Indoor Environment, Vol.17, No.1, pp.11-17, 2014

一般住宅における室内浮遊真菌の日内変動調査

川上裕司，橋本一浩

㈱エフシージー総合研究所　環境科学研究室　〒135-0064 東京都江東区青海1-1-20-6F

A survey on the diurnal variation of airborne fungi in rooms of common houses

Yuji KAWAKAMI and Kazuhiro HASHIMOTO

Laboratory of Environmental Science, FCG Research Institute, Inc.,
1-1-20-6F Aomi, koto-ku, Tokyo, 135-0064, Japan

要　旨

一般住宅における室内浮遊真菌の日内変動を調べることを目的として，東京都小平市と埼玉県上尾市所在の2軒の一戸建て住宅を対象として調査を実施した。調査は2012年7月に，2日間に渡る調査を2回ずつ行った。室内浮遊真菌のサンプリングは，エアーサンプラー（DG-18培地使用）を用いて2時間ごとに計13回行い，時間ごとに採取された真菌を培養した。発育した真菌の集落数から浮遊真菌濃度（cfu/m^3）を算出し，集落から分離した真菌種の同定を行った。

この結果，いずれの住宅でも午前4時～8時の朝方に浮遊真菌濃度が高まる傾向が見られた。この傾向は，アレルゲンとして問題視されているアスペルギルス属菌で顕著であった。分離されたアスペルギルス属菌では，アスペルギルス・レストリクティ節に属す種が多かった。この調査結果から，就寝時にアレルゲンとなるカビを吸引することが，深夜から早朝にかけて起こる喘息の一因となる可能性が示唆された。

Abstract

A survey was conducted with two free standing houses to study the diurnal variation of airborne fungi in rooms of common houses. One of the two houses was located in Kodaira City in Tokyo and the other in Ageo City in Saitama Prefecture. Examination was carried out twice, each lasting two days, in July 2012. An air sampler, Dichloran 18% glycerol agar, was used to collect airborne fungi in rooms every two hours to a total of 13 times and collected fungi were cultured. Concentrations (cfu/m^3) of airborne fungi were calculated from numbers of colonies, from which fungi were isolated and identified.

Results of this study showed that concentrations of airborne fungi tended to increase in both houses in the morning from 4 a.m. to 8 a.m. This tendency was remarkable in fungi of genus *Aspergillus*, which is believed to pose problems as an allergen. Among isolated fungi of genus *Aspergillus*, many species belonged to *Aspergillus* section *Restricti*. Results of this survey indicate that allergenic fungi inhaled by residents in their sleep are a possible cause of asthmatic seizures occurring from midnight to early morning.

Key words: 浮遊真菌（Airborne fungi），コウジカビ（*Aspergillus*），アスペルギルス レストリクティ節（*Aspergillus section Restricti*），日内変動（Diurnal variation），真菌性アレルギー性過敏症反応（Fungal-allergic hypersensitivity）

1．はじめに

幼稚園・保育園の児童から高校生まで，子供達のアレルギー疾患は年々増加している。また，65歳以上の喘息が近年増加傾向にあると専門医は指摘している[1)]。「ダニ・カビ・ハウスダスト」が注意すべきアレルゲンであることは周知の事実であるが，日常生活の中で長時間曝露を受けるアレルゲンとして「住宅内の空気中に浮遊している真菌（カビ）」は重視すべきものではないだろうか[2-4)]。浮遊真菌の濃度とその菌相（種類）は，立地条件，住宅形態，築年数，季節によって異なることは，当研究室をはじめとする専門研究機関で明らかにされている[5-10)]。しかしながら，1日（24時間）の中での浮遊真菌の日内変動についての報告はあまり知られていない。そして，喘息を起しやすいといわれている就寝時（深夜から早朝）の報告データは皆無である。そこで，2軒の住

