

環境アレルギー問題の現状と課題

各種アレルゲンに対応した原因と対策の横断的取り組み

日本臨床環境医学会環境アレルギー分科会

活動報告書

初版 2021年10月

環境アレルギー分科会報告書 目次

1. 本分科会設置の背景と目的、活動概要	-1
2. 環境アレルギー増加の背景と要因	
2.1 環境アレルギーによる健康被害と治療	-3
2.2 喘息と環境因子	-5
2.3 化学物質の健康影響	-8
2.4 衛生仮説とエンドトキシン	-12
2.5 ウレタン樹脂の健康影響	-15
2.6 新型コロナウイルス感染症について	-17
3. 環境アレルゲン（カビ、ダニ、スギ花粉）の現状と介入調査	
3.1 カビの種類と特性	
(1) カビの種類	-20
(2) カビの特性と住まい	-22
3.2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度	-24
3.3 東日本の住宅 60 軒における MVOC 類濃度とダンプネス指標	-28
3.4 ダニアレルゲンの実態と環境整備による防除	-29
3.5 ネコ飼育住居の壁面付着ネコアレルゲン調査	-33
3.6 東日本大震災被災者のダニアレルギーの実態と対策	
(1) 小児アレルギー疾患に対する環境整備介入効果の検証	-35
(2) 住環境変化と高齢者のダニアレルゲン感作	-37
3.7 小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果	-39
3.8 各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査	
(1) 仮設住宅における真菌と温熱環境	-42
(2) 震災後避難していた住宅における室内真菌濃度	-43
(3) 帰宅困難地域の住宅におけるハウスダスト中のダニ・カビ・エンドトキシン	-44
3.9 スギ花粉の実態と対処法	-45
4. 環境アレルゲン対策技術と関連課題	
4.1 住宅の空気質維持のための換気対策	-49
4.2 アレルギー対策のための全館空調住宅の評価	-53
4.3 空気清浄機の除去性能	
(1) 超微小粒子（UFPs）	-57
(2) 真菌	-59
4.4 市販マスクろ材の花粉捕集効果	-61
4.5 石油ストーブからの VOC 発生	-63
4.6 室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動	-65
5. 要約と総括	-69

緒言

アレルギー 花粉	室内環境 カビ	アレルゲン ダニ
-------------	------------	-------------

環境アレルギー分科会設置の経緯と主な活動内容

アレルギー疾患とは、特定の抗原(アレルゲン)に対する生体の免疫応答が過剰に誘導され、かえって生体に不利益を与える病態を指す。治療には、免疫応答を調整することが目的のステロイドや抗アレルギー薬などの薬物療法、および減感作療法などの免疫療法が、永らく主流を占めてきた。

ところが治療の進歩とは裏腹に、喘息、アレルギー性鼻炎、アトピー性皮膚炎、食物アレルギーなどのアレルギー疾患は、有症率が世界的に増加の一途を辿り、その傾向は子どもで顕著である。その背景として、環境因子、すなわち環境中のアレルゲン(環境アレルゲン)やアレルギー疾患増悪因子による発症増悪が目されるようになった。2014年に国はアレルギー対策基本法を制定し、アレルギー疾患対策の総合的な推進に乗り出した。同法第15条には、生活環境の改善として、大気汚染の防止、森林の適正な整備、アレルギー物質を含む食品に関する表示の充実、建築構造等の改善の推進などの措置を講ずることが謳われている。

この状況を踏まえ、日本臨床環境医学会においても、室内環境におけるアレルギー問題を整理し、測定法や環境改善によるアレルギーの防止対策を学際的に検討するための分科会設立を、同学会理事の東北文化学園大学大学院 野崎淳夫が提案し、医学、疫学、化学、建築学などを専門とする会員多数の賛同を得て、活動計画書を作成、同学会理事会に提出し、2018年9月7日、同学会環境アレルギー分科会の設置が承認された。

第1回会合は2018年12月8日に東京工業大学大岡山キャンパス食堂で開かれ、委員19名の参加を確認し、代表として同学会理事の東京女子医科大学 平久美子、幹事として(株)シミズビルライフケアの山野裕美を指名承認した。会の基本方針として、いくつかの研究テーマを設定し、文献収集、アンケート調査、実態調査、実験室実験などを行い、研究成果を次年度の日本臨床環境医学会学術集会などで発表することを確認した。

環境アレルギー分科会代表

東京女子医科大学東医療センター ○平 久美子

さらに2019年2月1日の東京工業大学田町キャンパスで開かれた第2回会合において、初年度のテーマを、室内環境アレルゲンとアレルギー疾患に関する知見の整理とし、各回、回り持ちで各専門分野に関する知見を発表し、互いに意見交換を行い、毎回議事録を作成するとともに、講義内容は、演者によりその都度論文形式の抄録として執筆し蓄積することになった。併せて野崎淳夫委員の副代表就任が決議された。

毎回の分科会開催は、同学会理事の東京工業大学 鍵直樹委員の取り計らいで、同大学田町キャンパスの会議室を無料で使わせていただくことができた。2020年4月に新型コロナウイルス感染症の流行拡大による緊急事態宣言が出された後は、対面形式を避け鍵直樹委員の手配により ZOOM を用いた WEB 形式で行った。結果的に遠方のメンバーが参加しやすくなり、より活発で質の高い議論がなされるようになった。

毎回、分科会メンバーおよび招聘講師により執筆された室内環境アレルゲンとアレルギー疾患に関する抄録は、2021年10月に、東北大学名誉教授 吉野博の監修のもとに分科会報告書としてまとめられ、日本臨床環境医学会のホームページに、学会誌「臨床環境医学」の別冊として上梓されることになった。

環境アレルギー研究の学術的背景

アレルギー疾患の症状発現には、アレルゲンに特異的な免疫応答(獲得免疫応答)とともに、アレルゲンに非特異的な免疫応答(自然免疫応答)が重要な役割を演じている。約30年前から提唱されている衛生仮説と、それに基づく研究は、これらの免疫応答が、ヒトと細菌の相互関係により変化しうることを示した。一歩外に出れば車が道路を行き交い、幼児の外遊びは減少傾向にある。土や生き物に触れることなく、一日の大半を室内でテレビやビデオ、電子玩具とともに過ごし、風邪をひけばすぐ抗生物質が与えられる、という昔前には考えられなかったような無菌的環境で育つことで、獲得免疫応答および自然免疫応答が過剰に活性化し、アレルギー疾患の発症増悪が起りやすくなる、とする説には説得力がある。

1.本分科会設置の背景と目的、活動概要

一方、室内環境にアレルゲンが増加すると、アレルギー疾患が発症増悪しやすいことが証明されている。住環境の変化(機密化、高温多湿化)により、室内アレルゲン(花粉、ダニ、カビ等)は増加、多様化する。その対策として、こまめな清掃と適切な生活用品の選択が、アレルギー疾患の発症増悪を防ぐ可能性が検討されている。

このほか、アレルギー疾患増悪因子として、ウイルス感染、腸内細菌叢の乱れ、母体の妊娠中や産後のうつ、栄養欠乏、母体への家庭内暴力、貧困に加え、環境中の粒子状物質、大気汚染物質、建材由来のホルムアルデヒドやその他の揮発性有機化学物質、近年使用が増加した柔軟剤や芳香剤、消臭剤およびそれに含まれるマイクロカプセル由来のイソシアネート、不快害虫駆除目的の殺虫剤などが報告されている。

さらに、多くの環境アレルゲンやアレルギー疾患増悪因子は、それ自体の刺激性や毒性、あるいは病原性により皮膚粘膜の障害、臓器障害、精神神経障害、感染症、がん、不妊不育、胎盤早期剥離、発達障害などと関連することが指摘されている。

したがって、衛生仮説の妥当性とは別に、合理的方法で室内の環境アレルゲンやアレルギー疾患増悪因子を減らすことは、単にアレルギー疾患の発症増悪の予防だけでなく、国民の健康全般の増進に役立つと考えられる。

学会発表

2019年6月23日に開催された第28回日本臨床環境医学会学術集会分科会セッションにおいて、環境アレルギー分科会活動報告として、演題名「環境アレルギー問題の現状と課題：各種アレルゲンに対応した原因と対策の横断的取り組み」について、平久美子、渡井健太郎、野崎淳夫、吉野博が順次、計20分間のスライド発表を行った。

2021年6月28日にWEB開催された第29回日本臨床環境医学会学術集会分科会セッションにおいて、環境アレルギー分科会活動報告として、演題名「環境アレルギー問題の現状と課題：各種アレルゲンに対応した原因と対策の横断的取り組み、第一次活動報告書の作成」について、平久美子が15分間のスライド発表を行った。また同日、国立成育医療研究センター研究所 免疫アレルギー・感染

研究部 松本健治先生に、演題名「アレルギー疾患とマイクロバイオーム」の特別講演をいただき、近年のアレルギー疾患の増加が生活環境の変化と密接に関連していること、中でも室内環境の変化に先立つ食習慣が大きな要因を占めていることについてご教示いただいた。

今後の取り組み

引き続き各委員どうしの情報交換を行い、アレルギー疾患を予防改善するための室内環境の改善案について、一般向けの情報提供を目指す予定である。

分科会メンバー

医学分野: 谷口正実(湘南鎌倉総合病院臨床研究センター)、渡井健太郎(国立病院機構相模原病院臨床研究センター呼吸器アレルギー科)、角田和彦(かくたこども&アレルギークリニック)、阪口雅弘(東京環境アレルギー研究所)、白井秀治(環境アレルゲン info and care 株式会社)、高岡正敏((株)ペスト マネジメント ラボ)、東賢一(近畿大学)、高野裕久(京科大学)、釣木澤尚実・押方智也子(平塚市民病院アレルギー内科)、高鳥浩介*(NPO カビ相談センター)、平久美子(東京女子医科大学東医療センター麻酔科、代表)

物理・化学分野: 関根嘉香(東海大)、高橋久美子・成田泰章(暮らしの科学研究所)、篠原直秀(産業技術総合研究所)

建築分野: 吉野博(東北大学)、池田耕一(日本大学)、野崎淳夫(東北文化学園大学大学院、副代表)、一條祐介・二科妃里(東北文化学園大学大学院)、鍵直樹(東京工業大学)、柳宇(工学院大学)、長谷川兼一(秋田県立大学)、三田村輝章(前橋工科大学)、金勲(国立保健医療科学院)、林基哉(北海道大学)、山野裕美((株)シミズ・ビルライフケア、幹事)

本報告書について

環境アレルギー分科会設立後、初めて作成された報告書です。内容について、諸方面の方々からのご意見、ご叱正を、一同心待ちにしております。

健康被害と治療

アレルギー	環境	アレルゲン
花粉	カビ	ダニ

1. 環境物質による健康被害

(1) 花粉 (スギ、ハンノキ)

小児を含め、スギ花粉症有症率が上昇しており、社会経済的なダメージも大きい¹⁾。

スギ花粉症の問題が社会的に大きく認知されているが、同時期に飛散するカバノキ科 (ハンノキ、シラカンバ) 花粉感作により、飛散期の咳嗽を引き起こすことが報告されている²⁾。

花粉感作はさらに、食物アレルギーの一種である口腔アレルギー症候群 (花粉食物アレルギー症候群) を引き起こすことがある。花粉のもつタンパク質と果物野菜のもつタンパク質に相同性があり、ヒトの体内で出来た花粉タンパク質へのIgE抗体が、摂取する野菜果物タンパク質へ交差反応する形でアレルギー症状が誘発される。とりわけ、カバノキ科花粉への感作からの豆乳等によるアレルギーに関しては、国民生活センターから注意喚起がなされている³⁾。

(2) カビ (アスペルギルス)

カビはタンパクレベルでのアレルゲンとしての健康被害と microbial Volatile Organic Compound (mVOC) としての健康被害の両者があり、温暖湿潤な本邦では、今後最も対策が必要な環境物質と考える。特に、アスペルギルス属は人体での環境が発育環境に適していることから、健康被害が多い。

喘息患者においては、真菌感作が呼吸機能低下と関連することが国際的に報告されている。相模原病院での調査では、10年間以上の気管支喘息治療経過において、アスペルギルス感作率は0.7%から13%に有意に上昇した (図1, 2)。そのアスペルギルス新規感作と関連する因子としては、感作前のももとの低肺機能、男性が統計学的に有意な関連因子であった。また、アスペルギルス新規感作群では、非感作群と比較し吸入ステロイドの量が有意に多かった⁴⁾。本研究から断定はできないが、喘息治療における吸入ステロイドにより、気道局所的な免疫抑制が発生し、アスペルギルスの腐生および真菌感作を助長するのではないかということが示唆された。

国立病院機構相模原病院 ○渡井健太郎
谷口正実

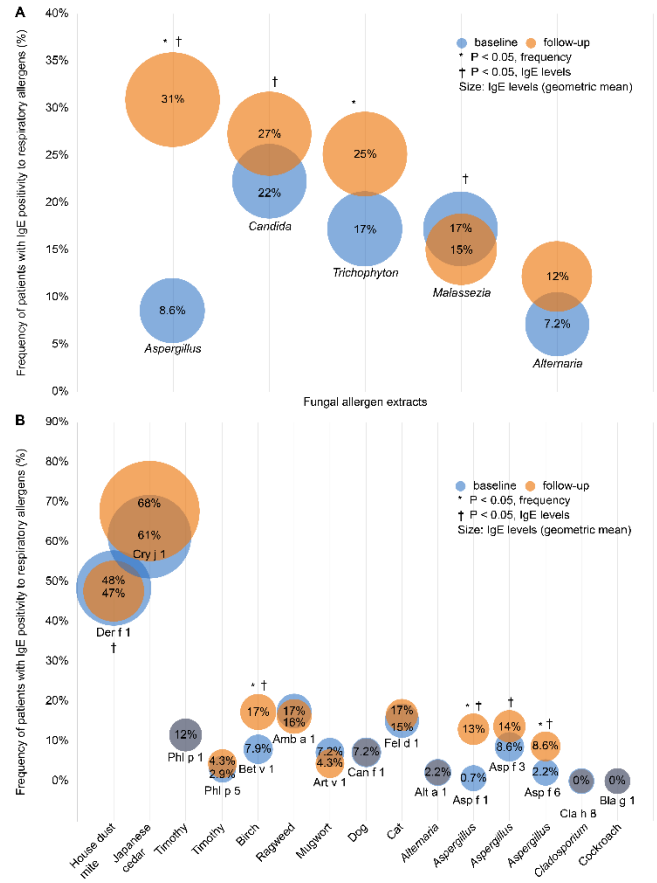


図1 喘息患者における吸入抗原感作の経年変化 Allergy. 2018;73:2385-2388.

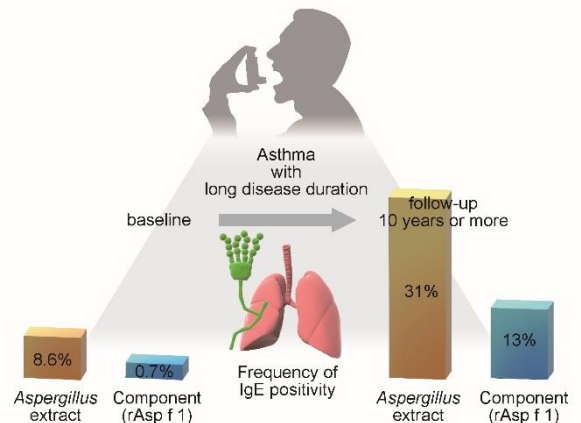


図2 喘息患者におけるアスペルギルス感作の経年変化

2 環境アレルギー増加の背景と要因

2.1 環境アレルギーによる健康被害と治療

(3) ダニ（パンケーキシンドローム）

ダニが気管支喘息やアトピー性皮膚炎、通年性アレルギー性鼻炎といった健康被害をもたらすことは広く知られているため、割愛する。

ダニと食物アレルギーの観点では、「Oral Mite Anaphylaxis」が、テレビ等メディアでも取り上げられている。ダニが、開封したお好み焼き粉等に侵入増殖し、それを用いて調理し経口摂取することでアナフィラキシーが誘発される⁵⁾。海外では「パンケーキシンドローム」として報告され、過去には死亡例もある。

(4) 微小粒子状物質

本邦において、微小粒子状物質としての sand dust particles, air pollution aerosols, suspended particulate matter (SPM), PM2.5 いずれの暴露に関しても、呼吸機能低下と相関していた⁶⁾。

(5) 特発性環境不耐症(多種化学物質過敏症)

限定された環境物質による反応ではなく、化学的に系統立たない多種の環境要因により多臓器症状を呈する疾患として、多種化学物質過敏症がある。15,000 人を対象にしたインターネット調査では、本疾患と関連する因子として、農業従事歴、新築居住歴等が多変量解析の結果有意であった⁷⁾。発症機序は不明だが、環境物質からの回避で、発症または症状増悪の低減が見込まれる。

2. 治療

現状、上記のような疾患の治療に関しては、かなり限られたものとなる。スギ、ダニ花粉症に関しては経口免疫療法と皮下免疫療法がある。ハンノキ花粉症に関しては抗原エキスをを用いて皮下免疫療法が可能だが、ハンノキで問題となっている食物アレルギー（口腔アレルギー症候群, 花粉食物アレルギー症候群）への効果は認められない。アレルギー性気管支肺真菌症をはじめとした真菌アレルギーにおいては、全身性ステロイドや抗真菌薬での治療を行うが、全身性ステロイドの副作用や抗真菌薬への耐性獲得の問題をはらんでおり、やはり暴露からの回避が重要となり、医学の分野のみならず、工学、理学等の学際的な取り組みが重要となる。

参考文献

1. 西間三馨, ほか: 日小ア誌 2013 ; 27 : 149-69
2. Weinfeld D, et al. Ann Allergy Asthma Immunol. 2002;89:419-24.
3. 国民生活センター「豆乳等によるアレルギーについて」
www.kokusen.go.jp/pdf/n-20131205_1.pdf
4. Watai K, Taniguchi M, et al. Allergy. 2018;73:2385-2388.
5. Takahashi K, et al. Allergol Int. 2014 ;63:51-6.
6. M. Watanabe, et al. Allergol Int. 2016; 65:56-61.
- 7) Watai K, Taniguchi M, et al. Environ Health. 2018;17:89.

喘息と環境因子

近畿大学医学部 ○東 賢一

アレルギー 喘息	環境 ダスト	空気汚染 微生物
-------------	-----------	-------------

1. はじめに

気管支喘息（以下、喘息）は、気道の慢性炎症を本態とし、臨床症状として変動性を有した気道狭窄（喘鳴、呼吸困難）や咳で特徴付けられる疾患と定義されている¹⁾。日本における喘息の有症率は、小児および成人ともに1960年代は1%程度であったが、2000年をはじめまでに小児で10%以上、成人で6~10%にまで上昇している²⁾。喘息には多様な原因や増悪因子が存在し、遺伝的な特性と環境による影響との相互作用で生じていると考えられている¹⁾。本報では、環境因子に関する近年の知見を整理し、その概要を報告する。

2. 喘息の発症・増悪因子

現代社会においてアレルギーが増加した要因としては、栄養状態、外的環境、外的ストレスなどが複合的に変化している。乳製品や肉類などの動物性タンパク質を食するようになり、免疫系が増強されて病原性微生物に対する耐性が高まったといわれている。しかし同時に免疫系の活性化によってアレルギー反応を起こしやすくなったとも考えられている。ストレスも大きな要因と考えられているが、神経系のバランスが乱れると、免疫系も同時に乱れてしまう。

喘息に関係する危険因子は、発症因子、誘発因子、増悪因子の3つに大別される。発症因子には、個体因子と環境因子の双方が複雑に関与している。個体因子のうち遺伝因子では、両親が喘息を有していると、その子どもは50%以上の確率で喘息を発症するといわれている。

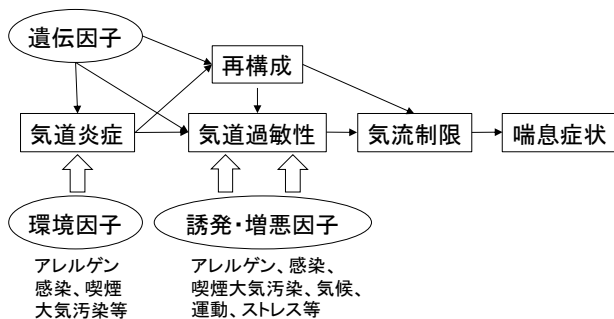


図1 喘息の成因と病態（文献³⁾より引用改変）

環境因子としては、ダニ類、花粉、真菌、動物（ふけ、上皮、毛、糞）、昆虫などの吸入性アレルギーが関与して

いる。また、ウイルスや細菌等による呼吸器感染も喘息発症に関与している。また、これらに影響する因子として、大気汚染や喫煙があげられている⁴⁾⁷⁾。大気汚染は気道に対して酸化ストレスによる障害を引き起こし、これにより気道炎症や気道過敏性、気道再構成が増悪する可能性が考えられているが、アレルギー性炎症の病態における詳細な機序の解明は今後の課題である。

表1 喘息の発症・増悪因子（文献¹⁾より引用改変）

発症因子	
個体	(1) 遺伝的素因、(2) アトピー素因、(3) 気道過敏症、(4) 性差、(5) 出生児体重や肥満
環境	(1) アレルゲン、(2) 呼吸器感染症、(3) 大気汚染、(4) 喫煙、(5) 食物、(6) 鼻炎
誘発因子	
	(1) 呼吸器感染症、(2) アレルゲン、(3) 運動ならびに過換気、(4) 気象、(5) 薬物、(6) 食品・食品添加物、(7) アルコール、(8) 刺激物質（煙、臭気、水蒸気など）、(9) 二酸化硫黄・黄砂、(10) 感情変化とストレス、過労、(11) 月経
増悪因子	
(1) 過去の病歴	気管挿管歴、ICU治療歴、過去1年に1回以上の重篤な増悪
(2) 現在のコントロール状態	1秒量、SABAの過剰使用、コントロール不良、好酸球増多（血中・喀痰中）
(3) 治療薬の不適切使用	アドピラランス不良、吸入手技不良
(4) 併存症・妊娠	肥満、鼻炎、食物アレルギー、精神的問題、妊娠、喫煙、胃食道逆流症
(5) 環境因子	感作アレルゲンの曝露、大気汚染、室内ダスト汚染物質
(6) 食品・食品添加物	
(7) 遺伝因子	

喘息発作の誘発因子としては、ライノウイルスやインフルエンザウイルスなどによる呼吸器感染が重要である⁴⁾⁶⁾。また、気圧の低下、空気汚染物質、過剰なストレスも

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.2 喘息と環境因子

誘発因子となる⁸⁾。

喘息の増悪に関与する環境因子としては、喫煙、たばこ煙、アレルギー、大気汚染や室内空気汚染がある。微小粒子状物質 (PM_{2.5}) も喘息の増悪因子とされている⁹⁾。

近年、室内ダスト中のフタル酸エステル類と子どもの喘息やアレルギー疾患との関係が報告されている¹⁰⁾。室内では、壁紙、床材、テーブルクロス、電線被覆材、子供用玩具などにフタル酸エステル類を使用した製品がある。フタル酸エステル類への曝露は、主に食品経路による経口曝露である。しかし最近、幼児は成人よりフタル酸エステル類の摂取量が多く、その主な曝露経路としてプラスチック製品を口に入れる行為や室内ダストが示唆されている。

プラスチックを燃えにくくする物質として、建材、自動車、家電製品などに、近年リン酸エステル系難燃剤が利用されているが、室内ダスト中のリン酸エステル系難燃剤と喘息、アトピー性皮膚炎、アレルギー性鼻炎との関係が国内の研究で示唆されている¹¹⁾。

表2 アレルギーや喘息に関与する生後早期の曝露因子

保護因子	増悪因子
<ul style="list-style-type: none"> ・普通分娩 ・高順位出生 ・兄弟姉妹数の増大 ・集団生活 ・農家 ・微生物及び真菌多様性の増大 ・エンドトキシンへの曝露 ・犬との共生 	<ul style="list-style-type: none"> ・出生前／出生後の抗生物質の使用 ・ウイルス性下気道感染 (RS ウイルス、ライノウイルス) ・ダニ類、ゴキブリ、ネズミ、真菌への曝露 ・出生前／出生後の空気汚染への曝露 ・出生前／出生後の室内ダスト汚染物質への曝露 ・出生前／出生後のたばこ煙への曝露

アレルギー疾患が増加している環境要因の関与の1つとして、「衛生仮説」が提唱されている。衛生仮説は、英国の Strachan が 1989 年に提唱した概念で、生活水準や衛生環境の向上による幼少期の感染症の減少が、アレルギー疾患が増加している原因であるとする説である¹²⁾。衛生仮説は多くの疫学研究で支持されている。例えば、幼児期に集団生活経験を持つ子どもでは小児期での喘息やアレルギー性鼻炎を減少させる¹³⁾、兄弟姉妹数が多い子どもではアレルギー疾患の有病率が減少する¹⁴⁾、農場育ちの子どもはアレルギー性鼻炎や喘息が少ない¹⁵⁾、幼少

期に感染症に罹患した子どもでは花粉症や喘息が少ない¹⁶⁾、ハウスダスト中や生活環境中のエンドトキシン濃度が高いほど喘息が少ない^{17),18)}など、生活環境における衛生状態がアレルギー疾患に影響することが示唆されている。また、幼児期に犬と過ごしていると、喘息や鼻炎などの呼吸器症状を呈する割合が低く、犬との接触が免疫系の発達を促進している可能性が報告されている¹⁹⁾。Burbank らがアレルギーや喘息に関与する生後早期の曝露因子を整理しており²⁰⁾、筆者の調査結果と合わせると表2のようになる。

3. 喘息の予防と改善法

予防は、一次予防 (アレルギーへの感作防止)、二次予防 (感作後の発症防止)、三次予防 (発症後の増悪防止) の3つに大別される¹⁾。喘息の予防・改善法について、環境因子に焦点を絞って概説する。

表3 喘息の環境因子の改善点 (文献³⁾より引用改変)

環境因子	改善点
寝具類	防ダニシートやカバーの使用、寝具類の洗濯と屋外での天日干しの励行
マットレス	マットレスの使用を避ける (木質フロアが好ましい)
ソファ	皮革製のソファの使用 (布地のソファの使用を避ける)
ぬいぐるみのおもちゃ	使用を避ける (必要な場合は洗濯可能なものを使用する)
家具	容易に清掃可能な家具を使用
カーテン	カーテンの代わりにブラインドを使用 (必要な場合は選択可能なものを使用)
ペット類	ほ乳類や鳥類を室内で飼育しない
電気掃除機	二層式集塵袋の電気掃除機を使用
観葉植物	室内で観葉植物を育てない
洗濯物	室内で干さない
暖房器具	石油やガス機器を使用する場合は排気管を用いて排気ガスを屋外に排出する
建築材料	有害性の高いアルデヒド類やフェノール類などの揮発性有機化合物、フタル酸エステル類、リン酸エステル系難燃剤を含む建築材料を使用しない
たばこ煙	室内で喫煙しない

一次予防は、発症因子に曝露する前に実施する予防である。小児では、主にアレルギーに対して感作を引き起こす前の出産前後に実施すべき予防となる。育児環境に

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.2 喘息と環境因子

においては、ダニや衛生害虫への曝露を防止すること、受動喫煙の防止、カビの発生防止、屋内外の大気汚染や室内ダスト汚染物質への曝露防止などがあげられる。

二次予防は、アレルゲンに感作された後の喘息発症前の予防である。主として表1における発症因子の中の環境因子に対する予防策である。アレルゲンへの曝露防止、屋内外の大気汚染や室内ダスト汚染物質への曝露防止、受動喫煙の防止など、一次予防と多くは同じである。

三次予防は、すでにアレルギー疾患や喘息に罹患した後の症状の増悪防止である。一次予防や二次予防と同様に、アレルゲンは重要な増悪因子であり、アレルゲンへの曝露防止が予防策として重要である。そのためには、衛生的な居住環境の確保が重要となる。喘息に関わる環境因子の改善点を表3に示す。いずれもアレルゲンへの発生や曝露防止である。これらの改善は、他の増悪因子も含めて包括的に実施することが重要となる。

4. おわりに

喘息の発症に関係する環境因子としては、アレルゲンのみならず、喫煙や大気汚染も重要であることが明らかとなってきた。また、室内ダスト汚染物質が喘息の増悪因子となることも明らかになってきた。屋内外の環境を清浄に維持管理することは、喘息の発症と増悪を防止するうえで、極めて重要な対策となる。その一方で、喘息の発症を防止するうえで、生後早期における生物多様性を有する生活環境が重要であることも明らかとなってきた。これらのことを踏まえると、過去百年における急激な産業の発達と生活様式の変化がアレルギーや喘息を生じさせてきたことが容易に理解できる。今後、健康と開発が持続可能な社会の構築に向けて、アレルギーや喘息の予防に寄与する研究や実践的な取り組みをより一層進めて行く必要があると考えられる。

利益相反に関する開示

筆者は本報の内容について、開示すべき利益相反の関係を有する企業などはないことを申告する。

参考文献

1. 日本アレルギー学会喘息ガイドライン専門部会. 喘息予防・管理ガイドライン 2015.協和企画, 東京, 2015.
2. Ichinose M, et al. Japanese guidelines for adult asthma 2017. *Allergol Int* 66:163–189, 2017.
3. Arakawa H, et al Japanese guidelines for childhood asthma 2017. *Allergol Int* 66:190–204, 2017.
4. Murrison LB, et al. Environmental exposures and mechanisms in allergy and asthma development. *J Clin Invest* 129:1504–1515, 2019.
5. Bobolea I, et al. Early Life Origins of Asthma: A Review of Potential Effectors. *J Invest Allergol Clin Immunol* 29:168–179, 2019.
6. Poowuttikul P, et al. Inner-City Asthma in Children. *Clin Rev Allergy Immunol* 56:248–268. 2019.
7. Dharmage SC, et al. Epidemiology of Asthma in Children and Adults. *Front Pediatr* 7:246, 2019. doi: 10.3389/fped.2019.00246.
8. Gautier C and Charpin D. Environmental triggers and avoidance in the management of asthma. *J Asthma Allergy*;10:47–56, 2017.
9. Habre R, et al. The effects of PM_{2.5} and its components from indoor and outdoor sources on cough and wheeze symptoms in asthmatic children. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 24:380–387, 2014.
10. 東 賢一. 室内空気汚染対策に関する世界的動向と今後の対策. *公衆衛生* 78:533–540, 2014.
11. Araki A, et al. Phosphorus flame retardants in indoor dust and their relation to asthma and allergies of inhabitants. *Indoor Air* 24:3–15, 2014.
12. Strachan DP. Hay fever, hygiene, and household size. *BMJ* 299:1259–1260, 1989.
13. Krämer U, Heinrich J, Wjst M, Wichmann HE. Age of entry to day nursery and allergy in later childhood. *Lancet* 353:450–454, 1999.
14. Karmaus W, Botezan C. Does a higher number of siblings protect against the development of allergy and asthma? A review. *J Epidemiol Community Health* 56:209–217, 2002.
15. Riedler J et al. Austrian children living on a farm have less hay fever, asthma and allergic sensitization. *Clin Exp Allergy* 30:194–200, 2000.
16. Matricardi PM et al. Hay fever and asthma in relation to markers of infection in the United States. *J Allergy Clin Immunol* 110:381–387, 2002.
17. Gereda JE et al. Relation between house-dust endotoxin exposure, type 1 T-cell development, and allergen sensitisation in infants at high risk of asthma. *Lancet* 355:1680–1603, 2000.
18. Braun-Fahrlander C et al. Allergy and Endotoxin Study Team: *N Engl J Med* 347:869–877, 2002.
19. Bergroth E et al. Respiratory tract illnesses during the first year of life: effect of dog and cat contacts. *Pediatrics* 130:211–220, 2012.
20. Burbank AJ. Environmental determinants of allergy and asthma in early life. *J Allergy Clin Immunol* 140:1–12, 2017.

化学物質

東海大学 ○関根嘉香

化学物質	ホルムアルデヒド	揮発性有機化合物
環境たばこ煙	微生物由来 VOC	PATM

はじめに

生活環境中に存在する微量化学物質への曝露に起因する健康影響問題は、日本臨床環境医学会における重要な研究対象の一つである。図1に非常に大まかではあるが、化学物質に起因する臨床環境問題の変遷を示す。わが国では1990年代から2000年代初頭、化学物質の室内空気汚染に起因するシックハウス症候群が大きな社会問題となり^{1,2)}、化学物質に対して感受性が高い(耐性が低い)人たちが存在することがわかってきた。また生活を豊かにするはずの日用品からも化学物質が発生し、これらの化学物質に対する吸入・経口および経皮曝露が化学物質過敏症を引き起こすと考えられている。さらに近年では、微生物やヒトなど生命体由来する化学物質も臭気による不快感だけでなく、健康障害を与える可能性が示唆されている。本稿では、臨床環境医学的に重要ないくつかの化学物質について概説する。

可能性を示唆した。

ホルムアルデヒドの水溶液をホルマリンと呼び、殺菌防腐剤として使用される。また、ホルムアルデヒドは、合板、木質系フローリング、パーティクルボード、中質繊維板やグラスウール断熱材などを製造する時の接着剤(ユリア樹脂、フェノール樹脂等)の原料として利用され、住宅の内装材として施工された後、建材から揮発して室内空気を汚染する。

わが国では、シックハウス症候群の原因物質の一つと考えられ、室内の濃度指針値(0.1 mg/m³)の設定、学校環境衛生基準の改訂、建築基準法に基づくホルムアルデヒド発散建材に対する規制などの行政的対応がなされてきた。建築基準法(2003年改正)では、シックハウス問題に対する建築上の配慮として、ホルムアルデヒド発散建材の使用面積制限、クロルピリホス(シロアリ駆除剤)の使用禁止、高気密・高断熱住宅における換気回数0.5/h以上の確保が定められた。また住宅メーカーにおいても新築住宅の引き渡し前に室内空気中濃度の検査を自主的に行う動きが広がっており、ここ数年、ホルムアルデヒドを主原因とするシックハウスの事例は減少している。ただし、持ち込んだ家具などからホルムアルデヒドが高い放散量で検出されることがあるので、引き続き留意が必要である。

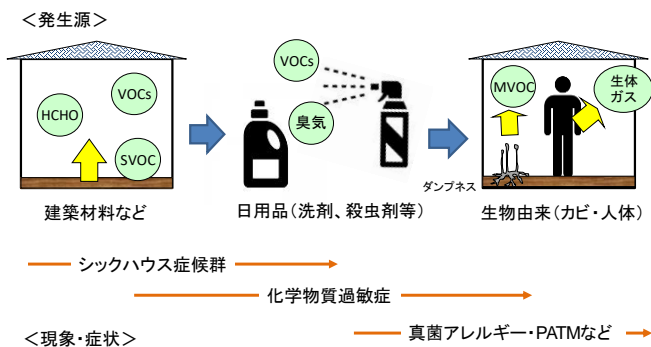


図1 化学物質に起因する臨床環境問題の変遷

ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒド(HCHO)の沸点は-19℃であり、常温常圧では無色の気体である。刺激臭を有し、目、鼻、喉への刺激、濃度依存性の不快感、流涙、くしゃみ、咳、吐き気などの症状を引き起こす³⁾。国際がん研究機構(IARC)は2006年にホルムアルデヒドをグループ2A(恐らく発がん性がある)からアスベストやカドミウムと同レベルであるグループ1「ヒトに発がん性が認められる化学物質」に変更した⁴⁾。またMcGwin et al.⁵⁾はホルムアルデヒド曝露と小児喘息の関係についてメタアナリシスを行い、小児喘息の発症率は非曝露群に比べて曝露群の方が有意に高いことを明らかにし、ホルムアルデヒドが特定のタンパク質と結合して新たなアレルギーになる

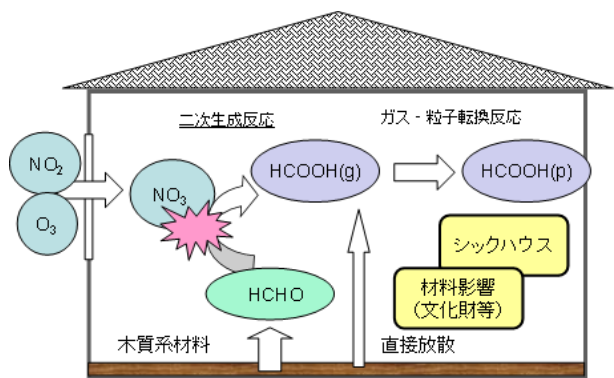
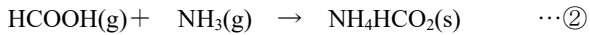
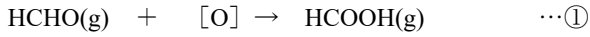


図2 室内化学反応によるギ酸の生成

ホルムアルデヒドは空気中で容易に酸化されてギ酸(HCOOH)になる⁶⁾。ホルムアルデヒドはオゾンと窒素酸化物が関与する暗所でのラジカル反応により酸化され、紫外線は関与せず、気相よりも建材表面において反応が起こりやすい⁶⁾。またギ酸は空気中の塩基(アンモニアなど)と反応して粒子化する。

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.3 化学物質と健康影響



メチルアルコールを摂取すると失明するのは代謝産物のギ酸の神経毒性が原因である。ギ酸の蒸気は皮膚や粘膜に強い刺激性があり、シックハウス症候群や化学物質過敏症との関連も示唆されている。また健康影響以外にも、絵画や銅像などの文化財に対して変色や腐食をもたらすことから、文化財保護の観点からも監視が必要な室内空気汚染物質である。

揮発性有機化合物 (VOCs)

揮発性を有する有機化合物の総称で、Volatile Organic Compounds の頭文字をとって VOC または VOCs と表記される。世界保健機関 (WHO) では、沸点 50 - 100°C ~ 240 - 260°C の化合物群を VOCs と定義しており、塗料やその溶剤に由来するトルエンやキシレン、防虫剤・殺虫剤の成分である *p*-ジクロロベンゼン、クロルピリホス、ダイアジノン、天然由来のリモネンやピネンなどが分類される。

室内環境中では数十種類の VOCs が同時に検出されることがあり、個々の物質は室内濃度指針値以下であってもすべての VOCs を足し合わせると高濃度になる場合がある。そこで厚生労働省では毒性学的根拠とは切り離して、全揮発性有機化合物 (Total VOC, TVOC) に対する暫定指針値 (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を設けた⁷⁾。欧州ではオランダ、ベルギー、ポルトガル、ノルウェー、リトアニア、ポーランドでも室内 TVOC に対するガイドラインが設けられている。VOCs の中には健康影響に寄与しないものも存在するという仮説は検証に値する。しかし現状では個々の VOCs に対する濃度監視だけでは健康で快適な空気質を維持することは困難であり、また新規化学物質が開発・利用されることから、TVOC 濃度を室内空気質の目安として利用していくことは有用と考えられる。

化粧品 (香料や化粧品) は、個人のライフスタイルに大きく依存するため、VOCs の共通の発生源として取り上げられることは少ない。しかしながら、化学物質過敏症に関する質問紙調査において、これら化粧品の使用によって化学物質過敏症様の症状が現れたことがあると回答する人は比較的多い¹¹⁾。また、美容院等においてはパーマ液などが利用されており、パーマ液に含まれるチオグリコール酸と毛髪ケラチン中のシステイン残基との反応生成物であるジチオジグリコール酸が美容院の室内空気中で認められている⁸⁾。しかしながら美容院等における調査例は少なく、化粧品の使用に伴う室内汚染の実態解明が必要であろう。

一方、沸点 240 - 260°C ~ 380 - 400°C の化合物群を準揮発性有機化合物 (Semi VOCs, SVOCs) と呼ぶ。プラスチックの可塑剤として添加されるフタル酸ジ-2-エチルヘキ

シル (DEHP) は SVOCs に分類され、常温常圧でわずかに揮発する。ただし揮発性が低く吸着性が高いことから、DEHP を含む製品の使用時に直接皮膚に移行、あるいは室内空气中に放散された後、内装材や家具などの表面、ハウスダストに付着し、皮膚を介した経皮曝露や乳幼児などが手についたハウスダストを口に入れて摂取する経口曝露も問題となる⁹⁾。

また、DEHP のようなエステル化合物は、塩基性条件下で加水分解し、2-エチル-1-ヘキサノール (2E1H) を生じる (図 3)。例えば、DEHP を含有する塩化ビニル建材をコンクリートに施工すると、コンクリートに含まれる塩基性物質 (アンモニア等) との作用により 2E1H が生成し、悪臭や健康影響をもたらす可能性が指摘されている。このような二次的に生成する物質はもともと建材や日用品等に含まれていないため、その発生を予測するのは難しい。予測精度を高めるには、この分野の基礎的な研究の蓄積が必要である。

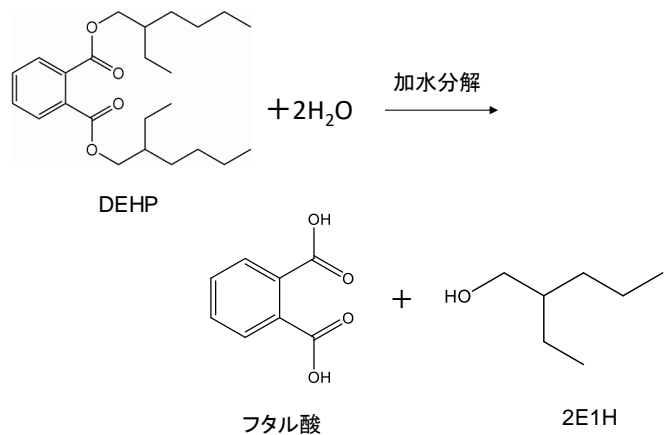


図 3 DEHP の加水分解による 2E1H の生成

環境たばこ煙

紙巻たばこから生じる煙には、能動喫煙者が吸い込む主流煙、吐き出す煙である吐出煙、たばこの燃焼部から生じる副流煙がある。紙巻たばこの煙には、数千種類の化学物質が含まれているといわれ、特に燃焼温度が低い副流煙中にはタール、ニコチン、ベンツピレンなどが比較的多く含まれている。臨床環境問題として注視すべきは、吐出煙と副流煙からなる環境たばこ煙 (Environmental tobacco smoke, ETS) であり、特に非喫煙者が自ら望むことなく ETS に曝露する受動喫煙 (Passive smoking) あるいは二次喫煙 (Secondhand smoke) が問題となる¹⁰⁾。また最近では、ETS が内装材や家具などの表面、あるいはダストの表面に付着し、経皮曝露や経口曝露する三次喫煙 (Third-hand smoke) という概念¹¹⁾も提示されている (図 4)。また吸入したたばこ煙成分の一部が肺から血液に移行した後、皮膚表面から放散することがある¹²⁾。能動喫

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.3 化学物質と健康影響

煙者だけでなく、受動喫煙者の皮膚からも微量ニコチンの放散が認められており、ヒトの体自体もたばこ煙の移動発生源になるかもしれない。

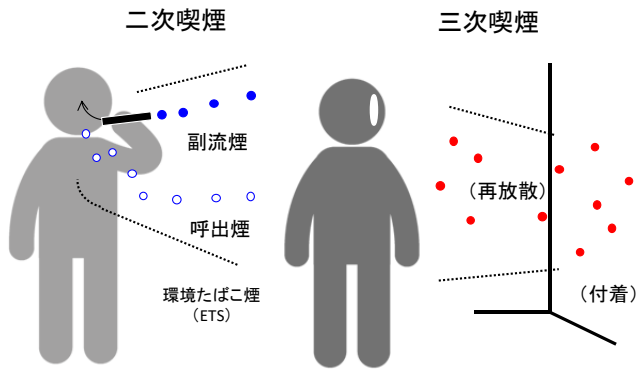


図4 受動喫煙の様式：二次喫煙と三次喫煙

「望まない受動喫煙」を無くすため、国や自治体では受動喫煙防止に対する取り組みを強化しており、健康増進法の一部を改正する法律（2018年）では、飲食店等の多数の人が利用する施設では喫煙所を除き原則屋内禁煙、子供や患者のいる学校や病院等では原則敷地内禁煙などが定められた。一方、たばこ自体にも大きな変化がある。これまで紙巻たばこが主流であったが、ここ数年、電子・加熱式たばこと呼ばれる製品群が市場に出回っている。電子・加熱式たばこはデバイス・銘柄ともに多種多様であり、明確に分類することは困難であるが、おおよそ次のように整理することが出来る。

「電子たばこ」は、リキッドを加熱して生じたエアロゾルを吸煙する器具であり、リキッドにはグリセリンやポリプロピレン、香料などが含まれる。日本ではニコチンの添加は認められておらず、たばこ葉も使用しないので、たばこ製品ではない。諸外国では Electronic cigarette, e-cigarette(e-cig)、VAPE、Vaping product、e-hookah などと呼称される。

「加熱式たばこ」は、たばこ葉を直接加熱、または水蒸気を用いて加熱し、生じたエアロゾルを吸煙する器具であり、紙巻たばこなどと同様にたばこ製品として取り扱われる。主流煙にはニコチンが含有される。諸外国では Heat-not-burn tobacco、Heated tobacco product などと呼称される。たばこ葉の加熱温度によって、高温燃焼型および低温燃焼型に分類できる。

これら電子・加熱式たばこは、たばこの葉を燃焼せず、吸引時のみ主流煙が発生し、副流煙がない（または極めて少ない）ことから、「望まない受動喫煙」の防止に寄与する可能性がある。しかしながら、一部製品の主流煙中にはカルボニル化合物¹³⁾やニトロソアミン¹⁴⁾などの有害化学物質の存在が認められており、電子・加熱式たばこ由

来の ETS に含まれる化学物質の種類・量について多施設での検証が必要であろう。

微生物に由来する MVOC

近年、津波や高潮、集中豪雨、河川等の氾濫により、全国各地で住宅の浸水被害が発生しており、浸水した住宅では、水が引いた後にも土地や建材が水分を多く含み、ダンプネス（Dampness）が生じる。ダンプネスは日本語の「じめじめした状態」にほぼ対応し、室内環境において湿度の高い状態をさす。室内環境における湿度の増加は、結露による建築物への影響に加え、微生物、特に真菌（カビ）を発生させやすくする。

