

偏光 (No.2)

栗田 進

今回は自然界で我々が目にする偏光現象を見てみましょう。私たちは車を運転するときや、夏の海水浴場などの日差しの強い所ではサングラスをかけ、あるいは冬のスキー場ではゴーグルをかけて、眩しさを防ぎます。このサングラスやゴーグルには多くの場合偏光板が使われています。これは路面や水面、あるいは砂浜、雪面からの光の反射光が偏光していることを利用して、それを遮ることによって眩しさを軽減しているのです。

物質表面での光の反射と屈折

物質表面での光の反射と屈折についてお話しします。2つの媒質が平面を境に接し、媒質1から媒質2へ光が入射する場合を考えます。媒質1の屈折率を n_1 、媒質2の屈折率を n_2 とします。なお、屈折率 n は、媒質中を光が伝播するとき、光の速さ c が真空中の光速 c_0 の n 分の1 ($c = c_0/n$) であるとして定義されます。また、すぐ後で出てくる入射角と屈折角の関係を与える量としても定義できます。幾つかの物質の屈折率を表1に示します。ダイヤモンドの中では光は空中の4割程度の速さで進むことがわかります。

屈折率は物質ばかりでなく光の波長によっても値が違います。例えば、水の屈折率は赤（波長 650nm）で 1.331、紫（波長 405nm）で 1.343 です。ですから、ある物質の屈折率を言うときには波長も指定しなければなりません。単に屈折率というときにはナトリウムの D 線の波長（黄色）での値を使っています。

平らな物質の表面に光を照射した場合、光の一部は物質の中に入り、残りは表面で反射します（図 2.1 参照）。物質の面に対して入射角 ϕ_1 で入射した光は図のように同じ角で反

媒質	屈折率
ダイヤモンド	2.4195
酸化マグネシウム	1.7373
熔融石英	1.4585
光学ガラス BK7	1.5168
岩塩	1.5443
ポリスチレン	1.592
水	1.3330
空気(0°C、1気圧)	1.000292

表1 物質の屈折率（589.3nm の値）

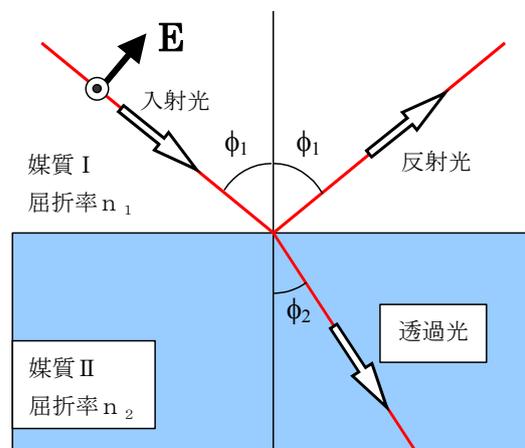


図 2.1 光の反射と屈折

射します。これを反射の法則といいます。すなわち、

反射の法則：入射角と反射角は等しい。

入射角 ϕ_1 ，屈折角 ϕ_2 との間には屈折の法則が成り立ちます。

屈折の法則：
$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

屈折の法則を **Snell の法則**ともいいます。なお、入射光と反射光がつくる平面を入射面といいます。

さて、物質の表面での**光の反射は入射角と偏光**によって大きく変わります。図 2.1 で入射光の偏光（電場ベクトル）が矢印で示されています。⊙は物質境界面（反射面）に平行（入射面に垂直）に偏光した光になっています。自然光は様々な偏光を含んでいますが、それらの偏光はすべて入射面に平行な成分と垂直な成分に分けられるので、この2つの偏光について議論すれば十分なのです。

反射率は次式で与えられます。た

だし、 $n = \frac{n_2}{n_1}$ とおきました。

$E //$ 入射面（P 偏光）

$$R_p = \left(\frac{n^2 \cos \phi_1 - \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}}{n^2 \cos \phi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}} \right)^2$$

$E \perp$ 入射面（S 偏光）

$$R_s = \left(\frac{\cos \phi_1 - \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}}{\cos \phi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}} \right)^2$$

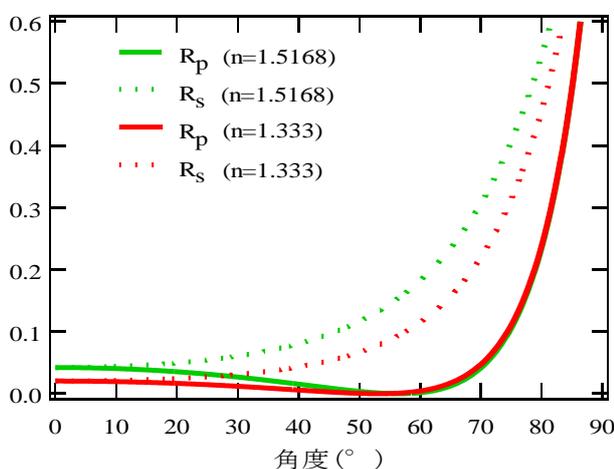


図 2.2 反射率の入射角度依存性

入射する光の偏光方向が反射面に平行に偏光した光（⊙で表した光を S 偏光という）と、それに垂直に偏光した光(P 偏光)について、反射強度が入射角に対してどの様になるかを空中から水（屈折率 1.333）および光学ガラス BK7（屈折率 1.5168）に入射した場合について、上式に従って計算した結果を図 2.2 に示しました。