受付：2014年2月28日（Received: 28 February 2014）
受理：2014年4月20日（Accepted: 20 April 2014）

宅を対象として，2時間ごとに浮遊真菌の経時変化を24時間(早朝〜翌日早朝)に渡って調査し，浮遊真菌の日内変動を調べたので報告する。

2．調査対象住宅と調査日時

調査対象とした住宅は，以下の2軒の戸建住宅(P宅，Q宅と称する)である。いずれの住宅においても2回調査を実施した。調査した2軒の住宅は，月曜日〜金曜日の日中は居住者が外出していることから，調査日の8時頃〜18時頃まで調査実施者以外の居住者の出入りがなかった。

P宅 ：①所在地と立地条件(半径500 mの範囲内)
東京都小平市所在の2階建木造住宅(築34年)
住宅街の中に位置し，東側と南側は住宅地，西側は住宅地を挟んで農地，北側は住宅地を挟んで玉川上水が流れている。

②調査した部屋の概要
1階の洋室(10畳)
調査対象とした部屋は応接間として使われており，他の部屋とは壁とドアで仕切られている。
エアーコンディショナーは，調査開始時の24時間前から使用していない。また，換気扇は設置されていない。電気掃除機を使った床の清掃は毎週末に1回程度行っている。

③調査日(天候)
1回目調査：2012年7月11日4：00
〜12日4：00(晴れ)
2回目調査：2012年7月19日4：00
〜20日4：00(晴れ)

Q宅 ：①所在地と立地条件(半径500 mの範囲内)
埼玉県上尾市所在の2階建木造住宅(築28年)
住宅街の中に位置し，東西南北とも住宅地である。

②調査した部屋の概要
1階の和室(6畳)
調査対象とした部屋はリビングダイニングと隣接し，襖で仕切られているが，襖をオープンにして使うことが多い。エアーコンディショナーは日頃からあまり使用しておらず，調査開始時の24時間前から使用していない。また，換気扇は設置されていない。電気掃除機を使った床の清掃は毎週末に1回程度行っている。

③調査日(天候)
1回目調査：2012年7月5日4：00
〜6日4：00(晴れ)
2回目調査：2012年7月16日4：00
〜17日4：00(晴れ)

3．調査法

3．1　浮遊真菌の採取と培養検査

浮遊真菌のサンプリングにはエアーサンプラー(SAS SUPER 100； Pbi International in Milan, Italy)を用いた。1回のサンプリングにつき，4地点(部屋の4隅)からそれぞれ20 Lまたは50 Lの空気を床から約120 cmの高さで吸引した。1回の測定時間は培地の交換時間を含めて5〜6分間である。培地は，DG18寒天平板培地(Dichloran 18% Glycerol agar；Merck)を用いた。サンプリングは午前4時に開始し，以後2時間ごとにサンプリングを繰り返し，翌日の午前4時まで計13回実施した。また，調査時の温度と湿度の変化は，サーモレコーダー(RS-12；エスペックミック)を部屋の中央に設置して記録した。調査対象とした部屋のドアと窓は調査時間中閉め切った状態とし，サンプリングの時だけ調査実施者が室内に入った。なお，他の居住者は調査終了まで立ち入り禁止とした。

サンプリング後の平板培地は25℃で10日後まで培養し，発育した真菌集落の数から1 m^3当たりの浮遊真菌濃度(cfu/m^3)を算出した。発育した真菌集落を単離し，同定用培地(M40Y，CZA，MEA等)で純培養し，集落の形態と光学顕微鏡による微細構造の観察によって可能なかぎり種の同定を行った。*Aspergillus*属はKlich and Pitt[11]，Klich[12]，Samson and Varga[13]，Samson *et al.*[14]の記載に基づき同定した。また，*Penicillium*属およびその他のカビについてはPitt[15]，Pitt and Hocking[16]，Samson *et al.*[17]の記載に基づき同定した。なお，種までの同定が困難な株については属レベルの同定に留めた。

4．結果および考察

P宅における2回の調査から算出した室内浮遊真菌濃度の日内変動について，全真菌数と*Aspergillus*属の全数だけで集計したグラフを**図1**に，同様にQ宅のデータを**図2**に示す。*Aspergillus*属の糸状菌はアレルゲンとなる種やマイコトキシン産生菌が多く含まれていることから室内浮遊真菌について考察す

