

ベクトルビームを用いた超解像顕微鏡

Super-resolution microscopy by a vector beam

東北大多元研 [○]佐藤 俊一Tohoku Univ., [○]Shunichi Sato

E-mail: sato@tagen.tohoku.ac.jp

一般によく利用されている直線偏光ビームは、光ビームの断面のどの位置でも偏光方向は同じであるが、偏光分布が不均一である光ビームも存在し、その光ビームの電磁場はベクトルとして取り扱うことが必要となる。このような光ビームはベクトルビーム[1]と呼ばれ、今世紀に入って研究が活発化している。ベクトルビームには、直線偏光ビーム（スカラービーム）には無い、数多くの新しい特性が見出されており、その応用研究も盛んになりつつある。最も特徴的な特性のひとつは、放射状に偏光が分布しているベクトルビーム（ラジアル偏光あるいは径偏光）を強く集光した際に発生する、強い軸方向電場（縦電場）である。この縦電場は、焦点付近に集中することが知られていたが、高次の横モードである、多数のリング状の強度分布を持つ径偏光ビームは、焦点面で 0 次のベッセル関数に近いスポットを形成することを、われわれは数値計算によって見出した[2]。これは、直線偏光のガウスビームよりもさらに小さな光スポットが形成されることを意味しており、走査型レーザー顕微鏡に適用した場合、大幅な空間分解能の向上が期待できる。

この高次横モード径偏光ビームを用いた微小スポットの形成による超解像特性を実証するため、ガウス型直線偏光ビームを、6 重リングの位相板と 12 分割の 1/2 波長板の機能を有する液晶素子を用いて 6 重リング構造を持つ径偏光ビームに変換した。この液晶素子は薄くて軽く、顕微鏡の対物レンズの直前に設置できるため、通常の共焦点レーザー顕微鏡を、ほぼそのまま利用できる。また、引加電圧を変えることによって、異なる励起レーザー光の波長にも十分対応できる利点を有している。実際、直径 0.17 μm の蛍光ビーズを試料として蛍光像を取得すると、6 重リング径偏光ビームを用いた場合、明らかにひとつひとつの蛍光ビームを判別することができた。単一ビーズ像の強度プロファイルの半値幅が、直線偏光ビームでは約 290nm であるのに対し、高次径偏光ビームでは約 190nm であり、30%を超える空間分解能向上が認められた。同様に、生体細胞内の微小管の蛍光像を高い分解能で取得することができた[3]。前述のように、高次径偏光ビームの集光スポットは 0 次のベッセル関数に近いいため、中央のピークの周囲に多数のサイドローブが発生し、これが画像にフレアのような影響を与えてしまう。しかしながら、共焦点光学系を利用すると、サイドローブの影響は劇的に低減され、中央の狭いピークからの蛍光信号を選択的に取り出すことができ、これが横方向の空間分解能向上に大きく寄与している。

参考文献

- 1) Q. Zhan, Adv. Opt. Photon. **1**, 1 (2009).
- 2) Y. Kozawa and S. Sato, J. Opt. Soc. Am. A **24**, 1793 (2007).
- 3) Y. Kozawa, T. Hibi, A. Sato, H. Horanai, M. Kurihara, N. Hashimoto, H. Yokoyama, T. Nemoto, and S. Sato, Opt. Express **19**, 15947 (2011).