

高松塚古墳壁画フォトマップ資料

奈良文化財研究所史料 第81冊

2009

独立行政法人 国立文化財機構 奈良文化財研究所

高松塚古墳壁画フォトマップ資料

序

昭和47年(1972)に高松塚古墳の壁画が発見されてから30余年が経過しました。昭和49年(1974)にはこの貴重な壁画を護るために保存施設が建設され、壁画を後世に伝えるための努力が多くの人の手で続けられてきました。しかしながら近年、カビの発生や石室内への虫の侵入が相次ぎ、壁画の保存環境の変化が深刻な事態となりました。このため文化庁は、国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会を設置し、壁画の保存方法の抜本的な検討をおこなってきました。その結果、現在の地中環境では壁画の劣化を食い止めることができないと判断され、平成17年(2005)6月の恒久保存対策検討会で石室を解体して石材を取り出し、壁画を保存修理することが決まりました。

石室解体に向けた発掘調査は平成18年(2006)10月から始まり、翌平成19年(2007)4月からは石室の解体、取り出しがおこなわれました。当研究所は、この前例のない石室発掘、解体作業の一翼を担いましたが、この事業を進める中で、多くの問題点が浮上りました。例えば、墳丘上からの石室の正確な位置が不明であること、石室の細部の実測図が存在しないことなどであり、さらに壁画の正確な実測図が存在しないこともわかりました。

そこで当研究所では、石室の三次元(3D)測量をおこなうとともに、フォトマップの手法を用いて壁画の写真撮影と図面を作製することにしました。3D測量では、石室の正確な位置が判明すると共に、石室の重みや傾きが明らかになるなど予想外の成果が得られました。またフォトマップ撮影では、壁画の正確な実測図を作製することができ、あわせて解体前の石室の状態を後世に伝える資料を整備することができました。完成した写真・図面は、石室内で誤差2mmというきわめて精度の高いものです。

本書はフォトマップ作製の方法や作業過程を学術的な報告書としてまとめたものです。また副産物として出来上がった高松塚古墳壁画の動画解説は、石室内での直接的な動画の撮影が不可能なために、これまでにない貴重な資料と自負しています。添付した光ディスクはブルーレイ規格のハイビジョン映像で仕上げました。鮮明で臨場感あふれる高松塚古墳壁画の映像を通して、高松塚古墳壁画の理解と研究が深化することを期待します。

最後になりましたが、本書の編集や動画制作作業にご協力をいただいた文化庁をはじめとする関係機関、関係者の皆様に心より御礼申し上げる次第です。

2009年1月8日

独立行政法人 国立文化財機構
奈良文化財研究所長
田 辺 征 夫

目 次

序

I 解 説

高松塚古墳調査の概要	9
フォトマップ写真の概要	15
機材の選択・設計・作製	16
フォトマップ撮影の概略	19
フォトマップ撮影の方法・日誌	21
データ解析及び写真・図面の作製	30
ブルーレイハイビジョン動画の制作	34
成果のまとめ	36
英文要旨・目次	38

II 図 版

PL 1	北壁	玄武	PL 17	東壁	女子群像	右半部
PL 2	北壁	玄武	PL 18	東壁	左上：女子群像	扠子
PL 3	西壁	女子群像			右上：女子群像	円髯
PL 4	西壁	女子群像	左半部		下：女子群像	右裳部
PL 5	西壁	女子群像	右半部	PL 19	東壁	日像・青龍
PL 6	西壁	上：女子群像	右半部腰部	PL 20	東壁	青龍 額
		下：女子群像	左半部腰部	PL 21	東壁	上：青龍 前髯
PL 7	西壁	上：女子群像	左裳部			下：青龍 後髯
		下：女子群像	右裳部	PL 22	東壁	上：青龍 前脚／下：日像
PL 8	西壁	月像・白虎		PL 23	東壁	男子群像
PL 9	西壁	上：白虎 額		PL 24	東壁	男子群像 左半部
		下：白虎 前脚		PL 25	東壁	男子群像 右半部
PL 10	西壁	上：白虎 髯・後脚		PL 26	東壁	上：男子群像 蓋
		下：月像				下：男子群像 脚
PL 11	西壁	男子群像		PL 27	天井	星 宿
PL 12	西壁	男子群像	右半部	PL 28	天井	上：奎宿／下：牛宿・牛宿
PL 13	西壁	男子群像	左半部	PL 29	北壁／南壁	計測図・フォトマップ
PL 14	西壁	左：男子群像	袋状持物	PL 30	西壁	計測図・フォトマップ
		右：男子群像	杖状持物	PL 31	東壁	計測図・フォトマップ
PL 15	東壁	女子群像		PL 32	天井	計測図・フォトマップ
PL 16	東壁	女子群像	左半部	PL 33	床	計測図・フォトマップ

挿図目次

Fig. 1	壁面発見当時の高松塚	Fig. 5	石室全景
Fig. 2	高松塚の平面形と規模	Fig. 6	石室内ターゲットの計測
Fig. 3	高松塚古墳と飛鳥・藤原京周辺の遺跡	Fig. 7	3次元レーザースキャナー測量
Fig. 4	石室の形状に沿って走る地震痕跡	Fig. 8	3D計測による点群データの輝度表示

- | | |
|----------------------------|--|
| Fig. 9 石室内部のメッシュ加工データ | Fig. 34 石室外のようす |
| Fig. 10 石室南半部のメッシュ加工データ | Fig. 35 フォトマップ撮影最初の1カット目 |
| Fig. 11 石室の想定位置からの移動模式図 | Fig. 36 サイドアームとその支持体部 |
| Fig. 12 石室の想定位置からの移動模式図 | Fig. 37 3Dモデリング計測用の撮影 |
| Fig. 13 石室の想定位置からの移動量 | Fig. 38 石室計測用写真撮影計画図 |
| Fig. 14 石室の東・北壁と床面の傾斜量図 | Fig. 39 レールの設置作業 |
| Fig. 15 機材のセッティング | Fig. 40 機材の搬入 |
| Fig. 16 撮影に使用したカメラ | Fig. 41 東壁の撮影 |
| Fig. 17 架台 | Fig. 42 パイプチップを詰めた柱を使つての撮影 |
| Fig. 18 レール | Fig. 43 床の撮影 |
| Fig. 19 台車 | Fig. 44 西の女子群像に最も接近する、
その距離僅か15mm |
| Fig. 20 レール・台車・十字型稼働装置 | Fig. 45 石室からの出入り |
| Fig. 21 雲台 | Fig. 46 銀塩フィルムでの撮影 |
| Fig. 22 LED照明装置 | Fig. 47 計測点の選択 |
| Fig. 23 実験場でのテスト撮影 | Fig. 48 計測点の選択(拡大) |
| Fig. 24 三台の測距機の数字を合わせる | Fig. 49 壁面のポイントトレース座標 |
| Fig. 25 スタジオ内に石室の大きさを表す | Fig. 50 ポイントトレース座標の二次元化 |
| Fig. 26 ワイヤーを張り二重の安全をはかる | Fig. 51 この画像では内部を見せるために、
東壁と南壁を非表示にしている |
| Fig. 27 撮影手順表 | Fig. 52 盗掘口から内部を覗いたイメージ。
動画の冒頭部分で使用された |
| Fig. 28 メッシュを入れた写真 | Fig. 53 Blu-rayとDVDとの比較 |
| Fig. 29 撮影した画像を記入するシート | Fig. 54 カラーチャートを入れての撮影 |
| Fig. 30 高松塚古墳石室解体第二実験場 | Fig. 55 修理作業室に運び込まれた壁画 |
| Fig. 31 ファインダーに取り付けたTVカメラ | |
| Fig. 32 モニタリング用とチェック用のパソコン | |
| Fig. 33 石室内撮影 | |

例 言

1. 『高松塚古墳壁面フォトマップ資料』(奈良文化財研究所史料第81冊)として公刊するのは、奈良文化財研究所が文化庁の委託調査を受け、石室解体前の正確な図面と写真および、それらを作製する撮影手順等を記録した資料である。
2. 撮影された写真はおよそ1,000枚に及び、この写真を下にフォトマップの作製と石室壁面の実測図を作製した。撮影はすべてデジタルカメラによるが、フォトマップ撮影終了後には解体前最後の4×5フィルムによる壁面撮影も同時におこなった。
3. 今回のフォトマップ写真は高精度、高画質なものであるが、色彩再現には特に慎重を期した。
4. 本資料の刊行にあたっては、(株)堀内カラーの川瀬敏雄、奥村泰之、島野聡、古谷隆彦、及び堂阪イーエム田村伊佐雄の各氏に協力を得た。ここに記して謝意を表する。
5. 本資料に掲載した写真の撮影は企画調整部写真室・井上直夫、中村一郎がおこない、岡田愛が補佐した。また、川瀬敏雄、奥村泰之、島野聡の各氏にも撮影の協力をいただいた。
6. 英文要旨及び目次の作成は石村智がおこなった。
7. 付属の光ディスクは通常のDVDプレーヤーでは再生できない。再生するにはブルーレイ規格対応のプレーヤーが必要である。また、同時にハイビジョンTVで再生をすれば壁面の鮮明さが体現できる。なお、ナレーションは日、英、韓、中の四か国語を選択できるようにした。
ナレーション原稿は増記隆介氏を中心に文化庁文化財部古墳壁面室にお願ひし、中国語は加藤真二・加藤遙、丹羽崇史、韓国語は高田貫太・朴宣映、英語は石村智の各氏による翻訳、監修をおこなった。
8. 本資料の編集は都城発掘調査部長松村恵司の監修の下、企画調整部写真室の井上直夫がおこない、岡田愛が補佐した。

I 解 説

高松塚古墳調査の概要

1. 高松塚古墳の調査と保存の経緯

高松塚古墳は明日香村大字平田に所在する7世紀末から8世紀初頭にかけて築造された終末期古墳である。この古墳が最初に文献記録に登場するのは、元禄10年(1697)の『山陵記録』であり、当時「高松山」と呼ばれ、文武天皇陵の候補に挙げられている。同じく元禄年間に描かれた絵図『諸陵考』には、墳頂部に高い松の木が繁る「御陵山 字高松塚」が描かれており、「文武天皇御陵」として周垣工事が行われたようである。しかしながら幕末に至ると、近隣の栗原塚穴(現文武陵)を文武天皇陵とする見解が主流となり、高松塚は皇陵治定から外れ、次第に忘れ去られる存在となっていった。

再び高松塚古墳が脚光を浴びることになったのは、昭和47年のことである。奈良県立橿原考古学研究所と明日香村が実施した発掘調査(第1次調査)により、石室内部に描かれた四神や星宿、日月、男女の人物像などの極彩色壁画が発見され、人々に驚きと感動を与えた。古墳は直ちに史跡に指定され、翌48年には特別史跡に、同年、壁画は国宝に指定された。

壁画古墳の保存管理は、壁画のもつ歴史的、文化的重要性から、文化庁の手に委ねられ、壁画の保存方法をめぐる多角的な検討を経て、発見時の環境を

維持し、壁画を現地保存する方針が決定された。昭和49年には、壁画の保存施設を建設するために、墓道部の発掘調査(第2次調査)が行われ(猪熊兼勝「特別史跡 高松塚古墳保存施設設置に伴う発掘調査概要」『月刊文化財』第143号、1975年)、墓道部に収まるように保存施設が設計、建設された。保存施設は昭和51年に完成し、以来、30余年にわたって壁画の修理と保存の努力が続けられてきた。

ところが、平成14年秋頃から、石室内への虫の侵入や、カビ・ダニ等の生物被害の発生が相次ぎ、壁画を汚損する恐れのある黒いカビ状の汚れが発生するなど、壁画の保存環境の劣化が深刻な事態を迎えるに至った。

このため、平成15年に国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会、平成16年に同恒久保存対策検討会が設置され、保存環境の劣化原因に関する調査研究や、カビの制御に関する調査研究がなされ、壁画の恒久的な保存方法の検討がおこなわれた。その調査研究の一環として、墳丘封土の損傷状況を調査すべく、平成16年度に30年ぶりに古墳の発掘調査(第3次調査)が実施された。この時の調査では、墳丘裾を弧状にめぐる周溝の発見によって、現状直径15mの高松塚古墳が、築造時には下段径23m、上段径17.7mの二段



Fig. 1 壁画発見当時の高松塚

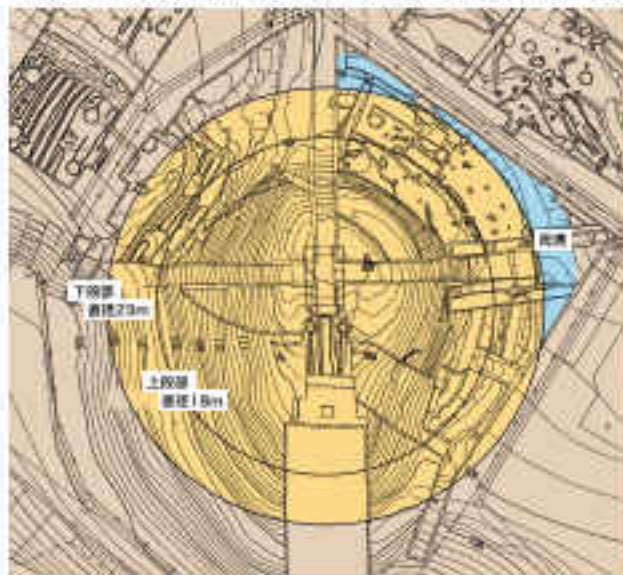


Fig. 2 高松塚の平面形と規模

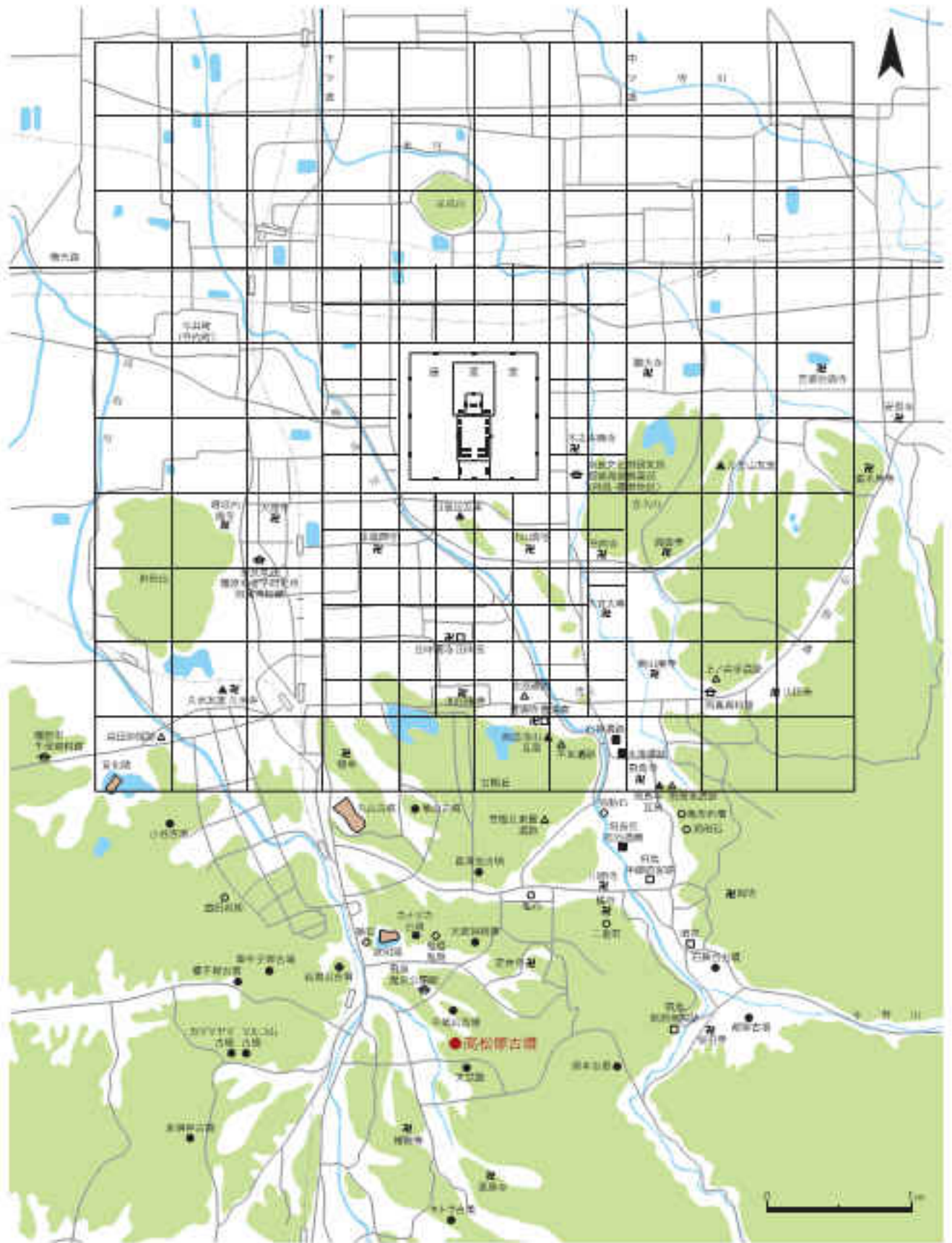


Fig. 3 高松塚古墳と飛鳥・藤原京周辺の遺跡

築成の円墳であることが判明した。また、墳丘の版築層を垂直方向に突き破る地割れや、断層などの地震痕跡を発見し、奈良盆地南部を90～150年周期で襲うマグニチュード8クラスの巨大地震、南海地震によって、墳丘封土がかなりの損傷を受けていることが明らかになった(奈良文化財研究所『高松塚古墳の調査-国宝高松塚古墳壁面恒久保存対策検討のための平成16年度発掘調査報告』2006年)。