真菌は、ダニや花粉と並んでアレルギー疾患における主要なアレルゲンの一つと考えられており、I型アレルギー反応が関与するアレルギー疾患として、気管支喘息、アレルギー性鼻炎、アトピー性皮膚炎、アレルギー性気管支肺アスペルギルス症（Allergic bronchopulmonary aspergillosis, ABPM）などが知られている¹⁵⁾。

一方、カビはその増殖や代謝の過程で栄養分を分解し、いわゆるカビ臭の原因となる VOCs を放散する。カビ等の微生物に由来する VOCs は、特に MVOC (Microbial VOCs) と呼ばれる。MVOC にはアルコール類、ケトン類のほか、アルデヒド類、酸類、テルペン類、含硫黄化合物などあり、またこれらが原因となってシックハウス様症状が現れることが知られている^{16,17)}。MVOC はカビを視認できる以前から発生し、特に成長期に放散量が増加することから（図5）、MVOC の濃度監視は、カビおよびカビ臭に起因する健康被害の予防に役立つ可能性がある。

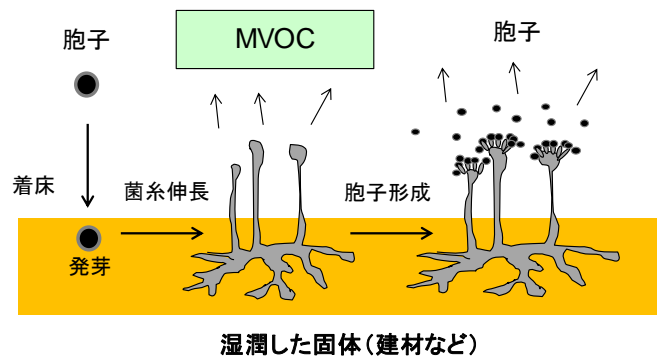


図5 カビからの MVOC の放散（模式図）

皮膚ガス（体臭）

体表面から放散される微量な生体ガスを「皮膚ガス」という¹⁸⁾。この皮膚ガスが空气中に拡散し、嗅覚閾値を超える濃度で嗅覚に到達した時に「体臭」として知覚される。体臭はヒトの快・不快感に影響することはあるが、ヒトに対して有害な健康影響を与える可能性についてはこれまで検討されてこなかった。しかし近年、自分の皮

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.3 化学物質と健康影響

膚ガス（体臭）によって周囲のヒトがくしゃみや咳などアレルギー様症状を発症すると主訴する人たちの存在がわかってきた。このような現象（または症状）は **People Allergic To Me (PATM)** 症候群と呼ばれ¹⁹⁾、わが国では「パトム」と呼称されるネットスラングである。SNS 上には PATM に関する複数のコミュニティーサイトが存在し、PATM を主訴する人たちの間では、自身の症状、周りのヒトの反応、症状の緩和策、PATM に関する客観的な考察などについて盛んに意見が交換されている。

従来から体臭に関する症状として自臭症（精神科領域）が知られているが、PATM は周囲のヒトに影響が現れる点で自臭症とは異なり、これまで科学的・医学的には未解明である。SNS 上のコメントによれば、世界中では潜在的に数千人規模の PATM 患者がいると言われているが、そもそも病態が整理されておらず、診断基準も定まっていないことからその実態は全く不明である。ただし、現実には PATM と呼ばれる現象（または症状）によって、退職・離職を余儀なくされるなど社会生活に支障をきたしている人が多く存在することは事実である。

PATM を主訴する人たちの皮膚ガスには、主訴しない人たちに比べて放散量の多いものがある。概ね 2 群に分けられ、一つはトルエン、キシレン、スチレン、2-エチル-1-ヘキサノールなどの VOCs、さらに一つはブタナールやヘキサナールなど「焦げくさい」臭いを有するアルデヒド類である²⁰⁾。これら化学物質の皮膚からの発生メカニズムの解明、環境中への拡散濃度の推定により、PATM と呼ばれる現象（または症状）の実態が明らかになる可能性がある。

おわりに

生活環境中の化学物質は多様かつ低濃度であり、また化学物質に対する感受性には個人差が大きい。ヒトと環境のわずかな異変を検知する視点と技術が、化学物質に起因する健康被害の予防・対策に必要である。

参考文献

1. 関根嘉香監修，室内環境学会編：住まいの化学物質リスクとベネフィット．東京電機大学出版局，pp4-10，2015.
2. 室内環境学会編：室内環境学概論．東京電機大学出版局，p27，2010.
3. 日本建築学会：日本建築学会環境基準 AIJES-A001-2005，HCHO による室内空気汚染に関する設計・施工等基準・同解説．pp11-12，丸善，2005.
4. IARC: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol.88, formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol, WHO Press, Geneva, 2006.
5. McGwin, G. et al.: Formaldehyde exposure and asthma in children: a systematic review. *Environ. Health Perspect.*, 118, 313-317, 2010.
6. 関根嘉香ほか：室内空気中ギ酸濃度に及ぼす外気由来オキシダントの影響. *環境化学*, 20(2), 113 - 119, 2010 .
7. 厚生労働省：シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会中間報告書－第4回～第5回のまとめについて，2002.
8. Oikawa, D. et al.: Measurement of concentrations of thioglycolic acid, dithiodiglycolic acid and ammonia in indoor air of a beauty salon. *J. Health Sci.*, 54(5), 370-375, 2012.
9. 野村佳緒里ほか：室内環境中におけるハウスダストへの DEHP 吸着量のモデル化.第 32 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，144-145, 2015.
10. Hori, M. et al.: Secondhand smoke exposure and risk of lung cancer in Japan: a systematic review and meta-analysis of epidemiologic studies. *Jpn J Clin Oncol*, 1-10, 2016.
11. Matt, G. E. et al.: Households contaminated by environmental tobacco smoke: Sources of infant exposure. *Tobacco Control*, 13(1), 29-37, 2004.
12. Sekine, Y. et al.: Detection of tobacco smoke emanating from human skin surface of smokers employing passive flux sampler - GCMS system. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.*, 1092, 394-401, 2018.
13. Beauval, N. et al.: Influence of puffing conditions on the carbonyl composition of e-cigarette aerosols. *Int. J. Hyg Environ. Health*, 222, 136-146, 2019.
14. Bekki, K. et al.: Comparison of chemicals in mainstream smoke in heat-not-burn tobacco and combustion cigarettes. *J. UOEH*, 39(3), 201-207, 2017.
15. 安枝浩，竹内保雄：真菌アレルギー—アレルギーのクローニングと組換えアレルギーの診断への応用—。 *Jpn J. Med. Mycol.*, 45, 71-76, 2004.
16. 鍵直樹：居住空間での微生物由来揮発性有機化合物（MVOC）について．*におい・かおり環境学会誌*，43(3)，184-190, 2012.
17. 武内信治ほか：カビ汚染が疑われた室内空間における微生物由来揮発性有機化合物（MVOC）の濃度.道衛研所報，63,107, 2013.
18. 関根嘉香：ヒト皮膚から放散する微量生体ガスと臨床環境. *臨床環境医学*, 25(2), 69-75, 2016.
19. 川上裕司ほか：皮膚ガス測定および鼻腔内微生物検査に基づく PATM に関する考察. *室内環境*，21(1), 19-30, 2018.
20. 関根嘉香ほか：ヒト皮膚ガス分析に基づく PATM(People Allergic To Me)症候群の検討.第 27 回日本臨床環境医学会学術集会講演要旨集，p76, 2018.

衛生仮説に関するエンドトキシン

国立保健医療科学院 ○金勲

1) アレルギー

喘息・皮膚炎・目鼻の異常で代表されるアレルギー有症者の増加は個人の生活の質の低下と社会活動に支障をもたらす。更に、労働生産性の低下、医療費増加による社会損失と社会費用を増大させる。

アレルギー症は先進国病と呼ばれるほど生活が豊かになるにつれ増加する傾向を示すと言われている。平成 15 年国民生活基礎調査「文献 1)」では全国 4 万人以上を対象にした調査結果から約 36%がアレルギー様症状を有し、厚生労働アレルギー疾患対策報告書「文献 2)」では全人口の約 2 人に 1 人が何らかのアレルギー疾患に罹患していることを示している。その中でも気管支喘息は小児・成人共に急増しており、特に小児喘息はここ 20 年間で 3 倍近く急増している「文献 3)」。

表 1. アレルギーのタイプ (Gell と Coombs 分類)「文献 4) 5)」

反応型	抗体	発症にかかわる細胞	皮膚反応	代表的な疾患例
I 型	IgE	肥満細胞 好塩基球 化学伝達物質	即時型 15-20 分で最大の発赤と膨疹	アナフィラキシーショック、気管支喘息、アレルギー性鼻炎、花粉症、じん麻疹、アトピー性皮膚炎
II 型	IgM IgG	補体 K 細胞 マクロファージ		不適合輸血、新生児溶血性貧血、自己免疫性溶血性貧血、特異性血小板減少性紫斑病、血小板減少症
III 型	IgM IgG	可溶性抗原 免疫複合体 補体	遅発型 3-8 時間で最大の紅斑と浮腫	血清病、急性糸球体腎炎、自己免疫性疾患
IV 型	T リン サイトカイン 球	マクロファージ	遅発型 24-72 時間で最大の紅斑と硬結	接触性皮膚炎、血管性肉芽腫

アレルギー (Allergie、Allergy) の語源はギリシャ語の「allos (奇妙な、変わった)」と「ergon (反応、作用)」である。人体の免疫システムの過剰反応によって現れる疾患の総称であり、I~IV 型 (V 型まで分類する場合

もある) まで分類されている。我々が花粉症、アトピー性皮膚炎など一般的にアレルギーと呼んでいる症状は I 型である。

アレルギーを引き起こす原因物質をアレルゲン (allergen) と言い、スギやブタクサの花粉、動物の毛、飲食物が有名である。他にもダニ、ユスリカ、カビ、細菌、ウイルス、植物、化学物質、金属、繊維、ゴム、アスピリンやサルファ剤などの薬剤、また普段から接する機会の多い作業現場で起こる職業アレルギーなど様々なものがある。

2) 衛生仮説

アレルギー症増加の原因としては諸説があるが、その中でもよく知られているのは衛生仮説 (1989、Strachan DP)「文献 6)」である。衛生仮説では乳幼児期の汚染因子 (非衛生的な環境) への曝露が成長・成人期における病気やアレルギー罹患に密接な関係を持ち、その原因物質がエンドトキシン (Endotoxin) であるとしている。乳幼児期にある程度の汚染因子に曝露された子供は自然に免疫調節能力をつけ、病気やアレルギーなどの疾患になりにくくなるが、最近のアレルギー症増加は生活環境が綺麗になりすぎて免疫調節能力をつける機会が少なくなり免疫系の過剰反応であるアレルギー症になりやすいという説である。

衛生仮説を裏付ける研究結果「文献 7)-12)」からは農村育ちやペットを飼っている家庭の子供はアレルギー症が少なく、乳幼児期の曝露はアレルギー罹患を抑制するが、その後の曝露はむしろ喘息・アトピー性皮膚炎などの症状を悪化させるといった同じ物質が曝露時期によって正反対に働く性質も併せ持っていることが示唆されている。

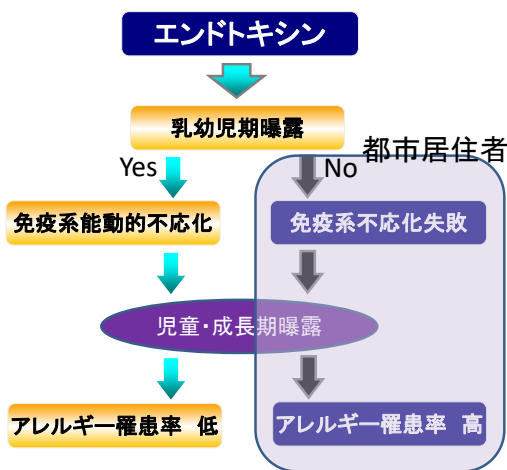


図 1. 衛生仮説

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.4 衛生仮説とエンドトキシン

エンドトキシンはリポ多糖 (LPS)、外因性発熱物質 (Exogenous pyrogen) としても知られている。微生物 (陰性グラム群生物) の細胞壁成分であり、細胞壁の破壊 (死骸) により放出される。

微生物の中でも真菌及び陽性グラム群生物を除く陰性グラム群生物に限定され、グラム陰性菌には大腸菌、サルモネラ、腸内細菌科、ヘリコバクター、レジオネラなど真正細菌の大部分が属するため、実質的にエンドトキシンは水、空気、土壌などあらゆる生活環境に存在する。多くの生物活性が発現し、血液中に混入すると発熱、敗血症性ショック、シュワルツマン反応などを引き起こす。近來、歯肉炎や歯周病とエンドトキシンとの関連性や熱中症の悪化にエンドトキシンが関与している「文献 13)」との報告がなされている。また、多量の飲酒により腸内のエンドトキシンが体内に吸収され、発熱・炎症などの症状を引き起こすなど体に大きな負担を与える「文献 14)」ことも報告されるなど、医学・薬学・生理学におけるエンドトキシンへの関心は高い。

3) 環境中エンドトキシン

環境中エンドトキシン濃度の目安として図 2 に上水、ハウスダスト、空調機各部表面の測定結果例を示す。1 日程度使用しなかった蛇口から受けた水道水は 10~20EU/mL、水を十分流した状態で 4EU/mL 程度であり、その水を滅菌容器に密封して室温保管すると指数関数的に濃度が上昇することが確認できる (図 3)。暫く使用しなかった蛇口は長時間空気と触れているため末端に近いほど塩素濃度の減衰と汚染の可能性が考えられる。

ハウスダスト中エンドトキシンは数百から数万 EU/g まで分布するが数千 EU/g 程度が一般的である。金らの住宅を対象とした研究「文献 15)」からは、約 250~35,000EU/g と幅広く分布し、ダスト採取時期による違い (夏期・中間期の濃度 > 冬期) が示されている。一方、数百 EU/g と非常に低い濃度の住宅もあるが、細菌は人間、土壌由来であり環境中のどこにも存在するため、濃度が高いだけでなく低すぎることも問題があると

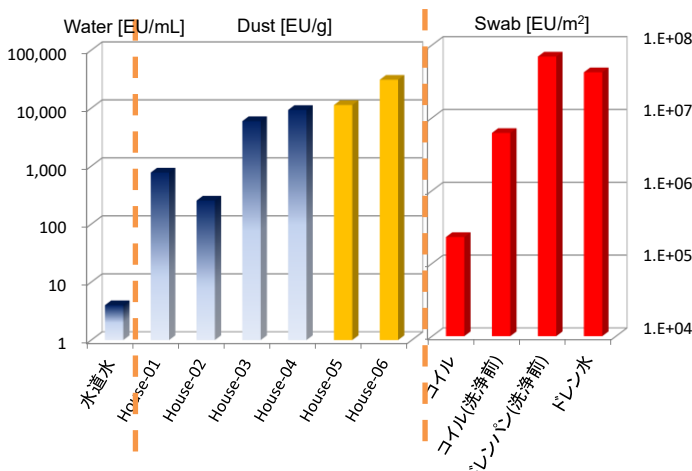


図 2. 環境中エンドトキシン濃度レベル

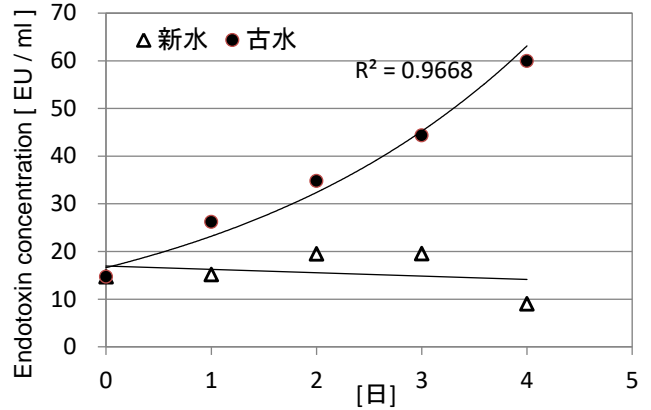


図 3. 水道水中エンドトキシンの受水後の濃度変化

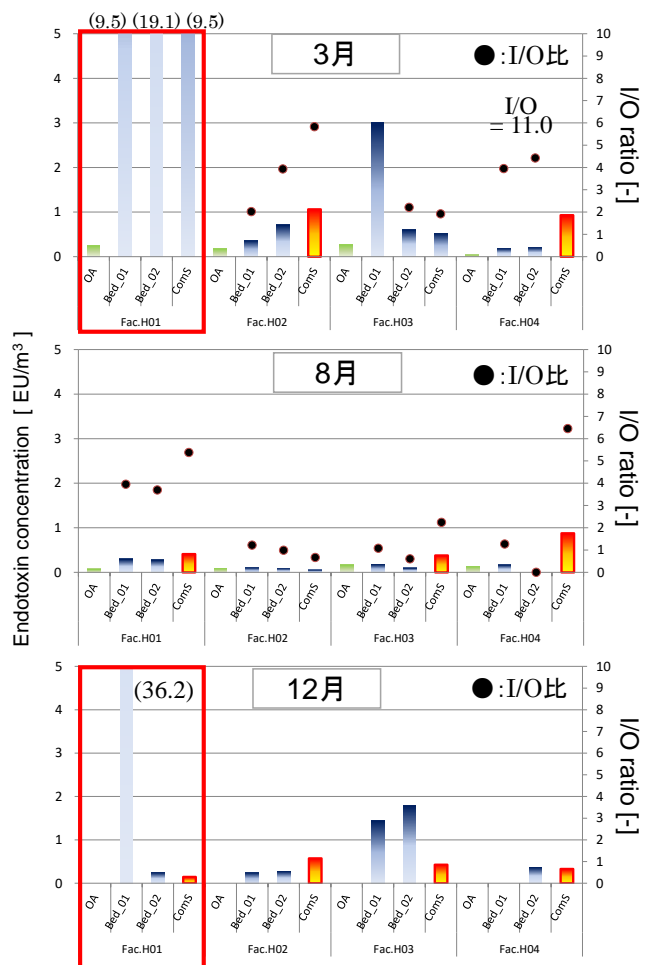


図 4. 高齢者施設の空气中エンドトキシン濃度測定例

考えられる。

拭き取りテストによる空調機部位表面のエンドトキシン濃度は、汚染されたフィルタやドレンパンなどでは数百万~数千万 EU/m²を超えることがある。

空気測定結果 (図 4) では、1EU/m³未満が多く全体的には低い、10~30 EU/m³以上まで検出される居室が 1 施設にあり、他にも 2~3 EU/m³ と他室より有意に高い室が一部に存在する。室内における細菌濃度は建物や設備に汚

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.4 衛生仮説とエンドトキシン

染が無い限り人体が主な発生源であり、高齢者施設の測定結果から複数の人が集まって活動する共用室の濃度が高くなる傾向が見られる。一般的なオフィス環境では1EU/m³未満が殆どであり、オフィスより高齢者施設がやや高め濃度を示す傾向にある。

10EU/m³を超える濃度は一般オフィスでは殆ど観察されないが、高齢者施設の一部では冬期のみ高いET濃度が観察されるが、この要因としては加湿器の汚染が疑われる。

生活の中で水・食品などの細菌基準は厳格に管理されているが、室内環境における微生物(カビ・細菌)濃度に関しては学会規準「文献16)」があるものの社会的効力を持つ指針や基準は未だに定まっていない。微生物は培養法が基本となり結果導出までは時間を要する。また、捕集から培養・同定に至るまでの誤差も大きいことに加え、濃度と健康影響との相関がはっきりしていないことがその原因と考えられる。

エンドトキシンは体内に直接摂取される場合はなるべく低い濃度が望ましいが、あらゆる環境に存在する細菌は必ずしも濃度が低いことが望ましいとは限らない。特に、薬剤、化学物質、カビなど、細菌の環境濃度に影響し得る他のリスク要素も多く存在する。しなしながら、空気中エンドトキシンは浮遊細菌由来となり、室内が清浄に管理されていれば人体以外の汚染源は存在しないと考えられ、室内の清潔さを保つと共に吸入リスクを減らす観点からも空気中濃度は低く抑える必要がある。

4) まとめ

衛生仮説ではエンドトキシン曝露をアレルギー症の重要な因子としているが、曝露時期によって免疫調節能力が付くことも、症状を悪化させることもあり得るややこしい性質を有していると考えられている。

エンドトキシン、つまり細菌は環境中のあらゆるところに存在している。空気や水中濃度が高いと明らかな細菌汚染の証拠となるためなるべく低く維持することが重要である。一方、ダスト中濃度は高すぎると清潔ではない環境である可能性が、低すぎると微生物の生息が妨げられている環境にあることも考えられる。

アレルギー症は遺伝的な問題もあるが、生活環境や生活習慣に起因することが多いことから、生活環境のどのような因子が大きく寄与しているのかを明らかにすることは罹患予防と症状改善の面で重要である。

参考文献

- 厚生労働省. 平成15年保健福祉動向調査の概況. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/hftyosa/hftyosa03/kekka1-1.html>
- 厚生労働省. アレルギー疾患対策報告書(素案). <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000016819-att/2r9852000001684w.pdf>

- 日経BP. アレルギー疾患診断・治療ガイドライン 2010 概要. 日経メディカルアペンディックス 2010;12:1-4
- 永倉俊和、アレルギーのふしぎ、サイエンス・アイ新書、ソフトバンククリエイティブ株式会社、2010.3
- 厚生労働省、平成22年度リウマチ・アレルギー相談員養成研修会テキスト 第1章アレルギー総論、<https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/kenkou/ryumachi/jouhou01.html>、accessed on 2020.07.31
- Strahan DP. Hay fever, hygiene, and household size. *BMJ* 1989;299:1259-60.
- 斎博久. アレルギー疾患・喘息発症に関わるサイトカイン支配. *喘息* 2004;13(7):2-6.
- von Mutius E, Braun-Fahrlander E, Schierl R, Riedler J, Ehlermann S, Maisch S, et al. Exposure to endotoxin or other bacterial components might protect against the development of atopy. *Clin Exp Allergy* 2000;30:1230-4.
- Ernst P, Cormier Y. Relative scarcity of asthma and atopy among rural adolescents raised on a farm. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1563-6.
- Kilpelainen M, Terho EO, Helenius H, Koskenvuo M. Childhood farm environment and asthma and sensitization in young adulthood. *Allergy* 2002;57:1130-5.
- Braun-Fahrlander C, Riedler J, Herz U, Eder W, Waser M, Grize L, et al. Allergy and Endotoxin Study Team. Environmental exposure to endotoxin and its relation to asthma in school-age children. *N Engl J Med* 2002;347:869-77.
- L. Keoki Williams, Dennis R. Ownby, Mary J. Maliarik, and Christine C. Johnson. The role of endotoxin and its receptors in allergic disease. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2005 March ; 94(3): 323-332.(Accessed at NIH Public Access Author Manuscript)
- 尾崎将之、尾方政則、熱射病の発症におけるエンドトキシンの関与. エンドトキシン研究 9-自然免疫の最前線一、pp.56-63, 2006.12.
- Shashi Bala, Miguel Marcos, Arijeet Gattu, Donna Catalano, Gyongyi Szabo : Acute Binge Drinking Increases Serum Endotoxin and Bacterial DNA Levels in Healthy Individuals, *PLOS ONE*, Volume 9 Issue 5, pp.1-5, 2014.5.
- Hoon KIM, Eunsu LIM, Naoki Kagi, Kenichi Azuma, Yanagi U, Haruki Osawa, Motoya Hayashi : Endotoxin Concentration in House Dust and Indoor Air in Japan. *Indoor Air 2016 Proceedings (Electronic file)*, 2016.7.
- 日本建築学会環境規準 AIJES-A0002-2013 : 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説、2013.

イソシアネート曝露によるトルエンジイソシアネート(TDI)IgE 値の上昇: 柔軟剤や衣類でのウレタン樹脂の使用

かくたこども&アレルギークリニック ○角田和彦

イソシアネート ウレタン IgE
TDI トルエンジイソシアネート

ポリウレタンは切断、切削、衣服の摩擦、静電気、汗、高温等で分解し、イソシアネートが発生する。

イソシアネートは経気道性、経皮性に微量でも感作され、いったん感作されると極微量でも症状が誘発され、ウレタン塗装・樹脂の製造・使用に関わる人たちの職業病の原因として認知されてきた。現在では職場環境での対策が進み、イソシアネートが原因となる職業性喘息が減少し、トルエンジイソシアネート(TDI)IgE が陽性となる症例も減少した。

ところが現在では、生活環境中の多くの製品にポリウレタンが使われてきており、特に、柔軟仕上げ剤に含まれる香料の持続効果ためマイクロカプセルの壁材として、また、衣類ではポリウレタン繊維としての使用などが多くなってきており、汚染が拡大している。

以前より化学物質過敏症例を中心にイソシアネート IgE を調べてきたが、陽性例はいなかった。ここ数年、イソシアネートによる環境汚染が悪化して病状を悪化させている可能性を考慮し、検査希望者数例で TDIIgE を調べたところ、陽性者が続出した。そこで2019年1月から TDIIgE をアレルギー検査のルーチンの検査項目として導入した。症例数0歳から70歳代までの322例、男性155例、女性167例。アトピー性皮膚炎288例、気管支喘息99例、その他のアレルギー疾患27例(重複あり)。TDIIgE は乳幼児から老人まで広い年齢層で値が上がっておりTDIIgE 陽性(>0.34)者は35例10.9%であった。さらにTDIIgE が0.1以上の例が56例17.4%おり、これらの例は今後感作が進む可能性がある。

TDIIgE 値は気管支喘息の有無では差は見られなかったが、アトピー性皮膚炎例で上昇する傾向にあり、重症例で値が高くなった。TDIIgE は総IgE値と相関があり、イソシアネートが総IgE 上昇を引き起こしている可能性も考えられた。

以上のことから、TDI に対する経皮感作が起こっており、TDI はアトピー性皮膚炎の悪化に関与していることを示唆している。また、当院では初診後に香料含有製品はやめてもらっているが、長期(1-10年以上)にわたって柔軟仕上げ剤を使っていない例でも TDIIgE は上昇していた。衣類など柔軟剤以外からの感作を示唆すると思われた。

労災疾病臨床研究事業・化学物質特異的 IgG のアレルギー診断と曝露モニタリングへの有用性に関する調査-平成 26 年度総括・分担研究報告書研究代表者辻真弓(2015年4月)の中で、化学物質(樹脂)取扱い作業員を含む事業所従業員 81人中 TDIIgE 抗体性者は 2人(2%)と少なく、鹿児島県南九州市の一般住民(N=191)中 TDI IgE 抗体陽性者は 0人であることが報告されており、この時期には一般住民での感作はあまり起きていないと考えられた。

イソシアネート使用製品の例

ポリウレタンとして身の周りの様々なものに使われている

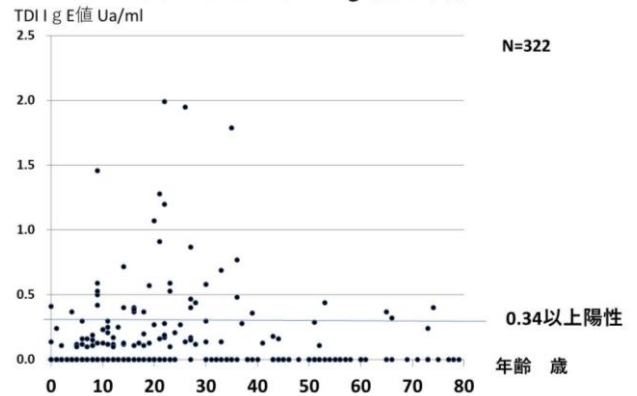
- 道路舗装工事(改質アスファルト・改質コンクリート)
- 水道管工事(シール材)、配管工事(断熱材・継ぎ目パッキング)
- 屋根・屋上・外装塗装(塗料・防水材料・改質塗膜)
- 農業・肥料(長持ち効果マイクロカプセル・造粒・水懸濁分散性)
- 柔軟剤・消臭剤(香料の長持ち効果・繊維付着性のマイクロカプセルなど)
- 消臭剤などのスプレー剤(成分の安定長持ちのマイクロカプセルなど)
- タイヤその他のゴム製品
- 繊維の防水・形状記憶・起毛など、動物の滑り止め裏打ち材(セーター、雨具、アイロン不要の繊維製品、伸縮性デニム等の混紡、毛羽立てた木綿の起毛等の繊維製品、寝具のクッション、合成皮革などの家具)
- マットレス・バンパー・緩衝材・壁紙・床材・合板接着剤など
- プリンタインク、接着剤など文具
- 点滴チューブ、防水シートなど医療シートなど

労働者—生成時の曝露
消費者—残留・分解モノマーの揮発
(切断、切削、衣服の摩擦、静電気、汗、高温等で分解)
絵とく日本におけるイソシアネートのすべて 2019 VOC研究会 より

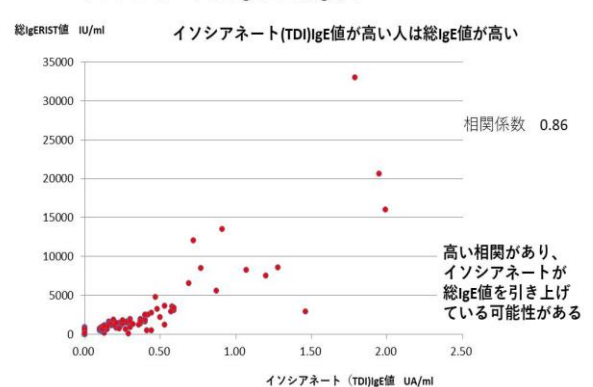
イソシアネート(TDI)IgE	症例数	%
陽性者 >0.34	35	10.9
0.10-0.34	56	17.4
陰性者 <0.10	231	71.7
計	322	

10.9%で陽性 28.3%で上昇

イソシアネートTDI IgE値と年齢



イソシアネートTDI IgE値と総IgE値



2.環境アレルギー増加の背景と要因

2.5 ウレタン樹脂の健康影響

これらの結果から、イソシアネートによる環境汚染は確実に日常生活のなかで広がっており、経皮感作が進んでいると思われた。最近ではTDIIgEのみ陽性の気管支喘息幼児例も経験し、皮膚感作から経気道感作を経て気道症状誘発の懸念もでてきた。イソシアネートによる環境汚染の悪化は健康被害を誘発する可能性があり、対策が必要と思われた。

*注1) アレルギーとアトピーについて

アレルギーとは？

アレルギー反応は、哺乳動物が進化の過程で獲得した毒物・化学物質を避け、身を守るための防衛手段です。36億年前地球上に生命が誕生し生き延びるためには、生物が作り出す多くの毒（生物が獲物を獲ったり、身を守るために必要です）に対する防衛策が必要でした。これらの毒物を処理する能力は進化の過程で獲得され、哺乳動物ではアレルギーという進化の最高峰に存在する免疫を使うことができるようになりました。アレルギーは微量の毒物を見つけだし、アレルギーを起こすことで毒物を避け、体内への毒物の侵入を阻止するための仕組みです。処理することができない毒物が体内に侵入しないようにアレルギー症状を起こすと同時に、数分という短い時間で症状を開始させ、「これは危ないよ」という警告を生物に与え、本人に自覚を与えます。

そして、現在では、人が作り出した新たな化学物質（人工化学物質）が生物の生命機能を壊してしまう毒物として環境中に多量に排泄され、アレルギーを起こさせています。

アレルギー反応とアトピー

体内に異物（食物や病原体、毒物など）が侵入すると、体はその物質が、自分にとって有益な物質か有害な物質か判断します。有益である場合は、利用し、有害である場合は、無毒化の過程を経て利用します。しかし、もし、無毒化の処理ができない場合は、体外へ排泄します。この有害性を判断し排泄する過程が免疫の働きです。哺乳動物の進化した免疫は、その異物を無毒化できない物質と判断すると、次に同じ物質が体内に侵入しようとしたとき、その物質が体内へ入らないように阻止することができます。この反応が、アレルギー反応です。

アトピー性皮膚炎では、体内に入ってしまった脂溶性の有害な化学物質を皮脂腺から皮脂とともに排泄し体内を浄化しようとしませんが、皮膚ではアトピー性皮膚炎を起こします。しかも、いったんは体内に入ってしまった化学物質は脂肪組織に蓄積され、神経系、内分泌系、免疫系などの臓器の障害を起こします。

つまり、アレルギーの原因となる物質（毒物となる化

学物質を含む物質）に繰り返し接触、吸入、摂取を繰り返していると、「この物質は私の体には危険」と判断した時からアレルギーを起こす準備状態になります。そして、その後同じ物質に接触、吸入、摂取すると体内への侵入を阻止するためアレルギー症状が起きます。

防衛反応として働くアレルギー反応としての症状と、アレルギー反応が過剰になって暴走した症状に、毒物（化学物質）によって障害されて起きた異常による症状が混ざり合ってアレルギー特有の状態が現れます。

つまり、自然免疫では対処できない毒（化学物質）を、アレルギーを使って体内侵入を阻止していると思われず。アトピー性皮膚炎では皮脂腺より皮脂と一緒に脂溶性化学物質を排泄して起こる皮膚の防御機能の破壊や保湿機能の破壊があり、これに、さらに排泄された化学物質や皮膚に付着する合成洗剤や様々な化学物質を、皮膚に存在する常在真菌（マラセチア、カンジダなど）や皮膚に付着した食物、ダニ、花粉にアレルギーを起こすことで体内への侵入を阻止しようとして、アレルギー的炎症（発赤や掻痒、浮腫、掻破による皮膚の破壊、感染）が加わって起こると思われず。

*注2)

アトピーという名称の由来は、「特定されていない」「奇妙な」という意味のギリシャ語「アトポス」(atopos - a=否定, topos=由来)であり、1923年にアーサー・フェルナンデス・ココ(ポーランド語版)とロバート・アンダーソン・クック(英語版)によって命名された。アトピー性皮膚炎という言葉が医学用語として登場するのは、1933年である。アメリカ人のザルツバーガー皮膚科医が、皮膚炎と結びつけてアトピー性皮膚炎(atopic dermatitis)という病名を初めて使用した。

ココはアトピーの名称を異常な過敏反応を指して使い、病原体や病因が不明で眼、鼻、気管支、皮膚など多彩に発現し、奇妙、不思議であるということである。

引用文献

*注1：食べもの文化 2021年2月号No.560、Page06-19「子どもの発達を障害する化学物質から子どもたちを守ろう！」

*注2：ウィキペディアより

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%83%88%E3%83%94%E3%83%BC%E6%80%A7%E7%9A%AE%E8%86%9A%E7%82%8E>

参考文献

1.津谷裕子、内田義之、宮田幹夫：環境に広がるイソシアネートの有害性、臨床環境21：82～94，2012

新型コロナウイルス感染症について

国立成育医療研究センター研究所 ○松本健治
免疫アレルギー 感染研究部

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の感染によっておこるウイルス感染症で、11月14日現在全世界で5338万人が感染し130万人が亡くなるという大流行となっております¹。今回は、新型コロナウイルス感染症について、免疫アレルギー研究者の立場から概説を致します。

新型コロナウイルスの感染力と感染様式

病原体の感染力は基本再生算数（ R_0 ）と呼ばれる指標で表します。これは、一人の感染者が何人の未感染者に感染させるか、を数字で表したものです。今年の5月初旬（感染予防対策がまだ徹底されていなかった時期）に新型コロナウイルスは $R_0=3$ と報告されております²。これは、新型インフルエンザ（H1N1）の $R_0=1$ よりは高く、感染力が弱くないことを示しております。

多くの呼吸器系ウイルス（インフルエンザウイルスなど）は「飛沫感染」します。WHOの呼吸器感染症のGuideline³で「飛沫感染（Droplet transmission）」は、患者の鼻やのどの粘膜に存在する病原体が、くしゃみや咳によって飛び散る直径 $5\ \mu\text{M}$ 以上の飛沫（droplet）を介して他のヒトの鼻粘膜に付着して感染が伝播する様式を指します。こうした飛沫の99%は重力によって落下し、1 m以上離れた場所には到達しないので、特段の換気等は不要であると記載されております。

一方、飛沫が届かない距離や時間においても感染が成立した場合に、落下しない程の小さな飛沫（直径 $5\ \mu\text{M}$ 以下）、もしくは飛沫の水分が蒸発した後の飛沫の核（droplet nuclei）に病原体が存在し、これが空気中を浮遊して感染が伝播したとして、「空気感染（Airborne transmission）」と呼びます。（筆者注：WHOのGuidelineではこのdroplet nucleiに括弧書きしてaerosolsと記載があります。aerosolは空気中に存在する液体・固体を全て包括しているので、飛沫（droplet）を含むはずであり、droplet nucleiをaerosolとする記載は不適切ではないかとの議論があります。）空気感染に対しては、適切な換気は感染防御策の一つとして極めて重要な意味を持ちます。

今回の新型コロナウイルス感染症では、飛沫では説明がつかない状況での感染例が複数報告されており、WHOも空気感染をすると10月5日に正式に認めておりますので、新型コロナウイルスは空気感染を起こすと言えます。そのため、三密を避けると同時に、適度な換気が重要視されております。

新型コロナウイルス感染の重症化

病原体の悪性度を表す指標として死亡率（mortality rate）

があります。これは発症した患者の死亡した頻度（%）で示されます。今年5月5日の時点でWHOは6.9%と発表しております²。しかし、現在の全世界での死亡率は $130/5338=2.4\%$ であり、大きく死亡率は下がっております。こうした死亡率の低下は、決して集団免疫が成立しつつあるのではなく、あるいはウイルスが弱毒化しているのではありません。単純に検査対象が「有症状者」から「濃厚接触者」に拡大されて無症状（不顕性感染）者が多く含まれるようになったことと、感染者の年齢分布の中心が高齢者から若年層に移ったことが影響していると考えられます。

これまでに明らかとなっている重症化因子の一番は年齢です。米国CDCは入院のリスクは年齢依存性（指数対数的）であり、死亡した患者の80%が65歳以上であったと発表しており⁴、本邦の統計も全く同様です。しかし、なぜ年齢がこれほどまでに重症化のリスクとなっているのかについては不明な点が多く残されております。小児患者では年齢依存性に血清中のIFN- γ （ウイルス感染細胞に対する免疫応答を惹起する）やIL-17（抗中球を活性化し、細菌性の二次感染を抑制する）と呼ばれるタンパクが高濃度であり、このことが重症化をふせいでいるとの報告もあります⁵。

重症化に関与する基礎疾患

年齢以外に、患者の基礎疾患としてがん、慢性腎疾患、慢性閉塞性肺疾患（COPD）、心不全・冠動脈疾患・心筋症などの深刻な心臓疾患、臓器移植による免疫不全状態（免疫システム減弱）、肥満（BMI：40以上）、妊娠、鎌状赤血球症、喫煙、2型糖尿病等がある場合に有意に重症化しやすくなると報告されています⁶。一方、気管支喘息はこの中に含まれて居らず、重症化のリスクは健常者と同程度とされております。

重症化に関与する遺伝子

染色体上には約300塩基対ごとに一カ所、各個人で異なる塩基となる場所（一塩基多型と呼びます）が存在し、体質などの個人差を生み出す仕組みと考えられております。全遺伝子上の一塩基多型を、COVID-19で重症化したヒトと重症化しなかったヒトで比較したところ、9番染色体上のABO血液型を決める遺伝子が異なることが明らかとなりました⁷。また、疫学的な検討からも、血液型O型のヒトが感染しにくく、また逆にA型のヒトが感染しやすいことが報告されています⁸。さらに、A/AB型のヒトに比べてO/B型のヒトの方が人工呼吸器管理や人工透析を受ける確率が低く、また死亡率も低いことも報告されて

おります⁹。ABO 血液型が重症化に関連する仕組みはまだ完全には明らかにされておりませんが、O/B 型のヒトが持っている A/AB 型のヒトが持っていない抗 A 抗体が COVID-19 の病態形成のどこかで作用して軽症化させていると推測されます。

新型コロナウイルス感染症の治療

新型コロナウイルス感染症の病態形成は、①ウイルスの感染増殖とウイルスに対する早期の免疫応答と、②ウイルス感染細胞に対する宿主の免疫系の攻撃によって生じる病態に大きく分けられます。これまでに①に対する各種の抗ウイルス薬や免疫賦活剤が試されましたが、ランダム化比較試験で有意差を持って有用であることが示されたのはレムデシビル（製品名ベクルリー）のみで¹⁰、当初有効性が期待されたファビピラビル（製品名アビガン）やヒドロキシクロロキン（製品名プラケニル）が有効であることを示す結果は得られておりません。一方、②に対してはステロイドである dexamethasone が有効であることが示されています¹¹。

新型コロナウイルスに対する免疫応答

2002 年～2003 年に流行した重症呼吸器感染症（SARS）は今回の新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）と兄弟のように似通ったウイルス（SARS-CoV）による感染症です。しかし、SARS 感染者のほとんどで発熱や呼吸器症状が出たのに比べて、新型コロナウイルス感染者では多くの無症状感染者が報告されており¹²、何故このような差が生じるのかについては多くの興味が集まっていますが、まだその結論は出ておりません。また、無症状者から死者まで幅広い症状を生じることが新型コロナウイルスに対する治療薬の有効性を判定するのに大きな障害となっています。

ウイルスに対する宿主のウイルス特異的な免疫応答の一つは抗体産生です。抗体はウイルスのタンパクの一部に結合して分解や食細胞による除去を助ける有力な防御手段です。しかし、これまでの研究からはこうした抗体は感染後 3～4 ヶ月で血中からほとんど無くなってしまふことが複数報告されており¹³、抗体によって直接ウイルスを不活性化できる時期は長くはない様です。

その一方で、T 細胞がウイルスの構成蛋白を目印にしてウイルス感染細胞への攻撃を行う事もよく知られています。新型コロナウイルス流行前に採血し保存されていた成人の血液細胞を用いた最近の研究では、新型コロナウイルスの構成蛋白で刺激したところ 40～60%の血液で T 細胞の増殖反応が認められた事が報告されております¹⁴。このことは、一部の成人はこれまでに流行していた季節性のコロナウイルスに罹患しており、その際の免疫の記憶が残されているために交差抗原性によって新型コロナウイルスに罹りにくくなっており、もしくは重症化しにくくなっているのでは無いかと推察されております。この

方面の研究の進展は、今後のワクチンや新たな治療法の開発に極めて重要な役割を演じると考えられます。

おわりに

新型コロナウイルスの流行は、多くのヒトが罹患、もしくはワクチン等による免疫を獲得する事によってのみ、終了すると思われず。研究の更なる発展を祈念して本稿を閉じます。

参考文献

1. Johns Hopkins Univ. Coronavirus Resource Center Updated Nov. 14, 2020 <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
2. Chen J. Pathogenicity and transmissibility of 2019-nCoV-A quick overview and comparison with other emerging viruses. *Microbes Infect* 2020 Mar;22(2):69-71.
3. WHO guidelines on infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care. 7 April 2014 at <https://www.who.int/publications/i/item/infection-prevention-and-control-of-epidemic-and-pandemic-prone-acute-respiratory-infections-in-health-care>
4. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Older Adults. Updated Sept. 11, 2020 <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/need-extra-precautions/older-adults.html#:~:text=The%20greatest%20risk%20for%20severe,as%20having%20underlying%20medical%20conditions.>
5. Pierce CA, Preston-Hurlburt P, Dai Y, et al. Immune responses to SARS-CoV-2 infection in hospitalized pediatric and adult patients. *Sci Transl Med* 2020;12 Oct 7;12(564):eabd5487.
6. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) People with Certain Medical Conditions. Updated Nov. 2, 2020 <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/need-extra-precautions/people-with-medical-conditions.html>
7. Ellinghaus D, Degenhardt F, Bujanda L, et al. Genomewide Association Study of Severe Covid-19 with Respiratory Failure. *N Engl J Med* 2020 Oct 15;383(16):1522-34.
8. Barnkob MB, Pottegård A, Støvring H, et al. Reduced prevalence of SARS-CoV-2 infection in ABO blood group O. *Blood Adv* 2020 Oct 27;4(20):44990-3.
9. Hoiland RL, Fergusson NA, Mitra AR, et al. The association of ABO blood group with indices of disease severity and multiorgan dysfunction in COVID-19. *Blood Adv* 2020 Oct 27;4(20):4981-9.
10. Beigel JH, Tomashek KM, Dodd LE, et al. Remdesivir for the Treatment of Covid-19 - Final Report. *N Engl J Med* 2020 Oct

- 8;NEJMoa2007764. doi: 10.1056/NEJMoa2007764. Online ahead of print.
11. Horby P, Lim WS, Emberson JR, et al. Dexamethasone in Hospitalized Patients with Covid-19 - Preliminary Report. *N Engl J Med* 2020 Jul 17;NEJMoa2021436. doi: 10.1056/NEJMoa2021436. Online ahead of print.
 12. Wang YT, Landeras-Bueno S, Hsieh LE, et al. Spiking Pandemic Potential: Structural and Immunological Aspects of SARS-CoV-2. *Trends Microbiol* 2020 Aug;28(8):605-18.
 13. Ma H, Zhao D, Zeng W, et al. Decline of SARS-CoV-2-specific IgG, IgM and IgA in convalescent COVID-19 patients within 100 days after hospital discharge. *Sci China Life Sci* 2020 Aug 28;1-4. doi: 10.1007/s11427-020-1805-0. Online ahead of print.
 14. Grifoni A, Weiskopf D, Ramirez SI, et al. Targets of T Cell Responses to SARS-CoV-2 Coronavirus in Humans with COVID-19 Disease and Unexposed Individuals. *Cell* 2020 Jun 25;181(7):1489-501 e15.

