

文化財環境および器物にかかわるカビの様相

高鳥浩介^{*,**} 高橋淳子^{***} 高鳥美奈子^{**}
久米田裕子^{**,****} 土戸哲明^{*,**,*}

Fungal Aspects Related with Utensils and Environments in Cultural Properties

Kosuke TAKATORI^{*,**} Atsuko TAKAHASHI^{***} Minako TAKATORI^{**}
Yuko KUMEDA^{**,****} Tetsuaki TSUCHIDO^{*,**,*}

1 研究の背景と経緯

高松塚古墳石室内はおよそ1300年間時間が停止した世界にあった。それが発見と同時にカビとさらに他の微生物による被害を受け、壁画の劣化が留まることなく進行してきたのは何故であるかを考えるとき、高湿な地中空間で一体何が起こったのか無視するわけにはいかない。発見当初石室内の温度は、約17℃前後であり、1980年代の半ばまでは、高くても17℃台を維持してきた。このように石室内温度が低かったこともあり、発掘後から修復処置中の1985年頃まではカビ発生を抑えることができたと報告されている。2000年頃になると温度が19℃を超えることがあり、カビが発育しやすい環境となって、カビが広がったと考えられている。2001年にカビの発生が急速に進んできたと考えられ、2005年秋からその緊急対策として低温維持を行ってきた。その後しばらくカビの発生はみられなかったが、*Penicillium* sp. や黒色系のカビがときおり発生し壁画にまで及ぶことが確認されてきた。壁画面にカビが発見されたのは、当時の記録からみると発掘から3年経過してからである。当時の記録をもとに要約した。

1975年3月頃：石室内でもっとも優先している *Doratomyces* sp. や *Fusarium* sp.、*Cladosporium*

sp.、*Mucor* sp. などが分離され、そのほか、*Trichoderma* sp.、*Penicillium* sp. なども若干認められた。

1980年2月：石室内に *Doratomyces* sp. が広い範囲にわたって発生した。

1980年11月、1981年6月：青龍、白虎、玄武、中央天井石から *Doratomyces* sp. と *Streptomyces* sp. が分離され、高松塚古墳の壁画面は両菌種が優先していた。

1986年7月：これまで石室で優位の *Doratomyces* sp. から *Aspergillus* sp.、*Trichoderma* sp. などのほか、放線菌が、微生物分布をとるようになった。

その後、記録としては著しいカビ発生がなく微生物については、望ましい「均衡」が保たれていた状況にあった。石室では、ほぼ同種のカビが検出され、主要のカビは、*Penicillium* sp. であった。その他、*Aspergillus* sp.、*Fusarium* sp.、*Trichoderma* sp. 等が若干認められた。

2001年3月：取合部の石室外表面および墳丘盛り土部分に多量のカビ発生が確認された。主要カビは、*Penicillium* sp.、*Aspergillus* sp.、*Fusarium* sp. など。石室内で例年検出されるものと同様のものが多かったが、石室内の調査では検出されていない *Cladosporium* sp. などもみられた。

* 関西大学国際文化財・文化研究センター (Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture, CHC, Kansai University, Japan)

** NPO 法人カビ相談センター (Center for Fungal Consultation, Japan)

*** 桐生大学 (Junior College of Kiryu University, Japan)

**** 大阪府立大学研究推進機構21世紀科学研究所微生物制御研究センター (Research Center of Microorganism Control, Research Center for the 21st Century, The Organization for Research Promotion, Osaka Prefecture University, Japan)

2001年4月：発生量は3月よりは少なかったが、取合部にカビの再発生がみられた。2001年12月：石室内、壁面の複数の場所で顕著なカビの発生が確認されている。取合部、石室内部の両方から、*Cylindrocarpon* sp.、暗色系 *Acremonium* sp. が見出された。その後しばらくはカビ発生が沈静化する傾向にあった。