恒久保存対策検討会は、壁面の保存環境に関する調査研究の報告を受け、保存方法の抜本的な見直しを行った結果、従来の保存方針では壁面の劣化を食い止めることが困難との結論に至り、平成17年6月27日に開催された第4回国宝高松塚古墳壁面恒久保存対策検討会で、石室を解体して壁面の保存修理を実施することが決定された。

この決定を受けて、文化庁の委託を受けた奈良文化財研究所が、奈良県立橿原考古学研究所、明日香村教育委員会と共同で、平成18年10月から平成19年9月にかけて、石室解体に伴う発掘調査(第4次調査)を実施した。

発掘された石室は、従来、3石と考えられてきた床石が4石であることが判明し、壁石8石、天井石・床石各4石の計16石の凝灰岩切石からなる。石室の外寸は、全長389cm、最大幅196cm、最小幅185cmで、石材は小口に合欠を作り出して組まれており、接合部の目地を覆い隠すように漆喰が厚く塗

られている(松村恵司・廣瀬寛「高松塚古墳の調査—第147次」『奈良文化財研究所紀要2008』2008年)。第1次調査で報告された石室の内法寸法は、奥行き265.5cm、幅103.4cm、高さ113.5cmとされてきたが(奈良県立橿原考古学研究所『壁面古墳高松塚古墳調査中間報告』1972年)、本書で示したように寸法は各部で微妙に異なる。石室の構築は、石材の周囲を版築で固定しながら順次組まれており、床石は南から北へ、壁石は北から南へ向かって設置され、最後に天井石が南から北へ向かって架構されていた。

石室の解体作業は、組み立てと逆の手順で実施され、壁面や石材の損傷もなく無事に終了した。取り上げられた石室石材は古墳から900m離れた仮設修理施設に運ばれ、現在、壁面や石材の保存修理作業が進められている。

2. 石室の位置

壁面の恒久保存対策を検討する上で、最大の懸案事項として浮上したのが、石室の正確な位置が測量上、不明になっているという問題であった。すなわち、第1次調査の石室や古墳の測量が、現地の地物を目印とした極座標による測量であったために、当時の測量基準杭などが失われた現在、地下に埋もれた石室の位置を地表から特定できなくなっていたのである。また、第1次調査時の東第2トレンチを、第3次調査で再発掘したところ、トレンチ北壁に土



Fig. 4 石室の形状に沿って走る地震痕跡



Fig. 5 石室全景(北西から)

層断面実測用の基準線設定の鉄釘が残存した。当時の実測図と照応した結果、実測に使用した基準線の水準値が、現在の測量値と大きく異なり、石室の正確な標高も不明確となっていることが判明した。さらに、昭和49年の第2次調査は、石室の奥壁中央を測量原点とし、石室中軸線(磁北に対して北で東へ4度3分振れる)を基準方位とした測量を実施しており、墓道部の調査データも現在の平面直角座標系第Ⅵ系(世界測地系)のデータに置換させる必要性が生じた。

3. トータルステーションによる石室の計測

このため、トータルステーションを用いた石室の再測量を、平成17年5月13日に実施した。この時の測量は、取合部に露出する石室の南面部分と、盗掘口から見える石室内部の23点の計測にとどまったが、石室の標高が明らかになり、昭和47・49年の測量データの補正値が得られるとともに、これまで水平と考えられてきた石室の床面や天井が南西方向に傾斜し、垂直と考えられてきた石室壁面も、西と南に傾斜するという予期せぬ事実が明らかになった。判明した石室の変形は、平成16年度の第3次調査で確認した墳丘の地震痕跡と連関し、壁面発見時から石室天井石の南2石に認められた主軸方向に走る亀裂も、大規模地震による石室の損傷と理解できるようになった(奈良文化財研究所『高松塚古墳の調査 国

宝高松塚古墳壁画耐久保存対策検討のための平成16年度発掘調査報告』2006年)。

平成17年6月、石室を解体して壁面を保存修理することが決まり、解体前の石室の現況を記録する作業が緊要の課題となった。そこで、石室内部を三次元レーザー測量(3D測量)で記録し、あわせて壁面のフォトマップを作製することにした。

4. 石室の三次元レーザー測量

石室の3D測量は、狭隘な石室内に測量機器を持ち込むことになるため、平成17年8月8日に、飛鳥保存財団の高松塚壁画館の実物大石室模型を使用して、3D測量のシミュレーションを行い、作業の安全性を確認した。このシミュレーション結果をもとに、機器の搬入方法や作業手順、照明器具、作業時間などの詳細を詰めた上で、平成17年12月28日に石室の3D測量を実施した。3D測量の作業手順と内容は以下の通りである。

(1) 3次元レーザースキャナーとターゲットの設置

石室の中央奥寄りにスキャナーを設置し、ターゲットを石室奥壁近くに2基、スキャナーから盗掘口を通して見える保存施設壁面に2基設置。

(2) ターゲットの国土座標を計測

(3) 1回目のスキャニング

スキャナーはライカ社製HDS3000を使用。レー



Fig.6 石室内ターゲットの計測



Fig.7 3次元レーザースキャナー測量

ザーのタイプは波長532mm(緑色)で、レーザースポット径6mm以下、スキャニングの範囲は水平360°、鉛直±135°である。スキャニングの密度は、機械本体から1mの所で5mmピッチでおこなった。所要時間60分。

(4) スキャナーの移動

スキャナーの死角をなくすため、スキャナーを南壁寄りに移動。

(5) 2回目のスキャニング

所要時間60分。

(6) 細部のスキャニング

石室のコーナーや亀裂部分を対象に、2~3mmピッチで細部のスキャニングを実施。所要時間20分。

スキャニング中は取合部に面した保存施設の扉を閉め、作業者は前室Aに待機し、そこからパソコンでスキャナーを操作した。スキャナーを回転させる内蔵モーターの発熱が、石室内の温度に急激な変化を与えぬよう、作業中は機械室で温湿度の変化を監視し、前室Aにいる作業者と頻りに連絡を取り合っており、温湿度の変化に注意した。

データ編集 3D測量で取得したデータ数は約174万点で、ノイズ除去後のデータ数は147万点である。このデータをライカ社製の専用ソフトウェアCycloneを使用して、ターゲットの座標データと合成し、点群データを世界測地系国家座標に変換した。続いて側壁、天井、床面ごとにメッシュ加工を施して面データとし、立体モデル・線データを作成した。これによって、パソコン上で石室をあらゆる方向から計測することが可能となり、壁面や床・天井の傾きをコンターラインで表示できるようになった。

3D測量結果 3D測量の結果、石室は、逆時計回りに約1°傾れながら、南西方向に1.3~1.6°傾く事実が明らかになった。石室床面は、北東隅を基準にした水平面から、北西隅が17mm、南東隅が46mm、南西隅が65mm下降し、天井の南西隅も水平な状況から79mm下降している。また、東西の壁面は、と

もに上部が西へ20mm前後傾くなど、石室の変形には著しいものがある。

これまで、壁面写真や石室の実測図は、水平・垂直を前提に図示されてきたが、壁面の描かれた東・西壁面をみても、東壁下端が0°59' (南北の高低差46mm)、上端が1°33' (同高低差72mm)、西壁下端が1°03' (同高低差48mm)、上端が1°20' (同高低差62mm)南へ下降しており、石室の全長2655mmからすると、無視できない大きさの歪みである。こうした石室の歪みは、大規模地震による石室の変形とみられ、今後は石室の変形を前提に、壁面や石室の保存策を講じる必要があろう。

なお、3D測量により、東壁と西壁の設置方位から、北で1°19'西に振れる石室の主軸方位も明らかになった。

平成19年の石室解体に伴う第4次調査では、露出した石室外面の3D測量や、解体工程にあわせて石材接合面の3D測量を逐次実施した。それらのデータを石室内計測データと合成することで、解体修理前の石室の形状を3次元のデジタル情報として後世に残すことが可能になった。こうした作業は、壁面の保存修理後に石室を現地に戻すためにも不可欠な情報の整備であり、本書で報告する壁面のフォトマップ作成もそうした作業の一環に位置付けられるものである。(松村恵司)



Fig.8 3D計測による点群データの傾度表示



Fig. 9 石室内部のメッシュ加工データ(内壁から外を見る)



Fig. 10 石室南半部のメッシュ加工データ(北壁から南壁を望む)



Fig. 11 石室の想定位置からの移動模式図
(赤い線が水平・垂直に組まれた想定位置・南東から)

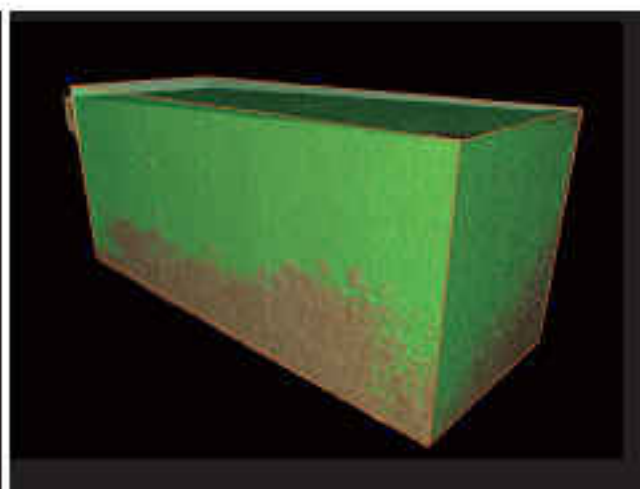


Fig. 12 石室の想定位置からの移動模式図(北東から)

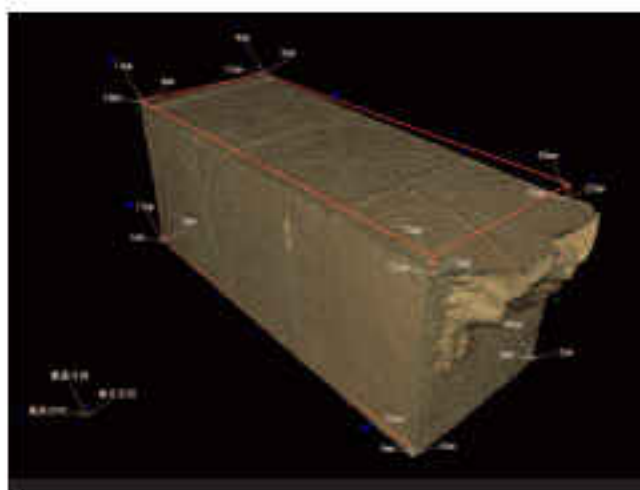


Fig. 13 石室の想定位置からの移動量(南西上方から)

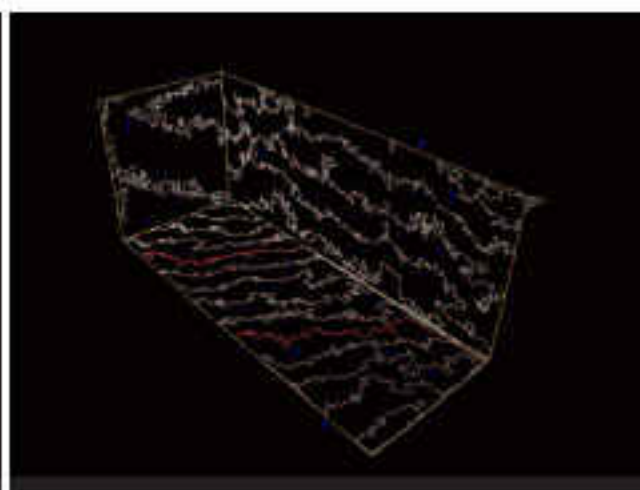


Fig. 14 石室の東・北壁と床面の積料量図
(南西上方から 5mmコンター)

フォトマップ写真の概要

従来実測は対象物に直接触れなければ図面を作製することはできない。一方、いわゆる写真測量をおこなえば非接触で実測図を得ることは可能であるが、正確な高精細写真を得ることはできない。また最近ではレーザー光を利用した3D測量もあるが、これは立体物の計測を短時間で得ることを得意としており、壁面など平面に描かれた画像の測量は不可能である。

今回、高松塚古墳壁面のように一切手を触れず壁面の実測と正確な画像を必要とする場合、従来の実測方法や、写真測量あるいは3D測量では目的を達成することは出来ない。そこで両者の目的が達成できるフォトマップ撮影をおこなうことになった。

フォトマップは写真を利用し、撮影データを解析・合成することにより計測対象物に非接触で正確な図面と画像を得ることが可能である。

具体的にはデジタルカメラを使い壁面を分割撮影するが、本撮影の前に撮影に使用するレンズのキャリブレーションをとり、レンズの歪みデータを把握しておく。特にせまい石室内では広角レンズを使用するためレンズの歪みが大きい。このためこの作業は重要で、正確な測量結果を出すためには必要不可欠である。その後本撮影したデータにレンズのキャリブレーションを当てはめ歪みを修整する。次に壁面の直下、床にスケールを写し込み各方向から壁面を含め撮影をおこなう。(P26 Fig.38 石室計測用写真撮影計画図参照)これを基本的な基準計測データとし、コンピュータ解析をおこない、正確な図面をおこなす。図面は点の集合であり、各々正確な座標を持っている。本撮影した画像にこれを当てはめ合成をおこなう。

高松塚石室内部は同時に3D測量もおこなわれたが、フォトマップで作製された石室内部の測量結果と3D測量されたデータを比較すると、部分的に多少数値は異なるが、ほぼ同一であった。数値が異なる理由としてあげられるのは、3D測量の場合壁面

の漆喰等が浮いていると影の部分にレーザー光があたらず正確に測距することが出来ない。これを補うため測距点を移動し、再測距するが、どうしてもレーザー光のあたらない位置がある。結果、この部分は測距することが出来ない。また、測距場所を直接目視で測っているわけではなく、希望の場所にレーザー光があたらないこともあり、ズレが生じる。さらに装置の機械的精度などもあり、必ずしも一致しないのが実情である。今回フォトマップの測量精度は計測ポイント間では1,000mmで±2mm以内ときわめて正確な図面と写真を得ることができた。また、図面に示していない計測数値を知るには、できあがった図面データをコンピュータで表示し(アドビ社・イラストレータなど)、任意の大きさ、距離等を知ることができる。

なお、平成16年(2004)におこなわれたキトラ古墳の調査に先がけて、この方法を用い、すでに高精度なフォトマップを作製している。今回が二度目の撮影であるが、撮影するカメラの性能向上および壁面の撮影正対精度の向上によりキトラ古墳壁面フォトマップより画像精度はかなり上がっている。

今回作製された正確なフォトマップは解体後の壁面との比較検討をする基礎資料となるばかりか、壁面の解体前の状態を伝える資料としても重要なものである。

(井上直夫)



Fig. 15 機材のセッティング

機材の選択、設計、作製

1. 選択・設計

フォトマップ撮影にあたり今回は特に高精度、高画質を要求されるため使用するデジタルバックにはワンショットデジタルバックであるフェーズワンP45(デンマーク製)を選んだ。P45デジタルバックの画素数は3,900万画素で、当時市販されていたデジタルバックではもっとも高画素、高品質である。

