

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

○概要

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進めている。

令和3年度は両壁画の分光分析について再調査を行った。また、泥に覆われた状態で保管しているキトラ古墳壁画片について、蛍光X線分析結果の整理を行った。小型X線回折装置については、令和4年度に国宝高松塚古墳壁画で調査するための諸条件を検討した。

○調査項目

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) キトラ古墳壁画の泥に覆われた部分の調査
- 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、3)、2)、6)の項目を中心に報告する。

○分光分析（高松塚・キトラ）

分光分析とは、対象に光を照射して波長ごとの反射率を測定する分析方法である。色材は種類によって異なる分光反射スペクトルを示し、その波形を観察することで、壁画に使用された色材を推定するための有効な情報を得ることができる。高松塚古墳壁画およびキトラ古墳壁画の調査ではこれまでに蛍光X線分析を用いた元素分析等が行われてきたが、分光分析を併用することで色材についてより詳細に検討することができる。

令和3年度の報告

①分光器の不具合について

壁画の調査で使用してきた分光器にて、得られる分光反射スペクトルが長波長寄りに10nm程度ずれるという不具合が確認されたため、令和3年3月に装置の修理を行った。不具合が生じていた状態で調査した可能性のあるこれまでの分析結果を再検討する必要があることから、本年度は過去に本装置を用いて分析した壁面の再調査を行った。なお、測定に際して同様の不具合が生じていないか確認するため、現在は測定の前後にホルミウムガラスを用いた波長確認を行っている。修理完了から現在に至るまで波長のずれは確認されていない。

②令和3年度の実施報告

調査日および対象とした壁面は下記の通りである。

- ・令和3年8月：キトラ古墳壁画 南壁 朱雀（再調査）
- ・令和3年8月：高松塚古墳壁画 西壁石2 白虎・月像（再調査）
- ・令和3年11月：キトラ古墳壁画 北壁 玄武・十二支（再調査）
- ・令和3年11月：高松塚古墳壁画 北壁石 玄武（再調査）

ここでは、令和3年11月に実施したキトラ古墳壁画・北壁玄武の調査で得られた結果の一部を報告する。これらの箇所で行われた分析結果については令和2年9月に行われた「古墳壁画の保存活用に関する検討会（第27回）」にて発表していたが、先述の不具合を受け、修理完了後の装置を用いて再測定したものである。



図1 分析箇所

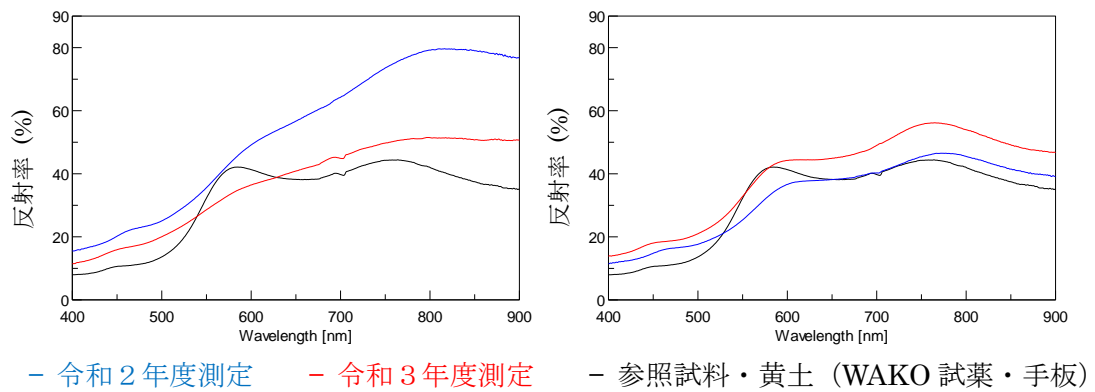


図2 分光反射スペクトル (左: 黄1 右: 黄2)

令和2年度に測定したスペクトルと比較して、令和3年度に測定したスペクトルは10nm程度短波長寄りに修正されている。令和2年度の際も黄土(WAKO試薬)に近似すると報告したが、今回の修正で黄土のスペクトルにより近似するパターンが得られた。

令和4年度の調査計画

高松塚古墳壁画：東壁石2 (青龍・日像)
西壁石1 (西壁男子群像)

キトラ古墳壁画：東壁 (青龍・十二支)
西壁 (白虎・十二支)

