



粉じん計 (PM) 浮遊粉じん
 粒径分布 Mie 散乱

AJ16012 家住 憲司
 指導教員 西村 直也

1. はじめに

現在の建物内の空気環境は、建物の高気密化、禁煙・分煙化の推進、空調・空気清浄技術の向上により、浮遊粉じんの濃度は大幅に低下している。また、近年において問題視されている、PM_{2.5} といった人体に悪影響を及ぼす非常に小さな浮遊粒子状物質に対する認識も高まっており、浮遊粉じんを測定する機器より高い精度が求められるようになった。

浮遊粉じんの測定法としては、建築物衛生法や、大気汚染防止法などでは LV (Low Volume Air Sampler, 以下 LV) を用いた重量法が基本的な測定法として規定されている。重量法は、ポンプを用いて空気を吸い込み、浮遊粉じんをろ紙に捕集し、ろ紙の重量の変化で空気中の浮遊粉じんの量を測定する測定法である。しかし、現在の空気中の浮遊粉じんは極めて少なく捕集に時間がかかるため、長時間の測定が必要になる。また、捕集に用いるろ紙の扱いには熟練した技術が必要なことや、秤量に用いる電子天秤は非常に高精度なものが求められるため、LV を用いた重量法はあまり実用的ではない。そこで、実際の現場では、小型軽量で、測定時間が短く操作が容易なフォトメーター (Photometer, 以下 PM) が使用される場合が多い。

PM は、浮遊粉じんの散乱光の強さが、粉塵の大きさ、形状、反射率、比重などがほぼ一定の場合、吸引した粉じんにレーザーを照射することによって生じる散乱光の強度が質量濃度に比例して変化する原理を利用して、散乱光を電気信号に変換し、その散乱光の強度によって粉じん質量濃度を相対的に測定するものである。PM によっては 2 つ以上の散乱光を用いて補正しているものもあり、この散乱光強度が質量濃度に比例するという原理は、入射光の波長や散乱光を受光する角度などにより、異なった性質を示す可能性がある。また、微粒子における光散乱には、Mie 散乱と Rayleigh 散乱、幾何学的散乱があり、それぞれ対象となる粒子径の領域が異なる。微粒子の光散乱現象に関するパラメータとして、入射光の波長 λ [μm] と粒子径 d [μm] で定義される粒径パラメータ α ($\alpha = \pi d / \lambda$) があり粒径パラメータ $\alpha \approx 1$ の時 Mie 散乱を生じる。主に PM の測定領域となる粒子径は Mie 散乱領域の粒子である。Mie 散乱の散乱光強度は Mie² により (1.1) 式で与えられている。

$$I_0 = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 R^2} (i_1 + i_2) \quad (1.1)$$

以上を踏まえ、本研究では PM の測定原理である、粉じんによって生じる散乱光強度が質量濃度に比例して変化する原理が実際に正しいかどうかについて検証を行った。

表 1 検証する入射光一覧

Ray Type	Wavelength [μm]
Red Ray	0.635
Green Ray	0.532

表 2 各粒径分布 (各対数正規分布) の内訳

	μ_g [μm]	σ_g
Case1	0.3	1.4
Case2	0.08	1.7
Case3	0.04	1.7

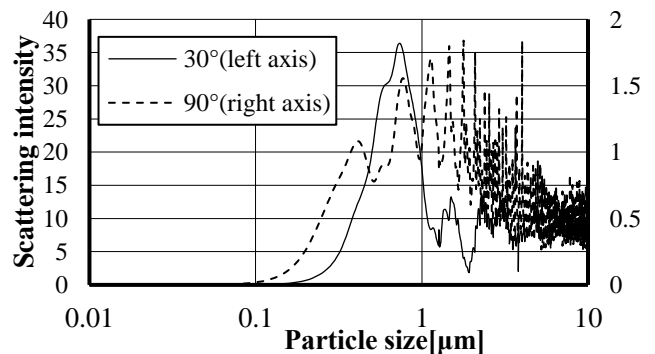


図 1 赤色レーザー波長 0.635 [μm] における散乱角度 30° と 90° の場合の散乱光強度の分布

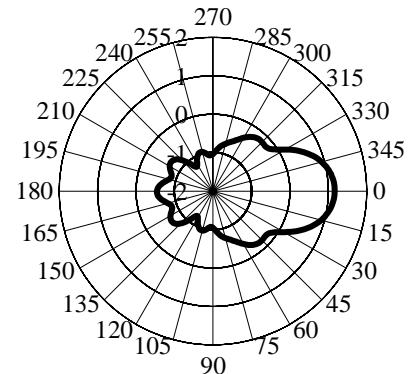


図 2 粒子径 1.0 [μm] の赤色レーザー波長 0.635 [μm] の散乱光強度の角度分布 (散乱光強度は対数表示としている)

2. 手法

検証に用いた定数を表 1、表 2 に示す。入射光を赤色レーザーとされる波長 0.635[μm]、緑色レーザーとされる波長 0.532[μm]の計 2 パターンとし、消衰係数をもたない大気中の非吸収性粒子(屈折率 $m=1.5$)を条件として、粒子径 0.01~10.00[μm]の粒子において生じる Mie 散乱の散乱光強度の計算を行う。散乱光強度の計算には、scatterlib³⁾にてオープンソースとして公開されている Barber and Hill の Mie 散乱の計算プログラムを用いる。算出した赤色レーザーの粒子径ごとの散乱光分布を図 1 に、粒子径 1.0[μm]の散乱光の角度分布を図 2 に示す。次に、PM の較正に用いられる粒子径 0.3[μm]のステアリン酸粒子がとる粒径分布として、幾何平均径(以下 μ_g)0.3 μm 、幾何標準偏差(以下 σ_g)1.4 の対数正規分布 (以下 Case1)、既往の研究⁴⁾により、一般的な室内浮遊粉じんの粒径分布とされる $\mu_g=0.08$ [μm]、 $\sigma_g=1.7$ の対数正規分布 (以下 Case2)、そして、その μ_g の半分の値をとった $\mu_g=0.04$ [μm]、 $\sigma_g=1.7$ の対数正規分布 (以下 Case3) の計 3 パターンの粒径分布を算出する。算出した各粒径分布を図 3 に示す。いずれも密度を 1 として各粒径分布の総体積(総質量)を 1 に揃えた各粒径分布において、総散乱光強度の比較を行う。また、比較には散乱光強度の代表値として、散乱角度(Scattering Angle, 以下 SA)30°と SA 90°の散乱光強度を用いる。

