

キトラ・高松塚古墳のフォトマップ撮影と画像の保存活用 -埋蔵文化財写真でのデジタル画像とデータベース-

The photo map photography of KITORA・TAKAMATUDUKA burial mound and
the save inflection of the image

中村 一郎

Ichiro Nakamura

独立行政法人国立文化財機構 奈良文化財研究所, 奈良市二条町2-9-1

Nara National Research Institute for Cultural Properties, 2-9-1 Nijocho, Nara

あらまし：文化庁の恒久保存方針にしたがって、はぎ取り・解体が相次ぐ飛鳥の古墳。現地保存から解体保存へ切り替えるために最大限の記録を残さなければならない。正確な寸法まで再現できる画像記録の「フォトマップ」を作成した。試行錯誤と記録の保管まで含めたワークフローの構築をおこなった。

Summary：An old burial mound of Asuka where I strip it off according to a permanent save policy, and the dismantling occurs successively of the Agency for Cultural Affairs. We chose "the photo map record" of the image record that We could reproduce to accurate size to leave a maximum record among a local save to change it. We built the workflow which We included to trial and error and the safekeeping of the record.

キーワード：飛鳥, 古墳, フォトマップ, 記録写真, データベース

Keywords：Asuka, burial mound, photo map, photorecording, database

1. はじめに

「飛鳥」現在の行政区画で奈良県高市郡明日香村に所在するその地には、律令制の整う以前の古代より宮が置かれ古墳も点在する地域である。その南部に位置するキトラ古墳・高松塚古墳の2つの古墳は、共に棺を納める石室内部に極彩色の壁画が描かれていることで有名である。また、両古墳の壁画は発見されてから現在までのあいだに、消失・崩壊寸前の状態まで劣化した事でも知られた古墳である。

両古墳は数年前から文化庁による恒久保存方針に基づいて、それぞれ内部発掘した上ではぎ取り・石室解体などの事業が文化財研究所に委託され、現在はその最終段階まで進められている。

内部発掘調査にあたり、石室内部壁画の正確な状態を記録する必要がある。狭い空間での壁画まで含めた実測作業は非常に困難な上に壁画を傷つける危険性もあるため、この調査では非接触で写真画像を利用した正確なデータを取得できる「フォトマップ撮影」の技術を利用することになった。

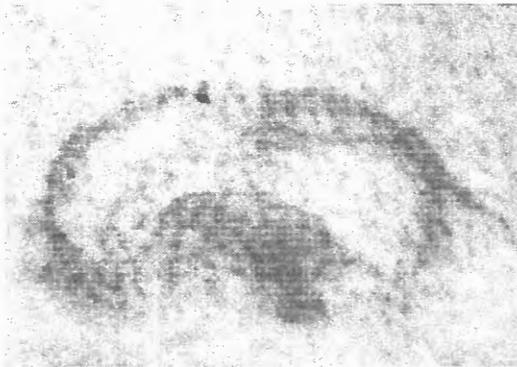
本稿ではフォトマップ撮影の概要とその詳細、事後のデータ活用方法や画像資料の保存における問題点などを検証していきたい。

2. キトラ古墳のフォトマップ撮影

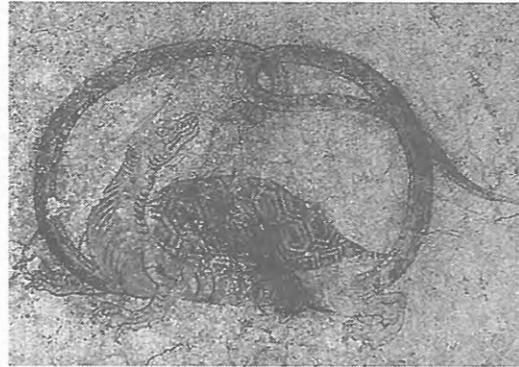
キトラ古墳の概要

キトラ古墳は飛鳥地域の西南部にある国の特別史跡に指定されている古墳で、1983年のファイバースコープ調査で石室北壁に描かれた玄武（東西南北の守り神を表す四神のひとつ）が発見された。その後10数年を経て1998年には超小型ハイビジョンカメラで画像調査がおこなわれ、この時には四神のうち白虎と青龍、そして天文図などが難気ながら確認されている。

