

# 光摂動による生体膜上の分子操作

大阪公立大学 大学院理学研究科  
谷本泰士, 細川千絵

## 1. はじめに

集光レーザービームの光放射圧（光圧）を用いて、溶液中の微小物体を非接触に捕捉し、操作するレーザートラッピング技術は、1970年にA. Ashkinらによって粒子の光捕捉が実験的に示されて以来、物理学から生命科学に至る広範な分野の基盤技術として発展を遂げてきた。高開口数の対物レンズを用いてレーザー光を微小領域に集光すると、光の屈折に伴う運動量変化が生じ、焦点中心へ引き込む勾配力が光の進行方向へ押し出す散乱力を上回することで、微小粒子の三次元的な捕捉が可能となる。この手法は、試料に対して物理的な接触が無く、液中環境でソフトマテリアルや生体試料を低侵襲に操作できるという、大きな利点を有している。本技術は、当初、ポリスチレン微粒子や赤血球といったマイクロメートルサイズの単一粒子や細胞を主な対象としてきた。その後、光源の安定化や検出器の高感度化といった光学系の高度化に伴い、その操作対象はナノスケールへと拡張され、現在では金属ナノ粒子や細胞内小胞、さらにはウイルス粒子の光捕捉も報告されている<sup>1)</sup>。こうした技術的進展により、レーザートラッピングは単なる微小粒子の操作手段に留まらず、生体分子系の力学的相互作用の計測や、生体分子の分子集合状態を能動的に制御するツールとして利用されている<sup>2)</sup>。一方で、レーザー波長に対して十分に小さいナノ粒子や分子においては、その体積に比する分極率が極めて小さいため、作用する光圧は熱揺らぎに抗するほど十分ではない。このため、タンパク質や蛍光分子のようなナノスケールの対象を単一分子レベルで安定に捕捉することは困難であると考えられてきた。しかし近年の研究により、レーザートラッピングが分子の濃縮や集合を誘起する光捕捉、集合現象が報告され、分子スケールにおける光操作研究は新たな展開を見せている(図1)。高濃度のタンパク質溶液やナノ粒子水分散系に近赤外レーザーを集光すると、レーザー集光領域に分子が集積し、局所的な濃度上昇が生じることが示されている<sup>3,4)</sup>。この分子濃縮現象は、光圧に加えて、熱泳動や分子間相互作用などが複合的に関与する現象として理解されつつある。さらに、この現象は細胞膜上や生体組織内での分子局在や相互作用の制御を可能にし、細胞機能や生体機能の調節への応用が期待されている<sup>5)</sup>。

本稿では、人工生体膜を用いた分子操作研究を例に、レーザートラッピングによる生体分子の動態制御の最近の研究について紹介するとともに、光摂動が拓く生体分子の機能解明への応用について議論する。

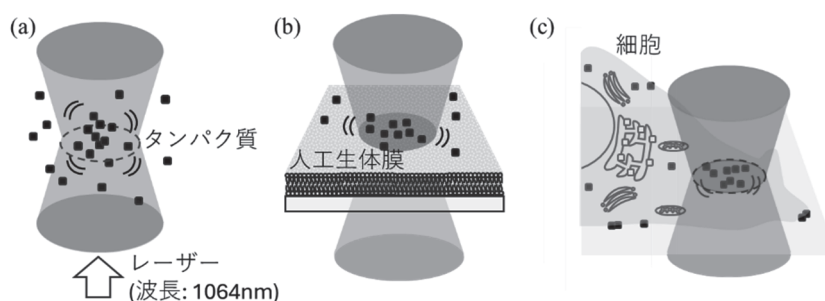


図1 レーザートラッピングによる分子操作の模式図。(a) 三次元溶液中における分子濃縮, (b) 人工生体膜上における分子集合, (c) 生細胞における細胞内分子操作。