

## 壁画の下地漆喰・顔料・描線などの劣化に関する調査（準備状況）

奈良文化財研究所 肥塚 隆保

### I. はじめに

今回の劣化原因調査検討会では、材料調査班が予定している調査の準備状況について報告する。また、壁画材料と技術的な調査の一環として、目地漆喰についての調査を開始したので、その進捗状況についても併せて報告する。

### II. 描線・顔料などの観察と分析調査（準備状況）

#### 1. 観察手法による調査

下地漆喰、描線、顔料などの劣化・損傷状態を観察手法により明らかにするため、実験用壁画資料を用いて撮影法についての検討を進めている。ここでは①デジタルカメラを用いたマクロ撮影、②デジタルマイクロスコープを用いた拡大画像の撮影法を検討した。いずれも、撮影時におけるリスクを少なくするため、軽量、操作性、落下防止対策が取れる安全性の高い機材を検討している。

- ① デジタルカメラによる撮影では、望遠マクロでの最短撮影距離が4cm(視野 24mm×18mm)である。マイクリングライト(LED)による正面光および斜光撮影をおこなっている。現在、R社のカメラで実験をおこなっており、オートフォーカスの精度が高く、鮮明な画像が得られている。斜光撮影では立体感のある画像が得られるが、絞り F15.6 であっても焦点深度は浅く、1mm程度かそれ以下で凹凸の激しい部分のマクロ撮影は困難である。
- ② デジタルマイクロスコープによる拡大画像では、25～175倍率が可能で、撮影距離は約2.5cmで作業の安全は確保できる。25倍率時における視野は13mm×10mm、175倍率では2mm×1.5mmである。最高倍率での顔料粒子の識別については、赤色顔料における辰砂であれば可能であるが、ベンガラ粒子は不可能である。撮影時における焦点合わせ、ブレなどの振動の影響は大きい。

なお、上記観察法以外にも、DVカメラ（赤外写真）により、墨線の残存状況について予備的な調査を実施したり、大型スキャナーを用いた劣化・損傷状態の計測に関する実験を計画している。

## 2. 分析手法による調査

下地漆喰、描線、顔料などの劣化や損傷状態を推定する手段の一つとして、鉛成分に着目した調査を計画している。本調査では、非破壊蛍光 X 線分析法を適用する。鉛成分は、従来の研究から炭酸鉛（Cerussite:  $\text{PbCO}_3$ ）もしくは塩基性炭酸鉛（Hydrocerussite:  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ）として存在しており、鉛白が関与しているとされている。この鉛白については、下地漆喰を形成した後に、その表層に塗布されたのか、漆喰に鉛白を混合して下地漆喰としたのかは明らかではない。これらを明らかにするため、石室解体前に剥ぎ取られた資料を用いて、漆喰断面を調査する必要がある。

従来の調査では、天井や壁面の下地漆喰には鉛が分布しており、その含有量についてはかなり変動することが報告されている。画像部分では鉛含有量が高く、画像以外では少なくなる傾向があると報告されている。

材料調査班では、白虎と青龍について鉛の分布調査を実施して、描線が薄れている部分、黒かびが発生した部分などについて測定を実施して、修理との関連性について検討する予定である。それぞれの壁画については、5cm メッシュ程度で全体を測定し、必要部分については、詳細な測定を実施する予定である（図 1）。