奈良文化財研究所では2度の内部画像調査で確認された画像をさらに鮮明にする目的で、2001年にコンパクトデジタルカメラによる画像調査を明日香村教育委員会から受託しておこなった。写真1～4に見られるようにその時々の最新技術で記録しているが、技術の進歩はまさに加速度的に進んでいることがわかる。こ



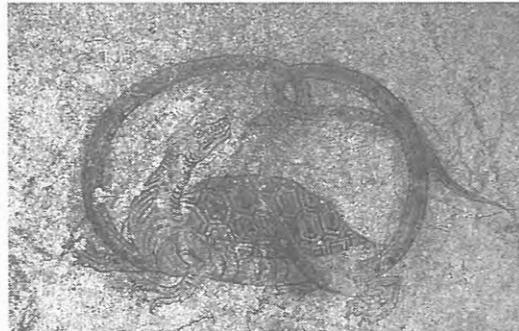
1983年内部画像調査（ファイバースコープ）



2001年内部画像調査（小型デジタルカメラ）

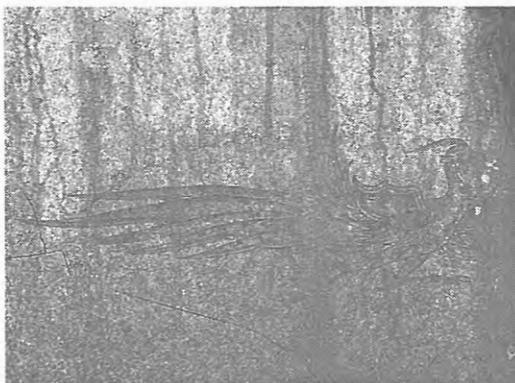


1998年内部画像調査（超小型ハイビジョンカメラ）



フォトマップ画像

の時初めて南壁に描かれた「朱雀」の躍動感ある姿や四神の下部に配置されていた十二支像の痕跡をとらえることに成功した。



2001年画像調査で発見した「朱雀」(Copyright Asuka 2001)

恒久保存方針

その後の内部追加確認調査などを経て、カビの発生や壁画そのものの劣化が確認された。これにより文化庁が内部発掘調査の上、保存方法を検討。その結果、現在もおこなわれているように壁画をはぎ取って保存する方針が決定した。

これに先立ち、内部壁画の現状記録と正確な寸度入り画像を取得するために「フォトマップ撮影」をおこなうこととなった。

フォトマップ撮影

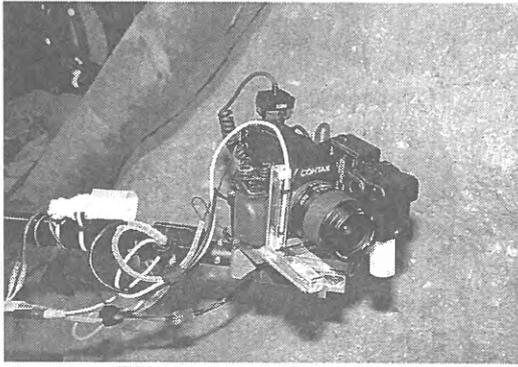
フォトマップ撮影とは、写真測量の原理を応用して、まず全周にわたる寸法入りの写真を撮影。レンズの光学的な誤差などを解析して精密な平面画像を作成する。そののち作成した平面画像に詳細に撮影した画像を変形して貼り込む作業をおこなって、精度の高い平面画像を作成する技術である。

キトラ古墳の場合は発掘調査のうち、内部調査前に盗掘坑を検出した段階と、内部発掘調査後の流入土がすべて除去された段階の2度のフォトマップ撮影が要求された。2度とも内部に入つての撮影が許されない制約があり、盗掘坑から遠隔操作にて撮影することとなった。

