# 光の散乱・吸収に起因する粒子の動態 Dynamics of particles induced by effects of scattering and absorption 東京農工大 BASE, <sup>O</sup>(M1)伊藤 悠, 岩井 俊昭 Tokyo Univ. of Agri. & Tech., BASE, <sup>O</sup>Haruka Ito and Toshiaki Iwai E-mail: tiwai@cc.tuat.ac.jp

## 1. はじめに

光電場下での微粒子の運動は、光散乱の研究分野において光放射圧によって説明されている. 一方、エアロゾルの研究分野では、同様の現象が光泳動として説明されている. 光放射圧の理論では、 微粒子の運動方向が光の伝搬方向に一致するとされているが、光泳動の理論では条件によって光の 伝搬方向と逆向きになることが理論的・実験的に示されている<sup>1)</sup>.線香の煙は光吸収性が比較的大きい<sup>2)</sup>ため、照射光の伝搬方向とは逆の方向に移動することが実験的に確認できるとともに、光泳動の 数値計算によって常に逆泳動力が作用することが示されている.

本稿では、光電場下の煙粒子にはたらく外力について、一般化 Lorenz-Mie 理論(GLMT)<sup>3)</sup>と光泳動の理論<sup>4)</sup>の数値計算結果を併用して実験データとの整合性を検討する.

#### 2. 実験

Fig.1 に本研究で用いた実験系を示す.光源には中心波長 637 nm の 半導体レーザを使用し,光学セルには試料として予め線香の煙を封入 した.光源からの光はコリメータを介して水平に照射される.またセ ルは壁面が光軸と垂直になる向きで配置する.セルの直上に顕微カメ ラを設置し,煙の動態を動画ファイル形式で記録する.その後,フレー ムごとに画像解析をすることで各煙微粒子の移動速度の光軸方向成分 を算出し, Stokes の抵抗法則から微粒子に作用する外力に換算する.

#### 3. 結果

Fig.2 に、 煙粒子に作用する外力の光出力依存性の実測例を示す. 煙 粒子は,光の伝搬と反対方向に光強度に比例した外力を受け逆泳動す ることが確認できる.Fig.3 は複素屈折率 n=1.45+i0.0013 から n=1.45 +i0.0005(iは虚数単位)までのサブミクロン粒子について、消衰係数の 値を変化させながら GLMT と光泳動の理論によって粒子に作用する単 位光出力当たりの力を計算した結果である. 粒径 0.4µm 以上では、光 泳動力が支配的であることが確認できる. 煙粒子の平均粒径は直径で 0.78μm であると報告されている <sup>2)</sup>ので, 数値計算によって得られた 力の絶対値は実験値の 15%程度であった. この差異は, 空気の粘性率 が比較的小さく煙粒子表面においてすべりの条件が適応されるため Stokes の抵抗法則が成り立たたないことに起因すると考えられる. ま た消衰係数の値によって光放射圧の絶対値がほとんど変化しないこと に対し,光泳動力のそれは大きく変化している. n = 1.45 + i 0.0013 の 場合, 粒径 0.34μm 未満で光放射圧と光泳動力との大小関係が逆転し た.実験中にセル内の煙粒子を見ると、逆泳動している粒子と順泳動 しているものが混在していたが、これは煙粒子の粒径が0.34µmにまた がって分布していることを示している.本報告では、消衰係数のより 小さな試料についても実験を行い、光放射圧と光泳動の関係を定量的 に検証する.

### 4. 参考文献

- A. B. Pluchino and S. Arnold, "Comprehensive model of the photophoretic force on a spherical microparticle," Opt. Let. 10, 261-263 (1985)
- S. Watanabe, T. Iwaki, M. Kohirai, N. Magome and K. Yoshikawa, "Negative photophoresis of smoke particles observed under microgravity," Chem. Phys. Lett. 511(4-6), 447-451 (2011)
- G. Gouesbet, B. Maheu and G. Grehan, "Light scattering from a sphere arbitrarily located in a Gaussian beam, using a Bromwich formulation," J. Opt. Soc. Am. A 5, 1427-1443 (1988).
- 4) S. A. Beresnev and L. B. Kocheneva, "Radiation absorption asymmetry factor and photophoresis of aerosol," Atoms. Oceanic. Opt. **16**(2) (2003)



Fig.1 Experimental setup.



Fig.2 Estimated force applied to a particle as a function of the illuminating optical power. In the figure, black circles with error bars stand for averaged values of experimental data and they are numerically fitted by a straight line.



Fig.3 Radiation pressure (R.P.) and photophoretic force (P.F.) as a function of a diameter for particles with 5 different absorptions and same refractive index.