

Family/

理科が好きな人も、美術が好きな人も、
家族や友だちと一緒に楽しめる

TOCOL® 色彩学習セット

定価: 本体 **1,880円** + 税

簡易分光器



暗箱レンズキット

- ピンホールカメラ
- カメラ・オブスキュラ
- 望遠鏡
- 拡大鏡



カラー独楽 (コマ)

- 回転混色
- ベンハムの独楽の応用 ほか



ふしぎお面メガネ

- 色順応
- 立体視
- 回折・干渉



Family TOCOL® 色彩学習セットは、色が現れるための
三つの要素——「光」・「物」・「視覚(目と脳)」について
ふしぎな現象を体感しながら楽しく学習実験ができます。



※教材購入者はTOCOL® テストが無料で受験できます。

こま カラー独楽

⚠ 独楽を回すと光刺激により不快感を覚えることがありますので十分にご注意ください。

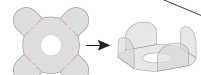
切り込み

切り込み
カッターを差し込む等して、
穴を少し広げておいて下さい。

支点固定台

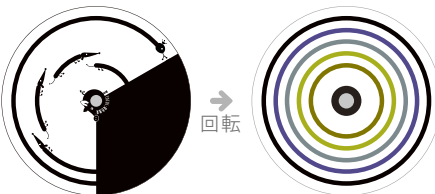
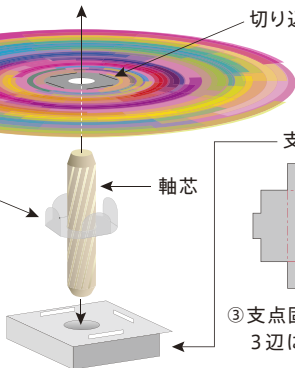
③ 支点固定台を折り筋にそって折り
3辺にあるツメを切り込みに差し込む

軸芯固定盤



① 軸芯を軸芯固定盤の穴に差し込む
※穴がきつくなっているため軸芯を
回しながら押し込む

② 回転盤に軸芯を垂直に差し込む
この際、軸芯固定盤のツメを折り曲げて
回転盤の切り込みに差し込み固定する

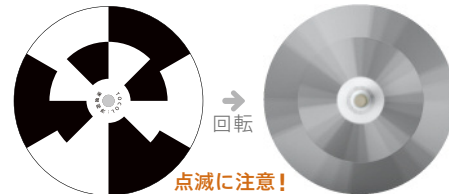


▲ 発色独楽

白・黒だけの独楽ですが、
回すといろんな色が見えます（主観色）。
また、逆回転にすると色の現れ方が変わります。
ペンハムの独楽を応用したものですので
主観色の体験・実験ができます。
回転速度や照明、観察者の違いによって
色の見え方が異なります。

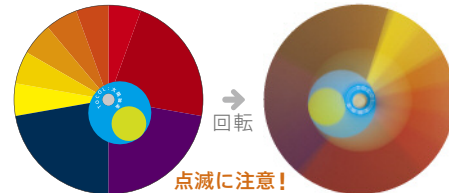
※この独楽は、黒地面積を全円の1/3にしています。
また、色の比較を単純にするため、黒い線の円弧は、
中心角60度の4本だけにしています。

