

構造化された光とその未来

Structured Light and its Future

千葉大学 大学院工学研究院・分子キラリティー研究センター
尾松孝茂

1. はじめに

水面に現れる渦など波面の位相欠陥を示す事例は数多く、1970年代のNyeやBerryらの論文をはじめ研究の歴史は長い¹⁾。しかしながら、一方で、レーザー誕生以来、レーザーの空間モードは、基本的にガウスモードであることを前提としてきたため、レーザー装置や光学機器もいかに効率よくガウスモードを発生あるいは使うかを前提として設計されてきた。その結果、光の位相欠陥に関する研究はごく限られた研究者だけが集う小さな研究分野にすぎなかった。

事実、これまでのレーザー研究の主流は、超短パルスレーザーの発展とともにパルス整形技術²⁾、キャリアエンベロープ位相制御³⁾、光コム技術⁴⁾など、時間領域におけるレーザー制御技術である。時間領域のレーザー制御は、アト秒フォトニクス⁵⁾やテラヘルツフォトニクス⁶⁾などの光科学の新しい学術領域を創成する原動力となった。また、非熱加工・3次元光造形・微細周期表面加工などのレーザー産業を創出した。

このようにレーザー研究の主流とは距離を置いていた光の位相欠陥に関する研究が、今、大きく変わろうとしている。波面に点欠陥を持つ光を光渦⁷⁻⁸⁾という。不連続な等位相面を描きながら空間伝播する通常の光とは異なり、光渦の波面は連続的な螺旋を描く。その結果、波面中央部に位相の点欠陥(光強度の暗点)が現れる。円偏光が螺旋電場由来するスピン角運動量を有することは古くから知られているが⁹⁾、光渦は円偏光に依存しない螺旋波面由来する軌道角運動量を持つ。

スピン角運動量には螺旋電場の向きに対応する右・左回りの2つの自由度しかないが、軌道角運動量には螺旋波面の捩じれ度に対応した無数の自由度が存在する。そのため、光渦をキャリアとして情報の大容量化を狙う空間多重光通信¹⁰⁾や空間多重光記録¹¹⁾、さらには、量子光学¹²⁾などの応用研究が活性化している。また、波面や偏光がトポロジカルな構造で保護されている「構造化された光」は、ガウスモードに比べて空間伝播において擾乱を受けにくく、自由空間通信に向いていると考えられている。海底下における自由空間通信¹³⁾やBeyond 5Gあるいは6Gとして注目を集めるテラヘルツ帯通信¹⁴⁾のキャリアとして光渦を使用する実証研究もスタートしている。

キラリティーとは、物体や現象がその鏡像と重ね合わせることができない性質である。光渦は螺旋波面の向きに対応したキラリティーを示す。螺旋電場によるキラリティーを示す円偏光と分子の相互作用(円偏光二色性)が、分子のキラリティーを計測する手段として古くから活用されてきたように、光渦の螺旋波面と物質の相互作用は、物質の階層構造のキラリティーを計測する手段となりうる可能性がある。また、「構造化された光」が示すユニークな様々な性質を物質にインプリントできれば、既存の物質にはない新奇能を創出できるかもしれない。すでにスピン角運動量と軌道角運動量の相互作用¹⁵⁾、光量子ホール効果と呼ばれる横スピン角運動量¹⁶⁾などの新奇現象が数多く報告されているし、光渦照射による物質のキラル秩序化現象なども発見されている^{17,18)}。

光渦のように実空間における波面あるいは偏光などが空間的に制御された光を「構造化された光(英語名は Structured Light)」と呼ぶ。光の位相欠陥は「構造化された光」へと姿を変えて、情報通信