カメラはピント合わせの際、背後の壁面とファインダー接眼部との距離が少なくファインダーを直接のぞくことが出来ない。そのためオートフォーカス機構を備え、P45が取り付けられる中判カメラが必要である。使用可能なカメラは国産を含め3種類ほど該当機種があるが、レンズの総合的な性能などを考慮し、キトラ古墳フォトマップでも採用したCONTAX645を選んだ。レンズはDistagon28/45mm。照明にはクリップオンタイプの小型ストロボ(サンバックAutoSR25)を選んだ。このストロボは発光部がせり出し、発光角度を変化させることができ、二台使用することで広範囲に光が回るようにできる。撮影に使用する基本セットは以上である。これらの機材を使用して効率よく撮影できるよう、その他の撮影装置の設計をおこなった。

高精度な画像を得るためにもっとも気を遣ったのは撮影時、カメラが壁面に対していかに平行を保てるかである。以前キトラ古墳の壁面をフィルム撮影する際、壁面に対し平行を保つ機材を開発したが(レーザー測距機をカメラの左右に二台取り付け数値を同じにすることで壁面に対しての平行を採る)、この装置は壁面が垂直と仮定した場合には平行は保てるが、壁面が前後に傾斜している場合平行にはならない。

そこでもう一台レーザー測距機を追加し合計三カ所で距離を測る。三台の数値が同じになれば壁面に対し必ず平行が保てる。設置したのはカメラの架台の両側と上部である。さらにカメラの両脇には照明用のストロボもセットさせる。架台の大きさは石室内が狭いため可能な限り小型軽量を考えた。

カメラの移動はキトラ古墳フォトマップ撮影の場合と違い直接石室の中へ入れることから、石室内にレールを敷きその上を移動させることにした。レールの幅は広い方が安定するが、狭すぎれば転倒の恐れがある。そのあたりを考慮し幅300mmとした。レールの長さは300mm、350mm、400mmの異なる三種類を複数作製し、各々の局面で最良の長さとなるよう組み合わせて使用する。設計では取り付けボルト以外すべてアルミ製を考えたが、作製段階でレールの材質はステンレスアングル材になった。枕木はジュラルミン製で枕木の下には床面を保護するために5mm厚のゴムシートを貼り付けた。連結はジュラルミン板をステンレス製ボルトで固定する。

装置をのせる台車は板厚3mmの鉄製で一辺が



Fig. 16 撮影に使用したカメラ



Fig. 17 架台

375mm、高さ30mmの正方形、台車は各壁面下部が撮影できるよう車高が出来ただけ低い方がよい。そのため車輪は直径25mmと低く抑え、真鍮製の車輪とし、レールにのせた時の最低地上高は50mmになった。

カメラを上下させるのには台車の上に10~20cm程度の箱を組み合わせて積み上げ、高さを調節させる方法と、ギアでボールを上下させる二案を考えた。箱を積み上げる方法はカメラは非常に安定的にセッティング出来るが、高さを変更する度、箱の出し入れをおこなわなくてはならず、出し入れ回数が多くなれば壁面に触れてしまう確率が高くなる。少しでも余分な動きをやめるようにと、結果、一般的な複写装置の構造をまね、十字型でボールをギアで上下させる方法にした。壁面のコーナーや床面を撮影す

るには台車からかなり外側にカメラをセットする必要がある。このためのサイドアームも取り付けした。サイドアームもギアで長さを調節できる。もちろん中央にあるセンターボールは簡単に取り付け、取り外しができる構造になっている。

カメラの取り付けと角度を微調整させるための雲台にはカメラの高さが高くないよう出来る限り小型化し市販の小型雲台を真似て作製してもらった。

カメラをセッティングした際、壁面とファインダーとの間隔が狭いためファインダーを直接のぞくことはできない。このため画角を確認するにはカメラのファインダー後部に小型TVカメラをセットし石室外部でモニタリングしながら撮影をおこなう。

撮影されたデータはIEEE1394経由で石室外のコ



Fig. 18 レール



Fig. 20 レール・台車・十字型枠動装置



Fig. 19 台車



Fig. 21 雲台



Fig. 22 LED照明装置

ンピュータに取り込む。

石室内を照らす照明装置は室温が出来る限り上がらないよう発熱の少ない白色LEDを31個並べた基板を2枚利用した。この照明装置は十分な明るさを得ることができ、効果的である。

(井上直夫)

2 作 製

井上氏からの作製依頼を受け研究所に出向き、カメラ、レーザー測距機、ストロボを取り付けるための架台、及びこれらを上下、平行移動させる十字型稼働装置、この稼働装置を移動させる台車とレールの作製をおこなうことになった。稼働装置以外の図面はとりあえずもらい受けたが、細部が十分に詰められていない図面と私の説明だけでは実際に現場や作業内容を把握していない弊社の技術担当者は作製にあたり困難を強いられた。また、いくつかの食い違いもあり幾度となく手直しをすることがあった。

作製にあたり、まずは小型、軽量、強度を図るため様々の材料を吟味し、耐食性や加工のしやすさなども考慮の上、材料を厳選した。その一つにアルミ材にはH4000、A6061、ステンレス材には304番、真鍮、鉄板さらにチタンも使用し、それぞれの装置に最もあった材料を選んだ。

カメラ本体を取り付ける架台の枠部分は加工のしやすいH400を使用し、カメラ・レーザー測距機・

ストロボが載る底部は堅く強度のあるA6061を使用。また、測距機を取り付ける部分はチタン材を使用した。ここで苦勞したのは3台の測距機の取り付け精度である。各々の取り付け位置と直角がそろわなければ正確な測距が出来ないため、細心の注意を払い、それぞれの取り付け位置を加工調整した。

作業工程の中でも最も苦勞したことは上下と平行移動させる十字型稼働装置の構造である。上下駆動部は工作機械のボール盤の構造を参考にして内部構造を理解した上で作製した。平行駆動部は顕微鏡の仕組みからヒントを得てラック&ピニオン方式を採用した。これらの稼働部の作製ではいかにガタツキをとり、より滑らかな動きをさせることに最善の注意を払って数回にわたり試作、改良を加え完成度を高めた。

レールは狭い場所で組み立てをおこなうため組み立てを簡素にすること、組み上がったレールが真っ直ぐに繋がりに、ガタツキがないことが課題となった。レールはバラさず一体の物であれば当然段差が出来ないが、バラしたレールの接合部がいかに段差無く組み上げられるか、また、軽量化を図るため当初はすべてアルミで試作したが、機材の総重量が台車を含め15kg以上になるため、レールの強度がもたないと判断し、レールのみステンレスを使用した。枕木はA6061を使用し、底部には5mm厚のゴムを貼り付けた。

今回作製した装置の反省点として、稼働部の精度、特にサイドアームの稼働部の動きはかなり滑らかな動きに作製できたが、実際の撮影状態にして長時間の負荷をかけたテストは行わなかった。

特に後述の「フォトマップの撮影方法・日誌」にあるように極端な温度差による金属の収縮度による動きの変化までは計算できず、想定外のところもあった。高精度に作製した故の結果ではあったと思うが、そのあたりは現場の判断で上手く対応してもらえたのは不幸中の幸いであった。やはり実際の環境に近い状態での負荷試験を行わなければならない事を痛感した。

(田村伊佐雄)

フォトマップ撮影の概略

1. 撮影計画

使用カメラはCONTAX645・レンズDistagon28/45mm・P45デジタルバックを選択し、これに沿って基本計画を立てた。まず、スタジオ内に仮想石室を作り各壁面撮影時のレール敷設方法、カメラの動かし方、撮影の順番など手順を考えた。撮影範囲はおよそ40×60cm四方が写るが、画質の良いレンズの中心部を使用するため、1カットおよそ50パーセント以上のオーバーラップをとることにした。カメラの移動は各壁面のおおまかなマップを作り縦方向に1～7までの数字、横方向にアルファベットのA～Nまでの数字を割り振り、1マスが20cm四方になる。基本的にはこのマスを1カット2枚撮りで撮影を進め、計測用写真も含め合計1,000カット程度の撮影をおこなう。

2. 実験場でのテスト

本番撮影1週間ほど前には京都市加茂町にある実験場で実物大の石室を利用し撮影テストをおこなった。その際カメラを固定するネジが強度不足のため切断してしまい、カメラが固定できなくなった。急遽テストを中止し、作製を依頼した会社に不具合を修正してもらった。この経験から、もし本番で同様なことが起きてもカメラが絶対に転倒しないよう固定ワイヤーを張

ることにした。ワイヤーを張っておけば、たとえ固定ネジが緩んだり切断してもカメラが転倒することは絶対にならない。これはテスト撮影でわかった壁面の安全に対する大きな成果の一つであった。

3. カメラのセッティング

テスト撮影の際、カメラの平行度は壁面に対し $\pm 5\text{mm}$ と定めたが、本番撮影に入ると各々の数値がほぼ同じになるようつついこだわり、実際にはほとんどすべてのカットで各測距機の数値は $\pm 2\text{mm}$ 以内に収め撮影した。つまり、壁面津喰の部分的な浮き上がりがないと仮定すればかなり精度の高い撮影ができたはずである。コーナー部や各最上部では直接測距機の数値が見えないため、鏡を使い数値を確認することにした。うす暗く狭い環境の中では鏡に映った逆像の数値はきわめて読み取りにくい。そのため小さな対向ミラーを作り(鏡を90度に合わせることで正像が観察できる)数値を読みとった。

また、壁面・床・天井のコーナー部などできうる限り正面よりの撮影をおこないたいため、壁面に対し最接近距離は15mmと、際どい撮影をおこなった。転倒防止用のワイヤーが張っており、絶対に転倒、接触しないとは言え、15mmの距離で移動するにはかなりの神経を使う。



Fig. 23 実験場でのテスト撮影



Fig. 24 三台の測距機の数字を合わせる

4. レンズの絞りと照明

撮影の際、レンズの絞り値はF16を基本とし、すべてのカットで露出値を統一した。

ストロボのセッティングはカメラの左右に1台ずつ発光部をやや外側に振り、より広範囲に光が平均的に回るようにする。ストロボの光量調節はオートを使用するが、ストロボ本体にはF16の設定値がない。そのため絞り値がF16で適正になるよう、ストロボの受光部にND06フィルターを数枚重ね(テスト結果4枚)、光量の増加をはかった。

5. 結露対策

石室内の温度は9℃、湿度98%前後と悪条件ではあるが、撮影時期が夏場のため特にカメラの結露対策をとる必要はないと考えた。つまり石室外の温度は30℃を超えており、機材は十分に暖まっている。このため石室内にカメラを持ち込んでも徐々に温度は下がり、ほとんど結露はしない。ただ撮影期間中一度のみ西壁北寄りの上部6カットにわずかな結露を認め、撮影最終日に再撮影した。おそらく不注意でレンズに直接息がかかり、くもりを生じたものと思われる。一方、コンピュータは湿度98%での長時間動作には不安があるため、乾燥剤の入ったポリエチレン製の袋でシールし、本体の下に市販のゲル状コンピュータ発熱吸収マットを敷いた。

撮影機材は、その日の撮影終了後、カメラ部本体とコンピュータのみ持ち帰り、その他の機材は石室前室に置く。結露対策として念のため使い捨てカイロを機材保温用に用意したが、使用の機会はなかった。

6. ピント確認とデータ量

ピントが合焦したかどうかの確認はモニタを通し、ファインダー内のグリーンLEDの点灯で確認でき、点灯すればシャッターを切る。シャッターは石室外で押し、石室内ではカメラの移動と平行度の

セットのみおこなう。シャッターを押した後はデータの転送を待つ。データ転送は、1カットで平均すると30～60秒ほどかかる。その後撮影データをコンピュータで表示し、ピントの確認をした後次のカットの撮影に移る。記録はRAW形式・16bitで取り込み、現像すると1ファイルあたり230メガバイトと恐ろしく大きなサイズになる。しかし、実際にファイルを利用する際は8bitに落とし115メガバイトのデータを使用して作業を進める。さらにレンズ中心部を利用するところからデータ量はもっと少なくなり、最終的には1枚あたり40メガほどのデータになる。結果的に3,900万画素のCCDを利用していても800～1,000万画素ほどしか利用していないことになる。このようなカメラの使用方法は、高画素なカメラパックであるからこそ可能であり、その性能を十分発揮することができた。

7. 温度上昇と撮影時間

文化庁の指示で壁面の保護を考え、石室内の温度が2℃未満上昇した場合は撮影を中止し、しばらく温度が下がるのを待つと決めてあったが、石室内の空調が上手くコントロールされていたおかげで撮影期間中これを超える温度上昇はなく、撮影を中断するようなことは一度もなかった。

1回の撮影時間は注意力の低下を防ぐため1時間程度と決め撮影を開始したが、撮影のリズム、テンポを崩したくなかったこともあり、二人交代で2時間以上続けて撮影をおこなった。

8. 見張り

撮影時には石室外より石室内の作業を必ず見張る。石室内でのカメラ操作に集中するとついつい壁面に触れそうになる。そんな時すかさず声がかかる。「××さん、お尻あと何センチ」、「頭何センチ」と言う具合である。

(井上直夫)

フォトマップの撮影方法・日誌

1. はじめに

フォトマップを作製するためには、「フォトマップ撮影の概略」にあるように膨大なカット数を撮影しなければならない。

狭い石室内において、効率よく短期間かつ、ミスのないように撮影していくためには、綿密な計画が必要不可欠である。これらを欠かすと思わぬトラブルに見舞われ、壁面にダメージを与えかねない。計画段階ではスタジオで簡易な高松塚古墳石室の実寸模型を作り、準備段階で様々な状況を想定し、念入りに撮影計画を検討した。

2. フォトマップの撮影方法

撮影法の具体案 計画段階では、精度を検証して選択した使用レンズの画角から撮影画像の範囲を調べ、被写体である壁面からの撮影距離を求めた。「フォトマップ写真の概要」で述べたように、限りなく正確なフォトマップを作製するには、被写体平面と撮像面をできる限り正対させなければならない。6面ある壁面それぞれの撮影距離をそろえなければ画像の精度に優劣が出てしまい、結果的に全体の精度を落としてしまうことになる。

スタジオ内の簡易石室スペースにおいて、各壁・天井・床それぞれの面に対して安全なワークディスタンスを確保し、撮影距離と撮影画像の範囲をもと

めた。壁からカメラのレンズ先端までの距離は55cm。この時、画面に写る範囲は、およそ40cm×60cm程度である。

40cm×60cmの画像のうち、フォトマップで使用できる精度を持った範囲は、中心部分20cm四方程度と想定し、実際の撮影では写真測量と同じく十分なオーバーラップをとった上で順次撮影していく。そのため、1カットごとにカメラを動かす距離は20cmに設定した。これにより計算上は60パーセントのオーバーラップを確保でき、精密な正対画像を撮影することが可能となる。

こうした計算に沿って順次壁面の撮影計画を立てていく。

各壁・天井床の端部にあるそれぞれの壁の突き合わせ箇所を、有効範囲内20cmに入れて撮影するためには、必ずしも安全距離を確保できない場合がある。

測距機などが取り付けられて大きくなったカメラ、十字型稼働装置など、撮影装置自体の大きさも必要最小限に作られているがやはり大きい。

実際の撮影装置を組み立て、スタジオ内の簡易石室スペースでシミュレーションしたところ、隣接壁面との距離が3cm以下という近接状態で撮影しなければならないことが判明した。特注雲台が緩んでカメラが少しでも傾けば、壁面にぶつかってしまう距離である。



Fig. 25 スタジオ内に石室の大きさを表す



Fig. 26 ワイヤーを張り二重の安全をはかる

万が一のトラブルを回避するため、雲台の固定ネジが緩んでも(たとえ締め忘れたとしても)カメラが傾かないように、ワイヤーをストッパーとしてカメラ部分に取り付け、二重の安全策を採った。

次に各壁面最下部の撮影方法であるが、床と接する箇所は十字型稼働装置の最も低い位置まで下ろしても、有効と定めた20cmの範囲に入らない。この状況はキトラ古墳のフォトマップ撮影でも経験しており、対策として自在にカメラを据えられるようにパイプチップを詰めた枕を台車の上に乗せ、その上にカメラを置き撮影した。このあたりは、キトラ古墳での経験が大変有用に働いた。

