

## 〔報告〕 キトラ古墳における菌類等生物調査報告 (3)

木川 りか・佐野 千絵・間瀬 創・三浦 定俊

### 1. はじめに

キトラ古墳は、高松塚と同時代の壁画を有する古墳であり、2002年に文化庁により調査のための覆い屋が建設され、2004年に石室の発掘が行われた。その後、現在に至るまで壁画の取り外し・保護作業が進められている。前報<sup>1,2)</sup>において、2003年から2005年までのキトラ古墳石室等における微生物等の状況を報告したが、本報告では、2006年の状況をまとめる。

### 2. 2004年から現在まで

2004年1月末から開始された石室内の調査、発掘、壁画の取り出し・保護作業に伴い、2004年3月以降、石室入り口や石室内にカビは継続的に発生している。しかし、週2回のカビ等の点検・殺菌作業を奈良と東京の文化財研究所で受け持ち、壁画への被害拡大を抑制する最大限の努力が続けられている。これまで、主要なカビ等の種類を調査するとともに、壁画にできるだけ影響の少ない薬剤を選定し、念入りに局所的な殺菌作業を行ってきた。しかし、相対湿度が100%に近い高湿度の石室内で微生物の繁殖を抑制することは非常に難しく、石室内の微生物の多様性は徐々に増していつているように見受けられる。2005年夏以降には、バクテリアを主体としたねばねばしたゲル状の物質（バイオフィーム）が壁画を覆うように発生し、さらにその物質を基盤としてカビなどの菌類も繁殖しやすい状況となった。また、2005年に石室内の漆喰のところどころに穴が生じ、拡大していく現象が確認された。

現在、できる限り早期の壁画の取り外し・保護作業が進められているなか、少しでも微生物による劣化を遅くするため、新たに抗菌剤の使用なども検討された。

### 3. 壁面のバイオフィームについて

2005年8月頃から壁面のバイオフィーム（バクテリアと菌類の混生体で、主にバクテリアの産生するゲル状物質に覆われたもの）が顕著に発達しはじめたため（写真1, 2）<sup>2,3)</sup>、同年9月以降、十二支、寅の一部など可能な部分のバイオフィームは除去し（写真1）<sup>2,3)</sup>、また除去が不可能なところの対策として、バイオフィームを形成する微生物（グラム陰性細菌など）に有効な抗菌剤（ケーソンCG相当品<sup>注)</sup>）の使用可能性について検討してきた。

キトラ古墳から分離された主なバクテリアや菌類に対するこの抗菌剤の効果を調べたところ、とくにバクテリアに対してきわめて高い抗菌効果があることがわかった<sup>4)</sup>（2006年4月）。そこで、場合に応じて、絵のない箇所にケーソンCG相当品の使用を検討し、バイオフィームの抑制に有効であることを確認した（2006年6月、北壁）。しかし、絵画の上への抗菌剤の使用は差し控えていた。

ところが、2006年8月ごろから、南壁、朱雀の絵の上に、白い粒状のゲル状物質が顕著に発生するようになった（写真3, 4）。キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会委員の杉山純多博士の観察によると、「この白色ゲル状のものは、多種類の菌類、バクテリアの混生体（バイオフィーム）と判断される」とのことであった。ゲル状の物質が、絵画を汚損して

注) ケーソンCG相当品: アモルデン FS-14D (大和化学工業株式会社)  
有効成分 5-クロロ-2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オン, 2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オン  
原液には、それぞれの成分がおよそ1.0-1.3%, 0.30-0.42%含まれる。



**写真1** 2005年8月19日の寅（左）および2005年9月のクリーニング後の寅（右，撮影日：2005年10月13日）



**写真2** 左：2005年9月2日朱雀部分の様子 右：2005年9月29日 朱雀の上のゲル状の汚れ（滅菌水で膨潤させて動かしたところ） および尾羽の上の穴  
この部分は、漆喰が脆弱なためバイオフィルムが除去できない。



**写真3** 2006年8月4日の朱雀の様子

**写真4** 2006年8月25日の朱雀の様子  
(この後、白粒部分をケーンCG相当品10倍希釈溶液で処置)

いく深刻な事態が懸念されたため、絵を保護するまでの間、絵画の上にも抗菌剤を使用する必要性がでてきた。

そこで、この白色粒状のゲル状試料を2006年8月11日に朱雀の近傍3箇所より採取し、抗菌剤(ケーソンCG相当品)の効果を検証した<sup>4)</sup>(2006年8月)。その結果、10倍希釈溶液でバイオフィーム原因微生物の生育抑制に有効と考えられる結果が得られたので、2006年8月25日<sup>2)</sup>、および2006年9月22日、白粒部分をケーソンCG相当品(10倍水溶液)にて処置した。その結果、それ以降はこのゲル部分の増殖は抑制されており、2006年12月現在、ゲル状物質によるこの箇所の被害の進行はみられていない。

