

## 【原著論文】

## 今日のエアコンにおける好温性カビの汚染状況

浜田 信夫<sup>1\*</sup>, 阿部仁一郎<sup>2</sup>

## Contamination of Air Conditioners by Thermophilic Fungi

Nobuo HAMADA<sup>1\*</sup>, Niichiro ABE<sup>2</sup><sup>1</sup>Osaka Museum of Natural History, 1-23 Nagai Park, Higashi-Sumiyoshi, Osaka 546-0034, Japan<sup>2</sup>Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences, 8-34 Tojo-cho, Ten-noji, Osaka 543-0026, Japan

Fungal contamination in air conditioners (ACs) in homes was studied in the autumn of 2015. Fungi collected from the dust accumulated on the filters of 122 ACs were examined. All collected dust samples were cultured, respectively, at 25°C and at 40°C. Colony numbers of fungi from dust when cultured at 25°C were larger by about 100 times than when cultured at 40°C. At 25°C, *Cladosporium* and *Toxicocladosporium* were predominant among the fungi in the AC filter dust. At 40°C, *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. terreus*, *Rhizomucor*, and *Rhizopus*, which are known as thermophilic and opportunistic pathogens, were detected. A major pathogen in filter dust, *A. fumigatus*, was found in about 16% of ACs examined. The distribution of fungi in 8 parts of 12 ACs was examined using the swabbing method. Hydrophilic fungi, *Cladosporium* and *Toxicocladosporium*, were found abundantly on internal AC parts. Those numbers were largest at the fan and air outlet, when cultured at 25°C. Some thermophilic fungi were also found in all 8 parts of ACs that were examined. Those fungi are apparently common among AC internal parts. However, the thermophilic fungi were fewer by about 1/1000 than hydrophilic fungi in internal parts. Correlation of fungal numbers on filters and on AC internal parts was found. Results show that the humidity inside the ACs affects the fungal contamination of their various components. For the growth of thermophilic fungi, *A. fumigatus*, filter dust is apparently a more suitable environment than AC internal parts. (Accepted 24 March 2016)

**Key words** : Air conditioner (エアコン)/*Aspergillus fumigatus*/Dust (ホコリ)/Fungal contamination (カビ汚染)/Thermophilic fungi (好温性カビ).

## はじめに

ヒートアイランド現象で熱帯夜が多い今日では、エアコン (= air conditioner) は生活必需品である。とりわけ、高齢者の熱中症対策にとって、エアコンは有効な手段になっている。

しかし、エアコンは、冷房時にその内部が結露しやすく、カビ汚染の被害を受けることが多い。エアコンは使用時に風を送るため、内部がカビ汚染すると、室内の空气中にカビの胞子をまき散らすことになる。エアコンがカビ要因性のアレルギー疾患の原因になりうることを、著者は20年以上前に指摘した<sup>1, 2)</sup>。その後、エアコンのカビ汚染は一般に広く知られるようになり、日頃からフィルター部分に溜ったホコリの除去が行われるようになった。今日では、専門業者に依頼してエアコン内部の掃除サービスをしてもらう世帯も多い。

家庭用のエアコンは調査した20年以上前とはその構造や機能が大きく変化した。省エネ化や部屋全体を冷やすための気流の工夫、さらにUVやAg<sup>+</sup>などによる除

菌機能やお掃除機能などの様々な機能が加えられた。本報では、以前のデータと比較しながら、今日のエアコンのカビ汚染の実態を明らかにすることを試みた。

エアコンでカビ汚染の多い個所はフィルターの部分だけではない。送風ファンや、熱交換器など、ユーザーの手の届きにくい内部にカビ汚染が見られることが多い。著者らは、送風ファンの表面に大量の *Alternaria* が生育している例を報告したが<sup>3)</sup>、内部の各部分によってカビ汚染の特徴も異なると考えられる。しかし、エアコンを分解して内部の汚染調査を行うのは難しく、これまでエアコン内部について調べられたことはなかった。本報では、内部についてもカビ汚染の状況を調査し、フィルターのカビ汚染との関係を明らかにした。

以前、著者らは浴室など温水を用いる環境は、体内でしばしば生育するカビが見つかるかも知れないと考えた。真菌症の原因となるカビについて、浴室やシンクの調査を行った<sup>4)</sup>。そして、それらから、40°Cでもよく育ち、日和見感染症の原因菌である *Exophiala dermatitidis* がしばしば検出された。さらに、60°C以上の熱水を使用す

<sup>1</sup>大阪市立自然史博物館 〒546-0034 大阪市東住吉区長居公園1-23 ☎06-6697-6221<sup>2</sup>大阪市立環境科学研究所 〒543-0026 大阪市天王寺区東上町8-34 ☎06-6771-8331

2187-431X/2016/0810-0395 \$02.00/0© 2016 Soc. Antibact. Antifung. Agents, Jpn

る食器洗浄機（食洗機）の内部からも、*E. dermatitidis* とともに、*A. fumigatus* なども検出された<sup>5)</sup>。少なくとも、住宅の水周りには、これらの好温性カビが生育していることが分かってきた。

