

**総説** シンポジウム 3**室内環境中におけるダニアレルゲン対策**阪口 雅弘<sup>1)</sup> 白井 秀治<sup>2)</sup>

- 1) 麻布大学獣医学部微生物第1研究室
- 2) 東京アレルギー・呼吸器疾患研究所

**Countermeasures against mite allergens  
in indoor environment**Masahiro Sakaguchi<sup>1)</sup>, Hideharu Shirai<sup>2)</sup>

- 1) School of Veterinary Medicine, Azabu University
- 2) Tokyo Allergy and Respiratory Disease Research Institute

**要約**

世界中の多くの地域においてダニ、動物、および真菌は屋内環境において最も重要なアレルゲンである。特にダニアレルゲンは喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎などのアレルギー疾患の発症と強く関連しており、これまでに家内塵中のダニアレルゲン評価や回避に関する研究が多く報告されている。本研究では空中のダニアレルゲンへの曝露の程度を評価するために、アレルゲン特異抗体を用いた免疫測定法によって室内環境における主要なダニアレルゲンを測定した。さらに空中ダニアレルゲン量は微量なので、高感度の免疫測定法によって定量した。これらの結果から睡眠時において寝具からのダニアレルゲンへの曝露量が高いことが分かった。寝具はダニアレルゲンの主要な曝露源であることが推測された。また、古い寝具を新しいアレルゲンの存在しない寝具と交換した時に、空中のダニアレルゲン量が低下することも分かった。ダニアレルゲンに汚染されていない新しい寝具を使用することが室内環境中のダニアレルゲンに対する対策として有効であると思われる。

(臨床環境 24 : 22-28, 2015)

---

**《キーワード》** アレルゲン、ダニ、室内、空中

---

**Abstract**

In most areas of the world, house dust mites, animals and funguses are the most important sources of allergens in the indoor environment. Especially mite allergens are strongly associated with asthma, perennial rhinitis, and atopic dermatitis. There have been many studies of house-dust mite allergen control and avoidance. To evaluate the extent of exposure to airborne mite allergens, we measured

受付：平成27年5月25日 採用：平成27年8月21日

別刷請求宛先：阪口雅弘

〒229-5201 神奈川県相模原市中央区淵野辺1-17-71 麻布大学獣医学部獣医学科微生物学第1研究室

Reprint Requests to Masahiro Sakaguchi, Department of Veterinary Microbiology, School of Veterinary Medicine, Azabu University, 1-17-71 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa, 252-5201 Japan.

major mite allergens in indoor environments with immunoassay using allergen-specific antibodies. The levels of mite allergens trapped by the sampler were measured with a highly sensitive immunoassay. We found heavy exposure to mite allergens from bedding during sleeping. Bedding is likely one of the major reservoirs of mite allergens. When the used bedding was replaced with new allergen-free bedding, we detected a decrease in the airborne allergen levels. The use of new bedding seems to be an effective countermeasure against airborne mite allergen exposure.

(Jpn J Clin Ecol 24 : 22 – 28, 2015)

《Key words》Allergen, mite, indoor, airborne

## 1. はじめに

室内の環境アレルギーに対する対策として家庭内環境整備を行い、アレルギー曝露を軽減することにより、アレルギーの予防や治療が行われてきた。同時に家庭内のアレルギー量の測定を行うことで、患者が受ける曝露量を評価することができ、環境整備指導の指標に用いている。たとえば、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室内塵中のダニ数を、顕微鏡下で数えるという方法が以前から行われてきた。しかしながら、近年、ダニの主要アレルギーが精製され、そのアレルギー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、ダニ主要アレルギー量を免疫学的に定量することが可能になった。すなわち、実際にアレルギーを引き起こす環境中アレルギーをタンパクの絶対量として表わすことが可能になった。この免疫学的手法を用いたアレルギーの定量法は、国際的標準法として定着してきた<sup>1)</sup>。空気中の浮遊粒子が不定形で、従来の方法において測定できなかったダニ以外のアレルギーも、この免疫学的方法で測定ができるようになった。