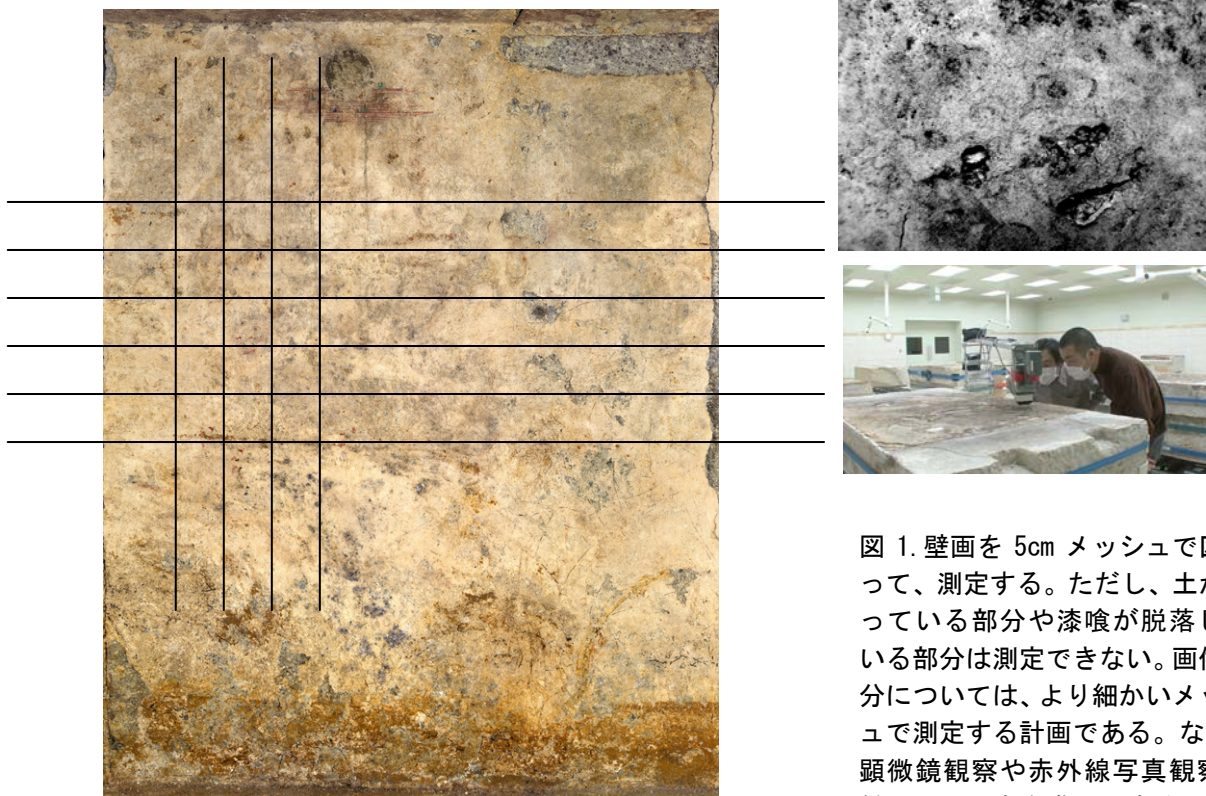


図 1. 壁画を 5cm メッシュで区切って、測定する。ただし、土が被っている部分や漆喰が脱落している部分は測定できない。画像部分については、より細かいメッシュで測定する計画である。なお、顕微鏡観察や赤外線写真観察と併せて、調査を進めてゆく。

### 3. 観察機器および分析機器を取り付けるためのサポート台

壁画の観察および分析にあたっては、専用のサポート台を作成して（図2）、それぞれの機材を取り付けて調査を実施する予定である。現在、サポート台製作の最終段階の調整作業にはいっており、10月より実験的に機材を取り付けた測定をおこなう。なお、使用にあたっては、機材の落下防止等についての安全対策を検討した。

