

# 光と色のふしぎ



見てくれよ。  
このクリスタル  
ガラスが生み出す  
美しい色!!

にじに  
つまれて  
いるみたい。

どうして  
そんな色が  
出るの?

ばかめ!  
ガラスに色が  
ついてる  
からだよ!!

ほんと  
に!?

見てよ。  
ガラスは  
無色透明  
だよ。

なんだと!!

なんて  
無色透明  
なんだ、  
このやろう  
!!

ぼくに  
言われても  
こまるよ。

本当は  
どうなの?

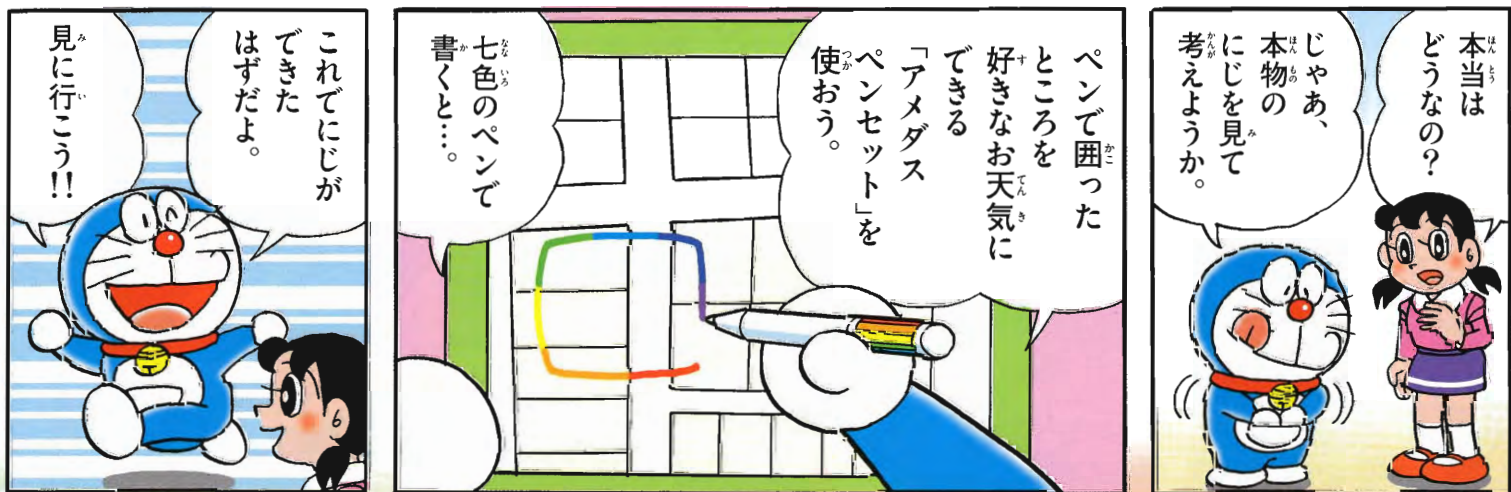
じゃあ、  
本物の  
にじを見て  
考えようか。

ペンで困った  
ところを  
好きなお天気  
にできる  
「アメダス  
ペンセット」を  
使おう。

七色のペンで  
書くと...

これのにじが  
できた  
はずだよ。

見に行こう!!



きんぐ... 本物のにじ... 本物のにじ... 本物のにじ...

# 光と色のふしぎ

監修●佐藤勝昭(東京農工大学名誉教授)

私たちは光の何を感じているの？

色をどう見ているの？

形もおいもない

光と色の正体に

せまる！



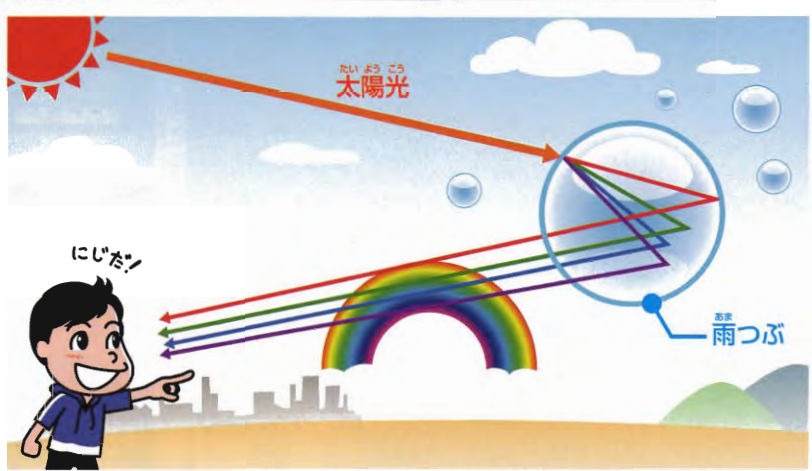
青空にかかるにじに運良く出会えたら、にじの色をよく観察してみよう。いちばん下の色はいつも紫。その上に青、緑、黄色、だいたい色と並んでいき、いちばんてっぺんの色は赤になっているはず。しかもこの色の組み合わせと並ぶ順番は、いつも同じなんだ。いったいどうしてだろう？

