

「原子衝突のキーワード」

ミー散乱(Mie scattering)

誘電体に平面波の電磁波が入射したとき、初期に生じる誘導分極は電子の運動によるもので、その固有周波数は 10^{16} Hz のオーダーである。そのため、その周波数にはほぼ等しい可視光の領域まで分極が追従でき、一様な電場中の誘電体として扱える。均一媒質(例えばガラスの内部)においては、双極子放射は入射光の順方向以外ですべて打ち消しあうが、不均一媒質のとき双極子放射は散乱となって現れる。

例えば、波長より十分小さい誘電体粒子がランダムに存在しているような場合での散乱はレイリー散乱としてよく知られている。レイリー散乱の散乱強度は波長の 4 乗に反比例する。つまり、赤色光の波長は青色光の波長の約 1.2~2 倍なので、青色光は最大で赤色光の 16 倍強く散乱される。大気を通過する太陽光は、空気中の分子によるレイリー散乱を起こし、日中の上空はあらゆる方向が青く見え、朝方や夕方では、太陽光は大気を長距離通過することになるので、青色光の減衰により赤く見える。双極子放射であることから分かるように、地上に届く青空の光は、太陽方向と観測方向が作る平面に垂直な方向に偏光している。

グスタフ・ミーは任意のサイズの誘電体球に平面波の電磁波を入射したときの電磁波の散乱の角度分布をマクスウェル方程式から厳密に解いた [1]。ミー散乱の式は特殊関数の多項式で表され、これを解くためのアルゴリズム及びプログラムは公開されている [2]。

図 1 は様々なサイズの水滴に対する無偏光赤色光の散乱角度分布を計算した結果である。粒子径が波長に近いとき強い前方散乱を起こす。また、ここには示していないが、波長依存性は小さくなる。例えば、数 μm ~ 数 $10 \mu\text{m}$ の大きさの水滴で構成される雲に対してはミー散乱の領域となり、可視域の太陽光の散乱強度は波長に依存しなくなることから、白く見える。ちなみに粒子の半径を波長に対して十分小さい極限にとると、ミー散乱はレイリー散乱と一致する。ミー散乱とレイリー散乱は厳密に区別されているわけではないが、波長

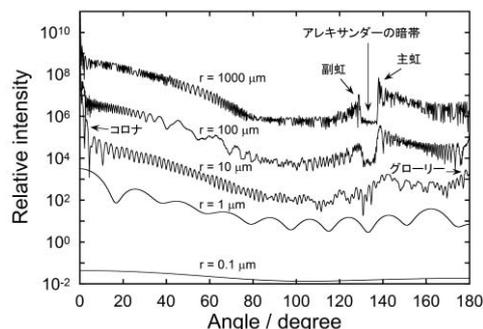


図 1: 水滴(屈折率 1.33, 半径 0.1, 1, 10, 100, 1000 μm)に対する無偏光赤色光(波長 0.65 μm)の散乱角度分布の計算結果。

の約 10 分の 1 以下でレイリー散乱の領域になる。10 μm において 170 度から 180 度に現れる増大はグローリー(光輪)散乱と呼ばれる。これはブロッケン現象、すなわち、太陽を背にしたとき前方の霧中に伸びた影を中心に虹色の輪が現れる現象として知られている。また、10 度以下の領域に現れる強い振幅はコロナと呼ばれるが、月に薄い雲が覆ったときこのコロナが現れると、リングの形に見える。さらにサイズが数 100 μm にもなると、主虹と副虹の散乱ピークがはっきりと現れる。ちなみに、主虹と副虹の間の放射の低い領域を、アレキサンダーの暗帯と呼ぶ。以上のような様々な散乱現象はミー散乱により説明できる。

このように、ミー散乱は散乱体の粒径により散乱の角度分布が異なるので、散乱角度分布測定から粒径を見積もることが出来る。粒径の計算は逆問題となり一般的に難しいが、粒径分布を適切な関数(典型的には対数正規分布)で仮定して導くことができる。筆者らは超音速ジェット中に生成されるサブミクロンサイズのクラスターの粒径分布をミー散乱法から求めることに成功した [3]。

ミー散乱は 1 個の粒子による散乱を想定しているが、粒子がたくさんある場合でも、粒子間の距離が十分離れていて(多重散乱が起きていない)、ランダムに並んでいる(散乱光が互いに干渉しない)場合、粒径分布測定に適用できる。

(原子力機構 神野智史)

参考文献

- [1] G. Mie, *Ann. Phys.* **25**, 377 (1908).
- [2] W. J. Wiscombe, *NCAR Technical Note 140+STR*, (1979, 改訂版 1996).
- [3] S. Jinno, et al., *Appl. Phys. Lett.* **102**, 164103 (2013).