

《特集：カビの知識とその対策①》

カビの発育を利用する環境評価法

＜カビ発育環境の検出とカビ対策の評価にカビを利用する＞

環境生物学研究所 阿部 恵子
Keiko Abe

1. はじめに

我々の周囲の空気中には常にカビの胞子が漂っており、どこにでも胞子は付着し、発育を許す環境と時間があれば発芽して菌糸を伸ばし、やがて胞子を着生しその胞子が周囲に飛散する。カビの胞子は我々の呼吸を通して体内に入り鼻炎や喘息などの健康害を引き起こし、建物などに付着して発育すれば胞子が飛散し生活環境を汚染し、長い時間をかけて建材や物品を劣化させる。

室内の空気中に浮遊するカビの胞子を完全に除去することは困難で、カビ汚染の防止には付着したカビ胞子を発育させないことが効果的である。そのためにはその場所がカビを発育させる環境かどうかを知ることが必要であるが、発育場所を正確に把握することは困難であることが多い。

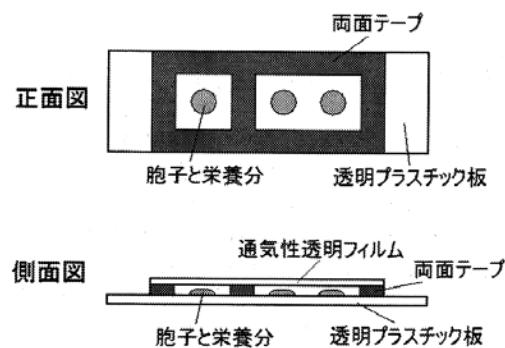
そこで、室内環境を調査する方法として、カビそのものを環境のセンサに使い、カビ発育環境を数値化することにした。数値化できれば、どの場所がどれくらいカビ汚染されやすい環境であるか知ることができ、適切なカビ防止対策の立案が可能になる。

2. カビセンサ

カビを環境のセンサとして使うためには、センサとして充分に応答するカビが必要であり、また、限られた時間内にカビを発育させその成長を計測でき、かつ簡便に着脱可能な装置が求められる。

環境センサとしてのカビは、多数の候補の中から*Eurotium herbariorum* J-183株を選定した⁽¹⁾。本菌株は、広範囲の温・湿度環境下で、多数の候補カビの中で最も速く発育（高い応答）を示したので標準菌とした。

装置は、周囲の環境をセンサに伝える条件と、センサに用いたカビが調査環境に漏れ出さない条件が必要となる。第1図にその装置を示す。本装置をカビセンサと名付けた。両面テープで作った枠をプラスチック板に貼り、枠内に胞子液（栄養分を含む）を接種、乾燥後、通気性のある透明フィルムで覆い、両面テープの枠でフィルムとプラスチック板を密着させたものである。胞子が分散されたスポット（以下、胞子スポットと略す）の直径は3mmである。室内の湿度に鋭敏に反応させるため、大きい枠内に標準菌のほかに好乾性のアスペルギルスを、小さい枠内に好湿性のアルタナリアを入れ、3種類の



第1図 カビセンサ
環境調査用の試験片（13mm×50mm、厚さ0.8mm）で、内部にカビ胞子とその栄養分が封入されている。

カビを供試菌とした^{注1)}。

3. カビ指数

カビ指数とは、カビセンサを曝露した環境（調査環境）を特定の環境（基準環境）との比較で表す相対的な値である。カビ指数の詳細は参考文献(1)～(3)に記載したので省略するが、概要は、カビを環境のセンサとし、調査環境下1週間あたりの応答（菌糸長から判定）を、基準環境下での応答（菌糸長から判定）と比較し、調査環境がカビに与える影響力を数値化したものがカビ指数である。基準環境は温度25°C・相対湿度93.6%（密閉容器内に飽和KNO₃溶液とその結晶を入れ25°Cに保った時の容器内の空気環境⁽⁴⁾）とした。

