

カビ対策マニュアル

平成20年10月28日

「カビ対策マニュアル」作成協力者会議

目 次

はじめに	1
[基礎編]	5
1. カビとは	7
1-1 微生物の大きさ	7
1-2 カビの分類学的位置	7
1-3 カビが資料に与える影響	11
2. カビの生理生態と生育環境	11
2-1 カビの生育環境	11
2-2 カビの生理生態	16
3. カビの分離、観察と簡易同定法およびカビ制御方法	19
3-1 カビの分離・採取方法	19
3-2 カビの観察	20
3-3 カビであるのかの判定法	20
3-4 カビの簡易同定法	21
3-5 カビの保存方法	22
3-6 カビの制御方法	22
4. カビ被害防止のための管理について	26
5. カビ被害の早期発見と緊急対策	29
[実践編]	33
1. カビの発生しない環境づくり	35
1-1 定期的清掃	35
1-2 清浄な空気環境	36
1-3 温度・湿度のモニタリング	36
1-4 温度・湿度データの記録と解析	37
1-5 滞留しない空気の流れ	40
1-6 資料の点検	40
2. カビの発見	41
2-1 目視観察	41
2-2 倍率を上げた観察	42
2-3 カビと間違いやすい例	43

3. カビ発見後の対応	44
3-1 カビ発生資料の隔離	44
3-2 カビ発生資料周辺の点検	44
3-3 カビ被害状況の把握	45
3-4 カビ発生原因の解明	45
3-5 環境整備	47
3-6 カビ発生資料の処理	48
3-7 用具の廃棄	48
<参考文献>	51
<Q & A>	55
<参考資料>	71
開催経緯	73
「カビ対策マニュアル」作成協力者会議について（大臣官房長決定）	74
「カビ対策マニュアル」作成協力者会議委員 名簿	75

はじめに

資料を適切な環境で保存・保管することは博物館等の主要な役割であるが、夏季に高温多湿の日々が続く日本では、カビ対策は大きな課題となる。表面にあらわれてこないが、カビ対策に頭を悩ませている博物館・図書館等は、数多い。

今回、カビ対策マニュアルを刊行するにいたった背景には、地球規模での環境保全問題がある。日本では 1970 年代頃から、資料にカビや虫害が発生したときの抜本的な処置として、臭化メチルと酸化エチレンの混合ガスによるガス燻蒸という手法を広く用いてきた。しかし臭化メチルは、オゾン層破壊物質として規制の対象になり、日本を含む先進国では 2004 年末にその生産が全廃となった。2005 年以降は、臭化メチル製剤を、博物館等での殺虫殺菌処理に使用することができなくなったのである。

カビや虫害が発生すればガス燻蒸で対処すればよい、という短絡的な考えが少なからずあった反省をふまえ、近年、総合的有害生物管理 (IPM、Integrated Pest Management) の考え方が注目されている。IPM は、農薬を大量に使用してきた農業分野からでてきた生物被害コントロールの方法で、日本の博物館等でも、その導入が始まっている。IPM の目的は、身近なことから防カビ・防虫に対する意識を高めることにある。施設の清掃をこまめに行う、資料への目配りを怠らない、このような基本的事項の大切さを再認識し、カビや虫が発生する環境をつくらないように努める。そして被害が発生すれば、化学的手法になるべく頼らず、被害の状況に応じた処置をひとつずつ、あるいは組み合わせて実施していくという姿勢である。

本マニュアルは、IPM の考え方に基づいたものである。マニュアルの構成は、大きく[基礎編]と[実践編]に分かれる。[基礎編]の 1、2、3 では、微生物学の見地から、カビの分類学的位置づけ、カビの生理生態と生育環境、カビの簡易同定法、カビ制御方法という、カビに関する専門知識を網羅した。続く[基礎編]の 4、5 には、カビ被害防止、カビ被害の早期発見、緊急対策など、資料管理の現場で最低限必要となる基礎知識をまとめている。一方、[実践編]は、カビの発生しない環境づくり、カビの発見のしかた、カビ発見後の対策と、より実践に即した内容になっている。多くの人びとが知りたいこと、疑問に思うことは、最後の Q&A で扱っている。Q&A から、本文のどの場所に、関連の内容が掲載されているかを逆引きできるようにしてあるので、必要なところだけ読むという使いかたもできる。

カビ対策マニュアルは、このように多彩な内容になっている。博物館・美術館の学芸員、事務職員、施設管理担当者、図書館司書、文書館職員、歴史系の学校職員などを対象とした専門書として、生物・化学について必ずしも十分な知識を持っていない学芸員養成課程初期段階にある学生の教科書として、さらには現場ですぐに使えるマニュアルとして、そのいずれにも対応できるよう書かれたものである。

それでは、まず始めに、カビがどのような生き物であるのかを理解して頂くために、地球誕生から現在までを 1 年のスケールとして表示した場合の生命の誕生からカビと人の歴史を眺めてみる (図 1)。

地球が誕生してから僅か 3 ヶ月間 (40~38 億年前) で地球最初の生命 (原核細胞である嫌気性細菌) が誕生した。続いて 5 月 (約 28 億年前) に誕生したのが光合成細菌である。この細菌群が太陽光を利用して酸素を 10 億年間作り続け、7 月頃 (約 18 億年前) にやっと現在の大気の酸素濃度と同じ状態になり真核生物が誕生した。さらに、これら真核生物が進化を続け、9 月頃 (約 10 億年前) に酵母やカビが誕生し、多細胞生物へと進化した。脊椎動物は 12 月頃 (約 4 億年前)

に誕生している。したがって、人類の歴史に比較して気の遠くなるほどの長い年月を経、地球環境の変化や様々な淘汰を乗り越えて現在まで生きてきたのが微生物である。言い換えると、微生物は現在の多様性に富む全ての生物の祖先でもある。細菌やカビは地球上に存在するほとんど全ての有機物や無機物を分解し、栄養源として利用し、これまで生きてきた。その結果、現在の美しい地球環境が保たれていると言っても過言でない。さらに、微生物は多種多様の恵み（発酵食品、抗生物質、ビタミン、アミノ酸、医薬品、酵素、各種有機酸および廃水处理等）を人類にもたらしている。

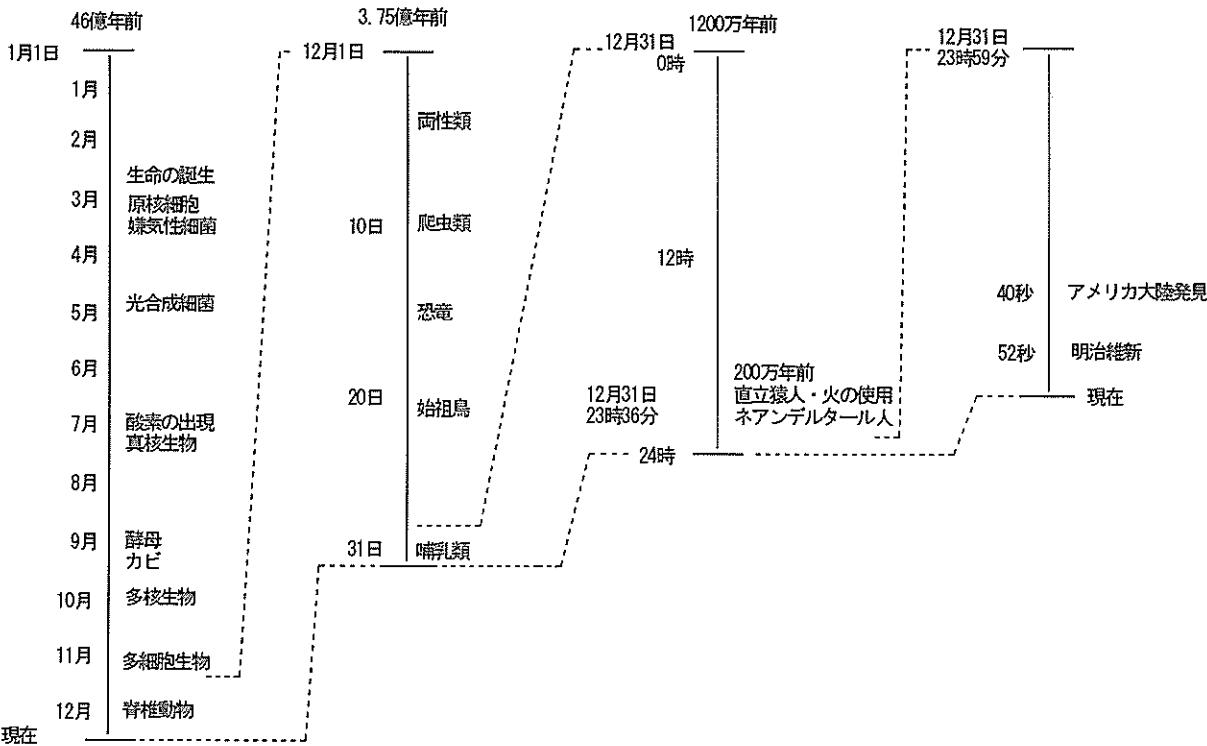


図 1 地球と生物の歴史

しかし、微生物の病原性は人類を含めた多くの生物の健康を脅かし、加えて人間の生活の基礎である衣食住の腐敗、変敗、腐朽などの微生物劣化に加え、その分解力は鉄筋コンクリート、金属、ガラス、鉱物に加えて博物館や図書館等資料までにも及んでいる（表 1）。

表 1 衣食住や工業製品の微生物劣化

材 料	用 途	劣化原因微生物
アルミニウムおよびその合金	飛行機、自動車、窓枠、機器、装置	細菌、カビ
ステンレス鋼	廃水パイプ、キッチンセット、洗濯機	細菌、硫酸還元菌
鉄およびその合金	自動車、機械装置、機器、鉄筋	細菌、硫酸還元菌
銅およびその合金	熱交換装置、電線、機械器具	細菌、硫酸還元菌
鉄筋コンクリート	建物、ダム、土木施設	細菌、硫酸還元菌
木材および合板	住宅（基礎、床材、柱、天井材）、家具	細菌、カビ、木材腐朽菌
プラスチック	パイプ、タンク、容器、各種器具及び装置、包装材料、	細菌、カビ、藻類
ガラス	光学機器、板硝子	カビ
石油	ケロシン、ガソリン、灯油、切削油	細菌、カビ、藻類
天然高分子、合成樹脂	塗料（天然系・合成系）、接着材（澱粉、膠、漆、エポキシ）、コーキング	細菌、カビ
天然ゴム・合成ゴム	ゴムパッキン、ゴムバンド、タイヤ等	細菌、カビ
コンクリート・モルタル	柱、床、壁、天井、目地、外壁	細菌、カビ、藻類
医薬品	生薬、目薬等	細菌、カビ、酵母
化粧品	化粧水、クリーム、乳液等	細菌、カビ、酵母
農水産物	生鮮食品、穀物、野菜、魚介類	細菌、カビ、酵母
農水産加工食品	缶詰、レトルト、乾燥食品、塩蔵食品	細菌、カビ、酵母
木綿、麻、絹、化学繊維	衣料用繊維、インテリア、テント等	細菌、カビ
皮革	衣類、家具、シート、鞆、ベルト等	細菌、カビ
電子材料	パソコン、プリント配線、デバイス	細菌、カビ
麻、雁皮、楮、檀、パルプ	和紙、洋紙	カビ
博物館・図書館等の所蔵資料	絵画、彫刻、工芸品、書籍典籍、古文書、考古資料、歴史資料、民族・民俗資料等	細菌、カビ
記念物	史跡（貝塚、古墳、遺跡）等	細菌、カビ

これら微生物の功罪を踏まえ、博物館・図書館等の資料や記念物のカビ対策マニュアルを作成した。

[基礎編]

っておらず、炭素源を有機物から獲得するため、セルロース、ヘミセルロースなどの繊維質や糖質およびタンパク質を分解し、利用（資化）する。

真菌を簡単に分類すると隔壁を持たない藻菌類と隔壁を有する子囊菌類、担子菌類および不完全菌類に分類される。藻菌類には卵菌類、壺状菌類および接合菌類（有性的に接合胞子を作り、栄養状態が良いと無性的に分生子を作る）であるケカビ類（クモノスカビ、ケカビ等）に分類される。子囊菌類は菌糸に隔壁を有し、有性胞子は子嚢に内生する。しかし、接合菌と同じように栄養状態が良いと無性的に分生子をつくる。これらの仲間には青カビ、麴カビ、紅麴カビがある。酵母は子囊菌の仲間である半子囊菌類（子嚢内に1個の胞子を作る）に分類される。担子菌類は菌糸に隔壁を有し、有性胞子は担子に外生する。この担子（子実体）が、椎茸、松茸、シメジ、マッシュルーム等である。不完全菌類は菌糸に隔壁を有し、有性胞子は認められず、無性胞子により繁殖する。この仲間には木材腐朽菌、植物病原菌及び腐敗菌がある。

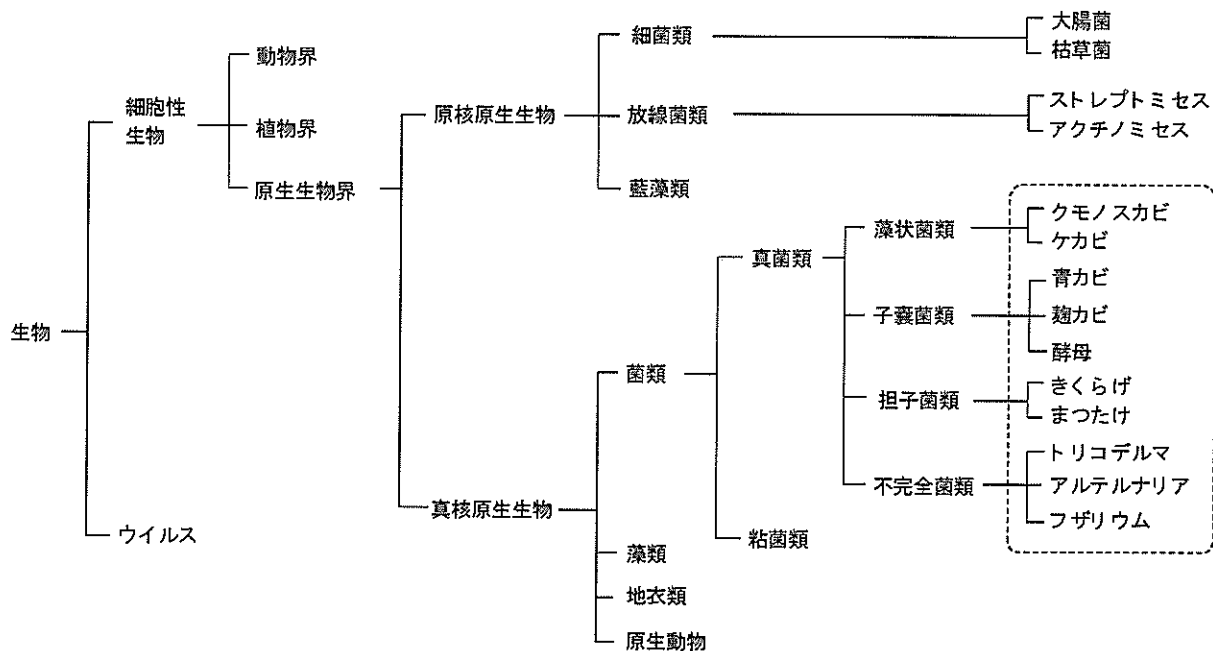


図3 カビの分類学的位置

現在、カビは 80,000 種以上確認されているが、生きているが培養できない種類（VNC あるいは VBNC と略: viable but non-culturable）も加えると、今後新たに発見される種類は増加すると思われる。

真菌を簡単に分類すると藻菌類と子囊菌類、担子菌類および不完全菌類に分類されると前述した。真菌のさらに詳細な分類や種類について図4に示した。専門書ではここに示すよりもさらに詳細な分類がされているが、本書の目的から真菌をツボカビ門、接合菌門、子囊菌門、担子菌門および不完全菌門に便宜的に分類した。ツボカビは鞭毛を持つ遊走子形成を特徴としており、2006年12月に我が国で発見されたカエルツボカビ症の原因カビもこの仲間である。接合菌門にはムコール目（Mucorales）、トリモチカビ目（Zooparales）およびハエカビ目（Entomophthorales）に分かれている。ユミケカビ、ケカビおよびクモノスカビ等はチーズ、老酒、凝乳酵素、グルコアミラーゼ生産等食品製造分野において有用なものもあるが、一方では接合菌症を引き起こす病原性の仲間も多く存在する。子囊菌門には、半子囊菌綱、

不整子囊菌綱、核菌綱、小房子囊菌綱、ラブルベニア綱および盤菌綱に分類されている。半子囊菌には、カンジダ症のような病原性を示すカビや、不整子囊菌には、アスペルギルス症を引き起こす仲間もある。担子菌門は半担子菌綱、菌蕈綱および腹菌綱に分類されている。菌蕈綱には食用キノコとしてマツタケ (*Tricholoma*)、シイタケ (*Lentinus*) およびシメジ (*Lypophyllum*) が属している。不完全菌門には不完全酵母綱、不完全糸状菌綱、分生子果不完全菌綱が分類されている。不完全酵母綱には病原性を示すカンジダ (*Candida*)、クリプトコッカス症肺炎の原因カビであるクリプトコッカス (*Cryptococcus*) が属する。不完全糸状菌綱には白癬菌症 (水虫) を引き起こすトリコフィトン (*Trichophyton*) や各種真菌症の原因カビが多く属している。また、分生子果不完全菌綱には角膜真菌症の原因カビが属している。また、カビ胞子は感染型真菌症以外にもシックハウス症候群、喘息等アレルギー疾患の原因となっている場合もあるのでカビが発生・着生した資料や記念物を取り扱う場合にはガーゼマスク (多めにガーゼを重ねる) など着用が必要である。

多くのカビはマイコトキシンと称する多種の毒素を産生する。これらマイコトキシンの一部を紹介すると、アフラトキシン (*Aspergillus flavus* 等によって産生される発ガン性毒素)、シトリニン (*Penicillium citrinum* 等によって産生される肝臓毒素および腎臓毒素)、トリコテセン系マイコトキシン (*Fusarium* 等によって産生される食中毒性無白血球症を引き起こす毒素) および麦角アルカロイド (*Claviceps purpurea* 等によって産生され、跛行、乾性壊死、豚の無乳症を引き起こす毒素) などが有名である。

さらに詳細なカビの分類や情報については、巻末記載の参考文献を参照。

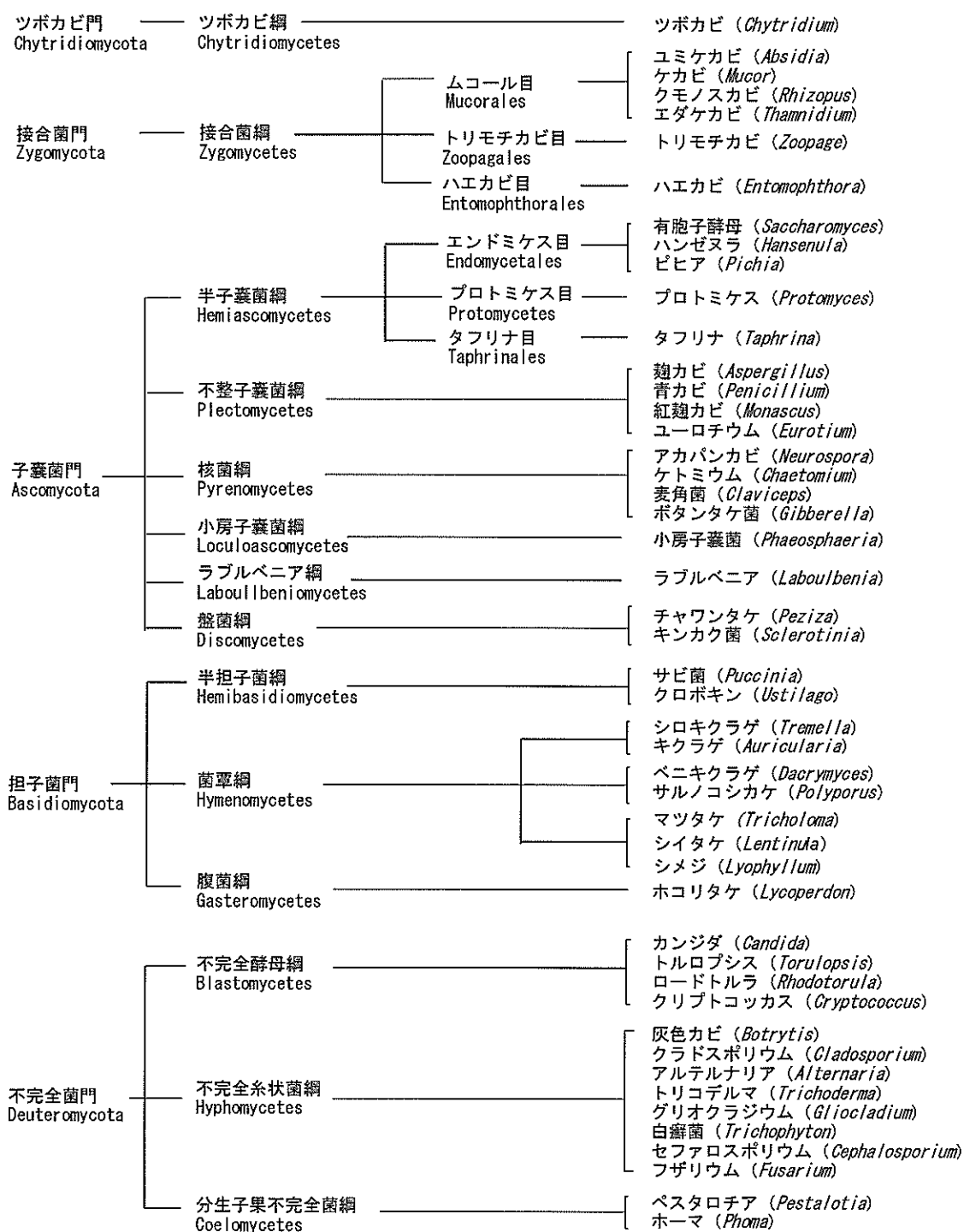


図 4 主な真菌の分類

1-3 カビが資料に与える影響

カビは、表1で述べたように衣食住や工業製品のほとんどを栄養源として分解・劣化させる。さらに、カビは天然有機物や人工有機物のみならず無機物や鉱物までも栄養源としており、博物館・図書館等の資料などは格好の栄養源（炭素源、窒素源）として物理的、化学的に分解（破壊）される。特に、木質系、天然繊維系、皮革系および膠等は経年劣化（物理的劣化・化学的劣化）した場合には、資料素材が本来持っていた僅かの抗菌性物質（テルペノイド、リグニン、フラボノイド、芳香族化合物、精油成分、抗菌性色素等）が分解あるいは蒸散して減少しているため、細菌やカビによる微生物劣化を容易に受ける。さらに、カビ類は有機性染料（植物由来、動物由来）を含む全ての天然有機物を分解する酵素群を有しており、酵素分解により資化し、カビの細胞増殖の原料として利用する。したがって、カビ被害は不可逆的（一方通行）な生物反応で、決して元に戻らない劣化であることに改めて注意する必要がある。

