

## 〔報文〕 敦煌莫高窟第285窟壁画の光学調査 (I)

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

### 1. はじめに

人類の文化活動によって生産された物質的痕跡から、文化の様相を明らかにすることは、文化財研究の目的の一つとされる。本研究が対象とするのは、シルクロード上の要衝として知られる中国敦煌に開かれた石窟寺院遺跡・莫高窟の壁画であり、その文化的コンテクストを読み解くことによって、シルクロード上の文化交流の様相が明らかになることが期待される。しかし、現存する壁画の状態は、経年に伴う劣化によって制作当初とは大きく異なっており、そのコンテクストを直接読み解くことは容易ではない。壁画研究にあたり制作当初の壁画の状態を復元するためには、壁画を物質的視座から調査研究し、現在の壁画の状態と劣化に伴う物質的变化を評価する必要がある。本研究では、敦煌莫高窟壁画に使用された材料と適用された技法、およびその保存状態を明らかにするために必要な壁画の材質に関する基礎的知見を得ることを目的として、第285窟南壁の光学的手法による非接触調査を実施した。

### 2. 調査対象

本研究の調査対象は、敦煌莫高窟の第285窟南壁壁画である。この第285窟は、北壁に西魏の大統4年(西暦538年)および5年(西暦539年)という紀年銘を持つ発願文を残し、造営年代をほぼそのころと推定することができる石窟であり、早期莫高窟の編年を考察する上で貴重な窟である。また、仏教と中国神仙思想のモチーフが混在する壁画は、美術史のみならず、当時の宗教理解にも大きく貢献する要素を含み、これまでに多くの研究者が注目してきた<sup>1~3)</sup>。調査を実施した南壁の大きさは、幅6m×高さ3mであり、白い下地が塗られた壁面全体に壁画が描かれている。第285窟では、これまでに自然科学的手法による調査として、土壁の構造と材料、および下地層と彩色層に使用された顔料に関する分析調査が行われている<sup>4,5)</sup>。これらの調査は、主に壁画より採取された微量試料を分析することによってなされたものである。本研究が目的とする壁画に使用された材料・技法、およびその保存状態の評価を行うためには、壁面全体を網羅的に評価することが望ましい。そこで、比較的迅速に対象の材質に関する情報を2次的に取得できる光学的手法による調査を実施した。

### 3. 調査手法

南壁について、(a)壁面の正面から撮影範囲に均一に光を照射し、壁面からの可視光の反射を記録する正常光写真法、(b)壁面に平行に近い方向から側光線を照射することによって、壁画表面の凹凸の陰影を強調して記録する側光線写真法、(c)赤外線反射光のみを結像させる赤外線写真法、(d)壁面に紫外線を照射することによって発生する蛍光を結像させる紫外線蛍光写真法による記録作業を行った。

記録作業は、壁画の大きさを鑑み、壁面をヨコ7×タテ5の35コマに分割して行った。カメラはニコン社製のデジタルカメラD200、レンズはニコン社製のAF-S DX Zoom-Nikkor ED 17-55mm F2.8 G(IF)を使用した。

\*実践女子大学, \*\*敦煌研究院, \*\*\*名古屋大学

正常光・側光線・赤外線写真法では、エレクトロニックフラッシュを光源に使用した。紫外線蛍光写真法ではバラストレスブラックランプを光源とした。また、赤外線写真法では、コダック社のWratten Gelatin Filter No. 87によってレンズ内に進入する可視領域より長波長の光を遮断することによって像を結像した。紫外線蛍光写真撮影は、コダック社のWratten Gelatin Filter No. 2Eでレンズ内に進入する紫外線領域の光を遮断した。以上の方法で取得した像から、壁画の材質に関する考察を行った。

## 4. 結果および考察

### 4-1. 可視光による壁画表面の状態観察

光学調査に先立ち、肉眼による南壁表面の状態観察を行った。南壁の表面には、白い下地の上に赤褐色を呈する線描きがあり、この線描きは部分的に彩色層によって覆われている。彩色層の最表層には、輪郭や人物の顔立ちを表す黒い線が認められる。このような観察事実から、壁画は白い下地の上に赤褐色の材料で下描きし、その上から色料による彩色を施した後、黒い線によって輪郭や顔立ちを描く、という手法によって描かれていると考えられる。

