

## 原著論文

## エアコン冷房時のカビ指数とカビ汚染

阿部恵子<sup>1</sup>

[受付 1998.9.7] [受理 1998.11.12]

## Fungal Index and Contamination in Air Conditioners when cooled

Keiko Abe<sup>1</sup>

[Received Sep. 7, 1998] [Accepted Nov. 12, 1998]

## Abstract

Using a fungal index, the microclimate was assessed in air conditioners and the air-conditioned rooms in summer. The fungal index is a parameter for detecting and assessing fungal growth in the environment. Although the index revealed no fungal growth at any site within the room, the index was high inside and at the cooled air outlets of air conditioners. The index was the highest inside the air conditioners. A high probability of fungal growth in air conditioners was indicated. Fungi that contaminated air conditioners used in dwellings were isolated and identified. *Cladosporium* spp. were the dominant fungi that contaminated these air conditioners. The spores of the fungi spread from these air conditioners, although few spores spread from new air conditioners. It was concluded that the inside climate of air conditioners, which is suitable for fungal growth when cooled, induces fungal contamination in air conditioners. As a result, fungal spores are scattered throughout the room. Air conditioners are clearly sources of air pollutants in rooms.

**Key word:** air conditioner, air conditioning, contamination, fungus, fungal index, microorganism

## 要 旨

冷房時のエアコンおよび住宅内部環境のカビ指数を調査した。カビ指数とは、カビをバイオセンサーに用いることにより調査箇所におけるカビ発生の可能性を評価するものである。冷房期間中、室内はカビの育ちにくい環境になったが、エアコン吹出口は常に高いカビ指数が検出されカビの育つ環境であった。エアコン内部は吹出口よりもさらに高いカビ指数を示し、著しくカビが成長しやすい環境になった。そこで、住宅で使用していたエアコンを汚染するカビについて調査した。エアコン内部はカビ汚染が肉眼で観察できる状態で、クラドスポリウムが寡占種になっていた。汚染されたエアコンを通過した空気から高頻度でクラドスポリウムが分離されたが、新しいエアコンから吹き出される空気中にはカビがほとんど含まれなかった。冷房時にエアコン内部がカビの育ちやすい環境を保つことによりエアコン内部でカビが増殖し、その胞子がエアコン通過空気に載って室内に飛散し、エアコンが室内空気の汚染源になることが明らかである。

## 1 はじめに

気管支喘息、アレルギー性鼻炎、アトピー性皮膚炎あるいは過敏性肺炎などのアレルギー疾患では、しばしばカビがアレルゲンとなる<sup>1) 3)</sup>。アレルギーは、感作される人の体質が大きく影響するが、アレルゲンの量が多く、接触する時間が長いほど現れ易い。人は、睡眠、労働その他の活動で、室内において長時間過ごす。カビがアレルゲンとなるアレルギー性疾患の場合、抗原感作は戸外よりもむしろ室内感作が大部分で

ある。

空調機器の内部、ダクトやフィルターはカビにより汚染されることが知られている<sup>4) 5)</sup>。住宅のエアコン内部で特定のカビが増殖し、その胞子が室内にまき散らされている状態であれば、そのカビをアレルゲンとするアレルギーが起こり得る。

本報では、カビ発育環境を検出し評価できるカビ指数<sup>6) 8)</sup>を利用して冷房時の室内およびエアコン各部のカビ生育環境を調査し、あわせてエアコンを汚染する

<sup>1</sup> 環境生物学研究所

Institute of Environmental Biology, JDC Corporation, Aikou-gun Aikawa-cho, Kanagawa 243-0303, Japan

カビの検出を試みたので報告する。

## 2 方法

### 2.1 カビ指数評価法

#### 2.2.1 カビ指数の定義

カビ指数とは、環境のカビ生長に対するキャパシティー、すなわち環境がどれだけカビの生長を許容するか、を定量的に示すもので、バイオセンサーに用いたカビ（調査環境に曝露する菌、以後の文中ではセンサー菌と記す）の、1週間当たりの環境応答（生長）で表した。曝露環境下1週間あたりのセンサー菌の生長が、基準菌の基準気候下X時間の生長に相当する時、その環境をカビ指数Xと定義した<sup>7)</sup>。基準菌をユーロチウム J-183 (*Eurotium* sp. J-183, 以後の文中では J-183 と記す)、基準気候を温度 25℃・相対湿度 93.6%<sup>7)</sup> (飽和 KNO<sub>3</sub> 溶液で湿度を調節した密閉容器内の空気環境) にした。

#### 2.1.2 使用微生物

環境のセンサー菌として、J-183 (好乾性カビ、前述の基準菌として使用) および アルタナリア S-78 (好湿性カビ, *Alternaria* sp. S-78。以後の文中では S-78 と記す) を用いた。

J-183 は好乾性カビ、S-78 は好湿性カビで、温度 25℃ の湿室内では、相対湿度 95% で J-183 と S-78 の生長速度が同じで、相対湿度 95% 以上の環境は S-78 のほうが、95% 未満の環境は J-183 のほうが速く生長した。