[参考サイト]
http://www1.icnet.ne.jp/nandemo_lab/



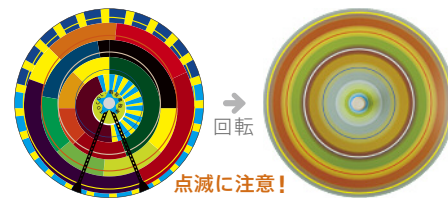
▲ 浮遊独楽（ワゴンホイール効果）

内側が外側から浮いて見えます。
また、独楽を回し、スマホカメラで観察すると内側と外側の縞が
それぞれ右回転になったり停止したり左回転したりします。



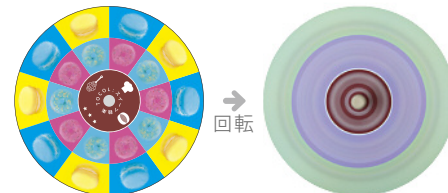
▲ 太陽独楽

赤から青のグラデーションが見える回転混色盤です。



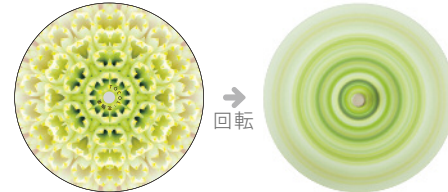
▲ 観覧車独楽（回転混色）

色相差・トーン差が大きい色の組み合わせです。



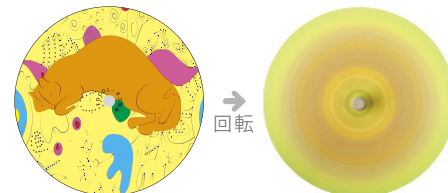
▲ スイーツ独楽（回転混色）

シアンと黄、シアンとピンクの回転混色盤です。



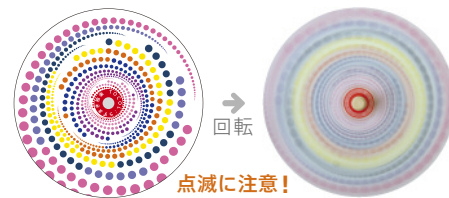
▲ 花独楽（回転混色）

黄緑のトーンが現れる回転混色盤です。



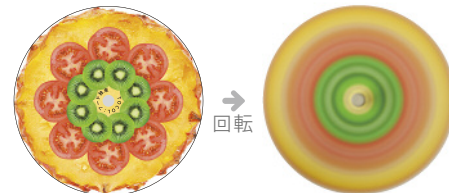
▲ ネコ独楽（回転混色）

つい回したくなるデザインの独楽。絵付け独楽の参考にしてください。



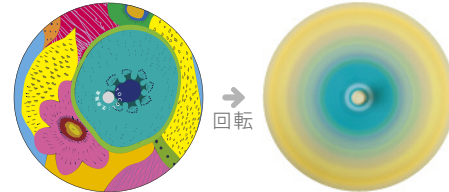
▲ うずまき独楽（回転混色）

色のうずまきとともに、逆回転の白のうずまきが見えます。



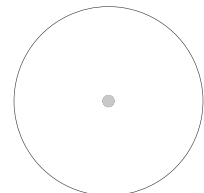
▲ フード独楽（回転混色）

黄と赤、赤と緑の回転混色盤です。



▲ 生命独楽（回転混色）

つい回したくなるデザインの独楽。絵付け独楽の参考にしてください。



▲ 絵付け独楽

自由に描いてオリジナル独楽を創ってください。



平凸4枚★平凹1枚のレンズを組み合わせる段ボール組み立て式の

暗箱レンズキット

外の景色が部屋の小さな穴を通して壁（かべ）などに逆さまに映ることは、紀元前から知られていました。このしくみを利用した装置が**ピンホール（針穴）カメラ**で、カメラの原点ともいえます。

15世紀頃には、このしくみを元に、部屋と同じくらいの大きな箱の壁にピンホールを開け反対側の内壁に像を映す「**カメラ・オブスキュラ**（意：暗い部屋）」が作られます。画家が中に入り、映った像を紙の上に描き移す用途で使われ、ルネサンス期における透視図法（線遠近法）の理論確立に大きな役割を果たしました。

その後、16世紀には、ピンホールの代わりに明るい像が得られる凸レンズを利用するようになります。

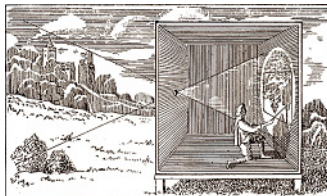
レンズの製造法や研磨法は11世紀頃からヨーロッパ各地で開発され、15世紀頃にはいろいろな光学レンズが作られるようになりました。16世紀後半から17世紀にかけて、2つのレンズを組み合わせると物が大きく見えることが発見され**望遠鏡**と**顕微鏡**が相次いで発明されました。

1609年、イタリアのガリレオ・ガリレイは自ら2枚のレンズと筒を組み合わせて、20倍から30倍の望遠鏡を作り、月にも山や谷があることを発見。翌1610年には木星に4つの衛星があることを発見しています。

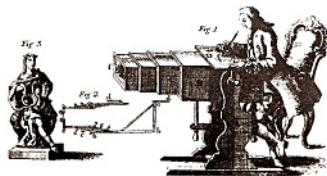
また、1665年には、イギリスの科学者ロバート・フックがレンズを組み合わせた複式顕微鏡によって植物細胞を発見、17世紀後半にはオランダの顕微鏡学者アントニ・ファン・レーウエフックが自ら単レンズ顕微鏡を製作しバクテリアを発見しています。

それでは、「TOCOL® 暗箱レンズキット」でレンズの歴史をたどりながら「ピンホールカメラ」、「カメラ・オブスキュラ」、「望遠鏡」、「望遠ズーム」、「拡大鏡（ルーペ）」を作ってみましょう。レンズの基礎を築いた魅力ある人間の知的創造力をじっくりと楽しんでください。

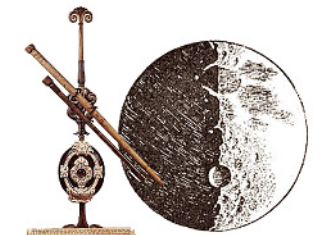
※「TOCOL® 暗箱レンズキット」は、レンズ以外すべて、組立や収納しやすい段ボールで作られています。



