

偏光板について

奈佐原顕郎

§1 偏光板の準備と偏光の概念

1-1. まず、3枚の偏光板をゲットして下さい。それぞれの両面に保護膜がついていたら剥がして下さい。

1-2. (図1) 1枚の偏光板を目の前にかざして、**景色(建物や森, 土など)**を見てみてください。偏光板はほぼ透明なので向こうに景色が見えますね。では偏光板を回転させてみてください。ほとんど変わりませんね。これは、景色から来る光が「**偏光していない**」、すなわち様々な方向の偏光を含んでいるからです(これについてはまた後で詳しく説明します)。

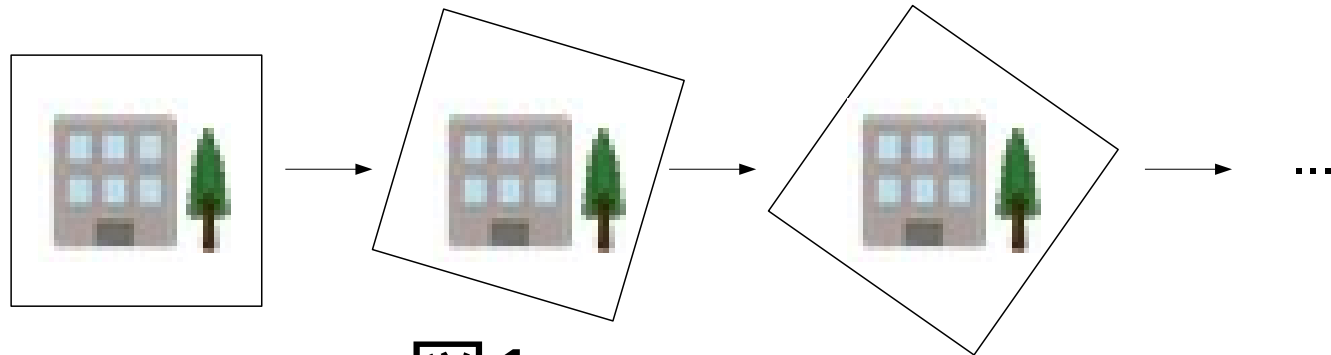
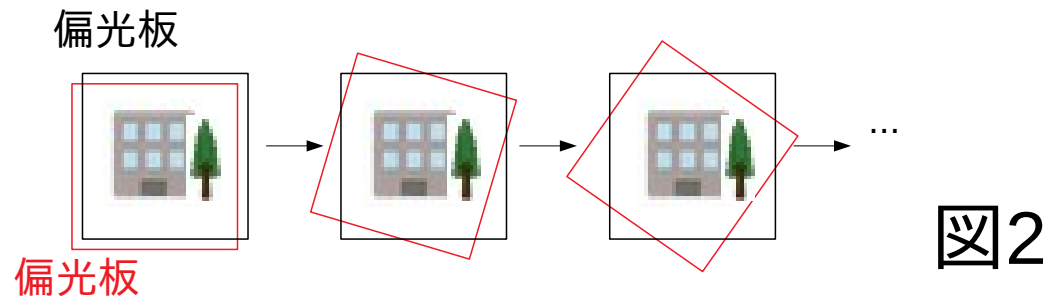


図1

1-3. こんどは1枚の偏光板を、**スマホの画面にかざして見てください**。偏光板を回してみましよう。他の人のスマホでもやってみてください。ものによっては、角度を変えたら明るく見えたり暗く見えたりしますね。そのスマホの画面から出てくる光が「**偏光している**」からです。 2

§1 偏光板の準備と偏光の概念(つづき)

1-4. (図2) こんどは2枚の偏光板を重ねて、1-2と同様に透かして何か景色を見てみてください。このとき、2枚のうち1枚を固定し、もう1枚の角度をさまざまに変えながら、向こうの景色の明るさの変化を観察して下さい。



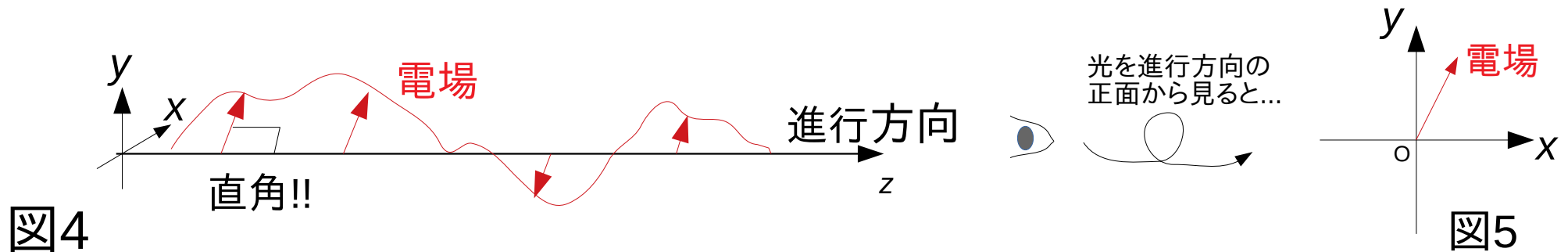
1-5. (図3) 真っ黒になって向こうが見えなくなる場合があります。これを「クロスニコル」といいます。クロスニコルの状態から、1枚の偏光板をさらに90度回転させると、ほぼ透明になって向こうがよく見える状態になるでしょう。これを「平行ニコル」と呼びます。さらに90度回転させると、再びクロスニコルになるでしょう。



§2 偏光板の準備と偏光の概念

2-1. なぜ2枚の偏光板を違う角度で重ねると真っ黒になったり(クロスニコル)透明になったり(平行ニコル)するのでしょうか? それは偏光板の働きで説明できます。

そもそも光は、**電場**(と磁場)の変動が空間を伝わる波です。この電場の変動は、必ず光の進行方向に対して直角であることが、物理学の原理からわかっています(図4)。



と言っても、進行方向(上図ではz軸)に対して直角な方向は無数にあります。それを進行方向正面から見ると(図5), それはxy平面内の方向を向くのです。このような、光の電場の変動の方向性のことを**偏光**と呼ぶのです。

§2 偏光板の準備と偏光の概念(続き)

2-2. (図6) ただし, xy 平面内の任意のベクトルは, x 方向のベクトルと y 方向のベクトルの線型結合で表されるので, どんな偏光も, x 方向で電場が変動する偏光と, y 方向で電場が変動する偏光の, 2つの偏光の線型結合で表現できます。このときの2つの偏光を, 元の偏光の**成分**と言います。

(ちなみにこの x 軸と y 軸は, 状況に応じて解析者が適当に好きに選ばばよろしい。)

