

## テラヘルツ波で見る古墳壁画



特 集

国立文化財機構奈良文化財研究所 埋蔵文化財センター 保存修復科学研究室  
室長 高妻 洋成 氏

### ● はじめに

川瀬先生からハイレベルな技術的なお話をいただきましたが、私どもはテラヘルツのイメージング装置を文化財にどのように応用していくのかということについてお話しさせていただきます。特に高松塚古墳やキトラ古墳のような古墳の壁画に対する応用事例をご紹介します。実際に市販されている装置を使って調査を行っていることをお話しすることで、川瀬先生からお話いただいた技術が文化財に今後どのように使えるかなどもお話しできればと思っています。

### ● 文化財とは

文化財と言いましても色々な対象のものがあります。襖、屏風など絹や紙の上に書かれた絵画や縄文土器のような土器、建造物も文化財です。他には木材や紙などに漆を塗った工芸品があるのですが、漆を塗ってしまうと中の構造が分からなくなるので、修理する際に内部の情報を知ることが必要になることがあります。遺跡そのものも文化財です。形がある文化財の他には、能や工芸技術、祭のような無形文化財があります。人間国宝のように、高い技術を持った方を文化財として指定していることもあります。能や祭などの無形文化財でも、用いられているものの修理をすることがあります。こういった文化財は、「歴史的な観点や芸術的な観点から、あるいは学術的な面において価値があるもの」と文化財保護法の中に記載されています。文化財というと、文化財保護法に基づいて指定されたものと捉えられがちなのですが、そうではありません。毎年審議会が審査をして文化財の数は増えています。指定されていなくても先ほど述べたような価値を有するものは文化財であり、実は私たちの身の回りにはたくさんの文化財があるということになります。

### ● 奈良文化財研究所について

もともと単独の組織だったのですが、独立行政法

人になりまして、東京文化財研究所と一緒にになりました。その後、他の国立博物館と一緒に、7つの組織の一つになり、国立文化財機構を設立しました。奈良文化財研究所は、古都である奈良の文化財を調査、研究、保存していくということで、奈良のお寺等の歴史的建造物、お寺等にある文書、歴史の研究、都城のような遺跡の発掘調査をしています。奈良文化財研究所の中には、企画調整部、文化遺産部、都城発掘調査部、埋蔵文化財センター、研究支援推進部があります。埋蔵文化財センターは、日本全国の埋蔵文化財行政に関する本来ナショナルセンターとして指導・助言をしていくために、調査技術の開発や研修を行っています。埋蔵文化財センターの中に保存修復科学研究室があります。遺跡そのものをどのように守っていくかなどの研究を行うとともに、遺跡から採取したものをいくつもの分析装置を使って分析したり、あるいは構造調査を行ったりしています。金属製遺物の場合、鉄さびの塊になっており、中に何が入っているか分からないため、X線透過撮影やX線CTを使って解析することを行っています。必要に応じてサンプリングを行うなどもしますが、貴重な文化財ですので、基本的には非破壊非接触で



講師 高妻 洋成 氏

分析を行うことが原則となっています。

### ● 装飾を有する古墳

高松塚古墳が有名な古墳として知られておりますが、この古墳には、石室内に塗られた漆喰の上に様々な絵の具を使って描かれた壁画があります。実は九州地方にも装飾をもつ古墳がたくさんありまして、熊本の釜尾古墳や福岡の宮若町にある竹原古墳では、石に直接絵が描かれている壁画があります。関東の方では、ひたちなか市に虎塚古墳があります。この古墳の白い壁は漆喰ではなく、白土が塗られていますので、漆喰の上に描かれた壁画は、高松塚古墳とキトラ古墳の二つだけとなっています。絵の具を使った絵画装飾以外のものでは、石槨や石棺そのものに彫刻をしているものがあります。また、宮城県の山元町では津波の影響で住宅の高台移転が行われたのですが、高台移転の前に発掘調査をした際、7世紀末に造られたと考えられるたくさんの横穴墓が見つかりました。その一部に3歳児が書いたような絵が発見されました。たいていの横穴墓の場合、墓が作られた以降に盗掘されておりまして、このような絵が描かれていると子供が入って落書きした可能性もあると言われてきました。しかし、この合戦原遺跡の横穴墓は、全く盗掘されておらず開けられていないため、ずっと埋まった状態であったことが調査で明らかとなっています。合戦原遺跡の横穴墓の調査により、この3歳児が描いたような絵というのが7世紀の絵であることに間違いはないということが初めて裏付けされました。