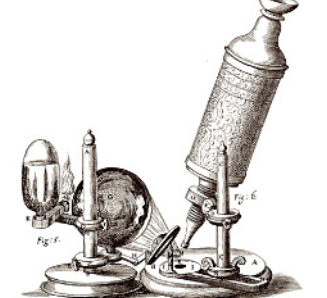
▲ピンホール現象を利用して風景画を描く



▲レンズを付けたカメラ・オブスキュラ

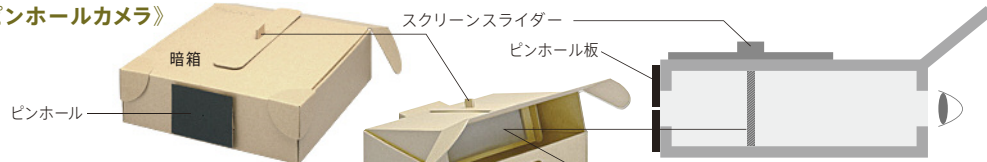


▲ガリレオの望遠鏡と月のスケッチ



▲ロバート・フックの顕微鏡

《ピンホールカメラ》

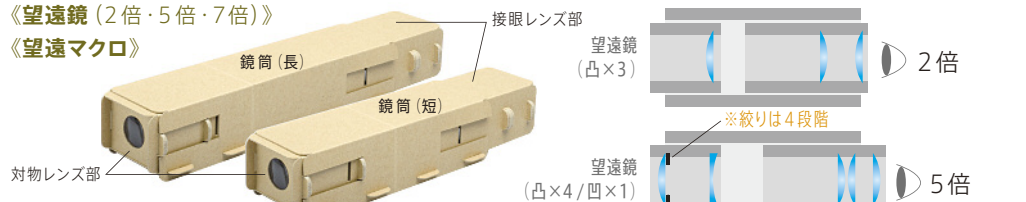


《カメラ・オブスキュラ》

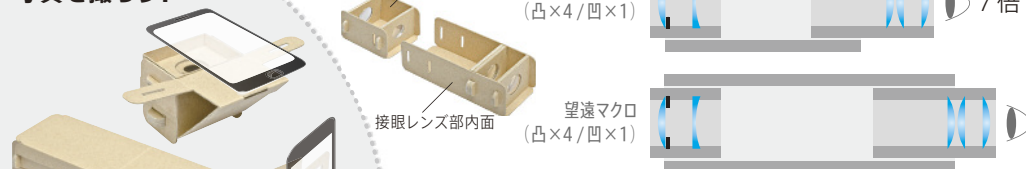


《望遠鏡（2倍・5倍・7倍）》

《望遠マクロ》



スマホ台を使って 写真を撮ろう！



《拡大鏡》



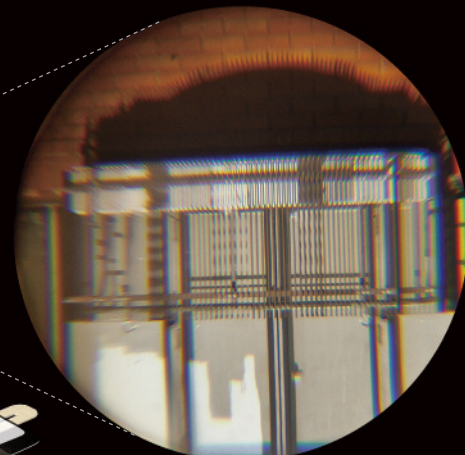


暗箱レンズキット実写画像

レンズの歴史をたどりながらレンズの基礎を築いた
魅力ある人間の知的創造力をじっくりと楽しんでください。

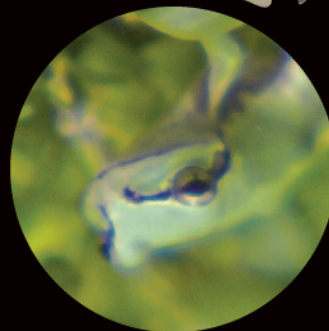


▲カメラ・オブスキュラ画像

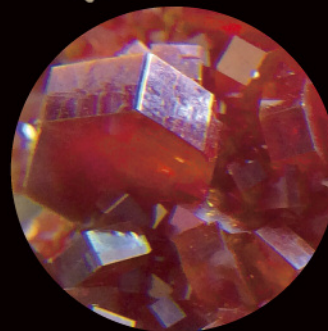


▲望遠鏡画像

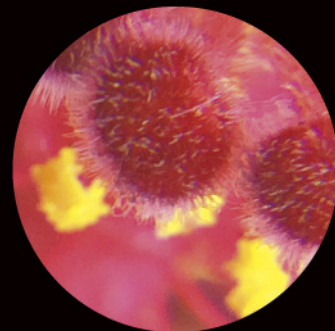
※スマホを取り付けて撮影。



▲望遠マクロ画像
(アマガエル)

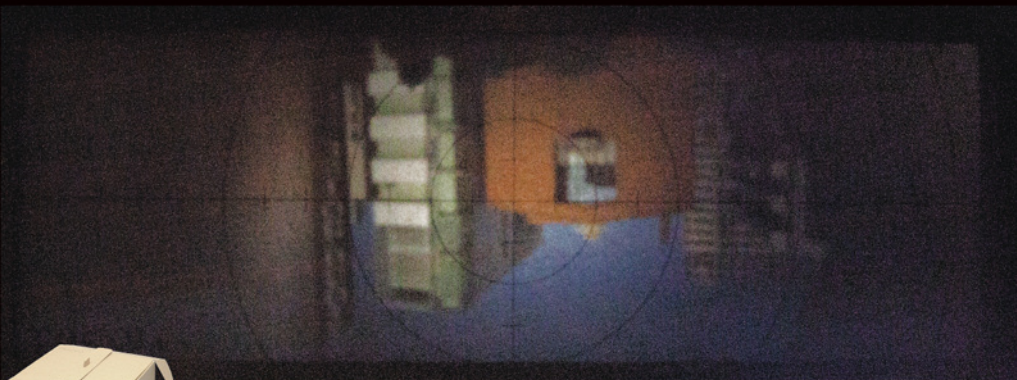


▲拡大鏡画像
(バナジン鉛鉱)

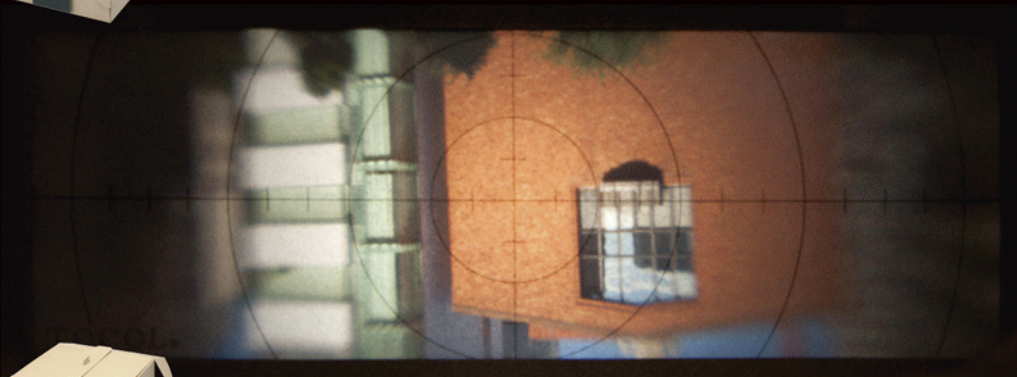


▲拡大鏡画像
(ハイビスカスの雌蕊 (しずい))

レンズの向きや絞りの組み合わせによって収差の出方が変わります。
さまざまな組み合わせを試してみましょう。



▲ピンホールカメラ画像



▲カメラ・オブスキュラ画像

パノラマ投影スクリーンですので周辺減光や収差を確認することができます。





平凸4枚★平凹1枚のレンズを組み合わせる段ボール組み立て式の

暗箱レンズキット

人間の眼に例えられるカメラ。レンズは角膜や水晶体の役割を果たし、絞りは虹彩の働きに相当します。また、撮像素子（さつぞうそし）やフィルムなどの像を記録する媒体（ばいたい）は、網膜内の視細胞の役割を果たしているといえます。