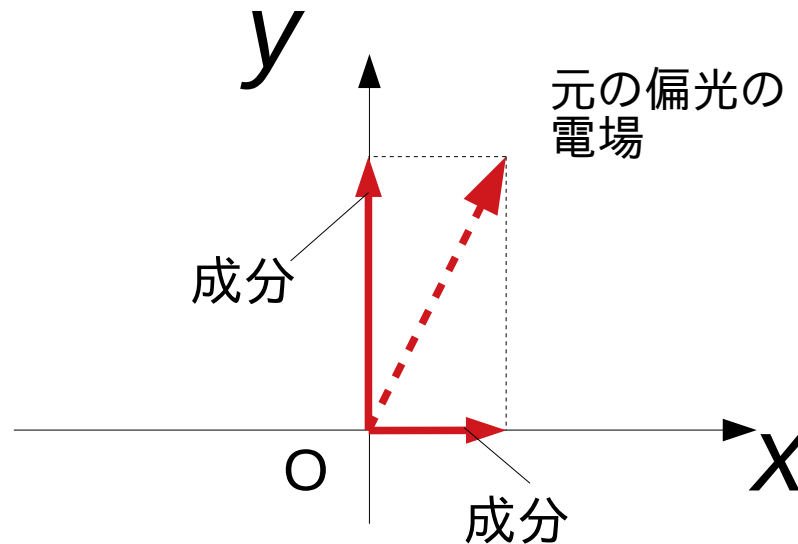


図6

§2 偏光板の準備と偏光の概念(続き)

2-3. 1枚の偏光板は、**特定の方向の偏光だけを透過させる**のです。その方向を偏光板の**透過軸**と言います。偏光板を透過した後の光は、元の偏光の成分、つまり元の偏光を透過軸に射影したような、特定の方向(偏光板の透過軸)の偏光だけで構成されます。

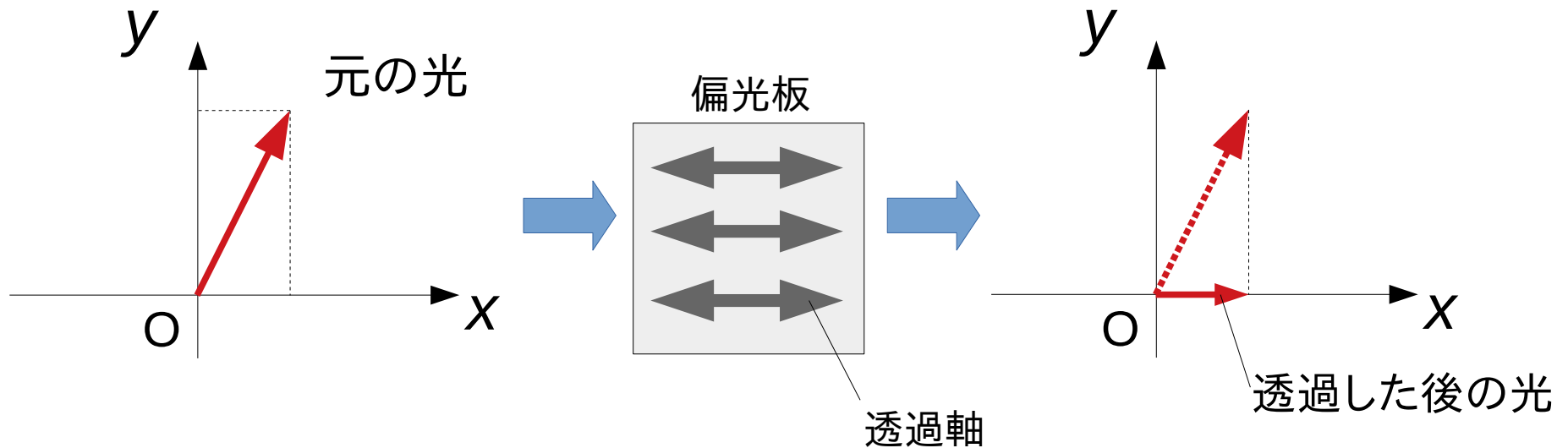
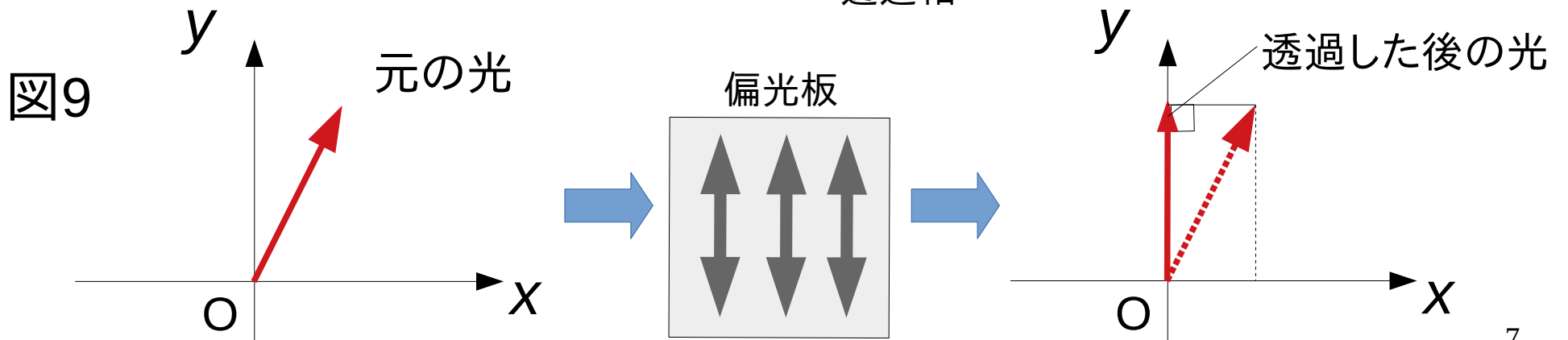
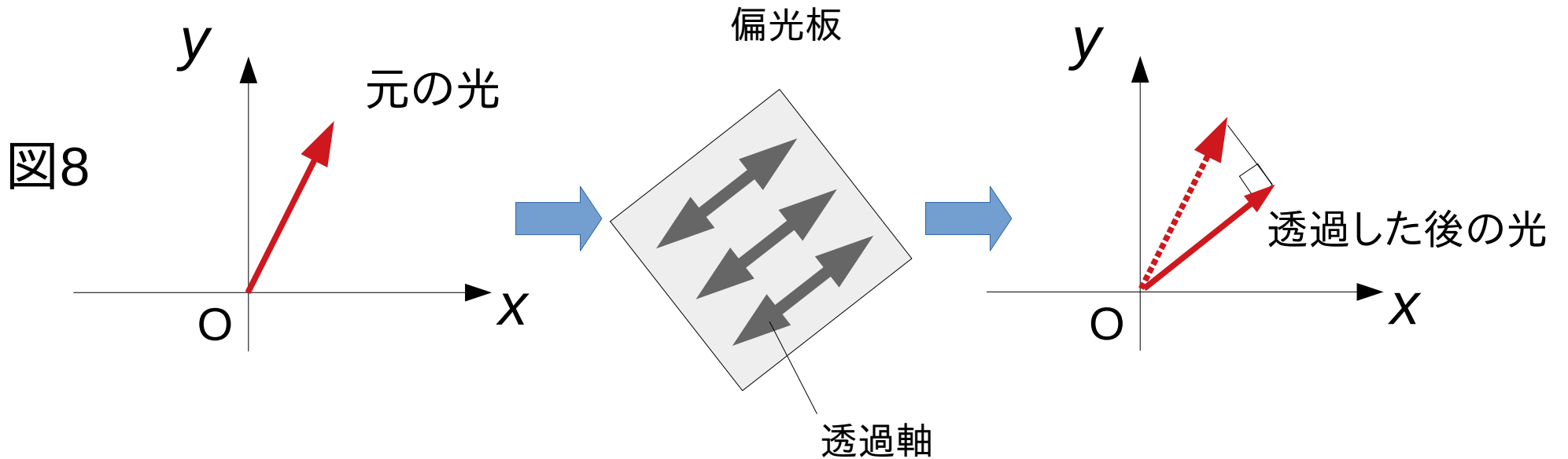


