

キトラ古墳における菌類等生物調査報告（2）

木川 りか・間渕 創・佐野 千絵・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年から発掘が進められた。前報¹⁾において、2003年から2004年9月までのキトラ古墳における菌類等の調査結果を報告したが、本報では前報の内容を要約したのち、2004年後半から2005年までの状況を主として報告する。

2．発掘前の状況¹⁾

キトラ古墳の墓道部の発掘の準備に伴い、2003年夏以降、小前室内部、墓道部周辺墳丘土等にてカビが顕著に発生した。小前室内部は結露水でつねに濡れており、消毒用エタノールで処置しても、早晚カビが再発する状況であった。2003年9月に小前室から主に検出されたカビは、*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. (以上、不完全菌類)、*Cunninghamella* sp. (接合菌類) などであった。いずれも、土壌のなかに一般的にみられるカビである。なお、このうち、墳丘土におけるカビの大発生の問題は、墳丘土がポリシロキサン系の樹脂ER-002（（株）ケミカルプロセスシーピー）で処置されたのちビフォロン（同社製）で仕上げ処置されたこと、小前室の天井部の結露対策が行なわれたことによって、著しく改善された。

3．発掘調査開始後の状況

キトラ古墳の墓道部の発掘、および2004年1月末から開始された石室内の調査に伴い、2004年3月以降、石室入り口や石室内にカビが発生した。その都度、即座に殺菌、除去作業が行なわれ、壁画への拡大を抑制する努力が続けられてきた。カビが発見された場合、滅菌綿棒等で採取された試料を培養し、主要なカビ等の種類を調査してきた。カビが発生した箇所については、2005年9月までは、消毒用エタノールを主体とした薬剤により念入りに局所的な殺菌作業が行なわれ、必要な場合にはパラホルムアルデヒド燻蒸を行う場合もあった（資料1）。しかし、2005年1月頃から、褐色の剛毛を有するカビが石室内石材上で発見され、またカビのみならず、バクテリア、酵母などが混合した粘塊状のコロニーも壁面に見い出されるようになった。

カビ等の微生物による影響を最小限に抑えるため、少なくとも週に2回、点検とカビ等の除去作業が行なわれ監視が続けられているが、石室内での微生物の発生量、およびその種類は2005年以降明らかに増えてきている。とくに、濃い色を呈するカビや、バクテリア等が石室内に見い出されるようになってきている。また、石室内で昆虫等の小動物も頻繁に発見され、カビの被害の拡大や、一部漆喰壁の破壊や汚損につながっていると思われる。

さらに、2005年夏以降に、石室の微生物汚染はさらに進み、バクテリアを主体としたねばねば状の物質、ゲル状の物質（バイオフィルム）が壁面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の汚染がさらに進みつつある。さらに、最近、石室内の漆喰のところどころに急に穴が生じ、穴が拡大していく現象が進みつつあることが確認された。

現在、可能な方法によるバイオフィルムの除去や拡大防止に全力を尽くすとともに、できる限り早期の壁画のとりはずし/保護作業が進められている。

以下に詳細を経時順に記す。

3-1. 2004年2月石室開封時の空中浮遊菌について

2004年2月2-3日に、キトラ古墳開封時の石室内の空気50リットルまたは250リットルを空中浮遊菌サンプラー（BIO SAMP MBS-1000, ミドリ十字社製）によって培地（サブロー寒天培地）に吹きつける方法で浮遊菌の調査が行われた。

その結果、石室内の浮遊菌数は非常に少なく、検出されたコロニー数は各平板培地上に1コロニーから4コロニー程度であり、カビの種類は*Verticillium* sp. (TBK-11(m), TBK-12(m)) および*Aspergillus* sp. (TBK-13(m), TBK-14(m)) であった。

なお、TBK標記は、キトラ古墳関係で分離され、東京文化財研究所においてアンプルで保管されている保存菌株であることを示す。

3-2. 2004年3月-4月の状況¹⁾

西壁入り口付近に緑色のカビが、流入土表面や南壁に白いカビの菌糸が発生した。いずれも消毒用エタノールにより注意深く殺菌された。緑色のカビは、*Trichoderma* sp. (主に2種類, TBK-1(m), TBK-3(m))その他は、*Penicillium* sp. (TBK-2(m)) が主要なカビとして検出された。

3-3. 2004年5月の状況¹⁾

小前室の天井石側面に直径10cmほどのカビが発生しており、*Acremonium* sp., *Penicillium* sp. (濃い色のもの) が検出され、*Acremonium* sp.は、やや黒っぽい灰色を呈するものであった。石室内については、東壁の上端から天井石すき間などにカビが発生しており、*Trichoderma* sp.が主要なカビとして検出された。

3-4. 2004年6月-7月の状況¹⁾

石室内に*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp.などのカビが発生していた。消毒用エタノールで殺菌されたのち、パラホルムアルデヒド燻蒸が行なわれた。

