

# 室内における浮遊粉じんの質量濃度と個数濃度の関係性に関する研究

建設工学専攻(修士課程)  
建築環境工学研究

506052 ねもとともゆき  
根本智之  
指導教員 西村直也

## 1. 背景と目的

我が国の室内環境管理基準として「建築物における室内環境の衛生的環境の確保に関する法律(通称、建築物衛生法)」(1970年施行)があるが、同法では空気環境に関して7項目についての基準値が設けられている。この中で浮遊粉じんは、 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子(PM10)の質量濃度により管理基準が定められている。

しかし、近年の疫学調査によって $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子(PM2.5)がより健康に影響していることが明らかにされている。さらに粒子の挙動や人体影響、発生源等は粒径によって大きく異なるため、単に質量濃度の把握だけでは不十分であり、これらの基礎となる粒径、存在個数、密度等に関する知見が不可欠である。

現行で使用されている質量濃度の測定器は、その原理から粒径毎やその時系列変化の測定が不可能である。一方、近年開発された測定器を用いることでナノオーダーの粒子からの個数濃度の測定が可能となり、理論上の粒子の質量や体積、表面積を求めることが可能となった。

そこで本研究では、建築物衛生法の対象であり実際に使用されている事務所ビル等において浮遊粉じんの実測調査を行い、その現状把握を行うと共に、質量濃度と個数濃度の関係性を把握することを目的とする。

## 2. 調査概要

本研究では、建築物衛生法の対象であり、実際に使用されている主に事務所ビル16箇所にて計17回の実測調査を行った(表1参照)。測定時間は、通常の業務が行われている時間帯のうち、8時間以上とした。

測定器については、質量濃度は現行の標準測定法であるローボリュームエアサンプラー(LV)に加えてシウタスインプクター(PCIS、建物A-2、Pのみ実施)を、粒径別個数濃度については $10\text{nm}$ 以上の粒子を対象としたワイドレンジスペクトロメーター(WPS)と $0.3\mu\text{m}$ 以上を対象としたレーザーパーティクルカウンター(LPC)を使用した。また建物概要等に関する聞き取り調査を合わせて行った(表2参照)。

## 3. 測定結果

### 3.1 浮遊粉じん測定結果

建築物衛生法において、質量濃度の管理基準は $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 以下と定められているが、標準測定法であるLVの測定結果は、全ての建物において基準値を大きく下回った(図2参照)。またその大半が $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 程度以下であり、室内における浮遊粉じんの低濃度化が進んでいることがわかる。

図1にWPSによる粒径別個数濃度の時系列変化の一例を示す。横軸が粒径、縦軸が時刻、色の濃淡で濃度を示している。全体の傾向として、最も高い濃度(ピーク濃度)を示す粒径(ピーク粒径)はそれぞれの時間において1つであり、その粒径は数 $10\text{nm}$ または $100\text{nm}$ 程度である。また、時間の経過と共に大きくは変動せず比較的安定した推移を示している。

### 3.2 質量濃度と個数濃度の関係性の検証

質量濃度(LV)と個数濃度(WPS、LPC)の比較を行う。なお、個数濃度については全ての粒子が球形であり、かつ粒径に関係なく密度が $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ であると仮定して質量濃度に変換したものをを用いる。これらの相関図を図2に示す。横軸はLVによる、縦軸がWPSおよびLPCから算出した質量濃度で、8時間の平均値である。分布の

表1 調査概要

建物名	所在地	調査日	測定時間	測定時の天候	特記事項
A	東京	2006.08.29	10:00-18:00	晴れ	
B	東京	2006.09.04	10:00-18:00	晴れ	
C	東京	2006.09.06	10:00-18:00	曇り/晴れ	管理室
D	東京	2006.09.13	09:40-17:45	雨	
E	東京	2006.09.15	09:00-17:00	曇り/晴れ	
F	東京	2006.09.22	09:48-18:00	曇り	
G	東京	2006.09.25	09:48-18:00	晴れ	管理室
H	東京	2006.09.29	09:45-17:45	曇り/晴れ	
I	東京	2006.10.03	09:45-17:45	曇り	
J	東京	2006.10.10	09:45-17:45	晴れ	
K	東京	2006.10.13	09:45-17:45	曇り	喫煙可
L	東京	2006.10.16	09:45-17:45	晴れ	
M	東京	2006.10.20	09:45-17:45	曇り	
N	東京	2006.10.23	09:45-17:45	雨	
O	神奈川	2006.10.27	10:00-18:00	曇り/晴れ	
A-2	東京	2007.07.23	10:15-18:30	曇り	
P	東京	2007.07.30	10:00-18:00	曇り	学校施設