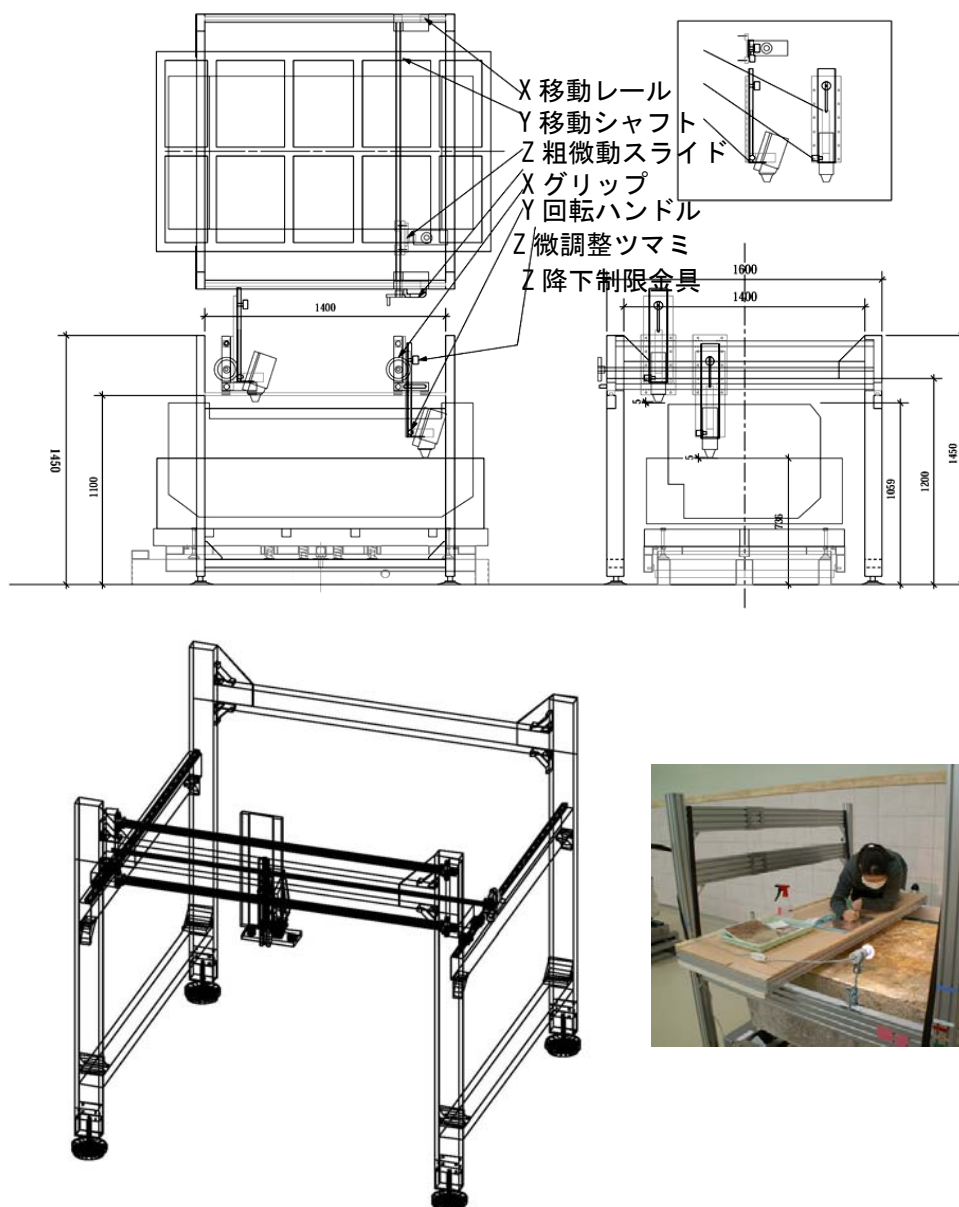


図2. 観察機材、分析機材を取り付けて、安全に調査が実施できるように、設計されたサポート台。現在、保存修理用に製作された作業用台〔右〕を改良したイメージである（9月末に完成予定）。

安全対策としては以下の通りである。

1) ステージの X および Y 方向の移動方式

機器を搭載するステージは X 方向（長辺方向）および Y 方向（短辺方向）にスライドするようになっている。スライドの方法は機械制御によるものではなく、目視により確実に操作できるように手動としている。X 方向の移動はグリップを手でつかんで移動させる。一方、Y 方向については回転ハンドルを用いて移動させる。これは、X 方向へはグリップをつかんで大きな移動を可能とし、X 方向の位置が決まったところで、Y 方向、すなわち壁面の内側のエリアに移動させるのに、測定者の上体が壁面上にかぶることがないようにするためである。また、X 移動レールはフレームに固定とすることで、レール全体が落下することはないようにしてある。

