

高松塚古墳壁画及びキトラ古墳壁画の生物調査について

古墳壁画保存対策 文化財研究所プロジェクトチーム

生物・環境調査班

現在までの作業内容

- 高松塚古墳，キトラ古墳の石室内の温湿度環境，微生物環境の調査を担当。
- 2007 年からの高松塚古墳石室解体事業の際には，解体作業を実施する断熱覆屋内の温湿度環境の維持管理，微生物被害の進行の低減対策，石室内，石室周辺環境の微生物調査を担当。
- 上記の調査を受けて，高松塚古墳の石室内，および周辺環境で主に検出される微生物種の調査結果，および生物による壁画や石材の劣化原因調査結果のとりまとめを実施。
- 現在は，石材や壁画が保管されている修理施設の環境が適正に維持されているかどうか，温湿度，生物環境（浮遊菌数，付着菌数調査，文化財害虫モニタリング等）を担当している。

H26 年度の主な項目の進捗状況

<高松塚古墳関係事業>

- 壁画修理施設の温湿度環境，生物環境（浮遊菌，害虫など）のモニタリング
- 高松塚古墳の微生物分離株の公的機関への寄託に向けた準備
 - ・菌株に関するデータ集（報告書）の作成
 - ・各菌株の基本台帳と DNA シークエンスデータファイルの作成

<キトラ古墳関係事業>

- 2013 年までのキトラ石室，盗掘口などで検出された微生物種の調査結果のとりまとめ（UV 照射前後の比較）
- キトラ古墳の微生物分離株の公的機関への寄託に向けた準備
 - ・各菌株の基本台帳と DNA シークエンスデータファイルの作成

キトラ古墳における 2004 年から 2013 年までの微生物調査結果概要

1. はじめに

キトラ古墳においては 2004 年に石室の発掘が開始され、その後、壁画の取り外し・保護作業が進められて 2008 年には目視で確認される範囲の側壁の絵画部分、また天井の星宿図の取り外し作業が完了した。2009 年以降は、絵画部分の取り外し終了を受けて紫外線の間欠的照射により微生物対策が実施され、2010 年には、ほぼ余白漆喰についても取り外しが終了し、2013 年 9 月には石室の埋戻しが行われた。

本報告では、2004 年から、2013 年に至るまでの石室内やそれらに隣接する区域での微生物調査の結果、培養法や非培養法で検出された微生物種の推移について概括する。

2. 2004 年から 2013 年までのキトラ古墳の微生物調査結果概要

2-1. 最初は一般的な土壌のカビ、のちに褐色や黒色を呈する種類のカビが出現する傾向について

2004 年のキトラ古墳石室の発掘調査以降、主に石室と閉塞石より培養法によって分離・検出されたカビ等を表 1 にまとめた。

キトラ古墳の石室内でカビなどの微生物の発生が問題となった 2004 年当初は、石室内で検出されたカビは、*Trichoderma* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. などが主であり¹⁾、いずれも土壌のなかに一般的にみられるカビであった。

しかし、しばらくカビの発生が続くと、やがて濃い色を呈するカビや、細菌等が石室内に見い出されるようになり、2005 年には *Acremonium* sp., *Fusarium* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Cylindrocarpus* sp. など、かなり微生物種に多様性がみられるようになり、壁面へ粘性のあるバイオフィルムの形成や漆喰壁で穴の形成もみられるようになった²⁾。このバイオフィルムは、細菌、酵母、カビが集合した膜状構造体であることが明らかになり²⁾、また漆喰に穴が生じる現象は、のちに酢酸菌(*Gluconacetobacter* 属細菌)の影響であることが強く示唆された³⁻⁶⁾。

2006 年からは天井の天文図に黒粒状の菌類が発生し、この菌は、硬い菌核様構造体を形成する担子菌門アナモルフ菌類 *Burgoa anomala* であると同定された^{3,7)}。さらに、2006 年には黒色のすす状を呈する *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. が、壁面に発生した³⁾。