撮影計画と留意点 高松塚古墳の石室内部は非常に狭く、作業者が国宝である壁面に接触しないよう行動するには大変な神経を使う。石室内では動作を最小にとどめなければ、壁面接触に対する危険度は増大する。撮影時には、各面ごとに撮ることにこだわらず、作業者の動線と機材のセッティングを変える回数をシミュレートして、できるだけ危険度の低い撮影手順を考えてのぞまなければならない。

移動撮影に必要な床のレールは何度か敷き変える必要がある。一度敷いたレールを動かすには、上に載っている台車とポール・カメラを作業に邪魔にならない安全な場所に移動するか、場合によっては一度分解し石室の外に出さなければならない。狭い石室内で何度もこの作業をおこなうことは危険であり、極力回避しなければならない。そのため、一度敷いたレール上で、特定の壁や天井・床にこだわらず、その場所で撮影できる範囲を全て撮影する手順を考えた。

撮影手順の一例を挙げる。まず東壁を撮影するために東壁から54cmのところ南北方向にレールを敷き、東壁を順番に撮影する。次にそのレールのまま、台車上のポールの支柱を90度回転させ、ポールの腕を東壁ぎりぎりまで伸ばす。次にカメラを上向きに付け替えて天井からレンズまでの距離を55cmにして天井の東側

2ライン分を撮影する。その後、カメラを裏返し、床からレンズまでの距離を同じく55cmにして、床も同じ要領で東側の2ライン分を撮影する。こうすることにより、一度レールを敷いた状態で、東壁の大部分と天井・床の東側の範囲が撮影できる。

このように、危険をともなう機材や人の動きが最小限になるよう、壁面を撮影する順序にはこだわらず、撮影の手順を考えた。

ただし、この撮影手順では一連の壁面が連続作業では無いために、撮り忘れや撮影した場所が分からなくなってしまう可能性が高い。前回のキトラ古墳撮影の経験から、各壁面全体を簡易に撮影した写真に縮尺上10cm間隔のメッシュを入れ、20cm間隔に番地を割り当てた写真を用意した。それと同じ番地をふった格子の図と、撮影箇所を文字でも書き込む表を用意し、撮影毎に書き込み、チェックする方法で再撮影などの作業を極力回避する事を心がけた。

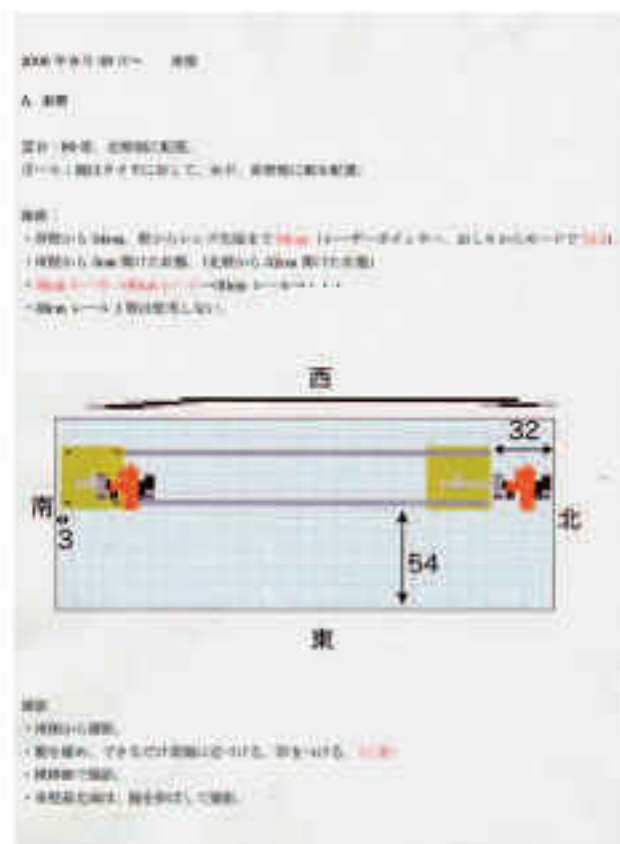


Fig. 27 撮影手順表(東壁)

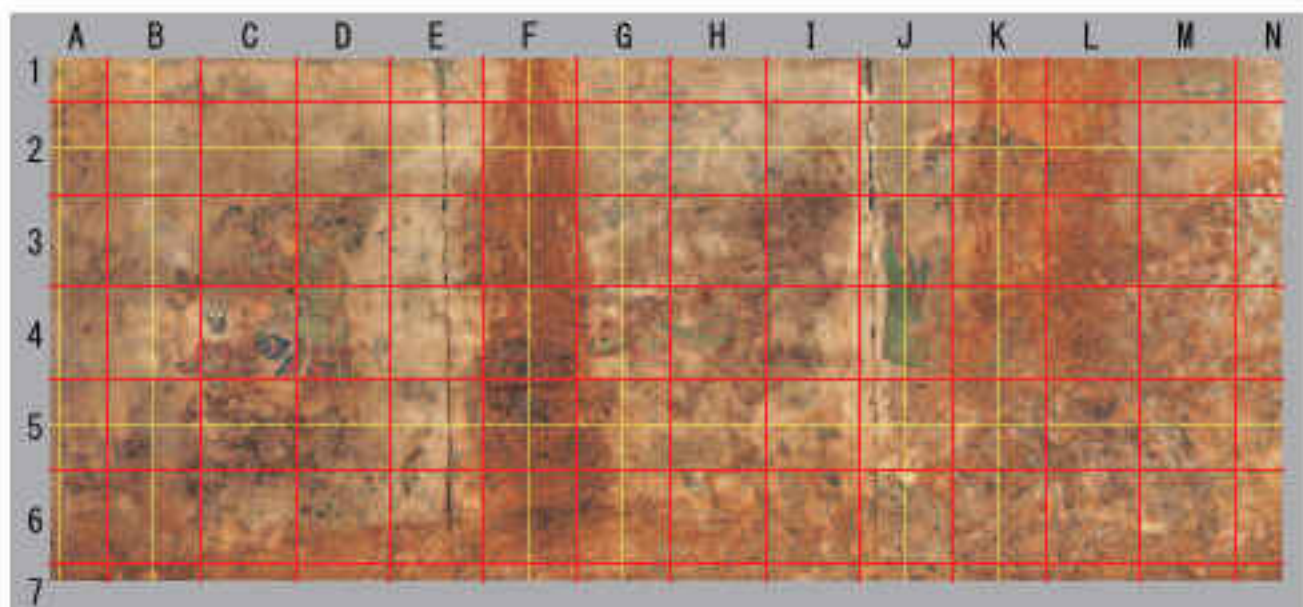


Fig. 28 メッシュを入れた写真(東壁)

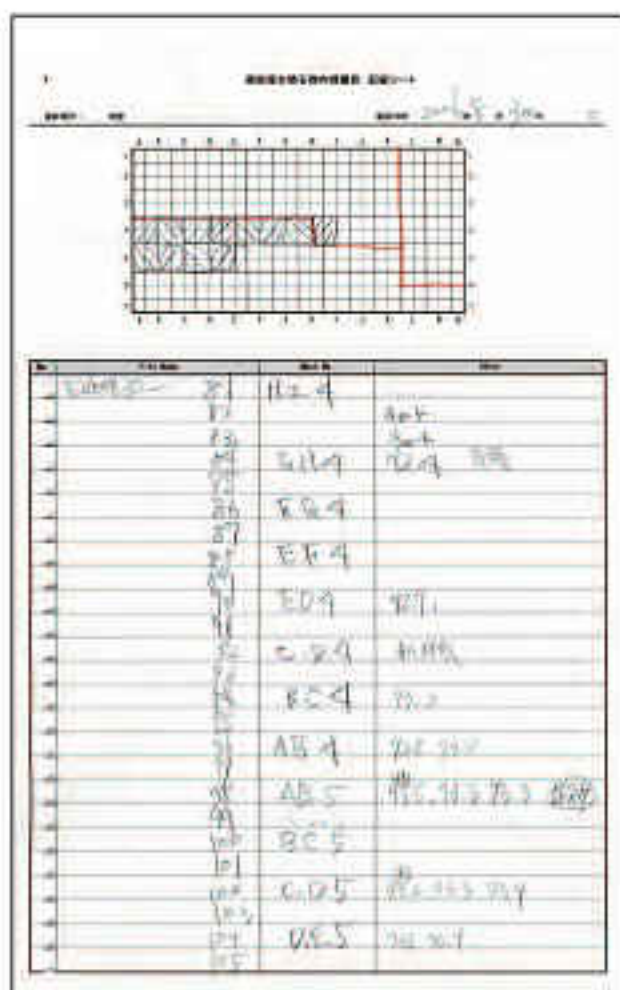


Fig. 29 撮影した画像を記入するシート(東壁)

実験場でのシミュレーション 最後に、京都府加茂町に石室解体作業のシミュレーションをおこなうために建設された「高松塚古墳石室解体第二実験場」を使用して、組み立てられた石室に実際に機材を持ち込み、この手順方法の検証・検討をより実際の空間に近い状況でおこなった。

実験場でのシミュレーションにより、機材の構造から来るトラブルなどを経験した。これらを事前に手直しをすることができ、本番での予期せぬトラブルを極力避けることができた。

国宝である石室内壁面に完全非接触で膨大・困難



Fig. 30 高松塚古墳石室解体第二実験場(京都府加茂町)

な撮影をおこなうには、このように撮影計画をみっちり詰め、計画に沿って石室内の作業者が混乱しないよう撮影しなければならない。さらに撮影を進行・指示するスタッフや監視要員などを石室外に置き、撮影にのぞんだ。

撮影操作 狭い石室内ではカメラのファインダーを覗いたり画像を確認したりすることは不可能であり、石室内でのカメラ操作以外の作業は全て石室外の人間が遠隔操作で担当することにした。デジタル撮影ならではの強みである。具体的にはキトラ古墳での経験を生かし、カメラのファインダー部分に小型のTVカメラをつけ、ファインダーを通した実画像を石室の外からモニタリングできるように工夫した。シャッターは5mのレリーズを使い、石室の外からファインダーのモニタを見ながら撮影し、撮影



Fig. 31 ファインダーに取り付けたTVカメラ



Fig. 32 モニタリング用とチェック用のパソコン

されたデータはカメラからIEEEケーブルを使って、パソコンに転送する。

これらの遠隔撮影をおこなうため石室の外では、ファインダー画像のモニタリング用と、撮影された画像のチェック及びデータ保存用の2台のパソコンを設置することにした。

撮影したデータはその場でパソコンからポータブルハードディスクにコピーをし、研究所に戻った時点で改めて保存用ハードディスクと作業用ハードディスクの二箇所にコピーし保管した。

このようにデジタルデータはもしものことを考え、バックアップをとる必要がある。

撮影チーム フォトマップ撮影をおこなう人員は、古墳内5名とした。これは温湿度の変化を極力避けるため最小限の人員に絞るためである。

まず石室内には、レールの敷設を始め、測距装置を取り付けたデジタルスチルカメラを設置しなければならない。狭い石室内に持ち込む機材は多く、その操作は複雑であり、大変な労力と神経を使う。そのため、石室内での設置作業時には2名入ることとし、機材受け渡しの際には互いに必ず声をかけ合い、落下することの無いよう細心の注意を払った。

石室内での撮影作業は1名であるが、非常に神経を消耗するためこの2名が交代しながらカメラ操作をおこなうこととした。これとは別に、石室入り口から内部の作業を監視する監視係1名、モニタに写るファインダーの画像を確認し、シャッターを切る撮影進行係1名、転送された画像データをチェックするデータ処理係1名、以上5名で撮影を進める。また持ち帰ったデータを研究所にて精査するデータ精査係1名、合計6名のチームで撮影にのぞんだ。

3. 撮影日誌

2006年8月28日 AM8:30より古墳に入り、前室にて機材の搬入・消毒作業をおこなった後作業を開始。東西壁、天井、床の各南より50cmまでの範囲が



Fig. 33 石室内撮影



Fig. 34 石室外のようす

ら撮影を予定。

初日のセッティングは、前室に作業場所を設置したり、そのほかの準備作業などに追われ、撮影開始まで1時間近く時間がかかる。

準備完了後、石室内撮影作業に入る。最初にレールは南壁から40cmのところに東西方向に敷き、まずはカメラを西壁に向け、南壁ぎりぎりまでボールの腕を伸ばす。そして、西壁の最も南寄り、つまり西壁が南壁と接する一番隅の縦ラインを床に近いところから撮影を開始する。西壁南下が高松塚古墳壁画フォトマップの最初のカットである。

初日の作業はシミュレート通りとは行かず、いくつかのアクシデントが起こる。一つは、予想はしていたが、石室内が暗すぎてカメラのオートフォーカスが利かない。

今回使用したカメラシステムは赤外線を照射しないため、ある程度の輝度がなければ合焦しない。フォーカス中の被写体輝度を確保するため、作業用照明として入れていたLEDライトをフォーカス用に点灯し、カメラがフォーカスを合わせれば合図を送り、LEDライトを消灯して撮影することにした。これはキトラ古墳でも経験しており、予想できていたのですぐさま対処することができた。

次に起きた予期せぬアクシデントは、撮影が進むにつれ、徐々にボールのサイドアームを動かすクラシクの動きが鈍くなっていく。

これは十字ボールのうち、おそらくサイドアームとその擦動部分の温度による収縮率の違いが原因と考えられた。外気温30度以上に比べ石室内の温度は10度と低く、温度差が激しい。材質は同じだがアルミの無垢材であるサイドアームの軸部分より筒状の支持体部分の収縮が大きく、ハンドルを回すたびにギアの部分でサイドアームが擦れて削れ、その粉塵がギア部分に挟まり徐々に動きが悪くなる。特にサイドアームはカメラを乗せているため、大きな加重が支持体部分にかかり、削れる割合も多い。

途中、油を差してみたり重さで下がっているカメラ部分を手で持ち上げ水平にして動かしていたがクラシクは徐々に重くなり、最終的に完全に動かなくなる。一旦作業を中止し、この場ではこれ以上対処



Fig. 35 フォトマップ撮影最初の1カット目(西壁南下)

しようがなく、ボールを使ったフォトマップ撮影はここで終了とした。

初日の時間を無駄にしないために、フォトマップ作製に必要な3Dモデリング計測用写真を撮影し、初日の作業を終えた。

研究所にボール機材を持ち帰り確認してみると、ギア部は削れた金属片の粉にまみれていた。しかし、石室内で全く動かなかったサイドアームは、常温に戻れば金属片が噛んではいらぬためスムーズではないものの、動かすことはできた。このまま石室内に入れば同じことの繰り返しのため、まず粉塵を拭き取り、サイドアームをペーパーヤスリにて削り、わずかに支持体部との余裕を持たせて擦動部分のクリアランスを確保した。



