

高松塚古墳壁画劣化原因調査報告書

平成 22 年 3 月 24 日

高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会

はじめに

高松塚古墳壁画は、古墳から取り出され、現在、古墳近くにある仮設修理施設において、修理作業が進められている。

本検討会は、カビ等の生物被害による壁画の汚れ、漆喰の傷み等、主に昭和47年の壁画発見時から平成19年の石室解体に至るまでの一連の過程について、それまでの「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」における壁画の劣化原因調査を引き継ぐものとして、平成20年5月に設置された。

検討会の開催は、平成20年7月の第1回から計16回を数えた。この間、壁画の劣化原因究明と大きく関わる発掘調査の成果や、カビ等の微生物調査、石室内環境データの解析、壁画材料の科学調査、文化庁に残された過去の対応等に関する資料の分析等について、様々な観点から検討を行ってきた。

壁画の劣化原因の一部に係る内容については、平成18年4月に発覚した石室西壁の損傷事故に端を発して設置された「高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査委員会」において、縦割りの組織体制の問題点や情報公開・説明責任に対する認識の甘さ等、個々の作業そのものに対する反省はもとより、文化庁の体質自体にそもそもの大きな問題が含まれていたことが明らかにされた。

本検討会では、この調査委員会の結論を踏まえた上で、壁画の劣化原因をより多角的な観点から検証することを目指して論議を重ねてきた。壁画発見後30数年間に及ぶ劣化の状況や、それぞれの時期における文化庁等関係機関の対応の在り方、また、結果として壁画の現地保存という所期の方針を変更せざるを得なかった原因等について、科学的・学術的な調査・検討を加え、今後の古墳壁画の保存・活用に向けた有意義な知見を得ることを、本検討会の最終的な目標に掲げた。

各委員の専門性は多岐にわたるが、その多様な切り口を生かし、高松塚古墳という個別の文化財の劣化原因調査を通じて、我が国の文化財全般、ひいては海外の文化財にとっても有益となる検討結果を導く努力を重ねることができたと自負している。

我々は既に、「劣化の進行・解体修理」という大きな代償を払っている。本報告書が、文化財保護の未来に資する礎となることを願う。

高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会 座長
永井 順國

高松塚古墳壁画劣化原因調査報告書

＜目 次＞

1. 高松塚古墳の概要と保存管理の経緯 ー本検討会の設置までー	1
2. 現地保存を決定した経緯	6
(1) 現地保存方針決定への経過	
(2) 現地保存方針の決定	
3. 高松塚古墳壁画の技法・材料	8
(1) 絵画技法の調査	
(2) 漆喰の調査	
(3) 顔料・描線等の調査	
4. 物の劣化に関する基本的な理解	14
(1) 基本的な考え方	
(2) 高松塚古墳壁画の場合	
5. 高松塚古墳壁画の劣化の具体的な内容	22
(1) 漆喰層・石材の劣化	
(2) 壁画（顔料・描線等）の劣化	
6. 高松塚古墳壁画発見当時（本格的修理開始以前）の状況	30
7. 温湿度等の環境変動	38
(1) 高松塚古墳石室内の温湿度	
(2) 石室の温湿度解析モデルを使用したシミュレーション結果	
(3) 石室内の温湿度等の変動と生物被害との関係	
8. 地震等の石室への影響	45
(1) 平成 16 年度発掘調査の主な調査成果	
(2) 平成 18・19 年度発掘調査の主な調査成果	

9. カビ等の微生物被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49

- (1) 基本的な考え方
- (2) 微生物等の被害
- (3) 殺菌処置と薬剤
- (4) 点検と人の出入り
- (5) 微生物の漆喰、絵画への影響
- (6) ダニや虫等の小動物、植物の根等
- (7) 石室内の微生物の由来

10. 保存管理上の諸問題・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55

- (1) 旧保存施設による環境制御
- (2) 石室内の人の出入りの状況
- (3) 壁画の修理（剥落止め）
- (4) 取合部天井の崩落止め工事
- (5) 壁画の損傷事故
- (6) 壁画の劣化に関する諸要因に係る当時のチェック体制

11. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78

- (1) 高松塚古墳壁画の劣化の経緯と原因
- (2) 総括―作為と不作為による「負の連鎖」―

12. 今後の課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 88

- (1) 「連携・協働」を核とした保存・管理体制の確立
- (2) 恒久的チェック体制の構築
- (3) 現地保存について
- (4) 未来に向けて「常に備える」

【注】・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 94

(参考) 国内外の（古墳）壁画の状況

古墳壁画の保存活用に係る調査研究について
高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会委員名簿
高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会の開催経緯

1. 高松塚古墳の概要と保存管理の経緯 ―本検討会の設置まで―

○高松塚古墳壁画の発見

高松塚古墳は、奈良県高市郡明日香村大字平田字高松 444 番地に所在する。墳丘の規模・形状は、下段が直径約 23m、上段が直径約 18m の二段築成の円墳であり、周囲には、幅約 2 m の周溝が巡る。古墳の築造時期は、出土遺物等から、7 世紀末から 8 世紀初頭と考えられている。この時期の古墳は「終末期古墳」¹と呼ばれ、高松塚古墳を含む明日香村周辺に集中して築造された。

高松塚古墳に関わる記述は江戸時代の文献や絵図等にも見受けられるが、近代以降においてこの古墳が再び注目されたのは、昭和 44 年 4 月のことであった。地元住民が古墳の南側で偶然に掘った穴の底に凝灰岩の切石を見つけたことにより、この地が古墳であることが再び意識されるようになった。

昭和 47 年 3 月、『明日香村史』刊行事業の一環として、明日香村を事業主体として明日香村教育委員会と奈良県立橿原考古学研究所による古墳の発掘調査が行われた。この発掘調査によって、凝灰岩切石組の石室が確認され、3 月 21 日には石室内に描かれた極彩色²の壁画が発見された。この発見は、当時の古代史学、考古学、美術史学における「世紀の大発見」として、図 1 のように大々的に報じられ、現在につながる古代史・考古学ブームの火付け役ともなった。昭和 48 年 3 月には壁画のうち西壁女子群像、東壁男子群像、東壁青龍を写した図 2 の寄附金つき切手が発行され³、記録的な売り上げを示すなど、国民的人気が盛り上がった。

高松塚古墳の管理は、その重要性に鑑み、壁画発見の翌月に文化庁に委ねられ、その後、現在まで文化庁による管理

図 1 昭和 47 年 3 月 27 日
朝日新聞



図 2 高松塚古墳寄附金つき切手(昭和 47 年発行)

がなされてきた。昭和 48 年 4 月には古墳全体が特別史跡に、さらに昭和 49 年 4 月には壁画（天井・東壁・西壁・北壁の四面）が絵画として国宝に、出土品が考古資料として重要文化財に指定された。「明日香村における歴史的風土の保存および生活環境の整備等に関する特別措置法」（昭和 55 年）の制定に際しても、高松塚古墳壁画の発見が大きなはずみになったという。

○現地保存方針の決定と保存施設の設置

壁画の保存対策については、文化庁により設置された「高松塚古墳応急保存対策調査会」（昭和 47 年 4 月～11 月）及びそれを発展し引き継いだ「高松塚古墳保存対策調査会」（昭和 47 年 12 月～）により検討が行われた。様々な分野の専門家からなるこれらの調査会で、壁画の保存について多角的に検討された。この中では、遺跡の現地保存を原則とし、既に壁画の保存修理に関する多くの経験を有していたイタリアやフランスの専門家の意見等も参考にされ、昭和 48 年 10 月には、壁画修復部会において壁画を現地で保存し修理する方針が固まった。以降、文化庁はこの基本方針に沿って壁画の保存対策を進めてきた。

壁画は発見当初から既に脆弱な状態であることが指摘され、特に漆喰層は深刻な状態と判断された。このため、漆喰の剥落止め等の修理作業や壁画の点検作業を石室内で安全に行うための準備空間として、また石室内環境が外気の影響を受けないための緩衝空間として、昭和 51 年 3 月に石室の南側にプレキャスト・コンクリート（PC）製の保存施設が設置された。

○壁画の修理作業と昭和のカビの大発生

昭和 51 年度に始まる本格的な壁画の修理事業は、大きく三期に分けて実施された（第 1 次修理：昭和 51 年度、第 2 次修理：昭和 53 年度～昭和 55 年度、第 3 次修理：昭和 56 年度～昭和 60 年度）。修理の初期から、カビ等の生物被害への対策は行われていたが、昭和 55 年頃には石室内に大量のカビが発生し、その処置に追われるようになった。その後の一連の修理作業により、壁画発見時からの大きな懸案であった漆喰の剥落を食い止めることには成功した。第 3 次修理終了後、カビ等の発生は漸減し、沈静化した。昭和 62 年 3 月には、壁画発見以降、第 3 次修理終了までの経緯をまとめた報告書『国宝高松塚古墳壁画―保存と修理―』（以下『保存と修理』という）が文化庁の編集により刊行された。

○平成のカビの大発生

保存施設と石室を連結する小空間は「取合部^{とりあいぶ}」と呼ばれ、修理や点検の際にはこの空間に監視者を置き、石室内作業を客観的に監視することで作業や作業者の安全が確保されてきた。昭和 55 年頃より、墳丘土が露出している取合部の天井の崩落が断続的に確認されていたが、これに対処するため、平成 13 年 2 月、この崩落止め工事が実施された。この際のカビ対策が不十分であったことをきっかけとして、取合部及び石室内に大量のカビが発生するなど、それまでの十数年間、微妙な均衡の中で比較的安定してきた壁画の保存環境が変化し、カビ等の微生物による汚染が著しくなった。平成 14 年 1 月には、この生物被害に対応していた作業者による壁画の損傷事故が起きたが、当時は公表されなかった。これらの問題については、平成 18 年 6 月、「高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査委員会」により報告書『高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査報告書』（以下『事故調査委員会報告書』という）が取りまとめられている。

相次ぐ生物被害の拡大を受け、平成 15 年 3 月、文化庁に「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」が設置され、現状を客観的に把握するための科学的調査が実施されるとともに、いくつかの緊急措置が実施された。平成 16 年 6 月には、これに続く検討の場として、新たな専門家を加えた「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」が設置された。

同じく平成 16 年 6 月には壁画発見 30 年を契機として、壁画の現状と最新の分析手法（非破壊・非接触法）による壁画の技法・材料研究の成果を報告することを主たる目的とした写真集『国宝高松塚古墳壁画』が文化庁の監修により刊行された。これを端緒に報道機関から西壁白虎図の描線の薄れ等の壁画の劣化が指摘され、文化庁に厳しい批判が寄せられたことは記憶に新しい。

○石室の解体修理

墳丘から石室ごと壁画を取り出し解体修理する方法が壁画の保存方針として決定されたのは、平成 17 年 6 月の「第 4 回 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」においてであった。

度重なるカビ等の生物被害にその都度対処がなされてきたものの、狭^{きょう}隘^{あい}・高湿かつ周囲に壁画が存在するという、人が作業するには劣悪な環境下において、壁画の点検、カビの処置等を行うには限界があった。ダニやムカデ等のムシが石室を出入りし、石室内にカビが持ち込まれ、さらにそ

これらの死骸が新たなカビ等の栄養源になるという、カビを中心とした食物連鎖が石室及びその周辺に出来上がったこと等により、抜本的な保存方針の見直しが検討された。

その結果、墳丘内の土中環境において壁画を現地保存するこれまでの保存方針では壁画の劣化を食い止めることはきわめて困難との判断がなされ、苦渋の選択ではあったが、壁画を石室（石材）ごと古墳から取り出して、安全な環境が確保された施設において修理をする方針が決定された。

解体修理方針の決定にあたっては、以下の五つの案について検討がなされた。

第1案 施設・機器更新を行い、現状で保存する。

第2案 墳丘ごと保存環境を管理する。

①覆屋のみを設置する。

②墳丘を地盤から隔絶して管理する。

第3案 石室のみ保存環境を管理する。

①墳丘の外観を残し地盤から隔絶して管理する（パイプルーフ工法）。

②墳丘を解体し地盤から隔絶して管理する（オープンカット工法）。

第4案 石室を取り出して修理する。

第5案 壁面を取り出し保存施設で管理する。

これらのうち第1案から第3案は壁画を移動しない方法、第4案・第5案は壁画を移動する方法である。

「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」における議論の末、最終的に第4案が採用された。その際にはこの案の

- ・環境制御ができること。
- ・取り出した石室を適切な環境で修理できること。
- ・修理に伴う科学調査等により、壁画の劣化原因が究明されることが期待されること。

等の利点が評価された。修理を終えた後、壁画は、将来的にはカビ等の影響を受けない環境を確保した上で現地に復旧することとされた。

第1案は、環境制御ができないこと、狭隘な石室内での作業を継続しなくてはいけないこと等の理由から、第2案は、環境制御ができないこと、狭隘な石室内での作業を継続しなくてはいけないこと、極めて巨大な覆屋の設置が必要となり風致保存等の観点からも認められ難いこと等の理由から、第3案は、極めて大きな墳丘の掘削を伴うこと、長期にわたり石室

がむき出しになること、狭隘な石室内での作業を継続しなくてはいけないこと等の理由から、第5案は、漆喰層が脆弱化しており剥ぎ取りが困難であること等の理由から、いずれも有効な対策ではないとの判断がなされた。

石室の解体修理方針が決定された後、石室の取り出しに向けた様々な準備が進められた。その準備期間における生物被害の拡大を抑制するため、緊急対策として墳丘部に冷却管が設置され、石室内温度の低下を図るとともに、雨水や直射日光を遮る覆屋が墳丘上に設置された（平成17年9月）。石室の取り出し作業については、実物大のレプリカを作製し取り上げ具の開発・調整等が行われ、作業に関わる材料や手法の検討が進められた。石室の取り出しに向けた発掘調査は、平成18年10月から行われた（～平成19年9月）。この発掘調査では、石室石材を露出させ安全な取り出し作業のための空間を確保することが第一の目的とされたが、古墳の築造方法や石室の構築方法、そして壁画の劣化原因等に関する情報についても積極的に入手することが心掛けられた。また、石室解体作業の準備期間や解体作業中における環境管理、生物対策についても、当時最善と考えられた対策が講じられた。

石室解体作業は、平成19年4月に開始され、同年8月に終了した。取り出された壁画・石室石材は、順次、高松塚古墳近くに設置した国宝高松塚古墳壁画仮設修理施設に搬送された。その後、壁画の現状確認、応急処置等を経て、本格的な修理が開始され、現在に至っている。

石室が取り出された墳丘は、壁画修理中における当面の間の仮整備として、保存施設の撤去等が行われ、平成21年10月、発掘調査結果等から推定される古墳の姿に復元整備された。

○本検討会の設置

高松塚古墳壁画の劣化原因調査に係る事項は、従来の「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」等でも議論されてきた。平成20年度にこの検討会と並行して設置されていた「特別史跡キトラ古墳の保存・活用に関する調査研究委員会」と統合・一元化され、新たに「古墳壁画保存活用検討会」が設置されたのを契機として、平成20年7月、高松塚古墳壁画の劣化原因に関する事項を調査研究することを目的とした本検討会「高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会」が設置された。

2. 現地保存を決定した経緯

現地保存方針の決定の経緯は以下のとおりである。これによって、壁画発見直後から現地保存を前提として多角的な調査・議論が行われたことが理解できる。以下、特に重要な記述に下線を付した。

(1) 現地保存方針決定への経緯

昭和 47 年 4 月 5 日～6 日 第 1 回 高松塚古墳応急保存対策調査会
(座長：関野克東京国立文化財研究所長)

昭和 47 年 7 月 19 日 第 4 回 高松塚古墳応急保存対策調査会

『高松塚古墳応急保存対策調査会 中間報告』提出

「高松塚古墳は、これまでの保存科学調査からすれば、墳丘、石室等の諸条件が、壁画の保存にとって、きわめて好適なものであったということができる。したがって、種々の保存科学上の調査研究が完了し、恒久保存対策が確立されるまでの間は、必要最少限の応急的保存処置を実施するほか、できうるかぎり原状を保持し、古墳の内外の環境諸条件の変化を避けるべきである。(以下略)」

昭和 47 年 10 月 13 日 高松塚古墳総合学術調査会による現地調査(9 月 30 日～10 月 10 日)終了後の Y.M.フロウドボー氏(フランス文化省歴史記念物主任調査官)と J.フォション氏(パスツール研究所地中微生物・生物化学部長)のコメント

「この壁画は諸作業の振動で剥落し破壊される危険が多分にある。したがって、何よりもまず壁画をはずして必要作業の完成まで収蔵しておくべきであろう。再び取り付けるには、必ず全設備の殺菌後でなければならない。」(『保存と修理』 p 45)

* フランスの専門家からは上記のように壁画を取り外す案が提案されたが、史跡の現地保存の原則と、脆弱化した漆喰層の状態等により、この案は採用されなかった。

昭和 47 年 11 月 29 日 第 6 回 高松塚古墳応急保存対策調査会
『高松塚古墳応急保存対策調査会調査報告』提出 閉会

「高松塚古墳の保存では、壁画の保存を第一義としなければならない。
このためには、石室環境の安定化を計り、壁画の検査を可能にする施設等を設ける必要がある。（中略）壁画の保存のために必要な環境の安定を確保し、その保存状況の検査を可能にするためには、保存施設として、少なくとも2室から成る前室を石室の前方に設けることを要する。この施設は、できうるかぎり、既発掘トレンチを利用し、入口以外は外見されないよう、墳丘内あるいは周辺の地下に設置されなければならないだろう。」（『保存と修理』 p 42）

昭和 47 年 12 月 18 日 第 1 回 高松塚古墳保存対策調査会

（座長：関野克東京国立文化財研究所長）

「壁画の保存状況、史跡としての現状変更等の観点からみて、現地で保存していくことを原則とした。その上で、今後の保存対策を講じてゆく過程で問題点を整理してゆくことにした。」（『保存と修理』 p 46）

＊この調査会の中には、保存施設部会・壁画修復部会が設けられた。

（2）現地保存方針の決定

昭和 48 年 10 月 14 日 第 4 回壁画修復部会

P. モーラ氏（イタリア国立中央修復研究所主任修復技術者）から調査報告と保存方針について見解を聴収した後検討に入り、次のような結論を得た。

- | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none">(1) <u>壁画は歴史上・芸術上・保存上の観点から、現地保存とする。</u>(2) 保存施設工事前に緊急必要な部分の応急補強処置を行う。(3) 保存施設工事完了後に、本格的修復作業を行う。(4) 応急補強処置と本格的修復は同一方法によって行う。(5) 修復作業に際して、必要な箇所のクリーニングを行う。(6) 壁画を良好に保存するための温湿度、炭酸ガスに対する適切な対策を講じる。(7) 壁画修復のための合成樹脂の使用及びクリーニングは、濃度等に十分留意する。(8) 彩色部分部の資料採集は行わない。 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3. 高松塚古墳壁画の技法・材料

高松塚古墳壁画の技法・材料に関する調査は、主に以下の五つの機会に実施された。

- ①壁画発見時の発掘調査及びその報告書作成の過程で奈良県立橿原考古学研究所により実施された調査（昭和 47 年）（以下「昭和 47 年の橿考研調査」という）
- ②文化庁が設置した高松塚古墳総合学術調査会による調査（昭和 47 年）（以下「昭和 47 年の文化庁調査」という）
- ③高松塚古墳総合学術調査会の委員であった秋山光和氏等により、その総合学術調査を補完する目的で実施された双眼実体顕微鏡等による調査（昭和 51 年）（以下「昭和 51 年の調査」という）
- ④壁画発見 30 年を契機に実施された文化庁及び東京文化財研究所による調査（平成 14 年・15 年）（以下「平成 14 年・15 年の調査」という）
- ⑤高松塚古墳石室解体作業後の仮設修理施設における調査（平成 19 年～現在）（以下「平成 19 年以降の調査」という）

(1) 絵画技法の調査

高松塚古墳壁画における絵画技法の調査は、主に「昭和 47 年の文化庁調査」、「昭和 51 年の調査」、「平成 14 年・15 年の調査」で実施され、「平成 19 年以降の調査」でも随時調査が実施されている。

ここでは、各調査の具体的な内容について逐年的に概観する。

絵画技法の調査として最も規模の大きいものが「昭和 47 年の文化庁調査」である。これは、この調査の要項にあるとおり「壁画の筆法、彩色技法、図様及び服飾、持物などの細部の美術史的・工芸史的調査、星辰等の科学史的調査並びに顔料等の自然科学的調査を行う」ことを目的としたもので、これに基づき、昭和 47 年 8 月 21 日に開催された第 1 回総合学術調査会において壁画調査の具体的内容が定められた。

すなわち

- (1) 現状記録（壁画の内容・構図・形式・技法・彩色）
- (2) 比較考証（壁画の内容・構図・形式・技法・彩色）
- (3) 許容される判断（筆者数、粉本の有無、影響関係の度合い、制作年代の幅、服制等より見た身分等の判断）
- (4) 必要とされる科学調査等（赤外線写真、顕微鏡写真、顔料の分析）

の四つの項目について調査することとされた。また、具体的な調査手順については、壁画保存の観点からまとめられた『高松塚古墳応急保存対策調査会 中間報告』に基づくものとされた。

実際の調査は、昭和 47 年 10 月に各委員により分担して行われるとともに、大韓民国及び朝鮮民主主義人民共和国からの招請学者による調査が実施された。あわせて、赤外線写真を含む写真撮影も行われた。

調査成果については、各委員の専門的立場からの所見を加え、数次の会議によって報告書案を総合的に検討した上で、壁画を中心とする記録と赤外線写真を含む原色図版からなる『高松塚古墳壁画』が昭和 48 年刊行され、この中に「高松塚古墳壁画調査報告書」が収載された。

この報告書によれば、絵画技法に関する「昭和 47 年の文化庁調査」の成果として、目視及び赤外線写真等により壁画図様の細部が明確となったこと、壁画が、「淡墨線による下描き→彩色→濃墨線による描き起こし」という手順で作られていること、各画面の技法の比較から画家が複数であること等が判明したことが挙げられる。この中で白虎の現状について「現在、残っている肉線の淡墨線は下描き線と見られ、描き起こしの濃墨線は肉身を表わす白色顔料とともに大部分は剥落したと見られ」（同報告書 p 18）と報告されていることは、白虎が発見当初より壁画の他の部分より淡い色調を呈していたことを示唆する。

発見以降の壁画の劣化を鑑みる時、この調査によって、発見時における壁画の絵画技法に関する細部にわたる客観的な作品記述が残された意義は極めて大きい。また、客観的な壁画の観察に立脚し、壁画の内容や絵画史上における位置付けを行ったことは、被葬者論をも含めた、これ以降の高松塚古墳壁画に関する研究の出発点となった。

「昭和 51 年の調査」は、「昭和 47 年の文化庁調査」において、壁画保存のための時間上の制約から部分的な実施となった実体顕微鏡による調査、顕微鏡写真撮影を補完するため、保存施設のしゅん工を待って行われたものである。この調査成果によって「昭和 47 年の文化庁調査」の時点では留保された諸点のいくつかが明確になった。具体的には、壁画全体に淡墨による下描線が存在すること、濃墨線による最終的な描き起こしの直前に人物群像に赤色の隈取りが行われていること、東壁男子群像において下絵を転写している可能性を示す赤色顔料の付着が認められたこと等が報告され、壁画の制作技法がより明確となった。

また、「昭和 47 年の文化庁調査」によって「下描き線のみが残存する」とされた白虎について、「昭和 51 年の調査」の時点では、「確認できる他

より若干薄い墨線が最終的な仕上げの線である」と見解が訂正された。すなわち、白虎だけは、壁画制作時に他の壁画とは異なる仕上げがなされていた可能性がある。

「昭和 47 年の文化庁調査」と「昭和 51 年の調査」の意義としては、学術的な成果とともに、壁画に保存処置が加えられる前に発見当初の表現技法を正確に判定し記録しておくことができたことが大きく、その後の保存対策の中で何をいかに残すべきかという方向性を示すものとなった⁴。

「平成 14 年・15 年の調査」は、壁画発見 30 年を期して、「昭和 47 年の文化庁調査」「昭和 51 年の調査」以降の分析機器の技術的な進展等を受け、改めて壁画に関する非破壊・非接触の光学的調査を行ったものである。その成果として、絵画技法に関しては彩色の際に顔料とともに各種の染料が多用されている可能性が指摘され、制作当初の繊細な色彩表現の有り様が想像された。また、壁画の全面に及んで鉛系の白色顔料の存在が指摘されたことも壁画の下地作りの方法を知る上で重要な知見であった⁵。

「平成 19 年以降の調査」は、仮設修理施設で壁画を平置きした状態での目視による調査により、壁画の輪郭線に部分的に線状のくぼみや赤色の顔料が確認されたものである。これについては、「昭和 51 年の調査」においても部分的な指摘がなされているが、これにより「昭和 47 年の文化庁調査」によって判明した壁画の作画工程に先行して、あらかじめ用意された下絵を壁面に転写する工程のあったことが確認された⁶。

あわせて、平成 19 年の石室解体時における石室床面の詳細な調査により、壁画制作時に落下した絵具が見つかったことも壁画の制作過程を知る上で重要なことである。

(2) 漆喰の科学調査

壁画発見直後に実施された漆喰下地の科学調査は、「昭和 47 年の樞考研調査」と「昭和 47 年の文化庁調査」の二つの機会に実施された。漆喰の炭酸カルシウム (CaCO_3) の純度は 89.0～96.3% で、その他にマグネシウム (Mg) が 0.21～0.44%、鉛 (Pb) が 0.16～0.37% 含まれていること（これら以外の元素の含有には言及されていない）が報告されている。また、漆喰の表層には、再結晶した炭酸カルシウムの薄い層が形成されていることが報告され、画面の保存とも関係するのではないかと指摘された。

「平成 14 年・15 年の調査」では、携帯型蛍光 X 線分析装置⁷を用いた測定が行われ、壁面の各所から鉛が検出された。なかでも図像のある部分の鉛は、図像のない部分より強い反応を示したことが報告された。

「平成 19 年以降の調査」では、旧嶋倉試料（壁画発見当初、奈良県立橿原考古学研究所の依頼で奈良教育大学嶋倉巳三郎教授による下地漆喰の調査が実施されたが、その残りの試料が近年奈良教育大学金原正明准教授より提供された。）を用いてサンプリング調査を行った。この調査では、実体顕微鏡下や偏光顕微鏡下の漆喰断面の観察を行い、表層に炭酸カルシウムが不均一ではあるが、薄く形成していることが再確認された。また、「スサ」⁸が腐朽・消失してできたと思われる空隙が形成されている部分が多く見られた。これは、漆喰が剥落・陥没する大きな原因であると考えられる。

また、携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた壁画表面の鉛の分布を明らかにすることを目的とした調査も行われた。壁画面を 5 cm 又は 10cm 間隔で測定を行い、さらに必要とする箇所を追加しながら分析を行った。測定点数は石材ごとに 249～335 点である。この結果、鉛は検出量の差はあるものの壁面全体から検出され、特に図像近傍においては検出量が多いことがわかった。さらに、先の旧嶋倉試料のサンプリング調査によって、漆喰層全体に鉛が分布していることもわかった。これらの結果から、壁画制作時に、微量の鉛を含む物質をあらかじめ混入した漆喰を塗り、さらに漆喰表面全体に鉛を含む下地層を塗布した可能性が考えられる。

(3) 顔料・描線等の科学調査

壁画発見直後に実施された顔料・描線等の科学調査は、「昭和 47 年の橿考研調査」と「昭和 47 年の文化庁調査」の二つの機会に実施された。

「昭和 47 年の橿考研調査」では、発掘土壌中に含まれていた 3～4 mm²の薄片、数試料を用いて材料調査が行われ、ペーパークロマトグラフィー⁹を用いた化学分析の結果、顔料物質が推定された。赤色試料から鉄 (Fe)、水銀 (Hg)、鉛、茶褐色試料から鉄、鉛、黄色部分から鉄、緑・青色部分から銅 (Cu) がそれぞれ検出された。

「昭和 47 年の文化庁調査」では、分析試料、分析方法とも不明ではあるが、赤色（濃赤色）は朱、赤褐色はベンガラ、淡紅色（淡赤紫色、白肉色）は朱と白色顔料の混合物、黄色（淡黄色）は黄土、緑色（淡緑色）は岩緑青、青色（淡青色）は岩群青、白色は不明、黒色は墨、この他に金箔、銀箔が用いられているとされた。金箔中には銀 (Ag) が 2.2%、銅が 0.02% 含まれるとされた。

「平成 14 年・15 年の調査」では、携帯型蛍光 X 線分析装置と高精細デジタルカラー撮影等による調査が行われた。この両手法から得られた情報

は、以下のとおりである。

①白色部分

すべての測定箇所からカルシウム（Ca）とともに鉛が検出された。絵が描かれている部分だけでなく、その周囲の白色の壁面からも少量ながら鉛が検出された。絵が描かれている部分の鉛の検出量は、用いられている彩色材料の種類や厚みの違いにより様々であったが、絵が描かれていない部分についても、少量ながらほぼ一定の鉛検出量が得られた。

