



OSA 光学実験キット

EXPLORE OPTICS

OSA ACTIVITY GUIDE

日本語 Ver.

1. 反射板による反射

ねらい

反射の法則と、反射板を用いて鏡像を作ることにより虚像について学習する。

必要なもの

反射板、レーザーフィンガーLED 1 個、定規、鏡

反射はどこでも起こります。鏡で、あるいは、大きな窓に映る自分自身を見るとき、不思議な反射像を見ているのです！ それでは、反射はどのように起こるのでしょうか？ それらには、決まった法則があるのでしょうか？

反射

光は直進します。そして、光は自由に伝搬しますが、何かの障害物に出くわしたときには、自由に進むことができなくなります。

たいていの場合、光は物体から跳ね返ります。これを反射と呼び、私たちがどのようにものを見るのかということと関係しています。図 1 を見てください。太陽や頭上からの光が物体に当たり、反射して眼に入るとき、眼は物体を「見る」ことになります。今までに、とても暗い部屋にいて、眼の前の自分の手が見えない、なんてことがなかったでしょうか？ なぜなら、光なしでは、我々の眼は、物体があるということを伝えることができないからです！

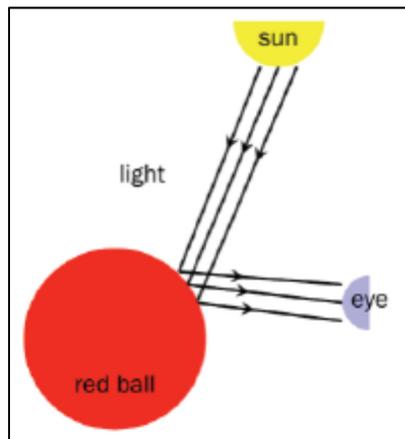


図 1. どのように物を見ているのか？

物体からの光が、鏡や窓のような表面から反射するとき、私たちは、ガラスの向こう側に、あたたかも物体があるかのように見えます。この向こう側にあるように見える像を虚像といいます。「虚」というの

は偽物、あるいは、本物のように見えるという意味です。なぜなら、物体は本当に存在しているわけではないからです。鏡を見たとき、反射によって自分が自分自身の前に立っているように見えますが、実際には、そこには何も存在していないのです！

虚像

図 2 にあるように、平らな鏡やガラスによって虚像はつくられます。鏡で自分自身を見てください。鏡からどのくらいの距離のところに自分が立っているのわかります。一方、鏡に映っている自分の反射像は、鏡からどのくらいの距離にあるのでしょうか？

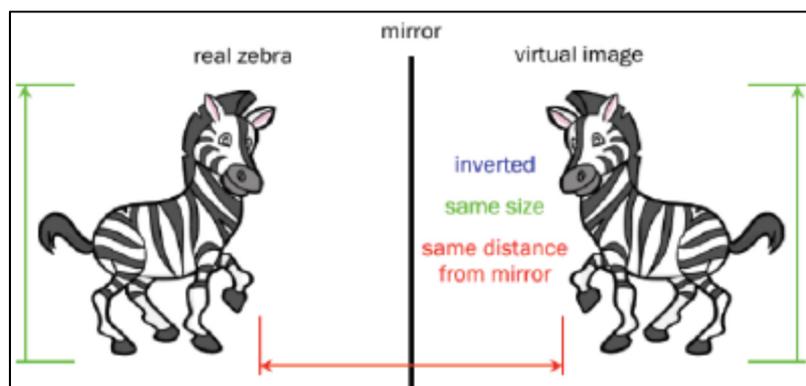


図 2. 虚像の性質

鏡に映っている自分の像から鏡までの距離は、自分が立っている場所から鏡までの距離と同じであることに気づくでしょう。なぜなら、虚像から平らな鏡までの距離と、実際の物体から鏡までの距離は、いつも同じだからです。

それでは鏡の前で左手を上げて、そのまま手を振ってみましょう。鏡に映っている自分は、どちらの手を振っているのでしょうか？ 右手で振っているように見えるでしょう。虚像は、実際と逆になります。つまり左が右になります！（訳注：この表現は正しくありません。虚像は、左右が逆になるのではなく、前後が逆になります）

実生活における虚像：救急車

救急車のような緊急車両は、車の前にはっきりと「救急車」というように書かれていることが多いと思います。場合によっては、車の後ろに書かれていることもあります。

救急車は、緊急を要する時にはサイレンを鳴らします。救急車の前を走っている車は、ミラーで後方を確認することによって、何がサイレンを鳴らしているのか見ることができます。しかし、それは、救急車の虚像です。救急車という文字が後方に書かれている場合には、ミラーをその方向に向けることによって、車を脇に止める必要があることがわかります。

2. マーブルチョコ (M&M's) の色

ねらい

色のついた光によってマーブルチョコ (M&M's) を照らし、反射と吸収によって色が変わること学習する。

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 3 個 (赤、緑、青)、レーザーフィンガーLED 白、マーブルチョコ (M&M's)

色は、あらゆるところにあります。今朝、あなたは何色のシャツを着ようか、何色の靴を履こうか、選ばなければいけなかったはず。そのような身近な色を物体に与えるものは何なのでしょう？なぜ、赤色のものや青色のものがあるのでしょうか？

色は光から始まる

なぜ物が色をもつのかということを理解するためには、どのような光によって色が生じるのかを理解する必要があります。

光とは波であり、波長をもっています。図 1 を見てみましょう。青い光は赤い光よりも長い波長をもっています。(訳注：この記述は誤りです。青い光の波長は赤い光の波長よりも短いです。図 1 も誤りです。) 波長は光に色を与えるものなのです。

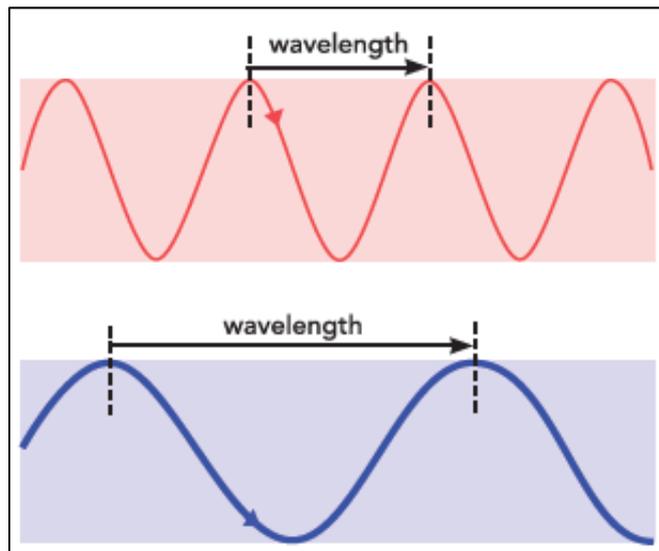


図 1. 波長が色を決める

反射

何が物体に色を与えているのでしょうか？ 答えは簡単です、光なのです！

光なしでは物体は色をもちません。なぜなら、光がなければ、見るができないからです！ 赤い物体を見るとき、実際に見ているものは、物体から反射した赤い光であり、それが眼に入ってくるのです。光が物体から跳ね返ることを反射と呼びます。

白色光

しかし、赤いボールを見るとき、赤い光がそこに当たっているわけではありませんよね？そこには、太陽や部屋の照明からくる光しかありません。これらは色のない光で、白色光と呼ばれています。