垂直入射の場合（ $\phi_1 = 0$ ）にはどちらの偏光も反射率は等しくなり、

$$R_p = R_s = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

となります。 $n = 1.5$ のガラスの場合、反射率は 0.04、すなわち、4%がガラスの表面で反射します。窓ガラスの場合にはガラスの裏面でも同じ比率で反射するので、結局、ガラス 1 枚を透過する光の量は 92.16%となります。

図 2.2 から入射角 ϕ_1 をだんだん大きくしていくと入射面に垂直（反射面に平行）な S 偏

光の成分が P 偏光を持つ光の反射率より大きくなり、反射光は反射面に平行な偏光を多く持った光となります。このように光が空中から物質表面に入射するときはいつでも S 偏光の反射光が強くなるのが分かります。路面や雪面などは平面ではなく、微視的に見れば反射面はあらゆる方向を向いていますがある路面から目に入る反射光は平均としてはやはり S 偏光成分が強くなります。偏光サングラスは、道路で反射されたぎらぎら光るこの反射光を取り除くように、すなわち、サングラスの偏光面が縦方向を向くようにセットされています。

外が明るいとき、ショウウィンドーや水中のものを見ると、ガラスや水面からの強い反射光のため、中の様子が見えにくいことがよくあります。偏光フィルター、あるいは偏光板で強く反射する S 偏光の光を遮断して見れば、表面の反射光は少なくなり、中の物がよく見えることとなります (図 2.3)。

物質の屈折率は 1 より大きいですから、P 偏光では反射率がゼロになる入射角があります。その角度 ϕ_B は次の式で与えられます。

$$\tan \phi_B = n$$

反射率がゼロになる角 ϕ_B をブリュースター (Brewster) 角といいます。水では $\phi_B = 53.1^\circ$ 、BK7 で 56.6° となります。この角度で入射した光の反射光は P 偏光を含まない、S 偏光のみの光となります。赤外線偏光を得るために、昔はブリュースター角を利用した偏光子が使われました。また、ブリュースター角で入射した P

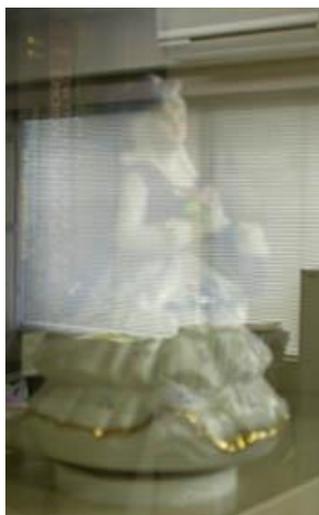


図 2.3 ウィンドウの中の人形

偏光の光は反射せず、そのままの強度で第 2 の物質に入っていきますので、表面での反射ロスがありません。この性質はレーザ光発振素子の端面に応用されています。

透過光

図 2.2 で、表面で反射せず第 2 の媒質に入射する光は透過率として入射光強度との比で表されます。光はどこにも吸収されないため、透過率は 1 から反射率を引いたものとなる。各偏光に対する透過率は次のように表せます。ただし、 $n = n_2/n_1$

$E //$ 入射面 (P 偏光)

$$T_p = \frac{4n^2 \cos \phi_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}}{\left(n^2 \cos \phi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}\right)^2}$$

$E \perp$ 入射面 (S 偏光)

$$T_s = \frac{4 \cos \phi_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}}{\left(\cos \phi_1 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi_1}\right)^2}$$

光学ガラスと水について透過率の入射角依存性を図 2.4 に示します。

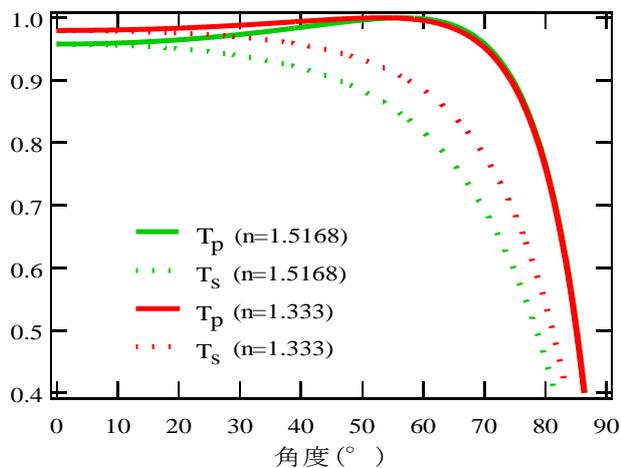


図 2.4 透過率の入射角度依存性

今回は円偏光、楕円偏光など様々な偏光について述べ、偏光の数学的表現についてもふれます。