Fig. 36. サイドアームとその支持体部



Fig. 37. 3Dモデリング計測用の撮影

入室者：井上、岡田、川瀬、奥村、島野

撮影枚数：172カット344枚（計測用写真を含む）

8月29日 前日の不具合を修正して作業をおこなった結果、心配された機材トラブルも無く、非常にスムーズな動きであった。

午後からは進入口の設置作業があるために午前中のみの作業となる。前日撮影できなかった東西・天井床の南側3ライン分と南壁面を滞りなく撮影することができた。

入室者：井上、中村、岡田、川瀬、奥村

撮影枚数：35カット70枚

8月30日 午前中レール設置時はセッティング移動もあり、石室内2人体制で慎重に作業をおこなう。最大面積の壁面が2日間続くことになる。撮

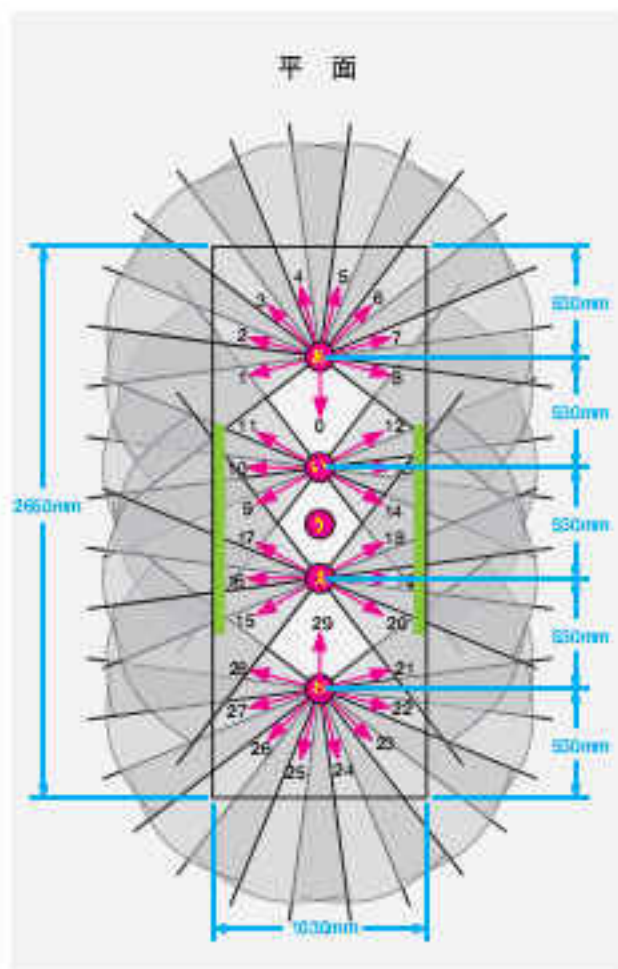


Fig. 38. 石室計測用写真撮影計画図

影を開始してからは、石室内作業を数時間交代でカメラ操作にあたり、集中力を持続して事故防止に努めた。午前中で東の壁面を撮影完了して昼食休憩。

午後からはレールを移動せずに撮影できる東側の天井・床2ラインずつの撮影をおこなう。撮影機材の動きは未だスムーズ。予定した作業は完了。

入室者：井上、中村、岡田、川瀬、奥村
撮影枚数：115カット230枚

8月31日 前日と同じ手順で西壁面を午前中におこなう。しかし午前の終わりに近づくにつれて水平アームの動きが悪くなり、最終的に28日と同じく不動となった。

午前の作業終了後研究所に持ち帰りさらに修正を

施す。午後からはこの修正が奏功して、天井・床の西側2ラインずつを滞りなく撮影完了。

入室者：井上、中村、岡田、川瀬、奥村
撮影枚数：133カット266枚

9月1日 この日は天井・床の中央ラインをそれぞれ撮影後、北壁面を撮影。

午前中の中央ライン撮影は予定通り終了。昼食時研究所での画像精査担当者から画像不具合の報告がある。31日の西壁面最初の6カットほどがレンズ結露でコントラストの低い状態となっていることがわかる。レンズの曇り自体は石室内作業者の認識にあり、クリーニングをおこなっていたが取り切れていなかった模様である。データ処理担当者もその日おこなっていたビデオ撮影の照明がモニタに映り込ん



Fig. 39 レールの設置作業



Fig. 41 東壁の撮影



Fig. 40 機材の搬入



Fig. 42 パイプチップを詰めた柱を使っでの撮影

で見落としていたようである。レールの敷き換えが必要であること、他にも再撮影が必要な画像がある可能性も捨てきれないので次週に全面像確認の上再撮影することにした。

午後から北壁面の撮影とパイプチップ枕を使用した最下段4面の撮影をおこない、フォトマップ撮影は再撮影をのぞいて予定通り終了。

予備日である9月4・5日は、4日午前中に画像精査をおこない午後からフォトマップ再撮影をおこなう。また5日に各壁面の最終フィルム記録撮影をする予定とした。

入室者：井上、中村、岡田、川瀬、奥村

撮影枚数：66カット132枚

9月4日 午前中の大臣視察が長引いて14時開始と

なる。本日は再撮影。週末から精査の結果、心配された画像の不具合は西壁面上部のレンズ曇りがあったらカット分のみであった。機材のセッティングは数日間の慣れから何の問題もなく簡単に組み上げることができるようになったが、慣れと疲れから生じるヒューマンエラーを防止するため石室内作業者があらたに気持ちを入れ替えてカメラ操作をおこなう。

撮影はスムーズに終了して壁面の押さえ撮影を35mm一眼レフデジタルスチルカメラでおこない、フォトマップ撮影機材を撤収した。残すはフィルム撮影のみである。

入室者：井上、中村、岡田、川瀬、奥村

撮影枚数：8カット19枚



Fig. 43 床の撮影



Fig. 44 西の女子群像に最も接近する、その距離僅か15mm



Fig. 45 石室からの出入り



Fig. 46 銀塩フィルムでの撮影

9月5日 レーザー測距機付き改造4×5インチカメラでカラーポジフィルムと白黒ネガフィルムを撮影。さらにバックアップと色調検証用撮影を35mm一眼レフデジタルカメラでおこなう。

撮影には監視担当1名を配置し、石室内では2名が撮影とライティングを交代しながら作業をおこなった。午後4時すぎ、すべての作業終了。

入室者：井上、中村、岡田

撮影枚数：10カット80枚(フィルム)

4. 銀塩フィルムによる壁面撮影

撮影計画・シミュレーションなどを経て目録にあるように無事フォトマップ撮影を終了したが、保管すべき成果品としてはデジタルデータの状態である。デジタルデータの長期保管方法については確立されておらず、今後の進捗に委ねる部分が多い。そこで、可視的な保存性に関して優位な銀塩写真による各壁面の撮影も併せておこなうことにした。

解体前最終の壁面詳細記録であるとともに、劣化に対する検証手段の一助となる。

フィルム撮影では南北壁以外はカメラのヒキがとれず、ファインダーをのぞくことができない。そのためピントを合わせにはあらかじめ石室の外で想定した距離にピントを合わせておき、ピントノブを固定しておく。その後石室内にカメラを持ちこみ、想

定した距離・高さにカメラをセッティングし、壁面との平行を合わせシャッターを切る。こうすることで、ファインダーをのぞくことなく撮影ができる。

カラー撮影ではカラーチャートを必ず入れて撮影し、フィルムタームとプロファイルを作成して最終の色調再現を永続的に可能となるように配慮した。

当然のことながら保存性にすぐれた白黒写真も併せて撮影をおこなった。

5. フォトマップ撮影のまとめ

以上のように綿密な撮影計画と手順の作成、また、それに沿った作業で、合計1,000ショットを超える撮影を壁面への接触事故も無く完了することができた。事故がないことが当たり前で要求される反面、常に危険と隣り合わせの作業が強いられる状況の中、事前の計画・シミュレーションがいかに重要であったか、今更ながらに痛感する。また、作業者の体温による石室内の温度上昇が懸念されたが、心配していた石室内温度上昇はほとんど無く、連続して作業を進めることができた。

こうして撮影したデータは、後述するデータ解析・マッピング作業を経て高精度フォトマップ画像が作製される。このデータは石室解体の基礎資料としての役割をはじめ、様々な場面で活用されることになる。今回作製されたフォトマップ画像は、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るであろう。

デジタル画像データの長期保管に関して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。今後は文化財デジタル画像の作成・保存方法に関して、様々なことを早急に取り決めていく必要がある。

(中村一郎・岡田 愛・井上直夫)

データ解析及び写真・図面の作製

1. はじめに

今回の作業では、正確且つ高精細な画像とトレース図面を得るため、リングメソッドを基本とした三次元計測用の画像と、フォトマップ用の画像を使用した。

データ解析については、多方向から撮影された画像を使い、特徴点を評定ポイントに設定することにより、互いの関係から3次元解析をおこない3次元座標データを作成した。トレース図面については、3次元座標データよりそれぞれの壁面データを抽出し2次元座標に変換後、作図をおこなった。

フォトマップ作製においては最も正射に近い画像をトレース図面に合わせ幾何補正をおこない精度の

高い画像を作製した。

2. 計測点の選択

写真計測において重要になるのが計測点の選択である。通常、正確な写真計測をおこなう場合は対象物に直接マーカーを設置し計測点とするが、今回は対象に一切触れることができないため、壁面の特徴的な所を計測点として選択することにした。

この操作は3次元写真測量ソフトEos Systems, Inc.のPhotoModeler Pro.を使用し、画像全面に正確な座標値を得るため、隣接する複数画像上に、できるだけ多くの共通する特徴点を見つけ出し、計測点として選択した。

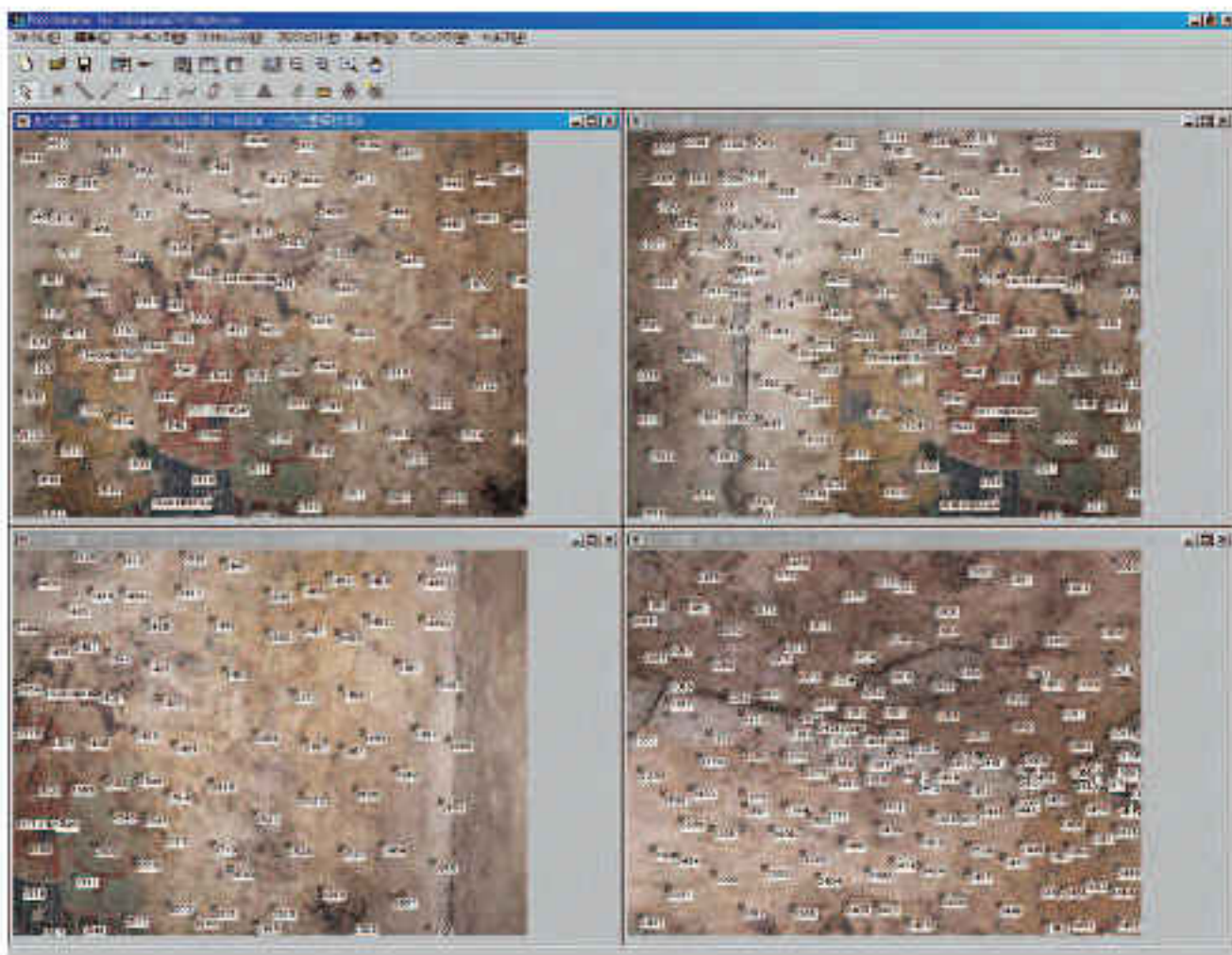


Fig. 47 計測点の選択

3. 計測点の数と分布

通常の3D形状計測であれば計測点の数は数十点でよいが、多数画像の正確な接続合成(フォトマップ)を目的とするため、膨大な計測点の設置をおこなった。特徴点の少ない画像であっても画面内に出来る限り均一に分布させ、立体的に複雑になっている各壁の角や南壁盗掘跡などは特に計測点密度を高め精度の確保に留意した。

計測に使用した画像数と計測点数は以下のとおり。

使用写真数 363カット (正射影画像を含む)

3D計測点数 6,686点

延べ計測点数 45,689点

1枚あたりの計測点数 72~361点

4. 3次元解析

PhotoModellerによる3次元解析をおこない各計測点のXYZ座標値を得た。

この解析行程で、それぞれの計測点の3次元座標値と計算上の精度が数値として得られる。この時点で精度の低い計測点については計測点を見直し再度解析をおこなった。

この状態では壁面や壁面の模様等、図面に必要な部分の座標値は得られない。そのため壁面や壁面の特定できる模様やキズなど、特徴が見分けられる箇所の全てをポイントトレースし座標として埋込む処理をおこない、精度の高い座標値を求めた。

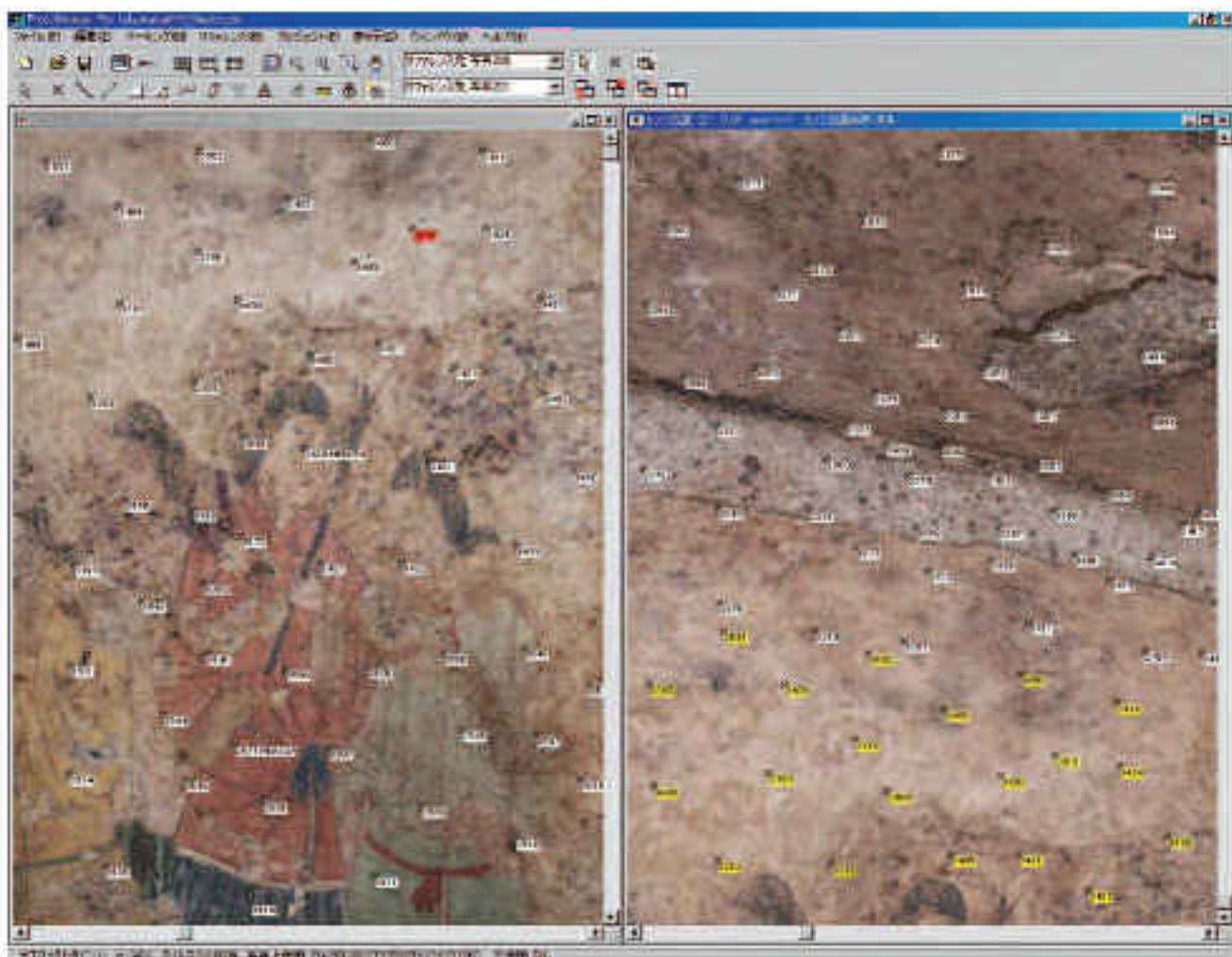


Fig. 48 計測点の選択(拡大)