②赤色部分

女子群像の唇・帯・裳、西壁白虎の爪や舌、東壁青龍の首や背^{せびれ}、天井の星座連結線等から水銀が検出された。しかし、女子群像の赤色上衣からは水銀が検出されず、可視光励起による蛍光反応¹⁰が得られた。西壁・東壁の女子群像及び男子群像の中の緑色上衣像には、いずれも赤色の帯が描かれているが、女子像の赤色帯からは水銀が多く検出されたのに対し、男子像の赤色帯からは水銀は検出されなかった。

これまでベンガラの赤色と考えられていた、男子像が肩に担いでいるやや茶色がかった赤色の長袋部分等について蛍光X線分析を行ったが、評価可能な量の鉄を検出することはできず、ベンガラが使われているとは考えにくいとの結果が得られた。

③黄色部分

西壁・東壁女子群像の黄色上衣からは、他の部分と同程度のカルシウム、鉛の他に、微量の鉄が検出されただけであった。この部分でも可視光励起で軽微な蛍光が見られた。

④緑色、青色部分

上衣、裳等の緑色、青色のいずれの箇所からも大量の銅が検出された。また緑色や青色箇所の蛍光撮影を行うと、そのほとんどの箇所から明瞭な蛍光反応が得られた。緑青や群青のような無機鉱物だけが存在しているのであれば、このような蛍光を発することはないので、銅を主成分とする緑色あるいは青色の絵具の上に、可視光励起によって蛍光を発する何らかの物質が存在していると考えられ、ラピスラズリの可能性が指摘された。

⑤金色、銀色部分

東壁日像、天井星宿の星等で金（Au）が検出された。西壁月像では銀が検出された。

⑥黒色部分

髪や描線等の黒色は近赤外線撮影で黒く撮影されたので、近赤外線を吸収する材料（例えば墨）で描かれていると考えられた。

また、「平成 19 年以降の調査」においても、顔料や描線等の調査を実施している（第 5 章を参照）。

4. 物の劣化に関する基本的な理解

(1) 基本的な考え方

あらゆる物質は時間の経過とともに変化する。その中には当然のことながら劣化も含まれる。高松塚古墳壁画を含む文化財もこの宿命から逃れられない。なしうることは劣化の速度を可能な限り抑えることであり、そのためには劣化基準の設定と、それに沿った監視体制及び応急対策並びに恒久対策を確立する必要がある。本章では、「変化と劣化」について、基本的理解を踏まえつつ、物質としての高松塚古墳壁画がたどってきた基本的な経緯を改めて整理する。

①物の変化と劣化

我々を取り囲んでいる物質の全ては原則的に時間の経過とともに変化する。物質が変化する現象の物理及び化学的な内容は物質自体の物理及び化学的安定性と環境因子との相互作用によって異なる。

物理及び化学的に定義された物質の変化と文化財の劣化の関係は必ずしも同一のものではない。これは全ての工業製品等にも共通であり、文化財にあっても、物理及び化学的变化がそのまま文化財の劣化とは定義できない。なぜならば、対象とする物質あるいは我々の目的によって評価の基準が異なるからである。また、物質の一部が物理及び化学的に変化することによって、その後の変化が停止あるいは著しく遅延することもある。

例えば、アルミニウムは空気に触れることにより、表面に緻密な酸化アルミニウムの薄い層が生じ、この層が内部のアルミニウムの酸化を防いでいる。すなわち、初期の変化がその後の変化を停止させ、初期の美観が維持されるので劣化防止層になっている。ただし、海辺では塩素の影響により酸化アルミニウム層の役割が低減して腐食が進むので、環境によってアルミニウムの変化と劣化の内容が異なる。また、糖分がアルコールに変化する生物作用はアルコールを得るためならば劣化ではない。しかし、アルコールが酢酸に変化するのにはアルコールの保存にとっては劣化であり、酢酸を得る目的であればこの変化は劣化ではない。したがって、劣化の定義が重要である。

②物の劣化の定義

劣化は、我々が期待した機能あるいは性能が明確に失われたときに評

価値者が劣化と認識し、定義するものである。ここでいう機能あるいは性能は、文化財的及び美術品的価値である。文化財・美術品等の劣化は物質の物理及び化学的变化の一部であるが、その変化が文化財及び美術品を評価及び鑑賞する者にとって、例えばその美的価値が損なわれたときに劣化と判断される。文化財の場合、劣化の内容は変色、ひび割れ、虫食い、腐食等多岐にわたっており、それぞれに原因となる物理及び化学的要因（反応）によって異なり、それらの反応が単独の場合、共存する場合、あるいは密接に関係して生ずることもある。これらの反応の中で劣化に最も影響を及ぼす変化が重要であり、評価基準に照らして劣化の原因とはならない変化も含まれる。

一般に、物質的な変化はミクロな状態の変化であり、肉眼で認識されるマクロな変化が現れなければ、文化財及び美術品の場合、劣化としての認識はできない。ただし、ミクロな変化の集積が突然マクロな変化として現れて劣化と認識される場合もある。これには予期しない劣化を事前に推定する手段が必要で、潜在的なミクロの変化を軽視してはならない。金属の疲労破壊はその典型で、コメット機の空中分解¹¹で初めて原因が把握された。ミクロな変化の把握には、それに適合する理化学的な手法を用いることが必要になるが、認識以前の潜在状態の場合には、その把握が非常に困難である。ごく小さなマクロの変化を見逃さない監視体制が望まれ、劣化が認識された場合には、それを解明し、対策を講じる理化学的な研究を早急に進め、恒久対策を確立する必要がある。

劣化基準の設定は文化財・美術品の種類によって異なり、同様の文化財であっても、その価値、保存環境等によって異なる。したがって、基本的な評価基準に加えて、対象となる文化財個々の評価基準を作ることが望ましい。例えば、青銅器の初期状態は銅赤色から白色であるが、埋蔵中に緑青等の錆^{さび}が発生し、製作当時の状態を基準とすれば表面色は劣化している。しかし、錆を落として初期状態に戻さない場合もある¹²。青銅色を古色として評価する嗜好もあるので、緑色への変化を一概には劣化とは考えない。一方、日本刀のような場合には、錆びて白色の金属光沢が失われたと評価されたときに劣化と定義され、研磨が許される。

劣化基準として、例えば壁画の場合の劣化グレードについて示す。これは、初期状態からの劣化の度合いを示すもので、絵の剥落部の面積率、変色部率等を数値的に評価し、劣化率として表すものである。対象とする壁画が作られたときの残存率を100%として、発掘時点の残存率（または劣化率）を算出し、その後の保存による経時変化の基準とする。ま

た、人為的に保存するときの経時変化では、発掘時点を 100%とする基準設定法もある。

③保存の定義

保存は物質からなる構造体の永久保存を目的とする。埋蔵文化財の劣化は、それが造られた初期状態から発掘されるまでの変化と劣化、発掘時点の状態から大気暴露後の変化と劣化に分けられる。一般に、埋蔵文化財は発掘時点において、かなりの程度で劣化している。初期状態から発掘までは自然保存であり、発掘後は人工（人為）保存と定義される。ただし、文化財の存在状況によって、発掘後において自然保存と人工保存の中間保存もある。通常、発掘は自然保存から人工保存への転換であり、ここで環境が大きく変化する。この変化に耐える新たな環境の付与が保存である。このとき、発掘前後における保存状態の評価が極めて重要である。

④環境と物質の変化

物質の変化は基本的に物質を構成する熱エネルギーによる原子の移動、環境中の原子及び分子との反応、これらによる収縮と膨張等がある。保存科学の理想は、人工保存のレベルを発掘前の環境レベルと同じか、あるいはそれ以上の高いものとし、劣化の速度を最低にすることである。

物理及び化学的には、環境中と物質の変化をもとに、環境系は大まかに図 3 のように孤立系、閉鎖系及び開放系に分類される。孤立系は外部環境の物理及び化学的な影響が全く及ばない理想的な系である。閉鎖系は物質の出入りはないが、熱の出入りがある熱

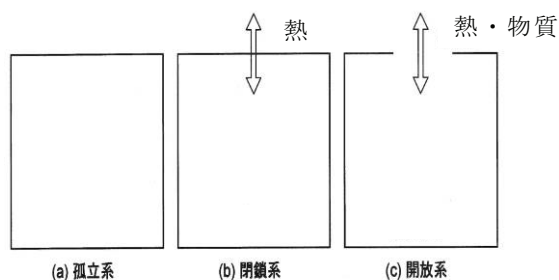


図 3 主な環境系

エネルギーで変化する可能性がある系、開放系は物質及び熱の出入りがある系である。厳密ではないが、これらの違いを簡単に例えると、食物を真空パックして冷凍する場合、冷蔵する場合、室内におく場合等に相当する。閉鎖系を利用した測定には炭素 14 の年代測定や南極の深い氷中に閉じ込められた数万年前の大気の測定等がある。これらを環境にしたがって更に細かく分類すると、熱力学的に定義される 8 ないし 10 の系になる。通常、自然環境は大気中で熱と環境物質及

び微生物及びムシ等の影響があるので開放系の下位の系に当たり、風雨、熱謝、地震、火山活動等にさらされる場合は最下位の系になる。

特に生物が関与する場合には、生物の代謝のためのエネルギー（食物）の摂取と代謝による生成物、老廃物等の影響があり、これらは連鎖するので、一般の熱力学的な変化あるいは劣化に加えて作用が大きく、劣化を考慮する場合最も重要である。また、生物作用の反応あるいは害は極めて速く、劣化量も大きいので細心の配慮と対策が必要になる。また、熱力学で定義されるように、単独では起こらない反応も他の反応と協同して起こる場合がある。さらに、鉄（Fe）等の遷移金属が混入するとこれを代謝に使う微生物があり、また、触媒作用で反応が容易に進む場合もあるので、これらの考慮も必要である。

発掘前の環境系は閉鎖系と開放系の間であることが多く、良好な状態の文化財が遺されていることは自然保存が良好な系で維持された証拠である。したがって、良好なほど発掘によって環境系が悪化する懸念がある。このため、発掘前の環境系を評価し、発掘後の人工保存環境系を最適化することが望ましい。

⑤劣化の監視（チェック）と対策

上述のように、人に認識されない潜在的变化がある時点で突然劣化として顕れることがあり、これを芽の段階で発見するように常時監視することが必要である。疑わしい現象を見出し、速やかに対応する。また、環境の変化は物質の物理的及び化学的变化に密接に関係しているので、温度、湿度等の環境条件の常時監視及び記録が重要となる。この記録と物質的变化あるいは劣化とがどのような環境条件と関係しているかを見出す作業も必要で、関係付けられた時点あるいは関係が推定された時点で早急な劣化防止対策を講じなければならない。応急対策と恒久対策は必ずしも同じではなく、常に見直しが必要である。

監視にとって必要な事項がいくつかある。状態の観測は常に一定の方法で行うことが必要であるが、新技術等に替わったときには、継続性を維持しなければならない。継続記録においては、予測及び想定外の現象が観測されることを考えた記録方式を定めることが必要である。

これらで重要なことは、小さな変化、疑わしい変化等を全て公開し、研究者に広く提供することであり、失敗も将来の改善に役立つので重要である。

⑥文化財の物質的特徴

文化財の物質的特徴は、用いられた物質の基礎データ、材料の作製過程、使われ方（技術あるいは手法）等の多くが不明なことにある。これらが近現代に造られたものとの大きな違いである。保存及び修理にあたっては、これらの知識を得ることが必要であり、そのための研究がなされなければならない。現代の理化学研究の多くは研究者自身が用意した物質あるいは素材を用いており、試料の作製プロセスも明らかである。したがって、現代の理化学研究の成果を参考にすることはできても、研究の手法は特殊なものとなる。

残念ながら、世界的にみても、文化財・美術品の物質に関する理化学的な研究はまだ初歩的な段階にあり、完全なものではない。文化財の場合、まず、物質そのものが何であるかを同定すること、次にその物質がどのような要因で変化したかを明らかにすること、その中で何が劣化であるか、さらに、これらのデータを基にして将来の劣化を想定し、保存対策及び修理を進めなければならない。変化の要因には無機的な反応、有機的な反応及び生物の作用等がある。ただし、文化財の研究には非破壊分析が前提となるなど多くの制約があり、その許される範囲の中での検討になるので、不十分にならざるを得ない。これを改善するには、制約の緩和が必要になる。例えば、試料の採取（最小限の破壊分析）を可能にするかどうか、など課題は多い。

また、修理に使われる市販材料の多くは、天然顔料等を除けば現在の工業用途に合わせたものであり、修理等に利用する場合には、まず、その信頼性を疑ってから十分に検討したのち使用すべきである。

(2) 高松塚古墳壁画の場合

①保存の目的と定義

高松塚古墳壁画の場合、保存に関して、その目的及び理由を明確にしなければならなかったが、それらの議論が不十分であった。本壁画の場合、自然科学的には発掘時点の物質の状態を保持し、美術的には美的状態を保持することが目的であり、それが保存の定義になる。しかし、上述のように、発掘によって自然保存から人工保存への転換が行われた場合、発掘前の自然保存に戻すことは不可能である。高松塚の場合、内部は閉鎖された状態に近かったので、開封することによって保存環境系が悪くなった。このときに自然保存から人工保存に変わったという認識が

なく、自然保存でなくなったのに、自然保存の考え方で保存を進めたことは、今にして思えば劣化の正しい判断ができなかった大きな要因となったと言える。正しくは、人工保存において劣化を進行させないためにいかに最適な保存手法を開発し、適用するかを十分に議論し、それに沿って実施すべきであった。前述のように、まず、壁画を構成する物質・材料・生物環境等の詳細を知ることが必要だが、発掘時点では学問的な水準、調査に関する制約もあり、現時点から見ると決して十分ではなかった。しかし、上述のように保存に必要な出発点の状態が明らかにならないと、その後の変化・劣化の要因の究明、劣化の防止、保存修理は完全に近いものにならない。将来に関する議論は常に不十分と考えなければならない。一方で、技術は日々進歩するので、継続的な保存状態の把握とそれによる技術的見直しの議論をしなければならなかったが、これも現在の目でみれば不十分であった。

②物質の変化速度の評価

文化財が複数の物質からなっている場合、物質の種類によって変化及び劣化の速度は異なる。したがって、まず、対象となる文化財がどのような物質で構成されているかを調べる必要がある。次に、それらの物質が本来の状態（使われた初期の状態）からどの程度劣化しているかを把握し、さらに、新たな環境下における変化の度合いを想定しなければならない。そして、最も劣化速度の高い物質に焦点を当てて対策を講じるべきである。

高松塚古墳壁画の場合、壁画を構成する物質の同定が遅れ、それぞれの劣化速度について議論されなかった。また、物質の同定に一部不確かなものがあった。一方、当初からカビ等の生物作用による劣化が議論されており、これを継続して議論し、監視する姿勢が足りなかった。また、修理・殺菌等において用いた物質に含まれる有機物がカビの餌になることを予測できなかった。

③劣化の評価と劣化過程

壁画の劣化をどのような手段で定義するかが、今の目からみればあまり議論されてこなかったといえる。例えば、発見直後に撮影され流布した壁画の写真には、できるだけ美しく鮮明に撮影するための技術が使われ、それが寄附金つき切手図案等に使用される際、更に技巧が施され、結果として、実態以上に美しい壁画として広く印象づけられたと考えら

れる。その結果、実際には、発見時においてかなり劣化が進んでいたにもかかわらず、あたかも全体が良好に保存されているかのごとき認識が広まったと思われる。記録としての写真撮影に基準がなく、その後の時系列としての統一性も欠けていた。そうしたことが、保存状態の認識への誤りを誘発し、その後の対応の甘さにつながった可能性がある。

壁画等が発見された場合、時系列で評価ができるように技術的基準を作るべきで、誤った情報を発信することとならないよう、公開する場合にもこの基準を守ることが必要である。これに限らず、機器の発達で方法あるいは技術が変わったときには、その継続性を維持できるようにしなければならない。発掘されたときに壁画の一部は比較的高い自然保存状態であったが、その写真だけを取り上げると、全体の保存状態の認識に誤りが生じ、厳密で適正な評価はできない。写真がデジタル化した現在、修正等は従来に比較して極めて容易なので、厳密な基準づくりが必要である。

まず、発掘以前の約 1300 年間で自然保存で初期状態（築造時）からどの程度劣化したかを数値的に示すことが必要である。次に、発掘後の劣化を数値で示し、評価しなければならない。発掘までの劣化は実測できないので、いくつかのモデルで理論的に検討する。図 4 は高松塚古墳壁画が造られてから、

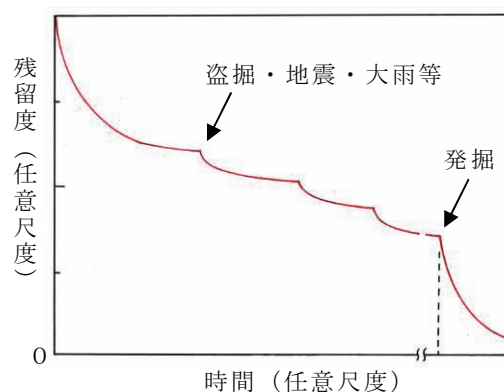


図 4 壁画の劣化モデル

古墳中に自然保存され、それが発掘されてから人工保存された場合のモデルの一つである。物質の変化あるいは劣化のモデルは時間の関数としていくつか考えられるが、図は古墳が閉じられた初期には環境が不安定で劣化が大きく、次第に閉鎖系に近づいて定常的劣化（劣化速度最低）に移行したと仮定したもので、縦軸は壁画の残留度で示されている。この自然保存の中でも、盗掘、地震、大雨等により急激な劣化が生じ、その影響が減じると再び定常的変化に移行すると定義している。発掘時点から現在までの劣化の経緯をみると、発掘によって環境が変化し、壁画の急激な劣化が誘導されたものと考えられる。現在の視点からみれば、壁画発見当時の劣化状態の把握・認識は良否を別にして不十分であったと考えられる。ただし、発掘以後の学問及び測定機器等の進歩は著しく、

当時としては最善を尽くした部分も多いと推定される。

当該壁画の場合、上述の劣化度から解析すると、発掘時に初期状態（劣化度 0 %）から少なくとも 60～70%劣化した状態にあったものと推算される。粗い推算の例として図 5 で分かりやすく示せば、4 人の女性のうち顔が完全に残っているのは 1 人であり、顔の完全さで示す劣化率は 75%（残存率 25%）になる。図 5 の服装について示せば、黒塗部は顔料の剥離領域であり、右端の女性の斜線部は色劣化部の例である。このような方法で劣化の度合いを計算することが可能である。したがって、発掘時の劣化度（残留度）を基準に、その後の劣化量あるいは劣化速度を計算することが必要であった。

劣化速度は $\text{劣化量} \div \text{時間}$ で定義される。壁画の場合、直線的な劣化と仮定して 1300 年間の自然保存と発掘後の人工保存での劣化速度を計算すると、発掘による影響で劣化速度は約一けた増大する。カビによる劣化は最速数日で起こることもあり、最も劣化の速い場合、自然保存の数桁高い速度になったと推定される。これは非常に大まかな推算であるが、壁画の監視記録を厳密にして、詳細な値を求めることが望ましい。



図 5 壁画の劣化評価法
（上着部の剥落（黒塗）
と退色領域の例）

5. 高松塚古墳壁画の劣化の具体的な内容

(1) 漆喰層・石材の劣化

① 漆喰層の劣化

昭和 50 年代に行った剥落止め修理から約 30 年が経過したため、合成樹脂の接着力の持続性の確認、新たな剥落の進行の調査等を目的として、平成 16 年 6 月に石室内全体の漆喰層の調査が行われた。その結果は以下のとおりである。

ア. 剥離

天井では楕円形状に崩落している箇所があり、その周辺は、めくれあがったような漆喰の剥離が認められた。側壁では漆喰層に入っている細かな亀裂から 5～10 mm の大きさで剥落が発生し、それらが拡大することで漆喰層の崩落が起こったと思われる。

イ. 亀裂

石室内漆喰壁全面に不定形に細かな網目状の亀裂が多数見受けられた。そのほとんどが昭和 50 年代の樹脂処置により強化され、その状態で漆喰層が固まり、石のように硬くなっていた。石壁との接着は不安定であった。

ウ. 粉状化

表層部で漆喰が粉状になり深層部からの剥離が発生していた。これは進行性のものであり天井に多数発生しており、それに伴って漆喰層の崩落・落下も生じていた。側壁絵画部分においては、表面の絵具層が剥落している箇所もあったが、崩落・落下現象面からみると、ほぼ安定化していた。

エ. 漆喰層の中空化（密度が低く^{すじょう}鬆状になっている状態）

漆喰層は高湿度の中で長時間保存されてきたため内部は多孔質となり、石材との接着面積が著しく減少していた状態と考えられる。目視では健全に見えるが脆弱で、層としての強度はなかった。また漆喰層内部が表面を支えられずに陥没を起こしている箇所が、壁面に多数見受けられた。

オ．過去の修理・カビ処置による影響

漆喰層表面に樹脂膜の層があり、光沢があった。また樹脂が注入された部分では、濡れ色に変色している箇所も認められた。細かな亀裂のある部分はその状態で漆喰層が硬化していた。このため、石材との接着は不十分で、漆喰層は不安定であった。またカビ処置のためのエタノールを噴霧した箇所には、古い樹脂層が白濁しつつ剥離している箇所が見受けられる。

カ．カビによる影響

石室内環境の変化に伴い白色・黒色・緑色等のカビの発生が認められ、これらの有色のカビにより、壁面が汚損されていた。また、カビの菌糸により漆喰層が破壊されている様子も確認された。カビの菌糸が漆喰の中に入り込んでしまうと、完全に殺菌することはできず、菌糸は長期間にわたって生き残る。また漆喰は菌糸により物理的に破壊されるだけでなく、菌糸から出るカビの代謝物のために化学的な劣化も起きることになる。

②石材の劣化

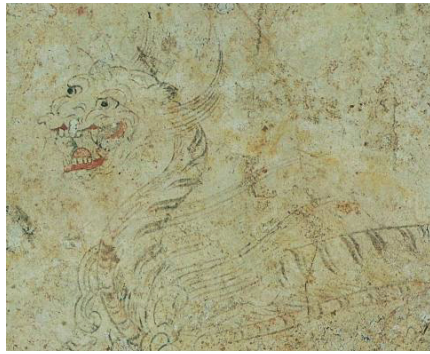
高松塚古墳の石室に用いられている石材は、大阪府と奈良県の境に所在する二上山周辺から産出された凝灰岩である。古墳の石棺材、飛鳥から平城京城における寺院・宮殿の基壇化粧石、礎石等に大量に使われた。古墳の石室石材に用いられた凝灰岩は、長期間水分を多く含んだ状況にあったため劣化し、強度が低下していると考えられる。

(2) 壁画（顔料・描線等）の劣化

壁画発見後、調査のたびに記録のため壁画の細部写真が撮影されており、それらの写真の比較等から壁画の劣化を検討した。その結果は以下のとおりである。

①黒線（墨線）の薄れ

西壁白虎における黒線は図 6 (a) で示すように発見直後から淡い色調であったが（第 3 章参照）、特に耳に注目して変化を追うと、(b) の昭和 51 年の写真では明瞭に識別できる。しかし、(c) で示す昭和 55 年撮影の写真では耳の形は確認できるものの既に薄れており、(d) で示す昭和 58 年の写真における耳の形状はさらにぼやけたものになっている。昭



(a) 昭和 47 年



(b) 昭和 51 年



(c) 昭和 55 年



(d) 昭和 58 年

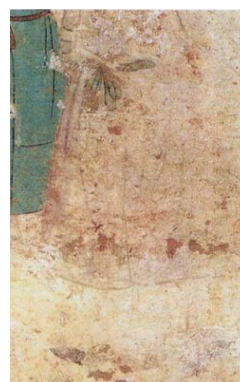


(e) 平成 16 年

図 6 黒線や赤色の薄れの事例（白虎）



図像全体図



(a) 昭和 47 年



(b) 昭和 62 年



(c) 平成 14 年

図 7 黒線の薄れの事例（西壁男子群像）

和 58 年以降は(e)で示すように平成 16 年の写真と比較する限り、線の薄れはわずかであるが、カビのため全体に暗くなっている。

また、図 7 (a)の西壁男子（右端）の衣裾^{ころもすそ}の描線は、昭和 47 年の写真で既に薄れている。以後漸次薄れが進行していることが、(b)の昭和 62 年と(c)の平成 14 年の写真との比較により認められる。

東壁青龍の昭和 47 年時の全体像を図 8 (a)に示す。部分図(b)で示す昭和 54 年の写真では、2 本ある角のうち、左側の角について根元が薄くなっており、(c)の昭和 57 年の写真ではさらに薄れている。(d)に示す左前肢の一部の黒線は平成 13 年 12 月のカビ処置の結果、薄れたものである。

以上のことから、黒線は昭和 54 年までに漸次薄れつつあったと考えられ、昭和 56 年から昭和 57 年までに薄れが進行したと推測される。その後は、急激な薄れは認められない。一方、図 9 (a)及び(b)に示す西壁の女子群像における黒線の薄れは比較的少なく、変化の時期を特定できない。

②赤色の薄れ

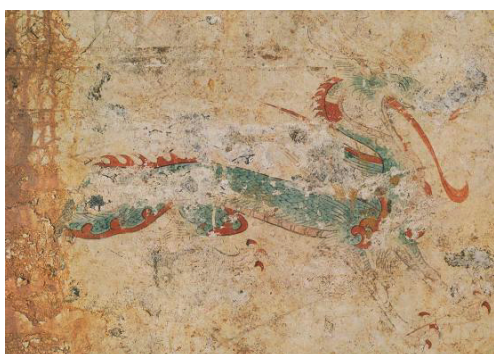
西壁白虎の口、特に舌や歯茎部分の赤色は、昭和 47 年の写真に比較すると、図 6 (b)で示したように薄れが認められる。(c)で示した昭和 55 年の写真でも薄れつつあることがわかるが、昭和 56 年以降徐々に薄れが進行したと思われる。図 8 で示した東壁青龍の首や尾のヒレの一部に赤色の薄れがあり、これは(b)で示した昭和 54 年の写真で既に認められる。

図 10 の(a)のように、天井星宿の赤線は昭和 47 年の写真では明瞭である。(b)の平成 15 年の写真を見ると、この時には赤線が薄れていることが確認できる。

③壁画表面の汚れと荒れ

西壁白虎周辺の漆喰表面は図 6 で示したが、(c)で示す昭和 55 年の写真では、それ以前の写真に見えるような平滑さを失いつつあるように見え、それ以降、漸次表面の粗鬆化^{そしょうか}が進行していることが写真の比較によって推定できる。

また、図 8 で示した東壁青龍の首から前肢及び図 11 で示す東壁右端の女子右下辺にかかる汚れは、平成 13 年 12 月に発生したカビによるものである。図 12 に示す東壁女子（右側の 2 人）の頭頂部^{まげ}（髻）は、(a)



(a) 昭和 47 年



(b) 昭和 54 年

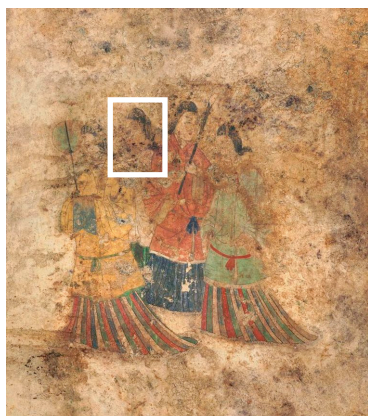


(c) 昭和 57 年

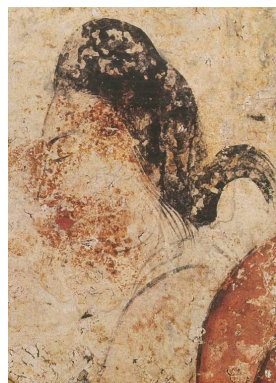


(d) 平成 16 年

図 8 黒線の薄れの事例（青龍）



図像全体図

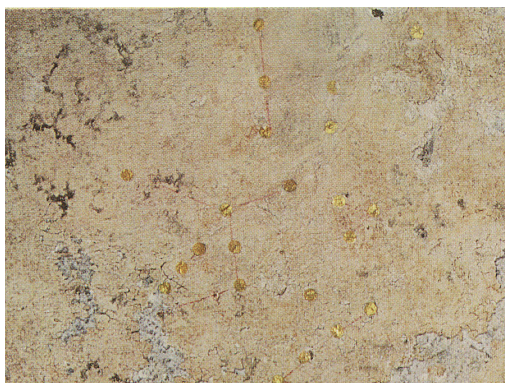


(a) 昭和 47 年

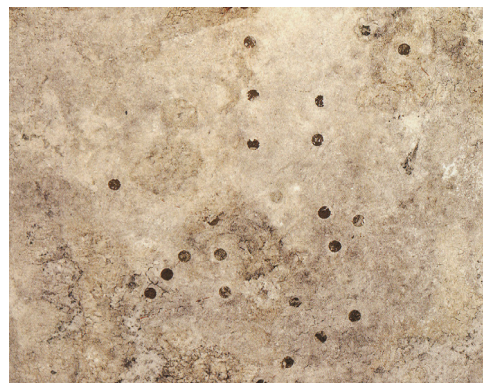


(b) 平成 14 年

図 9 黒線の薄れの事例（西壁女子群像）



(a) 昭和 47 年



(b) 平成 15 年

図 10 赤色の薄れの事例（天井天文図）

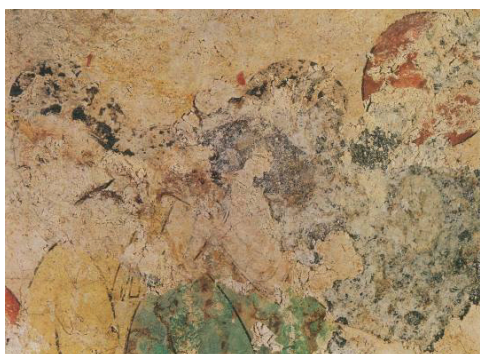


(a) 平成 13 年 9 月



(b) 平成 13 年 12 月

図 11 壁画表面の汚れと荒れの事例（東壁女子群像）



(a) 昭和 47 年



(b) 昭和 60 年

図 12 壁画表面の汚れと荒れの事例（東壁女子群像）

で示す昭和 47 年の写真に比べて (b) の昭和 60 年 12 月の写真では輪郭がぼやけている。

図 13 で示す北壁玄武の下半分の輪郭周辺の壁面が汚れているが、これは (b) の昭和 62 年の写真でも確認できる。(c) で示す平成 16 年の写真の後肢の踵の汚れは平成 13 年 12 月のカビの痕跡である。