3-5. 2004年8月の状況¹⁾

2004年8月初旬に石室内にて剥離している部分の壁面のとりはずし、保護作業が行なわれた。青龍付近の壁面を無事保護したあと、その下にカビの菌糸が発見された。保護された壁画は、脱酸素剤（RP System-Kタイプ、三菱ガス化学株式会社）とともに封入され、カビの発生を抑制した状態で保存されている。

小前室の閉塞石に、褐色の剛毛様の構造をもつカビが発見され、杉山純多東京大学名誉教授による同定の結果、*Phialocephala* sp.のカビであることがわかった。黒褐色を呈し、とげ状の堅固なカビであるため、拡大しないよう厳重な対策が必要である。

3-6. 2004年9月の状況¹⁾

石室内では、小規模ながら*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp.などが主要種

として発生していたが、カビの早期発見と処置で石室内でカビが大発生するような事態には至らなかった。

閉塞石の*Phialocephala* sp.の発生範囲が拡大したことから、次亜塩素酸ナトリウム10%溶液（水酸化ナトリウム0.4%含有）で除去作業が行なわれた（9月29日）。しかし、進入口の裏側までカビがまわっているために根絶に至っておらず、今後も繰り返し処置が必要とされる状況である。

3-7. 2004年10-12月の状況

石室内では、*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp.などが主要種として発生していた。

さらに、2004年12月9-10日の点検、12月17日の点検において、石室内白虎前足周辺のレーヨン紙に茶色のカビが発生していた。培養の結果、*Aspergillus* sp. (TBK-30(m)) と *Cylindrocarpon* sp. (TBK-31(m))（写真1）が分離された。

また、白虎前足付近に貼られているレーヨン紙が、黄色ないしは褐色に着色する現象がみられるようになった。レーヨン紙片を直接観察すると、カビのような構造はみえず、色のついた不定形の塊状の物体が見えた。培養の結果、2-3種類のバクテリアが分離され、なかには茶色い水溶性色素を出すものもあった。（財）食品分析センターに同定を依頼したところ、この細菌は、土壌から普通に分離されるパチルス・メガテリウム (*Bacillus megaterium*) という種類の細菌であることがわかった（写真2）。

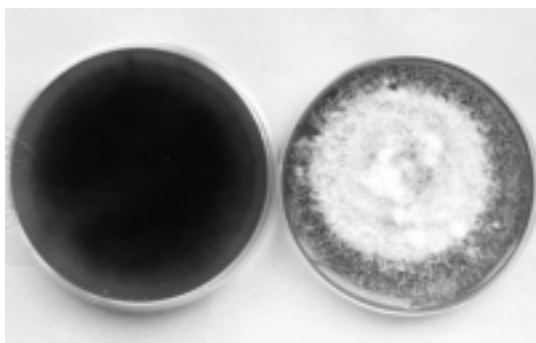


写真1. 2004年12月の石室内の白虎前足付近のから分離された褐色の*Cylindrocarpon* sp.(TBK-31(m))

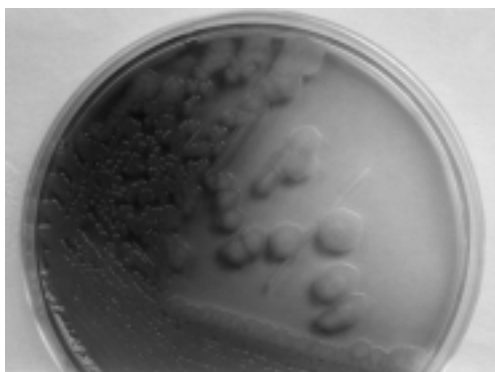


写真2. 2004年12月の石室内の白虎前足付近レーヨン紙の着色部位から分離された細菌*Bacillus megaterium* 褐色の色素を産生している

3-8. 2005年1月の状況

2005年1月以降、ねばねば状ないしはゲル状の物質が壁面のところどころに出現した。2005年1月7日に東壁、南壁、西壁より採取したねばねばした物質を調べたところ、いずれも細菌、酵母、カビの混合物であり(写真3)、カビとしては *Acremonium* sp.(写真4)(TBK-23(m), TBK-24(m), TBK-26(m))がいずれの場所からも共通に分離された。西壁からは、そのほかに *Aspergillus* sp.(TBK-25(m)) および褐色の *Cylindrocarpus* sp.(TBK-27(m))も分離された。また、バクテリアとしては、べたつくコロニーを形成する *Rhizobium radiobacter*(写真5)のほか、東壁より *Stenotrophomonas maltophilia*、西壁より *Serratia liquefaciens*などいくつかの種が検出された。

また、褐色の剛毛様構造をもつカビ *Phialocephala* sp.が、2005年1月21日、27日の点検時、石室内西壁下床面に発見された。黒褐色を呈し、とげ状の堅固なカビであるため、壁画部に転移しないよう細心の注意が必要とされた。消毒用エタノール-8%ホルマリンにより、殺菌処置が行なわれた。そののちは、発見され次第、消毒用エタノール-0.3%ホルマリンで殺菌、除去作業が行なわれた。