白色光は、赤、青、緑の3色の光が混ざったものです。これらの3つの光の混ぜ方を変えることにより、ほとんどの光の色が作られます。いろいろな色を作り出すために、これらの色を混ぜる方法はいろいろあります！ そういうわけで、太陽光にはあらゆる色が含まれているので白色光であり、物体にあたって光を反射させることができます。

吸収

赤いボールの話に戻りましょう。私たちは、図2のように、太陽光のもとで色を見ることができます。このことから、白色光の中の赤の波長がボールから反射し、それが眼に入ることによって、赤く見えることがわかります。

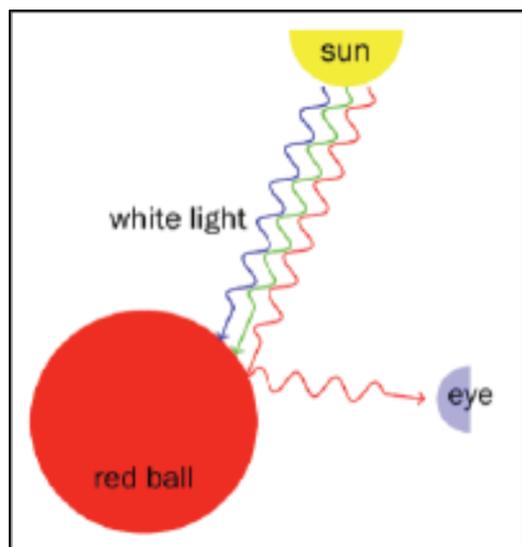


図2. 波長が色を決める

ところで、白色光はあらゆる光の色で構成されているということを知りました。それならば、赤色の

光以外の残りの光には何が起きているのでしょうか？ 例えば青い光の波長はどこへ行ってしまったのでしょうか？

ボールから反射しなかった残りの光は、ボールの中に閉じ込められています。すなわち、それらは反射されることはなく、私たちは見ることができないのです。これを光の吸収と呼びます。例えば、黒い物体であれば、その物体にあたるすべての光が吸収されます。なぜなら、色が無いからです！ 白い物体はすべての色を反射し、なにも吸収されません。

実生活での色：測色

科学的に液体の成分を測る測定器として、色度計と呼ばれるものがあります。物質は、特定の波長の光または色を吸収します。あらかじめ、物質の成分がわかっているならば、そこに光を当てることによって、その中の物質の混合の割合がわかります。

混合した液体の吸収を色度計によって測定することができ、このことからそれらの液体を特定することができます。

3. クマのグミによる透過

ねらい

異なる色の LED 光やレーザー光によってクマのグミを照らし、透過の原理を学習する。

必要なもの

レーザーフィンガーLED 白、赤色レーザーポインタ、クマグミ 4 個（赤、緑、透明、黒）、白色の面

クマのグミを見てください。そして、それらをテーブルの上と箱の中、のように分けてください。それらのわずかな違いに気づくでしょうか？近くで見ると、グミの中まで見ることができます。なぜそうなるのでしょうか？

反射と吸収

光はまっすぐ進みます。物体にぶつかる時は、その先に進むことができません。その時、光はどうなるのでしょうか？

まず、光は物体から跳ね返ります。これを反射といい、その様子を示したのが図 2 です。これが、私たちが周囲にある物体を見ることができる理由です。太陽などの光が物体から反射し、私たちの眼に入ってくるのです。また、暗い場所では物体を見ることができない理由でもあります。眼に入ってくる光がないのです！

光は物体の中に閉じ込められることもあり、その様子が図 1 です。この光は吸収された後、私たちの目には届きません。そのため、その物体を見ることもありません。

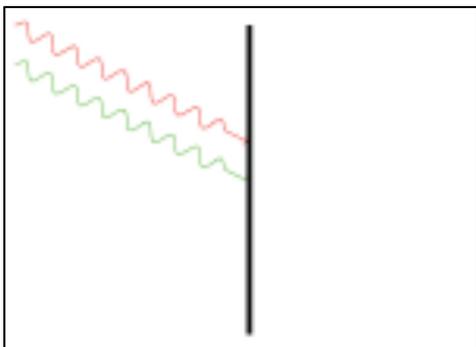


図 1. 光の吸収

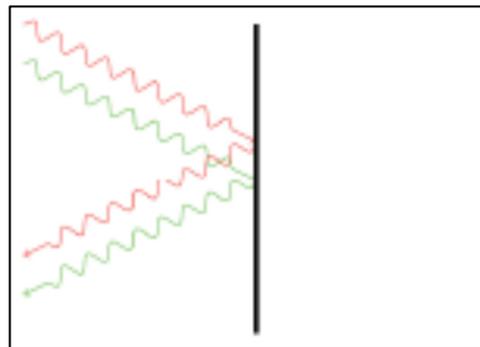


図 2. 光の反射

透過

光は、反射もせず、吸収もしないことがあります。窓の外にある木を見たり、コップに入っている冷たい飲み物を見たりするとき、私たちはどうしているのでしょうか？

光が物体を通過するとき、これを透過といいます。その様子を示したのが図3です。光を通す物体は透明です。また光を通さない物体は不透明です。

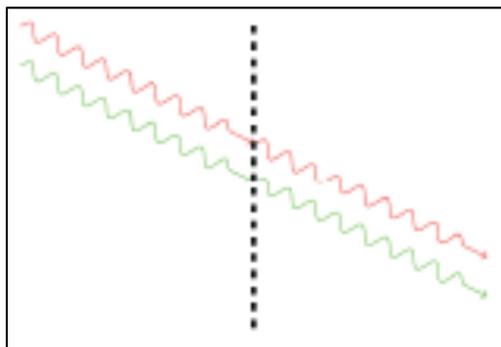


図3. 光の透過

白色光と色

色は光の波長によって生じます。例えば、赤い光は青い光とは異なった波長をもっています。太陽や懐中電灯からの光は白色光と呼ばれます。はっきりと見ることはできませんが、白色光は赤色と青色と緑色の光が混ざってできています。これらの光の三原色を使うと、考えられるどんな光の色も作ることができるのです！

白色光のもとで物体が赤く見えたとき、赤色の光の波長が物体から反射し、それが目に届くのです。青色や緑色の光の波長はその赤い物体によって吸収され、見ることはできません。

透明度

ガラスのような透明な物質は、すべての光の波長や色を通します。ただし、わずかな光は反射します。窓での反射のことを考えてみてください。あなたは外に立っている人のことを窓越しに見ることができますが、自分自身のことも見ることができます。

特定の波長のみを透過する物質もあります。そのような物質は、反射して色が見えるか、または色のついたセロハンのようなものです。図4のような青色のプラスチックのシートを考えてみてください。このシートは青色の光だけを透過および反射しますが、他の波長の光は吸収します。これが、シートが青色に見える理由です。