図7

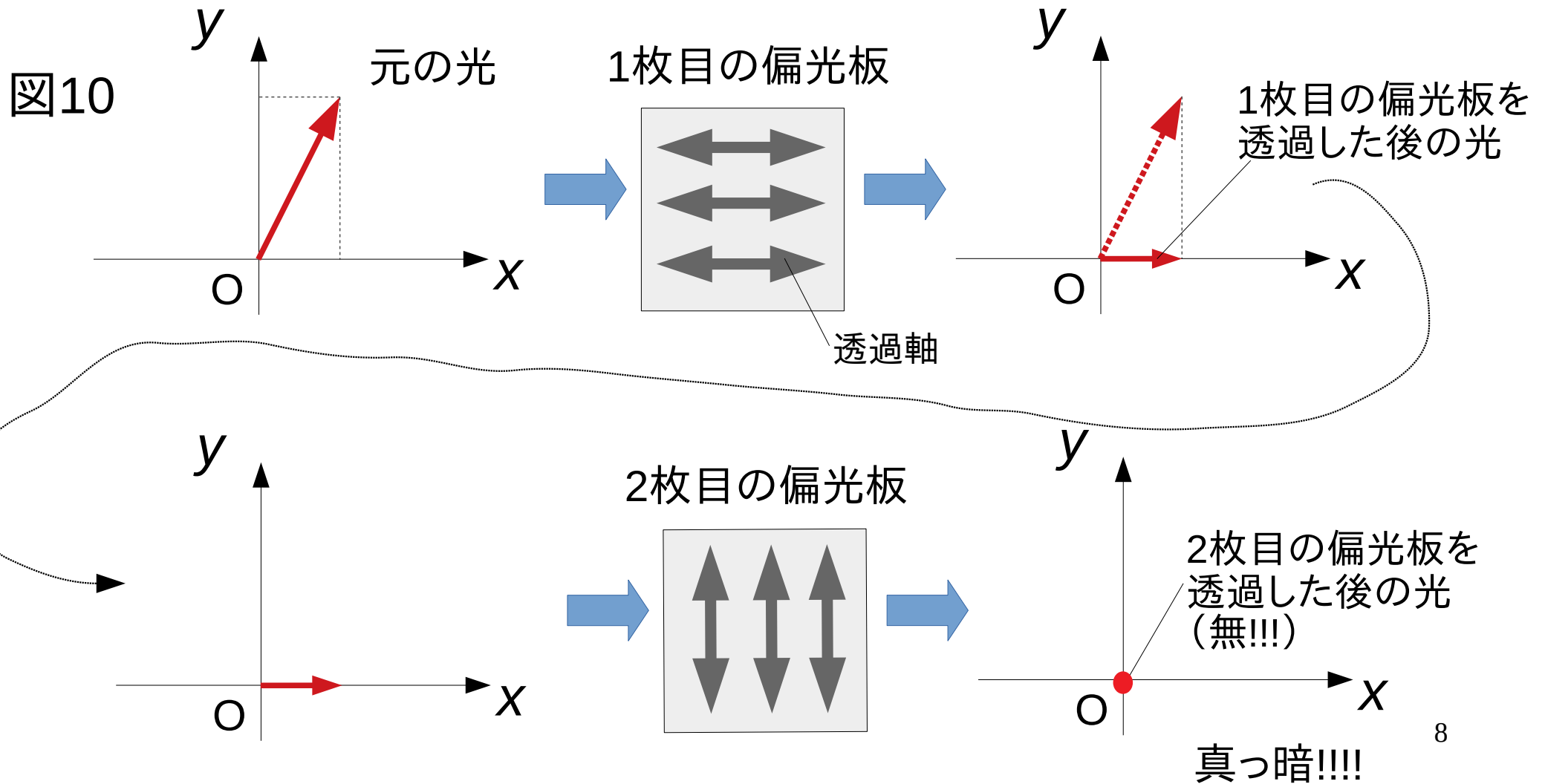
§2 偏光板の準備と偏光の概念(続き)

2-4. 偏光板は, どんな角度で置いても構いません。その角度で置いた時の透過軸に沿った光が透過してきます。



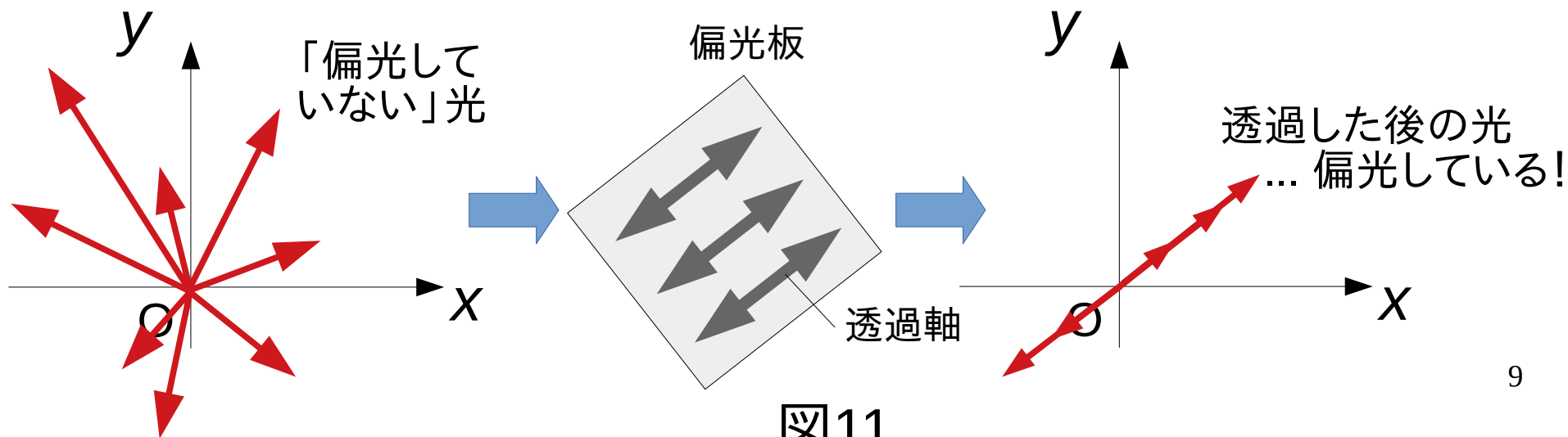
§2 偏光板の準備と偏光の概念(続き)

2-5. ここで, 2枚の偏光板を, 互いに透過軸が直角になるように重ねると, 1枚目から出てくる偏光が2枚目でカットされるので, 光は透過しません。これが**クロスニコル**です。



§2 偏光板の準備と偏光の概念(続き)

2-6. さて、さきほど見たように、普通の景色からやってくる光は、偏光板をどのように回しても同じ明るさです。なぜでしょう？実は、普通の景色では、時々刻々と、様々な方向の偏光が混ざってやってきます。ごく短い瞬間では偏光しているのですが、**あまりに短時間でその方向がランダムに変わる**ので、見た目では特定の方向に偏光していることがわからないのです。これを形式的・象徴的に「**偏光していない**」と言うのです。偏光していない光は、偏光板をどんな角度で置いても、時々刻々と透過軸に射影した成分が透過して出てくるので、それなりに光が透過してきます。時には真っ暗になるかもしれませんが、その時間があまりに短いので、そうとは見えないのです。そしてその透過光は、偏光しているのです。



S3 偏光板の透過軸を決めよう!!