2004年2月頃：再び発生がみられた。取合部や石室では、*Penicillium* sp.、*Fusarium* sp.、*Trichoderma* sp. などが主要であった。

2004年10月以降：カビを含めた微生物調査を行ったが、いずれも共通して検出される種類は同じであった。カビでは *Penicillium* sp. がすでに常在化し、また暗色系 *Acremonium* sp.、*Fusarium* sp.、*Trichoderma* sp.、*Verticillium* sp. などが見い出された。

以上、高松塚古墳石室内でのカビ被害の歴史を紹介した。

著者らは、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の関西大学文化財保存修復 (ICP) 研究拠点 (2008~2012年度) およびその継承の同大学国際文化財・文化研究センターにおける研究 (CHC) プロジェクト (2013~2017年度) に参画してカビ汚染対策のための基礎研究を行ってきた。これらのプロジェクトでは広く国際的協力による文化財保存修復研究が対象となっており、特にすでにカビに汚染された資料の被害を最小限に食い止め、修復させる技術の開発が高く望まれている。

そこで、著者らは高松塚古墳壁画のカビ対策に参画した経験から、微生物学な視点に基づく基礎研究をおこない、カビ被害の防止につながる有益な知見を得たので、ここに報告する。

2 バイオフィームとカビに関する研究

高松塚古墳壁画において、著者らはカビによる被害以外にそれを増悪させている他の要因がないか、実体顕微鏡などで採取試料全体を観察した。その結果、汚染を受けている試料は、必ずしも乾燥系ではなく、湿っぽいつまりゲル化したような状況も確認された。そこでゲル化している部分と暗色になっている部分から試料を採材してもらい詳しく観察した。さらに、ゲル化部位および暗色部位を培養した結果、細菌、酵母、カビがそれぞれから大量に分離されることを確認した。

このゲル化した状態は細菌で問題となっているバイオフィームに類似している。バイオフィームは薬剤が浸透しにくく、その中の細菌を駆除することは

非常に困難であると報告されている。そこで、壁画上のカビでも同様の状態が発生しているかについて検証を行った。

2.1 カビの Autolysis

カビは時間をかけながら胞子から発芽した菌糸が伸長する。環境が整っていると、数日で菌糸から胞子を産生するようになる。通常、カビの発育のプラトーは1~3週間程度であり、その後、カビの形態は変化すると考えられる。プラトーに達した後、よくおこる現象に菌糸による Autolysis がある。文化財施設で経験した例として高松塚古墳石室で代表的な *Penicillium* がまさにそれであった。1カ月もしないうちに菌糸による自己融解が起こり、菌糸体の証明が難しくなることを実験的に確認した。Autolysisが進んだ後、汚染部は何らかの菌体成分が残存することになる。これは推測であるが、菌糸体の成分が有機物として残り、その後に発生する微生物に対して何らかの汚染を助長することが考えられる。この推測は今後実証していく必要があり、間接的にカビのバイオフィームと関係があるものと考えている。

2.2 カビの二形成

さらに菌体の集成的な変化もみられる。これは置かれた環境が著しく影響しており、低温や高温また養分などさまざまである。もちろんカビ自体の細胞変化もある。環境で起きる二形成変化の多くは温度、湿度や栄養分に依存する。こうした外的な要因で二形成がおこり、菌糸体形成であったり、酵母用集落であったりする (Fig. 1)。今回分離したカビの中にもこうした酵母様のカビが確認された。

2.3 発育・汚染過程で生物学的性質を異にするカビとバイオフィーム

環境とカビの生物学的性質で最も関係するのは湿度である。特に高湿が急激な変化によって不規則な湿度状態になるとカビは発育を始めたり、制止したりする。多くのカビは高湿性である。石室で見つかるカビのほとんどは高湿性である。ところが中には好乾性を至適とするようなカビもある。バイオフィームは、細菌のように湿性な環境で起こる。カビは、仮定としてバイオフィーム形成するならば、従来から知られている細菌のように湿性状態の方が形成しやすい。石室で見つかった主なカビは高湿性である。中には *Penicillium* のように中湿性とする場合もあるが、もともと *Penicillium* は高湿性、中湿性を兼

