

ポアンカレ球を使うと偏光の変化が視覚的にわかるので非常に便利です。ポアンカレ球は完全偏光だけでなく、部分偏光にも使えます。今回の工房では液晶素子による偏光状態の変換を取り上げて、ポアンカレ球を用いて説明します。偏光は完全偏光です。ポアンカレ球は、ストークスパラメーターより導かれます。図1にあるように、偏光状態を球上の点で表します。赤道上の点は直線偏光状態、北極点、南極点の点は、右回り、左回り円偏光を表します^{1,2)}。その他の球上の点は、楕円偏光状態になります。ポアンカレ球上の点を任意の場所に移動させるためには、 z 、もしくは y 軸を回転軸にして、経度方向、緯度方向に回転させればよいことがわかります。図1は、緯度方向と経度方向への回転の組み合わせで、直線偏光がある楕円偏光に変換される様子を示しています。はじめに入射直線偏光が図1のように x 軸上の正の位置にあるとして、経度方向に θ 、緯度方向に α 回転されたとします。 θ 、 α を $0\sim 2\pi$ の範囲で与えると、直線偏光から任意の偏光状態に変換できることがわかります。ここで、ちょっと注意してほしいのは、緯度方向と経度方向の移動の順序を入れ替えると、 θ または $\alpha=0$ の場合を除いて偏光状

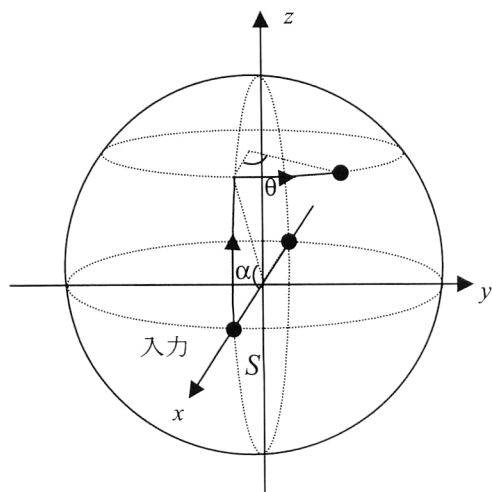


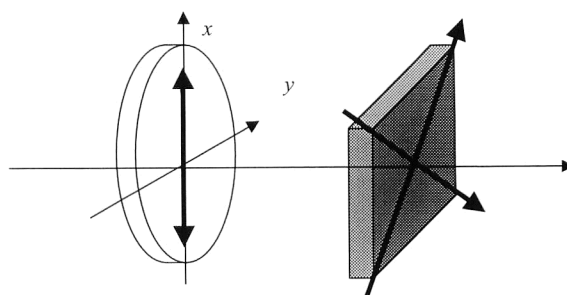
図1 ポアンカレ球の一例。

態は同じ場所には移動しないことです。

次に具体的な例として、液晶分子が平行配列した液晶空間光変調器を用いた偏光変換について説明します³⁾。

はじめに、緯度方向の偏光回転について説明します。例えば、図2に示すように直線偏光を出発点として x 軸をとります。緯度方向に回転させるには、ポアンカレ球上で、90度回転した回転軸(y 軸)が必要になります。このことは、図2に示すように、液晶空間光変調器の主軸を入射直線偏光に対して45度(経度方向の回転は2倍の角度になる)傾けることに対応します。位相遅延量 α が緯度方向の回転角度に対応するので、 α を変えることで、直線偏光、楕円偏光、円偏光に変換できることがわかります。

経度方向の偏光回転は、緯度方向の回転を90度回転させることで行うことができます。ここでは、図3を用いて、任意の入力偏光に対して経度方向へ偏光回転させる方法を説明します。液晶空間光変調器は、2枚の1/4波長板に挟まれており、液晶の主軸は2枚の波長板の主軸に対して45度傾けられています。これは、ポアンカレ球で液晶空間光変調器と波長板の回転軸を直交させることに対応します。図3における偏光状態の変化をポアンカレ球で見ると図4のようになります。2つの1/4波長板はそれぞれ y 軸を回転軸として偏光を ± 90 度回転させ、液晶は x



偏光板 液晶空間光変調器

図2 偏光変換装置の一例。

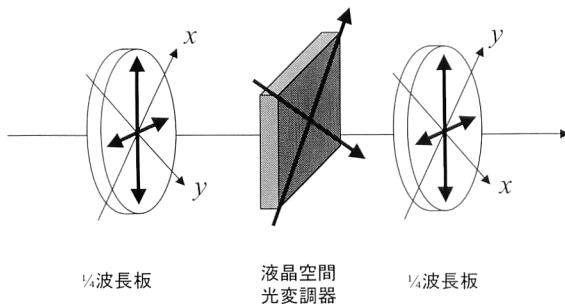


図3 液晶空間光変調器による偏光変換.