2) ステージの Z 方向移動

機器を搭載するステージの高さは Z 軸方向（上下方向）にスライドさせることで調整できるようにしてある。ただし、各測定機器を搭載する際にまず最下点（最大限下がることのできる位置）を決定し、ネジで固定する。搭載機器の Z 軸方向の移動は顕微鏡などのフォーカス調整に用いられている粗微動調整ツマミを用い、測定箇所において測定距離が決定した段階で固定することになる。最下点板はこの固定位置よりわずかに下に位置しており、設定した測定距離位置の高さから万が一落下しても搭載機器を停止させることができるようにしてあるものである。

3) ステージのホルダー

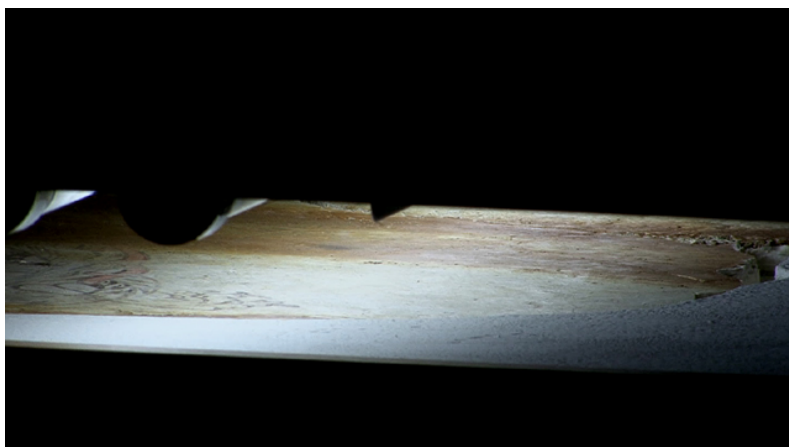
搭載する機器は、各機器に対応した治具を製作し、カメラ用固定ネジを利用してステージに固定する。ステージには CCD カメラを取り付けてあり、測定ポイントが確定できるようにしてある。また、各測定機器にはケーブル類が取り付けられているが、これらケーブルは、ホルダー上部において固定し、さらにサポート台のフレーム外枠に固定する方法で、壁面上に垂れることのないようにする。



参考試料：大型スキャナーを用いた壁画全体測定の予備実験として、中型スキャナーを用いた測定を実施した（図3）。現状の亀裂など損傷状態を正確に測定したり、その経年変化を詳細に調査する。赤外線画像や紫外線による蛍光などの撮影が可能な開発が進められている。高松塚古墳壁画の個々の石材に対応できる装置を適用する予定。2m×2m サイズで、高精細画像の構築が可能。実験ではクラックスケールで0.1mmを識別できた。



現地で各装置を組み立てて測定。2×2mまで可能。インターロック方式による安全装置



ヘッドと対象物間距離は50cmまで可能



斜光からの光源で、微細凹凸を表現する。端部の傾斜を読み取る事が可能。

図3. 中型のスキャナー装置を用いた予備調査

### Ⅲ. 目地漆喰の調査（予備調査）

高松塚古墳壁画の材料調査を進めるため、目地漆喰を用いた予備実験をおこなっている。この調査では、実体顕微鏡による表面状態の観察に加えて、薄片試料を作成して偏光顕微鏡観察から、構造・組織的な調査（漆喰に含まれる混合物とその状態など）や構成鉱物種の同定をおこなう。また、同時に粉末法による X 線回折測定をおこなって、偏光顕微鏡観察と併せて主要構成鉱物に関する情報を収集する。これら回折粉末試料を回収して、高周波誘導プラズマ発光分光分析（ICP 法）、原始吸光分光分析（AA 法）などにより精密化学分析を実施する。以上の結果から得られるデータをもとに、目地漆喰の特徴を把握して、壁画についての劣化原因の参考とする。