それは、光が色の集まりでできていて、それぞれの色の光が、ある決まった性質を持っているからなんだ。

さあ、一緒に、光と色のふしぎについて見ていこう。読み終わるころには、きっとキミは、光博士だ！

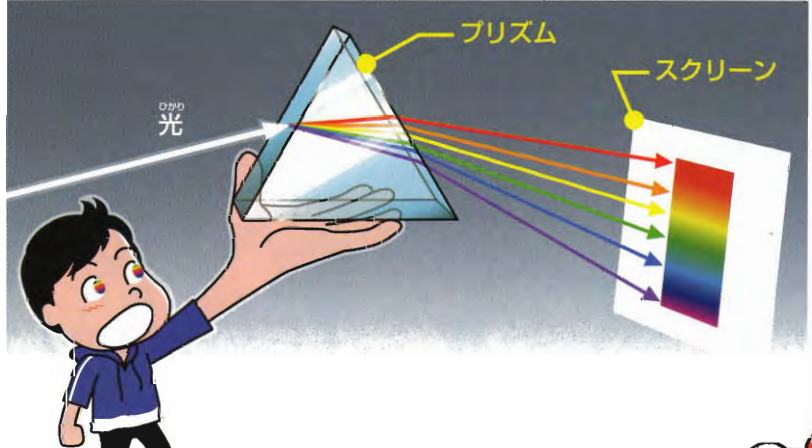
光はいろいろな色でできている！





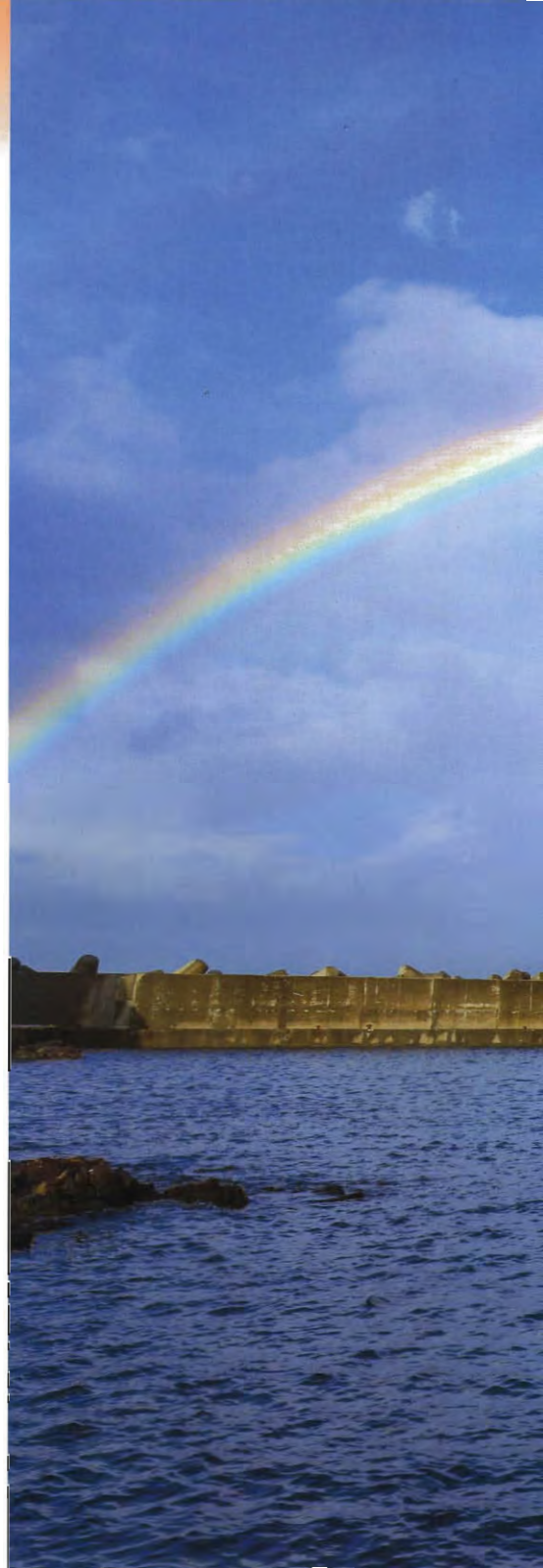
▲雨がやんだ直後や、雨が降っているときに日が差すと、太陽と反対の方向にできる。図のように、雨つぶの中を通った光が進む向きを変えて、七色に分かれるよ。

空ににじがかかるしくみ



▲透明な材料でできた「プリズム」に光が入ると、光は進む向きを変える。このとき、プリズムが雨つぶに似た役割を果たして、光を七色に分けるよ。

プリズムが光をわけるしくみ



実はね、真っ白に見える太陽の光には、いろんな色の光がふくまれているんだ。

雨つぶやガラスの中を通ると、太陽の光は赤から紫の色に分かれて見えるようになるんだよ。

だから、スネ夫のクリスタルガラスを通った光が、にじのように見えたんだね。

おもしろいね!! もっといろいろ教えてよ。

よし、じゃあ晴れた空の色がちがいを見てみよう!!

「直視分光器」という装置で身のまわりの光を観察すると、

太陽光と比べてふくまれている色の割合がちがうのがよくわかるよ。

本当だ!! 同じ白い光なのにちがって見える!!

蛍光灯  
LED (白色)  
太陽

▲太陽の光は、色がまんべんなくふくまれているのがよくわかるね。

晴れた日の空の色は真っ青。私たちは青空を見ているとき、空気中に散らばった青色の光の成分を見ている。

晴れている日の空は青いでしょ。でも、ひみつ道具「スピード時計」で夕方にすると...

雲一つない青空だな。

夕方や明け方、地平線の近くの空が赤く見える。このとき、私たちは赤い光の成分を見ている。

日が暮れるときの空は赤く見えるよね。

うわー、きれいだ!! 真っ赤な夕焼け!!

# 空はなぜ青い? 夕焼けはなぜ赤い?

美しい自然現象を見ながら、光の性質を考えよう。

国際宇宙ステーション  
から見た宇宙

白い光を放つ太陽と、その光を反射した地球以外は黒く見える。地球のまわりにうっすら青く見えるのは、地球をつつむ空気の色だ。

あれ？ 太陽が光っているのに、まわりは真っ暗じゃないか。

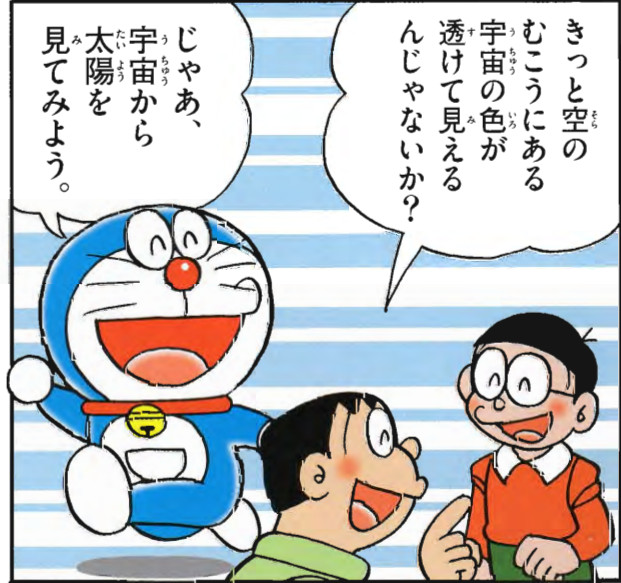


宇宙の色はこんな感じだよ。



同じ空なのに色が変わるなんてふしぎだね。

わかった!!



きっと空のむこうにある宇宙の色が透けて見えるんじゃないか？

じゃあ、宇宙から太陽を見てみよう。



空の色はどうして変わるんだ？ 教えてくれ。

宇宙空間と、地上とのちがいにひみつがあるよ。

ちがいは... ひよっとして重力？

空気かな？



なにが宇宙の色だこのやろう!! ジャイアンが言ったんでしょ!!

空の色が変わる理由を考えよう

真空の宇宙では、光は何にもさえぎられないことがなく真っ直ぐに進む。だから、太陽が光っていても宇宙は真っ暗だ。ところが、地表に降り注ぐ途中で、光はあるものにぶつかってしまふ。「あるもの」の正体は、地球をつつむ空気。空気は私たちの目には見えないが、実は「分子」というとても小さい粒でできている。この空気中の分子に



くわしく説明するよ。



光が空気に当たると、空の色が変わる...と、いうことかしら？

水と空気が、同じようなはたらきをしているってこと？

さすがしずかちゃん!!

光の一部がぶつかると、分子にぶつかった一部の光は、四方八方に散らばって辺りを明るくする。空が青く見えるのは、分子にぶつかった光のうち、おもに青色の光の成分が散らばるからだ。そう考えると、空が赤く見えるのがどうしてかわかるよね。そう、夕暮れどき、私たちは、空気中に散らばった赤色の光を目にしているんだ。こうしたちがいは、なぜ生まれるのだろう？ ひみつは、地球を照らす太陽の位置にあるよ。