写真1に、基準環境における標準菌ユーロチウムの発育、すなわち基準環境下での応答を示す。カビセンサ内では、7時間で胞子が発芽し、12時間で胞子スポットのエッジ（栄養源のある部分とない部分の境界線）の外側に菌糸が伸長する。

第2図は、基準環境における標準菌の菌糸伸長曲線（標準曲線）で、環境曝露後のカビセンサで認められた応答が、標準菌を基準環境に曝露したときの何時間に相当する応答かを調べるために用いる。Aの菌糸長は胞子から菌糸先端までの距離を測定した値で、Bの菌糸長は胞子スポットのエッジから菌糸先端までの距離を測定した値である^{注2)}。

注1) 標準菌*Eurotium herbariorum* J-183株（ユーロチウム）は、広範囲の環境で最も高い応答を示す好乾性カビであるが、相対湿度96%以上の高湿環境と相対湿度72%以下の低湿環境では応答感度が低下する。そこで、好湿性カビ*Alternaria alternata* S-78株（アルタナリア）と、ユーロチウムよりも強いため好乾性を示すカビ*Aspergillus penicillioides* K712株（好乾性アスペルギルス）を利用することで、標準菌の感度低下を補うことにした。そのため供試菌が3種類のカビとなっている。

2) カビセンサ内の供試菌の菌糸が長く伸びるとカビセンサの胞子スポット内では菌糸がからみあい、どの菌糸がどの胞子から発芽して伸びたのか判別できないため、長く伸長した菌糸長を実測する際にエッジから菌糸先端までの距離を測定する方法を用いている。

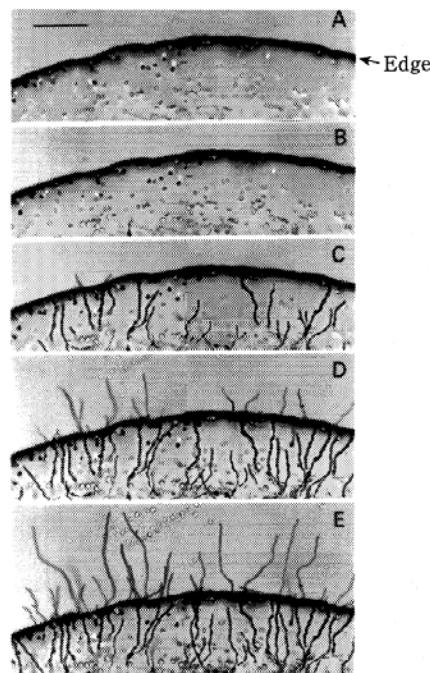
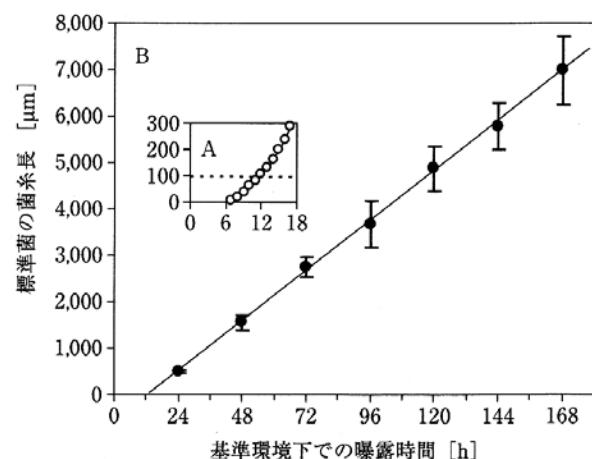


写真1 標準菌 (*Eurotium herbariorum* J-183株) の基準環境下での発育

上から、0、8、12、14、16時間。同一視野で経時的に撮影。Edgeは栄養源がある部分とない部分の境界線。棒線: 100μm。



第2図 標準曲線

図Aの菌糸長は胞子から菌糸先端までの距離で、約100μm (12時間曝露) 以上は、菌糸がスポットのエッジ（栄養分がある部分と無い部分の境界）外側に伸長する。図Bの菌糸長はエッジから菌糸先端までの距離。

