

泥に覆われた図像の赤外線撮影

—1550nmの波長を用いた キトラ古墳壁画青龍の調査—

はじめに 国宝キトラ古墳壁画（7世紀末から8世紀初頭）に対してはこれまで表15のように赤外線撮影を実施している。その際に使用した赤外線は一般的な木簡等の撮影にも用いる波長880～900nmの赤外線である。

キトラ古墳に描かれた四神のうち東壁の青龍は、天井石材の隙間から流入した泥土によって覆われ、図像の大半が判別できない状況だが、既存の赤外線画像により、前半身については薄い泥の下に残る描画線を確認できる（図94・95）。しかし、胴体から尾にかけての後半身部分は泥が厚く、図像は確認できない。そこで、泥が厚い部分の描画線を確認すべく、より波長の長い赤外線を用いた撮影手法を検討し、青龍の図像を調査した。本稿はその報告である。模擬試料は濱村・濱松が作成し、中田とともに予備実験をおこなった。調査では、治具調整と操作は田村・辻本、PC撮影操作は中田、撮影作業と画像処理は栗山が主としておこなった。（石橋茂登・濱村美緒）

撮影機材、手板によるテスト 撮影ならびにそれに先立つ予備実験で使用した機材を表16に示す。本研究で使用したカメラは1700nm程度までの赤外線に対応している。このような波長の長い赤外線は波長の短い赤外線と比較して粒子による散乱が少なく、表面を覆う粒子層のより深くまで侵入しやすいことから、これまで観察の難しかった厚い泥に覆われた壁画の表面状態を観察できると期待される。

赤外線画像では反射率が高いものは白く、低いものは黒く記録される。赤外域で反射率の低い色材のひとつに墨が挙げられるが、高松塚古墳壁画では黒色を呈する描画線の色材に墨が用いられた可能性が指摘されており¹⁾、同時代に描かれたキトラ古墳壁画においても同様に墨が使用された可能性がある。したがって、泥の下に墨による描画線が残存していた場合、赤外線画像ではこの部分が

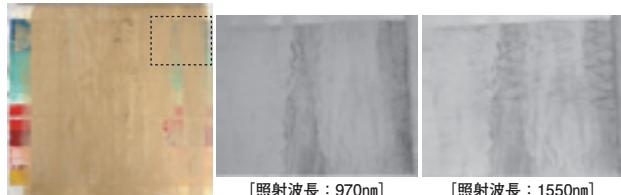


図91 予備実験の結果（左：模擬試料 右：赤外線画像）

黒く記録されるとみられる。近年、従来のものより波長の長い赤外線を用いたイメージング技術の基礎研究が進み、文化財の調査にも応用されている。例えばルネサンス期の油彩画でおこなわれた調査では、1400nmの波長を使用して撮影した赤外線画像にて、彩色の下に残存する木炭の下描線をより明瞭に観察したことが報告されている²⁾。

調査に有効な波長を検討するため、まず壁画の表面に泥が付着した様子を簡易的に再現した模擬試料を用いた予備実験をおこなった。実験にはカメラ①ならびに光源を使用した（表16）。970nm、1050nm、1200nm、1300nm、1450nm、1550nmの6種類の波長を照射して撮影した赤外線画像を比較したところ、泥の下に残存する墨の描画線は1550nmの波長でもっとも明瞭に観察できた（図91）。以上の結果をもとに、1550nmの波長を用いてキトラ古墳壁画の撮影をおこなった。

（中田愛乃／大阪大学・田村朋美・辻本與志一）

撮影手法、画像の作成 泥に覆われた青龍は、全身の姿を目視できない。しかし前半身や泥外漆喰部、あるいは白虎との比較で概ね20×40cm程度だと想定でき、このサイズなら中判デジタルカメラによる1ショット撮影で対処することが多い。ところが一般的なデジタルカメラの近赤外線感度は1200nm程度で、しかも光源は小型となる。このため1550nm領域の波長を捉えるのは、表16のカメラと光源となる。だが、画素数は少なく、カメラ①で81,920画素、②は327,680画素しかない。一般的な印刷

表16 カメラ・光源仕様

カメラ①	カメラ②
ADEPT TURNKEY社製 NIR-300	アバールデータ社製 ABA-003VIR
・画素数：320(H)×256(V) pixels	・画素数：640(H)×512(V) pixels
・ピクセルサイズ：30μm×30μm	・ピクセルサイズ：5μm×5μm
・対応波長：900-1700nm	・対応波長：400nm-1700nm
	レンズ：株式会社ミュートロン製 HS1214V-SW

