

事務所ビルにおける浮遊超微粒子の分布に関する研究

Distribution of Suspended Ultra-fine Particle at Office Buildings

西村研究室 J02087 根本 智之

Abstract

After the recent studies of epidemiology, it emerged that PM2.5 affect our health. Especially the particles, which sizes are less than 0.1 μ m, are worried. In addition, the knowledge of particle size and number concentrations are essential to understand particle actions and health influences.

Though the basic dispersion theories of the particles less than 0.1 μ m are established and it is said that the dispersion fits log-normal distribution, it is also known that real particle doesn't fit it.

In this study, particle number concentrations at office buildings were measured up four times, and were inspected. Furthermore, the compatibility with log-normal distribution was considered.

Keywords 超微粒子 粒度分布 対数正規分布 粒径別個数濃度

1. 背景と目的

我が国における室内環境に関する基準である「建物における衛生的環境の確保に関する法律（通称、建築物衛生法）」において浮遊粒子状物質（SPM）に関する規定は、10 μ m以下の微粒子（PM10）の重量濃度についてのみ定められている。しかし、最近の疫学調査により、人体の健康被害には粒径が2.5 μ m以下の微小粒子（PM2.5）が関連していることが明らかにされ、特に粒径が0.1 μ m以下のより微細な超微粒子（ナノ粒子）による影響が懸念されている。さらに、SPMの挙動や人体への影響を知るためには、その挙動を支配する粒径に関する知見、粒径別個数濃度に関する知見が不可欠である。

粒径が0.1から10 μ mの粒子の分布については理論が明らかにされ、それにもとづき多くの規定がなされている。しかし、注目すべきPM2.5、特に超微粒子については、その分布について一般的な理論が明らかにされているが、これにもとづく実測例が非常に少ない。また、一般に対数正規分布で近似できるとされているが不明な点が多い。

そこで本研究では、建築物衛生法の対象である事務所ビルにてSPMについて測定を行い、粒度分布や超微粒子の個数濃度について検討を行う。また、対数正規分布との一致性の検証および超微粒子の分布特性を把握することを目的とする。なお、本研究は空調機や室内での発じんの影響のない夜間（22:00-06:00）について検討を行うこととする。

2. 調査項目

東京23区内にある事務所ビル2箇所を対象に、計4回の測定および聞き取り調査を行った（表1参照）。

SPMの個数濃度についてはSMPSおよびLPCを用いて、温湿度は自記記録温湿度計を用いて測定を行った。また、聞き取り調査は、建物概要、測定環境、空調設備等について行った（表2参照）。

表1 調査概要

建物名	東京1	東京2
調査日	夏期:2005.08.23-24 秋期:2005.10.17-18 冬期:2005.12.12-13	秋期:2005.10.24-25
測定時刻	17時-翌17時	17時-翌17時
測定時天候	夏期:雨・曇り 秋期:雨・曇り 冬期:晴れ・曇り	秋期:晴れ
室内側測定場所	事務室	事務室

表2 調査・測定項目

粒径別個数濃度測定	SMPS:1回3分間の連続測定	
	LPC:1回10L(=3.53分間)の連続測定	
温湿度測定	自記記録温湿度計 :1回1分間の連続測定	
聞き取り調査	建物概要	竣工年、建物延床面積、測定室延床面積
	測定環境	測定室開口部方位、主要材料、人の不在時間、喫煙状況、事務機器
	空調設備	測定室設計給気量・外気量、空調方式、フィルタ:効率(%), 運転時間、換気の種類

3. 粒度分布と近似モデル

3.1 対数正規分布と統計値

一般に、粒度分布は対数正規分布で近似できるとされている。そこで、実測結果（以下、実測値）とこれより求めた対数正規分布（以下、近似値）との比較を行う。なお、比較にはそれぞれの統計値および概形について検討する。

対数正規分布は連続型確率分布を代表するもので、次式で与えられる。ここで、変数（ x : 粒径）を対数変換し、 $\ln x$ を変数とすると eq. 2 となり、正規分布として与えられる。この場合、実測値の幾何平均 μ_g および幾何標準偏差 σ_g を代入することで得られる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad \text{eq. 1}$$

$$f(\ln x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_g)^2}{2\sigma_g^2}\right] \quad \text{eq. 2}$$

