

高松塚古墳壁画の 現状について

国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策
検討会資料の理解のために

文化庁美術学芸課



国宝高松塚古墳壁画(西壁北側の女子群像)

緊急保存対策検討会の設置

昭和四十七年に発見された高松塚古墳壁画は、保存対策調査会での慎重な検討の結果、発見当初の環境で保存されることが最善であると判断され(昭和四十八年十月)、以後その基本方針に沿って保存対策が進められてきた。しかし、平成十四年に至り東壁女子群像の下方をはじめとする壁画近傍に黒色のカビが発生したことから、事態を重くみた文化庁により発見当時から三〇年ぶりの緊急保存対策検討会が立ち上げられた。平成十五年三月に第一回緊急保存対策検討会が報道関係者に公開のもと開催された。

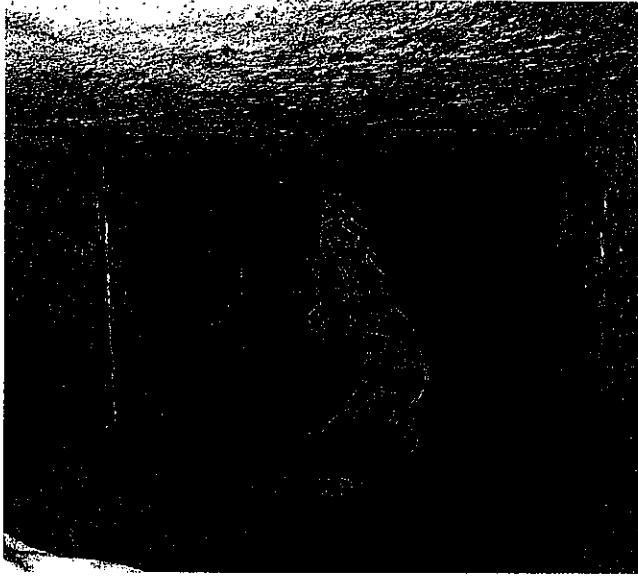
入室対策から総合的な環境対策へ

それまで、高松塚古墳壁画は、「墳丘を構成しているよく締め固められた封土は、石室と一体となって構造上の安定を示しており」一三〇〇年にわたり壁画を保存する役割を果たしてきたことが評価され(「国宝高松塚古墳壁画 保存と修理」文化庁編 第一法規出版刊 昭和六十二年 四二ページ)、施設的设计(同九六―一〇六ページ)も発見された当時と温湿度条件が変わらないようにすることを目的に行われた。また崩落が心配されていた漆喰層の困難な剥落止め作業(同二〇八―二一三ページ)も、その方針に沿って行われた。よく誤解される点であるが、保存施設の空調機能は石室の環境を制御するものではなく、作業者の入室時に石室に外気の影響を与えないよう前室の環境を制御するものである点もこの理由による。

昭和五十五年には石室内で大量のカビが発生した。剥落止め作業によって漆喰層の崩落を食い止めることには成功したが、このとき壁画のうち白虎がうすれた。やがて人員の入室がなくなるとカビは漸減した。以後もあらゆる入室を厳しく制限することにより、点検や剥落止め作業で人が与える影響の抑制を主眼とする、入室対策が

行われてきた。

ところが、第一回緊急保存対策検討会（平成十五年三月十八日）では、壁画発見当初は撰氏一四度プラス・マイナス三度であった石室内の年平均気温が二五年間に約二度上昇していること、ムカデ、ワラジムシ等の虫がこれまでに多く多く侵入していること、特に水分を多く含んでいる壁面にカビが発生していること等から、「高松塚古墳を取り巻く環境が、なんらかの原因で変化してしまった」と報告された。つまり、人が与える影響を前室で制御するだけの従来の保存対策ではもはや対処しきれないほどの変化が起こっているとの認識が示されたのである。



入室による作業の状況

この後、壁画の恒久保存のための方策について必要な事項を調査研究するために、平成十六年六月に立ち上げられた国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（以下、恒久保存対策検討会）では、調査研究の対象を墳丘を取り巻く環境に広げ、土木工学、地盤工学、石造文化財、環境工学、微生物等の専門家が加えられていった。

