

平成 17 年 9 月の石室の微生物等の状況と調査結果について

平成 17 年 9 月 5 日～7 日の高松塚古墳の点検において、白虎、青龍の近辺で新たにべたべたした黒緑色の汚れが発見された。(p 2 以降の写真参照)

この時期、墳丘の冷却は開始されたばかりであり、まだ石室の温度は低下していない矢先のことであった。

この事態を受け、同年 9 月 16 日、微生物関係の専門家である高鳥浩介検討会委員、杉山純多検討会委員、及び古田太郎日本防菌防黴学会理事において、微生物の状況調査を行った。

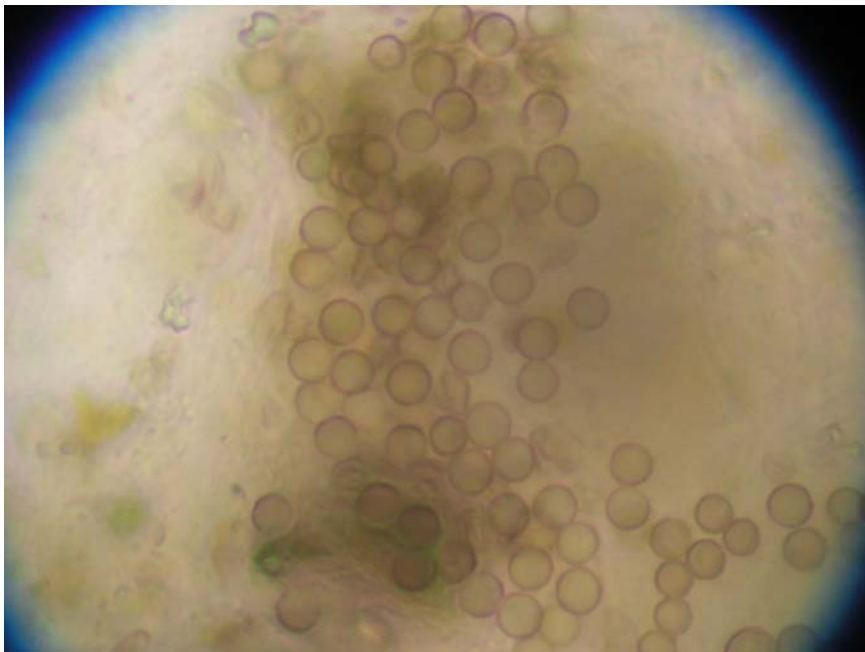
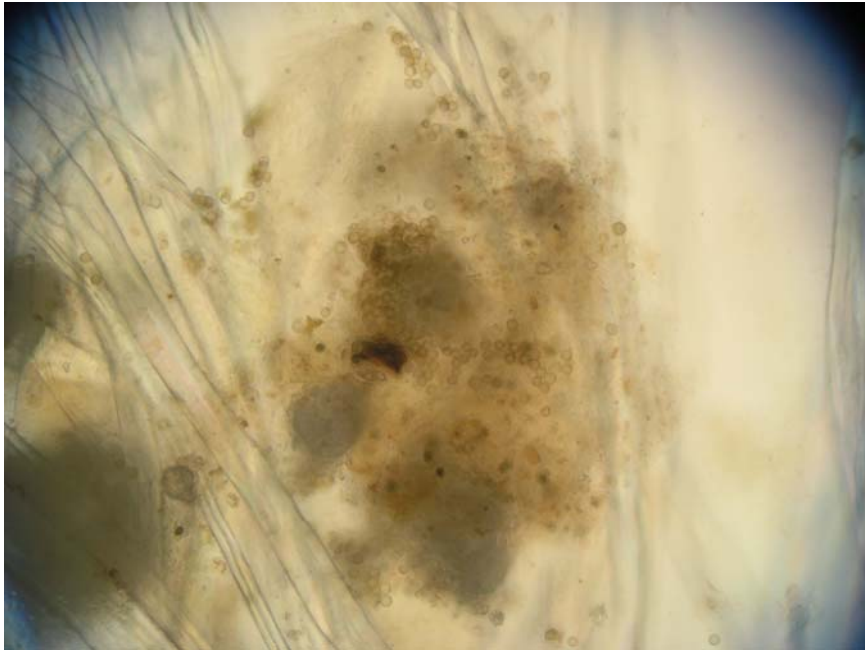
9 月 5 日～7 日に石室内で発見された汚れの状況とその採取試料の拡大像、および 9 月 16 日の調査結果と所見を、以下に報告する。