表2 調査項目

測定項目		測定器	測定時間
浮遊粉じん	質量濃度	LV $10\mu\text{m}$ 以下	8時間
	粒径別質量濃度	PCIS $10\mu\text{m}$ 以下を5段階	1回8時間を5日間の間欠測定、40時間 建物A-2、Pのみ実施
	粒径別個数濃度	LPC $0.3\sim 10\mu\text{m}$ を6段階 WPS $10\sim 1000\text{nm}$ を54段階	1回1分の連続測定 1回3分の連続測定
聞き取り調査項目		内容	
建物概要		竣工年月日、延床面積 他	
測定室概要		床面積、階高、喫煙状況、在室者数、OA機器類の作動状況 他	
空調設備概要		空調方式、換気方式、運転時間、フィルタの種類・効率 他	

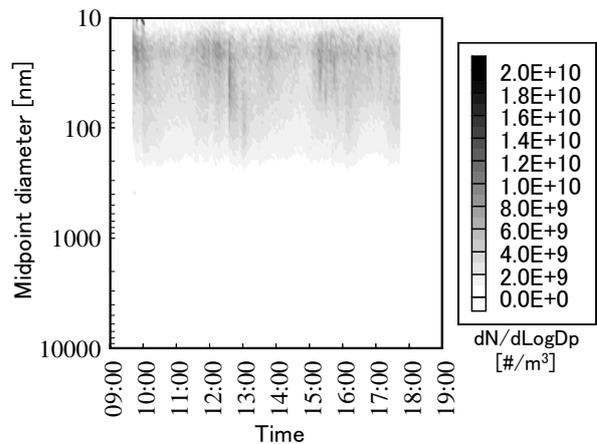


図1 粒径別個数濃度の時系列変化(建物D)

近似直線および相関係数 $R^2$ を合わせて示す。

LVとWPSおよびLPCの関係性について、それぞれの $R^2$ は0.9以上となり、かなり強い相関関係にあることがわかる。しかし近似直線の傾きはLPCが0.40であるのに対し、WPSでは0.90と理想的な1.0に非常に近

い値を示しており、WPSの方がLVとの関係性がより良いことがわかる。この要因として、LPCの測定範囲が0.3 $\mu\text{m}$ 以上であるのに対し、WPSは10nm以上であることが考えられ、超微粒子と呼ばれる粒径100nm以下の粒子の影響が大きいと推測できる。

また以上の結果から、個数濃度(WPS)によって質量濃度(LV)を精度良く換算できるとし、粒径を考慮した質量濃度について検証を行う。

### 3.3 質量濃度の粒径依存性

図3に個数および質量の粒径毎の濃度分布の一例を示す。横軸が粒径で対数目盛、縦軸が濃度で8時間の平均値である。ピーク粒径は、個数濃度では1 $\mu\text{m}$ 程度であり、数10nmまたは100nm程度にある。一方、質量濃度については200~300nmおよび2000nm以上の範囲の2箇所にあることがわかる。また総質量濃度および小粒径側のピーク濃度は個数濃度に比例した関係にあるが、大粒径側は建物に関係なく一定の値を示す傾向がある。

図4に、現行の対象であるPM10、近年注目されているPM2.5の濃度およびこれらの差(PM10-PM2.5)、比(PM2.5/PM10)を示す。横軸が建物、縦軸が濃度または比である。これらの差に着目すると、建物によって値はある程度異なるが、PM10やPM2.5ほどではなく、比較的安定していることがわかる。比に着目すると、ほとんどの建物で0.5以上となっており、PM2.5といった小さい粒子が大半を占めていることがわかる。また全体の濃度が高いほど、PM2.5の占める割合が大きい傾向にある。

### 3.4 粒径と密度の関係性の検証

本研究では、個数濃度から質量濃度に変換する際に、粒径に関係なく、全ての粒子の密度を1.0g/cm<sup>3</sup>と仮定した。しかし実際には、粒径によりその組成に違いがあり、よって密度も異なると考えられる。またLVとWPSの相関は直線y=xの下側に分布することから、実際には1.0g/cm<sup>3</sup>よりも大きいと想像できる。さらに、全粒径範囲における質量濃度と個数濃度の関係性は明らかにしたが、粒径毎については不明である。そこでPCISとWPSの比較を行い、粒径毎の質量濃度と個数濃度の関係性および粒子密度の検証を行う。なお喫煙空間の実測例として、2007年12月に行われた喫煙室での実測調査<sup>3)</sup>の結果(4時間の連続測定)を用い、一般空間との比較を合わせて行う。

