

〔報告〕 敦煌莫高窟第285窟の東壁における 青色の材料と技法について

犬塚 将英・高林 弘実*・渡邊 真樹子・皿井 舞

1. はじめに

本稿は、東京文化財研究所と敦煌研究院が2006年以来莫高窟第285窟を対象として共同で実施している敦煌壁画の制作材料と技法に関する研究の一環として、第285窟東壁における青色の彩色について、その材料と技法に関する調査の結果を報告するものである。

第285窟は、窟内に現存する銘文に西魏時代の太統4年(538)、同5年(539)の年記が記されている石窟で、前室と主室とから構成されている。主室は南北方向が約6.3m、東西方向が約6.4mの方形の平面に伏斗式天井を持ち、最高部の高さは約4.3mである(詳細は参考文献^{1,2,3)}を参照されたい)。

既にこれまでの報告で示されたように、現在実施中の共同研究では、自然科学的な分析手法を用いて壁画の構造や彩色材料・技法を調べ、壁画が描かれた当初の彩色を知るための客観的なデータを収集しつつ、肉眼観察による劣化状態の把握⁴⁾や美術史的視点からの各壁面の比較検討を通して、様々な色を呈する色料に関する網羅的な調査を実施してきた^{1,2,5,6)}。この結果、第285窟の壁画は、東西南北の壁面と天井部の4面に描かれた壁画の内容や表現様式、彩色材料や技法の特徴などによって幾つかのグループに分けられることが明らかになってきている。

本稿が考察の対象とする青色の色料に関しては、肉眼観察や顕微鏡を用いた観察及び分析結果から、ラピスラズリの使用が推定される色料と、石黄とインディゴの使用が推定される色料の2種類が確認されている。この青色に注目すると、北壁東寄りの第1、2区との様式的類似性が指摘される東壁説法図との間で、目視で観察する限り使用の傾向が似ており^{7,8)}、自然科学的分析手法によってその特徴を確認する必要がある。

次節以降では、これまでに第285窟における青色を呈する色料について得られてきた知見を概観してから、2012年8月に実施した東壁における青色の材料と技法に関する調査結果を報告する。

2. 敦煌莫高窟第285窟における青色を呈する色料について

これまでの調査を通して、第285窟の青色を呈する色料は、主に2種類の材料と技法によるものであることが確認されている^{2,6)}。

ひとつ目は肉眼観察によると比較的明るい色を呈する青色である。こうした比較的明るい青色が見られる箇所を顕微鏡を用いて100~200倍程度の倍率で観察をすると、青色と白色の粒子状の物質の存在が確認でき、鉱物系の顔料が使用されていると考えられた。蛍光X線分析では、下地層のみの箇所を測定しても検出されるFeを除けば、彩色材料として考えられる元素の存在を示す証拠は確認できなかった。一方、分光反射スペクトルからは、400nmよりも波長が短い紫外線領域と600nm付近で照射光が吸収されていることが確認でき、ラピスラズリの反射特

*京都市立芸術大学

性と一致していると言える⁹⁾。以上の諸点からみて、この青色では材料としてラピスラズリが使用されていると推定された。

このような比較的明るい青色とは別に、第285窟では鈍い青色が観察されることがある。これらの箇所では、顕微鏡を用いて観察をしても彩色層に粒子状物質を確認できない。これらの箇所では蛍光X線分析を行うと、下地層に含まれていると考えられるFeに加え、Asに帰属されるピークが検出されることがあった。ラマン分光分析からは、インディゴに帰属できるラマンバンドが検出された²⁾。以上の分析結果を総合すると、この鈍い青色を呈する箇所は、石黄とインディゴを併用されていたと推定され、制作当初は緑色を発色していた可能性も考えられた。

これまでの調査を通して、第285窟に見られる青色について得られた知見は表1のとおりである。

表1 敦煌莫高窟第285窟で見られる青色を呈する色料

肉眼観察	明るい青色	鈍い青色
顕微鏡観察	粒子状物質有り	粒子状物質を確認できない
蛍光X線分析	Fe	Fe, As
反射分光分析	紫外領域と600nm付近で吸収	
その他		ラマン分光分析
推定された材料	ラピスラズリ	石黄+インディゴ