2. カビの生理生態と生育環境

2-1 カビの生育環境

<水分>

微生物の生育に水分が不可欠であり、水が全く存在しない環境では全ての微生物が生育不可能である。物質中に含まれている水は通常は遊離水（自由水）、結晶水、水素結合水、水和水（タンパク質、糖質、脂質、その他との水和）および氷の状態で存在しているが、微生物が利用可能な水分は自由水のみである。すなわち自由水とは、環境の温度、湿度の変化で容易に移動、蒸発および氷結が起こる水である。自由水が減少すると生育速度の低下や生育が停止するなど自由水は微生物の増殖に非常に重要な因子となっている。自由水を定量的に表す指標として水分活性（Aw: water activity）が用いられている。Awは本によってはawと記載されている場合もある。

$$Aw = P/Po$$

Aw：水分活性

P：物質の示す水蒸気圧

Po：その温度における飽和水蒸気圧

実際の測定は試料を入れた密閉容器内が平衡状態に達した時の湿度（平衡相対湿度：ERH、Equilibrium Relative Humidity）を測定することにより水分活性を求めることができる。

$$ERH = (P/Po) \times 100$$

すなわち、試料を入れた密閉容器内の平衡相対湿度が90%ならば、Awは0.9となる。なお、大気中の湿度は相対湿度（RH: Relative Humidity）で表される。一方、大気中の水分は温度が低下することにより飽和水蒸気圧が低下し、結露が起こる。この結露が起こる温度を露点といい、特殊な露点温度計や電気抵抗値で自動計測することができる。資料等の収納庫や展示ケース内では環境中の水蒸気と常に平衡状態が保たれているため緩やかな温度変化には結露への影響が少ないが、急激な温度変化により結露や水分活性が上昇し、カビ等の生育可能領域に入ると増殖が始まる。これらについてはカビの制御方法のところで解説する。

細菌、酵母、カビの増殖に必要な最低 Aw は、表2に示すように細菌類は一般に高い Aw

を必要とするが、酵母ではそれよりやや低い A_w である。しかしながら、特に耐浸透圧性酵母（塩分の多い環境でも生育可能）は 0.61 とかなり低い。カビは酵母よりもやや低めの A_w であるが、特に乾性カビ（好乾菌）は微生物の中でも最も低い A_w 環境で生育可能である。博物館等での保管資料にはこの分野のカビが問題となる。次に A_w が低くなるとカビ孢子がサブロー寒天培地（カビ培養用培地）上で発芽に要する時間（日数）にどのように影響するのかを図 5 に示した。クモノスカビや黒コウジカビの孢子は A_w が低い場合には発芽に要する時間が長くなる。低い A_w でも生育の可能な黒コウジカビでも A_w が 0.8 以下になると極めて発芽し難くなる。

通常では対象とする物質の A_w を 0.6 以下に保持するとカビは全く生育できない。これを維持するために環境の相対湿度を温度変化に拘わらず常に 60% 以下に保つことが必要である。

表 2 微生物の生育可能な最低 A_w

細 菌	A_w
緑膿菌、床ずれの原因菌 (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	0.97
大腸菌 (<i>Escherichia coli</i>)	0.95
枯草菌、納豆菌の仲間 (<i>Bacillus subtilis</i>)	0.95
黄色ブドウ球菌 (<i>Staphylococcus aureus</i>)	0.86
酵 母	
カンジダ、カンジダ症の原因菌 (<i>Candida albicans</i>)	0.94
アルコール発酵酵母 (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0.89
耐浸透圧性酵母、醤油の熟成酵母 (<i>Saccharomyces rouxii</i>)	0.61
カ ビ	
ケカビ、アミロ菌 (<i>Mucor rouxii</i>)	0.93
クモノスカビ (<i>Rhizopus nigricans</i>)	0.94
青カビ (<i>Penicillium citrinum</i>)	0.83
黒麹カビ (<i>Aspergillus niger</i>)	0.88
乾性カビ、好乾菌 (<i>Aspergillus repens</i>)	0.65
乾性カビ、好乾菌 (<i>Aspergillus ruber</i>)	0.65

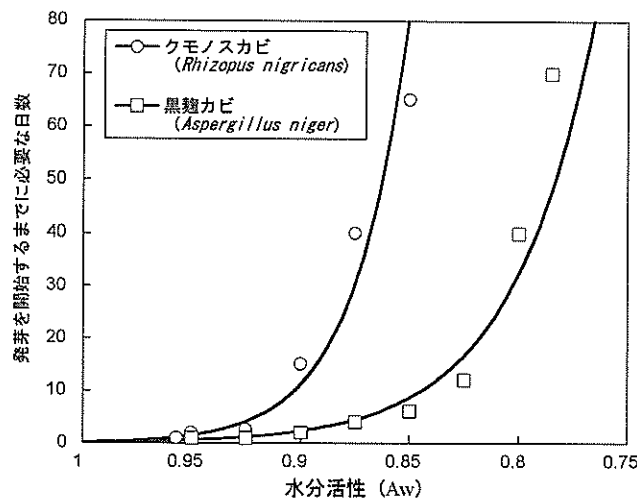


図5 カビ胞子のサブロー寒天培地上での発芽に要する日数

<酸素>

微生物には、生育に酸素を必要（好氣的呼吸）とするものと必要としない（嫌氣呼吸）ものが存在する。カビは空気（分子狀の酸素）の存在無くして生育不可能である。一方、メタン菌やボツリヌス菌などは酸素が全く存在しない環境でのみ生育可能である。このように酸素を必要とする性質と必要としない性質を好氣性および嫌氣性と言う。微生物の生育環境を環境氣體中の酸素分圧（酸素濃度）や水中あるいは水を多く含む物質中では酸化還元電位（ORP: Oxidation Reduction Potential）で表すことができる（図6）。カビや酢酸菌は偏性好氣性菌（絶対好氣性菌とも言う）に属し、生育のための酸素分圧条件は大氣中と同じかそれ以上必要である。言い換えると空氣が無いと生育できない。したがって除酸素や窒素置換した環境では全く増殖できない。資料を厚手のポリエチレン袋に入れ、脱酸素剤を入れ密閉シールすると簡単に無酸素環境にすることができる。しかし、無酸素あるいは窒素環境下においてもカビ胞子は死滅せず生存しており、酸素環境条件が調うと直ちに発芽して増殖することに注意を要する。腸内細菌群（大腸菌の仲間）や酵母類は通性嫌氣性菌であり、酸素が存在する方が良く生育するが、酸素が無い状態（大腸内の環境）でも生育可能である。また酵母類は酸素が無くなると嫌氣呼吸（発酵）によりエネルギーを獲得する。偏性嫌氣性菌（絶対嫌氣性菌とも言う）は、分子狀酸素（氣體狀酸素）あるいは酸化体の濃度が高い環境では全く生育できない。

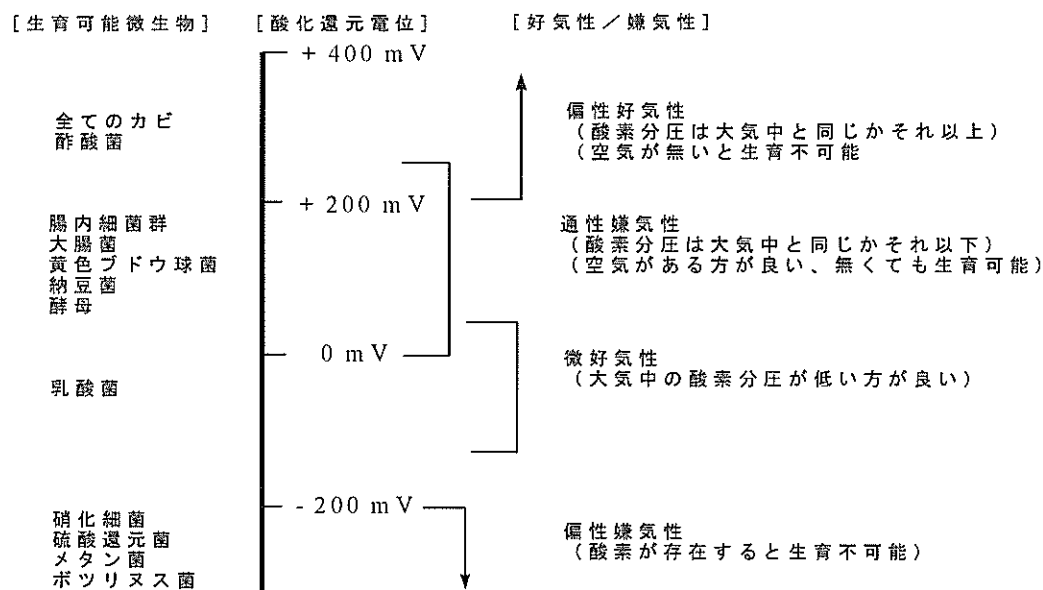


図6 酸素環境および酸化還元電位と微生物の生育

ORP (E) は、以下に示すネルンストの式によって与えられる。すなわち水に溶解している酸化体と還元体の活量の比の自然対数と気体常数、絶対温度およびファラデー数と標準電極電位で与えられる。

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]}$$

R : 気体定数 T : 絶対温度

n : 酸化還元反応で授受される電子数

[Ox] : 特定の物質の酸化型活量

[Red] : 特定の物質の還元型活量

E₀ : 標準酸化還元電位

実際の測定は、白金電極と飽和カロメル電極 (SCE) からなる酸化還元電位計により簡単に測定できる。低い酸化還元電位や低い酸素濃度を利用したカビの生育制御は空気中の酸素濃度、水中では酸化還元電位の測定を継続的に行いカビの生育条件領域外に環境を維持する必要がある。

<炭酸ガス>

非常に低濃度の炭酸ガスは、好気性微生物の生育促進作用があるが、大気中の炭酸ガス分圧が通常環境よりも高くなると生育阻害作用を示すようになる。さらに、微生物の呼吸に伴って発生した炭酸ガスの排出圧よりも、外部の炭酸ガス分圧を高くすると強い呼吸阻害を起こして増殖が停止する。また、純炭酸ガス雰囲気下では、特にカビなどの偏性好気性微生物は炭酸ガスの作用と無酸素状態の相乗的な働きにより、増殖が完全に停止する。

<窒素およびアルゴン>

前述したが、空気を窒素ガスやアルゴンで置換すると好気性微生物は呼吸が停止し、増殖が強く阻害される。偏性好気性のカビの生育抑制には、不活性ガスである窒素およびアルゴ

ン置換が有効である。

<温度>

生育可能温度で微生物を大まかに分類すると、0℃近傍を最適温度領域とし20℃以上では増殖できないものを好冷菌、20～45℃を最適温度領域としているものを中温菌、45～60℃を最適温度領域としているものを好熱菌、60～80℃を最適温度領域としているものを高度好熱菌および90～100℃を最適温度領域としているものを超好熱菌となる。カビ、酵母及び細菌の生育可能温度と最適生育温度を表3に示す。なお、凍結すると前述の自由水が氷結し、利用可能な水分が存在しなくなるため増殖が停止する。しかし、カビ孢子や細菌芽胞などは生存していることに注意しなければならない。

表3 微生物の生育可能温度領域と最適生育温度

微生物	生育可能温度領域 ℃	生育最適温度 ℃
カビ	0～40	25～28
酵母	0～40	27～30
細菌	0～90	36～38

微生物の極限環境と言われる0℃近傍や100℃近傍を除外すると、通常のカビや酵母は0℃以下または40℃以上にすると生育不可能である。しかし、0℃近傍では生育速度が非常に遅いが、半年あるいは数年後に目視で観察されるまでに生育する低温カビも存在するので、冷蔵保存する場合には特に注意を要する。

カビは通常は菌糸と孢子の状態で存在するが、その孢子には分生子（無性孢子）、子嚢孢子（有性孢子）および接合孢子が存在する。子嚢菌の麹カビと青カビを例としてカビ孢子を水に懸濁した状態での耐熱性について、表4に示した。子嚢孢子は最も耐熱性が高く、次いで分生子の順となっている。しかし、菌糸は孢子よりも耐熱性が低く、50℃でほとんどの菌糸が死滅する。80℃において、30分程度の加熱処理によりほとんどのカビが死滅することがわかる。

表4 カビの耐熱性

カビ	孢子	熱死滅条件	
		温度 (℃)	D 値 (分)
麹カビ (<i>Aspergillus sp.</i>)	分生子	50	5
	子嚢孢子	65	50
青カビ (<i>Penicillium sp.</i>)	分生子	60	2.5
	子嚢孢子	82	6.7

D 値：一定温度で加熱した時、生菌数が 1/10 に減少させるのに必要な加熱時間（分）

しかしながら乾熱（乾燥状態での加熱）では、カビ孢子（分生子、子嚢孢子、接合孢子、厚膜孢子）を死滅させるには120℃以上で60～120分程度の加熱時間を必要とし、非常に耐熱性が高い。したがって、資料上に付着あるいは生育したカビの加熱殺菌は不可能であることがわかる。

< pH >

水素イオン濃度 (pH) は、生物細胞内の生化学反応に重要な環境因子の1つである。pH 環境により生物を分類すると、好中性生物 (pH 5~9に最適増殖領域を示す生物。大半の高等生物がここに含まれる。)、好酸性生物 (pH 5以下に最適増殖領域を示す生物。極端な酸性条件では、生化学反応の調節の乱れやタンパク質の変性が見られるが、これらの条件に耐える生化学的資質を有する好酸性菌など。)、および極限環境中にはpH 1以下の条件で最適増殖領域を示す生物 (古細菌) も存在する。

カビの生育可能 pH 領域は 2~8.5 であり、最適 pH は 4~4.5 と非常に狭い領域である。しかし、生育可能 pH 範囲が広いことより注意を要する。

< 圧力 >

細菌や酵母の懸濁液を圧力容器に入れ、室温下で圧力 (静圧) を上昇 (20~40 MPa) させると細胞内タンパク質が徐々に変性 (水素結合の切断による凝固) し、これに伴って生育速度が低下する。さらに圧力を高める (80~100 MPa) と死滅する。

2-2 カビの生理生態

< カビの生活環 >

接合菌類や子囊菌類は、有性と無性の2種類の生活環 (life cycle) を持つものと不完全菌のような比較的単純な生活環を持つものが存在する。

接合菌類は、菌糸体から栄養・環境状態により分生子柄の先端に形成した胞子嚢内に無性胞子 (分生子) を作る。この分生子は、栄養・環境状態が良いと発芽して菌糸体を形成する。しかし、このサイクルのみでは遺伝子の欠陥が生じ、菌糸と菌糸が雌雄 (+-) に変化し、接合して二倍体の接合胞子を作り、遺伝子の修復を行う。この接合胞子が再び発芽して菌糸体となる。

子囊菌類は、菌糸体から分生子柄の先端に形成した胞子嚢内に無性胞子 (分生子) を作る。これが発芽して菌糸体となるサイクルと、菌糸体から子嚢果を形成し、この中に有性胞子 (子嚢胞子) を作り、それが発芽して菌糸体を作る2つの生活環を有する。また担子菌のように担子内に胞子を形成するものもある。

不完全菌類は、菌糸体から2種類の分生子 (大型分生子や小型分生子) を形成、あるいは複雑な生活環をもつものもある。詳細は参考文献を参照してください。

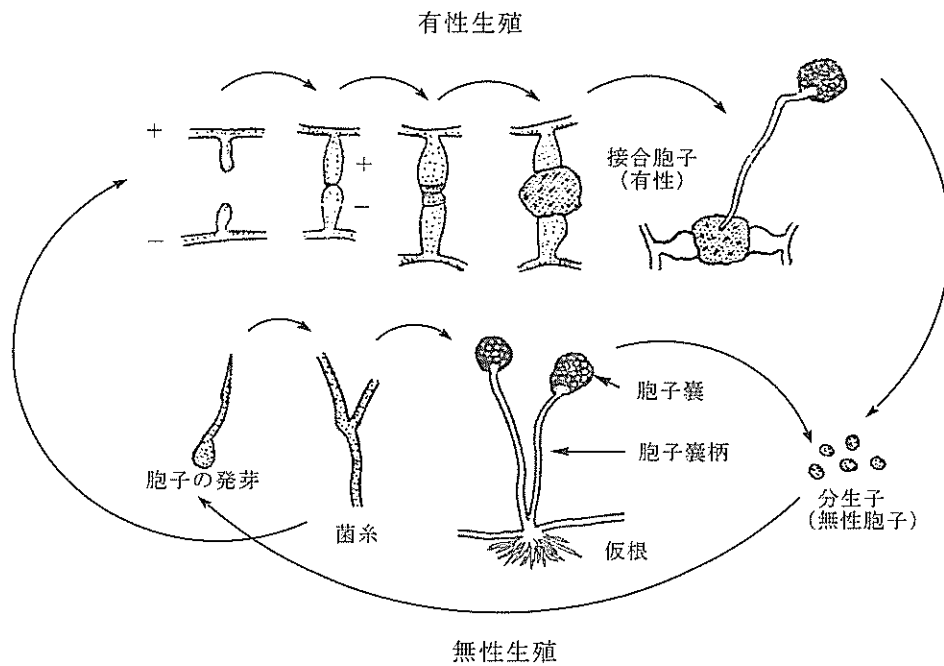


図7 接合菌の生活環、クモノスカビ (*Rhizopus*)
 (引用：(株) 光生館「精説 応用微生物学」22 頁、図 1 - 3 /
 昭和 48 年 / 天羽幹生、小石川仁治 著)

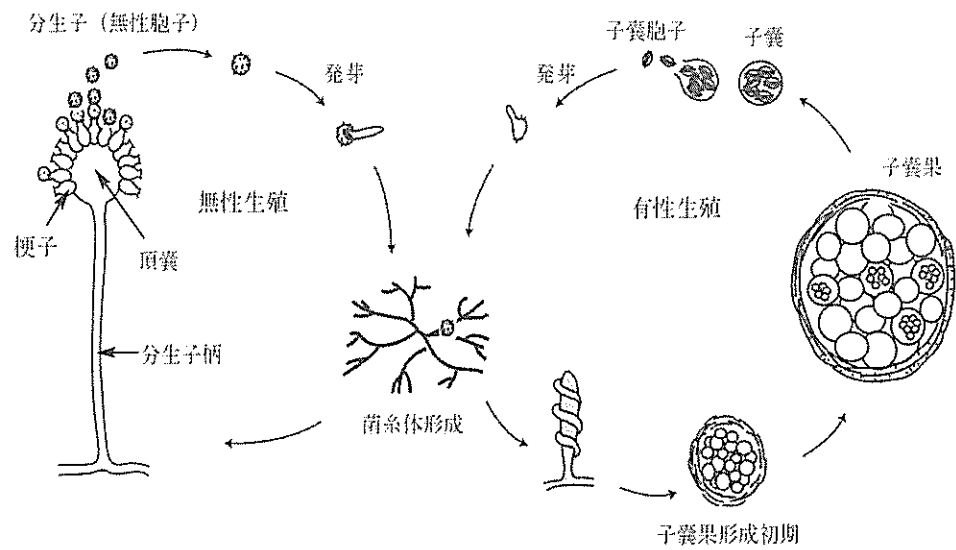


図8 子囊菌の生活環、カワキコウジカビ (*Eurotium*)
 (引用：(株) テクノシステム「かび検査マニュアルカラー図鑑」42 頁 /
 2002 年 / 高鳥浩介 監修)