Fig. 49 壁画のポイントトレース座標

5. トレース図面の作製

PhotoModellerdで解析したデータは、そのままCADソフトに取込むこともできるが、今回はフォトマップ作成で大型画像を扱うアドビPhotoshopに下絵として取込む必要もあり、親和性の面からアドビIllustratorを使用して作図をおこなった。

Illustratorでは3次元座標データを読み込めないため、マイクロソフトExcelにより管理し、必要データの抽出と座標変換をおこなった。

抽出した座標データはExcelからIllustratorに直接マッピングするプログラムを作成して大量の座標データを正確に図面変換しながら、それぞれのポイントを元に壁面や壁面の模様作図をおこなった。

6. 画像合成(フォトマップ)の作製

1枚当たり約115MBの部分撮影データを東壁・西

壁・天井・床面では各々約90枚、8,667MB、南壁・北壁では各々30枚、2,949MBと、でき上がったデータサイズの大よそ6倍にもなるデータ量の画像を使用し合成処理をおこなった。その方法は、2次元(平面)に座標変換した計測点と図化したデータを下絵にし、正射撮影画像に幾何補正をおこなった。また、光学系による収差の影響と、遠近差による結像誤差も抑えるため画像の中心部分のみを使用し、座標変換した計測点と同じ位置座標を持った一枚の画像に合成処理をおこなった。色調については、同時に写しこんであったマクベスカラーチェッカーをターゲットにして、カラーマネジメントソフト「プロファイルメーカー(ProfileMaker)」によりICCカラープロファイルを作成した。このプロファイルを適用し最終フォトマップ画像データを完成させた。

(川瀬敏雄・奥村泰之・島野 聡)



Fig. 50 ポイントトレース座標の二次元化

作成したフォトマップデータは、各々以下のサイズとなった。

東壁	32,136×14,370ピクセル	1,290MB
西壁	32,000×14,000ピクセル	1,250MB
南壁	13,200×14,000ピクセル	528MB
北壁	13,200×14,000ピクセル	528MB
天井	31,867×13,200ピクセル	1,170MB
床面	31,634×12,667ピクセル	1,203MB

使用ソフト

- ・3次元写真測量ソフト
Eos Systems, Inc. PhotoModeler Pro
- ・座標変換及び図化
マイクロソフトExcel
独自開発VBAマクロ
- ・図面作製ソフト

Adobe Illustrator CS2

アプリケーション CADtools 3J

- ・画像の幾何補正・合成、調整ソフト

EskoGraphics ColorTone

Adobe Photoshop CS2

- ・カラーマネージメントソフト

x-rite プロファイルメーカー(ProfileMaker)

用語解説

- ・リングメソッド：計測点に対し円形方向にアプローチをする方法、方式。
- ・幾何補正：位置がわかっている場所と画像上で対応する場所の情報から導かれる式を利用して画像の歪みをとる処理。
- ・カラーマネージメント：異なるデバイス間の色を統一的に管理するための方法。
- ・カラープロファイル：ICC(International Color Consortium)の規定に準拠した色の性質、特徴などが記述されたデータ。

ブルーレイハイビジョン動画の制作

今回フォトマップのデータを基に、ハイビジョンによる動画の制作もおこなった。

写真計測によって得られた3次元座標データを元

に、3次元形状データを作成し、それにフォトマップを適応させることによって石室内部をコンピュータ上で再現した。この3次元データを使用して、



Fig. 51 この画像では内部を見せるために、東壁と南壁を非表示にしている



Fig. 52 盗掘口から内部を覗いたイメージ。動画の冒頭部分で使用された

1,920ピクセル×1,080ピクセルの無圧縮フルハイビジョン仕様の動画を制作した。このため編集前の動画データは、総尺で約1.2TBほどの容量になった。

具体的には、フォトマップ静止画像データを1フレームレート30枚の画像をレンダリングし、動かす。例えばA地点からB地点まで5秒かかって画像を水平に動かす場合、Aの視点からBの視点までのデータを1秒間に30枚の画像を作り、順次切り替えて合計150枚の画を表示することで動画となる。

通常の動画であれば、カメラが動き動画を制作するが、この場合は、カメラが固定され壁画が動いた状態になる。1秒間に30枚の静止画を順次切り替えて表示しているため、任意の場所で画像を静止させても画像はブレることなく表示させることができる。つまり観察したい場所で画像を静止させても画像はブレず見ることが可能である。本Blu-ray画像は10分間であるため、都合18,000枚の画像を順次連続的に表示させている。

編集に際しては、NTSC(日本で使用されているTV放送規格)ベースでおこなったので、1コマ約6MBのファイルが1秒間に約30コマ使用され、編集後の動画ファイルにおいても50GB以上の容量となった。

しかし、このままでは動画の再生環境が限られるので、今回はMPEG-4規格で圧縮しBlu-ray規格(NTSC)にて格納した。格納後のファイルサイズは音声も含めて約7GBである。

(古谷隆彦・井上直夫)

用語解説

- ・フレームレート：1秒間に何枚の画を描画するかの指標。枚数が多いほど滑らかな動きとなる。
- ・レンダリング：数値データとして与えられた物体や図形に関する情報を計算によって画像化すること。一般的には3次元グラフィックスを描画することを指すことが多いが、広義にはデータの可視化一般をレンダリングと言う。一般的には3次元グラフィックスを描画することを指すことが多いが、広義にはデータの可視化一般をレンダリングと言う。(IT用語辞典e-Words)
- ・NTSC：主に日米で使われている放送規格。他には主に欧州で使われているPAL規格があるが、両者には互換性はない。
- ・MPEG-4：最近H.264がMPEG-4 Part 10 AVCとして規格化された。少ないデータ量で動画を伝送するための動画圧縮規格であり、従来方式であるMPEG-2などの2倍以上の圧縮効率を実現されている。つまり、同じ画質であればファイルを小さくすることができ、逆に同じファイルサイズであれば、より高画質にする事が可能であるといえる。



Fig. 53 Blu-rayとDVDとの比較

向かって左がBlu-ray(1,920×1,080)に対して右がDVD(640×480)。動画圧縮率を無視すると9倍の情報量を持っている。

成果のまとめ

1. 3D測量とフォトマップの作製

高松塚古墳の壁画発見以来、壁画の現地保存の努力が30有余年にわたって積み重ねられてきたが、壁画を取り巻く環境の悪化は、石室を解体して壁画を保存修理するという苦渋の選択をもたらせた。平成18年10月に石室解体に向けた発掘調査が開始され、石室解体取り上げ作業は、平成19年4月5日の天井石4に始まり、8月21日の床石2をもって16石すべての取り上げを無事に終了した。

この事業は、壁画と石材の保存修理後に、再び壁画を古墳に戻すことを前提に決定されたが、解体前の石室の規模や構造に関する考古学的情報は、壁画が発見された昭和47年当時の限られた情報にすぎず、石室の解体に先立ち、石室の現況の記録作業が緊要の課題として浮上した。壁画の描かれた石室を再び古墳に戻すためには、石室と壁画の正確な三次元情報が欠かせないからである。また、昭和47・49年の測量の誤差を補正するために実施したトータルステーションによる石室の計測の結果、石室が歪んで傾く事実が明らかとなり、石室と壁画の現況をより詳細に調査記録する必要性が生じた。これらの問題を解決すべく実施したのが平成17年12月28日の石室の3D測量と、平成18年8月28日から9月5日にかけて実施した壁画のフォトマップ撮影である。

フォトマップ撮影は、平成16年4月に実施したキトラ古墳壁画のフォトマップ撮影の経験を生かし、機材の開発、撮影手順などに工夫と改良を加え、本番に備えて、スタジオ内に実物大の簡易な模型をつくり、綿密な撮影計画を立てた。また、京都府加茂町の実験場で撮影の模擬実験と検証をおこない、機器に改良を加えた。撮影は3,900万画素という高画素のデジタルバックを使用することにより、高精度な壁画の画像を得るとともに、カラーチャートを撮し込むことで壁画の忠実な色彩を再現することに努めた。キトラ古墳の壁画撮影が1,600万画素であったことを思うと、デジタルカメラの性能の向上には目を



Fig. 54 カラーチャートを入れた撮影

見はるものがある。完成したフォトマップと3D測量による石室の実測図との誤差は、部分的には異なるものの、フォトマップでの精度は計測ポイント間1,000mmで±2mmという高精度なものである。

本番の石室内での実質的な撮影時間は、7日間、延べ49時間で、撮影枚数は計測用写真も含めると、1,000枚を超える。これらの写真資料は、出来上がったフォトマップとともに、解体前の石室の姿を後世に伝える貴重な資料となろう。フォトマップの完成後に、各壁画、天井、床面の実物大フォトマップパネルを作製しており、今後、展示などへの幅広い活用が望まれる。

2. フォトマップと動画

フォトマップの作製に付随して、壁画の全容を動画として編集することができた。石室幅103.5cmという狭い空間では、引きがないために、ビデオやテレビカメラで壁画全体を正面から撮影することはできない。このためこれまでの壁画の映像は、壁画の個別写真をつなぎ合わせたアニメーションがあるにすぎず、石室内における壁画の正確な位置や、石室の細部に関する情報が欠落せざるを得なかった。

今回は、石室の三次元座標データをもとに、三次元形状データを作成し、そこにフォトマップを合成して、石室内部をコンピュータ上で再現した。動画の制作は、カメラを動かして撮影する通常の動画と

は逆に、1秒間に30枚の静止画像を順次動かす方法で制作し、ブレのない動画をハイビジョン映像で制作することができた。10分間のブルーレイ画像に使用した静止画像は、実に1万8千枚にのぼる。これによって、あたかも肉眼で石室内の壁面を見るような臨場感溢れる動画が完成し、拡大映像によって、壁面の細かな筆遣いや、精緻に描かれた文様の細部の観察が可能になった。

さらにこの映像に、文化庁文化財部美術学芸課古墳壁画室の協力を得て、壁面のもつ歴史的、学術的な価値について分かりやすいナレーションを付すことができた。ナレーションは、海外の研究者の活用にあつたために、日本語以外に英語、中国語、韓国語を用意し、自由に選択できるようにした。こうして出来上がったブルーレイディスクハイビジョン動画が、本書に添付した『高松塚古墳壁画 2006』である。ビジュアルで高画質な映像、そして壁面に関する平易な解説は、貴重な国宝高松塚古墳壁画の理解の深化に威力を発揮するものと期待される。

3. 壁面の状態変化と写真撮影

フォトマップ撮影を通して気づいたことは、昭和49年に刊行された印刷物(高松塚古墳総合学術調査会『高松塚古墳壁画』便利堂、昭和49年12月5日)の画像が、彩度、コントラストが共に高く、色目もやや違うよ



Fig. 55 修理作業室に運び込まれた壁画

うに見える点である。残念ながら今となっては印刷写真と実物の差異を確認する術はなく、発見当初の色を再現することはできないが、グレースケールやカラーチャートなどが写し込まれた当時の写真が存在すれば、画像処理によって、ある程度は発見当時の色彩を再現することが可能となる。

今回撮影した画像を観察すると、大きく変化してしまった白虎をのぞき、壁画自体の色彩には大きな変化がないように感じられる。むしろ壁画周囲の漆喰表面が黒ずんだために、壁画のコントラストが低下し、見えにくくなっているというのが実情ではないだろうか。それを確認するためにも、発見当時のグレースケールやカラーチャート入りの写真が求められるところである。

現在、壁画は、温度20℃・湿度55パーセント前後に環境制御された仮設修理施設内に収納されている。修理施設内の壁画は、フォトマップ撮影時の状態に比べると、全体が白っぽくなったように見えるが、これは乾燥によって濡れ色が失われたためで、決して壁画自体が薄れたわけではない。乾燥による壁画の状態変化を記録するためにも、今後、壁画の定期的な写真撮影を実施する予定である。

4. おわりに

以上のように、石室解体前に実施した石室の3D測量とフォトマップ撮影は、現在採りうる最善の記録方法であり、国宝高松塚古墳壁画の恒久保存対策を進める上で、貴重な基礎データを整備することができた。中でも、情報量溢れるハイビジョン動画の制作は、古墳壁画の記録と公開、活用をめぐる新たな試みでもある。

3D測量とフォトマップ写真の併用は、文化財の計測、記録方法として今後益々需要が増大するものと予想されるが、本書にまとめた作業記録が参考になれば幸いである。

(井上直夫・松村恵司)

English Summary
Photomap Images of the Takamatsuzuka Tomb Murals
Nara National Research Institute for Cultural Properties
Publications on Historical Materials Volume 81

This volume contains technical research report on making of photomap images of the Takamatsuzuka tomb murals prior to its dismantling repair.

It is not able to make a measured drawing without any contact to an object. Photogrammetry is a non-contact method for making an accurate image on the other hand; however, it is hard to achieve a precise picture like an actual-measured drawing. Laser three-dimensional measuring system is not suitable for a two-dimensional object such as a mural painting.

Any direct contacts were not allowed to obtain measured drawings and accurate images in the case of the Takamatsuzuka tomb murals. Conventional method such as actual measurement, photogrammetry, and three-dimensional measurement were not applicable there. Then, we tried to apply the method of photomap.

The photomap achieves a precise and accurate image of the original object without any contacts, converting and synthesizing several photo images. This photomap measures to an accuracy of ± 2 mm between two measurement points calibrating 1,000 mm. This photomap is so precise to record original status of the stone chamber of the Takamatsuzuka tomb and to offer fundamental data to assess the conservation state of the murals in the wake of its dismantlement.

Editors

Inoue Tadao · Okada Ai

Contributors

Matumura Keiji · Inoue Tadao · Nakamura Ichiro
Okada Ai · Kawase Toshio · Okumura Yasuyuki
Shimano Satoru · Yoshitani Takahiko · Tamura Isao

Photographers

Inoue Tadao · Nakamura Ichiro

Contents

Preface	
Legend	
Outline of research at the Takamatsuzuka tomb	9
Outline of photomap images	15
Selection, design, and production of equipment and materials	16
Outline of photomap making	19
Process of photomap making and diary report	21
Data analysis and production of photomap images	30
Production of animation for Blu-ray Hi-Vision television	34
Conclusion	36
English summary	38
Plates	

2009

Nara National Research Institute for Cultural Properties
Independent Administrative Institution National Institute for Cultural Heritage

II 図 版

凡 例

1. PL 29～33のフォトマップ写真は700線、他はすべて300線で印刷。
2. PL 1, 3, 8, 11, 15, 19, 23の壁画部分全体図は縮尺不同、他はすべて実寸。
3. 計画図・フォトマップの縮尺は1/10。なお、フォトマップ壁画全体写真については傾きを修正して掲載している。
4. 実寸で掲載された壁画写真はフォトマップデータを基に290dpiの出力解像度をもって作製されており、歪みの無い正確な大きさ・色・形である。
5. 色再現の基準は撮影時にマクベスカラチェッカーを写し込み、ICC標準のプロファイルを作製し、それぞれの画像に適用して、正確な色再現に努めた。



玄武 (1:1)



女子群像



女子群像 左半部 (1:1)



女子群像 右半部 (1:1)



