

# 光複素振幅の幾何学的変換を用いた光渦モード変換 Optical-Vortex Mode Conversion using Geometric Transformation of Optical Complex Amplitude

1215044 高嶋 悟 (光制御・ネットワーク研究室)  
(指導教員 小林 弘和 准教授)

## 1. 背景・目的

光波のビーム断面における光複素振幅分布の幾何学変換手法[1,2]については、ガウシアンビームから矩形の強度分布を持つトップハットビームに変換する手法や任意の強度分布の作成など、古くから研究が行われてきた。近年、この幾何学変換を利用して軌道角運動量(OAM : Orbital Angular Momentum)を持った光ビームである光渦のモード分離やモード変換が多数報告されている。光渦とは図1のように強度分布が円環状で、中心に強度暗転をもつ光ビームである。多数の空間モード( $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )を有するこの光ビームはビーム断面内で螺旋状の位相勾配 $2\pi l$ を持ち、1光子あたり $lh$ のOAMを持つ。光渦の位相勾配やOAMを利用して、多重化通信や光計測、量子計算などへの応用が期待されており、いずれの応用でもモード変換やモード分離技術が重要となる。光渦のモード変換技術としては軸対称偏光素子(q-plate)や円錐鏡、空間光変調器(SLM : Spatial Light Modulator)を用いた手法が確立されている。これらの手法は光渦モード $l$ を加算的、減算的操作をすることが可能である。しかし、乗算的なモード変換手法ははまだ十分に確立されていない。本研究では $2f$ 系によるフーリエ変換を利用した光複素振幅の幾何学変換を用いて、光渦モード $l$ を整数倍するモード変換手法を提案し実証実験を行う。提案手法ではSLMを用いて、幾何学変換に必要な複数の位相分布を混合した一枚の位相分布で光渦モードの変換を高効率かつ高精度に実現可能であり、OAMの制御技術の基盤になりうる。

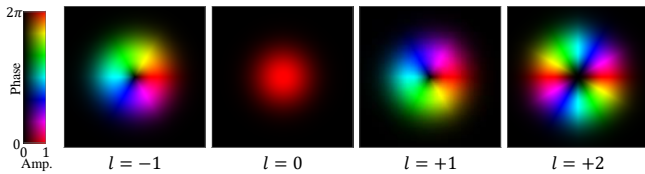


図1 光渦の複素振幅分布

## 2. 複素振幅の幾何学変換

光渦モード変換を実現するために光複素振幅を $(r, \theta)$ 平面から出射ビーム断面の $(\rho, \phi)$ 平面へ幾何学変換することを考える。幾何学変換は、SLMを用いて入射光に特定の位相分布を与え、レンズを含む $2f$ 系によりフーリエ変換することで実現する。今回行う光渦モード $l$ を $N$ 通倍する幾何学変換は

$$(\rho, \phi) = \left( \alpha r^{\frac{1}{N}}, -\theta/N + \beta \right)$$

である。ここで、 $\alpha$ は任意の実定数で、 $\beta$ によって変換後の偏角を操作する。この変換により、 $(\rho, \phi)$ 平面での光渦モードは $-N$ 通倍される。但し、 $\beta = 2n\pi/N$  ( $n = 0, 1, \dots, N-1$ )なので $-N$ 通倍するときには $n$ 個の位相分布による幾何学変換が必要である。例として $N = 2, \beta = 0$ の場合について図2(a)に示す。円環の分布が半円の分布となるのが分かる。ここで、 $\beta = \pi$ の変換も同時に行うことで図2(c)のように円環となり光渦のモードを2通倍できる。

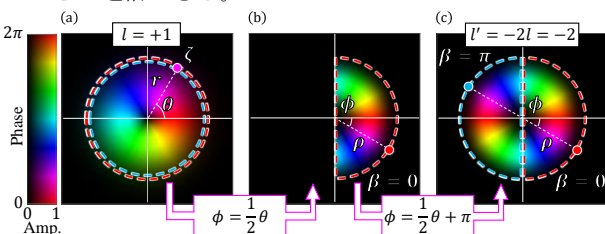


図2 光渦の幾何学変換

## 3. 実験

### 3.1 実験系

図3に実験系を示す。光源は635nmのファイバ出力の半導体レーザであり、光ファイバカップラで参照光と被測定光に分けてそれぞれ水平偏光を準備している。その後、q-plateとQWP1, QWP2を用いて光渦 $l = 1, 2$ を生成する。次に生成した光渦にSLMを用いて幾何学変換のための位相分布 $\Phi(r, \theta)$ を与え、レンズのかわりに凹面鏡で反射して $2f$ 伝搬後に補正の分布 $\Psi(\rho, \phi)$ を与える。2つの位相分布はSLMの半分ずつに表示する。補正後はレンズとピンホールを用いた空間フィルタによってビームを整形し、CCDカメラで観測する。観測は $l = 0, \pm 1, \pm 2$ を2通倍と3通倍について行った。CCDカメラでは光の強度分布しか取得できないため、位相分布が所望の通倍変換されているか確認するために $l = 0$ の参照光と干渉させ、その干渉縞から角スペクトル法を用いて光渦モードの解析を行なった。

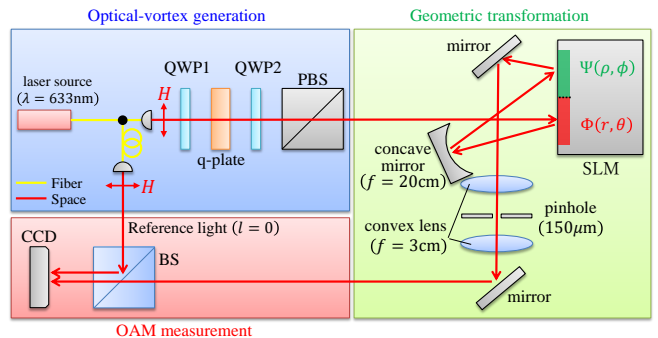


図3 実験系

### 3.2 実験結果

図4に変換前後の振幅分布の測定結果を示す。図4(a)は入力した光渦モード、(b)は2通倍、(c)は3通倍した結果を示す。入力したモードに対して、2通倍3通倍それぞれ $-2l, -3l$ となっていることが確認できた。

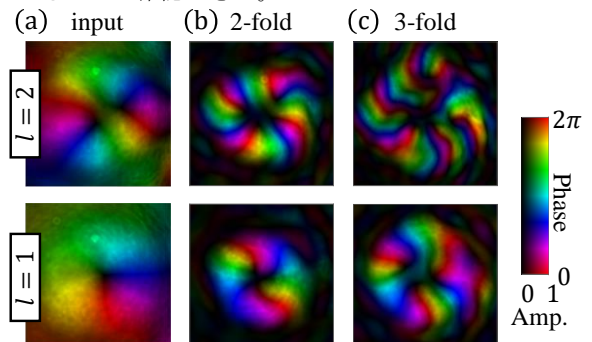


図4 光渦モード $l$ を2,3通倍した光複素振幅分布

## 4. まとめ

SLMを用いた光複素振幅の幾何学変換による光渦モードの通倍手法の提案と実証を行った。その結果2通倍、3通倍それぞれ所望の変換モードが得られた。

### 参考文献

[1] O. Bryngdahl, JOSA **64**, 1092 (1974).  
[2] O. Bryngdahl, Opt. Commun **10**, 164 (1974).