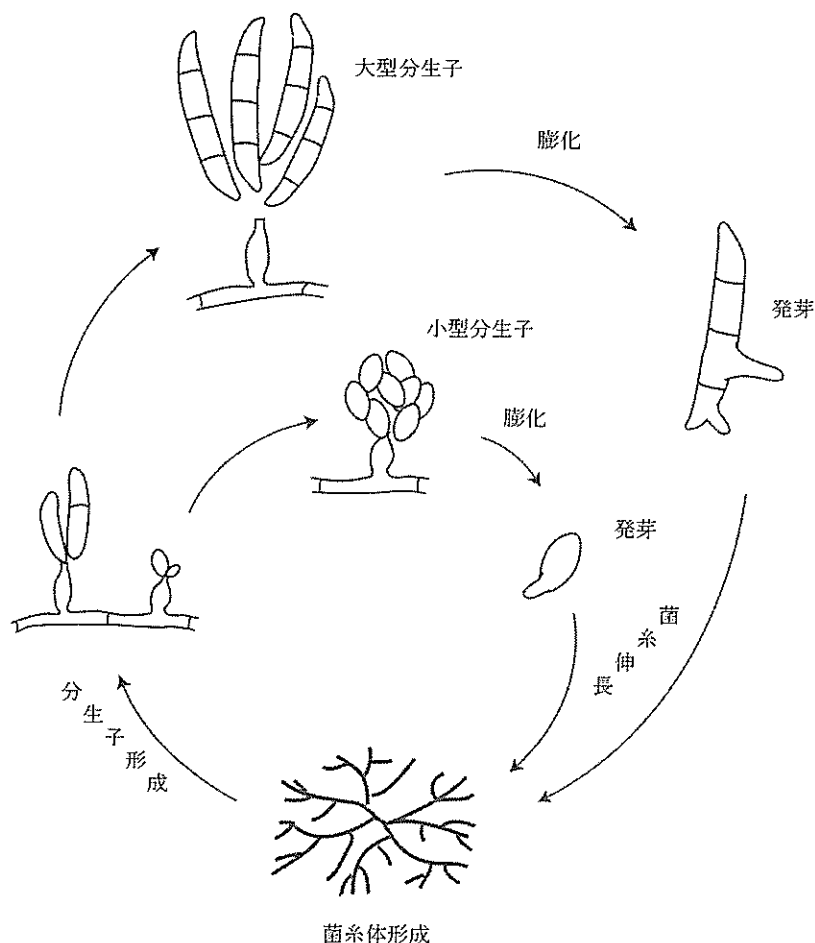


図9 不完全菌の生活環、アカカビ (*Fusarium*)

(引用：(株) テクノシステム「かび検査マニュアルカラー図鑑」43 頁／
2002 年／高鳥浩介 監修)

<寿命>

カビの寿命は形態や器官（分生子、子嚢胞子、接合胞子、厚膜胞子、菌糸）により大きく異なる。胞子の寿命は非常に長いが菌糸はかなり短い。通常の寒天平板上では、培養後1ヶ月経つとコロニーの周辺部の菌糸は生存しているが、コロニーの中心部の胞子形成した株の菌糸は死滅している場合が多い。斜面培養したカビ菌糸の乾燥を防ぐため高湿下において13～15℃で保存した場合、おおよそ1～3年で菌糸は死滅する。一般に、菌糸は過度の乾燥下あるいは氷結温度付近では数週間で死滅する。

<栄養源>

カビは細菌に比較して非常に多種多様の栄養源で生育することができる。まず炭素源では単糖類（グルコース、フラクトース、マンノース、ガラクトース等）、二糖類（サッカロース、マルトース等）、オリゴ糖（メリビオース）および多糖類（澱粉、セルロース等）を利用する。澱粉糖化酵素やセルロース分解酵素を細胞外に分泌し、単糖あるいはオリゴ糖にまで加水分解して吸収する。窒素源として無機窒素（塩化アンモニウム、リン酸アンモニウム、硝酸アンモニウム、硫酸アンモニウム等）および有機窒素（各種アミノ酸、タンパク質）を利用す

る。また、リン酸塩、硫酸塩やミネラル（鉄、マンガン、マグネシウム、カルシウム、カリウム、ナトリウム等）を必要とする。

＜カビ酵素の産生＞

一般に、酵素は生物体内反応の全てを起こすタンパク質触媒であり、これら代謝反応に関与する酵素は、生体膜（細胞膜や細胞小器官の膜）に結合している膜酵素、細胞質や細胞外に存在する可溶性酵素に分類される。可溶性酵素のうち、細胞外に分泌される酵素を特に分泌型酵素と呼ぶ。酵素はその触媒機能により酸化還元酵素、転移酵素、加水分解酵素、リアーゼ、イソメラーゼ、リガーゼに分類されているが、細胞外に分泌して作用する酵素の中でも特に注目すべきはタンパク質、脂質、多糖（炭水化物やセルロース）を加水分解する多種多様の酵素群（プロテアーゼ、ペプチダーゼ、リパーゼ、セルラーゼ、アミラーゼ等）である。カビがこれらの酵素群を細胞外に分泌し、タンパク質、脂質、糖質から加水分解作用により低分子化合物（アミノ酸、グルコース、マルトース、グリセリン、脂肪酸等）に分解した後、吸収して栄養源としている。

＜カビの色素産生＞

最も有名なカビ色素である紅麹カビ黄色素や赤色素は紅麹カビ (*Monascus purpureus*) が産生し、食品添加物として使用されている。しかし、大多数のカビは赤色、橙色、褐色、赤褐色、黄褐色、黄色、淡黄色、紫紅色等の様々な色素を産生する。一方、胞子は黒、黒褐色、褐色、緑色および白色のものが多く見受けられる。資料表面上に発生したカビは、既に組織内部にまで菌糸を伸張し、生育に伴って上記のような色素産生および着色胞子を着生し、資料に重大な汚染と影響を与えている。カビの産生色素や胞子による着色は化学的除去や物理的除去が非常に困難である。

3. カビの分離、観察と簡易同定法およびカビ制御方法

3-1 カビの分離・採取方法

＜付着カビの採取方法＞

通常の保存スラント（斜面培地）からの採取は、先端を鉗型に曲げた白金線（ニクロム線でも良い）を用いて行う。しかし資料等に着生している菌糸や胞子は、前もって 30 倍程度の手持ち小型顕微鏡あるいはルーペで十分に観察した後、注意深くピンセットで採取し、プレパラートに置きカバーガラスで覆って顕微鏡観察する。場合によっては、プレパラート上に採取したサンプルに水をマイクロピペットにより数十マイクロリットル程度添加して観察してもよい。資料が強靱で表面が破損しないことが確認できればセロテープを資料に優しく押しつけて採取し、プレパラートに貼り付けて検鏡することもできる。

＜空中浮遊カビの採取方法＞

資料の展示施設や保管庫内の空中浮遊カビは、寒天平板培地あるいはプラスチックプレート寒天培地（寒天を充填したプレート）をセット可能な電池式エアースAMPLERを用いて一定時間（一定容積の空気）吸引し、その寒天平板培地あるいはプラスチックプレート寒天培地を 27℃で 2～7 日間培養する。培養後カビ数の計測とコロニー形態を観察する。寒天培地やプラスチックプレート寒天培地に捕集したカビの培養にはインキュベーター（培養器）を

使用するが、通常、冷却と加温により温度調節を行う冷蔵庫タイプが多く、庫内が乾燥するのでインキュベーター内にプラスチック容器に水を入れておく方が良い。

<落下カビの採取方法>

施設内の落下カビは、寒天平板培地を測定すべき室内の床上 60～70cm に置き一定時間蓋を外して落下菌を採取する。落下菌が多い環境では 20 分程度、少ない環境では 1 時間程度蓋を開いておく。蓋を閉じた後、27℃で 2～7 日間培養する。培養後カビ数の計測とコロニー形態観察をする。

<カビ採取や培養した後の培地や容器の後処理方法>

カビ採取に用いたピンセットや白金線は、ガスバーナーの外炎中で付着したカビを殺滅する。一方、観察の終わった寒天平板やプラスチックプレート寒天培地はオートクレーブ（加圧蒸気殺菌装置）を用いて 121℃、15 分間殺菌処理した後に廃棄（医療廃棄物として）する必要がある、決してそのまま廃棄してはならない。オートクレーブが無い施設ではカビの採取と顕微鏡観察のみ行い、培養等は専門家に任せた方が良い。また、安全キャビネットが設置されていない施設では、カビの培養を行ってはいけない。

3-2 カビの観察

<カビの目視観察>

カビの観察は目視による直接観察が重要であり、特にカビが生育した資料が植物系、動物系、木質系、樹脂系、無機系素材であるのか、変色の程度や色調および臭気によりカビである判断や種類も推定可能である。次に、ルーペあるいは小型手持ち顕微鏡で観察すると菌糸の状況あるいは孢子着生状況が明確になる。

<カビの検鏡観察>

実体顕微鏡の資料台に置くことが可能な資料は、実体顕微鏡観察を実施する。なお、各種波長の LED ランプ照射下での観察は、カビ菌糸の蛍光により判定が容易となる。最後にカビをプレパラートに採取して、光学顕微鏡、蛍光顕微鏡さらには微分干渉顕微鏡により詳細な観察を行う。

3-3 カビであるのかの判定法

<カビと蜘蛛の糸、糸状や針状の無機結晶、繊維およびその他との判定>

菌糸と思われる資料を注意深くピンセットにより採取し水に入れ、速やかに沈殿あるいは溶解すれば、無機結晶であると判定できる。沈殿や溶解しない資料については、培養法および ATP（アデノシン三リン酸）の存在を確認するとよい。生きているカビ菌糸細胞内にはかならず ATP を保有しており、細胞が死滅すると細胞内 ATP 加水分解酵素により速やかに分解されるので、ATP が存在しない。

<培養法>

採取したカビと思われる資料をカビ用培地（サブロー寒天培地、ポテトデキストロース寒天培地あるいはツァペックドックス寒天培地等）に接種し、1～7 日間培養後にカビであるかの判定を行うが、培養時間を必要とし、かつ VNC（生きているが培養できない）化した菌

糸や胞子には適応できない。また、前述したが、オートクレーブ、安全キャビネット、廃棄物処理の契約やその他カビを安全に取り扱うことのできる施設以外では、カビの培養をしてはならない。

<細胞内 ATP 量の測定>

ATP は地球上至る所に存在し、特に人の皮膚上や手で触れた器具などには多量の ATP が付着している。また高い耐熱性を有していることより、沸騰水加熱やオートクレーブ処理でも分解しない極めて高い安定性を有している。したがって、採取した資料容器内や菌糸表面に付着している ATP を ATP 分解酵素により完全に分解した後、ATP を抽出試薬により抽出し、発光試薬（ルシフェリン、ルシフェラーゼ、pH 緩衝液などを含む）を加えてルミノメーターで発光量を測定する。菌糸や胞子の外部に付着している ATP を除去する操作により細胞内 ATP のみが検出できる。この ATP 測定法により生きている菌糸と胞子が検出可能となる。また培養が困難である VNC 化した菌糸や胞子でも検出することが可能である。なお ATP 測定に必要とする時間は約 30 分程度であり、迅速的測定方法である。

3-4 カビの簡易同定法

<目視による簡易同定>

カビの同定は熟練しないとかなり難しい。資料等に着生しているカビを、培養せずに目視のみで同定することは、極めて困難である。しかし、採取した後、純粋培養したカビについて、簡単なものは目視のみで同定が可能である。シャーレ上に形成したカビコロニーの形状、菌糸の色、胞子の色、コロニーの盛り上がり方、綿状、粉状および産生色素等により判定する。この方法では、分類学上でいう、カビの門および綱が判定できる程度である。

<光学顕微鏡による形態学的簡易同定>

ここでは非常に簡単な同定方法について図 4 および図 7 に示した接合菌のケカビ目 (Mucorales) のクモノスカビやケカビを例として説明する。①菌糸には隔壁 (septa) を有していれば子嚢菌、担子菌、不完全菌であり、有してなければ卵菌 (ミズカビ)、ツボカビ (鞭毛を有する遊走子を形成)、接合菌 (接合胞子を形成) である。②接合胞子の確認により接合菌門とする。③接合菌の仲間にはムコール目 (菌糸が蜘蛛の巣状に伸びている)、トリモチカビ目 (線虫補食カビ) およびハエカビ目 (昆虫寄生カビ) がある。④ムコール目の中で仮根の有無、小胞子嚢の有無、胞子嚢柄の形成部分により分類ができる。ケカビ (*Mucor*) は仮根を作らず通常の胞子嚢を形成する。クモノスカビ (*Rhizopus*) は胞子嚢柄の部 (節部) に仮根 (Rhizoid) を形成する。ユミケカビ (*Absidia*) は胞子嚢柄が形成していない部分 (節間部) に仮根を形成する。エダケカビ (*Thamnidium*) は小胞子を形成する。これら形態の差異により、ムコール目の主なカビを同定することができる。しかしながら、詳細な形態学的な同定は光学顕微鏡のみならず走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡観察と形態学の専門知識が必要であり、専門家をお願いするのが良いと思われる。

<遺伝子解析による同定>

カビの細胞内には DNA の遺伝情報をもとにタンパク質を合成する場所と機能を提供するリボソームを有している。このリボソームは、大きさの異なる 5S、5.8S、18S、28S (S は沈降係数) から構成されており、これらをコードしているのが rDNA である。これらの遺伝子の特

定領域を、遺伝子増幅方法であるPCR（ポリメラーゼ連鎖反応）により増幅し、比較解析することによりカビの分類・同定が可能である。現在、遺伝子解析を行う企業が多数設立されており、容易にカビの分類同定が可能となった。

3-5 カビの保存方法

現場から採取し、平板寒天培地に生育させたカビは通常の場合、3ヶ月以上保存することが難しい。また、カビの種類にもよるがスクリーキャップ付き試験管での寒天斜面培地の場合でも恒温高湿下（13℃、湿度 90%以上）で1年程度が保存の限界である。したがって定期的に新しい培地に移植し、培養、保存を繰り返す必要がある。詳細なカビの継代や保存については「かび検査マニュアルカラー図鑑」等の参考文献を参照してください。

3-6 カビの制御方法

1) 物理的制御

<電磁波>

電磁波照射による微生物制御はガンマ線および紫外線が用いられている。ガンマ線はエネルギーが高く、透過性に優れているので、一般的には密閉包装されたプラスチックの医療器具（注射器、試験管）、シャーレなどの滅菌に使用されている。通常は⁶⁰Coおよび¹³⁷Csなどの密封放射性アイソトープからのガンマ線を用いる。ガンマ線照射法はカビのみならず細菌やウイルスなども確実に滅菌することが可能である。しかし、ガンマ線による資料の劣化も大きいと、風水害などによる大量の資料汚染が起きた場合にのみ緊急避難的に利用することが望ましい。ガンマ線被爆を受けると生死に関わる重篤な害をおよぼすので、この方法は完全に遮蔽された照射室を持ち、かつ許可された施設が必要である。

<電子線>

電子線は粒子線であるためガンマ線やエックス線と異なり、物質にもよるがその透過力には自ずと限界がある。電子線照射滅菌の殺菌メカニズムは、微生物細胞内の水分子が照射された電子と結合し、励起された結果、殺菌力の非常に強いヒドロキシルラジカル（・OH）が発生し、細胞内でラジカル連鎖反応により遺伝子、タンパク質などを変性、破壊することにより殺滅する。しかし資料への劣化影響も大きいので前述のガンマ線と同様、使用は緊急時にのみに限定する必要がある。

<紫外線>

紫外線は260-280nmの紫外線ランプにより発生させることができるが、物質を透過する力は極めて弱く、物体の表面に存在する微生物のみを殺滅することができる。微生物が菌塊を形成している場合には陰となる部分では全く殺滅されない欠点がある。さらに紫外線照射は資料に対する劣化影響が大きいので殆ど使用されていない。

<熱>

カビの耐熱性については温度の項で解説したがカビ菌系のみを殺滅するのは比較的低温（80℃、30分）加熱で良いが、分生子、子嚢孢子、厚膜孢子などの耐熱性細胞は120℃、2時間以上の加熱が必要であるので資料や記念物に応用しない方が良い。なお、加熱方法としてはマイクロ波加熱、赤外線加熱および熱気流加熱がある。

<低温>

低温を用いたカビ制御方法は物質の自由水含量にもよるが $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$ の氷結点（物質の中で水が氷結し始める温度）よりも少し高い温度（ 0°C 付近）で保存するとカビは増殖せずに眠らせておくことが可能である。

<遮断（クリンルーム）>

一度、滅菌した資料の再微生物汚染を防止することにより、カビの発生を防ぐことができる。展示ケース内の無菌化や無菌空気雰囲気中で保存するのも一つの方法であるが費用がかさむ。

2) 化学的制御

化学的なカビの制御方法としては、前述した除酸素、窒素、炭酸ガスやアルゴン置換、pH、酸化還元電位などの利用が考えられるが資料や記念物においては、いずれも適用が困難である場合がほとんどである。しかし水溶性の高い防カビ剤や殺カビ剤は取り扱いが容易であることより、利用されている場合もある。ここではカビに効果の高い薬剤に限定して記載した。しかしカビに対して強い殺カビ性や増殖阻害作用を示す薬剤は少なからず人体に対する毒性や環境毒性を有しており、使用に当たってはMSDS（化学物質等安全性データシート）を詳しく読み、使用後にはMSDSに指定された方法で処分しなければならない。

<エチレンオキシド>

ガス殺菌剤の主なものとしてエチレンオキシドとメチルブロマイドの化学式を図10に示した。前者の別名は酸化エチレンガス、エチレンオキシド、オキシランと称される。高圧ガス、可燃性ガスで急性毒性物質である。毒性は酸化エチレンガスを短時間に多量に吸入した場合、急性中毒症状として頭痛、悪心、脱力、嘔吐が起こる。重症の場合は肺水腫、神経症状として意識障害、協調運動障害、眼への影響（白内障）が現れることがある。慢性暴露障害としては末梢神経障害、発癌性、生殖毒性が存在する。作用メカニズムはエチレンオキシドによるDNAの断片化やタンパク質のアルキル化により細菌、カビ、ウィルスを殺滅する。使用方法はオートクレーブと異なり滅菌する資料を一部分が通気性のあるシールパックに入れて加圧・減圧耐性滅菌器に入れ、減圧後エチレンオキシドガスを注入し、16~20時間かけて滅菌し、その後エチレンオキシドを減圧除去する。一般のエチレンオキシドガス滅菌器は減圧、ガス充填、減圧が自動的に行われる。

<メチルブロマイド>

別名は臭化メチル、ブロムメチル、メチブロと称され、沸点が 4°C 、通常の温度域では気体で存在する。これまでは大部分の用途が土壌殺虫剤・殺菌剤として使用されてきたが、オゾン層の破壊物質の一つであることより、日本国内では2005年以降使用が禁止された。ヒトに対する吸入毒性は非常に高く、頭痛、めまい等をおこし、数時間から数日後に痙攣や視力障害等の神経障害をおこす。高濃度暴露では肺水腫をおこし、呼吸麻痺、循環器障害を伴う中枢神経系の機能低下により、死亡することがある。細菌、カビ、ウィルスの殺滅作用に加えて殺虫効果も非常に高い。作用メカニズムは生物に対してアルキル化剤として作用する。

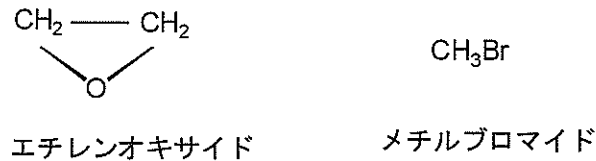


図 10 ガス殺菌剤（燻蒸剤）

<エチルアルコール>

カビに対して使用が可能なアルコール類およびアルデヒド類の化学構造式を図 11 に示した。エチルアルコールは揮発性と可燃性が高いので特に注意が必要である。エチルアルコールの作用メカニズムは微生物細胞膜への浸透により細胞膜が破壊され、タンパク質の溶出や変性が起こり殺菌効果を示す。したがってエチルアルコールの場合には 70w/w%（約 80v/v%）の場合が最も高い殺菌力を発揮し、この濃度域より高くなっても低くなっても殺菌効果が激減する。この理由は細胞表層の膜と同じ疎水性にアルコール水溶液を調製すると浸透性が高くなり、高い殺菌活性を示すことに基づいている。エチルアルコールは栄養型の細菌には有効だが、細菌芽胞、真菌や酵母に対しては長時間の接触が必要である。なお、最小発育阻止濃度（MIC）は黒麹カビ（*Aspergillus niger*）、青カビ（*Penicillium notatum*）に対して、5%濃度において 48 時間接触条件で生育を阻害する。エチルアルコール濃度を 70%に保ち（蒸発を防ぎ）長時間接触させることでカビを殺菌することが可能だが、エチルアルコールを栄養源とする酢酸菌やその他の微生物の存在により消費されてしまう欠点がある。