白虎 平成 17 年 9 月 6 日撮影（資料 2-1 写真 1 を再掲）



白虎臀部部分拡大 平成 17 年 9 月 6 日撮影
（緑色・黒色のカビ 直径 5cm 程度）

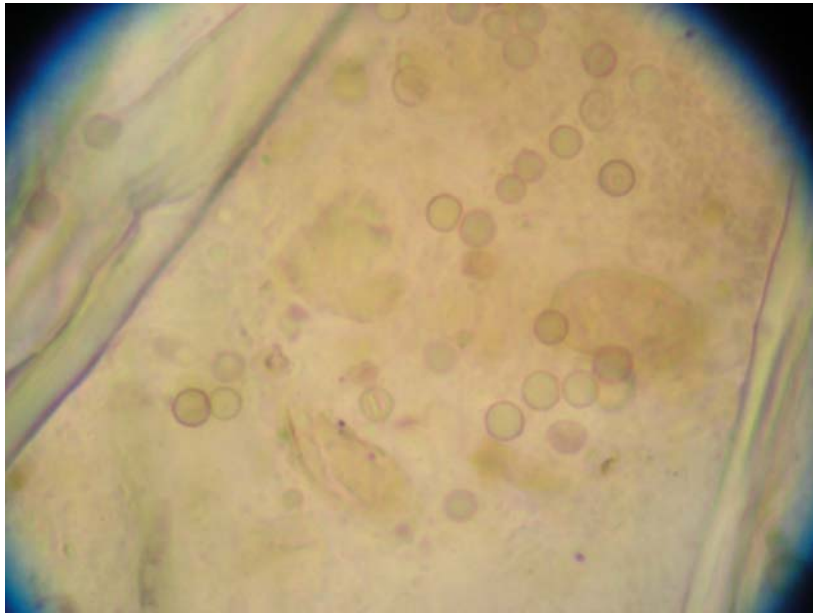
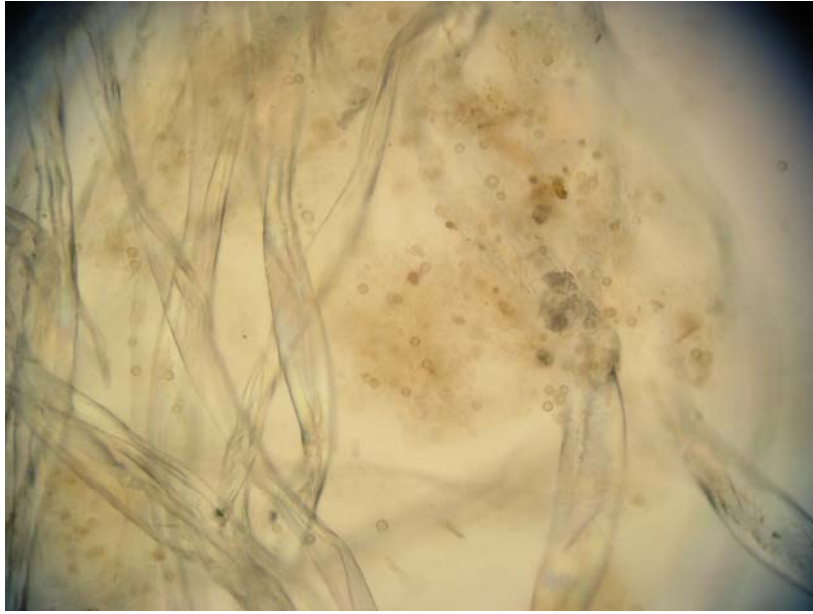


