

# 〔報文〕 敦煌莫高窟第285窟南壁龕楣の彩色材料および技法

高林 弘実・倉橋 恵美\*・范 宇権\*<sup>2</sup>・崔 強\*<sup>2</sup>

## 1. はじめに

敦煌の郊外の仏教石窟寺院遺跡・莫高窟に開かれた石窟の壁面には、数多くの壁画が残されている。これらの絵画表現については、描かれた形態の図像学的な解釈や、形態が共通して示す特徴から様式に関する分析が多くなされてきた。しかしながら、絵画の根源的な構成要素のひとつである色彩による表現については、必ずしも十分な検討がなされてきていない。これは、壁画に使用された彩色色料ではすでに劣化が進行しており、その色彩がすでに当初の様相を留めていないことに一因がある。壁画の制作当初の色彩は、使用された彩色材料・技法を理化学的な調査から推定することによって考察することが可能である。本研究では、莫高窟の壁画における色彩表現を考察するための基礎的な知見を得ることを目的として、第285窟南壁に描かれた龕楣の彩色に使用された材料・技法の非接触分析調査を実施した。

## 2. 調査対象

本研究が対象とするのは、莫高窟初期の石窟である第285窟の南壁に設けられた禅龕の入口上方に描かれた装飾图案である。龕の上方を装飾するためのものは一般的に龕楣（がんび）と呼びならわされるので、本報でも龕楣とする。龕楣は、莫高窟に現存する最初期の石窟とされる第268窟および第272窟の正龕周囲の壁面にも描かれおり、初期の石窟でごく一般的にみられる。写真1（口絵参照）は、本研究の調査対象となる龕楣が描かれた南壁の全体を示したものである。南壁下方には四つの禅龕が開かれ、龕の入口には蓮弁形の龕楣が描かれている。向かって一番右、すなわち西壁から一番目の龕楣入口には、後世に仏塔が設置され、さらにそれが取り壊されたため、图案の損傷が激しい。これらの龕楣は、多くの仏教故事画が描かれた南壁の中において、ひときわ装飾的な图案といえる。龕楣の内部はほぼ全面が彩色材料で覆われており、その装飾的効果は彩色の色彩に負うところが大きいと考えられる。しかし、第285窟では色料の変色あるいは退色がすでに進行していることが報告されており<sup>1-3)</sup>、彩色が現況で呈する色は制作当初とは大きく異なっている。そこで、本研究では、制作当初の色彩を考察することを目的として、彩色の物理的な欠損が比較的少ない西壁から二番目の龕楣を主要な調査対象とし、使用された彩色色料および技法の理化学的な非接触分析調査を実施した。



写真1 莫高窟第285窟南壁

\* 名古屋市立南養護学校

\*<sup>2</sup> 敦煌研究院保護研究所

### 3. 調査手法

第285窟南壁では、今回の調査に先立って壁全面について写真撮影による光学調査を行われている<sup>2)</sup>。また、南壁龕楣の一部では、南壁に使用された色料の種類を把握することを目的とした非接触分析調査が行われている<sup>3)</sup>。しかし、従来の調査によって得られる知見のみでは、本研究が目的としている龕楣の図案における色彩表現を考察するための基礎的な知見として不十分なため、新たな調査を実施した。

今回の調査では、(i) 可視光下における肉眼観察、(ii) デジタル顕微鏡（キーエンス製 VHX-5000）による壁画表面の観察、(iii) 簡易型装置を使用した蛍光 X 線分光分析による非接触調査を実施した。蛍光 X 線分析の分析条件は過去のものと同じであり、放射線源、小型 X 線検出器、小型マルチチャンネルアナライザ、プリアンプ、パーソナルコンピュータを組み合わせた装置を使用した<sup>4)</sup>。線源には AET Technology 製の 241Am 密封環状線源 (AMRB8774)、X 線検出器には AMPTEK 製 XR-100CR-0.5 BE-S<sup>4)</sup>、マルチチャンネルアナライザには AMPTEK 製 MCA8000A<sup>5)</sup>、プリアンプには AMPTEK 製 PX2CR を使用した。壁面と測定ヘッドの距離は 2～5 mm 程度、測定時間は 1000 秒とした。

## 4. 結果および考察

### 4-1. 龕楣裝飾図案の概略

彩色材料および技法の調査にあたり、肉眼観察による龕楣の図様の観察をはじめにおこなった。まず、龕楣の構成の概要を図 1 から述べる。禅龕入口の上には、入口の形状にほぼ沿うように太い縄状の帯がある。帯の先端は植物の葉の文様になっている。この帯を領域 I とする。縄状の帯 I の上方には、蔓草文様および二羽の鳥が配されている。この領域を領域 II とする。龕楣の外縁部には、火焰文様が充填された青色を呈する帯が、領域 II を囲むように配されている。この青色を呈する帯を領域 III とする。このように龕楣の図案は便宜的に 3 つの領域に分けることができる。この構成は南壁の描かれた 4 つの龕楣に共通している。



図 1 南壁の龕楣の構成

次に、本研究の主要な対象となる西壁から二番目の龕楣の正常光写真を写真 2（口絵参照）に示し、各領域の図案の詳細を述べる。禅龕の入口周辺は帯状に赤褐色を呈す部分が観察され、入口周縁は縁取りがなされていたと考えられる。赤褐色の縁取りから少し間隔を置いて縄状の帯 I が描かれている。その内部は細い帯によって複数の区画に区切られている。I は、写真 2 のほぼ中央で長細い帯によって鉛直方向に区切られている。さらに、この鉛直方向に I を区切る帯からみてほぼ左右対称になるように、複数の細い帯が I を四辺形状に区切っている。細い帯によって区切られた区画は、全面に彩色がなされており、隣り合う区画同士で互いに異なる色を呈しているため、複数の色料で塗り分けられていたと考えられる。また、各区画には小さな円形の文様が散らされている。