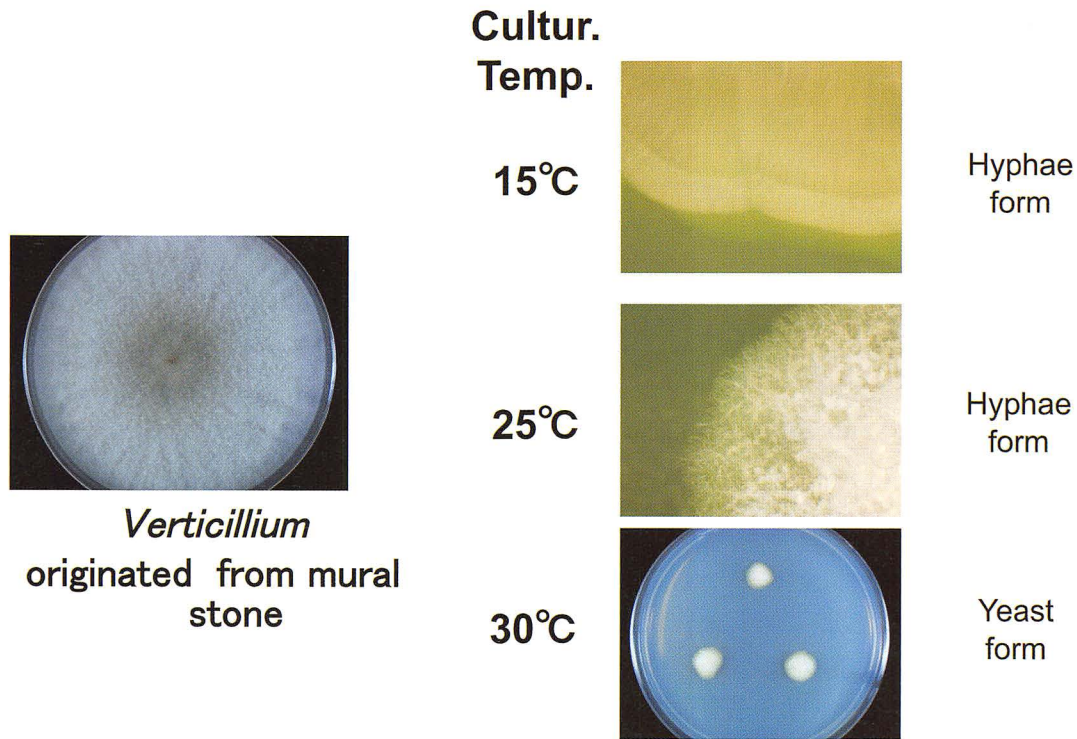


Fig. 1 Dimorphic phase of fungal growth in each temperature

ね備えているカビでもあり、石室でも十分に発生するカビである。

カビの多くは、一般に20~30°Cが適温であり、20°C以下になると発育が弱くなるとされ、今回の検証からも温度がカビの発育に影響を及ぼしていることが分かった。低温下での発育性を検証したところ、各温度間で以下の発育差を認めた。17°C→15°C：やや緩慢な発育差、15°C→10°C：明瞭な発育差、10°C→5°C：極めて明瞭な発育差を認めた。

このように低温でのカビの発育にはときとして大きな変化が起こることがある。Fig. 1は *Verticillium* の各温度下での発育像である。結論から言うと低温になるとカビ的な発育でなく酵母的な像を呈するようになる。つまり菌糸的でなく湿っぽい酵母様になって増えていく。そのため高湿で低温なところではジメジメしたゲル状が起こる可能性がある。これがバイオフィームとして機能するのではないだろうか と推察している。

