

## 報文

文化財にみる有害カビ  
—有害カビの特性—

高鳥 浩介

## はじめに

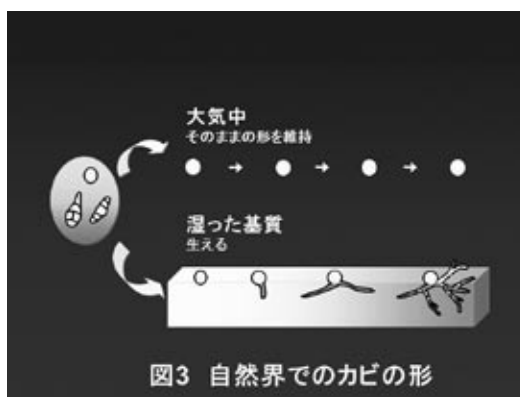
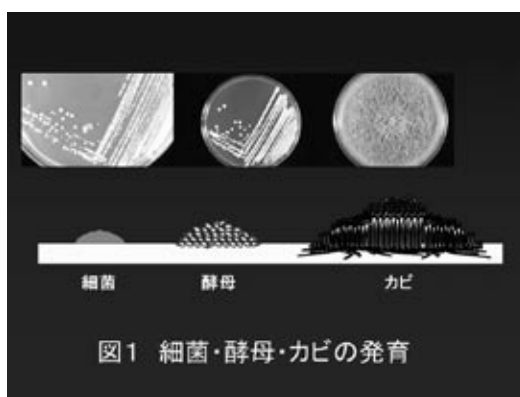
文化財にみる微生物でとりわけ重視される仲間にカビがある。カビは目視できる微生物であり、被害が起こった場合に客観的な判断ができる。被害が拡大した場合、単なる被害だけでなく臭気、変色、劣化など様々な素材への影響を及ぼす。一般にカビ発生は、湿気との関係が重視されるが、実際には湿性環境に限らず広範な施設環境で被害をみている。

そこで、文化財のカビ被害をカビを中心に改めて見直ししてみたい。すなわち、有害カビの文化財に及ぼす危害性をカビ特性の視点から眺めてみる。

## 1. 自然環境でみるカビは

カビの細胞構成は、植物の種に相当する胞子と細長い糸状の菌糸から成り立っている。一方、同じ微生物である細菌や酵母は、カビと比べて単純な細胞で構成され、その増殖形態は細胞分裂や出芽といった形態で構成され、発生してもものの上で一塊の集まりになるだけである(図1)。胞子は周囲の環境が発育に適した条件、すなわち栄養源があり、温度と湿度が適していれば発芽して菌糸を伸ばしはじめる。菌糸は丈夫な壁を持ち、先端部分で成長し、分岐しながらさらに周囲に伸び、やがて目で見える塊(集落)を形成する。接合菌である *Mucor* (ケカビ) が集落形成する像を拡大して示す(図2)。カビは発育すると中心から放射状に拡大する。その中心は強力な菌糸の集簇となり器物に対して執拗なほど張り付くような構造をとりその周辺は遠心性に菌糸をのばしていく。これがカビの姿であり、被害を目視で確認できるようにしている。

自然界のカビは基本的には胞子で存在している。空中に漂いながら飛んでいる胞子は、この状



態ではどのように条件が整っても孢子発芽は見られない。湿った土壌、植物、木材などにつき、カビにとって発芽しやすい条件となった場合、発芽し、菌糸を器物内に侵入させる(図3)。基本的にはカビ孢子の発芽はものの上でないと発育できない。

空中に飛散しているカビは、単独で浮遊する場合とそうでない場合がある。後者の場合、ダストに付着していることが知られている。ダストでの分布は、カビの孢子であることが多い(図4)。つまりダストがカビの飛散を助長しているともいえる。ダストそのものは自然界にある微小粒子であり、土壌、繊維、植物、木材など自然界のあらゆる「もの」がダストになりうる。

自然界にあるカビの発生は、時間を要しながら孢子から発芽した菌糸に伸長する。環境が整っていると、早い場合数日で菌糸から孢子を産生するようになる。環境ではカビの発育が早い場合、1～2週間程度、通常は数か月以上である。この差はまさに環境状態が強く影響してくる。

カビの形態は他の微生物に比べると著しく複雑である。複雑な形態を維持しながら生き延びていく。ところが、いつまでもカビの形態は正常な状態を維持されることなく形態異常を起こすことがある。その時によくおこる現象として菌糸による自己融解(オートリシス)がある。

