

住宅内環境中のアレルゲン量と気管支喘息発作出現、重症化との関連の研究

—喘息症状改善のための屋内環境整備をめざして—

キーワード：1) 気管支喘息, 2) アレルゲン, 3) ダニ, 4) ベット,
5) 真菌, 6) ハウスダスト, 7) 寝具, 8) 鉄骨系プレハブ,
9) 鉄筋コンクリート造, 10) 木造モルタル塗り

主査 秋山 一男*¹
委員 田中 辰明*² 高鳥 浩介*³
〃 阪口 雅弘*⁴ 三根 博史*⁵
〃 安枝 浩*⁶ 山下 義仁*⁷
〃 長谷川真紀*⁸ 前田 裕二*⁹
〃 遠藤 繁*¹⁰ 工藤 誠*¹¹

1. 研究の目的

近年のアレルギー疾患の罹病率の増大は明らかである。成人気管支喘息は、過去30年間で約1%から約3%へ増加し、小児気管支喘息も約5%、スギ花粉症を主としたアレルギー性鼻炎も、戦前はほとんどみられなかったが、現在は人口の約10%と著増している。更に最近では、アトピー性皮膚炎も、小児のみならず、成人においても増加してきた。これらアレルギー疾患の原因アレルゲンとしては、以前から、ダニ、花粉、真菌、食物などが重要とされている。しかし、最近のアレルギー疾患の増加の原因としては、生活環境、生活様式の変化、特に風通しの良い和風住居から、マンションのような密閉した住宅への変化がある。また、冷暖房の完備に伴う快適な環境の整備に伴って、屋内環境中のダニ、真菌の増加、更には、ベットの屋内飼育の増加などがあり、これら動物、微生物由来の、アレルゲンへの暴露の機会が増えてきたことが挙げられる。小児喘息は、そのほとんどがアトピー型喘息であるが、一方の成人喘息は、明確なアトピー型と考えられるのは約1/3で、残りは感染型（内因型）、混合型と言われるIgE抗体が、必ずしも関与していない場合が多く、単純にアレルギー（アトピー）とは言えない複雑な面を持っている。しかしながら、アレルゲンに対する対策は、成人喘息の治療、管理の対策のすべてではなく一部ではあるが、非常に重要、かつ、基本的な事項である。

最近では、気管支喘息が炎症性疾患であることが広く知られるようになり、ステロイド薬などの抗炎症剤による治療が大きくクローズアップされてきた。しかし、ともすれば、アレルゲンなどの攻撃因子への対策、すなわち環境整備がおろそかにされている傾向がある。気管支喘息の治療は、ホスト側の防御機構の強化と共に、攻撃因子としてのアレルゲン対策も合わせた、総合的戦略で行

われるべきことを、肝に銘じておかねばならない。ダニアレルギーの主要アレルゲンであるDer 1が、1gの家塵中に2 μ g以上含まれていると、ダニに対して感作され、10 μ g以上では小児喘息発症の要因となることが示されている。しかし、成人の場合にもそのまま当てはまるか否かは不明である。また、真菌はダニ、花粉アレルゲンと並んで、気管支喘息の重要な原因アレルゲンと考えられている。屋外の空中飛散真菌相については、季節変動など多くの報告がみられるが、アレルゲンとしての室内環境中の真菌相については、まだ報告が少ない。室内環境における真菌相は、屋外の空中飛散真菌相の影響を受けるが、最近のように、密閉性が強いマンションなど建築構造が変化している今日では、室内環境における真菌相を、改めて検討する必要がある。

このような点から、本研究は、住宅内環境中のアレルゲン量を測定し、建築構造、建築様式、更に屋内環境との関連を検討することにより、成人喘息の発症、増悪予防対策の基礎資料を得ることを目的としている。

2. 研究の対象及び方法

2.1 対象

国立相模原病院アレルギー科を受診中の成人気管支喘息患者の、家庭内環境中のアレルゲン量を測定する。

2.2 測定アレルゲン及び測定方法

ダニ : Der p 1, Der f 1をサンドイッチELISA法で測定 (μ g/g dust)

ペット : ネコアレルゲン (Fel d 1), 及び、イヌアレルゲン (Can f 1) を、サンドイッチELISA法で測定 (μ g/g dust)

真菌 : PDA培地, M40Y培地, SABOURAUD培地, DIXON培地によりそれぞれ一般菌, 好乾菌, 放線菌,

*1 国立相模原病院臨床研究部部長

*2 お茶の水女子大学生活科学科教授

*3 国立医薬品食品衛生研究所衛生微生物部室長

*4 国立相模原病院臨床研究部部長

*5 ダイキン工業株式会社電子技術研究所主任研究員

*6 国立相模原病院臨床研究部部長

*7 国立相模原病院臨床研究部部長

*8 国立相模原病院臨床研究部部長

*9 国立相模原病院臨床研究部部長

*10 昭和大学藤が丘病院呼吸器内科医員 (国立相模原病院臨床研究部研究員)

*11 国立感染症研究所免疫部主任研究員

*12 国分生協病院医師 (国立相模原病院臨床研究部)

*13 国立相模原病院臨床研究部部長

*14 国立相模原病院臨床研究部部長

*15 国立相模原病院臨床研究部部長

*16 国立相模原病院臨床研究部部長

好脂菌を培養

2.3 検体採取法

(1) 自宅家塵

各患者宅で使用している電気掃除機を用いて、発作・来院日以後10日間（厳密でなくとも、おおよその目安）に収集したフロアの塵を、宅急便で袋ごと送ってもらう。掃除の部屋は特定しない。

(2) 寝具の塵

患者が使用中の敷き布団から、上記家塵採取10日間の最後の1日（返送の当日か前日）に採取する。

（採取法）専用掃除機を貸与し、敷き布団の体と触れる面の全面を、掃除機で2分間集塵する。各部位で一部から、テープ法で真菌培養用検体を採取する。

2.4 臨床的検討

エントリーされた患者の症状点数・治療点数・PEFなどを、発作群と安定群とで比較検討する。更に、患者エントリー時に ①血中総IgE値、IgE抗体価（ダニ1，ダニ2，ハウスダスト，ネコ，イヌ，カビ5種）をCAP RASTで測定する。②ダニ，ネコ，イヌ，当該真菌抗原による末梢血白血球ヒスタミン遊離反応を検査する。