今回の調査には以下に示す 6 試料を用いた。

JOT-01:147 次、5 ALI、天井石 1-2 間、東側面 漆喰①	070515	9-32
JOT-02:147 次、5 ALI、天井石 3 西側面、漆喰①	070419	9-46
JOT-03:147 次、5 ALI、天井石 3-4 間、東側面 漆喰①	070401	9-52
JOT-04:147 次、5 ALI、南壁石-西壁石 1 間、目地留漆喰③	070608	9-72
JOT-05:147 次、5 ALI、西壁石 2-3 間、側面漆喰①	070502	9-88
JOT-06:147 次、5 ALI、東側石 3-2 間、内部目地漆喰	070507	

実体顕微鏡による観察をおこなったところ、漆喰表面は淡黄褐色～淡茶色でゼリー状もしくは皮殻状を呈する薄い層を形成しているものが存在していた（図 4）。鉄分の染み込みではなく、植物などが腐朽して生じたシミのように見える。また、その上には黒褐色の微小な斑点状の炭質物状物が存在しており、かびとの関わりが示唆された。また、植物の根が目地漆喰の割れ目に侵入して、扁平な状態で炭化していた（図 5）。

漆喰の中にはストロー状を呈する〔莖状〕ものが含まれるものも見られ、一部は石灰化していた。

漆喰は長期間にわたって、湿度の高い環境下に存在していたので、当然結露していたことも考えられる。水分によって表層の漆喰を溶かして、表層で再び再結晶したと考えられる。再結晶した疑いは、多くの試料片で観察された。特に、薄く皮殻状にして脂肪光沢を呈する表層部分や、晶洞状の孔の中の葡萄状を呈する部分にその特徴が見える。

X 線回折粉末法による測定の結果、目地漆喰は炭酸カルシウムですべてカルサイト型結晶 (Calcite Group.) であった。少量の石英のピークが検出されたものもあるが、表層に付着した土に由来するのか、もともと漆喰中にごく少量混じっているのかは、X 線回折粉末法では明らかにできない。偏光顕微鏡による組織観察の結果とあわせて検討する。



図 4. 漆喰表面は淡黄褐色のゼリー状物質で覆われている。



図 5. 炭質物化した根が侵入して、細かく粒状化して淡茶色～黒色粒となって散在している。



化学分析にあたっては、Ca, Fe, Si, Mn, P, Ti, Al, Mg, Zn, Cu, V, Sr, Zr, Sn, Ba, Na, K, Pb, Cl の 19 元素と Ig. Loss. について測定した。その結果、今回調査した目地漆喰 6 試料についての成分はほぼ一定していた。CaO 含有量は、54/% ( $53.5 \pm 0.95$ )、Ig. Loss ( $43.92 \pm 0.39$ )、Total ( $99.95 \pm 0.55$ ) で、従来に発表されている下地漆喰の CaO 含有量 (50-54%) と大差はない。今回の資料は、表層の汚染を取り除いたが、表層の凹凸が大きくて土砂がごくわずか残っていた可能性のある資料は、CaO 含有量が最も低く、51.8%であった。この資料の  $SiO_2 + Al_2O_3$  は最も多く (4.12%)、この値から他資料の  $SiO_2 + Al_2O_3$  の平均値 (1.69%) を差し引いた残りを CaO 含有量に加えると、ほぼ 54% になる。各資料とも  $SiO_2$  含有量は、1% 前後もしくははやや少なく、 $Fe_2O_3$ , MgO は 1% に満たない。ただし、MgO 含有量が高い値 (0.72%) を示す試料もある。いずれも CaO 含有量が高い漆喰で、キトラ古墳の下地漆喰 (52.97%) と似た値を示している。