平成十六年六月には「国宝高松塚古墳壁画」（文化庁監修 中央公論美術出版刊）が刊行された。第二回恒久保存対策検討会（平成十六年八月十日）では、発掘当初から現在までの白虎をはじめとする壁画の劣化の状況と、保存管理の経緯が詳しく報告され、抜本的なカビ対策が打てていない現状と、三〇年間の科学技術と学術研究成果を踏まえて、壁画の保存方針の再検討が必要とされ、あらゆる可能性を排除しない壁画の保存方針が検討されることとなった。

恒久保存対策検討会資料の構成

第三回恒久保存対策検討会（平成十七年五月十一日）、続く第四回恒久保存対策検討会（同六月二十七日）では、あらゆる保存方針の可能性を検討するために、墳丘の現状を科学的に調査研究した結果が作業部会から報告された。高松塚古墳の墳丘はそれ自体が貴重であり特別史跡とされるが、壁画に何が起こっているのかを把握するため、壁画を保存する環境として、墳丘が果たしている役割を評価する視点が新たに要求されることとなったのである。

恒久保存対策検討会資料は、高松塚古墳壁画の保存問題を考える上に必須のデータである。本資料の全容を精読しなければ、本資料を基盤として作成された恒久保存対策案の理解は難しい。これらはすでに文化庁ホームページ（<http://www.bunka.go.jp/>）から「文化財の保護」に入り「国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会」へで公開しているところであるが、あまりに膨大な資料であるためわかりにくいというご意見を少なからず頂戴した。しかし説明の簡略版を通じて



発掘調査前（平成16年）の高松塚

では、複合的である問題の性質が適切に把握できない。そこで、あくまでも本資料の全体を読み切っていたくために、生物対策と現状分析の要点を示して、理解の一助としたい。

第三回恒久保存対策検討会資料は七の資料と一七の参考資料からなるが、そのうち資料四が検討会の課題である五つの恒久保存対策案である。これを支えるのが資料三とこれに付随する参考資料一、二であり、これらは高松塚古墳の環境の現状に関する資料である。一方、資料五、七には参考資料二、一七が付随しており、恒久対策実施までに打つべき当面の生物対策に関する資料である。

（これらの資料は相互に密接に関連するため、資料文中の（ ）内に適宜資料番号を付して、論拠となるデータの所在を示してある）

資料三の目次によると説明は石室の内部から外部へと順に配列されており、相互に関連しながら全体として総合的一体性をなしている。これは高松塚古墳の環境構造と一致するように配列したものである。

石室内の微生物被害の状況

壁画そのものの上で繁殖する微生物被害の状況は、資料三の四ページのまともな示されている。年間を通じて常に高湿度下にある高松塚古墳壁画の場合、カビ発生の要因としては、石室内の湿度の上昇が強く影響しているといえる（参考資料一の一の六ページ図3）。さらに、石室に侵入する虫（参考資料四によると平成十四年十月から激増する）やダニがカビの胞子を運んで再散布し、発生したカビはダニの餌になり、ダニの死骸や排泄物はカビの栄養源となる食物連鎖が生じている。つまり、石室に侵入しては死んでしまう虫とは別に、石室のなかで生まれて一生を送り、次の世代を生産する微生物の営みが成立しているということである。

筆先で軽く押せば窪むほど漆喰層が脆弱であり、カビは漆喰の内部に根を張るため、直接的に除去することは非常に難しい。さらに、それらは微生物の栄養源として十分に蓄積されている。流入する雨水や土中の水分に溶解している有機物もカビの栄養源となり、除去することは難しい。

カビの成長を止めるためには、その成長に必要な要素（水、酸素、栄養）を絶てばよい。しかし、栄養は前述したように除去できず、湿度を落とす対策の有効性は高いものの、湿度が落ちると脆弱化した漆喰が石室の壁面から崩落するおそれがある。酸素濃度を落とすために窒素ガス等の不活性ガスを充填させる対策は、石室には小さ

な隙間が多数存在し外部から空気が入る環境であるため、カビ対策に有効なきわめて低い濃度まで落とすことができない(参考資料一、二の空気漏洩量調査および第四回恒久保存対策検討会資料四―一の写真中に見る切石のすれ、亀裂、隙間)。また石室を構成する切石の隙間には漆喰層がまたがっており、壁画を傷めず隙間をすべてふさぐことはできない。