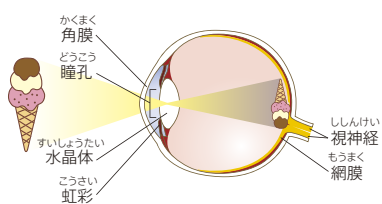
画像を撮像媒体に写し取るためには、対象の光を一点に収束させ、撮像面（像が映る面）上に「**結像**（物の像ができること）」するようにし、それ以外の光を排除する必要があります。このために使用されるのがレンズです。凸（とつ）レンズによる集光の概念は図1のようになります。

焦点（しょうてん）とは太陽の光など、遠くからくる光（無限遠からくる平行な光）が、**光軸**（こうじく）に対して平行に入り、その光が一点に集まる点です。光軸とは、レンズに垂直に、レンズの中心を通る軸です。虫メガネで太陽の光を一点に集めると、紙を焦がすことができます。虫メガネと紙の距離を遠ざけたり近づけたりした時、光が最も小さくなって紙を焦がす点が焦点です。

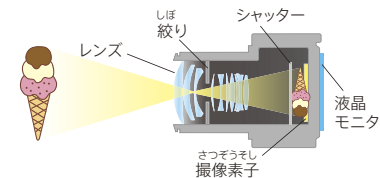
レンズの**焦点距離**とは、レンズの中心からこの焦点までの距離を指します。

また、蛍光灯などの明かりの近くに行くと、虫メガネをかざし上下させてみると、蛍光灯の像が机や床などにはっきり映る点があります。このようにレンズの前に物を置いたときに物の像がはっきり映る位置を**結像点**といいます（図2）。カメラでピントを合わせる（像が鮮明に見える位置）というのは、この結像点と撮像面の位置を合わせることです。レンズの前に物体を置いたときに物体の像ができる結像点は、物体からレンズまでの距離によって変わります。

逆にレンズの焦点は、実際の物体の位置には関係しませんので、移動しない点ということになります。無限遠の物を映すと焦点と結像点は一致しますが近くの物を映した場合は結像点が移動します。



▲人間の眼球の水平断面と結像の様子



▲デジタルカメラと結像の様子

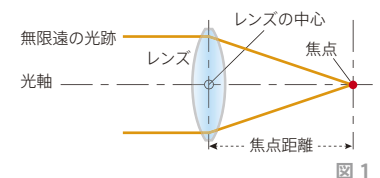


図1

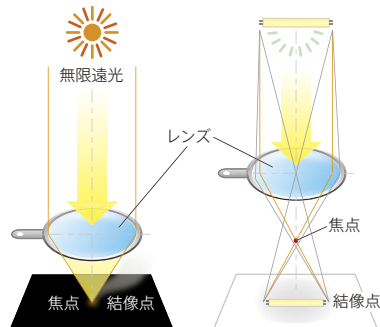


図2

●レンズを通してできる像

物体から散乱した光は光軸に平行なものばかりではありません。右図②のように散乱した光はいろいろな方向に進みます。ですが、光軸に平行な光だけは焦点を必ず通ることになります。前ページ図2で虫メガネを裏返しても同じように焦点ができます。

右図③でも左からの光線ではなく、右からの光線だと、反対側に焦点ができます。このように**焦点は、レンズの前後に2点あります**。物体側（レンズに対して光が入る側）を**物焦点**（前側焦点）、結像側を**像焦点**（後側焦点）といいます。凸レンズがつくる像の大きさは物体の位置によって右図④～⑥のように変わります。

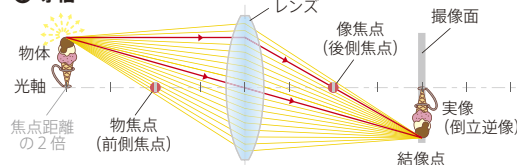
また、凸レンズでは物体を前側焦点の外側に置いたときには**実像**ができます。この実像は倒立逆像（上下左右が逆の像）になります。（撮像面側から見ると倒立鏡像）

右図④でレンズも撮像面も取り払って物体を見ても私たちは物体を鮮明に見ることができます。これは、目の角膜・水晶体が凸レンズ、網膜が撮像面と同じ動きをしているからです。ここで、「網膜に映っているのは倒立逆像だから逆さまに見えるじゃないか」と思う人もいるかもしれませんが、これは脳が逆さまを正常だと慣らされているからです。

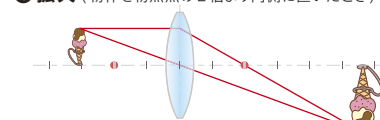
凹レンズでは、光を通すと光を拡散してしまい集めることができません。そのため凹レンズには焦点がないように思われますが、拡散する光と反対方向に逆延長する点と光軸との交点が凹レンズの虚焦点（後側焦点）となります。凹レンズでは、物体側（実際の物体の内側）に物体より小さな**虚像**ができます（図⑦）。焦点距離の計算では凹レンズは物体側ですからマイナス（－）になります。



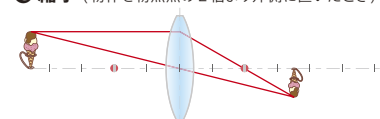
② 等倍



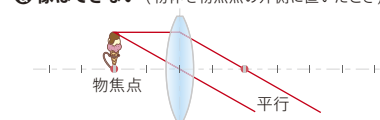
③ 拡大（物体を物焦点の2倍より内側に置いたとき）



④ 縮小（物体を物焦点の2倍より外側に置いたとき）



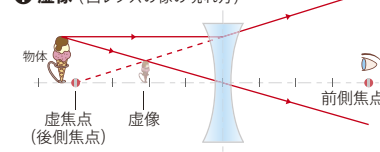
⑤ 像はできない（物体を物焦点の外側に置いたとき）



⑥ 虚像（物体を物焦点の内側に置いたとき）



⑦ 虚像（凹レンズの像の現れ方）



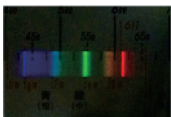


簡易分光器

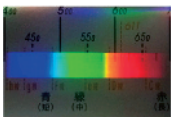
ケースの中ブタの「回折格子」の場所に付属の「回折格子シート」を貼り、中ブタをひっくり返し外箱にはめると簡易分光器になります。

