

高松塚古墳石室内外環境の菌類調査報告

東京大学名誉教授、テクノスルガ・ラボ

杉山 純多

東京文化財研究所 木川 りか・佐野 千絵

1. 高松塚古墳石室内外から収集した微生物分析用試料の概要

1-1. 高松塚古墳から採取した試料の位置関係に基づくカテゴリーについて

高松塚古墳から 2004 年 5 月から 2009 年 2 月にかけて採取した微生物分析用試料は採取した箇所別に大きく 5 つのカテゴリーに分けられる。各カテゴリーについて下記にまとめる。また、各カテゴリーの位置関係を図 1 に示す。

1. 「石室内」：「閉鎖」環境下の石室内空間から採取された試料（2004.5～2006.12）

この試料は試料の採取時期によって大きく 4 つに分けられる。

1-1. 冷却前（2004.5～9）

1-2. 冷却直後（2005.9）：墳丘部の冷却を開始した直後

1-3. 冷却後安定期（2006.2～12）：石室内の温度が約 10℃の一定温度に保たれた時期

1-4. 石室解体時の壁画面※（2007.4～2007.8）

※ 「石室解体時の壁画面」とは 2007 年 4 月以降開始された石室解体作業時に、石室解体現場や取外しされ修復施設に搬送された壁石の“壁画面（壁画が描かれている面を指し、小口面等は含めない）”および床面などの元来の「石室内」空間から“開放”環境下において採取された試料を含める。

2. 「壁石間」：石室内外の中間。主に石室解体に伴い採取された試料（2007.1～8）

このカテゴリーには主に以下の箇所から採取された試料が含まれる

- ・ 石室を構成する壁石の間、小口面や目地漆喰
- ・ 壁石等の亀裂部位からの試料
- ・ 床石間の小口面
- ・ 盗掘口カバー裏面の石室側半分（取合部側半分は“取合部”試料とする）

3. 「取合部」：「取合部」と称される空間から採取された試料（2004.5～2007.8）

- ・ 墳丘部の発掘、石室解体前後の取合部空間から採取された試料
- ・ 盗掘口カバー裏面の取合部側半分

4. 「石室外」：主に石室に隣接した環境（壁石間や取合部のすぐ外側）から採取された試料が含まれる（2004.5～2007.8）

- ・壁石の外面（壁画面の反対で畦等の周辺土壌に接している面）
 - ・畦、床裏面（床石吊り上げ後の床面（土面））からの採取試料
 - ・切石およびその周辺部からの採取試料（2007.8, 2008.2）
 - ・前室、準備室（2004.5～2006.12）
5. 墳丘部：石室外試料より外側に位置する古墳の墳丘土およびその周辺環境から採取された試料を含む（2006、2008～2009）。この試料は採取時期により大きく2つに区分される。
- 5-1. 墳丘部1（2006）：発掘作業が開始される前の2006年2月に墳丘部周辺環境から採取された試料（墳丘北側の竹藪（遊歩道北側）および石室西脇／東脇と記載された試料）など
- 5-2. 墳丘部2（2008～2009）：主に2008年の保存施設解体作業に伴い採取された試料
- ・墓道部（保存施設解体・取外した跡付近）
 - ・墳丘部（墳丘部の北、東、南西、南東部からの土壌試料）