2.4 バイオフィーム形成カビ

そこでバイオフィームについて再確認しておく必要がある。細菌のバイオフィーム形成様式は、酵母と同様に細胞の増殖によりそこに細胞集団が密に形成する。そして粘性な多糖体物質などを産生してマトリックスを作る。それではカビはどうかであるが、結論的には広義の意味でバイオフィームを形成

するといえる。

ここに自然環境下で普遍的なカビの *Geotrichum* と *Aureobasidium* を培養した時の姿を紹介する。

Geotrichum は湿性環境や乳肉環境で汚染しやすいカビであるが、培養により、菌糸体が孢子化するようになるいわゆる二形成真菌である。その培養した集落の辺縁をよく見るとカビの形態と酵母の形態が確認される。さらによくみると細胞周辺に薄い膜様構造が確認され、あたかも細胞を守っている像がみられる。それが細胞としてではなく組織として保護している姿に見える (Fig. 2)。

さらに *Aureobasidium* は湿性環境にみる代表的なカビであるがやはり酵母としての構造もとることが

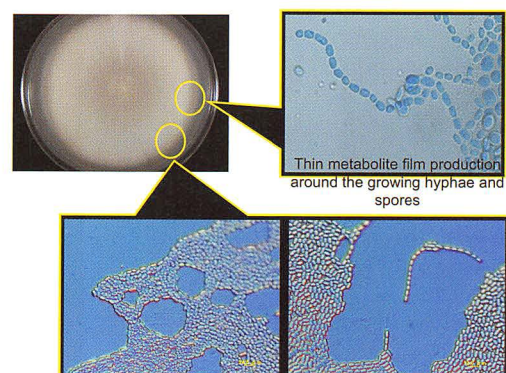


Fig. 2 Membrane structure of *Geotrichum*

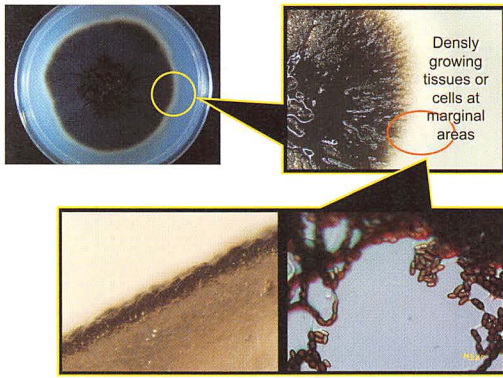


Fig. 3 Membrane structure of *Aureobasidium*

知られている。同様に細胞や組織をみると *Geotrichum* と同様の膜様構造が確認される。もっともこのカビは俗名が黒色酵母様菌といわれ酵母形態が主になるカビである。集落の周縁に薄い膜がみられ細胞や組織を保護しており、汚染基質上で表面に沿って菌糸体が伸長している (Fig. 3)。

2.5 カビの発生した紙とバイオフィルム

具体的には高松塚壁画でのカビ被害部分を見ると暗色部分が多い。この部分をよくみると明らかに膜構造をしている。実体顕微鏡でみると菌体の集合体であり、実際培養するとカビが検出され、*Fusarium* が検出された。そこで古墳から分離された *Fusarium* を用いて紙片への侵襲性を検討した。紙標本とした理由は、湿気の高い場合に紙でのカビ被害が多く、その主要カビは *Fusarium*、*Aureobasidium* などの好湿性カビであるからである。紙への汚染をながめていくと、その紙片の断面の *Fusarium* 菌糸が網目状になり表面を這うように拡大化していく像がみられる。この菌糸像は密な構造を取りながらマトリックス形成していく (Fig. 4)。