# 空が色づいて見えるわけ

地球をつつむ空気の層に入った太陽の光は、空気とぶつかってあちこちに散らばる。わたしたちは、その散らばった光を見ているのだ。

## 昼間の太陽光

大気を通りぬける距離が短い

酸素や窒素の分子に当たって青い光が散らばる

地球をつつむ空気の層

## 夕方の太陽光

大気を通りぬける距離が長い

直接見える光は白い

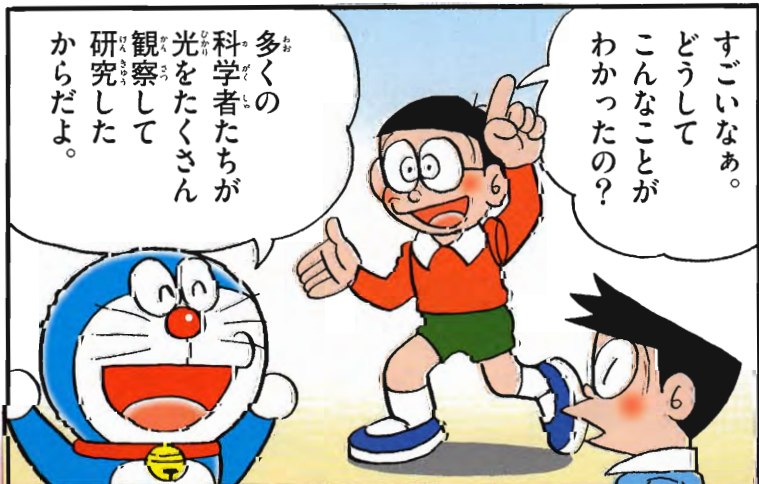
散らばった光が目が届くと空が青く見える

赤やオレンジの光が目が届き夕焼けが見える

青い光はすぐに散らばってしまう

ここにいる人には青空が見えている

地球



## 光が散らばって 辺りを照らす

太陽は、昼間は空高くから、夕方は低くから地表を照らす。これを絵で表すと上の通り。昼間より夕方のほうが、光が長く空気の層を通るのがわかるよね。このちがいが、青空と夕焼けを生み出すよ。

宇宙空間からやってきた光のうち、最初に空気中に散らばるのは青い光だ。青い光は、空気中の分子に当たると散らばりやすい性質を持っているんだ。

一方の赤い光は、分子にぶつかっても散らばりにくい。だから夕暮れどきは、太陽光が近づきと空気の分子にぶつかっていきうちに青い光が無くなって、最後に赤色の成分がわたしたちの目に届くのだ。

波？

その後ホイヘンスやヤングといった科学者が「光には波の性質がある」と考えて、それを証明したんだ。

トーマス・ヤング (1773~1829年)

クリスティアン・ホイヘンス (1629~1695年)

その当時、光は「つぶ」だと考えられていたんだ。

アイザック・ニュートン (1642~1727年)

太陽の光が、多くの色の光に分けられることをくわしく研究したのは、ニュートンだよ。

スクリーン

光が強め合ったり打ち消し合ったりしてスクリーンにしまよができる。

ほぼ細いみぞが2つ入った板

ほぼ細いみぞが1つ入った板

LED電球などの「光のもと」

そう。池に石を落とすと波紋が広がるでしょ。それと同じ性質が光にもあることをつきとめたんだ。

明

暗

打ち消し合う

明

暗

つよ強め合う

明

上から見たところ

**ヤングの実験**

光が波の性質を持つことを証明した有名な実験。「みぞを通った光が、光を直接当てていない板の後ろまでまわりこむ」「2つの光が強め合ったり、打ち消し合ったりして明暗をつくる」といった現象は、光を「波」としなければ説明ができないのだ。

じゃあ次は「ものを見るしくみ」を考えてみよう。

ところで、なぜ光がないとものが見えないの？

見えることと光は関係があるの？

光が「波」と「つぶ」!? ふしぎだなあ!

アルベルト・アインシュタイン (1879~1955年)

今では、光には「波」と「つぶ」の2つの性質があるとされているんだよ。

その後、アインシュタインが光には「つぶ」の性質もあることを証明して、

②いろいろな物に  
光が当たり反射する

①光が地上を  
照らす

③光が目が届く

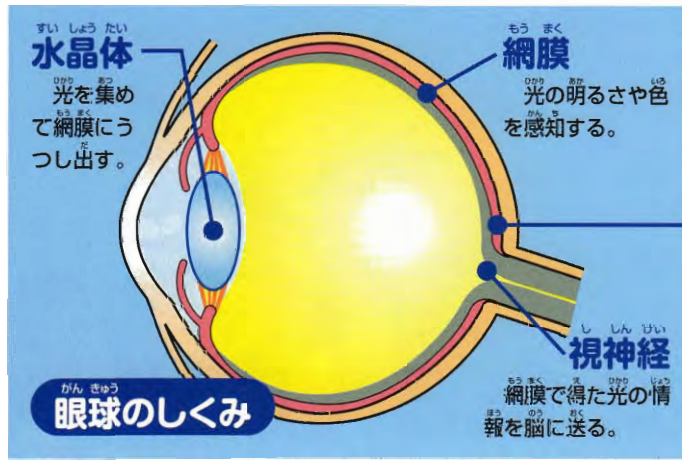
光が当たらない  
ところに影ができる

電気を使って  
光を出す

私たちは光を見ている

私たちが見る光には2通りある。まず、太陽の光や、人工的につくられた光（信号機やテレビなど）を直接見る場合、そして、物体に当たって反射された光を見る場合だ。

ぼくらは  
どうやってものを  
見ているのかな？



視界にとびこんでくる、さまざまなかたちや形。これらが見られるのは、すべて光のおかげだよ。

「何かが見える」って  
どういうこと？



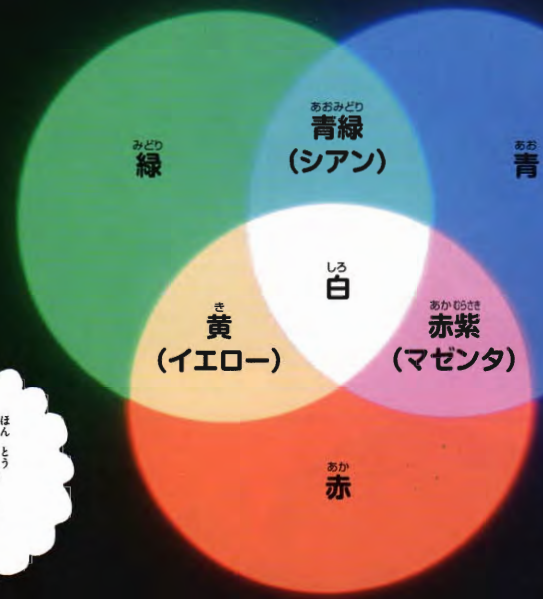
人間がものを見るしくみ

目の前に赤いリンゴが見えるでしょう。私たちがこのとき、リンゴに当たって反射した光を目の中の「網膜」に取りこみ、その情報を脳に送ってリンゴの「色」や「形」を判断しているんだ。

では、まったく光がない場合、リンゴは見えないだろうか？ 暗くした部屋でも「目が慣れれば見えるようになるよ！」と考えるかもしれない。でも、それはわずかでも光が差しこんでいるから。本当に光がなければ、私たちは何も見ることができない。つまり「物を見る」ことは、「光を見ている」ことと同じなんだよ！

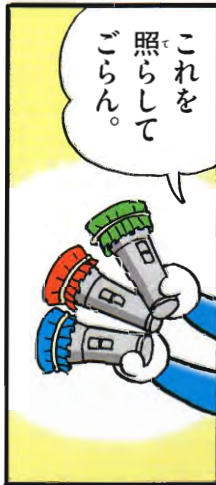


ひかりの三原色 光の三原色

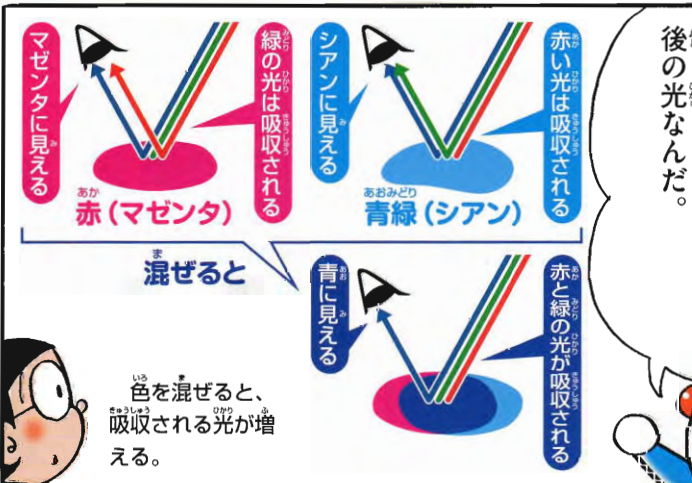


本当だ!!

