

偏光カメラの二色性キャリブレーション法

Calibration method for diattenuation parameter on a pixelated polarization camera

宇都宮大学 ○柴田 秀平, 大谷 幸利

Utsunomiya Univ., ○Shuhei Shibata, Yukitoshi Otani

E-mail: shibata_s@opt.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

近年, 干渉計や偏光計の動的計測において CCD センサーの画素ごとに偏光方位が異なった偏光板が組み込まれた偏光カメラが提案されてきた. 現在, フォトニック結晶による偏光子アレーやアルミニウム製のナノワイヤグリッドの偏光カメラが提案されている.

我々はフォトニック結晶の偏光カメラを用いてストークス・パラメータおよび複屈折計測を提案してきた. しかし, これらの偏光子アレーはグラントムソン偏光子などの偏光板に比べて消光比が良くないため, ストークス・パラメータ測定や複屈折測定の精度を低下させる大きな要因となっていた. 今回, この偏光子アレーの二色性をあらかじめ求めることで, 二色性のキャリブレーションを可能にしたので報告する.

2. 偏光子アレーの二色性測定原理

偏光子アレーに軸透過率 p, q と $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ で構成されている方位 φ を持つと考える. 未知のストークス・パラメータ $[s_0, s_1, s_2, s_3]$ が偏光子アレーを透過し, CCD センサーで光強度を検出する.

$$I(\varphi) = \left\{ (p^2 + q^2)s_0 + (p^2 - q^2)(s_1 \cos 2\varphi + s_2 \sin 2\varphi) \right\} \\ = (p^2 + q^2)s_0 \left\{ 1 + \frac{p^2 - q^2}{p^2 + q^2} \cdot \frac{\sqrt{s_1^2 + s_2^2}}{s_0} \cos \left(2\varphi - \arctan \left(\frac{s_2}{s_1} \right) \right) \right\} \quad (1) \\ = (p^2 + q^2)s_0 \{ 1 + D \cdot LDOP \cos(2\varphi - \alpha) \}$$

ここで, D は二色性, $LDOP$ は直線偏光度, α は偏光状態の方位を表している.

ここで, 任意方位 θ を偏光子による完全直線偏光 $[1, \cos 2\theta, \sin 2\theta, 0]$ を偏光カメラで検出すると考えると, 式(1)は,

$$I(\varphi) = (p^2 + q^2) \left\{ 1 + D \cdot \frac{\sqrt{\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta}}{1} \cos \left(2\varphi - \arctan \left(\frac{\sin 2\theta}{\cos 2\theta} \right) \right) \right\} \quad (2) \\ = (p^2 + q^2) \{ 1 + D \cdot \cos(2\varphi - 2\theta) \}$$

となる.

式(2)から二色性 D は振幅成分だけになるため, 入射光の偏光子の方位 θ は位相成分に分けられる. 偏光子アレーの方位 φ は $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ で構成されているため, 二色性 D と偏光子の方位 θ は 4 ステップ位相シフト法を用いると,

$$D = \frac{2\sqrt{\{I(0^\circ) - I(90^\circ)\}^2 + \{I(45^\circ) - I(135^\circ)\}^2}}{I(0^\circ) + I(90^\circ) + I(45^\circ) + I(135^\circ)} \quad (3) \\ \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{I(45^\circ) - I(135^\circ)}{I(0^\circ) - I(90^\circ)} \right\}$$

と表せる.

従来, 我々が提案してきた回転位相子と偏光カメラで構成されているストークス・パラメータ測定法に偏光子アレーの二色性があると考えれば, ストークス・パラメータは,

$$\begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{D} \cdot \frac{I_0 - I_2}{I_0 + I_2} \\ \frac{1}{D} \cdot \frac{I_5 - I_7}{I_5 + I_7} \\ \frac{1}{D} \cdot \frac{I_1 - I_3 - I_9 + I_{11}}{2(I_0 + I_2) \sin \delta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

と表せる.

ここで, $I_0 \sim I_3, I_4 \sim I_7, I_8 \sim I_{11}$, はそれぞれの位相子の方位 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ のときの 4 画素の光強度を表している.

したがって, あらかじめ二色性 D を測定しておき, 式(4)に代入することで二色性 D のキャリブレーションを可能になる.

3. 偏光子アレーの二色性測定結果

今回, 白色光源から出射された光は波長 $530\text{nm} \pm 25\text{nm}$ のバンドパスフィルタを透過させ, 方位 0° に設定したグラントムソン偏光子による水平直線偏光を偏光カメラで検出したときの二色性を測定した. 表 1 にその結果を示す. 平均回数は 10 回, 計測結果は測定範囲の中心値である.

表 1 偏光アレーに二色性測定結果

二色性	入射偏光子の方位
0.87	0.43°

4. まとめ

従来, 偏光カメラの偏光子の二色性は 1 と考えられていたが, 今回, 二色性を測定した結果偏光子アレーの二色性をキャリブレーションする必要があることがわかった. そのため, 従来のストークス・パラメータ測定に適応できるアルゴリズムを構築した.

今後はこのアルゴリズムで測定して精度を検証していく.

5. 参考文献

- [1] 柴田秀平, ほか: 第 61 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集(2014) pp.03-055.