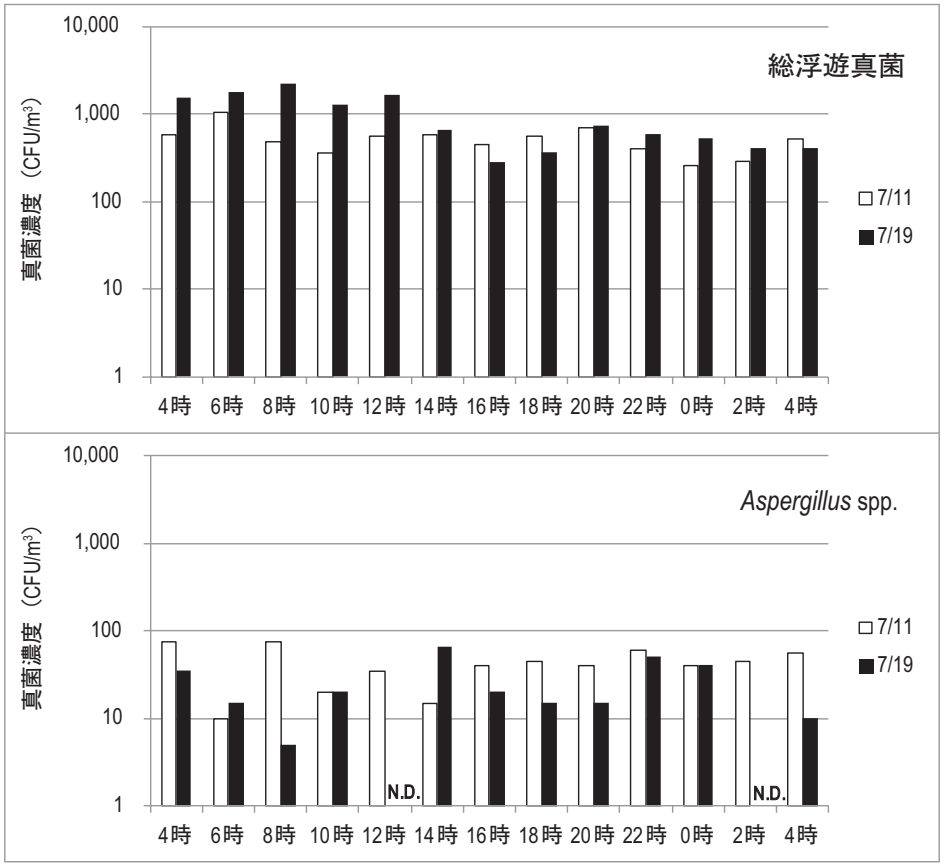

図1　P宅におけるサンプリング時刻ごとの浮遊真菌濃度の推移，総浮遊真菌数（上）と*Aspergillus* spp.数（下）

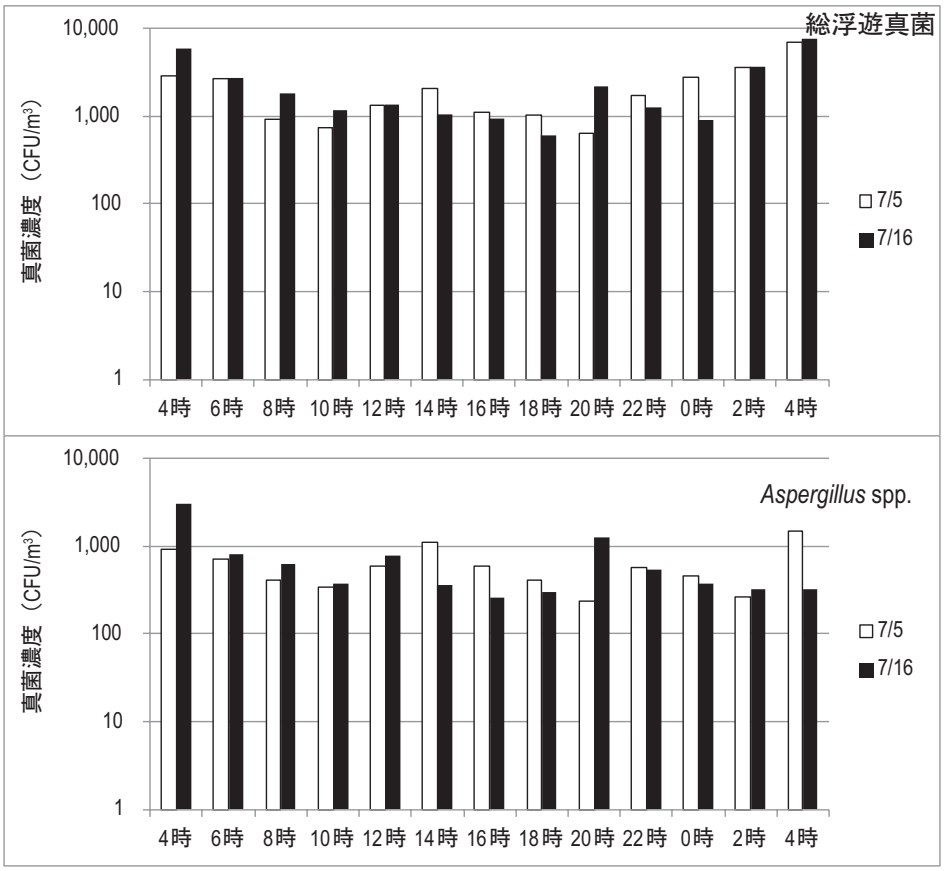

図2　Q宅におけるサンプリング時刻ごとの浮遊真菌濃度の推移，総浮遊真菌数（上）と*Aspergillus* spp.数（下）

る際に注目すべき糸状菌グループである[6-9,18]。一般的に，室内の浮遊真菌濃度は人の動きによって巻き上げられる塵埃による影響が大きいといわれている[5,10]。今回調査した2軒の住宅はいずれの調査日の8時頃～18時頃まで居住者が外出しており，この時間帯の住宅内での人の動きは調査実施者以外になかった。また，調査した部屋の調査時間中の居住者の立ち入りを禁止したことにより，人の動きによって床から塵埃とともに真菌が舞い上げられる影響は極力抑えられたものと考える。しかしながら，両宅の1日を通したサンプリング時刻ごとの浮遊真菌濃度には5～8倍の差が認められた。一因として，フローリングの洋室（P宅）と畳の和室（Q宅）という床の形態の違いが挙げられるが，同じ夏季であっても住宅によって室内浮遊真菌濃度に大きな差があることが再認識された[18]。