使用機材

フォトマップ撮影をおこなうにあたり、遠隔撮影が必要な点・遠隔操作にて膨大な数の撮影をおこなわなければならない点・デジタル解析にて画像を作成する点などの理由から開発の著しいデジタルカメラを使用して撮影することを選択した。キトラ古墳では1600万画素のデジタルカメラバックを装着したオートフォーカスの中判カメラを使用することとなった。

画角やピント等の確認をおこなうためにカメラバックの画像をリアルタイムで確認できる改良を模索した



フォトマップ撮影をおこなったデジタルカメラが、この時点の技術では困難であったためにカメラ側でファインダーに超小型ビデオカメラを装着して常時モニターを確認しながら作業をおこなえるようなシステムを考案した。このシステムは、のちの高松塚古墳の調査などにも応用され、大変利用価値の高いシステムとなった。

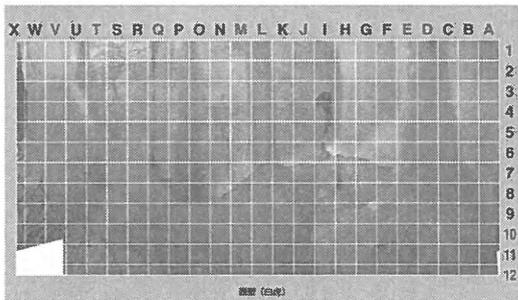
光源は市販のフラッシュにオープンチューブタイプ（マイクで言えば全指向性：全面にむら無く配光できる）のアダプタを組み合わせることで照明むらの無いようなライティングとした。

カメラボディなどの重量物を支えて最大3.5mの長さで遠隔操作をするために映画撮影用の照明スタンドを改良、先端部に装着したカメラの角度を自在にコントロールできるようにした。このスタンドを作業スペース下部に設置したレールによって平行移動する仕組みで平面写真を撮影する計画を立てた。

これらの装置をケーブルで石室外のPCやモニターに接続して外部からすべての操作をおこなえるようにするとともに、石室内にあるカメラなどの位置や状態をモニターできる監視用小型カメラも設置した。

撮影作業

撮影にあたっては、事前の画像調査と画像によって作成した概略の内寸測定結果をもとに大まかな実寸大画像を作成した上、フォトマップ機材の解像度やレンズ画角などから10cmメッシュの撮影範囲を区切って



概略図をもとに撮影計画をたてる

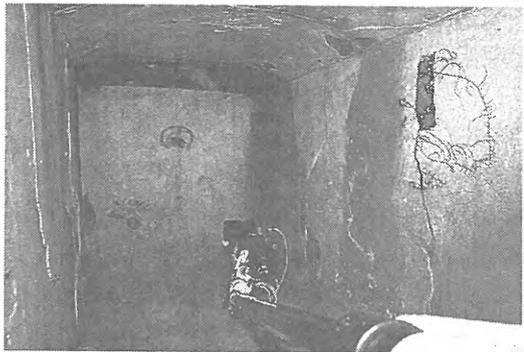


実物大模型によるシミュレーション
合計1600カットの撮影を計画した。

このような撮影では、予期せぬトラブルや事故に備えて事前に綿密な計画を立てて望まなければならない。特に湿度90%以上の石室内にある壁画は非常に脆く、ほんの少しの接触で崩壊する危険性が高い。完全非接触が求められる。幸い手元に大まかな実寸大の石室模型があったので十分な操作シミュレーションまでおこなうことができたため無用のトラブルは避けることができた。



フォトマップ撮影風景



フォトマップ撮影風景

このようにして撮影した画像を専用の解析ソフトウェアで精密平面画像と詳細画像の貼り込みをおこなうとフォトマップ画像ができあがることとなる。この画像とともに壁画の輪郭線などをプロットしたベクトル図面データを書き起こして詳細図面を作成することも

可能となった。

キトラ古墳ではのちに保存対策として、壁画をいくつかの部分に分割してに漆喰ごとにはぎ取り、保存処理を施すこととなった。この作業の際には原位置把握やにはぎ取り後の復元的貼り合わせ作業でフォトマップ画像が大変有効に活用できた。

