

## 〔報告〕 ハンドヘルド蛍光X線分析装置による ウズベキスタン国立歴史博物館所蔵資料の材料調査

早川 泰弘・古庄 浩明\*・青木 繁夫\*<sup>2</sup>・アリプトジャノフ・オタベック\*<sup>3</sup>

### 1. はじめに

ウズベキスタン共和国は、中央アジアのほぼ中心に位置し、タシケント、ヒバ、ブハラ、サマルカンドなど、古代からシルクロード上の要所として栄えた都市が点在し、多数の文化遺産が存在している(図1)。古代よりウズベキスタンの国土には様々な民族の興亡が繰り返されてきた。この地を最初に支配したのは、紀元前6世紀に出現したアケメネス朝ペルシアであり、イラン、中央アジアから北西インドまでの広大な地域を征服した。ついで紀元前4世紀にはペルシアに代わってアレキサンダー大王が支配するようになるが、大王の死後はバクトリア朝やクシャン朝、エフタルなどの国家が興り栄えた。1-4世紀頃にウズベキスタン南部をその領域の一部として栄えたクシャン朝はガンダーラ美術を開花させ、多くの仏教遺跡を遺している。7世紀には、西遊記のモデルとなった玄奘がこの地を通してインドへ赴き、日本人にもなじみの深い『般若心経』などを中国へ伝えた。ウズベキスタンのイスラム化が始まったのは、8世紀に起きたアラブ人の侵攻によってである。サーマーン朝やカラハーン朝などによってそれが加速したのち、13世紀にはモンゴル帝国の大西征が起こる。チンギス・ハーン率いるモンゴル軍の大軍勢は中央アジアを蹂躪して破壊しつくし、特にサマルカンドでは住民の4分の3が殺害され、市街は跡形もなく壊滅させられたと言われている。これを復興したのが14世紀に登場したティムールである。ティムールと彼の孫のウルグベクは、多くの壮麗な建築物を建設し、サマルカンドはティムール色の青タイルの建築物が並ぶ壮麗な首都となった。15世紀末にティムール一族が衰退したのち、台頭してきたのがウズベク族である。その後はロシア帝国の度重なる侵攻を受け、1860年にタシケントが陥落し、その後はロシア帝国の支配下に置かれることとなる。1922年ソビエト連邦結成以降もその統治は続き、1991年のソビエト連邦崩壊に至って、