平成 17 年 9 月 6 日、高松塚白虎の後足付近の黒緑色の箇所から採取された試料

上 100 倍 下 400 倍



青龍（斜線が当該部分） 平成 17 年 9 月 6 日撮影



平成 17 年 9 月 6 日、高松塚の青龍付近
から採取された試料
上 100 倍 下 400 倍

2005年9月28日

2005年9月16日高松塚古墳の微生物調査についての所見

国立医薬品食品衛生研究所 衛生微生物部長
高鳥 浩介

(独)文化財研究所東京文化財研究所からの研究協力依頼で平成17年9月16日高松塚古墳石室(奈良県明日香村)の微生物調査を行った。

同石室内での微生物調査サンプリングは現地の専門係官に採取箇所を依頼して行い、真菌(カビ酵母)および細菌の微生物検査を実施した。

表は高松塚古墳石室12カ所から採材した微生物汚染程度を示したものである。

表中のサンプル状態は採取された専門係官からのコメントをそのまま表示してある。

カビ・酵母および細菌の汚染程度の表示は以下に基づいて記載した。

+3: 著しく汚染 +2: やや汚染
+1: わずかに汚染 -: 微生物を認めない

なお、表示の「全体」は、カビ・酵母の汚染状態を示す。

また、*Penicillium* および細菌については、汚染程度の表示の下に検出した種類数を示している。

<現地の目視観察による所見>

1. 昨年(2004年)10月に調査したときに比べて、カビがさらに生えているように見受けられた。
2. 白虎前肢が黒くなっているのは明らかにカビであり、広がっていた。この程度になるには、それなりに時間を要しながら生えてきたものと考えられ、短時間で生えてきたとは思えない。
3. 青龍も同様に、数週間~数ヶ月程度の時間をかけて今の状況に至ったように感じられた。

<培養結果による所見>

- (1) 12カ所すべての箇所から微生物を確認した。ただし、No.9西女子(5cm左下)のみからはカビが認められなかった。
- (2) いずれの場所ともに汚染が著しい。
- (3) 特定の種類で汚染されている。

- (4) カビでは特定の *Penicillium* 1 種類が認められる。
- (5) 細菌は全体の汚染されており、ある特定の 1 種類で汚染されているように思われた。
- (6) 青龍 白虎はカビと細菌で汚染されている。
- (7) 狭い石室であるため、床 (No. 6, 7) にも壁面と同じ微生物が拡がっている。

<総合所見>

いずれにしてもカビと細菌が強く汚染している状況にあり、壁画への影響を考慮すると対応が急がれる。今まで細菌による汚染はカビほど重視されていなかったが、それは室内が高湿度といえどもカビに都合の良い状態であり、細菌が生えるまでの湿性状態ではなかったと推察される。しかし今回の調査で明らかに細菌の発生がカビとともに確認されたことから微生物にとって非常に生えやすい都合の良い壁面環境になっているものといえる。細菌が石室の壁面に生えるまでに至っていることは、非常に深刻な状況にあるといえ解体が予定されているまでの維持管理がきわめて重要である。

そのための対策として常に指摘してきたように温度管理とそれにあわせてさらに高湿にしないことであり、そのための環境管理が重要である。また、短期的な管理として薬剤の応用も考慮しなくてはならない。

Sample		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		青龍	青龍	白虎	白虎	天井	床	床	西女子	西女子	西女子	東女子	東女子
		右上	左	後脚	前脚	北西	中央	南	左	5センチ左下	左下スカート	10センチ下	下部
		黒シミ部				ゲル状部分			健全部分			黒カビあと	
全体		+3	+3	+3	+2	+3	+2	+1	+1	-	+3	+3	+3
カビ・酵母	<i>Acremonium</i>												
	<i>Fusarium</i>												
	<i>Paecilomyces lilacinus</i>												
	<i>Penicillium</i>	+3	+3	+3	+2	+3	+2	+1	+1		+3	+3	+3
	<i>Penicillium</i> の種類	1	1	1	1	1	2	1	1		1	1	1
	<i>Trichoderma</i>												
	<i>Verticillium</i>												
	<i>Cylindrocarpon</i>												
	接合菌												
	酵母												
放線菌													
細菌	細菌	+3	+3	+3	+3	+3	+2	+2	+2~3	+3	+3	+3	+3
	細菌の種類	1	1	1	1	1	2~3	2~3	2~3	1	1	1	1