3. 高松塚古墳のフォトマップ撮影

高松塚古墳の概要

高松塚古墳はキトラ古墳と同じく飛鳥地域の西南部に位置するが少し北にあり、藤原宮中軸線と天武・持統合葬陵やキトラ古墳などを結ぶいわゆる「聖なるライン」上に位置している。

1972年に発掘調査がおこなわれ、極彩色の人物壁画が発見された日本でもっとも有名な壁画古墳である。古墳は後に国の特別史跡に指定され、壁画は国宝に指定されている。

この壁画の重要性から、墳丘南側には温湿度を石室内と同じ環境に保つ前室が設置され、最新の注意を払って保存処置がなされてきた。しかし、ここ数年の気候変動や人的過失ほか報道などで知られるとおりの様々な要因からその劣化が進み、早急に恒久的な保存処置が必要な事態を迎えた。

このような事態を受けて文化庁は古墳を発掘調査の上、石室を壁画ごと解体し近くに設置する保存処理施設に移送して保存処置をおこなうことを決めた。奈良文化財研究所ではこの保存事業のうち、発掘調査と石室解体を受託し、調査を進めることとなった。

この事業は特別史跡である古墳本体を発掘調査し、国宝を擁する石室を解体するという前代未聞の大プロジェクトであり、中でも記録に関しては最大限の注意を払っておこなうことが求められた。

フォトマップ撮影

このような状況の中で、肝心の壁画本体の写真記録に関して、これまでどのようにおこなわれてきたのかまず調査することを始めた。

写真記録に関して、発見当初に調査団からの依頼で京都の美術出版社が撮影した写真がある。これは壁画を正面からとらえた4×5判のカラー写真である。光源は当時のスタンダードであるタングステンランプである。状況を示す記録写真としては良好な撮影であると思われるが、撮影から30年あまりを経過しており、写真色調の劣化は激しい。さらに色調再現をおこなうためのターゲットが写し込まれておらず、当時の色調や

形状を再現することは不可能である。

その後、数度の調査・点検時に記録用として撮影された写真は存在するが、それぞれ小型カメラで撮影されたもので記録写真としては不足である。

2004年に東京文化財研究所が「国宝壁画」図録撮影のために様々な光学的手法と共に撮影した写真がある。高松塚国宝壁画の劣化を世に知らしめた図録である。この撮影は非常に高精細で特殊偏光撮影されており、色材確認などには大きな威力を發揮している。しかし発見当時の写真と同じく色調・形状を示すターゲットが撮し込まれていないために再現は困難である。

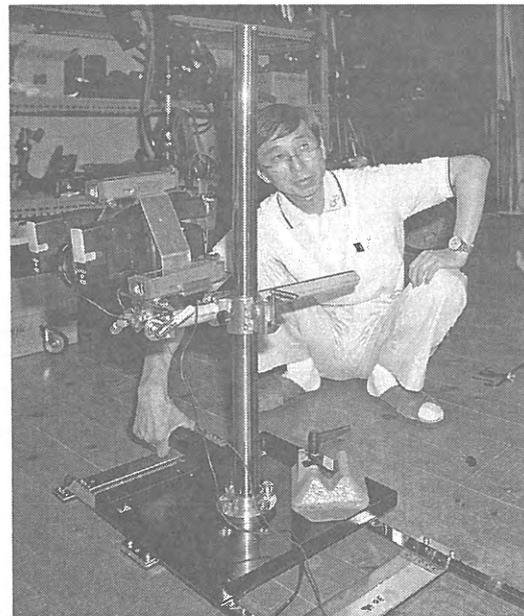
こういった状況から、写真記録としては非常に高精細なものが残っているものの、正確な色調再現・形状再現などが可能な記録を残す必要があると判断し、キトラ古墳で大きな成果をあげた「フォトマップ撮影」をおこなうこととなった。