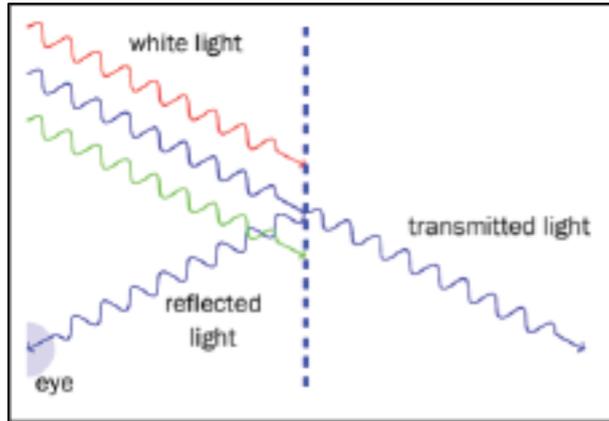


図 4. 波長の選択

実生活での波長選択：3D メガネ

最近、3D 映画を見る機会が多くなりました。3D 映像を見る方法はいろいろありますが、古くから知られているものの一つが、赤と青のメガネを使う方法です。青色と赤色の映像を同時に流し、それらの像を見た角度をわずかに違えます。

左右の眼で見る像がわずかに違うので、脳の中で立体感が得られます。青いレンズを透過するのは青い映像、赤いレンズを透過するのは赤い映像なので、左右の眼で見る像が異なります。こうして、あたかも実際の立体像を見ているように感じられます。

チャレンジ 1 : LED 光のスペクトル

ねらい

選択的な透過を学習することにより、光のスペクトルを理解する。

関連するレッスン

3: クマのグミによる透過

7: 単色のレーザー光

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 2 個 (緑、青)、赤色レーザーポインタ、反射板、回折格子、無色の壁またはスクリーン

光のスペクトル

色をついた光は、その色だけが常に見えているとは限りません。赤い LED は赤色の光だけで構成されているわけではなく、赤色や黄色、橙色の光から構成されます。私たちは、図 1 に見られるように、回折格子によって、スペクトルの中の光線の色を見ることができます。

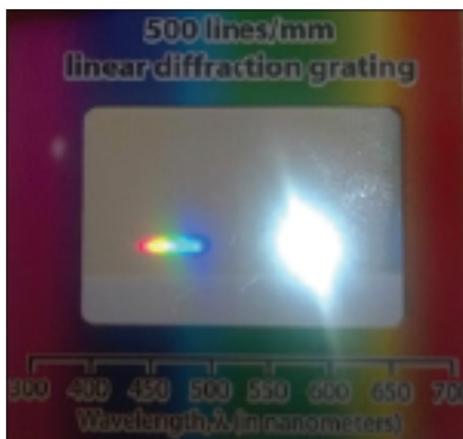


図 1 : 回折格子による白色光のスペクトル

透過光の選択

透明な物体の中には、特定の波長の光だけを通すものがあります。これは、透過する光を選択しているのです。例えば、図 2 のように青いセロハンは青い光だけを透過し、他の波長の光を吸収します。また青い光だけを反射します。これが、青色に見える理由です。

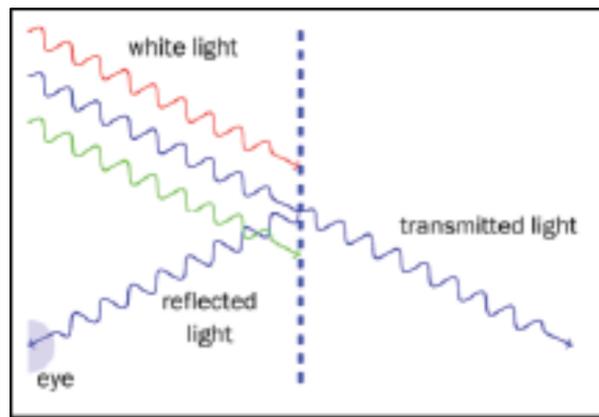


図 2 : 青色の透過の選択

4. 白色光と影

ねらい

白色光と影を操作することにより、それらの性質を理解する。

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 3 個 (赤、緑、青)、レーザーフィンガーLED 白、レーザーポインタや鉛筆のように細くて長いもの、無色の壁またはスクリーン

ときどき、後を追われていると感じることがあるでしょうか？しかし安心してください、それはあなたの影ですから！あなたの永遠の友である影はどのようにできるのでしょうか？いつも動いているのでしょうか？ならば、それはなぜでしょうか？

白色光

太陽からの光は白色光で、室内灯や懐中電灯、白色のフィンガーライトからの光と同じ種類の光です。それらの光に色が無いと思われるでしょうが、必ずしもそういうわけではないのです！

白色光は、赤色、青色、緑色の光の三原色が混ざってできています。絵の具のように、これらの色を組み合わせ、考えられるすべての光の色をつくることができます。

どのように光は進むのか

光線は常にまっすぐ進みます。たくさんの光をまとめると、懐中電灯のような光束ができます。LED や光 BLOX のような光源から離れてみると、光線は広がり、お互いに離れていきます。

光線が物体にぶつかったとき、まわりに逃げることはできません。光は折れ曲がることや、障害物を避けるようにカーブすることができないのです。もし物体が透明であるならば、光は物体を透過します。物体が不透明ならば、影がつくれます。

影

光が不透明な物体と出くわしたときは、物体を通過することはできません。そのため、反射されたり吸収されたり、それらが両方起こることもあります。いずれにしても光は物体の向こう側に到達することはありません。

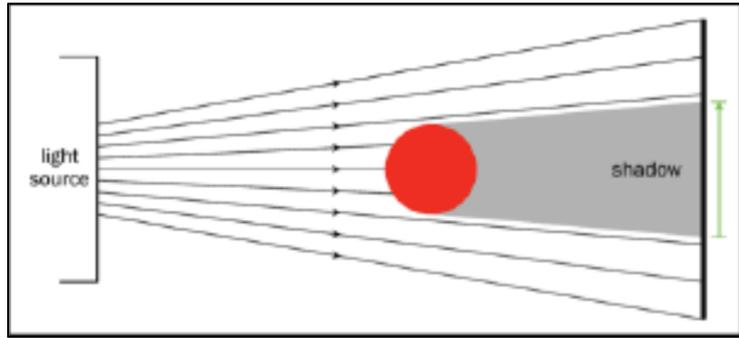


図 1. どのようにして影ができるか。

図 1 を見てください。左側に光源があり、そこから出る光束があります。光束は直線上を進み、赤い物体と出くわしたときには、反射や吸収が起こります。そして、ボールの後ろの空間には光が届いておらず、暗くなっています。これが影です。

影の大きさは、光源から物体までの距離で決まるために変化します。図 2 を見てください。赤いボールは光源から離れていて、光束がボールとぶつかる時の光のない部分の範囲が少なくなっています。