南壁の正常光写真の一例を写真1（口絵参照）に示す。これは『大方便仏報恩経』「慈品」および『大般涅槃経』第16巻に基づいた五百強盜婦仏因縁図が描かれた南壁中段の一部である<sup>3,6)</sup>。画像は、官兵に捕らえられた盗賊が尋問を受け、執行人によって刑を執行される場面を示している。写真1では、人物の肌は灰色を呈している。また、画面左上部の騎馬兵の頬や目の上の隈取りは黒色を呈している。灰色の肌、黒色の頬や隈取りは人物の顔の表現としては不自然である。これらの部分に使用された色料は、化学的な劣化が進行した結果、制作当初から色が変化していると推察される。頬や隈取りでは赤みを呈する色料が黒変している可能性が考えられる。写真1の左下部に描かれた盗賊の目を抉っている執行人の顔や身体、画面左上部の題箋、画面中央の殿堂左手に立つ大臣の衣服には、下地層の下にある黄土色の土壁が露出している部位がある。このような壁画の物理的な損傷と考えられる箇所は、南壁の別の箇所でも多く観察された。そこで、側光線写真から壁画表面の形態を検討する。

南壁全体の表面形状の巨視的な観察を行ったところ、壁面は比較的平らで、将来的に大面積にわたる剥落が危惧されるような応力による壁面の大きなひずみは確認されなかった。壁画表面の微視的な形状については、写真1と同一部を側光線写真法によって記録した写真2を示して述べる。写真2では、壁面の肌理は比較的細かいが、図像とは無関係な凹凸が縦横にみられる。写真2の左下部の執行人の顔にみられる傷では、彩色層の欠損部から土壁に混入されてい



写真1 敦煌莫高窟第285窟南壁に描かれた五百強盜婦仏因縁図（部分）の正常光写真



写真2 五百強盜婦仏因縁図（部分）の側光線写真

る植物材が露出している様子が明瞭に観察される。また、画面左上部にある題箋周辺に着目すると、題箋周囲の白色下地には亀裂はみられないが、題箋内部には多くの亀裂がみられる。壁面に縦横にみられる凹凸は、壁画の支持体となる土壁の作製時、あるいは土壁の上に白色下地を施した際の塗り跡と推察される。題箋内部に多くの亀裂が生じるのは、題箋に塗布された材料の物理的な収縮が原因である可能性が考えられる。

以上で述べたように、可視光による表面観察によって、壁画の描画方法、壁画の保存状態に関する基礎的な知見が得られた。以下では、紫外線蛍光および赤外線写真法によって、可視光では十分に観察できない壁画表面の材質の特徴を考察する。

#### 4-2. 紫外線蛍光・赤外線写真による物性評価

南壁を紫外線蛍光写真法によって記録した画像の一例を写真3(口絵参照)に示す。写真3は、写真1と同じ部位の紫外線蛍光写真であり、紫外線を照射することによって発した可視領域の蛍光が記録されている<sup>7)</sup>。写真3では、題箋、脱ぎ捨てられた盗賊の衣服の裏、襟のネクタイ(領巾)など、写真1では黄褐色の物質が塗布されているようにみえる部分で、青味を帯びた強い蛍光が記録されている。また、樹木および殿堂壁面など、写真1では鈍い青～緑色を呈している部分でも青味を帯びた蛍光が記録されている。このように、可視光下で観察される色と紫外線を照射したときの蛍光特性が互いに似ている部位では、同一の材料が塗布されている可能性が高い。また、写真3では、刑を執行された盗賊の目の周囲、盗賊が身につけている赤い腰布、殿堂に座す国王・殿堂左手に立つ大臣・国王の背後にいる侍従の黒色の衣服、画面上部の山および騎士の赤い衣服に、黄味を帯びた強い蛍光が記録されている。写真1では、これらの蛍光を発する部位において、特定の色素が塗布されていることを確認することは困難である。紫外線蛍光写真法によって、視認することが難しい材料の存在が明らかとなった。