いずれの住宅でも調査日によって室内浮遊真菌濃度にバラツキがあるが，P宅について，全真菌数の推移を見ると，7月11日の調査では朝6時が最も高い値となり，深夜0時が最も低い値となった。7月19日の調査では朝４～8時が高い値となり，夕方16時が低い値となった。また，*Aspergillus* spp.の浮遊濃度の推移を見ると，7月11日の調査では朝4時と朝8時の値が高く，7月19日の調査では日中14時と夜の22時が高い値となった。

一方，Q宅では，全真菌数の推移は，7月5日と7月16日のいずれの調査日とも深夜2時から早朝4時と6時にかけて高い値となり日中10時～18時が低い値となる傾向が見られた。また，*Aspergillus* spp.の浮遊濃度の推移を見ると，両日とも午前4時が最も高い値となった。いずれの住宅においても，早朝4時～8時に浮遊真菌濃度が高くなる傾向が認められ，*Aspergillus* spp.の数でこの傾向が顕著であることが興味深い知見であると考える。

温度と湿度の測定結果を**図3**に示す。P宅とQ宅ともに深夜から早朝にかけて温度は2～5℃前後低下し，湿度は5～6%R.H前後上昇する傾向が見られた。これら微気象が室内浮遊真菌濃度の増減に影響する可能性があることが示唆される。しかしながら，温・湿度と室内浮遊真菌濃度との相関については，今後さらに季節ごとの追加調査が必要である。