3-1. 偏光板は、特定の方向の偏光だけを通過します。その方向を、その偏光板の「透過軸」と言うのでした。と言っても、偏光板の透過軸は、見た目ではわかりません。そこで、これから皆さんが持っている偏光板の透過軸を決定しましょう。

それには、偏光方向がはっきりわかっている光を使います。ここでは、つるつるした物体の表面で反射した光(鏡面反射)を使います。

3-2. まず、クリアファイルでも何でもよいので(ここではクリアファイルとします)、つるつるした物体を水平に置いて(地面や机などの上に)、斜め上から覗いてください(図12)。表面と視線の角は30度~45度くらい。すると、表面に向こうの景色が反射して映るでしょう。

3-3. その状態で、1枚の偏光板を目の前にかざして、偏光板越しに、クリアファイルを見て下さい(図13)。クリアファイル表面に映った景色が偏光板越しに見えるでしょう。

その状態で、偏光板を少しずつ回転させて下さい。すると、不思議なことに、(クリアファイルに映った)景色がはっきり見えるときと、景色がほぼ消えてしまうときがあるではないですか!!! (図14) それらは互いに偏光板を90度回転した関係になっていることもわかるでしょう。

図12

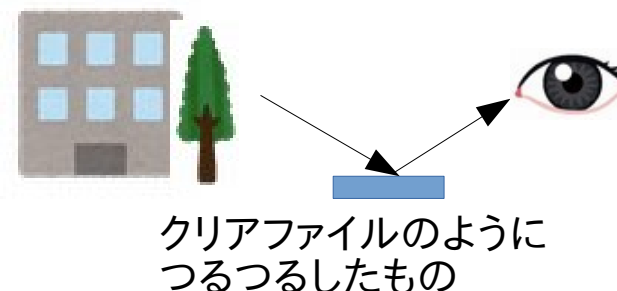


図13

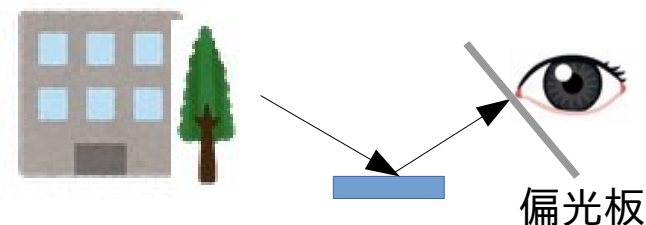
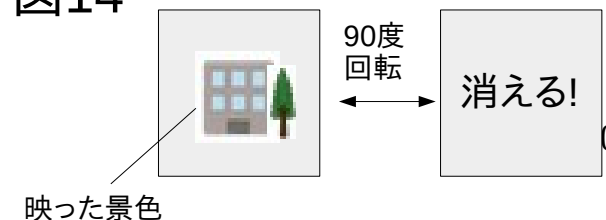


図14 偏光板



§3 偏光板の透過軸を決めよう!! (続き)

3-4. (図15) クリアファイルに映った**景色が最もはっきり見える状態**で、偏光板の上端に、水平に両矢印”↔”を油性ペンで書いて下さい。これが偏光板の**透過軸**です。この矢印に沿って電場が直線的に左右に振動するような光(直線偏光という)だけを、この偏光板は透過するのです。この矢印は、次の実験で大事な働きをします。

3-5. では、クリアファイルのことは忘れて、リアルな景色を偏光板越しにもういちど見て下さい。偏光板を回しても景色は消えませんか? リアルな景色から来る光は「偏光していない」けど、クリアファイルの表面で鏡面反射した光は「偏光している」のです。**なぜ鏡面反射は偏光するのか?** その理由はここでは述べませんが、物理学と数学で説明できます。そこに「重ね合わせの原理」が出てきます。興味ある人は「フレネル反射」で検索してみてください。

注: 釣り人用のサングラスは、池や海の水面で鏡面反射する偏光をカットするようになっています。水中にいる魚がよく見えるのです。

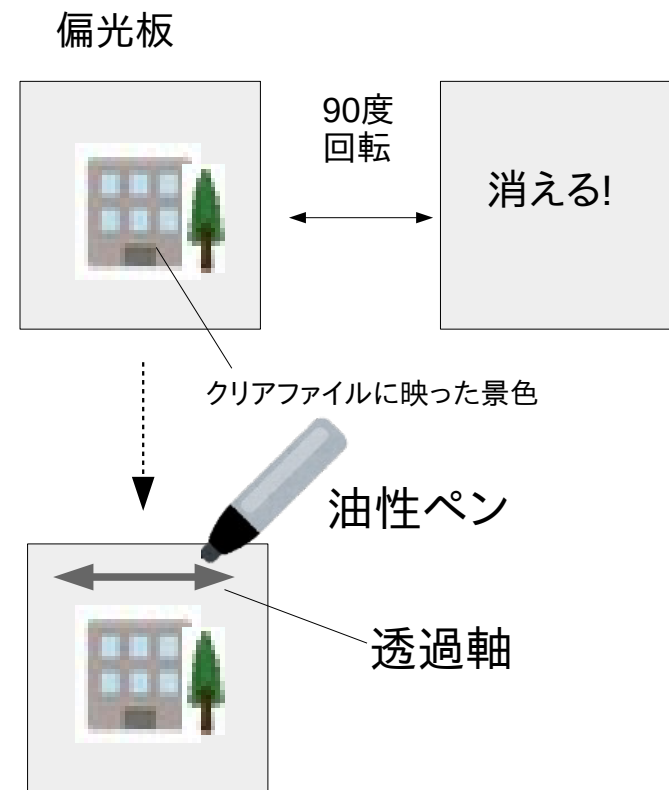
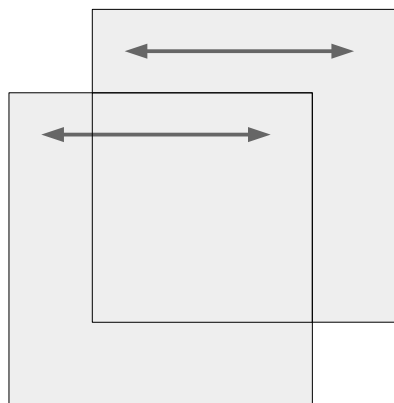


図15

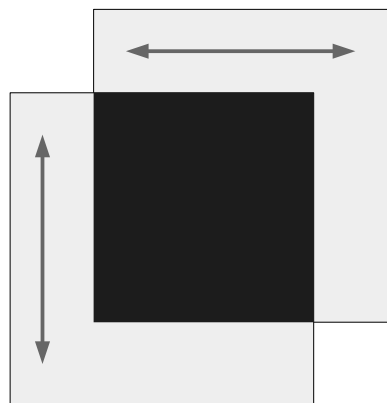
§3 偏光板の透過軸を決めよう!!(続き)

3-6. 透過軸を決定した偏光板を, 班の中で仲間どうしで重ねてみましょう(図16)。透過軸が同じになるように重ねたら, パラレルニコルになって, 向こうが見えるはずですね。どちらかが間違っていたら, クロスニコルになって真っ暗になってしまはずです(もしも2人とも間違えてたら, パラレルニコルになって, 気づきませんね(泣))。

図16



パラレルニコル



クロスニコル

間違っていないでしたか? では, 偏光板をもう1枚取り出して, 同様に透過軸を調べて矢印を描いてください。これで2枚の偏光板の透過軸が決定しました。これらでクロスニコルとパラレルニコルを作って, 正しく透過軸が決定できたか調べて下さい。

§6 クロスニコルを透過する光!!