3. 東壁における青色の材料と技法に関する調査結果

3-1. 調査の対象

2012年8月の調査では、東壁に用いられている青色色料の材料と技法の解明に主眼を置いた。本節では、東壁北側の如来像と菩薩像とに用いられている青色色料の観察および分析結果を報告する。

3-2. 調査手法

まず、3-3以降で説明する調査の流れと用いた分析装置について説明する。

- 1) 東壁北側の如来像と菩薩像とに用いられている青色色料を目視観察することにより、調査を行う箇所を決定した(3-3)。
- 2) それらの箇所について、目視観察では判別できない彩色材料の表面部分の詳細や粒子状物質の有無を調べるために、キーエンス社のデジタル顕微鏡(VHX-600K)にレンズ(VH-Z20R)を取り付けて観察を行った(3-4)。
- 3) 調査箇所では用いられている色料に含まれる材料の構成元素を特定するために、蛍光X線分析を行った。今回の調査で使用した蛍光X線分析装置はNITON製の携帯型蛍光X線分析装置XL3tである。この装置では金を対陰極のターゲットとした管球を用いてX線を照射している。測定に際しては壁面と測定ヘッドとの距離が5mm程度となるように装置を手持ちで固定した(3-5)。ただし、蛍光X線分析では軽元素に対する感度が小さいことから、ラピスラズリの存在の有無や有機物が使用されている可能性について調べることが難しい。
- 4) 蛍光X線分析を補完するために、近赤外分光分析も行った。今回の調査で使用した近赤外分光分析装置はASD社製のLabSpec®4であり、350nmから2500nmまでの波長領域における反射率を1nmの分解能で測定する分光分析装置である(3-6)。

3-3. 目視観察

図1のA～Eは、ここで報告を行う5つの箇所を示している。まずAは、如来像がまとう袈裟の先端部分にあたる。明るい青色を呈しており、この色はこれまでの研究でラピスラズリによる青色顔料が用いられていると推定される箇所と類似する。次にBは中心の如来像に向かって左隣に位置する菩薩像の頭光の輪郭部分である。明るい緑色の色料の上にAと同様の色を呈する明るい青色の材料が重ねて塗られていると考えられる。このような描き方は、東壁以外の各壁にもよく見られるものである。Cは最も北側に位置する菩薩像の頭光の内圏帯で、鈍い青色を呈している。目視観察では、石黄とインディゴが材料として用いられた箇所（表1の右列参照）と推定されている箇所と類似した色を呈している。最後にDとEは、如来像に向かって左側の菩薩像の着衣部で、それぞれ左肩と右腕より垂下する天衣部分に相当する。図2は、DとEの該当箇所を拡大した写真である。これを見るとわかるとおり、DとEを含む箇所は、薄い青色と濃い青色との縞模様で色塗られている。襞を表すための表現と考えられる。目視観察による判断からすると、DとEの薄い青色と濃い青色は共に、ラピスラズリと推定されている箇



図1 東壁北側における調査箇所（口絵参照）

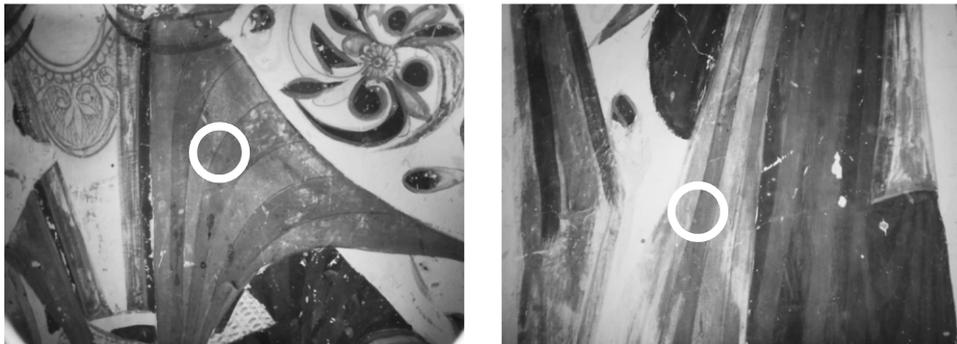


図2 測定箇所DとEの拡大写真。左図はD、右図はEを拡大した写真。それぞれにおける分析箇所を白丸で示した。（口絵参照）

所（表1の左列）よりも彩度が低く、石黄+インディゴと推定されている箇所（表1の右列）に近い色を呈している。

3-4. 顕微鏡を用いた観察結果

図3(a)と(b)はそれぞれ図1のAとBに相当する箇所の顕微鏡写真である。この顕微鏡写真から、AとBでは青色の粒子状物質が分布していることがわかった。よって、これらの箇所では顔料が使用されたと考えられる。