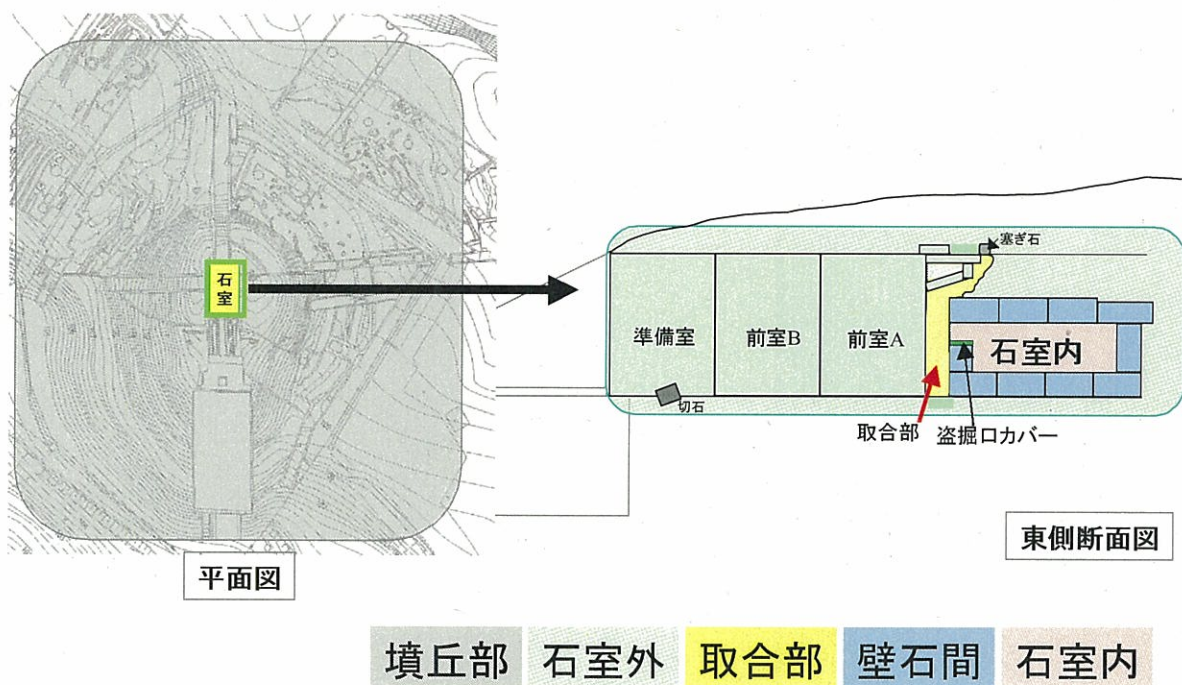


図1. 高松塚古墳採取した微生物分析用試料の位置関係の概念図

1-2. 高松塚古墳から採取した試料の概要

これまで高松塚古墳石室内外から2004年5月から2009年2月にかけて微生物学的調査・研究用に採取した試料の時期および採取箇所別にみた試料数の概要を表1にまとめる。壁画面に発生したカビのコロニーやゲル状物質等の綿棒採取試料、石室解体および墳丘部の発掘に伴って得られた土壌、漆喰片、植物の根など、総計716点の試料を採取した。

表 1. 高松塚古墳から採取した試料の採取時期別の試料数

試料採取年月	出来事	試料採取箇所の位置カテゴリー					計
		石室内	取合部	壁石間	石室外	墳丘部	
2004.5-9	冷却前	22	13	—	—	—	36
2005.9	冷却直後	8	—	—	—	—	8
2006.2-12	冷却後安定期	67	17	22	27	8	139
2007.1-9	石室解体	—	—	—	507	—	507
2008.2-12 2009.2	墳丘部発掘	—	—	—	16	37	53
計		97	30	22	550	45	716

—：採取試料がないことを示す

2. 高松塚古墳の菌類相について

2-1. 分析試料および分析方法

菌類を対象とした分離培養法および分離株の同定には、以下の試料および手法を用いた。なお、試料から同一菌種が複数株分離された時は、代表 1 株を残し、1 試料から 1 菌株分離したという定性評価で分離株の整理を行った。

- ・分析試料：278 点（高松塚古墳の石室内外および墳丘部から採取）
- ・試料採取時期：2004 年 5 月～2009 年 2 月
- ・分離培養法：塗布法、湿室法
- ・分離株の同定：培養性状および形態的特徴の観察
選別株について遺伝子解析（主に 28S rDNA-D1/D2 領域）

2-2. 高松塚古墳石室内の菌類相の変化（2004. 5～2006. 12）

2004 年 5 月から 2006 年 12 月までの高松塚古墳石室内で採取した試料 90 点から菌類の分離を行った結果、総計 426 株を分離した。試料の採取時期別にみた菌類相（mycobiota）の変化、各菌群の出現状況を表 2 にまとめた。

この期間では、*Fusarium* 属（フザリウム；*F. solani* species complex clade (FSSC)）、*Trichoderma* 属（トリコデルマ）、*Penicillium* 属（アオカビ）の 3 属が石室内における優占菌類群であった。*Penicillium* 属には複数の菌種が分離されたが、分離株は主に *P. paneum* (*Penicillium* sp. 1) で構成されていた。2005 年 9 月の石室解体に伴う墳丘部の冷却開始以降、これまでの主要菌類群であった *Fusarium* 属、*Trichoderma* 両属は徐々に衰退し、特に *Trichoderma* 属は全く分離されていない。これらに代わって、石室内の温度が約 10℃に安定化した 2006 年 5 月以降、飛鳥美人として知られる女子群像の“黒い染み”の原因カビ、すなわち暗色系 *Acremonium* 属（アクレモニウム (sect. *Gliomastix*)) が *Penicillium* 属と共に石室内の優占菌類群として観察された。暗色系 *Acremonium* 属 (sp. 1) は冷却前の石室内床

面から 2004 年 5 月に採取した試料からも 1 菌株分離されていることから、当菌群は冷却前から石室内に生息していたが、他のカビの生育や何らかの要因により生育が抑えられていた可能性が考えられる。墳丘部の冷却開始後、石室内の温度低下および他のカビの生育抑制（例えば *Trichoderma* 属など）などの様々な要因により暗色系 *Acremonium* 属（主に sp. 1）の繁殖が活性化されたと考えられる。他に特徴的な菌群として、菌寄生性の特徴を持つ *Clonostachys* 属（*Gliocladium* 属）が認められた。

また、2001 年 12 月に石室内北壁と南壁面に発生した茶褐色の染み（色素）をだすカビ、*Cylindrocarpon* 属（シリンドロカルポン；TBT-1・TBT-2 の 2 株）は 2004 年から 2006 年の石室内の調査では検出されていないことから、2001 年の発生以降、衰退してしまった可能性が考えられた。