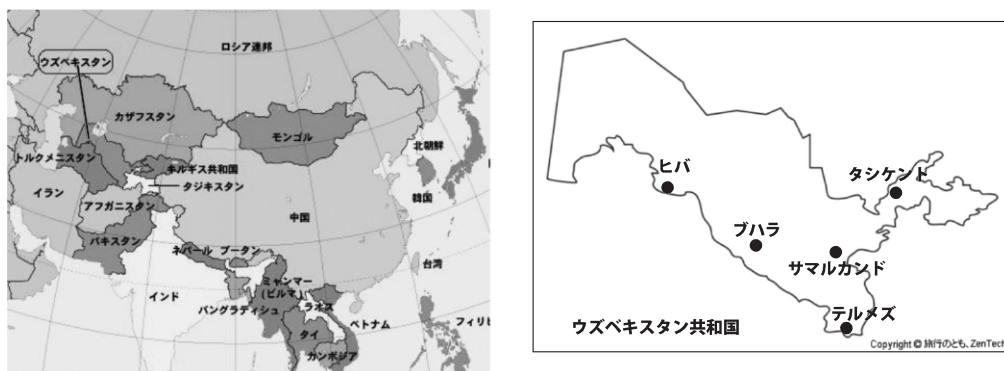


図1 ウズベキスタン共和国の位置と主要都市

\*駒沢大学

\*<sup>2</sup>サイバー大学

\*<sup>3</sup>ウズベキスタン国立歴史博物館

やっと独立を果たし、ウズベキスタン共和国が建国した。2011年に独立20周年を迎えたばかりの若い国である。

現在のウズベキスタン共和国の首都はタシケントであり、人口200万人以上を抱える中央アジア最大の都市である。このタシケントで最大規模を誇る博物館が、ウズベキスタン国立歴史博物館 (State Museum of History of Uzbekistan) である。1876年に前身の博物館 (National Museum of Turkestan) が創設され、National Museum of History of Uzbekistan に改称したのち、現在に至っている。石器時代の遺物からロシア帝国の征服以後の歴史までを展示した総合博物館であり、26万点以上の収蔵品を有している。ウズベキスタン南部に位置するテルメズ近郊のファイアズ・テパ遺跡 (Fayaztepa, 1-4世紀) から出土したクシャン朝時代の仏像などの所蔵品が特に有名である。今回の材料調査では、ファイアズ・テパ遺跡から発見された彩色塑像片資料をいくつか調査した。また、現在博物館内で展示されている (伝) サマルカンド・アフラシアブ遺跡 (Afrasiab, 7-8世紀) 出土の彩色壁画片 (The fragment of wall painting with a picture of a warrior's head), およびブハラ・ワラフシャ遺跡 (Varahsha, 6-7世紀) から発見された大型彩色壁画 (The fragment of wall painting with a picture of procession of partridges) についても材料調査を行った。本稿では、ハンドヘルド蛍光X線分析装置を用いて行われたウズベキスタン国立歴史博物館所蔵作品の材料調査結果の概要を報告するとともに、その材料的な特徴について考察する。

## 2. ハンドヘルド蛍光X線分析装置による材料調査

現在、ウズベキスタンでは国内に所在するさまざまな文化財に対して、十分な保存や保護を行うことができる人材・技術・予算は存在していない。考古学や保存修復学などの教育や研究体制もほとんど整備されておらず、多くの文化財が放置されたままで置かれている。このような状況を打開するための第一歩は、諸外国の予算や技術を投入して早期に保存処置を実施することであるが、長期的な視野に立てば、ウズベキスタン国内での人材育成が必須であることは明らかである。そこで、ウズベキスタン芸術アカデミーからの要請に基づき、日本では独立行政法人国際交流基金、平山郁夫国際文化のキャラバンサライ、文化財保護・芸術研究助成財団などが共同で、平成20年度よりウズベキスタン国内の文化遺産保護と人材育成のための教育事業を進めてきた<sup>1)</sup>。平成23年度からは独立行政法人国際交流基金の本体事業として「文化遺産保存修復技術実技講習 (ウズベキスタン)」が展開され、ウズベキスタン国内で文化遺産の保存修復に携わっている者を対象に塑像の保存修復に関する理論と技術実習に関するワークショップが実施された<sup>2)</sup>。平成24年度には「博物館資料保存修復コース」が引き続き開催された。東京文化財研究所では、このコースにおける技術指導を依頼され、ハンドヘルド蛍光X線分析装置による文化財調査の方法と実資料への適用についてウズベキスタン国立歴史博物館で指導を行った。本稿で報告する材料調査は、その指導に引き続き行われたものである。

調査の実施日、使用機器、測定条件等は以下のとおりである。調査に使用した機器は、東京文化財研究所が所有するハンドヘルド蛍光X線分析装置であり、これをウズベキスタンに持ち込んで調査を行った。機器は約2 kg と軽量のハンドヘルドタイプであるが、検出器にはSDD (シリコンドリフト検出器) が搭載されており、据置型タイプの蛍光X線分析装置に匹敵する高分解能・高計数率での測定が可能である。着脱式のLiイオンバッテリーにより駆動し、機器本体に搭載されたPDAあるいはBluetooth通信によって無線接続されたノートPCによって制御される。今回の調査は、大気中での測定であり、X線照射条件 (管電圧・管電流) も固定して測定を行ったため、軽元素はほとんど検出されていない。さらに、時間的な制約によって

調査ポイント数も限られているため、調査対象作品の材料や材質に関して詳細なデータが得られているわけではない。しかし、今回の調査の目的は、これまでほとんど行われたことのなかったウズベキスタン国内での現地調査を実施し、彩色材料等に関する大まかな特徴を明らかにして、中央アジアあるいはシルクロード沿線地域で使用されている材料と比較検討するための調査の第一歩を記すことにある。

調査実施日 平成24年9月26日～28日、  
調査場所 ウズベキスタン国立歴史博物館内講堂および展示室  
調査機器 BRUKER ハンドヘルド XRF S1 TURBO-SD  
Pd ターゲット、40kV×17 $\mu$ A、  
X線照射径  $\phi$  7 mm、測定時間60秒

### 3. 調査結果

#### 3-1. ファイアズ・テパ遺跡 (Fayaztepa, 1-4世紀) 出土の彩色塑像片資料

ファイアズ・テパはウズベキスタン南部、スルハンダリア州の首都テルメズに所在し、アフガニスタンとの国境沿いに位置する。本地域で最も古い仏教遺跡の一つであり、1-4世紀頃のクシャン朝時代に創建されたものである。ファイアズ・テパ遺跡からは石造のガンダーラ様式の釈迦像をはじめ、多くの塑像作品断片が出土し、ウズベキスタン国立歴史博物館にも多数の作品が所蔵されている。今回調査したのは塑像断片(金箔塑像片3資料、彩色塑像片1資料)と、壁画の一部と考えられる複数の彩色断片である。