図3(c)は測定箇所Cにおける顕微鏡写真である。図3(a)や(b)と比較すると、青色の粒子状物質は確認できなかった。むしろ測定箇所Cは、第285窟のこれまでの共同研究で得られた情報^{2,6)}のうち、石黄+インディゴが用いられたと考えられる箇所の顕微鏡写真と類似している。

図3(d)は測定箇所Dの中で濃い青色と薄い青色の境界部分（図2左）を顕微鏡で観察した時の画像である。薄い青色部分には、測定箇所AとB（図3(a)と(b)）と比較すると密度は小さいが、青色の粒子状物質が分布している。色が濃い部分では、粒子を明瞭に確認できない濃青色の物質が分布しているほか、薄い部分と類似した青色の粒子状物質も確認できる。3-3で指摘したように、これらの箇所が呈する色は、目視観察では石黄+インディゴを用いた部分と類似するが、青色粒子が存在するという点で、その微視的形状は異なっていることが明らかとなった。青色の粒子状物質は、薄い青色と濃い青色の両方に観察されることから、薄い青色の上に濃い青色を呈する材料を髹を表現するために重ね塗りしたのだと推測した。

3-5. 蛍光X線分析

図4(a)は測定箇所Bにおける蛍光X線スペクトルである。測定箇所Bは、蛍光X線のスペク

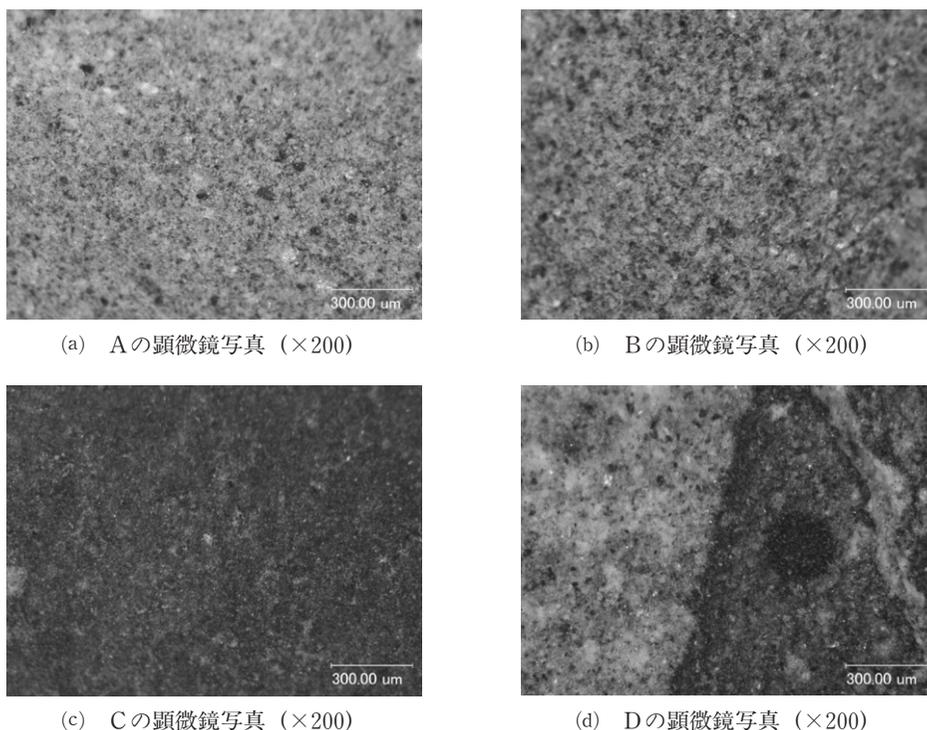


図3 顕微鏡を用いて得られた各測定箇所における拡大画像（口絵参照）

トルによると、Cuの $K\alpha$ および $K\beta$ に帰属できるピークと下地層のみの部分を測定しても検出されるFeの $K\alpha$ および $K\beta$ に帰属できるピークが検出された。