<プロピルアルコール、イソプロピルアルコール>

プロピルアルコールおよびイソプロピルアルコールもエチルアルコールと同様に細胞内へ浸透しやすい濃度（細胞表面疎水性と同じような疎水性）にすると殺菌活性が高くなる。

<ホルムアルデヒド、ホルマリン>

ホルムアルデヒド燻蒸は初期の空間内濃度 1,000～3,000 ppm とし、最低濃度を 600 ppm 以上で 7 時間以上、湿度 70%以上を維持すると細菌、細菌芽胞、真菌、ウイルスおよび原虫等の全てが殺滅され、所期の目的が達成できる。しかしホルムアルデヒドガスは変異原性が陽性、吸入毒性和経皮毒性が高く、皮膚感作性が陽性、眼刺激性が高いことより、ホルムアルデヒドガスを用いた燻蒸や殺菌には取り扱いや廃棄に細心の注意が必要である。人体に及ぼす危険性、環境への負荷などが問題となりホルムアルデヒドガス燻蒸は極めて少なくなった。なお、ホルマリンは 35～38%ホルムアルデヒド水溶液（無色、強い刺激臭）であり、真菌、細菌、原生動物に対して高濃度（原液の 100 倍希釈液）では非常に高い効果を示す。黒麹カビ（*Aspergillus niger*）およびカンジダ（*Candida albicans*）に対しては（0.05 %）500 ppm 以上で増殖抑制効果を示す。

<グルタルアルデヒド>

グルタルアルデヒドは通常 2～20%水溶液が殺菌に使用され、主に医療機器（内視鏡）の殺菌消毒に利用されている。2%水溶液は細菌、真菌、ウイルスを 15 秒で殺滅し、芽胞を 60 分の接触で殺滅する。グルタルアルデヒドは毒性（変異原性が陽性、皮膚刺激性が強い、皮膚感作性が陽性）が高く、人体には使用できない。作用メカニズムはチオール基の酸化、アミ

ノ酸との反応、DNA 合成阻害作用を示す。また、アルデヒド類は酸性やアルカリ性下ではアルドール縮合（アルデヒドが脱水反応によりアルデヒド基とヒドロキシル基を持った不飽和化合物を生成する反応）を引き起こす。アルデヒド類の殺菌メカニズムは TCA サイクル（トリカルボン酸サイクル）中の脱水素酵素を特異的に阻害し、タンパク質の合成阻害作用を示す。しかし、グルタルアルデヒドは電子顕微鏡の資料作製には無くてはならない固定化試薬でもある。

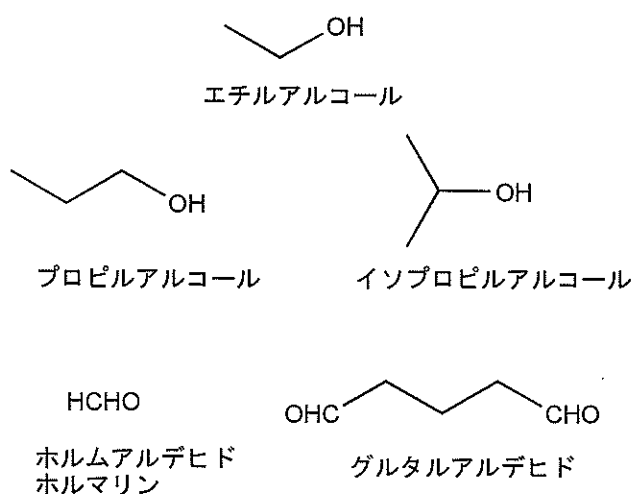


図 11 アルコール、アルデヒド系殺菌剤

<イソチアゾリン系>

イソチアゾリン系薬剤の主な化合物の化学構造式を図 12 に示した。イソチアゾリン系殺菌剤の中で 2-*n*-オクチル-4-イソチアゾリン-3-オンは黒麹カビ (*Aspergillus niger*) では 8 ppm、青カビ (*Penicillium funiculosum*) では 1 ppm、カンジダ (*Candida albicans*) では 2 ppm の非常に低い MIC（最小発育阻止濃度）を示し、強い効果を有する。一方、5-クロロ-2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オンと 2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オンの混合物は *Aspergillus niger*、*Penicillium funiculosum* に対して MIC が 1 ppm および 0.5 ppm の非常に強い効果を有する。しかし、これらイソチアゾリン系薬剤は高い皮膚刺激性や眼刺激性を有することより取り扱いに注意を要する。

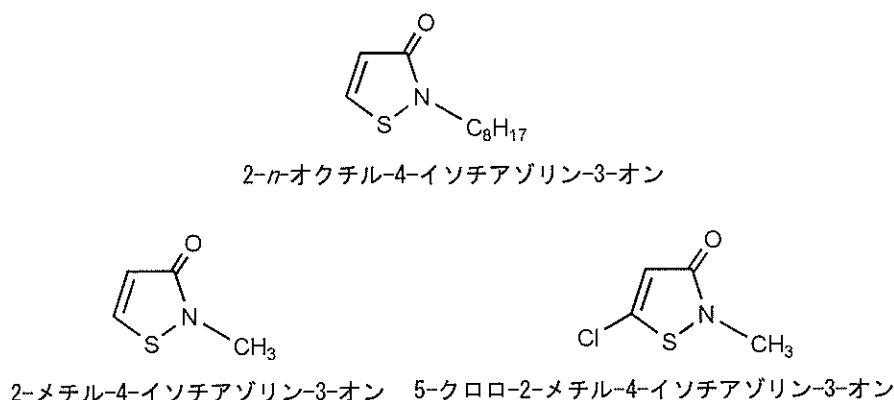
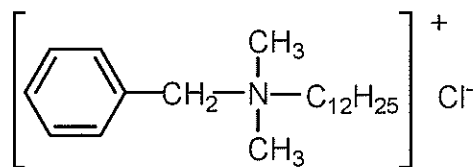
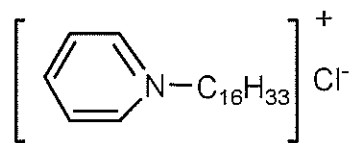


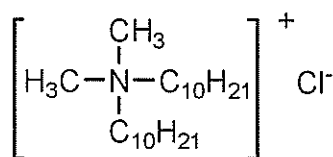
図 12 イソチアゾリン系殺菌剤



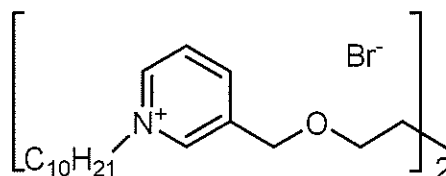
塩化ベンジルデシルジメチル
アンモニウム



塩化セチルピリジニウム



塩化ジデシルジメチルアンモニウム



3,3'-(2,7-ジジオキサオクタン)ビス
(1-アルキルアンモニウムブロマイド)

図 13 第四アンモニウム塩系殺菌剤

<第四アンモニウム塩系>

第四アンモニウム塩は 1935 年に Gerhard J. Domagk により、その殺菌活性が見いだされて以来、多種の化合物が開発され、消毒剤として利用され効果を上げてきた。その主なものはモノ型の塩化ベンザルコニウム（病院での消毒剤）、塩化セチルピリジニウム（デンタルリンスや練り歯磨きの殺菌剤）、塩化ジデシルジメチルアンモニウム（食品製造環境殺菌剤）が使用されてきたが、最近我が国においてアンモニウム塩ヘッドを 2 個有する対称型のジェミニ型（双子型）のアンモニウム塩が開発された（図 13）。前者のモノ型の第四アンモニウム塩は細菌に対して高い効果を示すが、細菌芽胞や真菌に対して殺菌効果が低く、低い温度環境や酸性環境に加えタンパク質の共存下では殺菌活性が低下する傾向があった。しかし、ジェミニ型のアンモニウム塩は、細菌、芽胞、真菌、カビ胞子に対しても非常に強い殺菌効果を示し、細菌の表層構造破壊や湿潤環境や水環境でのバイオフィルムの発生を抑える効果が見いだされた。また、ジェミニ型殺菌剤は、薬剤耐性菌の出現を極めて低く抑えることができるなど優れた特徴を有している。さらに、細胞壁の厚いアルコール酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）の栄養細胞、黒麹カビ（*Aspergillus niger*）の胞子に対して 30 分の接触で 5～20 ppm 程度の低濃度において高い殺胞子活性が認められた。本薬剤は毒性（血液毒性、経口毒性）が低く、皮膚感作性が陰性であり、少し弱い皮膚刺激性を示すものの資料の展示室や保存施設におけるカビ胞子数を低減させる環境消毒剤として効果を発揮すると思われる。なお、防カビ剤の詳細については「防菌・防黴剤の開発と展望」、シーエムシー出版および「菌防黴剤原体事典」、日本防菌防黴学会を参照。

4. カビ被害防止のための管理について

文化財は人間の歴史と関係する遺物・遺産であって、その歴史伝承の媒体として後世に伝えることを目指している。そのため文化財保存の最終目的は、実物（オリジナル）の保存であり、具体的には形態の保存と価値（鑑賞における色、使用痕、環境履歴）の保存が求められる。

資料や作品は人の歴史の記録であり、資料や作品の価値付けの主体は人間である。人間の活用なくして資料保存の意味はなく、そこで保存環境を整えるにあたっては、資料や作品の理想的環境下での寿命ではなく、空気（酸素・水・二酸化炭素）があり、居住環境の温度帯、人間が利用可能な環境下で寿命を全うさせることを目指す。著しく寿命を短くする負荷を低減するように環境を整えることが保存環境づくりである。

資料保存の考え方は、かつての処置中心（被害が生じた後の対策）から、1990年代に予防中心（被害を未然に防ぐ対策）Preventive Conservation に変わりつつある。生物被害防止対策についても、臭化メチル製剤の使用禁止を受けて、総合的有害生物管理（IPM：Integrated Pest Management）の考え方が博物館・図書館等の分野にも導入され、約10年が経過した。カビ対策を考える場合、カビの胞子は外気とともに多量に流入し、栄養分と自由水があればどこでも繁殖するが、被害が発生するまでは気づくことはなく、被害がない程度に環境を整えるというIPM手法がこれまでも採用されてきたとも言える。しかし、カビは繁殖することで基質そのものを物理的に・化学的に分解し、カビ代謝物の残存からフォクシングが発生したり、資料を直接分解汚損するおそろしい劣化要因であり、なによりも繁殖を抑えることが重要である。水分制御と清掃、資料清掃が欠かせない対策である。

文化財行政においても「国宝・重要資料の公開に関する取り扱い要項」（平成8年7月12日、文化庁長官裁定）の中で、「6 公開の環境 重要資料の公開は、じんあい、有毒ガス、かび等の発生や影響を受けない清浄な環境のもとでおこなうとともに、温度及び湿度の急激な変化は極力さけるとともに、次に掲げる保存に必要な措置及び環境を維持すること。①慣らし ②温湿度の調整 ③照度」とあるように、カビの発生については十分に警戒するよう通知している。資料や作品の置かれている施設は博物館・美術館だけではない。重要な文書等は図書館・公文書館・文書館・史料館等にも収蔵され、また多くの歴史資料が図書館・史料館・資料館の収蔵物となっている。

表5 IPMに則ったカビ被害対策の進め方

IPMの段階	全体方針	具体的な対策
回避	利用できる水分量の抑制	水分流入阻止、空調、室間の差圧調整
遮断	栄養物/塵埃の低減	清掃、フィルターによる浮遊粉塵除去
監視	検出方法の普及	点検、LED点光源の利用
対処	除菌あるいは殺菌の選択	ガス燻蒸利用時の基準、除菌方法確立
計画の見直し	体制を整える	点検時期の見直し、空調制御方法見直し等

カビ被害対策の段階的実行

資料への微生物被害を抑えるにあたって、資料特有の制限がある。例えば、資料表面に滅菌や防カビのために薬剤を塗布することは、将来の変色などを誘発するおそれもある。また栄養物等の除去のための表面クリーニングは、資料の破損を招く恐れもあり頻繁には行えない。そのため、すでに広範にカビ被害を受けてしまった資料については、ガス燻蒸で殺菌し、再発しないように環境整備を計画することが必要となる。資料への微生物被害対策としてなによりも重要なことは、微生物が繁殖しにくい環境に資料を保管することしかない。博物館等で保管されている資料は保存環境を管理して、資料周辺を清浄に保ち、高湿度環境にならないように計測監視することが重要である。

カビ被害が発生する時期は、新築/増改築、漏水・浸水、結露の発生、高湿度空気の滞留、設備の故障、粉塵堆積の見過ごし、などであり、その対策は初発燻蒸、空調稼働、材料選定（被害を受けにくい建材を利用）、設備復旧と増設である。建物の応急処置・修理は優先的におこなわれる必要があり、換気・送風による温度差の解消や資料周辺の清掃が重要である。多量の寄託、移転、借用時など外部から資料を搬入する場合には、何らかの除菌処置は必須であろう。

<回避>

カビ被害を回避するには、何よりも生えにくい環境を整えることにある。資料表面のクリーニングは専門の技術者であっても難しく、また人間が利用できる空間として酸素濃度は下げられないため、カビ発生抑止のために採用できる方法は、カビが利用できる水分量を低減して、温度設定を見直し、発生速度を遅くすることである。また同時に、大気からの塵埃により資料表面に栄養物が蓄積され、また外気から孢子に汚染された空気が流入する場合もあるため、空気清浄化を計画することが重要である。

外からの不容易な水分の流入を阻止するには、建物外周の水回りの始末に注意するとともに、扉などの開口部をふさぐことである。また室内側を正圧にしておけば空気の流れが常に内から外に向けて作られ、水分や塵埃の流入を阻止できる。

除湿可能な空調があれば生育抑制には有効で、送風装置で室内の温度むらを一様にできれば、カビ発生にもっとも影響する結露や高湿度たまりの解消に役立つ。

<遮断>

遮断の処置としては、汚染された資料の持ち込みを抑制し室内の微生物量を低減することのほか、資料とその周囲のクリーニング、汚染拡大防止のための措置などがある。微生物はたいそう小さく、空気と同じ挙動をするため、空気の流れのとおり拡散していく。室内空気を清浄化するよう計画し、空調機に HEPA フィルターを組み込む、空気清浄機を増設するなど、遮断には機器類のサポートも必要である。

重要な資料が収納されている空間での作業については、塵埃発生の程度について把握し、作業計画を立てる。人からの汚染を避けるために必要な場合には、マスク、手袋等を装着することも有効である。

室内大気の塵埃の量と利用人数には相関があるため、特に重要な区画については立ち入り人数・滞在時間を把握するために記録をつけ、空調調和設備の整っていない区画に特に重要な資料が収納されている場合には、立ち入り人数や滞在時間を制限することも有効である。

<監視>

監視には、資料そのものを点検して微生物被害発生の早期発見・対処を目的とする活動と、環境を監視して微生物被害発生を遅らせる活動がある。

資料点検にも適した時期がある。空調などの制御ができない収蔵場所では、気候の影響を大きく受ける。曝涼は防虫殺虫・防カビを目的とした高温多湿な夏を越えた日本での資料保存の智慧とされるが、日本海側・瀬戸内海など年間通して相対湿度が安定している地域では一般に気温の下がる秋季には資料の含水率が増加する条件となる。冬季の乾燥の激しい東京など太平洋側の気候では 11 月以降に含水率が下がり、6 月の梅雨季に資料の含水率上昇が見られるため、秋の曝涼は含水率を下げるのに有効な手段と言える。このように当日の気候

条件を検討して適している場合に行うことが重要である。

<対応>

緊急処置として、カビ被害の拡大を防ぐために、資料をすみやかに隔離する必要がある。カビが生えている区画への無駄な立ち入りの制限、閲覧等の利用を一時的に中止して、カビの生えている区画とその他の区画間の空気交換が行われにくい状況に管理する。

短期的な対処としてカビ等の処置は、すみやかな除菌および殺菌・ガス燻蒸に尽きる。しかしこれらはあくまでも後手の対応であり、長期的に、施設内に収納された資料を管理する場合には、カビ等微生物被害を受けにくい環境に、資料を取り巻く空間を管理制御していくことが大切である。

カビ等微生物被害は、一般的な建築室内環境では、湿度調整・換気・清掃などの適正な管理を怠れば、時間経過に伴い急激にその発生の危険性は増していく。例えば、結露が原因であれば、温度差がなくなるように、断熱補強や空調温度設定の変更など何らかの方法で、空間全体をほぼ等温にするように変えていく必要がある。また空気溜まりを作らないようにする、全体的に湿度を下げるように除湿器を増強するなど、気流の確保と湿度管理はたいそう有効である。一般環境で見られるカビは大気中に含まれた土壌粉塵などが発生源であり、清掃による除塵、空調ダクトからの吹き出し空気の清浄化などの対策が必要である。

<保存体制の見直し>

資料保存管理のためには、管理者による継続した監視、記録と設備が必要である。設備については常に稼働状況を監視し、適宜更新が必要である。また、管理者が保存に取り組みやすい状況を全体で作り出すとともに、研修などを通して常に情報を集め、多様な対処法を身につけることができるようバックアップしていくことが必要なのである。

職員の啓発活動の推進に加えて、利用者へのカビ被害が資料や人体に与える影響についての周知も重要な課題である。

5. カビ被害の早期発見と緊急対策

カビ被害は発生のための環境・栄養条件が整い次第、やや広い範囲で同時に発生するため、できる限り被害の小さいうちに発見して、除菌・消毒による緊急対応とともに保存環境の見直しを進め、被害の拡大を抑えることが重要である。

カビ被害の早期発見は、カビの生えやすい資料を集中的に監視する資料点検と、資料保存空間の各種計測などから空間の特性を把握してカビ被害の受けやすさを評価する方法がある。展示室や閲覧室でカビが生えていることに気づくのは管理者よりも閲覧者・利用者が早い場合が多く、見つけた場合の連絡先やカビ被害の影響についてあらかじめ周知させる努力が必要である。

微生物調査に主に採用されてきた手法は、空中菌に対しては落下法、付着菌に対しては滅菌綿棒による採取と培地への塗抹である。近年では採取機器も進み、サンプラーを使って一定容量の空気を採取する方法も採用されるようになった。大気中に漂う孢子等の量は人の活動に依存するため、空中菌のサンプリングは一定した条件のもとで行わない限り、その量についての比較ができないことに注意が必要である。毎日始業前にサンプリングする等、一定期間ごとに同じ条件のもとで試料採取して空間の清浄度を管理するのが最良である。空間内にカビ被害が

発生した場合、相対湿度 90%以上の空間であれば孢子の飛散は起こりにくい、通常環境では孢子等が空中に飛散するため、空中菌量が増大し、カビ被害の早期発見につながる情報となる。いずれの方法でも培地の選択次第で、生育しやすい真菌類・細菌類が異なる。スライドグラス中に封入されたカビ菌糸を試験場所に設置してその成長速度からカビ被害可能性を評価する方法も、市場に提供されている。

資料へのサンプリングによる資料への負担は最小限にして最大の情報を得るためには、好湿性・好乾性・好ちょう性などカビの生育条件をよく理解し、調査対象資料の置かれた空間の環境条件を把握し、その条件下での資料への被害微生物を想定して調査手法を組み立てていく必要があり、保存科学や微生物制御の専門家と協力して調査計画を立てることが重要である。

微生物被害への対処方法の決定には、資料への影響、人体への影響、地球環境への影響と、経済性（時間/場所）を考慮する。まず、化学薬剤に頼らない処置の導入が可能かを検討し、その後、化学薬剤による処置を検討する。学芸員や司書など、資料保存を現場で担当する職員は、化学物質への知識が乏しい場合が多い。職員は当然ながら労働者として労働基準法に守られており、化学物質による健康障害の防止について雇用側は何らかの対応を義務付けられているものの、本来の学芸業務、司書業務には化学物質取り扱いが含まれていないため、研修等の機会がなく、保護具について十分に学習できるよう機会を作るべきである。

緊急対策としては、資料のすみやかな隔離が必要である。微生物は微小なため空気の流れに沿って移動するため空気の動きを遮断するように、資料をその他の資料のある空間とは別の空間に仕切るよう、何らかの方策を立てる。厚手のポリエチレン袋を二～三枚重ねてかぶせることで孢子の拡散を防ぐことができるが、内部の資料が蒸れて被害が著しく進むこともあるので注意し、変化を監視できるような方法で別置する。

大規模に被害が広がった場合には、ガス燻蒸以外にカビ被害を抑制することは難しく、ガス燻蒸可能かどうか判断する。大概の場合、カビの生えた原因が施設への漏水にあり、ガスが外部へ漏れる恐れが大きく、収納空間全体のガス燻蒸は難しいことが多い。空間内でテント燻蒸をおこなう事例はあるが、十分に排気しきれないので、資料への薬剤残留分は多い。また、図書資料は利用者が直接手にとって利用するもので、大学等では若年者の利用が多いこともあり、残留ガスの人体影響の点から、ガス燻蒸の採用を躊躇する場合も多い。燻蒸後に十分に排気・交換すれば残留薬剤量は微量である。移動燻蒸車の利用も可能である。