簡易分光器を光源に向けてスケールの正面にスペクトルがあらわれます。

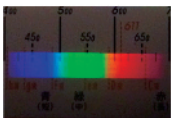
▼(分光器にタブレットのカメラを向けて撮影)



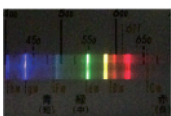
◀**蛍光灯**(3波長：放電)
スペクトルの中に特定の波長(青・緑・赤)が輝いている**輝線**が観察できます。



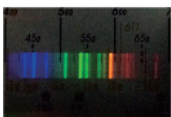
◀**太陽光**(自然光)
連続的な分光分布をもつ**連続スペクトル**が観察できます。



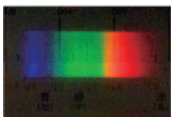
◀**白熱電球**(熱放射)
自然光と似た連続スペクトルが観察できます。



◀**水銀灯**(放電)
水銀特有の輝線が観察できます。蛍光灯にも同様な輝線が現れます。



◀**メタルハライドランプ**(放電)
添加されている金属ハロゲン化物特有の複数の輝線スペクトルが観察できます。

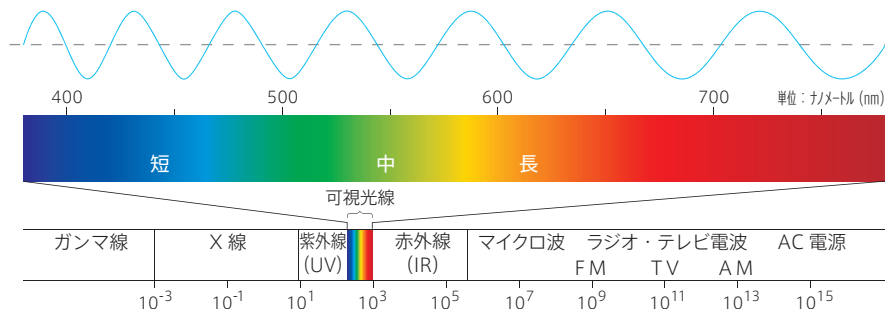


◀**LED**(エレクトロ・ルミネセンス)
青色LEDと黄色の蛍光体の組み合わせで白色を作っています。二つの山をもつ連続したスペクトルが観察できます。

光の正体

「光」は「**電磁波**」です。電磁波を簡単にいうと電気と磁気の波のことです。紫外線や赤外線、ラジオやテレビ、携帯電話の電波もこの電磁波のひとつです。電磁波は波の形であらわすことができ、波の山から山の距離を「**波長**」といいます。波長は nm (ナノメートル) という単位であらわします。さまざまな光のうち、ある一部分の波長をもった光だけが、人間の目に入ると「色」という反応を引き起こします。この「色」を引き起こす光を「**可視光線**」とよびます。人間の感じる色を、それをもたす波長の順に並べたものを「**スペクトル**」といいます。可視光線の波長は、その長さによって、**短波長・中波長・長波長**とおおまかによぶこともあります。

※「可視光線」とよばれる光に色がついているわけではないということに注意してください。



スペクトル

光のスペクトルにはその連続性の度合いから、連続的な分光分布をもつものを「**連続スペクトル**」、特定の波長の光のみをもつものを「**線スペクトル**」とよぶことがあります。線スペクトルには、明るい線の「**輝線**」と、暗い線の「**吸収線**(暗線)」があります。輝線は原子から発せられる光、吸収線は原子が特定の波長を吸収するためにあらわれるもので、それぞれの元素に固有のもので、蛍光灯の発光スペクトルでは、帯状のスペクトルと線スペクトルとが重なったように見えますが、このようなスペクトルを特に「**帯スペクトル**」とよぶことがあります。

※スケールには水銀 i 線(紫外線)、水銀 h 線(紫)、水銀 g 線(青)、水素 F 線(青)、水銀 e 線(緑)、ナトリウム D 線(橙)、水素 C 線(赤)、611nm (多くの蛍光灯などが用いるピーク波長)を掲載しています。

分光のしくみ

回折シートには、目に見えないたくさんの溝が刻まれています。この溝と溝の間を光が通ると光は回折をして、同じ波長の光どうしが干渉し合い、強め合った波長の光は明るく、弱め合った波長の光は暗くなります。干渉によって光が明るくなる角度は光の波長によって異なるため、光は色ごとに分かれて見えるのです。



太陽を直接見ないでください。失明の危険性があります。

太陽の光を分光するには指導員のもと、白い紙に反射させた光が青空や雲に分光器を向けて観察を行います。

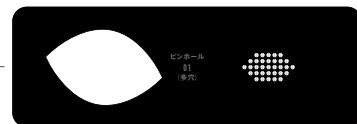
付属【回折格子シート】
リニア型(1,000本/mm)、分岐角: 36°(632.8nm)、
材質: ポリエステルフィルム、厚さ: 76μm



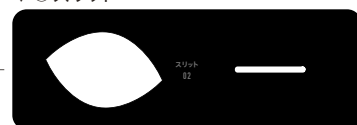
ふしぎお面メガネ



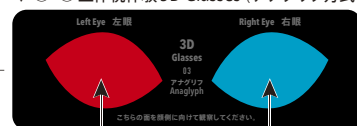
▼①ピンホール (多穴)



▼②スリット



▼③-①立体視体験 3D Glasses (アナグリフ方式)