図4(b)は測定箇所Cにおける蛍光X線スペクトルであり、Feに加えて、Asの $K\alpha$ および $K\beta$ に帰属できるピークが検出された。これまでの調査結果^{2,6)}において鈍い青色(表1右列)と分類されてきた箇所と同様の結果であり、Cでも彩色材料として石黄+インディゴが用いられたと推測できる。

測定箇所DとEからは、それぞれ図4(c)と(d)のような蛍光X線スペクトルが得られた。これらの蛍光X線スペクトルでは、Asに帰属できるピークは検出できなかった。また濃い青色の部分と薄い青色の部分とを比較すると検出される元素の種類に違いは見られなかった^{#1)}。これらの箇所は目視では石黄+インディゴの部分と類似した色を呈しているが、元素組成は異なっている。

注1) 蛍光X線スペクトルでは、Feに加えて、Pbに帰属できるピークも検出されていた。これは青色に限らず重要な内容を含んでおり、Pbが第285窟の壁画上でどのように分布しているかの定量的な調査を、今後詳細に行う予定である。

3-6. 近赤外線分光分析

図5の上図はA, B, Cにおける近赤外反射分光スペクトルである。AとBは、目視で明るい青色を呈し、顕微鏡観察から粒子状の材料である顔料が使用されていると考えられる部分である。ここでは、400nmよりも波長が短い紫外線領域と600nm付近で照射光が吸収されている