同じく石壁から見つかった黒色塊微生物の

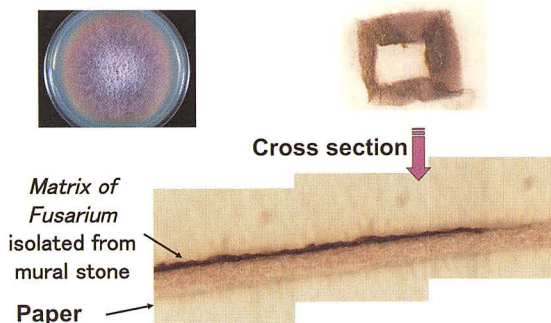


Fig. 4 Matrix of *Fusarium* creeping in /on the paper

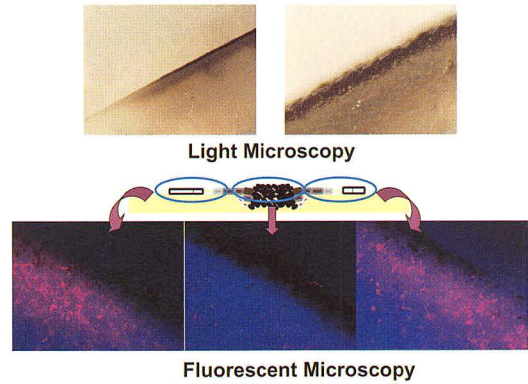


Fig. 5 Cross section of *Aureobasidium*

Aureobasidium について検討した。湿っぽく黒色になるカビの代表であり、試験は湿性環境で紙片を用いた。ここではカビ汚染させたのち、断面を光学顕微鏡と蛍光顕微鏡下で観察した。観察はカビ汚染中心部と周辺部で行い、中心部では強くマトリックス形成しており、一方、周辺部は弱いながら菌糸の密生が始まっている姿を観察できる (Fig. 5)。このように中心部に限らず周辺部でもすでに菌糸の網目構造が進行し、確実にマトリックス形成している像を確認できた。

以上の結果より、文化財施設での湿性環境では、カビがバイオフィルムを形成する可能性があることが明らかになった。

3 器物におけるカビ発育に関する研究

カビが発育するためには栄養源、温度、湿度、酸素および水素イオン濃度の5つの要素が重要とされているが、カビの種類によって最適な環境は異なってくる [文化庁2005; 文化庁2006]。発育可能な湿度をみると、乾燥を好むカビにおいても湿度65%以上でなければ生きてこないとされている。栄養源でみると、カビはデンプン、糖分、セルロースに富んだ物質を特に好む。食品以外にも木材、畳、布、皮革、紙、ガラスおよびタイルといったものまで、様々な器物も栄養源として発育するが、器物においては、初期の発育段階に関して、研究がほとんどされていないのが現状である。

そこで本研究では、文化財のカビ発生環境を想定してカビの種類、相対湿度、器物の組み合わせを変えて、カビが器物においてどのような発育形態で、どのくらいの伸長速度で発育していくか研究することを目的とした。

Table 1 発育に要する水分活性 Aw 試験

水分活性 (Aw)	0.95	0.93	0.91	0.90	0.87	0.85	0.83	0.80	0.75	0.73
<i>Aspergillus restrictus</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Eurotium sp.</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Aspergillus versicolor</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Aspergillus penicillioides</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Wallemia sp.</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Cladosporium sp.</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Penicillium sp.</i>	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
<i>Alternaria sp.</i>	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
<i>Trichoderma sp.</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>Chaetomium sp.</i>	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×

○：発育した ×：発育しなかった

3.1 発育に要する水分活性 Aw 試験

通常のカビの発生する環境は4型あり、97%以上でしか発育しない絶対好湿性、90%以上の好湿性、80%台の中湿性、70%以下でも発育可能である好乾性カビに分類される。まず、培地を用いた Aw 試験では、好乾性カビである *Aspergillus restrictus*、*Aspergillus versicolor*、*Aspergillus penicillioides*、*Eurotium sp.* および *Wallemia sp.* において、最少の

