

偏光^(No.1)

横浜国立大学大学院工学研究院 教授 栗田 進

光のもつ諸性質の一つである、“偏光”あるいは“光の偏り(かたより)”はその他の光の性質(波長、速度、屈折率、吸収、反射など)に比べて、日常生活の会話ではあまり使われない、馴染みも薄い性質ではないだろうか。もし、皆さんがプラスチック製のサングラスを持っておられたら、携帯電話の画面をそのサングラスを通して見て下さい。画面をゆっくり廻して見て下さい。途中で画面が消えて見えなくなるでしょう。プラスチック製のサングラスの多くは偏光板で出来ており、また、液晶表示は偏光の性質無くしては成り立ちません。この例でも分かるように、偏光は物理学、科学、生物、機械、電気のどの分野でも、又、我々の日常生活の中でも広く利用されている性質です。この小文で偏光とその応用について紹介していきます。

1.偏光とは

光はテレビやラジオの電波と同じで、空間を伝わる電磁波です。そこでまず、波を理解していただくために、ばねの振動の伝播を例にとって波の性質を説明します。ばねの一端を上下に振らすと図1(a)のように波が出来て、その波は右方向に進んでいきます。ばねは波の進行方向に対して垂直に振動しています。

このような波を横波といいます。一方、ばねを前後に振らすと図1(b)のように、ばねの振動方向は波の進行方向と同じになります。このような波を縦波といいます。縦波の例としては空中を伝播する音波があります。また、地球の内部を伝わる地震波には縦波と横波があり、波の伝わる速さはそれぞれ秒速5Kmと3Kmです。したがって、地震が発生すると、まず縦波が到着し、次に横波が到着します。初期振動と少し遅れて2度目の振動を感じるがよくありますが、これは地殻では縦波と横波の両方が伝搬できるためです。

光は横波であることが知られています。ですから図1(a)のように振動しながら伝播します。光の場合、振動するのは電界と磁界です。電界と磁界の振動の向きは互いに直角になっています。物質の光吸収や光放出(発光)に関係するのは光の電界成分なので、これから以後は電界の振動に注目します(図2)。波の性質についてももう少し説明します。波は図1のように単純ではなく、海岸に打ち寄せる波でも分かるように一般には非常に複雑な形をしています。しかし、そのような複雑な波も図3のような余弦(cos)波で表される単純な波の集まりからなっていることを示すことができるのです。ですから、図3のような余弦波の性質が分かれば一般の波の性質もその集まりとして理解できるのです。

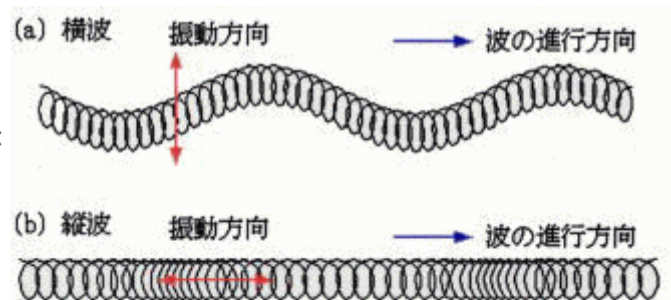


図1 横波と縦波

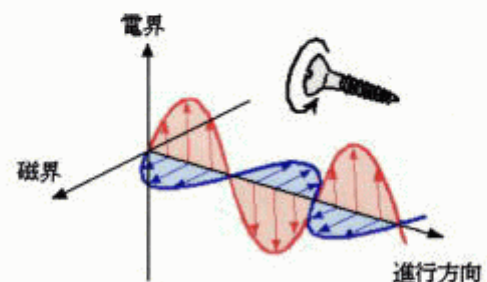


図2 電磁波の伝わり方

電界の向きから磁界の向きに右ねじを回すとき、ねじが進む向きに電磁波は進む

図3で、ばねの場合はばねそのものの変位が図示されていますが、光の場合は各位置での電界の大きさと向きが図示されていることとなります。波を表す基本的量が図3に書いてあります。隣り合う山と山（または谷と谷）の距離を波長（ λ 、ギリシャ文字のラムダで表します）、山の高さ（または谷の深さ）を振幅といいます。1回振動するのに要する時間を周期（ T ）といい、1秒間あたりの振動の回数を振動数（ f ）といい、単位はヘルツ（Hz）です。図1のばねの振動からも分かるように、1回振動すると波は波長 λ だけ進みますから、1秒間では λf だけ進みます、ですから、波の伝わる速さを v とすると、