龕楣の図案の中心に位置する領域 II には、向かい合うように二羽の青色の鳥が配されている。さらに、その周囲には

領域全体を埋めるように蔓草文様が描かれている。屈曲した茎が、領域Ⅱの鉛直二等分線からほぼ左右対称に伸びるように描かれている。そして、これらの茎のあいだを埋めるように葉を横から描いたような半パルメットと呼ばれる文様や、一部が欠けた楕円形のような形状をしている芽のような葉の文様が描かれている。写真3（口絵参照）に領域Ⅱを拡大したものを示す。写真3はⅡの向って右側の鳥の上部に描かれた半パルメットの一部である。肉眼観察によれば、南壁の色彩による彩色は、壁面全面に施された白色下地の上に赤褐色の材料を使用した線描による下描きの上に、なされている<sup>2)</sup>。写真3で矢印をしるしたのは下描きの線描であり、その上に彩色層が覆っている。また、文様の周縁部は黒色あるいは白色の線が輪郭をとるように描かれている。葉や芽の文様は、赤、褐色、緑、青などの色を呈しており、複数の色彩によって彩色されていると考えられる。蔓草文様および鳥の隙間となる部分は、部分的に黒色を呈している。このような状態から、隙間にも何らかの色彩が塗られていたと考えられる。



写真2 第285窟南壁の西壁から2番目の龕楣の正常光写真

外縁部の領域Ⅲは、連続的な火焰文様で充填された青色を呈する帯状の領域である。写真4（口絵参照）は、龕楣の右上部の一部を示したものである。写真4では、火焰文様の焰の先端にあたる上端は赤色、より内部になると淡い赤褐色、さらに内部および龕楣の中央に近い部分ではほとんど色みがないごく淡い褐色か、あるいは淡い灰色を呈している。火焰文様は複数の色彩によって彩色されていると考えられる。



写真3 南壁の西壁から2番目の龕楣の蔓草文様（部分）



写真4 龕楣外縁部に描かれた火焰文様

#### 4-2. 肉眼観察による彩色の分類

前節で述べたように、写真2に示した龕楣では領域Ⅰ、ⅡおよびⅢのほぼ全面に色彩が塗布されていたと考えられる。以下では、これらに塗布された色彩の特徴を検討する。

まず、可視光下において肉眼で観察される彩色層が呈する色をもとに、領域Ⅰの細い帯によって区切られた各区画およびⅡの蔓草の葉の文様を便宜的に分類した。以下に分類の詳細を述べる。

領域Ⅱの一部を示した写真3の左上部には淡い赤色を呈する葉の文様があるが、この淡い赤色の彩色層は透過性があり、下描きや白色下地層が透けて見える。肉眼観察においてこの淡い赤色の色料が白色下地の上に塗布されたと判断された区画あるいは文様を r1 とした。写真3の中央には、可視光下において肉眼で観察される発色と質感が r1 とは異なる赤色の文様が見られる。中央の文様には黄色味のない赤色を呈する不透明な彩色層が確認できる。このような不透明な赤色の彩色が観察される区画あるいは文様を r2 とした。この r2 では、彩色層に亀裂や剥落が生じた周囲が、そうではない部分と比較して白色度が高いようにみえる部分が多く観察される。写真3の右端には、褐～黒色を呈する文様がある。このような褐～黒色を示す区画および文様を b とした。写真3の左下には、緑色および青色を呈する文様がある。I および II では、ひとつの区画や文様にこのような緑色および青色を呈する部分が共に観察されるものが多い。そこで、この緑色あるいは青色を呈するものを gb1 とした。このほか、わずかに鈍い青色を呈している区画と文様がみられるため、これらを gb2 とした。

分類の結果を図2に示した。図2では区画や文様の領域を示しているが、実際の壁画では区画や文様の形状は輪郭の線描や彩色層の欠損により正確にはわからない。ここで示したものは、おおよその形状であり、厳密なものではない。以下では、図2のように分類した各区画あるいは文様の彩色を光学的手法および分析によって調査した結果を述べる。



図2 肉眼観察による彩色の分類および蛍光X線による分析箇所

#### 4-3. 紫外線照射によって彩色が発する蛍光の特徴

各区画や文様の彩色の特徴を紫外線蛍光写真から検討する。写真5は、写真2に示した範囲の紫外線蛍光写真である。デジタルカメラ（ニコン製 D200）を使用し、バラストレス水銀ランプを光源として撮影したものである。レンズはニコン社製の AF-S DX Zoom-Nikkor ED 17-55mm F2.8 G (IF) であり、Kodak 社の Wratten Gelatin Filter No. 2E でレンズ内に入射する紫外線領域の光を遮断して撮像している<sup>2)</sup>。

紫外線蛍光写真（写真5：口絵参照）には部分的に強い蛍光が記録されており、彩色に使用された材料には紫外線を照射することによって可視光の蛍光を発するものがあることがわかる。図2と写真5を比較すると、図2で r1 とした領域では、淡い赤色を呈している彩色層がある範囲全体に強い蛍光が記録されている。彩色層が紫外線照射によって強い蛍光を発していると考えられる。r2 および g では、区画あるいは文様の彩色の一部で紫外線蛍光写真に強い蛍光がみられる。例えば、写真3の中央の赤色を呈する半パルメットは r2 に分類できるが、紫外線蛍光写真で文様の左側の部分