殺菌剤によるカビの生育抑制については、壁面が湿っていると薬剤が吸着されやすく、作業者への影響が心配されるうえ、長期的には薬剤は必ず化学変化を起し、その経年変化は予測できないので、壁画への影響も懸念され採用できない(参考資料五の八ページ)。

そこで、成長抑制のためにとられる手法が温度対策である。現在、漆喰層で結露しないよう、むらなく石室の温度を下げるため、墳丘の土全体を冷却する作業が進められている(恒久保存対策検討会参考資料一五―一七)。しかし、高松塚古墳壁画からは、摂氏一〇度以下でも成長する茶色のカビが確認されており(第四回恒久保存対策検討会資料二―一の高松塚古墳から採取されたカビ・酵母の発育温度試験(一)のグラフT-4、T-9、T-12、T-13)、現在発生しているカビは抑えられても、低温に適応したカビが活性化するための短期的有効性しかない。

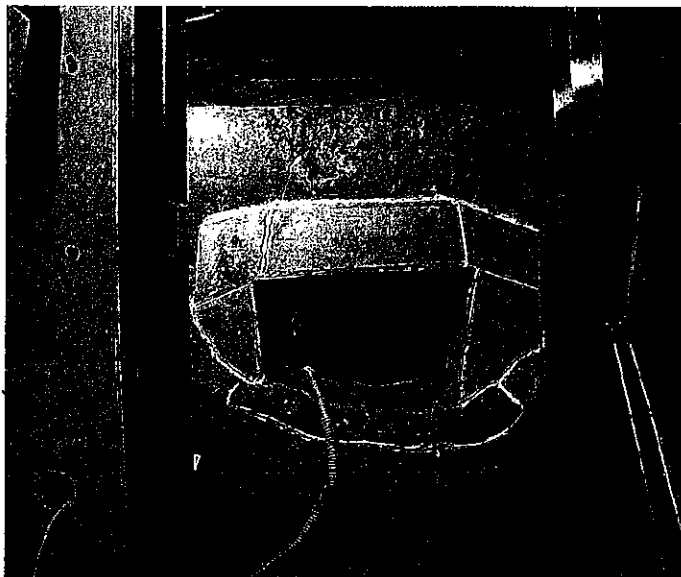
なお、参考資料三には発見当初から現在までの微生物の状況と、どのような処置がなされてきたかが時系列上にまとめられている。特に七ページ以降には、平成十五年三月以降の夥しい虫の侵入や、湿り気が多いと活性化するカビの発生状況が生々しく記録されている。

石室内のカビ対策は現在最も重要であり、このまま放置するとカビの生育は止まらず、緊急事態と考え、早急に抜本的な対策が打たれねばならない。三名の微生物の専門家の所見(参考資料五)はいずれも、現状のままでは有効な生物対策はないとする見解で一致し

ている。参考資料五の六―八ページには、上記の微生物の問題についてわかりやすい説明がなされている。

矛盾する生物対策と劣化対策

高松塚古墳壁画の保存対策の難しさの一つは、有効性の高いカビ対策を打とうとすれば漆喰層および人間の健康に対する脅威となり、漆喰層を強化しようとするれば、人が入ること、温度が上がることで、酸素を供給すること等々でカビを活性化させる結果となるという矛盾に陥る点にある。



前室より石室を望む

資料三の六ページからの「2. 壁面の状況」については、漆喰層の物理的損傷の深刻さと多様性についての詳細な調査結果の概要であり、詳しくは参考資料二に、多くの細部の拡大写真とともに観察結果がまとめられている。漆喰を塗布した当初の漆喰表面は平滑であったはずが、これほど多くの箇所ですく陥没し、崩落し、ひび割れ、波のような皺が表面に生じているのは、何百年もの間にゆくりと進んだ劣化の痕なのであろう。