##### (1) 金箔塑像片

表面に金箔および彩色の施された塑像断片3資料(図2)について蛍光X線分析による材料調査を実施した。仏像の断片と考えられ、胴体の一部、左手、顔の一部の3資料である。3資料が一体の仏像の断片なのかどうか不明であり、今回の材料調査でその判断が下せるかどうかについても期待された。

下地層は石膏と土壌を混ぜ込んで成型していることが肉眼で確認でき、表面に比較的厚い金箔が貼られている。金箔の上に黒色と赤色の線描の彩色が存在していることも確認できる。下地層からは石膏の主成分元素であるCaが顕著に検出され、その同族元素であるSrも検出された。少量のFeとCuも同時に検出されたが、これらは石膏に混ぜ込まれている土壌の含有成分に由来するものと考えられる。金箔部からは主としてAuだけしか検出されなかった。Agはほとんど検出されず、少量検出されたCuを下地の土壌成分由来と判断すると、ほぼ純金に近い金箔材料が使われていると判断される結果であった。Auの検出強度は測定位置によって大きく異なるため、金箔の厚みを評価することはなかなか難しいが、標準金箔資料とのAu-L $\alpha$ 線検出強度の比較として金箔の厚さを求めてみると、胴体の一部資料と左手資料の金箔は0.3~0.7 $\mu$ m程度であったが、顔の一部資料については3 $\mu$ m以上の厚さであることがわかった。修復が行われていないのであれば、これほどの金箔厚みの違いがある断片を同一個体と判断するのは無理があるが、修復履歴はまったく残されていないため、同一個体かどうかの判断はさらなる検討を要する。

さらに、興味深い結果は、測定部位のいくつかの部分からAsが検出されたことである。金箔が存在している部分からも、存在していない部分からも検出されており、下地層と金箔層の間にAsを含む何らかの材料が存在している可能性がある。Asの存在形態等については、今回の



図2 ファイズ・テバ遺跡 (Fayaztepa, 1-4世紀) 出土の金箔塑像片資料 (口絵参照)

調査では特定することは困難であった。これまでに、中央アジアやシルクロード沿線の壁画顔料の分析調査において、As を含む化合物が検出された報告例がある<sup>3-9)</sup>。赤色から橙色材料としての鶏冠石 (Realgar, AsS) と、黄色材料としての石黄 (Orpiment, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) が見いだされた報告があり、今回の As 化合物についてもこのいずれかである可能性が高い。

金箔上層の彩色部分の分析では、胴体の一部資料の赤色部分からは Hg と Pb が顕著に検出される箇所と、Hg, Pb はまったく検出されず Fe が多く検出される箇所があることが明らかになった。肉眼による観察では、両者の色調の違いを確認することは容易ではないが、前者は Hg 系と Pb 系赤色顔料の併用、後者は Fe 系赤色顔料が使われていると判断でき、明らかに赤色顔料の使い分けが行われている。一方、左手資料および顔の一部資料の赤色部からは Hg は検出されるが、Pb はまったく検出されない結果が得られた。胴体の一部資料とは赤色顔料の使い方が異なっている。

黒色部分の分析では、金箔部分から検出される元素以外に特徴的な元素は検出されず、検出強度も金箔部分とほとんど同じである結果が得られた。蛍光 X 線分析では検出できない軽元素

を主体とした材料であることが推定され、炭素を主成分とした墨やカーボンブラックなどが考えられる。

以上の調査結果から考えると、金箔の厚さの違い、赤色材料の相違などから判断して、今回調査した断片3資料はまったく異なる3個体の一部とも考えられる結果であり、その判断を下すにはさらなる調査が必要であろう。

## (2) 彩色塑像片

仏像の一部と考えられる断片資料(図3)についても、蛍光X線分析による材料調査を実施した。目視では、表面に赤色、白色、茶色の彩色が確認でき、下地層は石膏と土壌を混ぜ込んで成型していると判断できる。白色部分の測定ではCaおよびSrが大きく検出され、石膏の主成分元素であるCaとその同族元素のSrが検出されていると考えられる。Pbはまったく検出されず、Pb系材料は用いられていない。一方、茶色部分ではCa検出量が減少し、Fe検出量が増加した。石膏が剥落し、土壌部分が露出しているためと考えられる。赤色部分からはHgが検出され、Hg系赤色材料が使われていることがわかる。この部分からもPbはまったく検出されなかった。

