

〔報告〕 蛍光X線分析による キトラ古墳壁画の泥に覆われた部分の調査

犬塚 将英・早川 典子・紀 芝蓮・田村 朋美*・
中田 愛乃*・辻本 与志一*・亀井 亮子***・早川 泰弘・
高妻 洋成*・森井 順之***

1. はじめに

キトラ古墳壁画は漆喰下地層の上に描かれており、各側壁の中央に描かれた四神、各側壁に三体ずつ描かれた獣頭人身の十二支、天井に描かれた天文図、日像、月像から構成される。キトラ古墳壁画は漆喰下地層の剥離や石室内の生物環境の変化等の理由により、壁画の取り外しが2004年から2010年まで行われ¹⁾、取り外しが行われた壁画は国宝高松塚古墳壁画仮設修理施設にて保管された²⁾。そして、2016年までに安定化と再構築が完了し、同年秋からキトラ古墳壁画体験館「四神の館」にて一般公開が行われている。

図1にキトラ古墳壁画における十二支の配置を示す。十二支は各壁面の中央よりもやや低い位置に、ほぼ同じ高さ、ほぼ等間隔に描かれている。それらのうち、子・丑・寅・午・戌・亥の6体の像は存在を目視で確認することができる。しかし、卯・未・酉に該当する箇所は漆喰ごと完全に失われている。残りの辰・巳・申に関しては、該当する箇所の表面が泥に覆われており、像が残存している可能性を残しているが存在は確認できていない³⁾。現在までに完了し

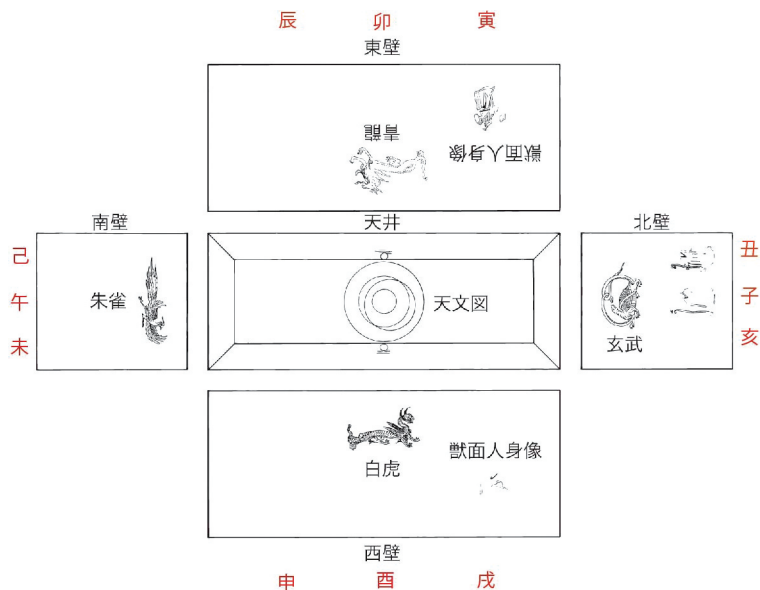


図1 再構築後のキトラ古墳壁画と十二支の配置 (画像提供：奈良文化財研究所)

*奈良文化財研究所, **国宝修理装演師連盟, ***文化庁

ているキトラ古墳壁画の再構築には、辰・巳・申の図像が残存している可能性のある3つの壁画片は含まれていない。これらの壁画片はレーヨン紙および和紙で表面と裏面が保護された状態で、現在も国宝高松塚古墳壁画仮設修理施設内にて保管されている。

これらの図像の存在を確認することは、美術史的・考古学的な意義に加えて、壁画の修復方法の方針を検討する上でも重要である。これらの図像の存在を確認するために2018年に実施されたX線透過撮影による調査の結果、辰に関しては何らかの図像が描かれているように見えるX線透過画像が得られたものの、多くの課題が残された^{4,5)}。