参考資料六は、漆喰層が、通常の環境下にあるものに比べていかに脆い状態になっているかを客観的な数値で示した資料である。電子顕微鏡で拡大すれば同資料三ページの写真9にみるように間隙の多い粒の集まりのような極度の脆弱化を起しているのがわかる。資料三の一ページの写真2-7にはカビの菌糸が漆喰を破壊する様子が捉えられている。カビは弱った漆喰を物理的に破壊するのみならず、菌糸の先から代謝物を分泌して化学的にも劣化させる。このように、高松塚古墳壁面の漆喰層は激しい劣化を起しており、キトラ古墳壁画と比べても格段に脆弱である。

石室の石組みのゆるみと石材の強度調査

資料三の二ページからの「3. 石室の状況」については、石材である凝灰岩の劣化、および石室構造の力学的解析についての項目であるが、本項目については、この後に開催された第四回恒久保存対策検討会で、切石の強度が測定され、劣化が進んでいること、切石の間にかんりの隙間が生じており、石組みにゆるみ、傾きが認められることが報告された。天井石に深い亀裂が生じていることは発見当初からわかっているが、その強度について現在もなお調査が続けられており、大きな地震がくれば倒壊もありうる危険な状態であることが解明されつつある。

このことは、石室には密閉性がないという参考資料一六の空気漏

洩量調査の結果について、石室構造のゆるみと傾きが一つの要因として挙げられることを裏づけている。

また、石材は劣化しているものの解体修理における解体工程での一連の作業には充分耐えうる強度であることが示された(第四回恒久保存対策検討会資料四一二)。

墳丘周辺土壌と水分分布

資料三の一五ページからの「墳丘の状況」については、石室周辺の地盤の含水率分布を調査した結果、多量の雨により土壌含水率が影響を受けること、石室東側から北側にかけて含水率の高い土壌が分布していることが示されている。一八ページの図4-1が東側、一九ページの図4-2が西側の体積含水率変化を示しており、両者を比べると、東側のほうが降水量変化(同図4-3)に応じて変化が大きいため、また平成十五年九月後半に遮水シートが掛けられた後に東西ともに変化が徐々に低下していることがわかる。これは遮水シートにより雨水の浸透が有効に止められていることを示している。東側に含水率の高い土壌があるという指摘は、平成十四年に黒いカビが発生した石室の東側壁が、より湿っていることと対応している。

植生の影響

墳丘部の植生の変遷は参考資料七にまとめられている。基本的には墳丘上の樹木の根は石室に大きな影響を与える存在とはなりくいこと、それにもかかわらず壁面発見時に石室内に垂れ下がっていた樹根の侵入経路と、そうなった理由を版築の厚さの観点から確認する必要があると指摘されている。この点は後述する発掘調査における地震の亀裂の発見で、亀裂内部に充填された柔らかい土壌中に根が侵入しているという推測が可能である。

墳丘の水収支

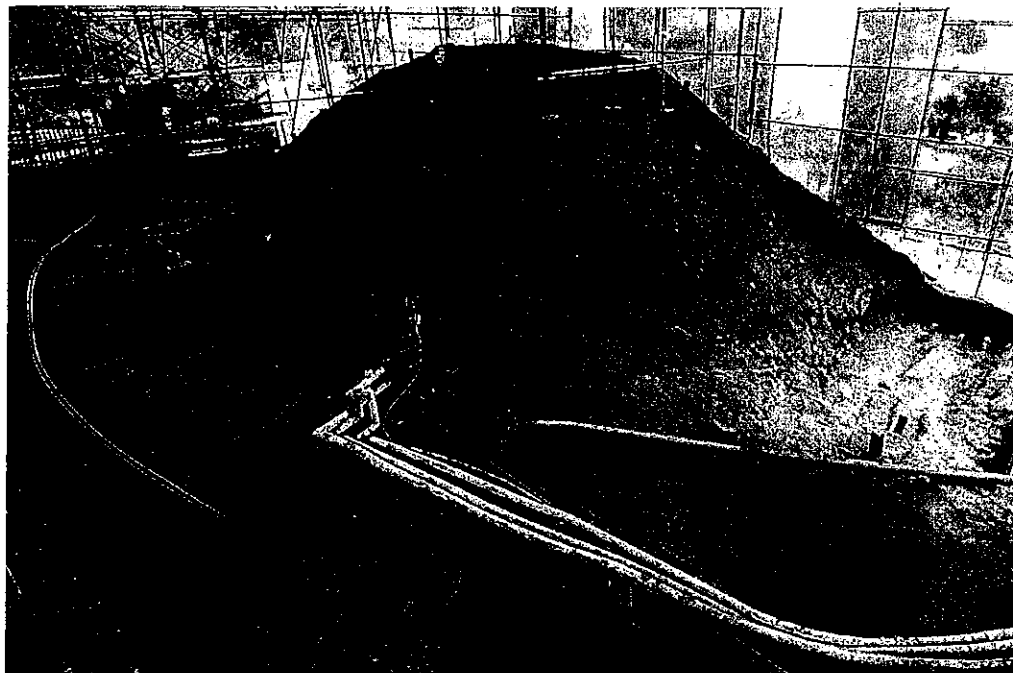
墳丘には降雨によって水分が供給され、降雨量から古墳表面からの蒸発によって失われる量を差し引いた量の水分が地中に浸透している。参考資料八では、遮水シートをかける場合と、墳丘を植生が覆っている場合を比較して、遮水シートのほうが雨水の浸透を防ぐため墳丘内部の水分増加を抑えることができることを計算で示している。