このような徐々に分離されるカビ等の種類が増え、暗色系の菌類の種類が多くなっていく状況は、2001 年以降の高松塚古墳でも同じような傾向として観察された⁸⁾。

また、フランスのラスコー洞窟内で 2001 年にカビが大発生した場合にも、当初の主要な種は *Fusarium* sp. (FSSC クレード) であった^{9,10)} (この属の近縁種は高松塚古墳、キトラ古墳の石室内でもやはり検出されている) が、のちに暗色系の *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) *murorum* や、その後はさらに黒色の *Ulocladium* sp. などが発生したことが報告されており^{10,11)}、似たような地中環境にある壁画面で

は、類似した種類のカビが、似たパターンで出現する可能性が示唆されている。

3. 2012 年から 2013 年のキトラ古墳の微生物調査結果

3-1. 2012 年 9 月 24 日石室内の微生物調査結果

2012 年 9 月 24 日にキトラ古墳石室内からサンプリングされた 8 試料について、顕微鏡観察、および菌類、細菌の分離を実施した。結果の概要は、表 1 にまとめられているが、*Penicillium paneum* や *Trichoderma* sp., *Paecilomyces* sp. などの従来から分離されている菌類以外に、暗色系の菌類 *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) *tumulicola*, *Cladophialophora* sp., *Phialophora* sp. などが分離され、*Exophiala* sp. が天井石の試料ひとつから分離された。

非培養法（パイロシーケンス法）による群集構造解析でも *Exophiala* sp., *Acremonium* (sect. *Gliomastix*), *Phialophora* sp., *Penicillium* sp. などが優先種として検出された¹²⁾ことから 2012 年 9 月時点では上記の属の菌類が石室内の優先的な種類となっていたと推察される。

3-2. 2013 年 2 月 18 日盗掘ロステンレス台取り外しに伴う微生物調査結果

2013 年 2 月 18 日、盗掘ロステンレス台の取り外しの際、盗掘口石材や石の養生材などからサンプリングされた試料について、同様の調査を実施した。

石材に黒く発生していたカビ様物質から *Cladophialophora* sp. が分離された、シリコン製の保護材を外したあとの閉塞石の上に、黒いカビ様のものからは主要な菌類として *Phialophora* sp. が分離された。*Exophiala* sp. は、サンプリングの際は、石材上の白くみえる部分から採取された試料で分離されたが、このカビは別の古墳環境でも表面が白くみえるカビとして分離、検出されており石材上に発生するカビとして注目される。

この他、暗色系のカビ *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) *murorum* や *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) *tumulicola*, *Cladosporium* sp. などや、その他のカビとして *Acremonium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium solani* species complex (FSSC), *Trichoderma* sp. など以前から石室内で検出されたものも分離されている。

4. キトラ古墳の壁面取り外し後の間欠的 UV 照射対策と菌叢

4-1. 間欠的 UV 照射など有機物を残さない微生物制御方法への切り替え

従来、石室内の作業が実施されたあとは、石室内でカビが発生しやすく、その除去のため薬剤を使用するという形にならざるを得なかった¹³⁾。薬剤を使用すると、有機物が石室内へ供給されるため、できるだけ有機物の薬剤は控えたいということはあるが、壁面が石室内にある間は、壁面の色材への影響が懸念される方法は使えず、UV(殺菌灯、UV-C による)などの照射はできなかった。し

かし、壁画の取り外し作業が終了したのち、2009 年 3 月以降は、石室内のカビ等の発生を抑制するために、有機物の薬剤を使用しない方法として間欠的 UV 照射が実施されることとなった^{14,15)}。開始にあたっては、それまで石室内で分離された主要なカビ・酵母分離株、細菌株への UV 照射の効果を実験で確かめた上で¹⁴⁾実施した。

その後、作業者が入ったあとでも、所定時間 UV を照射したあとは目視レベルで観察されるカビの発生はほとんどなくなり、カビによる被害は減少した¹⁴⁾。

間欠的 UV 照射に加え、絵のある壁画部分の取り外しが完了したのちは、カビなどのコロニーが発生した場合、その部分のみ約 0.1%の次亜塩素酸溶液で殺菌、除去処置が行われることもあった。壁画が石室内にある間は、次亜塩素酸溶液についても色材への影響を考慮して使用されることはなかったが、壁画の取り外し後に限定して使用された。

