

# 高松塚古墳の微生物調査の歴史と方法

木川 りか・佐野 千絵・三浦 定俊

## 1. はじめに

高松塚古墳は昭和47年に発見され、当時、文化庁によって組織された保存対策委員会により、その保存と修理の方法について慎重な検討が重ねられた。その結果、壁画は現地での現状保存が妥当であると判断され、修理事業のための保存施設が建設された<sup>1)</sup>。公開については、保存科学的な観点からみて非常に困難であると判断され、模写の作成と壁画の修理が行われた<sup>1)</sup>。

古墳の環境を鑑みると、カビなどの微生物による被害は壁画に重大な損傷を与える劣化要因となり得る。この見地から、当時もフランスやイタリアなどから壁画の保存に経験のある専門家の派遣を受け<sup>1)</sup>、保存方法に関して慎重な検討が行われた。本稿では、高松塚古墳の微生物調査の歴史と近年の経緯をあわせ、そのときどきでとられた方法を概括し、今後の対策のための基礎資料としたい。

## 2. 高松塚古墳の発見から初期の調査に至る時期

### <初期の微生物調査>

初期の微生物調査についての概略が、新井により報告されている<sup>2)</sup>。これを以下に引用すると、

「高松塚古墳石室の微生物学的環境調査は、当初、落下法によって微生物の計測・採集が行なわれた。その結果は、石室内の微生物数が著しく高い値を示し、かつ、ばらつきが認められた。これは、次の理由によるものと推定される。すなわち、(1) 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。(2) 石室内には、盗掘口から出入りするので、土壌が入りやすい。」

したがって、初期には調査に伴い、外気の流入や人の出入りによって、石室内の微生物数は高い状況にあったことがわかる。

### <フランスの専門家の所見>

昭和47年の秋の学術調査において、文化庁は当時フランスのラスコー洞窟の保存に経験の深かったY.M.フロアドヴォ教授とJ.ポシヨン教授を招へいし、調査を依頼した。その所見を関野、三浦による要約<sup>3)</sup>をもとに、紹介すると、

- (1) 石室内温度と湿度は季節的安定を保つこと。
- (2) 壁画面の結露は絶対に避けること。
- (3) 炭酸ガスの増加は避けること。
- (4) 微生物、緑藻類とカビの計数と性質の究明が大切であること。
- (5) 殺菌剤・除草剤の使用については、完全消毒後に薬剤が残留しないよう量を制限すること。

さらに、設備については、

「石室に隣接した2つの前室が必要であること、殺菌剤は使用する前に顔料に対する影響を

実験しておくこと」などの示唆が加えられている。

また、壁画自身の保存について

「壁画は傷みが大きいので、一度剥がして強化し移しかえをするのがよいと思われる、この作業を学ぶため欧州に日本から専門家を派遣すること、同時に欧州から熟練者を日本に招致すること」などの要望が加えられた。

### 3. 保存施設の設計から壁画の修復にいたる期間

#### <保存施設の設計、建設と壁画の応急処置>

壁画の修復に際しては、昭和48年に壁画の修復に多くの経験を有するイタリアの専門家、モーラ氏夫妻が招致された<sup>4)</sup>。その結果、モーラ氏によって建言された恒久保存の方針は、現状での修復が可能であることを前提として、壁画の現状保存を強く主張するものであった。

昭和48年のモーラ氏夫妻の在日期间中に、当面もっとも危険と認められる箇所に対してのみ、応急補強処置が施されたが、本格的な壁画修復作業は、昭和51年の保存施設の完成をまって行なわれることになった<sup>4)</sup>。

この方針にたつて、フランスからの専門家の示唆により、前室A、Bとさらに準備室を加えた保存施設が設計された<sup>3)</sup>。石室内の環境の保全のため、前室や準備室で温度を保持し、炭酸ガスを排除して無菌の清浄な空気を循環させる装置が必要とされた。

関野、三浦による石室内の気温、湿度、炭酸ガス、微生物などについての記録<sup>3)</sup>によると、微生物については「人によって外部から持ち込まれる微生物を排除するため、前室Bで清潔な作業衣に着替えることを実施し、しかも閉塞時にパラホルムアルデヒドを一、二瓦ずつ数か所に残置し、滅菌をした。緑藻類の侵入は認められなかったが、春から秋にかけて石室を閉鎖した折に、木製の板戸が一緒に埋めこまれていた不注意から、開口時に黒い菌糸の蔓延をきたし、その一部が石室天井にも及ぼんとしていたのには驚いた。これとは別に天井の一部に黴の黒い斑点も発見されている。これらは発見と同時に局部的な殺菌を行った。」とある。