※PDA培地とSA培地で培養した結果を示す

高松塚古墳石室調査（平成17年9月16日実施）の中間報告

東京大学名誉教授

（株）テクノスルガ（旧 NCIMB Japan）

学術顧問

杉山純多

文化庁の要請によりさる9月16日行なった高松塚古墳石室壁面の実地検分ならびに採取サンプルより得られた微生物学的データに基づいて古墳石室壁面の状態ならびに生物劣化の所見を以下に記します。

1. 9月16日の目視による観察所見

高松塚古墳石室壁面の状態は今年のほぼ同時期（平成16年9月6日）に調査した時よりも乾燥していると感じた。事実、壁面に出現していた目視可能なカビのコロニーも少なかった。

2. 採取サンプルの直接検鏡による所見（9月19日）

以下の2点のゲル状サンプル（T5916-1：西壁白虎前肢下、T5916-5：東壁女子群像右の人物下）について、実験室で微分干渉顕微鏡を用いて検鏡した。

検鏡の結果、2点とも細菌と菌類の混合コロニーであることが判明した。

検出微生物は下記の通り。検鏡の写真は、添付ファイルを参照されたい。

T5916-1：細菌（単桿状細胞）、菌類（菌糸、菌糸体、Fusarium 属のものと思われる分生子）が含まれる。これらに加えて、虫体（トビムシ？）が含まれる。この虫体は、少なくともダニのものではない。

T5916-5：細菌（単桿状細胞）、菌類（菌糸、菌糸体）が含まれる。

3. 微生物の分離培養に基づく所見

NCIMB Japan（10月1日付けで株式会社テクノスルガに組織統合）技術チームが両古墳石室壁面から採取したサンプル（添付のサンプルリスト、表3. 検体情報参照）について菌類（カビ、酵母）および細菌（バクテリア）の分離、培養を行なった。これまで得られたデータは、別表にまとめられている。

（3-1）菌類について

菌類の分離法はこれまでと同じ方法を用いた。現時点の結果は、別紙表1（高松塚古墳菌類分離菌株リスト、2005年10月27日 時点）ならびに表2（高松塚古墳菌類分離菌株の性状一覧、2005年10月27日 時点）に要約されている。

(1) 8点のサンプル全てから *Penicillium* sp. 1 (K5217-2, 4/K5225-16/T4906-8に類似) が分離された。

(2) *Fusarium* sp. 1 (高松塚石室内分離株 EF-1 α Group 1 に類似) が女子群像下のゲル状サンプルから分離された。

(3) *Fusarium* sp. 2 (EF-1 α Group 1 に類似) が白虎前肢下のゲル状、女子群像裾下のベタベタ状サンプルから分離された。

(4) 子囊菌酵母 *Pichia* を含む酵母が4点から分離された。

考察：昨年9月6日採取サンプルと比較して、今回採取したサンプルの菌類構成種は少なかった。また、暗色系のカビは分離されなかった。ゲル状ないしはベタベタ状の部分にはカビや酵母が細菌と混生していると結論づけられる。

(3-2) 細菌について

高松塚古墳壁面から採取したサンプル(表3. 検体情報)から常法により細菌を分離、培養した。現時点の結果は、表4(結果一覧、高松塚古墳)に要約されている。なお、表中の「目視によるグループ」の欄は、表現形質に基づく分離、培養した細菌の群別を示す。