## (3) 彩色壁画断片

彩色壁画の断片と思われる4資料(うち1資料は4破片に分割されている)についても、蛍光X線分析による材料調査を実施した。どの資料にも仏や菩薩の顔や衣の一部と思われる図像が描かれている。目視による判断では、4資料とも下地は石膏と土壌を混ぜ込んで成型していると考えられた。白色部分の測定ではCaおよびSrは検出されるが、Pbが大きく検出された資料は存在しなかった。一方、赤色部分の測定では資料によって使われている材料が異なり、①Fe系材料、②Pb系材料、③Hg系材料、④Pb系材料とHg系材料の併用の4通りの使いかたが見いだされた。1つの資料の中で2通りの赤色材料を使い分けている資料もあり、Fe系・Pb



図3 ファイヤズ・テバ遺跡(Fayaztepa, 1-4世紀)出土の彩色塑像片資料

系・Hg系の3種類の赤色材料を駆使してさまざまな赤色の色調が描き出されていたことが推測される。現在では剥落や汚れ、土壌の付着などにより微妙な色調の違いを確認することは容易なことではないが、明暗の赤色部分の存在や、赤茶色、さらには橙色に近い赤色などの描写が目視でも確認でき、どの資料も色調豊かな壁画であったことは想像に難くない。

また、青色については1資料で確認できただけであるが、蛍光X線分析で検出されたのはCa、Feと少量のSrだけである。この結果だけで青色材料を推定するのは容易ではないが、中央アジアという地域を考えた場合、ラピスラズリを有力な候補として挙げることができる<sup>3-9)</sup>。ラピスラズリの組成や蛍光X線スペクトルについては、3-2節で詳しく述べるが、ラピスラズリの大原産地がウズベキスタンに隣接するアフガニスタンであることから考えても、ラピスラズリが使われている可能性は大きい。

黄色部分についても確認できる資料は少ないが、Feが大きく検出されることから、Fe系黄色材料が使われていると推測された。少量のAsが検出された資料もあるが、赤色・黄色・茶色のいずれの部分からもほぼ同量のAsが検出されており、材料の特定には至らなかった。黒色部分からはいずれの資料においても特徴的な元素は検出されず、炭素を主成分とした墨やカーボンブラックなどである可能性が示唆された。

### 3-2. (伝) サマルカンド・アフラシアブの丘遺跡 (Afrasiab, 7-8世紀) 出土の彩色壁画片

アフラシアブの丘遺跡は紀元前7世紀頃に造られ始めた町であり、紀元前4世紀にはアレキサンダー大王の遠征を受けたが、その後も繁栄をつづけ、7-8世紀にはソグド人の町として『大唐西域記』に「颯秣康国」と記されるシルクロードの交易の中心地の一つであった。しかし、13世紀のモンゴル軍の進撃によって破壊され、荒地と化してしまった。現在のサマルカンドは、14世紀に登場したティムールによってアフラシアブの丘の麓に再建されたものである。

今回調査した壁画片 (The fragment of wall painting with a picture of a warrior's head) (図4) は、ほぼ等身大で描かれている武人の頭部だけが遺っているものであり、描かれてい

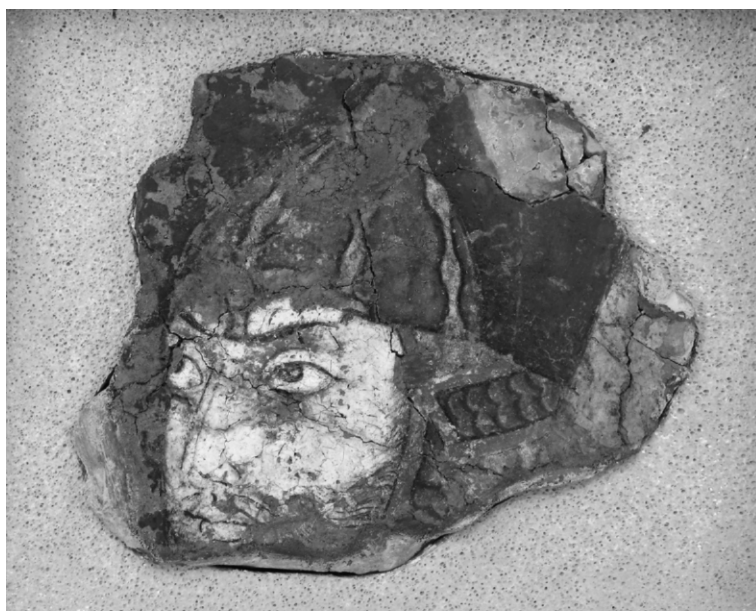


図4 サマルカンド・アフラシアブの丘遺跡 (Afrasiab, 7-8世紀) 出土の彩色壁画片 (口絵参照)