赤色を左眼に貼る

▲③-②赤フィルタ

青色を右眼に貼る

▲③-③青フィルタ

▼④-①色順応 Glasses



黄色フィルタを貼る

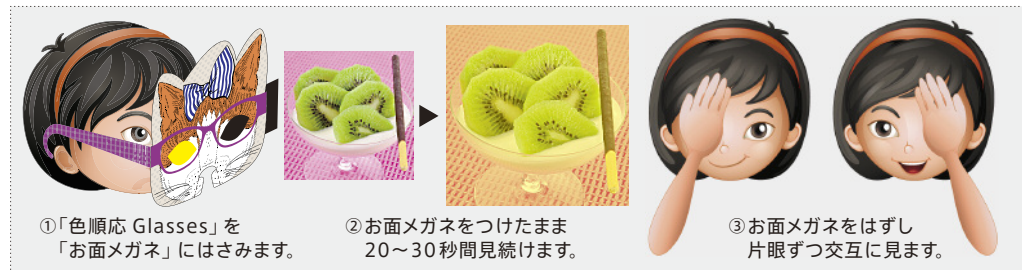
▲④-②黄フィルタ

体験してみよう

色順応

色順応とは、ある色をずっと見ているとその色に対する反応が鈍り、それとは反対の色により反応するようになるというものです。

色順応は、食品などをより新鮮でおいしそうに見せるために応用されていますが日常ではあまり実感できません。色順応を「ふしぎお面メガネ」使って体験してみましょう。



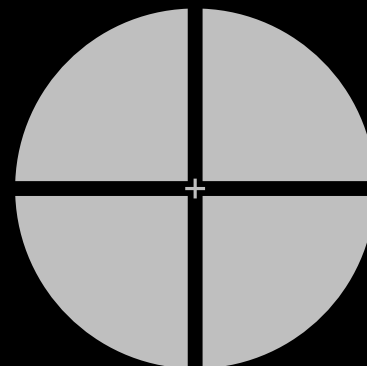
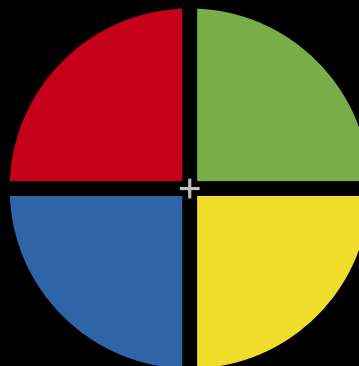
④ 黒でかくされた眼の方はそのまま、黄色のフィルターをかけた方は青みがかって見えたとおいます。

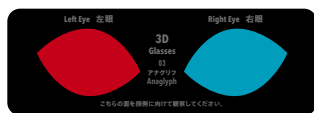


※画像はイメージです。
※観察条件や観察者によって見えない場合があります。

色順応テスト

左の円を、中心の十字から視点をずらさずに 20~30 秒間見続けたあと、右の円中心の十字に視点を移すと、色順応の効果で残像 (左の色と反対の色) が現れます。



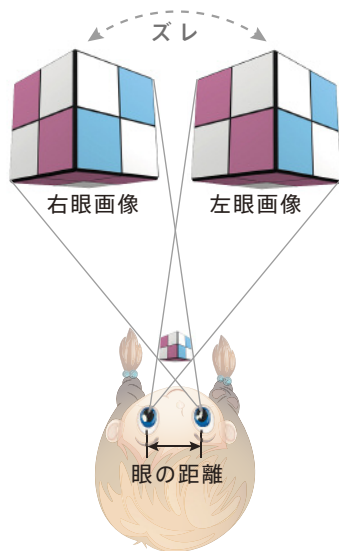


体験してみよう

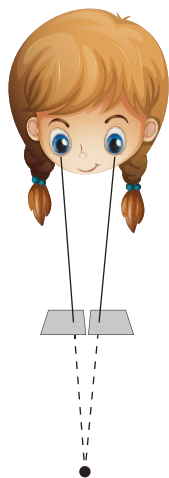
立体視

私たちは景色や物を見るとき、単眼で見る遠近感と両眼による立体視を組み合わせることで立体感を得ています。人間の左眼と右眼は離れているため左右の眼を交互につぶって見ると微妙に左右の目でズレがあることがわかります。この差を「両眼視差（りょうがんしさ）」といい、左右の眼に映った微妙に違う画像を脳が処理をして立体視を実現しています。立体視はこの両眼視の機能を利用して画像などを立体的に見せる手法です。