(1) 8点全てのサンプルから細菌が分離された。それらは表現形質により9グループに分けられた。

(2) *Bacillus* 属と推定されるグラム陽性、芽胞形成、桿状細菌がゲル状サンプル7点から分離された。この細菌のコロニーはほとんど粘稠性を示さない。

(3) 粘稠性、黄色系コロニーを形成するグラム陰性、短桿状細菌が分離された。

考察：壁面のゲル状ないしはベタベタ状の部分は主として細菌の活動に由来するコロニーそのものと考えられる。それらのコロニーにはカビや酵母が混生している。

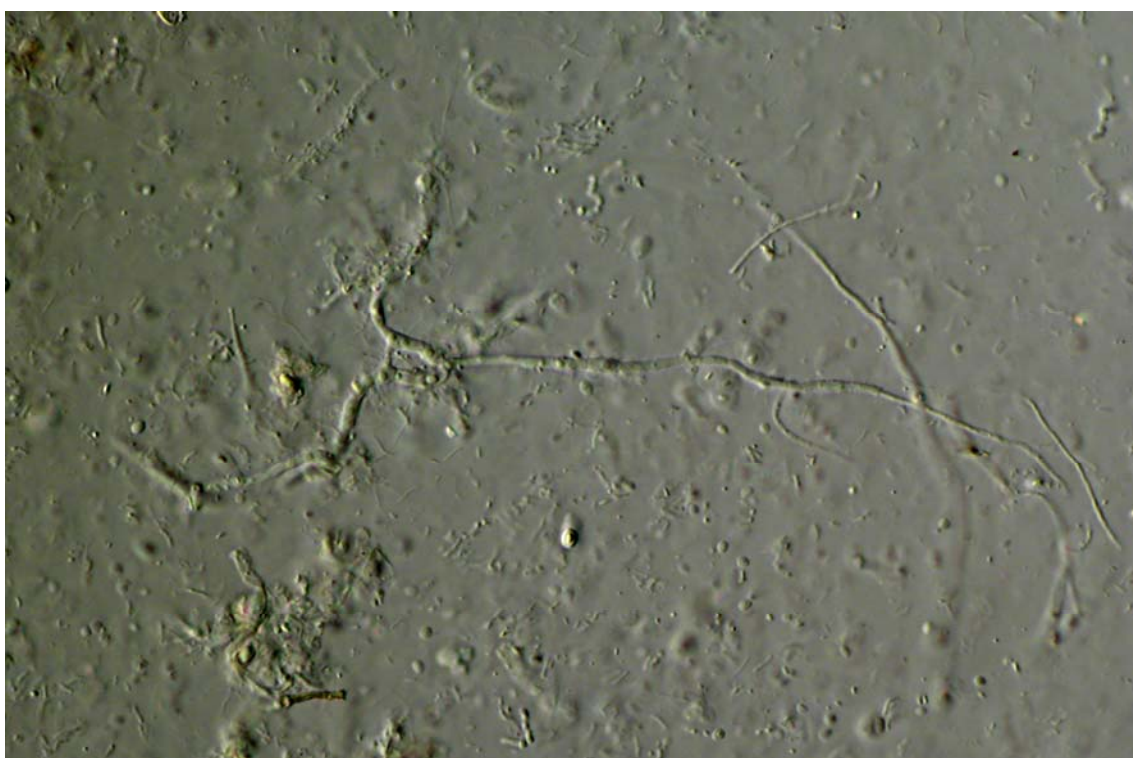
4. 現時点の総合所見

高松塚古墳は石室及び壁面ともゲル状ないしはベタベタ状の部分は細菌を主とし、カビ・酵母を従とする混生コロニー、すなわちバイオフィルムを形成していると結論づけられる。従って、石室壁面のゲル状ないしはベタベタ状の部分には、細菌が衰退した後、条件次第でカビや酵母が一斉に増殖や繁殖して、新しいコロニーが展開する可能性がある。

石室壁面のゲル状ないしベタベタ状部分の正体を解明するには、分離した個々の微生物についてさらに詳しく諸形質を調べ、種レベルの同定をする必要がある。



T5916-1 (西壁 白虎 前肢下 ゲル状サンプル) (×600)



T5916-5 (東壁 女子群像 右の人物下 ゲル状) (×600)