病原性のある好温性カビは水周りだけでなく、室内塵などの室内環境からしばしば検出される<sup>6)</sup>。さらに、好温性カビは、地球環境の温暖化に伴って、室内環境中でも増加する可能性があると考えられる。ゆえに、室内環境中での好温性カビの動態を明らかにするのは、将来にわたって、私たちが健康な毎日を過ごすために重要である。一方、人に日和見感染を起こさせる好温性真菌である *A. fumigatus* が、エアコンの空気の吹き出し口に多いと言われている<sup>7)</sup>。しかし、その実態については明らかになっていない。

本報では、エアコンのフィルターのホコリの調査と共に、本体のいくつかの汚染しやすい個所のふき取り調査を行った。エアコンにおけるカビの菌数や真菌相について、以前の調査データと比較した。なお、好温性のカビを分離するために40℃でも培養を試み、25℃で培養して検出される一般カビとの比較を行った。

## 調査及び実験方法

### 1. エアコンフィルターのカビ調査

大阪府及びその周辺などの一般住宅で、2015年9月15日-30日にサンプルの採取を行った。複数のエアコンのある住宅では、できるだけ2台のエアコンについて、フィルターのホコリを採取した。合計で157台のエアコンのフィルターについて試みた。ただ、ほとんどホコリの付着していないエアコンも多く、35台のエアコンでは調査に必要な量（10mg）のホコリを採取できなかったため、本報では、77世帯122台についてカビ汚染の実態調査を行った。

フィルターのホコリの採取は、本体からフィルターを取り出した後、広げた新聞紙の上で、フィルターに付着したホコリをサッシブラシでかき落とした。ホコリを落とす際は、ホコリが舞い上がらないようにゆっくり行った。紙上に落ちたホコリを一カ所に集め、ピンセットなどでつまんで、所定の密封できる透明のプラスチックの袋に入れて、カビの検査に供した。

採取したホコリのサンプルの各々は、冷蔵保存して7日以内にカビの培養検査を行った。サンプルを秤量し、その10-40mgについて真菌相を調べた。秤量したサンプルは20mlの滅菌水にミキサーでよく混ぜて懸濁させ、サンプルの原液を作った。さらに、その原液を10、100、1000倍に希釈したものをカビの検査に用いた。なお、40℃培養用には、原液と10倍希釈したものを、25℃培養用には、10、100、1000倍希釈したものをを用いた。合

計5つの懸濁液は、好湿性カビを多く含む一般カビと共に、好乾性カビも検出できる Dichloran Glycerol Agar (DG18培地)<sup>8)</sup> の入った2枚のシャーレに、各々0.5mlずつ接種した。インキュベーターで、25℃の温度条件の場合は8-10日間培養後、40℃の場合は5日間培養後、発生したコロニーを観察した。コロニー数をカウントするのに適した希釈倍率のシャーレを用いて、カビ数及びその菌相を測定した。

いずれのサンプルについても、25℃培養分と40℃培養分について測定してそのカビ数と真菌相を比較した。また、フィルター当りのカビ数ではなく<sup>1)</sup>、既報<sup>9)</sup>と同様に、フィルターのホコリ1mg当りのカビ数 (CFU) をカビ汚染の指標とした。これは、エアコンを掃除した後の期間によって、ホコリ量が大きくバラつくことを排除するためである。得られたカビ数は桁違いのバラツキが見られたので、対数に換算して平均および標準誤差を求めて、表で値を示した。分かり易いように、平均は常数でも示した。

サンプルの採取と共に、各エアコンの使用状況などについてアンケート調査を行った。また、使用時のカビ臭の有無や家族におけるアレルギー疾患の有無について調査を行った。

### 2. エアコンの各部分のカビ調査

エアコン本体の各部分のカビ汚染の実態を調べるために、2015年10月1日-15日の間に、7世帯12台のエアコンについて調査を行った。前述の9月のフィルターのカビ調査で、25℃の培養条件で、少なくとも1台のエアコンのカビ数が79.5/mg以上である比較的多い世帯のエアコンの真菌相を調べた。いずれのエアコンも、9月のフィルターのカビ調査以降使用していなかった。Table 6 に示した8カ所の表面をふき取り法でサンプル採取を行った。主な採取部分は、化粧カバー（#1）、フィルター部分（#2, 3）、熱交換器部分（#4-6）、送風ファン（#7）、吹き出し口（#8）だった。なお、内部の真菌相の特徴を明らかにするために、#4-#8の部分の各種類の平均カビ数を Table 8 に示した。

カビのふき取り調査には、ELMEX製の滅菌生理食塩水（10ml）入りふき取り検査キット Pro-mediaST-15を使用した<sup>10)</sup>。キットのふき取り綿棒で、前述の各部分を約25cm<sup>2</sup>（約5cm x 5cm）ずつ1度ゆっくりとふき取り、生理食塩水に浸してカビの検査に供した。採取したサンプルは冷蔵庫で保存し、3日以内に培養検査を行った。

