

国宝高松塚古墳壁画及び国宝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

1) 可視反射分光分析

- ・調査データ集の編集

2) 元素マッピングによる高松塚古墳壁画の追加調査

- ・分析機器について
- ・類似機器による模擬試料を用いた検討

3) ハイパースペクトルカメラで得られたデータの解析等

4) ラマン分光分析

1) 可視反射分光分析 調査データ集の編集

序

1. 目次

2. 例言

3. 高松塚古墳壁画の可視反射分光分析

3-1 はじめに

3-2 調査概要

3-3 分析装置および測定条件

3-4 測定結果

3-5 まとめ

4. 可視反射分光分析による測定結果

西壁石 1 (西男子群像)

西壁石 2 (白虎・月像)

西壁石 3 (西女子群像)

北壁石 (玄武)

東壁石 1 (東男子群像)

東壁石 2 (青龍・日像)

東壁石 3 (東女子群像)

5. 基礎データ

5-1 顔料手板試料の可視反射スペクトル

5-2 有機色料手板試料の可視反射スペクトル

1. 目次・・・済

4. 一覧表の作成・・・済

反射・二次微分スペクトル画像の出力・・・済

5. 基礎データ

5-1 顔料手板の原稿・・・データ出力済み、進行中

5-2 有機色料手板の原稿・・・済

3. 「高松塚古墳壁画の可視反射分光分析」と題して、①はじめに、②調査概要、③分析装置および測定条件、④測定結果、⑤まとめを記載する。

なお、④測定結果では、これまでの材料調査（蛍光 X 線 (XRF) による元素分析、X 線回折 (XRD) による結晶構造分析) を支持する結果であることに加え、可視分光分析により可能性が考えられる色材も言及する。

●令和 8 年度 12 月に次年度の予算申請を行う予定（令和 9 年度の刊行を目指し、令和 8 年度 12 月までには、ページ数を確定する）。

2) 元素マッピングによる高松塚古墳壁画の追加調査

昨年度実施した分光分析の結果から、赤衣の色材について複数の色材の併用可能性も含めた更なる検討の必要性が示された。赤衣の色材を精査する場合、鉄 (Fe) の関与を確認するための元素情報が必須となる。これまで実施した XRF 調査は、ハンドヘルド型装置による点分析であり、色材由来の Fe に対して検出限界であった可能性が推察される。したがって、高感度、且つ無地場との差を視覚的に捉えるための 2 次元的な元素マッピングが可能な XRF の適用が望ましい。赤衣の領域で Fe の分布の有無を確認できれば、元素情報に基づく、より高次の検討が行える。また、赤衣にとどまらず、検討の難易度が高い土性顔料全般 (たとえば、黄色衣での使用が推測される黄土) についても有用な知見が得られることが期待される。

以上の経緯から、赤衣を主な対象とした元素マッピング調査を計画している。

● 分析機器について

可搬型且つ壁画の上で安全に測定ができること等を踏まえて、以下の装置の適用を考えている。

【使用想定機器】

マッピング機能付きポータブルマイクロ XRF (Bruker 社製 ELIO)

- ・測定ヘッドの総重量 2.1 kg
- ・1回の測定で 10 cm×10 cm の範囲をマッピング可能
- ・Rh ターゲット 設定可能電圧 10～50 kV、電流 5～200 μ A、(最大出力 4 W)
- 測定径 (コリメーターサイズ) : 1 mm

● 類似機器による模擬試料を用いた検討

漆喰上に酸化鉄系顔料のベンガラ (赤色顔料) および黄土 (黄色顔料) を塗布し、その上に泥 (高松塚古墳の版築土を使用) を付着させた模擬試料を測定した。使用機器は、Bruker 社製 M6 JETSTREAM である。測定条件は、使用想定機器のスペックと可能な限り合わせるようにした。条件は以下の通りである。

条件 : Rh ターゲット 管電圧 40 kV・電流 100 μ A (出力 4 W)、測定径 ϕ 580 μ m (ワーキングディスタンス約 26 mm)、測定間隔 1 mm、積算時間 30 ms/pixel
なお、分析領域は、各試料 30 mm×30 mm である。