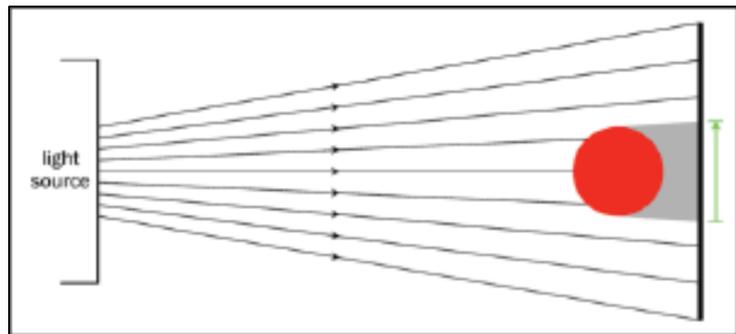


図 2. 小さな影

次に図 3 を見てみましょう。ボールが光源の近くにあり、距離が近いので、ボールによってたくさんの光を遮られ、大きな影ができます。

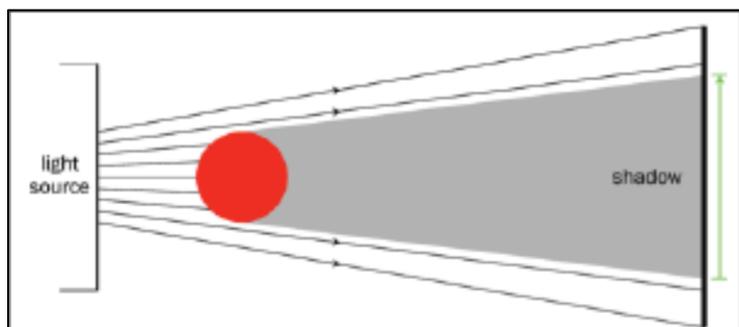


図 3. 大きな影

実生活での影：日時計

日時計は、太陽光の影によって時間を知るものである。古代エジプトの時代から知られており、現代でも使われています。

日時計は、金属や石からできている基板に対して 90 度の角度で金属（グノモンと呼ばれる）が取り付けられています。金属や石の基板には、時間や分を表す時計の機能が刻まれています。日時計が正しい方向に向けられている時、グノモンの影は、その時の時間を示します。

チャレンジ 2 : 透過と影

ねらい

選択的な透過の知識を基に、物体の選択的な透過により影のでき方について学習する。

関連するレッスン

3: クマのグミによる透過

4: 白色光と影

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 2 個 (赤、青)、反射板、

レーザーポインタや鉛筆のように細くて長いもの、無色の壁またはスクリーン

影

影とは光のないことです。光は直線上を進み、何かの物体と出くわしたときにはそれを避けることはできません。そのとき反射されたり、吸収されたり、透過するのです。物体が透明なら光は透過し、物体の向こう側まで通り抜けます。しかし、物体が透明でなければ、光は反射されたり吸収されたり、あるいは、それらが両方起こったりします。いずれにしても光は物体の向こう側へは届かず、影ができます。

選択的な透過

透明な物体は特定の波長をもつ色の光のみを通すものもあります。これが選択的な透過です。反射板のような赤いプラスチックは、赤色の光だけを通します。赤以外の色の光は吸収されるか、伝搬できなくなります。

5. ペッパーズゴースト

ねらい

反射板によってペッパーズゴーストをつくり、虚像のでき方と性質を理解する。

必要なもの

反射板、レーザーフィンガーLED 白、レーザーポインタや鉛筆のように細くて長いもの、スマートフォン

夜、部屋の明かりが点いている状態で窓の前に立っている自分を想像してみてください。何が見えるでしょうか？

ペッパーズゴーストとは？

ガラスに人を反射させることで、「空中」に浮いた幽霊の像をつくり出すことができます。これをペッパーズゴーストと呼び、実は、長い歴史があります。

ペッパーズゴーストの歴史

ペッパーズゴーストは400年以上も前から知られていましたが、発明家のヘンリー・ダークス(Henry Dircks)が、1862年に「ダークスのファンタスマゴリ(Phantasmagoria)」という装置を開発するまで実証されてきませんでした。これは、一瞬にして舞台上に幽霊を出現させたり消したりする装置です。しかし残念なことに、その装置を使うには、劇場を再建しなければならないほど複雑な仕掛けでした。

その後、ジョン・ペッパーという大学教授により、この錯覚をより簡単につくれるようになったため、ペッパーズゴーストは今日私たちが知っているような状態にまで発展していきました。ペッパーズゴーストはチャールズ・ディケンズ(Charles Dickens)の「The Haunted Man」で初めて使われました。その錯覚は大成功を収めたので、発明家ダークスの開発した装置に代わり、ペッパーズゴーストという名がつけました。

ペッパーズゴーストは劇場作品やマジックショー、幽霊屋敷などで、今日でも使われています。

反射と虚像

自分自身を鏡で見るときに映る自分の像は虚像と呼ばれます。何かが確かに存在しているように思えても、実際には存在していません。目の前にいる像は自分に似ているが、実際はそこにはいないのです！虚像は平らな平面鏡によってつくられます。それらの虚像と鏡の距離は、実際に存在する物体と鏡との距離と同じであり、虚像は左右が逆さまになります（訳注：左右が逆になるのではなく、前後が逆にな

ります)。虚像の大きさは実際の物体と同じです。

どのようにしてペッパーズゴーストは機能するのか。

ペッパーズゴーストを作る一つの方法として、図 1 のような特別なステージを使う方法があります。見えるステージ（ピンク色）とその横にある観客からは見えないステージ（青色）の二つのステージを作ります。この隠れた部屋を「青い部屋」といい、そこに立っている人が幽霊のように見えます。青い部屋の壁は暗い色で塗られています。

ガラスの板はステージと青い部屋の間で角度 45 度の位置に置きます。青い部屋は暗くなっている、ステージが明るくなったとき、ステージには何も無いように見えます。晴れているときに窓の前に立つ自分を想像してみてください。自分の像は見えますか？いや、外の物体だけが見えます。

そしてステージを薄暗くし、青い部屋にいる人間にスポットライトが当たると、ガラスに反射してその人が見えるようになります。観客には実際の人間は見えないので、ステージに幽霊が浮いているように見えます。

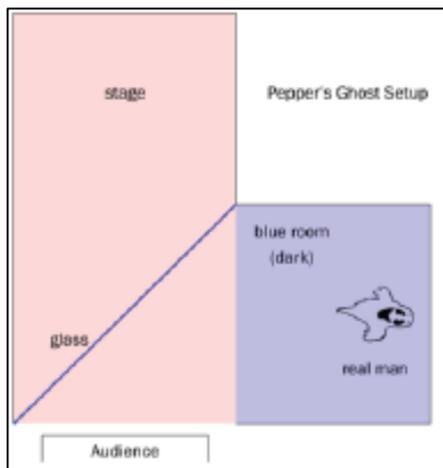


図 1. ペッパーズゴーストのセットアップ

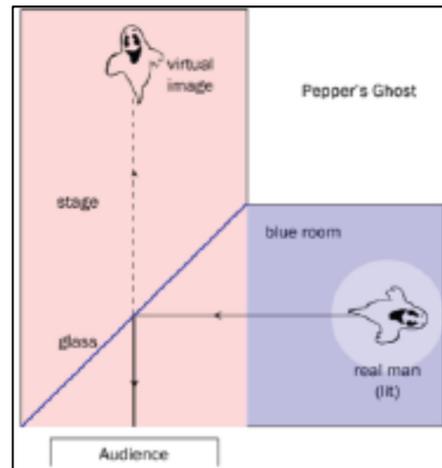


図 2. ペッパーズゴーストの動き

実生活でのペッパーズゴースト：ディズニーランドのホーンテッドマンション

ディズニーランドのアトラクションであるホーンテッド（「幽霊の出る」という意味）マンションは、もっとも大きなペッパーズゴーストの一つです。ゲストは、ドゥームバギーと呼ばれるライドに乗ってホーンテッドルームを進むと、巨大なガラス板に覆われている空の部屋を見下ろすことになります。