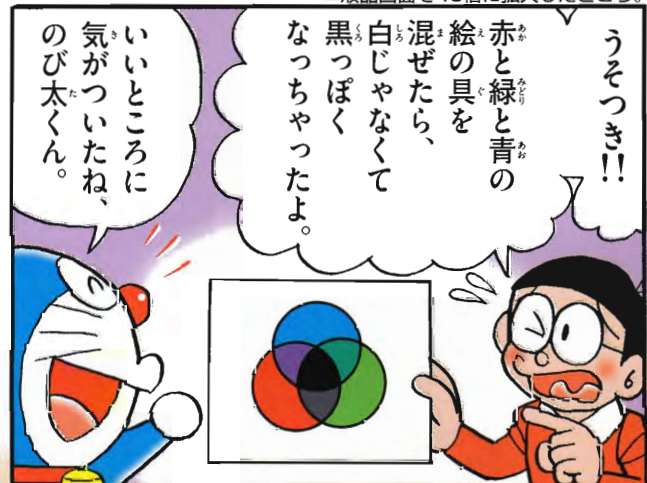
ほらね。組み合わせると色が増えるでしょ。

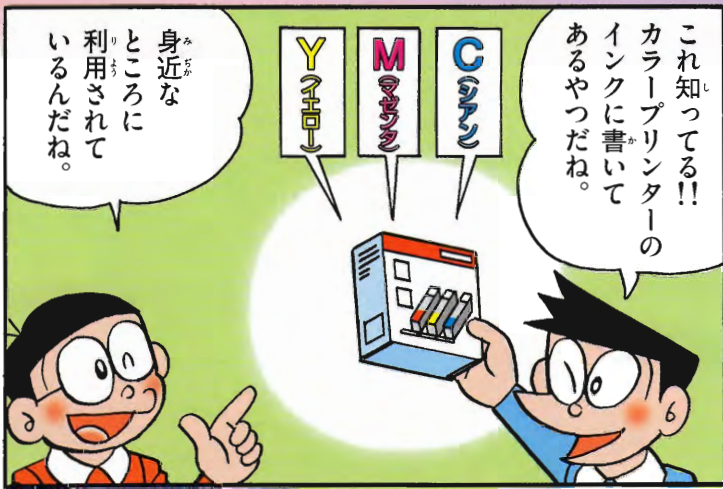


▲液晶画面を40倍に拡大したところ。



絵の具の色としてぼくたちが見ているのは、絵の具を通りぬけた後の光なんだ。

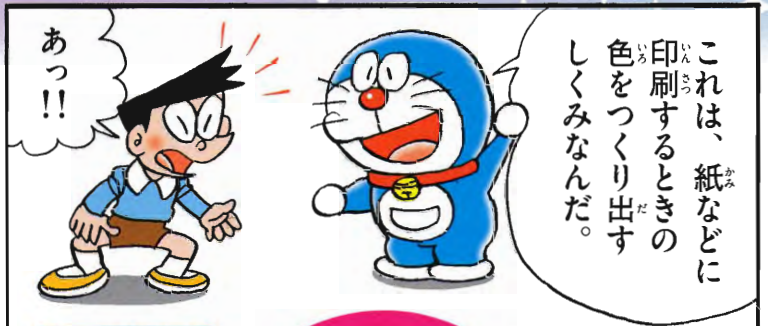




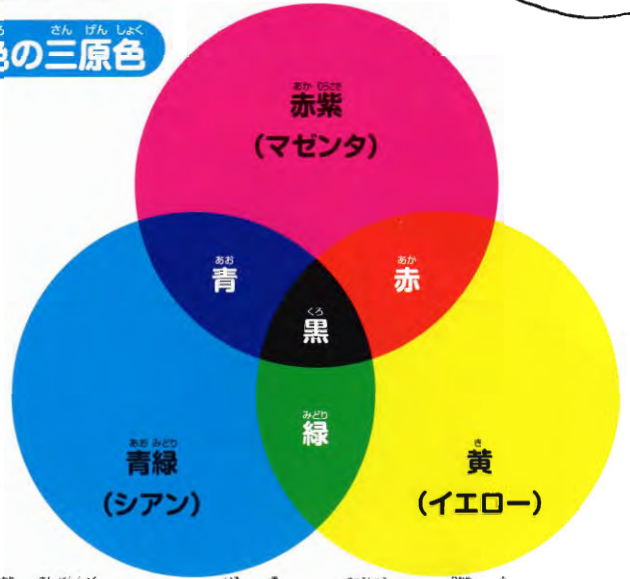
身近な  
ところに  
利用されて  
いるんだね。

Y  
M  
C

これ知ってる!!  
カラープリンターの  
インクに書いて  
あるやつだね。

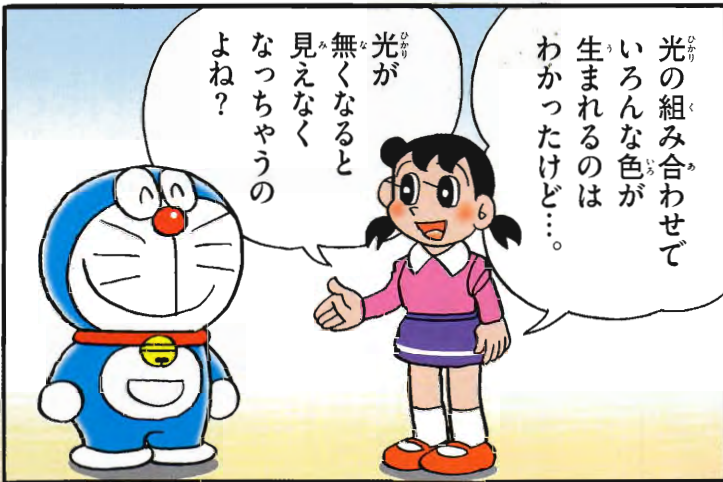


色の三原色



これは、紙などに  
印刷するときの  
色をつくり出す  
しくみなんだ。

あっ!!



光が  
無くなると  
見えなく  
なっちゃうの  
よね?