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.1 カビの種類と特性(1)カビの種類

真菌

工学院大学

○ 柳 宇

真菌	アレルゲン	建築環境
空調システム	生菌	菌叢

3.1.1 真菌アレルゲン

Pirquet (1874-1929) は 1906 年に、ヒトや動物において、外から異物が体に入ることによって変わった反応が惹起されることに対して「アレルギー (allergie)」という概念を提唱した¹⁾。これまで、花粉、塵埃、動物、植物、昆虫、ダニなどのアレルゲンに関する研究が多く行われてきたが、それらに比べ室内環境中の真菌アレルゲンに関する研究は後れを取っている。なお、真菌はカビ、酵母、キノコなど多様な形態を示す真核生物である。現在、アレルギーは次に示す 4 種類に分類されている²⁾。

I 型アレルギー (即時型アレルギー) : アレルゲンに曝露され、数分から数十分の短い時間に起きるアレルギー反応である。I 型アレルギーには抗体 IgE が関与し、その症状として気管支喘息、アレルギー性鼻炎が挙げられる。

II 型アレルギー (細胞傷害性アレルギー) : 抗原が細胞それ自体である場合に起きるアレルギーである。II 型アレルギーに抗体 IgG が関与する。

III 型アレルギー (免疫複合体による傷害) : 抗原と抗体が結合した免疫複合体が血液中に流れて、組織や毛細血管壁に沈着すると組織傷害を起こす。IgG と IgM が関与する。その代表例として過敏性肺炎が挙げられる。

IV 型アレルギー (遅延型、ツベルクリン型、細胞媒介型) : 感作された T リンパ球が特異的に抗原と反応して組織反応が起きる。過敏性肺炎の一部は IV 型アレルギーに分類されている。

多くの真菌種は I 型アレルギーのアレルゲンになっていることが知られている。 *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* は呼吸器系アレルギー、とくに喘息に深く関わっている。また、 *Cladosporium herbarum*, *Alternaria alternata*, および *Aspergillus fumigatus* は様々な主要なアレルゲン (*Cl a h I*, *Alt a I* と II, *Asp f I* と III) になっている。真菌の孢子、孢子の破片、菌糸の何れも真菌アレルゲンになりうる。また、高濃度真菌は III 型と IV 型のアレルギーを引き起こすことがあり、過敏性肺炎がその代表例である。現在、市販の真菌アレルゲンアッセイの種類が少なく、環境中の真菌アレルゲンに関してはまだ分からないことが多い。

3.1.2 建築環境における真菌汚染の実態

真菌に関して、室内に様々な発生源がある (図 1)。また、室内の真菌濃度は、外気からの侵入、室内での発生、

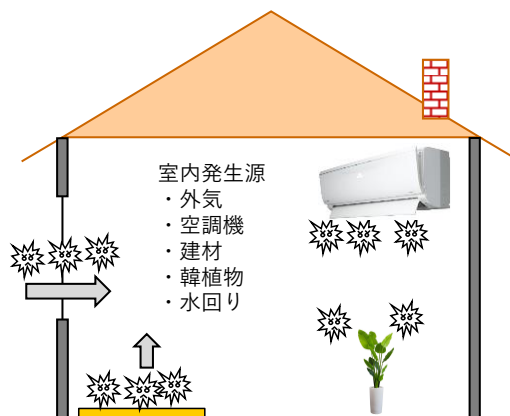


図 1 室内真菌の発生源

住まい方、空調・換気設備によって大きく変わる。

Shelton ら³⁾の測定結果では、学校、病院、住宅、商用ビルの真菌濃度は平均で $80\text{cfu}/\text{m}^3$ であるが、 $10^4\text{cfu}/\text{m}^3$ との高濃度が検出されるケースもあると報告している。また、柳⁴⁾がまとめた国内の室内真菌濃度の範囲を表 1 に示す。外気影響を大きく受ける住宅と社会福祉施設の室内浮遊真菌濃度範囲が広いことが分かる。

表 1 諸環境中浮遊真菌濃度

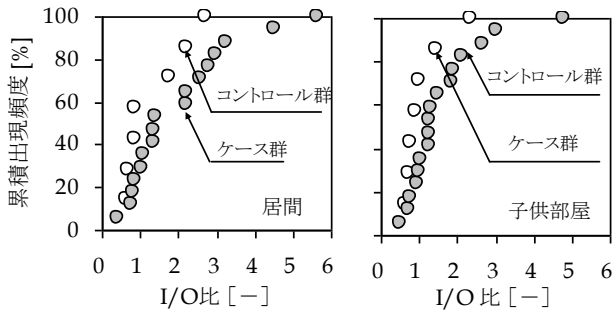
対象空間	浮遊真菌 (cfu/m ³)
住宅	30 ~ 2000
オフィス	10 ~ 200
病院・外来待合室	10 ~ 500
病院・病室	10 ~ 500
社会福祉施設	50 ~ 3000
地下街	100 ~ 500

真菌はアレルギーの原因物質 (アレルゲン) であることは前述した通りである。イタリアで行った大規模の疫学調査の結果では、アレルギー患者のうち約 20% が少なくとも 1 種のカビに対してアレルギー反応を示すことが明らかになっている⁵⁾。また、北欧においては、真菌汚染の原因となるダブネスが咳・喘息のリスクを 2 倍に高めることが報告されている⁶⁾。

図 2 に筆者らが行った調査の結果を示す⁷⁾。調査の目的は学童の住環境とアレルギー性疾患の関係を明らかにするためであった。図中のケース群が少なくとも 1 つのアレ

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.1 カビの種類と特性(1)カビの種類



ケース群: 少なくとも1つの症状があるグループ。コントロール群: 症状のないグループ

図2 居間と子供室内浮遊真菌濃度の累積出現頻度

アレルギーに関する症状を有する住宅で、コントロール群は症状のない住宅であった。コントロール群の住宅内の浮遊真菌濃度が全て1000cfu/m³以下であったのに対して、ケース群の住宅内で浮遊真菌濃度が1000cfu/m³を超える住宅は少なくなかった。

これまで、培地法を用いた生菌の測定結果では、建築環境中の最も高頻度で検出されている真菌は *Cladosporium*, *Aspergillus Penicillium* である。また、*Yeast*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Eurotium*, *Wallemia* なども高頻度で検出されている。しかし、真菌の生態、培地の選択性などから培地で測定できる真菌は僅かであることが分かっている。そこで、近年次世代シーケンサー (NGS) の実用化に伴って、メタゲノム解析手法が用いられるようになった。いわゆるメタゲノム (Metagenome) 解析は、培養のプロセスを経ずに、環境サンプルから直接に回収した DNA を解析するもので、99%以上培養できないとされている微生物の DNA も解読できることになっている。

柳ら⁸⁾が空調用ダクト内の堆積真菌についてNGSを用いた菌叢解析の結果、真菌は全部で166属が検出された (これまで報告された生菌の真菌属は9属のみであった)。さらに、*Aspergillus* 属と *Cladosporium* 属を除いた真菌属はこれまで報告されていないものばかりであった。今後、真菌叢に関する研究が進むにつれて、真菌アレルゲンに関してもより多くの成果が得られると考えられる。

3.1.3 真菌アレルゲンの対策

真菌アレルゲンは真菌であるゆえに、その対策は微生物としての真菌への対策と、粒子状物質としての対策になる。微生物としての真菌対策は温湿度制御によるその増殖の抑制と、殺菌や静菌などの方法が用いられる。一方、粒子状物質としての真菌制御は下記に示す通りである。

室内空気中の浮遊微生物粒子の濃度は、空中への微生物の発生量とそれを希釈・除去するための換気量・捕集効率とのバランスによって決まる。図3のモデルにおいて

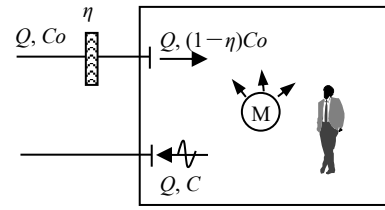


図3 室内汚染濃度構成概念図

$$C = C_s + \frac{M}{Q} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad (1)$$

$$C_s = C_o (1 - \eta) \quad (2)$$

C : 室内汚染物質濃度 [cfu/m³]

C_s : 給気中汚染物質濃度 [cfu/m³]

C_o : 外気中汚染物質濃度 [cfu/m³]

M : 室内汚染発生量 [cfu/h]

Q : 換気量[m³/h]

V : 室容積 [m³]

t : 経過時間 [h]

η : 空調機中エアフィルタの捕集率 [-]

そのバランスを式 (1) と式 (2) で表すことができる。

従って、粒子状物質の真菌の制御は、室内濃度を低減することであり、式 (1) と (2) に示す換気 (Q)、エアフィルタによる捕集 (η)、及び汚染発生量 (M) の抑制による方法が用いられる。

参考文献

1. Yousef AI-Doory, Mould Allergy, Lea & Febiger, 1984
2. 厚生労働省 : <https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/kenkou/ryumachi/dl/jouhou01-17.pdf#search=%E5%9B%9B%E5%9E%8B%E3%82%A2%E3%83%AC%E3%83%AB%E3%82%AE%E3%83%BC>
3. Prussin AJ and Marr LC. Sources of airborne microorganisms in the built environment. *Microbiome*, 3:78. 2015. DOI 10.1186/s40168-015-0144-z
4. 柳 宇 : 室内環境学概論, 東京電機大学出版局, pp.57-66, pp.70-87, 2010
5. Martin, C.J., Platt, S.S. and Hunt, S.M. Housing conditions and ill health. *Br. Med. J.* 294, 1987
6. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Association between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects, 2002
7. 柳 宇 : 健康・快適な住宅づくりのチェックポイント, pp.30-33, p.149, オーム社, 2013
8. 柳 宇, 他 : 次世代シーケンサーを用いた空調用ダクト内付着細菌叢と真菌層の解析結果, 第37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.169-172, 2020

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.1 カビの種類と特性(2)カビの特性と住まい

カビと住まい -アレルギーと関わるカビの観点から-

NPO 法人カビ相談センター ○高鳥浩介

カビ	住まい	アレルゲン
浮遊カビ	ダスト	活性不活性

1. カビとは

カビはどのような生物であるか以下の箇条書き内容を簡単に紹介する。カビの特徴をまとめると、

- 1) 普遍的分布をとるカビ
- 2) 土壌から発生するか
- 3) 生えるには湿度、空気が最も重要であり、複雑な形態(孢子、発芽、菌糸形成)有すことである。

2. 住まいにみるカビ

身の回りにどのくらいのカビがいるかみると、空気中には $1\text{m}^3=100\sim500$ 、ダストでは $1\text{g}=10,000\sim100,000$ 、さらに衣類・ふとは $100\text{cm}^2=10\sim100$ が付着または分布している。このように住まいのどこにでも普遍的に分布している。室内空中カビの年間推移をみると、日本では典型的な二峰性のカビ分布をとり、空中カビ種の季節変動がみられる(図1)。

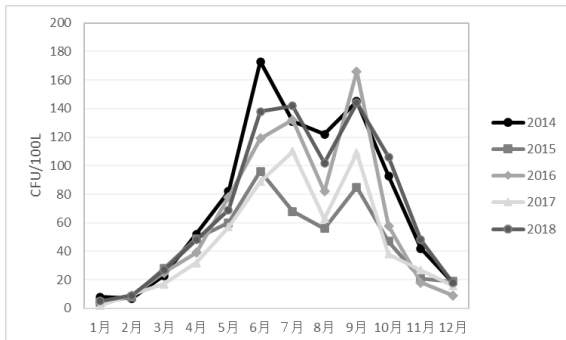


図1. 二峰性のカビ分布

つまり梅雨時と秋雨の季節に峰が高くなる。さらに特徴として、季節により変動するカビ種がある。このことから住まいのカビは季節によりどのようなカビが多いかを知ることが重要になる。一方、住まいから回収したダストのカビ数は年間通して大きく変わらない。それぞれの住宅のカビ種は変動しない特徴がある。空中のカビ種とダストのカビ種は相関しないことを解説した。

3. 住まいの主要カビ

そこで住まいのカビとしてどのような種が特に多いかをまとめた。以下に主なカビ種の特徴をまとめた。

1) *Cladosporium* クロカビ

分布: 空中、浴室、洗面所、台所、床下、ダスト

性質: 乾燥に弱い、低～中温性 ($10\sim30^\circ\text{C}$)

湿った環境での発育速い

特徴: 室内室外の空中に多い、湿性の環境、結露湿度が高いと発育、分布種が特定

有害性: 汚染、劣化、着色

2) *Penicillium* アオカビ

分布: 室内空中、ダスト、ジュータン、畳、布団、木材、穀類

性質: 乾燥に強い、中温性 ($20\sim30^\circ\text{C}$)、発育はやや速い

特徴: やや乾燥環境の基質や室内空中に多い、多量の孢子産生

有害性: 汚染、劣化、臭気

3) *Aspergillus* コウジカビ

カビ種により生えやすい場所やものが異なる

分布: 和室、押入、ダスト、衣類、皮革、木材、穀類

性質: 乾燥に強い、中～高温性 ($25\sim37^\circ\text{C}$)

特徴: やや乾燥環境や基質に多い、湿度が上下すると発育

有害性: 汚染、劣化

4) 好乾性カビ

(*Aspergillus restrictus*, *Eurotium*, *Wallemia*)

分布: ダスト、クローゼット、眼鏡、ジュータン、フィルター、乾燥食品

性質: 乾燥に強い、中温性 ($20\sim30^\circ\text{C}$)、発育はやや遅い

特徴: 乾燥した環境や基質に多い、中長期にわたり生残する

有害性: 汚染、劣化、変色

4. 住まいの構造によるカビ調査事例紹介

住まいの構造と住まい方によりカビ量やカビ種が異なる1事例を紹介した。この説明は、様々な視点からカビとアレルギーに関係するが、解説時間の関係で1事例のみとした。以下に要約した。

A住宅(高気密高断熱住宅、第1種換気)、B住宅(一般戸建て住宅 第3種換気)、C住宅(集合住宅)についてリビングダストのカビ数推移を紹介する。年間を通して住宅Aのカビ数は他の住宅に比べて少なかった(図2)。

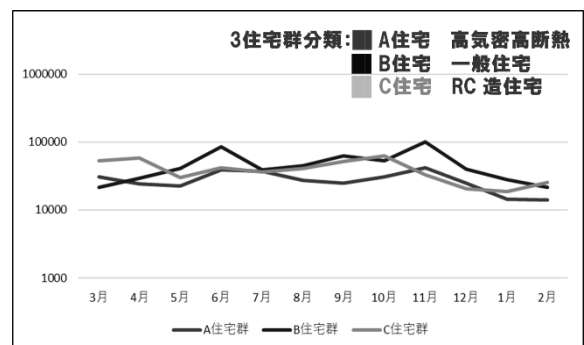


図2. リビングダストのカビ数推移

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.1 カビの種類と特性(2)カビの特性と住まい

また、リビングダスト中の *Cladosporium* 陽性率が極めて低いことがわかった(図3)。すなわち、*Cladosporium* の至適環境は、発育する場として湿性が重要なカギを持っており、日本のような四季で最も活性である梅雨シーズンに住宅内で被害を及ぼすように本カビの分布が広いことは、住宅の環境だけでなく健康を考慮する限り好ましくない。

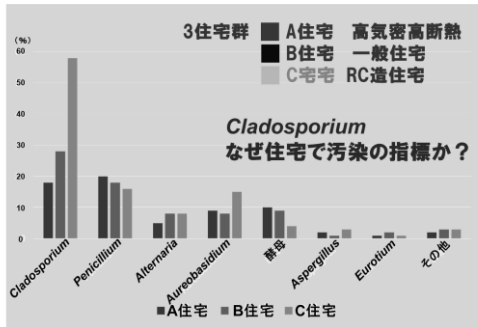


図3. リビングダストの *Cladosporium* 陽性率

このカビ *Cladosporium* がなぜ住宅で重要か解説し、住宅で汚染の指標であることから、今後この観点から住宅とカビ生態の詳細な調査をすることが望ましい。

5. アレルギーと関わるカビの特徴・問題点

住まいに見るカビと健康を考える場合、いくつかの視点で考察が必要になる。ここではカビからの視点で以下の内容について図4に示し、具体的な研究が進むことを期待したい。

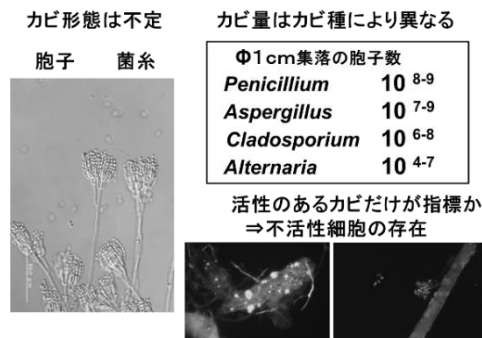


図4. アレルギーと関わるカビの姿

- カビ形態は同じ微生物と比較すると大きな特徴がある。まず形態が不定である。また発生の生活環(ライフサイクル)が大きく異なる。アレルギーとしての胞子と菌糸の関係について生物特性の視点から詳細な研究が必要である。
- カビ量はカビ種によりさまざまである。例えば $\Phi 1$ cm 当たりの集落孢子数を見ると住まいに多い *Penicillium* は 10^{8-9} に比べて *Alternaria* は 10^{4-7} である。つまり住まいの中でもカビの発生はこうした孢子飛散が関わってくることから、一概にカビ数だけでアレルギーと関係させていくことが正しいかどうか今後の研究が必要となる。

3) 今までアレルギーと関わるカビの対象は、活性のあるカビだけが指標となっている。不活性細胞の存在が十分知られていない。従来のカビとアレルギーの関係は生細胞が大前提で研究されてきた。カビは発生したのちどのような形態住まいに分布するかはよく知られていない。併せてそのカビ形態がどの程度生残しているか詳細な研究が進んでいない。カビの住まいでの分布として不活性なカビについても今後研究が必要である。

6. まとめ

アレルギーと関わる住まいのカビについて以下の話題を提供した。特に健康と関わる住まいのカビとアレルギーに関わる話題を提供し、問題点を紹介した。

住まいのカビ

- ・住まいのカビは、人が生活する場で普遍的である。
- ・空中カビ数(CFU)は、梅雨時と秋雨時に高くなる二峰性を示す。
- ・カビ種は、乾湿に影響を受ける。
- ・空中カビと付着カビは、関連しない。
- ・カビ分布とカビ数は、住まい方や構造に依存する。

カビアレルギー

- ・カビ種：現在でもアレルギー特定種は未決である。
- ・カビ数：アレルギーとしてカビ数が重視されてきた傾向がある。しかしカビ種により産生するカビ数は大きく異なる。
- ・形態：胞子のみか、菌糸が関与しないか、など複雑な細胞や組織との関係を研究する必要がある。
- ・生死細胞：住まいのカビ分布は知られているが、その主要カビ種については活性細胞の視点から研究されてきた。しかし不活性カビの分布や生態もアレルギーを考慮するうえで極めて重要であり、今後の研究に期待したい。

参考文献

- 高鳥浩介 国民生活センター デジタル版 <http://www.kokusen.go.jp/wko/index.html> http://www.kokusen.go.jp/wko/pdf/wko-202101_04.pdf 1月号版 2021
- 亀井克彦 カビは正しく怖がる ヘルシスト 260 18-21 2020
- 秋山一男 LEGEND Vol1 pp4-15 2014
- 谷口正実 福富友馬 吸入性アレルギーの同定と対策 真菌 メディカルレビュー社 22-33 2014
- 斉藤明美他 1993年—2013年まで20年間の相模原地区における空中飛散真菌の推移 アレルギー 64 No10 2015
- 古屋宏二 高鳥浩介 蛍光色素 CTC による *Neosartorya* の染色 かびと生活 13(2)33-38 2017
- 高鳥浩介秋山一男:カビによる害を中心に, 防菌防黴 27 (3): 201-206 1999

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度

住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度

秋田県立大学 ○長谷川兼一 東京工業大学 鍵 直樹
 新潟県立大学 坂口淳 産業技術総合研究所 篠原直秀
 北九州市立大学 白石靖幸 前橋工科大学 三田村輝章

ダンプネス 温湿度 浮遊真菌濃度
 アレルギー疾患 対策技術 アンケート調査

1. はじめに

住宅のダンプネス(高湿度環境)と喘息やアレルギー性鼻炎などの健康影響との関係に着目した先行研究は多い。WHO は 2009 年にダンプネスと真菌に関する室内環境ガイドライン¹⁾をまとめ、その時点までのダンプネスに関連する知見を整理している。その上で、ダンプネスと健康影響との関連には解明されていない点があるもののダンプネスを無視できない室内環境上の問題としている。ASHRAE においてもダンプネス問題に対する立場を明確にするために声明を出し、不明な点が多いことを認めながら、高湿度環境による微生物汚染を防除するための研究開発が必要であることに言及している²⁾。

ダンプネスにより汚染された室内環境には真菌や化学物質などの具体的な曝露要因が存在し、それらが健康に影響するという因果関係が成立するものと仮定できる。しかしながら、多くの既往研究では、ダンプネスの評価を、観察できる結露や真菌の発生などの有無を指標として、それらとの関連性を確認することにしている。すなわち、ダンプネスというものは室内環境の汚染を包括的に表現しているものの、その室内環境の特徴は明らかにされていない。

ダンプネスによる室内環境汚染では、室内真菌との関連性が注目されているが、居住者の曝露環境や健康影響については不明な点が多く、依然として課題が残されている³⁾。日本の場合、四季の変化とともに気候特性が地域により異なっているため、ダンプネスによる室内環境汚染に対する認識が共有されているとはいえない。

筆者らは、ダンプネスの室内環境について調査研究を継続しているが、本報では、最近までに実施してきた調査結果に基づき、住宅のダンプネスに関する実態を示す。

2. 浮遊真菌濃度の季節変動⁴⁾

2.1 調査の概要

疫学調査にて用いられるケース・コントロール研究の手法に習った追跡調査を計画し、ケース群(患者群)とコントロール群(対照群)に対して長期実測を行った。調査対象は、表 1 に示す秋田県内の戸建住宅であり、児童にアレルギー症状が見られる世帯(ケース群)と症状が見られない世帯(コントロール群)の合計 10 世帯である。これらの住宅に対し、居間や寝室などの浮遊真菌濃度を一年間(2006 年 6 月～2007 年 7 月)に亘って計測した。

対象住宅は 1999 年以降に建設された戸建住宅であり、No.10 を除いて断熱気密施工がされており、隙間相当面積は 0.3～2.8 cm²/m² の範囲にある。換気設備は第 1 種が 5

表 1 対象住宅の概要

分類	住宅 No.	所在地	周辺地域	竣工年	家族人数	床面積 (m ²)	C値 (cm ² /m ²)	暖房設備	換気設備
ケース群	01	秋田市	住宅地	2003	5	262	2.8	温水式放熱器	なし
	02	秋田市	耕作地	2001	4	146	0.7	蓄熱式暖房機	1種
	03	秋田市	住宅地	1999	6	124	2.2	FF式温風暖房機	3種
	04	秋田市	住宅地	2005	5	166	1.8	温水式放熱器	3種
	05	由利本荘市	住宅地	1999	7	227	0.3	蓄熱式暖房機	1種
コントロール群	06	秋田市	住宅地	2000	3	132	1.7	FF式温風暖房機	1種
	07	秋田市	耕作地	2001	4	135	2.3	温水式放熱器	3種
	08	秋田市	住宅地	2002	4	129	1.5	FF式温風暖房機	1種
	09	大仙市	住宅地	2001	3	156	2.3	薪ストーブ	1種
	10	湯沢市	耕作地	2003	7	278	5.8	FF式温風暖房機	なし

表 2 ケース群 5 件の居住者の健康状態

住宅 No.	家族のアレルギー性疾患等の状況	両親のアレルギー歴	新築(引越し)後の発症
01	母親(40代): 目、皮膚のかゆみ、 長男(11): アトピー性皮膚炎 [*] 、気管支喘息 [*] 、 アレルギー(ハウスダスト、卵) [*] 、 長女(7): アトピー性皮膚炎 [*] 、次女(6): アレルギー性鼻炎 [*] 、	なし	有り
02	長女(10): 花粉症 [*] 、長男(9): 花粉症 [*] 、アレルギー(ハウスダスト) [*] 、	なし	有り
03	母親(40代): 花粉様症状、長女(13): アレルギー(猫)、 次女(10)、三女(8): アトピー性皮膚炎 [*] 、アレルギー性鼻炎 [*] 、	有り	なし
04	父親(40代): 咳、母親(40代): アレルギー性鼻炎 [*] 、 長男(13)、次男(11): アレルギー性鼻炎 [*] 、アレルギー(ハウスダスト) [*] 、三男(9): 気管支喘息 [*] 、	有り	なし
05	母親(40代): 体調不良症状あり、 長男(18)、次男(17): アトピー性皮膚炎 [*] 、 長女(11): 気管支喘息 [*] 、	有り	有り

()は年齢 *病院にて診断を受けた症状。その他の症状は家族の自己申告による。

件、第 3 種が 3 件、換気設備なしが 2 件である。No.01 には換気設備がなく、いわゆるシックハウス法が施行される直前に建設されている。換気設備の運転を No.3 では必要時に運転させているが、その他は常時運転させている。

表 2 にケース群の症状を示す。全体的に子供の症状が重く、13 人中 12 人は医師による診察を受けた経歴があり、アレルギー性鼻炎が 5 人、アトピー性皮膚炎が 6 人、気管支喘息が 3 人、さらにアレルギーテストによりハウスダストに対する陽性反応を持っている子供が 3 人見られる。現在も 6 人の子供は薬を服用することがある。アレルギー体質には遺伝的要因も指摘されており、今回の対象住宅のうち、親のアレルギー歴がある住宅は 3 件(No.03, 04, 05)である。また、新築あるいは引越し後に症状の発症が見られた住宅は 3 件(No.01, 02, 05)である。いずれの住宅においても、これらの症状は通年見られる訳ではなく、たいていは季節の変わり目に発症している。

2.2 ケース群における各室の浮遊真菌濃度と家族の症状

例として、図 1 にケース群(住宅 No.03)における各室の浮遊真菌濃度(PDA 培地)と家族の症状を月ごとに示す。各室の浮遊真菌濃度は、梅雨期～秋期に高いが、同様に外気も高い。よって、この時期の真菌濃度の増加は、外

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度

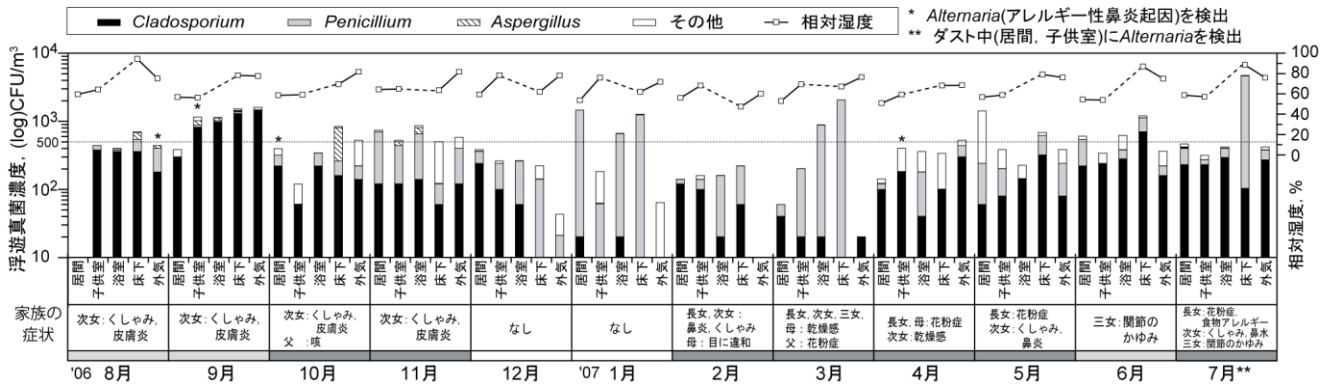


図1 ケース群(住宅No.03)における各室の浮遊真菌濃度の月変動

気の影響を受けていると考えられる。一方、12月～3月にかけては、外気よりも室内の真菌濃度が高く、室内にてカビが繁殖している可能性が指摘される。また、床下がカビの繁殖場所になり室内に移流することも想定される。

家族の体調の変化では、12月と1月に症状が見られないが、梅雨時期から秋期にかけては症状を訴えている。8月～10月に次女が「くしゃみ」を訴えているが、この時期にはアレルギー性鼻炎の誘発菌とされている *Alternaria* spp. が浮遊真菌として検出されている。カビアレルゲンの寄与が疑われるが、他の要因の影響も考えられるため、現段階では因果関係は明確ではない。また、カビ種類の変動に着目すると、梅雨～夏期において好湿性の *Cladosporium* spp. が検出される割合が高く、規則性のある変動をしている。一方、*Penicillium* spp. は冬期に多く検出され、菌種ごとに季節変動が確認できる。

2.3 居間における浮遊真菌濃度の月変動

図2に示す通り、外気の浮遊真菌濃度は夏に高く、冬に低いことに連動して、コントロール群では、室内の真菌濃度も変動する世帯が多い。一方、ケース群の真菌濃度の平均値は、冬にも真菌濃度が低下しない様子が窺える。ケース群の住宅では、冬に外気の絶対湿度が低下しても室内の絶対湿度が高い状態であることが確認されており、いわゆるダンプネスの汚染が生じていると考えられる。ダンプネスの定義は厳密に定められていないが、その室内環境の特徴の一つとして、冬の室内において真菌濃度が高いことが挙げられそうである。

3. ダンプネスの主観評価と健康影響

3.1 ダンプネスの評価法

筆者らは、観察が容易に可能な結露・カビの発生や、知覚が可能なカビ臭を評価項目として、ダンプネスの評価法を提案している。評価に用いる8項目を3点満点とし、その合計(24点満点)をダンプネスの程度の評点とする。さらに、先行調査(N=5,071)により得られたダンプネスの程度の評点より、ダンプネスによる汚染が低いグループからランク1～ランク4の4つのランクを設けている。図3に、2018年1月に実施した全国調査によるダンプネスの程度の評点の分布とランクの範囲を示す。各ランク

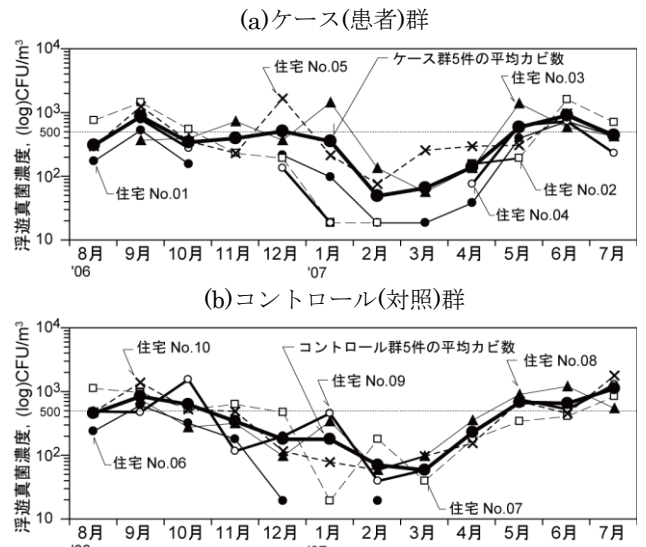


図2 ケース群とコントロール群のカビ数の月変動

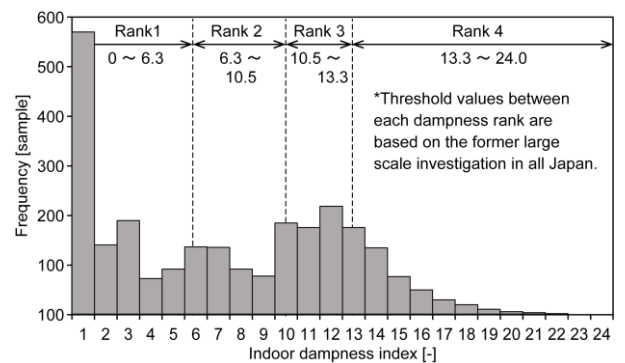


図3 ダンプネスの程度の評点の分布

の割合はランク1が51.3%、ランク2が25.0%、ランク3が11.0%、ランク4が12.7%である。各ランクは先行調査の四分位数に基づいており、ランク1を全体の37.5%、ランク2と3を25.0%、ランク4を12.5%に割り付けている。2018年の調査では、ランク1の割合が高く、ランク3が低い結果である。以後、2018年の調査データを用いて考察する。

3.2 小児・児童のシックハウス症状との関連性

ダンプネスのランクを用いて、小児・児童のシックハ

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度

表3 シックハウス症状に対するダンプネスのランクの調整オッズ比

Facotrs	Frequency	Ocular symptoms(n=220)		Nasal symptoms(n=670)		Throat symptoms(n=449)		Skin symptoms(n=327)	
		AOR ^a (95%CI)		AOR ^a (95%CI)		AOR ^a (95%CI)		AOR ^a (95%CI)	
Dampness rank	Rank 1	2,222	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Rank 2	980	1.27 (0.90-1.81)	1.77 *** (1.43-2.18)	1.31 * (1.02-1.68)	1.21 (0.91-1.61)			
	Rank 3	675	1.55 * (1.07-2.26)	2.11 *** (1.68-2.65)	1.71 *** (1.31-2.24)	1.38 * (1.01-1.89)			
	Rank 4	304	2.62 *** (1.71-4.00)	3.92 *** (2.98-5.16)	2.89 *** (2.11-3.96)	2.11 *** (1.45-3.06)			
p for trend		p<0.001		p<0.001		p<0.001		p<0.001	

^a Adjusted for age, gender, parents health condition related to allergies and smoking status.

CI = confidence interval; * p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

ウス症状との関連性をロジスティック回帰分析により評価し、結果を表3に示す。分析に用いたデータは、2,579世帯に属する4,182名を対象としている。表を見ると、鼻症状や喉症状など、ダンプネスのランクが高くなるに連れて調整オッズ比(AOR)が有意に高くなる傾向がある。ダンプネスのランクを評価指標とすれば、ダンプネスの汚染に対して用量-反応関係が表現できる可能性がある。

3.3 ダンプネスの地域性と季節性

筆者らが提案しているダンプネスのランクの地域による違いを確認するため、省エネルギー基準における地域区分(1地域~7地域)での分布を図4に示す。ダンプネスの汚染度が高いランク4の割合は、3地域で最も高く、5・6地域で低い。汚染度が低いランク1の割合は1地域と5地域で高く、3地域や7・8地域では、ダンプネスの程度が高い住宅が相対的に多い傾向にある。

ダンプネスのランクは冬の結露やカビの発生状況に基づいた評価である。図5に、アンケートで尋ねた冬期と梅雨・夏期のカビの発生箇所について集計した結果を示す。居住者が目視可能なカビの発生は浴室で最も多く、冬期も梅雨・夏期も同様である。しかしながら、発生割合は冬期の方が多く、カビの発生なしの割合は梅雨期・夏期の方が高いことがわかる。外気の浮遊真菌濃度は梅雨期・夏期が高いことは図1に示した通りであるが、室内での発生においては冬期の方が目視しやすいと考えられ、ダンプネスの汚染度の評価に冬の室内環境を参照することが妥当であることの一端を示している。

さらに、ダンプネスのランクの評価値が梅雨期・夏期の室内環境を反映しているかを確認するため、順序ロジスティック回帰モデルによる統計分析を行った。分析では、従属変数をダンプネスのランク(「ランク1」「ランク2」「ランク3」「ランク4」の4段階)、独立変数を築年数(「1-3年未満」「3-5年未満」「5-10年未満」「10-20年未満」「20年以上」)、梅雨・夏期のカビの発生(「なし」「あり」)のダミー変数とした。順序ロジスティック回帰分析では、従属変数に三値以上の順序性を持つ質的変数を割り当てることができる。また、従属変数のカテゴリの差が等間隔であるような質的変数の場合に適用できるため、カテゴリの間隔に意味がある重回帰分析とは異なる。分析の結果、得られる偏回帰係数は、それが正であれば、独立変数が大きいほど従属変数のカテゴリも大きくなると解

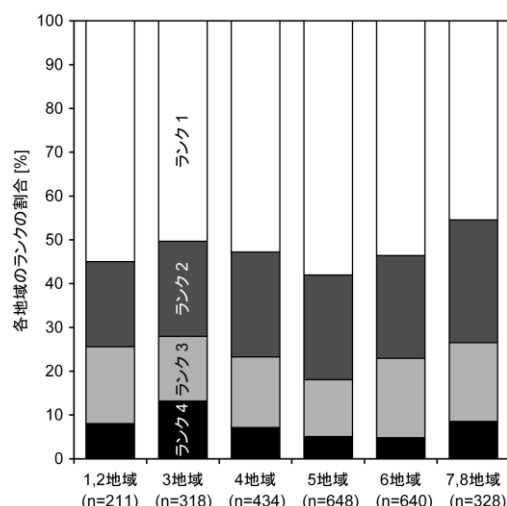


図4 各地域のダンプネスのランクの分布

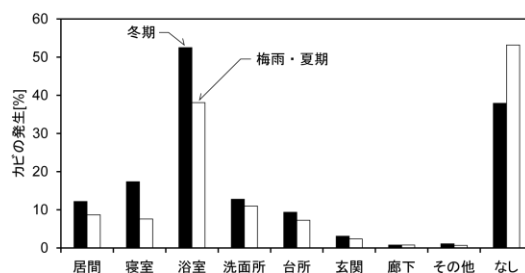


図5 梅雨・夏期と冬のカビの発生割合

表4 ダンプネスのランクに対する順序ロジスティック回帰分析による解析結果

ダンプネスのランク(1→4)	偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
			上限	下限
築年数(新→旧)	0.356	0.000	0.296	0.416
梅雨・夏期のカビ発生(なし→あり)	1.562	0.000	1.386	1.739

独立変数を含むモデルの尤度比検定: p<0.001, 平行線の仮定: p=0.203

積できる。すなわち、ここでは、築年数が古いほどまた、梅雨・夏期にカビ発生が「ある」の方がダンプネスのランクが高くなることになる。表4に分析結果を示す。冬の室内環境に関する申告にて算出したダンプネスのランクは、梅雨・夏期のカビの発生が認められる方が有意(p<0.001)にランクが高くなることがわかる。また、カビ発生の偏回帰係数は、築年数のそれよりも大きいため、カビ発生が「あり」によるダンプネスのランクの変化量が大きい。すなわち、冬の室内環境を観察してダンプネスのランク

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度ならびに温湿度

を算定すれば、梅雨・夏期も含めた住宅のダンプネスを総合的に評価できる可能性が示唆される。

4. ダンプネスのランクと室内温湿度の関連

4.1 調査概要

ダンプネスの汚染が見られる住宅の暖房期間の温湿度を評価するため、主に東北地方の戸建住宅 119 件を対象とした実測調査を 2017 年 2 月に行った。調査対象を選定する際に、ダンプネスの程度が均一になるように調整したため、ダンプネスのランク 1 の住宅が全体の 48.7%(n=58)、ランク 2 が 19.3%(n=23)、ランク 3 が 18.5%(n=22)、ランク 4 が 13.3%(n=16)となった。

4.2 分析結果

図 6～図 8 に、ダンプネスのランクと居間・寝室における団らん時における温度、相対湿度、絶対湿度との関係を示す。各住宅の代表値として測定期間中の温湿度の中央値を用い、図には、ダンプネスの各ランクに該当する住宅に対する温湿度の中央値、第一・第三四分位、最大・最小値を示している。これらの関連性の有意性を検定するため、ノンパラメトリック検定の一つである Kruskal-Wallis 検定を行いダンプネスのランクと温湿度との関連性の有意性を評価した。また、ランク間の有意性を多重比較により検定した。解析には、IBM SPSS Statistics v23 を用いた。

(1)温度

ダンプネスのランクとには有意な関連は認められない。居間では暖房が運転されている場合が大半のため、各ランクの中央値は 20°C前後となっている。一方、寝室温度とランクとには有意性はないものの、ランク 4 はランク 1 よりも温度が低い傾向があることが確認できる。

(2)相対湿度と絶対湿度

団らん時の相対湿度(図 7)と絶対湿度(図 8)については、Kruskal-Wallis 検定の結果、ダンプネスのランクとに有意な関連性が確認でき、ダンプネスのランクがランク 1 からランク 4 になるにつれて、居間と寝室の湿度が高くなる傾向がある。ランク間の差については、ランク 4 はランク 1 よりも相対湿度ならびに絶対湿度とも有意に高くなっている。すなわち、ダンプネスによる汚染が重篤である住宅では、室内での相対湿度と絶対湿度が高く、室内では湿度の発生が大きい、もしくは換気不足により排気が十分でないこと等が予想される。

ランク 4 の居間と寝室の相対湿度の中央値はそれぞれ、52.0%と 71.6%である。この結果より、ダンプネスによる冬期の室内環境の特徴の一つとして、団らん時の相対湿度が居間では 50%程度、寝室では 70%程度になっていることが示唆される。

5. おわりに

住宅のダンプネスの室内環境を明らかにするため、筆者らが継続している調査より得られた結果を示した。ダンプネスの汚染が見られる住宅の特徴として、暖房時の湿度が相対的に高いことや、冬の室内での浮遊真菌濃度

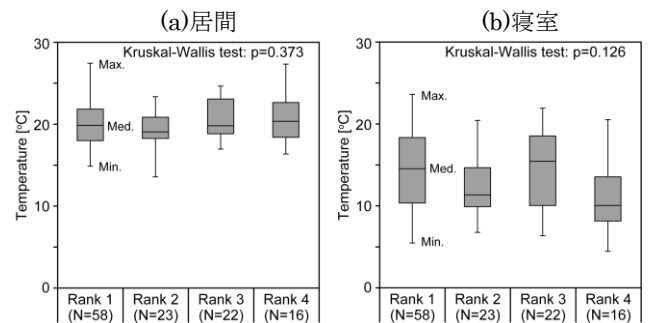


図6 ダンプネスのランクと団らん時の温度との関係

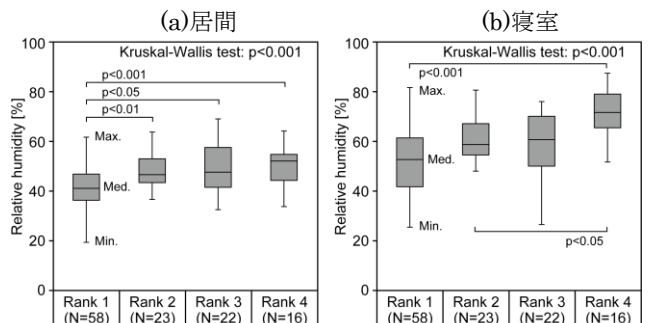


図7 ダンプネスのランクと団らん時の相対湿度との関係

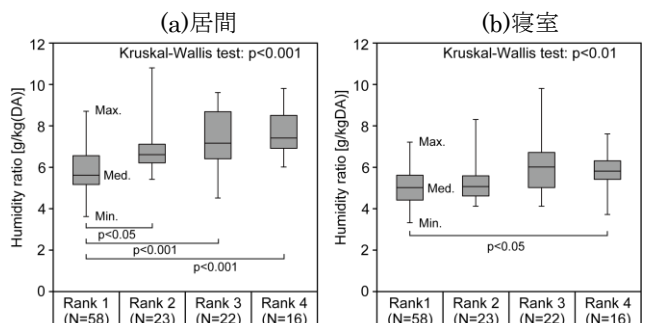


図8 ダンプネスのランクと団らん時の絶対湿度との関係

が高いことが挙げられた。このような知見を踏まえて、ダンプネス防除のための室内環境ガイドラインに繋がることに期待する。

参考文献

1. WHO: WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould, 2009.
2. ASHRAE: ASHRAE Position Document on Limiting Indoor Mold and Dampness in Buildings, 2018.6.
3. M. Mendell, R. Adams: The challenge for microbial measurements in buildings, Indoor Air, Vol.29, pp.523-526, 2019.2.
4. 長谷川兼一, 高松真里, 松本真一, 源城かほり: 住宅の湿度環境と健康影響に関する研究 その6 戸建住宅 10 件を対象としたケース・コントロール研究手法に基づく長期実測, 日本建築学会学術講演梗概集, D2, pp.871-874, 2008.9.
5. 長谷川兼一, 鍵直樹, 坂口淳, 篠原直秀, 白石靖幸, 三田村輝章: 住宅のダンプネスのアンケートによる評価法の提案と子供のアレルギー疾患に及ぼす影響に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 723 号, pp.477-485, 2016.5.

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.3 東日本の住宅 60 軒における MVOC 類濃度とダンプネス指標

東日本の住宅60軒の室内における MVOC 類濃度とダンプネス指標

産業技術総合研究所 ○篠原 直秀

室内
ハウスダスト

MVOC 類
ダンプネス

カビ

東日本（青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、富山県、石川県、福井県、山梨県、長野県）の住宅を対象としたインターネットアンケート調査対象者の中から、子供のいる世帯で現在の住宅に1年以上住んでいる世帯 60 軒の住宅を選び、2015 年 2 月に 20 物質の VOC 類および 4 種類のカルボニル類を MVOC 類として室内濃度を計測した。ダンプネスの程度については、アンケート結果における、居間・寝室の結露箇所（6 点）、居間・寝室の窓ガラスの結露の程度（6 点）、居間・寝室の窓ガラスの結露の頻度（6 点）、浴室以外のカビの発生箇所（3 点）、カビ臭の発生箇所（3 点）を用いて、ランク 1～4 までの 4 段階に分類した。

MVOC 類の内、多くの家で検出されたのは、酢酸イソブチル（79%）、2-メチル-1-プロパノール（90%）、2-メチル-1-ブタノール（94%）、3-メチル-1-ブタノール（86%）、2-ペンチルフラン（84%）、1-ペンタノール（85%）、2-エチル 1-ヘキサノール（98%）などであった。カルボニル類 4 種はほとんどの家で検出された。

多くの物質で居間と寝室の室内濃度に有意な相関がみられた (Pearson; $P < 0.01$)。二硫化ジメチル、2-ペンタノール、2-メチル-1-ブタノール、3-メチル-1-ブタノール、2-ペンタノールでは明らかに居間が寝室よりも高濃度であった (paired t-test; $P = 0.056, 0.048, 0.069, 0.027, <0.001, 0.051$)。

ダンプネス指標と各 MVOC 濃度を比較すると、ランク 1 から 4 へとダンプネスが重篤になるほど、多くの物質で濃度が高くなっていたが、ANOVA の後 Scheffe の検定を行った結果、有意な違い ($P < 0.05$) はどの物質でも見られなかった。

カビが目視された居間では、酢酸イソブチル、2-メチル-1-ブタノール、3-メチル-1-ブタノールの濃度が、カビが目視されなかった居間より有意に高かった (t-test; $P = 0.032, 0.037, 0.036$) が、寝室では有意ではなかった。カビ臭の有無では、室内の MVOC 濃度に有意な違いはなかった。

参考文献

1. Shinohara N., Hasegawa K., Kagi N., Sakaguchi J., Shiraishi Y., Mitamura T. (2018). Microbial volatile organic compounds and dampness in 60 houses of East Japan. Building and Environment, 132: 338-344.

