

ゆらぎ計測法としての動的散乱法の技術開発

芝浦工業大学 工学部 応用化学科
廣井卓思

1. はじめに

光を物質に照射した際に起こる現象は、主に透過・吸収・散乱の3種類に分けられる。「光と生体の相互作用」という観点でこれらの現象を考えると、光の透過率（吸光度）の測定は、DNAの定量などに広く用いられる技術である。光の吸収は、分子レベルで見ると電子励起状態への遷移として捉えられ、それに続く発光（蛍光、燐光）は生体イメージングに必要な不可欠な技術である。それでは、散乱はどのように用いられているだろうか。最もイメージしやすいのは、顕微鏡による光学像観察である。散乱は、入射光がその向きを変えて物質から出てくる過程であり、照明光が散乱されるからこそ光学像を得ることができる。しかし、本稿は顕微鏡法に関する説明ではなく、少し異なる観点からの散乱法について説明する。

散乱現象は、物質とのエネルギー授受という観点から見ると、弾性散乱・非弾性散乱・準弾性散乱の3種類に分けられる。この分類自体は、光に限らず電子線や中性子線による散乱でも共通であるが、以降では断りのない限り、可視光による散乱に絞って解説する。通常の光学像観察において用いられる散乱は弾性散乱であり、これは散乱によって光のエネルギーが変化しない過程である。これに対し、散乱によって光のエネルギーが離散的に変化する過程が非弾性散乱であり、ラベルフリーな分子イメージングなどに用いられる。そして、3番目の準弾性散乱であるが、これはエネルギー授受の観点から見ると散乱光のエネルギー幅が広がるプロセスに対応している。光の準弾性散乱は動的散乱と呼ばれており、主に高分子分野で広く用いられている手法である。しかし、他分野の方々にはあまり馴染みがないというのが現状である。そこで、本稿では特に光の準弾性散乱について、何が測定できるのかを知っていただくことを目標にしたい。光の準弾性散乱で得られる物理量として最もよく用いられるのは拡散係数であり、これは被照射体積中の物質のゆらぎ計測に対応する。そこで本稿では、「光と生体の相互作用」というテーマを踏まえ、生体中のゆらぎ計測を想定し、微小空間（1辺が数 μm サイズ）のゆらぎ計測に関するトピックスをいくつか紹介する。

なお本稿では、紙面の都合で数式の導出を省略する形で記述を行った。また、イメージのしやすさを優先して、量子論ではなく古典論に基づく記述を中心としている。詳細な理論や計測法については、適宜参考文献を引用するので参考にしてほしい。

2. 光散乱の3分類

2-1 弾性散乱：静的散乱

まず、光が散乱される原理について説明する。光は振動する電場である。そのため、原子核と電子によって構成される原子・分子に光が照射されると、中性の分子においても電子雲の偏りが起こる。この電子雲の偏りは、電磁気学的には双極子モーメントと呼ばれる物理量で記述される。振動電場によって引き起こされる電子雲の偏りは振動しており、その振動数は光の振動数と同じである。電磁気学によると、振動する双極子モーメントは、二次放射光としてその振動数と同じ電磁波（光）を放出