

光の角運動量で物質を操る

千葉大学 大学院工学研究科

尾松 孝茂

螺旋波面を有する光波を総称して光渦と呼ぶ。代表的な光渦にヘルムホルツ方程式の近軸固有解であるラゲールガウスモードがある。一般に、光渦の螺旋波面は円筒座標系の周期的境界条件によって決まる量子数トポロジカルチャージ ℓ を用いて特徴づけられ、その軌道角運動量の大きさは $\ell\hbar$ で与えられる。また、螺旋波面に由来する位相特異点を持つ光渦は円環空間強度分布を示す。1992 年、Allen が光渦の螺旋波面に由来する軌道角運動量の存在を理論的に提唱してから、すでに 4 半世紀が経過する。これまでに様々な光渦の応用研究が提案されてきた。現在では、超解像顕微鏡や空間多重光通信、さらには、量子光通信のための光渦研究が国内外で活性化している。しかしながら、これらの応用研究の多くは光渦の円環強度強度分布やラゲールガウスモードの固有モード性を利用したものにすぎず、光渦の軌道角運動量を積極的に利用したものは未だ数少ない。もし、光渦の軌道角運動量とナノスケールあるいはマイクロスケールの物質と効率よく相互作用させることができれば、従来の光マニピュレーションを超えた多彩な物質操作が可能になるであろう。

われわれは、光渦の軌道角運動量を活用した物質操作を提案してきた。一般に、既存のレーザー加工技術や通常の光化学反応過程では、サブマイクロスケールの螺旋構造体を創ることは決して容易ではない。ところが、レーザーアブレーション加工の光源に光渦を用いると、加工対象となる物質表面に角運動量が作用してサブマイクロメートルスケールの螺旋ニードルが簡単にできる。また、光重合反応の光源に光渦を用いると、空間光ソリトン効果によって螺旋波面を反映したマイクロメートルスケールのコア径を有する螺旋ファイバーが光照射だけで簡単に創成できる。螺旋構造体は、潜在的に様々な分野への応用が期待できる。例えば、強い円偏光二色性を持つ人工光学素子はマイクロリアクターやバイオセンサーに応用できるだろう。螺旋ファイバーは、光渦を安定に空間伝播できるために光通信デバイス間の接続ファイバーとして活用できる可能性もあるだろう。本講演では、光渦の歴史的背景や基礎から始め、光波の角運動量と物質の相互作用の最先端の実例を紹介する。さらに、今後の展開についても言及したい。

謝辞：本研究の一部は科学研究補助金新学術領域研究「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」JP 16H06507 および科学研究補助金基盤研究 JP 18H03884、科学技術振興機構戦略的創造研究事業 CREST JPMJCR1903 の支援で実施した。

協賛：エネルギー物質科学研究センター (TREMS)
JST CREST「トポロジカル材料」
IEEE Fukuoka Section Photonics Society Chapter