2枚の偏光板でクロスニコルを作ってください。

そして、3枚目の偏光板を、クロスニコルの間に差し込んでみてください。

その状態で、3枚目の偏光板を回転させると…

クロスニコルで真っ暗だったのが、向こうが透けて見えるではないですか!!??

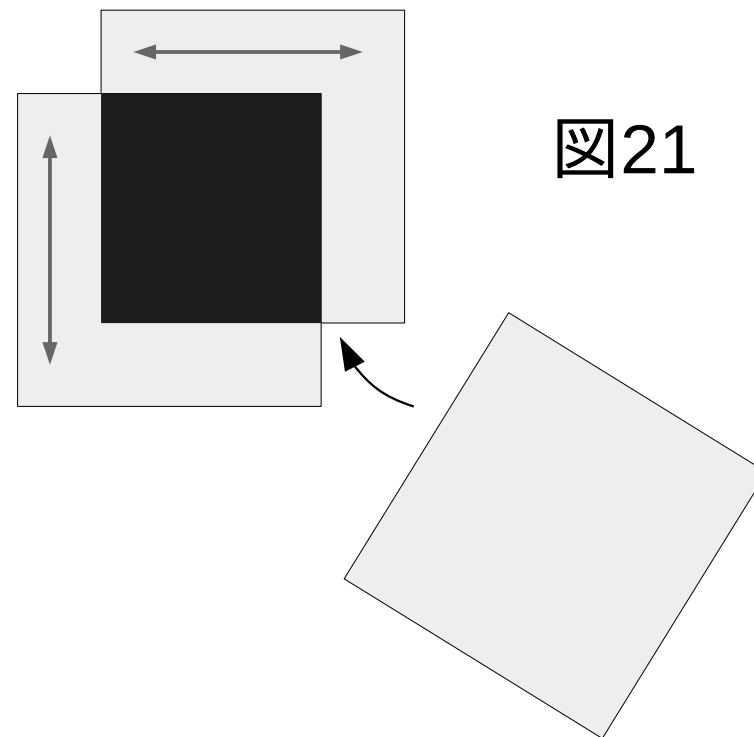


図21

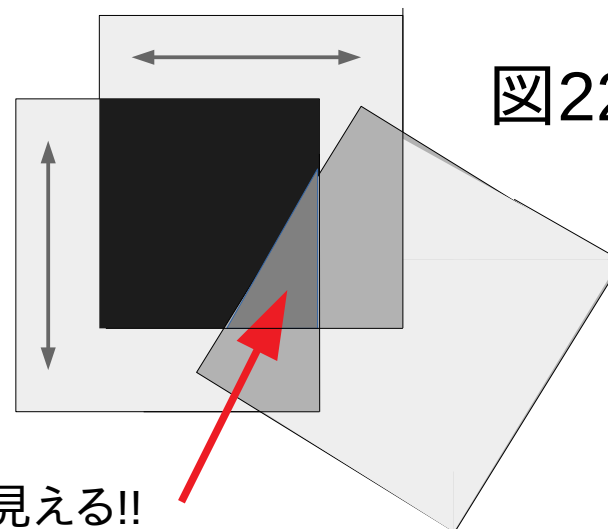


図22

透けて見える!!

§6 クロスニコルを透過する光!! (続き)

なぜこんなことが起きたのでしょうか? 実は, 以下のようなことが起きているのです!!!!

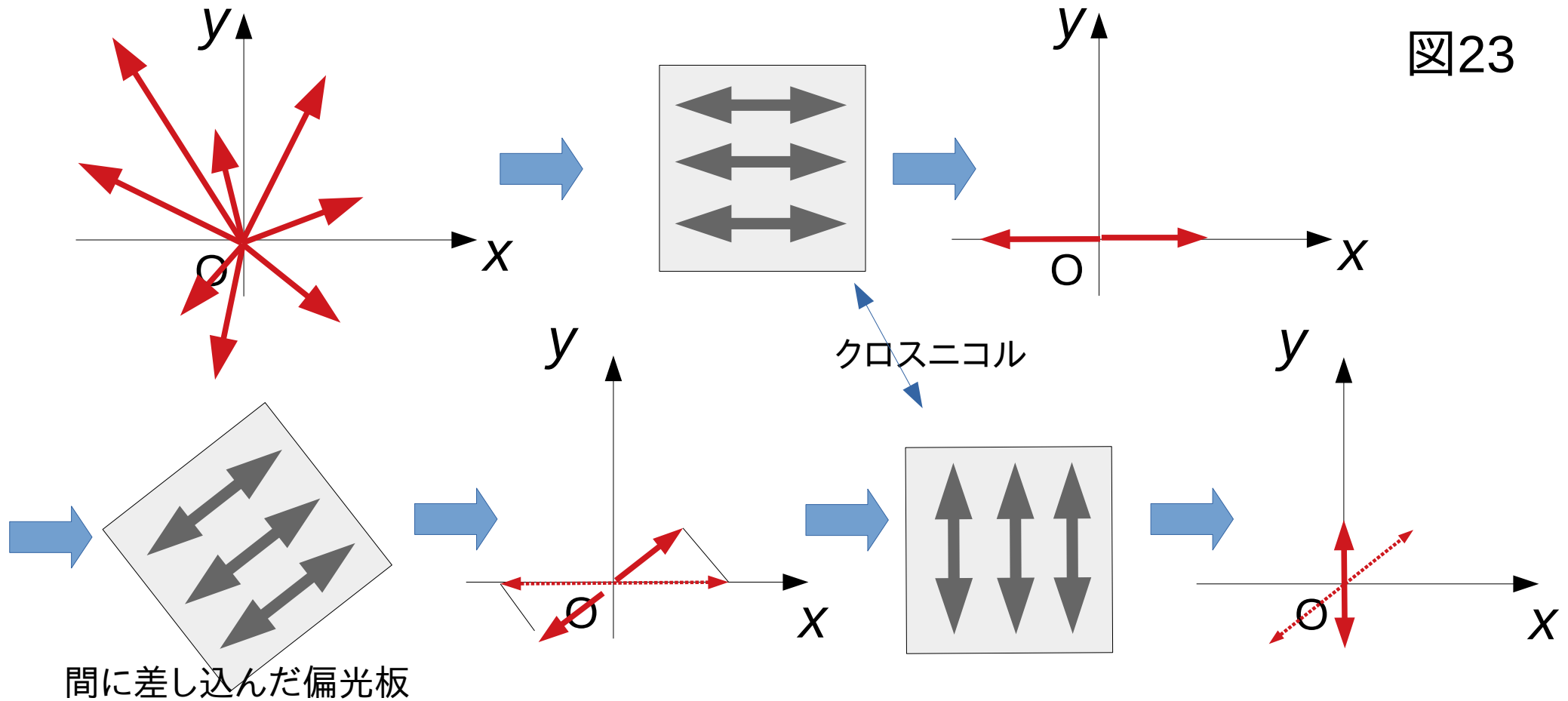


図23

間に差し込んだ偏光板が, 最初の偏光板を通過した光を「回転」させ, その一部が最後の偏光板を通過したのです!! これは, 偏光に「重ね合わせの原理」が成り立つ(任意の方向で分解できる)から起きるマジックです!! ¹⁴

§7 複屈折

次に、「複屈折」という現象を学びます。これは、色素を持たない透明なサンプル(微生物や細胞)を観察するのに使われる「微分干渉顕微鏡」や、岩石鉱物の構造を薄片観察するときの原理です。

クリアファイルのような透明なシートに、セロテープをべたべた貼ってみましょう。これを2枚の偏光板でクロスニコルではさんでみてください。真っ暗なはずのクロスニコルなのに、なぜかセロテープの箇所で光が透けて見えますね。しかも色がついています!!