2.5 建築構造，建築様式，屋内生活環境調査

対象患者へのアンケート調査により，各患者宅の建築構造，建築様式，屋内生活環境などについて資料を得る。

2.6 臨床医学・基礎医学・建築学・換気工学などの視点からの多角的検討

上記患者宅の調査から得られた資料を，臨床医学・基礎医学・建築学・換気工学などの視点から多角的に分析，検討する。

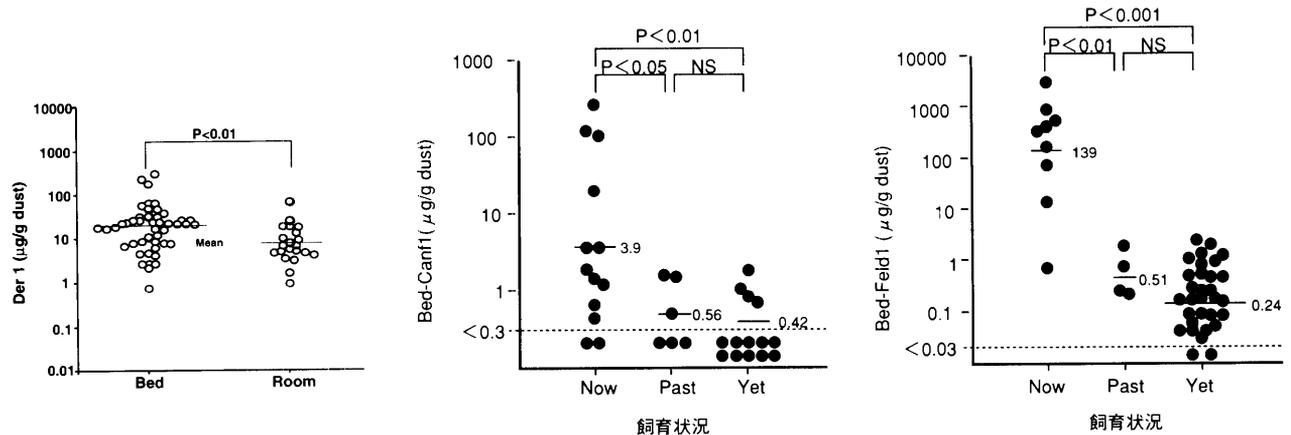
3. 結果

3.1 成人喘息患者宅の家塵及び寝具の塵中のダニ抗原（Der p 1, Der f 1）量，ペット抗原（Fel d 1, Can f 1）抗原量，真菌培養成績

- (1) 寝具中のダニ抗原（Der 1）量は， $17.7 \mu\text{g/g dust}$ で，家塵中の $7.58 \mu\text{g/g dust}$ に比べて，有意（ $p < 0.01$ ）に高値であった。（図3-1）
- (2) 寝具中のネコ抗原（Fel d 1）量，イヌ抗原（Can f 1）量は，計量を現在飼育中の患者 $139 \mu\text{g}$ ， $3.9 \mu\text{g/g dust}$ ，過去に飼育していた患者 $0.51 \mu\text{g}$ ， $0.56 \mu\text{g/g dust}$ ，飼育歴の無い患者 $0.24 \mu\text{g}$ ， $0.42 \mu\text{g/g dust}$ であった。現在飼育中の患者宅において有意（Fel d 1： $p < 0.01 \sim 0.001$ ，Can f 1： $p < 0.01 \sim 0.05$ ）に高値を示した。（図3-2）
- (3) 塵中と寝具中でのペット抗原量は相関したが，ダニ抗原量は相関しなかった。
- (4) 真菌培養の結果では，好乾菌（*Aspergillus restrictus*，*Wallemia*）は家塵中には検出率が高かったが，寝具中には検出できなかった。（図3-3）
- (5) 発作患者宅と安定患者宅での家塵中，寝具中のダニ抗原量，ペット抗原量，検出真菌の種類には有意な差は認められなかった。
- (6) 患者寝具中のDer 1量とIgE抗体価，ヒスタミン遊離反応におけるsensitivity，reactivityとの間には有意な相関は認められなかった。（図3-4）

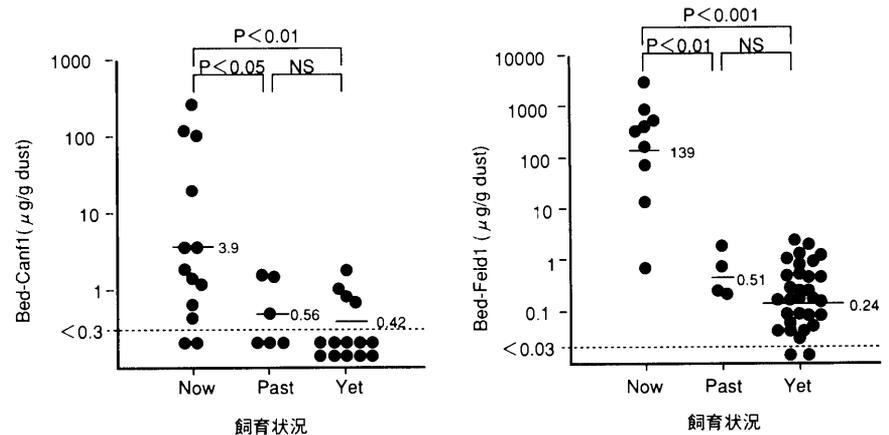
3.2 建築様式，生活様式と真菌数，ダニ抗原量の検討

- (1) 建築構造：一般真菌数は，鉄骨系プレハブ>木造板張り（ $p < 0.05$ ），好乾菌数は，木造板張り>鉄筋コンクリート造（ $p < 0.01$ ），木造モルタル塗り>鉄筋コンクリート造（ $p < 0.05$ ）であった。鉄筋コンクリート造の住宅では一般，好乾菌共少なかった。ダニ抗原量は建築構造による差は認められなかった。（図3-5）
- (2) 建築後年数：建築後年数が長くなるにつれて真菌数，



気管支喘息患者の寝具塵と室内塵中のDer 1量

図3-1



イヌの飼育状況と寝具塵中のCan f 1量

ネコの飼育状況とFel d 1量

図3-2

ダニ抗原量とも増加する傾向があるも有意ではなかった。

(3) ジュウタンの有無：ジュウタン有りの住宅では、好乾菌数 ($p < 0.05$)、Der 1 量 ($p < 0.05$) はジュウタン無しの住宅よりも有意に高値を示したが、一般真菌数では差が無かった。(図3-6)

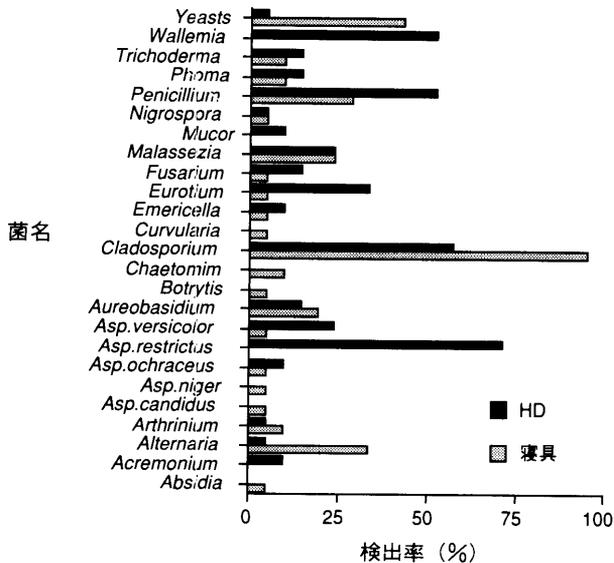


図3-3 HDと寝具の真菌相

(4) 掃除回数：Der 1 量は掃除機をかける回数が、週に1度以下 ($12.2 \mu\text{g/g dust}$) $> 2 \sim 3$ 日に1度 ($5.86 \mu\text{g/g dust}$) $>$ 毎日 ($5.45 \mu\text{g/g dust}$) の順に多かった。好乾菌も同様の傾向であった。(図3-7)