ガス燻蒸は、被害がないのに処置するのは無駄で、何ら意味はない。ガス燻蒸した時点ではすべての微生物は死に絶えているが、換気で空気を入れ替えた瞬間、外気と一緒に微生物がまた室内に誘導されるからである。また、すべての細胞に対しても同等に有効で、そのため強い人体毒性を持つ。滅菌には必要な処置であるが、残留ガスの人体毒性と、微量の残留ガスによる資料の劣化促進が問題である。また燻蒸後に資料表面のクリーニングを行わない限り、繁殖していた微生物の死骸が資料表面に保湿層を作り、新たな栄養ともなって次の被害を招きやすい点も問題である。

化学物質による健康障害の防止の原則は、

- (i) 使用の中止、有害性の少ない物質への転換
- (ii) 工程、作業方法の改良による有害物質の発散の防止
- (iii) 設備の密閉化、有害工程の隔離
- (iv) 局所排気による汚染物質の拡散防止
- (v) 全体換気による汚染物質の希釈排出
- (vi) 作業環境測定による管理状態のチェック

(vii) 保護具の使用による人体侵入の防止

(viii) 特殊健康診断による適正配置の確保

(ix) 定期健康診断による異常の早期発見と治療

(x) 不注意、不適当な作業方法、姿勢等による異常曝露の防止

であり、番号の小さな対策ほど有効性が高い。何ら情報を与えられていない、研修機会のない労働者の労働環境を守るためには、(i) を選択せざるを得ない場合が多い。

[実践編]

1. カビの発生しない環境づくり

博物館や図書館等では、近年、予防保存(Preventive Conservation)の認識が高まっており、問題が発生してから対処するのではなく、被害を生じさせないために日常的に何をしたらいいのかという点に意識が向いてきている。その端的な例が生物被害対策における、総合的有害生物管理(IPM: Integrated Pest Management)¹の考え方[木川ほか 2003]である。

カビの発生しない環境づくりにおいても、予防保存が基礎となる。そして、そのための活動は単に保存担当の職員だけでなく、館の職員全体が自分のこととして認識することが生物被害を未然に防ぐため、そして、たとえ被害が起きても早期発見で被害を最小限に抑えるためには重要である。被害が拡大してからでは、人手も時間も余計にかかることになり、最終的には経費が高くつくことになる。

1-1 定期的清掃

IPM は、問題を発生させる要因となるものを避ける、取り除くことから始まる。カビの発生しない環境づくりでは、ホコリや汚れをためないことがこれにあたる。日本では、建物内に入るときに靴を脱ぐ習慣があるため、部屋のなかにホコリや汚れを持ち込むことは一般に少ない。しかし、博物館や図書館等には靴のまま入館しているのが現状である。少なくとも収蔵庫や書庫などに立ち入るときは、上履きやスリッパに履き替える、靴カバーをつける、入口に粘着剤付き除塵マットを敷くなどの対策をとると、ホコリや汚れの持ち込みを大幅に減らすことができる。

また定期的に清掃を行うことも重要である。展示室や閲覧室など、ひとの出入りがある空間は、原則として毎日清掃する。資料に直接接触することがなければ清掃業者に委託する選択もあろうが、収蔵庫や書庫においては、その中に収蔵しているものを一番理解している内部職員が清掃を行うことが望ましい。毎日の実践が難しい場合は、週1回、月1回というふうに周期を決めて、忘れずに実行するようにしたい。展示ケース、収蔵棚、書架などの下は、人目につきにくいだけでなく、清掃を業者に委託している場合には清掃対象箇所に入っていないことがあるので注意する。定期清掃の最後に、周辺にある資料への目視点検を習慣づけると、カビの早期発見に役立つ。

基本的には、高いところから低いところに向かって清掃を進めていく。棚の天井面、天井灯のシェード、ダクト上部など上から順に、清掃用ワイパーなどを用いてホコリを取り除いていく。掃除機を使用する際には、HEPA フィルター²付のものにする。掃除機を使用するときには、ノズルを操作して掃除を行うひとと、掃除機本体を持つひとの2人1組で行うと、掃除機本体やコードを資料や棚にぶついたり、吹き出しの排気を資料に直接あてたりという事故を未然に防ぐことができる。また高所に掃除機をかける場合には、ひとりが掃除機を持ち上げて支えてあげることで、安全に作業ができる。

定期的に清掃を行っていれば、市販の住宅用洗剤などを用いなくても十分に清掃できる。市販品は成分が明記されていても、その濃度や割合までは詳しく表示されていないので、資

¹ 総合的有害生物管理 (IPM : Integrated Pest Management) : 農業の分野から始まり、近年文化財の分野にも広まった生物被害コントロールの方法。化学薬剤だけに頼らず、複数の防除法を合理的に組み合わせることで生物被害をできるだけ回避し、制御する。

² HEPA (High Efficiency Particle Air Filter) フィルター : 粒径 0.3 μm の粒子に対して、99.97% 以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が 245 Pa 以下の性能をもつフィルター (JIS Z8122 より)

料のある空間での使用は勧められない。水拭きの必要があるときは、しっかりと絞った雑巾を用い、すぐに乾拭きすることを徹底する。

掃除機や掃除用具は、資料管理の重要度、すなわち空間の汚染度に応じて、使い分けることが望ましい。なお、作業にあたる人は、作業着、ホコリよけの帽子やスカーフ、マスクを着用する。

1-2 清浄な空気環境

定期的に清掃を行うことで、室内環境を清浄に保つことが前提となるのはいうまでもないが、外部から汚染物質が入るのを防ぐには、空調ダクト内に HEPA フィルターを設置することも有効である。

室内を清浄に保つには、室外からの塵埃の侵入を避ける必要があり、隣接空間との境の扉については確実に空気が動かない閉まる構造とする。空調が重要な資料を収納する空間は、周囲に対して正圧となるよう送風機等を調整する。

室内の汚染物質の除去には、空気清浄機が有効に働く。空気清浄機は、本体内のファンで空気を吸い込み、フィルターを通して空気中の汚染物質を除去し、きれいになった空気を部屋に戻す役割をする。多くの製品は、まずプレフィルタで比較的大きなゴミやホコリを取り除いている。また、1990 年代中頃から HEPA フィルターの使用も一般的になってきた。電気集塵式とよばれる空気清浄機は、放電を利用し、微小なホコリを帯電させたうえで、それを反対の電荷の電極で集塵している。日常の手入れとしては、空気清浄機の吸い込み口周辺はホコリがたまりやすいので掃除機でこまめに吸い取る、フィルターが目詰まりしないように定期的に清掃したり交換したりすることである。

1-3 温度・湿度のモニタリング

カビの発生しない環境づくりは、対象となる場所の環境を把握し、その特徴を捉えることから始まる。南北に細長い日本列島では、温度や相対湿度は場所によって異なるうえ、四季を通じても変化する。そのため年間を通じた、温度と相対湿度の測定と記録が大切になる。

また単に温度・湿度のモニタリングにとどまるのではなく、定期的にモニタリング結果を、学芸員や司書など資料の管理にあたる人だけでなく、施設を管理する人、空調がある場合にはそれを監視し調整する人、これら異なる部門の人々と共有し、常時、速やかに連絡を取り合う体制を整えておく。そうすれば、たとえ空調機の故障などの緊急事態が発生したとしても、その部屋の立ち入りを全面禁止するなどの処置がすぐにとれるので、最悪の結果は避けられる。

<自記温湿度計>

温度と相対湿度の変化を、継続的に同一紙面上に記録する器械が、自記温湿度計である。記録紙の上半分は相対湿度、下半分は温度を記録するようになっている。記録紙 1 枚には、ドラムの回転速度を変えることで 1 日、7 日、または 31 日分(機種によっては 3 か月、半年、1 年分にも対応)の温度と相対湿度を記録することができるが、無人地帯の長期観測ではない限り、7 日など短期間周期で使用するのがのぞましい。というのも記録紙交換の際に温度・湿度をチェックすることができ、異常の早期発見につながるからである。記録紙を交換するときには、紙面の底辺がまっすぐ回転ドラムの下辺にあたるように設置し、全体にたるみがないように固定する。

自記温湿度計の設置場所は、空気の流れや直射日光が当たる場所はさける。位置としては、資料の周辺環境を測定するのが目的なので、対象物の高さに近いところを選ぶようにするが、あまり低い場所だとホコリがつきやすい。入室したときに目につきやすい場所に設置すると、記録紙交換時以外でも目視点検の機会が増える。

温度の受感部は、熱膨張率がちがう2種類の金属の板をはりあわせたバイメタルでできている。温度が変化すると、熱膨張率の小さな金属のほうに曲がる性質を利用したものである。湿度の受感部には、毛髪が使用されている。大気中の湿度が変化するに従って、毛髪が伸縮する性質を利用している。毛髪部分にホコリがつくと、吸湿され、正確な測定にならないので、清潔に保つようにする。

温度に較べるととくに湿度に測定誤差が出やすいので、定期的に較正を行うことが、正確な測定につながる。自記温湿度計は、記録用のペンを固定してから動かすようにする。また移動後すぐに較正するのではなく、その環境にしばらく慣らしてから行う。較正は、アスマン式通風乾湿球湿度計³を用いると容易に行える。手巻きか乾電池で一定速度の風を湿球に送り、乾球と湿球の温度差を読み取り、付属の表から相対湿度を導き出すようになっている。湿球は、清潔なガーゼを純水または脱イオン水で濡らして包む。測定にあたっては、手の温度や息で測定を狂わせないように、装置の向きに注意するとともに、金属部分には手を触れないようにする。

<温度・湿度データロガー⁴>

温度および湿度を測って記憶するデータロガーの利用は、記憶したデータを直接コンピュータ上でグラフ化できる解析ソフトが充実してきたこともあり、ますます普及している。データロガーは自記温湿度計に較べると小さく、持ち運びも容易であるため、ひとつの部屋内の複数箇所測定、保存箱内などの小さな空間内の測定にも対応できる。

このように便利なデータロガーであるが、その記録は前もって定めた、ある一定間隔ごとに測定した温湿度の「点」の記録であり、全体を通した「線」の記録ではないことに注意したい。ある測定時間と次の測定時間との間で突発的な異変があったとしても、それは記録に残らない。この点に留意した上で、用途に応じて自記温湿度計とデータロガーのいずれを用いるのか、あるいは、併用するのかを決める。

データロガーを使用するときには、年に1回は一箇所に集めて、それぞれの測定値とアスマン式通風乾湿球湿度計での測定を比較してみるとよい。測定値に開きがある場合には、 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 、 -2% というふうに各データロガーにシール等を貼って記入しておく。わずかの差ならば、温度や湿度の推移を相対的にみるには差し支えはないが、あまり差があるような場合にはメーカーに較正を依頼する。

1-4 温度・湿度データの記録と解析

<年間の推移>

³ アスマン式通風乾湿球湿度計：温度と湿度測定の基準となる計器。2本の温度計のうち1本はそのまま（乾球）、もう1本は感応部をガーゼで包んでしめらせた状態（湿球）とし、一定の速度で風をあてて測定する。温度は乾球から読み取る。湿度は、乾球と湿球の温度との差から求める。

⁴ データロガー：各種データを計測・保存する計器。ここでは温度と湿度のデータロガーを指す。

一般にカビの発生しやすい資料の場合、温度 25℃ のとき、相対湿度が 70% だとカビは数か月で繁殖し、75% を越すとその速度は急激に早まり、90% ではわずか 2 日で目に見える程度まで繁殖するといわれている [Michalski2000]。

図 1 a は、大阪の 2006 年 4 月から 2007 年 3 月にかけての温度と相対湿度（気象庁データ）の推移である。年間の温度は、春から夏にかけてゆるやかに上昇した後、秋から冬にかけてゆるやかに下がっている。一方、相対湿度は、年間を通じてほぼ 60% 以上と高い。なかでも 6 月後半から 7 月にかけては、温度 25℃ 以上、相対湿度 70% を超える日々が多く、カビが発生しやすい環境になっている。

一方、図 1 b は、部屋のなかの温度と相対湿度の推移である（部屋には空調設備はないが、周辺の部屋からの空調の影響を受けている可能性はある）。建物の中では、外気の温湿度の変動が大幅に緩和され、夏季でも数値的にはカビが発生しにくい環境になっている。しかし、これはあくまでも空気の循環の良い場所のことであり、空気が滞留している場所では、局部的に固有の温湿度環境（マイクロクライメート）が形成される。一般に資料の密集している場所は、空調の有無にかかわらず、空気が滞留し湿気がこもりやすく、カビが発生しやすい。

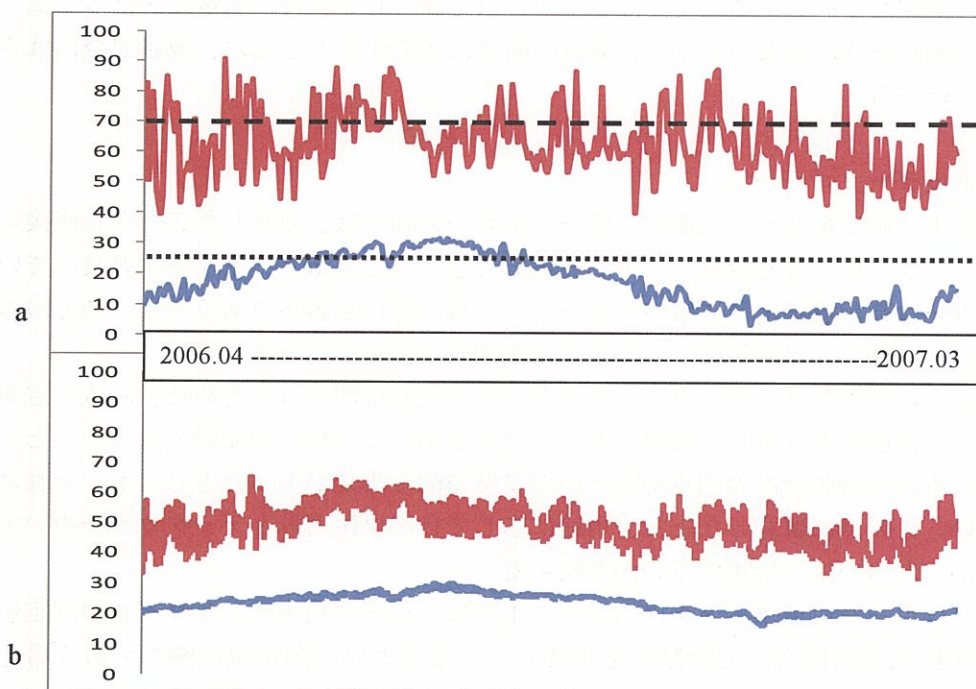


図 1 年間（2006 年 4 月～2007 年 3 月）の温度・湿度の推移
[a 大阪市（気象庁データより）、b 部屋の内部]

<マイクロクライメート>

建物の空調は、通常、部屋に何も無い状態で設計されている。しかし実際は、部屋の中には棚や書架が配架され、さらにその中には資料が収納されるので、空調の効果が棚の内部まで達しているとは必ずしも限らない。図 2 は、部屋の中の開架式棚の中央部分と、通路部分での相対湿度を比較したものである。この部屋では棚の位置に関係なく、棚の中央は通路に較べると相対湿度が 5% 程度高くなっており、開架式にもかかわらず、棚の内部で空気が滞留している傾向が読み取れる。

また、同じ部屋でも測定する地点の高さにより、温度や相対湿度が異なる場合がある。図

3は図2と同じ部屋での測定結果であり、積層棚の下側にあたる1層と、上側の2層、それぞれの相対湿度を比較したものである。空調の吹出口と吸込口はすべて天井に集中しているため、空気の還流を考慮し、積層棚の床材は丸孔を開けた構造になっている。温度は1層、2層とも20℃と比較的低かったが、相対湿度はこのように1層では常時70%前後と高湿度の状態が続いた時期があった。そのため、2層では異常はなかったのだが、1層の一部でカビの発生がみとめられた事例である。その後、除湿器の数を徐々に増やしなが経過観察を続け、湿度の高い季節には継続的な使用を心がけるとともに、天井に集中していた空調の吹出口の一部を1層まで延ばす工事を行い空気の循環を改良した結果、温度、相対湿度ともに落ち着いた状態になっている。

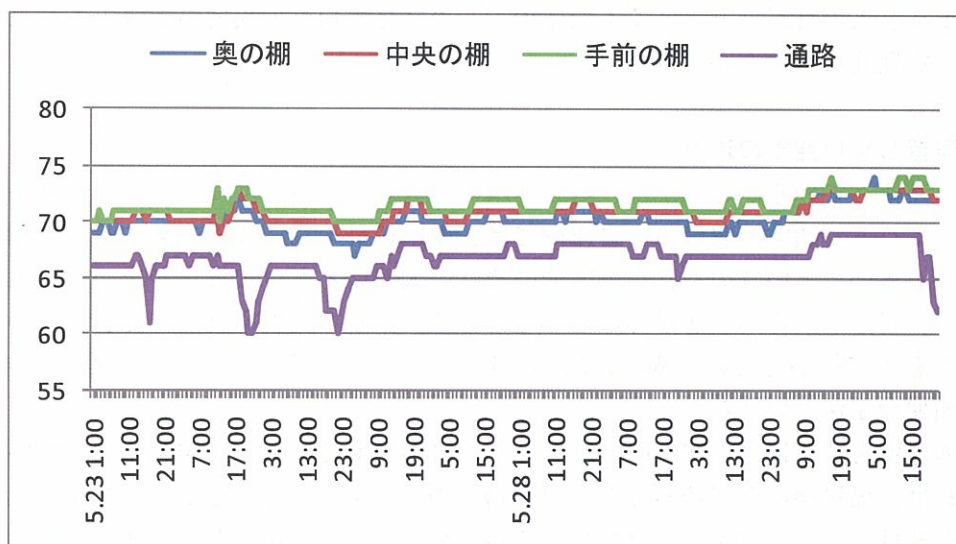


図2 開架式棚内部と通路での相対湿度の違い

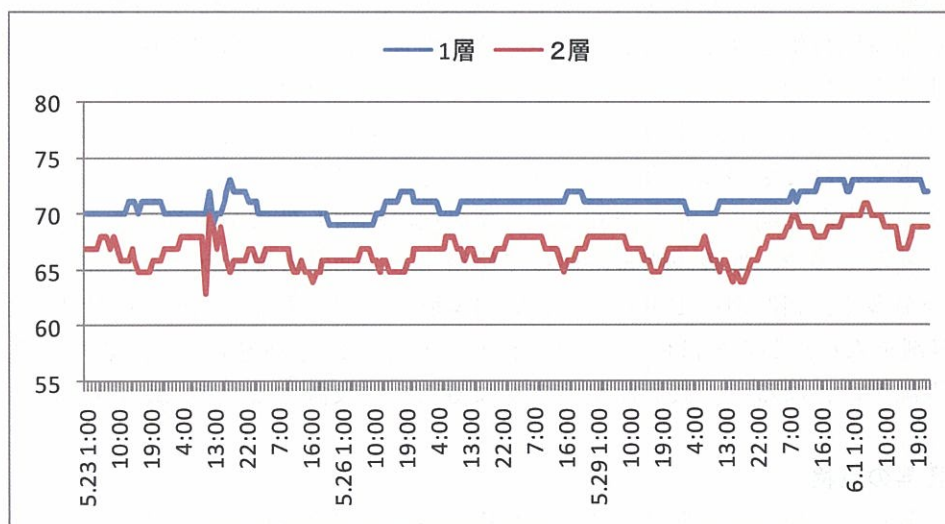


図3 測定地点の高さによる相対湿度の違い

これらの事例でわかるように、温湿度のモニタリングにあたっては、測定地点によって得られるデータが大幅に違ってくる。空調設備のある部屋にはその制御のために温湿度センサ

一が設置されているが、センサーの設置場所での計測は必ずしもその部屋の現状をあらわしているとは限らず、温湿度の制御が適切に行われていないケースも散見する。一般に、湿気は下にこもりやすいことを念頭に、データロガーを複数箇所の場所及び異なる高さに設置し、その部屋における温湿度の分布をつかむことも必要であろう。その結果、床からどの高さまで湿気がこもりやすい要注意場所なのかなど、すぐに活用できる情報が自ずとみえてくる。

なお、資料の保管について言及すれば、一般に周辺環境が不安定なところは密閉型の棚や箱を利用すると、周辺環境の急激な温湿度変化をある程度緩和することができる。逆に、周辺の温湿度環境が落ち着いている場合には、開架式の棚、通気性のある紙製などの収納箱を利用すると、資料を安定した環境で保存できる。収納箱の利用は、資料を汚染物質やホコリから守るとともに、資料に直接触る回数を減らす効果があり、推奨できる。ただし、箱に入れてしまうと人の目がとどきにくくなるので、カビ発生などの異常が起きても発見されにくいため、定期的な点検を心がけたい。

1-5 滞留しない空気の流れ

空気が滞留しているかどうかは、同じ部屋の複数箇所の温湿度モニタリング結果を比較すると見えてくる。通常の収蔵庫や書庫内では、微風速計を用いても空気の流れを測るのは困難な場合が多い。というのも、微風速計のそばに人がいるだけで温度が上がり、風が発生してしまい、正確な測定ができなくなるからである。東京文化財研究所では、色のついたビニールひもを手で細かく裂いて棚の縁に配置し、その動きを撮影することを推奨しているが、安価で簡便な手法といえる。