このように自然界でみるカビの姿は、環境条件に大きな影響を受け発生や死滅を繰り返す。



図4 ダストに付着するカビ

## 2. 有害カビによる文化財被害

文化財施設での有害カビによる被害は多岐にわたる。例えば、図書館、美術館でのカビ被害は、施設構造の問題や周辺環境から影響を受け、カビ被害の増加を見ている(図5)。

図書館でのカビ被害は、階層、立地、保管場所、温湿度管理の不備および利用者(ヒト)などにより被害を伴う。施設内での文化財の量的な増加もカビ被害にかかわっている。

美術品での事故は、作品の素材が多い。図書館では、文書、資料、雑誌などに多い。これらの事故は、環境に限らずヒトが影響を及ぼして起こることが多い。

また彫刻や民芸品などでは比較的乾燥された状態で維持されるが、それでもカビによる被害が起こる。この場合乾いた環境での維持管理ではあるが、ミクロ視点からみると微気象変化によって決して速やかに発生することはなく、長期的な経過でカビ発生する。

また、室外でのカビ事故は、自然界の影響を直接受け、雨風による湿気や気温差が加わりカビの発生につながる。湿気がかかわる場合は、早期に発生したり、多少時間を要して発生することがある。

## 3. 発生しやすい環境

文化財施設でのカビ発生は、以下に述べるいくつかの環境や素材が深くかかわる。

### (1) 温度

カビの最も発生しやすい温度域は、20～30℃



図5 図書館でのカビ被害は多い

である。この範囲にあれば、多くのカビは生え続けることができる。また20℃以下での低温、冷蔵状態でもカビは発生するがその発生は緩慢であることが多い。その発生する速さは、菌種による違いはあるが、概して15～20℃ではやや早く、10～15℃になると遅くなる。さらに10℃以下になると著しく緩慢となるか著しく発育がよくない。さらに冷凍や凍結状態ではカビの発生はしないが、カビは死滅しない状態を維持する。

一方、高温の30℃以上では、自然環境の中で事故を起こしやすいカビは一般に活性は低下し、30℃台ではすでに発育を停止したり緩慢ながら発育するが、40℃以上になるときわめて発育するカビは少ない。このことからカビの多くは30℃以上になると発生することが少なく、被害は少なくなる。このような温度によるカビ発育差は、その集落性状からもうかがうことができる。すなわち、カビの発育は一般に菌糸状から発生することとされるが温度環境を低くしたり高くした場合の形態は微妙に異なり、低温では酵母的な発生を、高温域では菌糸の縮合が起こり全体に小さく集落を形成する傾向にある。その例を古墳由来カビである *Verticillium* で示した(図6)。このカビは20℃域が適温であり、集落はいわゆるカビ的な菌糸形成が旺盛である。ところが、低温では一見酵母様な集落形成をするようになり、30℃以上になると菌糸形はみられるものの縮合した集落を形成するようになる。

こうしたことからカビの多くは温度に対して敏感な発育パターンを取りやすい生物とみなすこ

とができる。

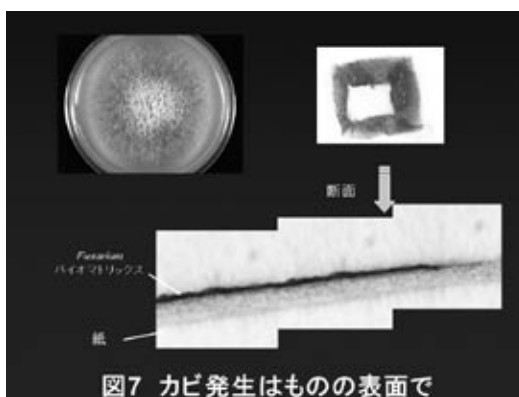
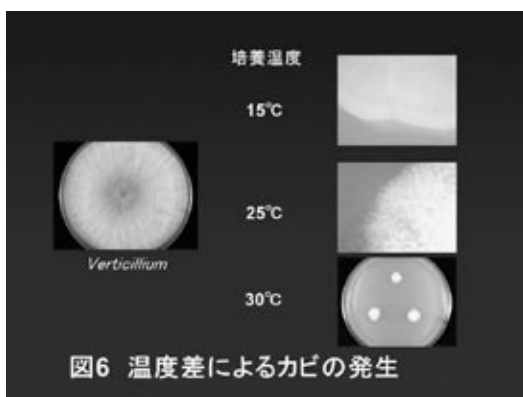
## (2) 湿度