○キトラ古墳壁画の泥に覆われた部分の調査

令和3年度の報告

- ・令和3年8月に巳が描かれている可能性のある壁片に対して蛍光X線分析を実施した（古墳壁画の保存活用に関する検討会（第29回）で報告）。

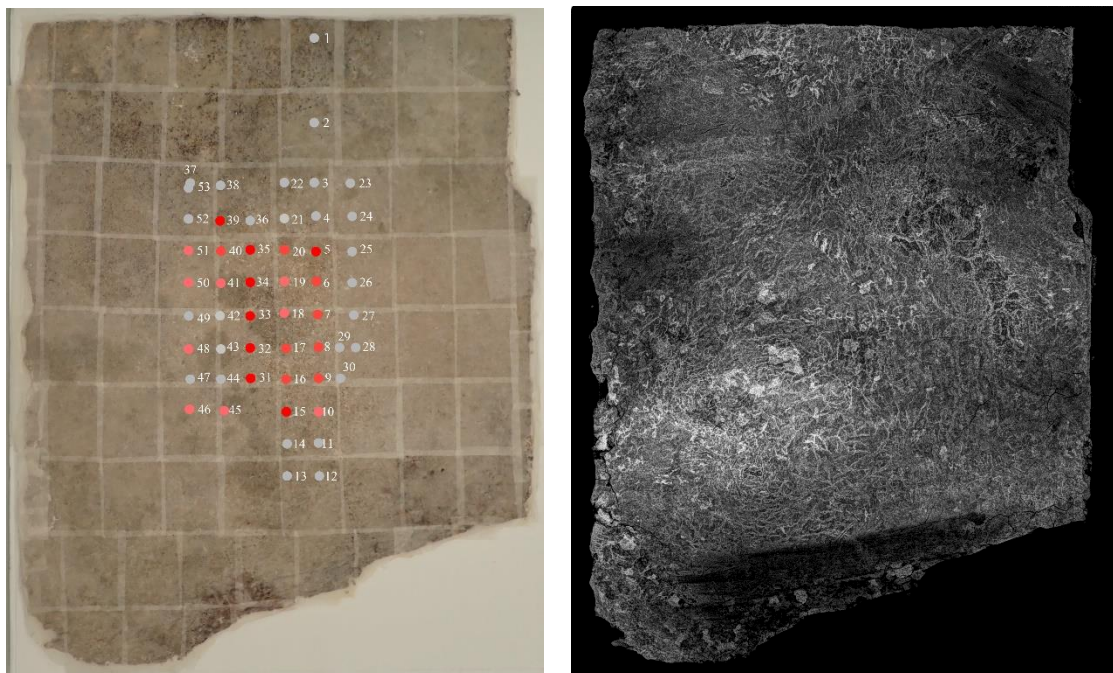


図3 「巳」についての信号強度の分布とX線透過画像

令和4年度の計画

泥に覆われた部分の図像（辰・巳・申）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。

ここで検討を行う装置は80×60cmの領域で蛍光X線の2次元分布を最小0.1mmステップで得ることができる（ワーキングディスタンスは約12mm）。本装置を用いることで、キトラ古墳壁画に用いられた顔料の種類とその分布の推定が可能になるものと期待される。装置写真と壁画の模写で実施した調査結果を図4に示した。



図4 上段（左）：装置全体、（右）：検出器
 下段（左）：壁画（模写）、（中）：鉄の分布、（右）：水銀の分布

○ X線回折分析

材料調査班ではこれまでに、古墳壁画に用いられている顔料を同定することを主目的として、小型X線回折装置の開発を行ってきた。これまでの開発成果により、壁画の上で安全に調査を実施することができるようになった（古墳壁画の保存活用に関する検討会（第29回）で報告）。