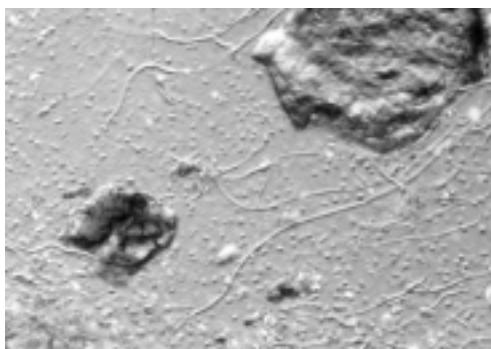


写真3. 2005年1月の石室内東壁の粘塊状物質を観察した像(微分干渉×510)細菌、酵母様細胞、カビなどが混じっている様子が窺える

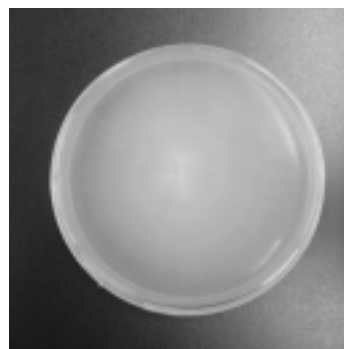


写真4. 2005年1月7日、石室内東壁、西壁、南壁の粘塊状物質に共通に含まれていた *Acremonium* sp.

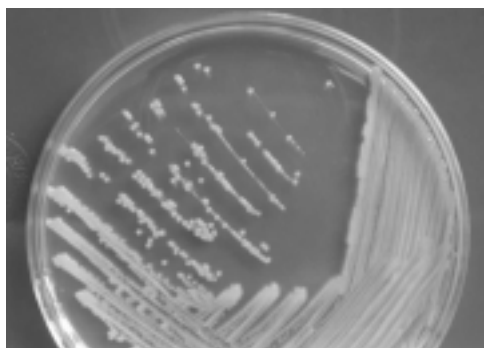


写真5. 2005年1月7日、石室内東壁、および西壁の粘塊状物質から分離された、べたつきのあるコロニーを形成する *Rhizobium radiobacter*

3-9. 2005年2月-3月の状況

2005年2月の点検においては、石室内でカビのほか、昆虫等に由来すると考えられる褐色、黒色の物質が発見された。(財)文化財虫害研究所の山野勝次博士の所見によれば、褐色の細長いもの、球状のものは虫糞であると思われるが、昆虫の種類は不明とのことであった。そのほか、昆虫以外の小動物の糞と思われるものや、ダニの死骸も同時に認められた。

2005年2月17日および2月25日の点検では、ゲル状の物質が北壁、東壁にも観察された。2月25日には、杉山純多博士に同行いただき、ゲル状物質の分析の協力を依頼した。その結果、これまでと同様、ゲル状物質はバクテリアや菌類の混合物であり、カビとしては *Acremonium* sp. が、細菌としては *Rhizobium* sp. が含まれているとの結果であった(杉山純多博士、私信)。

3-10. 2005年4月-6月の状況

石室内では相変わらずゲル状の物質やカビの発生がみられ、点検ごとに除去、殺菌が行なわれた。

4月28日の点検で、石室内でハサミムシ(生存虫)が発見され、(財)文化財虫害研究所の山野勝次氏によりヒゲジロハサミムシと同定された。さらに、5月12日、5月18日の点検では、石室内で多数の小さなハエが発生し、(財)文化財虫害研究所の山野勝次氏、小峰幸夫氏によりクロバネキノコバエと同定され、手作業で除去された。この虫の幼虫は朽木中や土壌中に行ることが知られており、おそらく石室内で羽化したものと思われる。この後も、しばらくハサミムシ、キノコバエなどが捕獲され、5月19日には、キスイムシの一種、6月13日にはムカデなど、この時期、石室内でさまざまな昆虫や小動物が見つかった。

3-11. 2005年7月以降の状況

2005年7月、再び壁画のとりはずし/保護作業が開始され、南壁のメチルセルローズ(MC)による強化などが行われた。

2005年7月1日、西壁の絵のない位置の漆喰片とりはずし作業の際、漆喰に小さな黒い穴があいているのが発見された(写真6)。

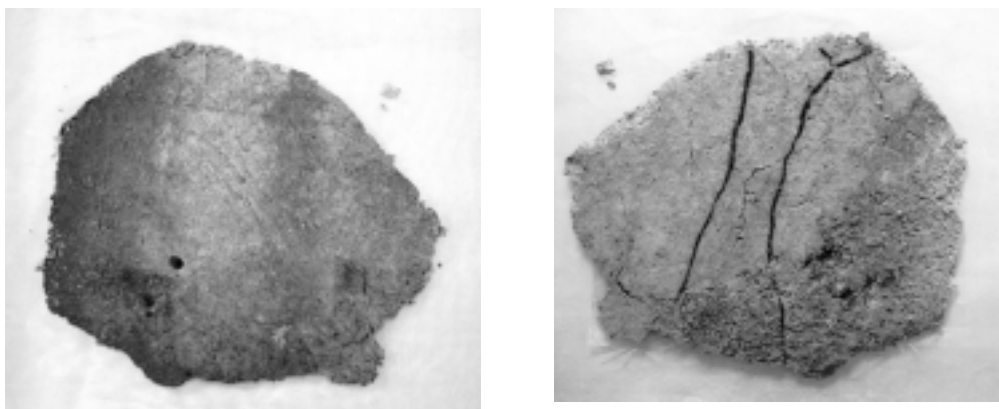


写真6. 2005年7月1日、石室西壁からとりはずした漆喰片(幅約12cm)に見られた穴(写真提供:修復技術部,川野邊渉)