幾何平均 μ_g は、変数（ x : 粒径）を対数変換して求めた分布の平均（期待値）のことで、次式で与えられる。近似モデルの場合、理論上は最頻値と等価であるが、実測値では一致することは少ない。

$$\mu_g = E(\ln x) = \sum_i \ln x \times f_D(x) \quad \text{eq. 3}$$

なお、最頻値（mode）とは、粒度分布 $f(x)$ の値を最大とする値（粒径）のことである。また、 $f_D(x)$ は粒径別個数濃度を総個数濃度で除した分布（頻度分布、密度関数）である。

幾何標準偏差 σ_g は、変数（ x : 粒径）を対数変換して求めた分布の標準偏差で粒度分布のばらつきを示す。また、次元は幾何平均と等しい。

$$\sigma_g = \sqrt{E(\ln^2 x)} = \sqrt{\sum \ln^2 x \times f_D(x)} \quad \text{eq. 4}$$

歪度 α_3 は分布の歪みを、尖度 α_4 は分布の尖り具合を表わすもので、eq. 5 および eq. 6 で与えられる。

$$\alpha_3 = \frac{E(\ln x - \mu_g)^3}{\sigma_g^3} \quad \text{eq. 5}$$

$$E(\ln x - \mu_g)^3 = E(\ln^3 x) - 3\mu_g E(\ln^2 x) + 2\mu_g^3$$

$$\alpha_4 = \frac{E(\ln x - \mu_g)^4}{\sigma_g^4} \quad \text{eq. 6}$$

$$E(\ln x - \mu_g)^4 = E(\ln^4 x) - 4\mu_g E(\ln^3 x) + 6\mu_g^2 E(\ln^2 x) - 3\mu_g^4$$

$\alpha_3 > 0$ は右裾が長く、 $0 < \alpha_3$ は左裾が長いことを意味する。また、正規分布に対し、 $\alpha_4 - 3 > 0$ は尖っており、 $0 < \alpha_4 - 3$ は丸いことを示す。

3.2 概形の比較

粒度分布および対数正規分布による近似値の分布を、00:00 および 05:00 について図 1 および図 2 に示す。但し、横軸（粒径[nm]）は対数目盛り、縦軸は頻度（各粒径の個数濃度/総個数濃度）である。

各時間について実測値を検討すると、同一時間にも関わらず、測定毎でその概形は異なる傾向にある。また、測定毎に 2 つの時間について比較すると、これに関しても変化が見られる。特に、1 - 冬については、他とは大きく異なる分布を示している。

近似値と比較すると、全体的に、200nm 以上の範囲については誤差がほとんどなく、一方、30nm 前後以下の範囲については誤差がある傾向にある。さらに、1 - 冬に関しては、その概形が複雑であり、また 05:00 についてはピーク的位置もずれ、他より誤差が大きくなっている。