2009 年 3 月以降、石室内の微生物制御法を紫外線殺菌灯による間欠的照射、および必要な場合は低濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いて物理的に除去する方式に切り替えてのち、石室内で白いカビの菌糸の発生はほとんどみられなくなった^{14, 16, 17)}。

4-2. 間欠的 UV 照射処置を始めて以降の菌叢について

2009 年 3 月から間欠的 UV 照射を開始して以降は、2010 年には黒色系の *Cladophialophora* sp. , *Arthrimum* sp. なども分離されるようになり、2011 年には暗色系の *Exophiala* sp. が分離された。暗色系の菌類のほうがメラニン系の色素などを有するために比較的 UV に対する耐性が強く、生残しやすい可能性は考えられる。

ただし、石室内では間欠的 UV 照射を実施する前のように、目立って菌糸状のカビなどがみられるわけではなかった。全体としてカビの発生量が増えたということではなく、UV に耐性が弱いカビが全般的に抑えられた結果、全体の微生物のバイオマスの量は減少したなかで比較的 UV 照射に耐性の強いものが残ったと推察される。

ただし、2010 年以降石室内で分離されている *Exophiala* sp. については UV 照射をしていない閉塞石盗掘口の小前室側や、それまで UV 照射をしていない他の古墳の石材からも検出されており¹⁸⁾、発生した要因は必ずしも UV 照射の影響とはいえず、むしろある条件下で石材に発生しやすい菌類¹⁹⁾として考える必要があるかもしれない。

また暗色系の *Cladophialophora* sp. も 2013 年 2 月の調査で UV が直接当たらなかった閉塞石石材上でも検出されている。*Phialophora* spp. についても、UV が照射されなかった石材面からも分離されたほか、高松塚古墳においても取り合い部を中心に検出された暗色系のカビの主要な種類のひとつでもあった²⁰⁾。高松塚古墳では UV 照射は実施されなかったことから、UV 照射とこのカビの出現の因果関係は現在のところ明白ではない。

一方で、2011 年 10 月、2012 年 9 月にキトラ古墳石室内から採取したサンプル非培養法による解

析の結果では、細菌では放線菌が優先種として検出されている^{12, 21)}。間欠的 UV 照射を開始したのち、石室内壁面が以前よりも、比較的乾いた印象になっていることは点検時に観察されていたが、放線菌は、比較的乾燥にも強いことから、これらが優先種として検出された可能性は考えられる。

4-3. UV 照射に対する耐性菌などは出てきたのか

これまでに、間欠的 UV 照射を始める前にキトラ古墳石室内から分離された菌株のほか、間欠的 UV 照射を数か月から約 2 年続けたのちに採取された試料から分離された主要な菌株 (*Penicillium paneum* 2 株, *Burgoa* sp. 3 株, *Fusarium solani* 2 株, *Acremonium* (sect. *Gliomastix*) sp. 5 株, *Cladophialophora* sp. 1 株, *Phialophora* sp. 1 株のほか、細菌 9 株) で UV 耐性試験を実施した²²⁾。その結果、上記の菌株を用いて調査した範囲では、UV 照射の前後の分離株を比較した際、顕著に UV 耐性が上昇したというものはみられていない²²⁾。*Burgoa* 属の黒色の小型菌核構造については UV 照射期間の前後にかかわらず、いずれの時期の分離株も UV 照射にきわめて高い耐性をもつことが明らかにになっているが、この場合にも菌糸の状態にあるときには UV が十分な殺菌効果を及ぼすので、このことが石室内での拡大を抑制していたと推察される。

5. ヒト病原性菌類について

日本国内で分離されるカビは、一般に輸入真菌ほどは顕著な病原性が知られている種は少ないとされ、国立感染症研究所の安全管理規則でバイオセーフティレベル 3 以上に分類されているものについても、そのほとんどが国外で分離が報告されるものである²³⁾。しかしながら、キトラ古墳で 2007 年以降分離されている *Phialophora* 属などの暗色系のアナモルフ菌類には、黒色真菌症や深部皮膚真菌症をひきおこす種があることが報告されており^{24, 25)}、*Exophiala*, *Cladophialophora* 両属にも黒色真菌症や深部皮膚真菌症の原因になるなど人体に病原性をもつ種類も報告されている²⁴⁻²⁸⁾。そのため、今後とも古墳環境での作業では従来通り、適切な装備をして実施することが必要であると考えられる。

