

パーティクルカウンティングライダーの開発

Development of the particle counting lidar system

阿保 真、柴田 泰邦、長澤 親生

Makoto ABO, Yasukuni SHIBATA and Chikao NAGASAWA

東京都立大学大学院・工学研究科

Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

Abstract : General Mie lidar system measures integral of each particle backscattering. We are developing the lidar system counting each particle backscattering for measurement of absolute number density of large particle such as pollen. This paper describes the feasibility study of the particle counting lidar system using Mie-scattering theory.

はじめに

一般的なミー散乱ライダーは、粒子1個の散乱断面積×粒子密度の積分量である体積後方散乱係数を測定する。したがって、これから粒子の個数密度を推定するには、粒子の粒径分布および粒子の散乱断面積を仮定することが必要である。しかし花粉などの大きな粒子は、散乱断面積が大きく、大気分子や小さな粒子の散乱光の上に重畳された形で、一つ一つの粒子がカウントできる可能性がある。従来は受信信号に積算処理をおこなっているためこれを識別することは出来なかったが、レーザー1ショット毎のデータ（プロファイル）から、スレッシュホールドをもうけることにより、粒子のカウントが可能になる。このような「パーティクルカウンティングライダー」を用いると、粒径の正確な同定は困難であるが、例えば花粉のように、あらかじめ粒径がわかっており、他のエアロゾルに比べて明確に粒径が異なる場合には粒子の空間個数密度が測定できる。

原理

一般的なミー散乱ライダーで、距離 R からの散乱受信電力 P_R を表すライダー方程式は⁽¹⁾、

$$P_R = \frac{KP_L l N \sigma}{R^2} \quad (1)$$

で表される。ここで、 K は受信鏡開口面積、重なり関数、大気透過率を含んだ定数で、 P_L はレーザーのピーク電力、 l はレーザーパルスの空間長の半分、 N は粒子密度、 σ は後方微分散乱断面積である。

一方、粒子1個からの散乱によるライダー受信電力は、ターゲットからの散乱となり、

$$P_R = \frac{KP_L \sigma}{A_0 R^2} \quad (2)$$

で表される。ここで、 A_0 は粒子表面上でのレーザービームの断面積である。

粒子の後方微分散乱断面積 σ は文献2の $i_1=i_2=i$ より、

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{\pi} i \quad (3)$$

より求められる。ここで λ はレーザー波長である。 $\lambda=532\text{nm}$ 、粒子の屈折率 $m=1.33$ とした時の粒子半径 r に対する σ の計算結果をFigure 1に示す。