表 2. 高松塚古墳石室内から採取した試料の採取時期別にみた菌類相の比較

分類群	採取時期 (試料数)	2004.5-9 (22)	2005.9 (8)	2006.2 (7)	2006.5 (11)	2006.7 (14)	2006.10 (11)	2006.12 (17)	計
<i>Penicillium</i> sp. 1 (<i>P. paneum</i>)		13	8	7	8	13	10	17	76
<i>Penicillium</i> spp.		11		6	1	11	9	7	45
<i>Fusarium solani</i> (FSSC)		24	5	4	1	6		8	48
<i>Trichoderma</i> spp.		22							22
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>masseii</i>		1			8	6	7	10	32
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>murorum</i>						1			1
<i>Clonostachys</i> sp.		4				6	4	16	30
<i>Cladosporium</i> spp.		2		1		2		4	9
<i>Phialocephala phycomyces</i>								1	1
<i>Phialocephala</i> sp.								3	3
<i>Oidiodendron</i> spp.						1			1
<i>Acremonium</i> spp.						1	3		4
<i>Arthrobotrys</i> sp.		1						2	3
<i>Aspergillus</i> spp.					2	1			3
<i>Monocillium</i> -like sp.								1	1
<i>Paecilomyces</i> spp. (<i>P. lilacinus</i>)		2	1			1	1	4	9
<i>Rhinoctadiella</i> -like sp.								1	1
<i>Sporotrichum</i> sp.					1		3	2	6
<i>Verticillium</i> sp. (<i>Lecanicillium</i> sp.)		2						1	3
Unidentified spp.		1		2	3	26	3	15	50
Yeasts spp.		6	6	3	9	22	8	24	78
分離株数(計)		89	20	23	33	97	48	116	426

表中の空欄はその菌種が分離されていないことを示す

2-3. 石室内外の菌類相の比較 (2004. 5~2009. 2)

前項 2-2 でまとめた“石室内 (2004.5~2006.12) 90 試料”の菌類相のデータと“壁石間 (2004.5~2007.5) 50 試料”、“取合部 (2004.5~2006.11) 19 試料”、“石室外 (2006.7~2007.5) 66 試料”および“墳丘部 (2006.2, 2008-2009.2) 11 試料”からの採取試料から分離された菌類相の比較を表 3 にまとめた。また、各菌群の主な生息環境（土壌、植物、空気、その他）についても併せて示した。

今回の一連の調査において、各場所（石室内、取合部、壁石間、石室外、墳丘部）の総計 236 試

料から約 1400 株を分離することができた。分離された菌株の大部分は分類学的に子囊菌門に含まれるアナモルフ菌類であり、一部、担子菌門および接合菌門のグループが分離されている。その中には多数の未同定の Sterile mycelium（培地上で孢子形成が認められない菌群）が認められている。

石室内の優占菌類群であった *Penicillium* 属、特に *P. paneum* は 2008 年から 2009 年に採取された墳丘部の試料を除く石室内外いずれの試料においても共通する優占菌類として認められた。一方で石室解体時の壁石間および取合部を含む石室外の試料では *P. paneum* 以外の *Penicillium* 属菌種（特に *Penicillium* sp. A (*P. cf. minioluteum*)) が多数分離される傾向が認められた。*Fusarium* 属 (*F. solani*) については石室内と壁石間の試料では多く分離されているが、石室外（石室周辺の土壌、畦など）や墳丘部試料からはほとんど分離されていない。また、同じく石室内の優占菌群であった *Trichoderma* 属は取合部、壁石間、石室外および墳丘部、いずれの試料からも優占菌群として分離されたことから、古墳周辺環境に普通に生息する菌群であると考えられる。

2006 年 5 月に“飛鳥美人”と呼ばれる石室内西壁女子群像付近の“黒い染み”の主因微生物であった暗色系 *Acremonium* 属 ((sect. *Gliomastix*) sp. 1) は取合部、石室外および墳丘部試料からは分離されず、主に石室内環境から分離されているのが特徴である。

石室内から 1 株のみ分離されながらも取合部で特徴的に出現した菌群として、*Oidiodendron* 属（オイデオデンドロン）がある。このカビは墳丘部の冷却以降、2006 年 5 月に取合部（西側）に発生した“黒いカビ様の汚れ”の主要菌類であった。この *Oidiodendron* 属は植物の根と関係のある菌種が多く知られており、高松塚古墳の壁石間、石室外および墳丘部の試料から多く検出されていることは、樹木等の植物の根を媒介手段として、取合部に侵入・定着した可能性が考えられる。また、取合部などの石室周辺環境には普遍的に生息するものの、石室内には侵入・定着ができなかった菌群の一例として挙げられる。

石室解体時に採取した壁石間の試料からは石室内では認められなかった暗色系のアナモルフ菌類（*Cladophialophora* 属や *Phialophora* 属等）が多数分離された。実際に、壁石の小口面からの試料から直接プレパラートを作製して光学顕微鏡下で観察した結果においても、それらの菌群のものと考えられる菌糸体や孢子（分生子）が多数観察されている。その中で特徴的な菌群として *Doratomyces* 属（*D. nanus* に近縁と考えられる）が挙げられる。*Doratomyces* 属は 1980 年代に石室内の壁画面で大量発生したとして報告されているが、それ以降発生した記録はなく、2004 年以降に開始した我々の調査においても分離株を得ることはできていない。しかし、石室解体時の西壁石 1 と天井石 1 との接合面から採取された 1 試料から 1 菌株を分離することができた。1980 年代当時に発生記録のある *Doratomyces* 属の菌株および詳細な観察データが残されていないため、詳細な比較はできないが、おそらく同一菌種であり、当時大量発生したものの生き残りである可能性が高いと考えられた。

表 3-1. 高松塚古墳石室内外の菌類相の比較および文献資料から推測される
各菌群の主な生息環境 (土壌)

