコ、アナトリア文明博物館に所蔵されている、世界最古の鉄剣（B.C. 2300 頃）を分析した。



刀身部のXRFスペクトル（単色X線励起）

宇宙より飛来する隕鉄には数%のニッケル（Ni）が含まれていることから、地球上の自然鉄とは組成的に異なる。蛍光X線分析の結果、鉄製の刀身部分にはNiが多く含まれることが示され、製鉄の技術は当時まだなく、**隕鉄を用いて作られたもの**であることが明らかとなった。



| 試料        | NiO [%] | CoO [%] |
|-----------|---------|---------|
| 鉄剣 測定箇所1  | 3.08    | 0.20    |
| 測定箇所2     | 5.16    | 0.31    |
| 測定箇所3     | 7.59    | 0.29    |
| 測定箇所4     | 5.70    | 0.24    |
| ヒッタイト時代の鉄 | 検出されず   | 0.24    |

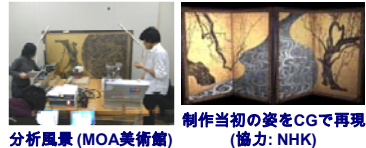
### 隕鉄が原料

## ガラス以外の分析

国内でもMOA美術館所蔵の紅白梅図屏風や中尊寺金色堂の金銀宇一切経など、**国宝指定**の貴重な資料についても分析を行い、その製法の解明など数多くの成果が得られている。



中尊寺金色堂での分析風景



制作当初の姿をCGで再現（協力：NHK）

- 国宝 紅白梅図屏風（尾形光琳 作）の金地が金箔であり、中央の黒い川は銀箔を硫化させてつくられたことが、粉末X線回折と蛍光X線分析により明らかになった<sup>14)</sup>。
- 中尊寺金色堂の建立の際に使われたとされる金塊の蛍光X線分析により、**東北地方の金が使われていた**ことが示唆された。

## 参考文献

- 1) 中井 泉: 『学術月報』, 59, 37 (2006).
- 2) Y. Abe, et al.: *Anal. Bioanal. Chem.*, 295, 1987 (2009).
- 3) Y. Abe, et al.: *J. Archaeol. Sci.*, 39, 1793 (2012).
- 4) 菊川 匡 ほか: 『X線分析の進歩』, 40, 325 (2008).
- 5) I. Nakai and Y. Abe: *Appl. Phys. A*, 106, 279 (2011).
- 6) I. Nakai et al.: *Proc. AIHV Annales du 17e Congres*, 2006, 31 (2009).

- 7) I. Nakai, et al.: *Anatolian Archaeological Studies*, 17, 321 (2012).
- 8) 中井 泉 編: 『蛍光X線分析の実験』, p. 61, 朝倉書店 (2007).
- 9) 白瀬 純子 ほか: 『考古学と自然科学』, 63, 29 (2012).
- 10) 松崎 真弓 ほか: 『X線分析の進歩』, 43, 437 (2012).
- 11) 加藤 慎吾 ほか: 『岡山市立オリエント美術館研究紀要』, 24, 83 (2010).
- 12) A. Hokura, et al.: In: "Ancient Glass Research along the Silk Road, World Scientific, New Jersey", pp.231-241 (2009).
- 13) 白瀬 純子 ほか: 『鳳翔学風』, 7, 149 (2011).
- 14) 阿部 善也 ほか: 『分析化学』, 60, 477 (2011).

## 謝辞

ポータブル蛍光X線分析装置の開発はOURSTEX (株) と、粉末X線回折計の開発は(株) テクノ・エクスとの共同で行われました。両社の優れた技術陣に感謝します。さらに考古遺跡の貴重な出土遺物や美術館の収蔵品を分析する機会を下さり、また文理融合型共同研究を推進して下さいました。以下に考古学・美術史等の研究者の方々のご協力に感謝します: 吉村 作治, 大村 幸弘, 川床 睦夫, 奥田 洋子, S. グルシェビツ, H. クーネ, M. レーナー, P. プファル, D. ボナツ, J. ランクトン, 神尾 文彰, 横山 一己, 東 啓子, 山花 京子, 四角 隆二, 池田 朋生, 河合 望, 矢澤 健, 内田 真典, S. ラフチェフ, 巽 善信, 宮下 佐江子, 津村 真輝子, 孝岡 睦子 (敬称略)。