(5) 空気清浄器の有無：空気清浄器を有する家庭は4例のみであったが、好乾菌数は有意に低く、一般真菌数、ダニ抗原量も、空気清浄器の無い家庭よりも低い傾向がみられた。

4. 考察

4.1 ダニアレルゲンの面から

4.1.1 ヒョウヒダニのアレルゲン

わが国の住居内には、多種類のダニが生息しているが、最も数多く見いだされるダニは、チリダニ科に属するダニである。このチリダニ科のダニは、通常室内塵中の総ダニ数の50~90%を占めており、室内塵ダニ (house dust mite) と言われている。中でもヒョウヒダニ属の2種類のダニ、ヤケヒョウヒダニ (*Dermatophagoides pteronyssinus*) とコナヒョウヒダニ (*D. farinae*) がその大半を占めている。アレルギー疾患に関与する室内の

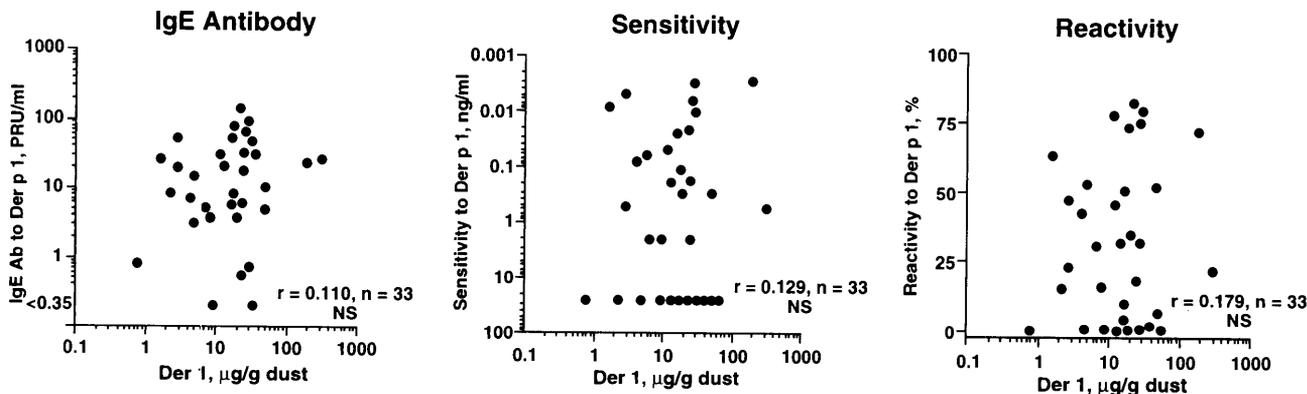


図3-4 寝具中のダニアレルゲン量とDer p 1 に対するIgE抗体価、Sensitivity、Reactivityの関係

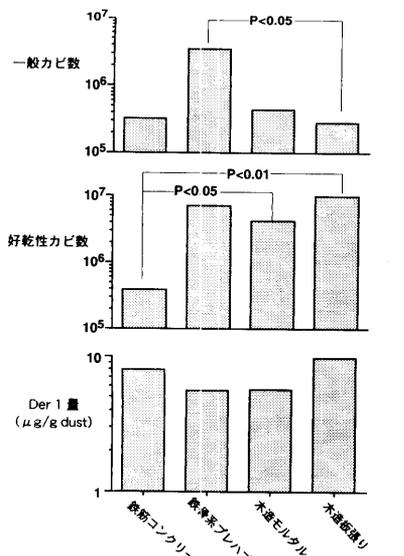


図3-5 建築構造とカビ、ダニ抗原量

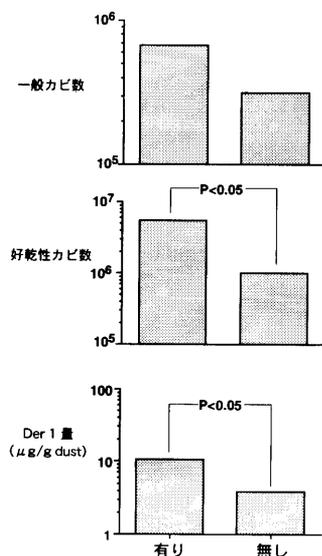


図3-6 ジュウタンとカビ、ダニ抗原量

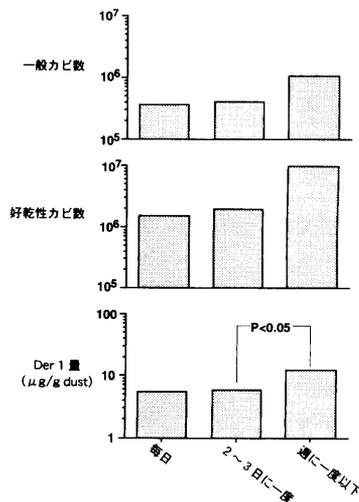


図3-7 掃除機かけ回数とカビ、ダニ抗原量

アレルギーには、ペット、ゴキブリ、カビなどさまざまなものがあるが、最も重要なものは、このヤケヒョウヒダニとコナヒョウヒダニに代表される室内塵ダニである^{21,2)}。ダニの虫体の破片や排泄物がアレルギーとなるが、その中には、数多くの種類のアレルギーとなる成分が含まれている。WHOのAllergen Nomenclature System²³⁾に登録されているもの、すなわち、その存在が確実に同定され、国際的に認知されているものだけでも、Der p 1/Der f 1からDer p 10/Der f 10までの10のグループのアレルギーがある(表4-1)²⁴⁾。ヤケヒョウヒダニ(Dermatophagoides pteronyssinus)由来のアレルギーが、Der p 1, Der p 2, Der p 3……である。それに相当するコナヒョウヒダニ(D. farinae)由来のアレルギーがDer f 1, Der f 2, Der f 3……である。これらのアレルギーは、いずれも分子量が数万の蛋白質で、多くはプロテアーゼをはじめとする酵素である。すなわち、ダニにとっては生命の維持に必須の酵素蛋白質が、ヒトに対してはアレルギーとして働いているということになる。

ヤケヒョウヒダニとコナヒョウヒダニの間の対応するアレルギー、例えば、Der p 1とDer f 1,あるいは、Der p 2とDer f 2の間には、非常に強い免疫学的交差反応性がある。そのため、臨床的にはヤケヒョウヒダニとコナヒョウヒダニを区別する必要は無く、両者は同じアレルギーであるとみなして差し支えない。一般的にアレルギーは、感作頻度が高く臨床的に重要な主要アレルギー(major allergen)と、それ以外のアレルギー(minor allergen)に大別される。ヒョウヒダニに、何種類の主要アレルギーがあるのかということについては、研究者ごとでさまざまな意見がある。その中で、少なくともDer p 1/Der f 1とDer p 2/Der f 2の2種類はヒョウヒダニの主要アレルギーであるということでは見解が一致している^{21,2)}。