ところで、キトラ古墳壁画で泥に覆われておらず存在が目視で確認されている十二支像については彩色材料として辰砂が用いられていることが確認されている^{6,7)}。計測の結果から辰・巳・申を覆っている泥の厚さは1~4 mmであることがわかっており⁵⁾、キトラ古墳壁画を模したテストピース⁵⁾を用いた予備実験から、泥の上からでも蛍光X線分析によりHgを検出することが可能であることを事前に確認した。そこで本研究では、非破壊・非接触な調査手法として蛍光X線分析を選択し、辰・巳・申が残存している可能性のある壁画片についての分析調査を実施した^{7,8)}。以上のような背景から、十二支像を描くために彩色材料として辰砂が使用されていると想定し、Hgの検出量の分布に関する調査結果を報告する。

2. 調査方法

2020年12月に辰と申が残存している可能性のある壁画片について⁷⁾、2021年8月に巳が残存している可能性のある壁画片について⁸⁾、蛍光X線分析による調査を実施した。それぞれの壁画片における分析箇所を選定方法を2-1に、分析条件を2-2に示す。

2-1. 分析箇所の選定

周囲の温湿度環境の変化に伴い壁画片の含水量が変化すると、壁画片に歪みが生じる危険性があるため、分析調査に要する時間は短いことが望ましい。しかし、調査対象の壁画片の1辺が30 cmから40 cm程度であるのに対して、既に存在が確認されている十二支像の大きさに鑑みると辰・巳・申像の大きさも10 cm角程度である可能性が高いと考えられた。このため、各図像が描かれている位置を事前に推定し分析箇所を選定した上で、蛍光X線分析による調査を実施した。

辰については、X線透過画像で何らかの図像が描かれている可能性が示唆された領域^{4,5)}を中心に、縦横2 cm間隔で分析箇所を設定した。

申については、東壁上で正確に位置がわかっている寅の北端からの距離を参考にして⁹⁾、西壁の南側に描かれていると予測される位置を推定し、縦横2 cm間隔で分析箇所を設定した。

巳については、北壁上で正確に位置がわかっている亥、子、丑の位置関係及び南壁上で正確に位置がわかっている午の位置を参考にして⁹⁾、南壁の東側に描かれていると予測される位置を推定し、縦横2 cm間隔で分析箇所を設定した。

2-2. 分析条件

以上のように設定した分析箇所に対して、BRUKER社製ハンドヘルド蛍光X線分析装置(Tracer5i)を用いて、表1に示す条件で分析を実施した。Tracer5iを用いた分析調査の風景を図2に示す。

既に存在が確認されている十二支像では彩色材料として主に辰砂が用いられていることから^{6,7)}、本研究ではHgに着目した。そして、分析装置に付随している専用ソフトウェア

(Artax) を用いて各測定点の Hg の $L\alpha$ 線による信号強度 (cps) を算出し、壁画片上における Hg の検出量の分布を調べた。

表1 Tracer5i を用いた分析条件

X線管球	Rh
管電圧	40 kV
管電流	20 μ A
X線照射径	ϕ 8 mm
測定時間	120秒
測定ヘッドから壁画までの距離	約5 mm

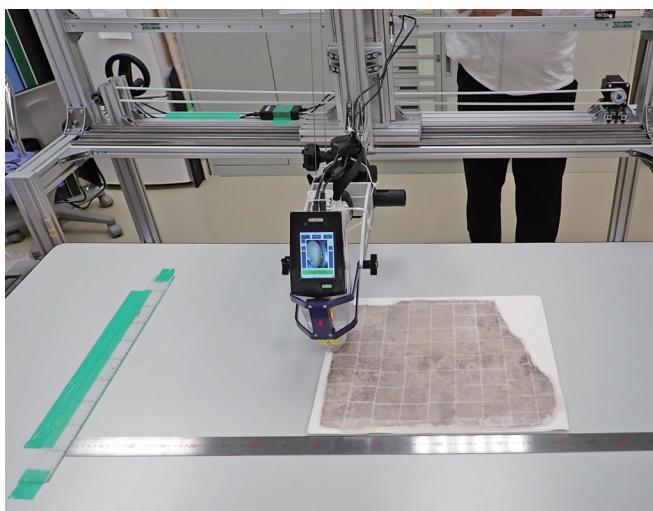


図2 Tracer5i を用いた調査風景

3. 調査結果

3-1. 辰

辰が残存する可能性のある壁画片について、X線透過撮影で得られたX線透過画像を図3(a)に^{4,5)}、蛍光X線分析を行った箇所を壁画片の可視画像上に示す(図3(b))。辰については、40箇所で蛍光X線分析を実施した(便宜上の測定箇所の番号を図3(b)中に示す)。