サンプルの採取箇所カテゴリー		石室内	取合部	壁石間	石室外	墳丘部
分類群	採取時期(試料数)	2004.5-2006.12 (90)	2004.5-2006.7 (19)	2007.4- 2007.8 (50)	2006.11-2007.8 (66)	2008-2009.2 (11)
子囊菌門 Ascomycota						
<i>Penicillium</i> sp. 1 (<i>P. paneum</i>)		76	9	28	14	1
<i>Penicillium</i> sp. A (<i>P. cf. minioluteum</i>)		6	3	27	44	1
<i>Penicillium</i> spp.		39	13	32	127	21
<i>Fusarium solani</i> (FSSC)		48	8	20	2	1
<i>Trichoderma</i> spp.		22	8	12	20	15
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>masseii</i>		32		4		
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>murorum</i>		1		2		
<i>Acremonium</i> spp.		4	3	7	3	4
<i>Alternaria</i> sp.					1	
<i>Aphanocladium</i> sp.				1		
<i>Arthrotrichum</i> sp.		3		2		
<i>Aspergillus</i> spp.		3	1			2
<i>Arthrinium</i> sp.						1
Bionectriaceae group			3			
<i>Chloridium</i> -like				3		1
<i>Cladosporium</i> spp.		9			1	
<i>Cladophialophora</i> spp.				25	28	4
<i>Clonostachys cf. rosea</i> (<i>Gliocladium</i>)		30	2	5	1	
<i>Cylindrocarpon</i> sp.				6	5	3
<i>Doratomyces</i> sp.				1		
<i>Exophiala</i> sp.						1
<i>Geomyces cf. pannorum</i>						3
<i>Gilmaniella humicola</i>						1
<i>Gonatobotrys</i> -like sp.						2
<i>Monocillium</i> -like sp.		1				
<i>Nodulisporium</i> sp.					1	
<i>Oidiodendron</i> spp.		1	2	15	49	7
<i>Paecilomyces cf. variotii</i>				1	7	1
<i>Paecilomyces</i> spp. (incl. <i>P. lilacinus</i>)		9	2			
<i>Papulaspora</i> sp.						1
<i>Phialocephala phycomyces</i>		1		3	16	
<i>Phialocephala</i> spp.		3		8		
<i>Phialophora</i> sp.				15		
<i>Rhinochrysiella</i> sp.		1		4		
<i>Sagenomella</i> -like				1	3	3
<i>Scytalidium</i> -like					4	7
<i>Sporothrix</i> -like					3	5
<i>Talaromyces</i> spp.						2
<i>Trichocladium opacum</i>				1		3
<i>Trichosporiella</i> sp.					1	
<i>Tritiratum</i> sp.					1	
Unidentified sp. A				20		
<i>Verticillium</i> sp. 1 white (<i>Lecanicillium</i> sp.?)		3		9	1	
<i>Verticillium</i> sp. 2 reddish				2		
Yeasts spp.		78	5	40	25	2
担子菌門 Basidiomycota						
<i>Sporotrichum</i> sp.		6				
basidiomycetous yeast (<i>Cryptococcus</i> spp.)						9
接合菌門 Zygomycota						
<i>Cirrenalia</i> sp.						2
<i>Gongronella butleri</i>						4
<i>Mortierella</i> sp.				7	1	
<i>Zygorhynchus</i> sp.				1		
未同定菌類						
Unidentified spp. (Sterile mycelium含む)		50	13	35	93	17
分離株数(計)		426	72	337	451	124

表中の数値は分離株数を示す。濃黄色は報告例が多い、薄黄色は報告例が少ないことを示す。

表 3-2. 高松塚古墳石室内外の菌類相の比較および文献資料から推測される
各菌群の主な生息環境 (植物)

サンプルの採取箇所カテゴリー		石室内	取合部	壁石間	石室外	墳丘部
分類群	採取時期 (試料数)	2004.5-2006.12 (90)	2004.5-2006.7 (19)	2007.4- 2007.8 (50)	2006.11-2007.8 (66)	2008-2009.2 (11)
子囊菌門 Ascomycota						
<i>Penicillium</i> sp. 1 (<i>P. paneum</i>)		76	9	28	14	1
<i>Penicillium</i> sp. A (<i>P. cf. minioluteum</i>)		6	3	27	44	1
<i>Penicillium</i> spp.		39	13	32	127	21
<i>Fusarium solani</i> (FSSC)		48	8	20	2	1
<i>Trichoderma</i> spp.		22	8	12	20	15
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>masseli</i>		32		4		
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>murorum</i>		1		2		
<i>Acremonium</i> spp.		4	3	7	3	4
<i>Alternaria</i> sp.					1	
<i>Aphanocladium</i> sp.				1		
<i>Arthrotrichum</i> sp.		3		2		
<i>Aspergillus</i> spp.		3	1			2
<i>Arthrinium</i> sp.						1
Bionectriaceae group			3			
<i>Chloridium</i> -like				3		1
<i>Cladosporium</i> spp.		9			1	
<i>Cladophialophora</i> spp.				25	28	4
<i>Clonostachys</i> cf. <i>rosea</i> (<i>Gliocladium</i>)		30	2	5	1	
<i>Cylindrocarpon</i> sp.				6	5	3
<i>Doratomyces</i> sp.				1		
<i>Exophiala</i> sp.						1
<i>Geomyces</i> cf. <i>pannorum</i>						3
<i>Gilmaniella humicola</i>						1
<i>Gonatobotrys</i> -like sp.						2
<i>Monocillium</i> -like sp.		1				
<i>Nodulisporium</i> sp.					1	
<i>Oidiodendron</i> spp.		1	2	15	49	7
<i>Paecilomyces</i> cf. <i>variotii</i>				1	7	1
<i>Paecilomyces</i> spp. (incl. <i>P. lilacinus</i>)		9	2			
<i>Papulaspora</i> sp.						1
<i>Phialocephala phycomyces</i>		1		3	16	
<i>Phialocephala</i> spp.		3		8		
<i>Phialophora</i> sp.				15		
<i>Rhinochlaetia</i> sp.		1		4		
<i>Sagenomella</i> -like				1	3	3
<i>Scytalidium</i> -like					4	7
<i>Sporothrix</i> -like					3	5
<i>Talaromyces</i> spp.						2
<i>Trichocladium opacum</i>				1		3
<i>Trichosporiella</i> sp.					1	
<i>Tritiratum</i> sp.					1	
Unidentified sp. A				20		
<i>Verticillium</i> sp. 1 white (<i>Lecanicillium</i> sp.?)		3		9	1	
<i>Verticillium</i> sp. 2 reddish				2		
Yeasts spp.		78	5	40	25	2
担子菌門 Basidiomycota						
<i>Sporotrichum</i> sp.		6				
basidiomycetous yeast (<i>Cryptococcus</i> spp.)						9
接合菌門 Zygomycota						
<i>Cirrenalia</i> sp.						2
<i>Gongronella butleri</i>						4
<i>Mortierella</i> sp.				7	1	
<i>Zygorhynchus</i> sp.				1		
未同定菌類						
Unidentified spp. (Sterile mycelium含む)		50	13	35	93	17
分離株数(計)		426	72	337	451	124