#### 2.1.3 環境調査用試験片

カビ指数測定のために、環境調査用の試験片 (カビセンサー) を 2 種類作成した。

室内用カビセンサー (Fig.1) は、①センサー菌の胞子 (分生胞子) を培地 (ゼラチンとブドウ糖それぞれ 0.5% 含有) に分散させた懸濁液を、②通気性のある透明フィルム上に 1 滴接種、風乾させ、③スポット (胞子が分散状態で乾固したスポット、直径 3 mm) を挟み込む形で同様のフィルムで覆い、④スライド用マウントにはめ込んだ。

耐水性カビセンサー (Fig.2) は、水をかぶってもセンサー菌が周囲の環境中に漏出しないように密封したもので、透明フィルムに替わり、プラスチック板 (13mm × 33mm) に胞子を付着させ、直径 7 mm の穴を開けた両面テープ (13mm × 23mm) を用いて透湿性の不織布 (13mm × 23mm) でスポットを覆った。スポットは両面テープの穴中央部分に位置させた。

耐水性カビセンサーでは、胞子スポットの周囲から

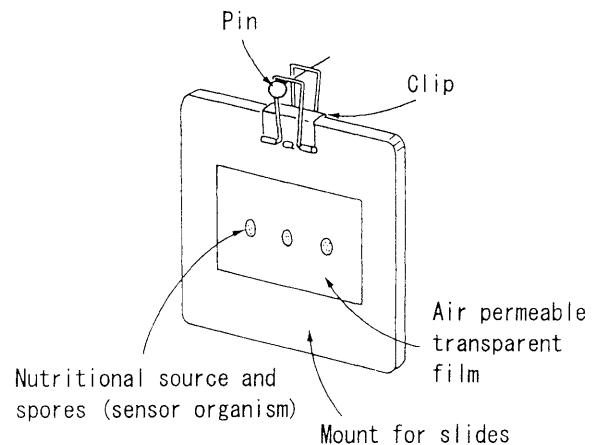


Fig.1. Fungus detector for room environment.

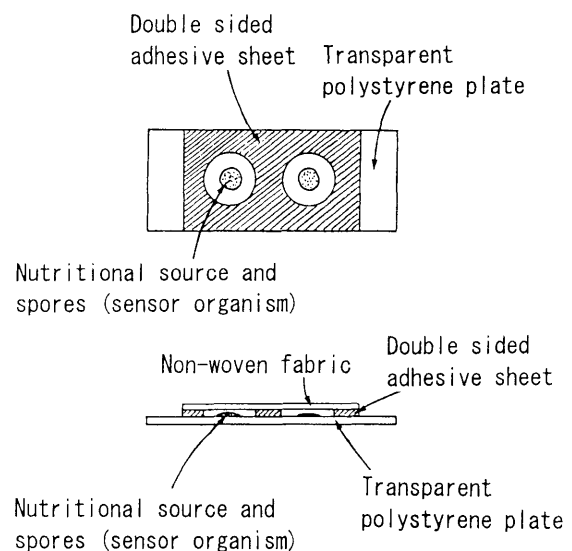


Fig.2. Fungus detector for wet environment.

両面テープまでの距離が 2 mm となり、測定できる菌糸長の上限が 2 mm で、室内用カビセンサーよりも計測可能範囲は狭い。

#### 2.1.4 カビ指数の計測

調査箇所にカビセンサーを設置し、一定期間 (24 時間, 1 週間, 4 週間など) の環境曝露後に回収し、センサー菌を顕微鏡下で写真撮影した。胞子が発芽していれば菌糸長を測定した。測定には 2 株のセンサー菌のうち、高い環境応答を示した (同じ曝露期間でより長く菌糸が伸びた) ほうを採用した。測定した菌糸長を、まず標準曲線 (基準菌 J-183 の基準気候下における生長曲線) 上の何時間に相当するか調べ、次に 1 週間あたりの生長に換算した。定義から、1 週間あたりに換算して得られた値 (時間数) がカビ指数である。

例えば、環境曝露後、回収したカビセンサー中で 320 μm の菌糸が認められたとする。この菌糸長は、標準

曲線上で20時間の菌糸長に相当する。曝露期間が1週間の場合はカビ指数20である。曝露期間が4週間の場合は1週間あたりに換算するとカビ指数5になり、24時間の場合はカビ指数140になる。

センサー菌の生長（環境応答）は、カビセンサーを設置した箇所の環境と曝露期間に依存した。カビ生長の速いすなわちカビが育ちやすい環境ほど短期間で菌糸は伸長し、カビ指数は高い値になった。カビ生長の遅い環境は、センサー菌の孢子発芽までの期間が長くなるので、曝露期間を長くすればカビ生長速度の遅い環境が検出できた。曝露期間が24時間でカビ指数50以上、5日間で10以上、1週間で7以上、1ヶ月で1.6以上が検出できた。

温度25℃における湿室内の環境では、耐水性カビセンサーを用いて測定したカビ指数の値とプラスチック板に孢子を付着させた調査片（不織布と両面テープ無し）を用いて測定したカビ指数の値は同じで、不織布の存在はカビ指数値に影響しなかった。室内用カビセンサーで測定したカビ指数値は、曝露期間24時間では耐水性カビセンサーを用いた場合より低くなったが、曝露期間1週間以上では違いが認められなかった。曝露期間が1週間未満の調査は耐水性カビセンサーを、1週間以上の調査は室内用カビセンサーを用いてカビ指数を測定した。