空気の滞留を防ぐには、空気の流れをつくる必要がある。カビが発生していない清浄な環境であれば、扇風機などでゆるやかに風を送るのも効果がある。しかしカビが発生している場所であれば、単に送風するだけではかえってカビの胞子を散らしてしまうことになる。カビの発生源を見つけ出し、そのものを隔離するとともに、周辺の棚などをアルコール消毒した後、カビの胞子を取り除ける HEPA フィルター付の空気清浄機を活用して空気を動かす。

空気が滞留している場所は多くの場合、湿度が高くなっている。効率的に除湿するには、除湿機を長時間稼働させる必要があるが、その場合は、一定の水位に達すると自動的に機械が停止するようになっているか、あるいは、ホースなどを介して既存の排水口につなげられるかなど、回収した水の排水方法を確認しておく。機器がない場合には、単によく乾かした新聞紙を敷くだけでも湿気を吸い取る効果はある程度なら得られる。

展示ケース内など閉じられた空間では、調湿剤の利用も効果がある。適正な使用量は製品によって異なるので、取扱説明書に従って使用する。通常の展示ケースは完全な密閉空間でない場合が多く、調湿剤を使用しても、周辺環境と大幅に異なる湿度を維持することは難しい。調湿剤を入れたから後は何もしないというのではなく、経過観察を怠らないようにする。なお、調湿剤は、なるべく表面面積が広くなるように設置すると効果が上がる。

1-6 資料の点検

カビに限らず、異常の早期発見につながるのが、日常の資料点検である。博物館等では通常、開館前に展示場の巡回点検を行っているが、このときカビや虫害にあいやすい資料の目視点検を平行して行うのも一案である。ただし、資料の内側や裏側など目視点検だけではすまされない箇所は、週1回、月1回など、定期的に時間をかけた点検を行うこととし、むやみに資料に手を触れる回数を増やさないようにする。

収蔵資料の量によっては、悉皆調査による全点定期点検が不可能な場合もある。そのようなときは、少なくとも貸出や閲覧など活用の前後には必ず点検するようにしたい。そして、漆器収蔵庫のように湿度を高めに設定している部屋だけでも、定期的に点検する体制を整えておくことである。なお、貸出にあたって、先方の収蔵環境に関する情報を、施設や設備に関するファシリティレポートとともに提出してもらうことは欧米の規模の大きな施設では一般化しており、日本でも実施している機関がある。貸出す側と、借用する側の双方が、資料にとって良い環境をどのようにしたらつくれるのかを考える契機となるので、広まってほしい慣習である。

日本では、古来、「曝涼」という習慣があった。温湿度の安定している時期に、資料の点検を行うのであるが、これは被害の早期発見だけでなく、資料周辺の空気を移動させることになるので、空気の滞留しない環境づくりにも一役買っていた。閉切りにしている収蔵庫や書庫では、少なくとも年1回、温湿度の安定している時期に、目通し、風通しの機会を設けることを心がける。

近年、虫トラップを利用した生物生息調査を実施している施設は多い。粘着トラップやフェロモントラップを一定期間設置し、そこに捕獲された虫の種類と数を調べるのだが、調査結果からチャタテムシ目やシミ目の捕獲が多いときは、その周辺にある資料や空間の点検を徹底することを習慣づけると、カビの早期発見につながる。というのも、これらの虫目は高湿度を好むため、カビ発生の指針となるのである。

点検を博物館や図書館等の職員だけの力に頼るのでは、やはり限界が出てこよう。資料の身近にいる案内係や警備員、さらには閲覧者や利用者が異常を発見したときに、その情報をくみ取る体制を整えることも重要である。閲覧や展示は、ある意味で資料点検の好機と捉え、資料に接するすべての人々の力をお借りするという謙虚な姿勢で臨みたい。

2. カビの発見

2-1 目視観察

資料に、直径3～5mm程度の白っぽい（写真1a）もしくは色のついた（写真1b）斑点があらわれると、カビの発生を疑うことになる。カビは、集中して表面を被うというよりも、最初はポツポツと間隔をあけて発生する。その形態は、目視だけでも、あまり嵩だかくないもの、フワツとしたふくらみのあるもの、という違いが見て取れる。カビが活発に繁殖しているときには湿っぽさとともに特有の臭いがあるが、斑点状に発生している程度だと、あまり臭いを感じない。



写真 1a 影絵人形の表面にみられた白い斑点（直径約 7mm）

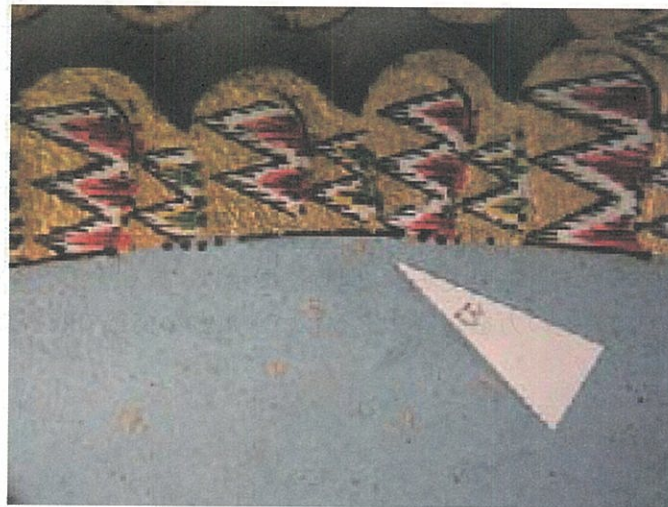


写真 1b 影絵人形の表面にみられたベージュ色の斑点（直径約 3mm）

カビの発見にはペンライトのような点光源を使い、斜めから観察すると陰影が生まれ、透明な菌糸体であっても見やすくなる。LED 光源の白色または青白色は、透明な菌糸体でもやや吸収されていくらか蛍光発色が生じるため発見には有利である。

2-2 倍率を上げた観察

斑点状に見えたカビを、実体顕微鏡などで拡大してみると、白い糸状の菌糸が放射状に綿のような塊をつくっている。ときには、菌糸の先に色のついた胞子がみられる。目視で白っぽく見えるカビは、ほとんどが菌糸であるか、あるいは胞子の色がうすい（写真 2a）。色のついたカビは、胞子の色によるところが大きい。とくに胞子が密集しているところは、全体が盛り上がり、フワッとした形状に見える（写真 2b,c）。

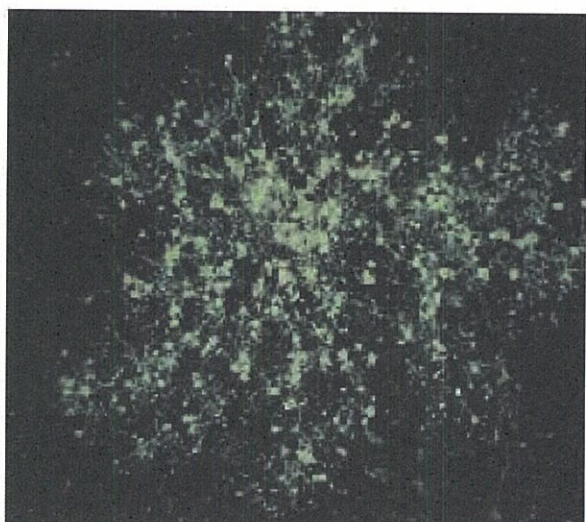


写真 2a

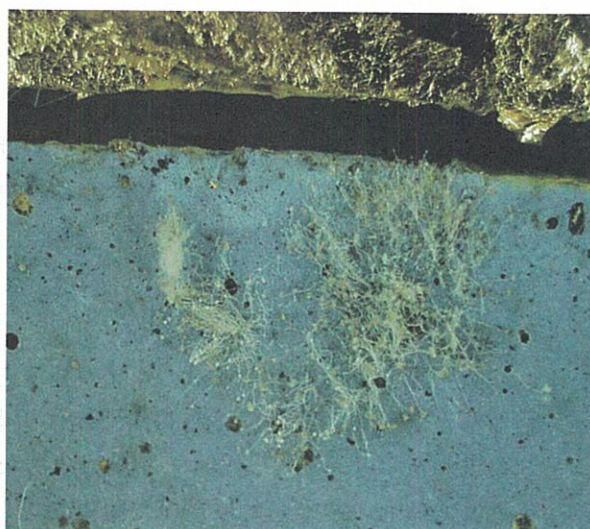


写真 2b

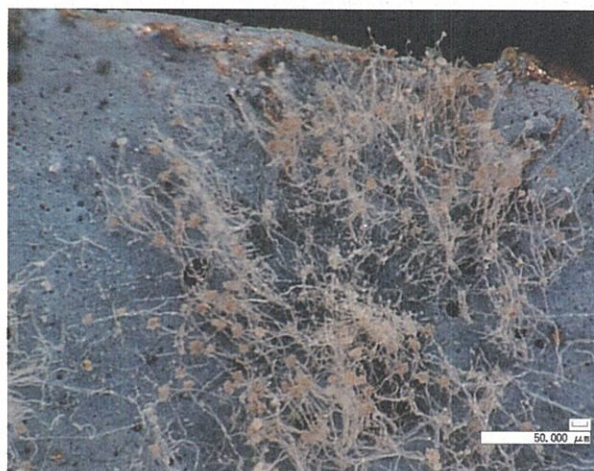


写真 2c

2-3 カビと間違いやすい例

カビと間違いやすい事例として、無機塩類の結晶成長であった場合と、樹脂強化処置資料における樹脂成分の結晶化、ダニ等微小動物であった事例がある。

白っぽい物質が付着しているとカビとの判別が難しいことがあるが、倍率を上げて観察すれば、菌糸の有無によりカビがどうかの判定ができる。ときには細い針状の結晶が白いカビのように見える場合がある。このような結晶の大半は水溶性であるため、付着物の一部を採取し、プレパラート上で純水1滴の横にふれさせるようにおいてみる。水溶性の結晶であれば、溶解するのが観察できる。

クモの糸、イガの繭などが付着しているときにも、カビと混同されやすい。カビがどうか疑われるときは、まず倍率を上げて観察してみることである。

ガラスや陶器など、カビの栄養源とならないような材質であっても、手の汚れやホコリがついていれば、そこからカビが発生することがある。カビであるかどうかを、資料の材質から判断することはできない。

3. カビ発見後の対応

3-1 カビ発生資料の隔離

カビ発生が確認された資料は、被害を広げないために、早急に未発生の資料から隔離する必要がある。隔離とは、カビ発生資料のある空間と健全な資料が存在する空間との空気交換が行われない状態にすることであるが、資料の状況や量、館内の空間的余裕や空間状況によって、対応できる方法は異なってくる。しかし、いずれにせよまず着手しなければならないことは、迅速に空間分離を行うことである。

空間分離のための道具には、カビの胞子を通さない遮断材を用いる。蓋付きのプラスチック容器などが望ましいが、これらが即座に用意できない場合は、厚手(0.1mm以上)もしくは2～3枚重ねたポリエチレン袋や、厚手で頑丈なダンボール箱(防水性のあるものが望ましい)など、手近にあるものを応急的に用いて隔離しても構わない。理想的な材を探して時間を費やすよりも、まずは遮断することが先決である。カビ発生資料が動かせない場合や量が多い場合は、未発生資料を別空間に移すことも一方法である。

なお、隔離の際にカビ発生資料を動かすことにより、胞子を飛散させることは避けなければならない。飛散の危険が考えられる場合には、カビ発生資料のまわりから健全な資料を遠ざけた上で、カビ発生資料の上から容器を被せて密閉させる方がよい場合もある。また、資料に触れる場合には、手袋などを用いて直接カビに触れることのないよう注意すべきである。

隔離した後、処置を行うまでの間に配慮すべきことは、資料のカビを不活性化させることと、カビ発生資料の保全のために適切な環境を保持することである。

不活性化とは、カビ発生資料を置く空間の湿度を、カビ胞子が発芽する湿度以下に下げ、これ以上カビが広がらないようにすることを言う。ただし、対象資料は基本的に保存環境に配慮しなければならない文化財であるため、不活性化のために急激に温度・湿度を下げることは適切ではない。また、「別空間」ならどこでもよいわけではなく、少なくとも施錠可能な部屋など、資料の安全性を確保できる空間でなければならない。

また、仮置き期間であっても当然、当該資料に好ましい温湿度を保つ必要がある。しかしながら、容器などの小空間に半ば密閉した状態で湿気を含んだ資料を入れておくと、資料から放出された湿気で空間の湿度が上がる危険性が高い。容器内に調湿剤や和紙など湿気を吸着する性質のものをともに入れておくことにより湿度を制御するとともに、定期的に空間内の温湿度を点検して、異常を察知できる体制を整える必要がある。これら封入の調湿剤や和紙などは、吸湿して機能低下が認められれば、速やかに新しいものに交換すべきである。段ボール箱や紙箱を用いた場合には、箱自身にカビが繁殖する危険性も考えて、観察を行わなければならない。データロガーや示湿紙(簡易な紙製の温湿度計)などを一緒に入れておくと、容器内の湿度の異常が把握しやすくなる。アクリルなどの透明な容器は、ケース外からの資料観察を容易にする点で優れており、点検の際に蓋を開けて容器内の空気が外に出る危険を減らすこともできて便利である。

以上の対応は、あくまでも処置を施すまでの仮のものであり、この状態で長期間放置しておいてよいものではない。一刻も早く処置の方針と方法を決め、処置を施す必要がある。

3-2 カビ発生資料周辺の点検

資料にカビが発生したということは、その空間にカビの胞子が比較的多く存在すること、カビ発生に適合する条件が整っていることを意味する。胞子の観点からすれば、同じ空間にある資料は等しくカビが発生する可能性を持っているため、理想的には、同一空間にある資料は全点点検すべきである。しかし、それが難しい場合には、少なくとも、予測をつけて危険性の高い資料を優先的に点検する。まず、後述する「カビの生える環境となっている場所」にある資料。そして、カビ発生資料と同じ材質の資料や、材質的に湿気を帯びやすい資料などである。そのためには、日頃より各収蔵品の被害分析および予測（各資料がどのような素材で形成されており、その性質上、どのような虫・菌害の危害を被る可能性を持っているか）を行っておくと、それに応じた迅速かつ有効な点検が可能となる。ただし、カビの栄養源にならない素材であっても、付着した汚れやホコリからカビが発生する可能性もあるので、あくまで優先順位上でのことである。

点検方法は、まずは資料の肉眼および顕微鏡などを用いた目視観察である（〔基礎編〕3-2、〔実践編〕2-1・2）。資料の発するカビ臭もカビ発生予測の参考にはなるが、厳密にはこれだけで判断の材料とすることは難しい。

目視以外の方法としては、カビ発見の直接の手がかりにはならないが、カビ発生空間の各地点における湿度や空中浮遊カビ数の細かいチェックを行い、危険箇所を特定する作業は、今後の発生予防の点からも有効である。部屋の四隅や棚下・棚裏、外壁に面する箇所や空気の滞留しやすい箇所など、管理湿度を逸脱しカビが生えやすい環境になっている地点を割り出して、その付近の資料を重点的にチェックすると共に、環境改善を図ることも重要である。これらの点検については、湿度の細かい測定や、地点を分けての空中浮遊カビ測定（〔基礎編〕3-1、〔実践編〕1-3・4・5）などが有効である。

3-3 カビ被害状況の把握

カビが生えた場合、まず第一にその緊急度を判断する。被害状況範囲（被害程度と面積）と程度（胞子の有無、着色の範囲など）を記録し、被害状況写真と資料の収納状況、施設平面図などを準備する。同時に、環境条件の把握として温度湿度設定値の確認と計測、滅菌綿棒による付着菌の採取を行い、保存科学の専門家など、カビの処置や環境改善のための相談先に提供する基礎資料・情報を準備する。

資料や作品への微生物被害を目視で判断するのは難しい。コロニーがある程度育っている場合にはルーペでの観察も容易であるが、10～20倍の拡大鏡があるとたいそう有効である。

3-4 カビ発生原因の解明

資料や作品に対してその後に適切な保存対策を取る上で、出現した微生物の特性を調査し、特質を明らかにすることは重要である。微生物はその限定された空間の環境条件に適したものが著しく繁殖してくるため、その微生物の特質を明らかにし、問題となる環境条件を排除するように対策を取ることが、繰り返しの被害を避けるための第一歩となる。しかし微生物の種類は多様であり、長期保管においては、必ずその環境に適した微生物が生育してくることは避けられないため、最終的にはあらゆる微生物が発生しにくい環境に空間を制御するのが最善である。すなわち相対湿度は60%を超えないように、また空間や資料周りを清浄に保つことが重要である。カビ発生原因は、これらの条件から外れたために起こると考えて良く、水・栄養の供給源を見つけることが発生原因解明の近道である。

＜カビの調査＞

文化財に被害を及ぼしている原因カビを知るためには、直接、付着カビを採取する必要がある。また滅菌綿棒は乾燥に強いカビを主に採取している点に注意が必要で、乾燥に弱いカビを採取したい場合には湿らせて用いる必要がある場合もある。また菌糸のみを採取して、うまく培養できない事例も多い。逆に、同時に存在する可能性のある塵埃などを一緒に採取すると、例えばハウスダスト中には1 gあたり $10^5 \sim 10^6$ 個のカビがあるといわれており、培養するといろんなカビが生育して、被害を及ぼしているカビを判断できない場合もある。

＜水の供給源の発見＞

周囲に対して低地にある、地下水位が高い、斜面を切り出した整形地にあるなど、もともと施設の立地条件が悪いと、湿気だまりが施設内にできやすい。施設外周を周辺環境から切り離す必要があるため、防湿能力を増強するよう見直す。

周囲の排水が悪く雨水だまりが建物近傍にあると、施設内に湿気だまりができることが多い。まずは、雨水やエアコンの外調機からの排水等を樋で適切に処理するなど、水回り処理を改善する。建物外周の地表面を締めて雨水が地表面を流れて溜まらないようにする、また建物が周囲に対して高い位置になり自然に排水がスムーズになるように改善するなど、周囲の水回り処理に注意する。

外壁を貫通するダクト周囲のパッキングの不備で、施設内で漏水や湿気だまりが生じることがある。扉などについては、可動部に影響が出ない範囲で開口部分を狭めるとともに、清掃頻度を見直すなど人的管理を見直す。開口部分を狭めるための道具として、櫛・ブラシ状のものや、発泡素材で作られたものなどが市販されている。常時可動しなくても良い場所については、シールテープなどで目止めすることも検討すると良い。

外壁等の亀裂からの漏水など、予見しにくく監視しづらい事例もまれに生じる。外周周りに新たに設備（階段など）をボルト等で取り付けるためにあいた穴やひびわれ、屋上の樋の落葉による目詰まりで屋上がプールになった事例、やや大きな揺れの地震の後などに生じた窓周り金物の不整などから漏水が生じ、発見が遅れてカビ被害が発現することも多い。亀裂の発見には床壁等の汚れシミなどを目視で調査する他、温度伝達の差から生じる温度分布を可視化する熱赤外線画像撮影なども応用できる。

＜環境制御の不備の発見＞

断熱の不整の発見は重要で、例えば窓など、外部からの影響を受けやすい部分は常に湿気がたまりやすく、カビ等被害を受けやすい。隣接する空間があるか外壁かによって外部からの影響は異なり、外壁となっている壁の内側に近接して棚がある、また資料を立てかけたなどの理由で、その場所がカビ被害に見舞われる事例も散見される。隣接する空間の環境制御条件が著しく異なる場合には、空間内に湿度勾配ができることが多い。季節ごとに空間内に温度分布ができていないか、データロガーによる測定や熱赤外線画像撮影などの方法でチェックすると良い。

空調のある施設では環境条件を平均化させやすく、人の入室・作業などの影響をある程度の時間内で解消できるよう設計されている。室内の送風を妨げるような資料の配置などがないかどうか管理する。

空調のない施設では環境条件に分布が生じやすく、おのずとカビ被害が発生しやすい箇所が固定されてくる。人の影響も強く現れる傾向があり、入室人数・時間・作業内容などにも十分に注意して、すみやかに影響が緩和されるように管理方法を常に見直す必要がある。

新鮮外気の導入は、人の入室のある空間では必須であるが、外気には多種多量のカビ等が含まれており、重要な資料の収納されている空間へ新鮮外気を導入する場合には必ず HEPA フィルターを介して供給する。外気を温度調節しないままに供給すると、内外の環境条件の差によっては高湿度となる場所が室内にできる。例えば冬季の外気温は室内より低く、冷気のあたる場所で結露が生じカビ被害を引き起こす。夏季の外気の温度と相対湿度は高く、一般に室内温度の方が低いため、ダクト等送風装置近傍に湿気だまりが生じたり、結露することも多い。新鮮外気は HEPA フィルターで処理すると共に、温度・湿度を調整して室内に供給する。温度湿度を調整できない換気のためのダクトは、内外の環境条件が著しく異なる冬季・夏季にはダンパーで閉めることができるように改善する。

<環境調査>

温度湿度記録は、各室 1 箇所は計測すべきである。中央など開放的な部分での計測（床からの高さ約 120cm）がその室の平均的な状態を示しており、代表値として記録・保管する。環境制御の不備を見つけるためには、室内の 2 箇所以上で計測する。データロガーを使用する場合には 5 分に 1 回以上の計測頻度で、変化を見つけれられるようできる限り連続して計測する必要がある。