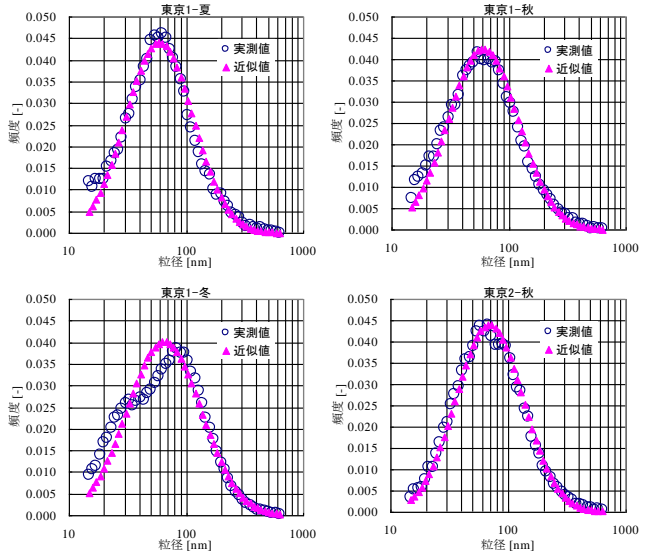


図 1 00:00 の粒度分布

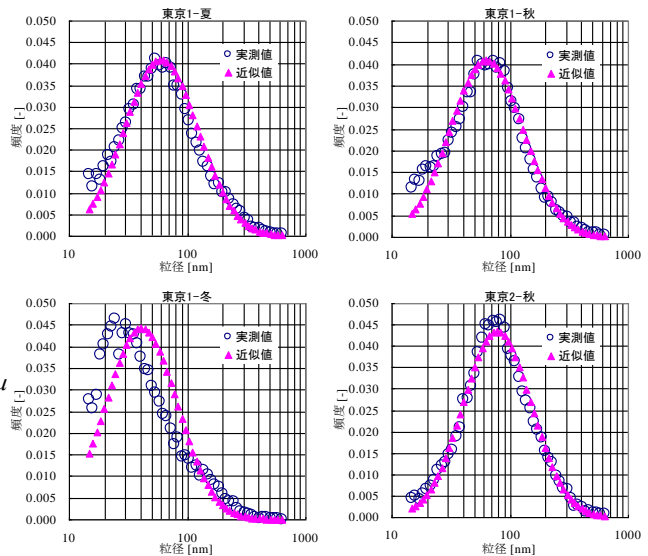


図 2 05:00 の粒度分布

3.3 統計値の比較

実測値と近似値は比較的近い分布であることがわかった。そこで、統計値（3.1参照）を用いて具体的に比較を行う。

3.3.1 幾何平均

東京1-夏（以下、「東京」略）および1-冬の幾何平均および最頻値の時系列変化を図3に示す。但し、幾何平均は次式により変換し、最頻値と同次元とした。

$$\mu_G = \exp(\mu_g)$$

また、横軸は時刻、縦軸はその値（粒径 [nm]）である。

実測値の幾何平均は、測定毎でその変動の様子は異なる。但し、1-秋および2-秋については比較的類似した傾向を示している。近似値の幾何平均および最頻値と比較すると、どの測定においても実測値と似た変化・近い値を示す結果を得た。但し、1-冬は他に比べ、その値の差が大きく、また03:00以降は40nm前後に分布する特徴がある。

3.3.2 幾何標準偏差

1-夏および1-冬の幾何標準偏差を図4に示す。

実測値と近似モデルの時系列変化の概形は、1-冬の23:00代を除き、幾何平均と同様に各測定で類似した傾向を示しており、常に実測値の方が大きい。また、1-秋と2-秋に類似性がみられる。さらに、1-冬は他に比べてその差が大きい。

近似モデルの算出過程を考慮すると、両分布の幾何平均および幾何標準偏差に誤差が生じることはおかしい。これは、14.8nm未満の範囲のデータがないためであると考えられる。この点について常に留意する必要があると思われる。

3.3.2 歪度・尖度

1-夏および1-冬の歪度を図5に、尖度を次項・図6に示す。

幾何平均、幾何標準偏差と同様に、測定毎により、変化の様子が異なる結果となった。また、実測値に比べ、近似値の変動が非常に小さく、ほとんど変動する様子を示さないことも特徴の1つである。これは、歪度および尖度が3次・4次モーメント（粒径の3乗・4乗）であり、幾何平均や幾何標準偏差に比べ、実測値の影響が小さくなったためであると考えられる。また、近似値が対数正規分布であり、分布形状が比較的安定していることも要因として考えられる。