## 2.2 カビの分離同定

カビ分離用培地として、DG18 および PDA 寒天平板培地<sup>10)</sup>を用いた。DG18 培地はグリセリンを18%（重量パーセント）含む好乾菌用の培地で、好乾性カビの他に中湿性カビおよび好湿性カビの一部が生育する。PDA 培地は一般的に用いられる真菌用の培地で、好湿性カビと中湿性カビが生育するが好乾性カビは生育しない。

カビ分離用培地に生育したコロニーを釣菌し、新しい平板培地に画線、培養、釣菌を繰り返して菌株を単離した。単離した菌株は斜面培地で保存した。

同定のため、各菌株を5種類の寒天平板培地（DG18, M40Y<sup>10)</sup>, PDA, CZA<sup>10)</sup> および64%蔗糖含有MA<sup>11)</sup>）上に接種し、生育したコロニーの色、形態および大きさを観察した。さらに、PDA または M40Y 培地でスライドカルチャー<sup>12)</sup>し、3日～3週間培養後、孢子形態を観察した。好乾性カビは種まで、その他は属まで同定した。

## 2.3 使用エアコンおよびエアコン設置室

本調査では、実験に使用した各エアコンを区別するため、エアコンA、B、エアコン1～6、およびエアコンN1～N4の記号番号を付けた。

エアコンAおよびBは家庭用エアコン（ルームエアコン）で、それぞれ温湿度を調節した室AおよびBに設置し、夏期の気候下で冷房運転した。

エアコン1～3および6は家庭用エアコンで、それぞれ同一住宅内の4室に置き、夏期の冷房に用いた。エアコン1および6の使用頻度が最も高く7～8月は毎日使用し、エアコン2および3は暑い日の夕方のみ使用した。エアコン4は天井埋込み型のカセットエアコンで、5～10月に研究室で昼夜連続の冷房使用した。

エアコン5は3階建てのビルで使用したエアコンで、エアコン本体と吸込口、吹出口が離れた場所にある、外気と再循環空気が室内に給気されるタイプのエアコンであった。他のエアコンは全て、再循環空気が室内に給気されるエアコンであった。

エアコンN1～N4は、未使用の家庭用エアコンであった。

## 2.4 カビ指数の実施調査

### 2.4.1 エアコン内部のカビ指数調査（人工気候室における調査）

エアコン内部のカビ指数調査には耐水性カビセンサーを用いた。

エアコンAを室Aに設置し、8時間冷房16時間停止の24時間サイクルで5日間運転した。室Aは、エアコン稼働時のみ暖房と加湿により温度25℃で相対湿度60%を保った。カビセンサーの設置期間（環境曝露期間）は5日間で、調査箇所は、ドレンパン底面、熱交換フィン、内部背面、吹出口内側および室内中央とした。

エアコンBを室Bに設置し、12時間冷房12時間停止の24時間サイクルで5日間運転した。室Bは人工気候室内に設置した建物内で、人工気候室は5:00に最低温度24℃で最高相対湿度89%、14:00に最高温度32℃で最低相対湿度51%を示すなだらかな曲線を描く、温度および相対湿度の日周変動パターンにした。カビセンサーの曝露期間は24時間および5日間の2段階で、正確に測定できた（センサー菌の菌糸長が計測可能範囲に入っている）値を採用した。調査箇所は、吸込口外側のグリル、吸込口のフィルター、ドレンパン

の浸水しない部分、ドレンパン底面、ドレンパン底面に貼られたポリスチレンとウレタンインシュレーション、熱交換フィン、送風ファン、内部背面、吹出口外側および室内中央とした。

#### 2.4.2 エアコン吸込口、吹出口および室内のカビ指数調査（建物室内における調査）

建物室内でのカビ指数調査は室内用カビセンサーを用いた。

1994年6～10月に、鎌倉市の戸建て住宅の1室で1週間毎にカビ指数を調査した。エアコン1が、調査室の南側壁面の上部に設置してあった。カビ指数の調査箇所は、エアコン1の吸込口と吹出口、エアコン設置室の南側および北側壁面の上下、エアコンを設置していない廊下の上下、および戸外（駐車場の軒下）とした。

1995年8月23日から、エアコン1の吸込口グリル上のカビ指数を調べた。カビセンサーの設置位置は吸込グリル上で、吹出口の縁から8, 12, 16, 20および24cm離れた位置の5箇所で、曝露期間は4週間とした。

1995年7～9月に、エアコン1～5（機種およびメーカーは異なる）それぞれを入れた室内でカビ指数を調査した。カビセンサーの設置位置は各エアコンの吸込口中央、吹出口中央およびエアコン横の壁面（約30cm離れた場所で、エアコンから吹き出される風は当たらない）で、曝露期間は1ヶ月とした。

### 2.5 エアコン汚染カビの実態調査

#### 2.5.1 エアコン通過空気中に含まれるカビ

1997年11月初旬（冷房終了後約1ヶ月経過）に、エアコン2および6を住宅室内から取り外して研究所に持ち帰り、汚染カビを調査した。エアコン2および6は、同一住宅でそれぞれ4年間および2年間使用したエアコンであった。