### ● 高松塚古墳とキトラ古墳

高松塚古墳とキトラ古墳は7世紀末頃に作られた



と言われておりまして、若干キトラ古墳の方が20～50年ほど古いのではないかと考えられています。キトラ古墳の方が石室の構造が古く、描かれている天文図の絵画が全く異なるなど、様々な要素からそのように言われています。2つの古墳で鎌倉時代に盗掘があったのですが、なぜ鎌倉時代だと分かるのかと言いますと、古墳の中で鎌倉時代の燈明皿が見つかっており、鎌倉時代に盗掘があったことは間違いのないだろうと言われていました。

### ● 壁画の保存方法

その後、この古墳の存在は長い間忘れ去られてしまいましたが、1972年に高松塚古墳で壁画が発見されます。これは日本で初めて、古墳の中に色んな絵の具を使って描かれた絵が発見された例となりました。この高松塚古墳から古代史ブームが始まったのです。11年後の1983年にキトラ古墳でも壁画が発見されました。同じくらいの時代に作られ、同じ時期に発見された2つの古墳なのですが、その後の経緯が全く異なります。高松塚古墳は発見されたその年に壁画を守るために屋根をかけて保護施設を作り、発掘調査を行いました。どのように高松塚古墳の壁画を今後保存していくかということが議論になったのですが、漆喰層ではぎ取り、博物館などで保護すべきという意見や、古墳と一体のものなので現地で保存すべきという意見がありました。結局、現地保存をすることになったのですが、一般公開は行われず、年2回点検のために一部の研究員が中に入り、場合によって修理することが行われました。ところが、2004年6月に壁画の劣化が明らかになり、もう一度保存方法に関して議論が行われました。結果的には、石室を解体して石材ごと壁画を取り出して、保存修理施設で修復をしていくこととなりました。これに対してキトラ古墳は、石室内の調査から漆喰が壁からはがれていることがわかり、地震などが起きると漆喰が崩落して絵がなくなってしまうということが懸念されました。キトラ古墳の漆喰の状態は高松塚古墳に比べてまだ良い状態だったので絵を保存するためにも、漆喰層で絵をはぎ取ってきて修理をして、保管を行うことになりました。

### ● 古墳壁画の材料調査

修理では様々な材料を使ってクリーニングをする

ので、絵に使われている材料が修理で使われる材料の影響を受けないかなどを調べなければなりません。また、漆喰や石の状態を調べることも必要となります。色料にもいろいろあります。材料分析は非破壊接触で行わなければならないので、漆喰の上には泥やカビなどが付着している場合があるのでさらに困難を極めます。漆喰壁面の劣化として、彩色層では色料の剥落や褪色、漆喰層では石材からの剥離やカルサイトの溶出による「粗鬆化」、石材では亀裂や脆弱化などがあります。このような劣化した漆喰壁面を修理していくのですが、修理とは描かれた当時のきれいな状態に戻すのではなく、発見された当時の姿をいかに維持するか、あるいは付着している汚れをどこまで取るかということが文化財の修理となります。修理は、劣化原因の解明、材料の種類、材料の状態の特定という3つの観点から進めていきます。壁面の修理では絵の方が注目されがちなのですが、絵は漆喰に描かれているので、漆喰の劣化を把握することなく絵を十分に保存することはできません。そのため、漆喰の状態を知りたいと思ってきたのですが、テラヘルツを使って絵画の調査を行っている事例があることをお聞きし、テラヘルツを壁面に応用できないかということを始めました。