壁画研究を行う上で、題箋に記された文字はきわめて重要な情報となる。南壁の各所には題箋が用意されているが、可視光下の観察では文字は確認されない(写真1左上部)。紫外線蛍光および赤外線写真法では、視認されない文字の痕跡が捉えられる可能性があるが、写真3(紫外線蛍光写真)の左上部の題箋内部には文字は認められない。写真4に示した題箋の赤外線写真でも、題箋の中には文字は認められない。写真1, 3および4で示した題箋に限らず、南壁のいずれの題箋でも、その紫外線蛍光および赤外線写真に文字は確認されなかった。このことは、南壁の壁画各所に用意された題箋には当初から何も文字が記されていなかったか、あるいは文字は記されていたが劣化によって視認されなくなり、またその劣化生成物も本研究の記録



写真3 五百強盜帰仏因縁図(部分)の紫外線蛍光写真



写真4 題箋部の赤外線写真

条件では画像化されない物質である可能性が考えられる。

写真1, 2, 3および4に示した部分以外の紫外線蛍光および赤外線写真から明らかになった南壁の材質に関する知見を以下で述べる。写真5（口絵参照）に南壁最上段に一行に描かれた奏楽の飛天群の一部の正常光写真, 写真6（口絵参照）に同一部の紫外線蛍光写真を示す。飛天の首・手首の装身具, Aと記した雲気文様の中心部のように, 写真5では黄褐色の物質が塗布されているようにみえる部分は, 写真6では青味を帯びた蛍光が記録されている。また, 写真5上部の帷幕の青い縁や左部を飛翔する飛天の天衣のように, 可視光では鈍い青～緑に見える部分でも, 写真6では青味を帯びた蛍光が記録されている。以上の部位における可視光下での発色と蛍光特性の関係は, 前述の五百強盜婦仏因縁図中で観察されたものと同様である。

写真6では, 飛天や大型の雲気文様の隙間を埋めるように描かれている赤く彩色された小さな雲気文様（雲気文様B）で, 黄味を帯びた強い蛍光が記録されている。ただし, 写真5で赤く発色している領域と, 写真6で蛍光を発する領域は完全に一致しないため, 赤く発色している物質が蛍光を発しているのではないと考えられる。画面中央の飛天の天衣, 青く彩色された雲気文様（雲気文様C）には, 鮮やかな青い色料が使用されているが, 写真5では両者の色に大きな差異は認められない。しかし, 写真6では天衣にほとんど蛍光は記録されていないのに対し, 雲気文様Cでは比較的強い蛍光が記録されている。両者の発色成分または膠着材には材質的な違いがある可能性がある。南壁最上部描かれた帷幕の青い縁の内側の赤褐色部には, 黄味を帯びた強い蛍光が観察される。蛍光の強度は一樣ではなく, 赤褐色を呈している部分であっても, 強い蛍光を発する領域と, 蛍光を発しない領域がみられる。これは写真6の右部に位置する帷幕で顕著である。

写真5および6と同一部の赤外線写真を写真7に示す。赤外線写真法は, 壁画表層からの赤外線の反射率の差を像の濃淡として記録する方法である。彩色層の下にある下描きなど, 墨な