#### <壁画面に存在するカビ>

保存施設の建設期間中の昭和50年3月以降、壁画面に存在するカビの調査が行なわれた<sup>2)</sup>。その記録によると、壁画面に定点を設け、この表面の微生物を滅菌綿で採集し、壁面の微生物相が調査されたとのことである。その結果、昭和50年3月以降、*Doratomyces* sp., *Fusarium* sp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp.などが分離され、そのほか、*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp.なども若干認められたと記録されている。

さらに、昭和55年2月の時点では、「天井に付着させておいた和紙の表面、西壁の上部、北壁の右上の灰色化が感じられ、石室内に*Doratomyces* sp.が広い範囲にわたって増殖していると考えられた。」と記述されている<sup>2)</sup>。

この対策として、虎塚古墳ではパラホルムアルデヒドが配置されていることや、フランスのラスコー洞窟の緑藻の処理には、ホルマリン水溶液が使用されていたことを参考に、パラホルムアルデヒドの配置、もしくは、パラホルムアルデヒド燻蒸が行なわれた<sup>2)</sup>。

昭和60年9月にパラホルムアルデヒド燻蒸が実施され、昭和61年7月の点検時に微生物調査が再度行なわれた結果では、これまで石室で優位を保っていた*Doratomyces* sp.が姿を消し、代わって*Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp.などのカビのほか、放線菌のActinomycetesというホルマリン燻蒸に耐性を示すものが、主な微生物相を形成するようになったことが報告されている<sup>2)</sup>。

また、石室に生息している微生物が検出されることについては、「土壌と連結している多湿

な埋蔵環境は、これを完全な無菌状態にすることは不可能といってよい。未発掘古墳でも無菌状態ではなく、その空間には微生物が生息している。ただし、それらの微生物が壁画面に繁殖せず、劣化要因となっていないことに留意すべきである。むしろ、微生物が皆無の状態の方が、異常な環境と考えるべきであろう。」と考察されている<sup>2)</sup>。

#### <前室のカビ>

「準備室の床下の凝灰岩の方形石があり、この表面に白色綿毛上のカビが発生した。*Fusarium* sp.と*Trichoderma* sp.が分離された。取り合い部の東壁土壌表面に白色集落が発生した。*Vertillium* sp.と*Penicillium* sp.が分離された。取り合い部の盗掘口の左右に広がる黒い束上の菌糸を調査すると、*Cladosporium* sp.であった。本菌は、壁面に悪影響を及ぼすので、殺菌処理する必要がある。」と記録されている<sup>2)</sup>。

### 4．壁画の修復後

長期間閉鎖していた後、石室に入室する時には、カビ・バクテリアの有無など生物学的調査が行われ、再び石室を閉鎖する時には、常に適切な処置が行なわれるよう、管理がなされてきた<sup>3)</sup>。

壁画の修復が終了して以降は、通常、毎年3月に文化庁・美術学芸課（前美術工芸課）の担当官および東京文化財研究所（前東京国立文化財研究所）の職員による定期点検が実施され、その際に微生物の目視調査と、潜在的に存在するカビを調べるため、壁面の決められた場所（観測定点）の拭き取り・培養が行なわれてきた。また定期点検最終日にはパラホルムアルデヒド燻蒸が実施された。

### 5．近年の状況

筆者は、平成6年以降、培養による調査を主に担当しており、その結果と現地の調査記録をもとに、以下に近年の状況について述べる。

これまでの観察所見と培養結果から、平成12年までは微生物については、これまで通り望ましい「均衡」が保たれていた状況（すなわち常在菌は存在するが、被害は起きない状態）にあったと判断される。

この間、石室内には目視でみる限り、例年、顕著なカビの集落等は見あたらず、良好な保存状態にあると考えられた。石室入口の盗掘口をふさぐプラスチックカバーには、時にカビの菌糸らしい直径数mm程度の白い小塊が数箇所観察されたが、大きな異常はみられなかった。

観測定点からの培養については、下記の6点において壁面を滅菌綿棒で静かに拭き取り、1.25%麦芽寒天培地に塗抹して、室温で7日間培養した。その結果、例年石室内では、ほぼ同じ種類のカビが培養により検出された。観測定点については、従来から設定されていた場所を定点として、そのまま踏襲した。

もっとも主要に検出されるのは、1種類の*Penicillium* sp.であり、その他、*Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Trichoderma* sp.等が例年、若干認められていた。これらは、石室内の常在菌と考えられ、大きな問題はないと考えられた。