図5は、横軸が粒径範囲、縦軸が建物Pおよび喫煙空間におけるPCIS/WPSおよびLV/WPS(密度)である。喫煙空間については、2.5 $\mu\text{m}$ 以上の範囲においてPCISの測定結果が0.00mg/m<sup>3</sup>であったため密度を算出できなかった。PCISおよびWPSの粒径範囲毎の濃度は、建物P、喫煙室共に追従性が良い。総質量濃度については、これらが喫煙室ではほぼ同じ値を示すものの、建物PにおいてはPCISの方が大きくなる傾向にある。PCISによる密度は、喫煙室では1.0に非常に近い値となった。LVによる密度も近い値を示している。一方、建物Pについては2.0以上の高い数値を示している。この要因として、特に0.25 $\mu\text{m}$ 以下の範囲におけるPCISとWPSの差が大きく影響している。建物Pは低濃度空間であり、そのため測定結果に誤差が生じている可能性と、実際に密度が大きい可能性の両方が考えられる。粒子組成等、他の測定方法を検討し、さらなる検証が必要である。

### 4. まとめ

本研究では、実際に使用されている事務所ビルにて浮遊粉じんの実測調査を行い、質量濃度と個数濃度の関係性を明らかにした。また粒径毎の質量濃度、粒子密度について検証した。今後も実測を重ね、データの蓄積および検証が必要である。

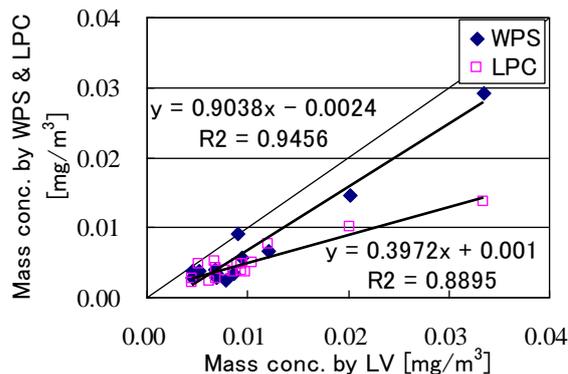


図2 質量濃度と個数濃度の関係性

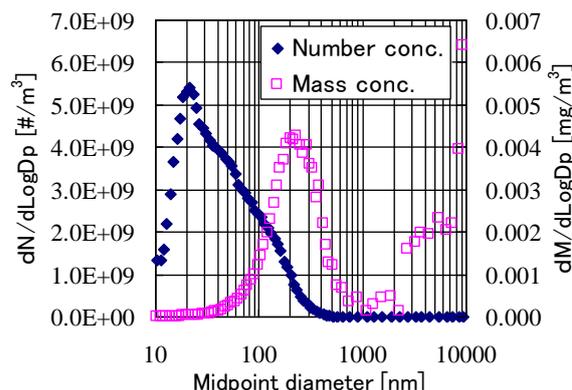


図3 質量濃度と個数濃度の粒度分布(建物D)

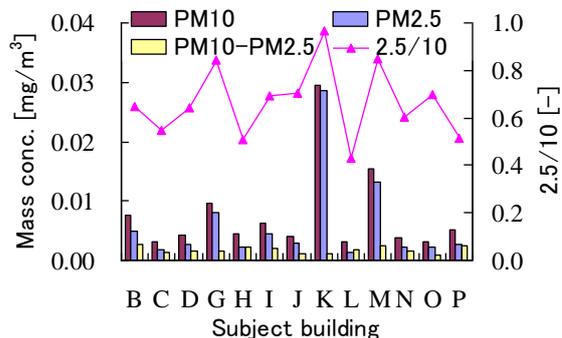


図4 PM10とPM2.5の比較

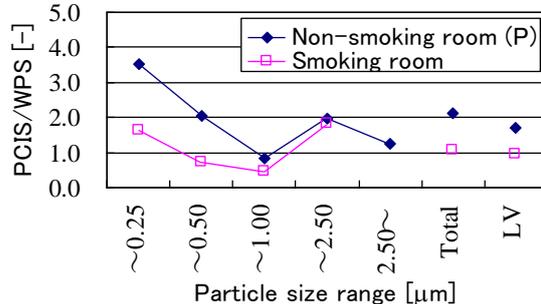


図5 粒径毎の密度

### <参考文献>

- 1) 根本智之 他：質量濃度と個数濃度の関係性の検証 事務所室内における浮遊微粒子濃度の調査その1, 2007年度日本建築学会大会学術梗概集 環境工学II, 日本建築学会, 2007.08
- 2) 高橋幹二：エアロゾル学の基礎, 森北出版株式会社, 2003.07
- 3) 青木美徳：環境タバコ煙に関する基礎的研究. 芝浦工業大学学士論文. 2008.03
- 4) Tareq Hussein et al. : Particle size characterization and emission rate during indoor activities in a house, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 40(2006)
- 5) Chandan Misra et al. : Development and evaluation of a personal cascade impactor, Journal of Aerosol Science, 33(2002)