表中の数値は分離株数を示す。濃緑色は報告例が多い、薄緑色は報告例が少ないことを示す。

表 3-3. 高松塚古墳石室内外の菌類相の比較および文献資料から推測される
各菌群の主な生息環境 (空气中)

サンプルの採取箇所カテゴリー		石室内	取合部	壁石間	石室外	墳丘部
分類群	採取時期 (試料数)	2004.5-2006.12 (90)	2004.5-2006.7 (19)	2007.4- 2007.8 (50)	2006.11-2007.8 (66)	2008-2009.2 (11)
子囊菌門 Ascomycota						
	<i>Penicillium</i> sp. 1 (<i>P. paneum</i>)	76	9	28	14	1
	<i>Penicillium</i> sp. A (<i>P. cf. minioluteum</i>)	6	3	27	44	1
	<i>Penicillium</i> spp.	39	13	32	127	21
	<i>Fusarium solani</i> (FSSC)	48	8	20	2	1
	<i>Trichoderma</i> spp.	22	8	12	20	15
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>masseii</i>	32		4		
	<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>murorum</i>	1		2		
	<i>Acremonium</i> spp.	4	3	7	3	4
	<i>Alternaria</i> sp.				1	
	<i>Aphanocladium</i> sp.			1		
	<i>Arthrobotrys</i> sp.	3		2		
	<i>Aspergillus</i> spp.	3	1			2
	<i>Arthrini</i> sp.					1
	Bionectriaceae group		3			
	<i>Chloridium</i> -like			3		1
	<i>Cladosporium</i> spp.	9			1	
	<i>Cladophialophora</i> spp.			25	28	4
	<i>Clonostachys</i> cf. <i>rosea</i> (<i>Gliocladium</i>)	30	2	5	1	
	<i>Cylindrocarpon</i> sp.			6	5	3
	<i>Doratomyces</i> sp.			1		
	<i>Exophiala</i> sp.					1
	<i>Geomyces</i> cf. <i>pannorum</i>					3
	<i>Gilmaniella humicola</i>					1
	<i>Gonatobotrys</i> -like sp.					2
	<i>Monocillium</i> -like sp.	1				
	<i>Nodulisporium</i> sp.				1	
	<i>Oidiodendron</i> spp.	1	2	15	49	7
	<i>Paecilomyces</i> cf. <i>variofi</i>			1	7	1
	<i>Paecilomyces</i> spp. (incl. <i>P. lilacinus</i>)	9	2			
	<i>Papulaspora</i> sp.					1
	<i>Phialocephala phycomyces</i>	1		3	16	
	<i>Phialocephala</i> spp.	3		8		
	<i>Phialophora</i> sp.			15		
	<i>Rhinocladiella</i> sp.	1		4		
	<i>Sagenomella</i> -like			1	3	3
	<i>Scytalidium</i> -like				4	7
	<i>Sporothrix</i> -like				3	5
	<i>Talaromyces</i> spp.					2
	<i>Trichocladium opacum</i>			1		3
	<i>Trichosporiella</i> sp.				1	
	<i>Tritiratum</i> sp.				1	
	Unidentified sp. A			20		
	<i>Verticillium</i> sp. 1 white (<i>Lecanicillium</i> sp.?)	3		9	1	
	<i>Verticillium</i> sp. 2 reddish			2		
	Yeasts spp.	78	5	40	25	2
担子菌門 Basidiomycota						
	<i>Sporotrichum</i> sp.	6				
	basidiomycetous yeast (<i>Cryptococcus</i> spp.)					9
接合菌門 Zygomycota						
	<i>Cirrenalia</i> sp.					2
	<i>Gongronella butleri</i>					4
	<i>Mortierella</i> sp.			7	1	
	<i>Zygorhynchus</i> sp.			1		
未同定菌類						
	Unidentified spp. (Sterile mycelium含む)	50	13	35	93	17
	分離株数(計)	426	72	337	451	124