カビの接種、培養および観察法は前述のフィルターのホコリと同様に行った。即ち、25℃と40℃の2種類の温度条件で培養を試みた。なお、25℃培養分では、希釈率が10、100、1000倍だけでなく、10,000倍のものも用

Table 1. Distribution of fungal numbers in the filter dust of air conditioners

Culture at 25°C		Culture at 40°C	
Fungal number (cfu/mg)	Sample #	Fungal number (cfu/mg)	Sample #
N.D.	15	N.D.	47
1-9.9	11	0.1-0.9	19
10-99	18	1.0-9.9	42
100-999	36	10-99	11
1,000-9,999	34	100-	3
10,000-	8		
Total number	122		122
Avg ± s.e. (log)	2.45 ± 0.09		0.42 ± 0.05
Average	284.1		2.62

Fungal number was calculated as cfu per mg of filter dust.  
Sample numbers in the table are counts of samples for each fungal number range.  
N.D means not detected.

いた。

検出されたカビ数は、ふき取りサンプル 1 cm<sup>2</sup>当りのコロニー形成数 (CFU) として示した。得られたカビ数は、対数に換算して平均及び標準誤差を求めて、表で値を示した。

### 3. カビの属および種の同定

カビの属を同定するため、培地上で胞子を形成していないものについては、必要に応じて Difco 製の PDA (ポテトブドウ糖寒天培地) の調製培地に接種して属の同定を試みた。PDA 斜面培地上で、約 2 週間単離培養し、検鏡によって属の同定を試みた。

また、必要に応じて、遺伝子解析による種の同定を試みた。各カビの種類を同定するために、ITS 領域を増幅する ITS1 と ITS4 のプライマーペア<sup>1)</sup> を用いて分離株の同領域を PCR 法で増幅し、EMBL-FASTA Nucleotide Similarity Search (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/sss/fasta/nucleotide.html>) によりシーケンスの相同性を比較した。また、*Aspergillus* 分離株の一部については、E1m と E2 のプライマーペアを用いて増幅される<sup>12)</sup>、ミトコンドリアチトクローム *b* 領域について相同性を検索した。分離株からの DNA 抽出は、DNeasy Blood & Tissue Kits (Qiagen 社製) を用いて行い、電気泳動後の PCR 産物の精製、シーケンス操作については既報に従った<sup>4)</sup>。

## 結 果

### 1. フィルターのホコリの真菌相

フィルターのホコリ中のカビ数には、サンプル毎に桁違いのバラツキが見られ、対数目盛に対して正規分布していた (Table 1)。25°C で培養した場合には、最高は 25,200/mg、最も多いのは 100-999/mg の 36 台、続いて 1,000-9,999/mg の 34 台であった。カビが検出できな

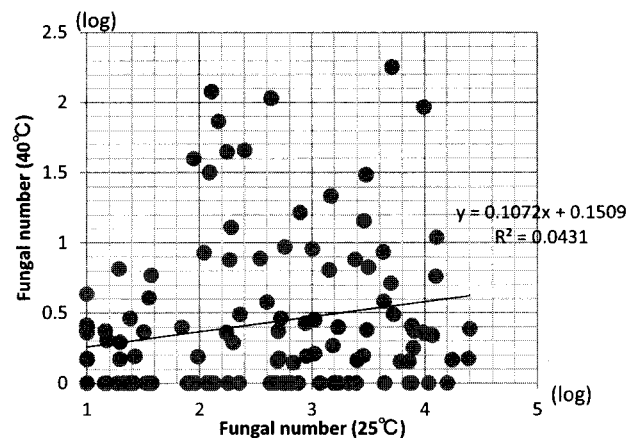


Fig.1. Relationship of fungi growing at 25°C and 40°C  
Fungal numbers detected in 122 samples of filter dust when cultured at different temperatures were plotted.

かったサンプルは 15 台であった。一方、40°C で培養した場合には、最高は 670/mg、最も多いのは 1.0-9.9/mg の 42 台だった。カビが検出できなかったサンプルは 47 台であった。

平均カビ数は、25°C の培養条件では 284.1/mg で、40°C の培養条件では 2.62/mg で、40°C のカビ数は、25°C の約 1/100 だった。

サンプルごとに 25°C 培養で検出されるカビ数と、40°C 培養で検出されるカビ数の関連を調べた (Fig.1)。R = 0.21、信頼限界  $P < 0.05$  で、両菌数間に相関が認められた。しかし、25°C で検出されるカビが多くても、40°C でカビが検出されない場合も多かった。温度特性の異なるカビの構成比はエアコンごとにかなり異なっていた。

フィルターのホコリ中に検出されたカビについて、各々の種類の平均カビ数を示した (Table 2)。25°C で培養した場合、*Cladosporium* が 37.9/mg と最も多く、続いて *Penicillium* が 35.5/mg、*Toxicocladosporium* が 35.5/mg であった。その他、*Aspergillus restrictus* 以外の *Aspergillus* も 32.3/mg と多く見つかった。なお、