光の組み合わせで  
いろんな色が  
生まれるのは  
わかったけど…。

光の三原色とちがって、色を混ぜると吸収される光が増えていき、だんだん黒に近づいていくんだ。本などの場合、この3色に黒を追加した4色で印刷されることが多いよ。



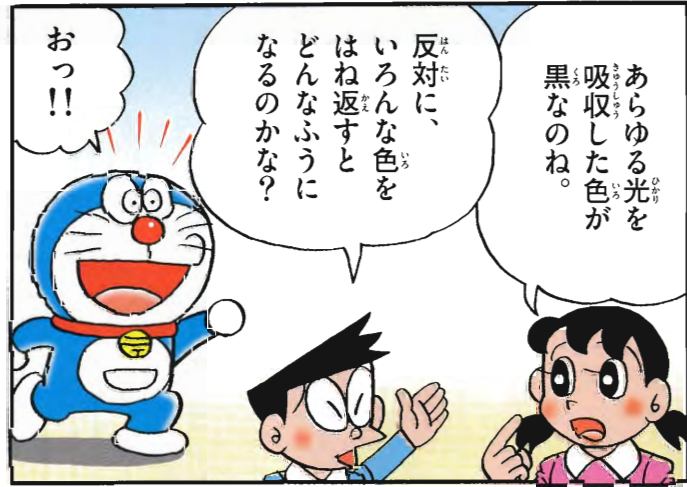
世界一黒い物質  
「ヴァンタブラック」

イギリスの企業が開発したこの物質は99.6%の光を吸収する。そのため実物は、まるで穴が開いているかのように見えるという。

そうだよ。  
あらゆる色の光を  
吸収すると、  
こんな色になるよ。

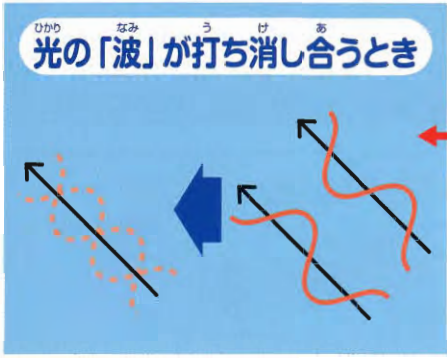
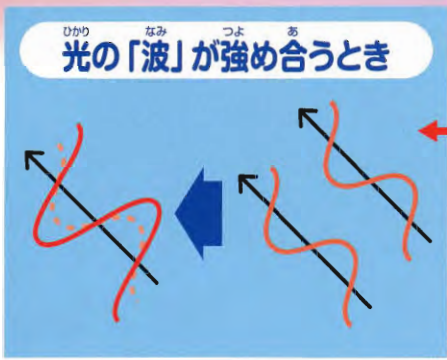
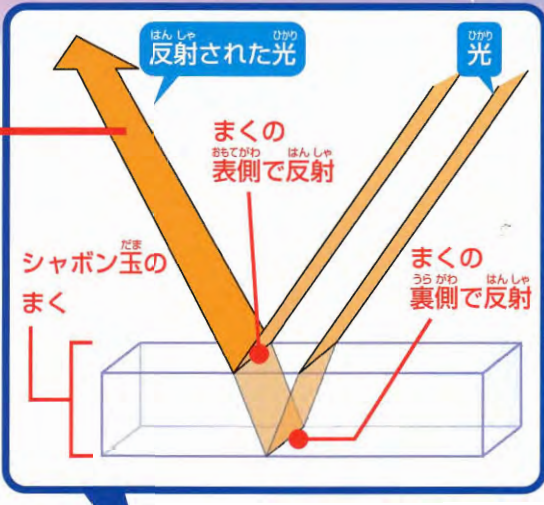
うひゃー!!  
真っ黒だ!!

▲ヴァンタブラックをアルミホイルにぬりつけ、くしゃくしゃにしてからケースに入れたもの。ヴァンタブラックのところも本当はくしゃくしゃなんだけど…。わからないね。



# 物質の「構造」が色を生み出す

シャボン玉のうすいまくの表と裏から反射された光が、強め合ったり打ち消し合ったりいろいろな色になるよ。



9ページの「ヤングの実験」と同様、反射された光の波の「山」どうしが重なるときは強め合い(上の図)、「山」と「谷」が重なるときは打ち消し合う(下の図)。これを光の「干渉」というよ。

まるで、にじをまとったかのような色合いと、金属のような光沢。これも、タマムシの体の表面の構造によって生み出される色なんだ。



ぴかぴかした金属のような色合いは、なんと羽の内側にまで！ ちょっとおどろきだね。



## タマムシの構造色

タマムシの体の表面は、透明なうすいまくがいくつも重なってできている。そのまのくの中を光が通り、反射することで金属のような光沢をもった色が生まれるんだ。写真はすでに死んでしまった標本だけど、何年たっても色あせることがないよ。

自然界で見られる美しい「構造色」

石けん水でできたシャボン玉のまのくは、絵の具が混ぜられているわけではないのに、じい色にかがやいて見える。こうした「色をぬったり染めたりせずにできる色」のことを、科学の世界では「構造色」とよぶよ。

構造色のひみつを解くカギは、物体の「表面」にある。顕微鏡で見なければわからないくらい、細かいみぞやうすいまく。ここに光が当たったとき、ある決まった色の光だけが強められて反射して、私たちの目に届くんだ。身近なところでは、CDやDVDの読み取り面に見えるじい色も構造色だよ。

細かいみぞやうすいまくの中を、光がどの

ように通って、強め合うかを科学的に調べるのはとてもむずかしい。でも、自然界には、そんな複雑なしくみを生まれながらに備える生き物がいるんだ。

大阪大学大学院の吉岡先生は、構造色を持つ生き物のふしぎを解き明かす研究をしているよ。タマムシのぴかぴかした色合いやモルフォチョウの羽の美しい青が、どのようなくみで生み出されるのか？ 標本を見ながら先生に教えてもらおう！



大阪大学大学院 吉岡伸也助教

色がないと「見る」色がついて見える！? それっていったいどうしてなんじゃ?

# モルフォチョウの構造色

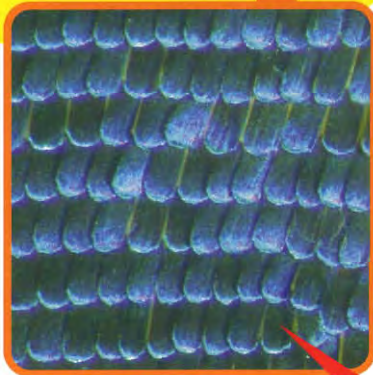
チョウをつかまえると指につく「りん粉」が美しい色のひみつ。光の反射で色が生まれるので、見る角度を変えると、下の写真のように、羽が黒く見えたりするんだ。



これはモルフォチョウ。光に当たると美しくかがやいて見えるんだ。



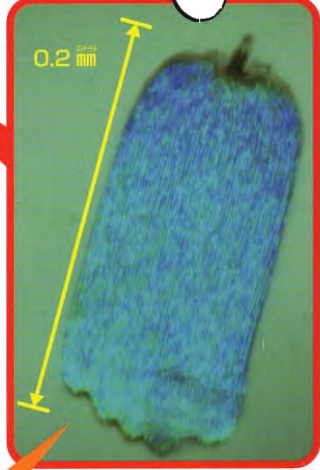
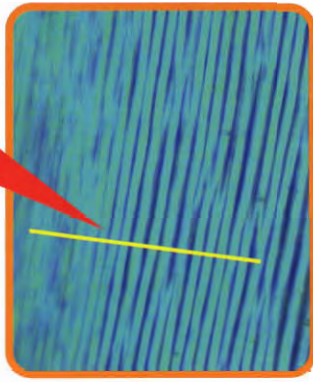
▶羽の表面を顕微鏡で見ると、うるこのような形をしたりん粉が規則正しく並び、かがやいているのがわかる。その数、およそ10万枚!!



▼電子顕微鏡で見た、青いすじの断面。この複雑なつくりが、青い色を生み出すのだ。



▶りん粉の1枚を拡大。粉のように見えるりん粉は、実はこんな形。



◀さらにりん粉の表面を拡大すると、無数の青いすじが見えてきたぞ。

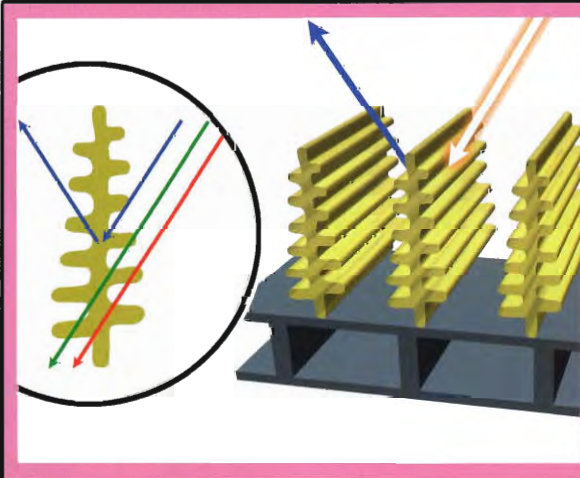
木がたくさん並んでいるみたいね!