表中の数値は分離株数を示す。濃青色は報告例が多い、薄青色は報告例が少ないことを示す。

表 3-4. 高松塚古墳石室内外の菌類相の比較および文献資料から推測される
各菌群の主な生息環境(その他 昆虫等)

サンプルの採取箇所カテゴリー		石室内	取合部	壁石間	石室外	墳丘部
分類群	採取時期(試料数)	2004.5-2006.12 (90)	2004.5-2006.7 (19)	2007.4- 2007.8 (50)	2006.11-2007.8 (66)	2008-2009.2 (11)
子囊菌門Ascomycota						
<i>Penicillium</i> s p. 1 (<i>P. paneum</i>)		76	9	28	14	1
<i>Penicillium</i> sp. A (<i>P. cf. minioluteum</i>)		6	3	27	44	1
<i>Penicillium</i> spp.		39	13	32	127	21
<i>Fusarium solani</i> (FSSC)		48	8	20	2	1
<i>Trichoderma</i> spp.		22	8	12	20	15
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>masseii</i>		32		4		
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomasyx</i>) <i>murorum</i>		1		2		
<i>Acremonium</i> spp.		4	3	7	3	4
<i>Alternaria</i> sp.					1	
<i>Aphanocladium</i> sp.				1		
<i>Arthrobotrys</i> sp.		3		2		
<i>Aspergillus</i> spp.		3	1			2
<i>Arthrinium</i> sp.						1
Bionectriaceae group			3			
<i>Chloridium</i> -like				3		1
<i>Cladosporium</i> spp.		9			1	
<i>Cladophialophora</i> spp.				25	28	4
<i>Clonostachys</i> cf. <i>rosea</i> (<i>Gliocladium</i>)		30	2	5	1	
<i>Cylindrocarpon</i> sp.				6	5	3
<i>Doratomyces</i> sp.				1		
<i>Exophiala</i> sp.						1
<i>Geomyces</i> cf. <i>pannorum</i>						3
<i>Gilmaniella humicola</i>						1
<i>Gonatobotrys</i> -like sp.						2
<i>Monocillium</i> -like sp.		1				
<i>Nodulisporium</i> sp.					1	
<i>Oidiodendron</i> spp.		1	2	15	49	7
<i>Paecilomyces</i> cf. <i>variotii</i>				1	7	1
<i>Paecilomyces</i> spp. (incl. <i>P. lilacinus</i>)		9	2			
<i>Papulaspora</i> sp.						1
<i>Phialocephala phycomyces</i>		1		3	16	
<i>Phialocephala</i> spp.		3		8		
<i>Phialophora</i> sp.				15		
<i>Rhinochadiella</i> sp.		1		4		
<i>Sagenomella</i> -like				1	3	3
<i>Scytalidium</i> -like					4	7
<i>Sporothrix</i> -like					3	5
<i>Talaromyces</i> spp.						2
<i>Trichocladium opacum</i>				1		3
<i>Trichosporiella</i> sp.					1	
<i>Tritiratum</i> sp.					1	
Unidentified sp. A				20		
<i>Verticillium</i> sp. 1 white (<i>Lecanicillium</i> sp.?)		3		9	1	
<i>Verticillium</i> sp. 2 reddish				2		
Yeasts spp.		78	5	40	25	2
担子菌門 Basidiomycota						
<i>Sporotrichum</i> sp.		6				
basidiomycetous yeast (<i>Cryptococcus</i> spp.)						9
接合菌門 Zygomycota						
<i>Cirrenalia</i> sp.						2
<i>Gongronella butleri</i>						4
<i>Mortierella</i> sp.				7	1	
<i>Zygorhynchus</i> sp.				1		
未同定菌類						
Unidentified spp. (Sterile mycelium 含む)		50	13	35	93	17
分離株数(計)		426	72	337	451	124

表中の数値は分離株数を示す。濃橙色は報告例が多い、薄橙色は報告例が少ないことを示す。

2-4. 盗掘口カバー裏面の直接観察所見および石室内との菌類相の比較

石室入口の閉塞石表面に1976年6月4日に設置された盗掘口カバーが2007年5月21日に取外された。盗掘口カバーの裏面を観察した結果、取り付け時に全面に塗られたスズ箔が一部剥がれ落ちていたが、石室側のスズ箔の表面は黒色～黒褐色に変色していた。変色の度合いは石室側でもっともひどく、取合部側では元のスズ箔が残っているほど、変色の度合いは低かった。取合部側と石室側の数箇所（主に黒色～黒褐色に着色した箇所を中心に）からプレパラートを作成、光学顕微鏡観察した結果、特に、石室側の試料で暗色系のカビを中心とした菌類ならびにバクテリアなどの細胞やダニ等の微小動物の遺骸等が非常に多く混生している状態が観察された。

盗掘口カバー裏面を石室側、中間、取合部側に区分し、それぞれから3ヶ所ずつカバー裏面から削り取って試料を採取し、菌類の分離に用いた。また、盗掘口カバーで覆われていた閉塞石の表面5ヶ所から綿棒で拭いとして採取された試料を併せて分離に用いた。各々の試料から分離された菌類分離株と石室内との分離株との菌類相の比較を表4にまとめた。*Penicillium* 属菌種など石室内と同じ菌群が盗掘口からも分離され、一方で石室内からほとんど分離されていない *Cladophialophora* 属、*Sagenomella* 属様不完全菌類や *Oidiodendron* 属などが盗掘口カバーから特徴的に分離されるなど、前項で述べた壁石間の菌類相と似た傾向が認められた。