さらに、7月5日の作業の際、東壁の漆喰の表打ちに使用されていたレーヨン紙に、黒色のカビと黄色い汚れが発生していた。微少漆喰片にはカビの菌糸が絡みついて、漆喰を汚している様子が観察された(写真7)。また、西壁由来の微少漆喰片の裏面は、黒色に汚れている様子が観察された(写真8)。

さらに、7月15日の点検時には、南壁朱雀に白いカビの菌糸が多く見られた(写真9)ため、消毒用エタノール-0.3%ホルマリンで殺菌、除去作業が行なわれた。

8月12日の点検では、北壁に、西壁との隅に広い範囲で、点々と黒いシミが多くみられた。多くは泥上であったが、漆喰壁にも拡がっていた。数カ所、3-5mmほどの緑色のシミがあった。玄武を含む全面にゲル状物質がみられた。

南壁では、朱雀画面上にも、細かい粘りのある粒が発生していた。東壁や西壁では、泥部分に黒ずみがみられた。進入口付近には白いカビが薄く拡がっていた。

さらに、8月19日の点検では、東壁十二支(寅)の画面上にもゲル状物質が及んでいた(写真10, 左)。

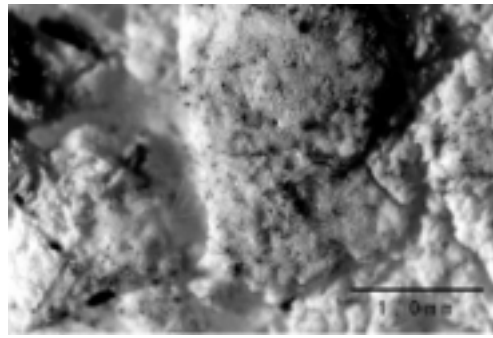
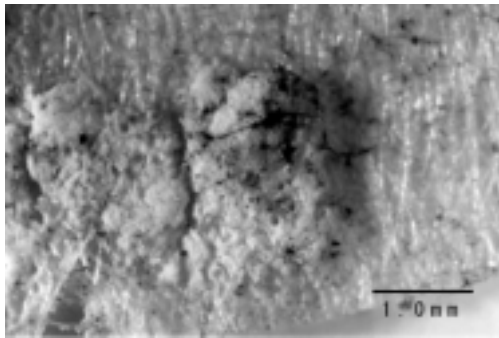


写真7. 2005年7月5日、石室東壁の表打ちに使用されていたレーヨン紙に付着していた微少漆喰片にカビがからみついている様子(左 ×22, 右 ×32)

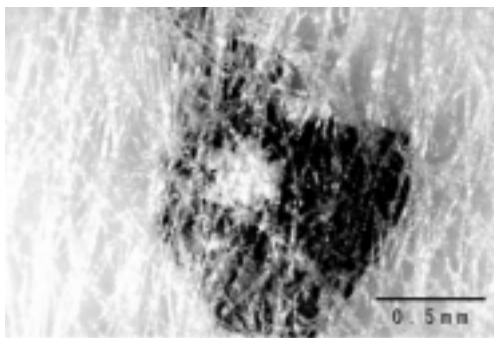


写真8. 2005年7月5日、石室西壁の微少漆喰片の裏面が黒色化している様子(×40)



写真9. 2005年7月15日、石室南壁に発生していたカビ等(写真提供:修復技術部,川野邊渉)