#### 4. 漆喰の穴、および天井の漆喰の侵食について

2005年9月ごろから漆喰に穴が目立ってくる現象が観察された。とくに、天井部の顕著な穴2箇所(写真5)からは酢酸菌(*Gluconacetobacter* sp.)が分離されており、穴の生成に微生物の関与が強く示唆されている。この酢酸菌の分離株を使ってケーソンCG相当品の効果を試験したところ、有効に生育抑制できることを確認した<sup>4)</sup>。抗菌剤ケーソンCG相当品を注入したところ(2005年11月、南壁)では、あまり穴の生成が進行していないように見受けられる。

そのほか、天井部で漆喰の侵食がみられる箇所があり、漆喰が黒色化してねばねばした様子に変化し、剥離してくる現象がみられるようになっている(写真6)。このような部分に対しても、今後処置を検討している。



写真5 2005年9月29日 天井の穴(直径およそ1cm)の例

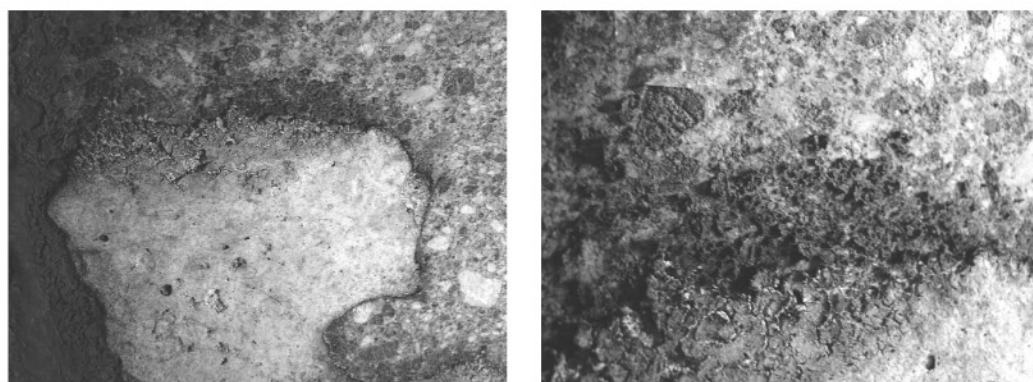


写真6 2006年2月3日 天井の漆喰の変化の例

## 5. 天井部の黒い菌類の発生について

2006年4月末から天井の天文図に黒い菌類（担子菌類）が発生した（写真7）。杉山純多博士による各試料の“黒粒”の顕微鏡観察と培養株の解析の結果、この菌類は、強固な菌核様構造体を作る担子菌門のアナモルフ菌類*Burgoa*属であると同定された<sup>3)</sup>。この強固な菌核様構造体のため、その処置についてはキトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会委員の高鳥浩介博士の助言に従い、点検の際、この菌類を発見した場合は、蒸留水を含ませた筆で除去し、その後、99.5%エタノールで発生箇所を殺菌処理している（資料1）。

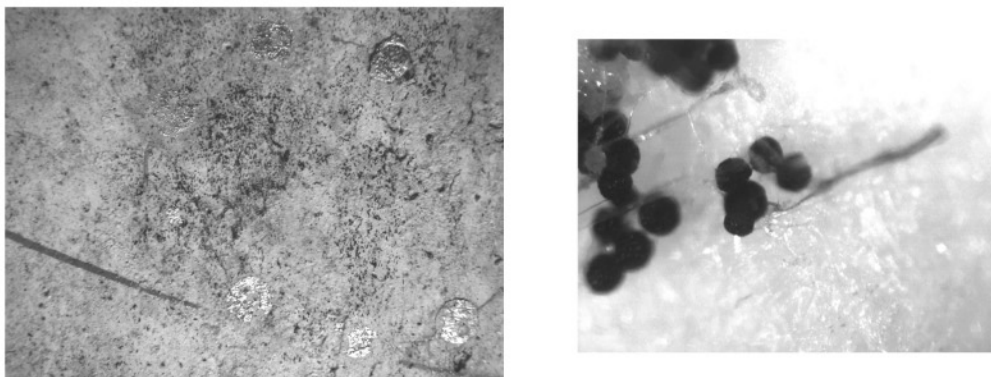


写真7 2006年4月28日 天井の黒い粒状の担子菌類およびその一部の拡大写真

### <資料1>

#### 薬剤処置、使い分けについての現時点での方針について（2006年12月）

特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会の高鳥浩介委員、および杉山純多委員らのご協力を得て、古墳のカビやバクテリアに対する薬剤の効果試験を実施してきた。その結果をもとに、現時点におけるカビやバクテリアに対しての殺菌処置の方針を再度整理した。