ゲストから見えないように、暗い部屋で、ロボットの幽霊が踊ったり、食事をしたりしています。部屋が明るくなると、踊っている姿が見え、暗くなると、その姿が消えます。

6. ペPPERGRAM™ とホログラム

ねらい

ペPPERGRAM™ によってペPPERSゴーストをつくり、反射について学習する。

必要なもの

スマートフォン、ペPPERGRAM™、取り付け治具

ホログラムは、この 40 年の間、動画やビデオゲームにおいて非常に人気がありました。ホログラムについてどう思いますか？ 映画などの普通のプロジェクションとはどう違うのでしょうか？

ペPPERSゴースト

ペPPERSゴーストは錯覚であり、現実的で不気味な幽霊像をつくるために、反射の法則を使います。これは、ホログラムとよく間違えられますが、ホログラムとは全く違うものです！

反射の法則

簡単に言えば、反射の法則は、図 1 にあるように、入射角と反射角が等しいというものです。反射する平面に対して 90 度の角度をなす法線からの角度を測ります。入射角は光源からの光が鏡に反射する光線と法線との間の角度のことです。反射角は鏡から反射した光線と法線との間の角度のことです。

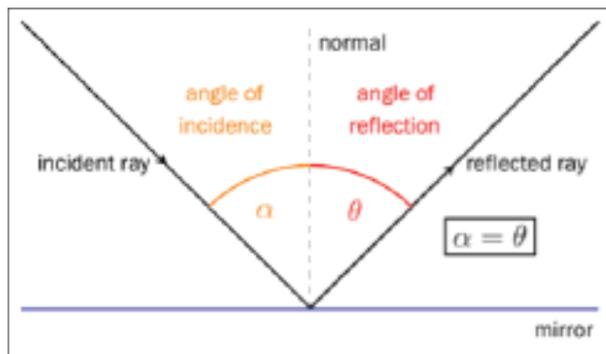


図 1. 反射の法則

どのようにしてペPPERGRAM™ は機能するのか

ペPPERGRAM™ を使ってペPPERSゴーストをつくってみましょう。スマートフォンに映る動画が浮いているように見せるための装置をつくります。ペPPERGRAM™ は、固くて反射するプラスチックからできています。折り目通りに折ってスマートフォンの上に置くと、図 2 で見られるように、スマートフォンの画面に対するそれぞれの面の角度は 45 度になります。



図 2. ペPPERGRAM™のセットアップ

図 3 は 4 つの面のうちの 1 つを表していて、どの面も同じように反射します。浮いている 3D 像をつくるために、4 つの面で同じように反射させ、ペPPERGRAMによって 1 つの面だけで反射しているように見せます。

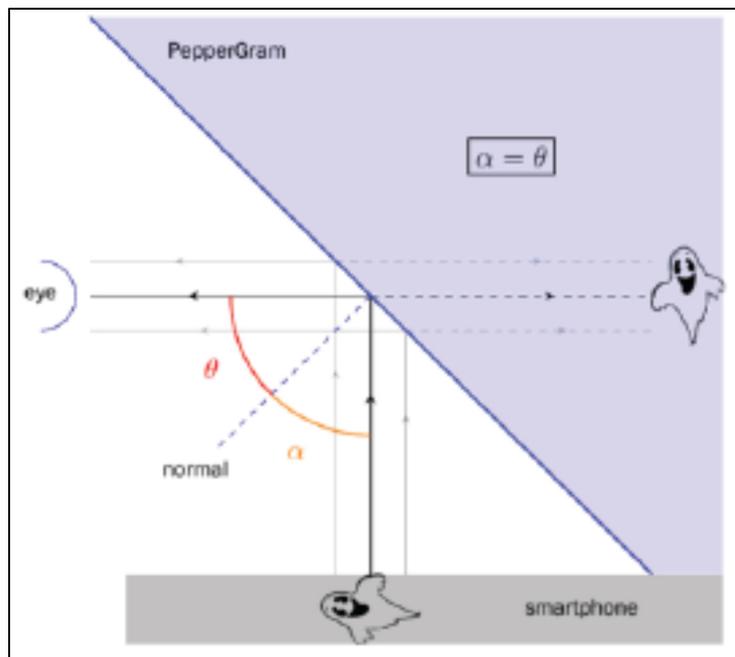


図 3. ペPPERGRAM™の一つの面

スマートフォンに映る映像は、ペPPERGRAM™の裏面で反射します。見る人にとっては、その映像の中の像がペPPERGRAM™で浮いているように見えます。これがペPPERズゴーストであり、虚像です。眼というのは、常に光がまっすぐ先から到達するだろうと考えるため、映像は正面にあるように見え、ペPPERGRAM™の中に存在していると錯覚します。このことにより、物体は、スマートフォンと反射面までの距離と同じだけ離れた反射面の先に虚像があるように見えます。

しかしホログラムではない！

ペPPERGRAM™からできる像はホログラムのように見えますが、ホログラムではありません。ホログラムは三次元物体の「写真」です。物体をさまざまな角度からレーザーで照らすことにより、物体の大きさと形がホログラムフィルムに記録され、これがホログラフィックプリントとなります。

ホログラフィックプリントを見ると、正面から見ると立体的に物体が見えます。この物体はプリントの後ろに浮いていて、物体を窓越しに見ているかのように見えます。プリントを動かすと（あるいは頭を動かすと）、絵の見え方が変わります。違った角度から物体を見ているのです！レーザー光をホログラフィックプリントに照射して、スクリーンに像を投影することもできます。これも同様に、違った角度から見ることができます。

実生活でのホログラム：セキュリティ

今度、紙幣を太陽にかざしてみましよう。セキュリティのためのホログラムを見ることができるようです。通常、通貨の書かれている文字が絵の部分にあり、紙幣を動かすと、その部分の色や形が変わります。

セキュリティホログラムは、パスポートやクレジットカードにも使われています。これは、偽造しにくくするためにあります。マスターホログラムのコピーは非常に高価で、また、素人には難しい技術です。すなわち、偽造防止に役立っているわけです。

7. 単色のレーザー光線

ねらい

白色光や色のある LED 光とレーザー光を比較することにより、レーザー光の単色性について学習する。

必要なもの

回折格子、レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 3 個（赤、緑、青）、
レーザーフィンガーLED 白、レーザーポインタ、懐中電灯（オプション）、無色の壁またはスクリーン

レーザー光は、私たちが毎日見ている光とは違うものであることは明らかです。レーザー光と、普通の電球が発する光とは何が違うのでしょうか？

色とは何でしょうか？

色は光の波長と直接結びついています。光の色が違うということは、波長が違うということです。赤い物体を見るとき、物体は赤い光だけを反射するので赤く見えます。

光が一つの波長の光だけで構成されるとき、それを単色と言います。

白色光

それならば、太陽や室内灯から出る光は何色なのでしょう？黄色？白色？そもそも色をもつのでしょうか？

光は色を持ちます！この光は白色光と呼ばれますが、白色光という名前にも関わらず、光の三原色の組み合わせから構成されています。赤と青と緑の光が混ざったとき、白色光と言われている「明るい」光ができます。

これが、太陽や電灯などの下ですべての色を見ることができる理由です。すべての波長の光が反射・吸収されるので、どの色でも見ることができるのです。

回折格子

回折格子は、図 1 にあるように、枠にはまった透明なプラスチックからできています。プラスチックを覆う何千もの細かい溝は、私たちの目で見えることはできません。溝は上から下までできていて、互いに平行です。溝がとても細いので 1mm のプラスチックに何百もの溝をつくることができます！