## 2. 環境アレルギーの種類

表1に環境アレルギーを分類してみた。環境アレルギーの1つとして室内アレルギーがある。室内アレルギーには生物由来のダニ、ペット、カビ等と、化学物質であるホルマリン、トルエン等がある。環境アレルギーにおいて室外で最も重要なものは花粉である。花粉に関してもいくつかの測定法があり、スギ花粉飛散シーズン中に、飛散花粉量に関してテレビやインターネットで見ら

表1 主な環境アレルギー

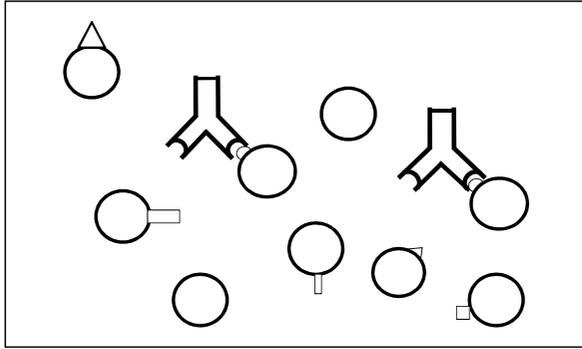
室内	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物 (ダニ、ペット、カビ等)</li> <li>・化学物質 (ホルマリン、トルエン等)</li> </ul>
室外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・花粉 (スギ・イネ科・ブタクサ等)</li> </ul>
食物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・卵、牛乳、肉等</li> </ul>

れる情報は多い。また、食物アレルギーも1つの環境アレルギーとして考えられる。近年、加工食品に7種類のアレルギーの表示義務が課されるようになって、食物中のアレルギーの定量法も開発されてきた。

## 3. 室内アレルギーの測定原理と利点

特定のアレルギー (蛋白) を認識する抗体を用いて、そのアレルギー量を測定することが免疫学的定量法である。特定のアレルギーを認識する抗体はそのアレルギーのみ結合する。そのため、無数に存在するアレルギーの中で、その抗体が結合するアレルギーだけ認識することが可能になる (図1)。

この免疫測定法は従来のダニ数を数える方法に比べ、次のような長所を持っている (表2)。(1) 空気中のアレルギー量が測定可能になった。ダニ自身が空気中を浮遊しているわけでないので、従来の方法では空気中のダニアレルギー量を測定することはできなかった。(2) 存在するアレルギーの絶対量 (タンパク量) を正しく評価することができる。ダニアレルギーはダニの虫体より、むしろ



**図1 アレルゲンとそのアレルゲンに対する抗体の反応**

特定のアレルゲンに対する抗体はそのアレルゲン  
だけと結合する

**表2 抗体を用いた免疫測定法の**

- 
- (1) 空気中のアレルゲン量が測定可能
  - (2) 存在するアレルゲンをタンパク量として評価
  - (3) 簡便に再現性よくアレルゲン量が測定
  - (4) 同じ抗体やアレルゲンを用いることにより、測定法の標準化
- 

ろダニの糞に多いため、従来法では正確にアレルゲン量を測定することができなかった。(3) 簡便に再現性よくアレルゲン量が測定できるようになった。顕微鏡下でダニを数える方法は、かなりの熟練と時間が必要であった。(4) 同じ抗体や標準抗原を用いることにより、測定法の標準化が容易になった。

上記のような利点を持つため、このような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た<sup>1)</sup>。特に空気中の浮遊粒子が不定形で、従来の方法において測定できなかったダニ以外のアレルゲン（たとえば、ゴキブリやネコ、イヌ等のペットなど）も、この免疫学的方法で測定ができるようになった<sup>2)</sup>。

#### 4. 環境中からのアレルゲンの回収法

アレルゲンの測定を行う場合、測定を行いたい場所からサンプルを回収し、アレルゲンを抽出、測定する必要がある。サンプルの収集は、床であれば、掃除機を用いてハウスダスト（室内塵）を回収する。そして、空中に浮遊しているアレルゲンであればエアースAMPLERを用いて空気中のア