使用機材

高松塚古墳でフォトマップ撮影をおこなう条件としてキトラ古墳とは異なる点がある。石室内に機材を入れて撮影することが可能な点である。つまり、キトラ古墳では困難であった壁画面への正対撮影が可能ということである。これはフォトマップ撮影においては画像の精度を上げる大きな利点である。

様々な検討の結果、次のような撮影装置を制作することとなった。

- ・レールを設置してカメラの水平移動が可能な架台
- ・架台上でカメラを前後させる機能を持たせる



制作した撮影用架台

・カメラを壁面にミリ単位で正対させる装置
これら制作に必要な装置は医療用精密機器などを製作している業者に頼むこととなった。

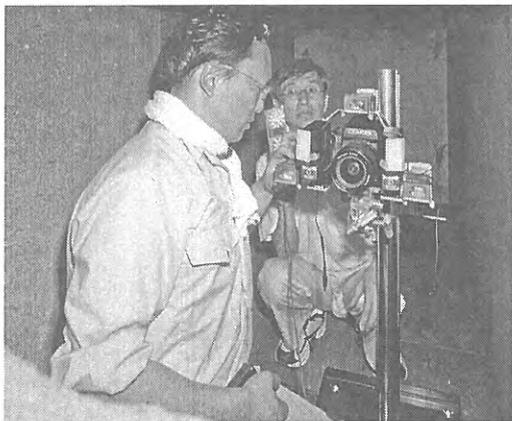
製作した架台装置に3900万画素（キトラ古墳は1600万画素）のデジタルカメラを装着して撮影することとなるが、撮影に必要な操作自体はキトラ古墳と同じく石室外で遠隔撮影の手法をとる。これは石室内で作業をする人間がすべての操作をおこなうことによって負担が大きくなり、事故を起こす確率が高くなるからである。この場合の事故は国宝の損傷であり、あってはならないことである。石室内では床以外の部分に完全非接触で作業を行わなければならない。

撮影作業

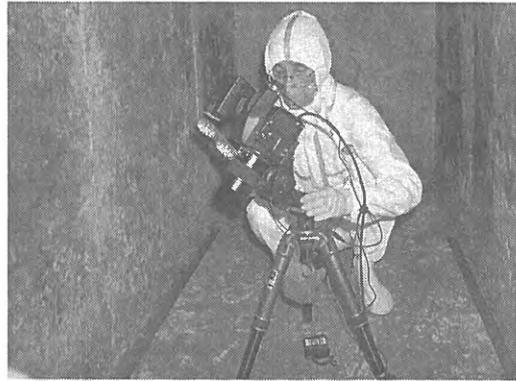
実際の撮影をおこなう前に、不測の事態を避けるためにできるだけ実地に近い環境でのシミュレーションをおこなった。高松塚古墳の場合、石室解体作業検討のために京都府加茂町に実物大の石材を組み合わせた実験場が設置されていたので、その石室内にてカメラ動作シミュレーションや撮影作業のシミュレーション、機材設置の訓練などをおこなうことができた。実際にこのシミュレーションをおこなったことによって特注機材の不具合や撮影作業時の問題点などを洗い出すことができ、本番でのトラブルを未然に防ぐことができた。

こうした準備作業を経て本番のフォトマップ撮影に入ることになる。本番ではまず標定計測用のスケール入り画像を撮影した上で、キトラ古墳と同じく撮影範囲の概略図を作成し、逐一確認しながら詳細画像を撮影することになる。今回は40cm×60cmの画角で撮影をおこない、画像の中でレンズ歪みが少ない20cm四方の部分を取り出してマッピング用画像とした。