この形が美しい色のひみつなんだ。



りん粉の細かなつくりが、モルフォチョウの青を生み出しているんだね。

◀入ってきた光のうち、青い光だけが反射され、そのほかの色は通りぬけてしまう。



ミクロの世界から生まれる色... 構造色ってふしぎね!!

うふふ。実は、もっとふしぎなことがあるんだ。見に行こう!!



**① 用意するのはこの2つ！**



シリカ

この実験で用意するものはたった2つ！まず、白い粉のように見えるのは「シリカ」という物質だ。そして、真っ黒な粉は「カーボンパウダー」とよばれる物質。この2つから、赤や緑、黄色などのたくさん色が作り出せるというお話だけど...まだちょっと信じられないよね！



カーボンパウダー

**② 水に溶かしてまぜる！**



シリカの水溶液にカーボンパウダーの水溶液を少し加える。

小さな試験管にシリカを入れ、水に溶かしてよく混ぜる。そこにカーボンパウダーを少しだけ溶かした水を1〜2てきたら、調合された液体入りの試験管にはラベルが貼られ、これがいくつも準備される。見た目には似たような灰色の液体だが、それぞれがちがう色を生み出すらしい...



▲ラベルの数字はシリカのつぶの大きさ (nm)。これが色のちがいを生み出す。

**白と黒の「つぶ」から色が生まれる**

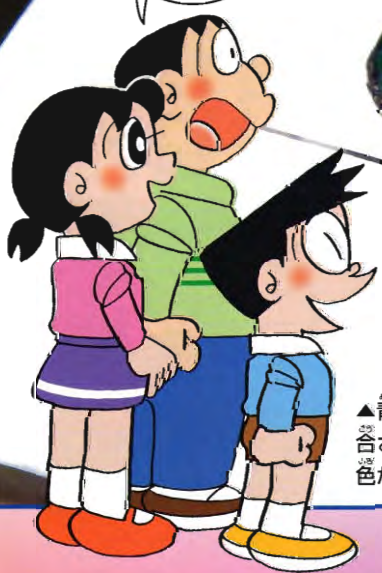
これからはじめる「ドラえもんぬりえ実験」で構造色のふしぎを体験しよう！

**③ 水を蒸発させる！**

ガラスにえがかれたドラえもんの絵に、灰色の液体を流しこんで、ホットプレートで熱して水を蒸発させる。色の変化を観察してみよう。



流しこんだ液体の色は灰色っぽいな。

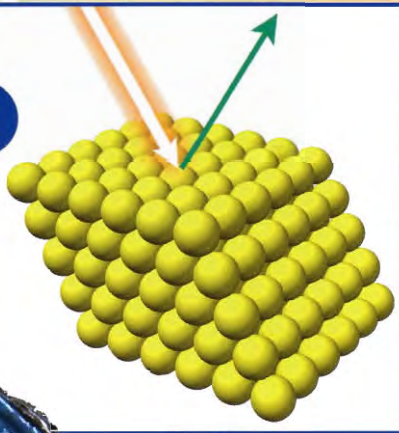


▲青くしたい部分には青色が出るように調合された液体を、赤くしたいところには赤色が出る液体を流しこむ。



規則正しく並んだ  
粒子に秘密がある!

右のイラストは水分が蒸発したあとのシリカつぶのようす。一つぶ一つぶが規則正しく並んでいるので、反射する光の道すじにも規則性ができるんだ。



動画で見よう  
**ドラえもん  
ぬりえ実験**  
▼QRコードはこちら▼  
  
<http://www.shogakukan.co.jp/pr/dorafushigi/serial/16.html>

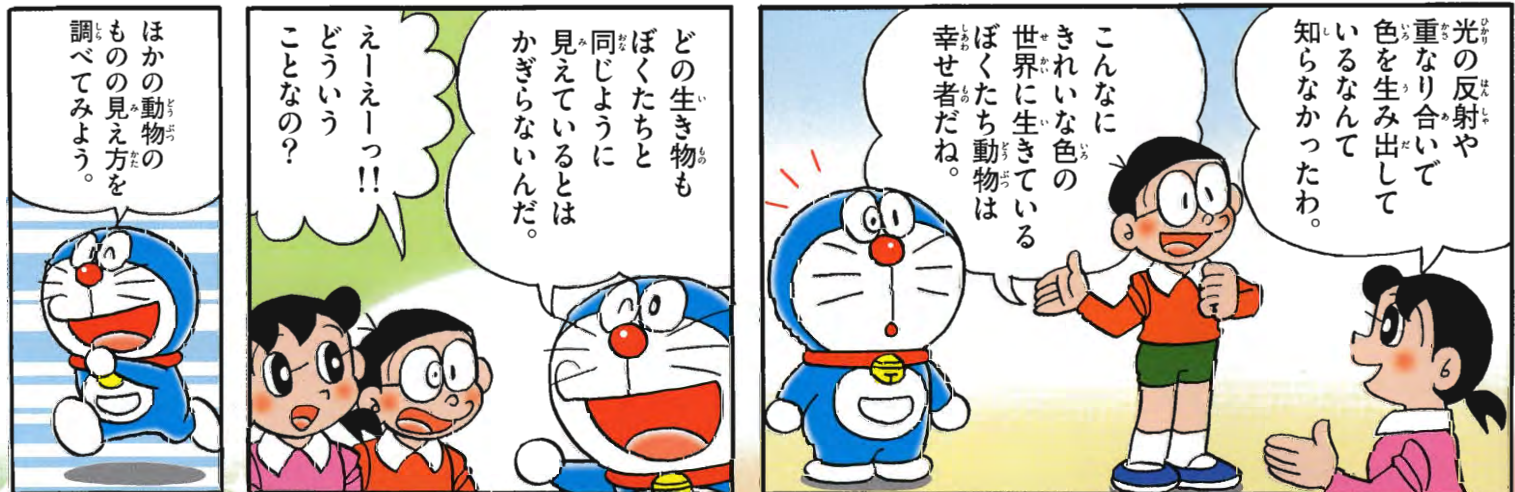
自然界をお手本に構造色をしくり出す!