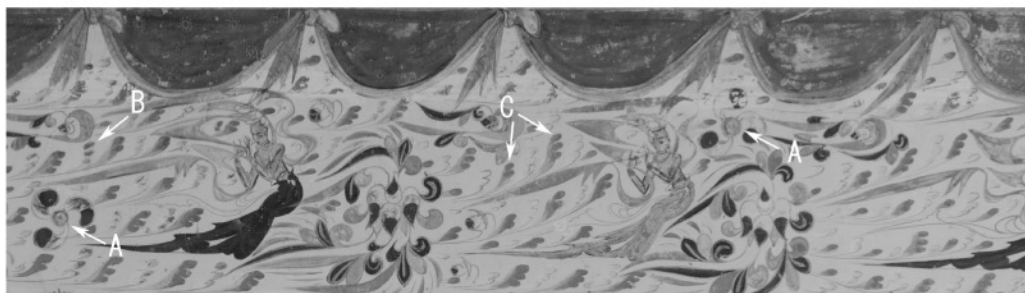


写真5 南壁上段（部分）の正常光写真

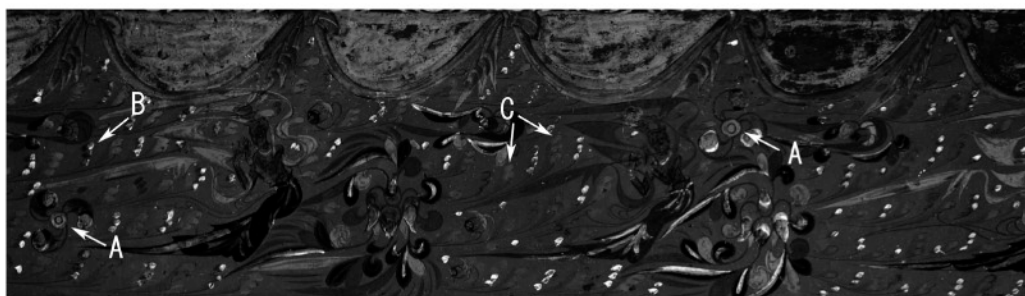


写真6 南壁上段（部分）の紫外線蛍光写真



写真7 南壁上段(部分)の赤外線写真

どの炭素を含む材料による黒い描線の検出に適用されるほか、得られた像の濃淡から材質が識別される可能性をもつ<sup>7,8)</sup>。雲気文様B・Cの輪郭や飛天の下描きは赤い線で描かれているが(写真5)、これらの線は写真7では淡く記録されている。下描きは赤外線写真で淡く記録される材料によって描かれているため、彩色層の下にある下描き線を赤外線写真法で検出することは困難であった。飛天の天衣や雲気文様など、鮮やかな青い発色の色料が塗布された部位も淡く記録されている。一方、帷幕の青い縁の輪郭や襷を表現する黒い線は濃く記録されており、現存する黒い線の位置を明瞭に観察できる。これらの黒い線は炭素を含む墨による可能性がある。

帷幕の赤褐色を呈する部位の赤外線写真(写真7)には、濃い色と淡い色を呈している部分がある。比較的濃く記録されている領域は、写真6で強い蛍光を発している部分とほぼ一致する。赤褐色を呈するが蛍光はほとんど発しない部位は、写真7では淡く記録されている。従って、帷幕の赤褐色部では、写真6における蛍光体の分布と写真7の濃淡から、蛍光を発する材料が赤褐色を呈する材料とは別に塗布されていると考えられる。赤褐色を呈する色料の上に蛍光を発する原因となる材料が塗布されていたが、劣化によって表面に塗られていた蛍光体材料の一部が失われたと推察される。このように写真6および7から、帷幕赤褐色部は絵画材料を多層的に塗布する技法によって描画されている可能性が明らかになった。

紫外線蛍光および赤外線写真からは、可視光では十分に観察できなかった壁画表面の様相が明らかになった。現段階では、紫外線照射によって蛍光を発する物質、赤外線写真の濃淡の原因となる材料の組成は明らかではない。今後、理化学的な分析調査によってこれらを同定することによって、壁画に使用された材料と技法の詳細が明らかになると期待される。

#### 4-3. 制作当初の図像に関する考察

前節までに述べてきたように、可視光下では壁画表面で種々の劣化が進行している様子が観察された。現在の壁画の状態は、劣化によって制作当初のそれとは大きく異なっていると推察される。また、紫外線蛍光写真では、肉眼ではほとんど視認できないが、紫外線を照射することによって強い黄味を帯びた蛍光を発する材料が随所に存在することが明らかになった(写真3)。現段階ではこの材料の組成は明らかではないが、褪色した色料の痕跡である可能性があるため、この材料は制作当初の壁画の図像に関する情報を持っている可能性がある。そこで、本研究ではこの蛍光を発する物質の分布図を作製することにより、制作当初の図像に関する考察を行った。

南壁の五百強盜帰因縁図の一部について、可視光下で確認できる線や色料が塗布された領域を示した図を図1に示す。図1に示した部分は、写真1の左下部に相当する。図1では、壁