図4は(a) 巳が描かれていないと推測された箇所、(b)(c) Hgの信号強度が強かった箇所、(d) Hgは検出されたが信号強度が弱かった箇所における蛍光X線スペクトルである。これらの測定データからバックグラウンドを差し引き、各測定点のHgの $L\alpha$ の信号強度を算出すると図5のようになった。ここでは、信号強度を1: >20 cps, 2: 15~20 cps, 3: 10~15 cps, 4: <10 cpsの4つのランクに分類した。図3(b)ではそのランク付けの結果に従って色分けをして、信号強度の分布を壁画片の可視画像上に示した。

辰が残存する可能性のある壁画片については、2つの分析箇所(7と21)においてHgに帰属する強い信号が検出されたが、その他の分析箇所における信号強度は弱かった。

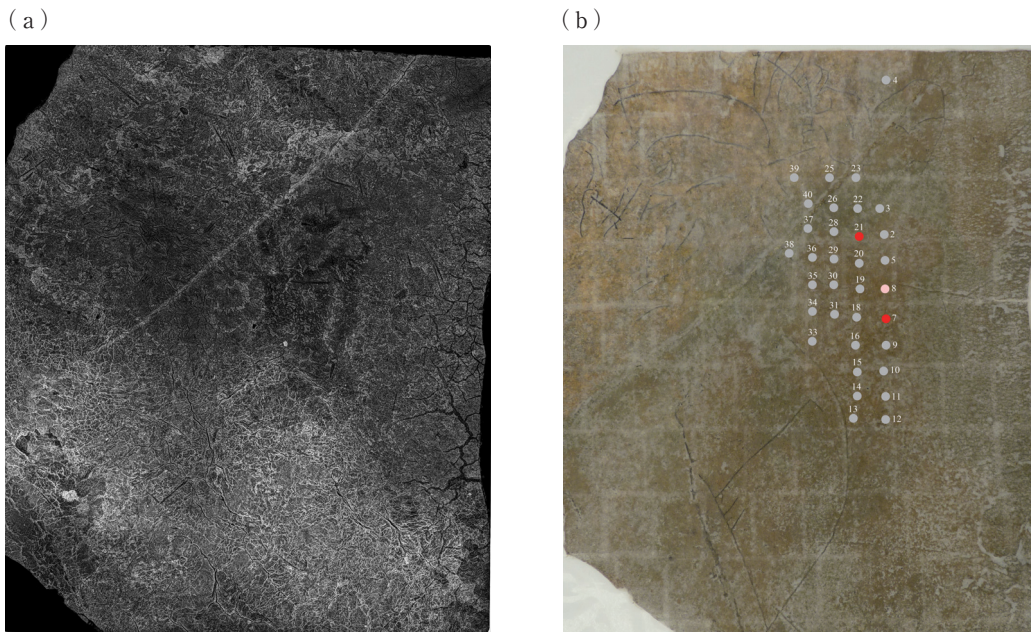


図3 辰が残存している可能性のある壁画片の (a) X線透過画像と (b) 信号強度の分布 (図中の●の色(赤, ピンク, 灰色)はそれぞれ信号強度が >20 cps, $10\sim15$ cps, <10 cpsであることを示す)

3-2. 申

申が残存する可能性のある壁画片について, X線透過撮影で得られたX線透過画像を図6(a)に^{4,5)}, 蛍光X線分析を行った箇所を壁画片の可視画像上に示す(図6(b))。申については, 49箇所で蛍光X線分析を実施した(便宜上の測定箇所の番号を図6(b)中に示す)。