カビの発生は湿った環境や水分のある基質で起こりやすい。つまり水分の多い湿気がカビ発生に強く影響をおよぼすことは周知の事実である。しかし、高湿度ばかりでなく発生する種も文化財環境では多い。通常カビの発生は湿度80%以上とされるが、微妙に発生するカビ種が異なってくる。以下に述べる好湿性、好乾性、耐乾性といった特性と関わりがあり、たとえば、著しく高湿な場合に発生しやすいカビ、多少高湿な場合に発生しやすいカビなどであり、80%以下であってもカビ発生は起こるが、60%以下になるとみられない。

## (3) 酸素

カビは好氣的性質を有し、酸素はカビにとって発育するうえで必要不可欠である。カビの発生は外部から飛散した胞子が器物に付着する。その胞子が環境条件が整うと発生する。その発生の方向は、物の表面に並行するように伸長し、深部へは伸びない。その一例として好湿性カビの代表である *Fusarium* を例にとって説明する。このカビは湿性条件が加わるとものの表面で、つまり好氣的な環境下で菌糸を集簇させながら伸長する。これがマトリックス(カビの発育した集合体組織)である(図7)。

生活環境での酸素濃度は21%であるが、酸素濃度が数%程度の状態でもよく発育する。一般には、酸素濃度0.1%以下の低酸素状態での発育はみられない。脱酸素剤の封入でカビ抑制するのは



その例である。

#### (4) pH(水素イオン濃度)

発育するpHはpH7.0より酸性域にあり、通常pH5.5～6.5域が至適pH域である。しかし現実には多くのカビは、発育の差はあれpH3.0～9.0の広範囲で発育し、アルカリ性素材であってもカビ発生事故がみられる。

#### (5) 素材(成分)

素材でのカビ発生は、1)水分がある、2)吸湿性である、3)多孔質である、4)柔らかい、5)有機物が多い、6)少量の何らかの養分があるなどとかかわる。カビ細胞内に水分または少量の養分を吸収できればすでに発育が始まる。

素材として事故の多いものに繊維がある。木綿等の天然素材にカビが生えやすいのはこの理由による。

#### (6) 光

カビは光合成をおこなわない。そのため暗環境で発育し、カビによる汚染事故が起こる。一方、明環境ではどうかという暗環境と変わらないで発育する。しかし、蛍光灯などの近くではカビの発生は少ないかまたはない。それは紫外線が蛍光灯近位で照射されているからである。蛍光灯照射の有無による発育集落を図8に示した。これは *Trichoderma* (ツチアオカビ) に蛍光灯を照射した場合とそうでない場合であるが、左は蛍光灯照射しない暗い所での発育集落で著しく胞子産生しているが右は蛍光灯照射した場合で集落は菌糸が多く明らかに発育の制約を受けている。もちろん人体に害のある強度ではないがカビにとって

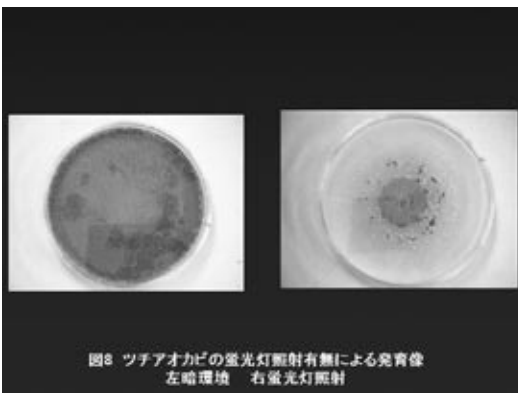


図8 ツチアオカビの蛍光灯照射有無による発育像  
左暗環境 右蛍光灯照射

低照射量でも微妙に影響を受けやすい。

## 4. 有害カビの特性

文化財にみるカビは多様であり、環境と素材の状態でカビの発生をみる。例えば、乾燥性素材、吸湿性素材であったり、美術品、文書、彫刻品、布繊維、ガラス、金属、鉱物、陶磁器、紙、髪等々でカビによる事故がみられる。こうした素材でのカビ発生は、カビの持つ特性と深くかかわってくる。カビの特性を文化財施設環境面と素材の基質面からまとめた。