### ● 漆喰層をテラヘルツ波で見るために

漆喰の状態を知るためにはテラヘルツの領域の波長帯が一番ちょうどいいことがわかりました。テラヘルツ波が5mm厚の漆喰層を透過するか、土や泥の粒度の違いでテラヘルツ波の透過性は異なるか、壁面に対する安全性の確保ができるかどうかなどを調査しました。検討委員会では安全性の確保が重要視されていて、調査するうえでの安心感をお伝えしなければ、調査が始まらないといった課題もあります。一度試しにやってみようといったことはできず、最初の一步を踏み出すためには、装置の安全性やこの装置を使えばどういったことが分かるのかということを検討委員会に伝えなければなりません。そこで、まず初めに「被覆土の粒度と厚み」を変えて実験を行いました。木材の上に水銀朱で数字を書き、その上に色んな粒径の土を載せ、テラヘルツ波で観察しました。非常に粒径の細かい粘土のようなものだと、5mmの厚さで塗ったとしても、透過して下の数字を見ることができることがわかりました。

実際の壁面についている土の粒度を見ますと、非常に細かい粘土のようなものが多いので、テラヘルツを用いれば、土の下に絵が隠れていても見ることができる可能性が高いことがわかりました。もう一つ知りたい情報として、漆喰の状態がありました。テラヘルツ波が漆喰のどこまで入り、どういったものが見えるのかを調べるために、漆喰の厚さを1, 3, 5mmに変えたもので実験をしました。そうすると、5mmでもよく透過することがわかり、漆喰の状態を調べることができるのではないかと結論にいたりしました。

### ● 安全性の確保

テラヘルツの装置を使って安全性を確保するために、手作りで独自に観測装置を作りました。プラスチック製の窓の上にテラヘルツ装置を設置して、仮に装置が落下しても壁面に当たらないように工夫しております。今の形態としては、プローブをX軸Y軸に取り付けて、25cm四方の面積で移動させながら測定しています。

### ● 高松塚古墳壁面の漆喰層の状態

この絵は東壁にある女子群像の絵です。いわゆる飛鳥美人として有名なのは西壁の女子群像なのですが、それぞれ絵を描いた人が異なります。東と西の絵を比べると、絵の上手さで言うと東壁なのですが、西壁の絵は遣唐使として大陸の技術を新たに持って帰ってきた人が描いていると考えられています。東壁の絵は描かれている女性同士の足と頭の位置がほとんど揃っているのに対して、西壁の絵は、女性同士の足と頭をずらすことによって奥行き感を出しているというような違いがあります。この東壁に描か





れた飛鳥美人の漆喰を見ると、土が被ったり漆喰が剥げていたりするところがあります。テラヘルツを用いた結果を見てみますと、渦巻き状の線になっているところなどが見え、渦巻き状の部分は反射が強いといったことや、表面が非常にしっかりしているところも反射が強いといったことが見えてきました。これは深さ方向で解析していくと、いろいろなところで、「ここは硬いだろうな」「ここは浮いているだろうな」といったことが何となく分かります。何となくではいけないのですが、まだ解析の手法として明確なことが言えず、いろんな状態の漆喰のサンプルを準備して、そのシグナルと状態を見ていく過程がこれからまだ必要と考えております。

それにしても、よく漆喰の内部の状態を表しているなどという実感を得ることができました。この状態を実際に修理されている方、直接壁画を触ることができるのは、日本の掛け軸や襖絵を修理している「装潢師」と言われる修理技術者の方だけです。私たちもこのような分析をしますが、漆喰に直接触ることは許されていません。そのため、テラヘルツで撮ったものと、実際に漆喰を触られている方の感触を聞いて比較してみました。反射が強いところは硬いのではないか、ここは漆喰が浮いているのではないかなどという私たちのシグナルからの予想と、装潢師さんが触ったときの感触を比較すると、大方一致することが分かりました。これからまだ詰めていかなければならないところはたくさんあるのですが、テラヘルツはこのような文化財の分析に使えるのではないかとさらに強く実感しています。