*Toxicocladosporium* はあまり馴染みがないが、胞子の形が *Cladosporium* に似た成長の遅い暗色のカビである<sup>13)</sup>。

40℃で培養した場合、カビが検出されたのは約61%の75台であった (Table 3)。最も多く見られたのは *A. niger* で全体の約48%の58台から検出された。それに続いて、*A. fumigatus* が多く検出され、約16%の20台から検出された。それに、*Paecilomyces* が続いた。検出されたカビのうちで、病原性が知られているのは、*A. niger*, *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. terreus* と *Rhizomucor*, *Rhizopus* の6種類で、約57%の69台 (延べ89台) から検出された。

なお、形態的に *Toxicocladosporium*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. terreus*, *A. unguis*, *Paecilomyces*, *Rhizomucor* および *Rhizopus* と同定した分離株は、ITS またはミトコンドリアアトクローーム領域の相同性検索でも、当該菌種のそれらと95~100%の identity を認めた。

スイッチを入れた時にカビ臭のするエアコンは39台で、全体の約32%であった (Table 4)。カビ臭のする

Table 2. Fungal flora cultured at 25℃ in the filter dust of 122 air conditioners

Genus	Avg ± s.e. (log)	Average (cfu/mg)
<i>Alternaria</i>	1.01 ± 0.01	10.2
<i>Aspergillus</i>	1.51 ± 0.07	32.3
<i>A. restrictus</i>	1.28 ± 0.06	19.0
<i>Aureobasidium</i>	1.01 ± 0.01	10.2
<i>Cladosporium</i>	1.58 ± 0.08	37.9
<i>Paecilomyces</i>	1.03 ± 0.01	10.8
<i>Penicillium</i>	1.55 ± 0.07	35.5
<i>Toxicocladosporium</i>	1.55 ± 0.08	35.5
<i>Wallemia</i>	1.09 ± 0.04	12.3
Unknown	1.18 ± 0.05	15.1
Other	1.01 ± 0.01	10.2
Total	2.45 ± 0.09	284.1

*Aspergillus* denotes species other than *A. restrictus*.

エアコンは、しないエアコンに比して25℃でも40℃でも、カビ数は多かった。とりわけ、25℃では、カビ臭のするエアコンのカビ数は、しないエアコンに比して2倍以上で、有意の差が見られた。

アレルギー性気管支炎や喘息症状とカビ数との関係を調べた (Table 5)。それらの症状の人のいる (以前症状のあった場合を含む) 世帯のエアコンとしない世帯のエアコンでは、25℃培養のカビ数に差が見られた。即ち、症状のある人のいる場合の平均は512.9/mgで、いない場合の256.5/mgに比して、ほぼ2倍だった。なお、40℃培養で検出されたカビ数に差は見られなかった。

## 2. エアコン内部のカビ

エアコン本体の8カ所について (Table 6)、カビの分布を調べた。25℃で培養した場合、カビ数に部分ごとで桁違いの違いが見られた (Table 7)。化粧カバーやフィルター表面のカビ数は少なかった。例えば、フィルターの部分の上部が17.6/cm<sup>2</sup>で、下部が29.4/cm<sup>2</sup>だっ

Table 3. Thermophilic fungi in the filter dust of air conditioners (ACs)

Fungal flora	Number of AC
<i>Aspergillus</i> sp.	2
<i>A. flavus</i> *	4
<i>A. fumigatus</i> *	20
<i>A. niger</i> *	58
<i>A. terreus</i> *	3
<i>A. unguis</i>	2
<i>Rhizomucor</i> *	2
<i>Paecilomyces</i>	17
<i>Rhizopus</i> *	2
<i>Penicillium</i> sp.	1
Total number of ACs detected	111
Number of ACs detected	75
Number of ACs examined	122

Numbers of air conditioners in which each fungal species was detected when cultured at 40℃.

Asterisk denotes opportunistic pathogenic fungi.

Table 4. Relationship between fungal contamination and smell of mold during operation

	Culture at 25℃			Culture at 40℃	
	Sample #	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/mg)	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/mg)
Yes	39	2.73 ± 0.16	*533.2	0.48 ± 0.09	3.05
No	83	2.33 ± 0.11	211.4	0.38 ± 0.06	2.40

Fungal contamination was expressed as fungal number (cfu) per mg of filter dust.

Asterisk denotes a significantly elevated value.

Table 5. Relationship between fungal contamination and symptoms of allergic bronchitis and asthma

Symptoms	Culture at 25℃			Culture at 40℃	
	Sample #	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/mg)	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/mg)
Yes	18	2.71 ± 0.27	512.9	0.41 ± 0.12	2.6
No	104	2.41 ± 0.09	256.5	0.41 ± 0.04	2.6

These symptoms were newly or previously diagnosed.

Fungal contamination was expressed as the fungal number (cfu) per mg of filter dust.