「ドラえもんぬりえ実験」を見せてくれた名古屋大学の竹岡先生に質問！ 白と黒の粉が溶けた水を蒸発させると、色がつきました。どうしてですか？

「白い粉のような「シリカ」は、顕微鏡で観察すると、一つぶ一つぶがボールみたいな丸い球の形をしています。水分を蒸発させると、この、髪の毛の太さの数百分の1程度の小さなシリカの球が規則正しく並ぶのです。そこに光が当たって反射すると、ある決まった色の光を強め合うので、色づいて見えるようになるのですよ」  
なるほど…。青や赤や黄色のちがいはどうやって出しているんですか？

「実は、試験管ごとに入っているシリカのつぶの大きさがちがうんですよ。ちなみに、一緒に混ぜた「カーボンパウダー」の黒は、余計な光を吸収し、目的の色をはっきり出す助けをしてくれています」

色が生み出されるカギは、モルフォチオウの構造色と同じように、目に見えない細かい構造だったんだ。自然界の構造色のしぐみを調べて、それをお手本にすると、いろいろな発明ができるんだね！



# 動物の光と色の感じ方いろいろ

目のつくりを観察しながら、動物が見ている世界を見てみよう。

## 真ん中だけがカラーに見える!

ハエトリグモは、頭をかこむようについた8つの目で、360度見わたすことができる。真ん中の2つは正確な色や、距離を判断する目。残りはまわりの獲物を見つけるための目だ。

### ハエトリグモ



大きさ約1cmのクモ。獲物のハエとの距離を測りながら近づき、ジャンプしてとらえる。



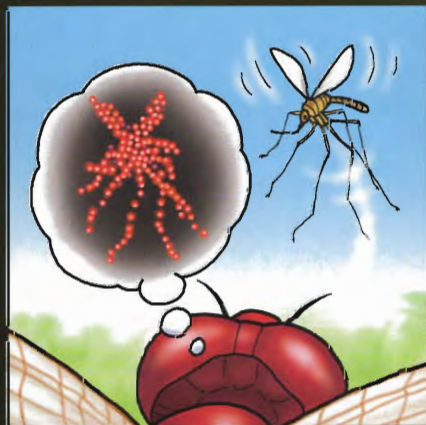
ハエトリグモの頭を上から見たところ。矢印のところに目がついている。

▶ハエトリグモの視界の想像図。中心以外の景色は、ほとんど緑一色に見えていると考えられている。



## 5万個の目で素早い動きを追う!

大きな2つの目は、実は「複眼」という、たくさんの小さなレンズの集まり。後ろの動きまで一度に観察できるうえ、素早い動きを追うのが得意。しかし、形や色を見分けるのは苦手。



▲トンボが見る世界の想像図。獲物の動きが電光掲示板を流れる文字のように見える。

### トンボ

主に水辺でくらしている。エサとなる蚊やハエ、カなどの昆虫を空中で捕らえる。

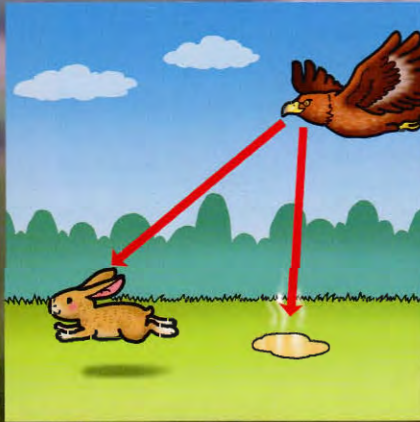






## 人には見えない 光が見える!

イヌワシには、人には見えない「紫外線」が見える。紫外線は動物のおしっこからも出ているので、空高くからおしっこのあとを見つけて、それをたよりに獲物を追いかけているとも考えられている。



▲自分の飛んでいる方向を確認しながら、地上の獲物を探ることができる。2つのものが同時にはっきりと見られる。

### イヌワシ

広いなわばりを持ち、その上空を飛びながらエサを探す。1km先の獲物を見つける視力がある。

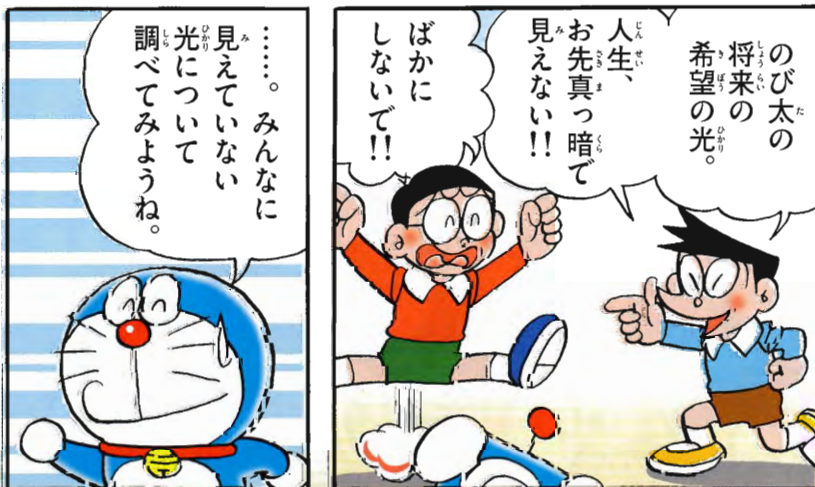


「すばやく動く獲物を見失わずに追いかける目」「敵の接近をいち早く察知できる広い視野を持った目」といったぐあいに、生き物たちは、自分たちがくらす環境や生活に合わせた目を持っている。

こうした生き物たちが、実際にどんな景色を見ているのか、私たちは成りかわって体験することはできない。

でも、いろいろな生き物の目の構造を観察して、光を感じるしくみや、明るさや暗さを感じるしくみなどを調べると、それぞれの目に映る景色を知ることができるんだ。

## わたしたちが感じる 色がすべてではない



モンハナシャコ

▲モンハナシャコは、10以上の色の組み合わせで物を見る。赤、緑、青の三原色でも物を見る人間にはわからない世界が広がっている。

## 可視光線

私たちの目で見ることができる。「見る」と以外にも利用されている。

### 花火

火薬に金属を混ぜて火をつけると、その金属特有の色が出る。花火はこれを利用して、いろいろな色を出す。

LEDは、省エネで寿命も長い。ノーベル賞を受賞した青色LEDのおかげで、たくさん色が出せるようになった。



### LED式信号機



写真●徳電材株式会社

### 太陽電池

太陽光のエネルギーを電力に変えることができる太陽電池。人工衛星のエネルギー源としても利用されている。



### 光合成

植物や海藻などは、太陽光を利用して、空気中の二酸化炭素と水から栄養をつくり、酸素を私たちにもらしてくれる。



## 赤外線

可視光線よりも波が粗い。赤い光の外にあるのでこう呼ばれている。

### 赤外線ストーブ

赤外線が体に当たると、エネルギーが発生し、熱に変わる。赤外線ストーブはこのしくみを利用している。



### 赤外線リモコン

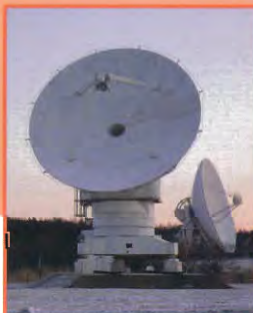
テレビやエアコンなどのリモコンは、その多くが赤外線を利用している。赤外線を点滅させることで、本体へ信号を送っているんだ。赤外線は、デジタルカメラなどを使うと、目で確認できるよ。



写真●株式会社コロナ

### 電波望遠鏡

可視光線以外の「光」を観測することで、ふつうの望遠鏡ではわからない宇宙のようすを知ることができる。



実はこの2つ、光のなかまなんだ。

# その活用法

# 目に見えない「光」と

ぼくらが見られる光は「可視光線」と呼ばれているよ。

## 身のまわりには「光」がいっぱい！

太陽から降り注ぐ日差し、町を照らしてくれるあかり、青空にかかるにじ…。光にはいろいろなある。でもこれらの光は、私たちの目に見えるほんの一部なんだ。光には波の性質がある。つまり、私たちは、光の波を目で感じてものを見ている。でも、波が細かすぎたり、粗すぎたりすると、私たちの目ではとらえきれない。こうした「見えない光」には、紫外線や赤外線などがあるけれど、目に見える光と同様、私たちのくらしに深く関係しているよ。



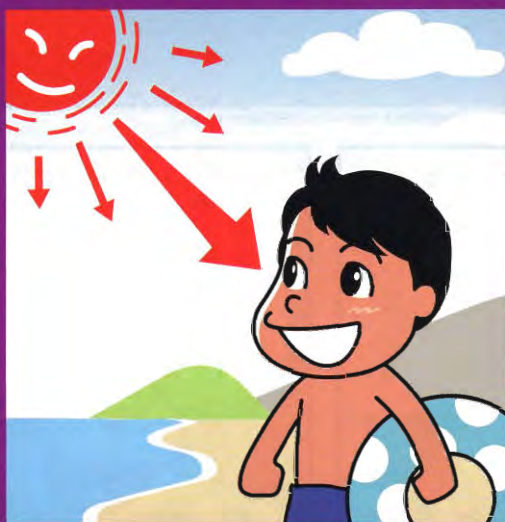
## 私たちは赤外線を出している!?