### 高温性カビ：

自然界にみるカビの多くは中温性カビである。ところが、高温下で発育可能なカビは37～50℃が至適発育温度域とし、このような一群を高温性カビという。例えば火口付近、砂漠など高温環境などに多い。*Neosartorya*, *Byssochlamys* など。

### 低温性カビ：

低温下で発育しうるカビで、10℃以下の湿気のある冷環境などで発生しやすいカビの一群をいう。寒冷地や凍結地といった比較的環境が低温極地域で発生をみる。*Fusarium*, *Phoma*, *Cladosporium* など。

### 腐生性カビ：

環境に広く分布するカビで20～30℃が至適発育温度域にある。自然界に分布するカビの多くは腐生的な基質を汚染する。日本のような気候風土で腐生性カビは発生しやすい。この種のカビは、温度が30℃を越えると発育活性が低下する。文化財に発生しやすいカビの多くはこの仲間である。

### 寄生性カビ：

一方、何らかの生物に付着しそこから養分を吸収するカビがある。植物や動物に寄生しながら生活する集団を寄生性カビという。植物の場合、宿主特異性があり、植物とカビ種の間には寄生する関係がきわめて強い。また動物の場合は、30℃以上での発育が強く、特に感染性との関わりが強く、病原性カビといわれることが多い。

### 好湿性カビ：

湿度の高い場合に発生しやすいカビ群をいう。カビによる汚染のほとんどがこのグループである。相対湿度 (RH) として95～100%域で最も発生しやすい。水に浸かった場合、結露した場合、屋外にある素材、津波で被害を受けた文化財などに生えやすい。また、古墳など湿った環境にある文化財ではこの種のカビによることが多い。概して乾燥には弱く死滅しやすい。好湿性カビが発生した場合比較的最早い場合に器物表面や内部で菌糸を形成する、しかしその後乾燥すると器物でのカビ細胞は死滅するようになる。図9は、汚染した内部での好湿性カビの発生像である。菌糸が見えたり、一部で孢子形態も観察できる。このように好湿性カビは、汚染像は不規則な菌糸を主体にした旺盛な発育像を呈す。

*Cladosporium* (クロカビ), *Alternaria* (ススカビ), *Fusarium* (アカカビ), *Trichoderma* (ツチアオカビ), *Rhizopus* (クモノスカビ), *Aureobasidium* (黒色酵母様菌) がその代表であり、日常的に発生を多くみるカビの仲間といえる。

### 耐乾性カビ：

相対湿度 (RH) は、高湿性より多少低く、85～97%域を至適とするカビ群をいう。外気が入り込む室内や、温湿度差のある庫内、屋外木箱などに保管された場合に発生しやすい。また外国から時間を要して船で移送しているときなどに発生することがある。

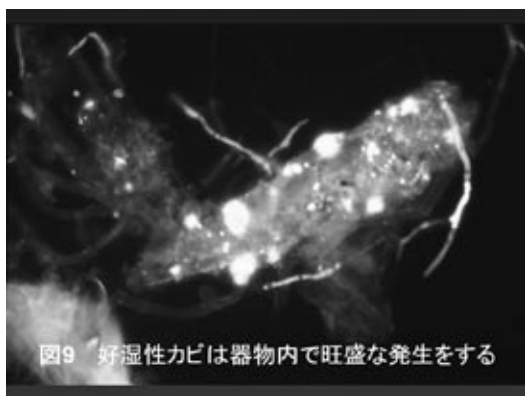


図9 好湿性カビは器物内で旺盛な発生をする

*Aspergillus* (コウジカビ), *Penicillium* (アオカビ) が代表である。

### 好乾性カビ：

相対湿度 (RH) はさらに低湿度で65～90%域を至適とするカビ群をいう。ほぼ乾燥した環境にあり、長期にわたって保管しているときに発生しやすい。好乾性カビほど長期にわたり生き続けることができる。図書館、美術館、博物館などの文化財で事故が起こるのはこの種のカビである。

*Eurotium* (カワキコウジカビ), *Aspergillus restrictus* (レストリクタス・コウジカビ), *Wallemia* (アズキイロカビ) が代表である。