- ・古墳のカビはアルコールに強くなっているものがあるため、薄まると効果がない。使用するなら高濃度で使用する（エタノールなら、99.5%のものを使用）。
- ・カビには、イソプロパノールよりも、エタノールのほうが効果が高い。
- ・イソプロパノールは、一般的にバクテリアには効果があるが、カビへの効果はあまり高いとは言えない。
- ・ホルマリンは、1%では効果がない場合がある。3%～5%くらいで使用するほうが良い。
- ・ケーズンCG相当品は、バイオフィームの原因となるバクテリアを抑える効果は非常に高い。しかし、アルカリ性では安定性が悪くなる。

以上のことを考慮し、

- (1) 通常のカビの白い菌糸などが発生しているときは、99.5% エタノールで殺菌する。
- (2) 天井の黒い粒状のカビのように、菌核様の強固な構造をつくるものは、薬剤が効きにくいので、できる限り、物理的に除去したあと、残った菌糸部分を99.5%エタノールで殺菌する。
- (3) 除去しにくいカビの場合は、絵のないところについては、3%～5%ホルマリンと99.5%エタノールを、カビの強さによって使い分ける。
- (4) バイオフィーム（バクテリアと菌類の混合物、バクテリアのゲル状の代謝物により保護されている）については、薬剤がききにくい。除去できるならばそのほうが望ましいが、漆喰や絵画の状況を優先し、無理はしない。ケーズンCG相当品は、抗菌性試験の結果、バイオフィームの原因となるバクテリアに高い抗菌性をもっているため、バイオフィームの拡大を抑制する効果がある。必要と判断される場合には、10倍希釈のものを適宜使用する。
- (5) アルコールなどの薬剤の使用は必要最低限とし、被害がある部分やその周囲に限定するなど、必要に応じて局所的に使用する。

## 6. 壁面の微生物の種類について

2006年6月の石室内採取試料を杉山純多博士が分離同定した結果によると、南壁、朱雀の上の白色のバイオフィルムには、多種多様なバクテリアや菌類が含まれることがわかった。なかでも*Penicillium* sp. と同定された1種のカビについては、石室の常在微生物と考えられた。また、暗色系の*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. が、6月の時点で検出されている。その他、大部分の菌種(約8割)が、6月の調査で新たに分離されたものであり、石室壁面の微生物の種多様性は、全体として増していきっていると考えられた<sup>5)</sup>。

さらに、10月27日の点検では、暗色系の*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. が、黒色のすす状に、それぞれ北壁、東壁、南壁の3箇所が発生しており<sup>5)</sup>、99.5%エタノールで殺菌・除去処置を行った。黒色のカビなので、今後拡大しないように細心の注意が必要である。このような暗色系の*Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. は、高松塚古墳でも2006年以降、壁面に発生し、憂慮されている<sup>6)</sup>。

## 7. 処置と対策について

### 7-1. 現状での薬剤処置、使い分けの方針について

壁画を微生物の被害から守るために、できる限りの壁画の早期の取り外し・保護が切望されているが、それまでは、カビ等が発生する都度、殺菌・除去を迅速に行い、被害の拡大を最小限に抑えねばならない。微生物の多様性が増してきた結果、処置についても微生物の状況や種類によって、使い分けが必要になってきた。そこで、古墳から分離された菌株への薬剤効果試験をもとに、カビやバクテリアに対しての殺菌処置の方針と薬剤の使い分けを再度整理した(資料1)。

### 7-2. 墳丘への防水シート追加施工、小前室結露対策について

微生物の増殖をできるだけ抑制するために、雨水など、突発的な水の侵入の対策とともに、日常的な結露水などの対策が必要である。

雨水対策として、現在防水シートの張られていない墳頂部から保護施設にかけて、遮水シートを延伸した(2006年11月)。また、小前室天井の結露対策として、冬季11月～3月にかけて結露水が常時、天井石直上～侵入口上に落下するのを防ぐ目的で、小前室天井北側奥のコンク