**図2 空気中からアレルゲンを回収するエアースAMPLER**

A : 低騒音携帯エアースAMPLER、B : 一般家庭でも安全に使用できるエアースAMPLER

レルゲンを回収して、そのサンプルからアレルゲンを抽出する<sup>3)</sup>。

空中浮遊塵からの測定試料の回収方法について下記に説明する。室内での空気アレルゲン粒子の回収は低騒音携帯エアースAMPLER（KI-636、ダイレック社、日本）（図2A,B）を用いた<sup>3)</sup>。人が家庭内で生活している中でサンプリングを行うため、低騒音サンプラーが必要となる。これは国立環境研究所が室内の浮遊粉塵を回収するために開発されたもので安全性にも十分配慮されている。このサンプラー内のフィルター上に空中アレルゲン粒子を捕集した後、このフィルターを抽出液に浸し、アレルゲンを抽出し、測定試料とした（図3）。その試料中のダニアレルゲンの定量は免疫学的測定法を用いて行った。

#### 5. 免疫学的測定方法

アレルゲンの測定法には ELISA 法がある。ELISA 法とは、酵素免疫測定法 (ELISA:

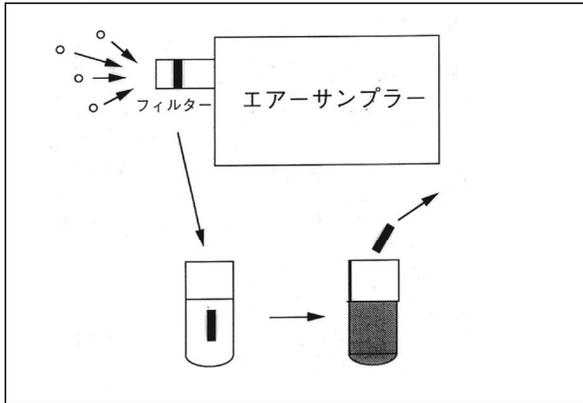


図3 空中アレルギー粒子の回収

エア-サンプラーのフィルター上に空中アレルギーが収集され、そのフィルター上のアレルギーは溶液中に抽出される。

Enzyme-linked Immunosorbent assay) のことであり、上述したアレルギーに対する抗体を用いた測定法である。アレルギーと結合する抗体を酵素で標識する。アレルギーと結合後に基質を反応させることにより、基質を発色させる。現在は色々な種類の微量蛋白の定量法として広く用いられている。既知の濃度の標準アレルギーによる発色(吸光度)をもとに検量線を作製することで、試料中のアレルギー濃度を定量することが可能となる。

ELISA法の中で抗原に対して2つの抗体を用いる方法をサンドイッチELISA法と呼び、サンプルにおけるアレルギー濃度の定量に用いられる(図4)。2つの抗体によってサンドイッチのように抗原を両側から挟みこむことから、この名前が付けられた。このELISA法によるアレルギーの

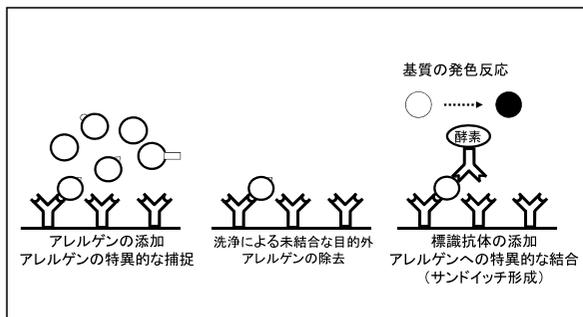


図4 サンドイッチELISAの原理

異なるエピトープを認識する2種類の抗体を用いたサンドイッチELISAの原理

定量は、再現性が高い方法である。大量の試料中のアレルギー測定も容易であることから、国際的にも標準法として定着している。また、高感度な測定が可能である蛍光法ELISAも開発され、空中浮遊アレルギー濃度の測定<sup>4)</sup>や皮膚表面や鼻腔内アレルギー濃度の測定などの曝露量評価に用いられる。