写真5 第285窟南壁の西壁から2番目の龕楣の紫外線蛍光写真

に強い蛍光がみとめられる。このように蛍光を発する領域が区画あるいは文様に部分的に存在することから、蛍光を発する材料が部分的に塗布されていると考えられる。緑色あるいは青色を呈する gb1 では、肉眼で緑色を呈している部分の紫外線蛍光写真には蛍光がほとんどみとめられず、青色を呈している部分では青味を帯びた弱い蛍光が記録されている部分がある。わずかに鈍い青色を呈している gb2 では、紫外線蛍光写真から紫外線照射によって青みを帯びた蛍光が全面的にみられる。紫外線蛍光写真からは、龕楣の彩色に使用された材料には紫外線を照射することによって可視光の蛍光を発するものがあり、蛍光を発する領域がひとつの区画あるいは文様で部分的にみられる r2、g および gb1 では、ひとつの区画あるいは文様に複数の彩色材料が使用されている可能性が示唆される。

#### 4-4. 分析結果

##### 4-4-1. 赤色を呈す色料

ここでは、r1 および r2 に観察される赤色を呈している部分について分析調査を実施した結果を述べる。淡い赤色を呈する r1 の顕微鏡像を写真 6 (口絵参照) に示す。半透明の赤色の彩色層が観察される。この赤色を呈する層には発色の原因となっていると考えられる赤色の粒子状の物質はみられない。不透明な赤色を呈する部分がみられる r2 の彩色層表面の顕微鏡像を写真 7 (口絵参照) に示す。表層は無色の微粒子に覆われている。無色の粒子の下には鮮やかな赤色の粒子が観察される。無色の粒子は、r2 の彩色層に生じた亀裂や剥落した部分の周囲が肉眼でより白く見える原因となっている物質と考えられる。この物質は制作後に生じたと考えられる損傷部の周囲に特異的に多く分布することから、当初に塗られた彩色材料による一次的な物質ではなく、二次的に生成した物質である可能性が高い。

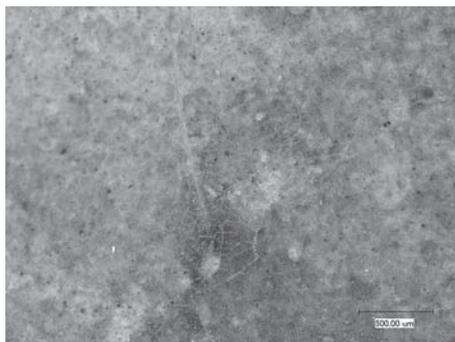


写真 6 淡い赤色を呈する部分 (r1) の顕微鏡像

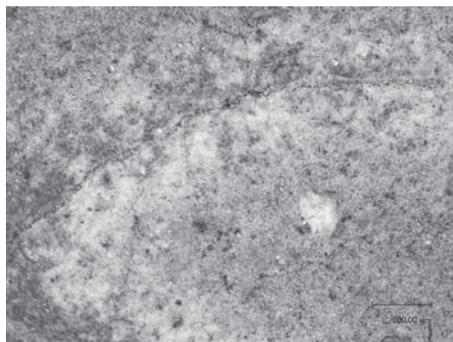


写真 7 赤色を呈する部分 (r2) の顕微鏡像

これらの赤色を呈する色料の化学組成を考察するために、蛍光 X 線による非接触分析を実施した。図 3 に白色下地、r1 および r2 における分析結果を各々 (a)、(b) および (c) に示す。分析箇所は X (1)、X (2) および X (3) として各々図 2 に示した。(a) 白色下地の蛍光 X 線スペクトルには Fe の K  $\alpha$  線に帰属できるピークがみとめられる。この Fe は、白色下地あるいは下地層の下にある土壁に由来すると考えられる。(b) では、下地から検出された Fe のほかに、微小な Pb のピークがみられる。Pb は彩色層に由来する元素と考えられる。今回の調査で使用した装置は励起線源からは、13.95、17.74 および 59.54 keV の励起線が主に放出されており、Pb に対する励起効率は Fe と比べて相対的に高く、検出感度も相対的に高い。この

ため、Pbは彩色層の主成分元素ではないと考えられる。(c)の赤色を呈する部分では、HgのL線に帰属できるピークが検出された。白色下地層ではHgは検出されていないため、Hgは彩色層に含まれる元素と考えられる。

肉眼で呈する色、紫外線蛍光写真、顕微鏡および蛍光X線分析の結果からr1およびr2に使用が推定される赤色色料について述べる。まずr1の彩色層は、淡い赤色を呈し、紫外線を照射することにより蛍光を発する半透明の層である。これと性質を同じくする色料は、南壁の他の龕楣においても観察されており、最も東壁に近い龕楣における調査結果をすでに報告している。東壁に最も近い龕楣には、紫外線を照射することによって強い蛍光を発する、発色を担う粒子が観察されない淡い赤色を呈する層をもつ半パルメットがある。この

パルメットでは蛍光X線分析によってFe以外の元素は検出されないため、赤色の有機色素が発色の原因と推定された<sup>3)</sup>。今回の分析では、図3(b)では微小なPbピークが観察され、彩色に若干量のPbが含まれていると考えられるが、可視光下で観察される色、蛍光特性、および微視的形態は東壁に最も近い龕楣のものと同じであり、同様の有機色素によって着色がなされていると考えられる。Pbの由来は今後の検討課題である。