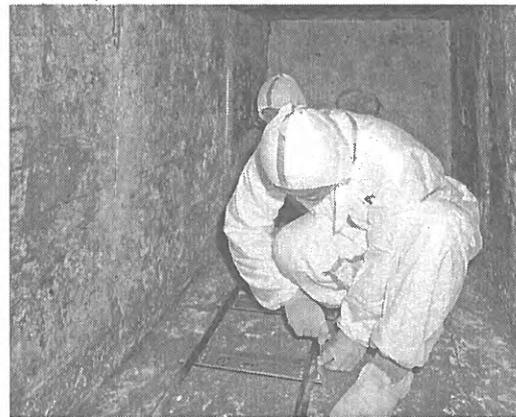
撮影枚数は、東西壁で約80カット近く、天井・床面



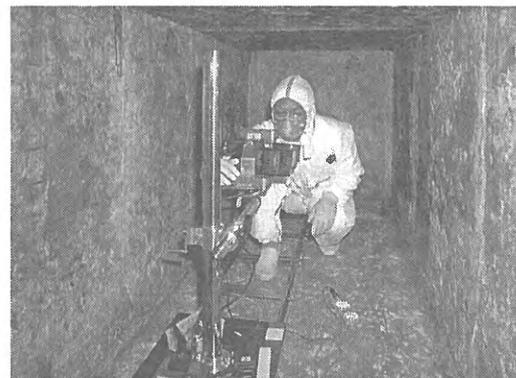
実験場でのシミュレーション



標定計測用の画像を360度全周分撮影する



石室内に平行移動用のレールを設置



3つの測距機でカメラを壁面に正対させる



画角などをモニタしながら石室外でシャッターを切る



フォトマップ成果品データを展開図におこす

で約70カット近く、南北壁面で30カットほどであり、各カットにつき画像のノイズ発生時のバックアップを確保するため2ショット撮影とし、計算では正対画像撮影が約750ショットほどとなる。また、標定計測用の画像を約200ショットほど撮影するため石室内で合計約1,000ショットほどの写真撮影を計画した。

実際の撮影作業では綿密なシミュレーションをおこなっていたにも関わらず低温・高湿度の環境が影響して架台部分などに不具合が出たが、バックアップの機材や補修部品を確保していたことで作業の停滞は回避することができた。

石室内での作業は、壁画保護のため内部温度を常に監視しており、上昇傾向が見られると作業中断のルールがある。作業は1人が継続して行うと肉体的・精神的疲労から事故の可能性が高くなる。これを回避するため、石室内作業のカメラマンは私と井上専門職員の2人交代体制でおこなった。心がけて冷静に作業をおこなったためか温度上昇もほとんど無く、中断したのは1度だけであった。

特注機材の精度は非常に高く、思うように撮影することはできたが、壁画面まで最短約3cmまで接近しないと撮影できないカットもあり、万が一に備えてワイヤーで補助的にカメラを支える改良なども加えた。

1日の作業時間は約7時間で作業日数は合計5日間に及んだ。作業分担は石室内カメラ操作が2名、盗掘抗より石室内作業を監視する監視員が1名、カメラから送られたデータをチェックする要員が1名、ファインダーをモニタしながらシャッターを切るカメラマンが1名の5人体制で現地作業をおこない、前日の撮影データをチェック・整理する人員を調査事務所において合計6名で全体の作業を進めた。

デジタル画像によるフォトマップ作成の撮影が無事終了したのちに、より客観的な証拠性のある写真資料を作成する意味で各壁面の大判カメラ撮影もおこなった。それぞれのフィルムには色彩再現用のカラーチャ



カラーチャートを写し込んだフィルム撮影の「飛鳥美人」

ートを写し込んであり、撮影時点での色調を極力正確に再現できるアナログ写真も確保した。

このようにキトラ古墳・高松塚古墳壁画の写真記録においては、これまでに例を見ない精度で記録を残すことを求められた。また、その後石室解体・発掘調査がおこなわれた高松塚古墳では全過程において詳細な写真記録が必要とされたため、その約8割はデジタル写真での記録、大判アナログ写真は調査の区切りのみ撮影という方法で撮影を行うこととなった。