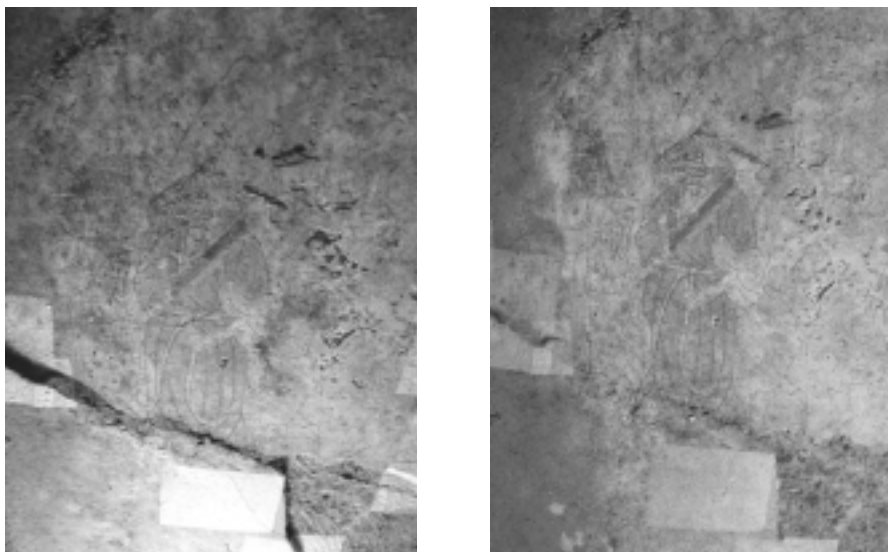


写真10. 2005年8月19日の寅（左）（写真提供：修復技術部，川野邊渉）および2005年9月にクリーニングをしたのちの2005年10月13日の寅（右）

3-12. 2005年9月の状況

2005年9月2日の点検では、北壁に黒いしみが発生し、そのまわりに白いねばねばした物質が広がっていることが確認された（写真11）。黒いしみの部分は、約8%のホルマリン水溶液によって処置が行われた。さらに、南壁、朱雀画面上の細かい粘りのある粒の数が増え、全体をねばねばした物質がおおっていた（写真12）。これまでのなかで、もっとも著しい被害状況と考えられたので、この日、消毒用エタノール-0.3%ホルマリンで殺菌したのち、パラホルムアルデヒド燻蒸が行われた。

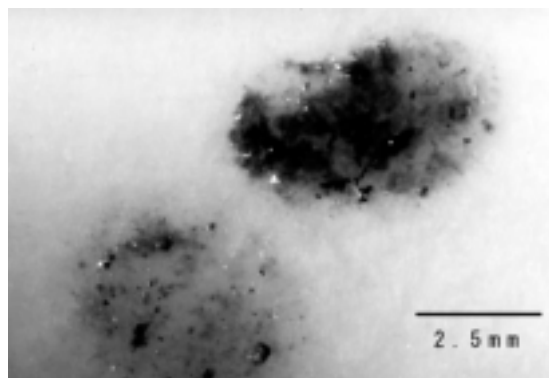
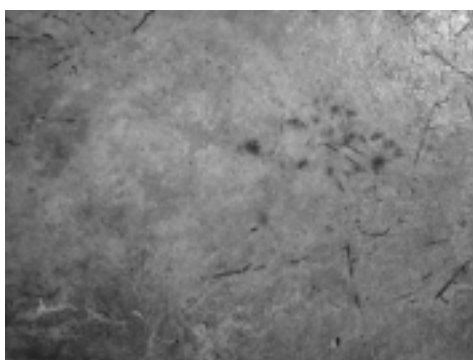


写真11. 左：2005年9月2日に北壁に発生していた濃緑色のしみ、および白いねばねばした物質
右：2005年9月2日 北壁濃緑色部の採取試料（実体顕微鏡 10倍）

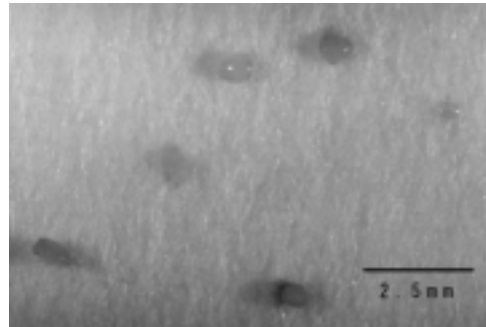


写真12. 左：2005年9月2日朱雀部分の様子（写真提供：修復技術部，川野邊渉）
右：2005年9月2日朱雀尾の上の白色の粒，採取試料(実体顕微鏡 X10)

2005年夏期の急激な生物被害の拡大のため，外部の微生物学，および防菌防黴の専門家（高鳥浩介博士，杉山純多博士，古田太郎博士）同行のうえ，9月16日，現地調査が行われた。その結果，総じて壁面のねばねばした物質やゲル状の物質には，おびただしい数のバクテリアとそれにカビや酵母などが混生している状態が観察された²⁾。また，培養の結果からも同様の知見が得られた^{2, 3)}。

この時に，外部専門家からは「このようなねばねばした物質やゲル状の物質を壁面に放置すると，バクテリアが衰退した後，カビや酵母がいつせいに繁殖，展開する可能性がある」ことが指摘された^{2,4)}。この状況を受け，専門家から「できるだけ，早期に壁画をはずし保護すること。それが不可能であれば，できる限りねばねばした物質，ゲル状の物質を除去すること」と，現地にて助言があった。

古田博士のバイオフィルムの除去に関しての助言⁴⁾をふまえ，ねばねばした物質，ゲル状物質の除去方法の検討が行なわれた。その結果，壁面の場所によって，漆喰の状態は大きく異なり，東壁の一部，北壁の一部については，うすい濃度の過酸化水素溶液を用いる方法が適用できることがわかった（写真10右，写真13）。しかし，南壁朱雀近辺の漆喰の状態は，ぜい弱であり，同じ方法が使用できないことが明らかとなった。場合に応じて，抗菌剤などの使用も検討せざるを得ない状況である。

