

ストークスパラリメータを用いた偏光測定

○ 中山 絵里加, 松田 豊稔 (熊本電波高専)

1. はじめに

光の性質の一つに偏光[1]があり, 偏光は顕微鏡やめがねそして液晶ディスプレイなど光学機器に広く利用されている. また, 太陽光など自然界の光は, 無偏光の光であるが, 反射や散乱等によって偏光した光が生じることがある[2]. しかし, 光の偏光を人間 (の目) が直接感知することはできないため, 自然界にある偏光を私たちが意識することは少ない. 本報告では, 偏光とそれを測定する方法について述べ, 私たちの身近にある偏光について調べることにする. 測定例として, 椿の葉に無偏光の光を照射したときの反射光の偏光について調べる.

2. 偏光とストークスパラメータ

ここでは, 光の偏光を説明したのち, 偏光の測定法について述べる.

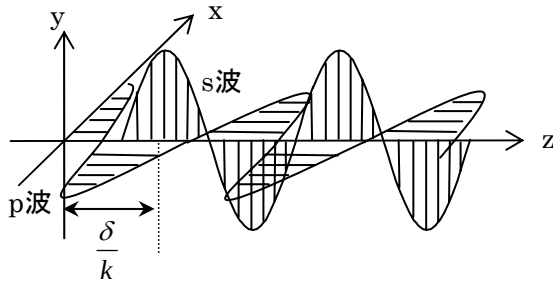


図1 s波とp波の電界分布

偏光された光は, 電界が直交する二つの平面波の合成として表され, 本稿では電界が図1のy方向に振動する成分をs波, x方向の成分をp波と呼ぶ. s波とp波の電界の振幅を A_1 と A_2 , 位相差を δ_1 と δ_2 とすると, 電界の成分は次式で与えられる.

$$\begin{aligned} E_x &= A_1 \cos(\omega t - kz + \delta_1) \\ E_y &= A_2 \cos(\omega t - kz + \delta_2) \\ E_z &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)から $\omega t - kz$ を消去すると

$$\left(\frac{E_x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{A_2}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{A_1}\right)\left(\frac{E_y}{A_2}\right)\cos\delta = \sin^2\delta \quad (2)$$

が求められる. ここで, $\delta = \delta_2 - \delta_1$ はs波とp波の位相差である. 式(2)は, 偏光つまり電界ベクトルの終端の軌跡を表しており, 図2のような楕円となる. 偏光状態は位相差により異なり, 直線偏光, 円偏光, 楕円偏光がある.

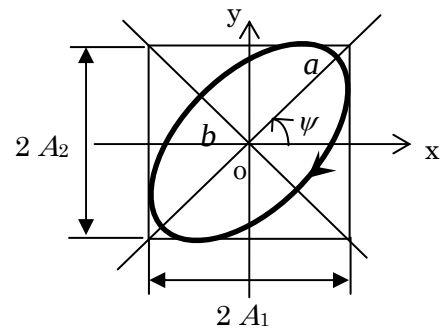


図2 楕円偏光

図2において, 楕円の長半径を a , 短半径を b , 楕円のx軸に対する傾きを方位角 ψ ($0 \leq \psi \leq \pi$) としたとき, 次の式が導かれる.

$$\begin{cases} a^2 + b^2 = A_1^2 + A_2^2 \\ \tan 2\psi = (\tan 2\alpha) \cos \delta \\ \sin 2\chi = (\sin 2\alpha) \sin \delta \end{cases} \quad (3)$$

ここで, $\tan \alpha$ (振幅比) $= A_2/A_1$ ($0 \leq \alpha \leq \pi/2$), $\tan \chi$ (楕円率) $= \pm b/a$ ($-\pi/4 \leq \chi \leq \pi/4$, +は右回り, -は左回り) である. 偏光状態を特定するパラメータとして, 通常は楕円率 $\tan \chi$ と方位角 ψ (または振幅比 $\tan \alpha$ と位相 δ) が用いられる.

偏光を測定する方法の一つにストークスパラリメータによる方法がある. この方法では, ストークスパラメータ I, M, C, S を測定することにより, 偏光状態 (楕円率と方位角) を求める. ストークスパラメータは, $\langle \quad \rangle$ を時間的平均値を表す記号として

$$\begin{cases} I = \langle A_1^2 + A_2^2 \rangle \\ Q = \langle A_1^2 - A_2^2 \rangle \\ U = \langle 2A_1A_2 \cos \delta \rangle \\ V = \langle 2A_1A_2 \sin \delta \rangle \end{cases} \quad (4)$$

で定義される.