表4-1 WHO/IUIS Allergen Nomenclature Sub-Committeeに登録されているヤケヒョウヒダニ, コナヒョウヒダニ由来のアレルギー

アレルギー名	分子量 (x10 ⁻³)	本来の機能
Der p 1/Der f 1	25	cystein protease
Der p 2/Der f 2	14	(epididymal protein)
Der p 3/Der f 3	25	trypsin
Der p 4	60	amylase
Der p 5/Der f 5	14	unknown
Der p 6/Der f 6	25	chymotrypsin
Der p 7/Der f 7	22	unknown
Der p 8	26	glutathione-S-transferase
Der p 9	24	collagenase
Der p 10/Der f 10	36	tropomyosin

4.1.2 ダニによる室内環境汚染の評価方法

室内環境がヒョウヒダニにどれだけ汚染されているのかを評価する方法として、室内塵中のダニの虫体の数を数えるという方法や、グアニン(ダニ類, クモ類に共通する窒素性の代謝最終産物)の量を定量するという方法がある。それと共に、ダニのアレルギーを免疫化学的に定量するという方法もある。この方法は病態に關与するアレルギーそのものを直接測るので、汚染の実態を最も良く反映し、客観的な指標として有用である。特に、単一のアレルギーをマウスモノクローナル抗体を用いる酵素免疫測定法、すなわちELISA法(enzyme-linked immunosorbent assay)で測定する方法は、操作が簡便で実用性が高く、精度、再現性も優れている^{25,6)}。数多くあるダニアレルギーの中でも、主要アレルギーの一つであるDer p 1とDer f 1を測定し、それを合計する。すなわち、Der 1を室内塵1グラムあたりの量($\mu\text{g/g dust}$),あるいは、採塵面積1平方メートルあたりの量(ng/m^2)として表す、というのが今日におけるダニによる環境汚染の評価方法の世界的な主流である。そして、室内塵1グラムあたりで表した時のDer 1量, $2 \mu\text{g/g dust}$, $10 \mu\text{g/g dust}$ という数値がある。これらの数値は、それぞれ、感作の閾値, 発作誘発の閾値に相当するという喘息の、リスクファクターに関する指標も提唱されており、妥当な数値であるとして定着してきている^{22,4)}。

室内塵中のDer 1をELISA法で定量することにより、個々の住居、あるいは日本全体のダニによる汚染のレベルを、世界共通の尺度で比較することができる。また、さまざまなダニアレルギー対策商品や、環境整備策の有効性について、客観的、定量的な評価を下すことができる^{27,8)}。同様に、ネコ(Felis domesticus)やイヌ(Canis familiaris)についても、その主要アレルギーであるFel d 1, Can f 1のELISA法による定量法が確立されており、室内環境中のネコ、イヌアレルギーによる汚染の評価に利用されている。

4.1.3 ヒョウヒダニの増殖にかかわる要因

ヒョウヒダニの増殖には、気温、湿度、食物、生息場所など、さまざまな要因がかかわっている。数多くの疫学的調査のデータによれば、特に湿度が重要で、各地域におけるダニによる平均的な汚染のレベルと、その地域の年平均の絶対湿度との間には、有意な相関関係が認められている。すなわち、高湿度の地域ほどダニに汚染された地域であり、わが国は世界でも最もダニに汚染された地域の一つである。自然換気のみで室内の絶対湿度を、 $7.0\text{g H}_2\text{O/kg air}$ (気温が 20°C の時の相対湿度約45%)以下に維持することができる比較的乾燥した気候の地域では、湿度さえこのレベルに維持すれば、それ以外の特別な対策を実施しなくても、ダニアレルギーによ

る室内環境の汚染を感作の閾値以下に保つことができる²⁴⁾。しかし、わが国のように高温多湿の地域においては、自然換気のみで室内の湿度をこのレベルに維持することは不可能であり、他の視点からの対策を考える必要がある。

疫学的な視点からマクロにみれば、室内の絶対湿度がダニの増殖にかかわる最大の要因であるが、気候が同じ一つの地域内においても、個々の住居のレベルでは、ダニによる汚染の程度には、大きな差異がみられている。すなわち、ダニの増殖の程度は、湿度だけによって一義的に決定されるのではなく、それ以外の要因も大きくかかわっていることを示している。

4.2 ペットアレルギーの面から

近年のペットブームや室内でのペットの飼育が増え、これらのペットがアレルギーとなって引き起こされるアレルギーの増加が考えられている。後述するように、ペットを飼っている家庭での、ネコ、イヌアレルギー暴露量は、小児喘息の原因となるダニアレルギーよりも非常に多いことが、明らかになっている。したがって、今後、ペットの増加に伴い、室内アレルギーとして、更に重要になると考えられる。

これまでも、阪口らはネコ、イヌアレルギー量の調査を小規模で行ってきたが、今回の研究は、イヌとネコアレルギーの測定では最も規模が大きい研究である。

4.2.1 ペット飼育状況

日本で飼育されているペットの数に関する唯一の公的な情報として、1994年にイヌの登録数414万匹が報告されている²⁵⁾。この資料によると、愛知県が29万匹と最も飼育頭数が多く、次に神奈川県、東京都の順になっている。また、大阪府の登録数は静岡県よりも少なく、愛知県の半分で、必ずしも人口の順になっている訳ではなかった。これらの数字は、登録されているイヌの数であるので、実際に登録されないで、飼育されているイヌも多く存在すると考えられる。一つの参考情報として、ペットフード会社の調査によると、イヌの飼育数は約900万匹、ネコが約600万匹と推定されている。この数が、より現実的なデータかも知れない。

他のペットに関しては、その飼育数などの情報は全く分かっていない。更に最近、ペットの種類の多様化傾向にあり、これまで、ペットとしてあまり一般的でなかった爬虫類や、珍しい哺乳類などの動物も、室内で飼育されるようになってきた。今後の飼育状況によっては、これまでに報告がなかったような、珍しいペットアレルギーが問題になる可能性もある。

4.2.2 ネコアレルギー

ネコは、ペットアレルギーの中で最も重要なアレルギーとされている。ネコから、アレルギーを引き起こすアレルギータンパクが分離、精製されており、このネコアレルギーはFel d 1と命名されている。このFel d 1は分子量が37,000の糖タンパクから形成されている。当初、このFel d 1は唾液中に存在し、ネコが毛づくろいする時に毛やフケに付着して、室内環境中に飛散されるものと考えられていた。しかし、最近になって、ネコの体表の皮膚のFel d 1の分布を調べたところ、毛づくろいできない、更に皮脂腺の分布の多いしっぽの付け根のところに、このアレルギーが多いことが分かった。現在のところ、皮膚や皮膚からの分泌物がこのアレルギーの主な発生源として考えられている。