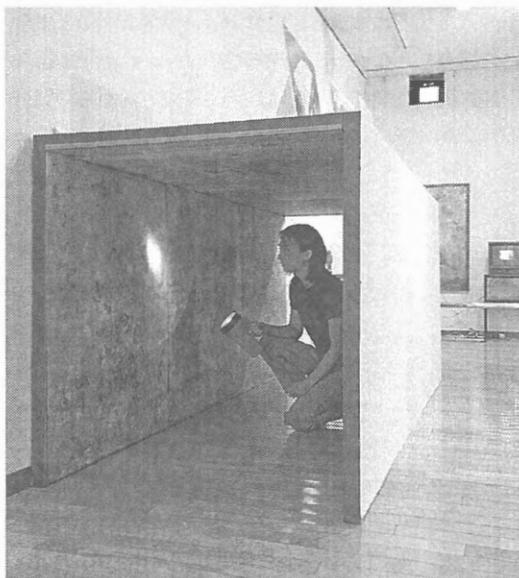
4. フォトマップ・古墳写真の公開と活用

文化財の写真は、保管・保存の手段を講じた後に公開活用をおこなうことになる。フォトマップ撮影は、作成目的が発掘・解体調査の参考資料と壁画の精密記録であるが、一方で積極的な公開活用も求められる。

作成したフォトマップ画像はキトラ古墳・高松塚古墳とも、原寸大のパネルを作成してそれぞれ広く研究用資料として活用されることを目的に報道公開をおこなった。また、一般向けには原寸大石室模型を作成して写真室企画の飛鳥資料館企画展「ときを撮す」において、石室体感展示をおこない好評を得た。

ほかにも、石室内の動画記録などは撮影が不可能なため、フォトマップによって得られた画像をハイビジョン画質にて石室の3Dデータにテクスチャマッピングをおこない、フルハイビジョン動画として石室内をリアルな映像で紹介するソフトを制作、研究所の資料室にて一般公開をおこなっている。

実用としては、現在おこなわれているキトラ古墳壁



一般向けの公開として企画展示をおこなった

画保存修復のためのはぎ取り処理や、高松塚古墳の壁画保存修復において処理前の正確な壁画状態を示すデータとして活用されている。

また、画像処理によって作成した寸度再現がされているフォトマップ画像は巨大な画像ファイルとともに巨大な画像を分割保管し、再構成して高精細画像を軽快に表示するイパレットネクサスと呼ばれるソフトウェアで活用している。これにより修復現場にて高精細画像が効果的に運用可能となり、修復作業の幅を広げることにつながった。

原画像の保管に関してフォトマップ画像処理をおこなう前の撮影RAWデータは部位を示すファイルネームを付与し、テキストベースの表形式データベースを作成した上で安全性の高いストレージに格納している。これにより、後の部分的な検討や色調・歪みの検証などに元データが必要になった場合、目的の画像をすぐに見出すことができる。文化財写真をデジタルデータで作成した場合は、できるだけ恒常性の高いフォーマットで画像を残すとともに元データまで含めて保管し、それを必要なときにすぐに引き出すことができるオープンな形のデータベースが必要である。

5. 文化財デジタル写真画像の保管・長期保存

キトラ古墳・高松塚古墳の事例で紹介したように、文化財の写真記録においてもデジタル写真画像の利用は近年増加傾向にある。これまで文化財の写真記録には、その保存性に関する実績や保存方法が確立されていることなどからアナログ写真による記録を主に採用してきた。しかし、今後はアナログ写真材料の製造停止や廃止が進み、デジタル写真が更に進歩することは確実である。早急にデジタル写真運用に関する指針が必要で、筆者も所属する文化財写真の撮影から保存活用まで含めた研究会である「埋蔵文化財写真技術研究会」において現在は次の5項目からなる指針を普及させている段階である。

デジタル文化財写真保管運用のガイドライン

- 1, 高品質のデジタル画像データを取得するために最善の方法を講ずる。
- 2, 正確で公正なデジタル画像データを取得するために最善の方法を講ずる。
- 3, デジタル画像データに信頼性を損なうような改変をおこなわない。また、改変をおこなうことが困難な方法を講ずる。
- 4, 文化財デジタル画像データは広く公開し、資料と