$$v = \lambda f \quad (\text{波の速さ})$$

$$f = 1/T = v/\lambda \quad (\text{振動数})$$

の関係があります。

波の振幅（ A ）は波のエネルギーに関係する量です。光の強度（ I ）は振幅の2乗に比例します。 $I \propto A^2$

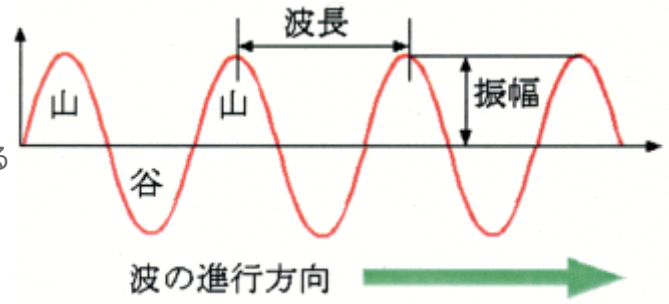


図3 波の振幅と波長

光(横波)の振動方向について考えてみましょう。横波では振動の方向は、波の進行方向に対して垂直であればよいので、いろいろな方向が取れます。振動方向がある特定の向きだけの横波のことを偏光した波といい、この振動している方向を偏光方向、あるいは偏光軸といいます。

偏光(後で示すように正確には直線偏光)を図示したのが図4です。 Σ 軸を波の進行方向に取り、 Σ 軸上のある点で観測すると電界は Σ 軸に垂直ですからXY平面で振動することになります。電界の振動する方向を直線で表します。X軸に平行な偏光を水平偏光、Y軸に平行な偏光を垂直偏光と呼ぶことにします。任意の偏光方向を持った光はX軸と成す角 α で記述できます。

さて、ある特定の偏光方向の光だけを通す性質を持った素子があります。これを偏光板といいます(図5)。後で詳細に述べます様に、偏光板は、分子を特定方向に配列したもので、ある決まった向きに振動している光は通しますが、そうでない向きの偏光は通しません。光は一般にあらゆる方向の偏光を含んでいますが、この偏光板を通った光はある特定の方向に偏光した光だけになります。2枚の偏光板を偏光軸が直角になるよう置くと光は通らなくなります(図6)。

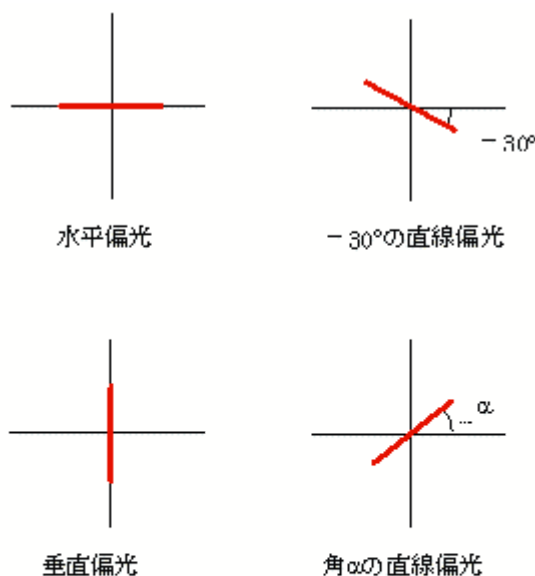


図4 直線偏光の表し方

ここで以下のような実験をやってみましょう。偏光板を3枚用意します。

実験1. 2枚の偏光板を偏光軸が角度 θ (例えば、 30°)で交差するように置くとこれら2枚の偏光板を通った光の偏光はどうなるでしょうか。

実験2. 2枚の偏光板を偏光軸が直角になるよう置くと光は通らなくなります。この2枚の偏光板の間に別の偏光板を、例えば、偏光軸が θ の角度になるように挿入したら、3枚の偏光板を通った後の光はどうなるでしょうか。

