

スギ花粉による室内空気汚染

—その1：スギ花粉の室内再飛散および実測粒径と空気力学径について—

大橋 えり*

大岡 龍三**

Indoor Air-Pollution by Japanese Cedar Pollen

— Part 1: Indoor Re-Dispersion, Real Particle Diameter and Aerodynamic Diameter —

Eri OHASHI* and Ryozo OOKA**

(Received February 28, 2001)

In this paper the behavior of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen particles was investigated. Followings were clarified.

- 1) the diameter of the Japanese cedar pollen particle was $29.9 \mu\text{m}$ in average,
 - 2) the weight of a single pollen particle was $1.89 \times 10^{-9} \text{g}$,
 - 3) the density of a single pollen particle was calculated as 0.135g/cm^3 ,
 - 4) the terminal velocity of the pollen was calculated as 0.365cm/s according to the Stokes equation.
- The aerodynamic diameter of this terminal velocity was equal to the particle diameter of $10.98 \mu\text{m}$ (particle density is assumed as 1g/cm^3), which is one third of the actual pollen diameter.

Key Words : Cedar pollen, Density of Cedar Pollen, Aerodynamic Diameter of Cedar Pollen

1. 緒言

近年、春先のスギ花粉の飛散時期になると目や鼻の異常を訴える、いわゆる花粉症の患者の増加が社会問題となり、新聞には花粉飛散の開始時期や飛散量予測の記事が掲載されるなど、その予防・対策には多くの関心が寄せられている。

空中スギ花粉については、従来より調査研究⁽¹⁾がなされてきており、疫学（医学）の分野では花粉症予防の点から発症要因に関する研究や、原因物質である花粉の飛散予測に関する研究が行われ、花粉症の有効初期治療に向けた検討がなされている。また、植物学の分野ではスギ花粉の動態について、飛散の状況や飛散

変動パターンなどを知るための実測がなされてきている。室内と室外における花粉量の比較調査もあるが、野外における実測調査がほとんどである。建築の分野では、これまでに室内、室外の同時測定から室内侵入率や粒径分布に関する研究⁽²⁾や、人や物に付着して室内へ持ち込まれる搬入花粉に関する研究⁽³⁾もなされてきているが、室内に持ち込まれた花粉についてその後の動きをとらえた資料は少ない。

室内環境汚染制御の面から花粉症予防の有効な対策を考えると、まず室内濃度に影響を及ぼす花粉粒子の動き（粒度分布、沈積量、再飛散など）を把握することが重要である。

ここでは、従来の「スギ花粉」に関する調査・研究がほとんど実測データであることを考え、次の段階として、実験室内で本物のスギ花粉を（試験粉体として）散布し、塵埃粒子のように床堆積状態から空中への巻き上げの影響を調べるための試行実験を行った。さらに、「スギ花粉」は自然界では飛散時期が限られているため、年間を通じて今後実験室実験を行うに当たり、花粉について形態的大小や重量などを計測し、花粉

*大学院工学研究科システム設計工学専攻

**工学部建築建設工学科

*System Design Engineering Course, Graduate School of Engineering

**Faculty of Engineering, School of Architecture and Civil Engineering

採取後、保存が長くなった場合の変化についても調べることが目的としている。

2. 予備実験

2.1 実験概要

2.1.1 測定日時

測定は、2000年の7月4日および8月11日に行った。

2.1.2 実験状況

図1に示す測定対象室内（天井高：250 cm、床面：250 cm×235 cm）に扇風機と換気扇で空気を攪拌しながらスギ花粉を約5g散布した後、扇風機と換気扇を止め、室内を閉鎖状態で1昼夜放置し、花粉を床面に自然に沈積させた。このとき沈積量把握のために、室内にワセリン塗布のカバーガラスを置いた。表1に各測定日の歩行前の床面堆積花粉量を示す。

花粉散布の約24時間後に、室内に1人が入り、15～20分間室内をくまなく歩行し、床面堆積花粉の空気中への巻き上げを試みた。

使用花粉は2000年4月16日に採取し、冷蔵保存中のものである。

測定中の室内平均温湿度は7月4日（29℃—71%）、8月11日（30℃—65%）であり、室換気回数は、CO2濃度減衰法により1.8回/hであった。

2.1.3 測定方法

実験室内スギ花粉の測定には、ワセリンを塗布したスライドガラスを用い、落下法（24時間暴露）にて行った。歩行開始と同時に測定を始め、測定位置は、室内2箇所において床面から高さ別に3～4カ所設けた。落下法は気流の影響を受けやすく定量的な値としてはとらえにくいと言われ、その信頼性に関する評価もさまざまであるが、以前に行った実測調査の経験⁽⁴⁾から、