エアコンから吹き出されるカビ（エアコン通過空気に含まれるカビ）は、エアコン2および6と、比較のため新しいエアコン4台（エアコンN1～N4）で調査した。エアコンをアクリルの箱（1m×1m×2m）に入れ、エアコンから吹き出す空気を10分間（エアコン稼働開始後0～10min, 10～20min, および20～30min）2枚のDG18寒天平板培地に当てた。空気の流れは平板培地中央で、風速2～3 m/secにした。空気を当てた平板培地は25℃のインキュベーターで7日間培養し、生育したコロニー数をカウント後、菌株を

分離同定した。

#### 2.5.2 エアコン内部に付着するカビ

エアコン内部に付着するカビは、エアコン通過空気に含まれるカビをサンプリング後にエアコン2および6を解体し、滅菌した竹串でエアコン各部を3cmの長さで掻き取り（フィルターは竹串を差込んで）、DG18およびPDA寒天平板上に画線し、分離同定した。調査箇所は、フィルター、ドレンパン、熱交換フィン、送風ファンおよび内部背面で、各箇所につき3回サンプリングした。

他の住宅で使用していたエアコン2台でも同様に、内部に付着するカビを調査した。

### 3 結果

#### 3.1 エアコン内部のカビ指数

Table 1に、夏期条件の人工気候室に設置したエアコン内部のカビ指数を示す。カビ指数80以上は曝露期間24時間で、80未満は曝露期間5日間で得られた値である。エアコンAは3回の平均値、エアコンBは1回の調査である。エアコンBでは吸込口はカビ指数15、フィルターはカビ指数64で、何れの箇所もS-78よりもJ-183の生長が速く、好乾性カビが育ちやすい環境になった。エアコン内部は、結露に近い部分ほどカビ指数は高く好湿性カビの育ちやすい環境、室内に近い部分ほどカビ指数は低く好乾性カビの育ちやすい環境となった。ドレンパンの浸水しない部分（吸込口フィルターに近い側）のカビ指数は80で、S-78とJ-183は同程度に生長し、好湿性カビも好乾性カビも育ちやすい環境であった。ドレンパンで結露の付着する部分、熱交換フィンおよび送風ファンは、カビ指数120を超える環境でS-78の生長速度が高くJ-183は高湿度のため生長が抑制され、好湿性カビが最も生長しやすい環境であった。エアコンAのドレンパンと熱交換フィンも同様に高いカビ指数を示した。エアコンAの内部背面はカビ指数80以上、エアコンBはカビ指数100で、何れも好湿性カビの育ちやすい環境であった。停止時にエアコン内側に入るエアコンAの吹出口はカビ指数49、停止時に室内側になるエアコンBの吹出口はカビ指数15で、何れも好乾性カビの育ちやすい環境であった。

#### 3.2 エアコン吸込口、吹出口および住宅のカビ指数

Table 2に、1994年6月から10月の、1週間毎に調査したエアコン1の吸込口と吹出口、エアコン設置室

Table 1. Fungal index in air conditioners

| Survey site |                   |                                     | Fungal index               |       |
|-------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------|
| Room A      | Air conditioner A | Drain pan (Bottom, dipped in water) | >80 ■                      |       |
|             |                   | Heat exchange fin                   | >80 ■                      |       |
|             |                   | Inner back side                     | >80 ■                      |       |
|             |                   | Outlet (inside of air conditioner)  | 49 ○                       |       |
|             | Center of room A  |                                     | 11 ○                       |       |
| Room B      | Air conditioner B | Inlet grill                         |                            | 15 ○  |
|             |                   | Filter                              |                            | 64 ○  |
|             |                   | Drain pan                           | Brim, not dipped in water  | 80 ○■ |
|             |                   |                                     | Bottom, dipped in water    | 120 ■ |
|             |                   |                                     | Expanded polystyrene       | 150 ■ |
|             |                   |                                     | Urethane rubber insulation | 170 ■ |
|             |                   | Heat exchange fin                   |                            | 120 ■ |
|             |                   | Fan                                 |                            | 120 ■ |
|             |                   | Inner back side                     |                            | 100 ■ |
|             |                   | Outlet(outside of air conditioner)  |                            | 15 ○  |
|             | Center of room B  |                                     | 12 ○                       |       |

Exposure period of fungus detectors was 5 days in air conditioner A, and 5 days or 24 hours in air conditioner B. The upper and lower limits for detection of the fungal index at 5 days of exposure were 80 and 10, respectively.

○ : Fungal index measured by J-183. The growth rate of J-183 was more rapid than S-78.

■ : Fungal index measured by S-78. The growth rate of S-78 was more rapid than J-183.

Table 2. Fungal Index at the outlet, inlet and in the room (1994)