検体情報（高松塚古墳）

検体名	SIID	受取日	分析承認日	検体荷姿	数量	分離源
T5916-1	3992-01	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 西壁白虎前脚下／ゲル状
T5916-2	3992-02	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 西壁白虎後脚下／ゲル状
T5916-3	3992-03	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 西壁女子群像 左の人物のも裾下 ／ベタベタ状
T5916-4	3992-04	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 西壁女子群像 左の人物下 数 cm ／ベタベタ状
T5916-5	3992-05	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 東壁女子群像 右の人物下 ／ゲル状
T5916-6	3992-06	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 東壁女子群像下／ゲル状
T5916-7	3992-07	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 東壁青龍右下／ベタベタ状
T5916-8	3992-08	2005年9月19日	2005年9月19日	シヤールレ	1	高松塚古墳 東壁青龍 左 茶しみの黒かび 跡／ベタベタ状

表 1. 結果一覧

サンプル No.	SIID	コロニー色	コロニー 粘稠性	グラム染色性	細胞形態	芽胞形成	滑走運動	目視観察による グループ
T5916-1	3992-01-1b	淡黄色	-	-	短桿菌	-	-	Taka-1
	3992-01-2b	クリーム色	-	+	桿菌	-	-	Taka-2
T5916-2	3992-02-1b	明るい黄色	+	-	短桿菌	-	+	Taka-3
	3992-02-2b	クロム黄色	+	-	短桿菌	-	-	Taka-4
	3992-02-3b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5
T5916-3	3992-03-1b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5
	3992-03-2b	緑黄色	+	+	桿菌	-	-	Taka-6
	3992-03-3b	クリーム色	-	-	短桿菌	-	-	Taka-7
T5916-4	3992-04-1b	緑黄色	+	+	桿菌	-	-	Taka-6
	3992-04-2b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5
T5916-5	3992-05-1b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5
	3992-05-2b	明るい黄色	+	-	短桿菌	-	-	Taka-8
T5916-6	3992-06b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-9
T5916-7	3992-07-1b	淡黄色	-	-	短桿菌	-	-	Taka-1
	3992-07-2b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5
T5916-8	3992-08b	クリーム色	-	+	桿菌	+	-	Taka-5

+: 陽性 -: 陰性

目視観察によるグループ：目視観察により同一菌種の可能性が高い菌株は1グループとし、それぞれ番号で区分しました。

表1. 高松塚古墳 (2005年9月16日採取サンプル) 菌類 (カビ) 分離菌株リスト (2005年10月27日時点).

T5916 (SIID3992)									
サンプルNo.枝番 (SIID番号)	1	2	3	4	5	6	7	8	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
分離源	西壁			東壁			青龍		
	白虎	白虎	女子	女子	女子	女子	女子	女子	青龍
特記事項	前肢下	後肢下	左の人物の も裾下	左の人物下 数cm	右の人物下	女子群像下	右下	左茶しみ中 の黒カビ跡	
	ゲル状	ゲル状	ベタベタ状	ベタベタ状	ゲル状	ゲル状	ベタベタ状	ベタベタ状	
カビ									
<i>Fusarium</i> sp. 1					○	○	○		
<i>Fusarium</i> sp. 2		○	○						
<i>Paecilomyces</i> sp. 1				○					
<i>Penicillium</i> sp. 1	○	○	○	○	○	○	○	○	○
酵母									
Yeast-① <i>Pichia</i> sp.						○			
Yeast-②		○							○
Yeast-③		○							
Yeast-④					○	○			

表2. 高松塚古墳 (2005年9月16日採取サンプル) 菌類(カビ)分離菌株の性状一覧: (2005年10月27日時点).