して活用できるように努める。

- 5, 文化財デジタル画像データを将来にわたり有効な資料として活用できるようデータの保存管理に関して最善の方法を講ずる。

以上のガイドラインを具体的に運用する指針として以下の内容を掲げる。

～デジタル文化財写真における指針～

- 1 高品質なデジタル画像データとは、被写体について将来の観察・検証に耐えうる解像度を備えた写真画像データである。この場合の解像度とはピクセル数に依存するのではなく被写体ごとに必要な情報量とそれを表現するライティングがなされている画像データであり、闇雲にピクセル数が多くてもブレた写真・ボケた写真・適切でないライティングの写真などは意味をなさない。
- 2 正確で公正なデジタル画像データとは、写真画像を正確に再現できる写真画像データである。被写体を誰も知らなくなった将来においても、色調や歪みに関してそれを最大限復元できるターゲットが写し込まれており、誰もが元の被写体を観察・検証できる写真画像である。
- 3 デジタル画像の改変に関しては、悪意があれば改変することは容易であり、それを防ぐことは技術的に困難である。ただし、これに関しては銀塩写真においても同じであり、文化財写真を扱うものとしての自覚とモラルに依存するのみである。最大限改変をおこないにくいワークフローの構築と規制作りが必要である。
- 4 デジタルデータの利点である公開普及をおこないやすい点を最大限に生かし、1・2で挙げるような高品質で正確なデジタル画像データを広く公開普及することが真の「デジタルアーカイブ」である。ワークフローの構築には「公開・普及」に関する扱いやすさも含めなければならない。
- 5 デジタル画像データはアナログ画像と異なり、再現環境がないと基本的に不可視のものである。データの消失は常に隣り合わせである現実をふまえて最大限にファイルの安全性を確保した環境において可能な限り次世代での検索・使用が可能となるようデータベースの構築をおこなった上でデータを保管することが望ましい。

(『埋文写真研究 Vol.18』研究会デジタル部会 埋蔵文化財写真技術研究会刊 2007年 P50-P52 デジタル文化財写真の模索)

埋蔵文化財写真技術研究会は研究会内のデジタル画像問題部会にて、このガイドラインやワークフロー作りを進めている。また、デジタル画像を撮影・作成するにあたって必要な色調・歪みの検証用写し込みチャートの制作作業をおこなっている。しかし現段階ではデジタル文化財写真の運用は各機関・個人に委ねられたままである。この状況で時代の流れという大義名分のもと早急にデジタル化を進めてしまうと取り返しのつかない自体に陥る可能性が高い。

このような流れの中でせめてもの遵守点として、指針にあるような内容をもとに高精度・高品質な画像データを撮影し、画像データには後の時代に画像の色調や歪みなどが検証可能な対策が施されている点を重視したデータを作成しなければならない。また、撮影・作成した画像データは改変が困難な処置を施し積極的に公開普及をおこなわなければならない。その上でオリジナルファイルの消失や再生不可能な状況を回避するためにデータベースの構築とストレージによる分散保管が最低限必要である。

6. おわりに

キトラ古墳・高松塚古墳をはじめとする飛鳥の遺跡は、人々のそれらを守ろうとする意志のなかでこれまで発掘調査がおこなわれ、その記録の保存や現地遺構の保存が進められてきた。その中でも最重要級の古墳たちを解体するにあたり、現在できうる限りの記録方法が採用され、フォトマップ撮影などがおこなわれることとなった。同時にそれは文化財写真のデジタル記録の方策を考えることにつながり、今後の活用まで含めた試金石となったことは間違いないと考えられる。

過渡期的な現在の状況は、あらゆる方向からの開発が乱発的に進められているが、デジタル情報を長期に安定して保存し、それを将来にわたって再生できるフォーマットやワークフローに関しては置き去りにされたままである。今後は文化的なデジタル画像の作成・保存方法に関してさらに突き詰める必要がある。

おわりにあたり本稿をまとめる契機をいただいた井上直夫氏、写真作成にご協力いただいた岡田愛氏、共にフォトマップ撮影を進めた(株)堀内カラーの皆様や鎌倉綾氏には大変感謝いたします。

<奈良文化財研究所 企画調整部写真室 中村一郎>