| Beginning<br>of survey | Air conditioned room |        |       |       |       |       | Corridor |       | Out-<br>doors |
|------------------------|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|---------------|
|                        | Conditioner          |        | South |       | North |       | upper    | Lower |               |
|                        | Inlet                | Outlet | Upper | Lower | Upper | Lower |          |       |               |
| 6/ 1                   | —                    | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —             |
| 8                      | —                    | 14     | —     | 9     | —     | 8     | —        | 7     | 27            |
| 15                     | —                    | 15     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 13            |
| 22                     | —                    | 19     | —     | 8     | —     | 8     | —        | 8     | 15            |
| 29                     | —                    | 15     | —     | —     | —     | —     | —        | 7     | 16            |
| 7/ 6                   | 8                    | 30     | —     | 9     | —     | 8     | —        | 14    | 21            |
| 13                     | —                    | 24     | —     | —     | —     | —     | —        | 12    | 19            |
| 20                     | —                    | 20     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 13            |
| 27                     | —                    | 31     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 15            |
| 8/ 3                   | —                    | 19     | —     | —     | —     | —     | —        | 9     | 16            |
| 10                     | —                    | 26■    | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 8             |
| 17                     | —                    | 32■    | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 14            |
| 24                     | —                    | 51■    | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 16            |
| 31                     | —                    | 32■    | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —             |
| 9/ 7                   | —                    | 27     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 14            |
| 14                     | —                    | 29     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 23            |
| 21                     | 8                    | 22     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | 24            |
| 28                     | —                    | 10     | —     | —     | —     | 8     | —        | 7     | 19            |
| 10/ 5                  | —                    | 8      | —     | —     | —     | —     | —        | 9     | 13            |
| 12                     | —                    | 13     | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —             |
| 19                     | —                    |        | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —             |
| 26                     | —                    | —      | —     | —     | —     | —     | —        | —     | —             |

— : Negative fungal index, no germination after 7 days of exposure.

■ : Fungal index measured by S-78. The growth rate of S-78 was more rapid than J-183.

内、エアコンの無い廊下および外気のカビ指数（環境曝露期間：7日間）を示す。外気のカビ指数は梅雨に入ると高くなり、8月にやや低下し、9月に再び高い値を示した。エアコンを使用していない廊下は、カビ指数の検出される頻度が室内の2倍あった。梅雨の初めと秋の断続的に冷房する時期（湿度は高いが、温度は常時冷房を必要とするほど高くない）には、エアコンを使用している室内の下部でカビ指数が検出された。真夏の毎日冷房する時期には室内でカビ指数は検出されなかった。エアコン横の壁面（室内の上部）は常にカビ指数が検出限界値未満を示し、カビの発生しにくい環境であった。吹出口では冷房開始と同時にカビ指数が検出されるようになり、19週間連続で検出された。吸込口でもカビ指数が検出された。吹出口以外でカビ指数が検出された調査箇所はすべて好乾性カビの育ちやすい環境であった。吹出口では8月10日から4週間は、S-78のほうがJ-183より速く生長したが、それ以外の期間はJ-183のほうが速く生長し、吹出口は好湿性カビよりも好乾性カビほうがやや育ちやすい環境であった。

Fig.3 に、エアコン1の冷房使用時の吹出口に設置したカビセンサー中のセンサー菌J-183の生長状態を示す。環境曝露期間1週間（Fig.3 A）と1ヶ月間（Fig.3 B）を比較すると、1ヶ月間の菌糸がはるかに長く伸びていた。7～9の各月は、エアコン1の吹出口でセンサー菌の菌糸長が有効計測上限値3.3mmを超えた。（菌糸が長くなるとバラツキが大きくなるため、菌糸長の計測上限値を3.3mmとした。）

Table 3 に、エアコン1の吸込口のカビ指数分布を示す。吹出口から8 cm離れた位置の吸込口グリル上のカビ指数が4.0と最も高く、吹出口から遠い位置ほどカビ指数は低い値を示した。吹出口から24cm離れた位置

では4週間の環境曝露後もセンサー菌の胞子発芽は認められなかった。カビ指数の検出された箇所は全てJ-183のみ発芽し、吸込口は好乾性カビだけが生長する環境になった。

Table 4 に、5台のエアコンで調査した7、8および9月の各月の、吸込口と吹出口のカビ指数を示す。7月と8月は何れのエアコンでも吹出口でカビ指数が検出された。吹出口のカビ指数は、エアコン1が他の4台より高い値を示した。吸込口のカビ指数は、エアコン1～3では検出されたが、4および5では検出されなかった。室内（エアコンから30cm離れた壁面、エアコンから吹き出される風が直接当たらないところ）は、何れの室内でもカビ指数は検出されなかった。カビ指数の検出された調査箇所はほとんどの箇所で、好乾性カビのほうが育ちやすい環境になっていた。エアコン1吹出口の8月はカビ指数20以上で、S-78をセン

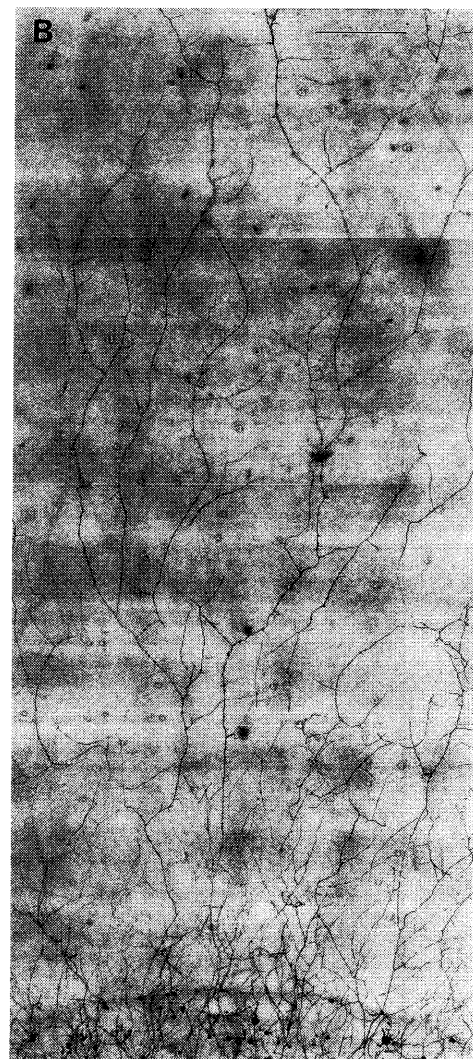
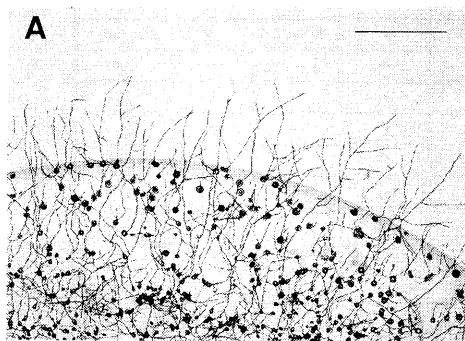