④漆喰の剥落

図 14 に西壁女子（右から 2 人目）青色裳の正面を示す。(b) の丸印で示す上端部分の欠損は、(a) で示す平成 13 年 12 月 19 日から翌 14 年 1 月 28 日の間に生じたことが、写真の比較によってわかる。この間、点検を 1 月 7 日から 9 日と 1 月 27 日から 29 日の 2 回実施しているが、剥落は認識できず、剥落片も採集されていない。

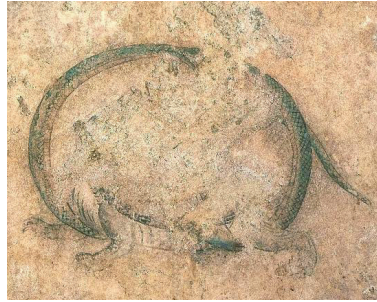
また、図 15 (a) の丸印で示す東壁女子（左から 2 人目）右肩下の赤色部分は、昭和 50 年の写真では既に欠失している。したがって、本格的な壁画修理を開始する以前に生じた剥落である。東壁男子群像下方の余白部分については、昭和 47 年 9 月 30 日及び 10 月 1 日に剥落が確認されている（『保存と修理』 p 35）。

図 8 (d) の丸印で示した東壁青龍の舌の半ば部分には、輪郭に沿って顔料及び漆喰の荒れがある。これは平成 13 年 12 月のカビ処置の際に生じたものである。

さらに、今回の劣化原因調査では、壁画表面の状態を観察するためにデジタルカメラを用いた近接撮影を行った。これらの画像から西壁白虎等においては、描線や彩色部における色材の退色あるいは消失の著しいことが明らかとなった。また彩色された箇所が多くが乳白色物質で覆われていることが判明し、本来鮮やかであるはずの彩色がくすんで見える現象の一つの原因であることがわかった。この物質は電子線マイクロアナライザー¹³等によって、新たなカルサイト層が壁画表面に形成されたことが明らかとなった。一方で、カルサイト層が形成されていない、言い換えれば色材が最表面に表れている箇所では剥落箇所が多いこともわかった。これは、カルサイト層が結果的には彩色層を現在まで保護する役目をしていたともいえる。蛍光 X 線分析では、壁画面を構成する漆喰には鉛が含まれ、画像近傍では特に高い値が示されたが、描線の薄れが確認されている白虎の背中周辺等ではその傾向が弱くなっていることも明らかとなった。



(a) 昭和 47 年

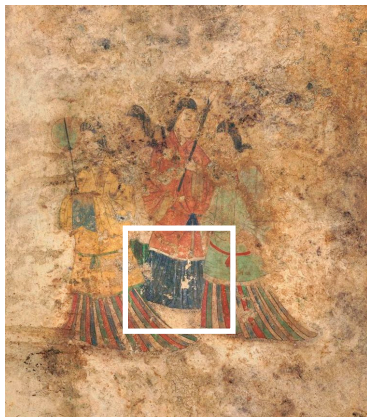


(b) 昭和 62 年



(c) 平成 16 年

図 13 壁画表面の汚れと荒れの事例（玄武）



図像全体図



(a) 平成 13 年 12 月 19 日

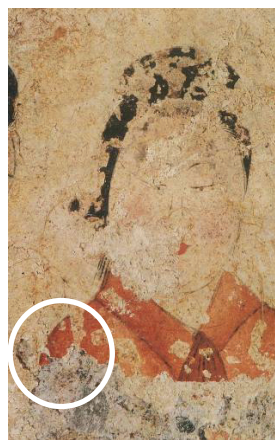


(b) 平成 14 年 1 月 28 日

図 14 漆喰の剥落の事例（西壁女子群像）



図像全体図



(a) 昭和 47 年



(b) 昭和 50 年

図 15 漆喰の剥落の事例（東壁女子群像）

6. 高松塚古墳壁画発見当時（本格的修理開始以前）の状況

高松塚古墳壁画発見時の状況については、発見以降の各種報告書の記載から、概要としては、以下のようなことがわかる。

- ①昭和 47 年 7 月の『高松塚古墳応急保存対策調査会中間報告』には、「東西両壁では、南に高く、北側に低く、楔形に、損傷と汚染が生じている。とくに顕著なところでは、酒粕状に石灰層が剥離している」等の記載がある。
- ②昭和 48 年 3 月の『高松塚古墳壁画』には、「天井と側壁の切石の接合部分の一部から下辺にかけて鉄分を含んだ水の滲出による赤褐色の汚染があり、このため東西両壁の男子群像及び青龍の一部が著しく不鮮明となっている」等の記載がある。
- ③昭和 52 年 5 月の『国宝・高松塚古墳壁画修理報告書（中間報告）』には、「漆喰層の表層が浮き上り、表層と共に剥落する恐れのある部分がある」等の記載がある。

以下、これらの記述を具体的に確認することとする。

①昭和 47 年 7 月『高松塚古墳応急保存対策調査会中間報告』（抜粋）

Ⅱ. 調査の結果

C 石室壁画面について

(i) 現 状 石室内は、凝灰岩切石の表面に、厚さ 2～7 mm の石灰層（いわゆる漆喰）が形成されている。その表面は、もともと平滑であったと思われるが、それに薄い顔料層から成る彩画がある。

壁画の保存状況は、南の盗掘口から流入した土砂の影響を受けた部位が悪い。とくに、南壁は、ほとんど石灰層がすべて剥離している。

東西両壁では、南に高く、北側に低く、楔形に、損傷と汚染が生じている。とくに顕著なところでは、酒粕状に石灰層が剥離している。また、天井の星宿の金箔のうちには、落下寸前のものが数か所あった。

切石の目地のところでは、石灰層に亀裂がある。天井の切石目地からは、その時期は不明だが、流水があったらしく、その部位から下へ東西両壁面の一部に、赤褐色の汚染が見られた。

壁面の石灰層は、もとは強固であつたらしい。それは、盗掘時に固い

刃物様のもので掻き取った痕跡から推測できる。

しかし、長年月の間に、地下水が石灰層に供給され、その可溶成分が流出し、あるいは石材にしみこみ、あるいは壁面上を流れ、そのため、石灰層は、漸次粗鬆となり、脆弱化したと思われる。一部には、石材面から剥離し、ふくらんだところが、その後陥没しているのが、観察されたところもある。

現状の観察からすると、壁画の保存の問題は、彩画層の粉化、彩画層の石灰層からの剥落、石灰層の粗鬆脆弱化、石灰層の石材面からの剥落、以上の4点にまとめることができる。

(ii) 石灰層について 壁面に塗られた石灰、いわゆる漆喰について、橿原考古学研究所から試料の提供を受け、定量分析をおこなった。分析に際しては、試料を100℃で乾燥後、塩酸に溶かし、不溶解物を除去し、カルシウムとマグネシウムを定量した。その結果は表1の通りである。(表は省略)

この結果によると、石室壁面にあるいわゆる漆喰は、純度の高い炭酸カルシウムであると判定できる。

また、石灰層には、砂やスサの混入も認められなかった。

昭和47年11月『高松塚古墳応急保存対策調査会調査報告』(抜粋)

II. 第2回現地調査報告

B 調査結果

3 壁画の保存状況

壁画の保存状況については、調査の全期間を通じて観察し、その状況を写真に記入した。保存状況は、一般に、剥離、亀裂、脆弱化、剥脱、微小欠損、機械的損傷、汚損に分類できる。

剥離個所は、ふくれあがっており、天井で見られるものでは、その中央が離脱欠損しているものがあつた。

こまかい亀裂はひろく点在しており、老化が進んだ部分は全体に脆弱化し、やがて剥脱する運命にある。さらに、数mm程度の微小欠損は全体にみられ、また鉄分を含む流水の赤色痕跡が東西壁で顕著に見られた。

壁面の保存状況をより詳細に調査するために、拡大写真を撮影したが、その際、炭酸ガスによる石灰面上の再結晶の現象が確認された。保存状況調査のためには、総合学術調査の際に撮影された絵画部分の拡大写真の分析も今後必要である。

9月30日の開口当初に剥離落下していた部分は、東壁南第1石の向かって左下にあたり、今春の調査の際にすでに酒粕状になって剥落寸前であったところであって、10月1日に剥離落下した部分もそれに南接するところであった。落下した石灰層の裏面は、切石表面との間に植物の根が網状に存在していた状態を示しており、これが石灰層の切石面からの剥離の一つの大きな原因であることを考えせしめた。

壁画の保存状況の危険性については、フランスの2名の専門家も指摘しており、上空を飛行するヘリコプターの振動すらも共鳴によって剥脱を誘発することがありうると語っていた。なお、フランス人専門家によって、壁画がフレスコ技法によると思われるとの所見が述べられ、今後の保存法の検討に注意が与えられた。

②昭和48年3月 高松塚古墳総合学術調査会『高松塚古墳壁画』(抜粋)

二 壁画概要

ここで壁画の損傷状況について概略を述べておく。

まず壁面は切石の接合部分で漆喰層に亀裂を生ずるほか、西壁上部などにはこれに起因する漆喰層の剥落がある。また天井と側壁の切石の接合部分の一部から下辺にかけて鉄分を含んだ水の滲出による赤褐色の汚染があり、このため東西両壁の男子群像および青竜の一部が著しく不鮮明になっている。

南壁の盗掘孔から流れ込んだ土砂は床面に対して約二〇度の傾斜で北壁の近くまで達し、これが原因で土砂に埋れていた部分の漆喰層は著しく汚染と粗鬆化を来とし、かなり広範囲に剥落する。東西両壁男子群像の下辺はこれが原因で著しく不鮮明になっている。

その他、画面の剥落の著しい個所は、東壁女子群像の頭部および腹部、西壁男子群像の一部、青竜の尾部周辺、日輪の下辺などに見られる。このうち東壁女子群像の腹部の剥落は、盗掘時のものと思われる擦傷に起因しており、そのためと思われる金箔の付着が明瞭に認められる。また類似の擦傷は青竜の上部、白虎の下部、西壁男子群像の下辺にもみられる。

この外、玄武の中心部には意識的に搔き落したとみられる切石に及ぶ搔き傷状の打痕があるほか、日輪、月輪の中心部にも金箔や銀箔を意識的に搔き取った形跡が認められる。なお、壁面の各所にこれらに起因すると思われる金箔の小断片の付着がある。

最後に切石の損傷について一言すれば、天井の南寄りの二枚の切石は、そのほぼ中央部に亀裂があり、また西壁の南寄り第一、二の切石の境目にも亀裂が入っている。

③昭和 52 年 5 月 『国宝・高松塚古墳壁画修理報告書（中間報告）』（文化庁）（抜粋）

高松塚古墳壁画の修理について

I 壁画の構造と損傷の状況

高松塚古墳壁画は凝灰岩の切石を組み、内壁に消石灰を塗り（以下漆喰と呼ぶことにする）、顔料で、東西の側壁に男女各一組ずつの群像と青竜、白虎を、北の壁に玄武を各々描き、天井に星宿を表している。漆喰の塗り方は丁寧であり、特に絵を描いている部位は入念に施工している。壁画が今日まで保たれた大きな技術的要因である。しかし、現在では表面的には損傷も少なく比較的健全と見られる部分でも漆喰層の中層部が弱くなっていると見られるところが多い。以下は外見上の損傷を中心に記述するが、損傷の実態は複合的であり、修理施工にあたってはそれ等の損傷を壁画の上記の構造的な変化や損傷と併せ、総合的に把握する必要がある。

1 顔料層の状況

過去における顔料の剥落や、表面を水が流れて顔料を洗い流してしまったような痕跡が認められるが、現在では比較的安定した状態である。ただし、漆喰層の表層が浮き上り、表層と共に剥落する恐れのある部分がある。

2 漆喰層の損傷の諸態

a 漆喰層の剥離

漆喰層は天井壁、側壁と天井壁との接合部、側壁底辺部を中心に数多くの大きな面積の剥脱があり石面が露出しているが、その開口部の周辺では漆喰層が盛り上ったようになり、石切面から剥離していることが多い。漆喰の剥脱は往々楕円形を成しているが、次に述べる漆喰層のふくれと密接に関係すると見られる。側壁を斜めから観察すると相当の起伏が認められ、漆喰層の剥離は広い範囲にわたり散在すると判断される。

b 漆喰層のふくらみ

漆喰層が部分的にたるんだように脹れ、あるいは半球状に脹れる現象

である。前者は側壁の上端部に認められ剥落の危険が大きい。後者は東壁女子群像の壁面に多発している他、北壁にも認められる。東壁の女子群像では押し潰されているものもある。天井部の剥脱は多くの場合、この脹れが生長した結果と見ることができるようである。

c モザイク状の小片化

漆喰層のモザイク状の小片化（5mm角程になってしまう）は損傷の最も代表的な形態であり、天井壁、側壁共随所に認められる。表層の剥離と共に早急な処置を求められる損傷である。剥落の危険度はその位置と周辺の状況によって異なるが、当然のことながら位置的にも天井壁の危険度が高く、なかでも漆喰層が大きく剥落して開にした部分に生じている場合は特に危険な状態にあると見られる。

このモザイク状小片化の分布状況は天井壁に最も大きく、しかも一つの小片が剥落すると次の小片の剥落を喚び起しかねない状態となっていることが少なくない。特に星宿が多数描き配されている二枚目と三枚目の切石の接合部の附近の状態は表層剥離も生じ、辛うじて保たれているとよい程である。

漆喰層の損傷の代表的な形は以上の如くであり、この他、漏水や盗掘口からの土砂の流入等によって、汚染と相当の損傷を受けており、各部分の損傷の様子は千差万別の感がある。

このような剥脱した部分を含めた損傷の分布を概括すると、高さ関係では絵の描かれている中位の部分よりその上と下が、方位では東側より西側に多いといえることができる。

また、修理を通じて確認された状況は次の記述に詳しい。

昭和 62 年 3 月 『国宝高松塚古墳壁画-保存と修理-』（文化庁）

渡邊明義・増田勝彦「高松塚古墳壁画の損傷状況とその修理」（抜粋）

2 高松塚古墳壁画の損傷の様態

漆喰壁には様々な損傷の形が見られる。剥離、亀裂、表層の剥落、漆喰層のポーラス化、陥没等である。

剥離は円形に剥落した周辺で一般的に観察されるが、剥離は剥落周辺部にとどまらず、かなり深くなっている。西壁では盗掘口から見ると女子群像が描かれている壁で全体的に波うったような緩やかな起伏が感じられる。この壁画では半球状の膨れが多く見られるが、これは高松塚古墳壁画の特徴的にして、典型的な剥離の形である。天井壁の円形状の剥

落の周縁はやや盛り上がったようになっており、このように半球状に膨れ、剥落していったのではないかと考えられるが、半球状の膨れの生長は剥離の拡大を意味するから注意を要する。

この半球状の膨れと、円形の剥落の周辺を観察すると皺が生じていることがわかるが、壁の隅ではこの皺が必ずといってよいほどに生じている。おそらくこの皺は、その部分で漆喰壁が浮き上がり、進行しつつあることを示すであろう。

漆喰壁の異状で特に目立つのが亀裂である。亀裂は網の目状に不定形に生じている。一つの亀裂は3mmの方眼に入るほどに小さくなっており、しかも割れ目の隙間が広い。これは収縮した結果で、剥離の危険は高い。この亀裂は側壁面に多く認められる。天井壁にも亀裂が前面にわたっており、その位置もあって剥落の危険は特に高くなっているが、亀裂の形状は側壁のそれとは異なっている。

側壁面の亀裂の周辺では、往々、部分的に陥没したように断続する不完全な亀裂が認められる。亀裂の成長過程を示すようでもある。

壁画の異状の中で、軽く見られそうな異状ではあるが、注意を要する異状として小さな陥没がある。この陥没は女子群像や四神などの絵の中にも生じ、また、比較的状态のよい西壁・白虎の辺りでも生じているように、全面にわたっているといえる。この陥没は押されて生じたのものではなく、自然発生の異状である。

このような状態から、漆喰壁は表面が緻密と見られる部分も含め、全体に層の内部がポーラス(密度が弱くがさがさとなった状態)になっていると判断される。この点はモーラ氏の最初の調査でも指摘されている。原因についてはモーラ氏は炭酸ガスの影響と見、江本・三浦両氏は過剰な水分の影響と考えているが、漆喰壁の異状は全体的に水分が大きく作用していると思われる点が多いようである。

彩色面には部分的な剥落や流れたような損壊があるが、現状では安定していると判断される。

高松塚古墳壁画は、自然条件の中での異状の外に、人為的な損壊とその影響も受けている。日月・玄武は故意の破壊を受けており、天井には鑿の跡も多く残っている。

盗掘人たちはまず天井石を壊そうとしており、そのために石に割れ目が生じたが、それを果たせず南壁に掘り進んで南壁を壊して中に侵入している。このためこの盗掘口から多量の土砂が入り、天井石の継ぎ目からは鉄分を含んだ泥水も漏水するようになってしまったようである。土

砂は斜めになってなだれ込み、側壁底部には吃水線のように褐色の汚れがついていることから水も溜まったことがあった。

こうした状況の激変が、漆喰壁の状態の変化を更に助長したと思われる。土砂に埋まった部分の漆喰壁は壊滅状態であり、漏水のあったところで漆喰が切れるように剥落している部分もあり、影響の大きさは容易に類推することができる。

昭和 62 年 3 月 『国宝高松塚古墳壁画-保存と修理-』（文化庁）

増田勝彦「高松塚古墳壁画修理記録原図の作成」（抜粋）

昭和 50 年 5 月、修理原図を作成するために、石室の各石面を約 16 分割した斜光照明によるカラー写真撮影が、修理担当者の手によって行われた。その写真の整理と保管は、東京国立文化財研究所修復技術部で行っている。

撮影の際には、焦点を固定したとはいえ、カメラの手持ちの撮影のうえ、石面の 16 分割も目測によるものであったので、そのまま合成して大画面とすることができるような写真ではないが、1 枚ずつ独立して使用する時には、修理記録用として十分に役立つ。原則として画面右上からのストロボ 1 灯による斜光照明であったが、石室の隅近くや天井近くでは、真横、または、やや下からの照明で撮らざるを得なかった。6 cm × 6 cm カラーネガフィルムで撮影し、四つ切り判の印画紙にノートリミングで焼付けして、2 組を用意した。1 組を東京国立文化財研究所に、1 組を現地に保管して、修理に利用している。東京の 1 組は、処置箇所記録用のコピーを作ったり、修理中に撮影した写真の整理をする時に参考とするためである。

写真には、斜光照明による影で漆喰層の凹凸が強調されているが、漆喰脱落部分では、影のできる側の剥落が強調されている割には、光源に向かって口があいている剥離が、実際よりも控え目に映っている。

その写真を、できるだけ薄いコピーにとり、記録用紙とする。ただ、茶色系と灰色が紛れてしまうため、写真を見ながら損傷部の輪郭線を鉛筆で描き起こさねばならない。

このコピーには、修理作業中に注入したパラロイド B 72 トリクロルエチレン溶液の濃度と注入箇所などを記入していった。修理が進むにつれて、写真撮影した時には映っていた漆喰が落下して、すでに石面が露出している部分も確認されるので、その箇所を記録する。たしかに、主に

天井からの小片の落下は継続していたのである。それが、大面積の剥落へとつながる前に、修理作業を進行させねばならない。(以下略)

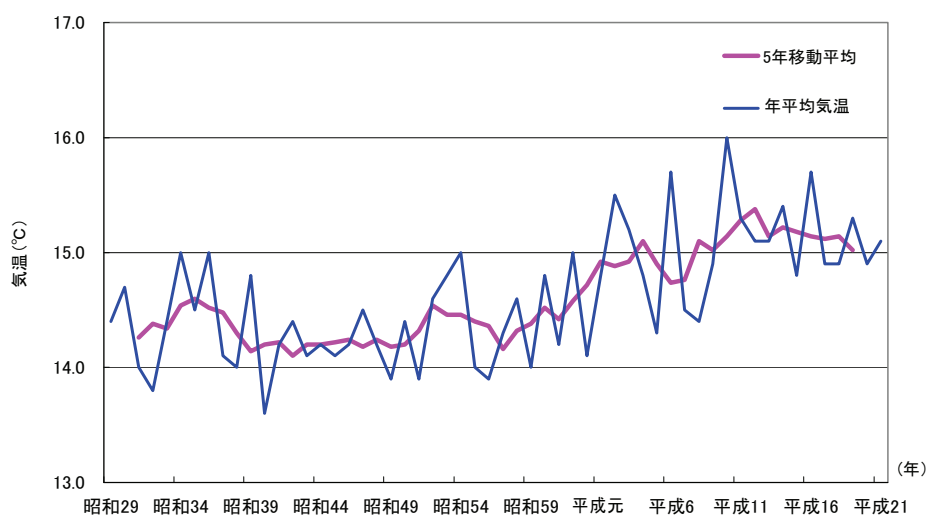
7. 温湿度等の環境変動

(1) 高松塚古墳石室内の温湿度等

「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」及び「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」の調査成果を中心として、以下にまとめる。

①外気温

奈良県内で長期にわたり外気温についての観測記録があるのは奈良地方気象台（奈良県奈良市半田開町7番地）である。奈良地方気象台で測定された昭和29年から平成21年までの外気温の年平均値を図16に示す。これを見ると昭和30年代から昭和62年までは、外気温の年平均値は14℃台に収まっているが、昭和63年頃から年ごとの細かな変動はあるものの次第に上昇して、全体として見ると平均して1℃ほどの外気温上昇が見られる。日本全体の長期間の平年値と各年の平均値の差（平年差）と奈良における平年差を比較すると、日本全国の平均差の動きとよく一致しており、さらに北半球全体の動きとも類似している。このことから、約30年間で外気温が1℃上昇した理由は、地域的なものではなく地球規模の気温変化に関係しているものと推定される。



成 2 年以降、しばしば一年に 50 日を超えるようになった。

③石室内の温湿度

石室内の温度記録に関しては、以下のようなものがある。

昭和 47 年 4 月～11 月

昭和 48 年 1 月～12 月

昭和 53 年 1 月～12 月

昭和 54 年 1 月～平成 17 年 8 月

特に石室内の温度は、保存施設の空調設備設計の重要な要素となるため、昭和 47 年から昭和 51 年までの約 4 年間にわたって¹⁴、ガラス管に封入した温度計を石室床の中央付近に設置して測定を行った。石室前に保存施設が建設された昭和 51 年からは、空調点検時に図 17 のように石室内中央部、上中下の位置に設置された温度計（矢印）を用いて温度測定が行われた。

また、これ以外に平成 13 年 12 月から平成 17 年 1 月に温湿度データロガー¹⁵を用いて、石室内中央部、上中下の位置で温度及び湿度の測定を行った。さらに、平成 16 年 11 月から平成 19 年 8 月には温湿度センサーを用いて床上 20cm 程度の高さで測定した。

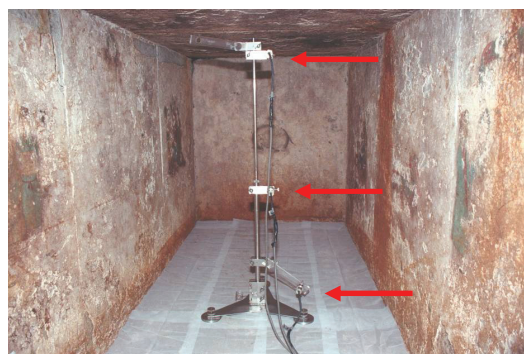


図 17 石室内に設置された温度計

（矢印：温度計位置）

これらの測定結果を見ると、昭和 47 年は石室床上で、最低温度は 4 月中旬で 11℃、最高温度は 11 月中旬で 16℃であった。昭和 48 年には石室内温度は $13.6 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 、昭和 51 年から昭和 52 年には $16.3 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ であった。昭和 53 年には、 $16.0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ であり、これは橿原市での地中 3～5 m で測定した地温の年平均値にほぼ等しい。また、4 月上旬と 10 月上旬頃に、外気温と石室内温度がほぼ一致することも、この測定によって明らかとなった。こうしたことから、調査及び修理のための石室の開口は、原則として春と秋の 2 回とすることが決められた。外気温と比較すると、石室内温度は 3～4 ヶ月遅れて連動していることも明らかとなった。図 18 で示すように石室内温度の上昇勾配は外気温の上昇勾配よりも大きく、特に昭和 63 年頃からその傾向があらわれ、平成 14 年から平成 16 年頃には顕著になることが判明した。

石室内の相対湿度はほぼ 100% であり、石室内に人が立ち入ると 90% 程度に低下することも明らかになっている。

昭和 47 年 4 月並びに 10 月に行われた調査では、温湿度の他に炭酸ガス・酸素の測定も行われた。

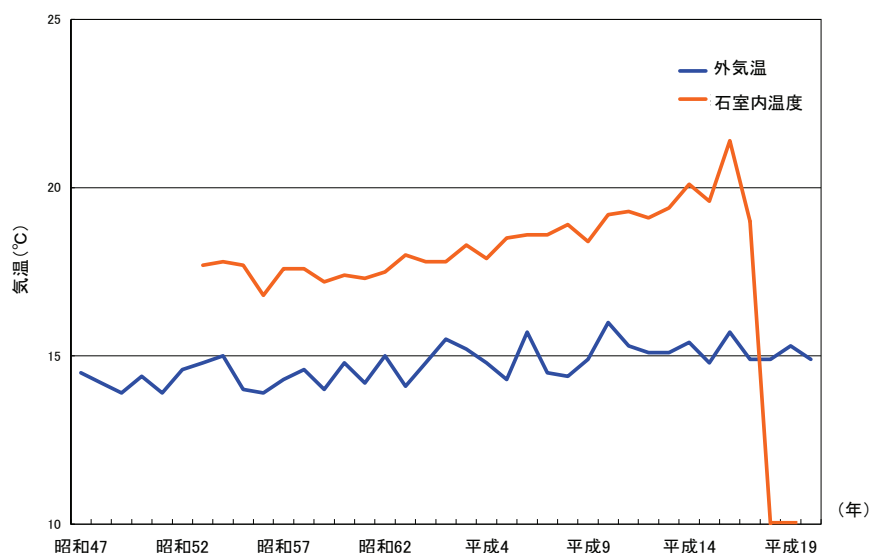


図 18 奈良における外気温と高松塚古墳石室内温度

④地温測定

平成 15 年 7 月から平成 17 年 1 月まで、石室周囲の地盤の温度とその分布を測定するため、墳丘北東平坦部に、熱電対温度センサーを埋設し、地表から 20、40、60、100、180cm の深さの地点で測定を行った。図 19 で示すように、地表面から 20cm の深さの温度は、平成 15 年 8 月末に最大値 27°C になり、1 月の初めに 8°C まで下がった。平成 16 年 8 月に 30°C まで上がっているが、これは前年の 1 年間の平均気温が高かった影響と考えられた。また深い位置ほど温度変化の振幅は小さい。平成 16 年 11 月以降は表土を搬出したため温度変化が激しい。

⑤含水率測定

平成 15 年 7 月から平成 17 年 1 月まで、石室周囲の地盤の含水率分布を測定するため、石室から 2 m 東側部分と、2 m 西側部分に、体積含水率測定装置を埋設した。含水率の測定は、それぞれの位置で、地表から 20、60、100、140、190cm の深さの地点で行った。降水量と墳丘内部の体積含水率変化の関係を知るために、平成 15 年 7 月から同年 11 月まで