このネコアレルギーは、最も研究が進んでいるアレルギーの一つである。その遺伝子もクローニングされ、その遺伝子情報も明らかになった。この情報から、ネコアレルギーの治療のため、治療用抗原が作成され、現在、米国において、ネコアレルギー患者に対して臨床試験が行われている²⁶⁾。もし、この治療が成功すれば、アレルギーの画期的な治療法となるのではないかと期待されている。

4.2.3 イヌアレルギー

上述したように、ペットとして飼育されているイヌの数は、ネコより多いと言われているが、野外で飼育されていることが多いため、ネコに比べ、イヌアレルギーは少ないと考えられている。以前、イヌアレルギーは血清由来のものと考えられていたが、最近の研究でイヌの毛やフケからアレルギーが分離、精製され、Can f 1と命名されている。Can f 1は分子量22,000のタンパクからなる。このアレルギーはネコに比べ、その情報はまだ豊富ではない。イヌアレルギーの重要性を考えれば、今後、研究が進むものと思われる。

4.2.4 室内環境中のペットアレルギーの測定

本研究では、免疫学的測定法を用いて、家庭内でのネコ、イヌアレルギーの暴露状況を調べる目的で、家塵中及び寝具中のネコ、イヌ主要アレルギーの絶対量を測定し、飼育状況との関連を検討した。現在ペットを飼育中の家庭では、有意に、しかもかなり高いレベルの抗原量が検出され、その量はダニアレルギー量よりも多い場合があり、ペットを飼っている家庭では非常に重要なアレルギーと考えられる。また、ネコアレルギーは、これまでネコを飼っていなかった家庭でも認められた。他の報告でも同様の傾向がみられるが、この理由については、まだ不明であるが、ヒトの衣服などにも付着するので、何らかの形で、外部から持ち込まれるのではないかと考

えられる。

ペットアレルギーの場合、家屋の建築様式や建築後年数などとは、関係ないと考えられる。換気システムの改良や換気量の増加は、これらのアレルギーの暴露回避には有効であると考えられる。この場合は空気中のアレルギー量を測定して評価しなければならない。

また、ネコは布団にもぐり込む性質があるため、各家庭における布団には、かなりネコアレルギーが蓄積している可能性があると考えられる。今回の調査では、ネコ、イヌアレルギー量とも、家塵中と寝具中とは相関したが、寝具中で特に高値を示すことはなかった。しかし、ダニ抗原量に比べるとネコアレルギー量は約8倍多かった。阪口からも寝具中のアレルギーを測定したところ、ネコのいる家庭の寝具中のFel d 1は、617 μ g/gと高く、Der 1の60倍であった。これらの結果より、ネコ、イヌのいる家庭では、ダニアレルギーに比べ、居間での生活、及び、睡眠中も、高濃度のペットアレルギーに暴露されていることが明らかになった。

ネコのアレルギーの暴露を減少させるため、ネコを定期的に水で洗うことが奨励されている²¹¹⁾。このように、寝具がネコアレルギーに汚染されている時は、その寝具を水洗いすることにより、95%以上のFel d 1を除くことができる²¹²⁾。ダニアレルギーと同様に、定期的な寝具の水洗いは、これらアレルギーの暴露量を減少させるのに効果的な方法かも知れない²¹³⁾。

また、家庭内での空気中のFel d 1粒子径を測定したところ、2.5 μ m以下の粒子中にも、Fel d 1アレルギーが多く含まれることが明らかになった。ネコアレルギーは、ダニアレルギーなどの粒子径に比べ、比較的小さな粒子で空気中に存在するため、ネコアレルギーが気管支に侵入し易くしている。このことから、ネコのアレルギーが、喘息を発症させ易いのではないかと考えられている。

4.3 真菌アレルギーの面から

建築様式による真菌の分布、汚染の差異について、わが国での調査研究はほとんどなされていない。特に近年、建築構造は、快適性を最優先させる傾向にあり、そのため、住環境が、必ずしも、ヒトの健康からみて良好な状態にあるとは限らない。すなわち、住環境には、ますます気密性を持たせ、しかも狭い空間を有効に利用するために、さまざまな機能を持たせるようになってきている。このことが、健康面からみて、はたして好ましい環境かという肯定されるとは言えない。

建築と真菌の関係をみても、建築構造の違い、建築後年数、床材料、住人構成、陽当たり、方向などにより大なり小なり異なってくる。そこで、これらの建築様式のいくつかをとり挙げ、真菌の成績から、どのような評価が得られるか、特に、住環境でのより良い健康な生活が

得られるには、どのように改善すればよいかを考察したい。

建築様式として、建築構造、建築後年数、窓の材料、広さ、床の材料、ジュウタン、ソファなどを対象とし、それぞれの差により、住環境にみるハウスダスト中の真菌数や種との関係を考察する。

4.3.1 建築構造

建築構造（鉄筋コンクリート造、鉄骨系プレハブ、木造モルタル塗り、木造板張り）の真菌をみると、一般カビでは、鉄骨系プレハブが他の構造に比して、菌数的に多い結果が得られた。酵母では、大きな差がみられなかったが、好乾性カビは、木造板張り、鉄骨系プレハブ、木造モルタル塗りの順に多かった。そこで、構造の差による各菌数を比較した。一般カビでは、木造板張りと鉄骨系プレハブ間に有意差がみられ（ $p < 0.05$ ）、また、一般酵母では、鉄筋コンクリート造と木造モルタル塗り間で同様に有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。更に、好乾性カビでは、鉄筋コンクリート造と木造モルタル塗り（ $p < 0.05$ ）、木造板張り（ $p < 0.01$ ）に有意差を認めた。このように、構造の差により、真菌数の差がみられることは、近年の住宅建築の特徴と思われる。すなわち、構造の差による気密度が真菌数差に強く影響するものと考えられた。

4.3.2 建築後年数

建築後年数を、新築に近い3年未満、3～10年、10年以上に分け比較してみた。その結果から、一般カビ、一般酵母、好乾性カビ共に有意差をみることは無かったが、好乾性カビが、3年～10年及び10年以上にやや多い傾向がみられた程度であった。この結果では建築後年数に真菌数は依存しないと言えるが、一般に新築時の住宅にみる真菌数は多く、かつ、真菌種にも特徴があることが分かっており、この点に注意を払う必要があると思われる。

4.3.3 窓材料

アルミサッシは、気密性と軽さが好まれ多くの建築で用いられている。そこで、アルミサッシとその他の木造サッシによる真菌数差をみた。その結果から、両者には差を認めることが無いものと結論された。窓と真菌の関係をみる場合、特に注意しなければならないのは、窓そのものであり、結露により、窓枠の樹脂類が一般カビに汚染を受けることが多い。そのため、窓に近い部分での汚染に気を付けねばならない。