光源 スペクトルデザイン社製 NIR波長切換光源HOTAL-10A
・対応波長：970、1050、1200、1300、1450、1550nm

表15 キトラ古墳壁画の赤外線撮影 一覧

日付	撮影壁画	備考
2004.3.18	青龍（頭側中心）、玄武、日月、十二支	石室内で撮影（880nm）
2004.7.13	青龍（想定全身）、玄武、白虎、十二支像	石室内で撮影（880nm）
2004.7.21	朱雀（全身・部分）	石室内で撮影（880nm）
2005.7.22	午（泥転写像）	取り出した図像部分の撮影（880nm）
2012.1.25	四神	取り出した図像部分のデジタルアーカイブスキャン（900nm）
2024.11.20	青龍（全身）	修復後の壁画の撮影（1550nm）（NIR-300使用）
2024.12.27	青龍（全身）	修復後の壁画の撮影（1550nm）（ABA-003VIR使用）



図92 カメラ②による撮影（カメラ①の際も同じ治具を使用）

物350dpi換算にすると、画像の大きさが①は $2.32 \times 1.86\text{cm}$ 、②は $4.64 \times 3.72\text{cm}$ となり、分割撮影が不可欠となる。

撮影計画はカメラ①で検討した。まずピント確認。壁画から50cm離れた位置となり、その画角は $6 \times 8\text{ cm}$ である。この画角設定はカメラ②でも踏襲した。画像周辺の歪みや解像性の悪さが予測できたことから、50%のオーバーラップで縦3cm、横4cm移動の撮影とした。撮影範囲は青龍の想定寸法よりひと回り大きくし、 $33 \times 56\text{cm}$ のグリッドを設定した。カメラ①では縦10列・横11列で130カット、②ではさらに余裕をもたせて縦11列・横13列の143カットの分割撮影とした。

実際の撮影時には縦横の移動精度を上げることが欠かせず、蛍光X線撮影の治具を流用することで対処できた（図92）。また、PCコントロールでシャッターを切るにも撮影範囲が狭く、描画線等の目標不在箇所のピント確認は難しい。そこで、24インチモニターとPCを接続して画像を確認しつつ、等倍プリントも見比べながら撮影し、漏れがないよう記録シートチェックも併用した。意図しない光源波長の影響を回避するため、撮影時は部屋の照明は消灯した。

撮影した元画像では描画線の視認性が低いことから、画像1枚1枚に対して明暗の調整とレベル補正による階調圧縮処理をして鮮明化を図った。この調整処理を経た画像を元に、画像接合前作業としてカメラ①は100dpi、②は200dpiの等倍プリントを手貼りする見当プリントを作成した（図93）。その上で相対的に写りが良好な画像を選択してトリミングしながら画像を繋げ、形状検証に用いる接合素図を作成した。そして、フォトショップのフォトマージュ機能による画像接合をおこない、フォトマップ画像と比較しながら形状を整えて完成させたものが図96・97である。
（栗山雅夫）

青龍図像の検討 今回の撮影では、背中の描画線や胴のうろこの一部が確認できた（図96・97）。また、後脚の付け根あたりに尾と見られる描画線を、さらにその後方には尾のうろこと思われる線等を確認することができ

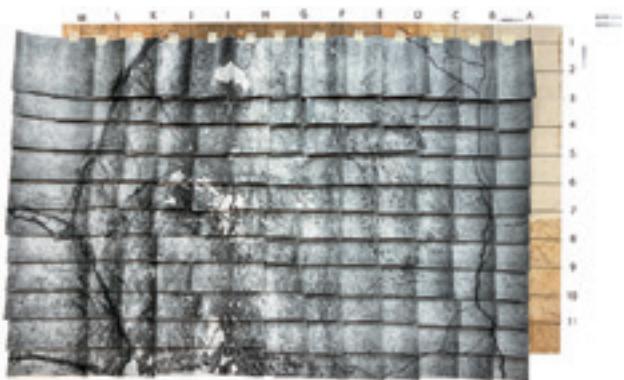


図93 カメラ②撮影画像の等倍プリント

た。脚の付け根あたりからやや後方に伸びながら下方に曲がる描画線は、キトラ古墳壁画の白虎や、高松塚古墳壁画の青龍および白虎の尾にも見られる。この描画線が特にキトラ古墳壁画の白虎と類似していることから、同様に尾が右後脚に絡まる表現であったと推測することができる。加えて、尾の先端部分は不明瞭ではあるものの断片的に描画線が見られることから、白虎と同様な立ち上がる表現であった可能性が高い。