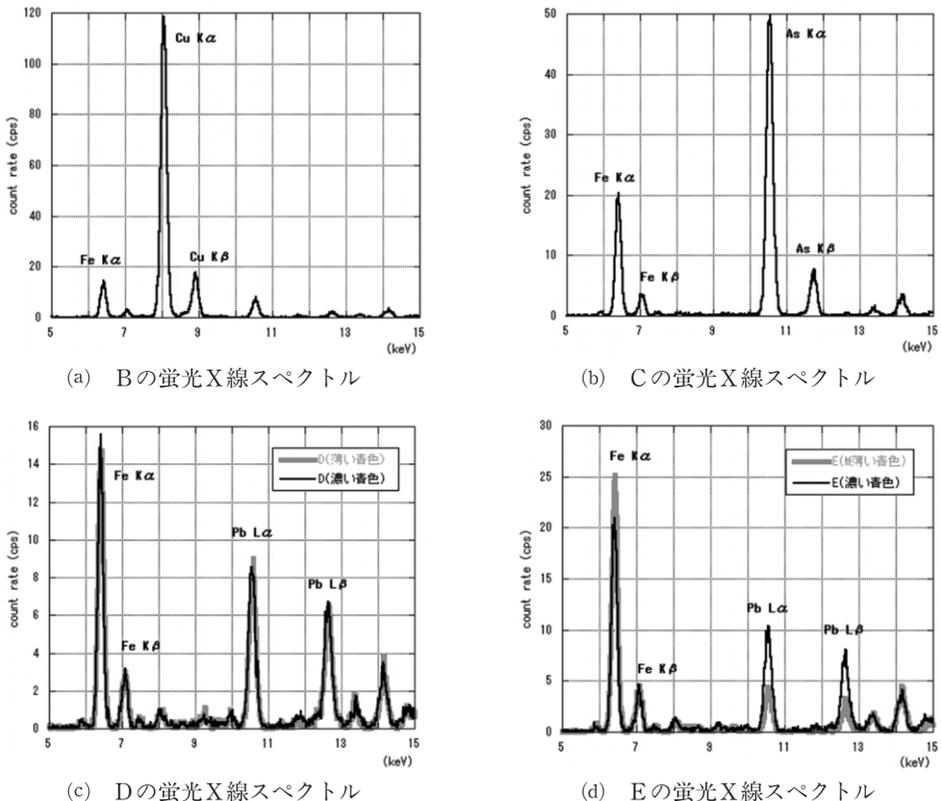


図4 蛍光X線スペクトル

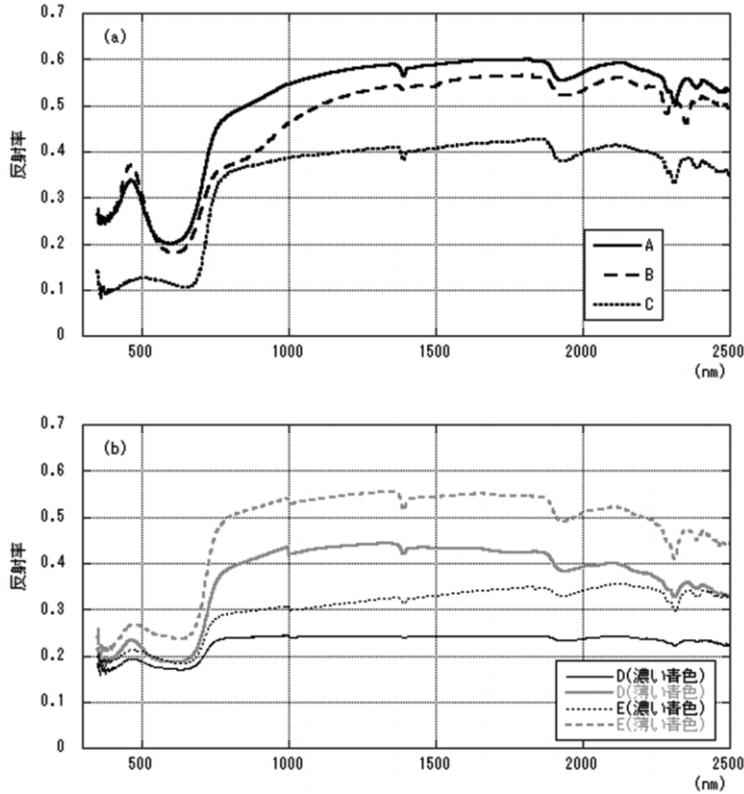


図5 近赤外分光反射スペクトル

(その結果、450nm 周辺の反射率が相対的に高くなっている)ことが確認でき、ラピスラズリの反射特性⁹⁾と一致した測定結果が得られた。したがって、これらの部分にはラピスラズリによる青色顔料が使用されていると考えられる。一方、蛍光X線分析で石黄+インディゴとみられたCの近赤外分光反射スペクトルでは、このような特徴は見られず、蛍光X線分析による推定と矛盾しない。

図5の下図は、DとEそれぞれの濃い青色部分と薄い青色部分の測定結果である。この箇所は、目視では石黄+インディゴの青色に似た鈍い青色を示した箇所であったが、表1右列と照らし合わせるならば、3-4の顕微鏡観察や3-5の蛍光X線分析においては目視による推定とは矛盾する結果が見られた箇所であった。近赤外分光分析の結果、特に薄い青色の部分において、A、Bから得られたスペクトルほど顕著ではないが、ラピスラズリの特徴を示す分光スペクトルを得ることができた。また、濃い青色と薄い青色では、濃い青色の方が分光スペクトルの特徴が弱くなっている。3-4で、濃い青色は薄い青色の上に別の材料を重ね塗りしたものだとは推測したが、その推定と矛盾しない結果とすることができる。

3-7. 調査結果の考察

第285窟の青色色料について、第5期共同調査のなかで得られたこれまでの知見^{2,6)}と、今回の調査(顕微鏡による観察、蛍光X線分析、近赤外分光分析)で得られた結果とを照らし合わせると次のように考えられる。

測定箇所AとBは、ラピスラズリによる青色顔料（表1の左列）が使用されていると考えられる。Bでは蛍光X線分析でCuが検出されているが、これは青色顔料の下に塗布されている緑色顔料がCu化合物による顔料であるためと考えられる²⁶⁾。測定箇所Cは石黄+インディゴが用いられている青色（表1の右列）に分類された。

また、測定箇所DとEについては、目視観察の色は石黄+インディゴに類似しているが、顕微鏡観察および蛍光X線分析では測定箇所Cとは異なった結果が得られた。つまり、Cで検出されたAsに帰属できるピークは検出できなかったため（図4(c)と(d)）、彩色材料として石黄が使用された証拠は見出せなかった。一方、顕微鏡を用いた観察によると、とりわけ薄い青色の部分に青色の粒子状物質の存在が認められ（図3(d)）、さらに同箇所の近赤外分光反射スペクトルがラピスラズリの反射特性を示すものであった（図5下図）。ただし、AやBのようなラピスラズリが用いられたと分類した箇所と比較すると粒子状物質の密度は小さく、AやBと同じような彩色技法であったとはみなしがたい。なお、DとEの濃い青色は、薄い青色にさらに別の彩色材料を重ね塗りすることによって得られたものであると考えられる。