るのは7-8世紀のソグド人の意匠であると思われる。顔は白色が際立ち、目や口は輪郭がはっきりと描かれ、その周囲には赤色の暈しが入れている。頭にかぶる兜が鮮やかな青色で彩られているのも印象的である。

顔全体に塗られている白色部分からはPbが顕著に検出された。特に白色が際立っている部分でPb検出量が大きく、Pb系白色材料が使われていると判断できる。今回の調査では後述(3-3節)のブハラ・ワラフシャ遺跡(Varahsha, 6-7世紀)から発見された大型彩色壁画(The fragment of wall painting with a picture of procession of partridges)からもPb系白色材料が検出されており、6-8世紀頃のウズベキスタン国内においてPb系白色材料が使われていることが確認された。Pb系白色材料は古代から近世に至るまで、西洋から東洋・日本に至る広範囲において代表的な白色顔料として使われており<sup>3-10)</sup>、シルクロード上の要所として栄えたウズベキスタンの遺跡においてPb系白色材料の利用が確認されたことは、絵画材料という側面においても、東西の流通が行われていたことを示す結果として興味深い。また、目や口の周囲に塗られている赤色の暈し部分からはHgが検出され、Hg系赤色材料が使われていることもわかった。

一方、濃青色で彩られている兜から検出されたのはCa、Fe、Srと少量のCuだけであった。中央アジアという地域と7-8世紀という時代を考えたとき、使われている青色材料として最も可能性が高いのはラピスラズリである。ラピスラズリの主たる原産地はアフガニスタンであり、ウズベキスタン南部に隣接する地域である。ラピスラズリは通常、単一の鉱物として存在するのではなく、青色の鉱物(青金石・Lazurite  $\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2$ )、白色の鉱物(苦灰石・Dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ あるいは方解石・Calcite  $\text{CaCO}_3$ )、金色の鉱物(黄鉄鉱・Pyrite  $\text{FeS}_2$ )を随伴して存在していることが多い<sup>11,12)</sup>。これらの鉱物の構成比率によって元素の検出量は大きく異なるが、今回の測定条件で蛍光X線分析を大気中で行った場合、検出される元素は主としてCaとFeだけであることがわかる。本資料の青色部分から得られた蛍光X線スペクトルと、比較のために同条件でアフガニスタン原産のラピスラズリ鉱石(東京文化財研究所所有)を分析した時のスペクトルを図5に示す。CaとFeの検出割合は異なるものの、他の元素はほとんど検出されず、よく似たスペクトルを示していることがわかる。また、兜上部には薄青色部分も確認できるが、検出元素はまったく同じであり、濃青色材料の剝落によって生じていると推定された。

青色の兜の後ろ(左耳の後方)部分は黄茶色で彩られており、この部分からはFeが顕著に検出されるとともに、Pbが少量検出された。使われている黄茶色材料としてはFe系材料であると考えられるが、その下層にPb系白色材料が存在しているのかどうかを判断するのはなかなか難しい。兜の青色部からはPbはほとんど検出されておらず、青色の下層にPb系白色顔料は

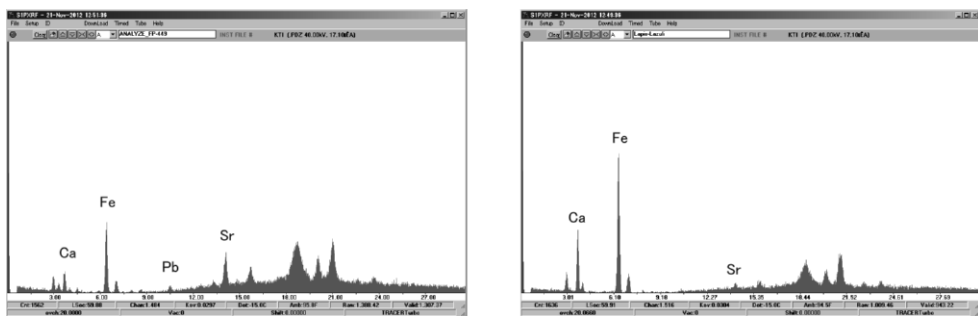


図5 (伝) サマルカンド・アフラスィアの丘遺跡(Afrasiab, 7-8世紀)出土の彩色壁画片の青色部分のXRFスペクトル(左)とラピスラズリ鉱石のXRFスペクトル(右)