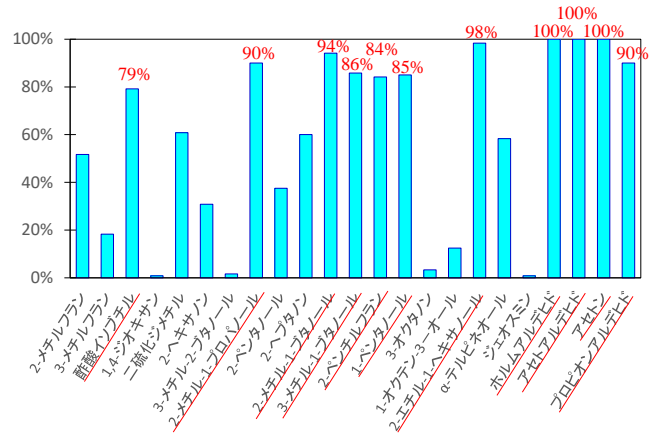


図. MVOC 類の検出率

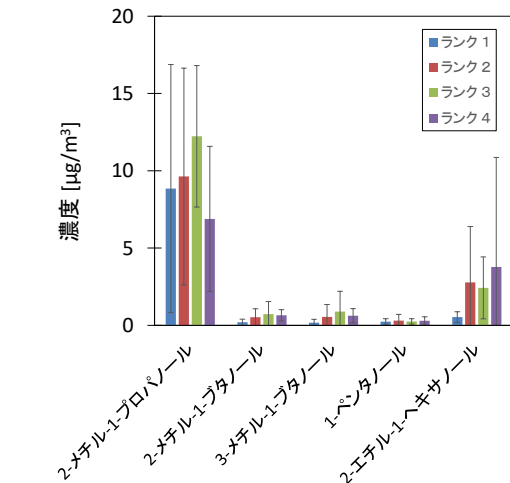
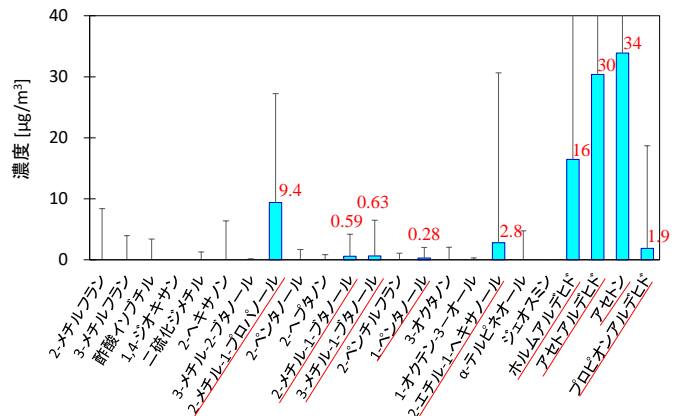


図. ダンプネスのランクと MVOC 類の室内濃度

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.4 ダニアレルゲンの実態と環境整備による防除

室内環境ダニアレルゲンと環境整備

東京環境アレルギー研究所 ○阪口雅弘
東京アレルギー・呼吸器疾患研究所 白井秀治

ダニ アレルゲン 空中
免疫学的測定法 ハウスダスト 寝具

1. はじめに

1960年代に室内塵に含まれるダニがアレルギー疾患と関係していることが明らかになった^{1,2)}。現在、ダニは室内における最も重要なアレルゲンであり、気管支喘息などの主要なアレルゲンと考えられている³⁾。

以前において環境中のダニアレルゲンの評価として掃除機で集められたごみの中のダニ数を数えるという方法が主に行なわれていた。近年、ダニの主要アレルゲンが精製され、そのアレルゲンを動物に免疫することにより、アレルゲンに対する特異的抗体が作製された。この抗体を用いることにより、ダニ主要アレルゲン量を免疫学的に測定することが可能になった⁴⁾。その免疫学的手法を用いたアレルゲンの定量法は、国際的標準法として定着している。

この免疫学的方法を用いて室内環境中のダニアレルゲンを定量した我々の研究から、室内塵および空気中のダニアレルゲン量と個人の暴露を減らすためのダニアレルゲン除去方法について報告する。

2. アレルゲン免疫測定法

ダニアレルゲンの定量は、ダニ主要アレルゲンに対する抗体を用いた免疫測定法で行なった。一般家庭の室内塵中には、測定に十分なダニアレルゲンが存在するため、通常のサンドイッチ ELISA 法でアレルゲンの測定を行うことができる。しかし、空気中のダニアレルゲン量は極めて微量のため、高感度の測定法を用いる必要がある。

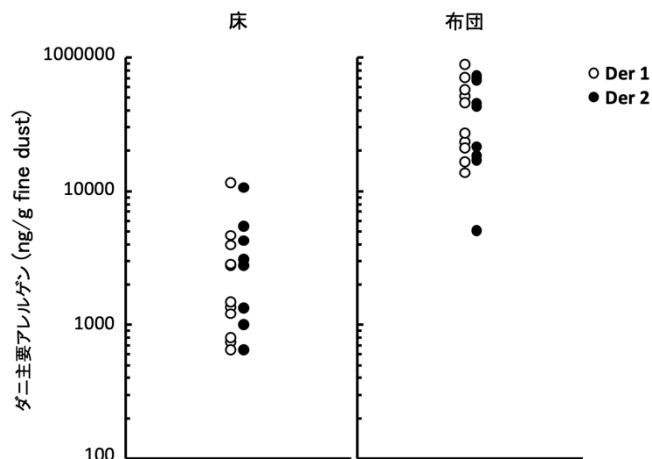


図1 床および布団ゴミ中のダニ主要アレルゲン量

本研究にはラジオアイソトープを用いた免疫測定法の1種であるラジオイムアッセイ法⁵⁾や同等の感度が得られる蛍光 ELISA 法⁶⁾のような高感度の測定法を用いた。

3. 環境中のダニアレルゲンの測定

ダニの主要アレルゲンとして、ヒョウヒダニ (*Dermatophagoides* 属) から Der 1 と Der 2 が分離、解析されている。さらに最近、多くの新しいダニアレルゲンが明らかになっている。日本においても、それぞれ Der 1 と Der 2 に対する抗体が作製され免疫学的測定が行われている⁵⁾。

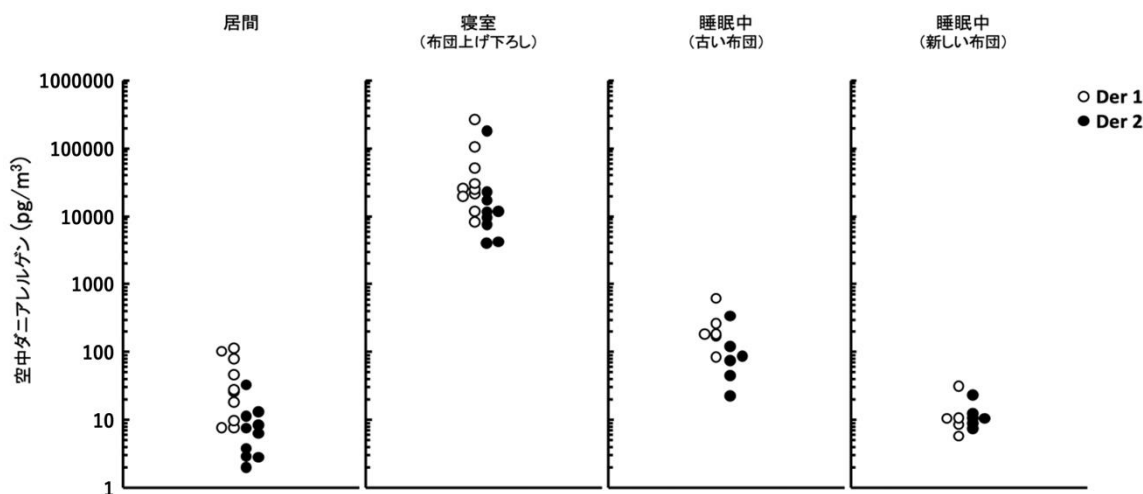


図2 行動様式による家庭内空中ダニ主要アレルゲン量の比較

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.4 ダニアレルゲンの実態と環境整備による防除

3.1 家庭環境中のダニアレルゲン量の測定

この方法を用いて 10 軒の各家庭の室内塵中のダニアレルゲン量を測定した (図 1)⁷⁾。床の室内塵における Der 1 と Der 2 の平均アレルゲン量は fine dust (0.3 mm メッシュで篩をかけた細かい室内塵) 1g あたり 2,040 と 2,690 ng となった。次に布団の室内塵における Der 1 と Der 2 のアレルゲン量を測定したところ、平均アレルゲン量は、それぞれ fine dust 1g あたり 35,500 と 28,200 ng となった。この fine dust 1g 中のダニアレルゲン量は、床よりも布団に多いことが示唆された。

布団中にダニアレルゲンが多いことに注目し、家庭内での人の生活の行動をダニアレルゲンの暴露状態から次の 3 つに分けた^{7,8)}。(1) 居間での生活、(2) 布団の上げ下ろし中、(3) 睡眠中。それぞれの条件下において空気中の主要ダニアレルゲン (Der 1 と Der 2) 量をエアサンプラーと免疫学的測定法を用いることにより測定した。

図 2 は各条件下での空気中のアレルゲン量を示している。居間における Der 1 および Der 2 の空中アレルゲンは非常に低く、それぞれ 29.6 と 6.3 pg/m³であった。それに比べ、布団の上げ下ろし時における Der 1 と Der 2 の空中アレルゲン量は非常に高く、それぞれ 30,900 と 12,600 pg/m³であった。さらに睡眠中の Der 1 と Der 2 の空気中のアレルゲン量は、それぞれ 223 と 87.0 pg/m³であった。居間における空中 Der 1 アレルゲン量を他の条件と比較したとき、布団の上げ下げにおける空中アレルゲン量は 1,000 倍、また、睡眠中は 8 倍となった。

次に布団などの寝具をすべて新しく変えた場合、睡眠中の Der 1 および Der 2 の空中アレルゲン量は、それぞれ 11.5 と 12.0 pg/m³と著明に減少した (図 2)。これは睡眠

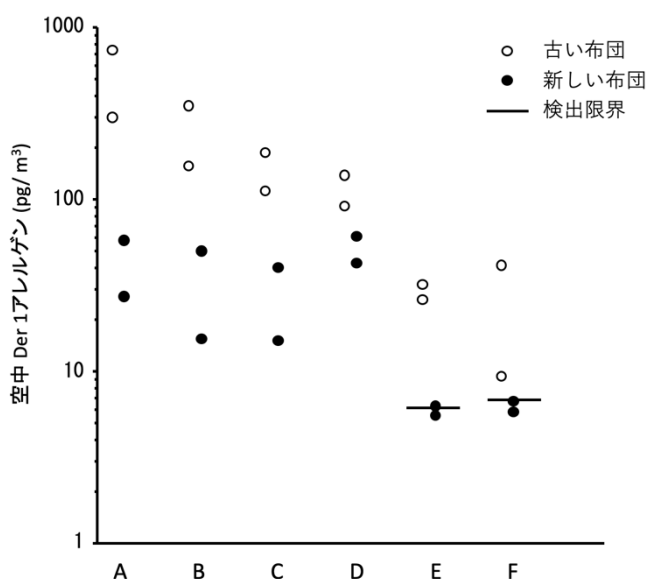


図 3 布団を新しくすることによるダニアレルゲン曝露量の減少効果

中の空中アレルゲンは布団由来であって、床からの由来でないことを示していると考えられる。これらの結果から、人が暴露を受けるダニアレルゲンの大半が布団由来であることが示唆された。

3.2 個人におけるダニアレルゲン量の測定

家庭内におけるダニアレルゲン量の個人の暴露量を測定することが、携帯用小型サンプラーを使用することにより可能になった⁹⁾。そこで布団を新しいものに変えたときの個人のダニアレルゲン暴露量の変化を、この測定法を用いて調べた。

6人 (A-F) の成人に帰宅後から翌日の朝、家を出るまでの間、個人サンプラーを携帯してもらった。このようなサンプリングを 5 日間、2 回行なった。この 2 回の平均値を暴露量とした (図 3)。

次に新しい布団に変えて同様のサンプリングを実施した。図 3 に示すように古い布団 (1 年以上使用) を寝具として使用しているときの 2 回の測定の平均空中ダニ主要アレルゲン量は、30~485 pg/m³ (幾何平均 102 pg/m³) であった。

次に古い布団から新しい布団に代えると、空気中ダニアレルゲン量は前例で低下し、2 回の測定の平均アレルゲン量は 6.0~52 pg/m³ であった (幾何平均 20 pg/m³)。家庭内でのダニアレルゲン発生源として布団が、重要であることが再確認できた。

このシステムを応用することにより、家庭内での環境整備が個人のダニアレルゲン暴露量を、どの程度減らすことが可能かを評価できるようになった。

3.3 ダニアレルゲンの経時的变化の測定

室内空中ダニ主要アレルゲンを経時的に、さらに肉眼で見える形で測定する目的で、Burkard サンプラーとイムノプロット法を用いて、室内空气中ダニアレルゲンの評価を行なった¹⁰⁾。

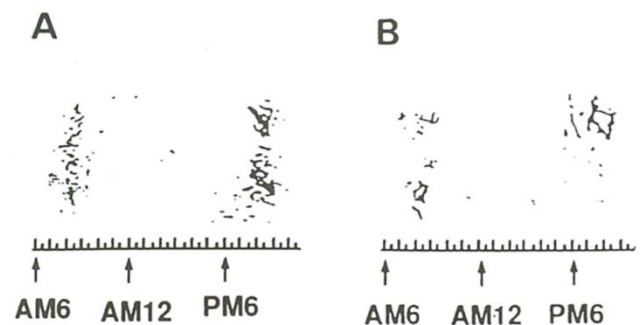


図 4 空中ダニアレルゲンの経時的变化
A, 第 2 日目; B, 第 3 日目

本研究では Burkard サンプラーを居室兼寝室内に設置して、その家の家族が布団の上げ下げや掃除などの通常の

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.4 ダニアレルゲンの実態と環境整備による防除

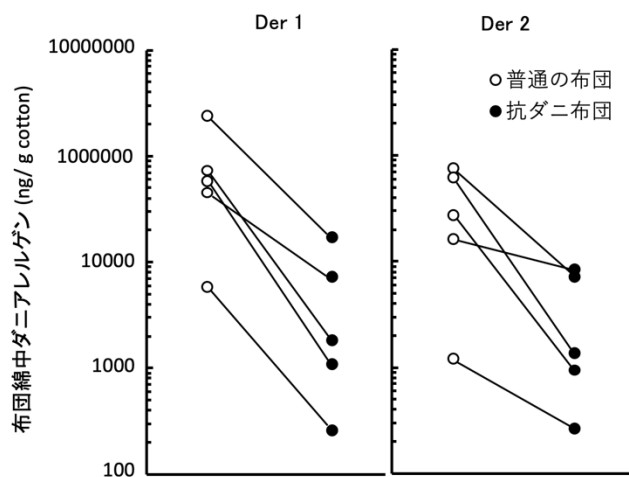


図5 普通および抗ダニ布団綿中のダニ主要アレルゲン量の比較

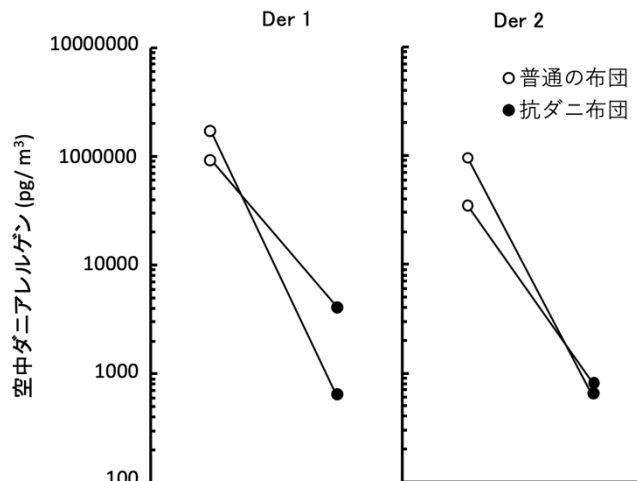


図6 普通および抗ダニ布団からの空中ダニアレルゲン量の比較

生活を行った（睡眠中はサンプラーを止めた）。このような条件下で空中アレルゲンの測定を4日間行った。4日間を通して寝室内のダニアレルゲンの飛散は、布団の上げ下ろしの時に顕著に認められたが、それ以外の時はほとんど認められなかった（図4）。このように室内空中アレルゲンが肉眼で見える着色スポットとして確認でき、さらに経時的な評価が可能となった。

4. ダニアレルゲンの除去法の評価

これまで家庭内におけるダニアレルゲンの除去に関して、多くの方法が提唱されてきた。しかし、その数が余りにも多く、また、各対策がどの程度アレルゲン曝露の減少に効果的であるかの評価は、あまり行われていなかった。実際に喘息患者の家庭内で、これらの対策を1つ1つ独立して評価することは、非常に困難である。しかし、空気中のダニアレルゲンの大半が、布団を含む寝具由来であることを考えると、重点的に布団のアレルゲン管理を実施することにより、効果的な対策を実施することができると思われる。すなわち、布団に着目してダニをアレルゲンとしたアレルギー疾患の発病および発症予防として、効果的な対策が考えられる。

我々はこのダニアレルゲンの免疫学的測定法を使用することにより、いくつかの寝具におけるダニアレルゲン対策の評価を行なった。

布団からのダニアレルゲン除去には、クリーニング業者による機械式布団の丸洗いが、布団からの除去に最も手軽で効果的な方法であった。しかし業者によってその除去効果に差があった¹¹⁾。

また、毛布からのアレルゲン除去において、大型家庭用洗濯機による毛布丸洗いの方が、ドライクリーニングよりも、効果的な方法であることがわかった¹²⁾。

防ダニ布団の評価として、2年間同じ部屋で使用した

あるメーカーの防ダニ布団と、通常の布団の中綿と布団からの粉じんについてダニアレルゲンの測定を実施した。中綿のダニアレルゲン量を比較したところ、通常の布団のダニアレルゲン量は、防ダニ布団に比べ、2～55倍（平均24倍）であった（図5）。次に各布団を布団叩きで発じんさせた時に発生した空中アレルゲンを比較した。通常布団の浮遊ダニ荒れる元量は防ダニ布団に比べ、22～264倍であった（図6）。また、防ダニ布団中のダニ数は普通の布団に比べ1/20と少なく、布団中のダニの繁殖も防止された。これらのことから試験した防ダニ布団は、ダニによる感作や喘息の発作予防に有用な布団と考えられる¹³⁾。

このようにダニアレルゲンの定量法を用いることにより、より客観的なダニアレルゲン対策に関する評価が行えるようになった。

5. ダニアレルゲンの空中浮遊粒子径分布

ダニをアレルゲンとした呼吸器性アレルギー疾患に対する対策を考える上で、室内の空気中アレルゲンの粒子径やその減衰を調べることは重要である。布団たたきに

表1 ダニ主要アレルゲンの粒子径分布

Impactor stage	Range of particle diameter (µm)	Mite allergens collected	
		Der 1 (%)	Der 2 (%)
I	15 - 7.65	55.5	49.3
II	7.65 - 5.5	22.9	30.7
III	5.5 - 3.5	11.6	20.0
IV	3.5 - 2.25	7.7	<12.4
V	2.25 - 1.4	3.6	<12.4
VI	1.4 - 0.75	<2.2	<12.4

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.4 ダニアレルゲンの実態と環境整備による防除

よって発生した空中ダニアレルゲンの粒子径分布を、アンダーサンプラーを用いて測定した¹⁴⁾。表1に示すように7 μm以上の粒子径にDer 1、Der 2とも50%前後分布していた。さらに5.5 μm以上の粒子径で見るとその80%近くが分布していることがわかった。Der 1、Der 2とも粒子径の分布の傾向はあまり変わらなかった。次にこの布団叩きの直後の空中アレルゲン量を100%とした時の経時的な空中アレルゲン量の減衰率を図7に示した¹⁴⁾。Der 1、Der 2とも10~15分後に空中アレルゲン量は半減し、30分後には10%前後になった。また、Der 1、Der 2とも減衰率はあまり変わらなかった。Der 1、Der 2の空気中での動態はほぼ同じと考えてよいと思われる。本研究は無換気状態で行われたので換気をおこなえば、もっと短時間に布団敷きや布団たたきによって生じた大量の空中アレルゲンを減衰させることが可能となるであろう。

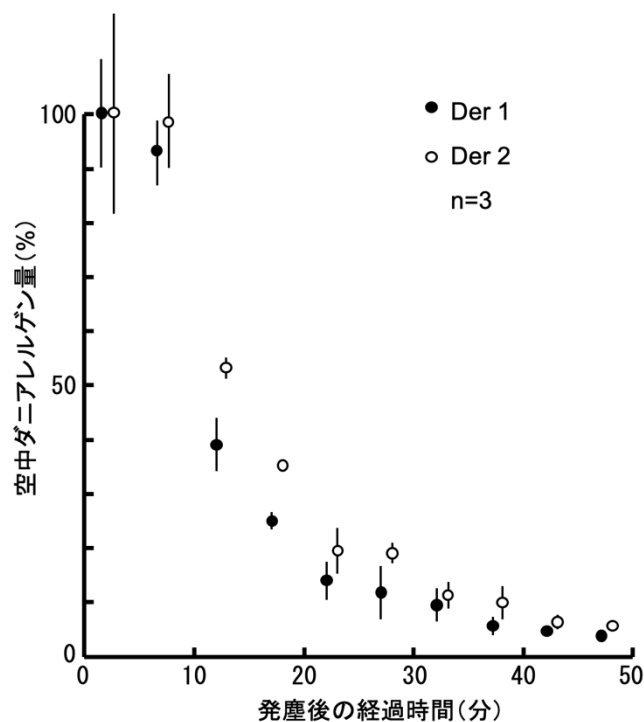


図7 空中ダニアレルゲンの減衰

6. まとめ

これまでダニアレルゲンの定量と除去効果について述べてきた。免疫学的方法を用いて室内環境中のアレルゲンの評価を行うことで、環境中の室内じんや空気中に浮遊するアレルゲン量、個人の暴露量の実態把握はもちろん、ダニ対策の成果を客観的に評価することが可能となった。空気中のダニアレルゲンの大半は、寝具由来であるので、住環境のダニ対策を行う際には、重点的に布団のアレルゲン管理を行うことが必要かつ大切なことである。

参考文献

- Voorhost R, Spiekma-Boezeman MIA, Spiekma FTM. Is a mite (*Dermatophagoides sp.*) the producer of the house dust allergen? *Allergic Asthma* 1964;10:329-334
- Miyamoto T, Oshima S, Ishizaki T et al. Allergic identity between the common floor mite (*Dermatophagoides farinae*, Hughes, 1961) and house dust as a causative antigen in bronchial asthma. *J Allergy* 1968;42:14-28
- Platts Mills TAE, Vervloet D, Thomas WR et al. Indoor allergens and asthma: report of the Third International workshop. *J allergy Clin Immunol.* 1997;100:S2-24
- Platts-Mills TAE, Thomas WA, Aalberse RC et al. Dust mite allergens and asthma: report of a second international workshop. *J allergy Clin Immunol.* 1992;89:1046-1060
- Yasueda H, Mita H, Yui Y et al. Measurement of allergens associated dust mite allergy. I. Development of sensitive radioimmunoassay for the two group of *Dermatophagoides* mite allergens. Der I and Der II. *Int Arch Allergy Appl Immunol.* 1989;90:182-189
- Sakaguchi M, Inouye S, Irie T et al. Airborne cat (*Fel d 1*), dog (*Can f 1*), and mite (*Der 1* and *Der II*) allergen levels in the homes of Japan. *J allergy Clin Immunol.* 1993;92:797-802
- Sakaguchi M, Inouye S, Yasueda H et al. II Concentrations of airborne mite allergens (*Der I* and *Der II*) in the houses. *Int Arch Allergy Appl Immunol.* 1989;90:190-193
- Sakaguchi M, Inouye S, Yasueda H et al. Concentration of airborne mite allergens (*Der I* and *Der II*) during sleep. *Allergy* 1992;47:55-57
- Sakaguchi M, Inouye S, Sasaki R et al. Measurement of airborne mite allergen exposure in individual persons. *J allergy Clin Immunol.* 1996;97:1040-1044
- Sakaguchi M, Inouye S, Takahashi Y et al. Immunoblotting of mite aeroallergens collected with an indoor Burkard sampler. *Int J Aerobiol.* 1995;11:265-268
- 阪口雅弘、井上栄、吉澤晋 他. 布団内ダニアレルゲンの除去方法の評価. *アレルギー* 1991;40:439-443
- 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.* 1995;96:1010-1012
- 大谷武司、木村康子、阪口雅弘 他. 特殊防ダニ布団によるダニおよびダニアレルゲンの管理. *アレルギー* 1992;41:414-417
- 吉澤晋、菅原文子、安枝浩 他. 空中ダニ主要アレルゲン (*Der I*, *Der II*) の粒子計分布と空気中からの減衰. *アレルギー* 1991;40:435-438

ネコ飼育住居の壁面付着ネコアレルギー調査

東京アレルギー・呼吸器疾患研究所
東京環境アレルギー研究所

○白井秀治
阪口雅弘

ペット ネコ アレルギー
壁 ハウスダスト Fel d 1

1. はじめに

本邦におけるネコとイヌを合わせた飼育頭数は 1800 万頭を超え¹⁾、15 歳未満の人口 1500 万人²⁾を約 300 万も上回る。またペットの世帯飼育率はイヌがネコを上回るが、ネコの飼育頭数は年々増加傾向を示し、イヌのそれを約 100 万頭上回っている¹⁾。ネコやイヌなどのペットを室内で飼育している場合、室内塵や空中からペットアレルギーが検出され、その値は室内の主要アレルギーであるダニに比べ高値であることが多い³⁾。また海外では壁面からもネコアレルギーが検出されることの報告があり⁴⁾、床の室内塵中にネコアレルギー量が多い室内では、壁面に付着するネコアレルギー量も多い傾向が観察されている⁵⁾。

大人のみならず、乳幼児期からペットアレルギーとして、ネコやイヌに対し感作される例が報告されている。ペットを自宅で飼育される児に限らず、自宅で飼育歴がなく祖父母宅での飼育がある児においても感作例がある⁶⁾。

住居内における抗原の暴露回避のために、ペットアレルギーの発生源である飼育するペットに対する対策とともに、室内のアレルギー量とその分布を把握することは重要なことと考えられる。

本稿では、筆者らが行ったネコ飼育住居のネコアレルギー量の実態調査から、住居壁面のネコアレルギー付着実態として、測定結果の一部を紹介する。

2. 対象住宅とアレルギー測定方法

2.1 対象住宅とネコ飼育状況

対象住宅は築年数 9 年の戸建（2 階建、第 3 種換気）で、窓開け換気はされず、室温調整はリビングに設置された壁掛けエアコンによって行われていた。ネコ飼育歴は 9 年で、築後間も無くからネコ 2 頭を室内で飼育していた。ネコは建物外へ出ることはなく、居住空間を自由に移動していた。

2.2 調査した壁面と床面

試料の採取は、壁ではリビングルーム（LR）、ダイニングルーム（DR）、インナーバルコニー（IB）、2 階の階段上りのエントランス（ENT）の 4 エリアとその他のエリア（Other）として通路、トイレを含めた壁 16 面、そして床では LR、DR、IB、ENT の床 4 面から行った。

2.3 調査サンプル

壁面の試料回収は、床上 4 フィートの高さの 1 平方フィートのエリアを対象とし、ガラスフィルター（AP-40、

Millipore, US)に予めリン酸緩衝食塩水（PBS）を 400 μl 添加して湿らせ、対象エリアを縦横それぞれ 5 回拭き取り、付着物を回収した⁴⁾。拭き取り後のガラスフィルターは、2 ml のチューブ（LoBind Tube, Eppendorf, ドイツ）に入れ、-20 °C で保管した。アレルギーの抽出は、チューブ内のフィルターに 0.05% Tween20 含む PBS（PBS-T）を 1.5 ml 加え、4 °C で一晩抽出した。床面の堆積塵は、掃除機（MC-DF110C, Panasonic, 大阪, 日本）の吸引ノズル後方に塵回収用の集塵袋（PHC-PA2KD, Panasonic, 大阪, 日本）を装着し、1 平方メートルのエリアを 1 分吸引した。集塵袋に回収された塵を 300 μm のメッシュで篩い、得られた細塵に 500 倍または 1000 倍量（w/v）の PBS-T を加え、室温で 1 時間浸とうして抽出した³⁾。壁面および床面の抽出液は遠心処理を行い、上清を回収して測定に供した。

2.4 測定ネコアレルギー

ネコのアレルギーは、唾液や尿、肛門囊などからの分泌物中に含まれる糖タンパクが主要アレルギー（Fel d 1）であり、これを免疫学的方法で測定した。

2.5 アレルギーの測定

壁面拭き取りおよび床塵を回収し抽出したサンプル中の Fel d 1 を酵素免疫測定方法（サンドイッチ ELISA）⁷⁾で測定した。すなわち目的とするアレルギーの Fel d 1 に対して異なるエピトープを認識する 2 種類の抗体を用いる方法で、濃度が既知の精製アレルギーを用いて検量線を作成することで、試料中のアレルギー濃度を定量した。

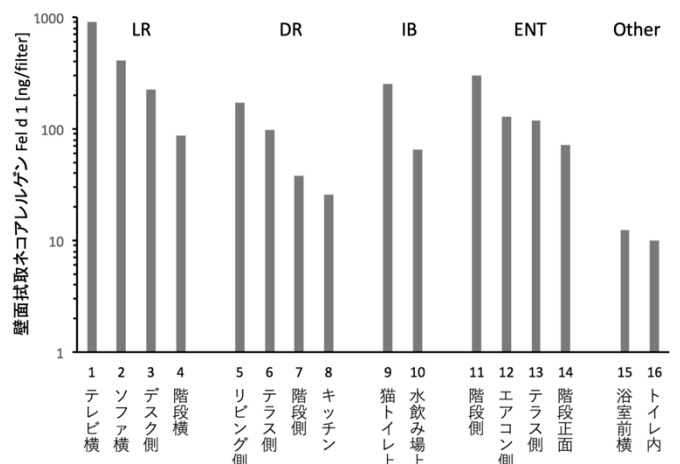


図 1 壁面拭取ネコアレルギー量

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.5 ネコ飼育住居の壁面付着ネコアレルゲン調査

3. 壁面と床のネコアレルゲン量

3.1 壁面のネコアレルゲン量

対象の壁16面全てからFel d 1が検出された(図1)。部屋別の幾何平均値(範囲)または値は、LR、DR、IB、ENT、通路、トイレの順に、408.8(86.8-914.1), 83.1(25.9-170.4), 160.3(65.8-254.9), 154.8(71.5-299.8), 12.3, 10.0 ng/filterであった。同一室内の4面において4倍~10倍程度の差を認められた。

3.2 床面のネコアレルゲン量

床の室内塵中のFel d 1量はLR、DR、IB、ENTの順に9212, 577, 3575, 7899 ng/m²であった。壁面拭取Fel d 1と床室内塵のFel d 1量は、床面のネコアレルゲン量が多い部屋では壁面拭取ネコアレルゲン量も多い傾向であった(図2)。

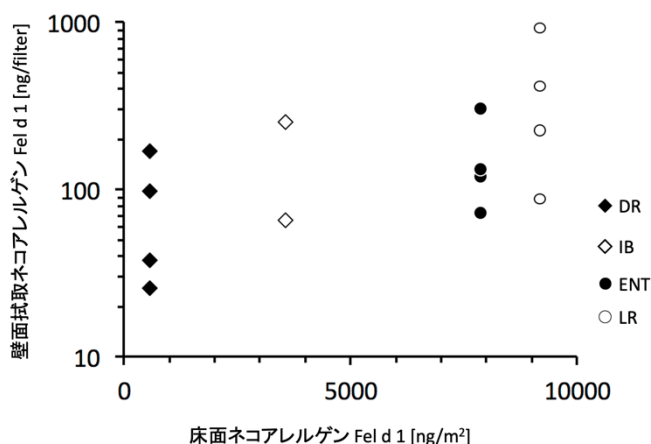


図2 床塵と壁面拭取りネコアレルゲン量の関係

4. まとめ

住居内におけるアレルゲン除去のための環境整備という、主には床面への掃除機がけや拭き掃除、そして発生源となる寝具を主としたインテリア用品の管理が行われる⁸⁾。これらの管理は、住居内の主要アレルゲンであるダニアレルゲンの対策として効果を上げることが期待される。しかし浮遊しやすく沈降しにくいネコアレルゲンについては、これらに加え更なる管理が必要となる可能性が考えられる。ペットは家族同様の存在となり、飼育を中断することは困難である。したがって多くのペットアレルギー患者では、アレルギー発症以降も飼育が継続される⁶⁾。ネコアレルゲンはダニアレルゲンに比較し粒径が小さく、浮遊したアレルゲンは沈降しにくい^{9, 10)}と考えられる。そのため空中のネコアレルゲン量は、ダニアレルゲンに比較して数百倍もの濃度で検出されることがある³⁾。またネコ飼育中止後は室内塵中のアレルゲン量は数ヶ月かけて減少するが、1年経過後も大幅な減少が認め

られない例もある¹⁰⁾。抗原の暴露回避のために、室内のアレルゲン量を測定し、客観的に実態を把握することは重要である。ペットアレルゲンを対象にした環境整備では、床面や寝具、その他ファブリック製品などのインテリアアイテムへのケアとともに、壁面も対象にしていくことが大切であると考えられる。そしてネコアレルゲン量の測定を行う際には、床等の室内塵のみならず、壁面のアレルゲン量を測定することも、アレルゲン除去対策を客観的に評価する上で重要であると考えられる。

参考文献

1. 令和2年 全国犬猫飼育実態調査, 一般社団法人ペットフード協会, 2020, <https://petfood.or.jp/data/chart2020/index.html>, 2021.6.26 閲覧
2. 人口推計(令和2年(2020年度)12月平成27年国勢調査を基準とする推計値, 令和3年(2021年)5月概算値)(2021年5月20日公表), 総務省統計局, <http://www.stst.go.jp/data/jinsui/new.html>, 2021.5.21 閲覧
3. Sakaguchi M, Inouye S, Irie T et al. Airborne cat (*Fel d 1*), dog (*Can f 1*), and mite (*Der 1* and *Der 2*) allergen levels in the homes of Japan. *J Allergy Clin Immunol.* 1993;92:797-802
4. Wood RA, et al. The distribution of cat and dust mite allergens on wall surfaces. *J Allergy Clin Immunol.* 1992;89:126-130
5. 白井秀治 阪口雅弘 他. ネコ飼育住居壁面のネコアレルゲン(Fel d 1)の測定. 室内環境学会学術大会講演要旨集. 2018;258-259
6. 我妻義則 他. 動物アレルギーについて, 二つの調査から. *日小ア誌.* 2006;20:92-99
7. Kazutake F, et al. Establishment of enzyme-linked immunosorbent assay system for cat allergen, Fel d 1. *Allergol Immunol.* 2014;21:138-145
8. Platts-Mills TAE, Vervloet D, Thomas WR et al. Indoor allergens and asthma: report of the Third International workshop. *J Allergy Clin Immunol.* 1997;100:S2-24
9. De Blay F, et al. Airbone dust mite allergens: Comparison of group II allergens with group I mite allergen and cat-allergen Fel d 1. *J Allergy Clin Immunol.* 1991;88:919-926
10. Luczynska CM, et al. Airborn concentrations and particle size distribution of allergen derived from domestic cats (*Felis domesticus*). Measurement using cascade impactor, liquid impinge, and a two-site monoclonal antibody assay for Fel d 1. *Am Rev Respir Dis.* 1990;141:361-367
11. Wood RA, et al. The effect of cat removal on allergen concent in household-dust samples. *J Allergy Clin Immunol.* 1989;83:730-734

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.6 東日本大震災被災者のダニアレルギーの実態と対策(1)小児アレルギー疾患に対する環境整備介入効果の検証

東日本大震災被災者の環境アレルギーの実態と対策

(1) 小児アレルギー疾患に対する環境整備介入効果の検証

横浜市立大学大学院、平塚市民病院アレルギー内科
横浜市立大学大学院、平塚市民病院アレルギー内科
横浜市立大学大学院医学研究科呼吸器病学
国立医薬品食品衛生研究所
甲子園大学
岩手大学農学部 獣医公衆衛生学
ニチニチ製薬株式会社
東北大学災害科学国際研究所
石巻赤十字病院呼吸器内科
東北大学大学院医学系研究学小児科学

○釣木澤尚実
押方智也子
金子 猛
渡辺麻衣子
鎌田洋一
山崎朗子
嶋田貴志
栗山進一
矢内 勝
呉 繁夫

東日本大震災
気管支喘息

津波
ダニアレルゲン

小児
抗原回避

はじめに

学校保健統計による小児喘息の有症率調査ではこの 20 年間では約 3 倍に、50 年間では 15 倍に増加している。また東京都におけるスギ花粉症の有症率調査では 0-14 歳の年代の花粉症の有症率は、S58-62 年は 2.4%であるが、H28 年度は 40.3%と約 17 倍に増加している（東京都花粉症患者実態報告書）。

先行研究である東北大学の災害科学国際研究所では 2013 年 6 月に被災地の子どもの健康に関するアンケート調査を行い、アトピー性皮膚炎の有症率は仮設住宅に居住する子どもで 32.3%、仮設住宅以外の居住の 21.3%と比較して有意に多く、震災後の環境変化がアレルギー疾患の有症率に関与することが報告されている。

本研究では東日本大震災後の住環境変化による小児のアレルギー疾患の有症率、寝具のダニアレルゲン (Der 1) 量について調査し、震災とアレルギー疾患の増加、環境アレルゲンの増加の因果関係を解明するとともに、保護者を対象としたダニ、真菌に対する環境整備指導を行いその介入効果を検証した。

対象と方法

研究①対象：宮城県石巻市小学校 35 校の 2 年生 1109 名を対象とし ISAAC 調査票を用いてアレルギー疾患の有症率調査を行い、その中で同意の得られた児童（保護者）に対し、2016 年 9-10 月に寝具 Der 1 量を測定した 201 名の中で、さらに 2016 年 9-10 月～2017 年 6 月までに一回以上環境整備講習会を受講し、防ダニシートを使用し、2017 年 9 月に寝具 Der 1 量を定量した環境整備指導介入群 17 名と 2017 年 9 月に寝具 Der 1 量測定を実施したが 2017 年 6 月までに一度も指導を受けていない環境整備指導非介入群 17 名を対象とした。

方法：環境整備講習会（写真 1）ではダニアレルゲンを減

少させる整備方法として環境整備チェックリスト（Tsurikisawa N, et al, J. Asthma. 2016;8 : 843-853）（図 1）を用いてスライドを使用して集団指導を行い、その後は個別指導を行った。

2016 年、2017 年 9-10 月に寝具 Der 1 量を測定した。Der 1 量の測定は、寝具表面にテガダームを貼付し検体を採取し、ELISA 法を用いて定量した。Der 1 量の対照として NH0 相模原病院に通院歴のある成人喘息患者 116 名を対象として 2009-2012 年 9-10 月に測定した Der 1 量の平均値を使用した。介入前後の寝具 Der 1 量の変化と背景因子を解析した。統計学は SPSS for Windows, version 20 (SPSS, Chicago, IL, USA) を用いて解析した。上記研究は H28-30 厚生労働行政推進調査事業費補助金（成育疾患克服等次世代育成基盤研究事業）で行い、当院の倫理審査委員会で承認を受け、研究参加者（保護者）からは文書による同意を得て行った。

結果

小学校 2 年生 1109 名に対し、調査票を配布し、調査票の回収数は 478 名、有効回答数は 476 名で回収率は 42.2%であった。男女比は男子：女子=232：244、アレルギー疾患の有症率は気管支喘息 10.8%、アレルギー性鼻炎 38.9%、アトピー性皮膚炎 27.4%であった。石巻市小学生 201 名の寝具 Der 1 量は平均 295.8 ng/m²であり、2009-2012 年 9-10 月に測定した神奈川県成人喘息患者 116 名の平均 36.3 ng/m²と比較すると 8.1 倍高値 (p<0.01) であり、寝具 Der 1 量は震災前からの住居に在住、転居回数が少ない児童で多い傾向があった。環境整備指導介入群では寝具 Der 1 量は 2016 年 9-10 月（指導前）が平均 275.4 ng/m²、2017 年 9 月（指導 1 年後）平均 53.7 ng/m²と有意に減少したが、非介入群は 2016 年 9-10 月が平均 891.3 ng/m²、2017 年 9 月が平均 199.5 ng/m²と有意差は認めなかった（図 2）。また介入群の秋のアレルギー疾患の症状は 2016 年から

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.6 東日本大震災被災者のダニアレルギーの実態と対策(1)小児アレルギー疾患に対する環境整備介入効果の検証

2017 年にかけて喘息、アレルギー性鼻結膜炎、アトピー性皮膚炎のいずれの症状点数も有意に低下した (図 3)。

結論

石巻市の小学校 2 年生においては震災後の住環境変化が間接的に寝具 Der 1 量を増加させている可能性が示唆された。また保護者を対象として環境整備指導を行い、寝具 Der 1 量が十分に減少した児童ではアレルギー疾患の症状が改善することを立証した。

写真 1・講習会の光景



図 1・32 項目の環境整備チェックリスト

環境整備チェックリスト

寝室・寝具の環境整備 チェックリスト		寝室・寝具の環境整備 チェックリスト	
1	窓を数回開けて換気している	20-1	和カバは寝室以外ではずしている
2	寝室では開放型暖房機器を使用していない	21-1	式布団は時々天日干して、叩いている
3	押し入れやクローゼットの中に隙間がある	22-1	天日干した後、寝具に掃除機をかけている
4	押し入れやクローゼットの中に除菌剤を使用している	20-2	マットレスをたたかてて風通しをしている
5	植物や水槽、洗濯物、加湿器など水分の発生するものはない	21-2	マットレスの裏表に掃除機をかけている
6	高密度繊維でできた布団カバーで寝具をつつんでいる	22-2	ベッドパッドは2~3ヶ月に一度丸洗いしている
7	床はフローリングである	23	窓を開放して掃除している
8	カーペットやジュウタンは使用していない	24	週に1回以上、掃除をしている
9	布製のソファは置いてない	25	高いところから順番に水拭きをしている
10	クッションやぬいぐるみは置いてない	26	掃除機をかける前に床の拭き掃除をしている
11	家具は作りつけである	27	合理的に床を水拭きをしている
12	布団の上げ下げやベッドメイキング時に窓を開放している	28	家具や装飾品を移動して掃除している
13	月に1~2回、カバーやシーツの洗濯をしている	29	寝室の掃除に5分以上かけている
14	毛布、タオルケットなどは年に2~3回丸洗いしている	30	カーテンや壁にも月に2~3回掃除機をかけている
15	寝具週に1回以上、寝具に直接掃除機をかけている	31	カーテンは年に2~3回丸洗いしている
16	寝具の裏表に掃除機をかけている	32	
17	収納してあった寝具は丸洗いしてから使用している		
18	収納してあった寝具は天日干してから使用している		
19	収納してあった寝具は掃除機をかけてから使用している		

Tsurikawa N, et al. *J. Asthma* 2016;8: 843-853 D和式布団・ベッドはいずれかを選択、32項目64点満点で評価した

図 2・ダニアレルゲン量の変化

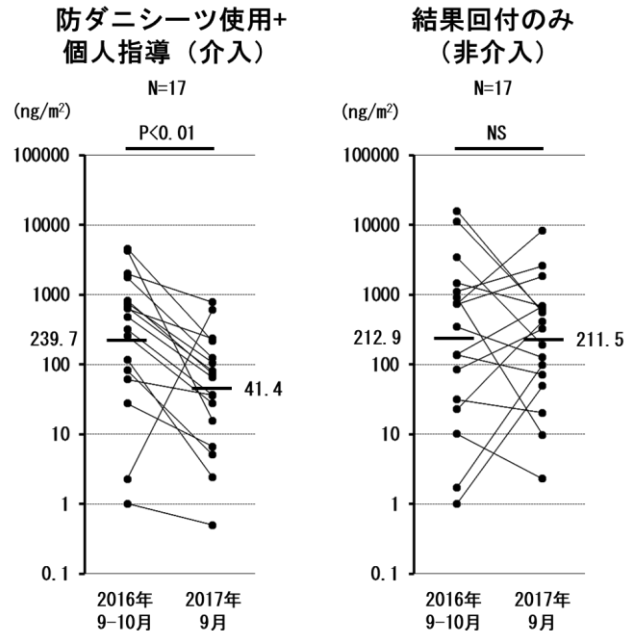
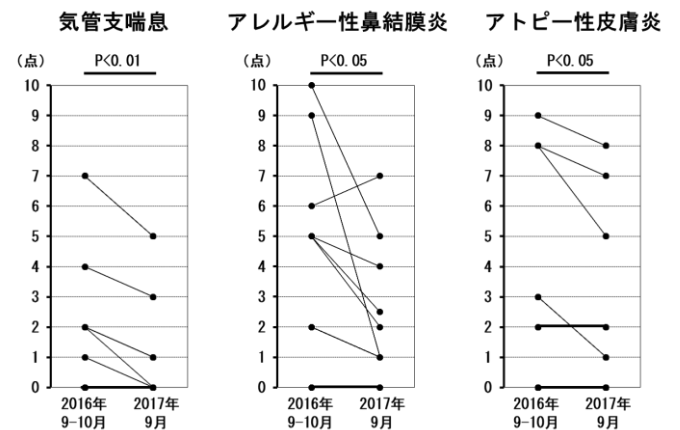