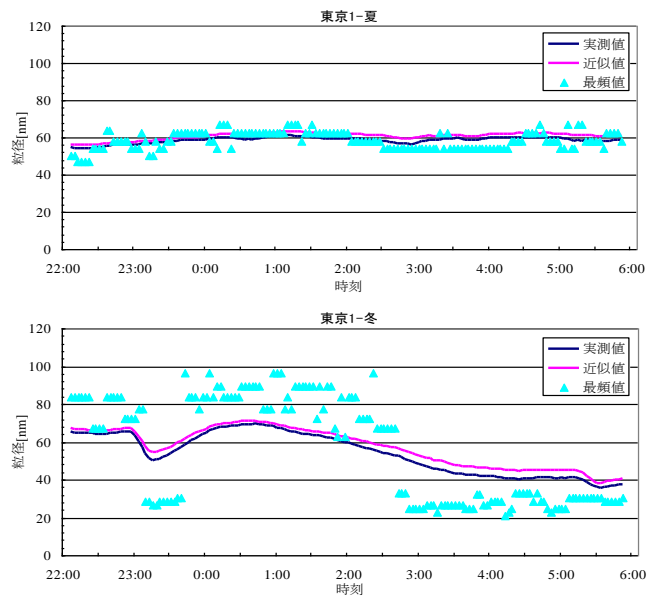


図3 幾何平均と最頻値の時系列変化

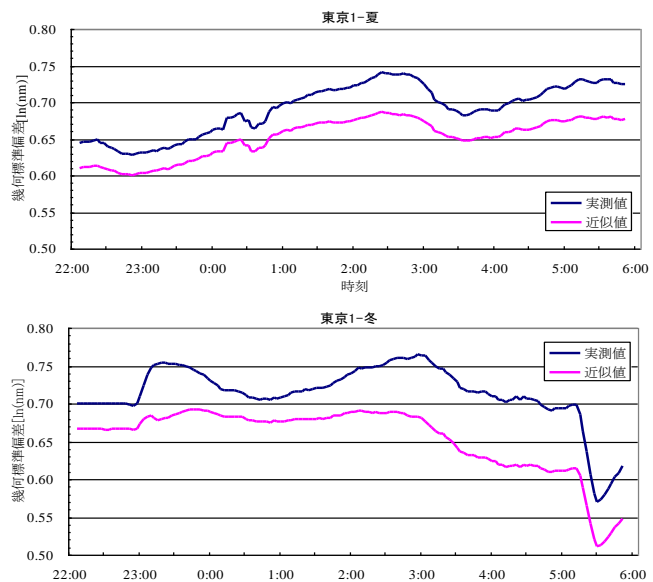


図4 幾何標準偏差の時系列変化

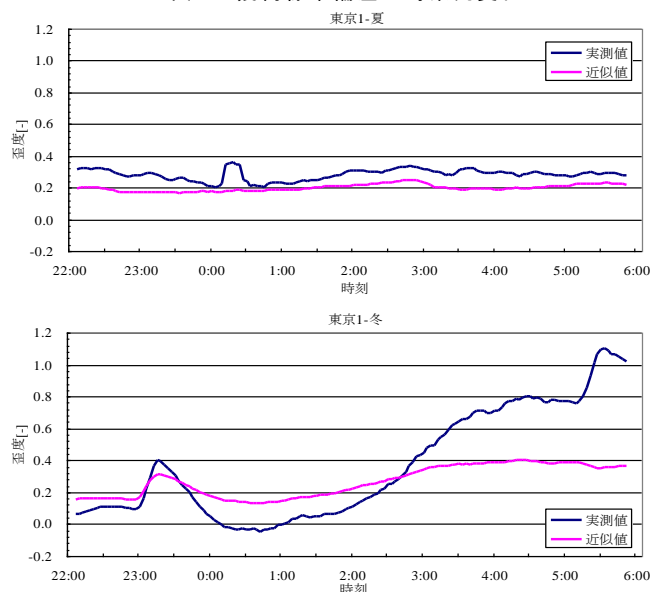


図5 歪度の時系列変化

4. 粒径別個数濃度

4.1 超微粒子の検討

650nm以下の粒子の粒径別個数濃度についてまとめた時系列変化の東京1-夏および1-冬を図7に示す。

粒径別個数濃度に関しても、測定毎にその変動の様子は異なる。また、それぞれの測定を見てみると、粒径の大きさに関係なく、どの粒径も類似した変動を示している。

4.2 大粒子との比較

500nm以上の粒子の粒径別個数濃度についてまとめた時系列変化の東京1-夏および1-冬を図8に示す。大粒径についても測定毎にその変動の様子は異なる。また、それぞれの測定を見てみると、粒径の大きさに関係なく、どの粒径も類似した変動を示している。また、超微粒子の変化と非常によく似た傾向にある。

5. まとめ

本研究により、次の知見を得た。

- 測定時期により粒度分布の挙動が異なる。
- 同一時期であれば測定環境が異なる場合でもある程度の類似性が認められる。
- 粒度分布は、季節・時刻の違いにより変化を示す。
- 粒度分布とその近似値について、200nm以上の範囲はほぼ一致するが、30nm前後以下の範囲では差が大きい。
- 超微粒子と大粒子の挙動に類似性を確認することができた。

また、今後の課題を次に挙げる。

- ・統計値の誤差に関する補正の検討
- ・ガス状物質（VOC）の影響および粒子の組成の把握
- ・測定データの蓄積

【参考文献】

- ・平成17年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）「建築物における環境衛生に関する研究」報告書
- ・William C. Hinds;エアロゾルテクノロジー、井上書院、1985.4
- ・高橋幹事;エアロゾル学の基礎、森北出版、2003.7