また、既存の赤外線画像で確認できる描画線のうち、今回の撮影により明瞭に確認できた箇所も多い。S字に曲がる頸の屈曲部にみられる×字状の紋様は、既存の画像と比較すると、より明確な線として確認できる。この×字状の表現は高松塚古墳壁画の青龍にも頸の飾りとして表されている。さらに、泥を被っているために既存の画像ではやや不明瞭であった腹部も、蛇腹状であることとはっきりと確認できる。後脚側の腹部を確認することはできないが、今回の撮影で確認できた背中の描画線と前脚側の腹部から、青龍のおおよその胴の厚みや体の角度をうかがい知ることができる。
（濱松佳生）

おわりに 今回、波長1550nmの赤外線を用いたことで、泥に覆われた青龍の全体像をはじめて捉えることができた。この結果から、より長波長の赤外線を用いれば泥の層のさらに深くまで侵入することも期待される。今後は、赤外線画像をもとに青龍の図像を検討し、描き起こし図を作成するとともに、より長い波長あるいは短い波長での撮影や、近接撮影等によって、さらに良好な画像を得る可能性も検討していきたい。
（石橋）

本研究はJSPS科学費24KJ1608、24K00150の成果を含む。

註

- 1) 佐野千絵・早川泰弘・三浦定俊「[報告] 国宝高松塚古墳壁画の材料調査の変遷」『保存科学』(48), 119-131頁、2009。
- 2) 高嶋美穂・浅川実宮子「産業用InGaAsカメラを用いた赤外線反射画像撮影：国立西洋美術館所蔵・オールドマスター作品の下書きを観る」『日本文化財保存修復学会第45回大会研究発表要旨集』136-137頁、2023。