水分活性値である Aw0.73まで発育が確認された。中湿性および好湿性カビである *Penicillium sp.* や *Alternaria sp.* でもそれぞれ Aw0.83および Aw0.85まで発育が確認されたが、同じ好湿性カビである *Trichoderma sp.* や *Chaetomium sp.* では、それぞれ Aw0.91および Aw0.93以下では発育しなかった (Table 1)。

Table 2-1 器物における相対湿度 (RH) とカビ発生の関係 (器物：段ボール)

湿度 (%)	100	95	90	85	80	75
<i>Eurotium sp.</i>	++	+	+	-	-	-
<i>Aspergillus restrictus</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Penicillium sp.</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Cladosporium sp.</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Aspergillus versicolor</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Alternaria sp.</i>	++	+	-	-	-	-
<i>Chaetomium sp.</i>	++	+	-	-	-	-
<i>Trichoderma sp.</i>	++	+	-	-	-	-
<i>Fusarium sp.</i>	+	+	-	-	-	-

++：滴下範囲を超えて発育 +：滴下範囲に留まる発育
-：発育しなかった

Table 2-2 器物における相対湿度 (RH) とカビ発生の関係 (器物：石膏ボード)

湿度 (%)	100	95	90	85	80	75
<i>Eurotium sp.</i>	-	+	+	-	-	-
<i>Aspergillus restrictus</i>	-	+	+	-	-	-
<i>Penicillium sp.</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Cladosporium sp.</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Aspergillus versicolor</i>	+	+	+	+	-	-
<i>Alternaria sp.</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Chaetomium sp.</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Trichoderma sp.</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Fusarium sp.</i>	+	+	-	-	-	-

++：滴下範囲を超えて発育 +：滴下範囲に留まる発育
-：発育しなかった

3.2 器物における相対湿度 (RH) とカビ発生の関係

段ボールにおいては、湿度95%ですべての菌種が発育しており *Eurotium sp.*、*Aspergillus versicolor*、*Alternaria sp.* および *Chaetomium sp.* の発育が強く、広範囲に滴下区画をこえて発育した。一方石膏ボードでは、湿度90%で8菌種が発育しており、湿度85%でも *Penicillium sp.* および *Aspergillus versicolor* の発育が認められたが、発育は滴下範囲に留まっていた。木材での発育は一番弱く、湿度90%以下ではすべての菌種で発育が抑制され、湿度95%でも *Eurotium sp.*、*Cladosporium sp.* および *Trichoderma sp.* のみ発育した (Table 2-1, 2-2,

Table 2-3 器物における相対湿度 (RH) とカビ発生の関係 (器物：木材)

湿度 (%)	100	95	90	85	80	75
<i>Eurotium sp.</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Aspergillus restrictus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Penicillium sp.</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Cladosporium sp.</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Aspergillus versicolor</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Alternaria sp.</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Chaetomium sp.</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Trichoderma sp.</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Fusarium sp.</i>	-	-	-	-	-	-

++：滴下範囲を超えて発育 +：滴下範囲に留まる発育
-：発育しなかった

2-3.)。本試験では、すべての器物で湿度80%以下は発育が認められず、栄養分を利用しやすい培地上でのAw発育と相違があることがわかった。

また発育速度は、カビの発育が確認されるまで全体的に1週間から3週間ほどかかり、湿度が高いほど発育速度も速かった。

孢子産生能をみると、*Fusarium* sp. はすべての器物で孢子を産生しなかったが、それ以外のほとんどのカビで孢子産生能は認められた。また、産生された孢子量を比較する、*Cladosporium* sp.、*Penicillium* sp.、*Aspergillus versicolor* および *Chaetomium* sp. が多かった。