図 3・介入後のアレルギー疾患の症状変化



3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.6 東日本大震災被災者のダニアレルギーの実態と対策(2)住環境変化と高齢者のダニアレルゲン感作

東日本大震災被災者の環境アレルギーの実態と対策

(2)住環境変化による高齢者のダニアレルゲン感作

横浜市立大学大学院、平塚市民病院アレルギー内科
横浜市立大学大学院医学研究科呼吸器病学
石巻赤十字病院呼吸器内科
甲子園大学
東北大学災害科学国際研究所
国立医薬品食品衛生研究所

○釣木澤尚実、押方智也子
金子猛
石田正嗣、小林誠一、矢内勝
鎌田洋一
栗山進一
渡辺麻衣子

東日本大震災
気管支喘息

津波
ダニアレルゲン

応急仮設住宅
アスペルギルス

はじめに

大地震や大型台風などの災害時、特に水害では住環境の温度・湿度の調節が不能になり真菌が異常発育する状態になる可能性がある。ダニは真菌を食食して増殖し、真菌はダニの虫体に付着して撒布されることから真菌とダニの増殖には密接な関係があると考えられている。震災後に喘息が増悪・発症するという報告は小児から中高年の年代において散見されるが、高齢者については不明である。著者らは応急仮設住宅に在住後に発症した高齢者のアレルギー性肺炎支菌症を診断し、その原因が *Eurotium herbariorum* であることを同定し、かつ環境整備により室内の真菌量が減少し喘息症状が改善することを報告した¹⁾。応急仮設住宅に在住する住民は高齢者が多いことから、応急仮設住宅に在住歴のある住民に対してアレルギー疾患の健康被害があるかについて呼吸器専門医による集団検診を実施し、気管支喘息の有病率を調査し、ダニ、真菌特異的 IgE 抗体価を測定し、震災後の住環境変化が高齢者にもたらす影響について解析した。

対象と方法

対象：宮城県石巻市の応急仮設住宅に在住歴のある 15 歳以上の住民を対象とした。

方法：①2014 年 6 月から 2019 年 7 月までの間、呼吸器専門医による集団検診を行い、問診・聴診・胸部 X 線所見から、喘息が疑われる症例については肺機能検査・気道可逆性検査を実施し喘息の有病率を調査した。また血清中コナヒョウヒダニ・アスペルギルス特異的 IgE 抗体価をアラスタット 3g (CLEIA 法; SIEMENS 社) で測定し、6 年間の推移を解析した。②6 年間の検診の内、3 年間以上の経過を追跡できた 202 名を対象とし喘息有病率を調査し、コナヒョウヒダニ特異的 IgE 抗体価の変化を解析した。また寝具ダニアレルゲン (Der 1) 量を ELISA 法で測定した。統計学は SPSS for Windows, version 20 (SPSS, Chicago, IL, USA)を用いて解析した。上記研究は厚生労働科学研究助成金 (健康安全管理に関する研究 H24 研機 若手 001)

で行った。また研究参加者からは文書による同意を得て行った(UMIN ID: UMIN000014376)。

結果①1・2014 年の検診結果²⁾の検診実施地域 (図 1)、年代別喘息有病率 (図 2)、年代別血清ダニ特異的 IgE 抗体価 (図 3)、仮設入居後の喘息増悪に影響する因子 (表 1)を示す。

2・2014 年-2019 年の検診結果の解析では検診受検者数は 2014 年 371 名²⁾、2015 年 226 名、2016 年 377 名、2017 年 192 名、2018 年 166 名、2019 年 178 名であった。受検者の仮設入居率は 2014 年 99.1%、2017 年 56.3%、2019 年 0%であり、平均年齢は 2014 年 61.3±15.8 歳、2019 年 67.6±13.8 歳であった。

3・喘息有病率 (肺気腫合併喘息を除く) は 2014 年～2019 年間で 21.6～28.0%であった。喘息と診断した住民のダニ特異的 IgE 抗体陽性率は 2014 年 36.0%、2019 年 48.3%であり、仮設住宅の入居期間と正の相関(p<0.05, r=0.36)を認めた。一方でアスペルギルス特異的 IgE 抗体陽性率は 2014 年 3.3%、2019 年 12.5%であった。

4・喘息発症時期は 2014 年調査²⁾時では震災前 44.8%、避難所、仮設入居後が 55.2%、2019 年では震災前 24.1%、避難所、仮設入居後 51.7%、仮設転出後 24.1%であった。

②1・6 年間の検診の内、3 年間以上の経過を追跡できた 202 名の最終検診時の平均年齢は 63.0±13.9 歳、男性 41.6%、最終検診時には 79.2%の住民が仮設転出した。202 名のうち 72 名 (35.6%) が一度は喘息と診断され、いずれの検診時も喘息と診断 (41.7%)、喘息が改善 (18.1%)、新規に喘息発症 (20.8%)、新規に喘息発症後、改善 (19.4%) に分類され、最終診断が喘息 62.5% (BA 群)、非喘息 37.5% (非 BA 群) に分類された。

2・ダニ特異的 IgE 抗体価は初回検診時で BA 群が有意に高値 (p<0.05)、最終検診時に BA 群では有意に増加 (p<0.05)、非 BA 群では有意に低下 (p<0.01) した。最終検診時に非 BA 群であった症例の寝具 Der 1 量は初回測定時より有意に低下した (p<0.01)。最終診断が BA、非 BA に影響する初回検診時のダニ特異的 IgE 抗体価の Cut off 値

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.6 東日本大震災被災者のダニアレルギーの実態と対策(2)住環境変化と高齢者のダニアレルギー感作

は0.23 IU/mL (AUC0.69) であった。

結論 震災後の住環境変化により高齢者においてもダニアレルゲン感作が増強することが示された。また仮設住宅入居中だけでなく、転出後も喘息を発症することが示唆された。喘息発症後も環境整備を励行することにより、寝具 Der 1 量が減少し、血清中のダニ特異的 IgE 抗体価が低下する症例では喘息が改善することも明らかになった。

参考文献

- Oshikata C, Watanabe M, Saito A, Ishida M, Kobayashi S, Konuma R, Kamata Y, Terajima J, Cho J, Yanai M, Tsurikisawa N. Allergic bronchopulmonary mycosis due to exposure to *Eurotium herbariorum* after the Great East Japan Earthquake. *Prehosp Disaster Med.* 2017; 32:1-3
- Oshikata C, Watanabe M, Ishida M, Kobayashi S, Kubosaki A, Yamazaki A, Konuma R, Hashimoto K, Kobayashi N, Kaneko T, Kamata Y, Yanai M, Tsurikisawa N. Increase in asthma prevalence in adults in temporary housing after the Great East Japan Earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2020; 50:101696

図1・2014年の検診結果：文献2より石巻市の4カ所の仮設住宅で検診を実施した。

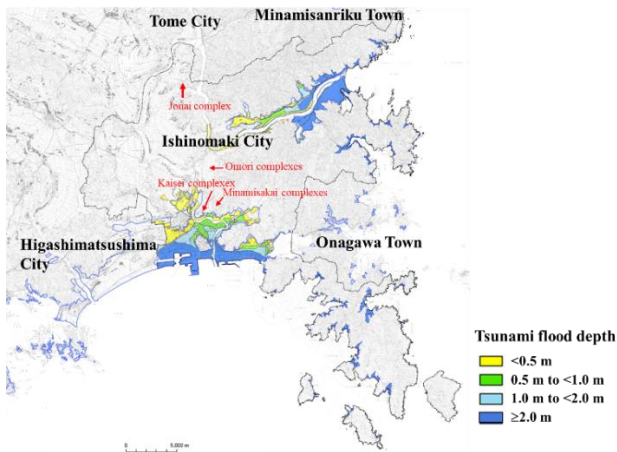


図2・2014年検診受験者の年齢分布

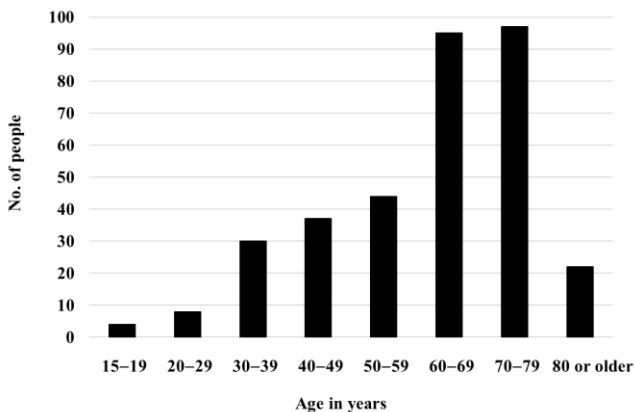


図3・2014年検診での年代別喘息有病率

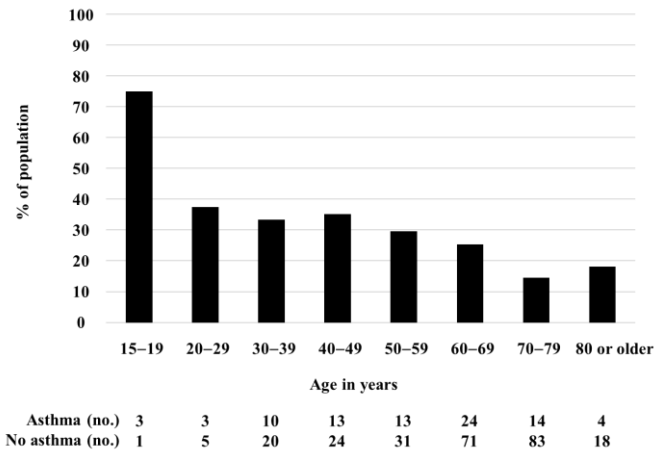


図4・2014年検診での年代別血清ダニ特異的IgE抗体価 50歳以上では微弱陽性率が増加する

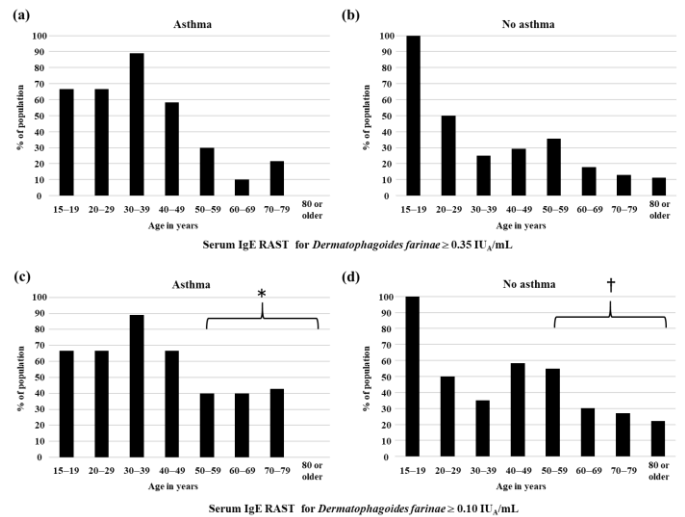


表1・Logistic regression model of asthma during living temporary housing

Variables	Exponent	95% Confidence Interval	p value
Age at study entry (y)	0.972	0.948-0.996	<0.05
Male / Female	0.739	0.323-1.689	0.47
Family history of asthma	2.584	1.139-5.861	<0.05
Never-smoker	4.340	1.636-11.517	<0.01
Ex-smoker	2.847	1.092-7.418	<0.05
Allergic rhinitis or allergic conjunctivitis	2.444	1.075-5.556	<0.05
Mite-specific IgE RAST in serum (≥ 0.35 IU _A / mL)	1.379	0.612-3.108	0.44
Depressive tendencies by SDS questionnaire	1.421	0.677-2.984	0.35
V ₅₀ (predicted %)	0.987	0.975-0.999	<0.05

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.7 小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果

小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果

株式会社ペストマネジメントラボ ○高岡正敏
北里大学メディカルセンター 坂東由紀

平成 28 年から平成 29 年の 2 年間の埼玉県アレルギー性疾患調査研究事業の中で、小児アレルギー患者家庭において寝具を対象にダニ対策を行い、ダニ数及びダニアレルゲン量の抑制と症状改善効果について評価・検討を行った。

1. 事業目的

生活環境が病状に関与するアレルギー疾患に対して、産・学・官が共同で患者の寝具対策を中心とした生活環境を行うことによって、ダニ数及びダニアレルゲン量の抑制と患者の症状改善について調査を行い、得られた結果をアレルギー疾患の治療に役立てる。

2. 産・学・官の連携システムの役割分担

アレルギー疾患の患者家庭を対象に環境整備および調査を実施するため、各専門分野の役割分担を以下に設定した。

- 1) 企画、アンケート調査および啓発活動等
(埼玉県および埼玉県衛生研究所)
- 2) アレルギー患者の生活指導および臨床評価
(北里大学メディカルセンター)
- 3) 検体の採取および環境改善の把握
(埼玉県ペストコントロール協会)
- 4) ダニアレルゲン検査・解析・評価
(埼玉県衛生研究所)
- 5) ダニ検査・解析・評価および企画協力
(株式会社ペストマネジメントラボ)

3. 検査対象および方法

1) 調査対象

北里大学メディカルセンター小児科で選定された埼玉県内に居住する小児アレルギー患者家庭 16 家屋を対象に、各々 4 家庭に分別して以下に示す 4 グループの寝具対策を行った。

- Aグループ(4家庭) : 炭入りスノコマット+新布団
Bグループ(4家庭) : 防ダニ布団カバー(高密度繊維)
Cグループ(4家庭) : 布団の丸洗い(クリーニング)
Dグループ(4家庭) : 寝具専用掃除機で週 1 回除塵

2) ダニ調査時期

調査時期はア) 環境整備を行う前、イ) その 4 か月後、さらにウ) 1 年後の 3 回に分けて行った。その内訳および詳細な時期は下記のとおりである。

- ア. 介入前の事前の調査 : 27 年 6 月～ 7 月
イ. 介入約 4 か月後の調査 : 平成 27 年 9 月～11 月
ウ. 介入約 1 年後の調査 : 平成 28 年 10 月～11 月

3) 調査および検査方法

室内塵の採取は、埼玉県ペストコントロール協会の職員が調査の日程調整を行い 各家庭を訪問して上記に示した寝具類およびその他の場所約 10 か所程度の調査対象箇所を設定し、同機種の掃除機を使用して同条件で採塵を行った。

●室内塵の採取箇所

- a. 寝具 : 敷布団、掛布団、枕等
- b. 床面 : カーペット、畳等
- c. 家具 : ソファ、椅子、クッション等
- d. 衣類関係 : 押入れ、クローゼット、タンス等

室内塵の採取に当っては、掃除機の吸塵筒と本体の接合部に自家製の和紙袋を装着し、吸引する際に採集塵がすべて和紙袋の中に収容されるように設定した。また採塵条件は、調査対象となる場所の面積を計測し、採塵の条件が 1 平方メートル当り 30 秒間になるよう換算し吸塵した。

採集された室内塵は、袋に採集場所を明記し、和紙袋の口を閉じビニール袋に入れて厳重に密封し、当日衛生研究所に輸送された。また、当日輸送できない検査塵は -20℃に保存し、後日搬送された。

4. 調査結果

1) 寝具対策介入前後の全体の採集塵量、ダニ数およびダニアレルゲン量の比較

介入前後(ア)寝具介入前、イ)介入後4か月後、ウ)1年後の調査)における全体の採集塵、ダニ数、ダニアレルゲン量(Der1)の推移をみると、すべてで漸次減少傾向を示した。これを寝具と寝具以外に分けてみると、図1,2にみられるように、両者ともに採集塵量、ダニ数、ダニアレルゲン量(Der1)が介入前に比べて介入後に減少した。また、この減少傾向はおおむね時間の経過と共に減少する傾向を示した。

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.7 小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果

図 1 介入前後の寝具類における採集塵量、ダニ数およびダニアレルゲン量 (Der1) の推移

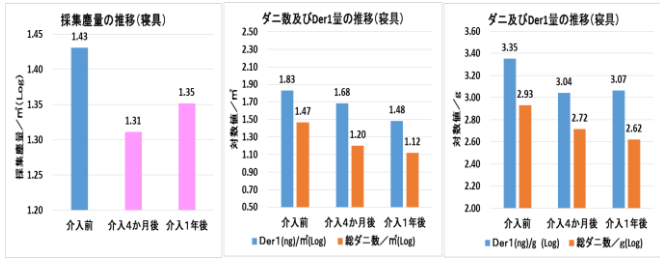
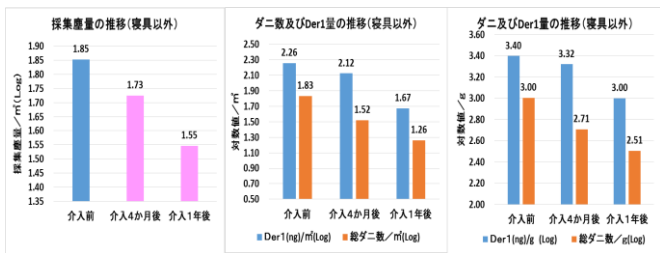


図 2 介入前後の寝具以外の場所における採集塵量、ダニ数およびダニアレルゲン量 (Der1) の推移

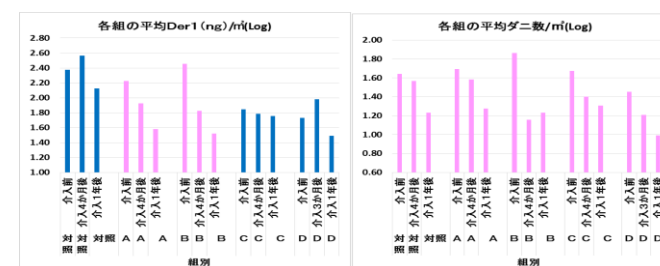


2) 各寝具対策におけるダニ数およびダニアレルゲン量 (Der1) の推移の比較

患者家庭について各寝具対策をおこなったAグループ：炭入りスノコマット+新布団（4家庭）、Bグループ：高密度繊維防ダニ布団カバー（4家庭）、Cグループ：布団のクリーニング丸洗い（4家庭）、Dグループ：寝具専用掃除機で週1回除塵について（4家庭）の採集塵量、ダニ数、ダニアレルゲン量 (Der1) について介入前後の比較を行った。

その結果、採集塵量は、A家庭、B家庭では介入前に比べて介入後に顕著な減少を示すが、対照家庭、およびC家庭、D家庭ではその傾向は認められなかった。これに対して、ダニ数ではすべての家庭で介入前に比べて漸次減少傾向を示した。一方、ダニアレルゲン量 (Der1) では室内塵と同様の傾向すなわち A 家庭、B 家庭では介入前に比べて介入後に顕著な減少を示すが、対照家庭、および C 家庭、D 家庭ではその傾向はみられなかった (図3)。

図 3 介入前後の各対策家庭におけるダニ数およびダニアレルゲン量 (Der1) の推移



3) 環境改善とダニの関係

小児アレルギー患者家庭における寝具対策介入を行ってから4か月後および1年後の寝具類8項目および寝具類以外22項目の計30項目について、アンケートによるグループ毎の全体の改善結果を表1にまとめた。その結果、介入4か月後には少ないもので11ポイント、多いもので22ポイントの改善が行われていたが、1年後には13ポイント~22ポイントとなり、平均では前者が16.5ポイント、後者が17.5ポイントとなり、全体の50%以上が改善された。今回の調査は患者家庭における環境整備の重要性を啓発したとも考えられ、環境整備がダニ数の減少に影響したと考えられた。

表 1 介入4か月後および1年後の全体の改善結果の比較

No	グループ	H28年 4か月後の評価	H29年 1年後の評価
1	A	16	16
2	A	11	13
3	A	14	14
4	A	11	10
5	B	18	21
6	B	11	13
7	B	12	15
8	B		
9	C	17	17
10	C	18	19
11	C	18	18
12	C		
13	D	22	16
14	D	20	21
15	D	13	21
16	D	22	22
計		16.5	17.5

* 赤印は全体(30ポイント)の15ポイント(50%)以上

よる改善結果をとめると、寝具では4か月後に8項目のうち対策が行われたのは平均36.6ポイントにとどまっており、寝具対策をすでに行っているものは極めて少なかった。これに対して、寝具以外では平均59.4ポイントと寝具に対して効率に対策が行われ、そのうちすでに行っているものは38.3ポイントと多かった。今回の寝具類対策の介入によって、寝具類については2倍以上の改善が認められ、一方寝具類以外についても改善のポイント数が増加した。特に、Cグループ、Dグループで高率であった。

中でも注目されるのが環境整備の結果とダニ数の関連性である。寝具と寝具以外に分けて、対策を行わなかった家庭とダニ数の関係をみた結果、寝具については両者に関連性が認められたが、寝具以外ではその関連性は認められなかった。

4) 症状改善とダニの関係

患者家庭介入4か月後および1年後における各寝具対策別に患者の臨床症状の改善をみると、介入4か月後ではAグループで3家庭のうち2家庭(66.7%)、B家庭で4家庭のうち2家庭(50%)で、C家庭で3家庭のうち1家庭(33.3%)で、またD家庭で3家庭のうち1家庭(33.1%)で症状の改善が認められた。さらに、介入1年後では、それぞれAグループで4/4(100%)、B家庭で2/4(50%)、C家庭で2/4(50%)、D家庭で2/4(50%)で症状の改善が認められた。全体で見ると介入4か月後(46.2%)に比べて介入1年後(65.2%)症状の改善率が増加した。

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.7 小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果

また、介入1年後における各寝具対策別の各患者の臨床症状改善の比較をみたのが表2である。

症状の評価を 1) 顕著に改善したもの、2) おおむね改善したもの、3) 症状が持続的に残っているものに分けて評価した。

その結果、A グループでは4 患者すべてが顕著な改善を示したが、B グループでは顕著な改善を示したものが1 名、ほぼ改善されたものが1 名であったが、他は症状の改善が認められるものもあるが未だ改善されず持続するものもみられた。またC グループとD グループも顕著な改善が1 名、ほぼ改善されたものが1 名で、他の2 名は未だ改善されず症状が持続していた。

表2 介入1年後における各寝具対策別の患者の臨床症状改善の比較

No.	組	年齢	性別	1年後の症状改善	評価	備考
1	A	10	M	症状なし	顕著に改善	
2	A	12	M	症状なし	顕著に改善	
3	A	9	F	症状なし	顕著に改善	
4	A	6	M	喘息発作なし(半年以上)	顕著に改善	
5*	B	8	M	鼻炎持続 喘息発作1回/年	症状持続有り	*調査継続なし
6	B	8	F	症状なし	顕著に改善	
7	B	6	M	鼻炎、アトピー性皮膚炎持続 喘息発作無し	症状持続有り	
8	B	3	M	アトピー性皮膚炎軽症 喘息小発作2回/年	改善	
9	C	9	M	症状軽快 アトピー性皮膚炎は変化なし	症状持続有り	
10*	C	?	M	鼻炎・アトピー性皮膚炎持続 喘息発作1回/年	症状持続有り	*調査継続なし
11	C	10	F	症状なし	顕著に改善	
12	C	5	M	鼻炎軽症 喘息発作無し	改善	
13	D	12	M	喘息大発作なし(間欠的に小発作あり)	症状持続有り	
14	D	5	M	症状なし 喘息小発作1回/年	改善	
15	D	4	M	アトピー性皮膚炎軽快 喘息中発作あり 鼻炎持続	症状持続有り	
16	D	9	F	症状なし	顕著に改善	
				改善	62.5%	

*臨床評価：北里大学メディカルセンター小児科

5. 調査結果による総括および考察

今回の調査結果から、小児アレルギー患者家庭における環境整備（主に寝具類改善）によるダニ回避によって患者の症状の改善が認められた。これらの調査方法および対策方法さらに対策判定は、産・学・官の連携システムが効果的に機能することによって、患者の治療が有効に機能したと考えられる。

しかし、これらはより効果的な寝具類の選定、開発、評価方法などの分野の協力体制や医療機関と患者の連携、労働負担と経済負担など課題が山積しており、今回の試みはその発端に過ぎない

今後、アレルギー疾患の患者のように発症の原因が生活空間に起因している疾患にはより効果的である。そのためには、患者や医療関係者が受け入れやすい効果的かつ効率的な環境改善のスキルの策定が望まれる。

今回の調査はアレルギー患者の治療を目的とした環境整備、特に寝具類の改善による調査県境事業を行ったが、今後は予防を目的とした一般家庭を対象とした環境整備が行われることが求められる。この視点こそが行政指導型の事業として重要な役割を占めていくものとする。

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.8 各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査(1)仮設住宅における真菌と温熱環境

各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査

(1) 仮設住宅における真菌と温熱環境

産業技術総合研究所 ○篠原 直秀

応急仮設住宅	浮遊真菌濃度	カビ
ハウスダスト	東日本大震災	温熱環境

応急仮設住宅 34 軒（福島県南相馬市；24 か所の仮設住宅団地）の室内において、冬季（2012 年 1 月）、夏季（2012 年 7 月下旬、2014 年 9 月上旬）に、浮遊真菌濃度とハウスダスト中の真菌濃度および床面への付着真菌濃度を測定した。

室内浮遊真菌の平均濃度は、2012 年冬・2012 年夏・2014 年夏に 1200・1700・2100 CFU/m³（幾何平均 840・1,300・1,300 CFU/m³）だった（I/O 比：9.8、2.0、3.2；1,000 CFU/m³（日本建築学会規準）超過住宅の割合：47%、71%、63%）。住宅のタイプ別では、木造住宅と比べて外壁が鉄板のプレハブ住宅で浮遊真菌濃度が高い傾向があり、2014 年夏には有意な差が見られた。アンケートの結果において、木造仮設住宅で結露が少なかったため、結露の生じやすさも、その一因だと考えられる。I/O が、夏より冬に高かったのは、冬は窓を閉め切っており、夏は窓を開放している時間が長いためと考えられる。多くの住宅で、*Aspergillus* spp.（存在比 40%、36%、41%）、*Cladosporium* sp.（存在比 13%、20%、20%）、*Penicillium* sp.（存在比 18%、17%、13%）が高い割合を占める浮遊真菌種だった。2012 年夏・2012 年冬・2014 年夏に、I/O 比が 1 を超えている住宅の割合は、*Aspergillus* spp. で 90%以上、*Penicillium* sp. で 60%以上（冬は 90%以上）であったが、*Cladosporium* sp. については 26%・70%・45%と低かった。

ハウスダスト中の真菌濃度は、2012 年冬・2012 年夏・2014 年夏に 3,000・3,700・7,200 CFU/mg（床面積当たり 4.6・8.8・23 CFU/cm²）だった。*Aspergillus* spp.（存在比 19%、21%、22%）、*Cladosporium* sp.（存在比 19%、6.8%、3.5%）、*Penicillium* sp.（存在比 3.6%、14%、1.3%）が、浮遊真菌濃度と同様に多くの住宅で見られた。一方、浮遊真菌と違い、ハウスダスト中では *Yeast* が最も多く見られた（存在比 39%・36%、67%）。浮遊真菌濃度とハウスダスト中の真菌濃度の間に相関は見られず、換気や掃除の頻度による影響と考えられる。

応急仮設住宅 19 軒 32 部屋（福島県南相馬市；15 か所の仮設住宅団地）の室内において、温熱環境に関するアンケート調査（冬季（2012 年 1 月）、夏季（2012 年 7 月））および 1.5～2 ヶ月間の室内温湿度モニタリング（冬季（2012 年 1 月中旬～3 月中旬）、春季（2012 年 4 月～5 月末）、夏季（2012 年 6 月初旬～7 月中旬））を行った。

室温に問題がないという回答だった住宅は、冬は 50%、夏は 80%だったのに対し、室内の湿度に問題がないという回答だった住宅は、冬は 20%、夏は 90%であった。冬には、80%以上の住宅で結露が観察されていたことと関連していると考えられる。室内で『深刻な結露がある』および『カビが目視される』と回答した割合は、58%および 37%であり、東北地方の一般住宅で行った同様の質問に対する回答の割合（23%および 15%）より高かった。断熱性能や壁体の吸放湿性能が不十分だったためか、外壁が鉄板や窯材の住宅では、木造住宅と比べて明らかに結露の被害が多かった。湿度感やカビの目視と結露の有無との間には、有意な関連性が見られた。

室温は、どの季節においても、日平均値・日最高値・日最低値のいずれも、木造の仮設住宅で明らかに低かった。室内の湿度についても、多くの季節で日平均値・日最高値・日最低値が木造の仮設住宅で有意に低かった。冬には木造の仮設住宅で不快な温度である時間が長く、夏には外壁が鉄板や窯材住宅で不快な温湿度条件である時間が長かったが、温湿度環境の快適性についてのアンケートの回答に住宅の種類による違いは見られなかった。

参考文献

- Shinohara N., Tokumura M., Kazama M., Yoshino H., Ochiai S., Mizukoshi A. (2013). Indoor air quality, air exchange rates, and radioactivity in new built temporary houses following the Great East Japan Earthquake in Minamisoma, Fukushima. *Indoor Air*, 23: 332-341.
- Shinohara N., Tokumura M., Yanagi U. (2018). Indoor fungal levels in temporary houses occupied following the Great East Japan Earthquake of 2011. *Building and Environment*, 129: 26-34.

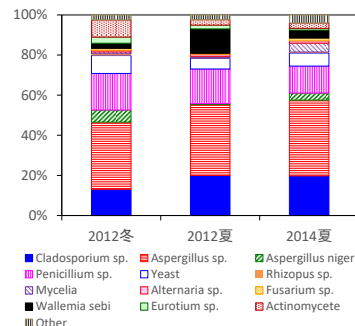


図. 応急仮設住宅内の各真菌種の平均存在比

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.8 各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査(2)震災後避難していた住宅における室内真菌濃度

(2) 震災後避難していた住宅における室内真菌濃度

産業技術総合研究所 ○篠原 直秀

室内 浮遊真菌濃度 カビ
 ハウスダスト 東日本大震災 帰宅頻度

福島第一原発から 20 km 圏内の居住制限区域内（調査当時）にある住宅 6 軒（福島県南相馬市小高区）において、夏季（2012 年 8 月）・冬季（2013 年 2 月）に、室内の浮遊真菌濃度とハウスダスト中の真菌濃度を測定した。

夏季・冬季共に、震災後の帰宅頻度が多い住宅ほど室内の真菌濃度が低かった。また、津波による被害を受けた住宅では、津波後に 1 年間以上放置されていた荒地における屋外の浮遊真菌濃度が極めて高いことも確認された。

Aspergillus spp.、*Cladosporium* spp.、*Penicillium* sp.は、夏季も冬季も全ての住宅において検出された。夏季に 4 軒、冬季に 2 軒の住宅で、発がん性のオクラトキシンを産生する *Aspergillus* section *Circumdati* (*Aspergillus ochraceus*)が検出された。日本国内の一般住宅で検出されることが少ない *Aspergillus* section *Circumdati* が、居住制限区域の住宅では放置された食品などを介して繁殖している可能性が示唆された。

参考文献

1. Shinohara N., Tokumura M., Hashimoto K., Asano K., Kawakami Y. (2017). Fungal levels in houses in the Fukushima Daiichi nuclear power plant evacuation zone after the Great East Japan Earthquake. Journal of the Air & Waste Management Association, 67: 1106-1114.

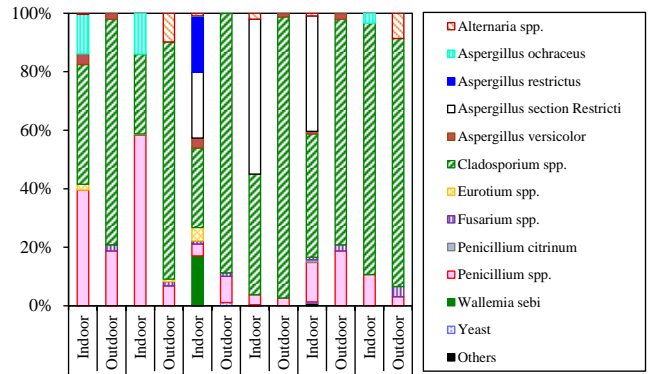


図. 気中浮遊真菌の菌相 (夏季)

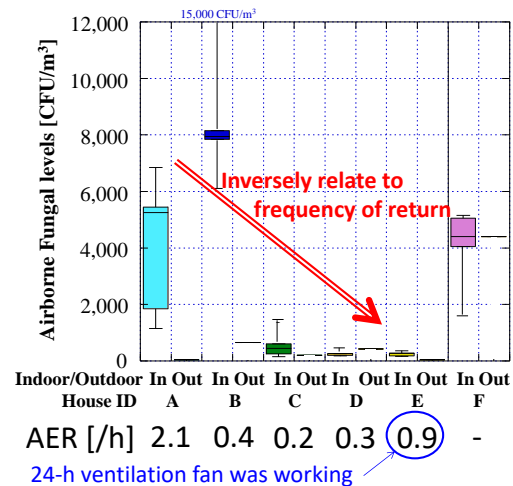


図. 気中浮遊真菌濃度 (冬季)

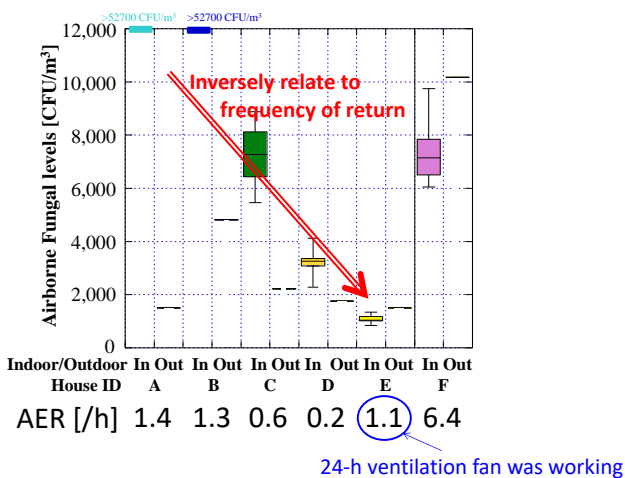


図. 気中浮遊真菌濃度 (夏季)

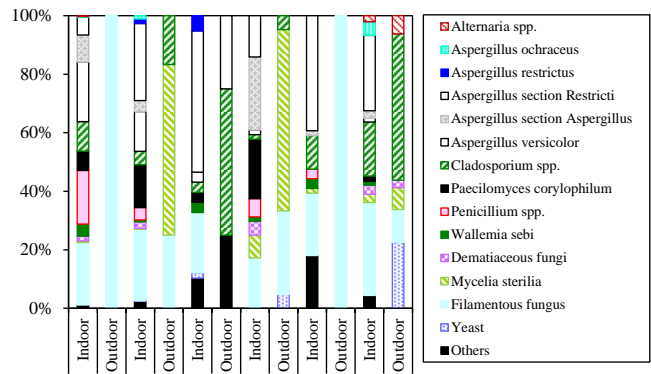


図. 気中浮遊真菌の菌相 (冬季)

3.環境アレルゲン(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3.8 各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査(3)帰宅困難者地域の住宅におけるハウスダスト中のダニ・カビ・エンドトキシン

(3) 福島の帰宅困難地域における住宅室内のハウスダスト中のダニ・カビ・エンドトキシンに関する研究

産業技術総合研究所 ○篠原 直秀

東日本大震災
ダニ
帰宅困難地域
カビ
ハウスダスト
エンドトキシン

福島第一原発近傍(双葉町、大熊町、浪江町、富岡町; Fig. 1)の一般住宅24軒において、2017年4月から2018年10月にかけて、多段ふるい付サイクロン掃除機でハウスダストを粒径別(<20, 20-63, 63-180, 180-500, 500-1,000 μm)に採取し、ハウスダスト中のカビ・ダニ・エンドトキシンの計測を行った。

カビは小さい粒子ほど多かった。カビの胞子の多くは20 μmより小さいため、大きいハウスダスト粒子にカビ胞子が付着していると考えられる。ほとんどの住宅において、*Aspergillus penicillioides*, *Aspergillus section Restricti*, *Cladosporium spp.*, *Penicillium spp.*, *Wallemia sebi* が検出された。濃度は低いものの、68%の住宅で発がん性のオクラトキシンを産生する可能性のある *Aspergillus ochraceus* も検出された。粒径間で属や種の違いはなかった。

ダニは、虫体の計数結果は63-180 μmの粒子で最も高かったが、ダニアレルゲンは排泄物由来(Der 1)・虫体由来(Der 2)共に20-63 μmの粒子で最も高かった。アレルゲンは、崩壊した虫体にも含まれるためと考えられる。20-63 μmで観察されたダニはホコリダニのみであり、63-180 μmではササラダニの検出割合が増え、180-500 μmではヒョウヒダニの検出割合が増えていた。また、1軒ではあるが吸血性のマダニが検出された。虫体由来と排泄物由来のアレルゲン(Der 1 vs. Der 2)間には強い相関がみられたが、既存論文と比べて、虫体の崩壊が進行していたためか、ダニ数とアレルゲンの相関は極めて弱かった。

エンドトキシンは粒径が大きくなるほど濃度も高くなっていった。大きなダスト粒子には植物・動物など有機物の欠片が多く、付着する細菌が多いことが原因の可能性はある。63-180 μmの平均濃度が約2万 EU/g、500-1000 μmは4万 EU/gを超えており、関東地域の住宅での平均濃度3000~8000EU/gより高かった。

参考文献

1.篠原直秀, 吉田浩子, 金勲, 橋本一浩, 内野加奈子, 川上裕司. (2018). 福島第一原発近傍の住宅室内におけるハウスダスト中のダニ・カビ・エンドトキシン. 室内環境学会要旨集.

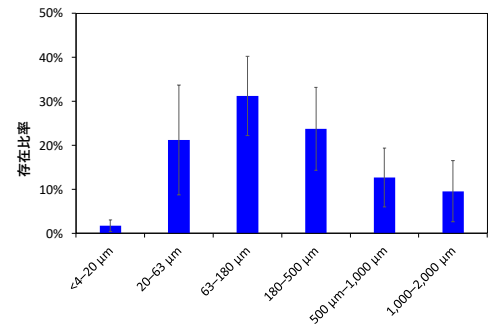


図. ダストの粒径分布

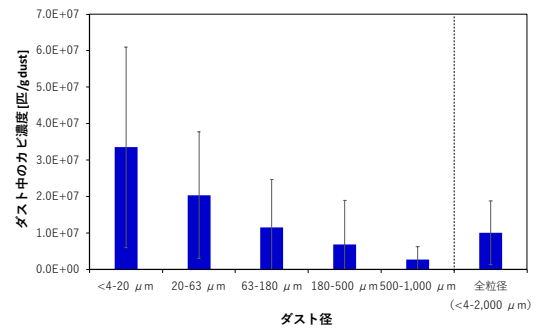


図. 粒径別のダスト中の真菌濃度

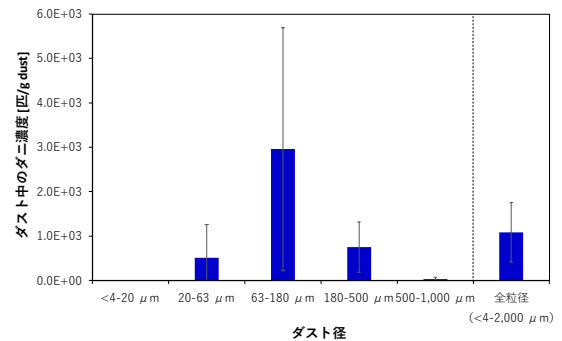


図. 粒径別のダスト中のダニ濃度

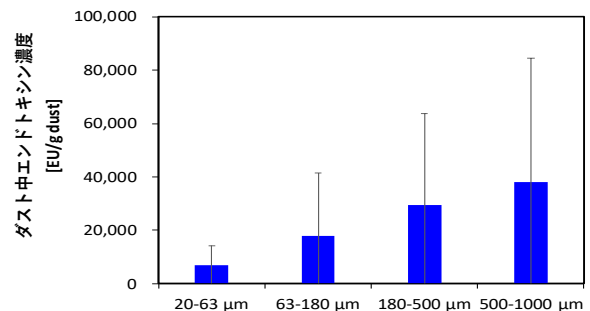


図. 粒径別のダスト中のエンドトキシン濃度

スギ花粉

(株)シミズ・ビルライフケア

○山野裕美

スギ花粉	室内空気質	侵入量
搬入量	空気清浄機	

1. はじめに

花粉の発生源は、郊外等の屋外にあるため、屋外で被曝することにより花粉症を発症する。

建物内を考えた場合、何らかの形で建物内に侵入、または持込まれた場合、室内でも被曝することになる。人は1日のうち88%~90%の時間を室内で過ごしている。よって、屋外と比較し、室内では被曝時間が圧倒的に長い。また室内では、屋外と違い何らかの対策をとることにより、被曝をさせない、または少なくすることが可能であると考えられ、室内での花粉症対策として、建築学からのアプローチが不可欠であるとする。

一方で、花粉症対策としては様々なことが言われているが、建築的に具体的な対策を考える上では、室内居住環境における花粉存在量を定量的なオーダーとして明らかにしていく必要があると考える。

ここでは、花粉の計測方法と、筆者らがこれまで行ってきた建築環境工学分野における室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究の結果を中心に紹介する。

2.花粉の計測方法

2.1 花粉の捕集方法

空中花粉の捕集方法には、単位面積・単位時間内に自然落下する花粉を捕集する「落下法」と一定量の空気中に含まれる花粉を捕集する「体積法」に分けられる¹⁾。

(1)落下法

自然落下してきた空気中の花粉粒子を採集する。長所として安価にして簡便であるが、短所としては天候の影響を受けやすいことがあげられる。代表的な機器には、ダーラム型採集器、IS式ロータリー型採集器、ロトロード・サンプラーがあげられる。

(2)容量法

一定の空気を吸引することにより、空气中を浮遊する花粉粒子濃度を測定する。代表的な機器としてバーカード型花粉捕集器がある。これは1時間に2mmずつ回転するドラムに巻かれた粘着テープに空気を吹き付けて花粉を採取するサンプラーである。²⁾他に、リアルタイム花粉モニターKH3000、パーソナル・エアサンプラー、カスケード・インパクトがあげられる。

2.2 花粉の定量方法

捕集した花粉を定量する方法には、「顕微鏡による計数する」方法と、「花粉アレルギー量の測定をする」方法がある。

(1)花粉粒子を顕微鏡による計数・観察する方法

捕集した花粉を、判別しやすくするために染色する。代表的な染色法には、カルベラ液による染色や、GVグリ

セリンゼリーによる染色がある。³⁾染色・封印した後、光学顕微鏡にて計数する。

(2)花粉アレルギーを測定する。

捕集された花粉アレルギーを測定する方法には、以下があげられる。

i ELISE 法³⁾

抽出液によりサンプルからアレルギーを抽出し、定量する(ng/m³等)方法。

ii イムノプロット法⁴⁾

容量法による採集後、花粉アレルギーをセルロース膜に転写し、免疫学的染色を行い、顕微鏡による目視または自動計数を行う方法である。

スギ花粉の粒径分布

スギ花粉粒子は一般的に30μmと言われているが、形状としては2つある。一つは、一般的な30μmであり、もう一つは30μm粒子の周り存在するオービクル(またはUbisch body)と呼ばれる0.3~1.2μm(の粉体で、このオービクルにもアレルギーを引き起こすアレルギーが認められている。佐橋らによると、花粉の粒径は、30~37μm(ピークは34μm)と、0.3~1.2μm(ピークは0.7μm)サイズの粒子が存在し、その微粒子の方は電子顕微鏡観察でUbisch bodyであることを確認している。²⁾

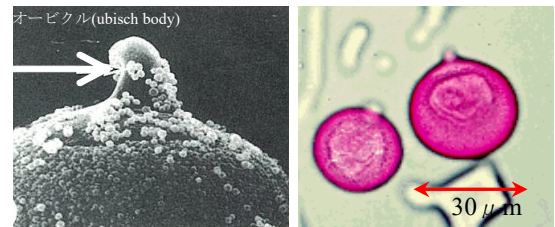


図1. スギ花粉粒子の顕微鏡写真 (左: Ubisch body, 右: スギ花粉粒子)

3. 建築物室内におけるスギ花粉存在量⁵⁾

花粉は屋外に由来するものであるが、風や気流によって舞い上げられ飛散運搬され、直接・間接的に開口部から室内に侵入する。直接とは開口部の開放による侵入、間接的には人やモノに付着し搬入され、室内に浮遊または床面に落下すると考えられる。

それでは実際に室内にはどれくらいの花粉が存在するか、1997年~1999年に実際に人の住む普通の住宅や、事務所ビル等の建物内において落下法により花粉粒子の測定を行なった結果について述べる。

3.1 落下量の水平分布

図2は、代表的な建物として戸建住宅結果だが、平均値

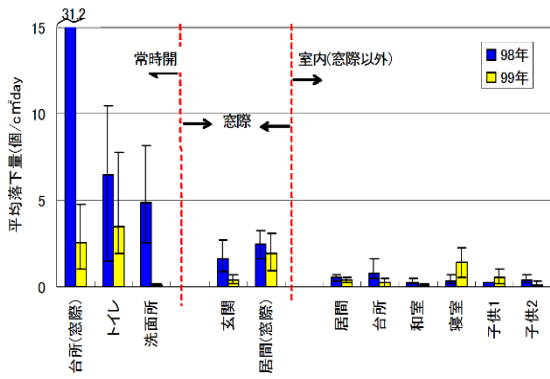


図 2. 室内の花粉尘下量 (床面)