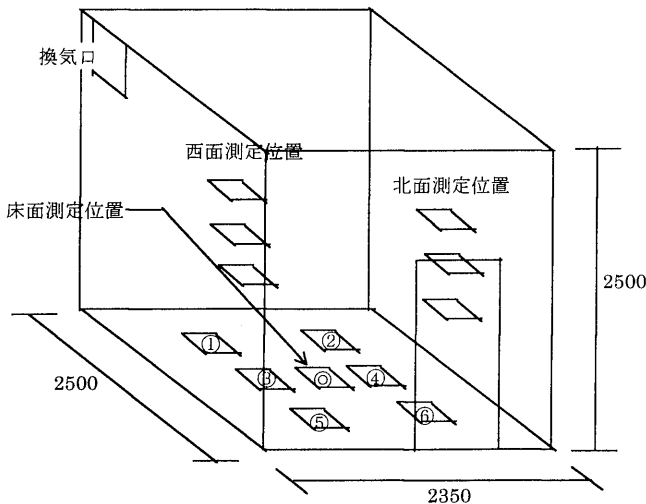


図1 測定対象室と測定位置

表1 床面堆積花粉量

	7月4日	8月11日
①	105	257
②	157	188
③	—	376
④	96	191
⑤	170	175
⑥	172	186
	平均 140(個/cm ²)	平均 229(個/cm ²)

現場に見合った測定間隔や暴露時間などを考慮したり、他の測定器との併用によっては、有効かつ簡便な方法となりうるものであるといえる。

空気中濃度の参考値としてアンダーセンサンプラーの使用も一部で試みた。

2.1.4 計数

スライドガラス上に捕集したスギ花粉はゲンチアナ紫を加えたグリセリンゼリーにて染色し、カバーガラス（18 mm×24 mm）で封じ、カバーガラス面積あたりの花粉の数を顕微鏡にて計測した。

2.2 結果および考察

図2～4に室内高さ別花粉落下量を示す。図2は7月4日の測定結果であり、図3と図4は8月11日の測定結果である。歩行という室内活動によって床面に堆積していた花粉が人間の呼吸域高さである150cm近傍まで巻き上げられ、床面に近いほどその落下量が多くなる傾向がうかがえる。

また表.1から、7月測定、8月測定ともに同じ花粉量5gを散布しているにもかかわらず、床面堆積量には違いがみられ、8月測定は7月測定の約1.6倍になっている。図2と図3、図4の花粉落下量を比較しても同様で、8月測定の方が多くなっている。これは7月測

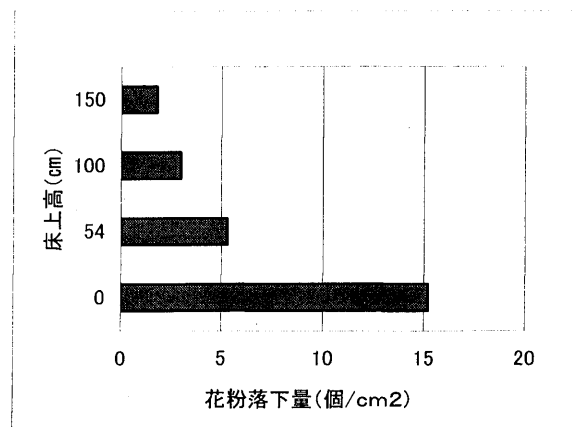


図2 歩行後の花粉落下量(北面) 2000.7/4

定の後の掃除不十分により、8月測定の際の床面堆積量が多くなったためと思われる、床面堆積量が室内濃度に影響を及ぼしている結果と言えよう。

また、8月測定では落下法と同時にアンダーセンサーも用いてみた。その結果、歩行中の室内浮遊花粉濃度は2.5個/m³であった。

3. 試験粉体としてのスギ花粉

3.1 概要

スギ花粉は飛散時期が限られているので、年間を通じた実験室実験には花粉の保存が必要となる。

ここでは、2000年4月採取の「スギ花粉」を試験粉体と位置づけ、「冷蔵保存」に伴う状態変化の観察・把握を目的としている。

3.2 計測方法

スギ花粉は、レーザー走査顕微鏡により単体粒子のサイズを計測し、さらに花粉粒子の粒の揃い具合を確認した。

次に、100 ccの水に0.1 gの花粉を溶かし、血球計算器（トーマ：ヘモサイトメーター）を用いて単位溶液あたりの個数を計数し、花粉粒子1個の重量を計算した。なお0.1 gの花粉秤量にはエー・アンド・デイ製の電子天秤（最小表示0.001 g）を使用した。