面の描画過程を考慮し、下描きに使用される赤い色料による線を灰色実線、色料によって塗られた領域の輪郭を黒色破線、黒い線を黒色実線で示す。また、物理的に彩色層が欠損していると考えられる領域は灰色で示す。図1をみると、人物の顔、眉、顔の輪郭、腕や体幹部の輪郭には黒い線がある。刑を執行している人物の衣服にも、写真1で緑色を呈する部分の輪郭、緑色および暗赤色を呈する部分の境界の一部に黒い線がある。このような黒い線の保存状態からは、顔立ち、人体および衣服の輪郭の多くが黒い線によって描かれていたが、これらの黒い線のうち、現存するのはそのごく一部であることが推察される。現存する壁画から図像を認識する手がかりは、当初はその役割の多くを担っていたと考えられる黒い線の欠損により、色面の輪郭および下描きの赤い線によるところが大きいことが理解される。

写真3の図1に相当する部分には、黄味を帯びた強い蛍光を発する部位がみとめられる。そこで、この強い蛍光を発している部位と絵画表現との関連を検討するため、写真3で蛍光を発している領域を縦線で図示したものを図2に示す。図2に図示した範囲には、盗賊の抉られた目の周囲、盗賊の身につけている赤色の腰布、大臣の衣服に強い蛍光を発する領域がある。

盗賊の抉られた目の周囲の蛍光する領域では、写真1で色料の存在を視認することは困難である。この蛍光を発する領域は、その形状から、目を抉られることによって眼窩から噴出した血潮を表しているものと考えられる。制作当初は、何らかの色料によって血潮が表されていたが、経年により褪色して発色をしなくなり、残存する発色成分の劣化生成物あるいは膠着材が蛍光を発しているものと考えられる。この刑を執行されている盗賊の周囲には、既に眼球を抉られた盗賊、身体の後ろで手を縛られた二人の盗賊が描かれている（写真1）。写真3では、これらの盗賊の抉られた眼窩および縛られた手首の周囲に強い蛍光が記録されており、図2と同様に出血している様子が表現されていたと考えられる。

盗賊の身につけている赤色の腰布には、襷を表現する2本の黒い線の間を埋めるように蛍光を発する領域が分布する。この領域への特定の色料の塗布を写真1で確認することは難しい。だが、この領域の一部は赤い色料が現存する領域の外に及んでおり、蛍光を発する原因となっている材料が、現存する赤色の色料とは別に塗布されていたと考えられる。可視光による観察（図1）では、腰布の輪郭や襷を表していると考えられる黒い線は比較的良好に残っているものの、色料の剥落・変褪色によって当初の彩色表現がわかりにくくなっている。しかし蛍光体の分布からは、腰布は2色あるいはそれ以上で表現がなされていたと推察できる。

殿堂の左手に立つ大臣の衣服は、写真1では一様に黒色を呈するため、一色で塗りつぶされたように見える。紫外線を照射すると、図2に図示した領域で蛍光を発する。蛍光を発する原



図1 可視光線像に基づく  
五百強盜帛仏因縁図（部分）の線図



図2 五百強盜帛仏因縁図（部分）において  
蛍光を発する部位



因となる材料が、地色の色料とは別に塗布されていると考えられる。また、その分布の形状から、蛍光を発する原因となる材料は、襞を表現するために塗布されたと考えられる。図2に示した以外にも、南壁に描かれた黒色を呈する衣服には同様の蛍光が観察される。この蛍光体材料による襞の表現は、南壁の服飾表現に関して一般化される特徴と考えられる。以上の考察からは、図2に示した強い蛍光を発する領域は、いずれも絵画表現と密接に関わっており、褪せた色料の痕跡である可能性が高い。

南壁には多数の山岳があらわされており、写真1の画面上部にも、青と緑の二色に塗られた山と黒色を呈する山が描かれている。写真3では、黒色の山の上部は蛍光を発している。黒色の山も周囲の青と緑に塗られた山のように、複数の色を用いた表現で描かれていると考えられる。南壁には黒色を呈する山が多数描かれているが、それらの上部には蛍光を発する部位が認められる。これらの山は制作当初は現在とは異なる色彩を持っていたと考えられる。可視光および紫外線照射によって観察される結果を総合的に検討することにより、現在は視認しにくくなっている制作当初の図様の一端が明らかになった。