図5 小型X線回折装置の設置方法の検討

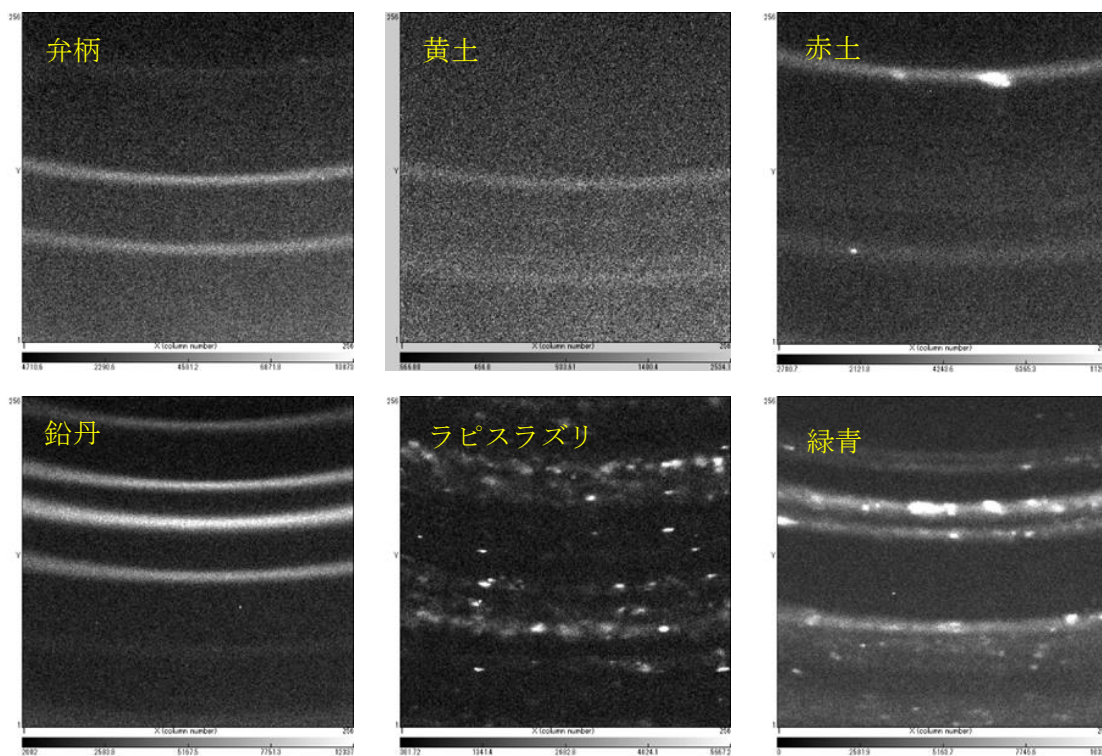


図6 手板顔料試料から得られた2次元X線回折パターンの例

本X線回折装置を用いて、実際の高松塚古墳壁画を分析する際に検出が想定される顔料種について既知の顔料試料を分析すると、図6で示すようなそれぞれ固有の2次元のX線回折パターンを得ることができる。

令和3年度の後半は、同一試料に対して、X線を発生させる時の管電圧・管電流、測定時間等の測定条件を変えて、最適な測定条件の検討を行った。ここでは、弁柄（1%）と漆喰（99%）を混合した試料に対して行った測定条件の検討の例を示す。2次元のX線回折パターンから1次元の回折パターンに変換し、図7中の矢印で示す弁柄の信号を検出するための最適な条件の検討を行った。

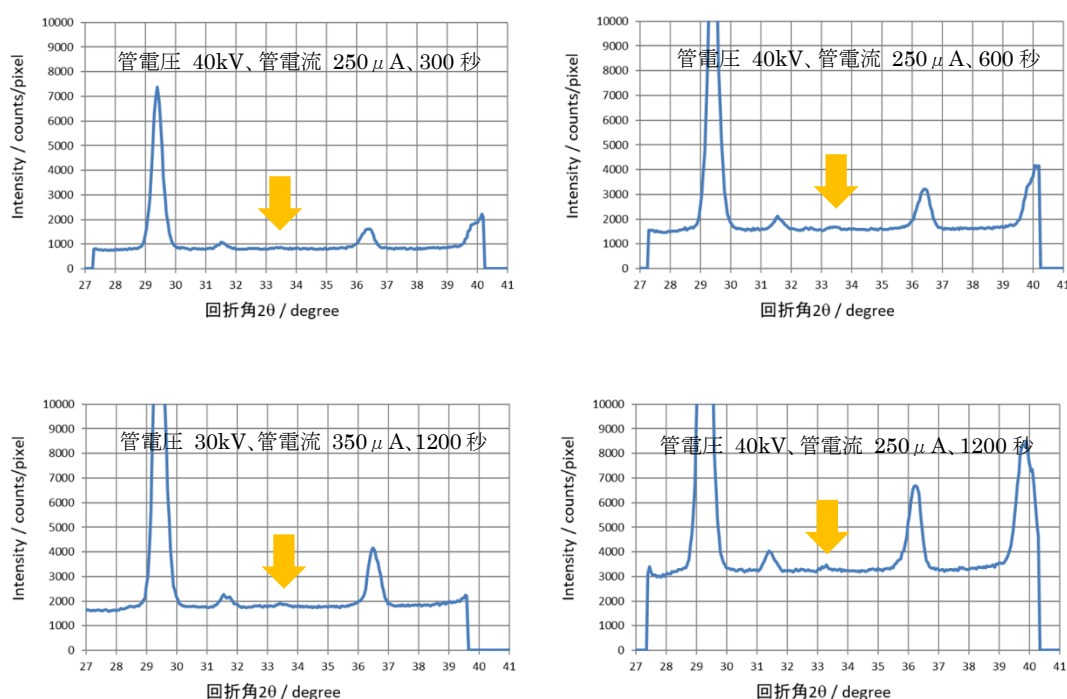


図7 管電圧、管電流、測定時間を変えた時の1次元の回折パターンの比較。図中の矢印で示した箇所で弁柄の信号が検出される。

これまでに材料調査班で開発を行ってきた小型X線回折装置を用いて、高松塚古墳壁画に使われている彩色材料の分析調査を行う場合には、令和3年度に行った以上のような検討結果を踏まえて分析を実施する予定である。