## 6. 室内環境中のアレルギー評価

上述した環境中のアレルギーの測定法を用いることにより、室内環境アレルギーが測定可能になった。室内環境改善の評価のためのダニアレルギー量の評価について紹介したい。

### 6-1 環境におけるダニアレルギー

ダニの主要アレルギーとして、ヒョウヒダニ(*Dermatophagoides*属)からDer 1とDer 2が分離され、主に解析されている。また、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可能となっている<sup>4)</sup>。実用的にはDer 1アレルギーだけを測定し、ダニアレルギー汚染度の指標としている。

また、アレルギー量の臨床的指標として環境中のダニアレルギー量の測定とアレルギー発症の閾値が研究されている。すなわち、アレルギーの危険因子として室内塵中のダニアレルギー量の基準が設定されている<sup>1)</sup>。人においては室内塵1g中Der 1が2μg以上でダニアレルギー感作の危険性があり、10μgを超えると喘息発作を誘発する危険性があるとされている(表3)。

表3 喘息の危険因子としてのダニアレルギー量

室内塵1グラム	
あたりのDer 1量	
2μg	感作の閾値
10μg	喘息発作誘発の閾値

6-2 家庭環境における空气中アレルゲン量の評価

ダニアレルゲンの場合、寝具が高濃度に汚染されていることが、国内外の疫学調査で明らかにされている。図5は一般家庭内の床および布団ゴミ中のダニ主要アレルゲン量を比較したものである。主要アレルゲンである Der 1, Der 2 のアレルゲンレベルにおいて布団のダニアレルゲンは、床面よりも高濃度であることが分かる<sup>3)</sup>。その他にベッド周り、敷物や布製のインテリア用品にも高濃度のダニアレルゲン汚染が認められることが多い。

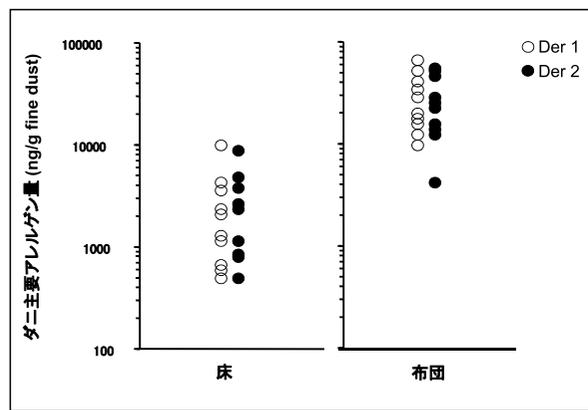


図5 床および布団ゴミ中のダニ主要アレルゲン量

Der 1, Der 2はダニ主要アレルゲンを表す。

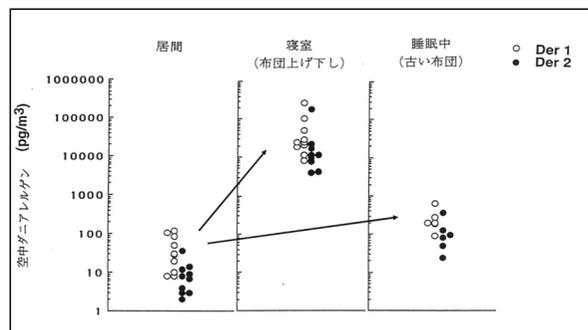


図6 各条件における下における空中ダニ主要アレルゲン量

居間における空中ダニアレルゲン量	1
布団の上げ下ろし	1000
睡眠中	10
布団を新しくすると睡眠中のアレルゲン量は減少	

図7 ダニアレルゲンの曝露状態

著者らは寝具中にダニアレルゲン量が多いことに注目し、家庭内での人の生活の行動をダニのアレルゲンの曝露状態から次の3つに分けた<sup>3)</sup>。(1) 居間での生活、(2) 布団の上げ下し中、(3) 睡眠中。それぞれの条件下において空气中のダニ主要アレルゲン (Der 1および Der 2) 量をエアースンプラーで採取した。