3. 結果

赤色レーザー波長 0.635[μm]の SA30°、SA90°の各粒径分布における総散乱光強度の累積比較を図 4、図 5 に示す。いずれも Case1 の値を 100%とし、Case2、case3 は相対値としている。また、赤色レーザーと緑色レーザーの散乱角度 30°と 90°における各 Case の総散乱光強度の値を表 3、表 4 に示す。図 4、図 5、表 3、表 4 が示すように各 Case において総体積(総質量)を 1 に揃えたにもかかわらず粒径分布の違いで総散乱光強度に大きな差が出ることが分かった。そして、SA 30°、SA 90°を比較すると各 Case の値の大小関係が全く異なるということがわかった。

4. まとめ

総体積(総質量)をいずれも等しく揃えたにもかかわらず粒径分布の違いや SA の違いによって総散乱光強度に大きな差が出ることが分かった。このことから、PM の測定原理は議論が必要であると言える。

【引用・参考文献】

- 1) 高橋幹二：“エアロゾル学の基礎” 日本エアロゾル学会
- 2) Mie, G., Ann. der Phys. 25, 377(1908)
- 3) "scatterlib" <http://scatterlib.wikidot.com>, (参照 2019.8)
- 4) “浮遊粒子状物質の粒径別個数濃度分布の実測” 空気調和・衛生工学会論文集 No.254, 空気調和・衛生工学会, pp59-64, 2018.5
- 5) van de Hulst, H. C : Light Scattering by Small Particles , pp, 1957

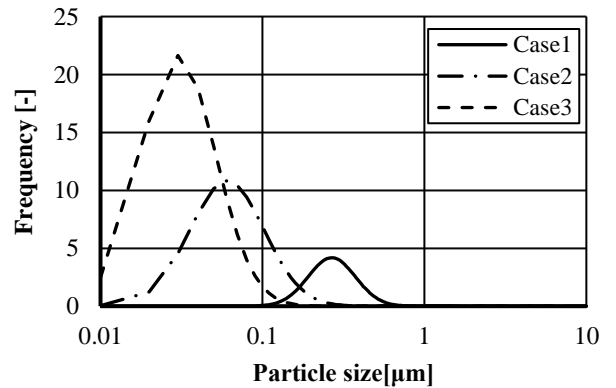


図 3 粒径分布 (Case1, Case2, Case3)

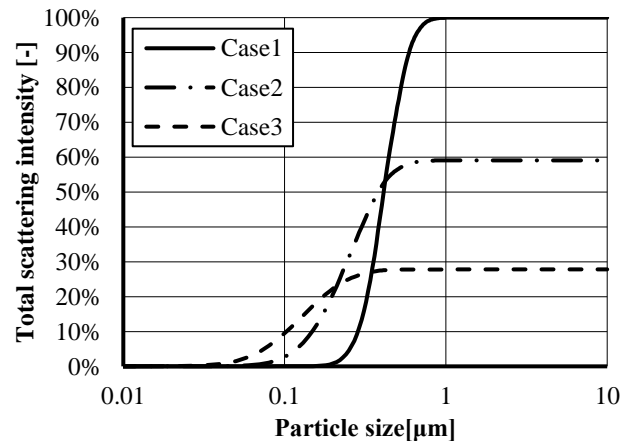


図 4 赤色レーザー波長 0.635[μm]の散乱角度 30° における総散乱光強度の累積比較

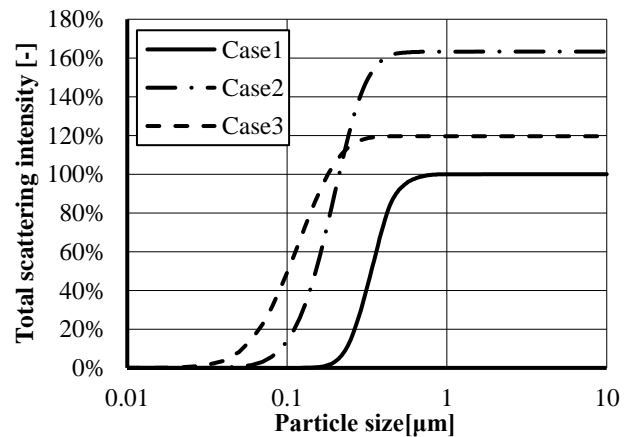


図 5 赤色レーザー波長 0.635[μm]の散乱角度 90° における総散乱光強度の累積比較

表 3 赤色レーザー波長 0.635[μm]の総散乱光強度

	SA 30°	SA 90°
Case1	278.8970	28.9891
Case2	164.7018	47.3428
Case3	77.55073	34.6753

表 4 緑色レーザー波長 0.532[μm]の総散乱光強度

	SA 30°	SA 90°
Case1	446.0083	34.3404
Case2	324.0305	79.5114
Case3	162.2513	66.6786