

中赤外レーザーによる分子振動共鳴効果を利用した 分子種選択的なマイクロ・ナノ物質操作

豊田工業大学 レーザ科学研究室
工藤哲弘

1. はじめに

1-1 光マニピュレーション

光は質量を持たないにもかかわらず、運動量を持ち、微小な物体に対して力を及ぼすことができる。古くは、彗星の尾が太陽と反対方向を向く現象からその存在は知られていたが、レーザーの誕生によって、この力がミクロな領域での物質操作に応用できることが明らかとなった^{1,2)}。こうした現象を利用した物質操作技術は「光マニピュレーション」と総称され、レーザーによって誘起する光圧（輻射力）を利用して、マイクロやナノサイズの微小物体を力学的に操作することができる。その代表例として、1997年にノーベル物理学賞を受賞したレーザー冷却（特に原子を極低温にまで冷却するドップラー冷却³⁾や、2018年の光ピンセット²⁾（細胞を非接触・非破壊で操作する技術）が挙げられる。これらの革新的な技術は、現代科学における重要な基盤となった。例えば、原子の極低温冷却が実現したことで、ボーズ・アインシュタイン凝縮をはじめとする量子物理学の実験検証が飛躍的に進展した。また、光ピンセットの応用により、生体モーター分子のダイナミクスやタンパク質のフォールディングに関する物理的メカニズムの解明も進んでいる。近年では、多数の冷却原子を格子状に光トラップして量子計算機へ応用する研究⁴⁾や、プラズモンナノ光ピンセットを用いて捕捉したタンパク質の構造安定性を評価する試み⁵⁾など、その応用範囲は基礎物理から生命科学へと多岐にわたる。

輻射力の原理を説明するために、まず図1(a)に示すような伝搬光を微粒子に照射した場合を考える。光の運動量が微粒子に伝わり、微粒子は光の進行方向に押される。この力は、光の散乱や吸収に由来し、それぞれ散乱力・吸収力と呼ばれる。散乱や吸収は物質の複素誘電率の光学特性を反映し、後術の共鳴原理と関係するが、その度合いが大きいほど大きな力が働く。光が散逸する過程に由来することから、散乱力・吸収力はまとめて散逸力と呼ばれることもある。

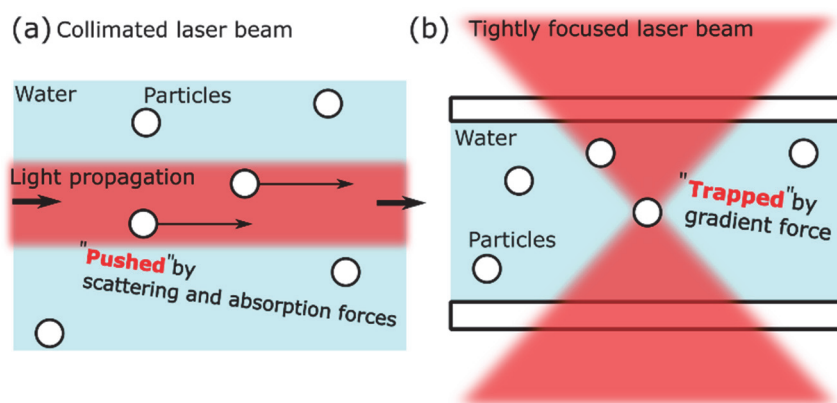


図1 (a)並行光（平面波）により溶液中に分散している微粒子が押されている様子、(b)集光ビームにより、微粒子が三次元的に光トラップされている様子を描いた模式図。