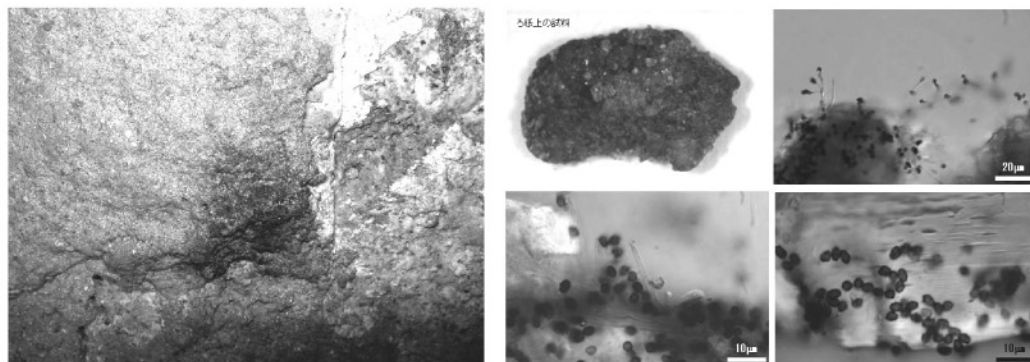


写真8 2006年10月27日 石室内の黒いすす状のカビの発生箇所(南壁の例) およびその拡大写真(光学顕微鏡観察像は、杉山純多博士提供)

リート部分に、ポリシロキサン樹脂に土壌を混ぜた擬土を薄く付加し、天井石への結露水の落下を防ぐ施工を行った（2006年11月）。

#### 謝辞

本報告中の微生物の調査、同定にあたりましては、特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会委員の杉山純多東京大学名誉教授（現テクノスルガNCIMB事業部学術顧問）、また、同調査研究委員会委員の高鳥浩介国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部長に多大なご援助をいただくとともに、壁画の処置や保存方針につきましても大変貴重な助言をいただきました。また、特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会ワーキンググループ委員の古田太郎サラヤ株式会社研究開発担当取締役には、微生物の除去法や薬剤につきまして貴重な助言をいただきました。記して心より感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 三浦定俊: キトラ古墳の前室および石室における菌類調査報告, 保存科学, 44, 165-171 (2005)
- 2) 木川りか, 間瀬創, 佐野千絵, 三浦定俊: キトラ古墳における菌類等生物調査報告(2), 保存科学, 45, 93-105 (2006)
- 3) 特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会(第9回)資料6, (2006)文化庁
- 4) 木川りか, 佐野千絵, 立里臨, 喜友名朝彦, 小出知己, 杉山純多: キトラ古墳のバイオフィルムから分離されたバクテリア・菌類に対するケーソンCG相当品(抗菌剤)の効果, 保存科学, 46, 39-50 (2007)
- 5) 特別史跡キトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会(第10回)資料2, (2006)文化庁
- 6) 国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会(第5回)資料5-2, (2006)文化庁

キーワード: 古墳 (tumulus); 菌類 (fungi); カビ (molds); バクテリア (bacteria); 抗菌剤 (antibiotics)

## Investigation of Biological Issues in Kitora Tumulus during Its Restoration Work (3)

Rika KIGAWA, Chie SANO, Hajime MABUCHI and Sadatoshi MIURA

Excavation of Kitora Tumulus started at the end of January 2004. Some parts of the beautiful and very fragile mural paintings drawn on a thin plaster layer had become detached. Thus it was decided to relocate the mural paintings and to restore them in a safe environment. This report describes the biological issues encountered during restoration works in 2006.

As we had reported in earlier reports, in the summer of 2005, a viscous gel (biofilm) developed on the plaster walls. Such biofilm was removed, where it was possible, but removal could not be performed to the places where plaster was very fragile.

In the summer of 2006, white gels of biofilm developed significantly on the south wall which had a very precious painting of a phoenix. The effect of a biocide (Kathon CG) was tested on samples of the biofilm and it turned out to be effective in preventing the growth of the biofilm. Therefore the biocide was applied to the biofilm where damage seemed serious. The growth of the biofilm seems to be inhibited now after the application.

In addition, holes on the plaster and loss of some parts of plaster became obvious. From some holes, potential acid producing bacteria such as *Gluconacetobacter* sp. were found. As the growth of an isolate of *Gluconacetobacter* sp. was effectively inhibited by Kathon CG in a laboratory test, the biocide was also applied to some holes.

Black fungi, such as the basidiomycetous fungus *Burgoa* sp. and the ascomycetous fungus *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp., were also seen on the walls. It seems that diversity of fungi and bacteria in the tumulus are increasing. Special caution and efforts are necessary during restoration works which will proceed for a while.