ここで偏光板を回転させてみてください。透けて見える光の色はどう変わるでしょうか?

偏光板の**保護フィルム**を引き伸ばして、クロスニコルに挟んでみましょう。虹の模様が見えませんか?

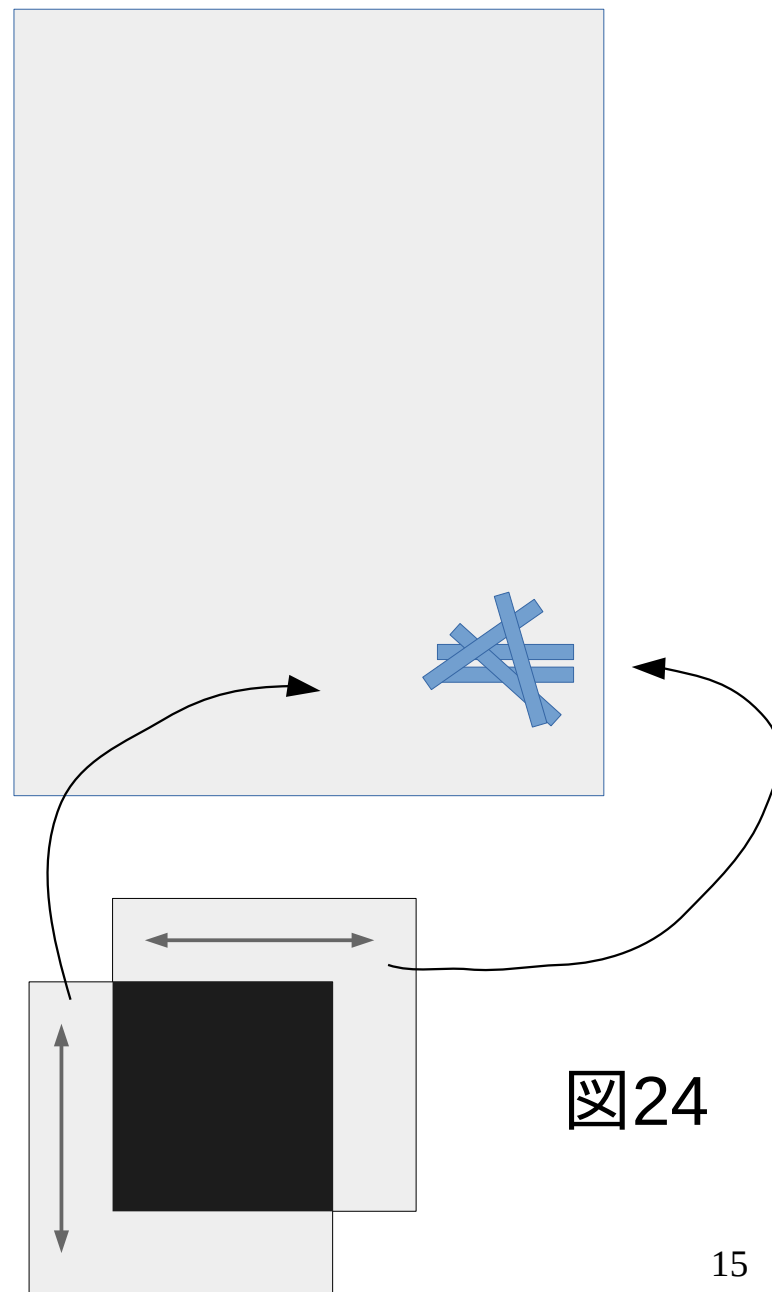


図24

§7 複屈折

なぜこんなことが起きたのでしょうか？これには「屈折率」が関わっています。屈折率は、

真空での光の速さ ÷ 物質中の光の速さ

です。水やガラスなど物質では、光は真空のときより遅いです。つまり屈折率は1より大きいです。

セロテープが不思議なのは、その屈折率が、偏光の向きによって違うことです（それらが最も顕著な2つの向きをx, y軸としましょう）。そのため、1枚目の偏光板で作られた偏光がセロテープに入射したとき、その偏光はx成分とy成分の2つの偏光に分かれて、それぞれ異なる速さでセロテープ内を進みます。それらが、セロテープから出てくる時にその2つの成分は、波の山と谷のタイミングがずれてしまうのです。それらを2枚目の偏光板で1つの方向に重ね合わされると、ちょうど山と谷が重なったら暗くなり、山と山が重なるときは明るくなるのです。

しかもそれが、波長ごとに違った感じで起きるのです。というのも、セロテープ内の波長は、真空での波長を屈折率で割った値になります。同じ厚さのセロテープでも、通り抜ける時に、特定の波長では山同士になり、別の特定の波長では山と谷、みたいなことが起きるのです。すると、特定の波長では明るく、別の特定の波長では暗くなります。つまり、色がつくのです!!

「わけわからん!!」という人もいるでしょう。OKです。大事なのは、この「複屈折」が生物学や地学の計測技術に使われていることと、その背後に「重ね合わせの原理」があることを感じればとりあえず十分です。

§4 青空の偏光の観察(レイリー散乱)

では、偏光板を1枚使って、身近な偏光現象を観察しましょう。それは「青空」です。

右図に、天空の模式図を示します。太陽の方位を上描いています。東西南北の方位は太陽の位置によって変わるので、描いていませんが、正午頃なら上が南、右が西、左が東になります(下から見上げた図なので、東西・左右の対応が地図とは逆になります)。

では、空のいろんな場所で、**偏光の程度**を調べてみましょう。すなわち、偏光板を透かしてみたときに、偏光板を回して最も明るく見える時と、最も暗く見える時がどのくらい違うか、です。この違いが大きいほど、光は強く偏光していることになります(違いがほとんど無いときは、偏光してはいないことになります…ただしこれは「円偏光」というものを考えたときは微妙ですが)。

太陽…直視しないこと!! 失明の危険!!