サンプリング時刻ごとに分離された真菌種の同定

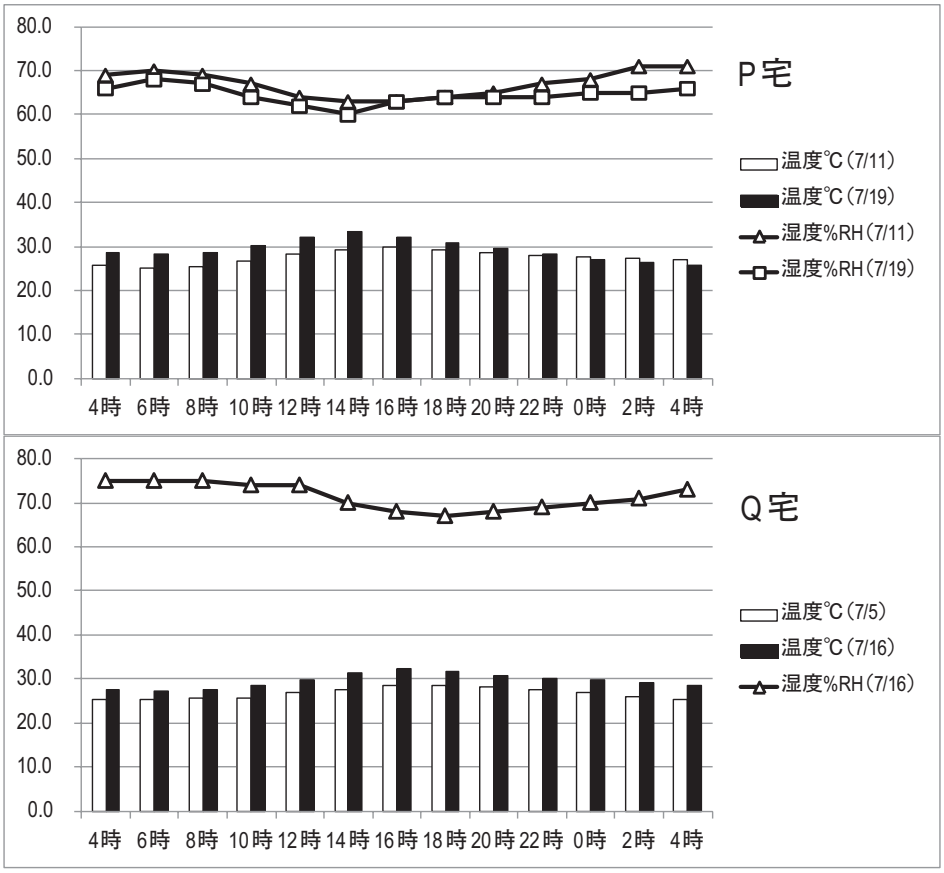

図3　サンプリング時刻ごとの温湿度の推移，P宅（上）とQ宅（下），Q宅7/5の湿度はサーモレコーダーの湿度センサーの不具合によりN.D.

結果について，2回の調査を集計して調査住宅ごとに**表1**と**表2**にまとめた。合計34種を超える室内浮遊真菌が分離された。P宅では一日を通じて*Cladosporium* spp.が一番多く，次いで*Wallemia sebi*, *Aspergillus conicus*，*Penicillium corylophilum*の順に多かった。Q宅では*Aspergillus conicus*が一番多く，次いで*Cladosporium* spp.，*Wallemia sebi*，*Aspergillus* section *Restricti*（*A. conicus*を除く）の順に多かった。