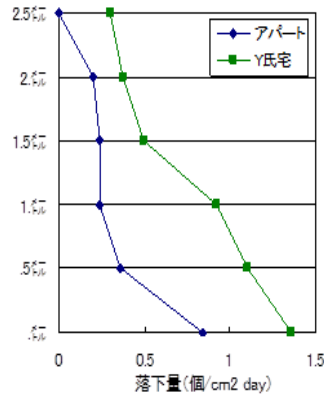


図 3. 室内の花粉尘下量 (垂直分布)

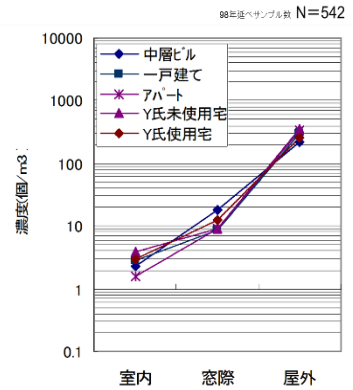


図 4. 花粉濃度 (室内と屋外)

と最大値最小値を示したグラフである。この住宅は台所、洗面所、トイレは常時窓を開けている習慣があるため、この3カ所の落下量が高い値となった。台所の値を見ると、98年窓際が平均31(個/cm² day)であるのに対し、そうでない室内での落下量率は平均0.8(個/cm² day)と40倍もの差が生じ、窓から直接侵入したものであると考えられた。

図2より、平面の分布として、常時開放している場所と、窓際、また窓際以外の室内と3つに分類でき、常時開放している場所と窓際は高い値を示し、開口部からの侵入がメインと考えられた。また窓際以外の室内では、全体的に低い値を示し、室内の平面分布として、窓際とそれ以外の場所で、花粉侵入量が変ることが明らかとなった。

3.2 落下量の垂直分布

図3は、室内の高さ別分布を調べるため、高さ別室内用サンプラーを50cm毎に設置した。2つの住宅どちらも、屋外とは反対に高さが低いほど、床面に近くなるほど落下量が高くなっている。これは室内に侵入してきた花粉が落下していくために、床面に行くほど花粉が多くなっていると考えられる。

3.3 室内濃度と屋外濃度

図4は、98年に5つの建物の室内外において、計542箇所の花粉落下量調査を行った結果から室内濃度を算出結果である。図5より、室内濃度は窓際(常時を除く)は屋外

の約1/20、室内内部(窓際以外)約1/100であった。

4. 室内への花粉搬入量

ここでは、花粉の建物への侵入経路のうち、間接的に持ち込まれる花粉がどれくらいの量になるかを定量的に把握することを目的に、「寝具に付着した花粉量」と「洗濯物(布製品)に付着した花粉量」を測定した結果について述べる。

4.1 寝具に付着したスギ花粉アレルギー量

3戸の住宅に協力を依頼し、晴れた日に家族それぞれの寝具を一定時間干してもらった。干した後の寝具表面を、寝具片面につき5分間ハンドクリーナーかけて粉塵を採取し、1g fine dustあたりのアレルギー量を定量した。

図5にそれぞれの寝具で測定された、1g fine dustあたりのCry j I量を示す。

スギ花粉粒子のアレルギー Cry j I量は約2pg/花粉といわれていることから、寝具表面のアレルギー量を花粉粒子に換算した。1g fine dustあたりのアレルギー量を粒子数に換算した結果、寝具表面には最高約8.3×10⁴個、平均で約3.0×10⁴個の花粉尘粒子が存在している事が明らかになった。また、cm²あたりに換算すると、0.2個/cm²から1.6個/cm²、平均で0.6個/cm²という結果となった。

図6は、寝具を取り込むときに、叩き落とすことがどれほどの効果があるかを把握するため、同じ場所に干した寝具のうち、HとJのみ5回叩いたものである。結果、5回叩いた叩き落としの場合には、4割から5割の付着量にな

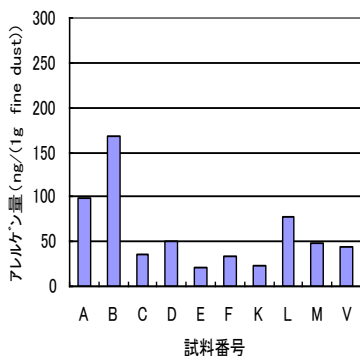


図 5 寝具表面の花粉尘アレルゲン

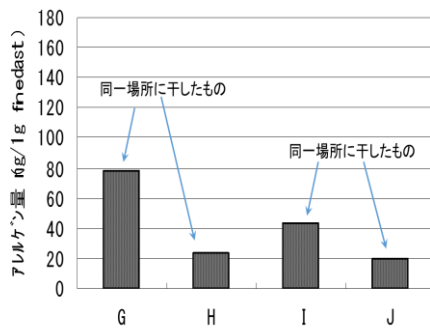


図 6. 寝具表面塵のCry j I量 (H,Jのみ5回叩いた場合)

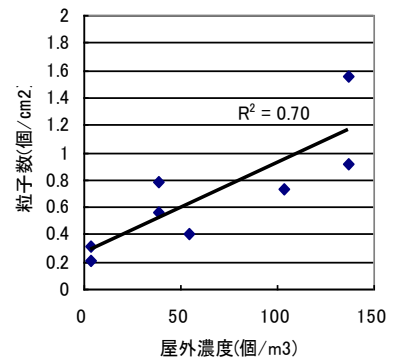


図 7 寝具への付着と屋外濃度の関係

3.9 スギ花粉の実態と対処法

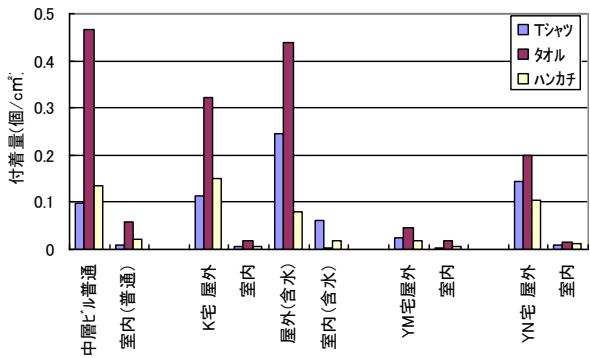
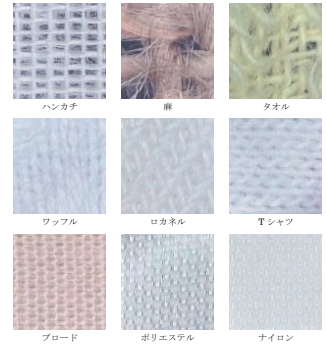
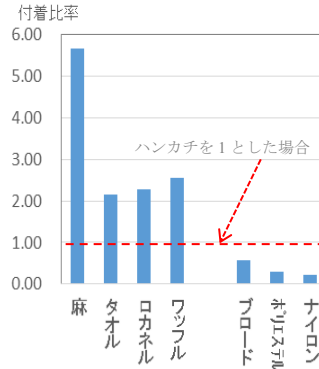


図8 室内と屋外の付着量の違い



生地の写真

図9 室内と屋外の付着量の違い

ることが明らかとなった。図7は、寝具の付着量と屋外濃度の関係を示したものであるが、屋外濃度と寝具への付着量は相関係数が0.7と高い相関を示した。

4.1 洗濯物(布製品)に付着したスギ花粉粒子

ここでは、物に付着し搬入されることにより、室内への影響が大きいと考えられる「洗濯物(本実験では布製品を使用)」に付着した花粉を定量的に明らかにすることを目的としている。測定場所にて一定時間放置した布製品を取りこみ、実験試料とした。布表面に付着した花粉を、粒子数で求める方法として、布表面をフィルターにより吸引し、そのフィルターを染色し、粒子として計数する方法(吸引法)を試みた。図8は、布製品を屋外に干した場合と室内に干した場合の、布表面への花粉付着量を比較したものである。室内での付着量は屋外の平均15%、最も少なかったものは屋外の5%の付着量であった。これらの事より、室内に洗濯物を干すことにより、室内に搬入する花粉を1/10程に減少することが可能であると考えられる。また、生地性状の違いによる花粉の付着量の違いを図9に示す。図9はハンカチに付着した花粉を1とした時の、それぞれの生地の付着量比である。特に天然繊維で、タオルやワッフル、ロカネルのような表面が毛羽立っているものや、凹凸があるものの付着量が多く、ハンカチと比較すると麻は最高で10倍程、平均で5倍の付着量であることが明らかとなった。タオルやワッフル、ロカネルの比は、ハンカチの最高6.4倍、平均2倍から2.5倍であった。逆に、化学繊維のブロードやポリエステル、ナイロンのような表面がツルツルした物で、生地の編み方が密のものは、付着量が少なく(生地表面は写真を参照)、ハンカチとの比を見ても、最低で0.08倍、平均で0.2倍から0.5倍ほど付着量であった。この結果より、室内に持ち込む花粉を減少させるためには、化学繊維の衣類であれば1/5に抑えることが可能であると考えられた。

5. 室内の花粉除去対策

5.1 空気清浄機による除去

室内に浮遊する花粉粒子を室内で集塵し、浮遊物を低減される方法に空気清浄機がある。近年は花粉症患者の室内における花粉曝露低減への期待から、家庭用空気清浄機が一般家庭でも広く利用されるようになった。空気

清浄機を設置する事により、特に微小粒子に対して有効と思われる。筆者らは、市販されている家庭用空気清浄機の浮遊粒子状物質除去性能について、対象を「実物のスギ花粉粒子」を用いた場合の除去性能を測定した。

5.2 実験対象物質

実験で用いたスギ花粉粒子は、スギの雄花に袋付けをし、放出直後を直接採取したものである。スギ花粉粒子の直径は10~30μmの範囲にあるが⁹⁾、一般にこの粒径範囲の粒子は室内での落下影響が大きく容易に除去できるものと考えられる。しかしながら、花粉粒子は、種々の状況から破裂あるいは破砕を受ける可能性がある。スギ花粉粒子の表面には、図1に示すUbish Bodyと呼ばれる直径0.3μm以上の微粒子が散在し、この微粒子にもスギ花粉の抗原(Cry j 1)が認められており、アレルゲン物質として重要視されている¹⁰⁾。従って、ここでは形態学的な径30μmにとらわれず、対象粒径を0.3μm以上とした。

5.2 実験手順

家庭用空気清浄機の花粉尘子に対する性能試験法は、次の手順により実験を行った。

- (1)実験チェンバ内に空気清浄機を運転し、浮遊粒子状物質バックグラウンド濃度の低減を図る。その後、空気清浄機・換気装置を停止させる。
- (2)一定量の実験対象物質0.1gを一樣拡散ファンの前にセットし散布、室内を一樣拡散ファンで拡散する。
- (3)チェンバ内攪拌後、一樣拡散ファンを停止し、散乱光型粒子計測器を運転する。
- (4)浮遊粒子状物質(花粉粒子)を散乱光型粒子計測器で測定し、空気清浄機を運転しない期間(機器非運転期間)の対象浮遊粒子状物質濃度を測定する。
- (5)一定時間後、空気清浄機を運転する期間(機器運転期間)における、室内浮遊粒子状物質濃度を測定する。
- (6)実験終了後、チェンバ内を拭きあげ清浄する。

以上の手順で、5種類の家庭用空気清浄機について、スギ花粉粒子とJIS試験粉体に対し実験を行った。

5.3 花粉粒子に対する除去性能

機器非運転期間と機器運転期間における、花粉粒子濃度の経時変化を図10と図11に示す。縦軸の浮遊粒子状物質は、0.01(cf)中の個数濃度(個/0.01cf)を表したものである。

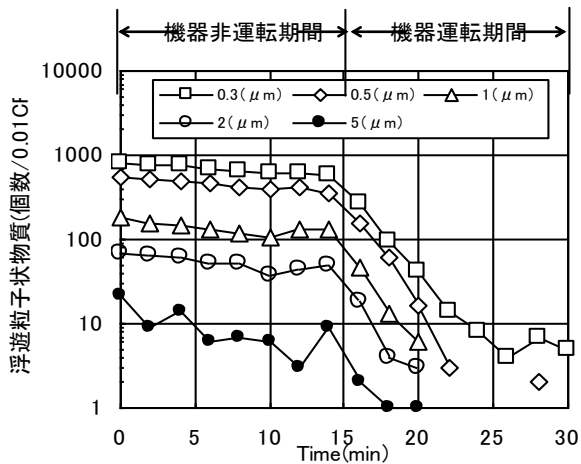


図 10 AC3 の花粉粒子経時変化

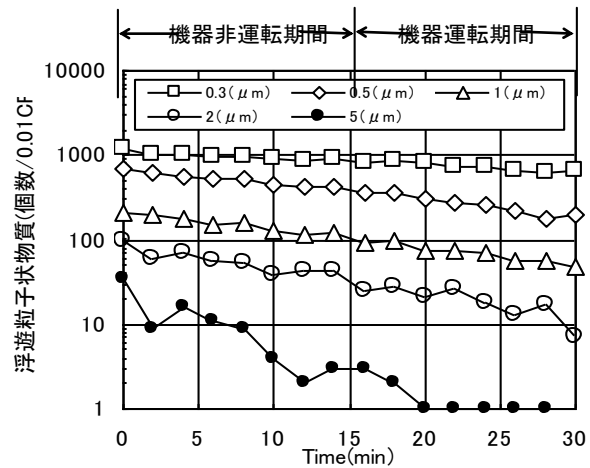


図 11 AC5 の花粉粒子経時変化

図 10 と図 11 のどちらも機器非運転期間より、徐々に減衰傾向を示した。これは主に落下と沈着による減衰と思われる。しかしながら、機器運転期間における減衰は、機器の性能により大きく異なる結果となった。図 10 は最も減衰が大きかった機種であり、図 11 は最も減衰が低かった機種の結果である。最も減衰が大きかった図 10 は、0.3 μm を除いた他の粒径は、空気清浄機を運転後 6 分で粒子濃度がほぼ 10(個/0.01cf)以下を示し、また 0.3 μm 粒子も、10 分以内で 10(個/0.01cf)以下に減少し大きな除去性能を示した。5 μm 粒子は、一様拡散ファン運転時、非運転時ともに空気清浄機運転開始 5 分程で、どの機種においても 0(個/0.01cf)を示した。また、実験開始後 30 分の花粉尘度は、初期濃度と比較し図 10 では 6%以下まで減少した。これにより、花粉の除去性能は、特に微小粒子(0.3~0.5 μm)に対して有効な機種も確認されたが、花粉粒子の除去性能は機種による差が大きいことが明らかとなった。

6. 清掃による除去対策

球形の 30 μm 花粉粒子は、大きいのですぐに床面に落下堆積すると考えられる。室内に堆積した花粉は、清掃による除去が必要である。フローリングや塩化ビニル系の床面であればフロアワイパーが、カーペットであれば電気掃除機が用いられることが多い。筆者ら花粉粒子と近い粒径の試験粉体を用いてカーペットにおける電気掃除機による吸引後のカーペットへの粉塵残留量を実験により検証を行った。

結果、粉塵を散布したカーペットに掃除機をかけた場合、1回目の吸引による集塵量率は約 60%であり、5回吸引後もカーペットには約 25~30%の粉塵が残留する事が明らかとなった。同面に複数回散布した場合でも同様の傾向を示し、総散布量の約 25~30%の粉塵が堆積してゆくことが考えられた。一方、日に掃除機をかけた場合には、1回目の吸引による集塵量率は約 90%であり、3回目の吸引による集塵量率 96%であった。カーペットの同面に複数回粉塵を散布した場合、カーペットに残留した粉塵がパイルの中に入り込み、吸引しにくくなると考えら

れる。また、カーペットの集塵量実験を行った結果、掃除機によりカーペットの粉塵を 100%除去することは困難であると考えられるため、残留した粉塵の除去には洗浄等の方法が必要であると考えられた。

7. まとめ

今回は、筆者らがこれまでで行ってきた建築環境工学分野における、室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究の結果を中心に紹介した。今後は、環境工学分野と臨床環境医学の分野と共に、アレルギー症状軽減または発症の防止に向けた更なるデータ蓄積を行いたい。

参考文献

- 1.日本建築学会編 微生物・花粉による室内空気汚染とその対策
- 2.佐橋紀男、高橋裕一、村山貢司：スギ花粉のすべて メディカルジャーナル社
- 3.阪口、井上他：蛍光サンドイッチ Enzyme-Linked Immunosorbent Assay による空气中スギ花粉量の測定, アレルギー, Vol. 36 Num. 9 pp.886-889 (1987.09)
- 4.高橋、井上他:93 酵素イムノプロット法(仮称)を用いた空中飛散花粉アレルゲン粒子数の計数法,アレルギー, Vol. 39 Num. 9 pp.1097 (1990.09)
- 5.清澤裕美、吉澤晋：住宅等における花粉の侵入と被曝量—室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究(その 1)—日本建築学会計画系論文報告集 第 548 号, pp.63/68、2001 年 10 月
- 6.清澤裕美、吉澤晋：住宅等への花粉の搬入量—室内居住環境の花粉による汚染防止に関する研究 (その 2)—日本建築学会計画系論文報告集第 548 号, pp63/68、2002 年 8 月
- 7.清澤裕美、野崎淳夫、吉澤晋：家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究(その 2)—花粉粒子に対する除去効果—、日本建築学会環境系論文集、第 596 号, pp.29/35、2005 年 10 月
- 8.大橋えり、大岡龍三、吉田伸治：スギ花粉による室内空気汚染(2)—スギ花粉粒子の粒径・重量の実測を空気力学特性について— 日本建築学会大会学術梗概集 pp939/940、2001 年 9 月
- 9.新田裕史：スギ林とスギ花粉 国立環境研究所ニュース Vol.12 NO.3 pp10
- 10.山野裕美、小磯勇太、吉澤晋：真空掃除機によるカーペットの清掃効果に関する研究 第一報捕集機構と粉塵残留量予測、日本建築学会環境系論文集、第 74 巻 第 638 号,pp.489/494,2009 年 4 月
- 11.矢田純一：アレルギーのメカニズム 空気調和・衛生工学会 第 72 巻第 5 号 p. 7~8
- 12.宮本昭正：アレルギーとは何か、空気清浄 1993.1 第 30 巻第 5 号 p3~4

住宅の空気質維持のための換気対策

北海道大学 ○林 基哉

気密住宅	シックハウス	常時換気設備
窓開け換気	カビ・ダニ	在来構法

1. はじめに

シックハウスに関する研究は、1970年代の欧米におけるシックビル症候群を契機に1990年代以前から行われ、実態調査は、新省エネルギー法の検討の中で行われた。シックハウス問題が顕在化した1990年以降には、健康的な居住環境形成技術の開発（建設省建築研究所1999-2000）、室内空気対策研究会（住宅リフォーム紛争処理支援センター2000-2001）、シックハウス総プロ「健康的な居住環境確保に関する研究」（国土交通省2002-2004）、「住宅における室内空気環境の改善のための実態把握及び対策検討」（住宅リフォーム紛争処理支援センター2006-2008）、「リフォーム時におけるシックハウス対策に係る検討」（住宅リフォーム紛争処理支援センター2007）などで、実態把握、対策検討、啓発が行われた。2003年には、建築基準法の改正でシックハウス対策が規定され、室内空気対策研究会及びシックハウス総プロの全国調査によれば、ホルムアルデヒドの室内濃度の厚生労働省指針値した住宅の割合は2000年には27.3%であったが、改正後のその割合が顕著に低くなるなど上記の取組みの効果が確認された^{1) 2)}。

本報告では、我国の戸建て住宅の特質に起因する室内空気汚染に関する知見、その特質を踏まえた換気対策の概要を示す。

2. 住宅の気密化と隙間通気を考慮した換気設計

我国の戸建て住宅の構法は、温暖蒸暑の気象等の自然環境に適合する建築条件と居住者の生活要求のもとで培われてきた木造構法を基礎としている（図1）。断熱気密化の先進地である北海道において、気密化に伴って必要となる室内空気質維持のための常時換気設備の導入に際して隙間通気の影響が無視できない。



図1 在来木造軸組構法における断熱化

戸建住宅の気密化工法の開発は、北海道で1980年代から、在来軸組木造、枠組壁構造、軽量鉄骨造それぞれ基本構造の条件に対応した形で取り組まれた。その結果、構造種別や施工状況によって、実建物の気密性能には多様性が見られることとなった。気密性能の測定は、強制排気に伴う内外気圧差と排気風量から、相当隙間面積を算出する方法が用いられ、これらの気密工法の効果を確認するために、実物件を対象に調査が行われた⁷⁾。

気密化されると、旧来の住宅で一般的に見られた隙間を介する漏気量が少なくなるため、換気量を常時確保するための常時換気設備の導入が必要となる。また、常時換気における給気と排気的设计においては、居住者の滞在時間が長い居間や寝室などのクリーンゾーンへの給気、臭気や水蒸気など空気汚染物質の発生源となるダークゾーンからの排気が原則である。十分な気密化と第1種換気の導入は効果的であるが、気密化及び第1種換気の導入コストの問題があり、気密化については十分な技術や施工体制が確立していなかった。このような背景で、第3種換気や自然換気の利用に関する取組みが行われた⁸⁾。

戸建住宅の気密性能には多様性があるとともに、隙間通気の状態（通気量や風向）、建物全体の換気量や換気経路は、ファンによる機械力ばかりではなく外部風や内外温度差の影響を受ける。また、建物形状、間取り、調理や入浴等の生活行為に伴う一時的なファンの運転の影響を受ける。室内空気質は、空気の挙動に加えて汚染物質の種類と発生量に左右される。換気設計は、これらの要因によって構成される空気質をどのように維持するかを、初期費用及び運用の費用や省エネルギー性などを加味して、具体化することが必要である。

上記の空気質形成要因を考慮して、生活に伴って発生する主な汚染物質（二酸化炭素、一酸化炭素等）に加えて、建材等から発生する化学物質（ホルムアルデヒド等）の室内濃度を、通年で予測する必要がある。第3種換気においては、内外温度差による浮力に伴って、1階の隙間を介した外気導入が増加し、2階への外気導入が減少することによる2階居室の濃度上昇など、実建物で指摘される現象が確認される。また、温度とともに発生量が増加するホルムアルデヒドについては、中間期や夏期窓閉鎖時における室内濃度上昇のリスクなどが確認された⁹⁾。

3. 隙間通気が室内空気質に与える影響

シックハウス対策にも、隙間通気が大きな影響を持つ。シックハウス対策の基本は、揮発性化学物質発生量の抑制と換気であるが、それに加えて内部空間（天井裏、床下、壁内など）で発生した汚染物質が、第3種換気の室内

減圧に伴う隙間通気によって室内に侵入し室内濃度が上昇する。室内空気質の形成要因として、換気量及び経路と汚染物質の種類と発生量が挙げられる。1990年代以降、建材や生活用品から揮発する化学物質による居住者への健康影響が社会問題となり対策が急務となった。この対策の基本は、発生源の除去や発生量の抑制、換気による室内濃度の低減である。室内空気対策研究会などの一連のシックハウス対策に関する取組みによって、これらの対策技術の開発と普及が行われた。この中で、隙間通気の経路となっている内部空間（床下、天井裏、壁内等）での化学物質の揮発とその室内空気質への影響に関する検討が必要となった。

在来軸組構法の気密性が高い実験住宅（BL 換気実験棟：C 値=1.2 c m²/m²）において、隙間分布を把握した上で、第2種換気から第3種換気に変化させた場合の、室内ホルムアルデヒド濃度の測定を行い、第3種換気によって内部空間からホルムアルデヒドが隙間を介して室内に侵入する。さらに、同構法の部分実大構造模型を用いて、この第3種換気時の侵入量と経路を9.5ヶ月にわたり測定し、第3種換気時の室内への汚染物質侵入量は、室内で発生する量（第2種換気時の発生量）の数倍に達した⁷⁾。内部空間での化学物質発生が、隙間通気によって室内空気質に影響することが確認された¹⁰⁾。

内部空間で汚染物質が発生した場合、発生量の内どの程度が室内空間に侵入するか（侵入率）によって、室内濃度への影響が左右される。侵入率の実態を把握することで、内部空間における発生量の許容レベルが想定される。しかし、この侵入率は、換気方式や外部条件に左右される内外差圧と、建物の隙間分布の影響を受ける。

トレーサーガス法を応用して侵入率 κ を測定する方法を用い、在来木造軸組住宅、軽量鉄骨工業化住宅を対象に測定した結果、1階と2階の階間となる天井裏からの侵入率は内外差圧によらず高く、第3種換気による室内減圧によって侵入率が顕著に高くなることが明らかになった。9棟の戸建住宅（在来木造軸組構法、木造枠組壁構法、木質パネル工業化住宅、PCパネル工業化住宅、軽量鉄骨工業化住宅、C 値=1.0~4.2 c m²/m²）を対象にした実態調査によると、侵入率 κ は、構法によって多様であるが、それ以上に内外差圧の影響が大きい。また、1階天井裏、外壁内、屋根裏（2階天井裏）、床下からの侵入率 κ は内外差圧が4.9Pa以下でもゼロではなく、特に1階天井裏からの侵入率 κ は一般的に高く50%以上であった^{11),12)}。

5. 隙間ネットワークを考慮した室内空気質予測

内部空間からの汚染物質の侵入対策の必要性の確認に基づいて、その有効な方法の検討を行うために、隙間通気の詳細を明らかにすることが必要である。室内空気質維持のためには、内部空間における汚染物質の発生量の抑制は基本であるが、床下の防霉や防蟻、壁内や天井裏の建材の耐久性などのための、内部空間での化学物質利用の必要性を踏まえることが必要である。その上で、室

内空気質を維持するためには、その基礎として侵入経路の把握が必要である。省エネルギー法の改正などによる気密断熱化工法の改良や2003年の基準法改正における侵入防止のための通気止めなど、侵入性状に影響しうる要因を踏まえて、内部空間を含めた住宅全体の隙間ネットワークの把握が行われた。

床下と天井裏をつなぐ大きな経路となる可能性がある、バスユニット周りに存在する複数の通気経路の相当隙間面積の測定を行うために実験棟を建設し、ファン、差圧計、トレーサーガスを用いた同圧法の測定によって、バスユニット周りの隙間ネットワークを把握した。この隙間ネットワークを把握することで、第3種換気時の室内減圧によって、床下の空気がバスユニット周り（バスユニットの内壁と外壁の間の空間）の経路を介して、天井裏に侵入し、さらに天井の隙間から室内に侵入することが確認された。

建物全体の隙間ネットワークを把握するために、構造模型を製作し、同圧法によって各部の相当隙間面積を測定した。最も一般的に用いられている在来木造軸組構法を対象に、①特に気密化に配慮していない場合と②次世代省エネルギー基準及び2003年建築基準法改正に準じて、外壁及び間仕切の上部に木材の通気止めが施工された場合について、4室から構成される実大の構造模型（スライスモデル）を製作した。また、③次世代省エネルギー基準に準じた木造枠組壁式構法については、各取合部毎に分割された構造模型（部分スライスモデル）を作成した。①については、内部空間を介する大きな経路の存在が明らかになり、②については、①に比べて内部の経路が小さいことが明らかとなったが、これらは共通して、縦の経路（床下と室内、天井裏及び屋根裏と室内）が顕著であることが明らかとなった。③については、さらに内部経路が全般的に小さいが、横の経路（室内と外壁及び間仕切壁）が顕著であった。以上により、隙間ネットワークに関する基礎データが得られ、隙間ネットワークを考慮した、室内空気質のシミュレーションが可能となった^{13),14)}。

シミュレーションプログラム“Fresh”に、隙間ネットワークを組み込むことで、実大の住宅における内部空間の影響を考慮した室内空気質予測が可能となる。3つの隙間ネットワークを用いてシミュレーションを行っている。第3種換気及び第1種換気における、ホルムアルデヒドや床下及び天井裏で発生することを想定した疑似汚染物質などの各空間の空気汚染物質の年間濃度、侵入率を算出した。また、侵入率は、実測結果と比較して、整合を確認した。このシミュレーションでは、構造毎、換気方式毎の、内部空間から室内への侵入経路が明らかになった。基本的には内外差圧によって、侵入量は左右されるが、在来木造軸組構法では、縦の経路が顕著で、第3種換気の場合には、床下から外壁及び天井裏を介して2階の居室に侵入する経路が顕著である。また、第1種換気におい

4.1 住宅の空気質維持のための換気対策

でも、強制排気を行うユーティリティには、床下や外壁、天井裏からの侵入が見られる。また、建物全体及び各部の気密性が高いことで、侵入に伴う室内濃度上昇が抑えられると考えられるが、その効果は顕著ではなかった。第3種換気を典型として考えると、気密性が高いと内外差圧が大きくなり、侵入率が高くなる。従って原理的には気密性を高めることが、室内濃度上昇を抑えることにはならない。しかし、複雑な経路を持つ実際の建物における効果については、このシミュレーションで確認する必要があった。シミュレーション結果は、内外差圧が室内濃度に大きく影響し、通気止めの効果は限定的と考える必要があることが示された。

通気止め（外壁及び間仕切り上部）に代わって、外壁及び間仕切り上下に完全な通気止めを設置し、主に床下空間と外壁内部の遮断を完全に行った場合についてシミュレーションを行い、通気止め手法の有効性を確認した。その結果、複雑な隙間ネットワークにおいては、このような部分的な遮断による室内空気質改善の効果は小さく、室内侵入による室内濃度上昇の主要因は内外差圧であることが再確認された。

シミュレーションプログラム“Fresh”においては、在室時の室温計算結果によって、窓の開放程度を変えていき、窓開放による効果が得られない場合には閉鎖して冷房を行い、窓閉鎖効果が得られない場合には、暖房することとしている。これらの行為の設定温度の妥当性を確認するための基礎として、実住宅における通年の窓開放習慣を対象にモニター調査した。この調査は、上記の目的以外に、中間期から夏期におけるホルムアルデヒドの室内濃度上昇の要因となる窓閉鎖の実態について把握することも目的としている。窓の開放程度は対象住宅によって差があるが、全般的には外気条件が良好な時期においても窓の閉鎖時間が長い状況が確認された。また、平均開放幅は室温及び外気温の上昇に伴って増加する傾向を持つことが明らかになった。

化学物質の使用抑制に伴うカビ数の増加を念頭に置き、高い相対湿度が持続しカビ発生の危険性が高い床下空間からのカビの室内侵入に関する実験を行い、カビの挙動が、揮発性化学物質等のガス状物質と同様であるかを検証した。論文7で示したバスユニットを含む構造模型の床下空間でカビ胞子を発生させ、第3種換気時のカビの室内への侵入率を測定した結果、カビの挙動はガス状物質と同様であり、室内減圧によって室内に侵入することを明らかにした。この測定のために、気中カビ数の連続採集測定システムを作成した。東北の住宅で内部空間及び室内内外の気中カビ数の測定を実施し、床下のカビ数の年間推移特性を用いて、第1種換気、第3種換気の場合の年間シミュレーションを行い、床下からのカビの侵入による室内カビ数の影響を示した。化学物質と同様に、第3種換気による床下からのカビ侵入が顕著であると共に、第1種換気でも、排気を行う浴室へのカビの侵入がみられた。

外気のカビの室内侵入は、第1種換気でフィルターなど給気処理する方法があるが、床下からの侵入防止は難しいと共に、水分が豊富な浴室のカビ発生の一因として、この経路のカビ侵入が指摘された^{15)~20)}。

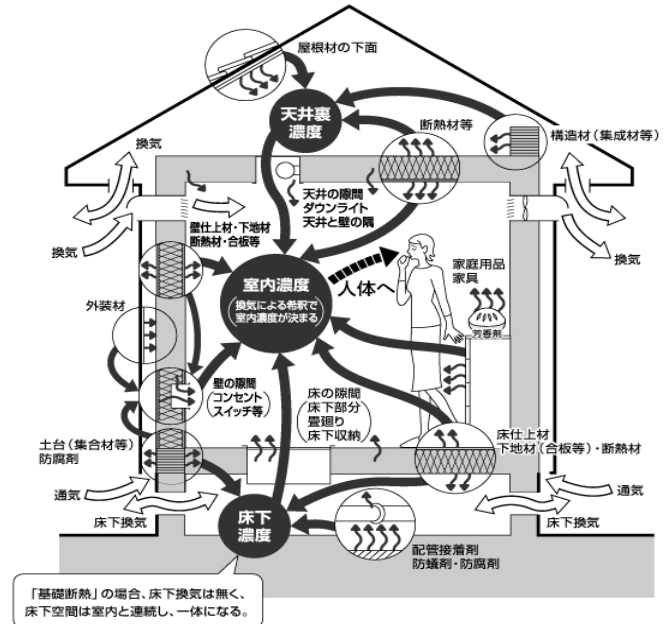


図2 隙間通気を考慮した室内空気質形成機構²¹⁾

6. おわりに

住宅の換気対策は、気密化と並行して実施されてきた。このため、気密化され常時換気が必要となっている住宅がある一方、現在においても隙間換気が多く温熱環境が維持できない住宅がある。いずれの場合も、空気質への配慮が必要である。住宅の空気質は、建物の断熱気密性能、防露性能、暖冷房換気設備、地域の気象条件、生活習慣、居住者の環境調整に関する知識（居住リテラシー）によって左右される。対処療法による副作用にも十分留意する必要がある。これらを踏まえた換気対策の最適解は、非常に難しい。

既存の住宅に対しては、住宅の特性に応じた換気対策が必要であるとともに、今後に向けて住宅自体の改善と居住リテラシーの醸成が急務であると考えられる。これによって、我国の気候風土、生活に適した換気のあり方が明らかになると考えられる。

参考文献

1. 大澤元毅, 池田耕一, 林基哉, 桑沢保夫, 真鍋純, 中林由:2000 年全国実態調査に基づく化学物質による住居室内空気汚染の状況:日本建築学会環境系論文集:No. 566:PP. 65-71:2003. 4
2. 大澤元毅, 池田耕一, 林基哉, 小島隆矢, 真鍋純, 中林由:2000 年全国実態調査に基づく住宅室内空気 VOC 汚染の状況:日本建築学会環境系論文

4.環境アレルギー対策技術と関連課題

4.1 住宅の空気質維持のための換気対策

- 集:No. 575:PP. 61-66:2004. 1
3. 住宅建築省エネルギー機構:住宅水準向上に伴うエネルギー消費増加の抑制技術開発研究」建設省委託業務平成3年度報告書:1991. 3
 4. (財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター:室内空気対策技術ハンドブック編集委員会編 室内空気対策技術ハンドブック:2005. 3
 5. 日本建築学会熱環境小委員会・寒地住宅の未利用空間の環境デザインSWG 北海道住宅環境協議会監修:パッシブ換気システム設計・施エマニュアル:pp. 30-32 : 1999. 3
 6. 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 社団法人日本住宅設備システム協会:高気密住宅用換気暖冷房システムの研究開発 通産省共同研究成果報告書 : 1995
 7. M. Hayashi, T. Sasaki, N. Aratani : ON THE AIRTIGHTNESS OF THE JAPANESE WOODEN HOUSE, PLANNING, PHYSICS AND CLIMATE TECHNOLOGY FOR HEALTHIER BUILDING “Healthy Building ’ 88” : Vol. 2 : PP. 259-267 : 1988. 8 (注1)
 8. 林基哉, 絵内正道, 山田祐巳:煙突自然換気の年間特性と換気量制御法:日本建築学会計画系論文報告集:No. 529:PP. 39-46:2000. 3
 9. M. Hyashi, M. Enai, Y. Hirokawa : ANNUAL CHARACTERISTICS OF VENTILATION AND INDOOR AIR QUALITY IN DETACHED HOUSES USING A SIMULATION METHOD WITH JAPANESE DAILY SCHEDULE MODEL: The International Journal of Building Science and its Applications BUILDING AND ENVIRONMENT : Vol. 36 : PP. 721-731 : 2001 : IF=2. 700 (注2)
 10. 林基哉, 大澤元毅:内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響 第3種換気システムを用いた戸建住宅に関する基礎実験:日本建築学会環境系論文集:No. 573:PP. 63-69:2003. 11
 11. Motoya Hayashi, Haruki Osawa : The influence of the concealed pollution sources upon the indoor air quality in houses, The International Journal of Building Science and its Applications BUILDING AND ENVIRONMENT : Vol. 43 : PP. 329-336 : 2008 : IF=2. 700 (注2)
 12. 林基哉, 大澤元毅:内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響 戸建住宅の構造内部空間から室内空間への侵入率:日本建築学会環境系論文集:No. 676:PP. 676-683:2012. 6
 13. Motoya Hayashi and Haruki Osawa : Influence of the concealed air leaks upon the Indoor Air Quality in houses with prefabricated bathroom : ENGINEERING AERO-AND THERMO DYNAMICS OF VENTILATED ROOM SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE “ROOMVENT 2009” : PP. 505-512 : 2009. 7 (注1)
 14. 林基哉, 大澤元毅:内部建材からの化学物質の室内侵入経路に関する測定 木造軸組構法と木造枠組壁構法の戸建住宅の隙間ネットワーク:日本建築学会環境系論文集:No. 675:PP. 375-383:2012. 5
 15. M. Hayashi, H. Osawa, Y. Honma and M. Matsui : PREDICTION OF AIR QUALITY CONSIDERING THE CONCEALED AIR LEAKS OF HOUSES, 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition “ Building Simulation 2007” : PP. 870-877 : 2007. 8 (注1)
 16. M. Hayashi and H. Osawa : Prediction of indoor air quality considering the concealed air leaks in the improved houses : The 29th AIVC Conference Advanced building ventilation and environmental technology for addressing climate change issues : Vol. 1 : PP. 281-286 : 2008 (注1)
 17. Motoya Hayashi, Haruki Osawa : Decline of VOC Concentrations with the Aging of Houses in Japan, Journal of Environmental Protection : Vol. 4 : PP. 33-40 (2013)
 18. Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Masanori Sugawara : Dwellers’ habit of opening windows in detached houses in cold and hot-humid climate of Japan, Journal of Environmental Protection : Vol. 5 : PP. 663-671 : 2014. 6
 19. Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma, Hiromi Yamada : Infiltration of Mould from Crawl Space under the Prefabricated Bathroom, Journal of Environmental Protection : Vol. 5 : PP. 837-846 : 2014. 7
 20. Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma : Numerical Experiments on Indoor Air Quality Considering Infiltration of Mould from Crawl Space : Journal of Environmental Protection : Vol. 5 : PP. 916-923 : 2014. 7
 21. 室内空気対策ハンドブック:住宅リフォーム・紛争処理支援センター:2005

アレルギー対策のための全館空調住宅の評価

前橋工科大学

○三田村輝章

全館空調住宅	空気清浄機	浮遊微粒子
浮遊真菌	ダニアレルゲン	実測調査

1. はじめに

シックハウス問題については 2003 年 7 月に建築基準法が改正され、建材の使用制限や 24 時間換気の設置義務付けなどの対策が進められている。一方、ぜん息等のアレルギー性疾患については、患者数は増加傾向にあり、住環境との関連性が指摘されているにも関わらず、建物のハード面での対応は遅れているのが現状である。

本稿では、アレルギー対策住宅として開発された空気清浄機能を搭載する全館空調住宅について、その性能に関する基礎実験のほか、転居前後における室内アレルゲン量の実測結果と居住者のアレルギー症状の検診結果の比較により、両者の関連性について検討した結果を報告する。

2. 空気清浄機能を搭載する全館空調住宅の概要

空気清浄機能を搭載する全館空調住宅は、2×4 または 2×6 工法で建設され、同仕様の空調・換気システムが設置されており、平均的な断熱性能は U_A 値が約 $0.5W/m^2K$ 、気密性能は C 値が $0.5\sim 0.9cm^2/m^2$ である。図 1 に空調・換気システムの概要を示す。外気取入口から導入された外気は、防虫フィルタと中性能フィルタから構成される空気清浄ユニットを通過し、主に粒径 $10\mu m$ 以上の浮遊微粒子を除去する。その後、プレフィルタ、電子セルから構成される電気集塵機を通過し、粒径 $0.3\mu m$ 程度の浮遊微粒子を除去して、冷温器（エアコン）にて冷暖房された空気が各室給気口から室内へ供給される。また、主に 2 階ホールに設置された還気口から電気集塵機前に還気空気が戻され、導入外気と合流し、室内空気を循環させることで室内空気中の浮遊微粒子を除去する。排気については、主にクローゼット、トイレ、浴室、キッチンに設置された排気口から集中して行われる。

3. 空気清浄機能に関する基礎実験

3.1 調査対象住宅

調査対象住宅は、群馬県高崎市内に建設された空気清浄機能を搭載する全館空調住宅である。当住宅は 2013 年 12 月に竣工し、2×6 工法の 2 階建てである。延床面積は $120.20m^2$ 、 U_A 値は $0.53W/m^2K$ 、 C 値は $0.87cm^2/m^2$ であり、居住者は夫婦と子供 2 名の 4 人である。

3.2 測定項目と方法

測定項目は、室内と空調・換気システム内の浮遊微粒子濃度である。測定には、パーティクルカウンター（ベックマン・コールター製、MET ONE HHPC 3+）を用いて、

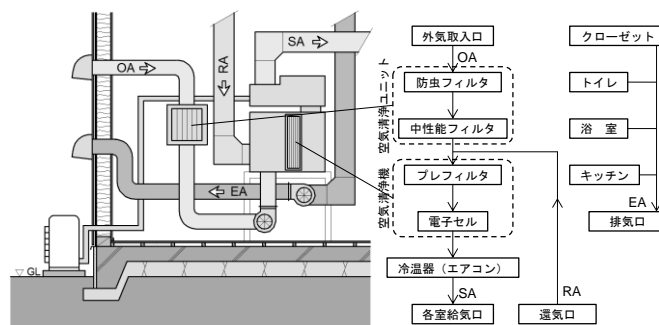


図 1 空調・換気システムの概要

粒径 $>0.3\mu m$ 、 $>1.0\mu m$ 、 $>5.0\mu m$ の浮遊微粒子濃度を 1 分間測定し、9 分間のインターバルをおいて 10 分間隔で測定を繰り返す。測定箇所は、中性能フィルタ通過後、電子セル通過前、電子セル通過後、還気口の 4 点である。測定期間は、2017 年 5 月 16 日～6 月 20 日の 36 日間である。この期間中、中性能フィルタの交換と電子セルの清掃が 2017 年 5 月 21 日 15 時頃に行われ、その前後における浮遊微粒子濃度の比較からフィルタ交換と清掃の効果を把握する。なお、交換前の中性能フィルタは約 1 年間使用され、電子セルの清掃前は約 6 ヶ月間行われていない状態である。

3.3 測定結果

図 2 に一例として、粒径 $>0.3\mu m$ の浮遊微粒子濃度変動と除去率を示す。6 月 2 日～6 日にかけての濃度が低いのは、この期間中の高崎市内の $PM_{2.5}$ の濃度が $10\mu g/m^3$ 以下であったことから、外気の影響と考えられる¹⁾。また、中性能フィルタ通過後は変動幅が大きく、他の測定点よりも濃度が高いことから外気の影響が大きいと考えられる。還気口と電子セル通過前は朝夕や夜間等、居住者が在室していると思われる時間帯で濃度が上昇しており、生活行為によって埃等が空中に舞い上がることが影響していると考えられる。電子セル通過後は、清掃前は除去率が約 70～100%であるが、5 月 21 日の清掃以降は濃度が殆どの時間帯で約 0 個/L であり、また、除去率もほぼ 100%であることから、中性能フィルタの交換と電子セルの清掃の効果が確認できる。

図 3 に粒径 $>0.3\mu m$ の浮遊微粒子濃度における測定箇所別の中性能フィルタ交換及び電子セル清掃前後の比較を示す。清掃前後の濃度について検定を行ったところ（有意水準： $p=0.05$ ）、全ての測定箇所でも 1～5 週間後まで清掃後の濃度が有意に低かったことから、中性能フィルタの交換と電子セルの清掃による効果の持続性が確認できる。

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.2 アレルギー対策のための全館空調住宅の評価

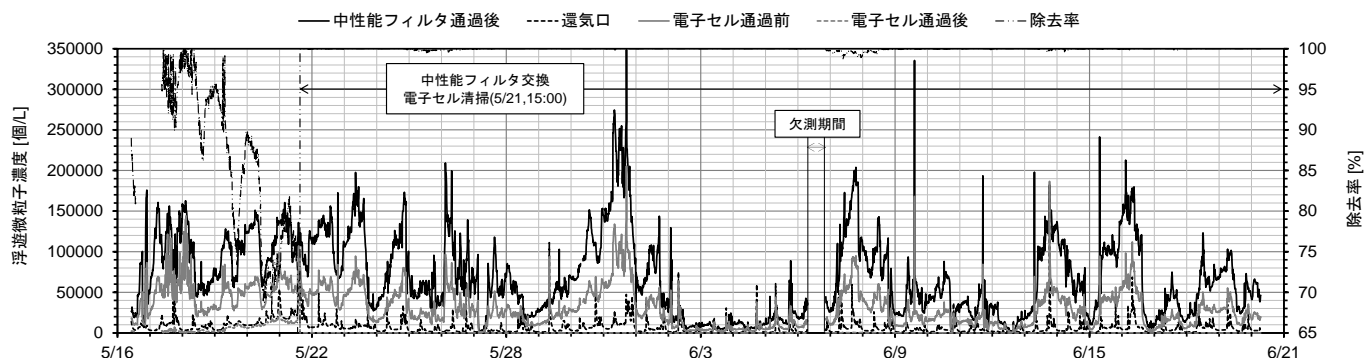


図2 浮遊微粒子濃度変動 (粒径>0.3 μ m)