た。なお、いずれのフィルターもホコリを採取した後、ほとんど使用していなかったため、フィルターへのホコリの付着はほとんど認められなかった。

一方、手の届きにくい内部で最もカビが多いのは、送風ファンで、25℃培養では3,365.5/cm<sup>2</sup>であった。続いて多いのは、吹き出し口の860.2/cm<sup>2</sup>。熱交換器では、天面の289.0/cm<sup>2</sup>が最も多く、上部は41.9/cm<sup>2</sup>、下部は139.4/cm<sup>2</sup>だった。熱交換器の場合、結露水が垂れてくる下部が上部より多いのは、フィルターの場合と同様だが、ホコリが溜まりやすい天面部分にもカビは多かった。

40℃で培養した場合に、最もカビが多かったのは、25℃と同様に、送風ファンの表面で3.65/cm<sup>2</sup>だった。なお、そのカビ数は、25℃培養に比べて、約1/1000であった。それ以外の部分についても少しずつのカビ汚染が見られ、各部分間のカビ数の違いは少なかった。

送風ファンや吹き出し口をルーペで観察すると、ホコリの蓄積が多いファンの羽根には、ホコりに混じったカビの菌糸が多く認められた。また、多くの暗色のカビのコロニーが、吹き出し口の表面などに斑点状に直接付着・生育していた (Fig.2)。

エアコン内部の真菌相は、25℃で培養すると、フィルターのホコリの真菌相とかなり異なる (Table 8)。最も多いのは *Toxicocladosporium* で、続いて *Cladosporium* が多いことは似ていたが、*Penicillium* や *Aspergillus* が非常に少なかった。例えば、フィルターのホコリでは、*Aspergillus* の個体数は *Toxicocladosporium* と近似し

Table 6. List of the parts of the air conditioner body examined by swab sampling

Part #	Sampling part
1	Back side of the body cover
2	Upper part of the filter
3	Lower part of the filter
4	Top of the compressor
5	Lateral part of the compressor
6	Bottom part of the compressor
7	Fan blades
8	Air outlet

た値だったが、内部では1/10以下であった。また、好乾性カビの代表である *A. restrictus* や *Wallemia* は検出されなかった。

40℃で培養した場合でも、12台中11台でカビがいずれかの部分から検出された (Table 9)。例えば、*A. fumigatus* は5台から分離された。とりわけ、送風ファ

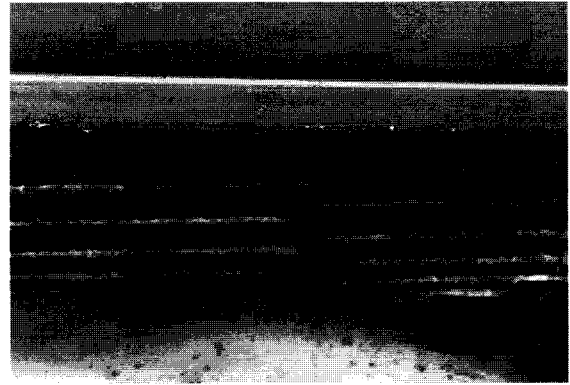


Fig.2. Fungal contamination in the fan and outlet of the air conditioner  
Fungal colonies were found on fan blades (central) and on the air outlet (lower).

Table 8. Fungal flora in the internal parts of air conditioners

Genus	Avg ± s.e.(log)	Avg.(cfu/cm <sup>2</sup> )
<i>Alternaria</i>	0.00 ± 0.00	N.D.
<i>Aspergillus</i>	0.44 ± 0.12	2.7
<i>A. restrictus</i>	0.00 ± 0.00	N.D.
<i>Aureobasidium</i>	0.15 ± 0.03	1.4
<i>Cladosporium</i>	1.50 ± 0.23	31.3
<i>Paecilomyces</i>	0.00 ± 0.00	N.D.
<i>Penicillium</i>	0.39 ± 0.13	2.5
<i>Phoma</i>	0.21 ± 0.15	1.6
<i>Toxicocladosporium</i>	1.54 ± 0.18	35.0
<i>Wallemia</i>	0.00 ± 0.00	N.D.
unknown	0.64 ± 0.07	4.3
Other	0.27 ± 0.09	1.9
Total	2.54 ± 0.17	346.0

Data of fungi detected in five internal parts (#4 to #8) of air conditioners were used.  
*Aspergillus* denotes species other than *A. restrictus*.  
N.D. means not detected.

Table 7. Distribution of fungal contamination in various parts of 12 air conditioners

Part #	Cultured at 25℃		Cultured at 40℃	
	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/cm <sup>2</sup> )	Avg ± s.e.(log)	Avg(cfu/cm <sup>2</sup> )
1	1.22 ± 0.22	16.5	0.10 ± 0.09	1.27
2	1.25 ± 0.29	17.6	0.09 ± 0.05	1.22
3	1.47 ± 0.37	29.4	0.12 ± 0.07	1.30
4	2.46 ± 0.37	289.0	0.14 ± 0.08	1.39
5	1.62 ± 0.42	41.9	0.15 ± 0.06	1.40
6	2.14 ± 0.44	139.4	0.23 ± 0.11	1.69
7	3.53 ± 0.31	3365.5	0.56 ± 0.19	3.65
8	2.93 ± 0.35	860.2	0.21 ± 0.10	1.61

Average numbers of fungi per cm<sup>2</sup> of 8 parts shown in Table 7 was calculated.  
Five parts (#4 to #8) were designated as the internal parts of air conditioners.