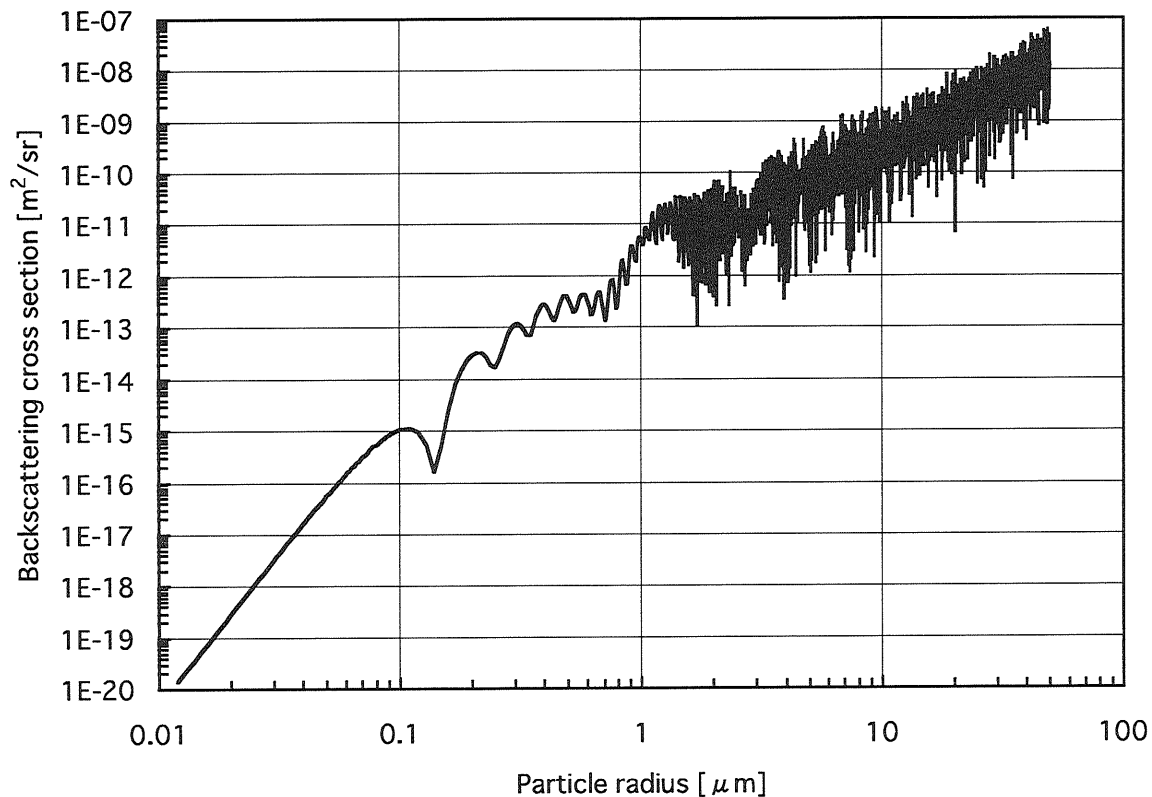


Figure 1 Calculated backscattering cross section as a function of particle radius.
 ($\lambda = 532\text{nm}$, $m = 1.33$)

粒子1個からの信号の検出可能性の検討

Figure 1 より半径 $20\mu\text{m}$ の粒子の散乱断面積は 10^{-8}m^2 となる。(2)式で $K = P_L = R = 1$ とし、 $A_0 = 0.002\text{m}^2$ (直径 5cm のビームに相当) とすると、 $P_R = 5 \times 10^{-6}\text{W}$ となる。一方、同じ条件で、波長 532nm における大気分子によるレイリー散乱断面積 $6.2 \times 10^{-32}\text{m}^2/\text{sr}$ 、高度 1km での大気分子密度 $N = 2.3 \times 10^{25}$ 個/ m^3 、 $l = 1\text{m}$ (レーザーパルス幅 7ns に相当) を式(1)に代入すると、 $P_R = 1.4 \times 10^{-6}\text{W}$ となる。

したがって、波長 532nm では、大気のレイリー散乱信号の 3.5 倍の信号が、半径 $20\mu\text{m}$ の粒子1個から得られることになる。しかし、境界層内部等エアロゾルの多い高度ではレイリー散乱の数倍以上のミー散乱信号が受信されるので、このままでは粒子の検出は困難になるが、レーザーのビーム径を狭くする (又は受信の視野を狭くする) かレーザーパルス幅を狭くすることにより、改善は可能であり、数 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子の検出は十分可能であると考えられる。

まとめ

花粉のような大きな粒子1つ1つの散乱光をカウントし、粒子の空間個数密度が測定できる「パーティクルカウンティングライダー」の可能性について検討し、粒子の検出は十分可能であるとの結論を得た。更に、偏光の利用により球形・非球形の識別も可能になる。この場合、粒子1つ1つの偏光解消度を測定することにより、粒子が混合している場合でも精度の向上が期待できる。

参考文献

- [1] R.M.Measures, Laser Remote Sensing Fundamentals and Applications, Wiley, 1984.
- [2] H.C.von de Hulst, Light Scattering by Small Particles, John Wiley & Sons, 1957.