## 5. まとめ

敦煌莫高窟第285窟南壁壁画の材質およびその保存状態を明らかにするための基礎的知見を得ることを目的として、光学的手法による非接触調査を実施し、以下の結果を得た。

- (a) 可視光による表面状態の観察では、壁画には色料の変色、物理的な損傷、特定の材料が塗布された部位に多くの亀裂が生じている様子などが観察され、壁画表面では種々の劣化の進行していることが明らかとなった。
- (b) 紫外線蛍光および赤外線写真法で取得した画像から、壁画制作に使用された色材の光学特性を把握することによって、絵画材料が多層的に塗布されていたと推察される部位を確認した。
- (c) 本研究で実施した光学的手法では、題箋部に文字は確認されなかった。題箋部には当初から何も文字が記されていないか、あるいは文字は記されていたが劣化によって視認されなくなり、またその劣化生成物も本研究の記録条件では画像化されない物質である可能性などが考えられる。
- (d) 紫外線蛍光写真法による壁画表面の蛍光体分布調査から、褪色して視認されない色料の存在が確認され、可視光下では観察されない壁画の図様が見出された。

今後、本研究の結果を踏まえて、南壁壁画の理化学的な分析手法による材質調査を実施し、壁画に使用された部分に使用された材料と技法の同定、および壁画で進行している劣化現象の評価を行う予定である。また、光学調査を第285窟の他の壁画について継続的に実施することによって、各壁によって題材の異なる第285窟壁画についての総合的な理解を図ることができると考えている。

## 謝辞

本研究は、敦煌莫高窟保護に関する日中共同研究（第5期）の一環として行われた。本共同研究にご協力頂いた多くの方々に深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 福井爽人, 茂木計一郎, 浅井和春, 田口榮一: 第3章 第285窟(西魏時代)に関する模写および学術調査の成果, 敦煌石窟学術調査(第一次)報告書, 東京藝術大学美術学部, 8-57 (1985)
- 2) 八木春生: 中国 敦煌莫高窟第二八五窟壁画に関する一考察, 美術史論叢 造形と文化, 雄山閣出版, 318-344 (2000)
- 3) 段文傑: 第285窟からみた中国と西方芸術との交流, 敦煌石窟. 2 (莫高窟第285窟), 文化学園・文化出版局, 38-57 (2001)
- 4) 李最雄編著: 壁画地仗和彩塑的制作材料及結構(一) 莫高窟 1. 莫高窟壁画, 絲綢之路石窟壁画彩塑保護, 科学出版社, 14-25 (2005)
- 5) 李最雄編著: 壁画彩塑顔料分析及其顔料的定性, 絲綢之路石窟壁画彩塑保護, 科学出版社, 26-148 (2005)
- 6) 段文傑: 第285窟図版解説, 敦煌石窟. 2 (莫高窟第285窟), 文化学園・文化出版局, 194-211 (2001)
- 7) J. R. J. van Asperen de Boer: An introduction to the scientific examination of paintings, Nederlands Kunsthistorisch Jaarboek, 1-40, (1975)
- 8) 三浦定俊: 赤外線写真撮影, 『文化財科学の事典』, 朝倉書店, 287-288 (2003)

キーワード: 壁画(mural painting); 莫高窟(Mogao Grottos); 紫外線蛍光写真(ultraviolet fluorescence photography); 赤外線写真(infrared photography); 劣化(deterioration)



## Examination of a Wall Painting in Cave 285 of the Mogao Grottoes with Photographic Methods (I)

Hiromi TAKABAYASHI, Motomitsu MOMII<sup>\*</sup>, Hidemi OTAKE, WANG Xiaowei<sup>\*\*</sup>,  
CHAI Bolong<sup>\*\*</sup>, Takeshi FUCHIDA, Kayo NAKAMURA<sup>\*\*\*</sup> and Ken OKADA

As a preliminary investigation for the comprehensive analytical study of the mural painting in Cave 285 at the Mogao Grottoes, non-invasive examinations with photographic methods using various wavelength lights were conducted to reveal the characteristics of the materials and the state of conservation of the painting on the south wall. According to the optical characteristics of the uppermost surface, it was deduced that multiple layers of paint had been applied in some areas. No letters were observed in the strip-shaped areas on the wall in this series of examinations. Ultraviolet fluorescence photography revealed some images on the wall which could not be seen under normal light due to the deterioration of certain painting materials used.