図 1. 回折格子

回折格子に光を当てると、違った波長を持つ光ごとに分けられます。図 2 にあるように、これらの分けられた光の色は並んでいます。これがスペクトルです。



図 2. 白色光のスペクトル

実生活での単色光：分光測定法

光が気体を透過すると吸収されます。吸収される光は特定の波長ですが、その波長は気体によって異なります。成分のわからない気体があった場合、吸収される光の波長によって、その気体の成分がわかります。その時に、レーザー光が使われます。

レーザー光を特定の波長に合わせ、その気体が存在する方向に光を照射します。もし、その波長のレーザー光が弱くなれば、その中に、その気体が存在することになります。この技術は、別の惑星の大気を探査するときにも使われます。

8. 平行なレーザー光

ねらい

レーザー光と LED 光を距離の異なる位置から観測することにより、レーザー光の平行性を学習する。

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 1 個（赤、緑、または青）、
ライト BLOX のスリットキャップ（オプション）、レーザーポインタ、無色の紙 2 枚、定規

レーザー光は重要なところを強調するためによくプレゼンテーションで用いられます。これは普通の光ではできないことです。なぜ、レーザー光は暗くなることなく、LED 光よりもずっと遠くまで照らすことができるのでしょうか？

どのように光は進むのか

光線は、図 1 や図 2 のように表現することができます。光線には特定の規則があります。もっとも重要なことは、光線は常にまっすぐ進むということです。反射しない限り曲がることもありません。

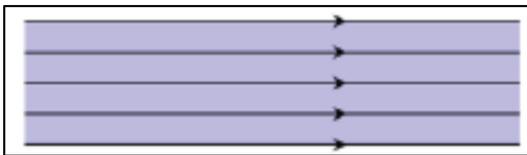


図 1. 明るい光



図 2. 暗い光

なぜ光は明るいのか？

光束は、たくさんの異なる方向に配列された光線からできています。このことが、光がどのくらい明るいのかということに影響しています。

図 1 にある光路図を見てください。光束をつくる光線と光線の間隔がとても短いので、光自体はとても明るくなります。光線と光線の間隔が短ければ短いほど、光は明るくなります。

逆に、図 2 は暗い光束を示しています。光線どうしが離れているほど、光は暗くなります。

LED のように、光線が光源から離れると、光は発散します。図 3 がその光の発散の様子を表しています。これは、光束の明るさは、光源から離れていくにつれて暗くなっていくということを意味しています。

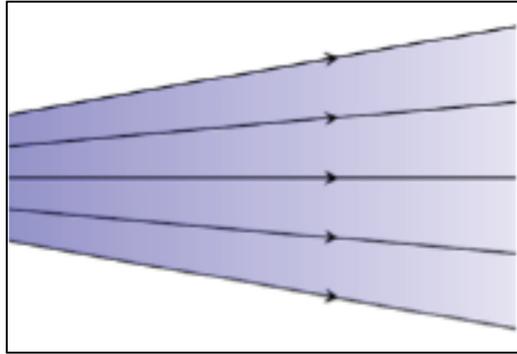


図 3. 発散する光

光が発散しなければ、光線は互いに平行を維持し、コリメートされていると言います。

実生活での平行光：顕微鏡

平行光の代表的なものはレーザー光ですが、ある器械を使うと、どんな光でも平行にすることができます。そのような平行光を利用した器械の一つが顕微鏡です。

顕微鏡において、高倍率ではっきりとものを観察するためには、光源から出た光が平行になってアイピース（接眼レンズ）に入射します。このような光は、レーザーまたはLEDによって作られます。

9. コヒーレントなレーザー光

ねらい

レーザーポインタからでた光と LED 光の干渉パターンを比較することにより、レーザー光の可干渉性を学習する。

必要なもの

レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 1 個（赤、緑、または青）、レーザーポインタ、無色の紙

レーザー光は、我々が普段使う普通の光とは違う 3 つの性質があります。

光波

光束はいくつかの光線からできています。それぞれの光線は横波として表されます。すべての光線の位相がそろっているとき、その光はコヒーレントであると言えます。

同じ位相の光線が 2 つあるならば、それらは波の山と谷が同期しているということになります。図 1 と図 2 はコヒーレントとインコヒーレントの違いを示しています。図 1 は波の山と谷がそろっていて、コヒーレント光です。図 2 は波の山や谷がそろっておらず、インコヒーレント光です。

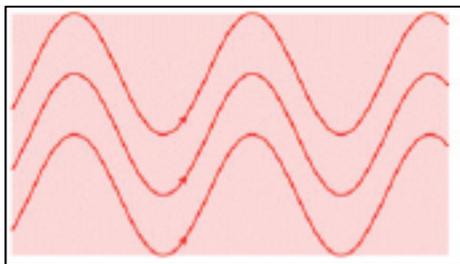


図 1. コヒーレント光

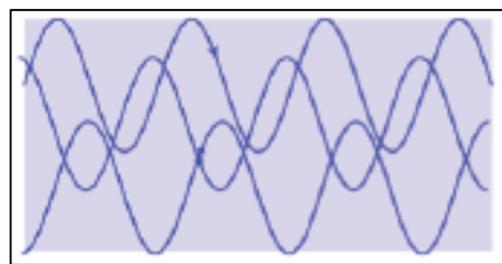


図 2. インコヒーレント光

乱反射

反射の法則とは、入射角と反射角が等しいというものです。光束が、図 3 のような滑らかな表面を反射するとき、すべての光線が同じ角度で入射して同じ角度で反射します。

しかし、もし光束が図 4 のような平坦でない表面を反射するならば、どの光線も違った角度で反射します。これが乱反射です。

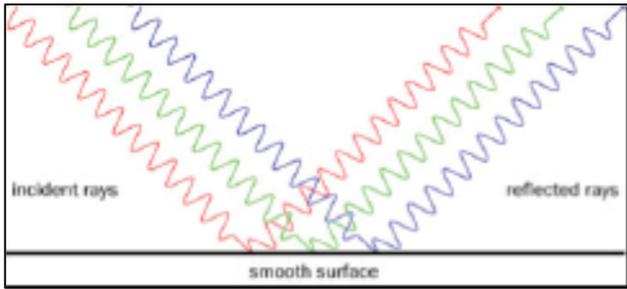


図 3. 乱反射 (訳注：正しくは正反射)

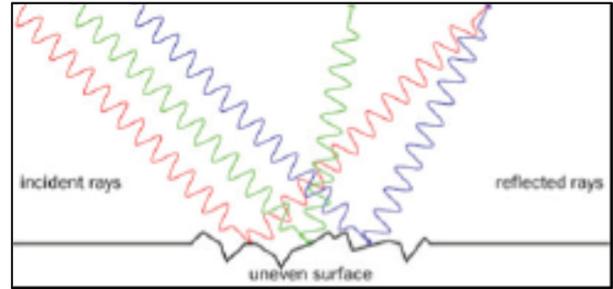


図 4. 正反射 (訳注：正しくは乱反射)

干渉とスペckルパターン

2つの光が出くわしたとき、それらは干渉して1つの光となります。もし2つの波の山が重なれば、光は干渉して強め合い、結果として光は強くなります。一方、波の山と谷が重なれば、光線は干渉して弱め合い、光は弱くなります。