カビ指数測定の実施方法は以下のとおりである。
①一定期間カビセンサを曝露し、②回収したカビセンサ内の菌糸長を測定し、③第2図の標準曲線から「その菌糸長が基準環境に曝露したときの何時間に相当する応答か」を調べ、④得られた応答を曝露週数で割ってカビ指数（1週間あたりの応答）の値を得る。

例えば、調査環境に曝露したカビセンサで、供試菌の菌糸がスポットのエッジから外側に500μm伸びていたとする。この菌糸長を示す応答は、標準菌の基準環境24時間曝露の応答に相当するので、曝露期間が1週間でこの応答を示した場合、調査環境のカビ指数は24、カビセンサの曝露期間が4週間での応答であれば調査環境のカビ指数は6になる。

カビセンサの曝露期間は、調査環境に応じて設定する必要がある。短期間でカビ汚染される環境（カビ指数が50以上）では2日間、時間が経てばカビ汚染される環境（カビ指数が10から60）では1週間、カビ汚染される可能性がある環境（カビ指数が10未満）では4週間の曝露期間が適している。ただし、入浴後の乾燥などカビ防止対策を入れている場合は、長期間の曝露が必要である。カビセンサの曝露期間が4日間で供試菌が発芽し菌糸が伸長していても、4週間の曝露でも同様の菌糸長であれば、発育が停止していると判断できる。

4. カビ指数を用いた環境調査例

ここでは東近江地域での文化財環境調査⁽⁵⁾の一部を例に、同じ地域で異なる環境（除湿の有無）のカビ指数を測定することによって、カビセンサの実用性を示す。

調査建物は、東近江市内の百済寺と八幡神社で、何れも丘陵地にあり木々に囲まれ自然豊かな環境にある。百済寺の本堂は重要文化財に指定されており、八幡神社の収蔵庫には重要文化財（能装束などの布製品）が収められている。八幡神社の収蔵庫ではカビ対策として収蔵庫内で除湿がなされていた。

調査時期は2011年の6月22日から10月12日で、カビ指数の測定には、不織布の袋に入れたカビセンサ（室内用カビセンサ、環境生物学研究所製）（写真2）を用いた。

第1表に、各調査個所で測定されたカビ指数と、カビセンサ内の供試菌の応答状態を示す。カビセンサの曝露期間は4週間とし、4週ごと

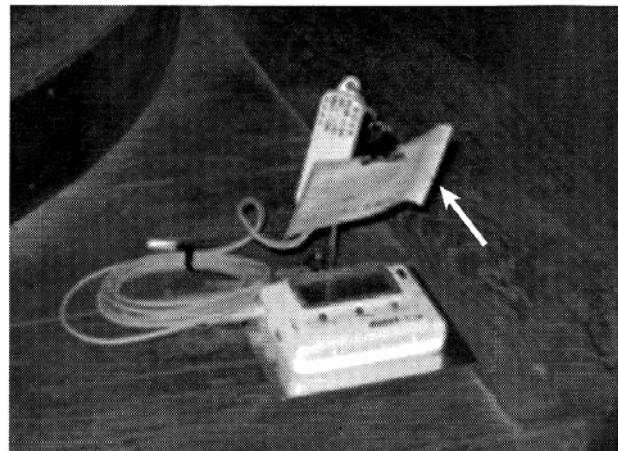


写真2 カビセンサ設置例

矢印が室内用カビセンサ。不織布の袋（5cm×8cm）に第1図に示したカビセンサを入れ、袋の口を閉じたもの。温・湿度記録計の温・湿度センサ部分とカビセンサの高さを床上10cmに揃えてある。