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) 木川りか、佐野千絵、間瀬創、三浦定俊：キトラ古墳における菌類等生物調査報告(3)，保存科学，46，227－233．(2007)
- 4) 佐野千絵、西島美由紀、喜友名朝彦、木川りか、杉山純多：高松塚古墳石室内より分離された主

要な微生物のギ酸・酢酸生成能, 保存科学, 49, 209–219. (2010)

- 5) 木川りか, 佐野千絵, 間瀬創, 喜友名朝彦, 立里臨, 西島美由紀, 杉山純多: キトラ古墳の微生物等の状況報告(2008), 保存科学, 48, 167–174. (2009)
- 6) Kigawa, R., Sano C., Nishijima, M., Tazato, N., Kiyuna T., Hayakawa, N., Kawanobe, W., Udagawa, S., Tateishi, T., Sugiyama, J.: Investigation of acetic acid bacteria isolated from the Kitora tumulus in Japan and their involvement in the deterioration of the plaster of the mural paintings. *Studies in Conservation* 58: 30–40. (2013)
- 7) Kiyuna, T., An, K.-D., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S., Sugiyama, J.: “Black particles”, the major colonizers on the ceiling stone of the stone chamber interior of the Kitora Tumulus, Japan, are the bulbilliferous basidiomycete fungus *Burgoa anomala*. *Mycoscience* (2014) in press; <http://dx.doi.org/10.1016/j.myc.2014.08.005>.
- 8) 木川りか, 佐野千絵, 石崎武志, 三浦定俊: 高松塚古墳の微生物対策の経緯と現状, 保存科学, 45, 33–58. (2006)
- 9) Pallot-Frossard, I., Orial, G., Bousta, F. Mertz, J.-D. : Lascaux cave (France) A Difficult Problem of Conservation. *In: Study of Environmental Conditions Surrounding Cultural Properties and Their Protective Measures: Proceedings of The 31th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property* (ed. by Sano, C.), pp. 7–14. National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo, Tokyo. (2009)
- 10) Orial, G., Bousta, F., François, A., Pallot-Frossard, I., Warscheid, T. : Managing biological activities in Lascaux: Identification of microorganisms, monitoring and treatments. *In: Lascaux and Preservation Issues in Subterranean Environments, Proceedings of the International Symposium, Paris, February 26 and 27, 2009* (ed. by Coye N.), pp. 219–251, Fondation Maison des sciences de l’ homme, Paris. (2011).
- 11) Geneste, J.-M. : The major phases in the conservation of Lascaux Cave. *In: Lascaux and Preservation Issues in Subterranean Environments, Proceedings of the International Symposium, Paris, February 26 and 27, 2009* (ed. by Coye N.), pp. 51–71, Fondation Maison des sciences de l’ homme, Paris. (2011).
- 12) 佐藤嘉則, 木川りか, 喜友名朝彦, 立里臨, 西島美由紀, 杉山純多: パイロシークエンス法によるキトラ古墳石室内の微生物群集構造解析, 保存科学, 54 発表予定
- 13) 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)
- 14) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里臨, 杉山純多, 高島浩介, 久米田裕子, 森井順之, 早川典子, 川野邊渉: キトラ古墳の微生物調査結果と微生物対策について(2009), 保存科学, 49, 253–264. (2010)
- 15) 川野邊渉, 木川りか: キトラ古墳壁画の新たな保存措置方法について, 古墳壁画保存活用検討会保存技術ワーキンググループ (第3回), 資料 4-1, 平成 21 年 3 月 9 日, 文化庁