の結果を検討すると、地表から 20cm の深さの体積含水率変化は、図 20・図 21 で示すように石室の東側及び西側のいずれにおいても、降水量の変化に対応しているのがわかる。また、石室より東側部分の含水率の変化が西側部分より大きくなっている。これは、墳丘の石室より東側部分の方が、墳丘上面からの水に対する浸透性が良いためと考えられる。また、平成 15 年 9 月に墳丘部の竹、木を切った後で、防水シートを設置し、平成 16 年 10 月に墳丘部上の防水シートを取り除き、墳丘部の発掘のため覆屋を設置している。これによって平成 15 年 9 月末より、含水率の変動が小さく、徐々に低下しているのが見られる。防水シートにより、墳丘部への上からの雨水の浸透が有効に止められているのが分かった。

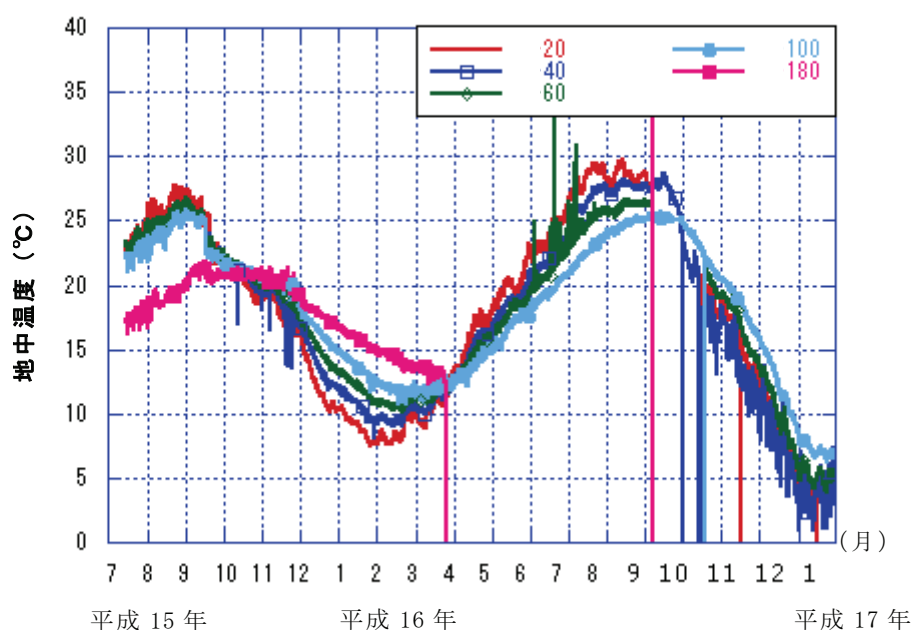


図 19 墳丘北東平坦部の地中温度変化

(平成 15 年 7 月～平成 17 年 1 月、数字は地表からの深さ)

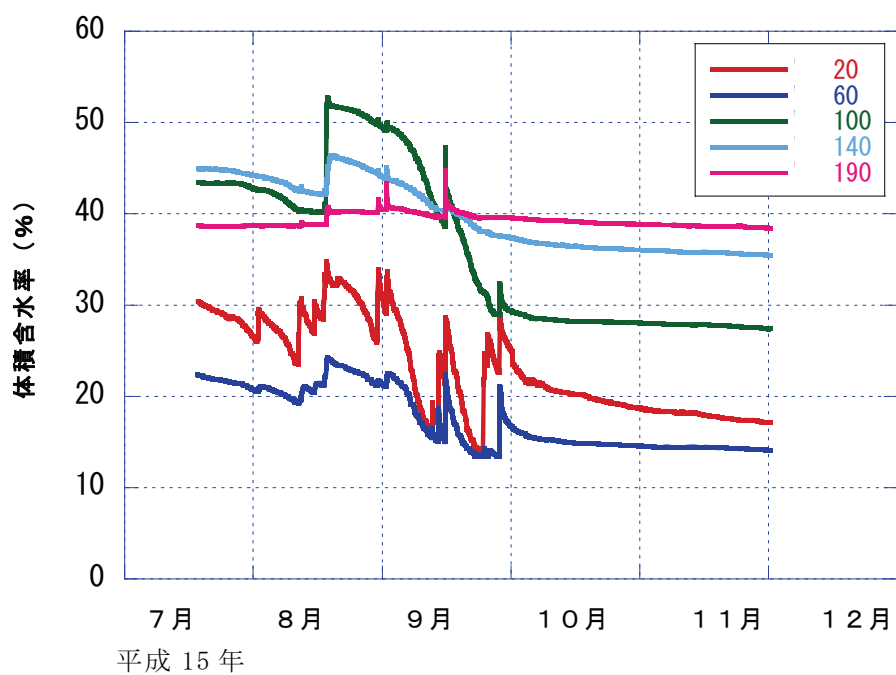


図 20 石室より 2 m 東側の体積含水率変化
(平成 15 年 7 月～11 月、数字は地表からの深さ)

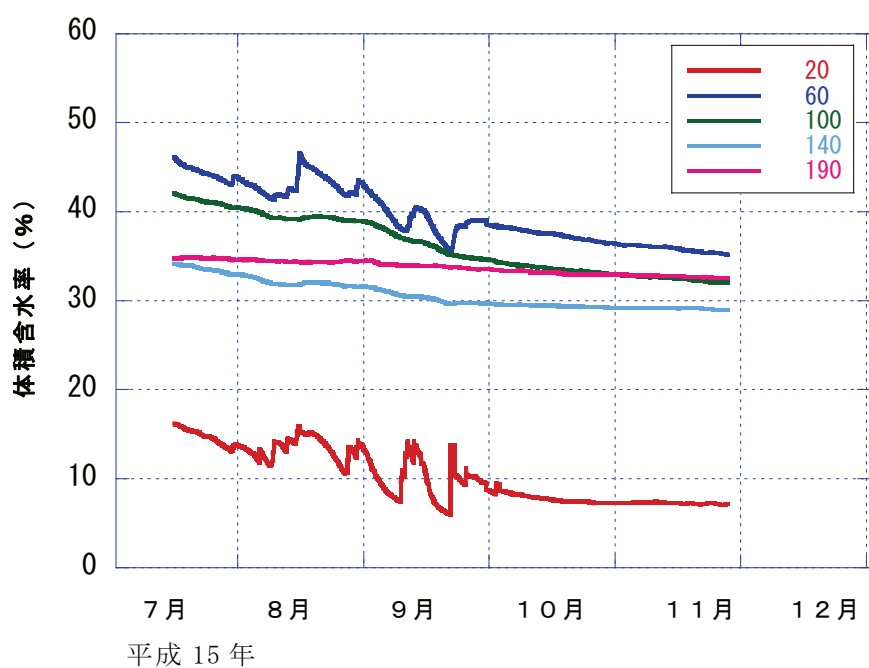


図 21 石室より 2 m 西側の体積含水率変化
(平成 15 年 7 月～11 月、数字は地表からの深さ)

(2) 石室の温湿度解析モデルを使用したシミュレーション結果

過去の石室周囲の環境や修理といった内部作業等の要因が、石室内の温湿度変動に与える影響について、今回の劣化原因調査の一環として、シミュレーションを行い推定した。このシミュレーションには、墳丘や保存施設等を考慮した石室の温湿度解析モデルを作成し、石室内の温湿度変動の測定や記録等をもとに解析を行った。以下のような結果を得た。

①壁画発見から保存施設の稼働までの期間における仮保護施設の影響

昭和 47 年の発掘前は、石室内相対湿度は年間を通じて 100%近くであったと考えられる。しかし、発掘調査が行われ、石室南側（墓道部）の覆土が無くなったことにより、石室内温度は発掘前より振幅がやや大きくなり、湿度が低下したと考えられる。調査時以外には石室南側を埋め戻したが、それが湿度低下を抑制する効果があったと考えられる。

②保存施設の稼働から石室解体前までの期間における気象条件の影響

保存施設稼働後の約 30 年間の気象条件の変化は、この間の石室内の温度上昇の主要な原因の一つと言えるが、それだけでは温度上昇を説明することはできない。

③墳丘の被覆状況の変化が石室内温度変動に与える影響

平成 16 年末頃の石室内の温度上昇の要因の一つとして、平成 15 年 9 月に、竹、木を伐採し防水シートを設置したことが影響している可能性が高い。その後、平成 16 年 9 月に防水シートが撤去され墳丘に設置された仮設覆屋の効果は、防水シート設置のみの状態を継続するより石室内の温度を低くしたと考えられる。しかしながら、保存施設稼働時の一年当たりの平均的な石室の温度上昇は、気象条件の影響や被覆条件の変化だけでは十分説明することはできない。

④吸放熱パネルへの送水温度の影響

吸放熱パネルへの送水温度測定値を用いた解析による石室温度は、平成 14 から平成 16 年を除いて測定値とかなり良く一致する。すなわち、保存施設稼働後の約 30 年間の石室温度の上昇は、この間の気象条件の変化と送水温度の変化を考慮すると大略説明できる。しかし、平成 14 から平成 16 年の石室温度の急激な上昇は、以上の解析でも十分説明することはできない。

⑤入室の影響

石室内点検作業等に伴い、石室内への人の出入りが多くなった時期（第1次修理～第3次修理、平成13年以降）に石室温度が高く、カビの発生頻度も高いことを踏まえ、入室による温度上昇を検証すると、特に、連続した入室があった後には、石室温度がやや高めに推移する。これも石室の高温化の要因の一つと考えられる。

⑥保存施設機械室温度の影響

平成17年の冷却開始後一年間の測定値からの判断であるが、機械室の温度は年間を通して高い。それが過去30年間近くについても同様であったとすると、長期間にわたる影響で準備室に近い地盤の温度が上昇した可能性がある。準備室の高温化にも機械室室温が影響している可能性が考えられる。

⑦保存施設の躯体における熱移動の影響

準備室の温度は年間を通して前室より高温となっており、これには準備室南面に当たる日射が大きく影響していると考えられる。したがって、保存施設の躯体を通しての熱移動が、保存施設の温熱環境に影響していると考えられる。

(3) 石室内の温湿度等の変動と生物被害との関係

前述のシミュレーションの結果等によれば、昭和63年頃以降の石室内温度上昇は、外気温の変化に加え、保存施設機械室の熱の影響や石室内への人の出入りが多くなったこと、墳丘上の植栽を伐採し防水シートを設置したこと等が複合的に影響した可能性が高いと言える。

石室内の温度等の変化は、壁面に付着したカビ等の生育環境に影響を及ぼしたものと考えられる。温度の上昇はカビ等の生育環境を良好にし、湿度が高いことによってカビ等の恒常的な生育環境をつくり出すこととなった。平成12年頃になると石室内温度の最も高い月の温度が19℃を超え、カビが発育しやすい環境となっていた。平成13年2月に行われた取合部天井崩落止め工事を引き金に、取合部に発生したカビが急激に広がったと考えられる。さらに平成16年の夏にはダニが壁面に見つかり、ダニがカビを食べて繁殖し、動き回ってカビの胞子をあちこちに散布し、ダニの死骸がまたカビの餌になるという状態になり、生物による被害が広がっていたことが明らかとなった。

8. 地震等の石室への影響

恒久保存対策の一環として、二度にわたる発掘調査が行われ、その成果として以下のようなことが明らかとなった¹⁶。

一度目の発掘調査は、平成 16 年 10 月から平成 17 年 3 月に行われ、主に墳丘の現況や埋没状況が壁画保存環境に及ぼす影響の解明と、整備計画策定のための基礎資料の収集を目的とした。調査前の古墳は、平成 15 年度に実施した緊急対策によって、竹、木が伐採され、土嚢と防水シートで覆われていた。発掘調査はこれらを撤去して行ったが、雨水や日照が壁画の保存環境に影響を与えないよう仮設覆屋を建設し、その内部で調査を行った。

二度目の調査は、平成 18 年 10 月から平成 19 年 9 月に行われた。この発掘調査は、平成 17 年 6 月 27 日開催の国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会において、石室を解体し、壁画の保存修理を行うことが決定されたことを受け、石室を解体可能な状態に露出させることを主な目的とした。図 22 に石室を構成する各石材に付した名称を示す。また、図 23 に石室周辺の南北断面図を示す。

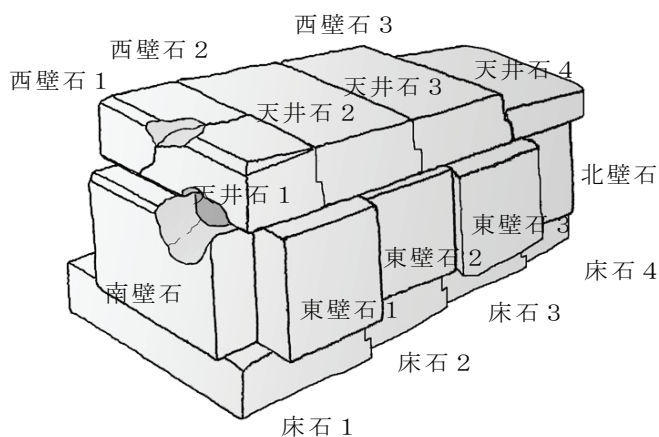


図 22 石室を構成する各石材の名称

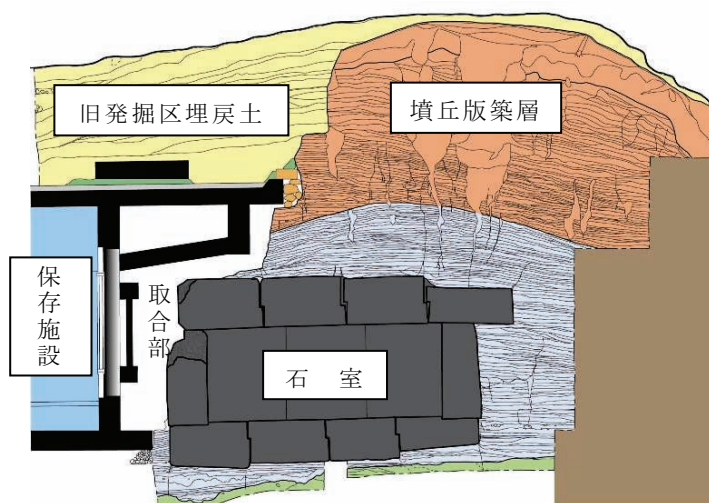


図 23 石室周辺の南北断面図（右が北）

(1) 平成 16 年度発掘調査の主な調査成果

壁画保存環境の劣化原因究明のため、昭和 47 年発掘調査区の埋め戻し状況や、木竹による墳丘の損傷状況等を調査したところ、墳丘整備時の埋め戻しに異常はなく、墳頂部に根を張るモチノキ¹⁷等が保存環境に悪影響を及ぼしている可能性が考えられた。また、過去に行われた電気探査や水分分布調査により、墳丘北東部に含水率の高い土壌分布が想定されてきたが、それは古墳が築造された丘陵の土層構造や、古墳周囲の埋没環境に起因することが明らかとなった。

墳丘の断割調査により、大規模地震で生じた版築の地割れや断層を多数確認し、昭和 47・49 年調査時に墓道部¹⁸で検出された大規模な土層の陥没は、一連の地震痕跡と推測できるようになった。これらの地震痕跡は、過去に周期的に発生した南海地震の痕跡と考えられる。地割れにそって植物が根を張る状況が確認され、石室内への雨水の浸透や、ムシの侵入経路となっている可能性が考えられた。

(2) 平成 18・19 年度発掘調査の主な調査成果

発掘調査の進行に伴い昭和 47・49 年の発掘調査区が検出され、その埋め戻し土を除去したところ、亀裂の入った石室南端部の天井石を保護するために、保存施設の屋根から石室上に庇状に設置した PC 版¹⁹を確認した。また旧調査区との間に存在する空隙を埋めるために、PC 版の周囲には直方体の凝灰岩切石が並べられ、細かい隙間は粘土により充填されていたことも確認した。この粘土には乾燥によりひび割れが生じ、さらには一部の凝灰岩切石が取合部側に落下していたことから、取合部が PC 版により完全に遮断されていなかったと考えられる。石室解体時の障害となるため、この凝灰岩切石を除去し PC 版を切断撤去したところ、凝灰岩切石の裏側と取合部の旧調査区壁面にカビを含む黒色の汚れが確認された。また、保存施設設置に際して昭和 49 年発掘調査区と保存施設の間に生じた空間と取合部とを遮蔽するために、直方体の凝灰岩切石を積み上げていたことも確認されたが、この凝灰岩切石の表面にもカビを含む黒色の汚れが認められた。

取合部床面に堆積した崩落土を除去したところ、埋没部分に黒色のカビが密生するなど、取合部で発生したカビが、亀裂や版築の層理面等を通じて周囲に拡散した状況を示していた。

墳丘を掘り下げる過程で、図 24 に示すように版築層を突き破る多数の地割れが見出された。地割れは、表土層直下から墳頂下 6 m の地山まで連

続する。地割れの間隙には、粘性のない軟質土が充満し、それに沿って植物の根が石室まで伸長していた。これらの地割れは、奈良盆地南部を90～150年周期で襲う巨大地震、南海地震の痕跡と考えられる。石室の直上（天井石の0.1m上）で検出した地割れは、図25で示すように石室の輪郭に沿って直線的に走り、石室の隅から外側へ放射状に派生するなど、直下に位置する石室の形状を反映していた。壁画発見時から天井石の2石を南北に縦断する亀裂や、床石2（図22参照）に見られる亀裂は、地震による損傷と理解できるようになった。高松塚古墳が7世紀末から8世紀初頭に築かれて以来、9回の南海地震が発生しているが、墳丘や石室の損傷がいつの地震によるものなのかは定かではない。

地割れは石室の背面に回って空隙をつくり、石室へ雨水が浸透する水みちや、根やムシの石室への侵入経路になるなど、壁画劣化の遠因となった可能性が高い。石室とそれを固定する版築層の間に生じた亀裂に沿って植物の根が伸張し、石室外側を覆っていた。

また、その後の石室解体作業の過程で、天井石や壁石の接合面に軟質土とともに根が侵入し、その多くが自然炭化していたことも明らかとなった。植物の根は深さ6m近い床石下にも及んでおり、床石接合面や床石下の版築上面においても大量の根が確認された。

ムシは植物の根と同様に石室の外側に生じた版築の隙間を自由に移動し、地震で緩んだ石材の目地の隙間から石室への出入りを繰り返していたとみられる。特に床石接合部の目地からは数多くのムシが発見され、目地を出入りする様子が確認できた。また、天井石1と西壁石1、南壁石が組み合う部分の隙間には、クモの巣があり、ムシが石室内へ侵入した経路を



図24 版築層を突き破る多数の地割れ
(版築層南北断面。右が南。)



図25 墳丘に認められた放射状の地割れ
(右が北。十字状に掘り残された部分は土層観察用畔。)

推測することができた。

石室の外面は、暗褐色や黒色のカビで広範に覆われていた。暗褐色の汚れは、石材の目地漆喰²⁰の周囲から石材の外面に及ぶ。また、カビを含む黒色の汚れは、取合部の周囲と北壁石の背面、石材の接合面で顕著に確認された。天井石4は、不安定な状態で架構されていたために、北壁を支点にした天秤状態にあり、西壁石3との間に石室内部に通じる空隙が生じていた。その空隙を中心に、図26に示すように天井石4と北壁石・天井石3の接合面にカビを含む黒色の汚れが広範囲に確認された。このカビは北壁石背面の地割れを通じて、図27に示すように北壁石の外面を黒色に汚損していた。取合部では、盗掘口を保護する樹脂製の



図 26 石室石材の接合面に確認されたカビを含む黒色の汚れ（北壁石上面）

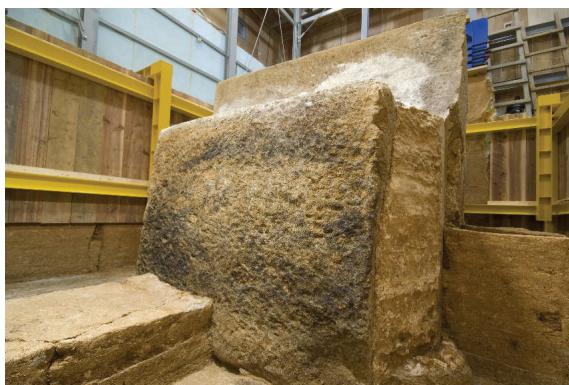


図 27 北壁石外面で確認されたカビを含む黒色の汚れ（北壁石北側面）

プロテクターの下面や天井崩落土に埋もれた部分、墓道部の版築の層理面、南壁石と東・西壁石1の目地を塞ぐ漆喰の周囲等に広がるカビを含む黒色の汚れを確認した。カビ含む黒い色の汚れは、石材の接合面や版築の層理面でわずかな隙間にもくまなく生じており、見えない部分で微生物が繁殖している状況が明らかになった。

以上のように、発掘調査によって、古墳墳丘内部に地震由来と考えられる多くの亀裂や地割れが認められたため、これらの被害が地震によるものであるかどうかシミュレーションを行い検討した。その結果、高松塚古墳は繰り返し地震の影響を受け、発掘調査時に見られた亀裂や地割れが広がったという結果が得られた。

9. カビ等の微生物被害

(1) 基本的な考え方

微生物の生育に関わる条件としては、温度・湿度・酸素濃度・栄養分・pH等様々な条件があるが、高松塚古墳壁画の場合、「壁画は歴史上・芸術上・保存上の観点から現地保存とする」ということで、石室内相対湿度ほぼ100%の高湿度条件での保存が前提となった。このため、微生物対策も、高湿度のもと、自然の均衡を保つという基本方針で行われた。一般的には、カビやバクテリア等の微生物を制御するには、水分のコントロールが最も確実な方法であるが、高松塚古墳壁画の場合においては、上述の基本方針によれば、水分（湿度）による制御は不可能である。

昭和47年の発掘前には壁画は高湿度環境であっても、微生物に侵されることなく、安定した状態で保たれていた。発掘前の環境は、外界からほとんど遮断されていたため、長期間のうちに微生物は平衡状態に達しており、微生物の活動が一時的に停止した状況にあったと考えることができる。しかしながら、このような均衡は、きわめて微妙なバランスのうえに立っていたものであり、ひとたび崩れたら、カビ等の微生物が直ちに発生する環境になったと考えられる。

(2) 微生物等の被害

壁画発見直後からカビの発生が見られた。このため、昭和47年4月6日及び17日に微生物調査を実施し、調査時に微生物数が増加すること、黒色や緑色を呈する菌が多いこと等が確認された。微生物対策として、石室内作業終了時に、パラホルムアルデヒドをシャーレに入れて石室内に布置し、効果があった。古墳石室の微生物学的環境調査は、当初、落下法²¹によって微生物の計測・採集が行われた。その結果、石室内の微生物数が著しく高い値を示し、かつ、数値にばらつきが認められた。これは、特に発見直後は、各分野の調査のために、種々の専門家が石室に入る必要があったことや、石室内には取合部の盗掘口から出入りするため、石室に土壌が入りやすかったこと等が要因として考えられる。

昭和53年の第2次修理では、主に東壁・西壁でカビの発生が認められた。この頃から石室内に布置したパラホルムアルデヒドが結露水によって溶解、気化しない状況となった。これに呼応するかのようにはカビの発生量が増加傾向を示し、昭和55年から昭和56年にかけて大量に白色及び灰白色のカビ等が石室内に発生し、図像周辺にも及ぶ状況となった。特に、昭

和 55 年には、樹脂溶液を注入した箇所や剥落止めに用いた薄紙にもカビが発生した。これらのカビに対する処置としては、ホルマリンとエタノールの溶液で殺菌したが、この処置部分に白色粒状のカビが発生した（昭和 56 年 2 月）ので、トリクロルエチレンで除去した。さらに防カビ剤の一種であるチアベンダゾール（以下 TBZ）による防カビ処置を実施したが、効果は見られなかった。

昭和 56 年 6 月には高湿度の環境下でパラホルムアルデヒドを加熱蒸散させて燻蒸する方法を開発し、初めて石室内で実施した。所定の薬量を取合部で完全に気化させてから石室に導入した。また同時に、この時期を境に修復作業は一段落し、石室内への人の出入りは減った。その後、昭和 57 年以降カビの発生は漸減し、昭和 60 年から平成 12 年までほとんど抑制された状態となった。しかし、それまでの一連のカビ処置により、漆喰が脆弱化したことによる画面の荒れ、黒線や赤色の薄れが生じ、また、白虎及びその周辺部、玄武周辺にはカビ痕と推定される汚れが残った。さらにはカビの菌糸により漆喰層が破壊されるという状況が明らかとなった。

昭和 60 年度までの 3 次にわたる壁画の修理事業が終わった後、平成 12 年春までは 1 年に 1 回、3 月頃に定期点検を行い、その都度、数点のカビコロニー²²の発見と処置を行っていた。また、滅菌綿棒を用いて石室内の決まった場所からサンプリングし、常在菌の状況を監視していた。しかしながら、石室内へのムシの侵入は続いていた。

平成 13 年春に取合部天井の崩落止め工事を実施したが、カビ対策が不十分で、その直後からカビが取合部に大発生した。パラホルムアルデヒド燻蒸による殺菌や除菌作業を繰り返し行い、浮遊菌量が減少していることを確認した後に石室内を点検したが（平成 13 年秋）、既にカビは石室内に広がり、図像周辺にも被害が及んだ。

カビの除去と殺菌という用途には、壁画への影響が少なく、毒性が比較的 low、残留しにくいという点で、アルコール系のものが候補となった。上記のようなカビのコロニーの殺菌と除去には、主にエタノールを使用して処置が行われた。特にカビが繰り返し発生する余白部分はコートサイド 159²³で防カビ処置を施した。取合部にはコートサイド 123²⁴を用いた。これらの処置により、この時のカビは一旦沈静化したように見えた。この時期、加熱処理、紫外線処理、放射線処理、各種消毒剤の使用、窒素封入や二酸化炭素置換による繁殖抑制、また酸化エチレン等燻蒸剤の使用を検討したが、壁画の材料や技法、また石室の密閉度の問題からこれらの対策は採用できなかった。平成 14 年秋より再び取合部と石室内に複数種のカビ

が大量発生した。特に、青龍、東壁女子群像の近くで粘性のある黒い汚れ（シミ）が現れているのが発見された。よく調査すると、この黒い汚れは、前年カビが発生した位置とほぼ一致することがわかった。このような激しい汚損を避けるには、頻繁に点検を行い、わずかでも変化があった時点で対応する方向性と、逆にあまり人が出入りしないようにする方向性の間で対策を選択する必要があったが、結局、除去できるかどうかわからない黒い汚れ等による劣化の進行を放置するわけにはいかないということから、以前よりも多くの点検を実施することとなった。この時のカビは、エタノール噴霧及び湿布並びにパラホルムアルデヒドでの燻蒸にて処置し、一旦沈静化した。平成 17 年からはこれらに併せてイソプロピルアルコールを使用した。

平成 15 年 3 月より「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」が開催され、同検討会ではカビ対策について検討を重ね、同年 6 月に検討結果が提言にまとめられた。この中で降水の浸透による水分上昇の可能性が指摘され、この提言を受けて、墳丘部は、竹、木が伐採され、土嚢と防水シートで覆い、また、平成 16 年 9 月に始まる発掘調査は、これらを撤去して仮設覆屋を建設し、墳丘部の状態を確認するなどの諸措置を講じた。

平成 16 年春からカビが再発生し、石室内の温度上昇とともに、夏にはカビを食物とするダニの発生も見られるようになった。ダニの死骸からはカビが生え、ダニがカビの胞子を石室内に撒布し、両者の繁殖が全体的に広がったと考えられる。

平成 16 年 6 月「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」を開催し、高松塚古墳壁画の保存について抜本的な検討を開始した。平成 17 年 6 月に石室解体の方針が決定され、平成 19 年 4 月に解体が開始されるまでの間、カビやゲル状物質²⁵の大発生を抑制することを目的に、墳丘を冷却することになった。平成 17 年 9 月より墳丘の冷却が実施され、石室内の温度は徐々に下がり、平成 18 年 3 月から石室内はおよそ 10℃の低温に保たれた。これにより、カビ等の発生を大幅に抑制することに成功し、所期の目的は概ね達成された。しかし、冷却の進んだ平成 18 年 3 月以降においても、西壁女子群像部分に黒いシミが発見されるなどの被害が見られ、この対策が恒久対策とはなりえないことが改めて示された。こうした暗色系 *Acremonium* 属のカビの殺菌には、高濃度のエタノール、あるいは状況に応じて約 3 % のホルマリンが使用され、その他の微生物の殺菌にはイソプロピルアルコールが使用された。