【謝辞】

本研究は、平成17年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）「建築物における環境衛生に関する研究（代表者:目黒克己）」によって行った。記してここに感謝の意を表す。

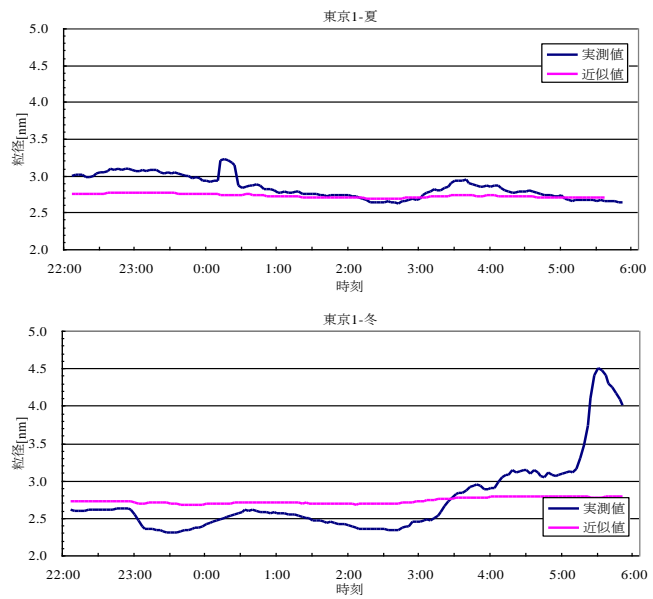


図6 尖度の時系列変化

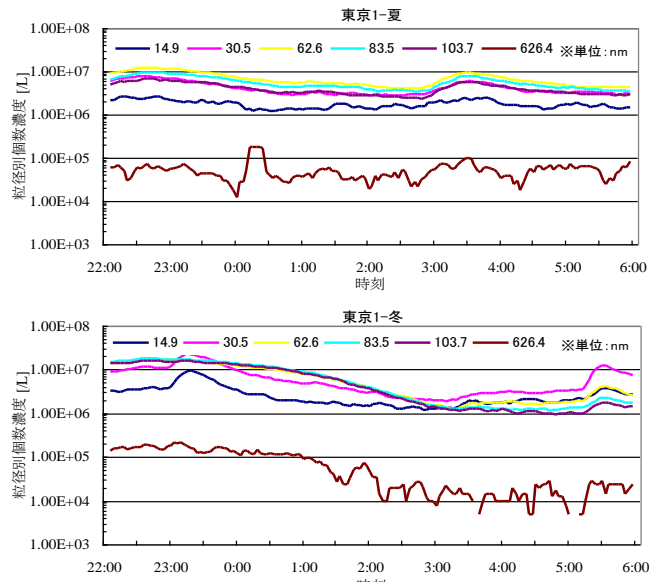


図7 626.4nm以下の粒径別個数濃度の時系列変化

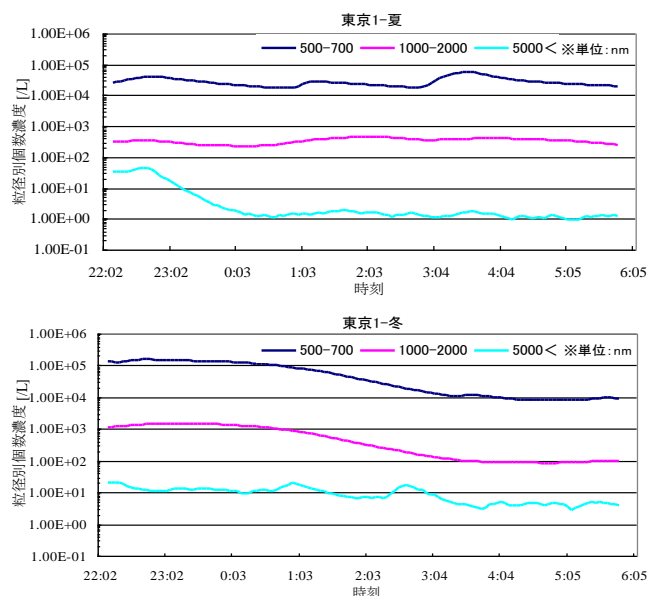


図8 500nm以上の粒径別個数濃度の時系列変化