計測を開始してから 1 年程度は、各室の代表値と隅で環境条件にどの程度の違いがあるかを見つけるために、各月に 1 週間程度、1 室内の多数箇所で環境計測を行うと良い。隅での計測では環境条件のむらが高さ方向に生じることが多いため、床からの高さ約 30cm と約 120cm など、2 箇所で計測できると良い。多数の計測が難しい場合には、代表値に加えて、その室内で相対湿度等の影響を受けやすい資料や作品で重要なものが収蔵されている場所の近傍で計測し、その相違について年推移をあらかじめ把握する。

温度分布の不整の発見には、熱赤外線画像撮影を利用すると面的な温度分布が容易に視認できるようになる。微風速の測定は難しく、空気だまりを計測で見つけるのは困難である。給気口と排気口の位置関係から空気の流れを読みとり、その経路上に著しく通風の妨げとなるような作品や資料、棚等を配置しないことが肝要であろう。

カビ被害の早期発見には空中浮遊カビ数の測定も有効であるが、人の作業の影響を受けるため、定期的に始業時に行うなど、計画的に計測監視する必要がある。

3—5 環境整備

施設外周の整備がもっとも重要で、まず始めに施設周囲を目視で点検し、樋・雨水受けの状態、建物近傍に水たまりはないかなど、水周りの始末状況を確認するとともに、ダクト周りの藻類などの汚れの著しい繁殖、扉など開口部まわりの汚れの状況などを確認しつつ、水回りの不備に係わる情報を収集し、すみやかに改善する。

施設内で高湿度となる場所を見つけた場合には、空間全体が高湿度である場合には除湿器を使用する。タンクが満杯になった状態で長時間放置すると、かえってその周囲が高湿度に見舞われるので適切に管理する。1 台の除湿器でカバーできる範囲は送風の及ぶ範囲に限られるため、空気の採り入れ口に向かって室内空気を動かせるように送風機と組み合わせると良い。

3-6 カビ発生資料の処理

カビの発生した資料はまず隔離して、被害の拡大防止を図る。コロニーだけではなく孢子が結実した状態では持ち運ぶことによって被害が拡大することが多く、その場で「すみやかに除菌する」のが最良である。一般的に資料は経年劣化を受けて表面形状が複雑である場合が多く、除菌だけでは十分な処置とはならず、環境を改善していかない限りカビ被害が繰り返されることになる。

表面が堅牢な資料の場合には除菌可能であり、その場合には以下のように処置を進める。

- 1) 汚染が拡大しないように作業区画を廃棄可能な素材で仕切る。
- 2) 記録写真をとる。
- 3) セロテープ等でそっと孢子を散らさないようにサンプリングし、のちに専門家と相談する試料とする。
- 4) 吸引できるように掃除機や空気清浄機などを近傍に静かに配置し、アルコールで取り除いて色落ちなどの問題が起きない資料に対しては滅菌綿布や綿棒にアルコールを浸して局部的に取り除く。色落ちの心配がある場合には、吸引できる機器の近傍で、やわらかな筆等ではらう。大気の除湿を進めるとカビの活性が落ちる場合が多くカビが払いやすくなるが、乾燥した孢子が飛散しやすい状態にもなるので、除湿器等で周辺を積極的に除湿する場合には汚染区域の区画化を進め同時に大気清浄化を計画する必要がある。
- 5) 顕著な被害状況ではなく除菌（物理的に除去）することを選択した場合には、除去作業をしても大丈夫かどうか、カビの種類を確認するとともに、十分に保護具を備える。病原性のないカビかどうかを第一に確認する。体の弱った状態で起こる日和見感染⁵にも注意が必要である。カビ孢子は殺菌してもアレルゲンであるので吸入量をできる限り抑制することが必要である。スタッフが普通に出入りする場所や、ほかの文化財が保管されている場所をカビで汚染したりしないよう、作業用のスペースを確保する。殺菌剤は、エタノールも人体毒性があり、その他の薬剤は人体に有害性が高いものが多いので、取り扱いには十分注意する。

ガンマ線照射による殺菌については、あらゆるカビ・バクテリアを殺菌する条件で照射した場合にはセルロース素材の劣化が起こることがわかっており、資料の殺菌に利用する場合には注意が必要である。洪水で多量の資料が被災した場合など、短時間に多量の資料を滅菌する必要がある場合には有効と考えられている。

現在進行中の虫害がある場合には、優先して個体数を減らす処理、忌避処理などをおこなう必要がある。虫はカビをまき散らし、また死骸はカビの栄養分となる。

3-7 用具の廃棄

カビの検査や処置等に使用した用具等を廃棄する場合には、カビ等微生物の取り扱い手順、消毒等に化学薬剤を用いた場合にはその特性に配慮し、法律や地域の条例等に則った手順での廃棄が求められる。

作業中に使用したマスクや手袋など、繰り返し使用するものは、洗濯したのち十分に日光に

⁵ 日和見感染：通常健康なからだでは病気を起こさないような病原性の弱い微生物、たとえばカビの一種でも、からだの抵抗力が低下した場合に感染症を引き起こすことがある。感染経路により肺炎、皮膚炎など、発症部位は多様である。

あてて殺菌消毒する。拭き取り除去したカビ等によりその他の環境を汚染しないように、拭き取りに用いた布等は厚手のポリエチレン袋を二重にした袋に入れ、しっかり口を絞め、すみやかに焼却処分の手配をする。滅菌のためのオートクレーブ⁶処理ができる事業所等に処理を依頼するのが最善である。

カビの検査のために培養した場合には、人への微生物被害を防止するため、オートクレーブ滅菌処理が必要である。カビの検査については、培養以降の各手順については、微生物取り扱い訓練を受け、専用の施設等を備えた専門検査会社などに委託すること。

使用にあたり、あるいは保管している薬剤について、急性毒性に加えて引火性についても注意が必要である。化学物質安全性データシート（MSDS シート）⁷を取り寄せて、保管や廃棄上の注意を熟知し、化学物質リスクに対して準備する。また、薬剤廃棄にあたっては廃棄物の処理および清掃に関する法律を遵守して対応する。

⁶ オートクレーブ：高温高圧の飽和水蒸気で微生物を殺滅するために使用する装置。高圧高温の耐圧釜。2 気圧、121℃、15～20 分の条件で行われることが多い。

⁷ 化学物質等安全データシート：化学物質の適切な管理を促進するため、その化学物質の性状および取り扱いに関する情報を事前に提供することを義務づける。MSDS (Material Safety Data Sheet) 制度（経済産業省）において提供される安全情報。現在、対象化学物質として計435物質（第一種指定化学物質354物質、第二種指定化学物質81物質）が指定されている。

＜参考文献＞

宇田川俊一、椿 啓介 他

1978 「菌類図鑑 上・下」、講談社サイエンティフィク

扇元敬司

2002 「バイオのための基礎微生物学」、講談社

木川りか、長屋菜津子、園田直子、日高真吾、Tom Strang

2003 「博物館・美術館・図書館等における IPM—その基本理念および導入手順について—」
『文化財保存修復学会誌』47、76-102

国立国会図書館（翻訳）

2003 『IFLA 図書館資料の予防的保存対策の原則』、日本図書館協会

園田直子

2004 「博物館資料の保存」石森修三『改訂版 博物館資料論』日本放送出版協会、127-141

高木 篤 監修

1989 「エッセンシャル微生物学 第Ⅲ版」、医師薬出版

高島浩介

2002 「かび検査マニュアルカラー図鑑」、テクノシステム

西原力、高麗寛紀 監修

2005 「防菌・防霉剤の開発と展望」、シーエムシー出版

西原力、高麗寛紀 監修

1998 「菌防霉剤原体事典」、日本防菌防霉学会

三浦定俊、佐野千絵、木川りか

2004 『資料保存環境学』朝倉書店

著者 R. Y. スタニエ他、訳者 高橋甫 他

1978 「微生物学 上・下」、培風館

Adcock, E.D. (ed)

1998 IFLA Principles for the Care and Handling of Library Material, *International reservation*
News Issues No.1

Michalski, S.

2000 *Guidelines for Humidity and Temperature in Canadian Archives*
Technical Bulletin No.23, Canadian Conservation Institute

Thomson, G.

1986 *The Museum Environment*, second edition, Butterworth-Heinemann

< Q & A >

【カビとは】

Q. カビとは、どこにでも生えるものなのですか？

A. 生えます。このマニュアルで取り扱っている書籍や文化財（以後、広く「資料」という語を用います）、さらにそれらを収蔵する建築物等にも、カビが生育する環境が整えば必ず発生するものであることを認識してください。カビ発生に関する詳しい説明は[基礎編] 1～3を参照してください。

Q. カビが生えたら、対処すればよいのでは？特に被害が残ったりはしないのでしょうか？

A. これまでの文化財保存では、カビが発生した後に行う処置中心の考え方でしたが、1990年代に入り、被害を未然に防ぐ予防中心の考え方に転換しつつあります。カビだけでなく、文化財を損なう恐れのある環境的要因を特定、改善し、整える総合的有害生物管理（IPM）の重要性が提唱されています。また、カビは一度発生すれば、必ず被害が残ります。カビ被害防止の考え方については、[基礎編] 4を参照してください。また、カビが与える文化財への影響は、[基礎編] 1-3、2-2・カビの色素産生に詳しく書かれています。

Q. 収蔵庫は密閉されているので、カビ発生の恐れや清掃の必要もないのでは？

A. 密閉され空気の流れが少ない環境では、収蔵庫の場所によっては高湿度環境となり、塵埃と結びついてカビが発生しやすくなります。何より、カビが発生するために必要な条件は、私たちが活動している環境下では、どこでも必要十分に整っていると考えてよいでしょう。そのため長期間収蔵庫を点検整備しないことは、カビ発生の危険性が高まります。収蔵施設の温湿度の記録と監視、施設や資料の目視点検、定期的な清掃は、保存環境維持のための基本的な作業と認識してください。具体的な管理の仕方については、[基礎編] 4、[実践編] 1に詳しく出ています。

【カビの発見】

Q. カビが発生したことが最も分かる特徴は何ですか？臭い？見た目？

A. カビ独特のいわゆるカビ臭さは、カビが発生していることを知らせる重要な手がかりの一つでしょう。日常的な管理の中で、臭いや見た目の異変などに気を配ることは大切です。詳しくは[基礎編] 3、[実践編] 2を参照してください。

Q. カビを発見するために、必要な器具はありますか？

A. 懐中電灯（LED光源がベター）、虫眼鏡、マスク、デジタルカメラ（記録用）などがあると便利ではないでしょうか。詳しくは[基礎編] 3-1～4、[実践編] 2を参照してください。

Q. 資料に白っぽい斑点があります。カビなのか染みなのか区別できません。

A. まずは虫眼鏡で観察してみましょう。詳しくは[基礎編] 3-1～4、[実践編] 2を参照してください。

Q. 観察したところ、カビのようです。生きているのか、死んでいるのか区別できません。

A. 詳しくは[基礎編] 3-3を参照してください。

【カビ被害防止のための管理について】

Q. 施設の把握とは、どのように進めていけばよいですか？

A. まずは施設の見取図に添って外周全体を回り、水回りの処理の悪そうな場所はないか検討します。資料や作品のある室内では、カビの生えそうな場所はないか目視点検するほか、温湿度の記録を取り始めることから始めてはいかがでしょうか？詳しくは〔基礎編〕4を参照してください。

Q. 施設の把握のために、そろえておくべき資料はありますか？

A. 建物の平面図や水系の配管図、各室扉の開閉状況（昼間・夜間）、空調の設定条件と稼働状況に関する情報など、建物全体の温度分布や水回り処理について検討するための基本的な情報が必要です。

Q. 施設の問題を把握するために、必要な器具はありますか？

A. まずは温湿度を測ることができる器具が必要です。具体的には、自記温湿度記録計やデータロガー、やや遠い場所の表面温度を測定できる赤外線表面温度計などでしょうか。詳しくは〔実践編〕1を参照してください。

Q. 施設内でカビが特に生えやすく、注意したほうがよい場所はありますか？

A. 収蔵庫内では、隅のほうなど、風が通りにくい場所の湿度が高くなりがちです。窓がある場合には、その近傍では湿度が高くなることがあります。施設全体では、エントランスホールのガラス面の近くでは結露が起こり、カビが繁殖している場合もあります。詳しくは〔基礎編〕4、〔実践編〕1-4を参照してください。

Q. カビ被害を記録しておこうと思います。どのように記録すればよいのでしょうか？

A. 発生した日時、場所、状態の記述をしておくとういでしょう。また、写真を撮って記録しておくことも重要です。

Q. 自分の施設の問題が、どの程度深刻なものか見当が付きません。レベルチェックのようなものはありますか？

A. カビが生えやすい環境となっているかどうか判定する方法には、温度・湿度などの環境条件を測定してシミュレーションソフトで判定するシステムや、カビを封入したスライドグラスを環境中に置いて生育した菌糸長さで判定するシステムが、商業的に提案されています。

Q. どの程度の頻度で見回りをしたほうがよいのでしょうか？

A. 施設の状況によりますが、日常的に目を通すことができるのが理想的です。できれば半期から半年に一度の清掃の時にあわせて見回りをしてはいかがでしょうか？詳しくは〔実践編〕1-6を参照してください。

【カビの発生しない環境づくり】

Q. カビが生えないようにするには、どうしたらよいですか？どのようなデータに気を配ればよいですか？

A. まずは相対湿度が65%を恒常的に越えていないか監視してください。また、室内の温度分布

も大きいほど湿度たまりがでやすくなります。温度湿度は常時計測記録しましょう。詳しくは〔実践編〕 1-3 を参照してください。

Q. カビが生えないように、避けた方がよいことはありますか？

A. 突発的な事故・天災も含めて、水がかかりやすい場所に資料や作品は置かないようにします。
例えば、空調の吹き出し口も、結露水が落ちてくることもありますし、冷気が当たることで湿度が高くなりがちですから、吹き出し空気がどこにあたるか考えて、資料や作品は収納しましょう。ステンレス製の棚板は熱伝導が早く室内でもっとも早く冷えるため結露・高湿度に見舞われやすいため、資料や作品を置くときには板や中性紙段ボールなどの断熱性の高い多孔質素材を間に挟むとよいでしょう。

【定期的清掃】

Q. 清掃が大切ということですが、どのくらいの頻度で行えばよいのでしょうか？

A. 施設外周・共通部分→被害を受けやすいので、毎日清掃します。

収蔵庫→3年に1回を目安に、資料回りの清掃をします。

展示ケース→3ヶ月に1回、展示替えに合わせて清掃します。

Q. 収蔵庫の清掃作業としては、どのような作業がありますか？

A. 床清掃は比較的容易かと思われしますので、可能であれば3～6ヶ月に1回、清掃できると良いでしょう。除湿器や空調機などのフィルターを定期的に清掃しないと、能力が下がり、思わぬ環境条件となりカビ被害に遭うこともあります。〔実践編〕 1-1 も参考にしてください。

Q. ケース内の清掃としては、どのような作業がありますか？

A. 床および展示壁の掃除機による清掃が、カビ発生抑止には効果があります。

Q. 効率のよい掃除の仕方と手順が分かりません。

A. 基本的に上から下へ清掃します。塵埃の除去が目的ですので、埃等が著しく発生しない清掃方法を選んでください。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. 掃除機を購入することができそうです。どのような性能のものを選んだらよいのでしょうか？

A. 掃除機については、性能が良くても重いものは清掃頻度が下がりますので、使いやすい掃除機を使用して、頻繁に集塵袋を廃棄すると良いでしょう。排気の風が床にあたるような掃除機は、床からの発塵量が増えますので、本体を持ち上げる、あるいはチューブ等で室外へ排風を誘導するなどの工夫が必要です。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. HEPA とは何でしょうか？

A. 〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. 掃除機や掃除用具は収蔵庫用、前室用、展示ケース用など、使う場所によって分けたほうが良いのでしょうか？

A. 収蔵庫、展示ケース内、前室など共用部分用の掃除用具は分けたいところです。掃除用具が汚れていては汚染の原因になりかねません。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. 清掃の際、住宅用洗剤などは使ってもよいのでしょうか？もしくは文化財用のものがありますか？

A. 塩素系の住宅用洗剤は、アルカリ性に調整してあり、使える場所は限られます。また若干量ですが染料などを脱色するガスなどが発生することもあり、文化財の近傍で使う場合には、十分に換気して残留しないように注意することが必要です。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. 収蔵庫の床を掃除する場合、水拭きしてもよいのでしょうか？

A. 水拭きできる床材の場合には、固く絞った雑巾等で塵埃を除去できます。その後は通風して十分に乾燥したことを確認するようにしましょう。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

Q. 最近、空調機が汚れているような気がします。空調機からカビが発生することがありますか？

A. 空調機の吹き出し口が汚れているために、カビが発生していることはあるようです。また空調機内の冷却ファンは結露させて除湿する機構であり、元来、カビが繁殖しやすい場所です。空気の採り入れ口また送風口にフィルターが設置されている構造の空調機を採用し、適切にフィルター清掃や取り替えなどの管理をしてください。詳しくは〔実践編〕 1-2 を参照してください。

Q. 空調機をどうやって清掃したらいいか悩んでいます。収蔵庫内なので、業者に委託することができのでしょうか。

A. 業者の出入りと作業の進め方については、職員が立ち会う必要があるでしょう。収蔵庫への入退室に関しては、記録簿などにつけておくとういでしょう。詳しくは〔基礎編〕 4 を参照してください。

Q. まとまった清掃作業の時間がとれません。今日は収蔵庫の棚の清掃、今日は床掃除など、作業毎に小分けに行っても効果は変わりませんか？

A. 清掃作業をある程度小分けに行なってもよいように思われます。詳しくは〔実践編〕 1-1 を参照してください。

【温湿度のモニタリング】

Q. 収蔵庫と展示ケース内に温湿度計を設置しようと思います。何方所くらい、どのあたりに設置するのが適当でしょうか？

A. 収蔵庫内については中央の比較的空気の通りの良い場所に 1 台、重要な資料を収納している、あるいは庫内で空気だまりとなっていると推測される隅の低い位置などに 2 台目を設置して、温度差、湿度差について監視すると良いでしょう。詳しくは〔実践編〕 1-3 を参照してください。

Q. 温湿度計を設置しました。どのくらいの頻度でチェックするのがよいですか？

A. 週一回程度チェックできると理想的です。季節や天候による環境の変化、空調機の癖なども

つかむことができるでしょう。詳しくは〔実践編〕 1-4 を参照してください。

Q. 温湿度計として、毛髪式温湿度計を使用しています。最近、きちんとした値が出ていないようにみえます。どうしたらよいでしょう？また、正しい値を知るには、どうしたらよいでしょう？

A. 毛髪式温湿度計の較正は3ヶ月に1回、塵埃が多い、あるいは化学物質の影響を受けた場合にはセンサーのクリーニングを行う必要があります。クリーニングについては設置・購入業者にご相談ください。詳しくは〔実践編〕 1-3 を参照してください。

Q. データロガーを使用しています。最近、きちんとした値が出ていないようにみえます。どうしたらよいでしょう？

A. データロガーの較正は、2～3年に1回必要です。数台使用している場合は、同じ場所において、誤差以内に測定値が収まっているか確認すると良いでしょう。較正は、設置・購入業者にご相談ください。詳しくは〔実践編〕 1-3 を参照してください。

【気流のモニタリング】

Q. 収蔵庫内の空調機からの吹き出しが、上手く回っているか心配です。空気のだよみをみるのに、効果的なことはありますか？

A. とても難しい技術です。資料や作品がある状態で、ドライアイスによる水粒を見る、あるいは煙を焚くなどの方法は採用できず、簡単に可視化できません。温暖化計数の高い特殊なガスを使つての計測もお勧めできません。薄くて軽い材料で吹き流しを作り可視化する方法もあります。詳しくは〔実践編〕 1-5 を参照してください。

【資料の点検】

Q. 資料を取り扱う際、留意する点について教えてください。

A. 資料を扱う前には必ず手を洗う、消毒アルコールで手を清める、資料の状態をみる（カビチェック）、問題があれば記録し報告する、などが考えられます。

詳しくは〔実践編〕 1-6 を参照してください。

Q. 資料貸出の際、点検していてカビを見つけてしまいました。その場でどの程度処置するべきでしょうか？貸出作業中で時間もありませんが、他の資料への影響も心配です。

A. 放置すれば空気の流れに沿って汚染が拡大する可能性があります。まず隔離しましょう。詳しくは〔実践編〕 3-1 を参照してください。

Q. 資料の受入に際して留意することはありますか？

A. 資料の保存状態のチェックの一環として、カビの有無は確認しておきたいところです。また、資料にカビが生育していることを想定して、受入に入る前に受入資料を収蔵品から隔離して保管しておく仮置き場所を確保しておくことも大切です。詳しくは〔基礎編〕 4、〔実践編〕 3 を参照してください。