分析結果の例として, 図7にHgの信号強度が強かった2箇所(27と43)蛍光X線スペクトルを示す。そして, 各測定点のHgの $L\alpha$ の信号強度を算出すると図8のようになった。ここでは, 信号強度を1: >20 cps, 2: $15\sim20$ cps, 3: $10\sim15$ cps, 4: <10 cpsの4つのランクに分類した。図6(b)ではそのランク付けの結果に従って色分けをして, 信号強度の分布を壁画片の可視画像上に示した。

申が残存する可能性のある壁画片については, 辰の分析箇所7と21と同レベルの強い信号強度を示す箇所は無かったが, Hgが検出された領域は10 cm角程度の広がりがあり, 辰よりも広く分布していた。

3-3. 巳

巳が残存する可能性のある壁画片について, X線透過撮影で得られたX線透過画像を図9(a)に^{4,5)}, 蛍光X線分析を行った箇所を壁画片の可視画像上に示す(図9(b))。巳については, 53箇所で蛍光X線分析を実施した(便宜上の測定箇所の番号を図9(b)中に示す)。

分析結果の例として, 図10に最もHgの信号強度が強かった箇所(35)蛍光X線スペクトルを示す。そして, 各測定点のHgの $L\alpha$ の信号強度を算出すると図11のようになった。巳では辰・申と比較すると信号強度が非常に強かったため, 信号強度を1: >100 cps, 2: $25\sim100$ cps, 3: $15\sim25$ cps, 4: <15 cpsの4つのランクに分類した。図9(b)ではそのランク付けの結