Table 9. Detection of thermophilic fungi in various parts of 12 air conditioners

Part #	Detected parts	<i>Aspergillus</i>	<i>A. fumigatus</i> *	<i>A. niger</i> *	<i>A. terreus</i> *	<i>Paecilomyces</i>
1	2	0	0	2	0	0
2	3	1	0	2	0	0
3	3	1	1	3	0	0
4	4	0	0	4	0	0
5	5	0	0	5	0	0
6	6	0	1	5	0	1
7	8	0	3	6	2	2
8	6	1	2	4	0	0
Total	11	3	5	10	2	3

Asterisk denotes opportunistic pathogenic fungi.

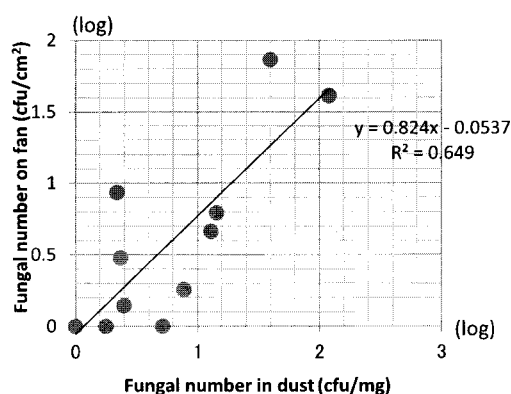


Fig.3. Relationship of fungi in the filter dust and on the fan (Part #7) when cultured at 40°C

Data for 11 samples, except for one dust sample that was too light for examining fungi, are shown.

ン (Part#7) の部分では、12台中8台でカビが検出された。そのうちの6台で *A. niger* が、3台で *A. fumigatus* が検出された。

フィルターのホコリのカビ数と、その内部のカビ汚染の関係を調べた。25°Cで培養した場合に、フィルターのカビ数と送風ファンのカビ数とは有意の相関は見られなかったが、吹き出し口のカビ数とは  $R = 0.77$ ,  $P < 0.01$  で、有意の相関が見られた。また、40°Cで培養した場合のフィルターのカビ数と送風ファンのカビ数の関係を示した (Fig.3)。 $R = 0.81$ ,  $P < 0.01$  で有意の相関が認められた。また、吹き出し口とフィルターのカビ数は、 $R = 0.62$ ,  $P < 0.05$  で相関が認められた。

## 考 察

好温性 (thermophilic) カビを検出するために、既報<sup>4)</sup>では、好温性カビの検出に37°Cで培養を行った。本報では、人が発熱しても殺菌できないような病原性カビを検出するために、40°Cで培養実験を行った<sup>14)</sup>。検出された病原性があるとされる *Aspergillus* 属などの6種類のカビはいずれも40°Cの培養条件でよく生長した。40°Cでの培養は、主な好温性の病原性真菌を選択的に

検出できる利点がある。また、検出された真菌数も桁違いのパラッキが見られたことから、エアコンで生育していると思われる (Table 1)。

本報では、注目した好温性カビは、約61%のエアコンフィルターのホコリから検出された (Table 3)。エアコンにごく普通に生育していると考えてよいだろう。その中で、*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. terreus* は *Aspergillus* 症の原因菌であり<sup>15)</sup>、この *Aspergillus* 属の4種で、*Aspergillus* 症全体の約84%を占めると言われている<sup>16)</sup>。また、*Rhizomucor* sp. や *Rhizopus* sp. も接合菌 (*Mucor*) 症の原因菌である。いずれのカビも日和見感染症の原因菌として知られており、吸入された胞子が抵抗力の弱った患者の肺などに定着して発病させると言われている。とりわけ、感染力が強く *Aspergillus* 症の主要な原因菌と言われる *A. fumigatus* は、珍しいカビではなく、調査対象の約16%で検出されたことは注目に値する。

例えば、*A. fumigatus* に関しては、水周りや室内塵以外にも、内壁やクローゼットからしばしば分離されている<sup>17,18)</sup>。少なくとも、室内環境中に少数ながら常在していると考えられる。エアコンについても、フィルターのホコリだけに好温性カビが見られるのではない。一般カビの多い送風ファンや吹き出し口の部分だけでなく、熱交換器の部分からも分離されている (Table 9)。ゆえに、エアコンの様々な部分に生育していると考えられる。

一方で、室内環境中の好温性カビは一般的に優占種ではない。浴室やシンクでは、*E. dermatitidis* などの好温性カビは極少数で、25°Cで生育する一般カビの約1/40から1/600であった。ただし、食洗機の内部のカビは少ないが、そのほとんどが好温性のカビであった<sup>5)</sup>。また、本報のエアコンフィルターのホコリ中も平均では約1/100だったが (Table 1)、最高は *A. niger* が670/mgであった。また、以前の同様の調査では、*A. fumigatus* が1,370/mgで、優占している例もあった (未発表)。好温性の一般カビと共に、好温性カビの制御が求められている。なお、シンクの場合に比較すると信頼度は低い