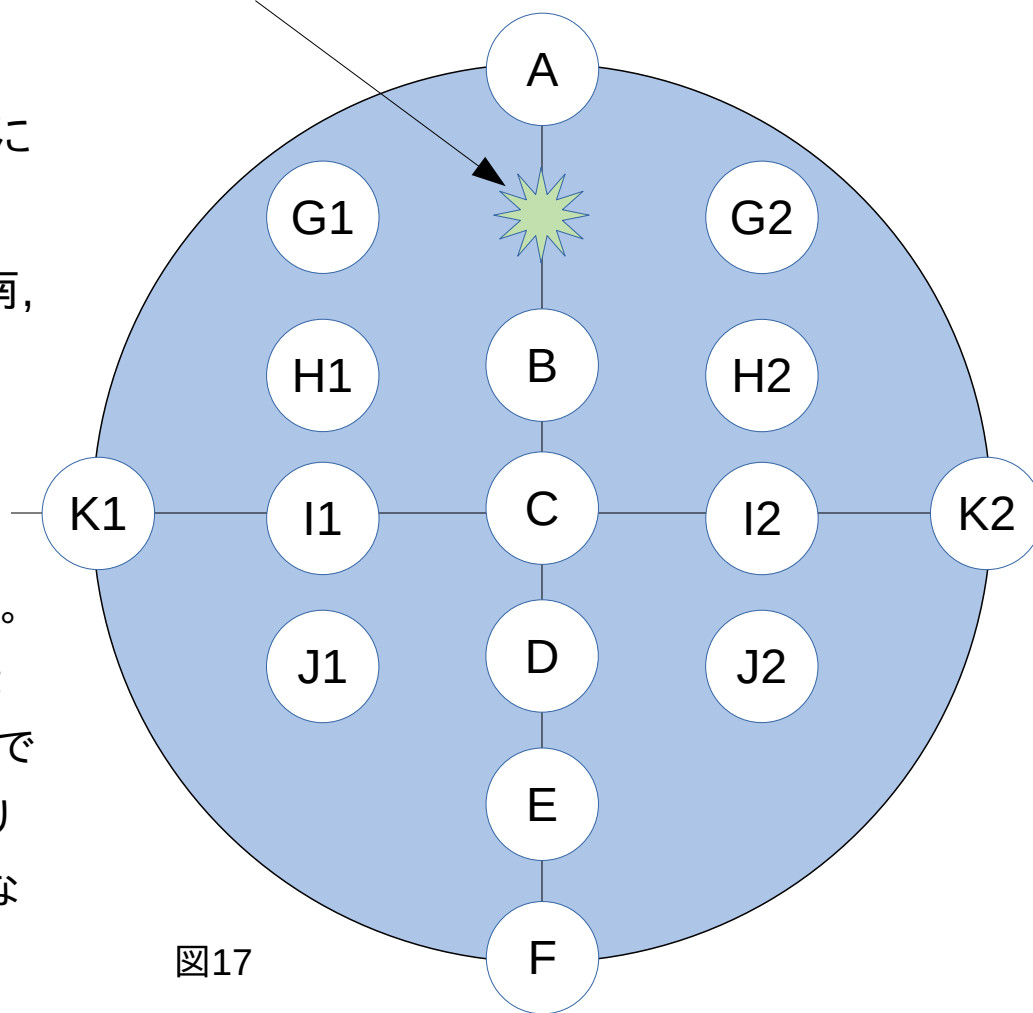


図17

課題4-1. 偏光板で、右図のA(太陽と地平線の間付近)を観察しましょう。偏光の程度はどうか?

課題4-2. 偏光板で、右図のC(空のてっぺん)を観察しましょう。偏光の程度はどうか?

では、偏光板で、右図のA~K2の全てを観察しましょう(ただし太陽を見てはダメ!! たとえ偏光板ごしであってもダメ!! 失明の危険があります)。

課題4-3. 偏光の程度が大きい場所を、順に3箇所、挙げて下さい:

課題4-4. 偏光の程度が小さい場所を、順に3箇所、挙げて下さい:

課題4-5. 偏光の程度が大きい場所を、鉛筆で線をつないでみましょう。

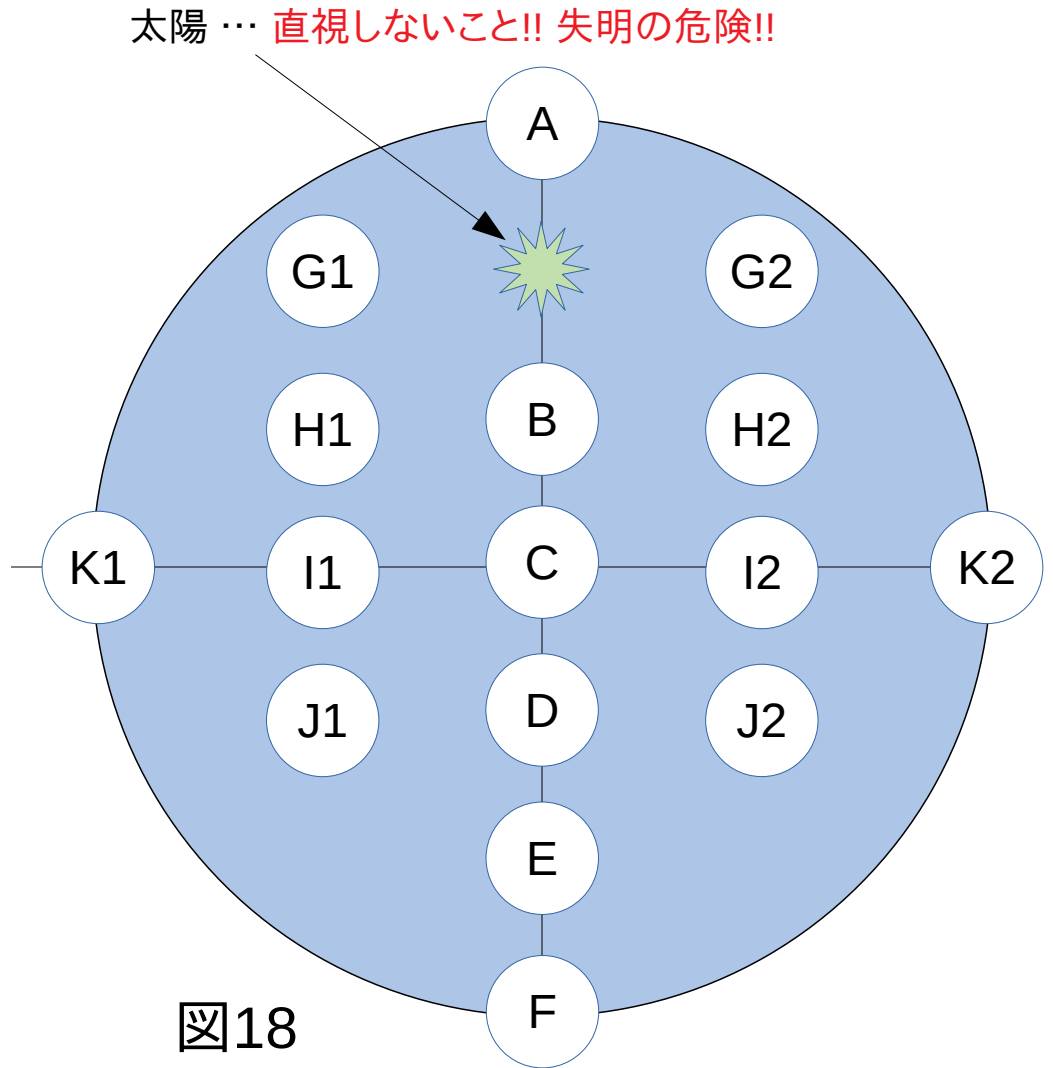


図18

青空の特定の場所では、光は強く偏光していることがわかりましたね。不思議ですね。これは「**レーリー散乱**」という現象の特徴です。太陽からやってくる光は偏光していませんが、その光によって大気中の分子(の中の電子)が振動し、それが光を出す時に、偏光するのです。その理論は、実は「バネに繋がったおもり」のモデルで表現され、そこには「重ね合わせの原理」が出てきます。