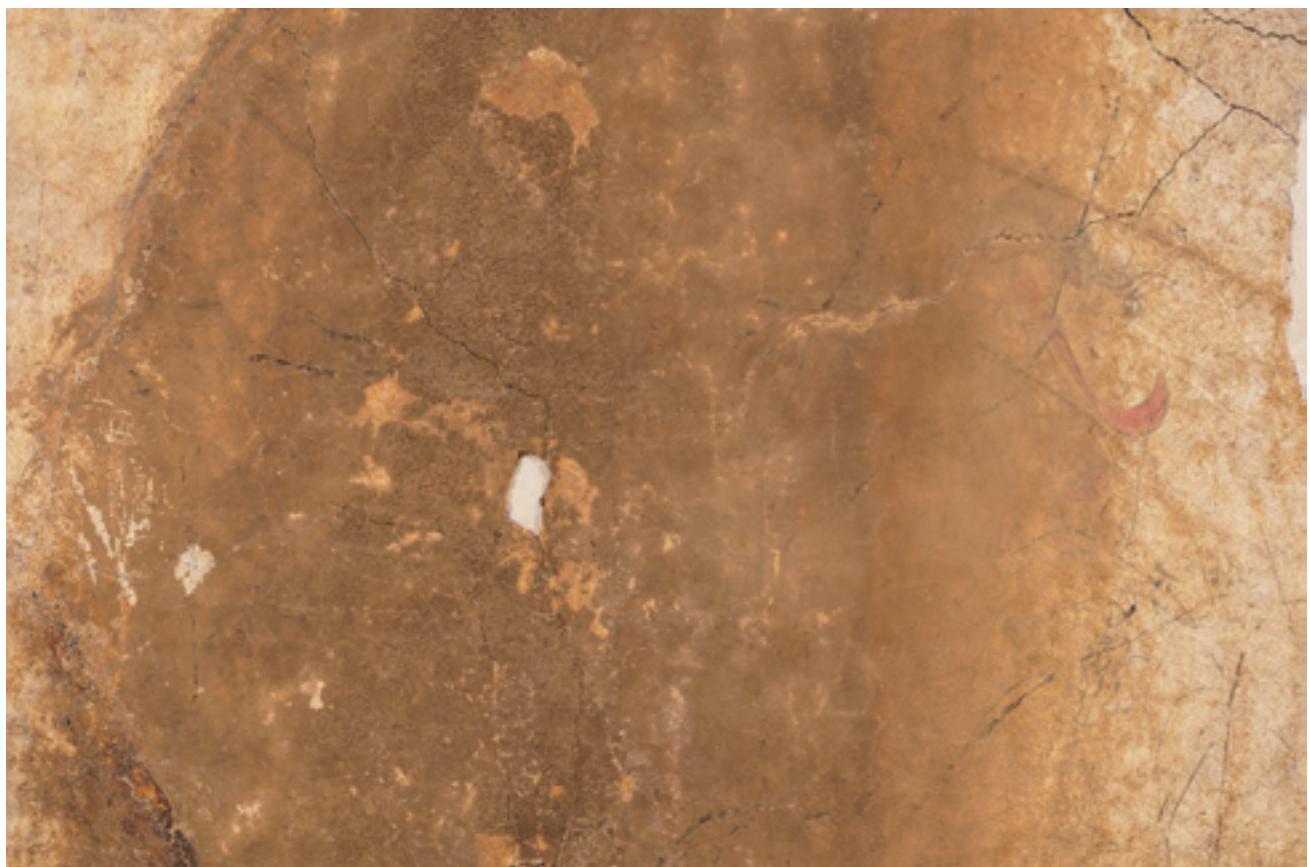


図94 可視光写真 2023年11月

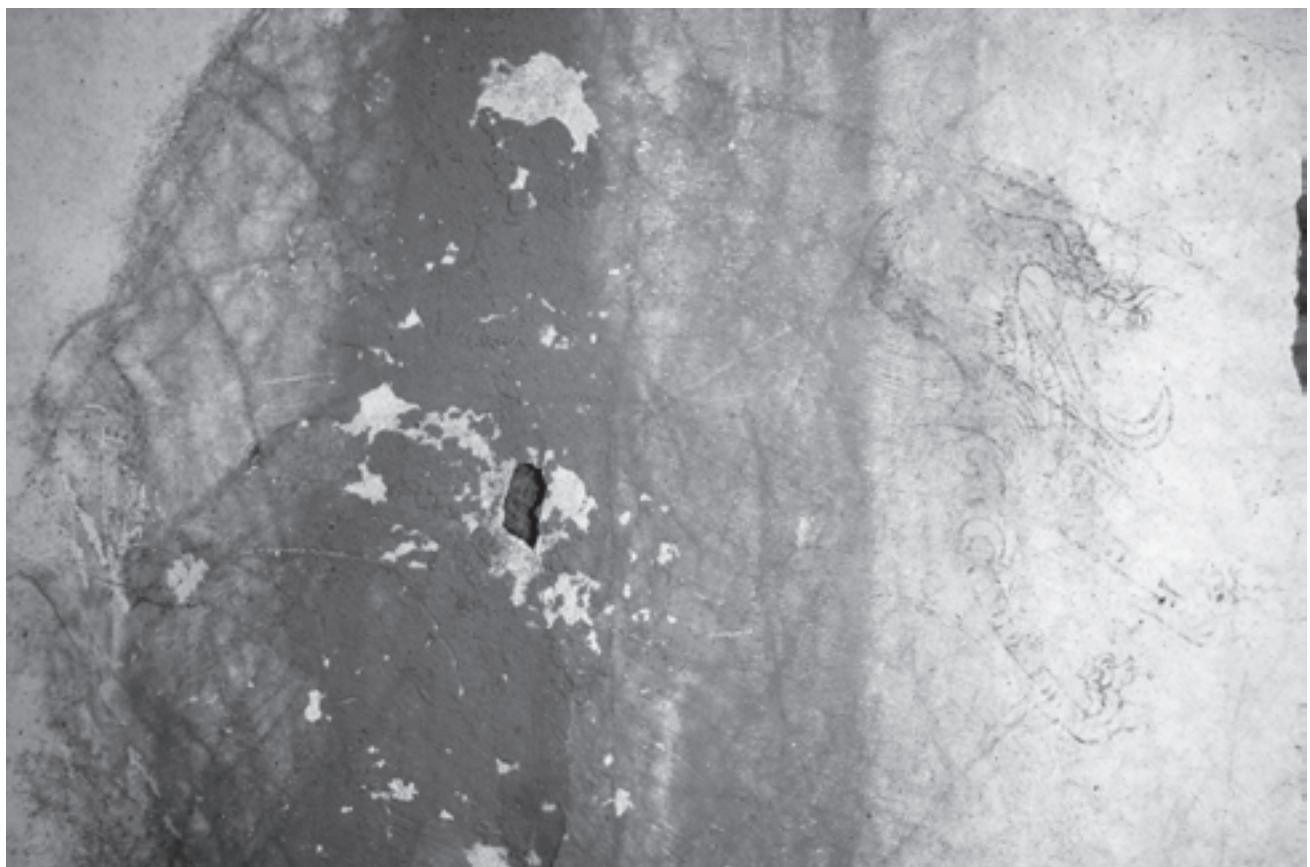