- 16) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里 臨, 杉山純多, 早川典子, 川野辺渉 : キトラ古墳の微生物調査報告 (2010) , 保存科学, 50, 193-197. (2011)
- 17) 木川りか, 佐野千絵, 喜友名朝彦, 立里 臨, 杉山純多, 早川典子, 川野辺渉 : キトラ古墳の微生物調査報告 (2011) , 保存科学, 51, 167-171. (2012)
- 18) 佐藤嘉則, 木川りか : 虎塚古墳における生物調査, 虎塚古墳の保存科学的研究, 平成 23~25 年度日本学術振興会科学研究費補助金研究成果報告書, 研究代表者 矢島國雄, pp. 51-58. (2014)
- 19) Gueidan, C., Villasenor, C. R., de Hoog, G. S., Gorbushina, A. A., Lutzoni, F. : A rock-inhabiting ancestor for mutualistic and pathogen-rich fungal lineages, *Studies in Mycology*, 61: 111-119. (2008)
- 20) Sugiyama, J., Kiyuna, T., An, K.-D., Nagatsuka, Y., Handa, Y., Tazato, N., Hata, J., Nishijima, M., Koide, T., Yaguchi, Y., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S. : Microbiological survey of the stone chambers of Takamatsuzuka and Kitora Tumuli, Nara Prefecture, Japan: a milestone in elucidating the cause of biodeterioration of mural paintings. *In: Study of Environmental Conditions Surrounding Cultural Properties and Their Protective Measures: Proceedings of The 31th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property* (ed. by Sano, C.), pp. 51-73. National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo, Tokyo. (2009)
- 21) 佐藤嘉則, 木川りか, 喜友名朝彦, 立里 臨, 西島美由紀, 杉山純多 : 非培養法によるキトラ古墳の細菌調査, 保存科学, 52, 1-10. (2013)
- 22) 木川りか, 喜友名朝彦, 立里 臨, 佐藤嘉則, 杉山純多 : キトラ古墳から分離された微生物の紫外線 (UV) 照射試験結果について, 保存科学 52, 157-166. (2013)
- 23) 国立感染症研究所病原体等安全管理規則 別冊 1, 「病原体等の BSL 分類等」, 国立感染症研究所, 平成 22 年 6 月
- 24) 宮治誠, 西村和子 : 『住まいとカビと病原性』, 八坂書房, 東京. (2009)
- 25) de Hoog, G. S., Guarro, J., Gené, J., Figueras, M. J. : Atlas of Clinical Fungi, 2nd Edition, Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, The Netherlands. (2000)
- 26) 西村和子 : コラム「ヒト病原真菌」2, 日本微生物資源学会誌, 25(1), 63-65. (2009)
- 27) de Hoog, G. S., Vicente, V. A., Najafzadeh, M. J., Harrak, M. J., Badali, H., Seyedmousavi, S. : Waterborne *Exophiala* species causing disease in cold-blooded animals, *Persoonia* 27, 46-72. (2011)
- 28) 千葉大学真菌医学研究センター, 病原真菌・放線菌カタログ, <https://daphne.pf.chiba-u.jp/distribution/catalog>, (2012)
- 29) Kiyuna, T., An, K.-D., Kigawa, R., Sano, C., Miura, S., Sugiyama, J. : Bristle-like fungal colonizers on the stone walls of the Kitora and Takamatsuzuka Tumuli are identified as *Kendrickiella phycomyces*. *Mycoscience* 53: 446-459. (2012)
- 30) Tazato, N., Nishijima, M., Handa, Y., Kigawa, R., Sano, C., Sugiyama, J. : *Gluconacetobacter tumulicola* sp. nov. and *Gluconacetobacter asukensis* sp. Nov., isolated from the stone

chamber interior of the Kitora Tumulus. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 62: 2032 - 2038. (2012)

- 31) 木川りか, 間渕創, 佐野千絵, 三浦定俊: キトラ古墳の微生物等の状況報告 (2007), 保存科学, 47, 129-134. (2008)
- 32) 木川りか, 喜友名朝彦, 立里臨, 佐藤嘉則, 佐野千絵, 杉山純多: キトラ古墳の微生物群調査報告 (2012 年~2013 年) および 2004 年から 2013 年までの微生物調査結果概要, 保存科学, 54 発表予定