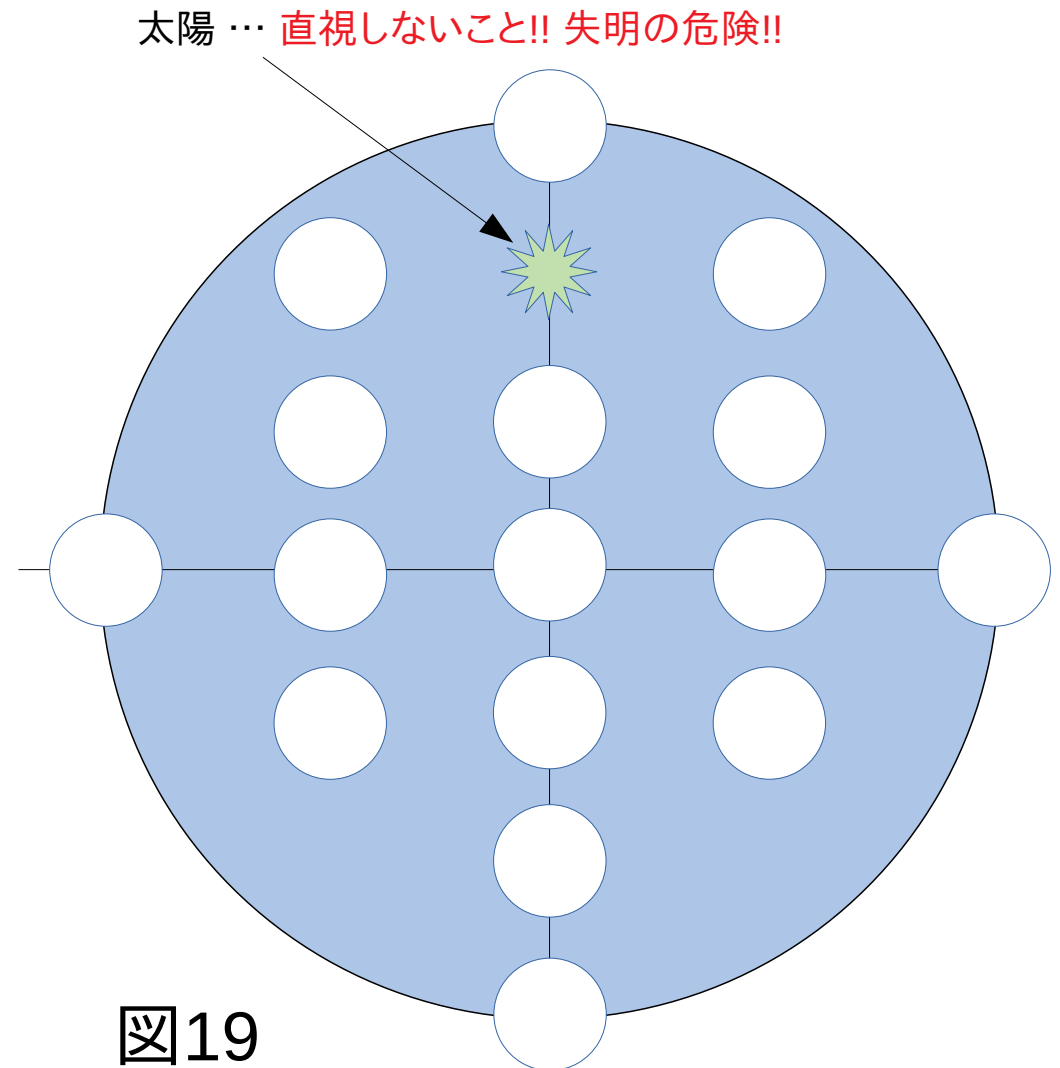
次に、青空の中で特に光が強く偏光している箇所について、偏光の**方向**を調べましょう。実はこの情報は、ハチなどの昆虫が青空の光から方位を知る時に使っているのです。

課題

課題5-1. 透過軸の決定されている偏光板を使って、各箇所でも最も明るく見える時の透過軸を、右図に矢印で描き込んで下さい。ただし、その方向は、あくまで空を見上げた状態での方向(太陽を基準として)です。あまり偏光してなくてわからない、という箇所は放置でOK。

課題5-2. そこにはどのようなパターンが読み取れるでしょうか？

このパターンを理解すれば、青空の一部分しか見えなくても、太陽がどちらにあるかがわかります。つまり皆さんはハチと勝負できるということです!!



課題5-3. さきほど得た知識を使って, 次の問題を解いて下さい:

電車でイタリアを旅をする君は, 夕暮れ近い時間に, ふと, 今, 電車がどちら向きに走っているか気になった。窓から青空が見えるが太陽は見えない。たまたま君は, 透過軸のわかった偏光板を持っていたので, それを透かして窓越しに青空をみたら, 下図のような状況で青空が最も明るく見えた(矢印が透過軸)。電車は東西南北のどちら向きに走っているか?

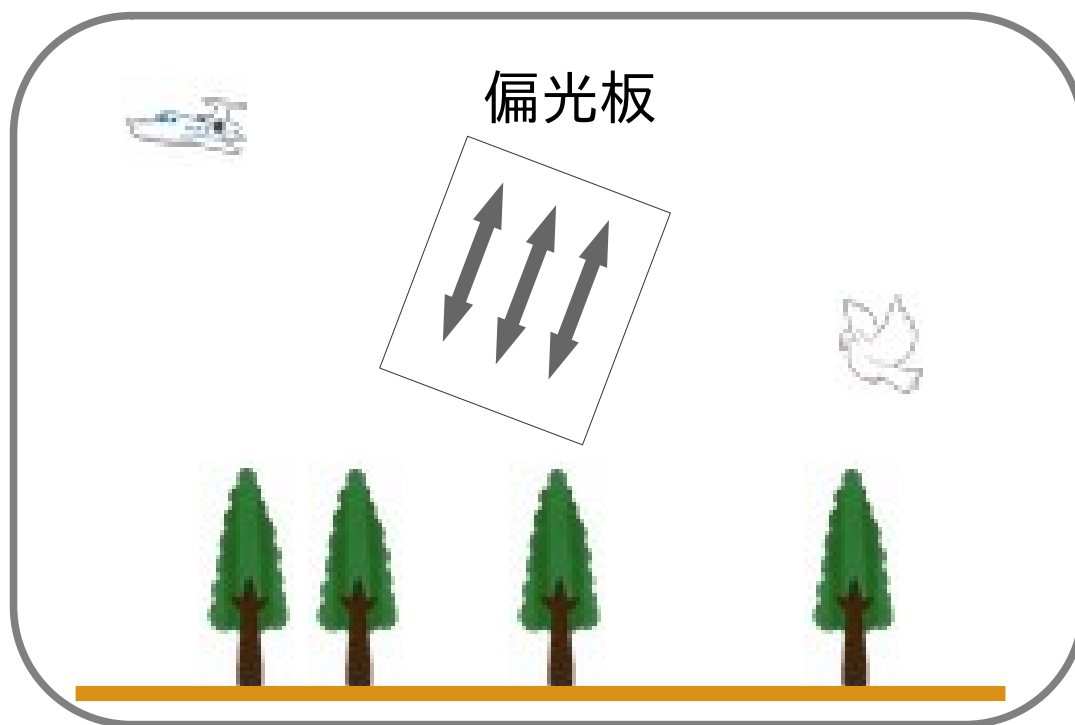


図20

→
電車の
進行方向