表1　P宅においてサンプリング時刻ごとに分離された真菌の種類と平均濃度（CFU/m^3）

分離菌名	4時	6時	8時	10時	12時	14時	16時	18時	20時	22時	0時	2時	4時	平均
Eurotium spp. [1]		3	3		3		3	3	13		3	3	3	2.5
Alternaria spp.	3			3								3		0.6
Aspergillus niger							3	3						0.4
Aspergillus ochraceus										3				0.2
Aspergillus conicus	43	3	28	13	13	33	18	18	25	43	28	13	20	22.5
Aspergillus penicillioides	13	10	13	8	5	8	10	10	3	8	13	10	13	9.2
Aspergillus versicolor										3				0.2
Cladosporium spp.	35	175	53	70	123	160	113	73	315	78	45	45	55	102.9
Fusarium spp.				3										0.2
Paecilomyces variotii											3			0.2
Penicillium citrinum	3	13			3		8	3	5					2.5
Penicillium corylophilum	8	28	5	13	15	25	8	10	40	25	8	5	5	14.8
Penicillium glabrum		3	5					5	10			3	5	2.3
Penicillium spp.	13	5	3		8	3		3			3			2.7
Wallemia sebi	33	38	13	13	8	18	25	15	68	25	18	13	78	27.7
黒色真菌											5	8		1.0
その他の糸状菌	848	1023	993	488	608	338	175	310	223	310	268	233	265	467.5
Rhodotorula spp.		8	80	80	120	13		3				8	3	24.0
その他の酵母			25	93	133	13						3		20.4

注1）*Aspergillus*の有性生殖世代をもつ種（カワキコウジカビ）として示した

表2　Q宅においてサンプリング時刻ごとに分離された真菌の種類と平均濃度（CFU/m^3）

分離菌名	4時	6時	8時	10時	12時	14時	16時	18時	20時	22時	0時	2時	4時	平均
Eurotium spp. [1]				6		6				13			6	2.4
Alternaria spp.	25				6		6	6						3.4
Aspergillus fumigatus			44	13				13	13			6	6	7.2
Aspergillus japonicus									6			6		1.4
Aspergillus niger												6		0.5
Aspergillus ochraceus								6						0.5
Aspergillus conicus	1075	406	275	219	381	425	288	213	506	381	213	113	606	392.3
Aspergillus restrictus			6			6						6		1.4
Aspergillus section Restricti [2]	881	344	188	119	306	313	144	125	206	163	200	138	275	261.5
Aspergillus terreus									6					0.5
Aspergillus versicolor			6	6					6	6				1.9
Aspergillus sp.	25	13									6	19	13	5.8
Aureobasidium pullulans	6					6	13				6			2.4
Cladosporium spp.	231	188	294	144	169	144	131	69	94	119	663	988	569	292.3
Fusarium spp.				6	6	13					6			2.4
Paecilomyces variotii			6							13				1.4
Penicillium corylophilum	31	31	31	44	19	50	19	19	19	13	13	6	19	24.0
Penicillium funiculosum			6								6			1.0
Penicillium glabrum				13		6					6	6	6	2.9
Penicillium rugulosum				13			13	6	6			25	19	6.3
Penicillium spp.		6	6	19	6	6	6	19			19		6	7.2
Wallemia sebi	363	88	44	50	44	94	75	56	119	225	144	38	481	139.9
黒色真菌	38	38	13	75	19	19	13	13	19		44	119	188	45.7
その他の糸状菌	963	1288	369	238	319	388	281	256	363	494	413	1644	2669	744.7
Mycelia sterilia [3]	125	100	38		6	13		6	19	19	13	25	44	31.3
Rhodotorula spp.	13	19	6		6							150	744	72.1
その他の酵母1	13	31			19		19				13	63	156	24.0

注1）*Aspergillus*の有性生殖世代をもつ種（カワキコウジカビ）として示した，注2）同じsectionに属する*A. restrictus*や*A. penicillioides*とは別の種，注3）無胞子菌類（担子菌類など通常の培養では菌糸体だけしか形成しない菌類）