Fig.3. Growth of the sensor organism J-183 at the outlet of an air conditioner 1. A: Fungal index 20, 1-week exposure from July 20, 1994. B: Fungal index >20 (over detectable upper limit), 1 month exposure from July 1, 1994. Bar: 300  $\mu$ m.

サー菌として測定した値である。J-183 をセンサー菌として測定するとカビ指数 18.1 になり、好湿性カビのほうで育ちやすい環境であった。

### 3.3 エアコン通過空気に含まれるカビ

Table 5 に、エアコン 2, 6 (住宅で使用していたエアコン) および新しいエアコン 4 台から吹き出された空気中に含まれていたカビを示す。2 枚の DG18 平板上に生育したカビコロニー数は、稼働開始後 0 ~ 10 分, 10 ~ 20 分および 20 ~ 30 分それぞれ、エアコン 2 は, 169, 8 および 6 個, エアコン 6 は, 184, 24 および 10 個で、住宅で使用していたエアコンは、稼働開始から 10 分間に吹き出された空気中に多量の胞子が含まれていた。分離されたカビは、95% 以上がクラドスポリウムであった。

Table 3. Fungal index on the inlet grill Distance from outlet edge (cm)

| Distance from outlet edge (cm) | Fungal index |
|--------------------------------|--------------|
| 8                              | 4.0          |
| 12                             | 3.9          |
| 16                             | 3.1          |
| 20                             | 2.3          |
| 24                             | —            |

— : No germination after 28 days of exposure.

4 台の新しいエアコンでは、稼働開始後 0 ~ 10 分の空気を当てた 8 枚の平板培地でコロニーが 2 個, 10 ~ 20 分は 8 枚の平板培地でコロニーが 1 個分離された。

### 3.4 エアコン内部に付着するカビ

エアコン 2 および 6 の内部では、黒いカビのコロニーが肉眼で観察された。送風ファン (空気が直接当たる部分) および背面 (下部の曲面) は特に黒くなっていた。冷却フィンとフィルターでは、カビのコロニーは認められなかった。吹出口にも黒いコロニーが認められたが、エアコンの外側および室内ではコロニーが認められなかった。

ドレンパン、送風ファンおよび内部背面から分離された菌は、DG18 でも PDA 培地でもクラドスポリウム (*Cladosporium* spp.) がほとんどで、何れのエアコンでもその分離頻度は 99% 以上あった。フィルター部分から、アスペルギルス・レスツリクタス (*Aspergillus restrictus* group), ペニシリウム (*Penicillium* spp.) およびクラドスポリウムが分離されたが、分離頻度は同一のフィルターでもサンプリングごとに異なった。エアコン 2 の熱交換フィンから、DG18 培地に生育するカビは分離されなかったが、PDA 培地で酵母と細菌が分離された。エアコン 6 の熱交換フィンからクラドスポリウムが分離された。

Table 4 Fungal indices at the outlets, inlets and the rooms (1995)

| Air conditioner | Survey site |      |       |        |       |       |                      |      |       |
|-----------------|-------------|------|-------|--------|-------|-------|----------------------|------|-------|
|                 | Inlet       |      |       | Outlet |       |       | Air conditioned room |      |       |
|                 | Jul.        | Aug. | Sept. | Jul.   | Aug.  | Sept. | Jul.                 | Aug. | Sept. |
| 1               | 6.1         | 2.3  | 2.4   | > 20   | > 20■ | > 20  | —                    | —    | —     |
| 2               | 5.3         | 3.8  | 2.7   | 4.0    | 2.8   | 1.6   | —                    | —    | —     |
| 3               | 3.3         | —    | —     | 3.6    | 7.8   | 4.0   | —                    | —    | —     |
| 4               | —           | —    | —     | 5.1    | 3.4   | 1.6   | —                    | —    | —     |
| 5               | —           | —    | —     | 3.2    | 2.2   | —     | —                    | —    | —     |

— : No germination after 1 month of exposure.

■ : Fungal index measured by S-78. The growth rate of S-78 was more rapid than J-183.