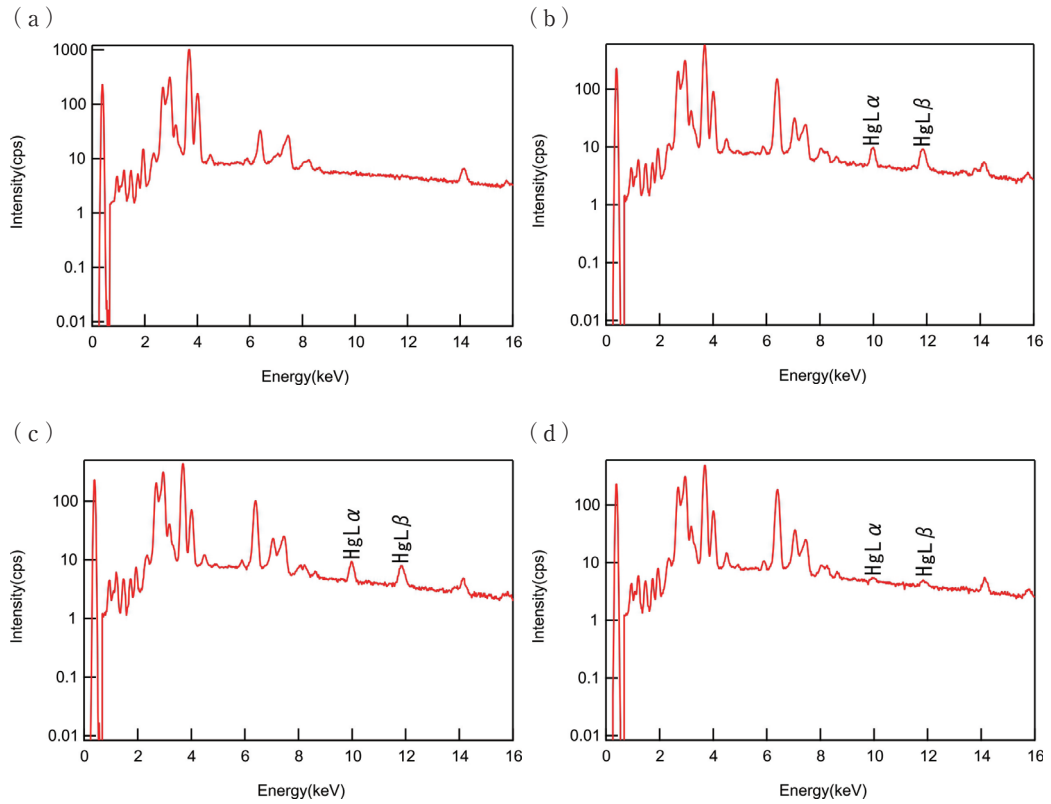


図4 辰の分析箇所 (a) 4, (b) 7, (c) 21, (d) 8における蛍光X線スペクトル

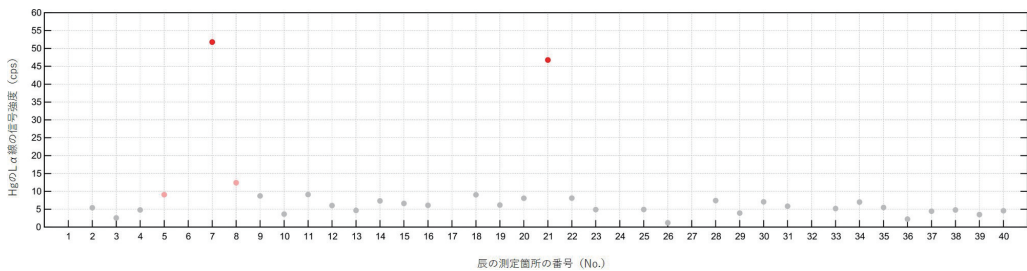
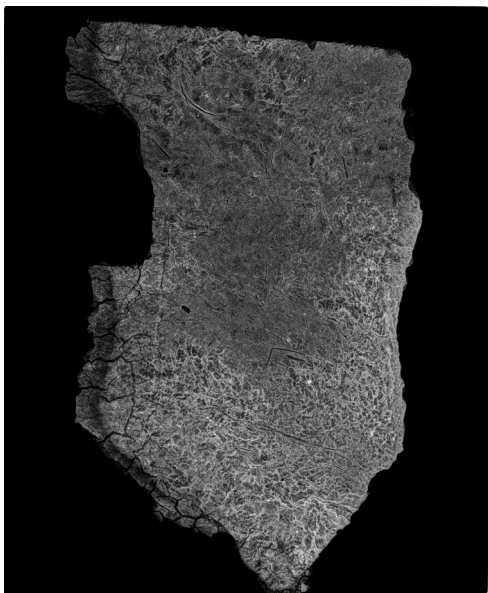


図5 辰の各測定点における信号強度

果に従って色分けをして、信号強度の分布を壁画片の可視画像上に示した。

巳が残存する可能性のある壁画片については、辰・申と比較すると、Hgに帰属する信号は10倍程度の強度を示し、10 cm角程度の広がりをもって分布していた。

(a)



(b)

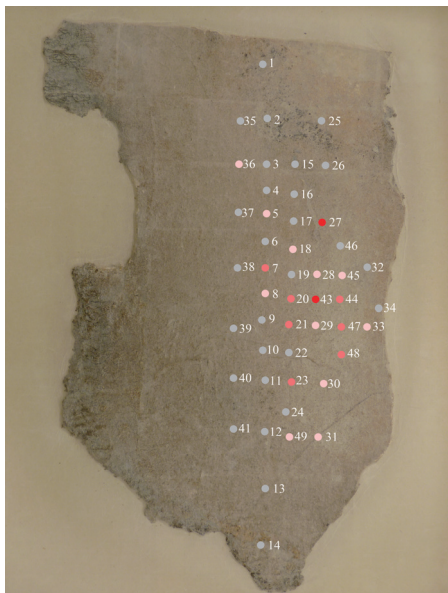
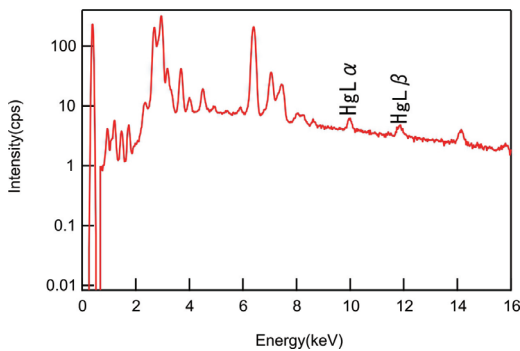