に新しいカビセンサと取替え、カビ指数を測定した。

百済寺本堂では、全ての時期でカビ指数が計測上限を超える（>20）、常にカビが発育しやすい環境であると考えられた。カビセンサ内では標準菌ユーロチウムと好乾性アスペルギルスの菌糸が長く伸長した。好湿性のアルタナリアの菌糸発育も認められ、多種類のカビを発育させる環境であった。

除湿されていた八幡神社の収蔵庫では、カビセンサ内で胞子の発芽が認められず、カビ指数が検出下限未満（<1.8）で、カビを発育させない環境が保たれていた。除湿されていなかった前室（出入り口の前にある小部屋）では百済寺より低いがカビ指数が測定され、カビ発育可能な環境であったが、カビセンサ内では好湿性のアルタナリアの菌糸伸長が認められず若干の除湿で発育予防が可能と推測された。

カビ指数は、調査環境でのカビ発育可能性を数値で表わす手段である。カビが発育しやすい環境ほど高い値となり、カビ指数の高さからカビ汚染が予測できるし、とるべき対策を明らかにすることと、その効果の評価ができる。

第2表に、これまでのカビ指数調査から推定した環境評価と一般的な対策例を示す。カビ指

第1表 カビ指数調査結果（2011年）

調査箇所			調査時期	カビ指数 ⁽¹⁾	供試菌 ⁽²⁾ の応答 ⁽³⁾		
					アスペルギルス	ユーロチウム	アルタナリア
百済寺	本堂	北西隅 下部	6～7月	>20	+++++	+++++	+++
			7～8月	>20	+++++	+++++	+++
			8～9月	>20	+++++	+++++	+++
			9～10月	>20	+++++	+++++	++
		南東隅 下部	6～7月	ND ⁽⁴⁾			
			7～8月	>20	+++++	+++++	+++
			8～9月	>20	+++++	+++++	+++
			9～10月	>20	+++++	+++++	+
		中央 仏像足元	6～7月	>20	+++++	+++++	+++
			7～8月	>20	+++++	+++++	+++
			8～9月	>20	+++++	+++++	+++
			9～10月	>20	+++++	+++++	-
		南隅 下部	6～7月	<1.8	-	-	-
			7～8月	<1.8	-	-	-
			8～9月	<1.8	-	-	-
			9～10月	<1.8	-	-	-
		中央 和箪笥内 下部	6～7月	<1.8	-	-	-
			7～8月	<1.8	-	-	-
			8～9月	<1.8	-	-	-
			9～10月	<1.8	-	-	-
		前室	6～7月	15.7	+++	+++	-
			7～8月	7.0	++	++	-
			8～9月	14.1	++	++	-
			9～10月	6.0	++	++	-

注1) >は、カビ指数が計測上限値以上を表わす。カビセンサ内で発育した菌糸の先端が周囲の両面テープに到達し、菌糸長が計測できなかった。<は、カビ指数が計測下限値未満を表わす。胞子発芽が認められなかった。

2) アスペルギルス、ユーロチウム、およびアルタナリアは、それぞれ、*Aspergillus penicilliodes* K-712、*Eurotium herbariorum* J-183、および*Alternaria alternata* S-78。

3) +、++、+++、++++、および+++++は、それぞれ、胞子スポットのエッジ外側に伸長した菌糸長が、200μm未満、200～500μm、500～1,000μm、1,000～2,000μm、2,000μm以上を、-は発芽が認められなかったことを表わす。

4) カビセンサ紛失のため測定できなかった。

第2表 カビ指数による環境評価と対策例

カビ指数	カビ汚染可能性	環境例	対策例
2未満	なし	居室、押入れ、 クローゼット、 靴入れなど	除湿
4	低い		
20	あり		
50	高い	洗面所、 浴室など	定期的清掃 定期的乾燥 除湿
100以上	極めて高い	冷房時の空調機 夏期の浴室	定期的清掃 定期的乾燥