Table 5. Fungi contaminating the air from air conditioners

| Air conditioner |     | Number of colonies detected on 2 agar plates |            |            |
|-----------------|-----|----------------------------------------------|------------|------------|
|                 |     | 0~10 min.                                    | 10~20 min. | 20~30 min. |
| Used            | 2   | 169                                          | 8          | 6          |
|                 | 6   | 184                                          | 24         | 10         |
| New             | N 1 | 0                                            | 1          | ND         |
|                 | N 2 | 0                                            | 0          | ND         |
|                 | N 3 | 2                                            | 0          | ND         |
|                 | N 4 | 0                                            | 0          | ND         |

ND : Not detected

別の2台の家庭用エアコンを汚染するカビを調査したが、何れもクラドスポリウムが多数分離され（分離頻度は測定していない）住宅で使用していたエアコン内部はすべてクラドスポリウムが寡占種となっていた。

#### 4 考 察

今までのエアコンのカビ汚染についての報告は、エアコンを汚染したカビについて、すなわちエアコン内部環境の結果であり、原因である環境そのものを定量的に評価する方法はなかった。本報で、冷房時のエアコン各部のカビ発育環境をカビ指数により定量化し、カビ汚染の可能性を示すことができた。さらに、環境のセンサーとして好乾性カビ J-183 と好湿性カビ S-78 の両方を使うことにより、調査環境で育つカビの特性を推定することができた。

冷房時のエアコン内部は、カビ指数 80 以上の高い値がセンサー菌 S-78 で検出され（Table 1）、エアコン内部は好湿性カビが育ちやすい環境であることが明らかになった。この高さのカビ指数は、曝露期間 24 時間で測定できる値で、カビの胞子は 1 日で発芽し菌糸伸長速度も高くカビの生長しやすい環境である。実際に住宅で使用したエアコン内部は、目に見えるほどカビ汚染されており、カビ指数値から予想される環境はカビ汚染と矛盾しなかった。

ドレンパン、熱交換フィンなど、常に結露水のある環境はカビ指数が 120 を超える高い値を示したが、この値は土壌中のカビ指数（未発表）に近く、カビ以外の微生物も育ちやすい環境と思われる。エアコン 1 の熱交換フィンからは、DG18 培地には生育せず PDA 培地に生育する菌のみが分離され、より水分の多い環境で育つ種類の微生物が付着していたことが明らかである。熱交換フィンは細菌も育つ環境と思われる。

熱交換フィンと送風ファンのカビ指数を比べると、いずれも高い値で差は認められないが、肉眼で見える汚染の程度は送風ファンが遙かに進んでいた。熱交換フィンでは付着した結露がドレンパンに流れ落ち、有機物のゴミなども洗い流されるが、送風ファンは洗い流されることがないので、一旦付着した栄養分が減少しない。栄養状態の違いがカビ汚染に影響したと思われる。古いエアコンのほうがかビ汚染の程度が高いことが知られているが、これも栄養状態が大きく影響すると思われる。一般家庭ではエアコンを解体して内部を洗浄することができないので、年を追うごとにカビ

の栄養源が内部に蓄積するはずである。

吹出口は、人工気候室の調査（Table 1）では好湿性カビよりも好乾性カビの育ちやすい環境になっていたが、実際の住宅（Table 2, 4）でも、エアコン 1 の 8 月以外は好乾性カビのほうがか育ちやすい環境であった。エアコン 1 の 8 月は冷房使用時間が他の月より長く、使い方が吹出口環境に影響したと思われる。

吹出口ではカビセンサー設置期間が長いほどセンサー菌の菌糸は長く（Fig.3）、吹出口のカビ指数は冷房期間中に連続で検出された（Table 1）。吹出口は内部環境の影響下にあり、冷房期間中のエアコンでは内部も吹出口もカビ生長可能な環境が持続し、カビの生長が途切れないことが明かである。カビの生長できる環境が長期間続けば、菌糸上に新しい胞子が着生する。その胞子が周囲に飛散すると再び発芽生長し、カビの生活史が繰り返される。夏の始めよりも、長期間生長可能環境が続いた後、夏の終わり近くあるいは秋のほうがかビの絶対量が増え胞子数が多くなる可能性が考えられる。

吸込口グリル上のカビ指数は、吹出口に近いほど高い値で（Table 3）、吹出口に近いほどカビがか育ち易い環境になっていた。吹出口から出てきた冷風が吸込口から内部に吸い込まれ、風の流れがショートサーキットしている可能性が考えられる。冷房時のフィルターのカビ汚染はメーカーにより汚染程度が違うという報告があり<sup>5)</sup>、吹出口や吸込口の位置や構造には検討の余地があるものと思われる。

1 ヶ月の曝露期間でカビ指数が検出されなかった室内は（Table 4）、築 8 ～ 10 年後も目に見えるカビ汚染は全く認められず、曝露期間 1 ヶ月で検出できないほどカビ指数が低い環境は、カビの育ちにくい環境でカビ汚染されないと思われる。通常の住宅室内では、カビ汚染されやすい環境（築 3 年以内にカビが肉眼で見える）でも夏期のカビ指数は 20 ～ 40 付近で、浴室などで 1 年以内にカビ汚染が観察される環境でも、夏期のカビ指数は 40 ～ 80 付近である<sup>7)</sup>。住宅の環境に比べるとエアコン内部は著しく高いカビ指数で、エアコン内部がカビ汚染されやすいことが明白である。