が<sup>4)</sup>、フィルターでも一般カビ数と好温性カビ数に相関がみられた (Fig.1)。ゆえに、乾燥などの一般カビに有効な予防策が、好温性カビにも有効であると考えられる。

エアコンは風を送るので、他の室内環境中に生育している場合より、空気を介して体内に取り込まれる可能性が高い。しかし、本調査でエアコンから分離されたいずれの好温性カビも日和見感染症の原因菌であり、一般の健康な人に感染すると短絡的に考えることはできない。なお、*A. fumigatus*などは、35-40℃の高温条件下で発育が促進されるので<sup>1,4)</sup>、これらの好温性カビの夏における室内環境での分布や動態に注意が必要である。

既報<sup>2)</sup>で、エアコンの使用開始時の浮遊カビ数とカビ臭が相関することを報告した。本報では、フィルターのカビ数とカビ臭との関係も確認された (Table 4)。また、カビ汚染とアレルギー性気管支喘息などとの関係も示唆された (Table 5)。何れも、一般カビ数の方が好温性のカビ数より大きな値の差が見られたことから、これらの原因は好湿性の一般カビであることが推測された。カビ臭のするエアコンには健康面からも注意が必要である。

エアコンのカビ汚染は、以前に比してどう変化しているのだろうか？一般カビのデータしかないが、1999年のフィルターのホコリの平均カビ数は452.6/mg だった<sup>9)</sup>。それと比較すると、約0.6倍になっている (Table 1)。いくつかの機能の改良が功を奏して、一般カビは減少傾向にあると言える。ただし、カビ数が1,000/mg 以上のエアコンが、約34% (42/122) あり、10,000/mg 以上が約6.6% (8/122) あることは看過できない。

フィルターのホコリと内部では真菌相が大きく異なっているように思える。また、室内塵や室内の浮遊真菌相とも異なるし、浴室などの水周りとも大きく異なるようだ<sup>1,9)</sup>。

送風ファンなどの内部では、*Cladosporium* や *Toxicocladosporium* の好湿性カビが非常に多いが、好温性カビの比率は約 1/1000 で低い (Table 7)。また、*A. restrictus*, *Wallemia* などの好乾性のカビは認められなかった (Table 8)。一方、フィルターのホコリの菌相は、*Cladosporium* や *Toxicocladosporium* と共に、*A. restrictus*, *Wallemia* などの好乾性のカビがしばしば見られた (Table 2)。内部よりフィルターの方が、好乾性カビはより多く生育するようだ。一方、フィルターの一般カビ数は、室内塵の平均である34.5/mg に比べて約8倍であるものの<sup>9)</sup>、このような好乾性真菌は室内塵に比べて少ないように見える。ちなみに、室内の浮遊カビや室内塵の真菌相では、好乾性カビが約50%にもなる<sup>8,20)</sup>。フィルターのホコリは、室内塵ほどではないが、送風ファンなどの内部より好乾性カビに適した環境であると考えられる。

なお、フィルターのホコリで、好温性カビの比率が高いのは、エアコンの周辺の温度条件のためではない。好乾性カビと好温性カビがかなり共通していることと関連があると思われる。代表的な好乾性カビである *A. restrictus* や *Wallemia* などは40℃では生育できない。しかし、好温性のカビには、好乾性のカビでもある *Aspergillus* 属のカビが多く含まれている。フィルターへのホコリの蓄積は、好湿性を含む一般カビより好温性カビの生育を助長していると考えられる。即ち、好温性のカビは、湿り気が長期間継続する環境であるホコリ中でより繁殖する傾向があると思われる。

エアコンの内部の送風ファンや吹き出し口の部分にカビが非常に多かった。とりわけ、好湿性カビが優占していた。送風ファンや吹き出し口に、ホコリ状のものの蓄積も見られるが、表面にカビが直接生えることが多いようだ (Fig.2)。なお、結露量がカビ汚染に直接影響しているとは思えない。結露の発生が最も多いのは熱交換器である。ただし、熱交換器で発生する結露は、溜まらないように流れてドレインパンから排水される。一方、送風ファンの部分には、羽根の狭い隙間が多く、結露した水分が付着したまま流れず、乾きにくい構造になっている。さらに、使用後に自動的に吹き出し口がカバーされて、内部が閉鎖系になるシステムもカビ汚染を助長していると思われる。カビ予防のためにさらなる構造的な改良が必要であろう。

住宅内の水周りの各部分とエアコンの各部分のふき取り調査の結果を比較した。平均カビ数は、浴室の排水口は3,190/cm<sup>2</sup>、浴室の天井は469/cm<sup>2</sup>、シンクでは244/cm<sup>2</sup>、結露しやすいサッシ窓の目地では310/cm<sup>2</sup> だった<sup>4,10,21)</sup>。比較的カビ汚染の著しいエアコンの内部を調査したので、この値が全体の平均値ではない (Table 7)。ただし、送風ファンの表面のカビ数3,365.5/cm<sup>2</sup>は、水周りの環境の中でも決して少なくないし、カビの生えやすい微環境が形成されていると考えられる。