図 1 に分析結果を示す。実物壁画のような泥の影響がある状態でも、模擬試料に塗布したベンガラ、黄土の領域で Fe の特徴的な分布がみられた。

今後は、実機の適用可能性を確認するとともに、当該試料を用いて測定条件の検討をおこなう予定である。

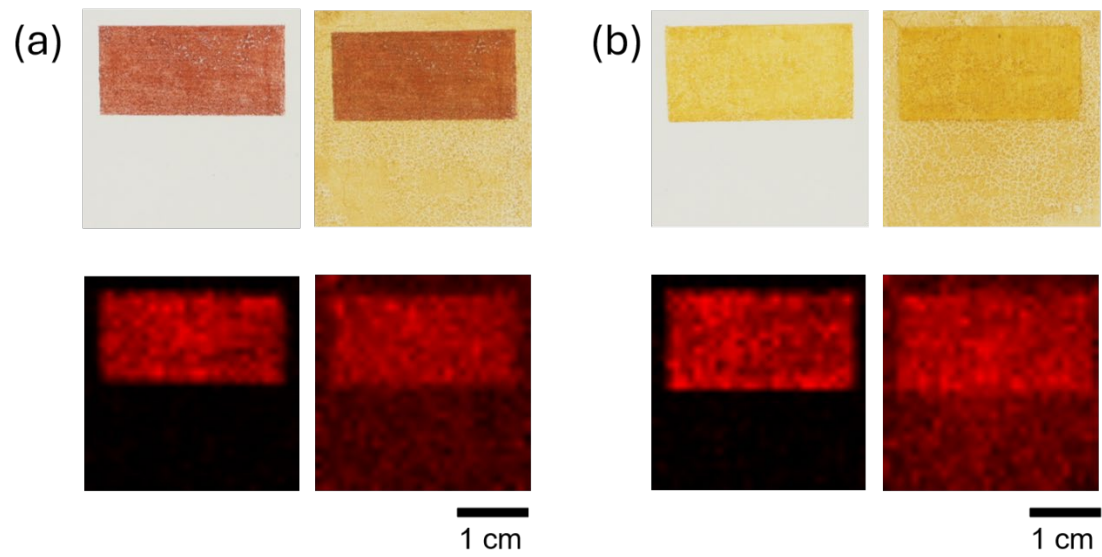


図1 M6 JETSTREAMによる模擬試料の分析結果
 (a)ベンガラ塗布試料、(b)黄土塗布試料、
 上段：模擬試料写真、下段：鉄 (Fe) の元素マップ
 各試料の左右の図は、泥を付着させる前後の結果である。

3) ハイパースペクトルカメラで得られたデータの解析等

●令和7年度実施内容

- ・東壁女子群像を対象とする分析調査を実施
- ・西壁・東壁女子群像のデータ解析

現在、西壁および東壁女子群像についてデータの解析を進めている。撮影距離25cm で取得した西壁のデータについて、奈文研による可視分光分析の測定点と同一箇所 (No. 160) に相当する範囲を設定し解析を行った結果、類似する二次微分スペクトルが得られた (図2)。

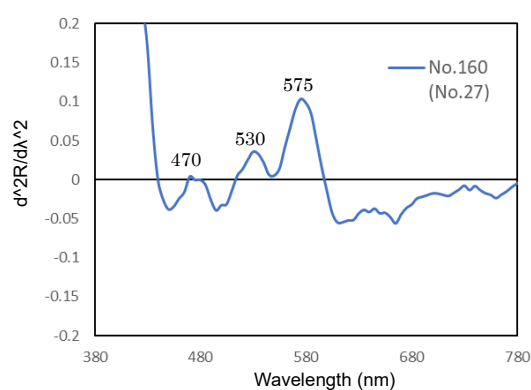


図2 西壁女子群像の測定点 No. 160 (No. 27) に相当する箇所のハイパースペクトルカメラによる二次微分スペクトル (撮影距離: 25cm、分解能: 5 nm)

●令和8年度実施予定

- ・西壁・東壁女子群像の既取得データの解析を継続する。
- ・ハイパースペクトルカメラを用いて、分光分析のための標準資料として作成した手板資料の撮影を行い、二次微分スペクトルの基準データの作成を行う。

4) ラマン分光分析

ラマン分光分析による青色顔料を対象とした材料調査

令和6年度より、青色顔料粒子(アズライトとラピスラズリ)の識別を目的に、ラマン分光分析を用いた予備的調査を実施してきた(表1)。

表1 ラマン分光分析による検討過程

〈令和6年度〉

- ① 純物質で構成された模擬壁面試料におけるアズライト、ラピスラズリの識別
- ② 上記模擬試料を用いたリスク評価(レーザーによる顔料の変質有無)
(実装予定機器での識別可能条件を基本としたレーザー損傷のリスク評価)
- ③-1 実物壁画の状況を模した試料における顔料粒子の識別とリスク評価
 - ・酸化鉄による汚れや土粒子の被覆、修復材料の影響を考慮した検討

〈令和7年度〉

- ③-2
 - ・東壁青龍を模した試料における青色顔料粒子の識別とリスク評価
 - ・古代に用いられたと考えられる有機色料を用いたリスク評価

➡壁画に適用可能な分析条件を具体化した。

〈令和8年度予定〉

- ④ 壁画が描かれていない実際の漆喰面(漆喰片)での適用と現場での装置制御等の安全性の確認
(模擬試料では再現できない要素の影響の検討のため、実施を希望)
- ⑤ 実際の壁画(東壁・青龍)での分析

項目④を、6月に実施したところ、装置の設置や制御等の安全性を確認することができた(図3)。また、その設置条件に置いて、漆喰片に適用したところ、炭酸カルシウムに由来する信号を検出することができた。その際に、資料に変色等の影響が無かったことも確認した。以上の結果を踏まえて、項目⑤の実際の壁画《青龍》を対象とした調査の実施を想定し、準備を進めていきたい。



図3 分析装置の設置の様子