先ほど述べた乱反射の現象について考えてみましょう。インコヒーレント光が乱反射される時、光は交差して干渉し、完全に規則的ではなくなります。そのため、少なくとも肉眼で見ると光線の明るさは一定です。

ところが、コヒーレント光が乱反射する場合は、より規則的な干渉をします。なぜならば、入射光が同位相だからです。光線が反射される時、波の山や谷がより顕著な形となります。これが斑点模様(スペckルパターン)となります。反射光の中の明るい斑点が強め合う干渉であるのに対して、暗い点は弱め合う干渉です。

実生活でのコヒーレント光：血流計測

コヒーレント光によるスペckルパターンは、そこを反射する表面の粗さに依存します。表面が変わると、新しいスペckルパターンが作られる。これを動的スペckルと呼びます。

動的スペckルは、医学的に皮膚の内側の血流を測るために使われています。皮膚のすぐ下の血流は、皮膚を動かします。したがって、コヒーレント光を皮膚に照射すると、その動きによってスペckルパターンが変化します。医師は、その動きによって血流を測定することができます。

10. レーザー光の波長の測定

ねらい

赤いレーザー光の波長を計算することによって、回折について学習する。

必要なもの

レーザーポインタ、回折格子、無色の紙、定規、回折格子を固定する治具（オプション）

海岸で波打つ様子を想像してみてください。突然港の壁のような障害物にぶつかったとき、波はどうなると思いますか？ 狭い入口だけを通過するのでしょうか？ 壁の穴を通過したとき波はどのようになるのでしょうか？

回折

波が周りに障害がある狭いところなどを通るとき、どのように曲がるのかということは、回折によって説明できます。図 1 を考えてみましょう。物体に小さな切れ込みを入れたところを通過する際の波を表しています。波が切れ込みを通過すると、その分だけ短くなって、波は均一に進み続けるだろうと予想する人が多いかと思います。しかし、そうではなく、通過するときに、波は物体の方へ曲がります。

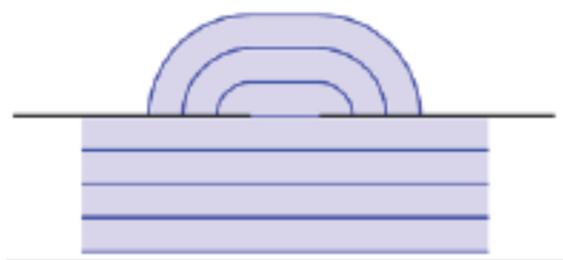


図 1. 狭い切れ込みによる回折

同様に、狭いところを通過するとき、波は回折します。これを示したのが図 2 であり、波は狭いところに向かって曲がります。

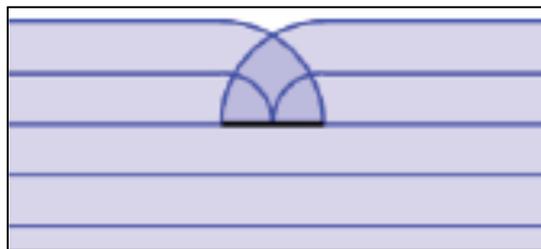


図 2. 狭いところの回折

光は波であるので、上で述べたように、障害に出くわしたとき回折するのです。

回折格子

回折格子は何千もの薄い、垂直な切れ込みが上から下まで並んでいるプラスチックのシートです。これらの切れ込みは狭い物体の働きをし、光は回折格子を通過して回折します。

しかし、波が回折して曲がると、互いに干渉します。2つの山が出くわすと干渉して、波が強くなり、明るくなります。2つの谷が出くわすと干渉により波は弱まり、暗くなります。

レーザー光の干渉縞

波長の異なる光は、違う角度で回折します。もし白色光を回折格子に通すなら、そのスペクトルを構成しているすべての色の光が並んで見えるでしょう。試しに回折格子を自分の目線のところまで持ち上げて、室内灯のような白色光を見てください。スペクトルが観察できるでしょう！

しかしレーザー光は単色なので1つの波長の光でしか構成されていません。そのため、すべての光波は同じ角度で回折し、スペクトルは観察されません。干渉縞が1つの色の光のみで成り立っているのです。

これを示しているのが図3です。このパターンを使って、光の波長を計算することができます。

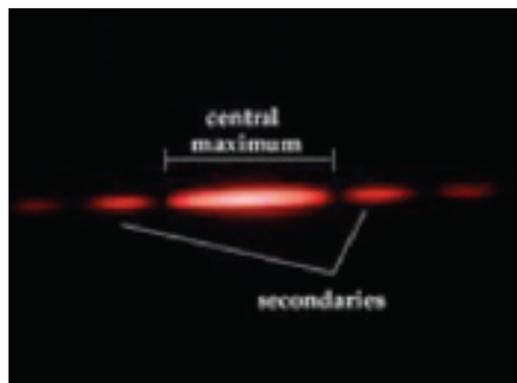


図3. レーザー光の干渉縞

光の波長の計算

レーザー光の波長を計算するには、特定の面の干渉縞に着目する必要があります。図3をもう一度見てください。もっとも明るい光は中央部分にあります。左右にある小さなパターンが2番目に強い光（[訳注：1次回折光](#)）となります。白色光ではすべてのスペクトルが1次回折光となります。

光の波長を計算するための公式は以下の形で表されます。

$$\lambda = (X)(d)L$$

ここで、

X : 中央光と 1 次回折光との間の長さ

d : 回折格子の切れ込みの幅

L : 干渉縞を映すスクリーンと回折格子との間の距離

実生活での回折：ホログラム

ホログラムは立体写真です。すなわち、ホログラムには奥行きがあり、ホログラムを動かすと、実際の物体を動かしたかのように見え方が変わります。

ホログラムを見るには、ホログラム板にレーザー光を照射します。このホログラム板には、不透明なガラス板に透明な線が描かれており、一種の回折格子として働きます。ホログラム板にレーザー光を照射すると、光は回折し、干渉パターンを作ります。この干渉パターンが像、あるいはホログラムとなります！

チャレンジ 3 : 反射の法則の検証

ねらい

光路図を描くことによって、反射の法則を学習する。

関連するレッスン

1: 反射板による反射

必要なもの

反射板、色鉛筆またはペン（赤、緑、または青）、小さな鏡（オプション）、分度器、レーザーフィンガーLED またはライト BLOX 3 個（赤、緑、青）（オプション）

反射の法則

光線が表面で反射される時、入ってくる光線は入射光線といい、出ていく光線は反射光線といいます。表面から 90 度のところに法線と呼ばれる架空の線を描きます。入射光線と法線との間の角を入射角、反射光線と法線との間の角を反射角といいます。反射の法則は、図 1 で示されているように入射角と反射角が常に等しいというものです。