立体視には裸眼立体視の「平行法」・「交差法」と余色メガネを使う「余色法」がありますが、どれも両眼視の機能を利用した技術です。



平行（衡）法



交差法



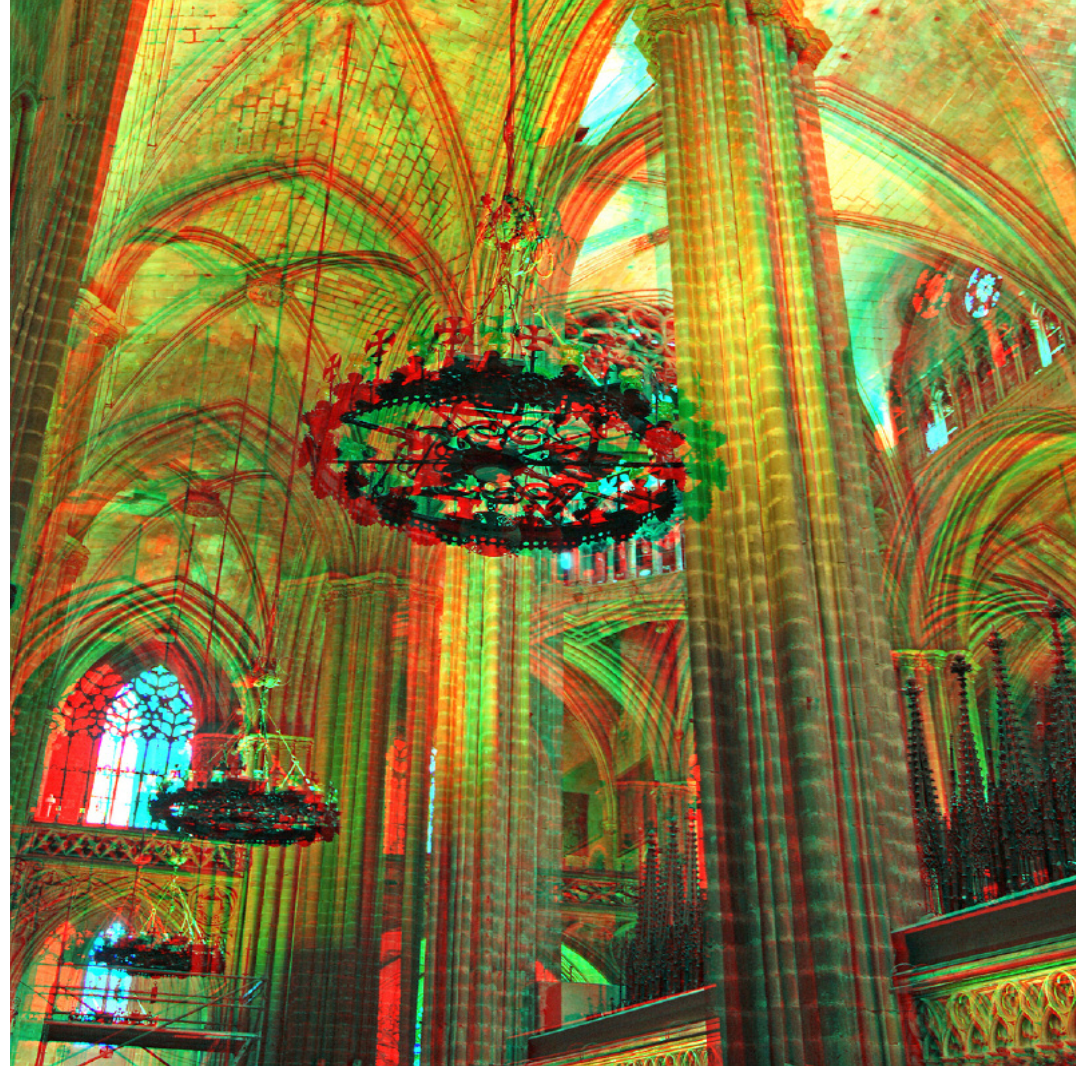
余色法



それでは、赤と青のフィルタで左右の眼に映る画像を分離させる「アナグリフ式（余色法）」を使った立体視を体験してみましょう。

裏の画像を見てください。画像は赤色と青色でズレています。

付属の「3D Glasses（余色メガネ）」をかけ、右眼の青色フィルタでこの画像を見ると青の部分が消え、同じように左眼の赤色フィルタでは赤の部分が消えます。赤と青のフィルタで左右の眼に映る画像をズレさせることで立体に見える仕組みになっているのです。



アナグリフ式の立体視では左右の眼で異なる色を見るため眼が疲れることがあります。長時間見ないようにご注意ください。



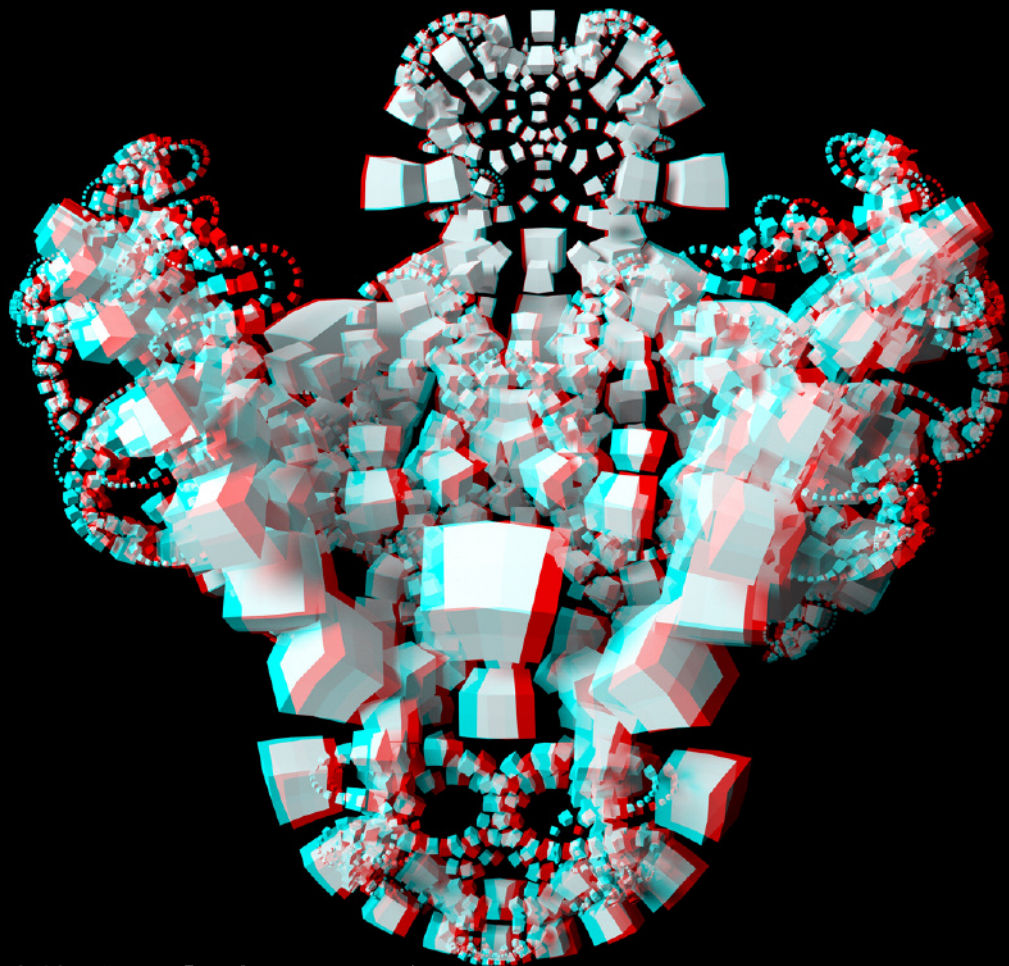
立体視画像です。「3D Glasses」で見てください。



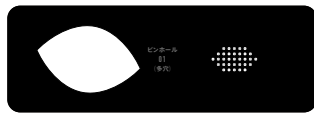
立体視画像です。「3D Glasses」で見てください。



立体視画像です。「3D Glasses」で見てください。



立体視画像です。「3D Glasses」で見てください。



体験してみよう

ピンホール

カメラで写真を撮るとシャープに見える部分と、その前後でボケて見える部分ができることがあります。このシャープに見える部分がピントの合っている位置です。

理論上、ピントの合う位置は一点のはずですが、人の眼はその前後にもピントが合っているように見えます。このピントが合っていると感じる範囲のことを「**被写界深度**（ひしゃかいしんど）」といいます（図1）。