図95 赤外線写真 880nm 2004年7月

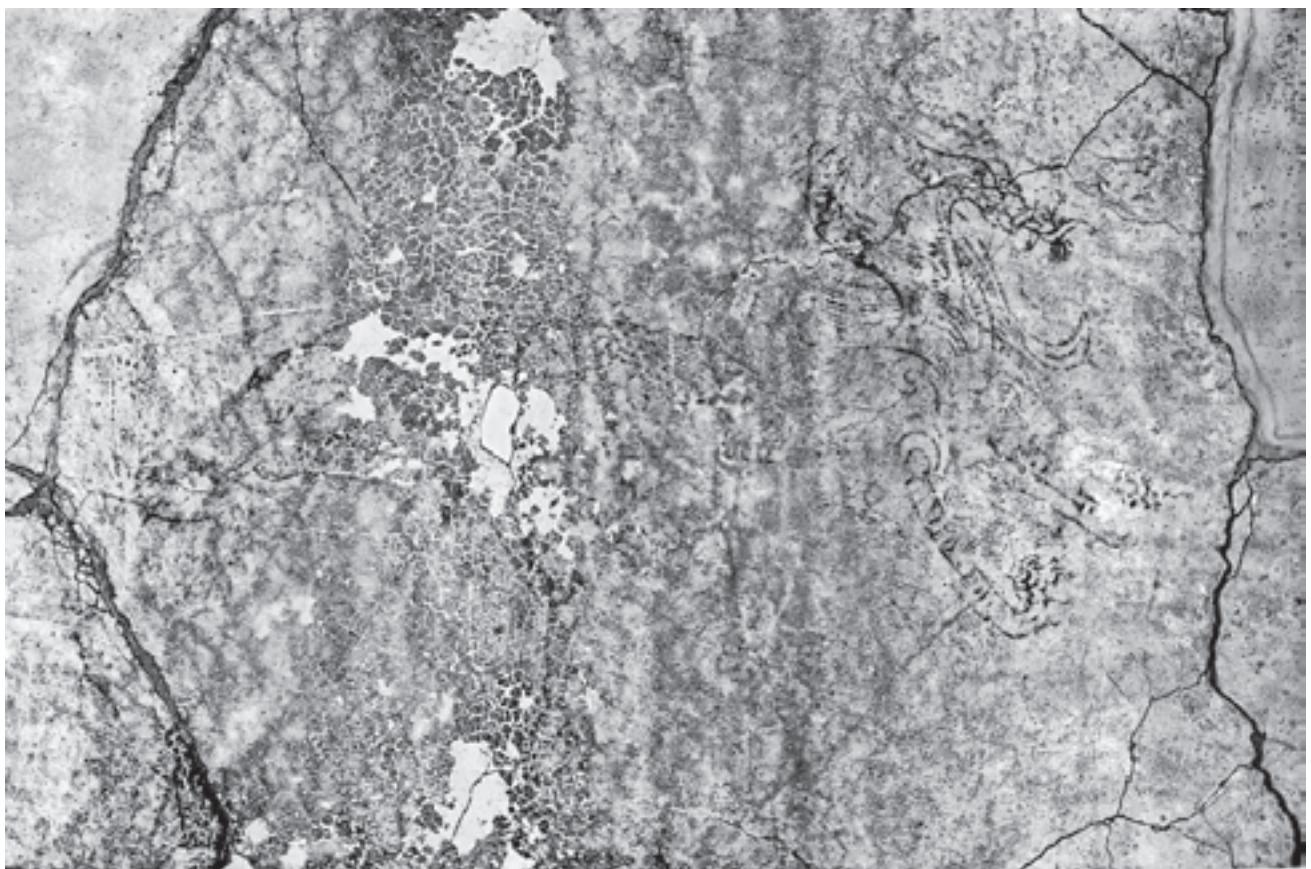