表 1. キトラ古墳での出来事と培養法で分離、検出されたカビ等

時期	出来事と培養法で分離、検出されたカビ	カビの対策・処置法
2004 文献 1,2,29)	石室の発掘調査 青龍などの取り外し作業 ＜石室内から分離、検出されたカビ＞ 石室内での作業後、石室内でカビが発生し始める。 <u><i>Trichoderma</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., <i>Acremoium</i> sp. (灰色), <i>Fusarium</i> sp., <i>Cylindrocarpon</i> sp.</u> ＜小前室側閉塞石から分離、検出されたカビ＞ <u><i>Phialocephala</i> sp.</u> (後に <i>Kendrickiella phycomyces</i> と再同定)	＜石室内＞ パラホルムアルデヒド燻蒸, 部分的なエタノール湿布 ＜小前室閉塞石＞ 次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理, 除去
2005 文献 2,30)	白虎など漆喰壁画の取り外し作業 壁面に粘ちょう性のバイオフィルムが出現し始める 漆喰にところどころ穴があく現象が出現し始める ＜石室内から分離、検出されたカビなど＞ <i>Acremoium</i> sp., <i>Cylindrocarpon</i> sp., <u><i>Phialocephala</i> sp.</u>, <i>Fusarium</i> sp., <u><i>Paecilomyces</i> sp.</u>, <i>Penicillium</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., およびバイオフィルムを形成するバクテリア (<i>Rhizobium</i>, <i>Stenotrophomonas</i>, <i>Serratia</i>, <i>Sphingomonas</i>, <i>Pseudomonas</i> など), 酵母 天井の漆喰の穴から酢酸菌 (バクテリア) <u><i>Gluconacetobacter tumulicola</i></u>	週 2 回程度の点検・カビ除去 パラホルムアルデヒド燻蒸, 部分的なエタノール湿布, 約 8%ホルマリン溶液, 消毒用エタノール-0.3%ホルマリン溶液など
2006 文献 3, 7)	漆喰壁画の取り外し作業 壁面のバイオフィルム拡大 天井部などへの黒い菌類の発生 ＜石室内から分離、検出されたカビなど＞ <u><i>Burgoa anomala</i></u> (天井部などで黒色の小型菌核を形成), <i>Penicillium</i> sp. , <u><i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)sp.</u> (黒色すす状), 酵母など	週 2 回程度の点検・カビ除去 エタノール, イソプロパノール, (アルコール類は限定的, 必要最低限で使用), 3%～5%ホルマリン溶液, イソチアゾリン系薬剤
2007 文献 7, 31)	漆喰壁画の取り外し作業 (側壁まで完了), 一部の天文図の取り外し作業 天井の漆喰の変色 ＜石室内から分離、検出されたカビなど＞	週 2 回程度の点検・カビ除去 エタノール, イソプロパノール, (アル

	<i>Burgoa anomala</i> (天井部などで黒い小型菌核を形成), <i>Penicillium</i> sp. , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)sp. (黒色すす状) <i>Paecilomyces</i> sp., <i>Gliocladium</i> sp., <i>Phialocephala</i> sp. , <i>Phialophora</i> sp. , <i>Phoma</i> sp. , <i>Ophiostoma</i> sp. , <i>Cladosporium</i> sp. , <i>Trichoderma</i> sp., <i>Verticillium</i> sp., 酵母など。暗色系のカビを含め, 微生物の種多様性は増している傾向がみられた	コール類はごく限定的に使用), 3%~5%ホルマリン溶液, イソチアゾリン系薬剤, エタノール:ホルマリン9:1溶液(床面)
2008 文献 5, 30)	天文図の取り外し作業完了 ＜石室内から分離, 検出されたカビなど＞ <i>Penicillium paneum</i>, <i>Penicillium</i> spp. , <i>Clonostachys</i> sp., <i>Cladosporium</i> sp. , <i>Phialophora</i> sp., <i>Ophiostoma</i> sp., <i>Cylindrocarpon</i> sp., <i>Phialocephala</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp., <i>Acremoium</i> sp., 酵母など そのほか酢酸菌2種, <i>Gluconacetobacter tumulicola</i> および <i>Gluconacetobacter asukensis</i> がいくつかの箇所から分離された	アルコール類はごく限定的な使用, 3%~5%ホルマリン溶液
2009 文献 14)	壁画のない部分(余白部分), 泥におおわれた漆喰部分の取り外し ＜石室内から分離, 検出されたカビ＞ <i>Penicillium paneum</i> , <i>Fusarium solani</i> (FSSC) , <i>Trichoderma</i> sp., <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)<i>masseei</i>, <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)<i>murorum</i> , <i>Burgoa anomala</i> , <i>Acremoium</i> spp. , <i>Cladosporium</i> sp. , <i>Clonostachys</i> sp., <i>Cylindrocarpon</i> sp., <i>Ophiostoma</i> sp., <i>Paecilomyces lilacinus</i>, <i>Penicillium</i> spp., <i>Phialophora</i> spp., 酵母など	年2回の集中取り外し方式に変更, 間欠的紫外線照射(1日に30分間2回照射), および場合によっては1000ppmの次亜塩素酸ナトリウム溶液でコロニーの除去
2010 文献 16)	余白漆喰もほぼ取り外しが終了 間欠的紫外線照射が実施されて以降は, 目視上ではあまりカビなどの微生物の発生が問題になることはなくなった ＜石室内(漆喰・石材表面だけではなく, 石材間の隙間などの土も含む)から分離, 検出されたカビなど＞ <i>Burgoa</i> sp., <i>Fusarium solani</i> (FSSC), <i>Phialophora</i> sp., <i>Acremoium</i> spp. , <i>Phoma</i> sp. , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)<i>murorum</i> , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>)<i>tumulicola</i>, <i>Cladophialophora</i> sp., <i>Clonostachys</i> spp.,	年2回の集中取り外し, 間欠的紫外線照射