#### 観測定点

- A．石室入口プラスチックカバー上（石室外側）のコロニー
- B．石室奥壁（A壁）玄武の尾と身体との下

- D．石室西壁（E壁）黄色の衣装の女子像の裳の下部分
- E．石室西壁（E壁）白虎の顔外側
- F．石室東壁（C壁）青龍前足部分
- G．石室南壁、盗掘口の真下

定期点検の最終日に行われるパラホルムアルデヒド燻蒸は、昭和60年から行なわれている方式に従って、行なわれてきた。しかし、この方法では、薬剤を気化したのちに石室に送るダクトで薬剤が再結晶するため、実際に石室へ到達する薬量は多くない。従って、平成14年以降は、この燻蒸方法の再検討が行なわれることとなった<sup>5)</sup>。

## 6．最近の古墳の環境の変化と微生物の状況

平成12年ころから、石室手前、取り合い部の空間で、墳丘の植物の根の影響と考えられる取り合い部の天井部分の土の崩落や、雨が降ったあとの調査において取り合い部の天井部分より水がしたたっているような状況が報告され始めた。

この状況を受け、平成13年2月に、取り合い部の盛り土部分の補強工事（補強、樹脂処置）が行なわれた。しかし、その工事の後、補強された擬土の部分や、土部分を中心にカビが発生した。

そこから検出された主要なカビは、*Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp.などで、石室内で例年検出されるものとほぼ同様のものが多かった。しかし石室内の調査では近年は検出されていない*Cladosporium* sp.やそのほかの不明種などもみられたため、監視を継続し、パラホルムアルデヒドによる燻蒸と、消毒用エタノールによる除去を行った。除去後の拭き取り調査では、カビはほとんど検出されず、殺菌、クリーニング直後は、少なくともカビが除去されたことが確認された。

しかし、消毒用エタノールによる殺菌処置をくり返しても、しばらくするとカビが再発する現象が続いた。この原因としては、樹脂等の添加によってカビが生えやすくなっている可能性と、相対湿度90%～100%と、カビにとっては生育にもっとも至適環境であることが挙げられ、カビの生育をにわかに抑えることは困難であった。

従って、取り合い部の樹脂処置部分のカビについては、殺菌に続いて、なんらかの防カビ対策を講じる必要があると判断された。

このとき、すでに擬土部分には工事の際に樹脂が塗られていたため、上から防カビ剤を練りこんだ樹脂を上塗りし、塗膜を形成することによって、間接的にカビの発生を減らす方法が考えられた。

しかし、防カビ剤の塗膜を形成させて、通気性を完全に妨げると、その後の石室の保存に影響が出ることも懸念されたため、当時の判断では通気性を維持する樹脂濃度で防カビ剤を使用せざるを得なかった。また、高湿度環境での防カビ剤自体の劣化を考慮すると、完全な防止法とはいえなかった。

平成13年9月に取り合い部の殺菌処置に続き、防カビ剤による取り合い部の処置が行なわれ、取り合い部の浮遊菌レベルを調査して、浮遊菌数が十分に低いことを確認したうえで、石室内の調査が行なわれた。石室をあけてみると、ところどころカビの発生が確認された。彩色のある部分には確認されなかったのが幸いであり、エタノールをベースとした殺菌剤を含ませ、丁寧に除去作業が行われた。

平成13年12月に行なわれた調査では、取り合い部のカビの発生度はやや少なくなっ

ものの、十分に抑えられたわけではなく、石室内においても、カビの発生が確認された。このとき、取り合い部及び石室内から採取したサンプルの培養検査により、石室内に褐色の厚膜胞子を形成する *Fusarium* sp., *Cylindrocarpon* sp. や、黒色を呈する *Gliomastix* sp. が検出され、消毒用エタノールやパラホルムアルデヒド燻蒸による念入りな殺菌作業が行われた。この時点では、石室内に目だった黒い変色はみられなかった。

その後しばらくは、取り合い部、石室内部ともにカビの発生はごくわずかで、落ち着いた状況がしばらく続いた。

しかし、それから約10ヶ月後の平成14年10月の調査において、これまでとは、明らかに異なる状況が発生した。それは、石室内に多数のムカデ、アリ等の虫が生きたまま侵入していたこと、石室がこれまでより湿っているように感じられたこと、さらに石室内壁面にカビが原因と考えられる黒い痕が発見されたことである。しかし、既に黒色の原因となったと考えられるカビは採取時点で死んでいたため、この時点の培養検査では原因菌の正確な同定はできなかった。