3. 実験

3.1 実験内容

本研究では図 3 に示すよう各条件のもとで偏光状態を測定する. 始めに無偏光の偏光状態を測定し, 椿の葉を横においた場合と縦に置いた場合における反射光の偏光状態をポラリメータで測定する. また, 図 4 には実際の測定風景を示す.

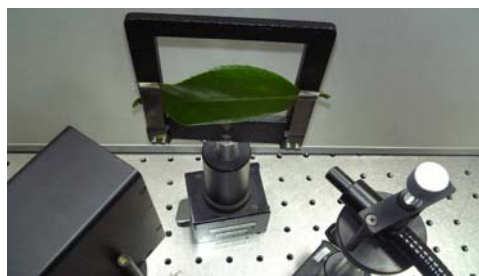
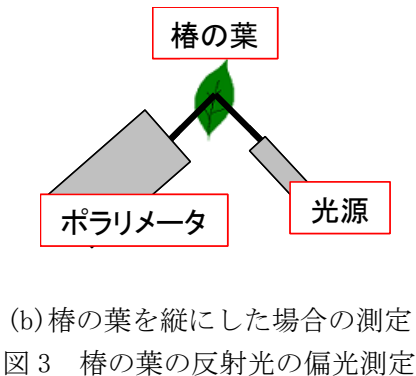
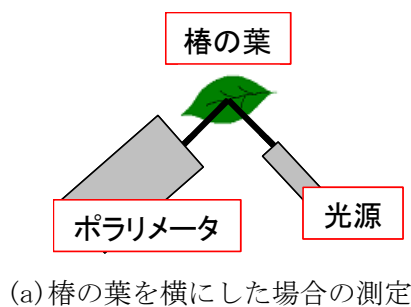
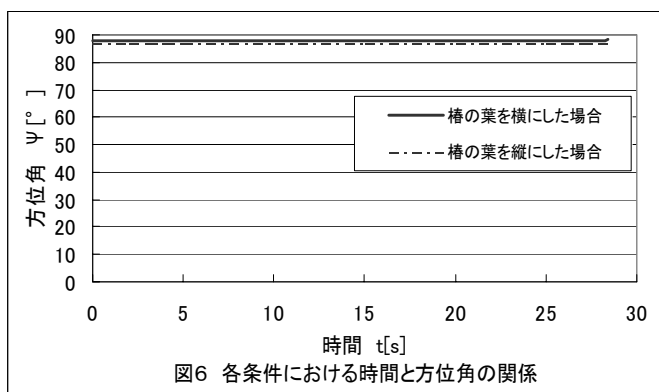
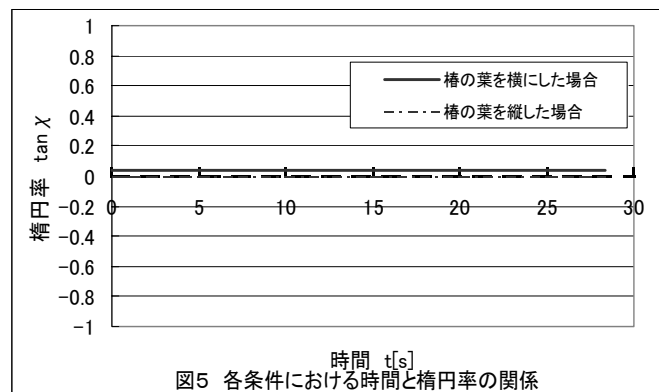


図 4 実験した椿の葉と光源及びポラリメータ

3.2 実験結果

図 5 には椿の葉を横にした場合, そして図 6



には椿の葉を縦にした場合における楕円率および方位角の測定結果を示す.

図 5 より楕円率は葉を横にした場合も縦にした場合もほぼ 0 になった. よって, 反射した光は直線偏光であったといえる. また図 6 より方位角は両条件で 90° であった. よって反射光は縦に振動している直線偏光といえる.

4. 考察

今回行った実験から, 椿の葉からの反射光は, 偏光していることが分かった. この偏光が生じる原因として, 椿の葉の光沢が考えられ, 現在, この偏光が生じるメカニズムを考察している. また, 偏光と物体の質感や鮮明さとの関係について今後調べる予定である.

文献

- [1] W.A. シャークリフ著, 福富斌雄, 三輪啓二, 有賀那加夫 訳: “偏光とその応用,” 共立出版, (1965).
- [2] G. Horvath and D. Varju; “Polarized Light in Animal Vision” (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2004)