また，同日を境に，壁面の消毒は，消毒用エタノールの代わりに，消毒用イソプロパノールを主体として用いる方法に切り替えられた。（資料1）

9月22日，9月29日には，慎重に壁面の状態を確認しながら，ねばねばした物質の除去作業が行われた。この方法で，東壁，

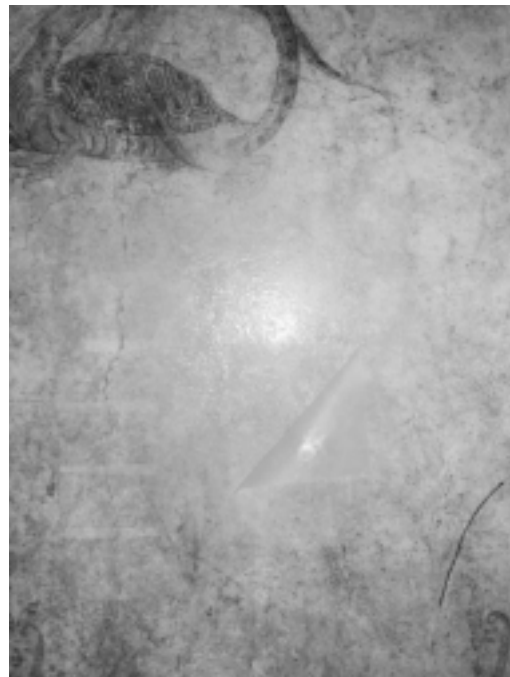


写真13. 2005年9月16日 北壁のバイオフィルム除去法の検討

西壁などの状況はかなり改善がみられた。しかし、南壁など、同じ方法でクリーニングができない場所については、除去は困難を極めた。また、南壁朱雀のゲル状物質のうえに粉状のカビが発生していた。消毒用イソプロピルアルコールで殺菌、除去したものの、このような事態が繰り返されると、漆喰や絵画の劣化が進んでいくため、できる限り早い壁画の保護が望まれる。

この9月の一連の壁面の精査の中で、漆喰にこれまでも部分的には認識されていた穴が、一部は拡大、またその数も最近、増えていっていることが明らかになった(写真14)⁵⁾。特に、朱雀のクリーニングを試みた際に、尾羽の上に発見された小さい穴(写真15)、朱雀上方の穴などは、ごく最近出現してきたものである。

この事態を受け、これまでの点検時の写真記録をたどったところ、今年にはいって穴が大きくなったり、新たに穴が確認されるようになった箇所があった⁵⁾。

9月16日に調査した際の微生物種については、カビの種類は *Acremonium* sp., *Fusarium* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Cylindrocarpon* sp. など、かなり多様性があることが示され^{2, 3)}、ねばねばしたコロニーをつくるバクテリアも数種類が分離されている。これらについて、現在、詳しい同定が進められている。



写真14. 2005年9月29日 天井の穴（直径およそ1 cm）の例



写真15. 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

3-13. 2005年10月の状況

2005年9月に、微生物による壁面のねばねばした物質の被害に加え、漆喰の穴の数が増えていっていることを受け、2005年10月13日、コンクリート微生物の専門家である森永力博士同行のうえ、現地調査が行われた。

また、同日、2005年3月にすではぎとりが行われ、保管されていた漆喰片を確認したところ、漆喰の裏側にくぼみがあり、そこに黒い物質がたまっている箇所がある場合があることも確認された(写真16)。漆喰表面に穴があいてきた箇所の裏側は、このような構造から進んで穴が大きくなった可能性も示唆された。

森永博士より現地での肉眼観察の段階でいただいた所見を要約すると、以下のようになる。

「表面部分には見えなくても、はがされた漆喰の裏側に穴が開いていたということ、小さな穴がかなりのスピードで大きくなるということから、漆喰裏側になんらかの原因があると思われる。石室内部は100%近い湿度であることから、漆喰の裏側に水の流れ道が存在している可能性もある。少量の水がくぼみなどに溜まり、そこに微生物が繁殖し、その代謝産物と漆喰の炭酸カルシウムが反応して溶けてくるという可能性も考えられる。今回、漆喰部分の穴につい