このとき、カビのみならず、多数の虫が石室内に侵入していたことを受け、墳丘の枯木の処置や雨水対策が緊急にとられた。その対策については、文化庁の報告に詳細が述べられている<sup>6)</sup>。

墳丘の雨水対策がとられた結果、現在、石室内のカビについては、ほぼ問題のないときの常在菌のレベルに押さえられている状況にある。

石室内の水分量についての調査結果は、他の報告<sup>7)</sup>に詳しいが、墳丘上の枯木の根などを通じて水や虫などの通り道ができた可能性も考えられ、雨水が墳丘へ浸透しやすい状況になっていた可能性がある。今回のカビの発生については、取り合い部の影響に続いて、こうした墳丘全体の環境変化による石室内の水分状況の最近の変化が反映されている可能性が考えられる。

## 7. まとめ

古墳環境において、カビなどの微生物がまったく存在しないというような状態は、まずあり得ない状況である。壁画をこれまで通り石室内で保存していくためには、微生物は存在はしても、壁画には悪影響を与えないように均衡を保った状態を維持していくことが、非常に重要である。この意味では、現在とられている墳丘そのものの雨水の管理とともに、カビの原因となる栄養源、汚染源を内部にもちこまないよう、これまでも増して細心の注意が払われる必要があると考える。古墳内外の環境の変化により、いったんは、崩れかけた古墳内の微生物のバランスが、現在、さまざまな努力により、再び回復しつつあるように見受けられる。フランスのラスコー洞窟の教訓や、それに続いて発見されたフランスの洞窟壁画の保存の例など、世界の事例にも学びつつ、高松塚古墳発見以来、およそ30年間に起きたことを記録し、その状況から学んだ事柄をこれからの保存に生かしていくことが、保存に携わる者の使命と思われる。

## 引用文献

- 1) 文化庁：『国宝 高松塚古墳壁画 - 保存と修理 - 』（1987）
- 2) 新井英夫：高松塚古墳壁画の微生物学的環境とその対策，『国宝 高松塚古墳壁画 - 保存と修理 - 』，文化庁，186 - 196（1987）
- 3) 関野克，三浦定俊：高松塚と保存対策，月刊文化財，230，4 - 11（1982）
- 4) 濱田隆：高松塚古墳壁画の修復について，月刊文化財，230，12 - 18（1982）
- 5) 佐野千絵，間瀬創，三浦定俊：国宝・高松塚古墳壁画保存のための微生物対策に関わる基礎資料 - パラホルムアルデヒド実空間濃度と浮遊菌・付着菌から見た微生物制御 - ，保存科学，43，95 - 105（2004）
- 6) 文化庁監修：『国宝 高松塚古墳壁画』，中央公論美術出版，（2004）（印刷中）
- 7) 石崎武志，佐野千絵，三浦定俊：高松塚古墳石室内の温湿度および墳丘部の水分分布調査，保存科学，43，87 - 94（2004）

キーワード：高松塚古墳(Takamatsuzuka tumulus)；古墳(tumulus)；微生物(microorganisms)；カビ(fungi)

## Past and Present Situation of Microorganisms in Takamatsuzuka Tumulus

Rika KIGAWA , Chie SANO and Sadatoshi MIURA

Takamatsuzuka tumulus was found in 1972 . The entire tomb was designated as a Special Historic Site and the mural paintings as a National Treasure . It is one of the rare and surprising examples of conserving beautiful mural paintings on site , in the tomb underground in this case . In this report , situation of microorganisms today as well as in the past in the tomb is described .

In 1972 , the Agency for Cultural Affairs invited specialists from abroad , including two specialists who had been involved in the conservation of Lascaux cave in France . They gave advice on biological aspects of conservation strategies . Specialists on the conservation of mural paintings were also invited from Italy . According to their advice , it was determined to maintain the mural paintings in the original cave , and to design and construct a special facility adjacent to the tomb for the restoration of the paintings . In 1975 , the tomb was fumigated with paraformaldehyde since a kind of fungi ( *Doratomyces* sp. ) was dominant . After that , annual inspections have been performed , and microorganisms inside the tomb have been examined by gently wiping several check points with sterile cotton and subsequent culturing on media . Potential microorganisms have been detected each time , but they have not affected the mural paintings . This suggested a good balance inside the tomb .

However , after 2000 , changes in environments around the tomb became obvious , and moulds started to invade inside the tomb . Change in the state of soil surface by repair work outside the room of the mural paintings and the overall change in the state of water content in the mound seemed to have affected conditions in the tomb . But now by some remedial strategies , including blocking rain water from penetrating into the mound , the tomb seems to be recovering its good balance again .