墳丘の損傷と亀裂の発見

資料三の二二ページからは「発掘調査の成果」として、発見時の発掘以来、初めて行われた本格的な発掘調査（平成十六年十月一日～平成十七年三月三十一日）の概要がまとめられている（参考資料九）。参考資料九の五ページに発掘調査成果が示されており、墳丘は中世に大きく削られていることがわかった。したがって、石室は中世以降、降雨や気温の変化といった気象の影響を受けやすくなったことが予測される。この他に発掘では墳丘北東部の土中水分の多い理由が、同地域における透水性の低い灰白色粘土地山であること等、さらに地震に伴う墳丘の亀裂や断層が多数発見され、（二一～二三ページの写真および図参照）亀裂の内部に柔らかい土が充填しており、亀裂に沿って植物が根を張っている状況も確認された。こうした亀裂が上記の雨水の浸透や、石室内への虫の進入経路となった可能性が指摘されている。

版築に予測される損傷

今回の発掘調査により、従来、コンクリートのように固いといわれてきた版築に多くの亀裂が生じていることが明らかにになり、これまで記録されてきた雨水の流入、植物の根の侵入、ひいては多数の



調査区全景（墳丘北半分）

虫の侵入を許す理由が考えられるようになった。残念ながら、これ以上の発掘は石室の環境に影響を及ぼす可能性が高いため、見送られた。なお、本参考資料の末尾には地震考古学の専門家と地盤工学の専門家がともに、将来起こりうる地震により、亀裂の拡大のみならず、墳丘の一部や壁面が破損することも考慮する必要があることを指摘している（参考資料九の一四～一六ページ）。

気象環境と温暖化の影響

資料三の二四ページからは、「6 周辺の環境とその影響」について、高松塚古墳に対する気象環境の影響を説明する。まず二七ページの図6-1に一九八〇年後半ころから平均して一度の気温上昇がみられる。平成二年以降、まとまった雨が降る日数が増加している（二九ページ図6-4）。三〇ページ図6-6によると、石室内気温も一九八〇年後半から上昇し、平成十二年ころには最も気温の高い月の温度が摂氏一九度を超え、カビが成長しやすい環境となっている（下記参照）。平成十六年の夏は平年を平均値で一度上回る暑い年であったが、カビの発生はひどくなり、このときダニが壁面に発見されている。

地球温暖化に関する予測によれば、一〇〇年後の地球の平均気温は四度上昇し、周辺環境が石室内部に与える影響はさらに厳しくなることが指摘されており、現状での壁画の保存はより難しくなることが予測されている。

より大きな環境への墳丘の位置づけ

以上、検討してきた諸要因を図2に示した。高松塚古墳壁面を取り巻く環境を、気象から墳丘の内部へと検討するならば、堅固な版築が護っていると考えられてきた石室は墳丘にみられた亀裂や断層を通じて、温暖化による気温上昇、空気の入入り、大雨の際の雨水