次に、r2で赤色を呈する色料について述べる。赤色を呈する部分では赤色の粒子状物質が観察されるため、使用されている色料は顔料と考えられる。蛍光X線分析ではHgが検出されたことから、硫化水銀を発色成分とする水銀朱が使用されていると考えられる。紫外線蛍光写真では、r2では部分的に蛍光を発する領域があり、複数の材料によって彩色がなされている可能性が考えられる。これは赤色を呈する水銀朱を全面的に塗布したのち、r1にも塗布されている「紫外線照射によって蛍光を発する赤色の有機色素による色料」を部分的に塗って、色調に変化をつけたものと推察される。

#### 4-4-2. 褐～黒色を呈す色料

肉眼観察によってbと分類した褐～黒色を呈する部分については、図2のIでbとした四辺形の区画における顕微鏡写真および蛍光X線分析の結果をすでに報告している。ここでは、彩色層は赤褐色および黒色の粒子を主体としており、蛍光X線分析ではPbが検出されているため、鉛丹が使用されていると考えられる<sup>3)</sup>。bに使用された鉛丹の色は、本来の橙色からすでにかなりの黒色化をしている。紫外線蛍光写真では、bにはr2と同様に部分的に強い蛍光を発する部位がみとめられている。これは橙色を呈する鉛丹を全面的に塗布したのち、r1に塗布されている「紫外線照射によって蛍光を発する赤色の有機色素による色料」を部分的に塗って、色調に変化をつけたものと推察される。

なお、領域IおよびIIでは、bとした区画以外にも鉛丹の使用が推定された。ここでは、それについて述べる。図2において\*を付したr2では、可視光下の肉眼観察において部分的に灰色を呈している部分がある。この灰色に見える領域の顕微鏡像を写真8(口絵参照)に示す。写真8には、写真の右上部から中央下部および中央下部から左下部に彩色層にわたって入った

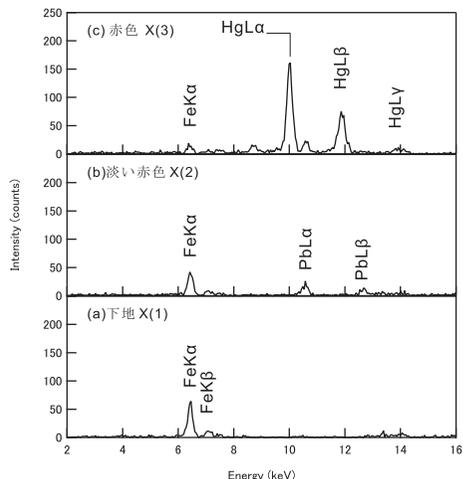


図3 下地および赤色を呈する色料の蛍光X線スペクトル

亀裂とその周辺の様子が示されている。彩色層の表層は赤色粒子を主体とする色料の層に覆われている。水銀朱の層と考えられる。亀裂の周囲では、この赤色層がみられない。赤色層が亀裂の生成過程の前後で欠損したものと推察される。赤色層がみられない部分には、赤褐色あるいは黒色の粒子が観察される。粒子組成からは鉛丹が塗布されていると推察される。このような亀裂周囲から観察される彩色層の構造からは、ここでは鉛丹の上に水銀朱が塗布されていると考えられる。

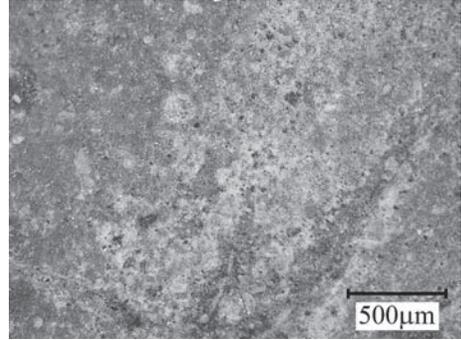


写真 8 水銀朱の下に塗られた鉛丹 (r2\*) の顕微鏡像

#### 4-4-3. 緑および青色を呈す色料

明るい緑あるいは青色を呈する。図 2 に gb1 と図示した部分では、肉眼による表面観察によって緑色および青色を呈する部分の一つの区画あるいは葉の文様に共に観察されることが多い。緑色および青色を呈する部分は蛍光特性も異なっており、互いに光学的な特性が異なる。各々について検討するため、I の中央部の区画において顕微鏡による微視的形態の観察および蛍光 X 線による化学組成の検討を行った。I および II の gb1 とした領域では、緑色と青色の顔料が併用されており、確証をもって個別に分析を行うことが困難であった。そこで、ここでは緑色と青色の顔料を同時に分析し、第 285 窟の他の調査結果と比較して使用された顔料の組成を類推することとした。

I の中央部を拡大した写真を写真 9 (口絵参照) に示す。写真 9 の左の区画には、緑色を呈する部分と青色を呈する部分が観察される。まず、2 色の境界領域の顕微鏡像を写真 10 (口絵参照) に示す。写真 10 の左部は肉眼観察で緑色を呈する部分、右部は青色を呈する部分である。左部には、緑色の粒子が観察される。緑色の粒子による層にはところどころに青色の粒子が観察される。一方、右部には緑色層を覆うようにして青色を呈する粒子と無色の粒子が混在している層が観察される。観察箇所周囲では緑色の粒子を含む層の上を青色の層が覆っていたが、青色の層が何らかの理由により失われて緑色の層が表面に露出したと考えられる。また、緑色および青色の層は共に粒子状物質が観察されるため、共に顔料が使用されていると考えられる。次に、顕微鏡観察を行った区画で蛍光 X 線分析を実施して得られたスペクトルを図 4 に示す。分析箇所は図 2 および写真 9 に X (4) とした箇所である。図 4 には、白色下地のみの部分で測定したときには検出されない Cu の K 線に帰