3.3 結果

花粉は、本来は均一な粒径を持っているはずであるが、今回の約7ヶ月間にわたり冷蔵保存したものは形態的に変形したものも見受けられる。写真1にその全体像を示す（写真2は採取直後のスギ花粉粒子・2001年採取）。ここで、ほぼ球形と見なされる粒子（91個）について顕微鏡計測を行った結果、直径の平均値は29.9 μmとなった。スギ花粉の大きさは一般的に直径30 μm前後と言われているので、これは妥当な値であるといえる。

血球計算器を用いて花粉1個の重量を計算した結果は平均1.89×10⁻⁹gとなった。文献によれば、1gあたり花粉粒数は10億個といわれ⁽⁶⁾、これは1個あたり1×10⁻⁹gに相当することになり、オーダー的にはほぼ妥当な値である。

以上の計測値から、今回の保存スギ花粉は

体積 : 13.98×10⁻⁹ cm³

密度 : 0.135 g/cm³

の粒子であることがわかる。

さらに落下粒子に関し、終端速度V_tは、以下のストークスの式⁽⁶⁾

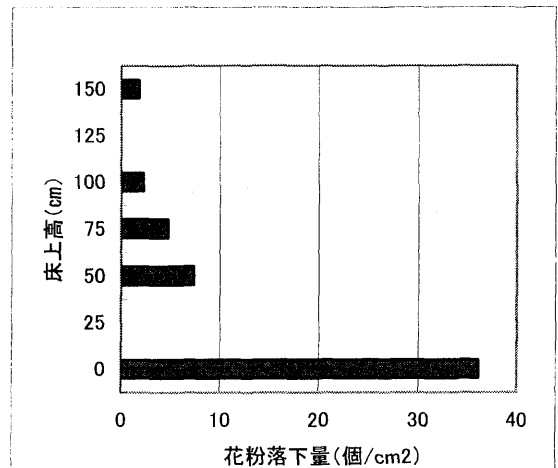


図3 歩行後の花粉落下量(西面) 2000 8/11

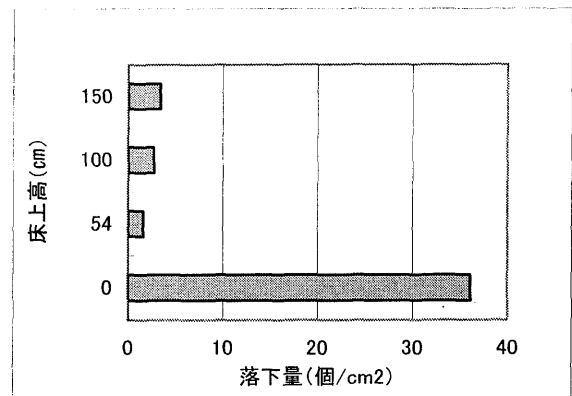


図4 歩行後の花粉落下量(北面) 2000 8/11

$$V_t = \rho g d^2 / 18 \mu \quad (1)$$

ここで、

V_t : 粒子の終端速度 (cm/s)、 ρ : 粒子の密度 (g/cm³)、
g : 重力加速度 (cm/s²)、d : 粒子の直径 (cm)、
 μ : 空気の粘性係数 (1.8×10⁻⁴ g/cm·s)

で表されるので、スギ花粉粒子について求めると
V_t=0.365 cm/s となった。

3.4 スギ花粉粒子の空気力学径

従来より室内空気の粒状物質汚染について、その浮遊量と落下量に関する理論式が出されている⁽⁷⁾。一般的に環境空気中の浮遊エアロゾル粒子の密度は不明であるので、これら理論式や前述のストークス式(1)を用いる際は、通常、粒子密度 $\rho=1$ (g/cm³)との仮定を行う。ここから導き出された粒子直径(d)は「空気力学径」といわれるものである。

今回、スギ花粉粒子を実際に計測した値を使用してその密度を計算した結果、 $\rho=0.135$ となり、仮定の値 $\rho=1$ に比べて非常に小さい値となった。スギは風媒花である。その花粉が大気中を遠く飛散するように作ら

れている事を考えれば、形態的な大きさに比べて密度が小さくなっているのは当然のことである。通常、浮遊粒子の理論・解析には空気力学径を使用する事が多いので、前述のストークスの式(1)から、終端速度 $V_t=0.365\text{cm/s}$ を持ち、密度 $\rho=1(\text{g/cm}^3)$ (仮定値)の粒子の空気力学径を逆算すると、粒子直径は $10.98\ \mu\text{m}$ となった。実際の花粉粒子の直径が約 $30\ \mu\text{m}$ であるのに対し、空気力学径ではその $1/3$ の値をとることになる。今後の課題としてこの実測値と空気力学径との違いについて、アンダーセンサンプラーを用いて粒径分布をとらえた測定により検討を加える予定である。