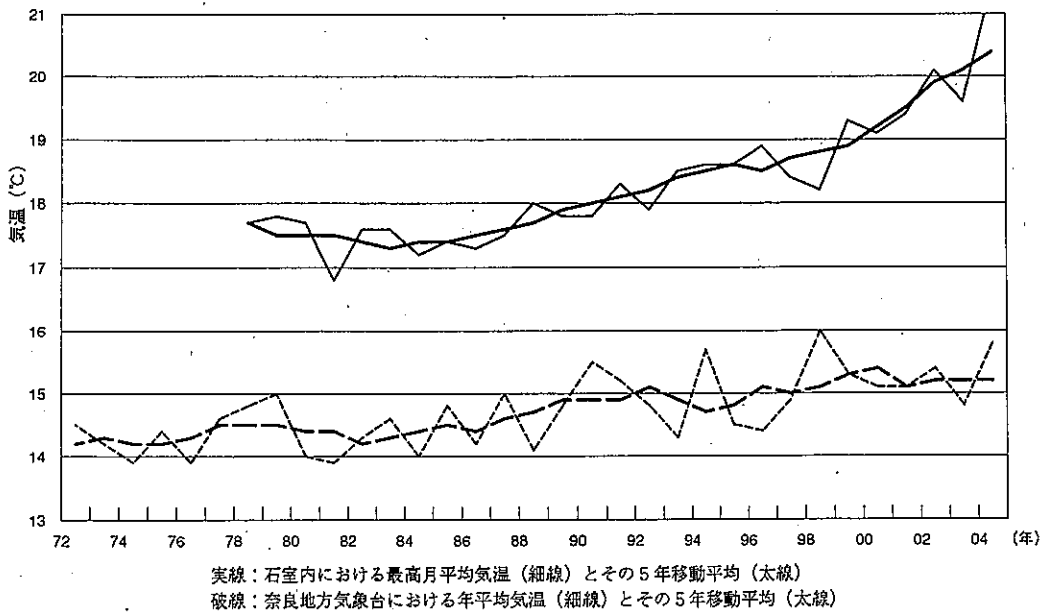
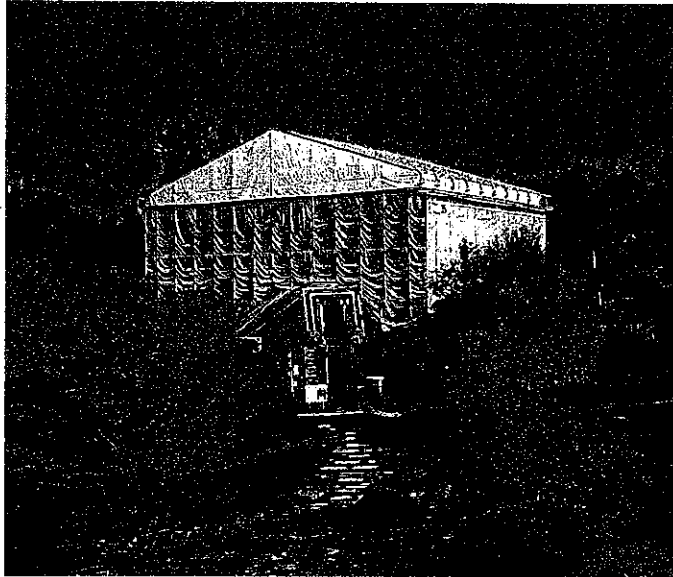


図1 高松塚古墳石室内における最高月気温の経年変化（第3回恒久保存対策検討会資料3の図6-6より）



新仮設覆屋の完成した高松塚古墳の現状 (10月現在)

の浸入およびカビやダニを媒介する虫の侵入の影響を、今後も受け続けることが予測される。石室を構成する切石そのものも劣化して強度が減少しており、石組みにはゆるみや傾きが認められる。漆喰層は空隙が多く粉状化している。侵入してくる虫や雨水によってカビが生育し、ダニと食物連鎖をなしている状況も把握された。

さらに、壁面の点検のため石室に入室する人間は、細心の注意を払っても呼気や体表から発散する有機物と細菌、体温による室温の上昇と漆喰層の結露をもたらし、壁面に塗布した薬剤は長期的にはカビの栄養となる(参考資料五の六、七ページ)。皮肉なことに人間の