(3) 殺菌処置と薬剤

パラホルムアルデヒド燻蒸は昭和 50 年代から高松塚古墳石室で実施され、当時大発生した *Doratomyces* 属のカビの対策として一定の効果をあげたと考えられる。しかし、一方ではパラホルムアルデヒド燻蒸を行っても、分厚いコロニーが生じているような箇所では、コロニー内部までは効果が十分ではないことが知られており、分厚いコロニーが発生しているような場合は、薬剤で殺菌しつつ、物理的に取り除くこととした。しかし、カビのコロニーの殺菌と除去に用いられたエタノール等のアルコール系の殺菌剤が薄まった際には、微生物の炭素源（栄養源）として資化²⁶される可能性が指摘された。この可能性を実験的に検討した結果、エタノールの殺菌可能な濃度から 70～100 倍程度に薄まり、1 %程度の低濃度になると、高松塚古墳から分離されたカビ、バクテリアや酵母等の炭素源になりうることを示された。同様に、エタノール等のアルコール系に限らず、パラホルムアルデヒドも、キトラ古墳でバイオフィルム²⁷の構成微生物の増殖抑制に効果があったため部分的に使用されたイソチアゾリン等についても、有機系の殺菌剤、抗菌剤である以上、それらが分解されたときには、有機物として微生物の栄養源になる可能性が指摘された。

こうした特定の殺菌剤の継続的使用による、微生物の順化²⁸の可能性については、TBZ、エタノール、イソプロピルアルコール、ホルマリン等の薬剤を試料として検討を行ったが、その結果、TBZ のような防カビ剤に比較すると、アルコール系の殺菌剤は現在のところ明らかな順化傾向は観察されていない。

(4) 点検と人の出入り

図 28 に示す高松塚古墳石室内の人の出入りと上述のカビ等の発生状況を比較すると、人の出入りが多い第 1 次修理から第 3 次修理及び平成 13 年以降の時期と、カビの発生の多い時期が概ね重なることが読み取れる。また、人の出入りが少ない第 3 次修理以降、平成 12 年までの間は、カビの発生が比較的少ないことも読み取れる。

人の出入り等に伴う、石室内温度の上昇は、石室内のカビ等の発生のしやすさに直接的、間接的に影響を及ぼしたと考えられ、さらに人の呼気等に含まれる有機物の持ち込み等も微生物の生育のしやすさに影響する可能性がある。

また、点検等に伴う光の照射と、カビの暗色系の色素形成に関係があるのかどうかについて、暗色系 *Acremonium* 属のカビ 2 株について検討した

ところ、高松塚分離株 1 株については、蛍光灯照射下で暗色（黒褐色）に着色した分生子（無性孢子の一型）の形成率が高くなり、加えて培地²⁹中への褐色の色素産生の多い傾向が見られた。キトラ分離株 1 株については、蛍光灯の照射の有無と色素生産の多少についての相関は見られなかった。

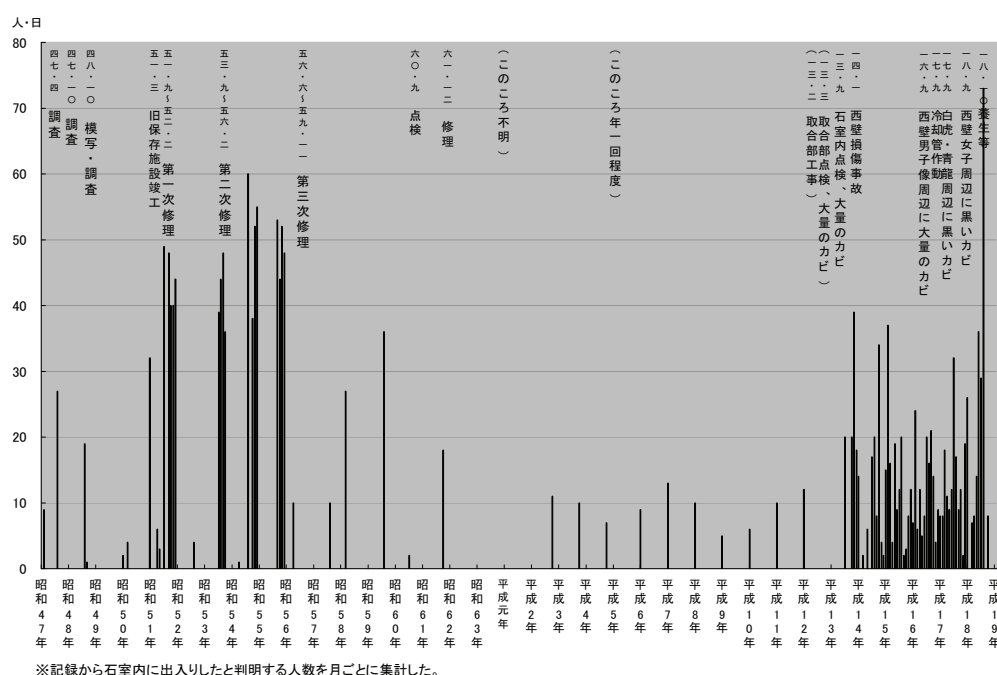


図 28 高松塚古墳石室内の人の出入り

(5) 微生物の漆喰、絵画への影響

高松塚古墳より分離されたいくつかの微生物については、壁画の劣化に関わる可能性のある酢酸を生成するものが存在し、pH の低下も引き起こす可能性が示された。エタノールを単一の炭素源としたときの酢酸生成量についても、いくつかの微生物において、酢酸生成量が増加し、pH の低下を引き起こす可能性のあることがわかった。また、低温下で生育し、色調が暗色化する微生物が存在することも明らかとなった。さらに、カビから分泌される代謝物にも暗色系の色素が含まれることが確認された。

(6) ダニや虫等の小動物、植物の根等

高松塚古墳石室内では、ダニ、ムカデのほか、ワラジムシ等も頻繁に目撃されており、解体・発掘作業中でも同様にこれらの小動物が頻繁に観察されている。植物性のものを餌とするワラジムシ等の侵入を考えると、墳

丘から石室の石材の隙間へと入り込む植物の根等を通じて、これらが入ってきていたことが推測され、これらの小動物もカビ孢子等の散布や、石室と周囲との物質や微生物のやりとりに深く関わっていたと考えられる。

(7) 石室内の微生物の由来

平成 16 年以降、石室内や取合部、解体・発掘に伴う石材間、石材付近の土壌、墳丘等の詳細な微生物種調査について、種レベルの微生物の同定結果に基づき、文献調査によってそれらの微生物種の由来を調べた結果、ほとんどの微生物が「土壌由来」、「植物由来」、「空気由来」、「昆虫由来」とみられるものであった。

石室内（石材間を含む）、取合部等から分離された微生物は、石室周囲の土壌（発掘中の畦）、墳丘等から分離された微生物種と共通するものも多く、おそらく周囲の土壌から、雨水やダニ、ムシ類等の小動物、植物の根、人の出入り等を介して、侵入したものと推測される。ただし、石室には石室内の特徴的な環境により適応しやすかったとみられる種が優先的に繁殖したと考えられる。

Fusarium solani 複合種クレード (*Fusarium solani* species complex clade) の詳細な遺伝子解析結果より、石室内での遺伝的多様性が極めて大きいことが示された。これは、単一の機会に侵入したカビが全域に広がったということではなく、一般に微生物の侵入の機会が非常に多い中で、その都度異なった遺伝的背景を持つ *Fusarium* 属のカビが侵入して定着してきたことを示唆している。

漆喰等への影響が大きい酢酸菌については、これまで高松塚由来の試料からは培養法による分離では検出されていないが、培養しにくい微生物の存在を検出する方法である DGGE 解析³⁰を行ったところ、高松塚古墳の壁石間や取合部土壌等のいくつかの試料で酢酸菌が優占種の一つとして検出された。そのため、分離手法を変えて集積培養法による分離を試みた。その結果、DGGE 解析で存在の可能性が確認された試料のほとんどから、酢酸菌が純粋分離された。このことから、高松塚古墳の壁石間や取合部土壌等には少なくとも酢酸菌が存在していたと考えられる。一方、石室内部の試料からは、培養法による分離及び DGGE 解析ともに酢酸菌は検出されていない。

10. 保存管理上の諸問題

(1) 保存施設による環境制御

①保存施設

保存施設は、昭和 51 年 3 月に、修理・点検等の石室内作業を安定的環境の下で行うために設置された。図 29 に保存施設の南北断面図を示す。

保存施設は、ラスコー洞窟壁画の保存とその施設に深い経験を持つフランスの専門家（建築家、微生物学者）の所見を参考にして「高松塚古墳保存対策調査会」で以下の設計方針が決定された（昭和 47 年 12 月）。

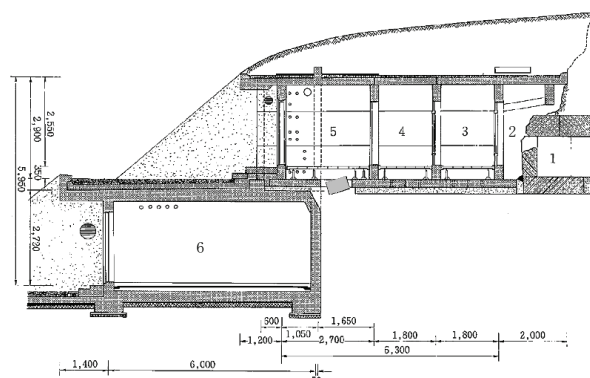


図 29 保存施設の南北断面図

(1. 石室 2. 取合部 3. 前室 A
4. 前室 B 5. 準備室 6. 機械室。右が北。)

- (1) 壁画は現状保存を原則として、石室内外の環境が発掘以前の安定した状態に保たれること。
- (2) 石室内の温度・湿度を測定する記録装置を設けること。
- (3) 壁画の保存状況の調査、保存のための修復処置が随時可能であること。
- (4) 黴・苔・微生物の発生には注意をはらい、炭酸ガスの増加はさけること。
- (5) 保存施設は周辺環境の変更を最小限にとどめること。
- (6) 保存施設は 2 室程度の前室を既存の発掘用のトレンチを利用して、石室の手前の墳丘内に設けること。
- (7) 付属施設としての機械室は、墳丘外の地下に設けること。
- (8) 石室の天井石の一部に亀裂が入っているので、その上部へ埋め戻す覆土の荷重を保存施設により負担すること。また、石室正面にある「切石」も床下に保存すること。
- (9) 工事にあたっては、振動によって石室の壁画に影響を与えないこと。
- (10) 石室前面での作業日程をできるだけ短縮すること。
- (11) 将来、保存施設の撤去も可能であること。

設計の具体的な検討は、「高松塚古墳保存対策調査会」での審議を経て、主にその保存施設部会で行われた。

設計の方針を踏まえ、この施設は、作業者が石室内に出入りする際、外気の影響が石室内に及ぶことをできる限り少なくするため、三つの前室を経て石室入口に到達する構造とされた。

また、前室の温度を石室周辺の土中温度と調和させるため、銅管パネルに常時温水（冷水）を流す「パネル系」と、前室に入室する場合に石室と同じ温度の風を前室に送風する「空調機制御系」の二系統の空調設備で保存環境を維持する構造とされた。

なお、保存施設と石室をつなぐ接続部には「取合部」という空間が設けられた。この空間は、先の設計方針(8)を実現するため、石室の天井石に土圧をかけずに埋め戻す方法として、保存施設の天井を庇状に延ばして造られた。この空間は、漆喰の剥落止め等の修理作業や壁画の点検作業を石室内で安全に行うための準備空間として、また石室内環境が外気の影響を受けないための緩衝空間としての役割を果たした。取合部の壁面には、昭和 47・49 年の発掘調査時の版築土が露出していた。

②保存施設の不具合

保存施設の稼働時から、夏期において冷却能力が不足するなどのパネル系の不具合が指摘されており、改善策の必要性が指摘されていた。また、制御の基準とした温度センサーが、石室より外界の影響を受けやすい取合部土中の浅い場所に埋められているため、より深い位置に埋め直すよう、指摘を受けていた（『保存と修理』p 170）が、改善が図られることはなかった。

(2) 石室内への人の出入りの状況

「高松塚古墳保存対策調査会」において、保存施設の開閉については次の場合に限ることとされていた（昭和 50 年 4 月）。

- (1) 壁画修理事業のとき。
- (2) 地震・大雨等の自然災害の事後点検のとき。
- (3) 空調機器運転にともなう点検・調査のとき。
- (4) カビ等に対する定期的な点検のとき。

施錠の開閉に係る判断とその実施については、文化庁美術工芸課（当時）が担当していた。

壁画発見後の石室内への人の出入りに関しては、図 28 で示したように昭和 50 年代の壁画修理時と、平成 13 年 9 月から石室解体まで続く一連の生物対策等の時期の二つの時期に大きなピークが認められる。

第 1 次修理は、昭和 51 年 9 月から開始され、修理作業が実施された月の月ごとの石室への入室者延べ人数は、30～50 人であり、第 2 次修理が終了する昭和 56 年度頃まで同様の傾向が続いた。石室内への人の出入りが最も多かった月は、第 2 次修理時の昭和 54 年 9 月で 60 人であった。

平成 13 年 2 月の取合部天井の崩落止め工事に端を発するカビ等の大発生に係る石室内での対応は、同年 9 月から開始された。これ以降石室解体（平成 19 年 4 月～）までの時期は、継続的な生物対策等により、月ごとの石室への入室者人数は、5～40 人程度であった。平成 18 年 10 月に 70 人を超える人の出入りがあったが、これは石室解体準備のための壁画の養生（石材接合部上の壁画漆喰の切断等）を目的としたもので、石室周辺の冷却対策（石室内を 10℃程度で制御）が順調に実施されている時期の作業である。

石室内への人の出入りに係る二つのピークは、それぞれ、昭和のカビの大発生と平成のカビの大発生の時期と重なっている。昭和 50 年代の修理作業が開始されてから 2 年程は頻繁な人の出入りがあったにも関わらず大きな生物被害は認められないこと、また、平成 13 年 9 月以降の対応は生物被害が確認された後の対応であったこと等を考慮すれば、一概に人の出入りと生物被害をそれらのみで直結させることは難しいであろうが、昭和のカビの大発生、平成のカビの大発生を考慮すれば、いずれにおいても、石室内への人の出入りが、直接的あるいは間接的に壁画への生物被害に影響を与えている可能性は高いと考えられる。昭和のカビの大発生が一段落し、その後、10 数年間石室内へあまり人が出入りしなくなる時期が訪れるが、この時期には大きな生物被害が認められていないことは、この予想を傍証するものといえよう。

(3) 壁画の修理（剥落止め）

①壁画修理（剥落止め）の方針・方法決定の経緯

壁画修理（剥落止め）の方針・方法は以下の経緯を経て決定された。

昭和 47 年 4 月 6 日 第 1 回 高松塚古墳応急保存対策調査会
(座長：関野克 以下、応急対策調査会)

- 4月17日 壁画面の剥落度の大きい部分（星3ヶ所を含む10ヶ所程度）につきアクリルエマルジョン（プライマル AC34）により仮止め措置
- 5月19日 第2回 応急対策調査会
- 6月14日 第3回 応急対策調査会
- 7月29日 第4回 応急対策調査会 『高松塚古墳応急保存対策調査会中間報告』提出
- 8月21日 第1回 高松塚古墳総合学術調査会（会長：原田淑人 以下、総合学術調査会）
美術部会・考古歴史部会を設置
- 9月18日 第5回 応急対策調査会
総合学術調査会に対し保存科学面での対策を講じることとする。
- 9月22日 第2回 総合学術調査会
- 11月29日 第6回 応急保存対策調査会『高松塚古墳応急保存対策調査会調査報告』提出 閉会
「壁画の周到的な科学的調査に立脚した修復技術の研究と技術者の養成を早急に実施する必要がある。これには、海外への専門家の派遣と海外からの専門家の招聘も考慮すべきである。」

（参考） 担当者の海外への派遣

昭和48年1月～2月 美術工芸課長・東文研修復技術研究室長をイタリアへ

昭和48年4月 東文研修復技術研究室長をイタリアへ

昭和48年7月～9月 修理担当者をイタリアへ

昭和49年3月～10月 修理担当者をイタリアへ

昭和50年3月～7月 修理担当者をイタリアへ

昭和51年3月～7月 修理担当者をイタリアへ

- 12月18日 第1回 高松塚古墳保存対策調査会（座長：関野克 以下、対策調査会）
保存施設部会・壁画修復部会（主査：松下隆章）を設置

昭和 48 年 1 月 19 日 第 1 回 壁画修復部会
 3 月 29 日 第 3 回 総合学術調査会 閉会
 3 月 『高松塚古墳壁画』刊行
 4 月 2 日 第 2 回 壁画修復部会
 5 月 24 日 第 2 回 対策調査会
 保存施設の設置計画と壁画修復計画の検討
 10 月 4 日 第 3 回 壁画修復部会
 10 月 11 日～13 日 P. モーラ氏他 2 名壁画調査
 10 月 14 日 第 4 回 壁画修復部会（壁画修復の基本方針の確認）

壁画修復の基本方針（第 4 回高松塚古墳保存対策調査会壁画修復部会）

- 1、壁画は歴史上、芸術上、保存上の観点から現地保存すること。
- 2、保存施設工事前に緊急必要の部分の応急補強処置を行うこと。
- 3、保存施設工事完了後に本格的修復作業を行うこと。
- 4、応急補強処置と本格的修復は同一方法によって行うこと。
- 5、修復作業に際して必要な箇所のクリーニングを行うこと。
- 6、壁画を良好に保存するため温湿度、炭酸ガスに対する適切な対策を講ずること。
- 7、壁画修復のための樹脂の使用およびクリーニングは濃度等十分留意すること。
- 8、顔料部分の資料採集は行わないこと。

壁画修復の基本方針が決定した直後の 10 月 15 日から 17 日に古墳現地において壁画修理及びクリーニングテストを実施した。

昭和 48 年 10 月 26 日 文化財保護審議会 配付資料

「高松塚古墳保存対策調査および壁画修復作業について」（抜粋）

六、壁画修復作業

作業はあらかじめ絵画のない部分で予備的実験を実施した後絵画のある危険箇所について補強作業を実施した。

- （一） 危険箇所の補強作業はアクリル樹脂（パラロイド B 72）三％溶液を使用して計七ヶ所について実施した。（パウロ・モーラ氏担当）
- （二） 壁画の赤褐色汚染定着部分については、絵画のない部分四ヶ所についてクエン酸少量を加えた水溶液にて実験的に払拭した。（ラ

ウラ・モーラ氏担当)
何れもきわめてよい結果がえられた。

＊ これらについては、昭和 48 年 10 月 26 日文化財保護審議会において「高松塚古墳保存対策調査および壁画修復作業について」として報告された。

昭和 49 年 2 月 7 日 第 3 回 対策調査会
3 月 5 日 第 4 回 対策調査会
4 月 23 日 第 5 回 対策調査会
11 月 11 日 第 5 回 壁画修復部会
保存施設工事に伴う壁画の応急措置について検討
11 月 22 日 保存施設工事に備え壁画応急処置（天井部剥落に備え架台を搬入）
昭和 50 年 3 月 20 日 第 6 回 壁画修復部会
修理のための事前調査の検討
3 月 26 日～29 日 壁画応急処置・壁画状況調査
4 月 23 日 第 7 回 対策調査会
修理基本計画承認
5 月 8 日 第 7 回 壁画修復部会
壁画修理のための事前調査を検討
昭和 51 年 2 月 16 日～28 日 壁画全体の損傷状況調査、修理のための漆喰の構造調査、剥落止め試験施行
5 月 31 日～6 月 5 日 溶剤除去法の検討
7 月 23 日～31 日 修理調査
8 月 24 日 第 8 回 壁画修復部会 修理方針・修理仕様等の決定

昭和 62 年 3 月『国宝高松塚古墳壁画－保存と修理－』（文化庁）
渡辺明義「高松塚古墳壁画の保存修理計画と実施の概要」（抜粋）

2 修理の目的と方針

〔修理の目的〕

粗鬆化し密度が低下している漆喰層を補強し、剥落の恐れのある部分を接着し恒久的保存を計る。

〔修理の方針〕

- (1) 漆喰層の強化、接着にはアクリル樹脂を用いる。
- (2) 合成樹脂は注射器や筆で漆喰層の内側、あるいは基底部に加える。
- (3) 合成樹脂を漆喰層の表面に一面に塗布したり、吹き付けたりしない。
- (4) 漆喰層の強化と接着は必要最小限度にとどめる。
- (5) 漏水による画面の汚れのクリーニングは特に行わない。

8月30日 壁画修理実施の新聞発表（現地）

9月2日～10日 第1次修理－第1回現地修理

9月26日～10月4日 第2回現地修理

11月5日～16日 第3回現地修理

11月13日 壁画修理打ち合わせ会

12月15日～24日 第4回現地修理 接着剤としてプライマル
AC55 及びエマルジョンを試用

昭和52年1月6日～15日 第5回現地修理

2月5日～15日 第6回現地修理

2月14日 P. モーラ氏現地視察、修理指導 増粘アクリルエ
マルジョンの併用を指示

昭和52年5月 『国宝・高松塚古墳壁画修理報告書（中間報告）』（文
化庁）刊行

5月23日 高松塚古墳壁画修理中間報告会を開催

『国宝・高松塚古墳壁画修理報告書（中間報告）』（抜粋）

【修理の方針】

修理事業としては昭和51年度事業は第一次修理とし、最も緊急な部分の補強処置を重点的に行うこととし、我国では初めての修理でもあり、修理結果を科学的、実的に検討する期間を設けて次の第二次修理を計画し、壁画修理の万全を期することにした。この方針は高松塚古墳壁画保存対策調査会壁画部会で承認されたが、修理実施にあたっては、別に文化庁、東京国立文化財研究所、東京芸術大学の各関係者によってワーキンググループを作り、その都度実地的な検討を行い、また壁画部会の

委員によって小委員会を設け、修理途次において中間報告と協議を行うことが定められたのである。

【修理の概要】

漆喰層の損傷は化学合成樹脂を用いて漆喰層の強化（切り石面への”接着”を行う。使用する化学合成樹脂については、イタリアの中央修復研究所・チーフレスタウラーであるパウロ・モーラ氏からアクリロイドB72が有効であろうという意見を受けていたが、東京国立文化財研究所の意見も徴して主としてこの樹脂を用いることを決定した。

アクリロイドB72はヨーロッパにおいては既に十分の使用例と研究がある。その特性はいくつか存するが、主なものは次の通りである。

- (1) アクリル酸メチルとメタクリル酸エチルの共重合体で、一般のアクリル樹脂同様に安定性に優れており、かつ柔軟性に富む。
- (2) 樹脂の比重 1.15、粘度 350～650 で作業し易く、浸透性に富む。
- (3) 各種の溶剤に可溶であるが、トリクロルエチレンに溶かしたものは少々の水分が混入しても白濁しない。また、このフィルムは水分による白濁に対する抵抗性が強い。

（中略）溶剤として主としてはトリクロルエチレンを用い、3%、5%、8%の溶液とし、漆喰層の損傷とそれに対する処置の目的に応じて適当な濃度を選択使用する。

（以下略）

昭和 53 年 9 月 19 日～30 日 第 2 次修理事業－第 1 回現地修理

10 月 12 日～22 日 第 2 回現地修理

11 月 7 日～18 日 第 3 回現地修理

12 月 5 日～16 日 第 4 回現地修理

昭和 54 年 10 月 30 日～11 月 10 日 第 5 回現地修理

12 月 4 日～15 日 第 6 回現地修理

昭和 55 年 1 月 11 日～23 日 第 7 回現地修理

2 月 13 日～23 日 第 8 回現地修理

11 月 10 日～22 日 第 9 回現地修理

12 月 10 日～29 日 第 10 回現地修理

12 月 19 日 「白虎の上黒色部筆にて拭い」

（修理作業日誌より抜粋）

昭和 56 年 1 月 9 日～21 日 第 11 回現地修理

1月13日 「黒いカビ汚れと一緒に線描が不明」
(修理作業日誌より抜粋)

2月8日～19日 第12回現地修理

* 白虎が退色した時期は昭和55年12月から昭和56年2月頃と考えられる。

* 昭和56年2月には、トリクレン（トリクロロエチレン）³¹を当初決定されたパラロイドB72³²の溶剤としてではなく、カビの除去を目的として単独で用いられた。

国宝高松塚古墳壁画第2次修理実施要項（抜粋）

1. 目的

国宝高松塚古墳壁画の恒久的保存を図るため、第2次修理を昭和53年度から55年度の3ヶ年継続事業として実施する。

2. 事業主体

文化庁の直営事業とし、実行に当たっては東京国立文化財研究所、奈良国立文化財研究所等関係各機関に協力を依頼する。

3. 修理担当者

修理監督	文化財保護部美術工芸課長	西川杏太郎
主任	東京国立文化財研究所修復技術部	増田勝彦
	文化財保護部美術工芸課文化財調査官	渡邊明義
		有賀祥隆

4. 保守

修理実施中の高松塚古墳保存施設の管理・機械操作は、美術工芸課員が当る。

5. 保存科学上の処理

修理実施中の通常の保存科学的処置は、美術工芸課員が行い、特別な保存科学的処置については、東京国立文化財研究所保存科学部に協力を依頼する。

* 第3次修理に際しても同様の要項を作成

昭和56年6月16日 修理に関する懇談会

6月29日～7月3日 第3次修理一第1回現地修理

昭和57年10月5日～9日 第2回現地修理

昭和 58 年 5 月 30 日～6 月 7 日 第 3 回現地修理

昭和 59 年 10 月 23 日～11 月 3 日 第 4 回現地修理

昭和 60 年 4 月 2 日 高松塚古墳壁画の保存に関する打ち合わせ

昭和 61 年 12 月 17 日～25 日 現地修理

昭和 62 年 1 月 11 日～16 日 現地修理

9 月 17 日 高松塚古墳壁画保存のための検討会

昭和 62 年 3 月 『国宝高松塚古墳壁画－保存と修理－』（文化庁）刊行

- ②過去の高松塚古墳壁画の生物対策について（昭和 47 年～平成 13 年）
ここで、壁画発見時以降の壁画の生物対策に関する経緯を整理する。

昭和 47 年～51 年 発見～応急処置

「カビは壁画発見直後から発生が見られたため、昭和 47 年 4 月に微生物調査を実施し、調査時に微生物数が増加すること、黒色や緑色を呈する菌が多いこと等が確認された。対策としてパラホルムアルデヒドをシャーレに入れて石槨内に布置し、効果があった。」

（国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会第 3 回参考資料 1 より）

昭和 47 年 4 月 6 日・17 日 高松塚古墳恒久保存対策調査会現地調査
『高松塚古墳応急保存対策調査会中間報告』（昭和 47 年 7 月 29 日）

II 調査の結果

D 石室内外の環境

- (iii) 微生物 空中と壁面において、微生物の採取調査を実施した。
空中菌の採取は、落下法によった。その結果、石室内調査によって室内の菌数が増加していることがわかった。壁面菌については、肉眼的にはその発生は認められなかった。しかし、採取培養の結果では東西両壁と床面各 1 か所から、菌が検出された。細菌対策としては、石室内作業終了時に、各約 1 g、計 4 g のパラホルムアルデヒドを布置した。この薬効は、空中菌を殺滅する程度の少量であり、彩画への影響の無いことを期した。

V 学術調査と保護対策

B 学術調査の時期・方法など

- (iii) 学術調査期間中の保存科学的調査

a. 埋め戻し土中のポリプロピレン布の検討

- b. 石室内の応急保存処置の結果の調査
- c. 4月閉鎖後の壁面の保存状況の調査
- d. 調査期間中の外気および石室内の温湿度の測定と空中菌の採取
- e. 調査期間中の石室内の炭酸ガスと酸素の測定
- f. その他保存上必要な調査

昭和 47 年 9 月 25 日～10 月 12 日 高松塚古墳総合学術調査会調査

10 月 10 日 J. フォション（パスツール研究所地中微生物・生物科学部長）調査

11 月 29 日 高松塚古墳応急保存対策調査会 『高松塚古墳応急保存対策調査会報告』

前回の石室閉鎖時に、石室床上に布置した計 4 g のパラホルムアルデヒドは、完全に気化し、石室内に残留していなかった。開口時の測定結果もあわせると、その量はやや僅少にすぎたのではないかと判断されたので、今回の閉鎖時には、1 包 1 g を各 2 包 4 箇所、計 8 g 布置した。

昭和 51～52 年 第 1 次修理

壁画面の定点の拭き取りによる微生物相の調査を行った。目視によるカビの大きな発生は認められていない。

昭和 53～56 年 第 2 次修理～第 3 次修理第 1 回

「昭和 53 年頃から石槨内に布置したパラホルムアルデヒドが結露水によって溶け、気化しない状況となった。これに呼応するかのようにかビの発生量が増加傾向を示し、昭和 55 年暮れから同 56 年にかけて大量に白色及び灰白色のカビが石槨内に発生し、絵画にも及ぶ状況となった。特に、昭和 55 年には、樹脂溶液を注入した箇所、剥落止めに用いたうす紙にもカビが発生した。」

（国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会第 3 回参考資料 1 より）

これに対しては、

「これらのカビに対する処置としては、ホルマリン 1：エタノール 9 の溶液で滅菌したが、この処置部分に、白色粒上のカビが発生した（昭和 56 年 2 月）ので、トリクロルエチレンで除去した。なお、TBZ による防カビを実施したが、効果がなかった。昭和 56 年 6 月には高湿度の