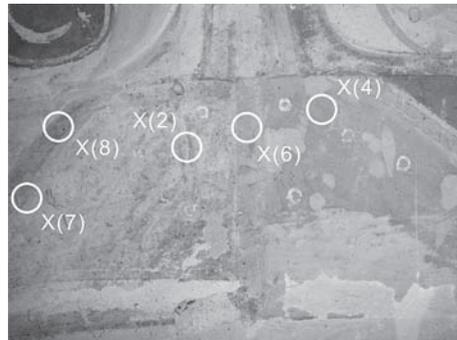


写真 9 縄状の帯の中央部

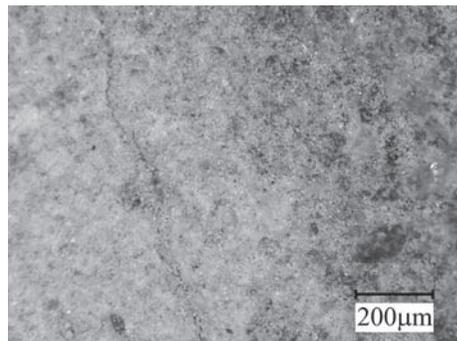


写真 10 緑色および青色を呈する彩色 (gb1) の顕微鏡像

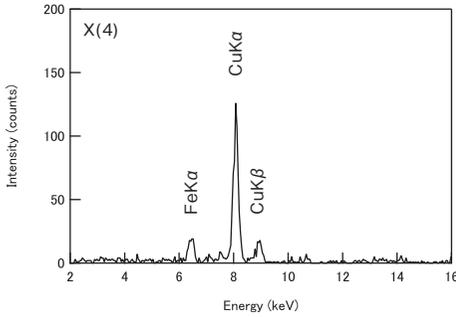


図4 緑色および青色を呈する部分の蛍光 X線スペクトル

属されるピークがみられ、彩色層の緑色および青色顔料の双方あるいはいずれか一方にCuを含む化合物が使用されている。

ここでは、龕楣で観察された緑色および青色顔料と同様の材料が見出されている部分の調査結果と比較し、gb1に使用された顔料について考察する。第285窟では、肉眼で観察される色と粒子組成がgb1に使用された青色顔料に近似する、青色粒子と白色粒子の混合物による青色顔料が多く観察される。この顔料が単独で用いられていると考えられる箇所には、南壁中央中段に描かれた山岳が

あり、ここで使用された青色顔料はラピスラズリによるものと推定されている<sup>3)</sup>。したがって、粒子組成の近似するgb1に使用された青色顔料はラピスラズリによる可能性がある。ラピスラズリはFe以下の軽元素を主元素とする岩石であるため、X(4)で検出された元素はこの推定に矛盾しない。また、青色顔料がラピスラズリとすれば、蛍光X線分析でgb1から検出されたCuは緑色層に由来すると考えられ、緑色顔料は銅化合物による顔料と考えられる。第285窟北壁では、銅化合物による緑色の顔料の使用が確認されている<sup>3)</sup>。このような第285窟内における色料の使用状況を鑑みると、gb1で観察される色料は、ラピスラズリによる青色顔料および銅化合物による緑色顔料と推察される。

#### 4-4-4. 鈍い青色を呈す部分

肉眼観察においてgb2と分類したわずかに鈍い青色を呈している区画および葉の文様の彩色について述べる。紫外線写真から、これらの部分では紫外線照射によって青みを帯びた蛍光がみられることがわかる。この部分の顕微鏡像を写真11に示す。写真の中央にみられる淡褐色の繊維状のものは、土壁に混ぜられた植物片の一部である。南壁では、このように土壁に混ぜられた植物片が表面に露出している箇所が散見される。写真11(口絵参照)で観察できる壁の表面は、全体的に鈍い青色を呈している。植物片の表面には、白色の物質のほかに濃青色を呈する物質がはっきりとみとめられる。濃青色の物質は色料によるものと考えられる。

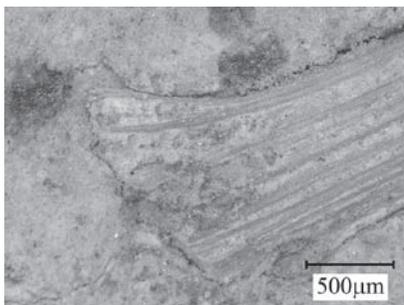


写真11 鈍い青色を呈する彩色 (gb2) の顕微鏡像

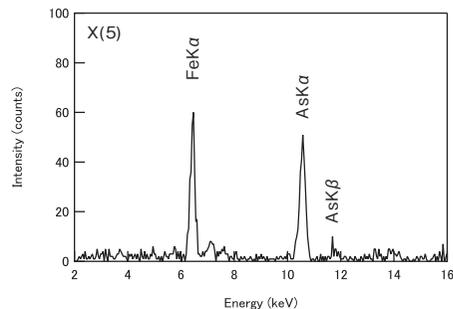


図5 鈍い青色を呈する部分の蛍光 X線スペクトル

この鈍い青色を呈する部分で蛍光 X 線分析によって得られたスペクトルを図5に示す。分析箇所は図2に X(5) と図示した箇所である。このスペクトルには As の K 線と帰属できるピークがみられ、彩色層には As による化合物が含まれる。As については、西壁に描かれた菩薩の装身具の黄色を呈する部分、同じく西壁に描かれた菩薩の濃青色の天衣からなどの検出例をすでに報告している。黄色を呈する部位から As が検出されたため、石黄が使用されていると推定される。濃青色の部分からは As のほか、ラマン分光分析でインディゴに帰属できるピークが検出されており、黄色の石黄とインディゴによって青色を呈する色料を併用して緑色に発色させていた可能性を指摘できる<sup>3)</sup>。今回の龕楣の鈍い青色を呈する領域 gb2 の調査では、顕微鏡では濃青色を呈する物質が確認され、蛍光 X 線では As を含有する物質の存在が明らかになった。これらの結果から、gb2 では石黄とインディゴを併用することによって緑色に発色させていた可能性が考えられる。