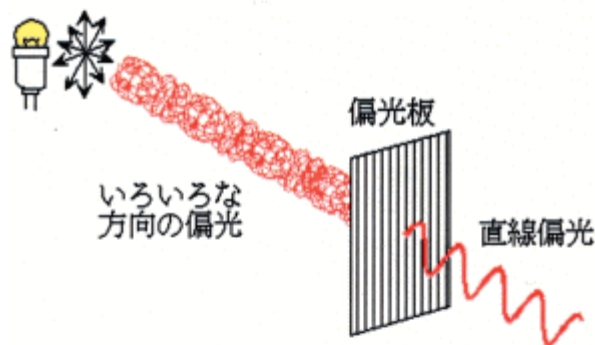


図5 偏光板の働き

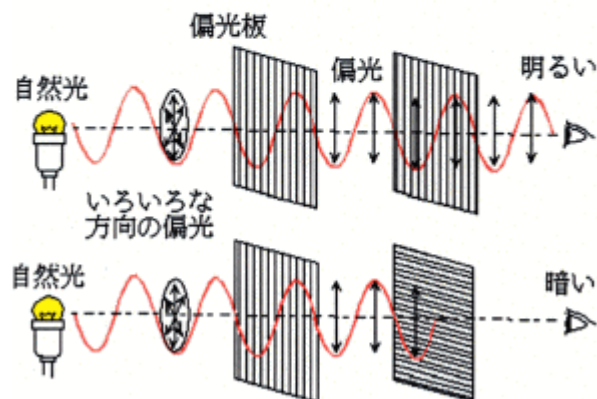


図6 2枚の偏光板と光の偏り

任意に偏光した光の電界は偏光軸とそれに垂直な電界に分解できます。これは力と同じように電界がベクトルの性質を持っていることによります。力の場合を例にとってベクトルを説明します。重さ W の買い物籠を親子で持つ場合、2人の力の配分は図7(a)のようになるでしょう。また、同じ物を背丈の同じ大人が持つ場合は図7(b)のようになると予想されます。矢印の方向が力がかかる向きで、矢印の長さが力の大きさを表します。図のいずれの場合も、二人の合成した力が重さ W と釣り合っている。逆に言えば、重さ W と釣り合う力は(a)のようにも、(b)のようにも分解できるのです。これを光の電界について応用すると(実験1)、最初の偏光板を通った光の電界を第2の偏光板の軸に平行な成分と垂直な成分に分けることが出来ます。平行成分だけが第2の偏光板を通ることができ、電界の大きさは $E_0 \cos \theta$ となります(図8)。光の強度は電界の大きさの2乗に比例するから、 θ だけ傾けた偏光板を通った後の光の強度 I_1 は $E_0^2 \cos^2 \theta$ となります。最初の偏光板を通った後の光強度を I_0 とすると、

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta$$

実験2では差し入れた偏光板は、実験1の第2の偏光板と同じ役目を果たすので、差し入れた偏光板を通過した後の光の強度は $I_0 \cos^2 \theta$ で、その偏光軸は θ です。この軸と第3の偏光板とは $90^\circ - \theta$ 傾いていることになるので、第3の偏光板を通過してでてくる光の強度 I_2 は $I_2 = I_1 \cos^2(90^\circ - \theta) = I_0 \cos^2 \theta \sin^2 \theta$ となります。ここで $\cos^2(90^\circ - \theta) = \sin^2 \theta$ の関係を使いました。垂直におかれた2枚の偏光板では光は完全に遮断されるが、その間に偏光板を入れると光が通るようになる。光の電場がベクトルであるためにこのような現象が起こるのです。

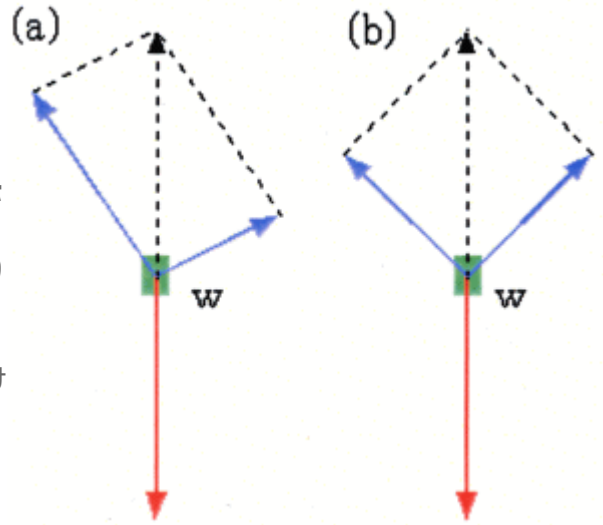


図7 重さ W の物を二人で持つ場合の力の分配

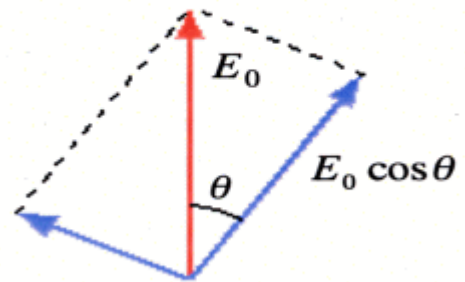


図8 電界は2つの成分に分解できる。