

振動分光イメージング法の進展



小関 泰之

東京大学先端科学技術研究センター
ozeki@ee.t.u-tokyo.ac.jp



井手口 拓郎

東京大学大学院理学系研究科
ideguchi@ipst.s.u-tokyo.ac.jp

我々の目で直接見えるものは可視光の吸収または発光であり、これらを波長分解して測定する、いわゆる分光計測は広く行われている。しかしながら、可視光の吸収や発光は、物質中の電子の光電場に対する応答に由来するものであり、可視光に吸収を持たない透明な物質も多い。

透明な物質を光で観察するには、試料を色素で染色して光吸収を生じさせたり、蛍光分子で標識して発光させたりする必要がある。これら染色や標識は、特に生体を光学顕微鏡で観察する際に必須の技術である。しかし、染色や標識は、手間のかかる試料調製が必要であるとともに、色数が数色に限られるなどの課題がある。また、そもそも染色や標識が難しい生体分子が多く存在している。

一方、赤外線領域には、分子振動に由来する光吸収（**赤外吸収**）があり、それを検出することでより豊かな分光情報が得られることが知られている。また、可視光と分子振動の相互作用により、入射光と異なる波長に微弱な散乱光として現れる**ラマン散乱**も、分子振動の情報を有している。これら赤外線吸収や可視光のラマン散乱を検出する分光法は振動分光法と呼ばれ、主に材料評価法として広く使われている。

振動分光イメージングとは、観察対象を多点で振動分光計測することで、分子の空間分布を可視化する技術である。振動分光イメージングは長い歴史を有するが、以下の課題を抱えていた。(1) 従来、赤外線領域においては輝度の低い光源や低感度な光

検出器しかなく、赤外イメージングの感度や速度が十分ではなかった。(2) 赤外線は可視光よりも波長が長いので、イメージングにおける空間分解能が低かった。(3) ラマン散乱は可視光域に発生するので、ラマンイメージングの空間分解能は高いが、ラマン散乱光の強度が非常に弱いことから、イメージング速度が非常に低かった。

これらの課題に対して、近年、光源の発展に加えて、さまざまな分子振動の検出方法が適用されたことで、振動分光イメージングの時間分解能や空間分解能が大幅に向上した。さらに、振動分光イメージングのためのプローブ分子も登場し、従来の染色や標識では可視化が難しかった分子をイメージングしたり、従来のイメージング技術の色数を超える超多色イメージングすることなどが可能になり、生体イメージングの分野を中心に応用が広がりつつある。

これら振動分光イメージング法は、分子振動の駆動法と検出法で分類することができる。駆動法としては、赤外光を用いる赤外励起と、2色の光を用いるラマン励起がある。検出法としては、光強度変化を検出する方式、サイドバンドを検出する方式が長く使われてきたが、近年、光熱検出法、光音響法、蛍光検出法などが次々と適用されている。今後、光源や計測法、解析法のさらなる発展により、振動分光イメージングが医生物学分野において従来見えなかった生命現象を可視化する手法として広く使われることが期待される。

用語解説

赤外吸収:

典型的な分子は周波数およそ10-100 THzの領域にさまざまな分子振動モードを有する。この分子振動に起因して中赤外光（波長3-8 μm 、周波数37.5-100 THz）や遠赤外光（波長8-15 μm 、周波数20-37.5 THz）などを吸収することを赤外吸収という。

ラマン散乱:

光と分子との相互作用の結果、分子振動周波数だけ光の周波数がシフトした光が散乱光として現れる効果。慣例的に、散乱光のうち、光周波数が元の光の周波数よりも低い散乱光をストークスラマン散乱、高いものを反ストークスラマン散乱という。