▶赤外線の強さを検知し、温度に応じて着色された画像(下)。温度の高いところから順に赤、黄、緑、青で表示される。



私たちをはじめ、「温度」をもつすべてのものは、熱を赤外線としてまわりに出している。その赤外線を検知できる装置が「サーモグラフィ」。私たちに見えない熱の世界を映像化してくれるのだ。

## 日焼けするのは紫外線のしわざ



太陽光にふくまれる紫外線には、強いエネルギーがあつて、物に当たると化学的な変化を起こす力がある。日差しの強い夏に日焼けをするのは、皮ふが紫外線のえいきょうを受けるためなんだ。

▲太陽光を浴びて「暑い!」と感じるのは、赤外線によるもの。暑さに関係なく日焼けは起こるので注意!!

## 紫外線

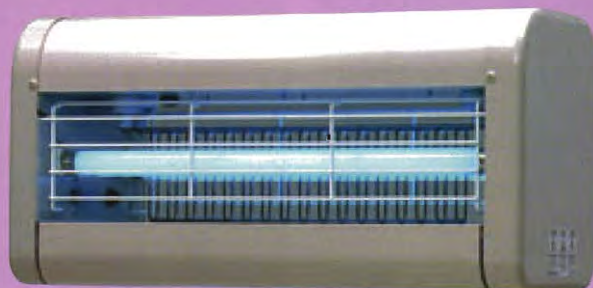
可視光線よりも波が細かい光。紫の光の外にあるのでこう呼ばれている。



写真●株式会社サウスオーカー

## ブラックライト

人間の目にはほとんど見えないが、外部からのエネルギーを光に変える「蛍光体」という物質を光らせることができる。

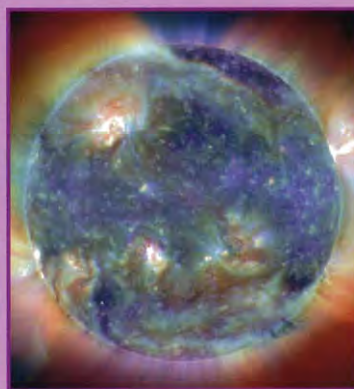


写真●株式会社石崎電機製作所

## 誘虫ランプ

昆虫は、人には見えない紫外線を色として感じ、そこに集まる習性がある。誘虫ランプはこれを利用して虫をおびき寄せ、退治する装置だ。

## 人工衛星のカメラ



可視光線では見えない太陽活動を紫外線カメラで観測できる。左は太陽観測衛星「SOHO」のデータから再現された太陽。



「**緑色蛍光タンパク質**」が花を光らせる!

ホタルやクラゲなどの生き物が、どうやって光るのかはずっとナゾだった。ところが、下村脩博士がクラゲの体内にある「**緑色蛍光タンパク質**」が光る原因であることを突きとめ、2008年にノーベル賞を受賞したんだ。



**オワンクラゲ**

▲直径10~12cmのクラゲ。青い光を当てたり、刺激をあたえたりすると、かさのふちが緑色に光る。

**光る生物の研究が行われている!**

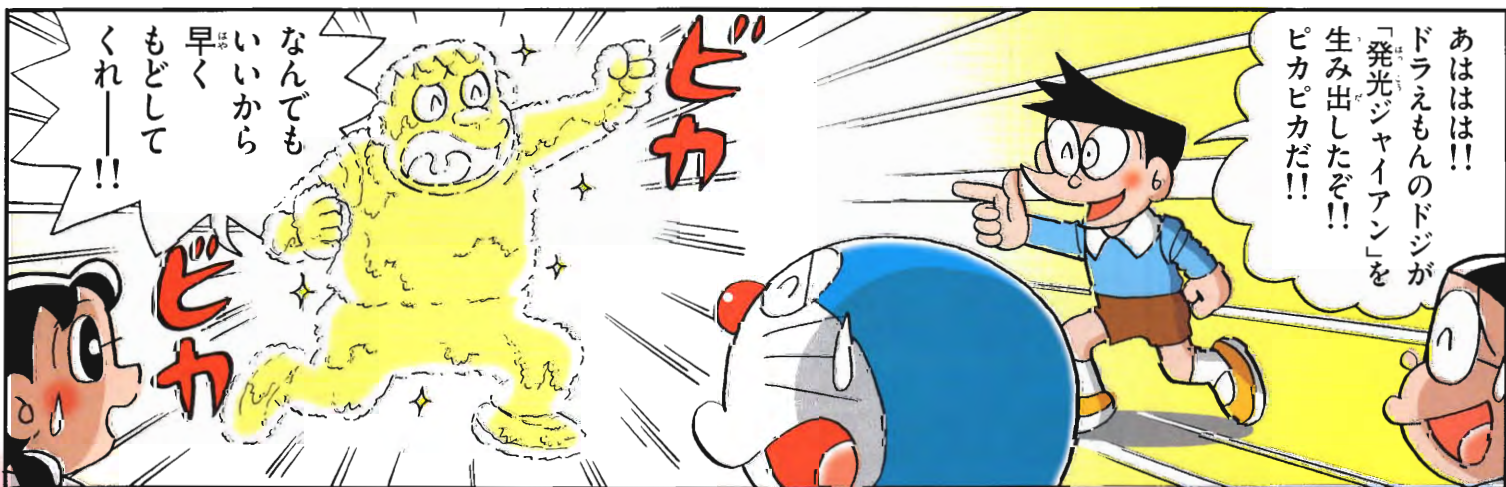
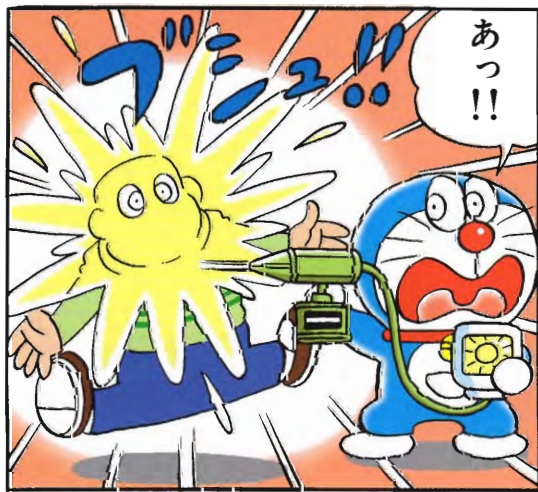
光を当てると、その物体自身も光を出す現象を「**蛍光**」という。これを利用した生物の研究が進んでいるよ。



**光るトレニア**

海の生物が持っている「**蛍光タンパク質**」を、バイオテクノロジーでトレニアという花に組みこんでつくられた。紫外線を当てると、写真のように光るよ。農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所が開発したんだ。

※光るトレニアは、2015年2月22日まで国立科学博物館で開催されていた「ヒカリ展」(主催:国立科学博物館、日本経済新聞社、BSジャパン)で初公開されました。



いいぞジャイアン!! 未来も照らせ!!