以上より、培地を用いた水分活性Aw試験では好乾性カビである *Aspergillus restrictus*、*Aspergillus versicolor* および *Eurotium* sp. が Aw0.73でも発育が認められたが、器物における相対湿度(RH)試験ではすべてのカビにおいて湿度90%を下回ると発育力が落ち始め、湿度80%以下で完全に抑制された。以上より、室内環境は湿度80%以下に保つのが望ましいが、ただ器物に直接水分が付着すると器物の水分活性が上がり、環境湿度を抑えてもカビが発育してくる可能性もあることが考えられる。

また、発育速度は全体的に1週間から3週間程度のため、定期的な換気や清掃で環境湿度を上げないようにすることが重要である。

孢子産生能は、*Eurotium* sp.、*Trichoderma* sp. および *Fusarium* sp. で確認できない箇所もあったが、それ以外の供試カビはどんな環境条件であっても孢子を産生した。孢子を産生すると被害がさらに拡大することが予想されるため、カビの発育そのものを防止することが重要であることが明らかになった。

4 結語

4.1 カビによるバイオフィーム形成は存在する

バイオフィーム形成の原因微生物のほとんどが細菌である。また細菌によるバイオフィーム形成機序や細菌種も詳しく特定されている。一方、今回の事例にみるようなカビがはたしてバイオフィーム形成にどの程度関与しているか、過去の文献から調査してみたが、酵母ではあるがカビによるバイオフィームの報告はまだない。今まで高松塚古墳石室で確認されたカビ被害の検証として黒色部分の詳細な検証から、明らかに菌体で構成された膜様構造物が確認されている。カビは細菌と異なり菌糸形成である。この菌糸が縦横に組み込まれることによりバイオマトリックスが形成される。つまり菌糸体構造は明らか

かに糸状構造でバイオマトリックスを形成し、さらに発育の過程で菌体周辺に菌体外物質を産生しながら膜化を進めていることが確認された。カビの多くは高湿性であり今回の対象としたカビもその特性を有する種である。

文化財施設での湿性環境では、細菌および酵母のバイオフィーム形成に限らず、カビによっても孢子から幼弱菌糸形成、さらに緻密な網目構造へと進んでバイオマトリックス形成されることが実証できた。

4.2 器物における相対湿度(RH)とカビ発生は強いかかわりを持つ

今回の研究は文化財環境を想定して実施したが、器物によりAwおよびRHに影響をうけやすいことが確認された。また、カビの種類によっても発育の特徴が異なることから、カビ被害が生じた場合はそのカビ種に応じた対策も必要と考えられた。器物とカビの関係もこの研究を通して新しい情報として捉えることができ、今後の文化財の保存環境でのカビ被害予測に寄与するものと考えている。

謝辞

本研究は、東京農業大学農学部大学院生坂名城隼氏、学生柳田健太郎氏、NPO法人カビ相談センター技術員宮崎知佳氏に標本作製作業をしていただいたことに深謝する。

参考文献

- 新井英夫 2008『文化遺産と微生物』、「微生物の事典」(渡邊信ら編)、pp.634-641、朝倉書店。
- 木川りか、佐野千絵、石崎武志、三浦定俊 2007『保存科学』 46: 209-220。
- 木川りか 2007『文化庁月報』 No.461: 14-15。
- 木川りか、佐野千絵、喜友名朝彦、立里臨、杉山純多 2009「高松塚古墳・キトラ古墳石室内の微生物分離株のアルコール系殺菌剤資化性試験」、『保存科学』 49: 231-238。
- 高鳥浩介編 2002「カビの基礎知識」、『カビ検査マニュアルカラー図譜』、テクノシステム27-66。
- 高鳥浩介 2006「生活環境中の真菌と健康被害」、『ファルマシア』 42、718-722。
- 高鳥浩介 2007「高松塚古墳石室のカビ問題を考える」、『防菌防黴』 35: 655-666。
- 高鳥浩介 2007『文部科学時報』 No.1576: 52-53。
- 高鳥浩介、久米田裕子(編) 2013『カビのはなし〜ミクロな隣人のサイエンス』、朝倉書店。
- 高鳥浩介、柳田連太郎、久米田裕子、高橋淳子、早