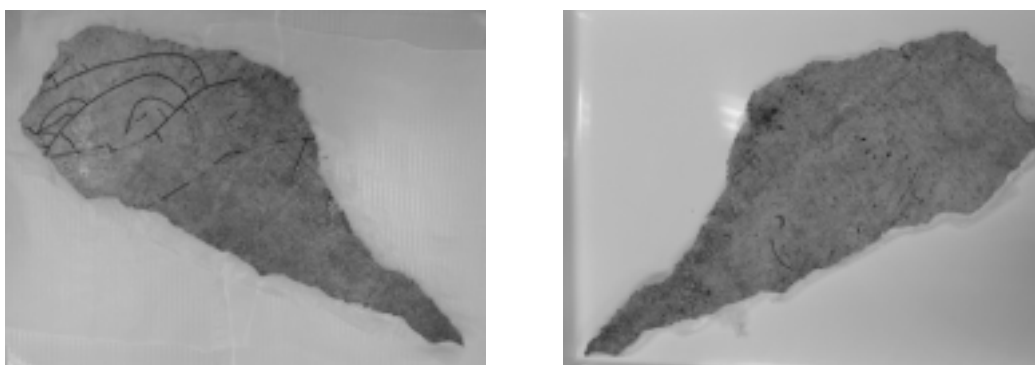


写真16. 2005年3月17日にはぎとりが行われて現在保管されている漆喰片の裏側にみられる黒いくぼみ
 左：漆喰表面 表面には穴は到達していない。黒い線は植物の根。
 右：漆喰裏面 黒いくぼみ（穴状）が生じている。（写真提供：修復技術部，川野邊渉）

て外側から観察したが、広い範囲にわたって漆喰部分が浮いている箇所があることがわかった（南壁）。漆喰が落下崩壊することを避けるためのベストな方法は、できるだけ早く剥ぎ取り、保存することだと思う。穴の部分から、抗菌性物質を注入することも考えられるが、すでに浮いている部分には効果がないと思われる。」

さらに、のちの森永博士の調査により、この時点での石室内壁面のねばねばした物質からは *Sphingomonas*, *Pseudomonas* など、バイオフィームを作るバクテリアとしてよく知られているものが分離されたことが報告されている⁶⁾。このようなバクテリアが、壁面のねばねばした物質、バイオフィームの原因となっている可能性が高いと考えられる。

4. 現時点での所見

相対湿度がほぼ100%の古墳環境においては、常にカビや細菌等微生物の発生による被害と隣り合わせの状況である。微生物の混合集合体であるねばねばした物質、ゲル状物質（バイオフィーム）の壁面での拡大、色の濃いカビの発生など、微生物による望ましくない影響が全体に増加している状況であるとともに、漆喰面に発生している穴の増加など、壁画の管理の点で困難をきわめ、非常に厳しい状況にあるといわざると得ない。

微生物制御の方法の検討を併行しつつも、今後も厳重な警戒のもと、できる限りすみやかに壁画の保護作業が進められることが強く望まれる。この状況をふまえ、2005年10月より、壁画の取り外し/保護作業が前倒しで進められることとなり、2005年12月現在、壁画の状況を慎重に判断しながらの壁画の取り外し/保護作業が、可能な限り速やかに進められている。

謝辞

本報告中の微生物の調査、同定にあたりましては、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）、高鳥浩介国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部長、ならびに森永力県立広島大学微生物工学研究室教授にお世話になるとともに、壁画の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、古田太郎サラヤ株式会社研究開発担当取締役には、壁画の微生物の除去法や薬剤等につきましても貴重かつ実際的な助言をいただきました。（財）日本食品分析センター微生物試験課、馬場浩氏には、微生物の同定に際し、お世話になりました。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) 杉山純多:キトラ古墳石室調査(平成17年9月16日実施)の中間報告, 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8回)資料5-4, (2005)文化庁
- 3) 高鳥浩介:キトラ古墳の微生物調査についての所見, 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8回)資料5-5, (2005)文化庁
- 4) 古田太郎:2005年9月16日キトラ古墳の微生物調査についての所見, 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8回)資料5-6, (2005)文化庁
- 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8回)資料5-2, (2005)文化庁
- 6) 森永力:2005年10月13日キトラ古墳の調査についての所見, 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8回)資料5-7, (2005)文化庁

キーワード:古墳(tumulus);カビ(moulds);バクテリア(bacteria)

<資料1> キトラ古墳, 石室, 小前室等に使用された殺菌処理用の薬剤

(1) 2005年9月以前

局所的な殺菌には, 主に消毒用エタノールが用いられ, 場合によっては, 消毒用エタノール-0.3%ホルマリンが使用された。とくに耐性の高いカビを殺菌する際には, 絵から遠い場所に限り消毒用エタノール-8%ホルマリンまたは8%ホルマリン水溶液が用いられることもあった。

局所的なカビの処置だけでは対応できない場合にパラホルムアルデヒド燻蒸が行われた場合もあった。石室におけるパラホルムアルデヒド燻蒸の日時と使用薬剤量は, 以下の通りである。2004年2月7日 6g, 2月13日 6g, 3月21日 6g, 4月9日 9g, 4月30日 12g, 5月20日 4g, 6月16日 12g, 7月3日 12g, 7月16日 10g。これ以降は, とりはずし時の作業安全の観点から, 必要がなければ特に行なわないこととした。

(2) 2005年9月以降

従来は, 絵画や人体への安全性を考え, 消毒用エタノール(約70 v/v%エタノール)を中心に使用してきたが, この方法では効果が上がらなくなってきたこと, 及び低濃度でエタノールが残った際に細菌などの栄養源になる場合があるとの指摘があり, 2005年9月16日以降, 消毒用イソプロパノール(約70 v/v%)を主体とする方法に切り替えた。このようなアルコールを主体とする殺菌法は, 壁画への影響や, とりはずし作業への影響がもっとも少ないと考えられる方法である点から採用されている。2005年9月以降の薬剤の使い分けの原則は以下の通りである。

