

高松塚古墳壁画及びキトラ古墳壁画の材料調査について

国立文化財機構古墳壁画PT材料調査班

○調査項目

古墳壁画PT材料調査班では、高松塚古墳壁画・キトラ古墳壁画に用いられている材料の分析及びそれらの状態のモニタリングを行うために、様々な自然科学的手法を用いて調査を実施している。

現在、以下の項目の分析等を継続的に実施している。

- 1) 蛍光X線分析（キトラ） 調査データ集の作成に向けた準備
- 2) 泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査
- 3) 分光分析（高松塚・キトラ）
- 4) テラヘルツイメージングによる高松塚古墳壁画の漆喰層の状態調査
- 5) SfM/MVS を用いた壁画面モニタリング手法の検討（キトラ）

また今後、高松塚古墳壁画・キトラ古墳壁画の材料調査への適用を目指して、以下の分析手法について精度及び安全性に関する評価を行っている。

- 6) X線回折分析
- 7) ハイパースペクトルカメラ

さらに、壁画を長期的・安定的に保存をするための基礎研究として、
8) 壁画構成材料の変形特性の評価
を行っている。

ここでは、2)、6)、8)の項目を中心に報告する。

○泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査（修復班と協働）

キトラ古墳壁画のうち別置保管している十二支像（辰・巳・申）が残存している可能性のある箇所において、令和2年12月に蛍光X線分析（辰・申）を実施した。その結果、水銀（Hg）が検出されたことにより、凶像の存在の可能性が示された（第28回検討会にて報告）。

ここでは、令和3年8月に巳が描かれている可能性のある壁画片に対して蛍光X線分析を実施した結果を報告する。

前回の調査（辰・申）と同様に、凶像が描かれていると推定される位置を中心に、縦横2cm間隔で分析箇所を設定した。BRUKER社製ハンドヘルド蛍光X線分析装置（Tracer5i）を用いて、以下の条件で分析を行った。

- ・ X線管球：ロジウム（Rh）
- ・ 管電圧・管電流：40kV・20 μ A
- ・ X線照射径： ϕ 8mm
- ・ 測定時間：120秒
- ・ 測定雰囲気：大気
- ・ 装置ヘッドから壁画間距離：約5mm

分析調査によって得られた蛍光X線スペクトルのうちHgの強度が高かった例を図1に示す。また、バックグラウンドを考慮し、各測定点のHgのL線の信号強度(cps)を算出した結果を図2に示す。ここでは、信号強度が1:>100cps、2:25~100cps、3:15~25cps、4:<15cpsの4つのランクに分類し、図3に信号強度の分布を巳が残存している可能性のある壁画片の可視画像上に示す。