環境下でパラホルムアルデヒドで燻蒸する方法を開発した。」
(国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会第3回参考資料1より)

＊ この間、修理仕様（剥落止めの方針・方法等）のように委員会で決定され記録された「仕様書」等の存在は確認できていない。現場におけるカビ等への処置法としては、空筆による物理的な除去、ホルマリン・エタノール溶液、トリクレンを用いた殺菌が行われた旨の作業メモがある。

昭和 62 年 3 月『国宝高松塚古墳壁画－保存と修理－』（文化庁）
渡辺明義・増田勝彦「高松塚古墳壁画の修理工具と使用材料」（抜粋）
ホルマリン 殺菌用。消毒用アルコールとの混合溶液として用いる。
消毒用アルコール ホルマリンに混合させて用いるほか、手・器具及び準備室の消毒殺菌にも用いる。
パラホルムアルデヒド 殺菌用。第 1 次・第 2 次修理ではシャーレや布袋に入れて、石室内に設置した。第 3 次修理からは燻蒸殺菌用として用いる。

昭和 57～平成 13 年 第 3 次修理～定期点検

昭和 57 年以降カビの発生は漸減し、昭和 60 年から平成 12 年まではほとんど抑制された状態となった。

この期間、定期点検時の観測定点の試料採取による培養調査及び点検最終日にパラホルムアルデヒド燻蒸を実施した。

③アクリル樹脂「パラロイド B 72」のカビへの影響について

遺跡や壁画の強化、剥落止め等においては樹脂が使用されることが多いが、環境が多湿な日本の遺跡や壁画等では、使用後にカビの被害が問題になる場合がある。昭和 48 年から昭和 50 年代の時期を中心に、高松塚古墳壁画の修理（剥落止め）の際に用いられた接着剤は、アクリル樹脂「パラロイド B 72」であった。

この樹脂は、当時の壁画保存の世界的権威であった P. モーラ氏らから漆喰層の修理に有効との助言を得て使用されたものである。

修理の際にアクリル樹脂を使用して剥落止めした箇所には、カビ等の生物被害が生じており、少なくとも昭和 55 年前半から現場ではこれらに相関関係がある可能性が意識されていた。当時の日誌等にある情報を

表 1 過去の修理（剥落止め）の実施時期と生物対策（カビ等） <時系列>

年	月	修理（剥落止め）		生物対策（カビ等）		
		箇所	処置	発生箇所	状況	処置
昭和51年	8月	東2、東3	修理デモ			パラホルムアルデヒド（PFA）を石室内に布置（昭和55年度まで同様）
昭和51年	9月	東1、西1、天1、天2	3%、5%、7%、10%			
昭和51年	10月	天2、天3	3%、10%			
昭和51年	11月	天3	10%、15%	内壁全体	「次第に濃くなっているような気がする」	
昭和51年	12月	西1、東1、天1、天3、南	3%、10%、15%、AC55			
昭和52年	1月	東1、天1、天2	3%、10%、15%、AC55			
昭和52年	2月	東1、天2、天3	3%、15%、20%			
昭和53年	9月	西1、東1	5%、10%、20%			この頃よりPFAが気化しなくなる
昭和53年	10月	西1	3%、10%			
昭和53年	11月	西1、東1	10%、20%	東1		トリクレン、ホルマリン・エタノール（1：9溶液、以下「ホル・エタ」）
昭和53年	12月	東2	10%、20%	天井、東壁、西1		ホル・エタ
昭和54年	11月	西1、東1、東2	10%			
昭和54年	12月	東1、東2	10%、20%	東2（青龍周辺）	黒いしみ	エタノール筆ではらった程度では落ちない。

昭和55年	1月	天1、天2	5%、10%			
昭和55年	2月	西1、西2、 天1、天2	5%、10%、20%	天2（前回10% 注入した部分）	カビ	採取
昭和55年	11月	西2	10%			
昭和55年	12月	天1、天2	5%、10%、20%	西2（10%注入 部分他）、西 1、天1	カビ	ホル・エタ
昭和56年	1月	東1	5%、10%	取合部、西1、 西2、東1、東 2	白いカビ	ホル・エタ、TBZ（試し 塗り）
昭和56年	2月	東1、東2、 西1、天1、 天2	10%、20%	西1、西2、東 2（青龍 4日 前にカビ拭払し た箇所）、天井	白いもの	トリクレン（白濁）
昭和56年	6月					PFA燻蒸法開始 （これ以降、同様）
昭和58年	5月			壁に貼った丸紙	「カビが盛り 上るように発 生。殆んど灰 色モヤっとし たカビ」	
昭和58年	6月			西1（男子像）	「黒カビに よって黒っぽ くなっている 部分」	消毒用エタノール

*修理（剥落止め）の表示（%）は、アクリル樹脂（パラロイドB72）の濃度（トリクレン溶液）。

*これ以降、平成13年まで、年1回の定期点検時に問題があると判断した箇所について、これ以前と同様の方法で剥落止め処置を実施した。

*昭和57年以降カビの発生は漸減し、昭和60年から平成12年までは大きな状態の変化は無かった。この期間は、定期点検時の観測定点の試料採取による培養調査及び点検最終日にPFA燻蒸を実施した。

表2 過去の修理（剥落止め）の実施時期と生物被害（カビ等） <石材別>

	西1 (男子)	西2 (白虎)	西3 (女子)	東1 (男子)	東2 (青龍)	東3 (女子)	天1	天2 (星宿)	天3 (星宿)	天4	南	北 (玄武)	取合部	備考
昭和51年8月					○									PFA石室内に布置 (昭和55年度まで 同様)
昭和51年9月	○			○			○	○						
昭和51年10月								○	○					
昭和51年11月				(内 壁 全 体 ×)					○					
昭和51年12月	○			○			○		○		○			
昭和52年1月				○			○	○						
昭和52年2月				○				○	○					
昭和53年9月	○			○										この頃よりPFA気化 しなくなる
昭和53年10月	○													
昭和53年11月	○			○ ×										トリクレン、ホ ル・エタ
昭和53年12月	×			(東 壁 ×)		○	(天 井 ×)							ホル・エタ
昭和54年11月	○			○	○									
昭和54年12月				○	○ × (青龍周辺)									
昭和55年1月							○	○						
昭和55年2月	○	○					○	○ × (前回注入箇所)						
昭和55年11月		○												
昭和55年12月	×	×					○ ×	○						ホル・エタ この頃白虎薄れる
昭和56年1月	×	×		○ ×	×								×	ホル・エタ、TBZ (試し塗り)
昭和56年2月	○ ×	×		○	○ × (青龍)		○	○	(天 井 ×)					トリクレン白濁
昭和56年6月														PFA燻蒸法開始 (これ以降、同様)
昭和58年5月	(壁に貼った丸紙 × 場所不明)													
昭和58年6月	×	(男子像)												消毒用エタノール

○ 修理（剥落止め） × カビ被害

表1・表2に整理すると、昭和54年後半頃から、過去に修理を行った箇所にはしばらくするとカビが生える様子が理解できる。昭和55年前半には修理からカビの発生まで1ヶ月程度の時間を要していたが、昭和56年2月には4日前に修理した箇所にカビが発生したことが確認されており、修理からカビ発生までに要する時間が非常に早くなったことが理解できる。

近年行われたパラロイドB72等の樹脂を対象としたカビ抵抗性試験³³によれば、パラロイドB72については、概ねカビ発生との因果関係を示唆する結果が得られた。また、高湿度条件下では、壁画の剥落止めに昭和50年代に使用された樹脂（現在入手できるものとしてパラロイドB72）に、高松塚古墳の主要なカビの分離株のいくつかが生育することが示されたが、パラロイドB72を固化させたのちエタノールを噴霧し、再び乾燥させたものは、もとのパラロイドB72よりもさらにカビが発生しやすくなることも明らかとなった。ただし、パラロイドB72になぜカビが生えるかは現段階では不明である。可能性としては、不純物の影響、カビによる樹脂そのものの資化、樹脂表面の水分がカビに利用されやすい状態にあること等が考えられる。

(4) 取合部天井の崩落止め工事

本工事については既に高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査委員会により分析と検討が加えられているため、詳細はその報告書に譲る（『事故調査委員会報告書』）。

①取合部天井の崩落止め工事

この工事は昭和55年頃から確認されてきた取合部天井の崩落を止めることを目的とした工事で、平成13年2月から同年3月にかけて実施されたものである。

この工事では、カビ対策を適切に施さなかったことが原因となり、工事直後（平成13年3月）に取合部に大量のカビが発生した。

②取合部天井の崩落止め工事と取合部のカビの相関

この工事とその直後に発生した取合部のカビの直接の因果関係の立証は困難であるが、工事がきっかけとなった可能性が極めて高い。

その根拠としては、

- ・わずかな期間で大量のカビが発生したこと。

- ・発生要因として、工事方法、温湿度、外気、作業者等による環境変化が考えられること。
- ・平成13年に大量に発生したカビは、既に取り合部の環境内に定着していた常在カビの可能性が高いこと。

また、平成13年の取り合部の崩落止め工事に使用された樹脂のうち、現在入手可能なもの（アラルダイト等）について、試験を行ったところ、崩落止め工事に用いられた樹脂の一部には、高松塚古墳から分離された主要なカビのいくつかの分離株が樹脂上に生育することがわかった。

今から思えば、取り合部という墳丘版築層が露出した空間を石室と隣接して設けざるを得なかったこと自体も、その後のカビ発生の一因となった可能性は否定できない。

③取り合部のカビと石室内のカビの相関

平成13年9月に、石室を開封した際、石室の壁面でカビが発生していた。

このことに関連する事項としては、以下のことがある。

- ・平成13年当時の調査結果は、あくまでもカビの属レベルでの調査ではあったが、平成13年3月以降、取り合部で分離されたカビと、平成13年9月、12月に石室内で発生したカビでは、属レベルでほぼ同様のものがみられていた。
- ・のちの平成16年以降の詳細な種レベルの調査においても、石室内と、取り合部のカビのおおまかな種の構成には大きな違いはなかった（ただし、取り合部からの試料数は必ずしも多くない状況での比較に基づく）。
- ・石室解体に伴う発掘調査の結果等から、石室は必ずしも外界から隔離されてはおらず、墳丘から石室へのびる地震痕跡の亀裂を経て、植物の根や、ムカデ、ダニ等が石室の石組の隙間から十分に移動できる状況であったことが明らかとなった。

これらの状況証拠より、石室内に平成13年9月に発生したカビは、平成13年3月以降、取り合部にカビが大発生した事態と無関係とはいえない。

なお、『事故調査委員会報告書』においては、以下の組織上の問題等が一連の不祥事の遠因となったことが指摘された。

- ・取り合部工事については、史跡、壁画と所管がわかれた文化庁内および

研究所内の体制、双方の情報が十分に伝達されないことに起因して、カビ対策が不十分なまま実施され、結果として大量のカビが取合部に発生したものと考えることができる。(『事故調査委員会報告書』p 19)

- ・ 現地で石室を密封したまま保存することによる公開上の制約はあったにせよ、組織としての文化庁にはありのままの高松塚の状況を広くかつ正しくオープンにする姿勢に欠けていたというほかない。とりわけ、必然的に劣化を免れ得ない宿命にあった壁画の情報をより率直、積極的に国民に伝え、より広い専門家等の協力を求めていくことが、高松塚という重要な文化財を守る上で、文化庁として最も留意すべきことであったはずである。このように情報公開と説明責任に対する感覚や認識の甘さが、結果的に大小取り混ぜた不手際の連鎖を生んだとも言える。(『事故調査委員会報告書』 p 56)

(5) 壁画の損傷事故

①西壁男子群像の損傷事故

平成 14 年 1 月に室内灯の接触等によって石室西壁の男子群像下方部及び同群像胸部に損傷事故が発生した (『事故調査委員会報告書』に分析結果がある)。

②東壁女子群像の損傷事故

平成 20 年 11 月に東壁女子群像について可視分光分析を行った際、機器の先端が誤って壁面に接触し、壁面の損傷事故が発生した。

(6) 壁画の劣化に関する諸要因に係る当時のチェック体制

壁画の劣化に関する諸要因に係るチェック体制を含む、高松塚古墳の保存対策については、すべて壁画発見に伴い発足した「高松塚古墳応急保存対策調査会」(昭和 47 年 4 月～11 月 座長：関野克)及びその後継である「高松塚古墳壁画保存対策調査会」(昭和 47 年 12 月～ 座長：関野克)による審議を経て決定された事項について、文化庁の責任において保存対策が実施されてきた。「高松塚古墳保存対策調査会」には、「保存施設部会」と「壁画修復部会」が置かれ、保存施設の設計建設については主に「保存施設部会」で、壁画の修理については主に「壁画修復部会」で検討が重ねられた。各調査会の委員一覧を、表 3・表 4 に示した。

表 3 高松塚古墳応急保存対策調査会委員一覧

(昭和 47 年 4 月当時)	
関野 克 (東京国立文化財研究所長)	保存科学
山崎一雄 (名古屋大学教授)	保存科学
登石健三 (東京国立文化財研究所・保存科学部長)	保存科学
岩崎友吉 (東京国立文化財研究所・修理技術研究室長)	保存科学
江本義理 (東京国立文化財研究所・化学研究室長)	保存科学
江本義教 (東京国立文化財研究所・嘱託研究室員)	保存科学
末永雅雄 (奈良県立橿原考古学研究所長)	考古学
有光教一 (前京都大学教授)	考古学
松下隆章 (京都国立博物館長)	美術史
岡田 譲 (文化庁文化財鑑査官)	美術史
赤井浩一 (京都大学教授)	土木工学
(注 所属等は就任当時のものである。)	

(『保存と修理』 p14)

表 4 高松塚古墳保存対策調査会委員一覧

(昭和47年12月1日当時及び50年補充)			
◆委員			
(部門)	(氏名)	(所属)	(担当部会)
保存科学	関野 克	(東京国立文化財研究所長)	保存施設部会・保存対策調査会会長
保存科学	登石健三	(東京国立文化財研究所保存科学部長)	保存施設部会・壁画修復部会
保存科学	岩崎友吉	(東京国立文化財研究所修復技術研究室長)	壁画修復部会
保存科学	西川杏太郎	(東京国立文化財研究所修復技術部長) —昭和50年4月就任—	保存施設部会・壁画修復部会
保存科学	江本義理	(元学習院大学教授)	保存施設部会・壁画修復部会
保存科学	江本義教	(東京国立文化財研究所嘱託研究員)	保存施設部会・壁画修復部会
保存科学	山崎一雄	(名古屋大学教授)	壁画修復部会
考 古	末永雅雄	(橿原考古学研究所長)	壁画修復部会
考 古	有光教一	(元京都大学教授)	壁画修復部会
考 古	網干善教	(関西大学助教授)	保存施設部会
考 古	横山浩一	(奈良国立文化財研究所主任研究官)	保存施設部会
歴 史	井上光貞	(東京大学教授)	壁画修復部会
美術史	松下隆章	(京都国立博物館長)	壁画修復部会
美術史	摩寿意善郎	(東京芸術大学美術学部長)	壁画修復部会
美術史	米澤嘉圃	(武蔵野美術大学教授)	壁画修復部会
土 木	赤井浩一	(京都大学教授)	保存施設部会
建 築	斎藤平蔵	(東京大学教授)	保存施設部会
構造力学	丹羽義次	(京都大学教授)	保存施設部会
壁画研究	島村三七雄	(元東京芸術大学教授)	壁画修復部会
壁画研究	寺田春弼	(東京芸術大学教授)	壁画修復部会
	井上 靖	(作家)	壁画修復部会
	小川 鍛	(財団法人飛鳥保存財団常務理事) —松下電器産業常務取締役—	壁画修復部会
関係機関	内山 正	(奈良国立文化財研究所長)	保存施設部会
関係機関	小川修三	(奈良国立文化財研究所長) —昭和50年4月就任—	保存施設部会
関係機関	池田武夫	(奈良県教育委員会教育長)	保存施設部会・壁画修復部会
関係機関	岸下利一	(明日香村長)	保存施設部会・壁画修復部会
◆臨時委員			
技 術	岡 岩太郎	(装演師連盟会長)	壁画修復部会
技 術	絹谷幸二	(画家)	壁画修復部会
技 術	三宅 晋	(入江・三宅設計事務所)	保存施設部会
保存科学	樋口清治	(東京国立文化財研究所第2修復研究室長) —昭和50年4月就任—	壁画修復部会

(注 所属等は就任当時のものである。)

(『保存と修理』 p206)

「高松塚古墳応急保存対策調査会」及び「高松塚古墳保存対策調査会」（各部会を含む）の開催と、その時期の主要な事項をまとめた年表を、表5に示した。「高松塚古墳保存対策調査会」は、第7回会合（昭和50年4月）をもってそれ以降は開催されていない。その後は、本格的な修理が開始される直前に開催された「壁画修復部会」（昭和51年8月）の記録が残るが、これ以降は部会も開催されなくなり、有名無実化した可能性が高い。おそらく修理の現場における様々な判断等については、この日の部会で決定された「修理組織」のメンバーを中心とした実務者らにより行われたと考えられる。

これらは保存施設のしゅん工から本格的な修理（剥落止め）開始の時期と重なるが、本来であれば、我が国において初めての本格的な古墳壁画の修理作業が開始されるこの時期以降こそ、「高松塚古墳保存対策調査会」が機能しなくてはいけなかったと思われる。外部からのチェック機能が事実上失われた中で本格的な壁画の修理が始まったことは、昭和のカビの大発生等への対策にも何らかの影響を与えていると考えられる。

この調査会に代わる組織は、平成のカビの大発生を契機とする「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」（平成15年3月～平成16年3月）まで存在していなかった。

表5 高松塚古墳応急保存対策調査会・高松塚古墳保存対策調査会等の経緯

年	月日	事項
昭和47	3.1	発掘調査開始（明日香村・奈良県立橿原考古学研究所）（～4.5）
	3.21	壁画発見
	3.26	壁画発見の報道発表
	4.5	第1回高松塚古墳応急保存対策調査会（～4.6）
	4.6	古墳の管理が文化庁に移管
	4.7	史跡指定の諮問及び答申（6.17史跡指定告示）
	4.17	応急保存措置（～4.18）
	5.19	第2回高松塚古墳応急保存対策調査会
	6.14	第3回高松塚古墳応急保存対策調査会
	6.16	寄付金つき切手の発行を定めた特例法成立
	7.19	第4回高松塚古墳応急保存対策調査会（中間報告）
	8.21	第1回高松塚古墳総合学術調査会（美術部会・考古部会を設ける）
	9.18	第5回高松塚古墳応急保存対策調査会
	9.22	第2回高松塚古墳総合学術調査会
	9.30	総合学術調査会による現地調査（～10.10）
	10.25	『壁画古墳高松塚』刊行（奈良県教育委員会・明日香村教育委員会）
	11.29	第6回高松塚古墳応急保存対策調査会（恒久保存方針を検討）。閉会。
	12.18	第1回高松塚古墳保存対策調査会（保存施設部会・壁画修復部会を設ける）
昭和48	3.21	寄付金つき切手の発行
	3.29	第3回高松塚古墳総合学術調査会（現地調査のまとめ）。解散。
	3.31	『高松塚古墳壁画』刊行（高松塚古墳総合学術調査会）
	4.23	特別史跡に指定
	5.24	第2回高松塚古墳保存対策調査会（保存施設設置計画、壁画修理計画の検討）
	6月	壁画模写準備開始
	8月	壁画模写開始
	10.4	第3回高松塚古墳保存対策調査会（保存施設設置計画、壁画修理計画の検討）
	10.11	壁画修理現地調査（修理調査・試験、模写色合わせ等）（～10.18）
	10.14	壁画修復部会（現地保存方針の決定）
昭和49	2.7	第4回高松塚古墳保存対策調査会（保存施設設置計画案の提出） 保存施設WG
	3.5	第5回高松塚古墳保存対策調査会（保存施設の基本設計を承認）
	3.21	壁画模写完成
	3.31	壁画模写の報道公開
	4.17	壁画（4面）を重要文化財に指定。同日、国宝に指定。出土品を重要文化財に指定。
	4.23	第6回高松塚古墳保存対策調査会
	4.28	壁画模写及び出土品を奈良・岡山・福岡・仙台・東京で公開（～7.14）
	5.6	保存施設WGで保存施設の設計等を最終的にまとめる
	7.1	保存施設設置工事開始
	8.5	保存施設設置工事に伴う事前発掘調査（1F部分）開始（～8.14）
	11.23	保存施設設置工事に伴う事前発掘調査（2F部分）開始（～12.4）
	12.25	保存施設（1F、2F）工事完了
昭和50	4.23	第7回高松塚古墳保存対策調査会（空調機器の基本内容承認他）
	8.27	空調機器関係設備工事開始
	9.22	空調用電気ケーブル埋設に伴う事前発掘調査（～9.25）
昭和51	1.28	空調機器関係設備工事完了検査。同日運転開始。
	2.16	壁画修理作業開始
	3.29	保存施設しゅん工式

年	月日	事項
	8.24	高松塚古墳保存対策調査会壁画修復部会の開催（東京国立文化財研究所） （修理日程、修理仕様・方針等の了承、修理組織の確認）
	8.30	高松塚古墳壁画修理着工について現地新聞発表（部会での了承内容の発表）
	9.10	文化財保護審議会にて「高松塚古墳壁画の修理実施について」報告
昭和52	5.23	高松塚古墳壁画修理報告会（明日香村公民館）

（参 考）

平成15	3.	国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会（～H16.3）
平成16	6.	国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（～H20.3）
平成17	6.	国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（第4回）において石室解体方針を決定
平成18	4.	高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査委員会 （～6.）
平成20	6.	古墳壁画保存活用検討会（～現在まで）
	7.	高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会（～現在まで）

11. まとめ

(1) 高松塚古墳壁画の劣化の経緯と原因

これまで項目ごとに整理してきた事項を時系列に、かつ横断的に概観し、主要なものを表6に示す。これによれば、高松塚古墳壁画の劣化の経緯と原因は、以下のように整理することができる。

①壁画発見以前（昭和47年以前）

高松塚古墳壁画は、7世紀末から8世紀初頭頃に描かれ、昭和47年に発見されるまでの約1300年の間に、地震による石室・墳丘への物理的損傷をはじめ、12世紀後半の盗掘時の影響等を受けて、植物の根やムシ、カビの侵入、泥や水の流入等、不可逆な過程において壁画の劣化が進行していた。

壁画は、長年にわたり相対湿度100%近い環境で保存されたことにより、カルシウム成分等が溶出し、漆喰は粗鬆化し内部に空隙ができるとともに、亀裂や剥落等の劣化が進行した。色材部分を含む表面には薄いカルサイトの再結晶層が形成され、図像を見えにくくする一方、それが保護膜となり色材や図像が保護された部分もあったと考えられる。

②壁画の発見と生物被害に対する認識（昭和47年）

昭和47年の壁画発見時、特に4月6日からの文化庁による調査により、壁面を構成する漆喰層が「酒粕状」になっているという記録がある。このとき漆喰が、かなり劣化していることが確認され、これを放置しておく壁面の剥落が進行する危険性が高いことが認識された。

また、カビ等の生物被害についても、壁画発見当時から懸念はされており、適宜生物調査や殺菌処置等が実施されていた。しかしながら、漆喰の劣化と同じように重視されてはいなかったと思われる。石室周辺には潜在的に常在菌が存在していたし、後にムシ等の侵入経路であることが判明する地震による墳丘の損傷も一部は既に確認されていた。しかし、地震考古学の研究が発達するのは主に平成以降となっており、当時は地震による古墳の被害に対する認識は薄かった。

③現地保存方針の決定と保存施設の設置（昭和47～51年）

高松塚古墳壁画の保存方針は、「高松塚古墳応急保存対策調査会」（昭和47年4月6日～11月29日）及び「高松塚古墳保存対策調査会」（昭

和 47 年 12 月 18 日～) において、史跡としての現状変更等の観点を踏まえながら壁画の現状に則した多角的な議論がなされ、イタリアの専門家らの助言もあり、最終的に「高松塚古墳保存対策調査会壁画修復部会」(昭和 48 年 10 月 14 日) において現地保存の方針が決定された。

現地保存を実現するために石室南側の墓道部及びその下段にコンクリート製保存施設を設置し、漆喰の剥落止めを中心とした修理作業を行うことが決まった。その際、漆喰の強化処置については主にアクリル樹脂(パラロイド B72) が採用されることになった。

保存施設の設計に関しては、「高松塚古墳保存対策調査会保存施設部会」を中心に議論がなされ、プレキャスト・コンクリート製の保存施設が建設された(昭和 51 年 3 月 29 日しゅん工)。

なお、保存施設は出入りのためのもので、石室内環境を制御するものではない。後に、このアクリル樹脂がカビにより資化されることが明らかとなり、また、保存施設の温度制御に係る設計等が石室内温度上昇の主要な要因であることが明らかとなるが、この段階ではそれらのことは認識されていなかった。

④本格的な修理作業の開始(昭和 51～54 年)

保存施設の完成に伴い、昭和 51 年度から壁画の剥落止めを中心とした本格的な修理作業が開始された。この頃から「高松塚古墳保存対策調査会」が開催されなくなり、現場作業やその判断は現場担当者を中心とした実務者中心に行われるようになった。修理作業(剥落止め)の際には、「高松塚古墳保存対策調査会」で決定された方針に従い、アクリル樹脂に対しトリクレンを溶剤として用い、注射器で注入する方法が採用された。また、当初は防カビ処置としてパラホルムアルデヒドを床面に布置し、それを常温で気化させる方法がとられた。しかし、昭和 53 年頃にこれが結露水によって溶け、気化しなくなった。

この原因としては、石室内の湿度環境に何らかの変化が起きた可能性が考えられる。石室内のカビは壁画発見時から確認されており、それは修理作業が開始された初期においても同様であったが、昭和 55 年頃から特にその被害は大きくなり、壁面を汚損するおそれのあるカビが頻出するようになった。

⑤昭和のカビの大発生と白虎の描線の退色(昭和 55～59 年)

当時残された修理日誌等の記録によれば、この頃、アクリル樹脂によ

る処置を施した箇所にしばらくするとカビが発生すること、あるいはそれが日を追うごとに短期間でカビが繁殖する傾向が現場では認識されていた。しかし当時の文化庁・東京国立文化財研究所等においてこれへの対応や代替法に関する議論が組織として行われた形跡は認められない。

この頃から、修理作業の内容として、従来の剥落止め処置以外に、カビ等の生物被害への対応が現地作業の中で大きな比重を占めるようになり、それは昭和 59 年頃まで続いた。修理作業（後半は生物被害への対応が中心）の際には、おのずと石室内への人の出入りが多く、そうした環境の変化も生物被害の要因の一つになったと考えられる。

昭和のカビの大発生の中にあつた昭和 55 年 12 月から翌年 2 月までの間に、西壁白虎の図像（描線）が著しく退色した。この時期、3 回にわたり修理作業が実施されているが、修理日誌によれば、白虎周辺にカビが大量に発生しており、それに対処するため「筆にて拭う」などの物理的な処置がとられた。

昭和 56 年 2 月には、それまでアクリル樹脂の溶剤として用いられてきたトリクレンを単独で使用し、「筆にて拭払う」などの処置がとられた。トリクレンは強い溶解作用をもつ特性があり、これにより漆喰表層に定着していた白虎の描線がにじんだ可能性は否定できない。

白虎の図像は、これらの因子が単独あるいは複合して作用することにより退色現象が加速したと考えられる。退色後の白虎の写真は、昭和 62 年の修理報告書『国宝高松塚古墳壁画—保存と修理—』（文化庁編）に掲載され公表されたものの、多くの国民に周知されるのは、平成 16 年の写真集『国宝高松塚古墳壁画』（文化庁監修）の刊行を契機とする一連の劣化報道以降のことであった。

⑥「かりそめの安定した時期」（昭和 60～平成 12 年）

理由は不明だがその後カビの発生が小康状態となる。昭和のカビの大発生が一段落した昭和 60 年から平成 12 年までの約 16 年間、石室内点検を年 1 回だけ行い、他の大きな現地作業もほとんど行わない時期が続いた。年 1 回の定期点検は、結果的に石室内への人の出入りを抑制することにもなり、これがこの時期に比較的長期間、カビが大発生しなかった原因となった可能性は高い。

この間のことを文化庁でも近年まで「かりそめの安定した時期」と呼んでいたが、実際には、この時期はカビの大発生こそなかったものの、

次の「平成のカビの大発生」につながる前提となる要因が潜伏・蓄積していたと考えられる。昭和 55 年以降、特に平成に入ってから、断続的に取合部天井の崩落が確認され、常在菌が多数生息する土層を新たに露出させた。また、昭和 63 年頃からは、保存施設の温度調整機能が十分に働かなくなったこと等により、石室内温度が外気温より大きな勾配で上昇するようになった。