#### 4-4-5. 細い帯状の表現に使用された色料

ここまでは、I の四辺形の区画や II に描かれた葉の文様など、比較的大きな色面を有する部分の彩色材料および技法について述べてきた。ここでは、I において区画を区切る細い帯および II の蔓草の茎に使用されたに彩色材料について述べる。

まず、I の龕楣中央部を拡大した写真9に着目すると、写真の右部を占めるのは赤色の有機色料、左部を占めるのが緑および青色顔料によって彩色された区画である。この二つの区画の境界には、上下方向に細長い長方形の領域がある。この領域は、下描きの淡い褐色の線とほぼ一致する。中央に色みのはっきりしない灰色を呈する物質の存在が観察される。長辺にはほかに赤色を呈する線が引かれている。

次に、II の蔓草の茎の写真を写真12（口絵参照）に示す。向かって左側に配された鳥の首の周囲に描かれたものである。下描きの淡い褐色の線描の上にほぼ沿うように、色みのはっきりしない灰色を呈する物質の存在がみとめられる。彩色色料に由来する物質と考えられる。茎の縁に輪郭を表す黒い線描がみられる。また、茎の芯部には灰かに赤色を呈する線がみとめられる。このように、I の区画を区切る帯と II の茎は、灰色を呈する物質が観察され、赤い線がひかれているという点が共通している。さらに、紫外線写真（写真5）をみると、これらの部分には青みを帯びた蛍光が記録されているという点も共通している。

これらに使用された色料を推定することを目的として、蛍光 X 線分析を実施した。本研究で用いた蛍光 X 線分析装置の分析面積は、帯や茎の太さと同程度であり、灰色を呈する物質と赤色の線のある部分を個々に分析することはできない。また、周辺の領域からの蛍光 X 線が一緒に検出される可能性もあったため、複数の場所で分析をし、検出元素を比較することによって目的とする色料の元



写真12 蔓草文様の茎

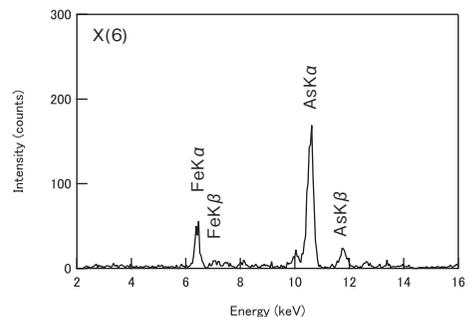


図6 繩状の帯の細い帯の蛍光 X 線スペクトル I

素組成を検討した。まず、灰色を呈する部分の組成を検討するために、写真9の淡い赤色の有機色素と緑および青色顔料で彩色された区画を区切る帯のX(6)から得られた蛍光X線スペクトルを図6に示す。スペクトルにはFeのK線およびAsのK線に帰属できるピークがみられる。分析を実施した帯と隣接する淡い赤色を呈する領域および緑および青色顔料で彩色された領域からはAsは検出されていない(図3, 図4)。すなわち、Asは帯の領域に使用された材料に由来する元素である。Asが検出されたため、石黄が使用されている可能性が考えられる。なお、IIの蔓草の茎でも、Asが検出され、帯と同様に石黄が使用されている可能性が考えられる。

次に、赤色の線に使用された色料を考察する。赤色の線が比較的状态よく残っていると考えられる写真9にX(7)と示した箇所では蛍光X線分析を実施した。得られたスペクトルを図7(a)に示す。図7(b)は(a)赤色の線が属する带状領域の中央部で得られたスペクトルである。分析箇所は写真9にX(8)と示した箇所である。(a)にはFeおよびAsのK $\alpha$ 線に帰属できるピークのほかにHgのL $\alpha$ 線に帰属できるピークがみられる。この結果からは、赤色の線あるいはそのごく周辺にHgが含まれていることがわかる。(b)にみられるピークはFeおよびAsのK線に帰属できるもののみである。すでに図3に示したように、帯に隣接する淡い赤色を呈する区画ではHgは検出されていない。したがって、Hgは赤色の線に含まれていると考えられ、赤色の線は水銀朱によるものと考えられる。

帯と蔓草の茎からはいずれもAsが検出され、石黄が使用されている可能性がある。現在までの第285窟の調査では、石黄が単独で使用された箇所とインディゴと併用されたと考えられる箇所が確認されている。西壁から二番目の龕楣では、帯の中央部や蔓草の茎は、色みがはっきりせず、そのどちらであるか判断できない。ただし、南壁の別の龕楣では、Iの区画に分ける帯およびIIの蔓草の茎に黄色に発色する色料が肉眼で観察できる。一例をあげると、写真13(口絵参照)は4つの龕楣のうち東壁に最も近い龕楣に描かれた蔓草の茎の写真である。この茎は、写真9に示した茎とよく似た形態をしている。茎の中央部に赤色の線が描かれている。写真13に実線の矢印をしるした部位では赤色の線が剥落して下の層が露出しており、この部分には黄色の発色を確認できる。また、点線の矢印をしるした部位は若干黄色を呈している。このような茎の彩色層の状態は、この茎は黄色の色料が全体に塗られ、その上に赤色色料で線が描き込まれたが、黄色色料が露出した部分ではその大部分が変質し、赤色色料によって被覆されていた部分は黄色の発色を留めていたものと推察される。Iを区画に分ける帯については、東壁から2番目の龕楣において、黄色を呈している箇所が観察される。このように他の龕楣の彩色と比較すると、Asが検出された写真9の帯および写真12の蔓草の茎は、石黄によって黄