4.3.4 部屋の広さ

住宅内の部屋の広さと真菌数の関係をまとめた。部屋の広さを6畳以下、9畳前後、12畳以上に分けてみたが、

一般カビ，一般酵母，好乾性カビそれぞれに差がみられなかった。この結果から，真菌数は住宅の広さとかかわりなく，ほぼ同じような環境とみることができる。

4.3.5 床材料

床材料は多様であり，木や樹脂を用いた板の間（フローリング）や，タタミに加え，クッションフロアでの比較をしてみた。三者間での真菌数はほぼ同じであり，顕著な差をみることは無かった。床材料中のダスト一定量を用いて真菌培養したが，タタミ，フローリング，クッションフロアの，一定面積あたりのダスト量には差がみられ，フローリングでは少ない。すなわち，三者間でのグラムあたりの真菌数には差が無いが，一定面積での真菌数は，フローリングが最も少ないことは，今までの研究成果から，すでに報告されている。その意味では，なるべくダスト放出，蓄積しないフローリングが，ダニ防御できることと同様に，真菌でも有効な床材料と言える。

4.3.6 ジュウタン

床材での，ジュウタンの有無による真菌数をみると，一般カビ，一般酵母では差をみないが，好乾性カビでは著しい差がみられた。すなわち，ジュウタン有りの方が無しに比べカビ数が多く，ジュウタンでの好乾性カビの高汚染が指摘された。好乾性カビとして *Aspergillus restrictus*，*Eurotium*，*Wallemia* が知られており，これらがいずれも長期にわたり，これまでジュウタン内で生存できることから，多いものと推察される。またジュウタンでのダニも重要であり，ダニの多い場所には必然的にカビ（特に好乾性カビ）も多くなる傾向にある。

4.3.7 ソファ

ソファの有無による真菌数では，ほとんど差がみられない。ただし，今回の成績からは知ることができないが，ソファの位置により，真菌数に差がみられることがあり，一般には，ソファ下部では好乾性カビが多いとされる。

4.3.8 カーテン

カーテンの有無による真菌数の差はみられなかった。

4.3.9 空気清浄器

空気清浄器による空中環境中の真菌除去効果は大きい。今までの研究結果から清浄器を使用することにより，明らかに空中の真菌を除去し，空中の清浄化を確認できた。今回の対象住宅は，清浄器有り4住宅に対し，無しが34住宅であった。一般カビ，一般酵母は差をみないが，好乾性カビでは，有り $2.4 \times 10^5/\text{g}$ に対し，無しは $3.2 \times 10^6/\text{g}$ で両者に有意な結果が得られた ($p < 0.05$)。このことから，空気清浄器を使用することにより，好乾性カビは少

なくなることが事実だとすれば，ハウスダスト中にみる好乾性カビを，明らかに除去しているものと解釈することができる。ただ，残念なことは清浄器有りが4住宅であり，この有意性を検証するには，更に，住宅数を多くする必要がある。

いずれにしても，空気清浄器自体の真菌除去効果が大きいことから，その利用法を考慮することにより，住環境の改善に非常に有効な対策とみることができる。

4.3.10 掃除機かけ

住宅での掃除回数を，毎日，2～3日に1度，週に1度に分けて，ダスト中の真菌数を比較したところ，一般カビ，一般酵母ではほとんど差がみられなかった。また好乾性カビは，掃除回数が少ないほど多い傾向にあったが，有意差は認められなかった。掃除することにより，ダスト中の好乾性カビは除去できるが，空気清浄器ほどの効果は必ずしも期待できるとは言い難い。事実，そのような結果が今回得られた。いずれにしても，掃除機をかけることで真菌を除去できることは明らかであり，また，ダスト中のダニアレルゲンの除去にもつながることから，有効な方法の一つとみることができる。

4.4 建築工学的立場からの考察

最近では省エネルギーの必要性から，高気密，高断熱の建築が増え，年間を通じて，人間に住み良い住環境を提供している。これが，カビ・ダニにとっても住み良い環境となり，これらがアレルゲンとなっている。カビには実に多くの種類があり，乾燥した状態を好むカビや，湿潤な状態を好むカビもある。しかし，カビの生育には水分が必要であり，一般には湿った環境を好む。どうしても，建築物に結露が生じると，カビが生育し易くなる。高断熱，高気密の住宅になり，管理された換気が行われないと結露が生じ易く，結露が生じるとカビが生え，カビが生えると，これを餌とするダニがやって来るという循環を起こすことになる。

4.4.1 わが国の気候

(1) 気温

大気中の空気の温度である気温は，太陽放射や，二次的には地温の影響を受けて，絶えず変化している。気温の日変化は日の出頃に最低になり，午後2時頃に最高になる。この最高温度と最低温度の差を日格差と言う。東京では日格差は 11°C 札幌では 13°C である。わが国の他の地域でもおよそ 10°C 程度であり，比較的穏やかな変化を示す。これはわが国の周囲が熱容量の大きな海に囲まれていることによるもので，気温そのものが微生物の生育にとって有利な条件にある。

(2) 湿度

湿度は、大気中に含まれる水蒸気量を示すもので、気象上は相対湿度で示される。湿度の変化は、気温の変化とほぼ逆の状態になる。これは、大気中の水蒸気あまり日変化しないのに対し、昼間の温度が上昇することにより飽和水蒸気量が増大し、その結果、相対湿度が低くなることによる。一方、相対湿度の年変化は、夏期に高く、冬期に低くなる。夏は、わが国特有の高温多湿の状態になり不快である。気温と湿度は、人々の生活、並びに微生物の生息に大きな影響を及ぼす。建築物に対しても、結露を生じさせる原因となる。

4.4.2 結露

結露現象とは、それまで空気中に含まれていた水蒸気が水滴になって、ガラスに付着するもので、この結露現象は、ガラス表面だけでなく、壁や天井、場合によっては、床にまで生じることがある。これらの表面に結露が生じると、カビの生育条件に都合がよくカビが生え、また、これを餌としてダニの発生が生じるということになる。一度結露が発生した壁は、熱的な条件が悪くなり、更に、結露を増長する傾向がある。

4.4.3 熱橋

建築物の隅角部は、2つの面から冷やされるようなことになり、熱的に不利な状態になる。この部分の内表面温度は、他の内表面温度に比べて低下し、これに接する空気は、露点温度に達し易く結露し易い。その他、外壁で、構造上の理由などで、熱を伝え易い鉄骨などが内部に入っている場合がある。こういう部分の内表面は、やはり結露を生じ易くなる。こういう部分では、特に断熱を施すなどして、結露を防止する必要がある。また、隅角部などでは、暖房管を配設して常時温めるようにして、結露を防止するということもある。