	<i>Penicillium paneum</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> , <u><i>Arthrinium</i> sp.</u> , <u><i>Arthrotrrys</i> sp.</u> , <u><i>Cladosporium</i>-like sp.</u> , <i>Phialocephala</i> sp., <i>Penicillium</i> spp., 酵母など	
2011 文献 17)	<石室内（土壌も含む）から分離，検出されたカビなど> <i>Penicillium paneum</i> , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>) <i>tumulicola</i> , <i>Cladosporium</i> -like spp., <u><i>Exophiala</i> spp.</u> , <i>Phialophora</i> spp. , <i>Clonostachys</i> sp. , <i>Paecilomyces</i> <i>lilacinus</i> , <i>Acremoium</i> sp., <i>Penicillium</i> spp., <i>Burgoa</i> sp., 赤色系射出酵母を含む酵母，放線菌など	間欠的紫外線照射
2012 文献 32)	<石室内（土壌も含む）から分離，検出されたカビなど> <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>) <i>murorum</i> , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>) <i>tumulicola</i> , <i>Acremoium</i> sp. , <i>Cladophialophora</i> sp., <i>Clonostachys</i> sp., <i>Exophiala</i> sp., <i>Paecilomyces lilacinus</i> , <i>Penicillium paneum</i> , <i>Penicillium</i> spp. , <i>Phialophora</i> spp. , <u><i>Phialocephala</i>-like sp.</u> , <i>Trichoderma</i> sp., 酵母など	間欠的紫外線照射
2013 文献 32)	<盗掘ロステンレスカバーに付着した，あるいはその下の 石材から分離，検出されたカビなど> *紫外線は直接あたっていない箇所にあたる <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>) <i>murorum</i> , <i>Acremoium</i> (sect. <i>Giomastix</i>) <i>tumulicola</i> , <i>Acremoium</i> spp. , <u><i>Alternaria</i> sp.</u> , <u><i>Aspergillus versicolor</i></u> , <i>Cladophialophora</i> sp., <i>Cladosporium</i> spp., <i>Clonostachys</i> sp., <i>Exophiala</i> sp., <i>Fusarium solani</i> (FSSC), <i>Penicillium paneum</i> , <i>Penicillium</i> spp., <i>Phialophora</i> sp., <u><i>Sagenomella</i> sp.</u> , <i>Trichoderma</i> sp., <i>Verticillium</i> -like spp., 酵母など	間欠的紫外線照射

カビの分離には，2004年にはMAを使用，2005年以降はPDAを使用。

下線は初めて分離で検出されたものを示す。

網掛けは，暗色系の菌類であることを示す。