石室内用 (いずれも有機ガス用吸収缶を装着した防毒マスクをして作業のこと)

(1) 消毒用イソプロパノール(約70 v/v%)

石室内で、壁面の殺菌に使用。絵のあるところも可。

(2) イソプロパノール (75v/v%) + 過酸化水素 (3 w/v%)

ねばねばのバイオフィルムの除去の際、可能なところで使用。

(過酸化水素溶液は、そのままでは酸性 (3 %程度でpH4.5 -5 程度) であるので、NaOHを添加し、中性にしたもの)

(3) 過酸化水素水 (2 w/v%)

ねばねばのバイオフィルムの除去の際、可能なところで使用。

使用したのちは、滅菌水あるいは精製水で軽く洗浄、最後に消毒用イソプロパノールを塗布して殺菌。(過酸化水素溶液は、そのままでは酸性 (3 %程度でpH4.5 -5 程度) であるので、NaOHを添加し、中性にしたもの)

(4) イソプロパノール (75v/v%) + Kathon CGの有効成分 (0.014w/v%)

ねばねばのバイオフィルムの除去を行ったあと、ほかの薬剤が十分除去されたのち、可能なところで使用。バイオフィルムの原因となるバクテリアの生育を抑え、バイオフィルムの拡大を防止する。Kathon CGの有効成分とは、5-クロロ-2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オン、および2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オンである。

(5) イソプロパノール (75v/v%) + ホルムアルデヒド (1 w/v%)

耐性の強いカビを殺菌する際に使用。

絵のある場所では使用しない。(ホルムアルデヒドの試薬を37w/v%として、1 w/v%になるように添加)

その他、小前室用、人体用

(6) 消毒用エタノール

石室に入室する際、作業者の消毒に使用 (イソプロパノールは毒性が強いため、人体には使用しない)。また、石室内であっても、作業者がとりはずし作業の際、直接手で触れる部分については、従来通り消毒用エタノールを使用する。

このほか、取り合い部の配線部等にカビが生えているときの除去に使用。

(7) カビキラー (有効成分 次亜塩素酸)

取り合い部の土などにカビが発生しているときの殺菌に使用。

(ただし、この薬剤は、アルコールや過酸化水素などと混ぜると、塩素が発生しきわめて危険であるので、使用にあたっては十分な注意が必要である)

パラホルムアルデヒド燻蒸は、原則として行わないが、2005年夏期以降の微生物の繁殖やダニの増加に伴い、2005年9月2日、9月16日に、それぞれ 6gを使用して、パラホルムアルデヒド燻蒸が行なわれた。

Investigation of Biological Issues in Kitora Tumulus during Its Restoration Work (2)

Rika KIGAWA, Hajime MABUCHI, Chie SANO and Sadatoshi MIURA

Excavation of Kitora Tumulus started at the end of January 2004. As some parts of its plaster walls with beautiful mural paintings had become detached, it was decided to relocate such parts from their stone support and to restore them in a safe environment. This report describes the biological issues encountered during restoration work.

In the course of the excavation of the tumulus and the restoration of the mural paintings in early 2004, some moulds such as *Trichoderma* sp., *Penicillium* sp. and *Fusarium* sp. were seen inside the tumulus. *Phialocephala* sp., which is a very tough mould, was also found on stones in the front room. At the end of 2004, dark coloured moulds such as *Cylindrocarpon* sp. also started to be seen in the tumulus. A bacterium, *Bacillus megaterium*, which secreted brown coloured substances, was isolated from a piece of paper which had been used to consolidate fragile parts on the plaster. In early 2005, small colonies of viscous gel started to be seen on some parts of the walls. Such gel was a mixture of some bacteria and fungi, *Acremonium* sp., etc. Therefore, such colonies were treated with about 70% volume ethanol – 0.3% formalin. Insects were also found often in the tumulus during spring and early summer.

In the summer of 2005, the viscous gel suddenly increased to form “biofilm” on the plaster walls. It was very viscous, covering parts of the walls, and 70% volume ethanol was not effective to remove it. In September 2005, investigation of such substances inside the tumulus was performed with the help of specialists on microbes or microbial control. With their advice, the biofilm was removed, where it was possible, with a low concentration of hydrogen peroxide solution, then treated with about 70% of isopropyl alcohol. Such method was effective on some parts where plaster was relatively intact and robust, but it could not be applied to places where plaster was very fragile, for example on the south wall that had a very precious painting of a phoenix.

Furthermore, in the fall of 2005, small holes with black substances inside became obvious on the plaster walls. It seemed that the hole had developed from the back side of the plaster. By investigation, a specialist on microbes in concrete suggested that such holes might have been caused by some activity of microbes at places with small spaces on the back side of the plaster.

It is very important to relocate the mural paintings as soon as possible and to keep them in a safe environment in order to protect such paintings from quick break down by microbial attack.