測定箇所DとEから得られた以上の結果は、表1のいずれにも明確に分類できない技法である。以下に制作手順の一試案を示す：

手順1. 青色とする天衣の全体にわたり、ラピスラズリを含む色材を塗る（この材料には石黄は含まれないか、含まれていたとしても濃度が低い）。

手順2. 天衣の襷の濃い青色の部分であらわすために、1の上にさらにラピスラズリを含まない（または濃度が低い）色材を重ね塗りした。この材料にも石黄は含まれない（または濃度が低い）。

4. まとめと今後の課題

2012年8月に莫高窟第285窟において実施した調査では、東壁に用いられている青色色料の材料と技法の解明に主眼を置き、東壁北側の如来像と菩薩像とに用いられている青色色料の観察および分析調査を行った。

その結果、表1のいずれにも明確に分類できない青色が、東壁に描かれている菩薩の衣の彩色箇所が存在することが示唆された。今後、粒子状物質の粒子の大きさ、形状、密度を定量化し、他の壁から得られたデータとの比較を行うことにより、制作技法に関する調査を進める予定である。

謝辞

本研究は東京文化財研究所と敦煌研究院が実施している「敦煌壁画の保護に関する日中共同研究」及び文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)「敦煌芸術の科学的復原研究—壁画材料の劣化メカニズムの解明によるアプローチ—」(研究代表者：岡田健)によるものである。本研究には、筆者の他に、岡田健（東京文化財研究所）、石松日奈子（清泉女子大学）、井上優子（東京学芸大学大学院）、于宗仁、崔強、丁淑君（以上、敦煌研究院保護研究所）等の各氏が参加しており、本稿執筆に関しても多くの助言を得た。

参考文献

- 1) 高林弘実, 靱井基充, 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)

- 2) 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)
- 3) 宇野朋子, 薛平, 高林弘実: 敦煌莫高窟第285窟における壁画の劣化への光環境の影響, 保存科学 **49** 111-118 (2010)
- 4) 大場詩野子, 大竹秀実, 高林弘実, 渡邊真樹子, 王小偉, 柴勃隆: 敦煌莫高窟第285窟壁画の保存状態, 保存科学 **48** 99-107 (2009)
- 5) 佐藤香子, 高林弘実, 榎井基充, 岡田健, 范宇権, 張文元: 敦煌莫高窟第285窟北壁に描かれた如来および菩薩の衣の彩色材料と技法—赤色表現を例として—, 保存科学 **48** 75-84 (2009)
- 6) 高林弘実, 倉橋恵美, 范宇権, 崔強: 敦煌莫高窟第285窟南壁龕楣の彩色材料および技法, 保存科学 **48** 85-98 (2009)
- 7) 田口榮一: 『昭和五十八年度文部科学省科学研究費による海外学術調査 敦煌石窟学術調査(第一次) 報告書』第四節「壁画について」(東京藝術大学美術学部敦煌学術調査団・代表平山郁夫) (1985)
- 8) 石松日奈子「敦煌莫高窟第二八五窟北壁の供養者像と供養者題記」, 『龍谷史壇』131号 (2010)
- 9) 朽津信明, 黒木紀子, 井口智子, 三石正一: 顔料鉱物の可視光反射スペクトルに関する基礎的研究, 保存科学 **38** 108-123 (1999)

キーワード: 莫高窟第285窟 (Mogao Cave 285); 色料 (colorants); 顕微鏡 (microscope)
; 蛍光X線分析 (X-ray fluorescence spectroscopy)
; 近赤外分光分析 (near infrared spectroscopy)

Investigation of the Blue Coloring Material on the East Wall of Mogao Cave 285

Masahide INUZUKA, Hiromi TAKABAYASHI*,
Makiko WATANABE and Mai SARAI

In previous studies by the National Research Institute of Cultural Properties, Tokyo and Dunhuang Academy, two types of blue colorants have been identified in Mogao Cave 285: a colorant which is supposed to be composed of lapis lazuli, and a colorant which is supposed to be composed of orpiment and indigo.

In this study, investigation of the blue coloring material of the wall paintings on the east wall of Mogao Cave 285 was conducted by means of observation using a microscope, X-ray fluorescence spectroscopy and near infrared spectroscopy. The results suggest the existence of another type of blue colorant which is difficult to be classified into either category identified in previous studies.

*Kyoto City University of Arts