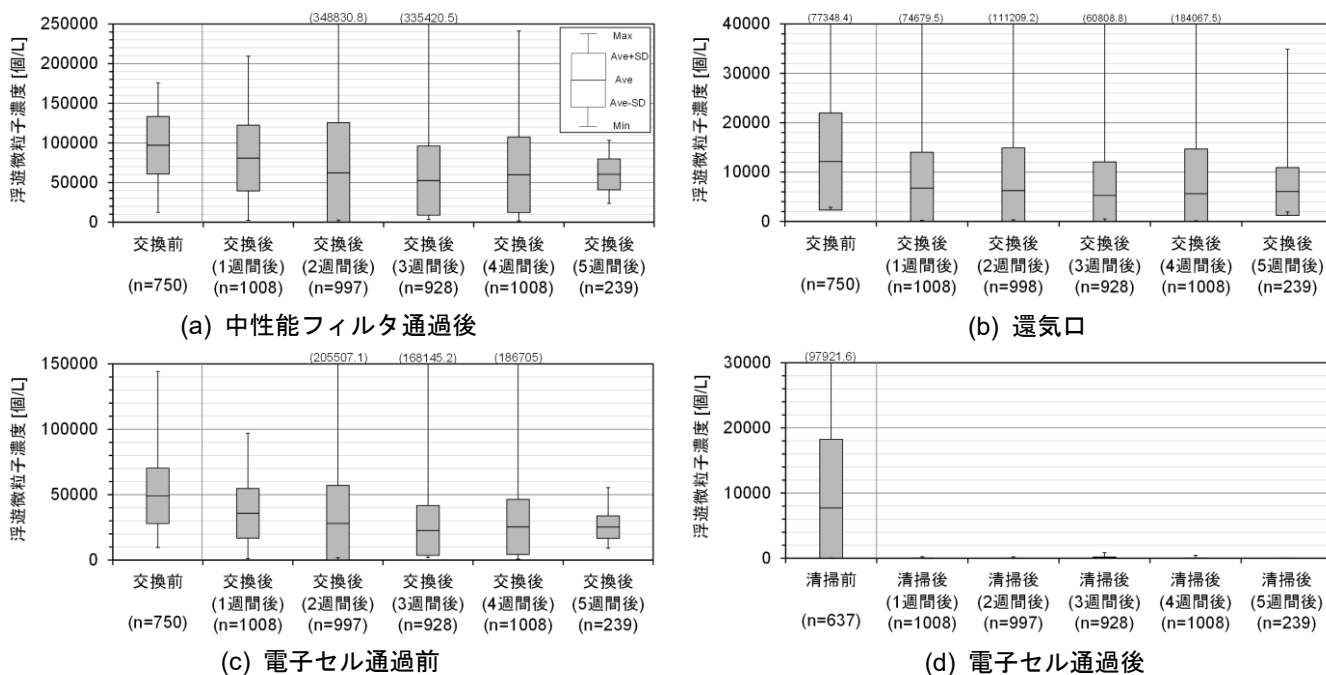


図3 中性能フィルタ交換及び電子セル清掃前後の比較 (粒径>0.3 μ m)

4. 室内アレルゲン量とアレルギー症状の調査

4.1 調査対象

調査対象は、群馬県、栃木県、埼玉県、東京都内の調査に同意が得られた 33 世帯とし、空気清浄機能を搭載する全館空調システムを設置した住宅（アレルギー対策住宅）と、この住宅に転居する前の住居において室内アレルゲン量の実測と居住者のアレルギー症状に関する検診を行う。転居後の住宅は、同一の住宅メーカーによって建設された同仕様の空調・換気システムが設置されており、断熱性能や気密性能もほぼ同等である。転居前の住居は調査対象により異なるが、木造や軽量鉄骨造の賃貸アパートが多く、その他、築 20 年以上の戸建て住宅などが含まれる。

4.2 調査項目と方法

室内アレルゲン量の測定と居住者のアレルギー症状の検診は、原則として、転居前に 1 回と転居後は 1 ヶ月目と 6 ヶ月目に 2 回実施し、転居後 3 ヶ月未満と 4 ヶ月以降に分けて比較し、時間経過の影響について検討する。

(1) 室内アレルゲン量

調査項目は、浮遊微粒子濃度、浮遊真菌濃度、ダニアレルゲン量の 3 項目である。浮遊微粒子濃度は、パーティクルカウンター（リオン製、KR-12A）を用いて、空気を 1 分間採取し、2 回の測定した結果の平均値を用いる。浮遊真菌濃度は、エアサンプラー（Merck 製、Mas-100Eco）を用いて、50 l/min で PDA 培地に空気を吹き付け、インキュベーター内にて 25 $^{\circ}C$ で 5 日間以上培養して、コロニー数をカウントする。浮遊微粒子濃度と浮遊真菌濃度の測定箇所は、居間、寝室、外気である。ダニアレルゲン量は、電気掃除機（日立製、PV-H23）を用いて、測定対象となる範囲 1 m^2 を 2 分間集塵し、ダスト中の Der p1（ヤケヒョウヒダニ）及び Der fl（コナヒョウヒダニ）を ELISA 法にて分析する。測定箇所は、居間のフローリングやカーペットなどの床面と寝室の敷布団上である。

(2) 居住者のアレルギー症状

居住者のアレルギー症状に関する検診は、群馬大学医学部附属病院にて実施する。本研究では、アレルギー症状の改善を判断する指標として、居住者から採血した血中の活性化 CD4 $^{+}$ T 細胞比率について分析する。

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.2 アレルギー対策のための全館空調住宅の評価

表 1 転居前後における室内アレルゲン量の比較

転居後3ヵ月未満				転居後4ヵ月以降							
浮遊微粒子濃度 ^(注1) (個/L)	居間	粒径>0.3μm	転居前 (n=13)	転居後 (n=13)	居間	粒径>0.3μm	転居前 (n=20)	転居後 (n=20)			
		粒径>0.5μm	84034	15939**		10976	2970*	粒径>0.5μm	97041	9044**	12006
	居間	粒径>0.7μm	3662	1327	粒径>0.7μm	3754	565**	粒径>1.0μm	1553	358**	
		粒径>1.0μm	1673	839	粒径>1.0μm	519	188**	粒径>2.0μm	54	24**	
		粒径>2.0μm	653	388	寝室	粒径>0.3μm	79231	7651**	粒径>0.5μm	12774	1138**
		粒径>5.0μm	77	42		粒径>0.5μm	3567	445**	粒径>0.7μm	1541	257**
		転居前 (n=11)	転居後 (n=11)	粒径>1.0μm		475	116**	粒径>2.0μm	42	14**	
		粒径>0.3μm	83912	20552*		粒径>5.0μm	42	14**			
粒径>0.5μm	11422	4356	浮遊真菌濃度 (CFU/m)	居間	430	127**	転居前 (n=31)	転居後 (n=31)			
粒径>0.7μm	3359	1634		寝室	473	69**	居間	372	112**		
粒径>1.0μm	1572	800		転居前 (n=17)	転居後 (n=17)	寝室	417	87**			
粒径>2.0μm	530	220		ダニアレルゲン量 (μg/g dust)	転居前 (n=21)	転居後 (n=21)	居間	Der p1	2.75	0.17*	
粒径>5.0μm	43	13**			Der f1	4.59	0.35*	Der 1	7.29	0.45**	
浮遊真菌濃度 (CFU/m)	居間	転居前 (n=21)			転居後 (n=21)	Der p1	4.18	1.3	転居前 (n=26)	転居後 (n=26)	
		Der f1	6.46		3.24	Der p1	4.09	0.28*	Der f1	4.68	1.50**
		Der 1	10.77		4.49	Der 1	8.74	1.71**			

*:p<0.05 **:p<0.01

4.3 調査結果

(1) 室内アレルゲン量

表 1 に転居前後における室内アレルゲン量の比較を示す。転居前後での有意差の検定にはウィルコクソンの符号順位和検定 (有意水準: p=0.05) を用いる。転居後 3 ヶ月未満では、粒径>0.7~>2.0μm の比較的粒径の大きい浮遊微粒子濃度とダニアレルゲン量では有意な低下が認められなかったが、その原因として、引っ越し直後のデータも含まれており、家具等の移動により居住者の生活状況が安定していなかったことが考えられる。一方、転居後 4 ヶ月以降では、全ての項目において有意に低下が認められ、転居後の経過時間が影響していると考えられる。なお、ダニアレルゲン量についても有意に低下が認められたが、測定はダスト中のダニアレルゲン量を対象としており、また、ハウスダストは粒径が大きく、室内空気中の浮遊時間は数十分間と短時間であることが考えられ、空気清浄機能による除去効果よりも居住者による定期的な清掃や寝具の新調等の効果による影響が大きいと考えられる。

(2) 居住者のアレルギー症状

図 4 にアレルギー患者群の転居前後におけるアレルギー

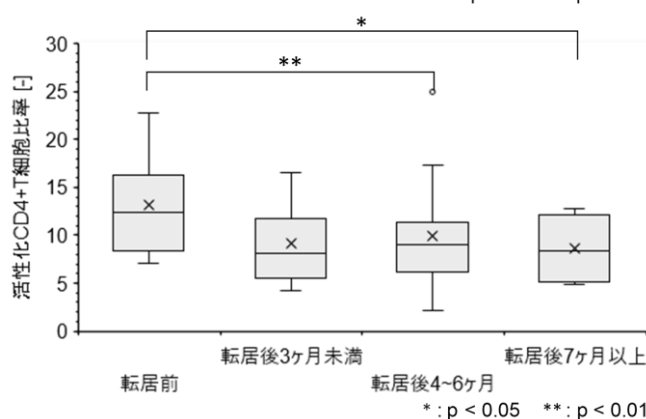


図 4 転居前後におけるアレルギー症状の比較 (アレルギー患者群, n=17)

症状の比較を示す。活性化 CD4+T 細胞比率は、数値が低いほど症状が軽度であることが報告されている。転居後 3 ヶ月未満では転居前と比較して有意に低下は認められなかったが、転居後 4~6 ヶ月 (p<0.01), 転居後 7 ヶ月以上 (p<0.05) では有意に低下が認められ、室内アレルゲン量と同様に転居後の経過時間がアレルギー症状の改善にも影響していると考えられる。

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.2 アレルギー対策のための全館空調住宅の評価

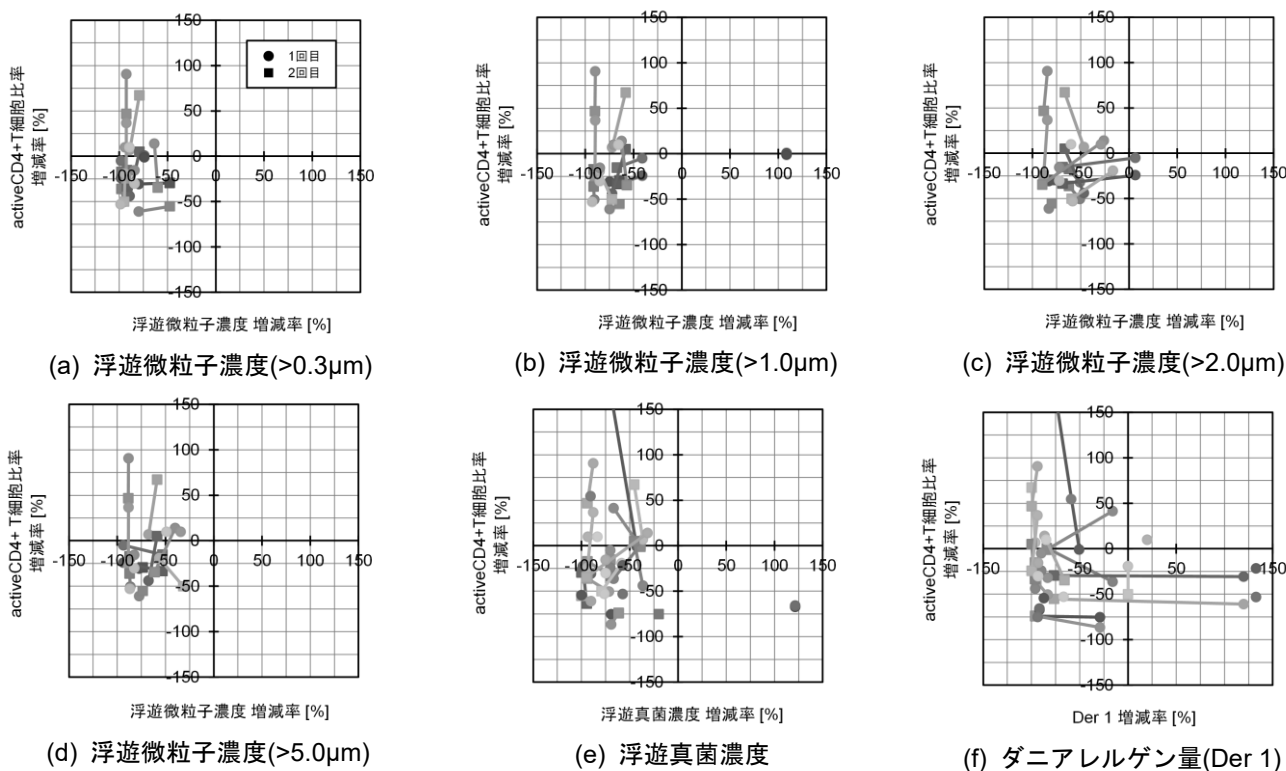


図5 室内アレルゲン量と活性化 CD4+T 細胞比率の増減率の対応

(3) 室内アレルゲン量とアレルギー症状の関係

図5に一例として、室内アレルゲン量と活性化 CD4+T 細胞比率の増減率の対応を示す。第3象限上にあるプロットは室内アレルゲン量の低下に伴ってアレルギー症状の検診結果の数値が低下していることを示し、第2象限上にあるプロットは室内アレルゲン量が低下しているにもかかわらずアレルギー症状の検診結果の数値が上昇していることを示す。浮遊微粒子濃度(図5(a)~(d))は、第3象限上のプロットの割合が、粒径 $>0.3\mu\text{m}$ で67.7%、 $>1.0\mu\text{m}$ 、 $>2.0\mu\text{m}$ で64.5%、 $>5.0\mu\text{m}$ で58.1%であり、粒径が大きくなるほど割合が低くなっているが、約60~70%の居住者が転居後の濃度の低下に伴い活性化 CD4+T 細胞比率の数値が低下している。一方、各粒径で第2象限上のプロットの割合が約30%となり、転居後に濃度が低下しても活性化 CD4+T 細胞比率は上昇している。浮遊真菌濃度(図2(e))は、第3象限上のプロットの割合が67.4%であり、約70%の居住者が転居後の濃度の低下に伴い活性化 CD4+T 細胞比率の数値が低下している。一方、第2象限上のプロットの割合は28.6%である。ダニアレルゲン量(図2(f))は、第3象限上のプロットの割合が55.1%であり、浮遊微粒子濃度、浮遊真菌濃度と比較して低いが、第2象限上のプロットの割合は26.5%であり、浮遊微粒子濃度、浮遊真菌濃度と同等である。

5. まとめ

本稿では、アレルギー対策住宅として開発された空気清浄機能を搭載する全館空調住宅について、その性能に

関する基礎実験のほか、転居前後における室内アレルゲン量の実測結果とアレルギー症状の検診結果について報告した。空気清浄機能に関する基礎実験では、浮遊微粒子濃度の測定から中性能フィルタの交換と電子セルの清掃の効果を確認し、また、これらの効果は5週間までは持続することを確認した。転居前後における室内アレルゲン量の実測では、転居後4ヶ月以降では、全ての項目で有意に数値の低下を確認した。一方、移転後3ヶ月未満では、比較的粒径の大きい浮遊微粒子濃度やダニアレルゲン量では有意な低下は確認できなかったが、これは転居後の経過時間が影響していることが考えられた。室内アレルゲン量と居住者のアレルギー症状の比較では、転居後の室内アレルゲン量の低下に伴い、約55~70%の居住者が活性化 CD4+T 細胞比率の数値が低下し、室内アレルゲン量の低下によるアレルギー症状の改善を確認した。

参考文献

- 群馬県大気汚染情報, <http://gunma-taiki.jp/>
- 志摩拓実, 三田村輝章: 空気清浄機能を搭載する全館空調住宅における室内改善効果の検証 -その2 浮遊微粒子の経時変動と除去性能-, 平成29年度室内環境学会学術大会講演要旨集, 2017年12月
- 志摩拓実, 三田村輝章, 土橋邦生, 原澤浩毅: 空気清浄機能を搭載する全館空調住宅における室内環境改善効果の検証 33 世帯を対象とした移転前後の経過に関する分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 環境工学II, pp.741-742, 2016年8月

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.3 空気清浄機の除去性能(1)超微小粒子(UFPs)

超微小粒子(UFPs)

東北文化学園大学、暮らしの科学研究所
暮らしの科学研究所

○野崎淳夫
吉田菊躬、橋本岳喜
成田泰章、高橋久美子
野崎淳之

空気清浄機 UFPs ナノ粒子
相当換気量 CADR 除去性能

1.はじめに

環境省微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書¹⁾によると、大気中の粒子状物質は、表面積濃度分布とは異なり、個数濃度分布で0.01 μm(10 nm)にピークを持つ一山分布を示すとしている。また、国立環境研究所によると、大気中の0.05 μm(50 nm)付近の粒子はディーゼル排気粒子(DEP)を起源としていると報告している。これらの微粒子、超微小粒子(UFPs)は、循環器機能へのダメージを与えるとされている。

一方で、室内空気汚染対策の一つとして空気清浄機が広く用いられている。今日の多くの空気清浄機は、集じんフィルタとしてHEPAフィルタを採用しており、花粉やPM2.5などの粒子を高効率で除去することが謳われている。ただし、上記に示すような0.1 μm以下の超微小粒子に対する除去性能は不明な点が多い。

そこで本研究では、国内外の市販空気清浄機について、超微小粒子に対する除去性能の試験評価を行った。超微小粒子に対する除去性能の試験評価法については、現在IECにおいて検討が進められており、本研究では同試験法案に基づいて機器性能の比較を行った。

2. 空気清浄機の超微小粒子除去性能評価試験

現在ISO/IECにおいて、空気清浄機の超微小粒子に対する除去性能を求める試験規格が検討されている。本研究では、同規格案に基づいて、除去性能を求める実験的検証を行った。

2.1 試験チャンバー

本試験では、新IEC規格に基づき、気積30 m³の環境制御型ステンレスチャンバーを用いて行った。Fig. 1に試験装置の概要を示す。

2.2 試験対象機器

本研究では、Table 1に示す国内外の空気清浄機を試験対象とした。

Table 1 試験対象機器

	除去原理	フィルタ構成	製造国
機器A	フィルタ式+光触媒	プレフィルタ、HEPA、脱臭フィルタ	日本
機器B	フィルタ式	プレフィルタ、HEPA、脱臭フィルタ	オランダ
機器C	フィルタ式+液剤添加	プレフィルタ、準HEPA、脱臭フィルタ	日本

2.3 試験粒子と粒子発生装置

- ・試験粒子：塩化カリウム(5 w%水溶液)
- ・粒子発生装置：エアロゾルアトマイザ

2.4 測定機器

走査式移動度粒径測定装置(SMPS)
DMA(DMA3085A、TSI社製)
CPC(CPC3776、TSI社製)

2.4 試験条件

- ・温度：25±2℃
- ・相対湿度：40±10%
- ・換気回数：無換気(<0.01 h⁻¹)
- ・機器風量：最大風量

2.5 試験手順

- 1) 30 m³ステンレスチャンバー内に評価対象の空気清浄機を設置する。
- 2) チャンバー内の再循環ファンを運転させ、SMPSにより粒子濃度の測定を開始する。なお、循環ファンは試験中常時運転する。なお、SMPSによる測定粒子径50 nmとする。
- 3) チャンバー付属の空気浄化装置を運転させ、バックグラウンド濃度が十分低くなるよう浄化する。また、チャンバー内の環境条件を所定の条件に調整する。
- 4) 粒子発生装置により塩化カリウムの供給を開始し、所定時間経過後、粒子供給を停止する。
- 5) 1分間放置して、十分に粒子を一様拡散させる。
- 6) 初めの25分間、自然減衰期間としてチャンバー内濃度を測定する。
- 7) 空気清浄機の運転を開始し、20分間チャンバー内濃度を測定する。

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.3 空気清浄機の除去性能(1)超微小粒子(UFPs)

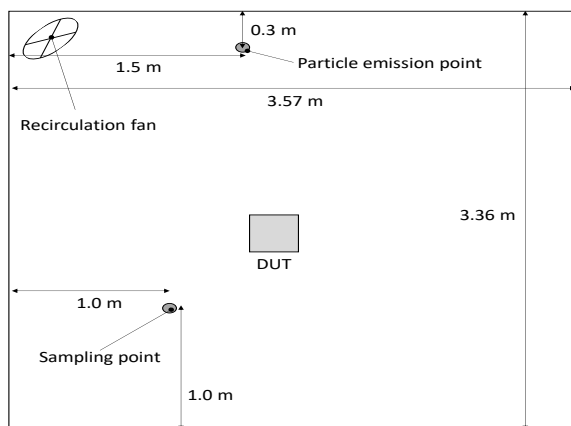


Fig. 1 試験装置

3. 評価方法

空気清浄機の除去性能については、花粉問題対策事業者協議会が、野崎らの試験評価法²⁾⁴⁾を用いて、下記(1)～(3)式の器具性能算出式を提示しており、器具性能は相当換気量 (m³/h) として求めている。現在、ISO・ISOの空気清浄機性能試験委員会が、空気清浄機除去性能をこの相当換気量と同様に求めることを提案している。

$$\text{相当換気量 } Q_{eq} = V(k_e - k_n) \quad (1)$$

ここで、V：チャンバー気積 [m³]

k_e ：機器運転期間の減衰率 [h⁻¹]

k_n ：機器非運転期間の減衰率 [h⁻¹]

なお、 k_e 、 k_n は時間 t と濃度 C の対数 (ln) をプロットした時の直線近似

$$\ln C = kt + C_i \quad (C_i \text{ は } t=0 \text{ における切片})$$

の傾き k であり、チャンバー内濃度の測定値を本式に代入して算出する。

4. 試験結果

試験結果をFig.2～4に示す。試験の結果、どの機種においても20分間の運転で95%以上濃度が減衰する結果となった。試験結果から(1)式によりCADRを算出したところ、機器Aで437 m³/h、機器Bで330 m³/h、機器Cで362 m³/hとなり、何れの機種においても、50 nm程度の超微小粒子を高効率で除去する能力があることが明らかとなった。

したがって、今回試験対象とした空気清浄機は、室内の超微粒子汚染対策として有効であることが示された。今回は、除去原理がほぼ同じ機種(フィルタ式)にて検証を行ったが、今後は電気集じん式、イオン式など除去原理が異なる機種の超微粒子除去性能も明らかにしていきたい。

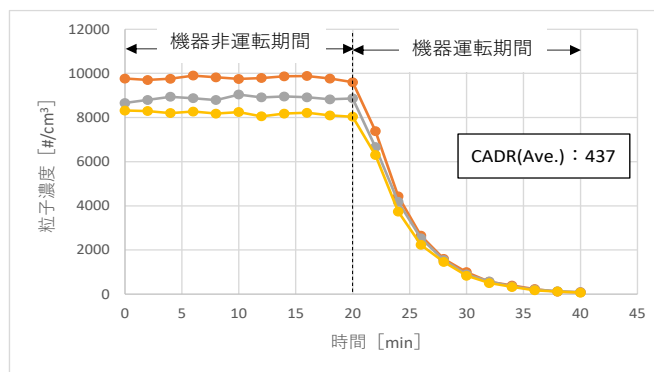


Fig. 2 機器A運転時におけるチャンバー内粒子濃度変化 (n=3)

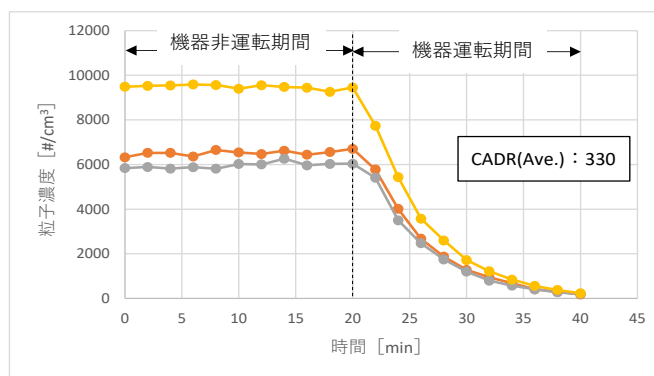


Fig. 3 機器B運転時におけるチャンバー内粒子濃度変化 (n=3)

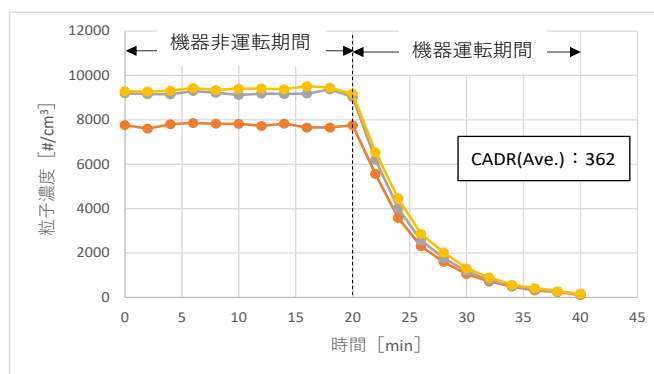


Fig. 4 機器C運転時におけるチャンバー内粒子濃度変化 (n=3)

引用文献

1. 環境省微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書、2008年
2. 野崎淳夫, 飯倉一雄, 大澤元毅, 吉澤 晋: 家庭用空気清浄機のガス状物質除去性能に関する研究(その1), ホルムアルデヒドに対する除去効果, 日本建築学会計画系論文集, No.554, pp.35～40, 2002年
3. 野崎淳夫, 清澤裕美, 吉澤 晋: 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究(その1), 環境タバコ煙に対する除去効果, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 576, pp. 37～42, 2004年
4. 清澤裕美, 野崎淳夫, 吉澤 晋: 家庭用空気清浄機の汚染物質除去性能と室内濃度予測に関する研究(その2), 花粉粒子に対する除去効果, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 586, pp. 29～35, 2005年

3. 試験結果

3.1 真菌濃度の測定結果

空気清浄機運転時におけるチャンバー内の真菌濃度を Table 1、Fig. 2 に示す。

Table 1 空気清浄機運転時のチャンバー内の真菌濃度

時間 [min]	真菌濃度 [CFU/100L]
0	269
3	96
9	15

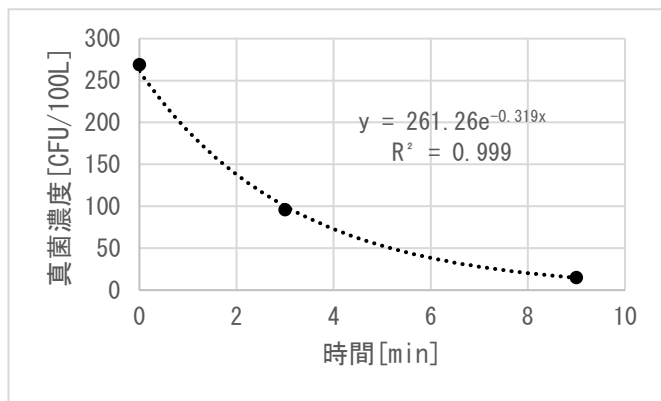


Fig. 2 空気清浄機運転時のチャンバー内真菌濃度変化

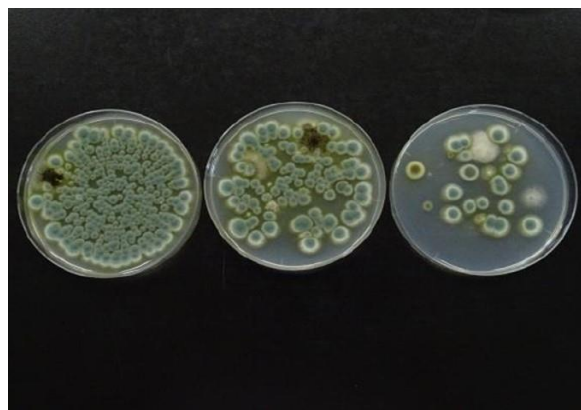


Fig. 3 培養写真 (左から初期、3分後、9分後)

3.2 粒子濃度測定結果

空気清浄機運転時におけるチャンバー内の粒子濃度を Table 2、Fig. 4 に示す。

Table 2 空気清浄機運転時のチャンバー内粒子濃度

時間 [min]	粒子濃度 [mg/m ³]
0	1.35
3	0.473
9	0.069

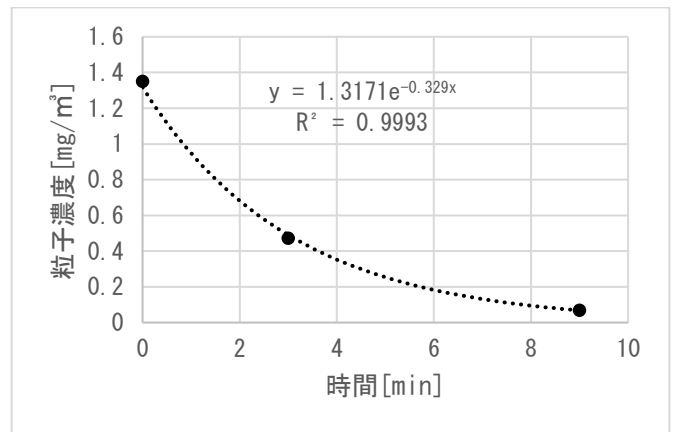


Fig. 4 空気清浄機運転時のチャンバー内粒子濃度変化

空気清浄機の運転開始から9分後には、チャンバー内の真菌濃度は初期から約94%減衰し、本空気清浄機が真菌汚染対策として有効なことが認められた。

同時に測定した粒子濃度と真菌濃度の相関を見ると、両測定から求められた空気清浄機の除去性能(CADR)は、それぞれ592 m³/h、574 m³/hであり、両者の差異は3%程度であった。除去原理がフィルタ式の空気清浄機においては、集じん性能と真菌除去性能の間に相関がある事が示唆される。

謝辞

真菌の同定については、高鳥浩介先生の指導を得た。

引用文献

1. 柳 宇： 空気清浄機試験法・評価法の現状と最新動向 (特集 空気清浄機試験法)掲載誌 空気清浄：コンタミネーションコントロール 53巻、p.4-7、2015
2. 菅原文子, 吉沢 晋：浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究 第5報 空中浮遊粒子濃度と落下量の関係, 日本建築学会計画系論文報告集, 第391号, pp.32-38, 1988
3. 塩津 弥佳, 入江 建久, 吉澤 晋, 池田 耕一：小児アレルギー患者宅における空気環境の実測に基づく空気清浄機器の効果の評価に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, Vol.,65(530), pp. 53-60, 2000
4. 柳 宇他：ナノファイバフィルタとオゾン発生器を備える空気清浄機による菌の捕集と殺菌効果、空機清浄とコンタミネーションコントロール研究大会、2019年4月

市販マスクろ材の花粉捕集効率

東北文化学園大学、暮らしの科学研究所
暮らしの科学研究所

○野崎淳夫
吉田菊躬、橋本岳喜
成田泰章、高橋久美子
野崎淳之

マスク 花粉
捕集効率 花粉症

1.はじめに

花粉症有償者の増加に伴い、花粉症対策として数多くの花粉対策製品が市場展開されている。中でもマスクは、比較的安価で、手軽に行える花粉対策として、広く用いられている。特に近年では、新型コロナウイルス問題の蔓延に伴い、マスクの需要が急増し、従来の不織布マスクだけでなく、様々な素材のマスクが登場している。

マスクの花粉捕集効率については、例えば国民生活センターはマスクろ材の捕集性能について試験評価しており、捕集率が 99.5%以上であったことを報告している¹⁾。一方で、実際のマスク装着時の捕集性能は、ろ材としての捕集性能よりも約 20%低下するケースがあるとの指摘がある。また、奥田らは、花粉対策マスクでは、約 83%の花粉の侵入を阻止していると報告している²⁾。

本研究では、ワンパスろ材試験装置を用いて、素材の異なるマスクろ材の花粉捕集効率を求め、花粉対策としての有効性を検討した。

2. 試験概要

2.1 試験対象検体

本研究では、Table 1 に示す材料の異なる 3 種類のマスクを試験対象とした。

Table 1 試験対象検体

検体 (ろ材)	材料	構造
マスク A	不織布	3 層
マスク B	布	1 層
マスク C	PP	1 層

2.2 試験対象粒子

試験粒子は、スギ花粉の代用として、粒子径の近い石松子を選定した (Table 2)。

Table 2 試験対象粒子

種類	中位径 [μm]	粒子密度	製造者
石松子	30~40	1.05	(一社)日本粉体工業技術協会

2.3 試験装置

試験装置は、暮らしの科学研究所のろ材試験装置を用いた。Fig. 1、Fig. 2 に試験装置の概要を示す。

Fig. 1 試験装置系統図

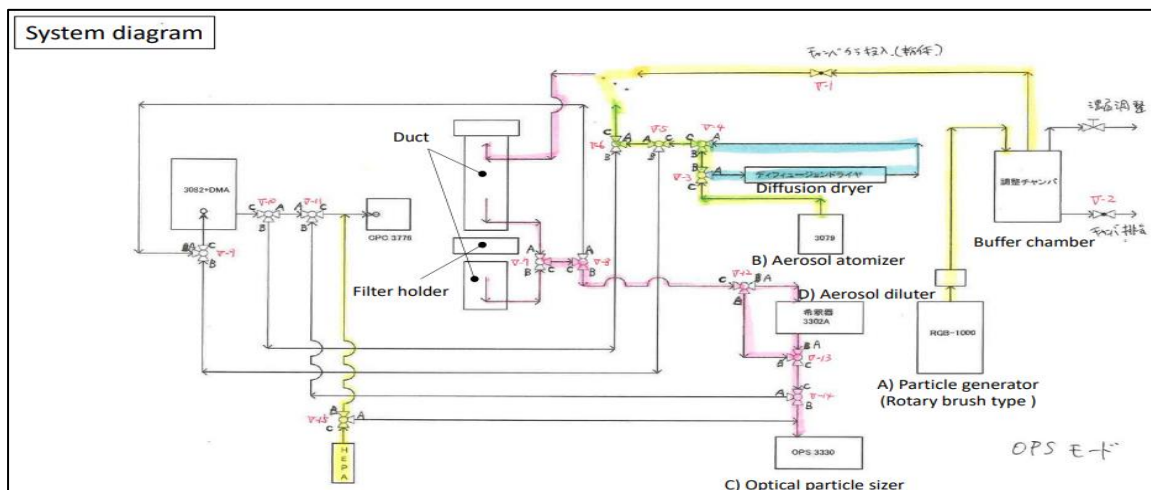


Fig.1 試験装置系統図

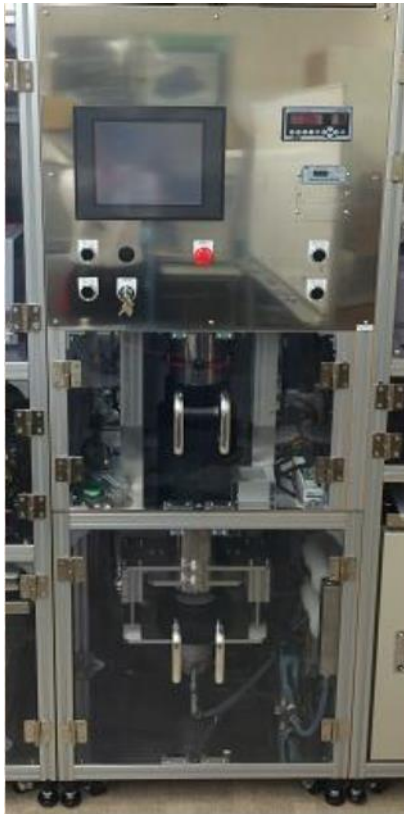


Fig. 2 ろ材試験装置

2.4 粒子発生器

ロータリーブラシ式粒子発生器 (Model : 2000 シリーズ、Palas 社製)

2.5 測定器

電子天秤 (Model : CP225D、Sartorius 社製)

2.6 試験条件

試料面積 : 100 cm²

試験風量 : 58 L/min (面風速 : 9.7 cm/s)

温度 : 23±2 °C

相対湿度 : 40±10 %

n 数 : 3

2.7 試験手順

- 1) 未使用のマスクろ材、バックアップフィルタの重量を電子天秤により測定し、それぞれの重量を求める。
- 2) マスクろ材、バックアップフィルタを試験装置にセットする。
- 3) 所定の試験風量で通気しながらマスクろ材の上流側から試験粒子を一定の速度で供給する。
- 4) 一定量の試験粒子を供給後、試験装置を停止する。
- 5) マスクろ材、バックフィルタを試験装置から取り外し、電子天秤により測定し、それぞれの重量を求める。

3. 試験結果

各マスクの花粉捕集効率測定結果を Table 3 に示す。

Table 3 各マスクろ材の花粉捕集効率

検体 (ろ材)	花粉捕集効率[%]			
	1 回目	2 回目	3 回目	平均
マスク A	99.3	99.4	99.2	99.3
マスク B	89.1	91.3	92.0	90.8
マスク C	98.2	98.6	96.0	97.6

試験の結果、各マスクの平均の花粉捕集効率は、マスク A が 99.3 %、マスク B が 90.8 %、マスク C が 97.6 % であった。布製のマスクである B は、その他のマスクと比較して低い捕集効率となり、捕集性能が多少低いことが確認された。ただし、捕集効率の低いマスクは圧力損失も低い傾向にあり、装着時の呼吸のし易さの面からは優位性がある。

わが国で社会問題化しているスギ花粉の中心径は 30～40 μm であり、今回の試験粒子も同等の粒子径を有するが、既往研究によると、気中を浮遊している花粉粒子の多くが、その粒子径 : 1 μm 以下であるとされており、また、花粉症を引き起こす Cry j 1 量の割合も大きい³⁾。

今回、業会で用いられている試験評価手法を基に試験作業を行ったが、今後は粒子径別の捕集効率を算出したい。とりわけ、大気中に浮遊する花粉粒子とその除去率を明らかにしたい。

引用文献

1. 国民生活センター：たしかな目、第 3 号、p.42、2004 年
2. 奥田稔他：花粉防護器具の有用性、医薬ジャーナル、Vol.37、No.1、pp.493-497、2001 年
3. 王青躍他：スギ花粉飛散期における飛散花粉数およびアレルギー含有微小粒子状物質の高濃度出現の時系列的挙動差異、エアロゾル研究、第 23 号、No.2、pp.120-126、2008 年

複合汚染 石油ストーブからの VOC 発生

東北文化学園大学、暮らしの科学研究所
 東北文化学園大学
 暮らしの科学研究所

○野崎淳夫
 一條佑介、二科妃里
 吉田菊躬

燃焼器具 燃焼排ガス 室内空気汚染物質
 VOC

1.はじめに

室内空気汚染対策を講じる上で、室内汚染物質の実態濃度と汚染物質発生量の把握は、健康影響の解明に必要な医学的知見を得るための資料となるため、非常に重要である。燃焼器具関連の既往研究は、CO や NO₂ を中心としたものが多く、汚染物質のレンジが狭く、報告数が限られている。

さらに、室内空気汚染源となる開放型燃焼器具における NO_x、CO、CO₂、ホルムアルデヒド、VOC などの汚染物質の発生量については、未だ不明な点も多くある。

個人ばく露量の推計や室内空気汚染対策を講ずるには、室内汚染物質濃度の実態把握は非常に重要である。また、実測調査では、汚染物質が器具、あるいは建材や生活用品などに由来するかが判断できないため、チャンバー実験値は重要である。

そこで本研究では、大型チャンバーを用いて、燃焼器具使用時における VOC 濃度について報告する。

2. 燃焼器具使用に伴う室内環境の変化

環境制御型の大型チャンバー（暮らしの科学研究所）を用いて、開放型燃焼器具の使用による温熱環境と空気質環境の変化を求めた。

2.1 燃焼実験

測定対象器具は、量販店で購入した反射式石油ストーブ A、B、石油ファンヒーター A、B の計 4 台である。器具には残留灯油を新品灯油で燃焼・置換し、燃料タンクがほぼ満タンになるように給油した。

反射式石油ストーブ A、B においては、「温度調節つまみ」を適正燃焼範囲の最下限に設定し、石油ファンヒーター A、B では温度設定を 23℃とした。実験室は 6 畳サイズ (25 m³) の気積を有し、温度、相対湿度、換気回数が任意に制御できるステンレス製のチャンバーである。

室内環境条件は、東北地方の住宅における冬季の室内環境に近づくため、換気回数：0.5±0.05 h⁻¹、温度：10±3℃、相対湿度：30±20%に制御し、換気を通して常時清浄空気を供給した。

Fig. 1 に実験システムの概要を示す。

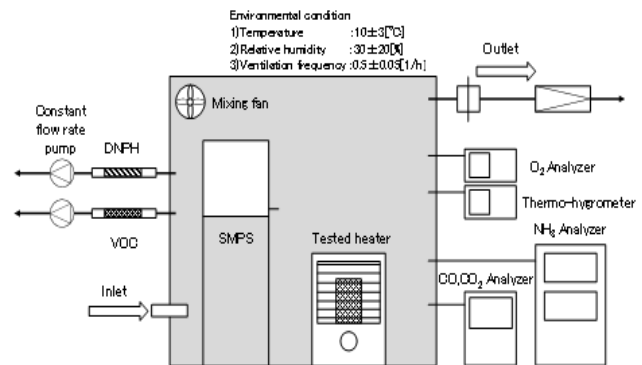


Fig.1 実験システム

2.2 測定項目

本研究では、厚生労働省によって室内濃度指針値が定められた化学物質を含む以下を測定項目とした。1) VOCs 濃度 (50 成分)、2) アルデヒド類濃度、3) 粒子状物質濃度、4) NO_x 濃度、5) 酸素濃度、6) 燃料消費量率

2.3 燃焼消費量率

Table.1 における器具の定格発熱量は器具やカタログに記載されたものであり、実際のものとは必ずしも一致しない。そこで、実際の燃料消費量率 B (kg/h) を求めるために、器具の使用時間 T (h) における燃料消費重量 W (kg) を電子天秤により測定し、次式(1)式にて B (kg/h) を求めた。

$$B(\text{kg/h}) = W/T \dots \dots \dots (1)$$

ここで W : 燃料消費重量(kg)、 T : 器具使用時間(h)である。

Table.2 に示すように、Rad A、B では燃焼消費量率に変化が見られなかったが、Fan A、B においては、0-10 分値が 50-60 分値と比較して、3.88~4.54 倍ほど大きな値を示した。

Table.1 燃焼器具の概要

	Type	Ignition system	Fuel consumption rates [L/h] (Maximum value)
Radiant kerosene heaters A	Wick type	High voltage discharge	0.235
Radiant kerosene heaters B	Wick type	Power generation Type	0.228
Kerosene fan heaters A	Vaporizing type Forced ventilation type Forced convection type	High voltage discharge	0.310
Kerosene fan heaters B	Vaporizing type Forced ventilation type Forced convection type	Continuous discharge	0.311

Table.2 燃焼器具の燃料消費重量 (kg/h)

Fuel consumption rates (kg/h)		0-10 min	10-20 min	20-30 min	30-40 min	40-50 min	50-60 min
Radiant kerosene heaters A	1st	0.166	0.171	0.156	0.161	0.154	0.145
	2nd	0.167	0.170	0.167	0.155	0.150	0.149
	3rd	0.164	0.165	0.159	0.151	0.149	0.147
	Average	0.166	0.169	0.161	0.156	0.151	0.147
	SD	0.001	0.002	0.005	0.004	0.002	0.002
Radiant kerosene heaters B	1st	0.136	0.134	0.138	0.126	0.127	0.130
	2nd	0.135	0.138	0.137	0.129	0.123	0.126
	3rd	0.131	0.129	0.127	0.127	0.129	0.116
	Average	0.134	0.134	0.134	0.128	0.127	0.124
	SD	0.002	0.004	0.005	0.001	0.002	0.006
Kerosene fan heaters A	1st	0.210	0.071	0.066	0.058	0.061	0.054
	2nd	0.200	0.076	0.060	0.060	0.059	0.056
	3rd	0.203	0.092	0.063	0.059	0.062	0.050
	Average	0.204	0.080	0.063	0.059	0.061	0.053
	SD	0.004	0.009	0.002	0.001	0.001	0.002
Kerosene fan heaters B	1st	0.267	0.129	0.064	0.064	0.058	0.059
	2nd	0.259	0.164	0.063	0.067	0.062	0.061
	3rd	0.265	0.208	0.089	0.074	0.061	0.062
	Average	0.264	0.167	0.072	0.069	0.060	0.061
	SD	0.003	0.032	0.012	0.004	0.002	0.001

3. 実験結果

3.1 開放型燃焼器具使用に伴うチャンバー内 TVOC 濃度の経時変化

測定対象とした VOCs (50 物質)のうち、26 物質が測定された。特に顕著な発生上昇がみられた物質は、ノナン、デカン、ウンデカンであった。器具使用に伴う TVOC 濃度の経時変化を Fig. 2 に示す。

TVOC 濃度における測定期間中の最大値は、Rad A の 50 分値において $363 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Rad B は 60 分値において $483 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Fan A は 60 分値において $2933 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Fan B は 60 分値において $2006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

3.2 実測値と室内濃度指針値との比較

1) トルエン :

トルエンの室内濃度指針値は $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。石油ストーブの Rad A は、50 分値において測定期間の最大値を示し、 $17.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。同様に Rad B は、60 分値に $16.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。今回の実測値は室内濃度指針値の範囲内であった。

石油ファンヒーターにおいて Fan A、B (60 分値) では、それぞれ $21.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $30.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、同様に今回の実測値は室内濃度指針値の範囲内であった。

2) キシレン

キシレンの室内濃度指針値は $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、Rad A、B (60 分値) は、それぞれ $4.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $9.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。今回の実測値は室内濃度指針値の範囲内であった。

また、Fan A、B (60 分値) は、それぞれ $29.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $31.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。今回の実測値は室内濃度指針値の範囲内で

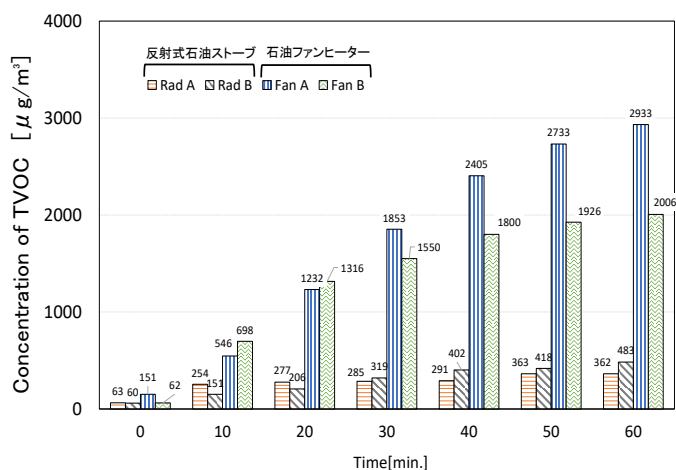


Fig.2 Change of TVOC concentration

あった。

3) エチルベンゼン

エチルベンゼンの室内濃度指針値は $3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、Rad A、B (60 分値) は、それぞれ $3.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $6.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

また、Fan A、B (60 分値) は、それぞれ $18.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $21.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

4) TVOC

TVOC の暫定目標値 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、Rad A は 50 分値において測定期間の最大値を示し、 $363 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また、Rad B は 60 分値に $483 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示し、室内濃度指針値を超過した。

Fan A、B は、60 分値において、それぞれ $2933 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $2006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。なお、Fan A、B ともに 10 分値において室内濃度指針値を超過し、それぞれ $546 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $698 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。

4. まとめ

開放型燃焼器具使用時には、厚生労働省の TVOC 暫定目標値を超過する事例がみられる。石油ストーブと石油ファンヒーターからの発生物質の傾向は、燃焼形式に大きな影響を受ける。

参考文献

- 野崎淳夫、吉澤 晋: 室内酸素濃度の低下が石油ストーブ、ファンヒーターの NOx、CO 発生特性に及ぼす影響(その 2) 日本建築学会計画系論文報告集, No. 429, 17-23 (1991).
- 野崎淳夫、吉澤 晋、池田耕一、入江建久、堀 雅宏: 開放型石油暖房器具の非メタン炭化水素発生特性(Part.1), 日本建築学会計画系論文集, No. 517, 45-51 (1999).
- 野崎淳夫、折笠智昭、吉澤 晋: 開放型石油暖房器具からの VOC 発生, 日本建築学会環境系論文集, No. 591, 31-35 (2005).