数2未満はカビ汚染可能性が無い環境で、カビ指数4はカビ汚染可能性が低い環境と思われる。カビ指数20はカビ汚染可能性がある。児童アレルギーの実態調査⁽⁶⁾において、夏期に居間北東隅の床面（調査室内でカビ指数が最も高いと予想される箇所）で測定したカビ指数が18を超えた全住宅で児童がアレルギーを発症していたこと、および年間を通じた住宅内のカビ指数調査でカビ指数が18を超えた個所（カビセンサの曝露期間1ヶ月間でのカビ指数計測上限が18

になる)では環境曝露後のカビセンサ内で胞子着生が認められたこと⁽⁷⁾から、カビ指数が20の環境はカビ汚染されると推定される。住宅の居室や収納個所でこの程度のカビ指数になる場合、対策として除湿が有効である。カビ指数50はカビ汚染可能性が高く、カビ指数100以上はカビ汚染可能性が極めて高いと思われる。冷房時の空調機内部や夏期の浴室では、カビ指数が200になる場合もあり、このような環境では定期的な清掃（カビを殺菌し菌糸や胞子を取り除く）が必要である。

5. おわりに

カビを環境のセンサとして利用すること（カビセンサ）で、カビの発育場所の予測が可能になった。またカビ指数として発育環境を数値化することによってカビ発育防止対策を効果的に実施することも可能になった。

カビセンサは調査個所の微小な環境も評価できる。例えば吸放湿性のある建材の表面にカビセンサ置けばその建材付近の環境がわかり、どのような環境の室内ではどのような壁材が適しているか知ることができる。また、カビセンサの片面が透湿性で反対側が非透湿性であるので、透湿性の側を壁に向けて貼れば壁体を評価することも可能であるなど、カビセンサは発育場所特定のための有効な手段といえる。

住宅内の環境は季節による変動があり、冬期だけカビ指数が高くなる箇所や、梅雨や秋にカビ指数の高くなる箇所があるので、季節ごとの調査、あるいは通年の調査も必要である。

更なる効果的かつ経済的な防止策に結びつくためのカビセンサの検討を重ねてゆきたい。

＜参考文献＞

- (1) 阿部恵子：“好乾性カビをバイオセンサーとする環境評価法” 防菌防黴, 21, 557-565 (1993)
- (2) Abe, K.: “A method for numerical characterization of indoor climates by a biosensor using a xerophilic fungus.”, *Indoor Air*, 3, 344-348 (1993)
- (3) Abe, K., Nagao, Y., Nakada T., and Sakuma S. : “Assessment of indoor climate in an apartment by use of a fungal index.” *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 959-963 (1996)
- (4) ASTM E (1985) Standard practice for maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions. The American Society for Testing and Materials (ASTM designation E 104-85, 790-795)
- (5) 阿部恵子・村田朋美：“文化財保全環境のモデル研究(1) 東近江市内の文化財保全環境のカビ指数による評価”，日本建築学会2011年度大会（関東）学術講演梗概集，環境工学II（2011年8月）
- (6) 長谷川兼一・吉野 博・阿部恵子・他：“居住環境と健康障害との関連性に関する調査 その21：居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究(8) 室内環境に起因する健康影響に関する実測調査（Phase3）の冬期・梅雨期の測定結果”，日本建築学会2010年度大会（北陸）学術講演梗概集，環境工学I（2010年8月）
- (7) Abe, K.: “Assessment of home environments with a fungal index using hydrophilic and xerophilic fungi as biologic sensors.”, *Indoor Air* (in press) (2012)

【筆者紹介】

阿部恵子

環境生物学研究所 所長

〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津4036-1
日本国土開発株気付

TEL : 046-285-7801 FAX : 046-285-7801

E-Mail : abekeiko@kamakuranet.ne.jp

URL : [http://www1.kamakuranet.ne.jp/kabi/
Japanese/](http://www1.kamakuranet.ne.jp/kabi/Japanese/)