塗られていないと考えられるため、この黄茶色部分の下層に Pb 系白色顔料が塗られているかどうかは、この図像に隣接する図像を考えるうえでも大切なポイントである。黄茶色部分から検出された Pb 量は少量であり、顔に塗られた白色材料の剥落・脱落等による影響も考えられ、もう少し詳細な観察が必要である。肩は黒色で描かれており、この部分の分析結果は白色部分とほとんど同じであった。蛍光 X 線分析では検出できない炭素を主成分とした墨やカーボンブラックなどが使われていると考えられる。

### 3-3. ブハラ・ワラフシャ遺跡 (Varahsha, 6-7世紀) から発見された 大型彩色壁画

ザラフシャン川をサマルカンドから西に向い、ブハラから40kmほどの処に、ソグド人の城郭都市遺跡ワラフシャがある。今回調査を行ったのは、白い象に乗って豹狩りをしている場面を描いた大型壁画 (The fragment of wall painting with a picture of procession of partridges) で、ウズベキスタン国立歴史博物館の収蔵品の中でも有名なものの一つである。制作当初は、室内の四方の壁面をぐるりと飾っていたと考えられ、全長は数十メートルに及ぶ壁画であったと推定されている。現在、博物館内の展示室に飾られている壁画は、横幅が約7m(高さ約2m)ほどであるが、向かって右半分 (図6) が出土資料を保存処置して強化したもの、左半分は現代の模造である。壁面の下地は石膏と土壌を混ぜ込んで作られており、その表面に彩色が施されていることが確認できる。描かれている色調は決して多くなく、赤色地を背景として、象や豹、そして菩薩等の図像部分に白色や黄色が使われている程度である。

今回の調査では、壁面のどの部分からも Ca, Fe, Sr, Cu が検出された。これらの元素は下地層として存在している石膏および土壌成分に由来していると判断できる。この作品で特徴的なのは、図像の中心に描かれている象の背に乗る菩薩やその敷布の白色部分だけから Pb が顕著に検出され、Pb 系白色材料が使われていることがわかったことである。豹や象など菩薩以外の図像の白色部分からは Pb は全く検出されず、Ca 系白色材料(石膏あるいはカルサイトなど)が使われていると考えられる。現在、Pb 系白色材料と Ca 系白色材料の色調の違いを目視で判断するのは大変困難であるが、明らかに図像によって白色材料を使い分けていたと考えられる結果である。



図6 ブハラ・ワラフシャ遺跡 (Varahsha, 6-7世紀) から発見された大型彩色壁画 (口絵参照)



また、背景の赤色部分から検出された元素はCa, Fe, Sr, Cu だけであり、赤色が濃いほどFe 検出量が多い傾向があり、Fe 系赤色材料が使われていると判断できる。この作品からHg やPb 系赤色材料は見出されなかった。黄色部分においても、検出元素に大きな違いはなく、使われている材料としてはFe 系黄色材料であると考えられる。赤色、黄色部分には濃淡の違う部分が確認できるが、濃淡による検出元素の差はまったくなく、剥落や汚れによる色調の変化であることが確認された。

#### 4. 考察

ウズベキスタン国立歴史博物館で行われた今回の調査は短期間であり、ごく限られた資料を分析できたに過ぎない。これだけの調査で作品の材料等についての考察を詳細に行うことなどとてもできないが、蛍光X線分析を使った今回の調査結果だけからも彩色材料について有益な情報が得られていることは確かである。以下に、今回の調査結果から読み取れる彩色材料に関する情報を色別に整理してみる。

まず、白色についてであるが、多くの資料で使われているのはCa 系材料である。下地の構成材料としても用いられており、石膏(Gypsum,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )が使われている資料が多いと考えられるが、カルサイト(Calcite,  $\text{CaCO}_3$ )等の可能性についても検討が必要である。さらに、いくつかの資料では明るい白色を描き出すためにPb 系材料が使われていることも見いだされた。使われているのは炭酸塩化合物(鉛白, Lead White,  $\text{PbCO}_3 \cdot 2\text{Pb(OH)}_2$ ) であると考えられるが、塩化物系化合物(塩化鉛, Cotunnite,  $\text{PbCl}_2$ ) などの存在についても考慮する必要がある。

赤色材料としては4種類の材料が使われていることが確認された。① Fe 系材料, ② Pb 系材料, ③ Hg 系材料, ④ Pb 系材料と Hg 系材料の併用である。それぞれ, ①ベンガラ(Iron Oxide red,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ②鉛丹(Minimum,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), ③辰砂(Cinnabar, HgS) ④鉛丹と辰砂の併用と推定される。④の利用においては, 2種類の材料をあらかじめ混ぜておいて彩色を行う混色であるのか, 重ね塗りが行われているのかは今後の検討課題である。