### 好稠性カビ：

好稠性とは、浸透圧の高い状態で発育できる性質を有することである。例えば、糖分や塩分濃度の高い状態や乾燥状態にある環境や基質に十分適応できることを示し、カビの場合好稠性カビと称す。すなわち、先に述べた好乾性や食品等での好糖性、好塩性も総称して表現する。食品では糖分は少量程度が比較的等張を維持するが、10%以上になると高張となる。高糖性食品であるカステラ、甘納豆などに発生するのはこうした基質を好むカビである。また同様に、塩分も同じで0.9% NaCl水が生理食塩水であるがそれより高い状態になると高張となり、漬物、梅干し、塩辛がその代表である。また水分活性が0.8以下(相対湿度80%以下)のような乾燥性素材である皮革、布、木製品、干物など乾燥した状態にある基質で発育するカビも好稠性である。このように乾燥、糖分、塩分の異常に高い環境や基質に発育することを総称して好稠性という。

文化財関係では乾燥した状態に限ることが多いことから、好稠性という表現より好乾性と表現したほうが分かりやすい。

*Eurotium* (カワキコウジカビ), *Aspergillus restrictus* (レストリクタス・コウジカビ), *Wallemia* (アズキイロカビ) やさらに *Chaetomium*, *Chrysosporium* などの一部がこの代表である。

## 臭気発生カビ：

カビは発育段階で二次代謝物を産生することが多い。その一つに臭気がある。臭気は人が嗅覚で感じる場合とそうでない場合があるように臭気の強弱はある。カビの中でとりわけ臭気の強いカビとして *Penicillium* があり、その他 *Trichoderma*, *Chaetomium*, *Mycelia* がある。かび臭の発生は、カビの発育がみられることによるもので、目視でカビが見えなくてもカビ臭のする場合は、すでにカビの発生が起こっていることの証である。臭気成分としてジオスミン、2-メチルイソボルネオール、キシレン、リモネン、ジメチルベンゼン、2-メチル-1-プロパノール、3-オクタノール、1-プロパノール、3-ペンタノン-2-プロパノールなどがある。これらのカビ臭成分はカビの種に限らず環境や素材によって異なる。

## 色素産生カビ：

文化財でカビ被害を受けた時に変色する場合がある。つまり、カビの発生と同時に細胞外に二次代謝物である色素を産生するものであり、素材周辺が着色していく。着色としてかわかる成分は、赤、黄、橙、紫などの色素はキノン（アントラキノン、ナフトキノン、ベンゾキノン）誘導体、キサントン、カロチノイド系が主である。主なカビとして、*Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Trichoderma* などがある。

## 特異成分分解カビ：

被害を受ける素材によって例えば、硬蛋白、脂質性のように特異成分を含んだ場合に被害を及ぼすカビが知られている。前者では生体組織の髪、体表組織に被害を及ぼす *Chrysosporium* のような好ケラチン性カビがあり、後者では *Scopulariopsis*, *Phoma* のような脂肪分解性の強いカビがある。

文化財にみるカビは、様々な環境や素材で見られる。カビの多くは自然な環境に分布生息しているが、文化財環境も例外ではない。本稿は、文化財にみるカビを生態として眺め、かつカビの持つ特性について解説することを主にまとめた。

文化財にみる微生物はさまざまである。その中でとりわけ重視される仲間にカビがあり、文化財に及ぼす危害性をカビ特性の視点から眺めてみた。カビは目視できる微生物であり、被害が発生した場合客観的に判断できる生物である。その被害は、臭気や変色や劣化など環境や素材への影響は大きく、文化財であるだけに問題は大きい。

カビの持つ特性は、多様であることを述べたが、カビの生き方は他の微生物にない生物活性を維持して営まれている。その意味から本稿でまとめたことが少しでも文化財保護の助けになれば幸いです。

## 参 考 文 献

- 1) 報告書－カビの発生予防と早期発見のために－平成19年3月29日：文部科学省  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/sonota/001/toushin/07051008.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/001/toushin/07051008.htm)
- 2) 文化財のカビ被害防止チャート：東京文化財研究所  
<http://www.tobunken.go.jp/~hozon/kabichart.jpg>
- 3) Michalski, S. Guidelines for Humidity and Temperature for Canadian Archives. Technical Bullutin, No.23. Ottawa : Canadian Conservation Institute, 2000.
- 4) 高島浩介監修 かび検査マニュアル カラー図譜 テクノシステム 2009
- 5) (社) 日本食品衛生協会 カビ対策ガイドブック 2008

(たかとり・こうすけ

NPO法人カビ相談センター 理事長)