図6 申が残存している可能性のある壁画片の (a) X線透過画像と (b) 信号強度の分布 (図中の●の色(赤, 橙色, ピンク, 灰色)はそれぞれ信号強度が>20 cps, 15~20, 10~15 cps, <10 cpsであることを示す)

(a)



(b)

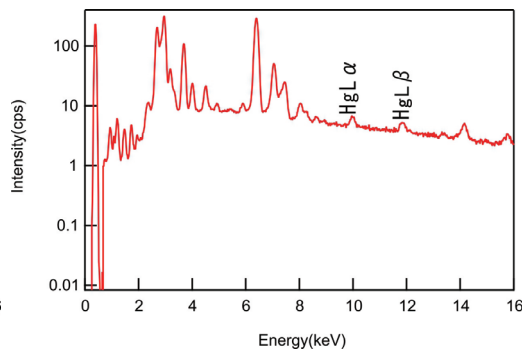


図7 申の分析箇所 (a) 27, (b) 43における蛍光X線スペクトル

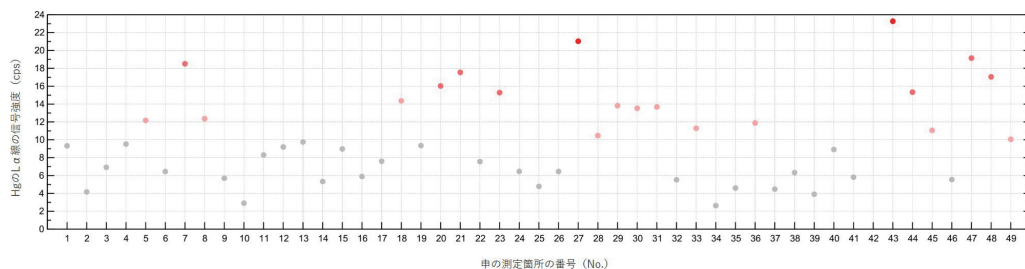


図8 申の各測定点における信号強度

(a)



(b)

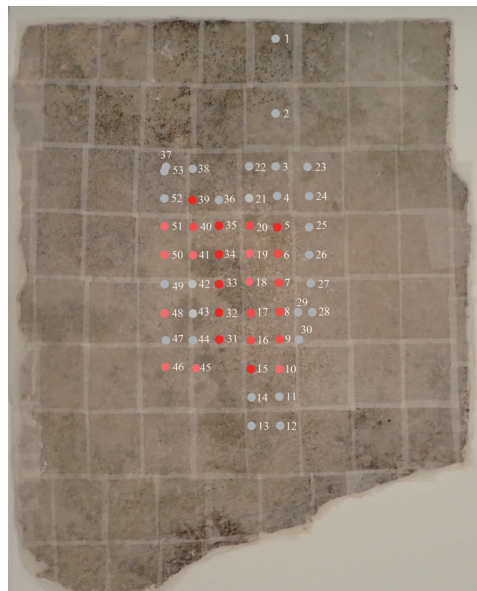


図9 巴が残存している可能性のある壁画片の (a) X線透過画像と (b) 信号強度の分布 (図中の●の色 (赤, 橙色, ピンク, 灰色) はそれぞれ信号強度が >100 cps, $25\sim100$, $15\sim25$ cps, <15 cps であることを示す)