表 4. 高松塚古墳石室内と盗掘口カバーの菌類相の比較

分類群	試料採取箇所/年月 (分析試料数)	石室内 2004.5- 2006.12 (90)	盗掘口 2007.5.21			
			盗掘口面 (閉塞石面)	カバー裏面 石室側	カバー裏面 中間	カバー裏面 取合部側
<i>Penicillium</i> sp. 1 (<i>P. paneum</i>)		76		2	1	1
<i>Penicillium</i> sp. A		6	5	2	2	3
<i>Penicillium</i> spp.		39	2	2	2	1
<i>Fusarium solani</i> (FSSC)		48				
<i>Trichoderma</i> spp.		22	1			
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>masseii</i>		32				
<i>Acremonium</i> (sect. <i>Gliomastix</i>) <i>murorum</i>		1				
<i>Clonostachys</i> sp.		30				
<i>Acremonium</i> spp.		4		1		
<i>Arthrobotrys</i> sp.		3				
<i>Aspergillus</i> spp.		3				
<i>Cladosporium</i> spp.		9				
<i>Cladophialophora</i> sp. (Clado-like)			3	1	3	2
<i>Monocillium</i> -like sp.		1				
<i>Oidiodendron</i> spp.		1			1	2
<i>Paecilomyces</i> spp. (<i>P. lilacinus</i>)		9	1			
<i>Phialocephala phycomyces</i>		1				1
<i>Phialocephala</i> sp.		3				
<i>Rhinocladiella</i> sp.		1		2	1	1
<i>Sagenomella</i> -like					1	
<i>Sporotrichum</i> sp.		6				
<i>Verticillium</i> sp. (<i>Lecanicillium</i> sp.)		3				
Unidentified spp.		50	2	2	2	5
Yeasts spp.		78			1	1
分離株数(計)		426	14	12	14	17

表中の空欄はその菌種が分離されていないことを示す

2-5. 主要な菌類（カビ）について

これまでの調査で認められた高松塚古墳の石室内外から分離された主要な菌類（カビ）は *Fusarium* 属、*Trichoderma* 属、*Penicillium* 属、暗色系 *Acremonium* 属 (*Acremonium* (sect. *Gliomastix*)) などである。各菌群のコロニー性状と光学顕微鏡観察による形態写真を図 2 に示す。

また、上述の 4 属の他に高松塚古墳の石室内外から分離された特徴的な菌群として、*Conostachys* 属 (*Gliocladium* 属)、*Oidiodendron* 属、*Doratomyces* 属、未同定アナモルフ菌類 (*Sagenomella* 属様アナモルフ菌類) および *Phialocephala* 属が挙げられる。

高松塚古墳石室内の壁画面を含む様々な試料から *Clonostachys* 属 (*Gliocladium* 属) (図 2f) が多く分離されている。この属は土壌環境に広く生息しており、さらに菌寄生性の特徴を持つことが知られている。

石室内から 1 株のみ分離されながらも取合部で特徴的に出現した菌群として、*Oidiodendron* 属がある (図 2g)。このカビは墳丘部の冷却以降、2006 年 5 月に取合部 (西側) に発生した“黒いカビ様の汚れ”の主要菌類であった。この *Oidiodendron* 属は植物の根と関係のある菌種が多く知られており、高松塚古墳の壁石間、石室外および墳丘部の試料から多く検出されていることは、樹木等の植物の根を媒介手段として、取合部に侵入・定着した可能性が考えられる。また、石室周辺環境には普遍的に生息するものの、石室内には侵入・定着ができなかった菌群の一例として挙げられる。

石室解体時に採取した壁石間の試料からは石室内では認められなかった暗色系のアナモルフ菌類が多数分離された。その中で特徴的な菌群として *Doratomyces* 属 (*D. nanus* に近縁と考えられる) が挙げられる (図 2h)。*Doratomyces* 属は 1980 年代に石室内の壁画面で大量発生したとして報告されているが、それ以降発生した記録はなく、2004 年以降に開始した我々の調査においても分離株を得ることはできていない。しかし、石室解体時の西壁石 1 と天井石 1 との接合面から採取された 1 試料から 1 菌株を分離することができた。1980 年代当時に発生記録のある *Doratomyces* 属の菌株および詳細な観察データが残されていないため、詳細な比較はできないが、おそらく同一菌種であり、当時大量発生したものの生き残りである可能性が高いと考えられた。この分離株を炭酸カルシウムを含む GYC 寒天平板培地で培養するとわずかな溶解が観察されている。

盗掘口カバー裏面の試料から石室内から分離されていない未同定の *Sagenomella* 属様アナモルフ菌類 (図 2i) はその孢子 (分生子) が特徴的であり、石室解体時に採取された壁石の小口面の黒色に着色した試料から直接プレパラートを作製して光学顕微鏡下で観察した結果、その菌群のものと考えられる孢子が多数観察されている。このカビについては分離株としては現在、1 菌株のみであるが、試料の直接顕微鏡観察の結果から、石室環境 (主に壁石間の小口面など) の広く生息していた可能性が高いと考えられた。また、分離菌株を炭酸カルシウムを含む GYC 寒天平板培地で培養すると顕著な溶解が観察されている。このことから、このカビは何らかの有機酸を産生することで、古墳の石室を構成する石材の劣化に大きく影響を与えていた可能性が高いと考えられた。