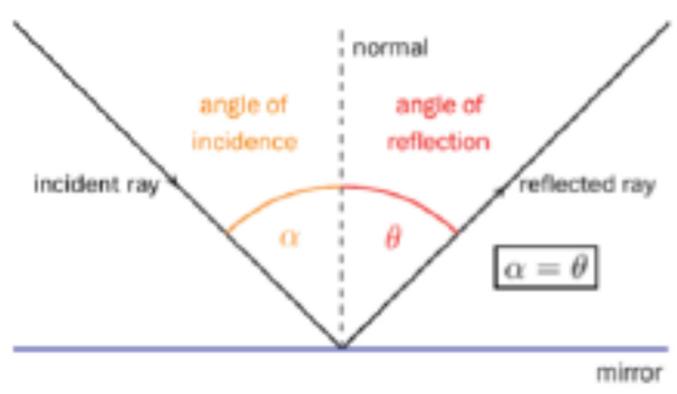


図 1. 反射の法則

見えないものを探る

私たちが見ているあらゆるものは、光以外の何物でもありません。光は、次のいずれかによって見ることが出来ます。

1. 光源そのもの（電球や炎、太陽など）からの光
2. 物体から反射してくる光

いずれにせよ、見ているものは光です。光が、私たちの目に届き、脳がそのものを理解します。簡単に言えば目に見えるということです。

物体が光を反射しなければ、目には見えません。物体が存在していても、光が反射して目に届かなければ、そこには「物体が存在していない」ように思えるのです。では、物体にカバーをして、周りにある光をなくしてください。私たちは、そこに物体があるということを知っているため、実際には、そこに物体がないとは思いません。しかし、私たちの眼で見えるのは、周りや後ろの物体であり、カバーした物体は、あたかもそこには全く存在していないかのように、眼に映りません。少し不思議な話ですね。

ものを見えなくする方法として、光を曲げるという方法があります。光を曲げる現象は屈折と呼ばれ、私たちは、いつもこの現象を見ています。ここで写真に写っているカモを見てみてください。本当に半分に分かれているのでしょうか？ 違いますよね。しかし、そのように見えますね。何が起きているのでしょうか？

屈折

光がある物質（空気）から別の物質（水、ガラス、プラスチックなど）に進むとき、光の進む速さが変わります。この速さの変化が光を曲げています。光が曲がると、物体が実際に存在しているところとは違う場所に光は現れます。これがカモに起こっていることなのです。光がカモに当たり、跳ね返って自分の目に直接入ってくる代わりに、水の外からやってきた光は水の中でカモに当たって跳ね返り、再び水の外に出て私たちの目に入ります。光が水の中に入ったり、水の外に出て行ったりする際に、光が曲がり、カモの体の下半分が切られているように見えるのです。

ロチェスタークローク（ロチェスターの光学迷彩）

ロチェスター大学の研究者は、4枚のレンズを使うことで、いともたやすく、物体の裏が完全に見えるように、光を曲げるしくみを発見しました！簡単にできるので、キットを使って実験してみましよう。

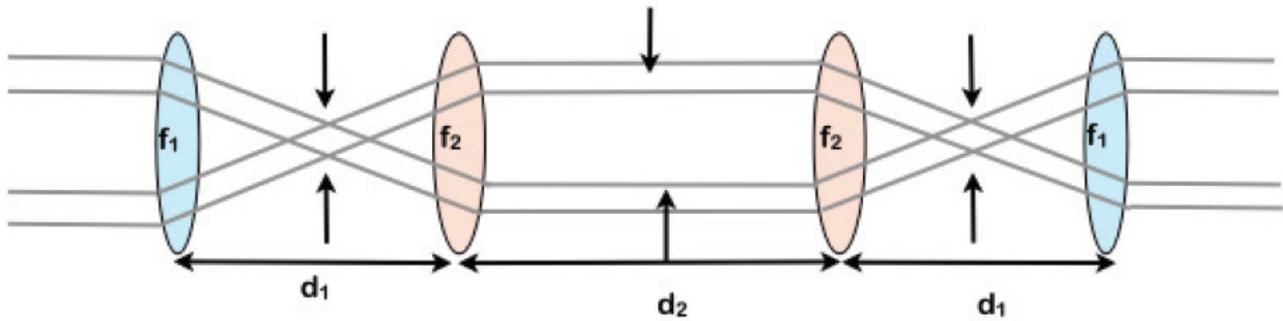


図 (消える領域)

参考リンク : <http://commonpost.info/?p=101259>

図のように4つのレンズをセットすることで、クロークな領域 (消える領域) をつくることができます。レンズは二つの「組」に分けることができ、それぞれの「組」は、距離 d_1 だけ離れた二つのレンズ (f_1 と f_2) から構成されています。そして、それぞれの「組」は距離 d_2 だけ離れています。

レンズの間の距離とレンズの組の間の距離は、レンズの焦点距離を使い、次の簡単な数学によって定義されます。

1. まず、焦点距離の異なる二つのレンズを使います。このキットでは、全体で 1 m 以内に収めるために、焦点距離を 50 mm と 150 mm のレンズを使っています。しかし、どんな焦点距離のレンズでも実験できます。

2. レンズ f_1 と f_2 は、それぞれのレンズの焦点距離の和だけ離します (距離 : d_1)。このキットの場合、次のようになります。

$$d_1 = 150 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

3. 二組のレンズは、次の式を満足するように離します (距離 d_2)。

$$d_2 = 2 \times f_2 \times (f_1 + f_2) / (f_1 - f_2)$$

$$d_2 = 2 \times 50 \text{ mm} (150 \text{ mm} + 50 \text{ mm}) / (150 \text{ mm} - 50 \text{ mm})$$

(訳注 : 原文の式は間違っています)

$$d_2 = 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} / 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

キットの中に入っているもの

レンズホルダー：4個

両凸レンズ（口径：50 mm、焦点距離：150 mm）：2個（訳注：原文に誤りあり）

両凸レンズ（口径：50 mm、焦点距離：50 mm）：2個（訳注：原文に追加）

光学系の組み立て手順

1. 長さ1 m くらいの平らなテーブルを用意する。
2. レンズをホルダに実装し、 f_1 （焦点距離：150 mm）と f_2 （焦点距離：50 mm）がわかるように、区別する。
3. f_1 のレンズをテーブルの端に置き、原点とする。
4. f_2 のレンズを原点から200 mm 離れた位置に置く。
5. f_1 のレンズを原点から400 mm 離れた位置に置く。
6. f_2 のレンズを原点から600 mm 離れた位置に置く。
7. 600 mm 以上離れた位置に、パタンの描かれた背景を置く。（訳注：原文に誤りあり）
8. 4枚のレンズの軸方向を覗き、レンズの間に、鉛筆のような物体を軸に対して垂直に、上下左右に動かしてみると、物体が見えなくなります。その場所で、光が物体の周りに屈折して背景が見えるのです。

チャレンジ 4 : 自分のクロークを作ってみる

1. 4枚のレンズを用意する。その内の2枚の焦点距離 f_1 はわかっている、残りの2枚の焦点距離 f_2 はわかっているとします。
2. それらのレンズを2枚ずつ2組に分けます。
3. 次の式を使って d_1 と d_2 を求めます。

$$d_1 \text{ (それぞれの組の中のレンズ間の距離)} = f_1 + f_2$$

$$d_2 \text{ (二組のレンズの間の距離)} = 2 \times f_2 \times (f_1 + f_2) / (f_1 - f_2)$$

4. f_1 のレンズと f_2 のレンズを d_1 だけ離して置く。
5. もう一組のレンズを d_2 だけ離して置く。もう一組のレンズも互いに d_1 だけ離して置く。
6. 4枚のレンズの軸方向を覗き、レンズの間に、鉛筆のような物体を軸に対して垂直に、上下左右に動かしてみると、物体が見えなくなります。その場所で、光が物体の周りに屈折して背景が見えるのです。