

光渦マスクを用いた強度および位相物体の輪郭強調イメージング Edge enhanced imaging of intensity and phase objects by using optical vortex mask

1235120 河邊 智弘 (光制御・ネットワーク研究室)
(指導教員 小林 弘和 准教授)

1. 研究背景・目的

現代において、光を用いたイメージング技術は、細胞中の空間的構造などの顕微鏡的なイメージングや、はるか遠方の天体を鮮明に観測する望遠イメージングなど様々な興味ある現象を直接観測することが出来る強力な手法である。

近年、光渦マスクと呼ばれる方位角に沿って異なる位相を付与する素子を、既存の望遠鏡や顕微鏡に適用することで、新たな機能を付加したイメージング技術が注目されている。

既存の顕微イメージングに焦点を当てると、強度物体は明視野法により直接観察が行えるが、位相物体は透明であるため干渉を利用した位相差法や微分干渉法で観察する必要がある。本研究では、光渦マスクを用いて従来の顕微観察法の欠点を補い、強度物体および位相物体の輪郭を強調してイメージングを行うことを目的とする。

2. 光渦顕微鏡

光渦顕微鏡は図1に示すように4f系の1枚目のレンズの焦点位置に、方位角 θ に沿って 2π の位相差 $e^{i\theta}$ を光波に与える光渦マスクを配置する。レンズの前側焦点面に入射した光波は後側焦点面との間に二次元フーリエ変換の関係が成り立つ。そのため、 $f_{in}(x, y)$ を入射する光波とすると、4f系の出射面における光波 $f_{out}(x, y)$ は

$$f_{out}(x, y) = \mathcal{F}^{-1} \left[e^{i\theta} \mathcal{F} [f_{in}(x, y)] \right] \\ = \left[-i \left(\frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right) f(x, y) \right] * \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.1)$$

となる。ここで $*$ は畳み込み積分、 \mathcal{F} はフーリエ変換、 \mathcal{F}^{-1} は逆フーリエ変換を表す。式(2.1)より畳み込みの影響が小さい場合を考え、絶対値(強度)をとると

$$|f_{out}(x, y)|^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 = |\nabla f_{in}(x, y)|^2 \quad (2.2)$$

となる。ここで $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ である。つまり、 $f_{in}(x, y)$ の変化量(勾配)の大きさを見ていることとなるため輪郭を抽出していると言える。

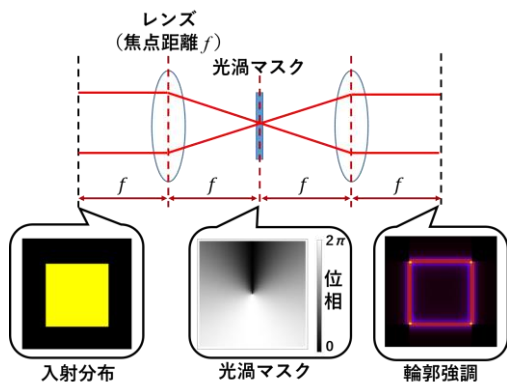


図1.光渦顕微鏡

3. 実験構成

図2に光渦顕微鏡の実験系を示す。波長 $\lambda = 635\text{nm}$ の赤色レーザー光を偏光ビームスプリッタ(PBS)で水平偏光にしてターゲットに入射し対物レンズとチューブレレンズで10倍に拡大する。しぼりにより光束径を調整し光渦マスクを用いて輪郭強調を行なった後、CMOSカメラで観察する。

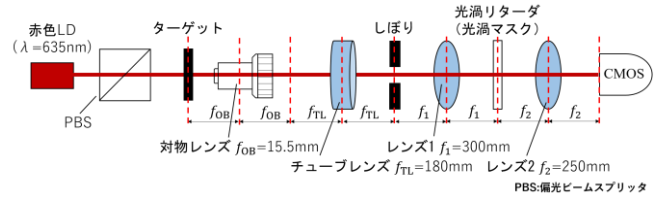


図2.実験系 (PBS:偏光ビームスプリッタ)

4. 結果

図3にターゲットとして位相物体を用いた実験結果を示す。図3(a)は光渦マスクがない場合、図3(b)は光渦マスクがある場合である。図3(a)に示すように、位相物体は透明なポリマーによる位相差のみの付与であるため回折などにより少しだけ見えているが明視野法では観察は難しい。しかし、図3(b)に示すように光渦リターダを入れることで、位相差が付与されている箇所の輪郭が強調されてイメージングされていることがわかる。

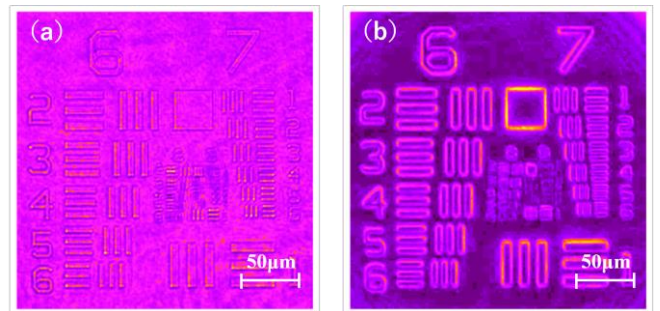


図3. 結果 (a) 光渦マスクなし (b) 光渦マスクあり

図4に玉葱の表皮細胞の観察を行った結果を示す。図4(a)はマスクがない場合、図4(b)はマスクがある場合である。図4(a)より細胞壁は強度物体であるためマスクがなくても観察できるが、細胞核は位相物体であるため気泡や汚れとの判別が難しい。しかし、図4(b)に示すようにマスクを入れることで細胞壁だけでなく細胞核の輪郭強調も行われ観察が可能となっている。

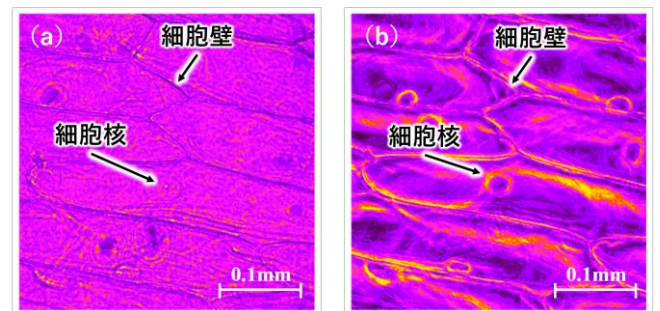


図4. 結果 (a) 光渦マスクなし (b) 光渦マスクあり

5. まとめ

光渦マスクを用いることで位相物体の輪郭を強調することができた。また、玉葱の表皮細胞の観察を行うことで強度物体である細胞壁、位相物体である細胞核の輪郭強調による観察が可能となることがわかった。