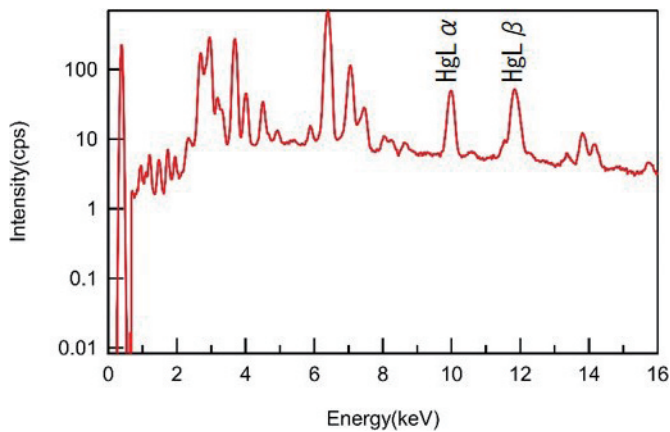


図10 巴の分析箇所35における蛍光X線スペクトル

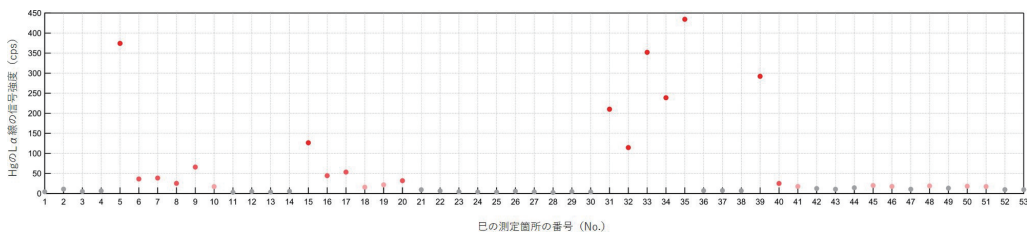


図11 巴の各測定点における信号強度

4. まとめ

キトラ古墳壁画の泥に覆われている部分のうち、辰・巳・申が描かれている可能性のある壁画片に対して蛍光X線分析による調査を実施した。いずれの壁画片についても、図像が描かれていると予想される箇所からHgが検出された。

辰については、既にX線透過撮影によって何らかの図像が描かれているように見えるX線透過画像が得られており、今回選定した分析箇所のうち2ヶ所からHgに帰属する強い信号が検出された。申は辰と比較すると信号強度は小さいが、Hgが検出された箇所は10 cm角程度の広がりをもって分布していた。巳についてもHgが検出された箇所は10 cm角程度の広がりをもって分布しており、辰・申と比較するとHgに帰属する信号強度は10倍程度の大きさだった。

以上の調査結果に加えて、泥に覆われておらず存在が目視で確認されている十二支像については彩色材料として辰砂が用いられていることが確認されていることを考慮すると、辰・巳・申の図像についても泥の下に存在することが示唆された。

参考文献

- 1) 古墳壁画保存活用検討会（第1回）資料7、文化庁（2008）
- 2) 古墳壁画保存活用検討会（第2回）資料8、文化庁（2008）
- 3) 古墳壁画保存活用検討会（第2回）資料7、文化庁（2008）
- 4) 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第25回）資料3-3、文化庁（2019）
- 5) 犬塚将英、早川典子、大場詩野子、早川泰弘、高妻洋成：X線透過撮影による泥に覆われたキトラ古墳壁画の調査、保存科学、59、103-114（2020）
- 6) 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第26回）資料2-4、文化庁（2019）
- 7) 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第28回）資料4-3、文化庁（2021）
- 8) 古墳壁画の保存活用に関する検討会（第29回）資料3-3、文化庁（2021）
- 9) 『キトラ古墳壁画フォトマップ資料』、奈良文化財研究所史料86、奈良文化財研究所（2011）

キーワード：キトラ古墳壁画（wall paintings of Kitora Tumulus）；十二支像（twelve zodiac signs）；泥（mud）；蛍光X線分析（X-ray fluorescence analysis）；水銀（mercury）

Investigation of the Wall Paintings of Kitora Tumulus by X-ray Fluorescence Analysis

INUZUKA Masahide, HAYAKAWA Noriko, CHI Chih lien,
TAMURA Tomomi*, NAKADA Akino*, TSUJIMOTO Yoshikazu*,
KAMEI Ryoko**, HAYAKAWA Yasuhiro,
KOUZUMA Yousei* and MORII Masayuki***

Among the twelve zodiac signs in the wall paintings of Kitora Tumulus, the signs of dragon, snake and monkey have not been discovered because they are covered with mud. In order to decide the treatments for restoration, it is important to identify the existence of those signs. Therefore, the authors conducted investigations by X-ray fluorescence analysis.

Analyses were conducted on the part of the walls where dragon, snake and monkey were expected to be drawn. The detection of mercury indicated the existence of those paintings beneath the mud.

*Nara National Research Institute for Cultural Properties

**The Association for Conservation of National Treasure

***Agency for Cultural Affairs, Government of Japan