入室は、カビの発生が多いほど頻度と滞留時間を増加し、悪循環に拍車をかける。だからといって石室に入室して点検を行わなければ、カビによる壁面の汚損に対する処置ができなくなる。

このように気温上昇から雨水、餌であるカビを求めて石室内に侵入したダニにいたるまで、石室内の環境はもはや外界と遮断されてはいない。相互に密接に関連する諸要因によって連続的な環境が形成されている。したがって、多様な劣化要因に対する対策もこのような環境のつながりを踏まえて立てていくことが必要となる。

以上の現状を踏まえると、壁面の安全な保存のためには、

- ① 壁面の維持・保存管理に必要な環境制御の実現
- ② 壁面の修理・強化

の二点が必要となる。これらを可能とするのが、どのような対策で

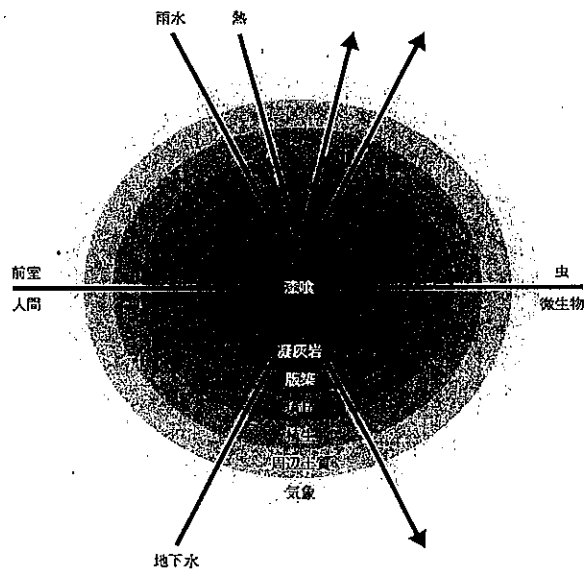


図2 高松塚古墳壁面を取り巻く環境(イメージ)



冷却管、断熱シートの設置状況

あるのかをあらゆる点から検討したのが資料四の恒久保存対策方針案の五つの案である。資料四を閲覧していただくと、各対策案の項目は資料三と同様に石室内から外への順序で配列されており、対策案の有効性を生物対策、劣化対策、石室内の環境対策という三項目に分けて検証している。このような観点からみるならば、しばしば唱えられる「石室を埋め戻して自然の力に任せる」という提案は冒頭に述べた入室対策の範疇でしかない。空気のみならず、水分や、体長一センチメートルを超す虫までもが侵入してくるほど人間以外の影響が観察されている以上、石室の環境は外界の影響をすでに大

きく受けるようになっているのであるから、真の意味での密閉性を取り戻すことは、上述したように傷ついた土木構築物である版築と石室には残念ながら、もう望めない。

したがって、壁画はいったん墳丘から取り出して殺菌、修理することが必要であり、同時に墳丘には版築に期待された機能を備えた施設、すなわち外界からの水分、虫、気温変化によるいづれの影響も遮断できる施設を建設して、そのなかに保存することが必要となる。資料四の恒久保存方針案中で、その条件を備えているのは第四案である。

恒久保存方針の採択

膨大な調査研究資料をもとに、第四回恒久保存対策検討会で採択されたこの第四案は、石室ごと壁画を古墳より取り出し、適切な施設において保存修理を施し、将来的には壁画と石室を、カビが生えない温湿度に管理した現地に戻すことを念頭においた方法である。現状の大きな変化を伴うが、壁画の生物対策、環境対策、保存修復については有効であると考えられる。実現性については多岐にわたる技術的問題を充分検討する必要があり、現在実施工程案が作成されようとしている。

できれば、特別史跡である墳丘を傷つけず保存するのが最良であるが、残念ながら、墳丘の現状は貴重な壁画の保存にこれ以上耐えうる状態ではない。

本年九月初めに開始された当面の生物対策としての墳丘冷却は一か月を経過し、例年温度が上昇を続ける十月初めの時期に、温度計はわずかずつであるが、下降を示しはじめている。来年度末には石材は仮設修理施設へと運ばれることとなる。

(文化庁美術学芸課絵画部門)