⑦平成のカビの大発生と損傷事故（平成 13～14 年）

このような状況の中、平成 13 年 2 月に取合部天井の崩落止め工事が実施された。この工事をめぐる諸問題については、既に『高松塚古墳取合部天井の崩落止め工事及び石室西壁の損傷事故に関する調査報告書』（平成 18 年 6 月）において検証されているが、この工事を直接的な引き金として、その後のカビの大発生（平成のカビの大発生）が起きた可能性が高い。

工事の設計・施工に関する一連の生物対策が不十分であったこと、また、その遠因となった文化庁内（美術工芸課と記念物課）あるいは東京・奈良両文化財研究所を巡る組織の縦割り構造や情報公開に対する認識の甘さ等については、ここで改めて指摘しておく必要がある。

さらに、平成のカビの大発生の渦中において、その対応作業中に石室西壁の損傷事故が発生した（平成 14 年 1 月）。カビに対処するために、この時期の石室内への人の出入りが多くなったが、結果的にこれがカビ等の発生を更に促すことにつながった可能性を否定できない。また、墳丘上から石室周辺への雨水の浸入を防ぐために、平成 15 年度に墳丘上の植栽を伐採し、防水シートを設置した。これにより石室周辺への雨水の浸入は抑えられたものの、これが墳丘及び石室の温度上昇の一因となったことが後に明らかとなる。

⑧石室の解体修理の決定とその後のカビの被害（平成 15～18 年）

平成のカビの大発生を契機として、「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」（平成 15 年 3 月～平成 16 年 3 月）が設置され、科学的なデータの収集が進められた。続く「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」（平成 16 年 6 月～平成 20 年 3 月）において、劣化した漆喰層の修理と、カビ等の生物対策を現地で行うことは困難との判断がなされ、平成 17 年 6 月に石室を解体修理する方針が決定された。

解体修理方針の決定以降、実際の石室解体までの間、すなわち、具体

的な解体方法の検討や発掘調査等を行う期間の緊急対策として、墳丘上に覆屋を設置し、また、墳丘上と石室下に冷却管を設置した。覆屋を設置したことにより墳丘への直射日光や雨水等を避けることができ、冷却管を設置して石室内温度を下げたことにより当時壁面に影響を与えていたカビやゲル状物質が大枠で抑制され、所期の目的は概ね達成された。しかし、その一方で、低温に適応したカビの発生や低温でカビが変色すること等を抑えることはできず、低温化による生物対策が恒久対策とはなりえないことが改めて示される形となった。

⑨石室の解体と発掘調査による新たな知見（平成 18～19 年）

平成 18 年 10 月に開始された石室解体のための発掘調査により、墳丘の構築方法等に関する多くの考古学的知見が得られ、これとともに壁面の劣化原因に関する多くの重要な情報も得られた。特に重要であったのは、墳丘に過去の地震の影響による多数の亀裂や土層のずれが確認できたことで、墳丘の一部は地すべりにより崩落していることも分かった。石室の天井石や床石を南北に縦断する亀裂の存在や、石室全体がねじれて歪んでいることも地震の影響であることが明らかになった。また、取合部天井が断続的に崩落していたことも地震による墳丘の損傷に起因することが明らかになった。墳丘に刻まれた亀裂を経路として、雨水・木根等が石室・壁画周辺まで及んだことが予想され、地震で緩んだ版築と石室の間や石材の接合面には多くのカビ等が確認された。

さらに、天井石材の接合面に目地埋めの漆喰を塗り忘れたと思われる、「古代の施工ミス」と言うべき箇所があり、当該箇所から石室内に雨水が浸入したことも明らかとなった。これらの現象の大半は壁画発見以前から進んでいたものと考えられるが、壁画発見後の石室内への頻繁な人の出入りや、石室内での諸々の作業、あるいは取合部天井の崩落止め工事等の機会が、カビ等の生物被害の拡大を促す前提条件となった可能性が高い。石室解体作業は平成 19 年 4 月に開始され、同年 8 月に終了した。これに伴う発掘調査は同年 9 月に終了した。

⑩複合的な因子による壁画の劣化

以上が、壁画の劣化原因に関する石室解体までの一連の過程である。すなわち、壁画発見時以降の壁画の劣化について、特に生物被害が大きく進行した二つの時期（昭和のカビの大発生、平成のカビの大発生）に焦点をあてれば、前者は石室内の湿度環境の変化、修理作業における樹

脂や薬剤の選択、度重なる石室内への人の出入り等が複合して起こった可能性が高く、おそらくその対応中に白虎の図像が退色したと考えられる。後者はさらに保存施設の温度調整機能が十分に働かなくなったこと等による石室内の温度上昇、取合部天井の崩落による微生物（常在菌）を多く含む土層の露出等の条件が加わった上で、不十分な生物対策により実施された工事が直接の引き金となった可能性が高い。その後の度重なる石室内への人の出入りも生物被害を拡大させる要因の一つとなったと考えられる。

⑪チェック体制の不備

壁画発見時以降の高松塚古墳壁画の保存対策をめぐるチェック体制を振り返って検証すると、初期の保存方針及び具体的な対策については、壁画発見時（文化庁に移管された昭和 47 年 4 月）に設置された「高松塚古墳応急保存対策調査会」とそれに続く「高松塚古墳保存対策調査会」により多角的な議論が行われた。これにより、現地保存の方針が示された。その際、壁画修理の方法と保存施設の設計内容等が決定されたが、保存施設のしゅん工（昭和 51 年 3 月）以降、この調査会及びその作業部会は、解散こそされてはいなかったものの、開催されることはなく、有名無実化し、保存修理作業が現場任せとなった。昭和のカビの大発生時には、実務者を中心とした現場の担当者が重要事項を判断するようになっていた。保存上の理由から一般国民に非公開とされていた壁画について、その状態変化等に関する情報の発信が積極的に行われなかったことは、担当者や組織の緊張感を弱めることにつながった可能性が高い。

この状態は、「国宝高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会」が設置される平成のカビの大発生時まで続いた。保存施設がしゅん工していよいよ本格的に修理作業が始まり、未知の領域に突入し前進する、本来であれば大変重要な段階であったが、多角的な視点からのチェックを担うべき調査会が機能しなくなり、文化庁等の担当機関による組織的な取組が行われなくなった。これらのことが、壁画劣化の遠因となった可能性がきわめて高い。

(2) 総括―作為と不作為による「負の連鎖」―

以上を総合すると、高松塚古墳壁画の劣化の進行をもたらしたのは、「作為」と「不作為」とが入り混じった、複合的な要因の「総和」と言うことができる。それを大づかみに整理すると、次のように分けられる。

- ① 発掘調査や科学の進展・技術の開発等による新たな知見によって、ごく最近判明したもの。
- ② 過去のある時点において、問題を認識していながら、長い間放置したもの。あるいは問題をさほど重要視せず、結果的に劣化の進行につながったもの。
- ③ 特定の対応策の着手に当たって、それがもたらす副作用や弊害等二次的影響の想定作業に綿密さを欠き、新たな「後追い」対応を余儀なくされたもの。
- ④ 保存・管理のチェック体制に、「不作為の作為」とも言える空白を招き、その結果、事実上「司令塔」を欠いた時期があったこと。

劣化の要因の中には、過去の地震による版築の亀裂がカビ等生物被害の拡大を促す前提条件となったことや「古代の施工ミス」等、石室解体に伴う発掘調査等によって、ごく最近確認できたものもある。

しかしながら、カビ被害は壁画発見時に既に確認されており、それへの初期対応が十分できなかったことが、結果的にその後の二度にわたる「大発生」につながったと考えられる。カビは、ひとたび発生するとほとんど留まることなく、汚染を拡大し、慢性化する。壁画の修理作業に、より重点が置かれたことによるものであろう。

また、昭和のカビの大発生のころ、アクリル樹脂による処置の後、同じ箇所にかビが発生することを現場では認識していながら、その対応策や代替法の検討を組織的行った形跡がないのはなぜであろう。近年の実験では、カビがアクリル樹脂を資化することが判明している。これらの事実からは、生物被害に関わる専門家をバランスよく組織してこなかった体制の不備と、そこからくる監視・責任体制の曖昧さが見て取れる。

取合部天井の崩落が断続的に続いていたことは、昭和 55 年から確認されていた。けれども、実際に工事に着手したのは平成 13 年である。このことも、「問題の認識→先送り」の典型として挙げられる。さらに言えば、保存施設の稼働時（昭和 51 年）から、温度調整機能の不具合で、夏になると冷却能力が低下することが認識されいながら、改善が図られていない。いずれのケースも、今振り返ってみて理解しがたい。

二次的影響の想定作業が結果的に甘かったとしか言いようのない事実も散見される。例えば、墳丘上の植栽の伐採と防水シートの設置（平成 15 年）は、雨水の侵入は抑えたものの、墳丘・石室の温度が上昇するという結果を招いている。

また、取合部天井の崩落止めの工事の途中で、美術工芸課(当時)の担当者による滅菌・防カビ処置の必要性の指摘が、実際の工事には全く生かされていないという、信じ難い事実もある。二次的影響の想定作業以前の組織の問題と言うほかない。

何らかの事態が起きてからあわてて処置に走る。これら一連の「後手の対応」の多くは、人の出入りを増やし、生物被害のさらなる進行につながる。そうした「負の連鎖」を生んだ感がある。

これらをあらためて整理しなおすと、次のようにまとめられる。

- ア．非常に美しい状態で保存されていたと強調されたが、発掘時点でかなり劣化しており、劣化の適正な評価を誤った。
- イ．発掘後の自然科学的状態分析とそれに基づく保存計画が不十分であった。
- ウ．評価基準と継続的な記録がなく、監視と対策が不十分であった。
- エ．物質及び生物的影響に関する議論が不十分で、明確な保存の目的意識と全体計画に欠けていた。
- オ．壁画の状態に応じ、様々な観点から劣化の原因と保存対策を考慮すべきであった。

繰り返しになるが、もう一つ看過できないのが、「高松塚古墳保存対策調査会」並びに同作業部会が、形式的には存在し続けながら、昭和 51 年から約四半世紀の長きにわたって一度たりとも開催されなかった事実である。

このことは、保存対策全体を高度かつ幅広い観点からチェックし、必要な対応策について判断する「司令塔」を欠いていたことに他ならない。最低でも年に一度程度開催していれば、その時々、古墳並びに壁画の状況について把握でき、例えば「年次報告」の形で、保存状況を広く国民に知らせることができたはずである。専門家から新しい知見が寄せられる可能性もあったであろう。結果として、保存対策は現場の実務者任せにする状態が続くことになってしまった。

「開店休業」状態は、昭和 51 年 3 月の保存施設のしゅん工を契機に始まったようである。「近代的な」施設が完成したことによって、文化庁をはじめとする関係者のあいだに、ある種の安堵感にも似た心理が広がった気配がある。「かりそめの安定期」を経て、崩落止め工事の不手際、カビの大発生とその対応、壁画の損傷事故、そして解体修理へとたどるその後の

経緯を振り返ってみるとき、結果として「不作為の作為による空白」がもたらしたものと言い得る。少なくともそうした面があったことは否定できない。

高松塚古墳壁画発見以降の保存・管理の歴史は、そのままカビ等の生物被害による劣化の進行との闘いの歴史でもあった。それはまた、「ひとたび発生すると完全制御が難しい」カビ対策を、「狭隘な空間」で、「制限された時間内に作業」するという困難性に立ち向かいつつ進められたものでもあった。

けれども、様々な試行錯誤が繰り返された結果、今、我々が目の当たりにしているのは、古墳から取り出され、解体され、人工保存された壁画群である。やむをえなかった措置とはいえ、この事実は重く受け止めなければならない。

劣化原因の究明に向けた調査・研究とそのための人材育成、保存・管理のためのシステムづくりは、これからも課題であり続ける。

表6 高松塚古墳壁画の劣化原因に関わる事項の整理

年	委員会等	墳丘	保存施設	修理(剥落止め)	人の出入り(人数)	生物被害	点検・生物対策	温度変化(奈良市平均値／石室最高値)と年間降水量(奈良市)と石室湿度	備考
昭和47年	3/21 壁画の発見 4 高松塚古墳応急保存対策調査会(～同年11月) 8 高松塚古墳総合学術調査会(～同年10月) 12 高松塚古墳保存対策調査会	3 発掘調査	4 石室仮保護施設(覆屋)完成	4/17 応急処置 9/30 壁画調査(10/14まで)			パラホルムアルデヒド(PFA)を布置 PFAを布置	14.5／(18.0) 15 20 17 40 19 60 21(℃) 80(%) 外気温 石室内温度 石室内湿度 年間降水量	10『壁画古墳高松塚』刊行
昭和48年	10 現地保存方針の決定			10/6 壁画調査(10/18まで)					3『高松塚古墳壁画』刊行 4 特別史跡に指定 6 壁画模写の準備着手
昭和49年		8 事前発掘調査(～12月)	8 保存施設工事着工	12/4 壁画調査	※				3 壁画模写完成 4 壁画を国宝に指定、出土品を重要文化財に指定
昭和50年				3/27 壁画調査 5/8 事前調査(5/10まで)		3 カビが壁画面上に出現		14.4／－	
昭和51年			3 保存施設竣工 7 機械室の諸装置からの放熱 前室に氷柱を立てる 機器の一部改良	9/2 37日間 22日間 2/15	第1次修理			13.9／(18.1) 14.6／(18.1)	
昭和53年				9/18 39日間	第2次修理	東壁・西壁・天井 東壁・南壁	ホルエタ(ホルマリンとエタノールの混合液)処置 ホルエタ処置	14.8／17.7 15.0／17.8	この頃から、パラホルムアルデヒドが気化しなくなった(恒久保存対策検討会資料より)
昭和54年				21日間	第2次修理	カビは微量 天井		14.0／17.7	
昭和55年			取合部の土の崩落を確認	39日間	第2次修理	2「大きなカビ発生ヶ所は無し」 西壁 12「白虎黒色部、筆にて拭い	ホルエタ処置 ホルエタ処置	14.0／17.7	「先月10%注入した箇所……カビらしい」(作業日誌より)
昭和56年				23日間 2/19 6/29 5日間	第2次修理	1「黒いカビ汚れと一線に線描きが不明」 「白虎付近の黒い汚れは益々ひどくなっているように見える」	防霉剤TBZを試用 トリクレンにてカビ処置 初めてPFAの燻蒸殺菌	13.9／16.8	「パラホルムアルデヒドが1年後でもほとんど蒸散せず、水漬けの状態が残存し……」(『国宝高松塚古墳 保存と修理』より)
昭和57年				5日間	第3次修理	天井・西壁	ホルエタ処置	14.3／17.6	
昭和58年				9日間	第3次修理	東壁・南壁	ホルエタ処置	14.6／17.6	
昭和59年			10 取合部崩落の写真撮影	12日間	第3次修理	北壁	ホルエタ処置	14.0／17.2	
昭和60年							年1回の点検で「異常なし」と報告	14.8／17.4	
昭和61年				12/17～25 保存修理		北壁	ホルエタ処置	14.2／17.3	
昭和62年					※		年1回の点検で「異常なし」と報告	15.0／17.5	3『国宝高松塚古墳壁画-保存と修理-』刊行
昭和63年				6/10～10/11 保存修理	※			14.1／18.0	
平成元年				12/21 保存修理	※	石室内にカビ	ホルエタ処置	14.8／17.8 15.5／17.8	
平成2年			日誌に初めて崩落の記載				年1回の点検で「異常なし」と報告	15.2／18.3	
平成3年			取合部の崩落度合いを確認				年1回の点検で「異常なし」と報告	14.8／17.9	
平成4年							年1回の点検で「異常なし」と報告	14.3／18.5	
平成5年					※			15.7／18.6	
平成6年						石室内にカビ	ホルエタ処置	14.5／18.6	
平成7年							年1回の点検で「異常なし」と報告	14.4／18.9	
平成8年							年1回の点検で「異常なし」と報告	14.9／18.4	
平成9年						盗掘口の上面にカビ		16.0／18.2	
平成10年			「崩落が小康状態」(作業日誌より)				年1回の点検で「異常なし」と報告	15.3／19.3	
平成11年							年1回の点検で「異常なし」と報告	15.1／19.1	
平成12年			取合部天井の崩落は断続的に続いている(復命書より)				年1回の点検で「異常なし」と報告	15.1／19.4	
平成13年			2 取合部前落止め工事(～3月)			3月 取合部に大量のカビ発生 9回の点検を行い、7回は石室内・取合部でカビ等	エタノールによる殺菌と除去並びに防霉剤による処置	15.4／20.1	
平成14年	1 西壁壁画損傷事故					13回の点検を行い、4回は石室内・取合部でカビやムシ等	カビに対する処置を2回行う	14.8／19.6	
平成15年	3 高松塚古墳壁画緊急保存対策検討会(～16年3月)	5 墳丘部上のモチノキを伐採 9 墳丘部の防水工事(墳丘上段の竹を伐採、防水シート設置)	11 取合部再工事			10回の点検を行う。4月22～24日の点検では石室内・取合部においてムシの死骸		15.7／21.4	6『国宝高松塚古墳壁画』発行 6/20～ 壁画の劣化報道
平成16年	6 高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会(～20年3月)	9 発掘調査(～H17年3月) 9 墳丘上に覆屋設置				21回の点検を行い、16回は石室内・取合部においてカビやムシ、ダニ等 (カビを中心とした食物連鎖)	カビ・ゲルに対する処置を15回行う	14.9／19.0	
平成17年	6 石室解体方針の決定	6 石室解体決定 9 墳丘上に新覆屋設置 9 墳丘部の冷却を開始				32回の点検を行い、30回は石室内・取合部においてカビやムシ、ダニ等	カビ・ゲルに対する処置を31回行う	14.3／10.0	
平成18年	4 事故調査委員会(～同年6月)	10 発掘調査(～H19年9月)				1月～9月までに20回の点検を行い、19回は石室内・取合部においてカビやムシ、ダニ等	カビ・ゲルに対する処置を18回行う	15.3／－	
平成19年		1 内部断熱覆屋設置 4 石室解体(～8月)						14.9／－	1 公開シンポジウム開催
平成20年	6 古墳壁画保存活用検討会(～現在まで) 7 高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会(～現在まで)		11 保存施設撤去(～21年3月)		50 100 150 200(人)			1000 2000 3000 4000(mm)	

※ 人の出入りがあったと思われるが、記録が残っていないため不明

外気温: 奈良市気象台における年平均気温
石室内温度: 石室内における最高月平均気温
降水量: 奈良市気象台における年間降水量

12. 今後の課題

高松塚古墳壁画の劣化そのものは、約 40 年前に発見された瞬間から、いわば宿命として避けがたいものであった。けれども、劣化に対して唯一とり得る策である「進行の速度を遅らせる」ことはできなかったのか。結論から先に述べれば、「おそらく、ある程度可能であった」ということになるであろう。このことは、前章までに詳述した検証結果が、随所で示唆している。端的に言えば、「現在」の目で見れば、科学的根拠に基づく各時期の現状認識・対策が、十分なものだったとは到底言えないという事実である。

しかしながら、この「不十分性」を、その時々特定の担当者や組織への責めに帰して終わるべきではない。問われるべきは、保存・管理システム全体のありようである。今なすべきことは、「過去」を振り返ることで得た多くの反省と教訓、そして新たな知見を「未来」に向けて活かしていくことである。それは、単に高松塚古墳壁画の問題に留まらず、文化財全体の保存と活用に資するものでなければならない。

以上のような観点から、次の点について提言する。

(1) 「連携・協働」を核とした保存・管理体制の確立

高松塚古墳の保存・管理について、文化庁を中心とする組織体制とそれまでの組織内慣例に抜本的な見直しを迫ったのは、平成 18 年の『事故調査委員会報告書』である。問題の所在は「組織体制の問題点—縦割りとセクショナリズム」と「情報公開と説明責任—その認識の甘さ」に集約されている。このことは、『事故調査委員会報告書』に詳しい。

高松塚古墳の保存・管理は、主に文化庁と東京国立文化財研究所(当時)が担当していた。保存・管理のたびごとに東京から奈良県明日香村に赴く距離的・時間的な問題は、日常的な状態チェック等、きめ細かな管理が必須の文化財保護の点では大きな障害になったと考えられる。

昭和 47 年の壁画発見当時においては、奈良国立文化財研究所(当時)の保存科学部門は発足したばかりで、本格的な保存科学部門を持つ東京国立文化財研究所が現地の作業をほぼすべて担当する必然性はあった。しかしながら、人事の交流は可能であったと思われ、その後、奈良国立文化財研究所はもちろん、奈良県立橿原考古学研究所でも保存科学部門が設置され発展してきたことを考えれば、いずれかの段階において、これら地元機関と連携した管理体制を構築することができなかったのかと悔やまれる。

また、特別史跡の管理団体でもある地元明日香村が、蚊帳^{かや}の外に置かれたような状況で壁画の管理が進められたことは、地元感情に対する心配りや保存・管理のためのネットワーク形成の面からみても大変残念なことであった。

幸い、これらの点は、この数年間でかなり改善されているように見受けられる。

まず、文化庁では、『事故調査委員会報告書』の提言を受けて、「古墳壁画室」を新設し、特別史跡（古墳）を担当する記念物課と、国宝（壁画）を担当する美術学芸課をまたがって、保存・管理に当たる体制を敷いた。また、文化財部各課を横断して、文化財保護の取組状況を常時確認・調整していくために「文化財保護調整室」も設置されている。いずれも、いわば横串を刺すことで縦割り行政の弊害を克服する仕組みとして評価できよう。情報公開・説明責任に対する意識の変化についても、『事故調査委員会報告書』後の文化庁の対応は、飛躍的に改善されていると言っていい。

さらに、先般の石室解体事業では、文化庁、東京文化財研究所、奈良文化財研究所、奈良県、明日香村に加えて、民間企業や国土交通省等が有機的につながって力を発揮した結果、解体作業が成功裡に終わり、現在、修理作業が推進されるに至っている。

こうした、「市町村・都道府県・国」からなる連携・協働は、一時的なものに終わらせてはならない。さらに付け加えれば、市民やマスコミ、企業、学会・大学等も主体的に参画する「官・民・学」の連携・協働のネットワーク構築を求めたい。このことは、高松塚古墳に留まらず、文化財全体の保存・活用に資することにつながるはずである。

(2) 恒久的チェック体制の構築

既に明らかにされたように、高松塚古墳壁画を巡る過去の保存管理は、何らかの事態が起きるたびに、新たな「後手の対応」を模索するパターンに終始しがちであった。25年以上にもわたって壁画の保存と管理をチェックする「司令塔」が機能しない時期もあった。

壁画の発見以来、「応急保存」「対策調査」「保存対策」「緊急保存対策」「恒久保存対策」「事故調査」等様々な名称をかぶせた外部委員会が設置されてきた。これらはいずれも（有名無実化した時期を除いて）、いわば「有事」の対応のための委員会である。常時チェックする機能を欠いたことは、振り返ってみて残念と言うほかない。

多くのエネルギーを注ぐことになったカビ等生物被害の対応について

も、

- ①これまでの検討会において、専門分野の人材構成のバランスが十分でなかった。
- ②特に、発見・発掘初期に生物被害を想定した専門分野による体制を欠いた。
- ③調査結果の公表遅れや調査情報の錯綜があった。
- ④一時期ではあるが定期的な定点点検が行われていなかった。
- ⑤改修工事時に微生物対策が十分に行われなかった。

などの反省点を浮き彫りにしている。

今後は、以上のことに目配りした常時かつ継続的な体制を整え、保存対象を取り巻く、限定された環境における気象条件等の変化の傾向を把握し、そのうえで定期点検・モニタリングを実施していく必要がある。このことを強調したい。劣化の評価基準の策定と継続的な記録に基づく対策の重要性は言うまでもない。

こうした体制が出来上がれば、これまであまり手をつけていない、同様の古墳壁画の生物被害の点検を行うことも可能になるであろう。今回の高松塚古墳壁画の生物被害を教訓に、点検システムを作り上げる必要がある。

もう一点、これまで蓄積された生物被害に関わる調査・研究資料の整理や試料の保存が急務である。そのうえで問題点を整理し、有効な知識や技術を広く共有すべきと考える。

今回、劣化原因の究明のための検討会が、短期的とはいえ設置されたことで、完全とは言えないものの、生物被害の整理や問題点を洗い出すことができた。この成果は大変貴重であり、さらに蓄積を重ね、今後同様のケースに対応するためのクリアリングハウス、データバンクとでも言うべき仕組みを構築することも重要である。このことも強調しておく。

(3) 現地保存について

既に述べたとおり、高松塚古墳壁画は、考古学、美術史学、歴史学、保存科学、絵画修理、土木工学、建築学等の専門家からなる高松塚古墳保存対策調査会の数回にわたる議論を経て、昭和48年10月、その壁画修復部会において、「歴史上・芸術上・保存上の観点」から現地保存の方針が決定された。史跡の現地保存の原則を前提としつつ、当時としては極めて総合的な検討がなされた。最終的には、当時の壁画修理に関する世界的権威であったイタリア中央修復研究所のP. モーラ氏の教示を得て、壁画の現地保存方針と具体的な修理方法の大枠が決定された。

ところで、一般に史跡とは、「土地に結びついた文化財（不動産文化財）」である。したがって、美術工芸品（動産文化財）にみられるような移動という概念は基本的には存在しない。史跡から重要な出土品が発掘された場合は、それらは史跡とは切り離され、美術工芸品（考古資料）として重要文化財等に指定される。また、史跡上に重要な建物がある場合には、建造物として同様の手続きがとられる。

高松塚古墳の場合は、古墳そのものが特別史跡に指定され、壁画が美術工芸品（絵画）として国宝、出土品が美術工芸品（考古資料）として重要文化財に指定されている。特別史跡と国宝（美術工芸品）が重ねて指定された事例としては、他には臼杵磨崖仏（大分県臼杵市）があるのみで、そのこと自体が非常に重要な存在であることを示している。

平成 19 年に高松塚古墳の石室が解体され、石室（石材）ごと壁画が墳丘から取り出された。この手法は、古墳の横穴式石室等で行われている解体修理に通じるものである。これによって壁画の絵画としての国宝の価値は変わらないが、特別史跡の価値については難しい問題をはらむことになる。

石室を解体し、特別史跡の主要な構成要素でもある壁画の描かれた石材を取り出すということは、特別史跡としての価値を減じる可能性があることから、考古学関係団体等が壁画の現地保存を主張したのも当然と思われる。しかし、一方で、墳丘内に石室を置いたままではカビ等の微生物による劣化が抑えられず、やがて壁画が失われることが明白でもあった。加えて、石室内における修理もままならなかったことから、移動が可能な壁画を含む石室全体を取り出すという苦渋の決断がなされた。

国宝（絵画）であり、かつ特別史跡の最も重要な構成要素でもある壁画の保存・修理のために、緊急避難的に壁画が現地から離れることを安易に容認するものでは決してないが、やむをえない措置であったものと理解する。このことはキトラ古墳壁画の措置においても同様である³⁴。

今進められている高松塚古墳壁画の修理作業は、当初の「10 年程度を要する」との想定の下で、間もなく 4 年目に入ろうとしている。問題は、修理を終えた後の壁画の扱いをどうするかであろう。

30 年を超す現地保存の経緯の検証を通して、我々が到達した現時点における結論は、「劣化は避けがたい宿命であった。ただ、その速度を遅らせることは、おそらくある程度可能であっただろう」というものである。

このことが示唆するものは、想定し得る劣化因子の多くをあらかじめ予測し、回避あるいは軽減できるとしても、今後とも壁画の現地保存方針を

貫くことは、現時点における科学的・技術的水準の下では、容易ではないという事実であろう。高温多湿な我が国の文化財を取り巻く環境において、漆喰壁画を現地保存することは、特に生物制御の観点から極めて難しい問題を抱える。

高松塚古墳壁画での経験を踏まえながら対処がなされてきたキトラ古墳壁画でも、当初、主に漆喰の剥離・剥落の危険性から全面取り外し方針が決められた。しかしその後の取り外し作業が進行する中で、むしろ生物被害の方が大きな課題となり、現在も深刻な状況が続いていることは、これを証左していると言えるのではないか。

史跡の現地保存の原則は、言うまでもなく極めて重要である。高松塚古墳においても現地保存を模索する検討作業は、今後も続けていかなければならない。その際、現地保存の原則を十分踏まえた上で、なおかつ現実がそれと大きく乖離する場合に、どう対処していくかについて、目をそむけずに議論・検討することが重要だと考える。

そのためにも、現地保存の実現に向けた基礎研究や技術開発は、常に推進していく必要がある。でき得ることは直ちに始め、併せて将来に活かすデータ等を整備していくことが肝要である。

(4) 未来に向けて「常に備える」

一般論として、高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画に続く第三の（漆喰に描かれた）古墳壁画が発見される可能性はある。仮に発見されれば、当然のこととして、今回の検討会で得られた知見が活用されなければならない。発掘調査の可否を含めて慎重に検討を行う必要があるだろう。

その際、中心に据えるべきことは、壁画・史跡の保存を最優先した上で、いかに正確に現状を把握することができるかということである。その内容を公表しながら、個々の壁画・史跡の状況に応じた最適の手法を用いて柔軟に対応することが大切である。これは古墳壁画に限らず文化財全般に言えることであるが、保存法を固定化して考えるのではなく、個々の文化財の状況を勘案し、方法を見極めた上での対応をいかに実現するのが鍵となる。