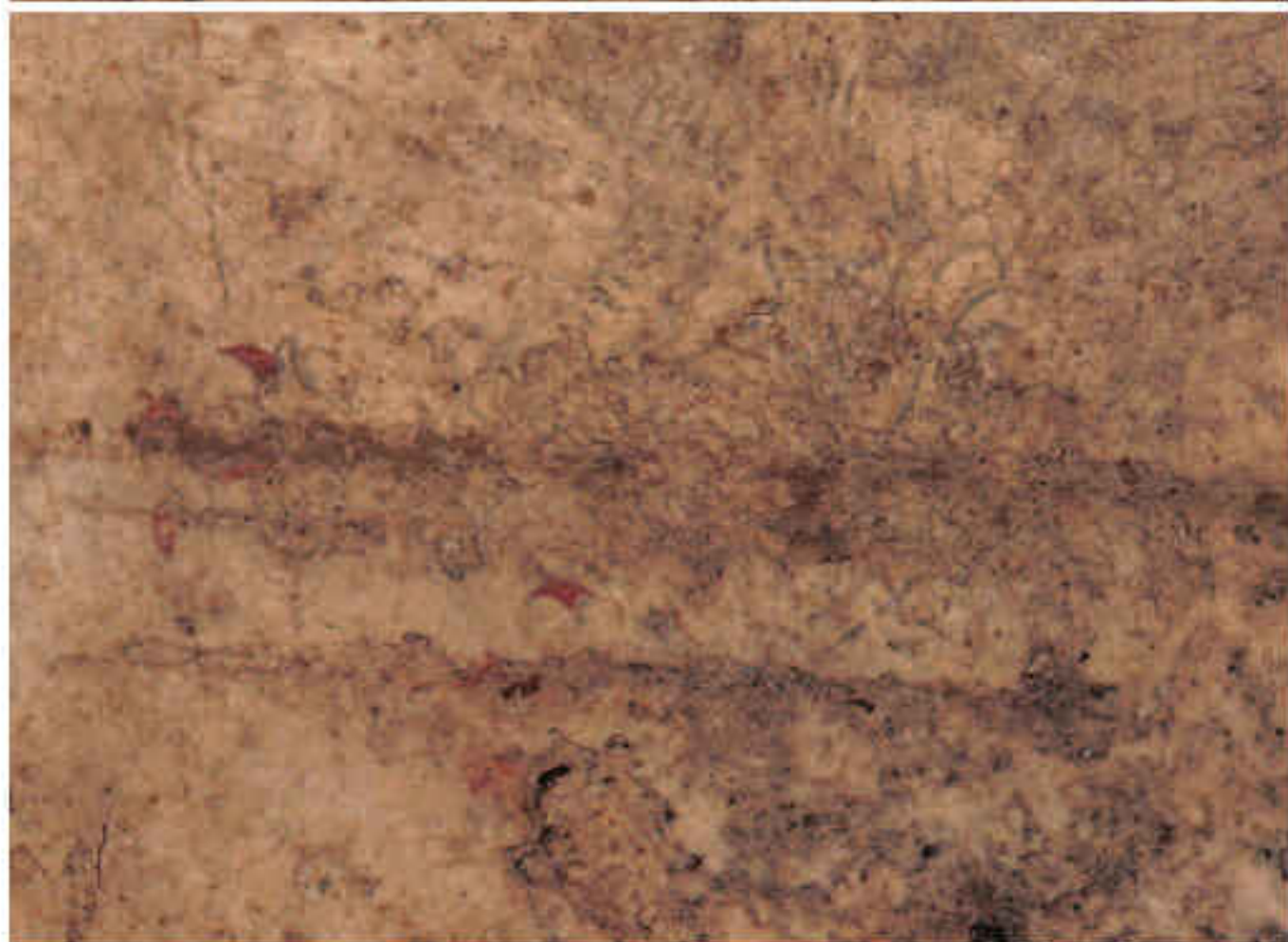
上：女子群像 右半部腰部（1：1）

下：女子群像 左半部腰部（1：1）



上：女子群像 左裳部（1：1）
下：女子群像 右裳部（1：1）





上：白虎 頭 (1:1)
下：白虎 前脚 (1:1)



上：白虎 鬃·後脚 (1:1)

下：月像 (1:1)



男子群像



男子群像 右半部 (1:1)



男子群像 左半部 (1:1)



左：男子群像 袋状持物 (1:1)



右：男子群像 杖状持物 (1:1)



女子群像



女子群像 左半部 (1:1)

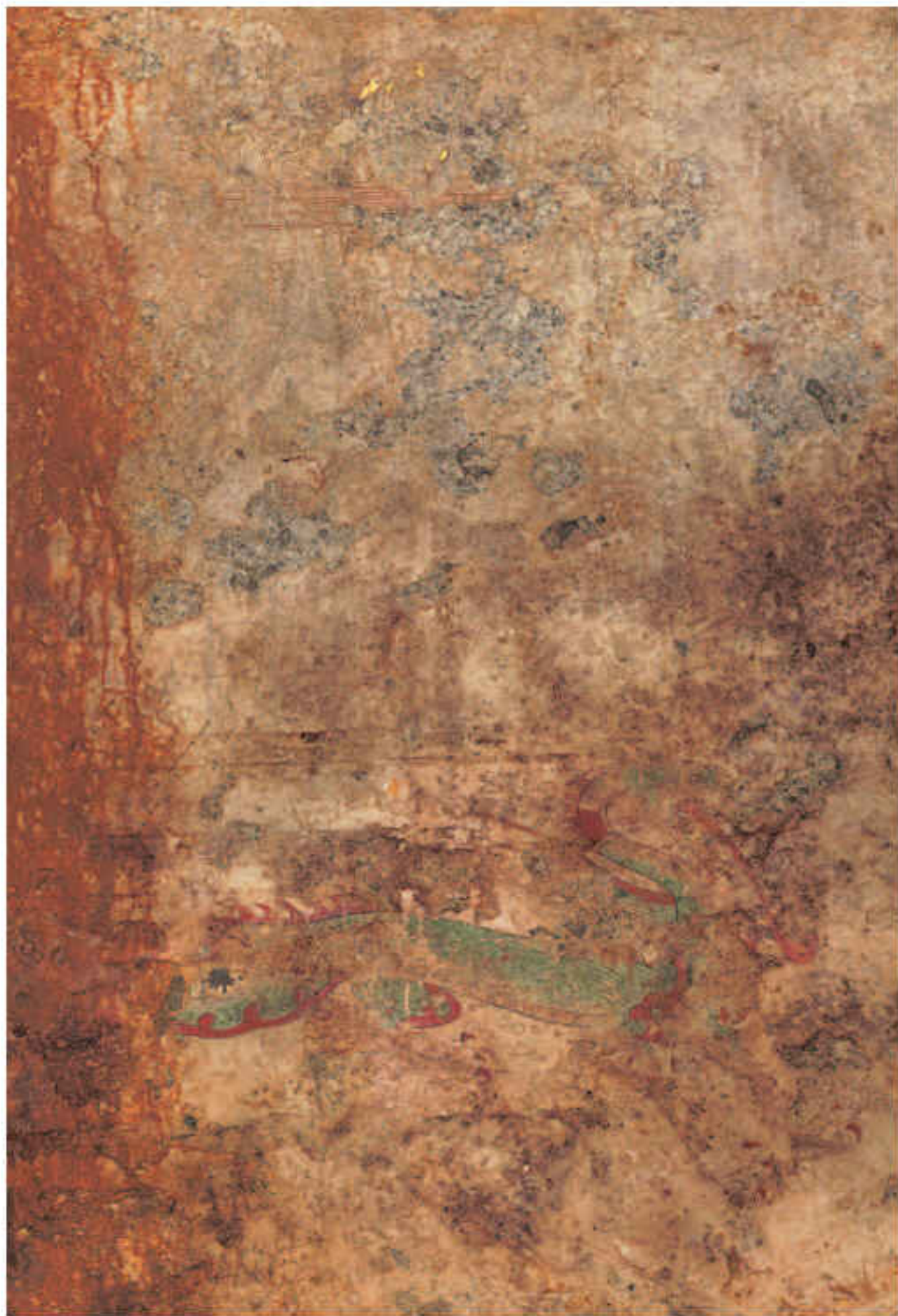


女子群像 右半部 (1:1)



左上：女子群像 弘子 (1:1)
下：女子群像 右衛門 (1:1)

右上：女子群像 内膳 (1:1)







上：青龍 前胸 (1:1)
下：青龍 後胸 (1:1)



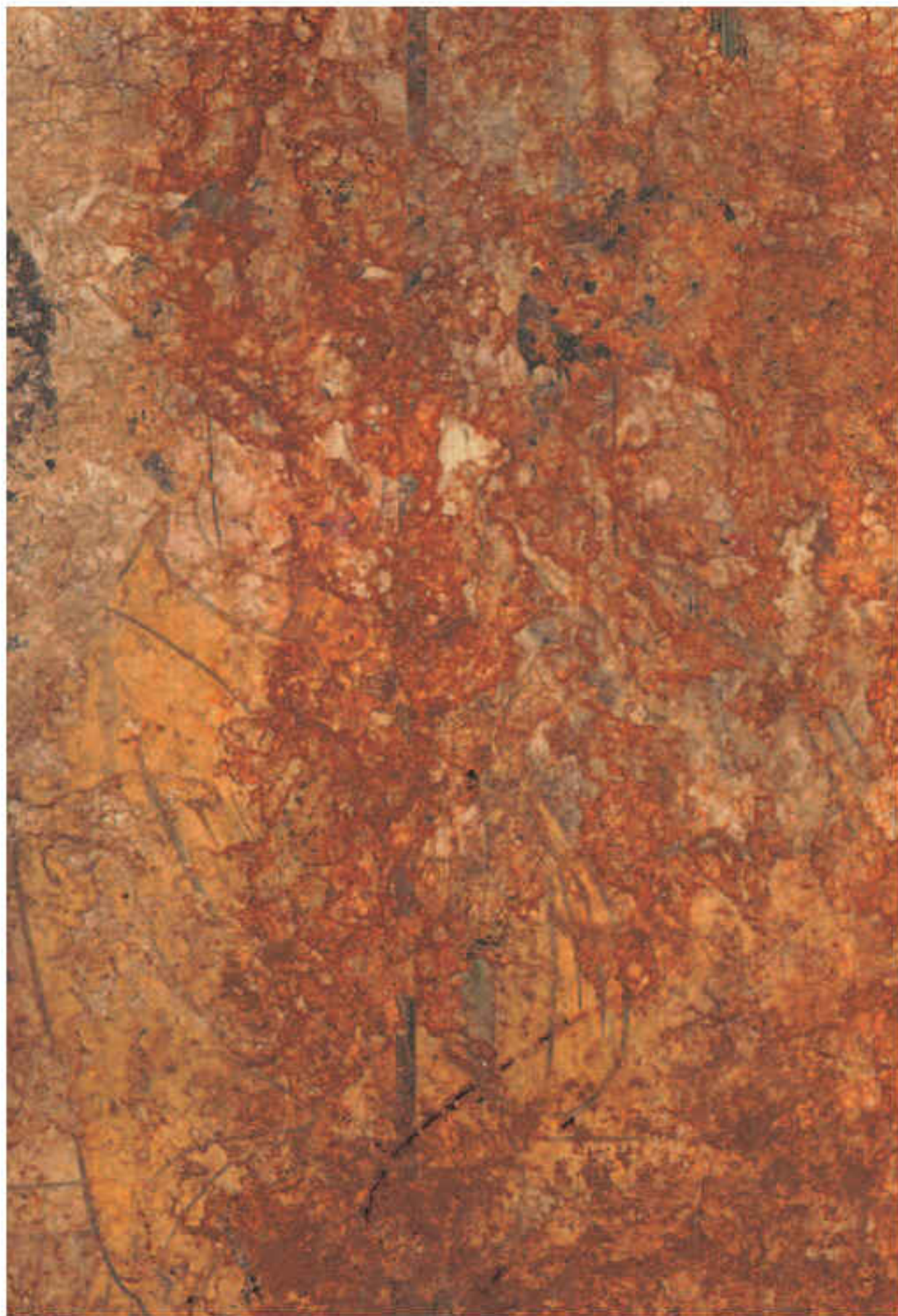
上：青龍 前脚 (1:1)
下：日像 (1:1)



男子群像



男子群像 左半部 (1:1)



男子群像 右半部 (1:1)



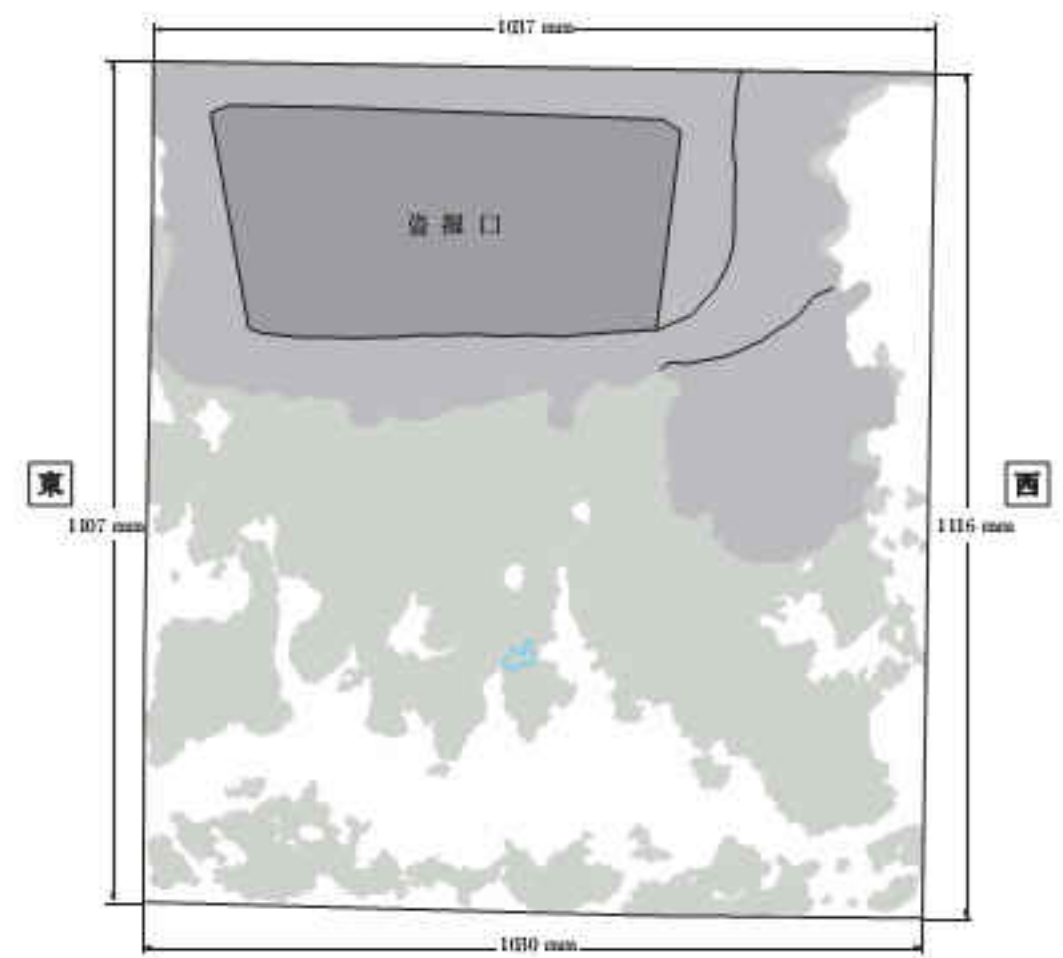
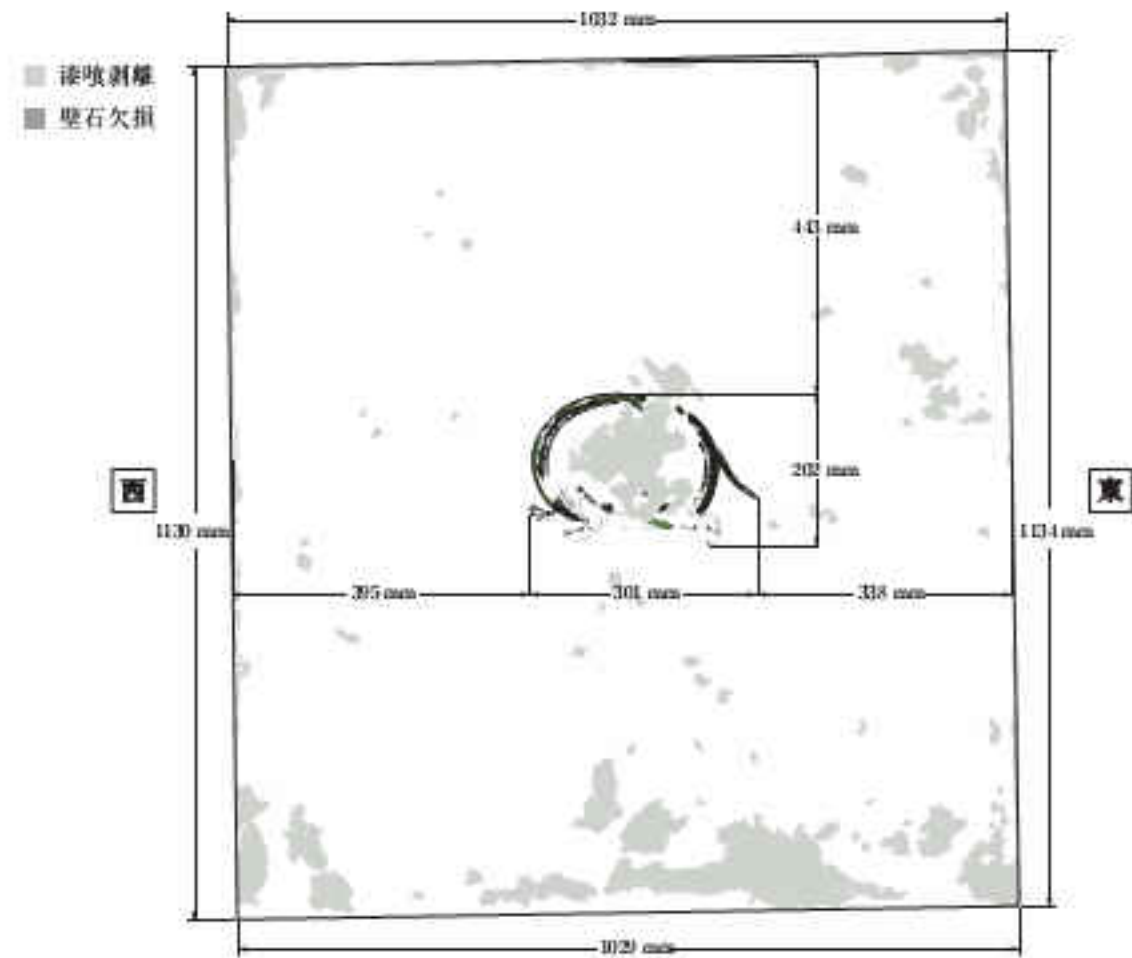
上：男子群像 畫 (1:1)
下：男子群像 脚 (1:1)