図6は各条件下での空气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/m<sup>3</sup>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/m<sup>3</sup>であった。さらに睡眠中の Der1と Der 2の空气中のアレルゲン量は、それぞれ 223と87.0 pg/m<sup>3</sup>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時、布団の上げ下げ時における空中アレルゲン量は約1,000 倍、また、睡眠中

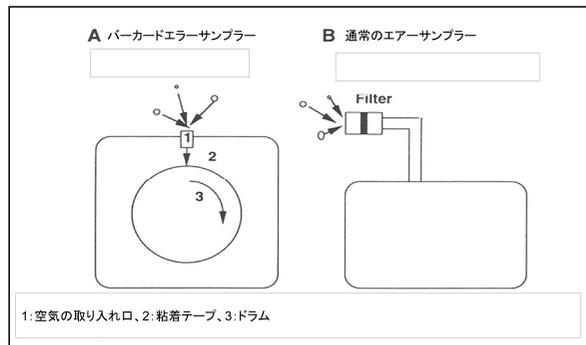


図8 バーカードエーラーサンプラーの仕組み

A: バーカードエーラー、B: サンプラー通常のエアースンプラー

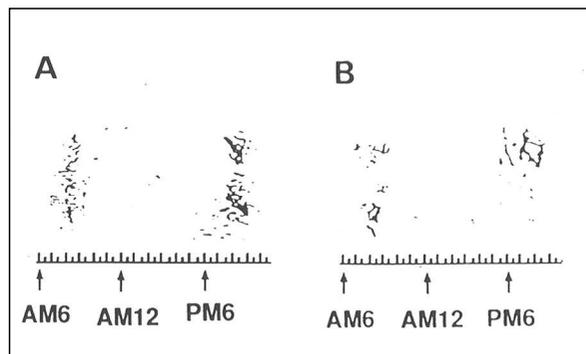


図9 空中ダニアレルゲンの経時的変化

は約10倍となった(図7)<sup>5)</sup>。この研究によって寝具由来のダニアレルゲンが多いことが分かった。

### 6-3 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、バーカード(Burkard) サンプラー(図8)とイムノプロット法を用いて、室内空中ダニアレルゲンの評価を行った<sup>6)</sup>。すなわち、空中ダニアレルゲン粒子をバーカードサンプラーのドラムに貼付した粘着テープ上に経時的に捕捉して、それをニトロセルロース膜に移したのち、抗ダニアレルゲン抗体で染色(イムノプロット法)して、ダニアレルゲン粒子を点として表した(図9)。本研究ではこの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通常の生活において発生ダニアレルゲンをスポットとして目に見える方法で測定した(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でのダニアレルゲンの飛散は、朝や夜の布団の上げ下ろしの時に著明に認められたが、それ以外の時はほとんど認められなかった(図9)。この様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。

## 7. 環境アレルゲンへの対策

### 7-1 室内環境改善としてのダニアレルゲン対策

ダニアレルギー対策として積極的な室内環境改善(ダニアレルゲンの回避)はアレルギー症状軽減に効果があると報告されている。海外でもダニアレルギー対策として室内環境改善が行われている。ただし、室内環境改善が成功して大幅に室内アレルゲンが低下したときに患者の症状も改善する傾向にある<sup>7,9)</sup>。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と考え、網羅的なダニアレルゲン対策より、重点的に布団のアレルゲン管理を実施することが効果的な対策と思われる。