黄色材料として今回の調査で見いだされたのはFe 系材料だけである。黄土(Yellow ochre,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) が使われていると考えられる。As が検出された資料も存在するが, 彩色材料として考えるならば橙色材料としての鶏冠石(Realgar, AsS) か, 黄色材料としての石黄(Orpiment,  $\text{As}_2\text{S}_3$ ) であろうか。

青色材料として使われている可能性が示唆されたのはラピスラズリ(主成分は青金石Lazurite,  $\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2$ ) だけである。日本や東洋で主として使われている藍銅鉱(Azurite,  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ) は今回の調査では見いだされなかった。

黒色材料の特定は今回の調査では困難であったが, 大気中の蛍光X線分析では検出できない元素が主成分であるという情報は得ることができた。炭素を主成分とした墨やカーボンブラックなどの可能性が考えられる。

金箔については純金に近い材料が使われていることが明らかになった。資料によって金箔厚みに大きな違いがあり, 1枚の金箔の厚みを評価することが今後の課題である。

今回の調査資料のなかに, 緑色材料を見出すことはできなかった。シルクロード沿線の壁画や敦煌壁画の調査では, 孔雀石(Malachite,  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ) や他のCu 系緑色顔料が使われていることが報告されており<sup>3-9)</sup>, ウズベキスタン国内における調査が進めば, これらの材料が見いだされる可能性は高いと考えられる。

今回の調査では十分な検討が行われていない点も数多くある。下地層の組成およびその構造

についての検討はほとんど行われておらず、すべて目視での判断で材料の推定が行われている。ほとんどの資料について、下地は石膏と土壌による混合物であると推測したが、どの程度の粒度の土壌が混ぜ込まれているのか、藁スサなどの有機質繊維状物質がどの程度含まれているのか、また複層構造にはなっていないのかなど検討すべき課題は多い。さらに、今回の調査対象資料のほとんどは近年修復処置が施され、合成樹脂による強化処置が行われていることが確認できるが、以前の修復履歴についてはまったく不明である。何らかの修復が行われている可能性も高く、調査資料の熟覧を重ね、オリジナルな部分と修復部分とを十分に吟味したうえで、再度分析結果の評価が必要であろう。

彩色材料についても、今回は蛍光X線分析による元素情報だけから材料の推定を行っただけである。今後、顕微鏡観察などを実施して粒度の確認を行うことも必要であろうし、さらにはX線回折分析などで化学構造の同定を行うことができれば、より詳細で確証の高い情報を得ることができる。また、今回の調査ではまったく未確認である染料の利用についても十分な検討が必要であろう。3-2節で報告した(伝)サマルカンド・アフラシアブの丘遺跡(Afrasiab, 7-8世紀)出土の彩色壁画片では暈しの表現にも顔料が使われているが、これらの表現は染料で行われることも十分に考えられる。有機染料は無機顔料(鉱物)に比べて圧倒的に褪色が速いため、現在はほとんど色調を残していない可能性が高いが、分光分析などを駆使すればその痕跡を見出すことができるかもしれない。

本節で推定した彩色材料はいずれの材料もシルクロード沿いの壁画等で見いだされているものばかりであり、特異な材料が存在しているわけではない。しかし、シルクロードの重要な中継点であるウズベキスタンにおいて、それらの材料が科学調査によって確認された意義は大きい。

## 5. まとめ

以上、ウズベキスタン国立歴史博物館が所蔵する資料について、ハンドヘルド蛍光X線分析装置を用いて現地で行われた材料調査の結果を報告した。今回の調査は短期間であり、ごく限られた資料を分析したに過ぎず、これだけの調査でウズベキスタンの長い歴史の中で培われた材料の特質を引き出すことなど到底できるはずもない。しかし、蛍光X線分析を使った今回の調査だけからも彩色材料という観点において、いくつかの有益な情報が得られていることは確かである。今後、ウズベキスタン国内の文化遺産保護と人材育成が順調に進み、併せて今回のような科学調査が系統的に行われ、調査データの蓄積が着実に進められることを願ってやまない。本調査が、その長い道のりの端緒となれば幸いである。