Q. 受け入れた資料にカビが生育しています。収蔵庫に入れる前にどうすればよいのでしょうか？

A. 収蔵庫内に汚染が広がらないように、資料を隔離することが必要です。詳しくは〔実践編〕

3を参照してください。

Q. 本体だけの資料を受け入れました。そのまま収蔵していてもよいでしょうか？

A. 資料の大きさや材質にもよりますが、資料への塵埃の堆積を避けるために保存用の箱に入れて収蔵しておくことをおすすめします。

Q. 資料を貸し出すときに、先方へ収蔵環境の資料など提出していただくべきでしょうか？

A. カビの発生しやすい資料については、その点について注意が必要であると申し添えると良いと思います。詳しくは〔基礎編〕4を参照してください。

【環境整備・湿度】

Q. 収蔵庫、展示ケース内の温湿度は、どの程度に保つようにすれば良いのでしょうか？

A. 温度変化が少ないところでは、65%を超えないように制御すれば、カビの大繁殖は起こりにくくなります。温度変化が大きいと湿度だまりができますので、より低い湿度に保つ必要があります。また、乾燥した条件でも育つカビもありますので、温度湿度の制御だけでカビが繁殖しないように制御するのは難しく、清掃と組み合わせて管理してください。詳しくは〔基礎編〕2、4、〔実践編〕1を参照してください。

Q. 収蔵庫の湿度が高く、カビが出やすくなっています。湿度を下げるのに有効な方法がありますか？

A. 絶対水分量のより少ない乾いた空気を室内に取り込めば徐々に乾燥しますが、取りこむ空気も HEPA フィルターを通し室内温度と大きな差がないように調整してから取りこむ必要があります。資料がたくさんある場合には、資料が吸った水分を空間に吐き出してくるので、除湿機などの増設をしないと、湿度を下げるのは難しいでしょう。詳しくは〔実践編〕3-4-5を参照してください。

Q. 収蔵庫に空調が無く、風通しが悪くてカビが出やすくなっています。どうしたらよいでしょうか？

A. 除湿機を増設することが必要です。またすぐに購入できなくても、資料周りの清掃を進めてカビの栄養分を除去することで、カビの生育を遅くすることができます。こまめに清掃しましょう。詳しくは〔実践編〕1-1、〔実践編〕3-4-5を参照してください。

Q. 建物が古いためか、高湿度で安定した状態です。無理に湿度を下げる必要はありますか？

A. 建物が古い場合には密閉度が低く、除湿機などを稼働させても効果がないこともあります。結露や水分のよどみがなければ、カビは生育しにくいものです。除湿機などを導入することで、かえって局部的に温度があがり、乾燥することで塵埃が発生しやすくなる場合もあります。資料周りの清掃で対応しつつ、カビの発生について監視していかれたらどうでしょうか。

Q. 漆器など、湿度が必要な資料を収蔵しています。高湿度の状態ではカビが発生しやすいといわれますが、どんなことに気をつけて管理をすれば、カビを防げるのでしょうか？

A. 制作直後の漆器は高湿度に保つ必要がありますが、70%を超える状態で保管すれば、漆器の汚れやむき出しの木材があればカビが育つおそれがあります。栄養分の除去が必要ですので、

器物の清潔を保つとともに、収納箱についても除菌・除塵して管理していきましょう。

Q. 展示ケース内での基本的な調湿方法の考え方と仕組みを教えてください。

A. 展示ケースの調湿方法には、大きく分けて、湿度変動を緩和する能力のある調湿剤を用いる方法、ケース内に空調空気を流す方法と展示ケースのある展示室内の湿度を調整する方法があります。調湿剤で調整する場合には、展示ケースの気密性が高いことが必要です。調湿剤の重量を定期的に測り、その重さが変化していれば元の重さになるように調整していく管理が必要です。[実践編] 1-5 も参考にしてください。

【環境整備・施設】

Q. 壁面の近くは結露しやすく、カビが発生しやすいと聞きました。しかし、施設が狭く、壁際にも棚や物を置かざるを得ません。対処方法はありますか？

A. 壁から 10cm 離しておく、自然対流による風が回り、環境を整える上で有利になります。壁際まで資料を配置した場合、3 か月に 1 回くらいの割合で資料を点検することで資料周りの風が動き、カビが生えにくくなります。

Q. 棚を新しく設置しようと思います。床付近には湿気が溜まりやすいようですが、一番下の棚は、床からどのくらいまで高さを上げたらいいでしょうか？

A. 20～30cm は上げましょう。

Q. 棚が床面近くまで設置されています。カビを防ぐにはどうしたらよいでしょうか？

A. 最下段の資料にはカビの生えにくいものを配架する、あるいは 3 か月に 1 回程度資料点検をして資料を動かす、などの方法が考えられます。最下段は高さ 75～120cm あたりの空間に比べて相対湿度が 5 % 以上高くなっていますので、相対湿度が高いほうが保管に適している資料を置くと良いでしょう。[実践編] 1-4 マイクロクライメートも参考にしてください。

Q. 棚の間隔が狭く、上手く空気が動いていないようです。何か良い方法はありますか？

A. 資料点検も兼ねて、見回りを定期的におこなうようにすると、人間と一緒に空気も動きます。監視体制を再検討されると良いでしょう。

Q. 露出で収蔵されている資料があります。収納箱に入れたほうがよいでしょうか？

A. 塵埃の堆積を防ぐことが、次の被害を避ける一歩となります。収納箱の跳えが無理でも、薄様紙をかけるようにしましょう。

Q. 薄葉紙、綿布団など、梱包材の管理が心配です。どのように収納しておけばよいでしょうか？

A. これら資材は滅菌することが可能です。滅菌後はポリエチレン袋など清潔な環境で保管しましょう。

Q. 収蔵庫の湿度を下げるため、シリカゲルを使っています。湿気を吸いきってしまったようなのですが、どうやって調整したらよいでしょうか？再度使えるようにできますか？

A. シリカゲルで吸った湿気は、乾燥した空気に当てたり、加温することで放出させることがで

きます。一般的には恒温槽を使い再生します。フライパンで煎るとはぜてけがをすることがありますので止めましょう。

【滞留した空気の動かし方】

Q. 空調機の吹き出しが少々強いように思います。資料に直接風が当たって傷むのが心配です。空気を動かすのに、必要十分な風速、風の向きなどがありますか？

A. 風速が資料表面で 0.03m/秒より大きくなると、資料表面の保湿層を奪い資料が乾燥するとされています。直接風があたることのないように、ルーバーの向きを変えて吹き出し口の風の方向を変える、資料に薄様紙をかけるなど、何か対策を取りましょう。

Q. 大きな資料は、収蔵庫の床にそのまま置いています。風通しのため、すのこなどを敷いたほうがよいでしょうか？

A. 床上 20cm くらいまで湿気たまりとなっています。床置き資料の周りには塵埃もたまりやすく、清掃しづらいことも問題です。すのこなどを敷くことをお勧めします。

Q. 収蔵庫内にカビが発生しました。菌をまき散らさないように、空調など空気を動かすことはやめた方がよいでしょうか？

A. 空調していてもカビが生えたのならば、空調を停止すると、その他の場所でもカビが発生するおそれがあります。カビの生えた資料を他の空間から隔離することを考えましょう。詳しくは、[基礎編] 5、[実践編] 3を参照してください。

【カビ発生資料の処理】

Q. 資料本体にカビが生えています。自分たちで対処することはできるでしょうか？それとも、修復の方をお願いしたほうがよいでしょうか？

A. 資料表面の状態にもよりますが、一般的には専門の修復作業者に委託するのが安全です。しかし長期間放置すると被害が広がるおそれがありますので、局部的に取り除けるかどうか検討されるとよいでしょう。詳しくは[実践編] 3-6を参照してください。

Q. 発見したカビは生きています。どのように除去すればよいでしょうか？

A. 生きているカビを処理するには、まず殺菌することが必要です。大規模被害であればガス燻蒸が必要な場合もあります。ぽつんぽつんと小さなコロニーがある程度であれば、化学薬剤も併用して、孢子などが飛散しないように注意して取り除きましょう。詳しくは[基礎編] 5、[実践編] 3を参照してください。

Q. カビは死んでいるようです。どのように除去すればよいでしょうか？

A. 塵埃などの処理と同じ工程でおこなってください。詳しくは[実践編] 3-6を参照してください。

Q. 収蔵庫が多湿なので、収納箱にもカビが出ます。防ぐ方法がありますか？

A. 収納箱は、オゾン消毒や紫外線を当てるなどの方法で表面を殺菌すれば再使用できます。カビの死骸が残らないように、殺菌後にはしっかり清掃除去してください。

Q. 収納箱にカビが出ていました。中の資料までカビが影響している可能性はありますか？

A. 収納箱の中の相対湿度は、収納箱の外の相対湿度に比べて変動は小さくなりますが、その平均値は同じですので、収納箱の外にカビが出た場合には中もカビが発生しやすい環境になっています。収納箱外のカビは見つけ次第すみやかに除菌し、内部を点検することをお勧めします。

Q. 資料の包み布にカビが出ていました。古い布なので、洗濯もできませんし、どうしたらよいでしょうか？

A. 古裂など文化財に準ずる資料は、文化財と同様の取扱いが必要でしょう。作品にカビが移らないように別に隔離して、処置できるまで保管します。専用の保管袋に脱酸素剤と一緒に封入してカビの生育を抑制することもできます。

Q. 黒漆塗りの収納箱にカビが出ました。除去しましたが、カビの痕が残ってしまいました。消せませんか？

A. 黒漆塗り収納箱のように光沢のある表面にできたカビ痕の除去は、かなり難しいとお考えください。すり漆をすることで目立たなくすることは可能かと思われます。

Q. 資料に古いカビの痕があります。これ以上とれないのでしょうか？

A. カビ痕は、物理的に資料が破壊されて生じている場合が多く、目立たなくする処置はとても繊細な修復作業で、修復専門家とご相談ください。

Q. 私たちでも使えるカビ除去のための道具があれば教えてください。

A. 修復専門家ではない人が作業に用いるとしたら、汚染の拡大を防ぐための緊急処置にかぎられます。作業区画を作るための資材、区画内の空気を清浄にする清浄機等、穂先のやわらかな細筆、赤ちゃん用の細い綿棒で巻きのしっかりしたもの、ガーゼ、消毒用エタノール、ルーペ、先のとがっていないピンセット、記録用のデジタルカメラ、LED 光源のペンライトなどがあると便利です。噴霧器は一見便利に見えますが、胞子があると噴霧の勢いで吹き飛ばして汚染を拡大する原因となり、また十分殺菌に必要な時間エタノール濃度を表面に保持することができないため、利用しないほうが良いでしょう。

Q. 私たちでも使える、あるいは常備しておく便利な薬剤があれば教えてください。

A. 薬局で買えるものでお答えします。消毒用エタノールはそのまま薄めないで使います。塩化ベンザルコニウム⁸（“オスバン”と呼ばれています）は、指定のとおり水で希釈して用いますが、棚など資料周りを拭く際に使用できます。いずれも透水性のない手袋で手を保護しましょう。

Q. カビが発生している場所で作業をする場合の防護用品を教えてください。

A. カビは生きている場合にはカビ毒をもつものもあり、死んでいてもアレルギーとして問題になりますので、呼吸用の保護具が必要です。薬剤を使用しない場合には防塵マスク、薬剤を使用する場合にはその薬剤に対して防護効果のあるものを使用します。消毒用エタノールによる

⁸ 塩化ベンザルコニウム：p 22 図 13 に記載した塩化ベンジルジメチルドデシルアンモニウムがオスバンである。病院や家庭で汎用されている消毒剤。

消毒作業であっても、多量に用いる場合には有機溶剤用のガス吸着缶をつけた防護マスクの使用をお勧めします。化学物資安全性シートを取り寄せて、防護方法を確認してください。そのほか、耐溶剤性のある手袋、カビ汚染が激しい場合にはその作業専用の作業着があると良いでしょう。作業着等洗って再使用できるものは毎日洗って、十分な量の太陽光に当てて殺菌すると良いでしょう。

Q. 施設が狭いので、資料の点検や貸出作業など、さまざまな作業をする場所の確保がままなりません。その中で特にカビ除去作業用のスペースを設ける必要がありますか？

A. 机の上に簡易作業スペースを組んで厚手のポリエチレン袋などで区画すると十分作業スペースを作ることができます。汚染の拡大を防ぐことがもっとも重要ですので、移動式のベンチなどに作業区画を組んでいかれたらどうでしょうか。

Q. 資料の点検やカビ除去作業終了後の作業スペースの清掃と用具の後始末の際、気をつける点がありますか？

A. 作業スペースについては拭き掃除で十分にきれいになります。規定濃度に薄めた塩化ベンザルコニウムでふき取ると良いでしょう。用具については、十分に滅菌する必要がありますので、洗えるものはしっかり洗って紫外線にあてる、道具類は消毒用エタノールに10分以上浸して、しっかり乾かすと良いでしょう。

【保存体制の見直し】

Q. 当館には保存担当者（専門・非専門）がいます。生物被害対策は彼らに一任すればいいのではないのでしょうか？

A. カビ被害防止については、早期発見と早期処置が、被害拡大を防ぐ要です。保存担当者は保存計画を立てる責任者ですが、実行するためには館内のスタッフ全員が、それぞれのできる範囲で協力する必要があります。資料保存のために、組織全体で取り組むよう、情報交換を密にしてください。体制については〔基礎編〕4、〔実践編〕1-6を参照してください。

Q. 当館には保存担当者がいません。どのような体制で生物被害対策に当たればよいのでしょうか？

A. 生物被害対策の第一歩は、現在の状況に疑問を持つことに始まります。ムシ・カビともに、本来は資料周辺では好ましくない存在です。何か問題がないか、過去の記録や館内の清掃担当、空調管理担当など、館内スタッフへの聞き取り調査から始め、組織全体で共通認識を持てるようにするのが良いでしょう。

Q. 施設の点検と把握は、施設管理部に任せておけばよいのでは？

A. 収蔵庫内の資料の保存については、管理部の担当だけに任せてよいとは思いません。皆が協力できる体制を作りましょう。

Q. 清掃は、清掃の方が行うものなのでは？

A. 資料周辺の清掃は、特別な訓練を受けた委託会社ではない限り、保存に責任のある部署が率先しておこなうべきかと思います。学芸員等の立ち会いのもと、収蔵庫の床清掃を外注しているところもありますが、責任者の立ち会いは必要です。

Q. 施設の管理について、他部署との連携や仕事の切り分けは、どうしたらよいでしょう？

A. 資料周りの責任者とそれ以外に分けてお考えになると良いでしょう。組織全体で係わる枠組みを作り、情報の連絡を密にして対応してください。

Q. 職員の人数が少なすぎて、カビ対策まで手が回りません。

A. まずは温度湿度計測を行い、見回りの際に少し気をつけて監視し、気づいたら記録を取り、保存対策専門家に連絡するようにされたらどうでしょうか。

Q. 職員の手が足りなくて、作業が思うように進みません。アルバイトの方やボランティアの方をお願いすることができるのでしょうか。

A. きちんとトレーニングをしてボランティアの方にお手伝いいただいているところもあります。いずれも、責任者としての立ち会いは必要です。

Q. カビの除去には、すごくお金がかかるのでは？だとすれば当館では予算が少なすぎて、カビ対策まで対処できません。

A. 少しカビが発生したところで対応していけば、わずかな出費で対応できます。早期検出のために温度湿度を計測監視し、カビの生えやすい資料を重点的に監視していけばよいでしょう。

〔実践編〕1を参考にしてください。

Q. カビ対策など保存修復の経費としては、清掃や補修といった予防と被害が出てからの対処療法では、どちらがコスト的にみて安上がりなのでしょう？

A. 被害が出てからの処置は、資料の修復が含まれるために、一般的にたいそう高額になります。清掃や建物管理に力を入れて予防していくことをお勧めします。

Q. 現状を把握するために学芸員でも抑えておくべき施設上のポイントは何でしょう？

A. 外周周りの管理は定期的に歩き回って写真で記録しておく、漏水などの発見に役立ちます。また、雨上がりにどこに水がたまるか、排水管の水はきちんと処理されているかなど、水回りは見回るようにしましょう。〔実践編〕3-5を参考にしてください。

Q. 業務日誌に清掃やカビ対策のことの細々としたことも書いておいたほうがよいでしょうか？

A. 記憶というのはあいまいになりがちです。記録しておくことはとても重要ですので、必ず書きこむようにしましょう。

Q. カビを防ぐために、皆が日常的に習慣にしておくよいことはありますか？

A. 湿気は低い位置にたまりますので、階段塔で各部屋がつながるような層状に積み重なった構造の場合には、各部屋の扉を開け放さないことをお勧めします。食事をした後には細かな栄養物が衣服などに付着していることもありますので、軽くはらうようにすると良いでしょう。

Q. 保存担当者から、収蔵庫内ではスリッパを履くように言われました。動きが悪くなるので、苦手です。履かなくてはいけませんか？

A. スリッパを履く理由は、外部からの塵埃や栄養物等の持ち込みを防ぐために行います。収蔵庫内で重いものを動かすなどには不向きですので、そのような場合は館内専用の靴にはきかえるようにすると良いでしょう。

生物被害対策 TODO リスト

<日常的に>

1) 収蔵庫・書庫

- ・収蔵庫・書庫へ入室する際は、専用のスリッパや上履きに履き替える。
- ・収蔵庫・書庫への出入りは記録をとる。
- ・収蔵庫・書庫へ入室した際、カビ臭がしないか確認する。
- ・入室した際、温湿度に異常を感じないか気をつける。
- ・入室した際、塵埃が目につかないか気をつけ、気づいたら掃除する。
- ・むやみに資料をハンドリングしない。
- ・資料に触れる際は、手洗いや消毒をするか、手袋をつける。
- ・取り扱いの際、資料にカビや虫が出ていないか確認する。
- ・用具、梱包材の整理整頓を心がける。
- ・掃除用具を清潔に保つ。

2) 展示室・閲覧室

- ・展示室・閲覧室を見回り、作品や資料に異常がないか目視点検を行なう。
- ・露出展示されている作品で拭くことができる作品は、埃を拭う。
- ・床やケース、什器が汚れていないか確認すること。結露、水漏れなどにも気をつける。

<週に1回>

1) 収蔵庫・書庫

- ・庫内に設置した温湿度計の記録をチェックする。

2) 展示室・閲覧室

- ・展示室ケース内などに設置した温湿度計の記録をチェックする。

<月に1回>

1) 収蔵庫・書庫

- ・データロガーの記録をチェックする。

2) 展示室・閲覧室

- ・データロガーの記録をチェックする。

<3～6ヶ月に1回>

1) 収蔵庫・書庫

- ・定期清掃を行なう。

- ・梅雨前、秋頃に虫害トラップ検査、資料の目視点検、余裕があれば風通しを行なう。

<年に1回>

1) 収蔵庫・書庫

- ・大規模清掃を行なう。

2) 展示室・閲覧室

- ・大規模清掃を行なう。

3) その他

- ・施設点検。
- ・空調機メンテナンス。

<3～5年に1回>

- ・空調機大規模メンテナンス。

<10～15年に1回>

- ・空調機交換。

< 参考資料 >

開 催 経 緯

平成19年

8月 8日（水） 第1回会合

- ・ 会議の開会及び主査の選任等
- ・ 「カビ対策専門家会合報告書」について
- ・ 文化財の生物被害防止に関する普及活動について
（佐野千絵委員発表）
- ・ その他

9月11日（火） 第2回会合

- ・ 文化財の生物被害防止に関する普及活動について
（愛知県美術館主任学芸員 長屋菜津子先生）
- ・ 「カビ対策マニュアル」の具体的イメージについて
- ・ その他

10月31日（水） 第3回会合

- ・ 「カビ対策マニュアル」についてヒアリング
（国文学研究資料館 青木睦准教授）
- ・ 「カビ対策マニュアル」の具体的イメージについて
- ・ その他

平成20年

2月14日（木） 第4回会合

- ・ 「カビ対策マニュアル」の具体的内容について
- ・ その他

3月14日（金） 第5回会合

- ・ 「カビ対策マニュアル」（案）について
- ・ その他

※ 以降、委員及び事務局間の連絡により、マニュアル案の内容を調整

「カビ対策マニュアル」作成協力者会議について

平成19年7月3日

文 部 科 学 省

大臣官房長決定

1. 趣旨

広く文化財や学術資料等の保存の観点から、専門家の科学的知見・経験を集め、実用的な「カビ対策マニュアル」の作成に向けた検討を行う。

2. 検討事項

「カビ対策マニュアル」の作成について

3. 実施方法

- (1) 別紙（※「カビ対策マニュアル」作成協力者会議 名簿）の者の協力を得て、上記2. に掲げる事項について検討を行う。
- (2) 検討に当たっては、別紙（※「カビ対策マニュアル」作成協力者会議 名簿）以外の者の協力を得ることができる。

4. 実施期間

平成19年7月3日から平成20年3月31日までとする。

5. 実施体制

この会合の実施に当たっては、関係部局が連携・協力して取り組むものとする。

6. その他

この会合の庶務は、省内及び文化庁の関係部局の協力を得て、大臣官房政策課において処理する。

(別紙)

「カビ対策マニュアル」作成協力者会議委員 名簿

高麗 寛紀 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授

佐野 千絵 独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所
保存科学部物理研究室長

園田 直子 大学共同利用機関法人人間文化研究機構
国立民族学博物館文化資源研究センター教授

高木 叙子 滋賀県立安土城考古博物館学芸課主任

多比羅 菜美子 根津美術館学芸員

(敬称略、五十音順)