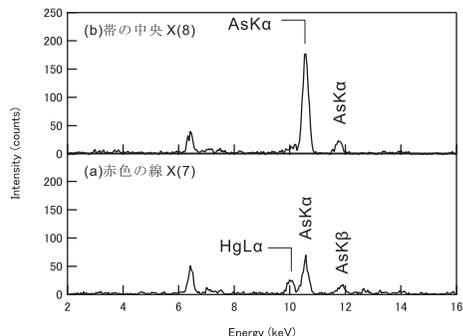


図7 縄状の帯の細い帯の蛍光X線スペクトルII (a) 赤色の線 (b) 隣接する帯の中央部



写真13 南壁の最も東壁寄りの龕楣の蔓草文様の茎

色に彩色されていたものと推察される。

以上をまとめると、写真 2 の龕楣に描かれた I を区画に区切る帯および蔓草の茎は、石黄によって黄色に彩色され、さらに水銀朱を用いて赤色の線が描き込まれたものであるが、石黄の変色が著しく当初の色彩を留めていないと推察される。

#### 4-4-5. 火焰文様

龕楣の外縁部となる III の帯状の領域に描かれた火焰文様に使用された彩色材料および技法について述べる。写真 4 は、龕楣の右上部の一部を拡大して示したものである。火焰文様は、焰の先端にあたる上部は赤色、より内部になると淡い赤褐色、さらに内部および龕楣の中央に近い部分ではほとんど色みがない、部分的に灰色を呈している。紫外線蛍光写真（写真 5）では、火焰文様の内部には全面的に蛍光が記録されているため、制作に当たってなんらかの材料が塗布されたと考えられる。色料の発色がほとんど確認できない箇所では蛍光 X 線を実施したところ、Fe および As が検出された。すなわち、火焰には As を含む彩色材料が使用されており、石黄が使用されたと推察される。火焰文様には、gb2 で観察されるようなインディゴによるわずかな青色の発色は肉眼では確認できない。したがって火焰文様は、火焰の先端へいくにしたがって色調が石黄が呈する黄色から赤へと変化する色彩表現がなされていたものと推察される。

#### 4-5. 龕楣における色彩表現に関する考察

前節までに述べてきたことをまとめると、南壁龕楣の彩色には、赤色の有機色素による色料、水銀朱、鉛丹、石黄、銅化合物による緑色顔料、インディゴおよびラピスラズリによる青色顔料の使用が推定される。I の区画および II の葉の文様では、ひとつの区画あるいは文様の彩色に、これらの色料が複数種使用されていることも多い。そこで、ひとつの区画あるいは文様の彩色にはどのような色料が使用されているのかを表 1 にまとめた。表 1 の番号 1～4 は、図 2 において r1、r2 あるいは b とした領域に使用が推定される色料およびその組み合わせである。赤色の有機色素による色料、水銀朱、鉛丹のいずれかが単独あるいは組み合わせて使用されている。これらの色料は単独では赤色あるいは橙色を呈する材料と考えられる。したがって、これらを併用して彩色がなされた制作当初の区画あるいは文様の色面の色相は、赤からより黄色みのある橙の範囲にあったと考えられる。番号 5 は gb1 とした区画および文様であり、ここにはラピスラズリによる青色顔料および銅化合物による緑色顔料が使用されていると推察される。したがって、制作当初の色面が呈していた色相は、緑から青色の範囲にあったものと考えられる。番号 6 は gb2 とした区画および文様であり、石黄とインディゴを併用されたと考えられる。当初の色は石黄が単独で呈す黄色からインディゴが単独で呈す青色の範囲にあると考えられる。ただし、I の区画で gb2 としたところではほぼ全面にインディゴに由来すると考えられる濃青色の色料の痕跡を肉眼および顕微鏡で確認できる。したがって、おそらく全面にインディゴが使用されていると考えられるため、制作当初の色相は緑～青色の範囲に絞られる。

このように理化学的な調査にもとづいて制作当初の彩色の色が推定されたため、図案の色彩表現の特徴の考察が可能と考えられる。そこで、以下では龕楣の図案のうち特に I に着目し、色面がどのように配置されているかを考察する。I の区画は、理化学的な調査にもとづく表 1 から、制作当初に呈した色の色相が赤～橙の範囲にあるものと、緑～青の範囲にあるものに大別できる。I について、写真 2 に示されている範囲の各区画の彩色を表 2 にまとめる。番号は、図 8 に付したものである。表 2 をみると、I では赤～橙を呈する区画と緑～青を呈する区画が

交互に配されており、色相が大きく異なる区画同士が隣接するような配色がなされている。区画を区切る帯は、その左右で赤～橙および緑～青の区画と隣接することになる。本研究の調査結果では、帯は石黄によって黄色を呈し、また区画には黄色を呈する部分はなかったと推定される。すなわち、帯にはその左右の区画とは色相が異なる黄色の色素が使用されている。Iのような区画に区切られた装飾図案は第285窟の南壁の龕楣だけではなく、莫高窟の多くの石窟でみることができる。第285窟では、西壁と北壁にも南壁の龕楣の図案と多くの共通点をもつ龕楣が描かれている。このような理化学的な調査によって壁画の当初の色彩を明らかにすることによって、莫高窟の壁画における色彩表現の一端を考察することが可能になると考えられる。