図96 カメラ①赤外線写真 1550nm 2024年11月

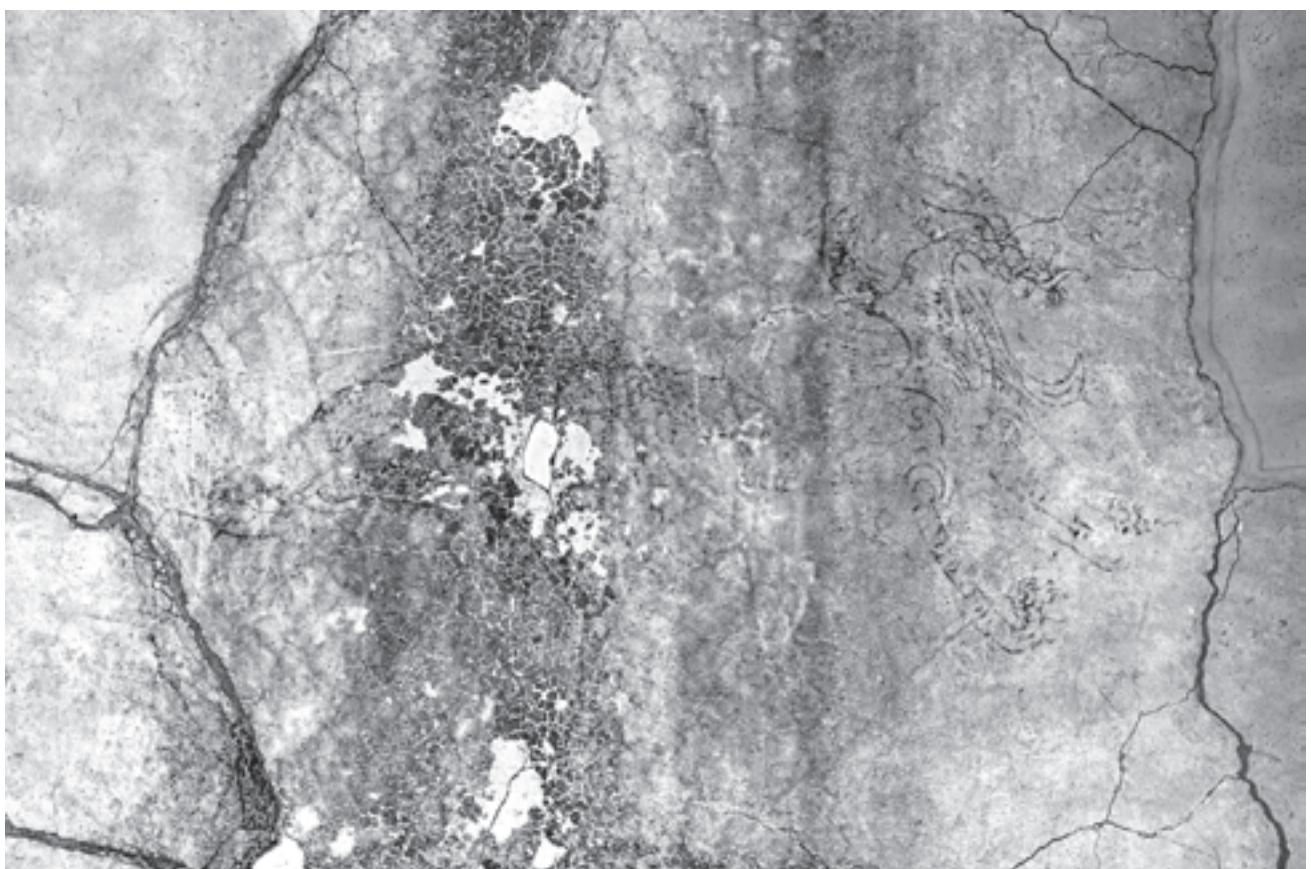


図97 カメラ②赤外線写真 1550nm 2024年12月