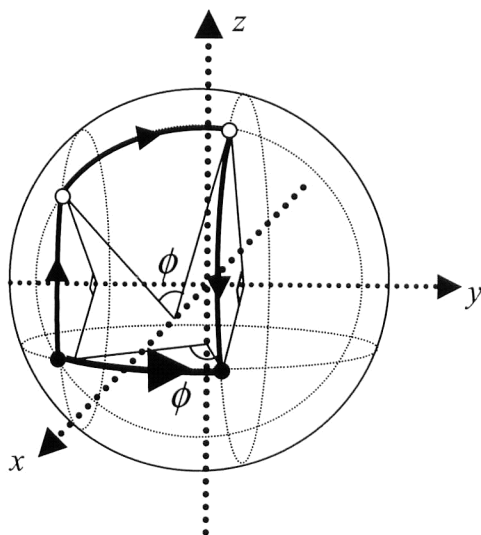


図4 図3のポアンカレ球表示.

軸を回転軸として偏光を ϕ 回転させます. 結果として, 偏光状態が z 軸を回転軸として経度方向に $\phi/2$ だけ回転することになります. 上述の2つの回転素子を組み合わせて, 液晶での位相遅延量を制御することにより, 直線偏光から任意偏光状態を作ることができます.

最後に直線複屈折を測定するための便利な方法のひとつであるセナルモン法を紹介します¹⁾. ポアンカレ球を用いると, セナルモン法を視覚的, 直感的に理解できます. その測定系を図5に示します. 未知の直線複屈折媒質の主軸は入射する光の偏光に対

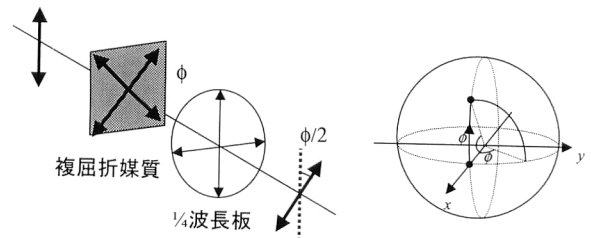


図5 セナルモン法とポアンカレ球表示.

して45度傾いている場合を考えましょう. 1/4波長板の主軸は入射する光の偏光に対して平行または垂直です. 光が, 複屈折媒質を通過すると, その偏光は y 軸のまわりで緯度方向に複屈折媒質主軸間の相対位相遅延量 ϕ だけ回転します. つづいて, 光が1/4波長板を通過すると, ポアンカレ球上で x 軸のまわりで90度 ($\pi/4$) 偏光が回転するので, 結果として $\phi/2$ だけ回転した直線偏光が得られることとなります. この直線偏光の回転角を調べることで複屈折媒質の主軸間の屈折率差を知ることができます.

このようにポアンカレ球を使うと, 複雑な偏光状態の変化を数式を使わずに視覚的理解できます. 偏光制御の技術は光学の分野でますます使われるようになりました. 皆さんもポアンカレ球を使ってみてはいかがでしょうか. この記事に関してのご意見, お問い合わせは omatsu@image.tp.chiba-u.ac.jp もしくは tanida@mls.eng.osaka-u.ac.jp までお寄せください. (的場 修)

文 献

- 1) 鶴田匡夫: 応用光学II, 培風館, 1990.
- 2) M. Born and E. Wolf: *Principle of Optics*, 6th ed. (Cambridge University Press, 1997).
- 3) J. A. Davis E. McNamara, D. M. Cottrell and T. Sonehara: "Two-dimensional polarization encoding with a phase-only liquid-crystal spatial light modulator," *Appl. Opt.*, **39** (2000) 1549-1554.