本調査は、ウズベキスタン芸術アカデミーからの要請に基づき、独立行政法人国際交流基金の平成24年度文化協力事業「文化遺産保存修復技術実技講習(ウズベキスタン)」の「博物館資料保存修復コース」の一環として行われたものである。渡航および講習・調査の実施に関し、多くのご配慮・ご協力をいただいた国際交流基金、ウズベキスタン国立歴史博物館、その他の多くの関係者の方々に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 古庄浩明：中央アジア・ウズベキスタンにおける遺構保存の現状と課題，21世紀アジア学研究，7，63-72 (2009)

- 2) 古庄浩明：「ワークショップ・ウズベキスタンにおける文化遺産保存修復実技講習」について，21世紀アジア学研究，**10**，43-55 (2012)
- 3) Kossolapov A.J and Marshak B. 『Murals along the Silk Road』，(1999) Saint Peterburg
- 4) 李最雄：シルクロード石窟壁画の保存，保存科学研究集会『古代の色』要旨集，pp.6-22，独立行政法人奈良文化財研究所 (2002)
- 5) 独立行政法人文化財研究所，国立大学法人東京芸術大学『アフガニスタン流出文化財の調査』(2006)
- 6) 独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所『シルクロードの壁画』，第29回文化財の保存および修復に関する国際研究集会報告書 (2007)
- 7) 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所，敦煌研究院『敦煌壁画の保護に関する日中共同研究2007』(2007)，『敦煌壁画の保護に関する日中共同研究2008』(2008)，『敦煌壁画の保護に関する日中共同研究2009』(2009) など
- 8) 杉里直人，島津美子，景山悦子訳『考古学発掘によって出土した壁画の修復方法』，中央アジア文化遺産保護報告集第1巻，独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所 (2009)
- 9) 杉里直人，島津美子，景山悦子訳『古代ペنجセントの壁画と彫塑』中央アジア文化遺産保護報告集第2巻，独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所 (2010)
- 10) 早川泰弘，佐野千絵，三浦定俊：ハンディ蛍光X線分析装置による高松塚古墳壁画の顔料調査，保存科学，**43**，63-77 (2004)
- 11) 『新版 地学事典』地学団体研究会 (2000)
- 12) 堀秀道『楽しい鉱物図鑑』草思社 (1992)

キーワード：ウズベキスタン (Uzbekistan)；蛍光X線分析 (X-ray fluorescence spectrometry)  
；材質調査 (material analysis)；彩色材料 (coloring materials)

## Material Analysis of Objects Collected in The State Museum of History of Uzbekistan Using a Hand-held X-ray Fluorescence Spectrometer

Yasuhiro HAYAKAWA, Hiroaki FURUSHO\*,  
Shigeo AOKI\*<sup>2</sup> and Otabek ARIPDJANOV\*<sup>3</sup>

Republic of Uzbekistan is located approximately in the center of Central Asia and has many cultural heritage sites along the ancient Silk Road. The largest museum in Tashkent, the capital of Uzbekistan, is The State Museum of History of Uzbekistan. The Museum, belonging to the Academy of Science of Uzbekistan, and the Japan Foundation have been promoting projects on the protection of cultural heritage and development of human resources in Uzbekistan since 2008. As part of these projects, the National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo conducted lectures and practical investigation on the research of cultural property using a hand-held X-ray fluorescence spectrometer in The State Museum of History of Uzbekistan in September 2012.

Material analysis was conducted of several statue objects excavated from Fayaztepa ruins (southern Uzbekistan, 1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup> century), fragments of wall paintings from Afrasiab ruins (Samarkand, 7<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> century) and Varahsha ruins (Bukhara, 6<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> century) that are on display in the Museum. Gypsum was primarily used in most of the objects for coloring white. However, lead white was found for coloring bright white in the fragments of wall paintings excavated from Afrasiab and Varahsha ruins. Red materials including four types were identified: iron oxide red, minium, cinnabar, and a combination of cinnabar and minium. It was found that yellow material was only yellow ochre. There were objects from which trace amount of arsenic was detected. These might be derived from realgar with orange color or orpiment with yellow color. Only lapis lazuli is found as blue coloring material. Black material was considered to be carbon black. Furthermore, it was found that high purity gold leaf was used for decorating the surface of statue objects. Green coloring material was not found among the objects investigated.

The present investigation was performed on only a few objects collected in The State Museum of History of Uzbekistan. However, it is certain that useful information about coloring materials was obtained from the investigation using only X-ray fluorescence analysis. It is hoped that preservation of cultural heritage and development of human resources of Uzbekistan will progress well in the future. Furthermore, it is expected that scientific research for understanding materials and production techniques of objects will be carried out systematically, and data obtained accumulated steadily.

---

\*Komasawa University

\*\*Cyber University

\*\*3The State Museum of History of Uzbekistan