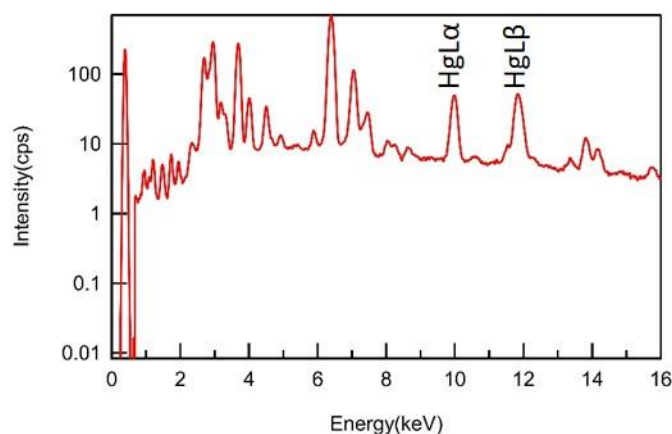


図1 Hgの検出強度が高い蛍光X線スペクトルの例

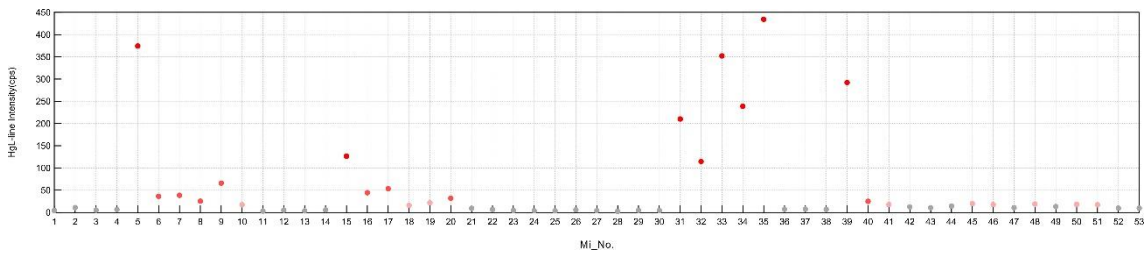


図2 各測定点におけるHgのL線の信号強度

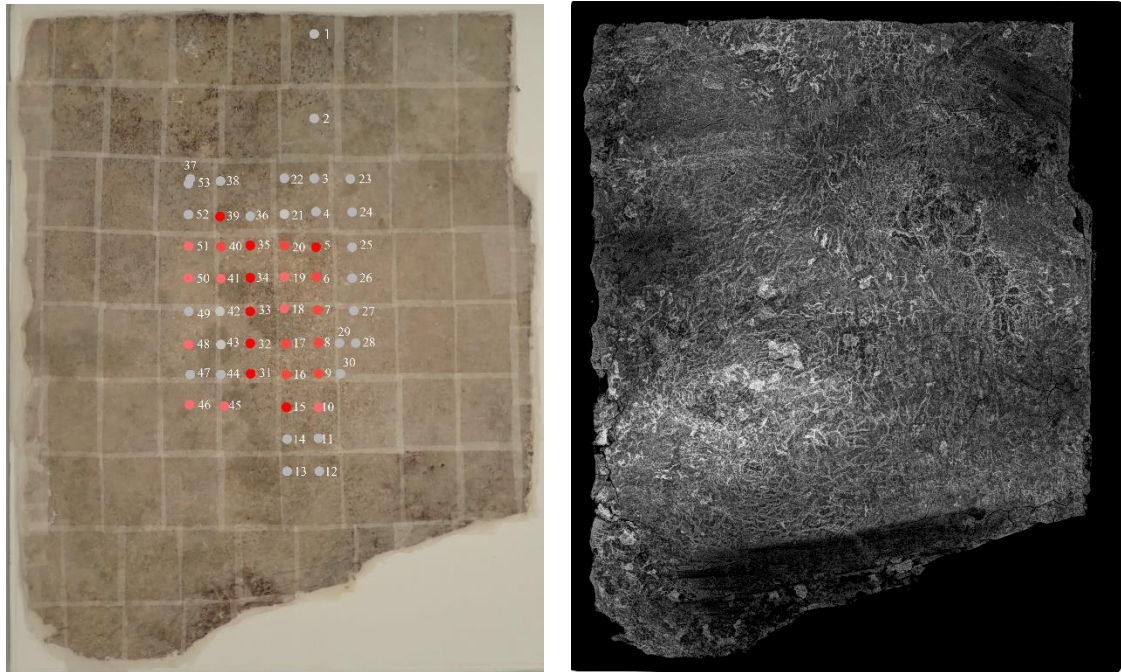


図3 信号強度の分布とX線透過画像

令和2年12月の調査で得られた蛍光X線分析（辰・申）の結果と比較すると、巳が残存すると予想される箇所から得られたHgの検出強度は大きかった。Hgの検出強度が大きい箇所は10cm角程度の領域に分布していた。

以上の結果から、巳が残存する可能性のある壁画片についても、水銀が検出され、図像の存在の可能性が示された。今後は図像の存在をより明確にするために、蛍光X線分析の2次元マッピングの実施を検討する予定である。

○ X線回折分析

X線回折分析は壁画に用いられている顔料を同定するための分析である。色料の分析調査としては、これまでも蛍光X線分析（元素情報）および分光分析（色情報）を行ってきたが、X線回折分析では鉱物種を同定することが可能となる。X線回折分析による調査を進めることで顔料についてのより詳細な情報が得られると期待される。