偏光顕微鏡観察の結果、漆喰中には多量の間隙が見られるものがほとんどであった。試料方向が不明なので、観察面方向は任意の方向であるが比較的均一に間隙が存在していた。石灰の原料については、石灰岩と一部晶質石灰岩も含まれているのかもしれない。また、化石の断片らしきものも存在しており、詳細な観察も必要となる。漆喰中には石英やソーシユライト化の進んだ長石もごくまれに含まれていた。意識的に砂、シルトを混合したのではなく、漆喰製造中に紛れ込んだものと考えられる。化学分析で検出された二酸化ケイ素は、石英や長石に由来するものである。また、表層あるいは亀裂部分には新たに成長した Calcite の再結晶が認められる。

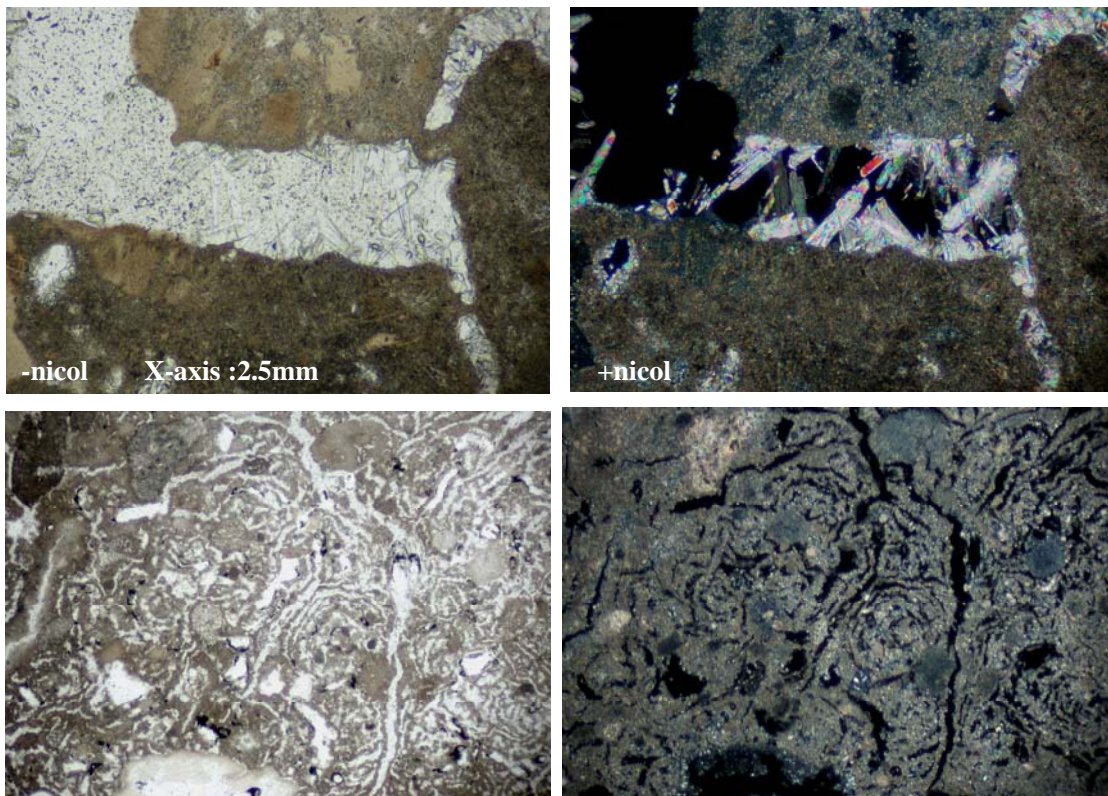


図 6 偏光顕微鏡写真 (左) : -ニコル (右) ; +ニコル 上 : 再結晶 下 : 化石?