内部とフィルターでは、一般カビにも好温性カビにも相関が見られることから (Fig.3)、エアコン内部がより湿れば、フィルターも湿り、フィルターのホコリ中での好温性のカビの生育も助長されよう。これは、カーペットなどの室内塵のカビを調べれば、住宅の湿り具合が分かるのと同様である<sup>1,9)</sup>。フィルターのホコリは、内部に比して一般カビは多くはないが、エアコン全体のカビ汚染の指標と言えよう。

エアコンのカビ汚染を助長する要因を解明することは、効果的な対策を講じるために必須である。どのような要因が作用しているかは、続報で検討したい。

## 謝辞

エアコン内部の調査の遂行に当たって、(株)ダスキン

サービスマスターなどの方々に大変お世話になった。パネラーの紹介や調査のご協力をいただき、貴重なアドバイスも頂いた。この場を借りて謝意を表したい。

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業・基盤研究C (15K00774, 15K00769) の援助を受けて行った。

## 文 献

- 1) 濱田信夫, 山田明男 (1993) エアコンのカビ汚染, 防菌防黴, 21, 385-389.
- 2) 濱田信夫, 山田明男 (1994) カーエアコンのカビ汚染, 防菌防黴, 22, 277-282.
- 3) 濱田信夫, 藤田忠雄 (2001) カビ汚染とエアコン, 生活衛生, 45, 51-61.
- 4) Hamada, N. and Abe, N. (2010) Comparison of fungi in bathrooms and sinks. *Biocontrol Science*, 15, 51-56.
- 5) 濱田信夫, 阿部仁一郎 (2013) 食器洗い乾燥機のカビ汚染の現状, 日本防菌防黴学会誌, 41, 527-534.
- 6) Beguin H., and Nolard, N. (1996) Prevalence of fungi in carpeted floor environment : analysis of dust samples from living-rooms, bedrooms, office and school classrooms. *Aerobiologia* 12, 113-120.
- 7) メルクマニュアル (18版: 日本語版): アスペルギルス症: <http://merkmanual.jp/mmpej/sec14/ch180/ch180c.html>
- 8) 濱田信夫 (2007) 室内塵中のカビ汚染の現状, 生活衛生, 51, 295-303.
- 9) 濱田信夫 (2000) 室内塵の真菌汚染に対するエアコンの作用, 防菌防黴, 28, 775-761.
- 10) 濱田信夫 (2008) 今日の浴室の真菌相の特徴, 生活衛生, 52, 98-106.
- 11) White T. J., Bruns T., Lee S. and Taylor J. W. (1990) Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In PCR protocols : A guide to methods and applications (Innis M. A., Gelfand D. H., Sninsky J. J., White T. J., ed), pp.315-322. Academic Press, California.
- 12) Wang, L., Yokoyama, K., Miyaji, M., and Nishimura K. (1998) The identification and phylogenetic relationship of pathogenic species of *Aspergillus* based on the mitochondrial cytochrome *b* gene. *Medical Mycology*, 36, 153-164.
- 13) Crous, P. W., Braun, U., Schubert, K., and Groenewald, J. Z. (2007) Delimiting *Cladosporium* from morphologically similar genera. *Studies in Mycology* 58, 33-56.
- 14) de Hoog, G. S., Guarro, J., Gene, J., and Figueras, M. J. (2000) Atlas of clinical fungi 2<sup>nd</sup> edition. CBS, Utrecht.
- 15) 山口英世 (1999) 病原真菌と真菌症, 南山堂, 東京.
- 16) 田代隆良 (2009) 肺アスペルギルス症の病態と呼吸器検体より分離される *Aspergillus* 属の臨床的意義. 日本臨床微生物学会雑誌, 19, 67-75.
- 17) Boutin-Forzano, S., Charpin-Kadouch, C., Chabbi, S., Bennedjai, N., Dumon, H., and Charpin, D. (2004) Wall relative humidity : a simple and reliable index for predicting *Stachybotrys chartarum* infection in dwelling. *Indoor Air* 14 : 196-199.
- 18) Ara, K., Aikawa, M., Ojima, M., Toshima, Y., Yabune, C., Tokuda, H., Kawai, S., Ueda, N., Tanaka, T., Akiyama, K., and Takatori, K. (2004) Survey of fungal contamination in ordinary houses in Japan. *Allergy International*, 53, 369-377.
- 19) 濱田信夫 (2006) 住まいや暮らしの変遷とカビ汚染, 生活衛生, 50, 343-350.
- 20) 濱田信夫, 山田明男 (1995) 住宅内の浮遊カビ汚染, 防菌防黴, 23, 281-286.
- 21) 濱田信夫 (2006) サッシ窓の結露とカビ汚染の現状, 生活衛生, 50, 69-75.