保存のための様々な方策を施す際、個別の分析や検討の結果を個々の点として扱うのではなく、それらを線、面として総合化し、変化の傾向をとらえることが重要である。また、高松塚古墳のような重要遺跡を他の遺跡等とどのように関連付けて位置づけるか、まさに「文化審議会文化財分科会企画調査会」で提言された文化財の総合的把握をいかに実現するか具体

的に検討する必要がある。

近年の学術研究の進展とともに、文化財保護の領域は現在、専門化・細分化されつつある。しかし、これらの元来異なる分野を学際的・総合的に俯瞰できる人材が当該領域において十分に確保され配置されているとは、現段階では到底言いがたい。新たな文化財の教育・研究のためには、人文科学・社会科学・自然科学という既存の学問分野や伝統的な修理技術等を横断する大系を創造する必要がある。

このような取組を長期的視野で進めることは、文化財保護をトータルにコーディネートできる人材の育成につながるであろう。

当該領域における人材育成の重要性は、先の「事故調査委員会報告書」でも指摘されているが、本検討会においても度々議論の対象となったことを記し、その重要性を改めて強調しておきたい。

あらゆる物質は変化し、その中の多くは劣化につながる。この逃れられない宿命の中で、文化財を保存するということは、経年変化等の様々な変化の速度を少しでも遅くすることに他ならない。高松塚古墳壁画の場合、チェック体制の不備等の人為的側面を含む様々な要因が複雑に絡み合うことで、当初の予想以上に劣化が進行したことが明らかとなった。同時に、いわゆる「有事」に対応するだけでは限界があることも、過去の反省として浮き彫りになった。

文化財の保存にとってよりよい環境を作り出すことは、文化財が保存される環境の中から、劣化要因となる因子を一つ一つ取り除く（あるいは軽減する）努力をすることである。そのためにはチェック時における分析法の標準化やモニタリング法を確立した上で、継続的に調査・監視を行い、これを広く公表しながら各方面からの知見を求め、幅広く検討を加えていくことが必要であろう。

繰り返しになるが、本検討会の成果は、単に「高松塚古墳固有の問題」として扱われることなく、他の古墳壁画はもちろん、文化財全般の保存と活用にも資するものでなければならない。同時に、知見の蓄積を国外にも発信していくことで、世界の文化財の保存・活用に貢献する。これらのことを強く訴えたい。

【注】

- 1) 7世紀から8世紀初頭に築造された古墳。この時期には前方後円墳がほとんど築造されなくなっており、八角墳・円墳・方墳などが認められる。高松塚古墳と同じように、切石組の石室をもつ古墳もある。
- 2) 『広辞苑』には「日本画の技法で、岩絵具・胡粉などを用い、きわめて濃厚・緻密に彩色するもの」とあるが、美術史に関して定評のある『新潮世界美術辞典』にこの言葉は採録されていない。彩色に関しては、一色のみ単彩（モノクローム）、寡彩色（オリガクローム）、多彩色（ポリクローム）がある。高松塚古墳壁画の彩色に関して科学的には多彩色と表現すべきであろうが、発見当初から極彩色の言葉が使われているので慣用に従うことにした。
- 3) この切手の発行名称は、「高松塚古墳保存寄附金つき郵便切手」。「飛鳥地方における歴史的風土及び文化財の保存等に必要な資金に充てるための寄附金つき郵便葉書等の発行の特例に関する法律」に基づき発行された。切手下図は、壁画発見当時の白黒写真をもとに、当時の郵政省技芸官であった久野実氏（東壁男子群像・同青龍）、渡辺三郎氏（西壁女子群像）によりつくられた。発行枚数は1億2050万枚。寄附金は古墳に隣接する高松塚壁画館の建設費等に充てられた。
- 4) 秋山光和・柳澤孝「高松塚古墳壁画に関する二、三の新知見」、月刊文化財 154号、pp4-13、第一法規、昭和51年
- 5) 文化庁監修『国宝高松塚古墳壁画』中央公論美術出版、平成16年
- 6) 増記隆介「壁画に関する二、三の新知見」、月刊文化財 532号、pp46-49、第一法規、平成20年
- 7) 蛍光X線分析とは、X線を対象物に照射することにより発生する特性X線（蛍光X線）を測定し、対象物の元素に関する情報を得る分析法。可搬型であることにより、実験室に資料（試料）を持ち込むのではなく、文化財のある場所（この場合は石室内）において分析を実施することが可能になる。
- 8) 土壁や漆喰の「つなぎ」として用いる繊維質の材料で、乾燥後のひび割れや落壁防止のために混ぜられるもの。
- 9) 紙の一端に試料を置き、液体を用いて各成分を紙の中で移動させ、その速度差で成分を分離する方法。
- 10) 可視光を対象物に照射することにより、特定の光（蛍光）が発生すること。フィルターを通して観察することが多い。可視光は紫外線と比較してエネルギーが低いため、一般に色素や水分を多く含む対象物の場合でも退色や破壊につながる影響は少なく、文化財の調査においても利用される。

- 11) コメット機は、1952 年に世界で初めてジェット旅客機として就航したイギリス製飛行機の機種名。コメット機は、定期就航から程ない 1954 年に墜落事故を連続して引き起こした。その原因は金属疲労による空中分解と報告され、これにより金属疲労による劣化の研究分野が開拓された。
- 12) 錆の検討により、錆部分を除去することで文化財本体に悪影響を及ぼすと考えられる場合には、錆の除去を行わない。
- 13) Electron Probe Micro Analysis (EPMA)。電子線を対象物に照射することにより発生する特性 X 線（蛍光 X 線）の波長を分析し対象物の元素に関する情報を得る分析法。走査型電子顕微鏡（SEM）に併設される場合が多い。
- 14) 当時、石室内に温度計を設置して測定が行われていたが、保存施設の建設開始からしゅん工までの間（昭和 49 年～51 年）、正確な測定データが記録できなかった。
- 15) 温度と湿度のデータを定期的に自動計測し、保存する計器。主に温湿度の経年変化を検討するために用いられる。
- 16) これらとは別に、墳丘の仮整備工事に伴う発掘調査を行っている（平成 19～21 年度）。
- 17) 平成 18・19 年度の発掘調査により、このモチノキの根は石室周辺までは及んでいないことが確認され、壁画の劣化に関する直接的な原因ではないことが明らかとなった。
- 18) 石室の前に設けられた通路状の施設。横口式の石室内へ木棺を搬入し、さらに石室南壁にあたる閉塞石を設置するためにある。高松塚古墳では全長 5.5m・幅 2.4～3.0mの墓道が確認されており、石室閉塞後には版築土によって埋められている。
- 19) 亀裂の入った天井石を保護するために、昭和 49 年に行われた旧発掘区上に設けられたプレキャスト・コンクリート製の施設。保存施設の屋根から石室上に廂状に伸びた「PC 版廂」と、それに直交するように設けられた「塞ぎ PC 版」からなる。
- 20) 石室を構成する石材間の隙間を埋めるために、石材の間に充填された漆喰。高松塚古墳では、他に壁画の材料としても漆喰が用いられている。
- 21) 大気中の空中微生物を採取する方法の一つで、シャーレ等により空中を落下する微生物を採取する方法。これに対し、大気を強制的に吸引し微生物を採取する方法（吸引法）がある。
- 22) 微生物などが形成する単一細胞由来の集合体。集落ともいう。
- 23) 建築物の壁面に塗布して殺菌・除菌することを目的とした下地処理用除菌剤の商品名。有効成分として、有機窒素硫黄ハロゲン化合物を含み、溶剤にはエタノール（約 85%）等が使用されている。
- 24) 有機ヨウ素系化合物を有効成分とする防カビ剤の商品名。比較的低毒性で、広範囲のカビ、酵母等に対して低濃度で効果があるとされる。溶剤として、キシレン（約 26%）、エチルベンゼン

- ン（約 48%）等が使用されている。
- 25) カビ・酵母・バクテリアやそれらの微生物の細胞外生成物が混合した粘性状の物質。
- 26) 微生物が栄養源として利用すること。
- 27) カビ・酵母・バクテリア等の多種多様な微生物から構成される混生体（集合体）。
- 28) 環境や物質に対して適応していくこと。ここでは薬剤を連続して処理することによりその薬剤に馴れていく状態をいう。
- 29) 微生物の培養において、培養対象に生育環境を提供する液体ないし固体のもの。培養基ともいう。
- 30) DGGE とは、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動 Denaturing Gradient Gel Electrophoresis の略記。サンプル中の混合 DNA を、核酸の変性剤（尿素等）の濃度に勾配があるポリアクリルアミドゲル中で電気泳動し、G+C 含量に応じて二重鎖の核酸を解離させ、移動度に差をつけることでゲル中にバンドパターンとして検出する方法。
- 31) 様々な有機化合物に対し、高い溶解性を有する。脱脂力が大きいため、半導体産業等において、洗浄剤やクリーニング剤として広く使用されていたが、近年、発ガン性が指摘され使用されなくなっている。 C_2HCl_3 。高松塚古墳では主にパラロイド B72 の溶剤として使用された。
- 32) アクリル樹脂の一つ。主にポリメタクリル酸エチルを主成分とする共重合体。顔料等に対する反応性がきわめて低いことや熱可逆性があること等により、高松塚古墳壁画発見当時、壁画の修理材料等として世界各地で用いられていた。「パラロイド B72」は商品名である。「アクリロイド B72」等とも呼ばれる。
- 33) パラロイド B72 等の修理材料のカビの発生しやすさを調査研究したものとして、次の文献が挙げられる。木川りか・早川典子他「遺跡等で使用する樹脂のカビへの抵抗性について」、保存科学 No. 44、pp149-156 平成 17 年、早川典子・中右恵理子他「絵画表面に用いる修復材料の基礎的研究—壁画修復を中心に—」、文化財保存修復学会誌第 53 号、pp1-19、平成 20 年 等。
- 34) 現在、キトラ古墳は特別史跡に指定されているが、その壁画は美術工芸品としての文化財指定はなされていない。

参考 国内外の（古墳）壁画の状況

（1）国内の装飾古墳の保存管理

我が国には、高松塚古墳・キトラ古墳以外に、装飾古墳とよばれる壁画をもつ古墳が約 600 基存在する。このうち、史跡（装飾古墳を指定の構成要素として含むもの）は、表 7 に示すように 55 件を数える。

高松塚古墳・キトラ古墳と装飾古墳の間では所在する地域や築造年代等において異なる点がみられる。高松塚古墳とキトラ古墳は奈良県に所在し、その築造年代は概ね 7 世紀末から 8 世紀初頭で、壁画は石室内面に漆喰による地塗が行われた後に描かれ、その内容は比較的写実的なものであり、極彩色の色料が用いられている。一方、装飾古墳は九州北部地域と、関東北部から東北南部にかけての地域に集中し、その築造年代は 6 世紀を中心に 5 世紀から 7 世紀前半にかけてであり、装飾の方法は彩色によるものと、彫刻によるものがあるが、その内容は比較的抽象的なものが多く、一部を除き地塗は行われない。高松塚古墳とキトラ古墳同様に漆喰が地塗された古墳としては、カヅマヤマ古墳、マルコ山古墳（いずれも奈良県）、宝塔山古墳（群馬県）があるが、いずれも壁画等の装飾は施されていない。

これらの装飾古墳の主な保存方法には、

- ①主体部等に保存施設を設置
- ②覆屋を設置
- ③石室開口部・入口等に扉等を設置
- ④開口部周辺等に囲柵等を設置

等の方法があるが、管理の程度としては①から④に向かい軽くなる。

また、装飾古墳の公開方法については、石室内に立ち入った上、あるいは石室入口部に設置されたガラス越しに装飾を常時観察可能とするものから、期間を限定し一般公開するもの、全く非公開のもの等様々である。

これらの保存・公開の方法は、装飾の発見以後、石室内で散発的に発生した生物被害や漏水等の問題に対処するなど様々な経緯をへて策定されたものであり、現在その状態は安定しているものであっても、装飾等の状態にあわせて保存・公開の方法を柔軟に変えている場合が多い。

高松塚古墳と同様に、現地に保存施設を設置した装飾古墳で、史跡指定をうけているものの代表例としては、虎塚古墳（茨城県）、王塚古墳（特別史跡）、^{めずらしづか}珍敷塚古墳（いずれも福岡県）、チブサン古墳（熊本県）がある。珍敷塚古墳が円墳である以外はすべて前方後円墳であり、その築造年代は概ね 6 世紀代であり、装飾は彩色によるものである。その公開の方法は、

表 7 国指定史跡壁画古墳一覧

県名	指定名称	所在地	指定履歴
宮城	山畑横穴群	宮城県大崎市	昭和48年指定
福島	清戸迫横穴	福島県双葉郡双葉町	昭和43年指定
	中田横穴	福島県いわき市	昭和45年指定
	羽山横穴	福島県南相馬市	昭和49年指定
	泉崎横穴	福島県西白河郡泉崎村	昭和9年指定、昭和59年追加指定
	虎塚古墳	茨城県ひたちなか市	昭和49年指定
茨城	吉田古墳	茨城県水戸市	大正11年指定
千葉	長柄横穴群	千葉県長生郡長柄町	平成7年指定
大阪	高井田横穴	大阪府柏原市	大正11年指定、平成2年追加指定
奈良	水泥古墳	奈良県御所市	昭和36年指定
鳥取	梶山古墳	鳥取県鳥取市	昭和54年指定
島根	丹花庵古墳	島根県松江市	昭和8年指定
岡山	丸山古墳	岡山県備前市	昭和32年指定
	造山古墳 第一、二、三、四、五、六古墳	岡山県岡山市	大正10年
香川	有岡古墳群	香川県善通寺市	昭和59年
福岡	五郎山古墳	福岡県筑紫野市	昭和24年指定、昭和59年一部解除
	萩ノ尾古墳	福岡県大牟田市	昭和36年指定
	穴ヶ葉山古墳	福岡県築上郡上毛町	昭和14年指定
	八女古墳群 乗場古墳・石人山古墳・岩戸山古墳・善蔵塚古墳・弘化谷古墳・丸山塚古墳・丸山古墳・茶臼塚古墳	福岡県八女市・筑後市・八女郡広川町	大正11年指定、昭和13・30・52年追加指定、53年追加指定・統合・名称変更
	王塚古墳(特)	福岡県嘉徳郡桂川町	昭和12年史跡指定、27年特別史跡指定、52年追加指定
	日輪寺古墳	福岡県久留米市	大正11年指定
	浦山古墳	福岡県久留米市	昭和26年指定
	竹原古墳	福岡県宮若市	昭和32年指定
	下馬場古墳	福岡県久留米市	昭和19年指定
	田主丸古墳群 田主丸大塚古墳・寺徳古墳・中原狐塚古墳・西館古墳	福岡県久留米市	昭和43年指定、昭和61年追加指定・一部解除、平成14年追加指定・名称変更
	日岡古墳	福岡県うきは市	昭和3年指定
	屋形古墳群 珍敷塚古墳・鳥船塚古墳・古畑古墳・原古墳	福岡県うきは市	昭和28年指定、昭和61年追加指定・名称変更、平成15年追加指定
	楠名重定古墳	福岡県うきは市	大正11年指定
	塚花塚古墳	福岡県うきは市	大正11年指定
	古月横穴	福岡県鞍手郡鞍手町	昭和7年指定、昭和61年追加指定
	桜京古墳	福岡県宗像市	昭和51年指定
	仙道古墳	福岡県朝倉郡筑前町	昭和53年指定
佐賀	田代太田古墳	佐賀県鳥栖市	大正15年指定
	西隈古墳	佐賀県佐賀市	昭和50年指定
長崎	壱岐古墳群	長崎県壱岐市	平成21年指定
熊本	弁慶ヶ穴古墳	熊本県山鹿市	昭和31年指定
	江田船山古墳 附塚坊主古墳・虚空蔵塚古墳	熊本県玉名郡和水町	昭和26年指定、昭和51・60年追加指定
	鍋田横穴	熊本県山鹿市	大正11年指定
	チブサン・オブサン古墳	熊本県山鹿市	大正11年指定、平成11年追加指定・名称変更
	石貫ナギノ横穴群	熊本県玉名市	大正10年指定、昭和32年名称変更
	石貫穴観音横穴	熊本県玉名市	大正10年指定、昭和32年名称変更
	大村横穴群	熊本県人吉市	大正10年指定
	釜尾古墳	熊本県熊本市	大正10年指定
	井寺古墳	熊本県上益城郡嘉島町	大正10年指定
	千金甲古墳(乙号)	熊本県熊本市	大正10年指定
	千金甲古墳(甲号)	熊本県熊本市	大正10年指定
	大坊古墳	熊本県玉名市	昭和52年指定
	永安寺東古墳・永安寺西古墳	熊本県玉名市	平成4年指定
	小田良古墳	熊本県宇城市	昭和54年指定
大分	鬼ノ岩屋古墳	大分県別府市	昭和32年指定
	鬼塚古墳	大分県国東市	昭和32年指定
	法恩寺山古墳群	熊本県日田市	昭和34年指定
	四日市横穴群	大分県宇佐市	昭和32年指定
	千代丸古墳	大分県大分市	昭和9年指定
	ガランドヤ古墳	大分県日田市	平成5年指定
	穴観音古墳	大分県日田市	昭和8年指定、平成17年追加指定
県名	指定名称	所在地	指定履歴
奈良	高松塚古墳(特)	奈良県高市郡明日香村	昭和47年史跡指定、昭和48年特別史跡指定
	キトラ古墳(特)	奈良県高市郡明日香村	平成12年史跡指定・特別史跡指定

* (特)は特別史跡

石室入口等に設置したガラス越しによるものであるが、公開時期には差があり、珍敷塚古墳とチブサン古墳が常時公開なのに対して、虎塚古墳と王塚古墳は年2回の限定的な公開である。装飾の状態については、いずれの古墳も現在は安定しているが、珍敷塚古墳については平成21年にカビ等の生物被害が報告されている。

(2) 海外の壁画の保存管理

①イタリアの古墳壁画の修復・保存

イタリアにおける保存修復に係る組織としては、保存修復高等研究所（ローマ）、硬石工房（フィレンツェ）、考古、美術、建築環境等を所管する各地域の文化財監督局等があり、歴史的にみてその修復の理念は、芸術作品の潜在的な統一性を回復することにある。絵画の場合、剥落部分、退色部分、劣化部分を周囲の良好な部分にあわせて補筆、加筆されることがあるが、後世にその部分が識別可能な方法により行われることが求められる。

イタリア国内において墳墓に壁画等が描かれた例としては、エトルリア時代のタルクィニア墓室墓がある。同時代の墓室墓は約3000基が確認されているが、壁画で装飾された墓のほとんどはタルクィニアのモンテロッツィに集中し、その数は約200基である。タルクィニア墓室墓の壁画は19世紀からその劣化が指摘され、当初、剥ぎ取り（ストラッポ）による保存が考えられたが、湿度が高く膠が使用できないため水彩画による記録保存が主体となっていた。20世紀に入ると、加筆・補筆による修復作業が行われるようになったが、その部分の識別が困難な形で実施されていたため、最終的に加筆・補筆部分は撤去されることになった。第二次世界大戦後、科学的修復技法の発展により壁画は剥ぎ取り（ストラッポ）され、博物館内で墓室として再現展示される事例が増えたが、乾燥した彩色層の発色性が問題となり現在この方法は中止されている。

現在、タルクィニア墓室墓壁画が抱える最大の問題は、見学者・修復者の入室に伴う温度・湿度等の環境の変化であり、それにより彩色層表面で塩類が結晶化し、その過程で彩色層の剥落等の問題が発生している。またこれ以外の問題点としては、菌類、藻類、バクテリアの繁殖、昆虫等の小動物の排泄物の付着・堆積、異常気象による泥流の堆積等が挙げられる。これらの問題に対して、墓室を外気・見学者から遮断し、見学

者数自体も制限した上で、温度・湿度を管理して環境の安定化を図っている。また保存・修復に使用する薬剤については、可逆性を確保するために化学的、物理的、美的に原材料に近いものを使用し、その処置に際しては美術史、考古学、保存科学の各研究者、修復技術者がチームを構成して検討している。

②フランスのラスコー洞窟壁画の保存

ラスコー洞窟は、フランス、ペリゴール州モンティニャック村に所在する後期旧石器時代の遺跡であり、1940年9月12日に酸化鉄、酸化マンガン、木炭等により描かれた動物（馬・牛・鹿・バイソン）、人物からなる壁画が発見された。洞窟は石灰岩台地にあり、発見当時、洞窟入口部分は堆積物にふさがれて極めて狭小であり、さらには洞窟上部には不透水層があり、それが洞窟内部への水の侵入を防いでいた。洞窟発見後、洞窟入り口を閉塞する堆積物を除去した上で内部に階段を設置して、一般公開を1948年より開始した。1960年頃の入場者数は年間10万人（多い日で1日あたり1800名）であるが、その結果、洞窟内の炭酸ガス濃度が上昇したことから、1958年に内部に換気装置が設置され、強い空気の流れが生じることとなった。

1963年には、洞窟内に藻類の発生（緑の病気）が、壁画の表面には析出した炭酸カルシウムの被覆（白の病気）が確認された。入場者の排出する熱と炭酸ガス、照明がその一因とされ、一般公開は中止され洞窟は閉鎖された。これらの問題に対して、ラスコー洞窟救済のための科学調査委員会が設置され、ホルムアルデヒド溶液（ホルマリン）噴霧による定期的な土壌の殺菌が行われた。これらの作業は1970年代まではパストゥール研究所、それ以後は歴史記念物研究所がその任に当たっていた。ラスコー洞窟においては7月から12月にかけて壁面に結露するおそれがあるため空調設備が設置されているが、2001年に老朽化したこの空調設備の改修工事を行ったことが契機になり、ホルマリンに耐性をもった白カビが大規模発生、翌2002年には黒カビも確認された。見つかった白カビは、一箇所から侵入した一つの種が洞窟に広がったものではなく、地上から様々な経緯を辿って侵入したものと推定される。これら新たに発生したカビに対しては、当初、殺菌剤（四級アンモニウム塩水溶液）の噴霧を行ったが効果は見られず、その後、生石灰の床面への散布や殺菌剤の壁面への湿布、抗菌剤による処置を行ったところ、2004年までに状況はやや安定化した。

2004 年以後には、洞窟内環境を元の平衡状態に戻すことを目的に、薬剤を使った処理から物理的除去処置へと変更し、2007 年から 2008 年にかけて洞窟の平衡回復の様子を確認するために三ヶ月の完全閉鎖を実施した。その結果、カビはほぼ沈静化した但、汚染のひどかった場所や処置しにくい場所ではまだ十分ではない。また殺菌剤はカビの抑制には一定の効果が認められたが、洞窟内環境の平衡状態はまだ不安定であり、現在もその状態を継続的にモニタリングしている。

古墳壁画の保存活用に係る調査研究について

平成20年5月9日
文化庁長官裁定

1. 目 的

高松塚古墳壁画及びキトラ古墳壁画の適切な保存活用を行うために必要な事項等を調査研究する。

2. 調査研究事項

- (1) 高松塚古墳壁画の保存活用に関する事項
- (2) キトラ古墳壁画の保存活用に関する事項
- (3) 高松塚古墳壁画の劣化原因に関する事項
- (4) その他古墳壁画に関する事項

3. 実施方法

- (1) 2.(1)、(2)及び(4)の調査研究を行うため、有識者で構成する「古墳壁画保存活用検討会」（以下「保存活用検討会」という。）を置く。
- (2) 2.(3)の調査研究を行うため、有識者で構成する「高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会」（以下「調査検討会」という。）を置く。
- (3) 保存活用検討会及び調査検討会は、必要に応じて適宜情報を提供し合い、連携しつつ検討を行う。
- (4) 2.(1)及び(2)に関する技術的な事項について調査研究するため、保存活用検討会に保存技術ワーキンググループ（以下「ワーキンググループ」という。）を置く。
- (5) ワーキンググループは、保存活用検討会の委員のほか専門委員をもって構成する。
- (6) 保存活用検討会、調査検討会及びワーキンググループは、それぞれ互選により座長を選出する。座長に事故があるときは、あらかじめその指名する委員（以下「副座長」という。）が、その職務を代理する。
- (7) 保存活用検討会の座長及び副座長は調査検討会に、調査検討会の座長及び副座長は保存活用検討会に、それぞれ出席することができる。
- (8) 保存活用検討会、調査検討会及びワーキンググループは、独立行政法人国立文化財機構及び関係機関の協力を求めることができる。

4. 庶 務

この調査研究に関する庶務は、文化財部美術学芸課古墳壁画室が行う。

高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会委員名簿

(敬称略、五十音順)

青柳 正規 独立行政法人国立美術館理事長・国立西洋美術館長

○北田 正弘 東京藝術大学名誉教授

佐古 和枝 関西外国語大学国際言語学部教授

佐野 みどり 学習院大学文学部教授

杉山 純多 東京大学名誉教授、株式会社テクノスルガ・ラボ学術顧問

高鳥 浩介 東京農業大学客員教授

◎永井 順國 政策研究大学院大学客員教授

成瀬 正和 宮内庁正倉院事務所保存課長

和田 晴吾 立命館大学文学部教授

◎：座長、○：副座長

(計 9 名)

(所属等は平成 22 年 3 月 24 日現在)

高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会の開催経緯

- 第1回 平成20年7月4日（金曜日）文部科学省東館5F3会議室
- ・古墳壁画の保存活用に係る調査研究について
 - ・座長及び副座長の選出について
 - ・議事の取扱いについて
 - ・高松塚古墳壁画の保存対策について
 - ・高松塚古墳壁画の劣化原因調査について
 - ・今後のスケジュールについて
- 第2回 平成20年8月27日（水曜日）奈良文化財研究所平城宮跡資料館講堂
- ・高松塚古墳壁画の保存管理について
 - ・高松塚古墳壁画の状態変化について
 - ・高松塚古墳壁画の劣化の経緯と生物的要因について
 - ・これまでの発掘調査で判明した壁画の劣化に関する事項
 - ・壁画の顔料・描線等の劣化について
- 第3回 平成20年9月30日（水曜日）文部科学省東館3F1特別会議室
- ・美術品の劣化と保存について
 - ・過去の壁画の保存修理について
 - ・壁画の劣化の経緯と生物的要因について
 - ・壁画の材料調査について
- 第4回 平成20年10月20日（月曜日）文部科学省東館3F1特別会議室
- ・生物劣化にかかわる微生物について
 - ・過去の壁画の保存修理について
 - ・これまでの発掘調査で判明した壁画の劣化に関する事項について
 - ・墳丘部の地震痕跡の分析について
- 第5回 平成20年12月11日（木曜日）東京文化財研究所地階会議室
- ・高松塚古墳壁画の科学分析時における壁面の損傷について
 - ・海外の壁画の状況について
 - ・古墳周辺・石室内の温湿度環境について
 - ・壁画管理時の現場における事実関係等の記録について
 - ・壁画の材料調査について

- 第6回 平成21年2月19日（木曜日）文部科学省東館3F2特別会議室
- ・生物劣化の制御について
 - ・国内の壁画古墳について
 - ・壁画の材料調査について
 - ・劣化原因の検討の経過について
- 第7回 平成21年3月12日（木曜日）文部科学省東館3F2特別会議室
- ・市民参加型の遺跡の保護活用について
 - ・カビ等の微生物被害について
 - ・劣化原因に関する検討の経過について
- 第8回 平成21年5月13日（水曜日）旧文部省庁舎2階第2会議室
- ・高松塚古墳壁画のサンプリング調査実施の具体的な検討について
 - ・国内の壁画古墳について
 - ・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について（現地保存から石室解体に至った経緯等）
- 第9回 平成21年7月9日（水曜日）旧文部省庁舎2階第2会議室
- ・正倉院宝物の顔料調査について
 - ・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について（旧保存施設の設計・構造について－取合部を中心に－）
- 第10回 平成21年9月1日（火曜日）文部科学省東館3F2特別会議室
- ・考古学的な視点からみた高松塚古墳について
 - ・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第11回 平成21年9月30日（水曜日）金融庁12F第2特別会議室
- ・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第12回 平成21年11月30日（月曜日）明日香村立中央公民館研修室
- ・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
 - ・昭和48年高松塚古墳調査時の8mm映像の発見について

- 第 13 回 平成 21 年 12 月 21 日（月曜日）文部科学省東館 3 F 1 特別会議室
・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第 14 回 平成 22 年 2 月 1 日（月曜日）金融庁 9 F 第 903 会議室
・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第 15 回 平成 22 年 2 月 24 日（水曜日）文部科学省東館 3 F 第 1 講堂
・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第 16 回 平成 22 年 3 月 9 日（火曜日）文部科学省東館 3 F 1 特別会議室
・高松塚古墳壁画の劣化原因に関する検討について
- 第 17 回 平成 22 年 3 月 24 日（水曜日）文部科学省旧文部省庁舎 6 F 第 2 講堂
・高松塚古墳壁画の劣化原因調査報告について