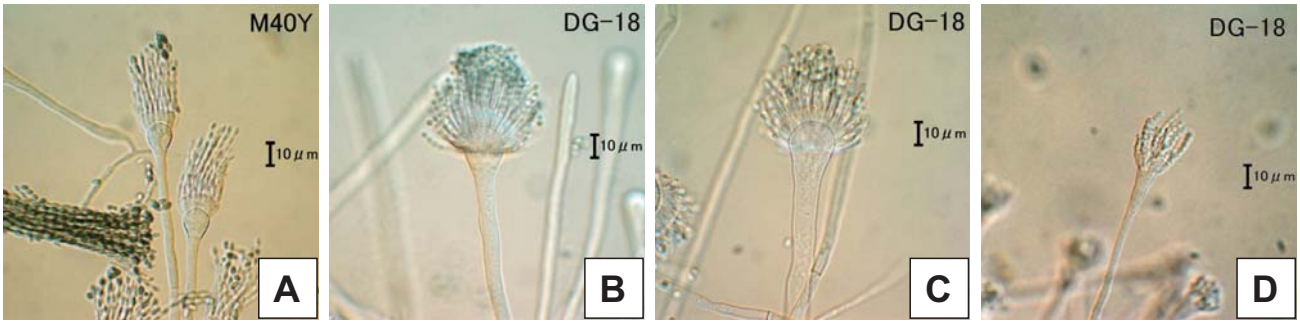

図4　室内浮遊真菌として注目すべき*Aspergillus* section *Restricti*の代表種[19]
A：*A. restrictus*，B：*A. penicillioides*，C：*A. conicus*，D：*A. gracilis*

一般住宅では，浴室や台所など湿気の多い場所を発生源として繁殖する*Cladosporium*属菌（好湿性糸状菌の代表的存在）が多い[8]。また，*Aspergillus*属菌と*Penicilluim*属菌も優占種となることが多く，この3属の糸状菌で室内浮遊真菌の60～70％前後を占めていることが多い[5),6)]。両住宅でも同様の傾向を示したが，アレルゲンとして注目すべき*Aspergillus* section *Restricti*（**図4**）と*Wallemia sebi*が早朝に多く分離される傾向を示したことは興味深い知見である。いずれも好乾性真菌として知られており，14日間培養しても集落の直径が20 mm以上に成長しないことが特徴である。また，*Aspergillus* section *Restricti*は*Aspergillus*属菌の他のグループと比較して頂のうが小さく，マッチ棒状～棍棒状を呈することが特徴である（**図4**）[19]。

今回の結果は，室内環境中の真菌に関する研究報告で「室内環境中には，アレルゲン性を有する真菌が多い傾向がある」という従来のデータを更に裏付けるものであった[2,3,20-23]。また，真菌の日内変動を調査したことにより，居住者が1日を通して室内浮遊真菌の曝露を受け続ける可能性が高い住宅があることが示唆された。

呼吸機能には24時間を周期としたサーカデイアンリズムがある[1]。気管支喘息の症状として知られる発作性の呼吸困難や喘鳴は，1日の中で深夜から早朝にかけて起こりやすいことが知られている[2]。明け方に起こる呼吸機能（肺機能）の低下は，専門医の間では「モーニングディップ」と呼ばれており，深夜から早朝にかけての気温の低下が気管支を刺激して，収縮を起こすことが「喘息発作の一因」とされている[1,24]。また，この時間帯に気管支が細くなることも報告されている[24]。夜間から早朝の就寝時間帯に室内浮遊真菌濃度が高くなる傾向を示した今回の調査結果は，アレルゲンを吸い込むことによって発作を引き起こす「アトピー型喘息」の発症機序を考える上で有益なデータであり，「気温の低下（環境要因）＋気管支の収縮（人側の要因）＋室内浮遊真菌の増加（アレルゲン要因）＝喘息発作」が想定される。

5．おわりに

*Aspergillus restrictus*のアレルゲン性についてはいくつか報告があるが[25-27]，同じ*Aspergillus* section *Restricti*に属する*A. conicus*や*A. penicillioides*などの近縁種のアレルゲン性については未解明である。基準株（タイプ）と室内分離株のDNA解析なども合わせて詳細に検証する必要がある[19]。

今後，これら近縁種のアレルゲン性を調べるとともに，季節ごとの日内変動について追調査し，喘息をはじめとするアレルギー疾患とアレルゲンとなる室内浮遊真菌との関連性について更に研究を進める予定である。

引用文献

1）野上裕子，岸川禮子，小田嶋博，鶴谷秀人，広瀬隆士，西間三馨：高齢者気管支喘息の特徴について，アレルギー，42，514-521（1993）.
2）秋山一男：真菌と呼吸器アレルギー疾患，臨床と微生物，20，192-198（1993）.
3）秋山一男：室内環境におけるアレルギー疾患の現状―真菌アレルギーを中心に―，室内環境，10，11-16（2007）.
4）高鳥美奈子，信太隆夫，秋山一男，高鳥浩介：最近10年間の相模原地区における空中飛散真菌，アレルギー，43，1-8（1994）.
5）坪内春夫：名古屋市内の室外・室内空気中の浮遊カビ，生活と環境，46，48-56（2001）.