室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動

東京工業大学 ○鍵 直樹

ハウスダスト 再飛散 粉じん

はじめに

室内において従来から対象となっていた浮遊粉じんについては、建築物衛生法により粒径 $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子が対象となっている。室内における浮遊粉じんの発生源については、室内に堆積・付着しているものの再飛散、たばこ煙、ガス・石油系燃料の室内燃焼、そして大気への侵入などがある。現在は、空調機に装着されているエアフィルタの高性能化による除じん能力の向上、住宅で使用されている空気清浄機の性能の向上及び室内において分煙、禁煙が進んだことにより粉じんの発生が少なくなり、粉じん濃度が低下の傾向となっている。

一方、ハウスダストについては、一般的にハウスダストアレルギーとの関連から、ダニの中体及びフンなどのアレルギーを中心に、ペット、カビなどアレルギーを指すことが多く、上述の粉じんよりも粒径が大きく、室内の床表面などに堆積した状態にある。堆積したハウスダストが再飛散して再び空間中に浮遊することにより、または直接堆積したハウスダストを摂取することにより、居住者の健康に影響を与える。

そこで本報告では、ハウスダストが空間中に再飛散する現象に注目し、既往研究による評価方法とその挙動に与える環境の影響について概説する。

ハウスダスト再飛散の評価方法

再飛散粒子の評価方法及び指標に関しては、次に示すような様々な方法が提唱されている。

Hambraeus ほか¹⁾によって用いられた Resuspension factor, R (m^{-1})は次の式で表される

$$R = \frac{C_i}{L}$$

ここに

 C_i : 屋内浮遊粒子濃度($\#/\text{m}^3$) L : 表面粒子濃度($\#/\text{m}^2$)

この式においては屋外からの粒子の流入のない、定常状態を仮定している。Hambraeus らは約 $35\ \text{m}^2$ の高さ $3.2\ \text{m}$ 、ビニル床の部屋に *Staphylococcus aureus* を散布し、各行動による Resuspension Factor を算出している。行動は床へのドライヤーの冷風吹き付け(10分)、濡れモップでの掃除(10分)、4名の歩行(30分)を行い、それぞれの R はドライ

ヤーで $1.2 \times 10^{-3}\ \text{m}^{-1}$ 、濡れモップの使用で $2.0 \times 10^{-4}\ \text{m}^{-1}$ 、4名の歩行で $3.5 \times 10^{-3}\ \text{m}^{-1}$ となり、歩行で最も大きな値を示した。しかしこれは室の容積や歩行などを行った面積などが評価されていない。そこで Rosati²⁾らが次に示す Resuspension Emission Factor, E ($\mu\text{g}/\mu\text{g}$)を用いている。

$$E = \frac{VC_i}{AL}$$

ここに

 V : 室容積(m^3) C_i : 屋内浮遊粒子濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$) A : 歩行した面積(m^2) L : 表面粒子濃度($\mu\text{g}/\text{m}^2$)

この式においても外部から粒子の流入のない定常状態を仮定している。Rosati らはカーペットの種類や環境中の湿度・圧力条件を変更して、実験住宅と実験チャンバー内にてカーペット上を歩行する実験を行った。この式は床面の粒子数と空気中の粒子数の比をとっており、実験による値は $5 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-1}\ \mu\text{g}/\mu\text{g}$ 程度の値をとった。

劉ら³⁾は無換気状態で粒子の流入がなく、飛散した粒子が瞬時一様拡散すると仮定し、再飛散量 - 沈降率 = 室内浮遊粒子の変化量とする物質収支式を、

$$Mdt - SVCdt = VdC$$

とし、これを解くことで、

$$M = \frac{SV(C - C_0 e^{-st})}{1 - e^{-st}}$$

として再飛散量 M ($\#/\text{h}$)を算出している。

ここに

 M : 再飛散量($\#/\text{h}$) t : 経過時間(h) S : 沈降率($1/\text{h}$) V : 室容積(m^3) C : 浮遊粒子濃度($\#/\text{m}^3$) C_0 : 歩行開始時の室内浮遊粒子濃度($\#/\text{m}^3$)

劉らは実験室内に粒子を散布した歩行路を設定し、その上を往復した実験においてこの式を用いた。この式においては床の表面濃度や面積を考慮せず、単純に再飛散

4.環境アレルギー対策技術と関連課題

4.6 室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動

した粒子数のみを求めている。

前述の3つが屋外からの粒子の流入のない定常状態を仮定しているのに対し、屋外からの流出も取り込んだ式として、Ferroら⁴⁾は Emission rate, S (mg/h)を用いている。

$$S = V \left(\frac{dC}{dt} + (a + k)C_i - apC_o \right)$$

ここに

V : 室容積(m³)

C_i : 屋内浮遊粒子濃度(mg/m³)

C_o : 屋外浮遊粒子濃度(mg/m³)

t : 経過時間(h)

a : 換気回数(1/h)

k : 沈降率(1/h)

p : 侵入に関する係数(-)

この式においては表面濃度や床面積を必要としない。Ferroら⁴⁾は表面濃度の把握が困難な実住宅においてこの式を用いて再飛散量を算出しており、PM₅粒子について木製の床での2名の歩行時に約1.4 mg/h、乾拭き時に約1.0 mg/h、掃除機の使用時に約0.7 mg/h、1名での歩行時に約0.5 mg/hとなった(図1)。

単位時間当たりの飛散粒子個数を求めようとするものとして Qian⁵⁾らは Resuspension rate coefficient, r (1/h)を使用している。式は以下の通りである。

$$r = \frac{V}{AL} \left(\frac{dC}{dt} + (a + k)C_i - apC_o \right)$$

ここに

V : 室容積(m³)

A : 床面積(m²)

C_i : 屋内浮遊粒子濃度(#/m³)

C_o : 屋外浮遊粒子濃度(#/m³)

t : 経過時間(h)

a : 換気回数(1/h)

k : 沈降率(1/h)

p : 侵入に関する係数(-)

この式はチャンバー内で52名の実験者によって換気方法や床種類を変更しながら34パターンの条件で歩行を行う実験において用いられており、およそ $9.0 \times 10^{-4} \sim 2.9 \times 10^{-2}$ (1/h)の値を示した。

また、歩行一回当たりの飛散量を求めようとしたものに Resuspension fraction, r_a (-)が Tianら⁶⁾によって用いられている。

$$r_a = \frac{V}{fA_aL} \left(\frac{dC}{dt} + (a + k)C_i - apC_o \right)$$

ここに

V : 室容積(m³)

f : ステップ頻度(1/h)

A_a : 足の一步あたりの接触面積

C_i : 屋内浮遊粒子濃度(#/m³)

C_o : 屋外浮遊粒子濃度(#/m³)

t : 経過時間(h)

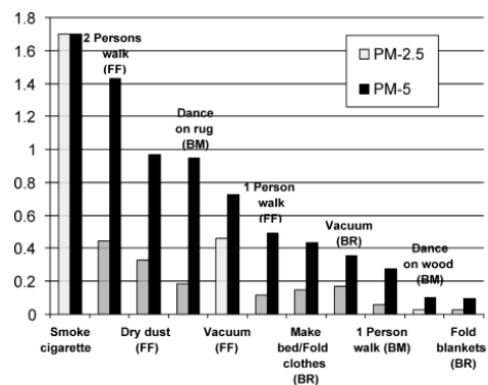
a : 換気回数(1/h)

k : 沈降率(1/h)

p : 侵入に関する係数(-)

これは様々な条件を設定した小さなチャンバー内で機械を用いて靴を上下に動かした実験において使用されており、その値は $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ 程度となった。

このように、再飛散に関する評価には様々な式を用いた方法が提案されているが、そのどれもが動作の継続を前提としており、一步あたりに着目したもののほとんどない。また面積については、再飛散が生じている面積が明らかでないために、床面積や靴裏の面積などを用いている、また個数濃度を用いたものと質量濃度を用いたものがあるが、それらの比較が容易ではない等の課題があり、適切な評価方法を検討する必要がある。



FF: 1階のリビングとダイニング BM: 地下 BR: 1階の寝室

図1 各種行動における Emission rate⁴⁾

粒子再飛散に影響を及ぼす環境要因

床材の違いによる再飛散量の検討は多くの研究においてなされている。劉ら³⁾の研究においては算出された2μm以上のJIS 8種粉体の再飛散量は合成樹脂シートに比べてタイルカーペットで約20倍もの値を示しており、またTianら⁶⁾の研究においては0.4~3.0μmの粒径のアリゾナテストダストにおいてはカーペットとフローリングやビニルの硬質床との間にあまり差は見られなかったが、それ以上の粒径においてはカーペットでより再飛散が起きやすいといった結果が得られた。更に同じカーペット同士でもパイルの種類やパイルの密度によって Resuspension fractionの値が違うことが示された。対して竹内らの研究⁷⁾

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.6 室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動

では、1.7 m 四方の小チャンバー内に花粉を模擬した石松子を散布し、チャンバー内を周回した際にワセリンを塗ったカバーガラスに付着した再飛散粒子をカウントすると、飛散量はフローリング、畳、絨毯の順に多かったと報告している。石松子は粒径が25~40 μmと粗大であり、粒子種や粒径などによっても床材による再飛散のしやすさが異なってくると考えられる。また、床種類による再飛散量の違いは、床面の粗さや床の柔らかさ、床の材料なども原因であると考えられている。

また Rosati ら²⁾や Qian⁵⁾らの研究ではカーペットの新旧による違いも検討され、新旧により再飛散挙動が異なることも示されている(図2)。

表面濃度による影響について、まず表面濃度とは、床材単位面積当たりの粒子の重量を示しており、これによる飛散量の違いについてもいくつか提言されている。劉らの研究³⁾では、0.1, 1.0, 3.0 g/m²となるように JIS 8 種粉体を散布した際には、横軸に表面濃度、縦軸に再飛散量をとると対数グラフ上で直線となったと報告されている(図3)。また Tian ら⁶⁾の研究における2.0と8.0 g/m²のアリゾナテストダストについては、カーペットにおいてはその種類や湿度によらず表面濃度が高くなるほど Resuspension fraction が低いといった結果が報告された。これは、Resuspension fraction は表面濃度で除すことで算出されるが、踏みつけている最中にカーペットに潜り込む粒子が存在し、飛散しえない粒子となることで飛散した粒子量に対して表面濃度がかなり大きくなったために、こうした傾向となったと考察されている。またフローリングにおいては1 μm以上の粒子における Resuspension fraction は全て表面濃度が増えると増えている。こうした表面濃度の増加に伴う飛散量の増加は、表面濃度が低い場合には粒子が単層で床面に対して付着しており、床への付着力が大きいのに対し、表面濃度が高い場合には複層を形成し、粒子同士の付着力が働くことで床への付着力が弱まり、より飛散しやすくなると考えられている。

既往の研究において湿度によっても粒子の再飛散しやすさが大きく異なることが報告されている。Tian ら⁶⁾の研究では、フローリングにおいては相対湿度70%の環境下において40%の時に対して全粒径範囲において大きく Resuspension fraction の値が小さくなり、ビニール床については1~5 μmの粒径範囲においては Resuspension fraction の値が小さくなったものの、それより小さな粒径においては40%時と70%時で大きな違いが見られなかったとしている。また、ループパイルカーペットとパイル密度が低いカーペットにおいては湿度による Resuspension fraction の値に大きな違いがなかったが、パイル密度が高いカーペットでは3~10 μmの粒径において70%時に40%よりも大きな Resuspension fraction の値を得たと報告している(図4)。Rosati らの研究²⁾では20%の低湿環境と80%の高湿環

境における Emission factor は、高湿環境での古いカーペットにおける大きい粒子で大きく減少し、新カーペットにおいては高湿環境で Emission factor が増加したとしている。Qian らの研究⁵⁾においては30%程度と50%程度の相対湿度で Resuspension rate の値に差は見られなかったと報告している(図5)。こうした湿度による再飛散挙動の違いは、高湿であるほど表面張力が大きくなるためと考えられているが、新しいカーペットにおいては湿度が高くなることで、カーペット本来の電荷が中和し、実験中の静電気力が小さくなったためにより飛散が起こったと考察されている。

歩行者の歩き方や歩く速度によっても再飛散量が変わってくる。入江ら⁸⁾の研究では強弱2通りの歩き方によって大幅に再飛散量が異なることが示された。また、Qian らの研究⁵⁾では、歩行者が違う場合に必ずしも歩行速度の増加によって Resuspension rate が増加するわけではないことが示されている(図6)。そのために個々人の靴や歩き方がより大きな要因であるとしている。また、歩行者の体重に関係なく、重く速い歩き方をすることでより再飛散を引き起こすことも示されている。

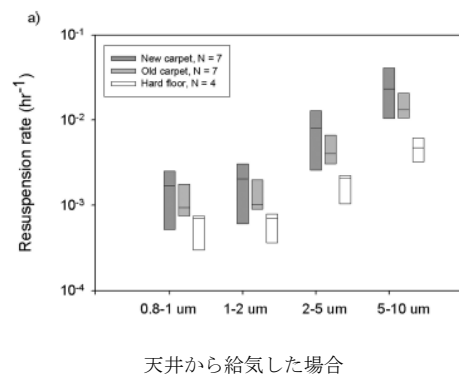


図2 カーペットの新旧による Resuspension rate⁵⁾

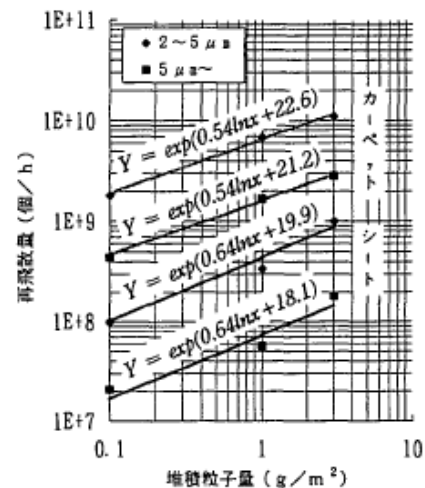
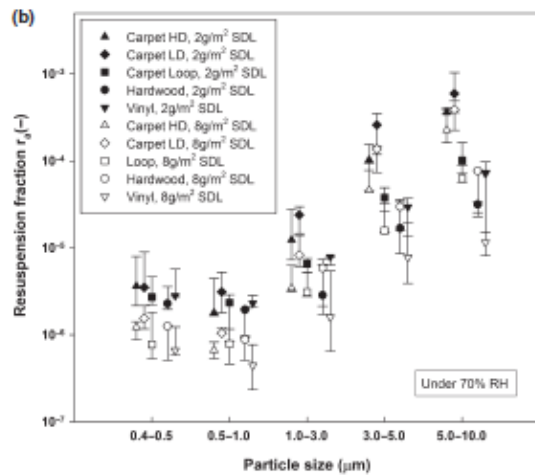
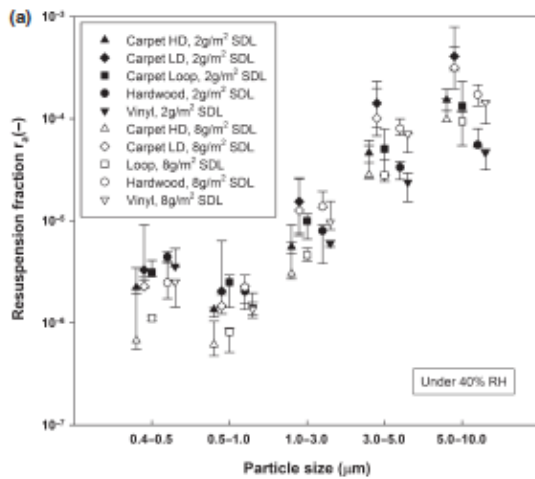


図3 堆積量別再飛散量³⁾

4.環境アレルゲン対策技術と関連課題

4.6 室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動



Carpet HD : パイル密度が大きいカットパイルカーペット
 Carpet LD : パイル密度が小さいカットパイルカーペット
 SDL : 表面濃度

図4 表面濃度別 Resuspension fraction⁶⁾

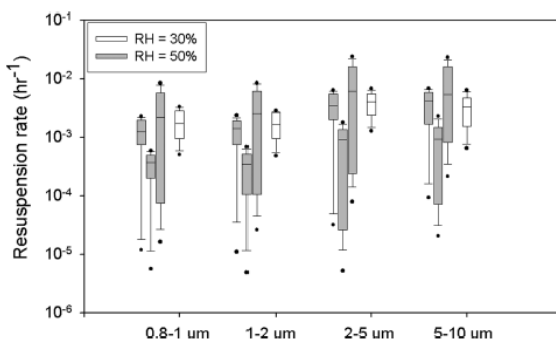
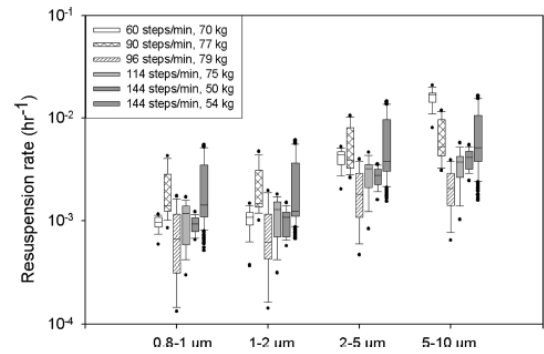


図5 湿度による Resuspension rate⁵⁾



P1 : 55kg, 1.8 歩/s で速く歩行 P2 : 70kg, 1 歩/s でゆっくり歩行

図6 歩行方法による Resuspension rate⁵⁾

おわりに

粒子再飛散現象についての既往研究では様々な評価手法が用いられているが、いずれも本研究のように一回当たりの足裏と床面の接触における再飛散量の評価には適しておらず、一回当たりの足裏と床面の接触における粒子再飛散の評価方法を考える必要がある。また、粒子再飛散挙動は床材、表面濃度、湿度、歩行者等様々な要因によって影響を受けるとされている。

参考文献

1. A. Hámbræus et al. (1978) "Bacterial contamination in a modern operating suite. 3. Importance of floor contamination as a source of airborne bacteria", *Journal of Hygiene*, 80, 169-174.
2. J. A. Rosati et al. (2008) "Resuspension of particulate matter from carpet due to human activity", *Aerosol Science and Technology*, 42, 472-482.
3. 劉瑜ら (1996) 「床吹出しおよび天井吹出し空調方式における床面堆積粒子の再飛散特性」, 日本建築学会計画系論文集, 483 号, 49-54.
4. A. R. Ferro et al. (2004) "Source Strength for Indoor Human Activities that Resuspend Particulate Matter", *Environment Science & Technology*, 38(6), 1759-1764.
5. J. Qian et al. (2008) "Resuspension of Dust Particles in a Chamber and Associated Environmental Factors", *Aerosol Science and Technology*, 42, 566-578.
6. Y. Tian et al. (2014) "A comparative study of walking-induced dust resuspension using a consistent test mechanism", *Indoor Air*, 24 (6), 592-603.
7. 竹内健一郎ら (2008) 「床面に堆積する粉体粒子の再飛散に関する研究(その 1) 床面の被覆が粉体粒子の再飛散に与える影響」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 875-876.
8. 入江建久ら (1967) 「室内再発塵について(その 1 歩行による場合)」, 日本建築学会論文報告集・号外 514
9. J. Qian et al. (2014) "Walking-induced particle resuspension in indoor environments", *Atmospheric Environment*, 89, 464-481.

要約と総括

東北大学

○ 吉野 博

アレルギー 建築環境	健康被害 対策技術	汚染実態 総括
---------------	--------------	------------

1. 委員会の設置目的と本報告書の内容

本分科会は、2018年9月に設置が認められたものである。アレルギー疾患は、有症率が世界的に増加の一途を辿り、その傾向は子どもで顕著である。その背景として、無菌室環境で育つことにより免疫応答が過剰に活性化すること（衛生仮説）の他に、環境中のアレルゲンの増加が指摘されている。そこで、室内環境におけるアレルギー問題を整理し、測定法や環境改善によるアレルギーの防止対策を学際的に検討するために本分科会が設置された。

本報告書は、各委員が専門の立場から最新の知見を持ち寄ってとりまとめられたものである。

緒言では、分科会設置の経緯と環境アレルギー研究の学術的背景が述べられている。学術的背景の中では、アレルギー疾患の増加の原因として、先に述べた二つの要因以外にも、ウイルス感染、栄養欠乏、貧困、粒子状物質、揮発性有機化合物等が影響し、更にはこれらのアレルギー疾患増加の要因が臓器障害、感染症、がん、発達障害等、多くの疾病や障害と関連することが指摘されていると述べ、環境アレルゲンやアレルギー疾患増悪要因を減らすことは、単にアレルギー疾患の予防だけでなく、国民の健康全般の増進に役立つとしている。

2. 環境アレルギー増加の背景と要因

2.1 環境アレルギーによる健康被害と治療

2章では、まず最近の環境アレルギー疾患の動向と題し、花粉、カビ、ダニ、微小粒子状物質の4つのアレルギー疾患要因を取り上げ、健康被害の概要について述べている。花粉についてはスギとハンノキの花粉感作により咳嗽を引き起こし、更には口腔アレルギー症候群を引き起こすこともあると述べている。カビについてはアスペルギルス（麹カビ）を取り上げ、喘息患者においては、それによる感作が呼吸機能低下と関連することが国際的に報告されていたとした。ダニについては、気管支炎喘息、アトピー性皮膚炎等よく知られた健康被害の他に、ダニが開封したお好み焼き粉等に侵入増殖し、それを用いて調理し経口摂取することでアナフィラキシーが誘発された例を報告している。微小粒子状物質については、呼吸機能低下と関連することを述べている。治療について、花粉症に関しては、経口免疫療法と皮下免疫療法があること、真菌アレルギーに対しては、全身性ステロイドや抗真菌薬での治療を行うが、全身性ステロイドの副作用や

抗真菌薬への耐性獲得の問題をはらんでおり、暴露からの回避が重要であり、学際的な取り組みが重要としている。

2.2 喘息と環境因子

喘息の発症・増悪因子に関してレビューしたうえで、喘息の発症に関係する環境因子としては、アレルゲンのみならず、喫煙や大気汚染も重要であること、増悪因子としては室内ダスト中のフタル酸エステル類が関係することを述べている。また、喘息の発症と増悪を防止する上では屋内外の環境を正常に維持管理することが重要であるとし、寝具類、ソファ、ペット類、暖房器具などの使用に関する注意点を示した。

2.3 化学物質の健康影響

化学物質については、次の5つ、即ちホルムアルデヒド、揮発性有機化合物（VOCs）、環境たばこ煙、MVOC、皮膚ガスである。ホルムアルデヒドは建材の接着剤などに使用されシックハウス症候群の原因物質の一つとして考えられた。建築基準法の改正でその使用に関して規制されたため、ホルムアルデヒドによるシックハウス事例は減少しているが、家具などから高い放散量が検出されるので留意する必要があるとした。VOCsは、塗料やその溶剤に由来するトルエンやキシレン、防虫剤・殺虫剤の成分であるp-ジクロロベンゼン、クロルピリホス、ダイザジノン、天然由来のリモネンやピネンなどに分類される。個々の物質は室内濃度指針値以下であってもすべてのVOCsを足し合わせると高濃度になる場合があることから、全揮発性有機化合物（TVOC）濃度を目安として利用することは有用であるとしている。また、香粧品（香料や化粧品の健康影響について議論されているが、その実態解明が必要であること、プラスチックの可塑剤として添加されるフタル酸ジ-2-エチルヘキサン（DEHP）は、経皮暴露、経口暴露が問題であり、コンクリートに含まれる塩基性物質との作用による二次生成物質の健康影響も重要であり、基礎研究の蓄積が必要であることを述べている。環境たばこ煙に関しては、最近の「電子たばこ」、「加熱式たばこ」は、副流煙がないことから「望まない受動喫煙」の防止に寄与する可能性があるが、一部製品の主流煙中には有害化学物質の存在が認められており、種類・量について検証する必要があると述べている。次にMVOCは、カビなどの微生物に由来するVOCsである

が、最近では浸水被害を受けた住宅でも発生し、シックハウス用症状の原因となっている。MVOC はカビを視認できる以前の成長期に増加することから、濃度監視が健康被害の予防に役立つ可能性があるとしている。最後の皮膚ガスについてであるが、嗅覚に到達したときに「体臭」として知覚され、そのガスによって周囲の人たちがアレルギー様症状を起こす現象を PATM (People Allergic To Me) 症候群と呼ぶ。発生メカニズムの解明、拡散濃度の推定により PATM 現象の実態の解明が期待されるとした。

2. 4 衛生仮説とエンドトキシン

児童のアレルギー疾患が近年、増加している原因として衛生仮説が議論されている。衛生仮説は、乳幼児期の汚染因子への暴露により、成長期にアレルギー疾患にかかりにくくなるという説であるが、その原因物質としてエンドトキシンが注目されている。エンドトキシンは、微生物(陰性グラム群生物)の細胞壁成分であり、細胞壁の破壊により放出される物質である。報告では環境中のエンドトキシン濃度について述べられているが、暴露量と免疫調整能力との関係などは今後の課題としている。

2. 5 ウレタン樹脂の健康影響

身の回りの様々な生活用品には、ポリウレタンが使われているが、その樹脂が切断、摩擦、静電気、汗等によって分解しイソシアネートが発生する。アレルギー疾患を有する患者のイソシアネート IgE を調べたところ、陽性者数(0.34以上)が10.9%、0.1以上は17.4%であった。また、アトピー性皮膚炎例で上昇する傾向にあり、重症例で値が高くなったことから、イソシアネートがアトピー性皮膚炎の悪化に関与していることを示唆しているとした。

2. 6 新型コロナウイルス感染症について

新型コロナウイルスは、飛沫によりヒトの鼻粘膜などに付着し感染する。この飛沫感染以外にも、飛沫から水分が蒸発し一部は飛沫核となって空気中を浮遊し、空気感染する。これを避けるためには適度な換気が重要である。

新型コロナウイルス感染が重症化する因子は年齢である。その理由は不明な点が多い。それ以外には、基礎疾患として、がん、慢性腎疾患、慢性閉塞性肺疾患、心臓疾患、等である。気管支喘息は含まれていない。また、遺伝子が関与しており、重症化したヒトとの比較により ABO 血液型を決める遺伝子が異なることが明らかとなった。

最後に、新型コロナウイルスの流行は、多くの人が罹患、もしくはワクチン等による免疫を獲得することによってのみ、終了すると思われると述べている。

3. 環境アレルギー(カビ、ダニ、スギ花粉)の現状と介入調査

3. 1 カビ(真菌)

(1) カビ(真菌)

まず、真菌に関しては、真菌アレルギーの種類について解説し、建築環境における真菌汚染の実態について触れ、例えば住宅では浮遊真菌濃度が 30~2000cfu/m³ であること、一つ以上のアレルギー症状がある子供のいる住宅では、1,000cfu/m³ を超える例が少なくなかったことを示した。また、メタゲノム解析手法が実用化され、真菌アレルギーについても新たな知見が得られることが期待されることを述べている。真菌アレルギーの対策としては、温湿度制御による増殖の抑制、換気と捕集による希釈と除去が重要であることを示した。

(2) カビと住まい

住まいにおける主要なカビと特徴について示し、空中のカビ数は、梅雨時と秋雨時に高くなる二峰性を示すこと、カビ種は乾湿の影響を受けること、カビ分布とカビ数は住まい方や構造に依存することを述べた。また、アレルギーと関わるカビの特徴として、カビ種、カビ形態、カビ量、生死細胞などがあるが、これらのアレルギーへの影響に関しては今後の研究が必要であることを指摘した。

3. 2 住宅のダンプネスと浮遊真菌濃度並びに温湿度

湿度が高く結露・カビが発生していることをダンプネスと呼ぶが、そのダンプネスの程度と居住者の健康との関連に関する調査報告である。

児童にアレルギー症状がみられる世帯(ケース群)と症状が見られない世帯(コントロール群)それぞれ5世帯を対象として浮遊真菌濃度を1年間測定した結果、ケース群では絶対湿度が高く、浮遊真菌濃度も高いことを明らかにしている。また、119件を対象とした室内温湿度の測定からは、ダンプネスのランクが高いほど団らん時の居間と寝室の相対湿度が高いことを述べている。

3. 3 東日本の住宅60軒の室内におけるMVOC類濃度とダンプネス指標

インターネットアンケート調査対象者から東日本で子供のいる世帯60軒を選び調査した結果、ダンプネス指標がランク1から4へと重篤になるほど、MVOCの多くの物質で濃度が高くなっていったこと、カビが目視された居間では、酢酸イソブチル、2-メチル-1-ブタノール、3-メチル-1-ブタノールの濃度が、カビが目視されなかった居間よりも有意に高かったことなどを報告している。

3. 4 室内環境ダニアレルギーの実態と環境整備による防除

ダニに関しては、まず、ダニアレルギーに対する特異的抗体を用いることによって、ダニ主要アレルギー量を免疫学的に測定することが可能になったことを述べてい

る。この方法を用いて、住宅における様々な状況において測定を行った結果、Der 1 と Der 2 のアレルゲン量は、床よりも布団に多いこと、布団の上げ下ろし時における空気中のアレルゲン量は、居間よりも 1,000 倍であったこと、新しい布団を使用すると睡眠中の空気中アレルゲンは顕著に減少したことなどを示した。また、携帯用個人サンプラーを用いて 5 日間測定したところ、新しい布団に変えることにより空気中のアレルゲン量の大幅な減少が再確認されたことを述べている。次に毛布のダニアレルゲン防除に関しては、大型家庭用洗濯機による丸洗いの方が、ドライクリーニングよりも効果的であること、抗ダニ布団は、普通の布団に比べて空気中アレルゲン量や布団中のダニ数が大幅に少ないことなどを示した。最後に対策を検討する上で空気中アレルゲンの粒子径やその減衰を知ることが重要であることから、その測定結果を示した。

3. 5 ネコ飼育住居の壁面付着ネコアレルゲン調査

ペットアレルゲン防除の観点から、ペットアレルゲンの発生源である飼育ペットに対する対策と共に、室内のアレルゲン量とその分布を把握することは重要である。ネコアレルゲンは粒径が小さく沈降しにくいことから、築後 9 年、ネコ飼育歴 9 年の 2 階建て戸建て住宅において床面と同時に壁面に付着したネコアレルゲンを測定した。その結果、リビングルーム、ダイニングルームを含む壁 16 面のすべてで Fel d 1 が検出され、リビングルームでは 86.8~914.8ng/filter の値であったこと、床面のネコアレルゲン量が多い部屋では、壁面拭取ネコアレルゲン量も多い傾向であったことを明らかにした。従って、壁面のアレルゲン量に対策の上で注意する必要があることを述べている。

3. 6 東日本大震災被害者の環境アレルギーの実態と対策

(1) 小児アレルギー疾患に対する環境整備介入効果の検証

石巻市の小学校 2 年生 1109 名を対象とした調査では、寝具の Der1 量が神奈川県成人喘息患者のそれよりも 8 倍高い値を示しており、震災後の住環境変化が間接的に影響を及ぼしていることを述べた。また、防ダニシートを使用し、保護者を対象として環境整備指導を行った 17 名の寝具の Der1 の値が指導前後で有意に減少し、アレルギー疾患の症状も改善したが、指導しなかった 17 名の寝具 Der1 には有意差が無かったことを示し、環境整備介入の効果を検証している。

(2) 住環境変化と高齢者のダニアレルゲン感作

石巻市の応急仮設住宅に在住歴のある高齢者 (166 から 371 名で検査年によって異なる) を対象に 2014 年 6 月から 2019 年 7 月まで検診を実施し、血清中コナヒョウヒダニ・

アスペルギルス特異性 IgE 抗体価を測定した。その結果、6 年間の喘息有病率は 21.6~28.0%、喘息と診断した住民のダニ特異的 IgE 抗体の陽性率は 2014 年 36.0%、2019 年 48.3%であり、仮設住宅の入居期間と正の相関が認められたことを示した。また、3 年間以上の経過を追跡できた 202 名を対象として IgE 抗体価とダニアレルゲン Der1 を測定した結果、一度は喘息と診断された 72 名のうち、最終診断が非喘息と分類された群では、発症後に環境整備を励行することにより、寝具 Der1 量が減少し、IgE 抗体価が低下する症例が見られたことを報告している。

3. 7 小児アレルギー患者宅における環境整備によるダニ回避と症状改善効果

埼玉県内に居住する小児アレルギー患者家庭 16 家屋を対象に、ダニ回避のための 4 つの寝具対策をそれぞれ 4 家庭で実施し、介入前、介入 4 か月後、介入後 1 年後に、ダニアレルゲン等の調査と改善状況のアンケート調査を実施した。その結果、介入後では採集塵、ダニ数、ダニアレルゲン量 (Der1) が減少していること、4 つの寝具対策で比較すると、「炭入りスノコマット+新布団」(A グループ) と「高密度繊維防ダニ布団カバー」(B グループ) の家庭では、集塵量とダニアレルゲン量が介入後に著しく減少し、「布団のクリーニング丸洗い」(C グループ) と「寝具専用掃除機で週一回除塵」(D グループ) の家庭では、その傾向は見られなかったことを報告している。

また、アレルギー症状については、1 年後に全体の 50% 以上で改善されたこと、グループ別では、A グループでは 4 患者すべてが顕著な改善を示したが、その他のグループでは改善を示したものが 1 名、ほぼ改善されたものが 1 名であったことを報告している。

3. 8 各種の住宅におけるダニ・カビ等の調査

(1) 仮設住宅における真菌と温熱環境

福島県南相馬市の応急仮設住宅 34 軒の室内において、冬季 (2012 年 1 月)、夏季 (2012 年 7 月下旬、2014 年 9 月上旬) に、浮遊真菌濃度などを測定した結果、室内浮遊真菌の平均濃度は、2012 年冬・2012 年夏・2014 年夏に 1200・1700・2100 CFU/m³ で、1,000 CFU/m³ (日本建築学会規準) を超過した住宅の割合は、47%、71%、63%となっていた。19 軒の室内における温熱環境に関するアンケート調査によれば、室温に問題がないという回答だった住宅は、冬は 50%、夏は 80%だったのに対し、室内の湿度に問題がないという回答だった住宅は、冬は 20%、夏は 90%であった。室温測定からも裏づけられた。

(2) 震災後避難していた住宅における室内真菌濃度

居住制限区域内にあった福島県南相馬市の住宅 6 軒において浮遊真菌濃度とハウスダスト中の真菌濃度を測定した結果、夏季・冬季共に、震災後の帰宅頻度が多い住宅ほど室内の真菌濃度が低かったこと、数軒で発がん性の

オクラトキシンを産生する *Aspergillus section Circumdati* (*Aspergillus ochraceus*)が検出されたことを報告している。

(3) 福島の帰宅困難地域における住宅室内のハウスダスト中のダニ・カビ・エンドトキシンに関する研究

24 軒の住宅のほとんどで、*Aspergillus penicillioides*, *Aspergillus section Restricti*, *Cladosporium spp.*, *Penicillium spp.*, *Wallemia sebi* が検出され、濃度は低いものの、68%の住宅で発がん性のオクラトキシンを産生する可能性のある *Aspergillus ochraceus* も検出されたこと、ダニアレルゲンは排泄物由来 (Der 1)・虫体由来 (Der 2) 共に 20-63 μm の粒子で最も高かったこと、エンドトキシンはダスト粒径が大きくなるほど濃度も高くなっており、大きなダスト粒子には植物・動物など有機物の欠片が多く、付着する細菌が多いことが原因の可能性のあることなどを報告している。

3. 9 スギ花粉の実態と対処法

スギ花粉に関しては、まず花粉の計測方法として、花粉の捕集方法、定量法について述べた後、室内の花粉量の測定結果が紹介され、床面の落下量は、多い順に①常時開放している場所、②窓際、③それ以外の室内内部、の三つの場所に分けられること、窓際での落下量は、屋外の 1/10、室内内部は約 1/100 であることを示した。次に室内で干した寝具の表面の付着量は、採取した粉塵のアレルゲン量を花粉粒子に換算した結果、1cm² 当たり平均 0.6 個、最大 1.6 個であったこと、寝具を 5 回叩いて花粉を落した場合には、4 割から 5 割に減少したこと、寝具の付着量は屋外濃度との相関係数が 0.7 と高いことを述べた。更に、布製品の洗濯物を干した場合、屋内で干した場合には屋外よりも 1/10 程度減少できること、表面がツルツルした化学繊維の衣類であれば、1/5 に抑えることが可能であることを示した。

次に家庭用空気清浄機の除去性能に関する実験の概要が紹介され、結果として、ある機種は 30 分後に初期濃度に比べて花粉濃度が 6%以下まで低下し、微小粒子 (0.3~0.5 μm) に対して有効な機種も確認されたが、機種による差が大きいことが明らかになったことを述べている。最後に掃除機による清掃の効果について実験結果を示し、カーペットに掃除機をかけた場合、1 回目の集塵量率は約 60%であり、5 回吸引後も約 25~30%、粉塵が残留すること、畳の場合には 1 回目で集塵量率が約 90%、三回目で 96%であったことを示した。

4. 環境アレルゲン対策技術と関連課題

4. 1 住宅の空気質維持のための換気対策

まずシックハウスに関する研究の経緯について触れており、シックハウス対策の基本は、化学物質の発生量抑制と換気希釈であり、省エネルギーと室内環境の快適性の向上のために気密化が進められたこと等から、建築基

準法では常時機械換気が規定されたことを述べている。

機械換気設備の運転時には隙間通気性状が空気質に及ぼす影響が大きいことから、詳細な実験や数値計算を実施し、例えば、内外差圧によって壁体内から居室への侵入量は左右されるが、在来木造軸組構法では、縦の経路が顕著で、第 3 種換気の場合には、床下から外壁及び天井裏を介して 2 階の居室に侵入する経路が顕著であり、壁体内のホルムアルデヒドなどの汚染物質が入り込むことを明らかにした。

また、化学物質の使用抑制に伴うカビ数の増加を念頭に置き、バスユニットを含む構造モデルの床下空間でカビ胞子を発生させ、第 3 種換気時のカビの室内への侵入率を測定した結果、室内減圧によって室内に侵入することを明らかにした。

4. 2 アレルギー対策のための全空調館住宅の評価

アレルギー対策を目的として開発された空気清浄機能を搭載した全館空調住宅を対象に、詳細な測定を 2017 年 5 月~6 月に実施したところ、空気清浄機の通過後の場所における浮遊微粒子濃度が、清掃後はゼロであることを確認している。また、同様の住宅 33 世帯を対象として、アレルギー症状との関連を調査したところ、転居後 7 か月以上経過した時点では、浮遊微粒子濃度、浮遊真菌濃度、ダニアレルゲン量がいずれも転居前に比べて有意に低下したこと、アレルギー症状を示す活性化 CD4+T 細胞比率も有意に低下し、改善されたことを報告している。

4. 3 空気清浄機の除去性能

(1) 超微小粒子 (UFPs)

市販の HEPA 又は準 HEPA フィルターを搭載した空気清浄機 3 台を対象として、大型ステンレスチャンバーを用いて塩化カリウムを試験粒子により性能評価を行ったところ、どの機種においても 20 分間の運転で 95%以上、濃度が減衰したことを示し、50nm 程度の超微小粒子を高効率で除去する能力があることを明らかにしている。

(2) 真菌

市販の準 HEPA フィルターを搭載した空気清浄機を対象とし、アオカビを使って、大型ステンレスチャンバーの中で除去性能を試験している。その結果、空気清浄機の運転開始から 9 分後には、チャンバー内の真菌濃度は初期から約 94 %減衰し、本空気清浄機が真菌汚染対策として有効なことが認められた。同時に測定した粒子濃度とは強い相関のあることも判明した。

4. 4 市販マスクろ材の花粉捕集効果

不織布、布、PP(ポリプロピレン)を材料とする 3 種類の市販マスクの花粉対策としての有効性について、暮らしの化学研究所の試験装置も使い、石松子 (30~40 μm) を試験対象粒子として使い試験した。その結果、3 回の試験の平均捕集効率は、99.3%、90.8%、97.6%であることを明

5.要約と総括

らかにした。

4. 5 石油ストーブからの VOC 発生

家庭用暖房器具である反射式石油ストーブ2台、石油ファンヒーター2台を対象として、実験用大型チャンバーを用い実居住状態を想定した条件のもとに室内 VOC 濃度を測定した。その結果、1時間の使用時間の範囲では、トルエン、キシレン、エチルベンゼンの濃度は、室内濃度指針よりも小さな値を示した。しかしながら、TVC 濃度については、2台の石油ファンヒーター共に、指針値を大幅に超過した。その中でノナン、デカン、ウンデカン濃度の上昇がみられた。

4. 6 室内環境におけるハウスダストの再飛散に関する挙動

ハウスダストの再飛散に関する評価方法に関する報告である。ハウスダストは床に堆積した状態から、歩行などの刺激によって舞い上がり、健康被害につながる事が懸念される。再飛散は、床材、表面濃度、湿度、歩行速度などによって影響を受けることから、いくつかの予測法が提案されているが、まだ十分ではない。今後は、一回当たりの足裏と床面の接触による再飛散の精度の高い予測法の開発が必要であるとしている。

5. 総括

本報告書は、環境との関わりにおけるアレルギー疾患の実態、その原因、対策等に関して、これまでの研究に基づいて、それぞれの専門の立場から論述したものである。

アレルギーの原因となる環境的要因として、ここでは、カビ、ダニ、花粉、揮発性有機化合物、環境タバコ煙などが取り上げられ、実態や健康被害に関して解説されている。カビに関連して、カビ種、カビ形態、カビ量、生死細胞などとアレルギーに関しては今後の研究が必要であるとされた。また、化粧品健康への実態解明、フタル酸ジ-2-エチルヘキサンのコンクリートに含まれる塩基性物質との作用による二次生成物質の健康影響についての基礎研究が必要である。

近年、注目すべき物質としては、皮膚ガス、衛生仮説に関連するといわれているエンドトキシン、ポリウレタンに含まれるイソシアネートが取り上げられ、その現状や健康影響が議論された。皮膚ガスについては、発生のメカニズム、エンドトキシンについては暴露量と免疫調整能力との関係が今後の課題であると述べられている。

アレルギー疾患を防除する方策については具体例が示され、カビについては、温湿度制御による増殖の制御、換気と捕集による希釈と除去が重要であることが述べられた。換気については、壁体内のホルムアルデヒドや床下のカビが壁体の隙間を経由し室内に侵入する可能性に

ついて言及している。

ダニについては、防ダニ布団、シーツ・カバー、炭入りスノコマット等の有効性が綿密な調査によって明らかにされている。関連してハウスダストの再飛散については、精度の高い予測法の開発が必要であると指摘された。

花粉については、寝具の叩きの効果や表面がツルツルした化学繊維の衣類では付着が少ないこと、家庭用空気清浄機や掃除機による清掃の効果について明らかにされている。

喘息を防止する上では、アレルゲンのみならず、喫煙や大気汚染も重要であり、室内ダスト中のフタル酸エステル類も関係すること、寝具類、ソファ、ペット類、暖房器具などの使用に関する注意点が示された。関連して、石油ファンヒーターは燃焼時に室内の TVOC が指針値を大幅に上回ることが報告されている。

アレルギー対策用の空気清浄機能を設置した全館空調住宅での調査では、アレルギー症状が有意に低下したことが報告されている。また、HEPA フィルターを搭載した空気清浄機の試験結果から、超微小粒子やカビの除去に効果のあることが報告されている。

その他、東日本大震災に関連して、応急仮設住宅、居住制限区域の住宅、帰宅困難地域における住宅の室内でのカビ・ダニ等の詳細な調査結果も報告されている。

以上、課題はまだまだあるものの、実証的な研究からは多くの貴重な知見が得られてきており、それらの知見に関しては、学会の提言としてとりまとめ、アレルギー疾患の環境的な対策として一般に公開することが望まれる。また、今後の課題についても明確にして、分科会内部でプロジェクトチームを作って対応することなどが期待される。