高松塚古墳の取合部、その上に位置する塞ぎ石や盗掘口カバー裏面などから堅固な針状の構造をもつ *Phialocephala* 属が分離された (図 2j)。このカビはキトラ古墳の小前室の石材や石室内壁面等で発生した“トゲ状カビ”と同じ種類である。分離菌株を炭酸カルシウムを含む GYC 寒天平板培地¹²⁾で培養するとキトラ古墳分離株と同様な顕著な溶解が観察されている。このことから、このカビは何らかの有機酸を産生することで、古墳の石室を構成する石材の劣化に大きく影響を与えてい

た可能性が高いと考えられた。

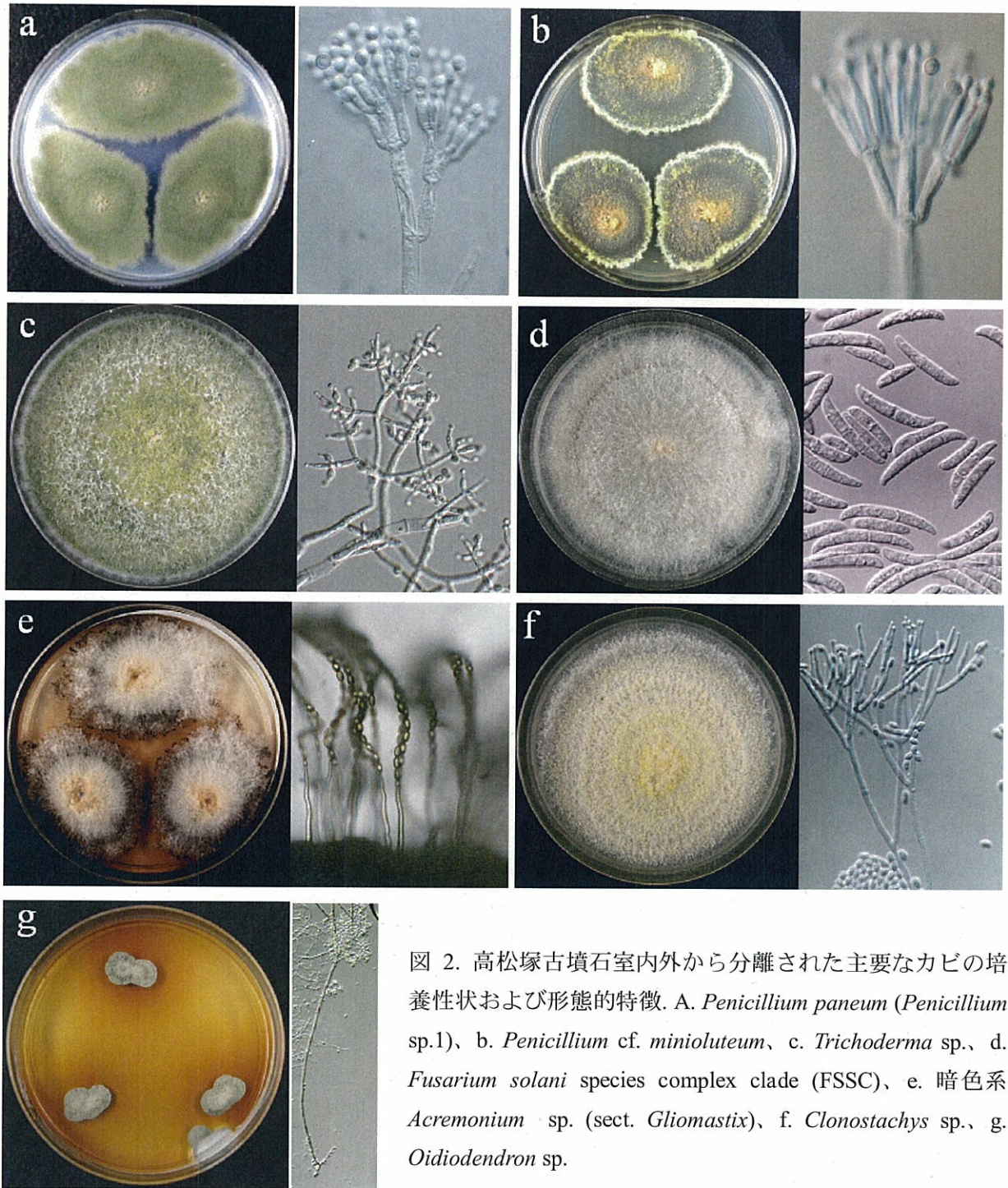


図 2. 高松塚古墳石室内外から分離された主要なカビの培養性状および形態的特徴. A. *Penicillium paneum* (*Penicillium* sp.1)、b. *Penicillium* cf. *minioluteum*、c. *Trichoderma* sp.、d. *Fusarium solani* species complex clade (FSSC)、e. 暗色系 *Acremonium* sp. (sect. *Gliomastix*)、f. *Clonostachys* sp.、g. *Oidiodendron* sp.



図2 続き (コロニー写真は左から PDA、GYC 表面、GYC 裏面) . h. *Doratomyces* sp., i. *Sagenomella* 属様アナムルフ菌類、j. *Phialocephala* sp.