4. まとめ

最近、社会的に大きな関心事となっているスギ花粉について、環境汚染制御の立場から、実験室内で花粉を散布し、室内濃度形成にいたる粒子の挙動解明に向けた試みを行った。

花粉症の原因となる「スギ花粉」を実験室内に散布し床面に堆積させた後、歩行という室内活動によって再飛散をさせると、床面に近いほど花粉落下量は多くなる傾向がうかがえる。

「スギ花粉粒子」について、実際に計測・計算した結果、次のことが言える。

- ・スギ花粉粒子の直径(実測値)は $29.9\ \mu\text{m}$ となった。
- ・スギ花粉粒子1個の重さは $1.89 \times 10^{-9}\ \text{g}$ であった。
- ・スギ花粉粒子1個の密度を実測値から計算すると $0.135\ \text{g/cm}^3$ になる。
- ・スギ花粉粒子の実測値から、ストークスの式を用いて粒子終端速度を計算すると $0.365\ \text{cm/s}$ であった。この終端速度 ($0.365\ \text{cm/s}$) を持つ粒子の空気力学径(粒子密度を 1g/cm^3 と仮定)は、粒子直径が 10.98

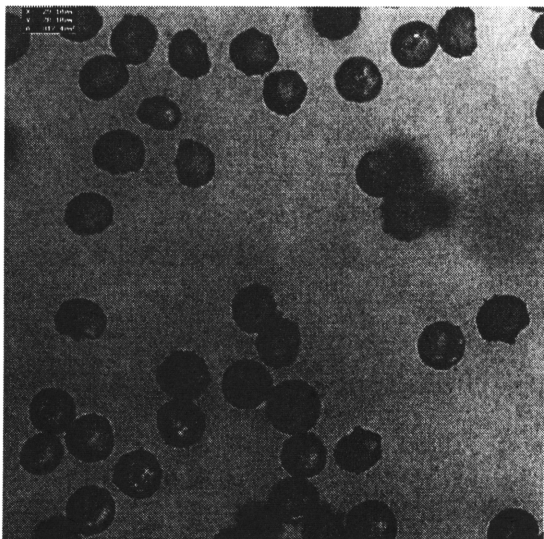


写真1 スギ花粉粒子(冷蔵保存)

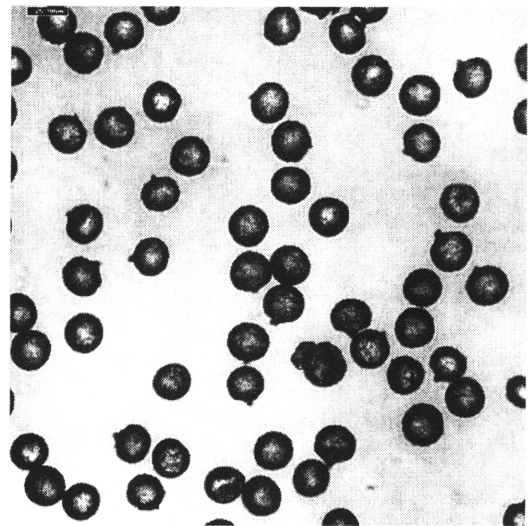


写真2 スギ花粉粒子(採取直後)

μm となり、実際の花粉直径の $1/3$ の大きさに相当することがわかった。

謝 辞

測定を行うにあたり、レーザー走査顕微鏡の使用をはじめ、種々のご便宜・ご助言を頂いた福井大学教育地域学部の前田榎夫教授ならびに測定法、解析に関しご助言を頂いた愛知淑徳大学現代社会学部の吉沢晋教授に深甚なる謝意を表す。

文 献

- [1] 大橋えり、他：空気調和・衛生工学会講演論文集 517-520 (2000)
- [2] 菅原文子、他：日本建築学会計画系論文報告集、第515号、75-81 (1999)
- [3] 清澤裕美、他：日本建築学会大会梗概集、801-802 (2000)
- [4] 本田えり、他：日本建築学会大会梗概集、33-34 (1970)
- [5] 古越隆信：アレルギーの臨床 7(3), 30-34 (1987)
- [6] ウィリアムCハインズ著、早川一也訳：エアロゾルテクノロジー、井上書院 (1985)
- [7] 吉沢晋、他：日本建築学会計画系論文報告集、第391号、32-38 (1988)