### 7-2 個人におけるダニアレルゲン曝露量の評価

家庭内におけるダニアレルゲンの個人の曝露量を測定することが、携帯用小型サンプラーを使用

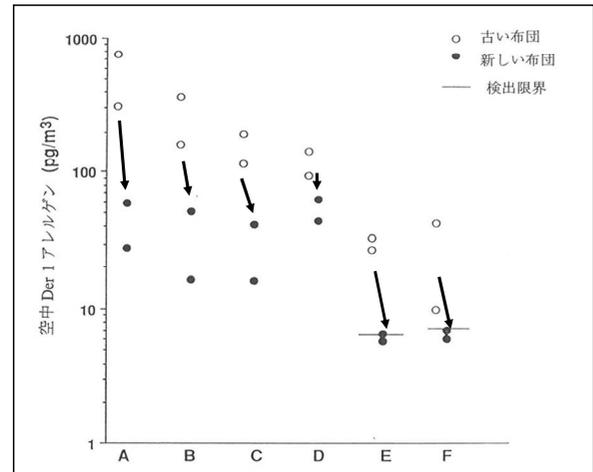


図10 布団を新しくすることによるダニアレルゲン曝露量の減少効果

することにより初めて可能になった。そこで布団を新しいものに変えた時の個人のダニアレルゲン曝露量の変化を、この測定法を用いて調べた<sup>10)</sup>。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回行った。この2回の測定値の平均を曝露量とした。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10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時の2回の測定の平均空中ダニ主要アレルゲン量は、30~485 pg/m<sup>3</sup>(幾何平均 102 pg/m<sup>3</sup>)であった。次に古い布団から新しい布団に変えると、空气中ダニアレルゲン量は全例で低下し、2回の測定の平均アレルゲン量は6.0~52 pg/m<sup>3</sup>であった(幾何平均 20 pg/m<sup>3</sup>)。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曝露量を、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。

## 8. おわりに

アレルゲンの定量による環境中のアレルゲンの評価について述べてきた。現在ではダニ以外の色々なアレルゲンが同定され、それらに対する抗体が作製され、それを用いて多くの室内環境中の

アレルゲン量の測定が可能になった。筆者らの研究室でもネコ、イヌ、ゴキブリ、実験動物（マウス）などの多くの主要アレルゲンも測定できるようになった。今後、ダニアレルゲン同様にこれらの測定法を用いることにより、多くの室内環境中のアレルゲンの情報が得られるものと思われる。

#### 謝辞

資料を提供して頂いた独立行政法人相模原病院安枝浩先生に深謝いたします。本研究の一部は日本私立学校振興・共済事業団の私学助成および麻布大学研究推進・支援本部補助金の助成を受けたものである。

#### 文献

- 1) Platts-Mills TA, Vervloet D, et al. Indoor allergens and asthma: report of the Third International Workshop. *J Allergy Clin Immunol* 100: S2-24, 1997
- 2) Sakaguchi M, Inouye S, et al. Airborne cat (Fel d I), dog (Can f I), and mite (Der I and Der II) allergen levels in the homes of Japan. *J Allergy Clin Immunol* 92: 797-802, 1993
- 3) Sakaguchi M, Inouye S, et al. Measurement of allergens associated with dust mite allergy. II. Concentrations of airborne mite allergens (Der I and Der II) in the house. *Int Arch Allergy Appl Immunol* 90: 190-193, 1989
- 4) Yasueda H, Mita H, et al. Measurement of allergens associated with dust mite allergy. I. Development of sensitive radioimmunoassays for the two groups of Dermatophagoides mite allergens, Der I and Der II. *Int Arch Allergy Appl Immunol* 90:182-189, 1989
- 5) Sakaguchi M, Inouye S, et al. Concentration of airborne mite allergens (Der I and Der II) during sleep. *Allergy* 47: 55-57, 1992
- 6) Sakaguchi M, Inouye S, et al. Immunoblotting of mite aeroallergens collected with an indoor Burkard sampler. *Int J Aerobiol* 11: 265-268, 1995
- 7) Woodcock A, Forster L, et al. Control of exposure to mite allergen and allergen-impermeable bed covers for adults with asthma. *N Engl J Med* 349: 225-236, 2003
- 8) Terreehorst I, Hak E, et al. Evaluation of impermeable covers for bedding in patients with allergic rhinitis. *N Engl J Med* 349: 237-246, 2003
- 9) Halken S, Høst A, et al. Effect of mattress and pillow encasings on children with asthma and house dust mite allergy. *J Allergy Clin Immunol* 111:169-176, 2003
- 10) Sakaguchi M, Inouye S, et al. Measurement of airborne mite allergen exposure in individual subjects. *J Allergy Clin Immunol* 97: 1040-1044, 1996