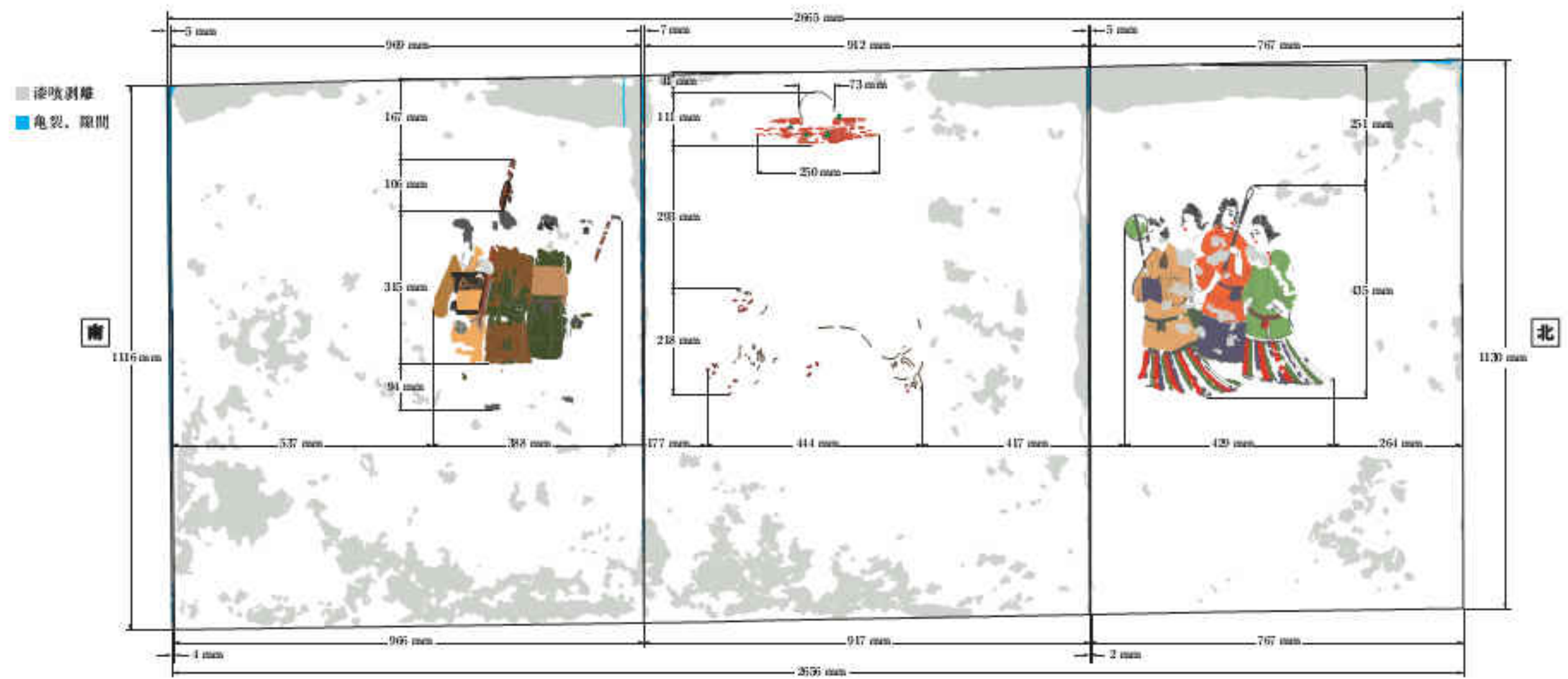


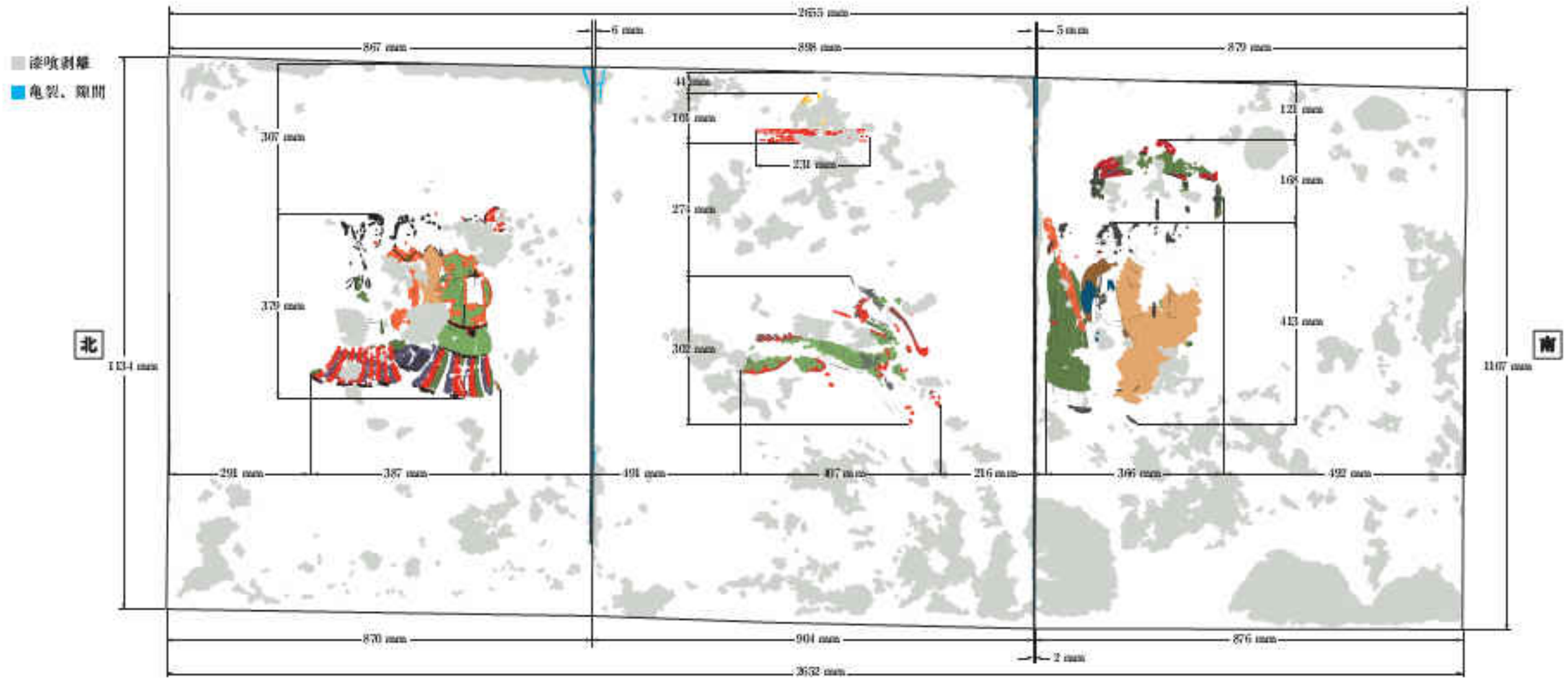


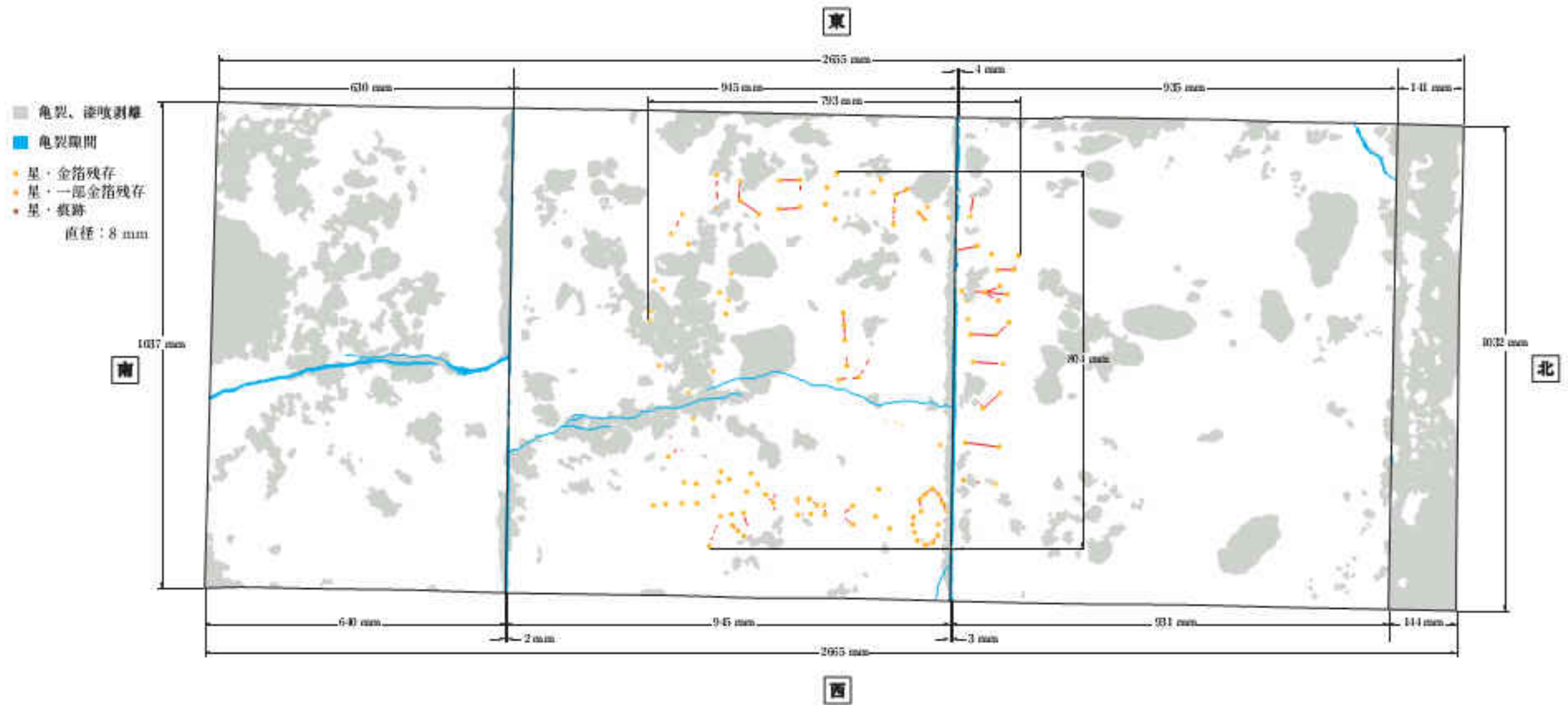
上：室宿 (1:1)

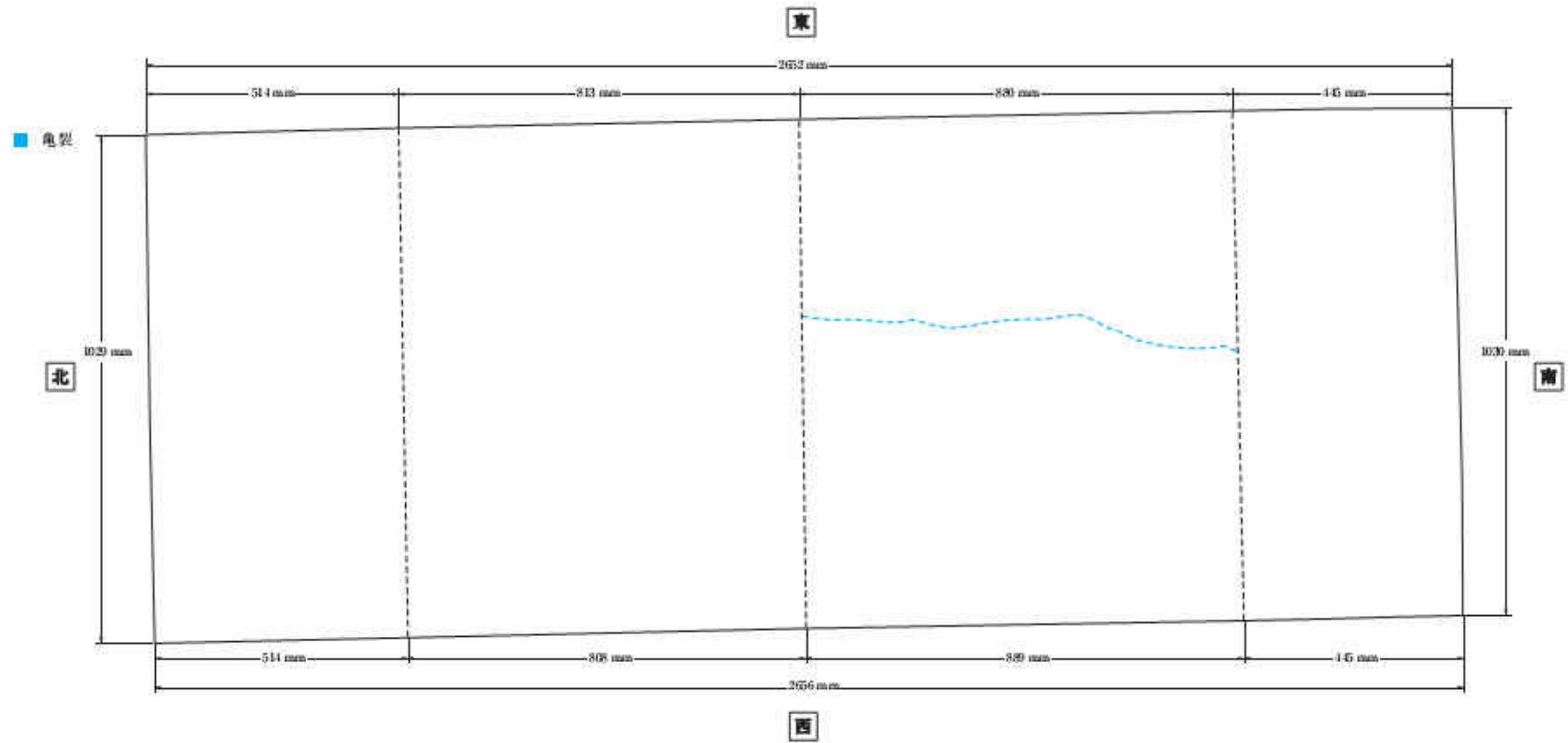
下：斗宿・牛宿 (1:1)











2009年1月23日 印刷
2009年1月30日 発行

高松塚古墳壁画フォトマップ資料

奈良文化財研究所史料第81冊

発行・編集 独立行政法人 国立文化財機構
奈良文化財研究所
協 力 文化庁
印 刷 岡村印刷工業株式会社
大阪市住吉区长居東3丁目4番17号
TEL 06-6697-3371

ISBN978-4-902010-67-1

このブルーレイディスクは、日本語、英語、中国語、韓国語の言語を選択できます。

This Blu-ray disc is for multiple languages of Japanese, English, Chinese, and Korean.

이 블루레이 디스크는 일본어, 영어, 중국어, 그리고 한국어의 언어를 선택할 수 있습니다.

这张蓝光光盘可选择日文、英文、中文、韩文。