4.4.4 暖房器具の上手な配置

暖房器具は、外壁の窓の下に配置したい。窓ガラスは、一般に外壁部分より熱的に弱いので、冷たい風がガラスに沿って下りてくる。これをコールドドラフトと呼ぶ。コールドドラフトを相殺するためには、放熱器は、ガラス窓の下に配置することが望ましい。放熱器を外壁の反対側に配置したりすると、ガラスのコールドドラフトが床を這って流れ、足下に不快感をもたらせるだけでなく、室内に熱的に不利な状態を形成し、結露を生じさせる原因ともなる。欧州では一般に暖房は建物全体で行い、ある部屋だけ暖房をするということは稀である。しかし、わが国では、特定の部屋を暖房する部分暖房が主流であり、このことにより建物内に温度分布が生じ、室温の低い部屋で結露が生じることがある。また、わが国では時間を限定して暖房を行う間歇暖房が主流である。このこ

とにより、室温の下がる部屋が生じてしまい、結露が生じることがある。一旦結露が生じると、建材が濡れ、熱伝導率が大きくなり、熱を伝え易く、更に結露を促進するという悪循環が生じる。建築物に結露が生じると、カビが生え易く、カビが生えたと、それを餌としてダニがやってくると言うのは前述の通りである。

真菌の内、比較的乾燥した場所でも生息可能なものを、耐乾性真菌というが、それでも、相対湿度70~80%で生息可能であり、人間の居住環境としては比較的湿った場所と言える。したがって、建築工学の立場から真菌を防止するには、湿った環境を作らない、それには、結露を生じさせないことが大切になる。そのためには、外壁の断熱、室内側表面の風通しの良さ、熱橋対策、暖房器具の配置などに考慮することが大切になる。

4.5 空気清浄機の効果

われわれの憩いの場である住宅の室内環境が、アレルギー医学の面からみると、好ましくない状況であることが問題となっている。身近な例でも、ダニの糞や死骸、ペットのフケや排泄物、カビ、建材や家具から揮発する化学物質、また、外気から侵入するNO_x、SO_xなどの大気汚染物質などなど、われわれはアレルギーの原因物質に囲まれて生活している、と言っても過言ではない。その対策としては、それぞれの発生源を絶つことが有効である。特に、ダニ、ペット、カビなどの生物に起因するものは、生活習慣の変更や徹底的な掃除によって、原因物質を排除することで、症状改善に効果があることが報告されている^{214,15)}。一方、住宅の構造、材料、住宅設備の面でも、年々技術的な対応が取られている。室内空気質改善に使用される住宅設備として、換気設備と空気清浄機が一般的だが、いずれも、現在さまざまな商品が市場に提供されている。ここでは、ダニ、ネコアレルギーに対する空気清浄機の集塵効果を中心に、若干の検証と考察を試みる。

4.5.1 室内空気質汚染物質

アレルギー疾患と関連の深い、代表的な室内空気汚染物質は、ダニに起因するもの、ペットに起因するもの、花粉、真菌、ホルムアルデヒド、VOC (Volatile Organic Compounds 揮発性有機化合物)などの化学物質とさまざまなものがある。したがって、室内での分布状況は発生源や形状により大きく異なる。花粉症の原因となるスギ、ヒノキ、ブタクサ、カモガヤなどの花粉は粒径が数十 μm と大きく、室内に侵入したものは数分で床に沈降する。ダニに起因するものは2 μm 以上を中心に分布し²¹⁶⁾、歩行やフトンの移動などで飛散したものは、30分ほどで床に沈降するが、生活行動により再飛散する。VOCなどのガス状の物質は、室温により揮発量が変動し、新築後徐

々に減衰しながらも一定期間常時存在する。

4.5.2 室内空気質改善と住宅用設備

空気清浄機と換気設備は、共に室内空気質改善に資するものであるが、その特性から、対象と用途が若干異なる。空気清浄機は、その可搬性と風量変更が可能という機能性、簡単な操作性から、使用者の近傍での生活状況に応じた用途に特徴を持っている。したがって、利用空間が部屋単位、使用者の近くに限定される反面、フィルター素材の選定や機器仕様の設計により、広範な汚染物質に対応できる強みを持っている。一方、換気設備は、風量や音、取り付け位置の制約から、使用者近傍の粒子状汚染物質の除去には効果を得にくい反面、24時間換気によりVOCなどガス状汚染物質の除去に効果を発揮する。また、湿度制御を組み込むことで、高気密・高断熱型住宅に対応した、高機能型の全館空調・換気システムも発売されており、ダニやカビの発生そのものの抑制効果が期待される。

4.5.3 空気清浄機によるダニ、ネコアレルゲンの捕集

ダニ、ペットに起因する粒子状汚染物質の除去に、空気清浄機がどの程度効果があるかの検証方法の一つとして、フトンを叩くなどの処置でハウスダストを擾乱させた後、空気清浄機を運転しながら、パーティクルカウンターで粒子数の時間変動を計測し、減衰率を非運転時と比較することが行われている。ファン式の空気清浄機では、1時間以内に粒子数を1/10まで低減することができ²¹⁷⁾。

容易に想像できるように、粒子状汚染物質の空中浮遊量は、生活状況により大きく異なる。日本製空気清浄機（風量2.3m³/min）を7家庭に設置して、実際の生活状態で1週間連続運転し、フィルターに付着したダニアレルゲンDer p 1、Der f 1とネコアレルゲンFel d 1を、ELISA法により計量したものを表4-2に示す。表4-2には、集塵効率100%とした時の風量から算出した、空中浮遊アレルゲン量の推定値（1週間の平均値）を併記し

ている。また、一部の家庭では、部屋の床面を掃除機で吸引し、掃除機のフィルターに付着したアレルゲンの計量を行った。ダニ、ネコ共に、家庭により浮遊アレルゲン量が大きく異なること、ダニアレルゲンでは、浮遊アレルゲン量が、床面に堆積したアレルゲン量と、必ずしも相関しないことが分かる。アレルゲンの主な集積源が床面以外にあること、浮遊アレルゲン量はその部屋での生活行動に影響されることが原因と思われる。また、ネコ飼育家庭では、ダニアレルゲンの数百倍から数千倍のネコアレルゲンが集塵されたことから、ネコアレルゲンが空中に飛散し易く、室内に大量に浮遊していることが推定できる。

4.5.4 ネコアレルゲン捕集に対する空気清浄機の効果

ネコ飼育家庭での、空気清浄機の効果を検証するため、実生活状況で、ローボリュームエアサンプラーを用いて、空気清浄機（風量2.7m³/min）の有無による、空気中の浮遊アレルゲン量を測定した。3時間の運転期間中、平均して30%強のFel d 1低減がみられた。前節の粒子数減衰率に比べて効果が少ないのは、短期間使用では、生活行動で床面などから飛散する供給量が多いためと推察される。同時に大風量型（13m³/min）の米国製空気清浄機との比較も試みたが、この大風量空気清浄機は、吹き出し風速が大きく、堆積アレルゲンを吹き上げるためか、小型空気清浄機より悪い結果となった。