6）川上裕司：神奈川県横須賀市の住宅におけるアスペルギルス オクラセウスの発生事例，室内環境学会誌 9，1-7(2006).
7）川上裕司，高橋佑子：肺アスペルギルス症患者宅の室内浮遊真菌調査，室内環境 10，155-162，(2007).
8）川上裕司：講座　都市環境と真菌類(2)，都市有害生物管理，1(2)，189-198(2011).
9）川上裕司：講座　都市環境と真菌類(3)，都市有害生物管理，2(1)，29-42(2012).
10）戸矢崎紀紘：公衆衛生から見たハウスダストの真菌相，マイコトキシン，52，45-55(2002).
11）Klich M. A. and Pitt J. I.: A laboratory guide to common *Aspergillus* species and their telemorphs, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, *North Ryde*, Australia (1988).
12）Klich M. A.: Identification of common *Aspergillus* species, Centraalburean voor Schimmelcultures, Utrecht, 84-85 (2002).
13）Samson R. A. and Varga J.: *Aspergillus* systematics in the genomic era, CBS fungal biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands (2007).
14）Samson R. A., Varga J. and Frisvad C.: Taxonomic studies on the genus *Aspergillus*, CBS fungal biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands (2011).
15）Pitt J. I.: The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and Talaromyces, Academic Press, London, England (1979).
16）Pitt J. I. and Hocking A. D.: Fungi and Food Spoilage, 2nd ed. p. 413-414, Blackie Academic & Professional, London, England (1997).
17）Samson R. A., Hoekstra E. S. and Frisvad J. C.: Introduction to food and airborne fungi, Centraalburean voor Schimmelcultures, Utrecht, 84-85 (2004).
18）Hashimoto K., Kawakami Y., Asano K. and Onji Y.: Mycotoxin production of some *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus* fumigatus isolated from the air, *Mycotoxins*, 62, 1-6 (2012).
19）橋本一浩，福田安住，横山耕治，各務清美，川上裕司：美術館から分離された*Aspergillus* section *Restricti*の遺伝子解析および形態的観察による同定，室内環境，13，13-21(2011).
20）西口智子，川上裕司，宮岡孝之：設備工事の不備によるカビの被害事例とその後の裁判について，室内環境，12，13-24(2009).
21）阿部恵子：エアコン冷房時のカビ指数とカビ汚染，室内環境学会誌1，41-50(1998).
22）太田利子：カビの生態講座8.住環境におけるカビの生態(3)ハウスダスト，防菌防黴，26，521-525(1998).
23）高鳥浩介，秋山一男：カビの生態講座9-4.カビとヒトとの関わり，カビによる害を中心に，防菌防黴，27，201-206(1999).
24）美濃口健治，小林秀子，渡邊直人，小関隆，木原令夫，河野泰郎，足立満： モーニングディップを呈する気管支喘息患者の気道炎症と気道過敏性，アレルギー，46，874(1997).
25）坂本龍雄，伊藤浩明，山田政功，井口淑子，上田雅乃，松田良夫，鳥居新平：*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，39，1492-1498(1990).
26）坂本 龍雄，伊藤 浩明，山田 政功，鳥居 新平，松田 良夫：*Aspergillus restrictus*のアレルゲンとしての意義 ：*Aspergillus fumigatus*との共通アレルゲン性に関する検討，アレルギー，40，1320-1326(1991).
27）板橋武史，細江智夫，戸矢崎紀紘，足立満，河合賢一：好乾性真菌*Aspergillus restrictus* A17株のアレルゲン活性，アレルギー，56，101-108(2007).