	培養性状				胞子タイプ	色素産生	昨年度の菌株との比較 (-は今回初出の分離株)	備考
	色調	表面性状	湿性	乾性				
カビ								
<i>Fusarium</i> sp. 1	light orange-orange white	ビロード状~羊毛状	湿性		± (yellowish white 薄い)	EF-1 α Group 1 (高松塚石室内分離株)に類似	-	
<i>Fusarium</i> sp. 2	yellowish white-white	ビロード状~羊毛状	湿性		-	検討中 (おそらくGroup 1に近い?)	-	
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	dull red-pale red	ビロード状~羊毛状	乾性		-	高松塚石室床面 (T4519-7)分離株 sp.1に類似	-	
<i>Penicillium</i> sp. 1	deep green	ビロード状	乾性		-	sp. 2 (K5217-2, 4/K5225-16/T4906-8)に類似	-	
酵母								
Yeast-① <i>Pichia</i> sp.	light orange-orange white	しわ状・中心部隆起	湿性		-	高松粘菌, 高松塚石室内壁面 白虎爪 (T4716)分離株と同じである可能性高い	子嚢孢子形成	
Yeast-②	white	しわ状・菌糸状	湿~乾性		-	初出	仮性~真菌系形成	
Yeast-③	white	平滑	湿性		-	検討中	-	
Yeast-④	yellowish white-white	平滑~菌糸状	湿性		-	検討中	仮性菌糸形成	

2005年9月16日高松塚古墳を視察して

サラヤ株式会社 商品開発本部 研究開発担当取締役、日本防菌防黴学会 理事
古田太郎

2005年9月16日、高松塚古墳の両室内を視察して、微生物の生育環境としての石室とその微生物制御対策について感じた点を述べる。

■微生物の生育環境としての石室

微生物の生育には適度の水分、温度および栄養が必要であるが、現状の石室を見る限り、これらの条件を満たしており、微生物の生育に好適な環境であるといえる。

温度：2005年9月16日現在、石室内の温度は十数℃であり、環境に存在する細菌、カビ、酵母は十分発育可能である。石室の温度をゆっくりと低下させているとのことであるが、新たな低温細菌・真菌の出現や低温環境への微生物の適応が危惧されるため、長期間にわたった低温の制御は困難であろう。

水分：石室内の湿度はほぼ100%であり、微生物の発育に好適である。局所的な温度変動があれば（ヒトの出入りなど）、結露が起きている何ら不思議でない。

栄養：発見以前の栄養状態がどの程度か、またどのような菌相が存在していたか不明であるが、発見以降もたらされた栄養分としてはいくつか考えられる。一つは人体からの呼気であり、有機物の量としてはわずかであっても、結露すれば十分に微生物が発育することが可能である。ホルムアルデヒド燻蒸の結果もたらされる有機物の残存、さらにエタノールなどの消毒剤の残留等も考えられるが、それぞれがどの程度、微生物の発育に寄与しているかどうかは不明である。また、一度カビが発生すると、その死骸を物理的に十分除去できなければ、漆喰に栄養分が残ることになり、さらなる微生物の繁殖の元になる。

■石室内の微生物制御

石室内は微生物の生育に必要な適度な温度、水分および栄養条件に保たれており、それらの状態を変化させる（温度低下、乾燥、洗浄）ことができないのであれば、外的なストレスによる微生物制御しか手段はない。そのいくつかを列記するが、現実性があるかどうかの検証が必要である。

ガス雰囲気：好氣的雰囲気から嫌氣的雰囲気（カビの制御）（無人時）。

温度制御した加湿した窒素（または二酸化炭素の混合ガス）の石室内への連続注入。ただし、この方法については、すでにワーキンググループや委員会で検討した結果、石室内の気密性が十分確保できないため、採用できないと結論されている。

殺菌処理：過酸化水素溶液等でもある程度の殺菌効果はあるが、根絶させるには、アルコール処理が有効と思われる。アルコールは細菌芽胞を除くすべての微生物に有効であり、低濃度の場合を除き、耐性菌の出現は報告されていない（ホルムアルデヒドや過酸化水素の場合には耐性菌の報告がある）。

防菌防黴処理：カビの菌糸は壁面の内部にまで存在していることがある。表面だけの処理では限界がある。高湿度条件下において、バイオフィルムを形成する細菌類に有効で、ある程度カビにも効果がある薬剤として **Kathon CG** の利用も一つの方法である。

いずれの手段をとるにせよ、壁画そのものに悪影響を与えないことを確認しておく必要がある。微生物制御は一つの手段だけでは成功することは少なく、それらを効果的に組み合わせることが肝要と思われる。