エアコン各部はその環境に応じてそこに育つカビの種類が異なっていた。クラドスポリウムは中～好湿性のカビで、生育には相対湿度 80% 以上が必要である。アスペルギルス・レスツリクタスは好乾性カビで、相対湿度 100% 付近では生長できず、相対湿度 68 ～ 95% で生長する。S-78 の生長のほうがか速く好湿性カビがか育

つと予想されるエアコン内部ではクラドスポリウムが寡占種となり、J-183の生長のほうが速く好乾性カビが育つと予想されるフィルターからはアスペルギルス・レストリクタスとペニシリウムが多く分離され、センサー菌の生長速度の違いから推定される環境と、実際のエアコン各部汚染カビのミクロフローラには相関性が認められた。

クラドスポリウムは戸外の空中浮遊菌として最も数の多いカビで、室内ではクラドスポリウム、ペニシリウムおよびアスペルギルス・レストリクタスが多い<sup>3,11,13)</sup>。周囲の環境中に多く存在するカビの中から、生育条件がエアコン各部それぞれの環境に最も適したカビが生長すると推察される。

住宅で使用したエアコンから吹き出される空気中には多量のカビが含まれたが、新しいエアコンから吹き出された空気中にはほとんど検出されなかった (Table 5)。そしてエアコン内部に付着するカビはクラドスポリウムが寡占種であり、エアコンから吹き出された空気中にはクラドスポリウムが高頻度で検出された。これらのことは、住宅で使用したエアコン内部でクラドスポリウムが増殖し、その胞子が内部を通過する空気に載って室内に散布されていたことを示している。他のエアコンでも冷房期間は内部がカビの育ちやすい環境を保ち、使用期間が長くなると内部でカビが増殖し、その胞子が室内に放出されると思われる。

クラドスポリウム、アスペルギルス、ペニシリウムがエアコン汚染カビとして分離されたが、これらのカビはアレルゲンになることが知られている<sup>1, 3)</sup>。カビ胞子が空気中にどれくらいの濃度になるとアレルギー性疾患が誘引されるかについては明らかではないが、多量に吸入することは健康上好ましいことではない。冷房期間中のエアコンは乾燥、洗浄その他の物理的な方法によるカビ防止対策が必要と思われる。

カビの胞子は乾燥に対して耐性であるが、菌糸は乾燥により死滅する<sup>12)</sup>。エアコン内部のカビ生長は、送風乾燥あるいは加熱乾燥により抑制可能で、その効果の評価手法としてカビ指数は有効に利用できるであろう。

## 5 結 論

1. 冷房時のエアコン内部はカビの育ちやすい環境であることが、カビ指数の実施調査から予想され、実際に住宅で使用したエアコン内部はカビ汚染され

ていた。カビ指数の高さとカビ汚染程度には正の相関性が認められ、カビ指数調査によりカビ汚染可能性が予測できる。

2. エアコン内部は好湿性カビの育ちやすい環境で、フィルターなど室内に近い部分は好乾性カビの育ちやすい環境であることが、センサー菌の生長速度の違いから推定された。住宅で使用したエアコン内部から好湿性カビが、フィルターから好乾性カビが分離され、予想と実際の結果は一致した。好湿性カビと好乾性カビの両方をセンサー菌として用いることにより、調査環境で育つカビの特性を推定できる。
3. 冷房時のエアコン内部はカビの生長しやすい環境であるため、内部でカビが増殖し、そのカビの着生する胞子がエアコン内部を通過する空気に載って室内に放出されることが明らかになった。エアコンは室内空気の汚染源になるので、カビ抑制対策が必要である。

## 参考文献

- 1) 秋山一男：真菌アレルギーと喘息。アレルギーの臨床, **17**:499-503(1997)
- 2) 坂本龍雄, 他：Aspergillus restrictus のアレルゲンとしての意義に関する研究。アレルギー, **39**:1388-1396(1990)
- 3) 田中健治, 鳥井新平訳 (Y. アル・ドーリー, J. F. ダムソン編著)：カビアレルギー。学会出版センター (1988)
- 4) Yang, C. S.: Fungal Colonization of HVAC Fiberglass Air-Duct Liner in the USA. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '96 **3**:173-177(1996)
- 5) 濱田信夫, 山田明夫男：エアコンのカビ汚染。防菌防黴, **21**:385-389(1993)
- 6) Abe, K.: A Method for Numerical Characterization of Indoor Climates by a Biosensor using a Xerophilic Fungus. Indoor air, **3**:344-348(1993)
- 7) Abe, K. et al: Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index. Applied and Environmental Microbiology, **62** : 959-963 (1996)
- 8) 阿部恵子：好乾性カビをバイオセンサーとする室内環境評価法。防菌防黴, **21** : 557-565 (1993)
- 9) ASTM E, 104-85
- 10) 春田三佐夫他編：目で見える食品衛生検査法。中央法規出版 (1989)
- 11) 森永清樹訳 (ヨハンナ・バン・ブロンスウィック著)：ハウスダストの生物学。西村書店 (1990)
- 12) 高島浩介編：真菌検査法と汚染防止対策 テクノシステム (1988)

- 13) Takahashi, T.: Airborne Fungal Colony - Forming Units in Outdoor and Indoor Environments in Yokohama, Japan. *Mycopathologia* **139**:23-33(1997)
- 14) Abe, K.: Effects of Reducing Relative Humidity on Fungal Viability. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate-Indoor Air '96 **3**:203-207(1996)