川典子、加藤雅人、佐藤嘉則、木川りか 2015 「紙本、絹本の湿度差によるカビ発生」、『保存科学』54、2336-2341。
 高松塚古墳壁画恒久保存対策プロジェクトチーム 2007 『文化庁月報』 No.466：4-11。
 塚脇一政編 2007 「カビの性質や生態」、『食品・施設カビ対策ガイドブック、第三版』、社団法人日本食品衛生協会、pp. 11-22。
 塚脇一政編 2007 「健康被害とカビ」、『食品・施設カ

ビ対策ガイドブック、第三版』、社団法人日本食品衛生協会、pp. 65-79。
 文化庁 2005 『国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（第4回、5回）資料』。
 文化庁 2006 『国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（第6回、7回）資料』。
 宮治誠、西村和子編 2009 「カビはどんな環境を好むのか」、『住まいとカビと病原性-カビはどの程度危険か-』、八坂書房、pp. 5-26。

Abstract

The biomatrix problem and studies are mainly discussed on bacteria. Though fungi are one kind of microbes and contaminate on several substrates in wet environment, they differ from other microbes in point of growth pattern, ecological characteristics, biological figures and morphological findings. Therefore, fungi have never studied and discussed on biofilm problems. According to our survey on cultural assets such as stone, wood, plastics, rubber and textile in wet environments, these materials are attacked and damaged and deteriorated by the fungi. In this review, the fungal biomatrix on cultural assets in cultural facilities is explained.

The objects are to reveal the fungal growth pattern on 3 materials under the condition of each relative humidity (RH) in this study. The materials are cardboard, plasterboard and lumber in each RH, and fungal growth have been continuously observed within two months.

Fungal growth was generally restricted by less than 80 % RH in 3 materials and little fungi grew exceptionally under 73%RH. Spore production was observed without *Fusarium* sp. on all materials. When the spore amounts are compared, *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus versicolor* and *Chaetomium* sp. have lots amount.

The fungal growth activity was reduced by less than 90 % RH and restricted completely by less than 80 %RH. Therefore, RH in indoor environment is desirable to keep in less than 80 %RH. *Cladosporium* sp. and *Aspergillus* sp. which produce numerous spores should be needed to pay the attention in particular.

要旨

1. バイオフィーム問題や研究の多くは細菌で議論されてきている。同じ微生物であるカビを含めた真菌は、細菌に比べると発育様式、形状、性状で大きく異なる。そのため今までほとんどバイオフィームとして議論や研究の対象とされてこなかった。しかし、湿性環境にみる文化財のカビによる被害をマクロ・ミクロで詳細に観察すると、その発生現象、発生環境、原因カビなどから少なくとも細菌で定義されているバイオフィームと必ずしも同一ではないが、広義に解釈するとカビによるバイオフィームも存在することが確認できた。

2. 培地を用いた水分活性 A_w 試験では好乾性カビである *Aspergillus restrictus*、*Aspergillus versicolor* および *Eurotium* sp. が $A_w 0.73$ でも発育が認められたが、器物における相対湿度 (RH) 試験ではすべてのカビにおいて湿度90%を下回ると発育力が落ち始め、湿度80%以下で完全に抑制された。以上より、室内環境は湿度80%以下に保つのが望ましいが、器物に直接水分が付着すると器物の水分活性が上がり、環境湿度を抑えてもカビが発育してくる可能性もあることが明らかとなった。

また、発育速度は全体的に1週間から3週間程度のため、定期的な換気や清掃で環境湿度を上げないようにすることが重要であるといえた。

今回の研究は文化財の保存環境を想定して実施したが、器物により A_w および RH に影響をうけやすいことが確認された。また、カビの種類によっても発育の特徴が異なることから、カビ被害が生じた場合はそのカビ種に応じた対策も必要と考えられた。