4.5.5 今後の方向性

これまで各方面で、空気清浄機の浮遊アレルゲンの除去効果が実験され、アレルギー疾患改善の医療評価も試みられている。現在の商品は、一定の室内環境改善は認められるものの、部屋全体を、常時、低濃度アレルゲン状態に維持するクリーンルーム用の設備ではない。今後、生活空間の改善を考え、室内環境アレルゲン除去により適合した機器開発を進めると同時に、その効果的な使用方法のソフト作りも、合わせて取り組む必要があると考える。

表4-2 ダニアレルゲン、ネコアレルゲンの空中浮遊量

試料	ネコの有無	ダニ：Der 1 (Der p 1+Der f 1)			ネコ：Fel d 1		
		空気清浄機補足	浮遊アレルゲン量の推定値	掃除機補足分	空気清浄機補足分	浮遊アレルゲン量の推定値	掃除機補足分
		(pg/sample)	(pg/m ³)	Der 1 (μg/g-dust)	(pg/sample)	(pg/m ³)	(μg/g-dust)
A邸	あり	13,800	0.595	7.450	1,748,000	75.400	4.840
B邸	なし	24,588	1.061	42.700	0	0.000	0.840
C邸	なし	104,500	4.507	8.670	20,720	0.894	0.230
D邸	以前あり	393,200	16.960	4.020	6,410,000	277.000	12.900
E邸	あり	93,000	4.011	未実施	55,000,000	2,370.000	未実施
F邸	あり	29,200	1.259	未実施	59,600,000	2,570.000	未実施
G邸	あり	32,600	1.406	未実施	3,043,000	131.000	未実施

5. 結 語

われわれの施設（国立相模原病院）は、わが国で最も多数例の、成人気管支喘息患者を診療している施設であり、軽症から重症、難治性まで幅広い層の患者群を診療の対象としている。小児喘息は、その大部分がアレルギー-IgE抗体-マスト細胞-化学伝達物質-気道平滑筋痙攣を病態とする、いわゆるアトピー型喘息である。成人喘息では、上記機序のみならず、アレルギー-T細胞-好酸球-気道炎症、更には、アレルギーを介さない機序など、多くの因子が介在した非常に複雑な病態が考えられている。小児喘息では、その発症及び症状増悪と、環境中のアレルギー量（主としてダニアレルギー）との関連についての研究が少なからず認められる。しかしながら、複雑な病態機序が考えられる成人喘息では、ほとんどみられない。われわれは、これまでに、気管支喘息をはじめとするアレルギー疾患の研究を、特にアレルギーの面から研究してきた。われわれは、環境中のダニ group 1 アレルギー (Der p 1/Der f 1), group 2 アレルギー (Der p 2/Der f 2) 量の定量法を確立し、家庭環境調査において、既に多くの検討結果を有している。また、住宅屋内環境中の真菌のアレルギー性についても、既に報告してきた。今回は、これまでに積み上げてきた生物関連アレルギー定量法を用いて、住宅屋内環境中の多種類のアレルギー量を測定し、成人喘息の症状発現との関連を検討することは、①成人喘息で初の試みであること、②同一試料を用いた多種類のアレルギーについての検討であること、などを特色とする研究である。そして、建築学、換気工学などの他領域科学との共同研究として建築様式、内装、外装、生活様式などについて総合的に検討した。本研究をきっかけに、今後のアレルギー曝露の回避・予防についての共同プロジェクトへの発展へと進めば、学域を越えた住宅関連研究として意義あるものとなるであろう。

<参考文献>

- 1) Platts-Mills T.A.E., de Weck AL.: Dust mite allergens and asthma—a world wide problem. J.Allergy Clin Immunol 83 : pp.416-427, 1989
- 2) Platts-Mills T.A.E., Thomas W.R., Aalberse R.C., Vervloet D., Chapman M.D. : Dust mite allergens and asthma : report of a second international workshop. J.Allergy Clin Immunol 89 : pp.1046-1060, 1992
- 3) King T.P. et al., Allergen nomenclature. Bull WHO 72 : pp.797-806, 1994
- 4) Platts-Mills T.A.E., Vervloet D., Thomas W.R., Aalberse R.C., Chapman M.D. : Indoor allergens and asthma : report of the third international workshop. J.Allergy Clin Immunol, in press.
- 5) Luczynska C.M. et al. : A two-site monoclonal antibody ELISA for the quantification of the major Dermatophagoides spp. allergens, Der p1 and Der f1. J.Immunol Methods 118 :

- pp.227-235, 1989
- 6) Yasueda H., Saito A. et al. : Estimation of Der p1 and Der f1 quantities in the reference preparations of Dermatophagoides mite extracts. Clin Exp. Allergy 24 : pp.1030-1035, 1994
- 7) 安枝浩：ダニアレルギーの定量法について。アレルギーの臨床 13 : pp.464-467, 1993
- 8) 阪口雅弘, 井上栄ほか：布団内ダニアレルギーの除去方法の評価。アレルギー 40 : pp.439-443, 1991
- 9) 厚生省大臣官房統計情報部：衛生行政業務報告 pp.168, 1994
- 10) 森晶夫・奥平博一：アレルギー疾患の免疫療法。医学のあゆみ 167 : pp.312-316, 1993
- 11) Platts Mills, T.A.E., Solomon, W.R. : Aerobiology and inhalant allergens. In : Middleton, E., et al. eds. Allergy : principles and practice, St. Louis, C. V. Mosby, pp.469-528, 1993
- 12) Hashimoto M., Nigi H., Sakaguchi M., et al. : Removal of cat major allergen (Fel d 1) from futon (Japanese bedding) with a home washing machine. J. Vet. Med. Sci. 56 : pp.597-598, 1994
- 13) Watanabe M., Sakaguchi M., Inouye S., et al. : Removal of mite allergens (Der I and Der II) from blanket: Comparison between washing in hot water and dry cleaning. J.Allergy Clin Immunol 96 : pp.1010-1012, 1995
- 14) 佐々木聖：アトピー家庭におけるダニ駆除によるダニ感作、発症の阻止効果，厚生省アレルギー総合研究事業総合研究報告書，pp.45～47，厚生省，1995.7
- 15) 前田裕二：ペットアレルギーとアレルギー疾患 アレルギー 45 : No. 2・3, p.163, 日本アレルギー学会，1996.3
- 16) 津端利絵, 吉澤晋, 阪口雅弘：生活行動とダニアレルギー粒子, 第14回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.135～138, 日本空気清浄協会, 1996.4
- 17) 大村道雄, 入江建久, 池田耕一, 阪口雅弘：室内型空気清浄機の性能比較, 第14回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.383～396, 日本空気清浄協会, 1996.4

<研究協力者>

- | | |
|-------|-------------------------------------|
| 大野 滋 | 横浜市立大学第1内科医員
(国立相模原病院臨床研究部医員) |
| 斎藤 明美 | 国立相模原病院臨床研究部研究員 |
| 西岡 謙二 | 神奈川こども医療センター医員
(国立相模原病院臨床研究部研究員) |