壁画用に特別に開発してきた装置が完成したことを受け、現在は壁画を安全に測定するためにフレームへ取り付けられた状態での安全確認および性能確認を進めている。

令和3年度の間接報告

測定用フレームの安全性について打ち合わせを実施し、

- ① 上下動時における装置の振動軽減
- ② 上下動機構部の軽量化
- ③ ケーブル類収納
- ④ 落下・傾き防止対策（ワイヤーの取り付け）

について、さらに安全性を高めるための意見を集約し、これらの改良を行った。



写真1：装置と壁面の位置関係（左）横側面から、（右）後正面から



写真2：上下動作業時

写真3：ケーブル類の収納状況(黒い部分)

図4 X線回折分析装置の設置方法の検討

今後の予定

- ・フレームを用いた模擬実験の実施（必要ならば改良作業を実施）、測定条件・測定方法の検討

○壁画構成材料の変形特性の評価

高松塚、キトラ古墳壁画およびその他の古墳壁画を長期的に安定的に保存するために、温度、相対湿度の変化が壁画を構成する石材・漆喰の力学的特性に与える影響を明らかにする必要がある。そこで、漆喰の吸放湿と材料変形の関係に着目した基礎実験を行う。

現在までに、実験のための漆喰試料の作成と、変形特性の測定方法の検討を行った。まずは最も材料にストレスがかかる状況を想定し、30分間純水に含浸し毛管飽和な状態にした試料について、温度23℃、相対湿度55%の条件下で乾燥する際に生じる歪を歪ゲージで測定した。材料中の水分量と歪の関係を評価するため、実験中の試験体の重量変化も同時に測定した。図5に試験体の概要図、図6に測定結果を示す。

吸水に伴う歪の増大（膨張）と乾燥に伴う歪の減少（収縮）が生じており、この手法で妥当な結果が得られることを確認した。また、収縮は材料中の水分がある程度蒸発してから発生しており、材料中の水分の吸脱着特性が材料の変形に大きく影響することを示唆する結果を得た。

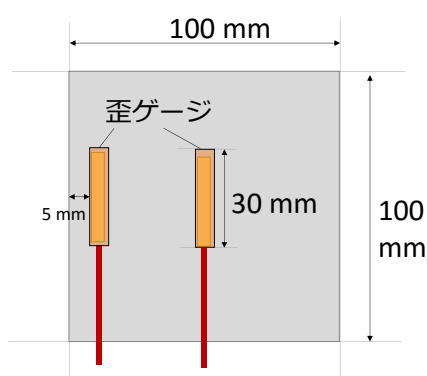


図5 試験体の概要図

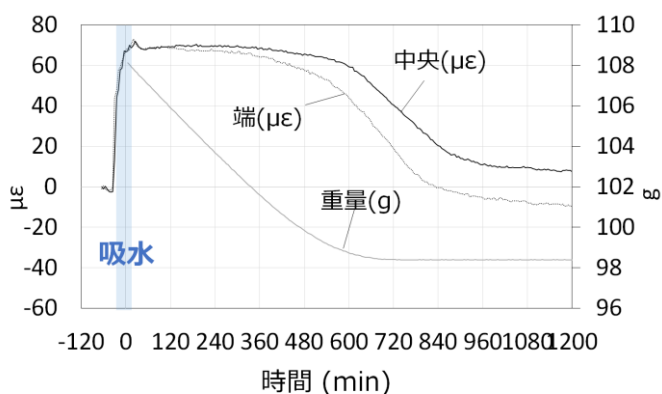


図6 歪と重量（乾燥開始を0分）

令和3年度の子定

- ・水分の吸着量や吸脱着速度を特徴づける物性値である、平衡含水率、蒸気拡散係数の測定を進める。測定した物性値は修復班（石材担当）が測定を進めている高松塚古墳目地漆喰の物性値と比較する
- ・実際に壁画が置かれている保存環境を想定し、様々な乾燥条件での測定を実施する