表1 第285窟南壁の西壁から二番目の龕楣のIおよびIIの彩色において推定される使用された色料と制作当初の色

番号	肉眼観察による分類	現在の色	紫外線により発する蛍光	蛍光X線で検出された主要な元素	使用が推定された色料	推定される制作当初の色(色相)
1	r1	淡い赤色	全面的に強い蛍光	Fe, Pb	赤色有機色素	赤～橙
2	r2	赤色	部分的に強い蛍光	Hg	朱・赤色有機色素	
3	r2(*)	赤色 (一部灰色)	部分的に強い蛍光	-	朱・赤色有機色素・鉛丹	
4	b	褐色～黒色	部分的に強い蛍光	Pb	鉛丹・有機色素	
5	gb1	緑～青	青色を呈する部分に弱い蛍光	Fe, Cu	ラピスラズリ 銅化合物による顔料	緑～青
6	gb2	うすく鈍い青色	全面的に蛍光	As	石黄・インディゴ	区画；緑～青 葉；黄色～青

表2 第285窟南壁の西壁から二番目の龕楣のIの配色

区画	i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii
分類	gb1	r2	gb2	r1	gb1	b	gb2	r1
当初の色	緑～青	赤～橙	緑～青	赤～橙	緑～青	赤～橙	緑～青	赤～橙

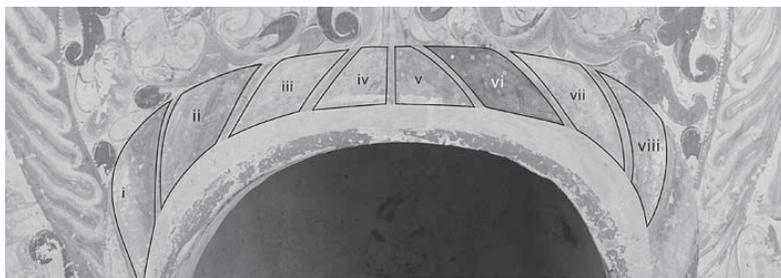


図8 縄状の帯の区画

## 5. まとめ

莫高窟の壁画における色彩表現を考察するための基礎的な知見を得ることを目的として、第 285 窟南壁に描かれた龕楣の彩色材料・技法の非接触分析調査を実施し、以下の結果を得た。

1. 南壁龕楣の彩色には、赤色の有機色素による色料、水銀朱、鉛丹、石黄、銅化合物による緑色顔料、インディゴおよびラピスラズリによる青色顔料が使用されていると推定される。
2. 龕楣に描かれた蔓草の葉の文様の彩色は、制作当初の色相が赤～橙、緑～青、黄～青の範囲にあったと推定される 3 種に大別できる。
3. 南壁禅龕の入口に沿うように描かれた縄状の帯は、石黄が使用された細い帯で区画に区切られている。各区画の制作当初に呈していた色の色相は、赤～橙あるいは緑～青の 2 種のどちらかであり、2 種の区画が交互に配されていたと推定される。

### 謝辞

本研究は、『敦煌莫高窟壁画の保護に関する日中共同研究』の一環として行われ、多くの方にご協力戴いた。特に、蘇伯民所長をはじめとする敦煌研究院保護研究所の皆様には多大なご助力を賜った。

### 引用文献

- 1) 李最雄編著：壁画彩塑顔料分析及其顔料の定性，絲綢之路石窟壁画彩塑保護，科学出版社，27-36（2005）
- 2) 高林弘実，初井基充，大竹秀実，王小偉，柴勃隆，淵田雄，中村夏葉，岡田健：敦煌莫高窟第 285 窟壁画の光学調査（I），保存科学，46，161-169（2007）
- 3) 高林弘実，小瀬戸恵美，于宗仁，范宇権：敦煌莫高窟第 285 窟壁画に使用された彩色材料の非接触分析，保存科学，47，89-101（2008）
- 4) 伊藤寛，今村峯雄，神庭信幸：携帯型簡易蛍光 X 線分析装置の製作および文化財調査への応用，RADIOISOTOPES，48，113-116（1999）
- 5) 野村美貴，平林幸夫，宮村忠夫，高橋幸嗣，大林和美：ポータブル放射線測定器の最新の進歩，RADIOISOTOPES，47，324-335（1998）

キーワード：壁画（mural painting）；莫高窟（Mogao Cave）；龕楣（painting on the arch over the niche）；蛍光 X 線分析（X-ray fluorescence spectroscopy）；色料（colorants）

## Colouring Materials and Technique on the South Wall in Mogao Cave 285

Hiromi TAKABAYASHI, Megumi KURAHASHI<sup>\*</sup>, FAN Yuquan<sup>\* 2</sup>  
and CUI Qiang<sup>\* 2</sup>

In this research, the painting on the arch over the niche was investigated by an *in situ* analysis of the initial colouring of the mural painting in Mogao Cave 285. The colorants for the painting on the arch over the niche were assumed to be vermilion, red organic colorant, red lead, orpiment, green colorant of copper compound, indigo and lapis lazuli. Initial colour of the vine pattern, corded belt and flame motifs painted on the arch over the niche was investigated. The corded belt painted along the niche at the entrance is divided into sections with a thin yellow belt. The sections are colored either red to orange or green to blue, and it is assumed that these color patterns were in alternating order.

---

<sup>\*</sup> Nagoya South Public School for Handicapped Children

<sup>\* 2</sup> Dunhuang Academy