メガネやコンタクトをせずに、付属の「ピンホール」メガネをかけ、本などを眼に近づけて文字を見てください。裸眼側ではボケている文字がピンホール側の眼ではピントが合って見えます。

図2は、近視の屈折の状態です。何もしない状態で網膜に映った像のボケの大きさと、眼の前に小さな穴を開けた板（絞り）を置いた場合の網膜に映る像のボケの大きさを比べると、絞りを通した方が小さくなっています。つまり、小さくなっている＝ボケ具合が減少しているということになります。ボケが小さければ眼はボケを判断できずにピントが合っているように見えます。

小さな穴を開けた板（絞り）

図1

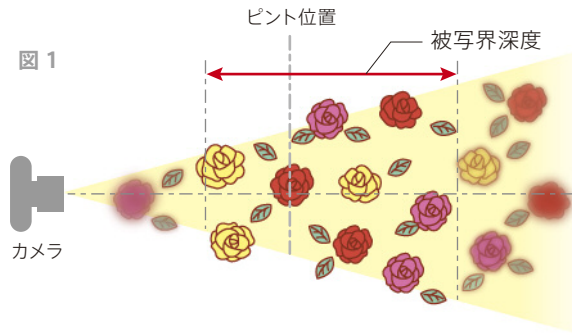
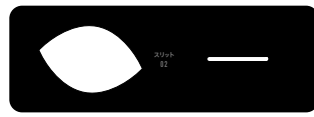
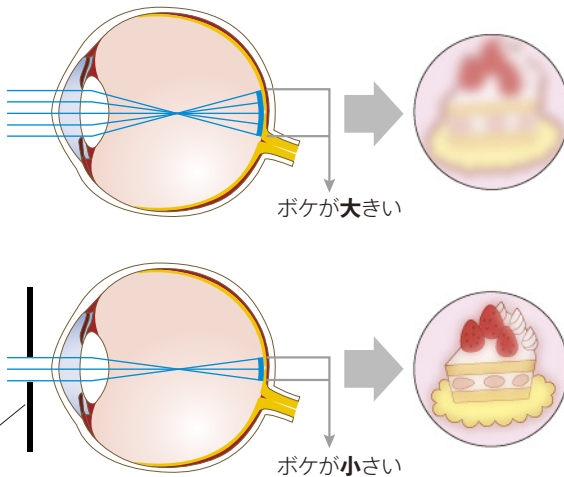


図2



体験してみよう

回折・干渉

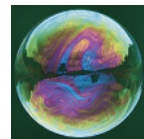
光は波と粒子の2つの性質を併せ持っています。「**回折**（かいせつ）」や「**干渉**（かんしょう）」では波として、光が物質にあたって電子が飛び出す「**光電効果**（こうでんこうか）」では粒子（光子）としてのふるまいが観測されます。

干渉は、波と波が重なって強め合ったり打ち消し合ったりする現象のことで、身近ではシャボン玉の表面に現れる虹色の模様があります。これはシャボン玉の膜の表面で反射した光と裏面で反射した光の干渉によって生じる色です。膜の厚さや見る角度によって表面と裏面での反射光のずれが変化しますので、さまざまな波長の光が強め合い、さまざまな色が現れるのです。

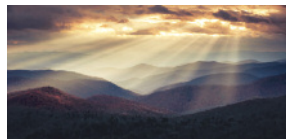
回折も波の性質（波動性）によって生じる現象です。本来、光はまっすぐ進むので物体によってさえぎられるとその後ろに影ができます。ところが、光の波長と同じくらい小さい物体では、光はうら側に回り込むように曲がります。また、光は小さな穴を通過するときもわずかに広がります。光の波長と同じくらいの小さな物体や穴によって光は曲がるのです（図1）。小さな穴や細いスリットにレーザー光を入射させると明暗の縞（しま）ができます。これは回折した光が干渉し合って生じた「**干渉縞**（かんしょうじま）」です（図2）。

付属の「スリット」メガネをかけスリットをのぞくと隙間に何本もの明暗の縞が見えます。これもスリットによって生じた干渉縞です。

光の回折も干渉もどちらも波動の特徴的な現象です。

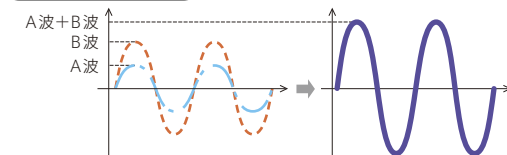


▲シャボン玉の干渉



▲光の直進

干渉による強め合い



干渉による弱め合い

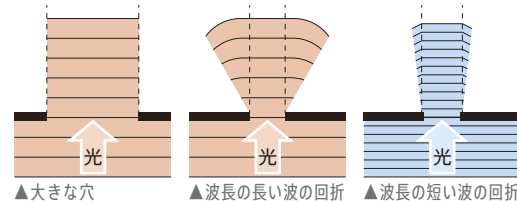
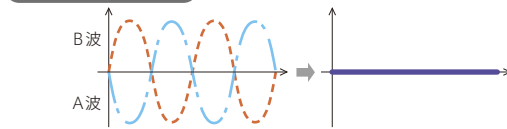


図1

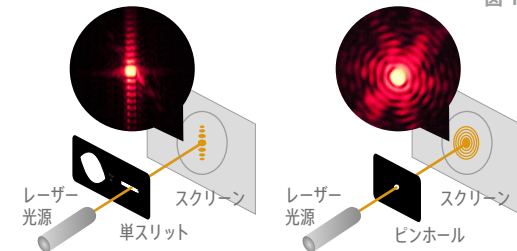


図2