### ● テラヘルツを用いた漆喰層のイメージング

横から見て、漆喰が石材から確実に浮いていると思われる部分に関して、どれだけ浮いているかをテラヘルツのイメージングで見ることができないかということを試みました。表面の反射のシグナルを除いて、漆喰内部のみを見るようにすると、浮いている部分が明るく写り、浮いていることを実際に確認することができました。ただ、浮きと言いましても、場合によっては暗く写る場合もあります。そのため、修理する方の感覚も頼りにしながら、シグナルの取り扱いというのを考えていかなければいけないと考えております。ただ、修理する方が触って分かればいいのではないかという意見もあるのですが、修理す



る方がおっしゃるには、それは私たちの感覚であって本当にそうであるかは分からないとおっしゃっていました。テラヘルツのイメージングの結果と修理する方の感覚をすり合わせていくと、現場でもこのテラヘルツの技術は役に立つということができると思います。今回は高松塚古墳を例に話をしましたが、実際は障壁画、襖絵、板絵のようなものにも修理技術者の方と協力しながら測定をしています。

### ● その他のテラヘルツ利用例

これは仏様が入っているような箱で、外側は外してあります。この奥に絵が描いてありまして、この中にプローブを入れていくような専用のフレームを作っていただきました。それから、中国の内モンゴル自治区にあるお寺の壁画の小さなサンプルをお借りしまして、その測定も行っております。安心感としては、計測器とサンプルの距離が10 cmくらいあります。この部分が非常に重要です。この間が2 cmあったとしても、当たってないから大丈夫じゃないかと思われがちなのですが、検討委員会の先生に言わせると、2 cmは不安だと言われます。そのため、安心感を与えるという意味でも10 cmの距離をとることは大切です。実際は細かくデータを取っていきますので、3 cmくらいまで近づけますが、この3 cmまで近づけるためにも細かな説明が必要となります。

### ● 今後の展望

技術的なことはお話しできませんでしたが、いろんな材料が使われている文化財の構造調査でありますとか、先ほどお話したスペクトルをとることができるようになってくると、非常に画期的な装置になっ

てくるのではないかと考えております。そのため、文化財調査のために装置をカスタマイズしていただくと非常にありがたいと考えております。いろいろな分析機器といいますのは、工業的には非常に純粋なものを取り扱いますので、純粋なものをいかに細かく分析できるかといったところが求められるのですが、文化財の場合は、いろんな材料が使われており、しかも、その材料がいろいろな劣化状態になっているという、非常に混沌とした状態です。そのような文化財を調査できるような装置を作っただけだと、どんなところにも応用可能な装置になるのではないかと考えておまして、技術者の方にはそういったお願いをしております。今回は技術者の方も多く来られているということですので、是非私どものような文化財を調査している者にご協力いただきまして、いろいろと教えていただけたらと思っております。

#### <質問>

- ✓ 今回テラヘルツを用いて深さ方向で分析されていましたが、顔料のような材料の分析はやっていないのでしょうか。
  - 漆喰の上に描かれている壁画の絵具の量は油絵などに比べますと非常に少ないため、イメージングで表すことが非常に難しいです。ものによっては、水銀のようなものでは、非常に強い反射が得られますので、スペクトル的には何か得られると思えます。全体で言いますと、絵具を特定できるほどの絵具の量がなく、透過してしまうのではないかと考えております。今は、漆喰の状態を面的にとらえるのに有効なので、テラヘルツを使っていたのですが、これから先は、全体の様子が分かれば、点で近づけていき、調べていきたいと思っております。
- ✓ 岩窟において、非常に表面がもろく、層状に浮いていることがあるのですが、そのような事例においても、テラヘルツで剥離等の検出は可能なのでしょうか。
  - 技術的なところはわからないのですが、現在テラヘルツと同時に、ミリ波もやっております。石のようなある程度厚みのあるものの剥離を見る場合は、ミリ波のほうがいいのではないかという感触をもっております。装置によるとは思いますが、テラヘルツはあまり内部奥深くまで入ってくれなかった印象を持っています。
- ✓ 漆喰層の厚みで、1, 3, 5 mm で実験されていましたが、3 mm はあまり数字がはっきりしていなかったと思うのですが、それはどのような影響があるからでしょうか。
  - 厚みとテラヘルツの相互作用があり、閾値が存在しているのではないかと考えていますが、そこまで追及はまだできておりません。

