

小学生や中学生に語る「光と色の科学」

松 村 敬 治

“The Science of Light and Color” Teaching
for Primary and Secondary School Students

Keiji Matsumura

は じ め に

最初に本稿を書くことになったいきさつについて述べる。文部科学省は2008（平成20）年3月に学習指導要領の改訂^{1, 2)}を行ったが、新学習指導要領では小・中学校の基礎的な科目の授業時間を増やして、日常生活や社会との関連を重視した授業内容に組み替えることにより、学ぶことの意義や有用性を実感させることで、児童・生徒の学力低下に歯止めをかける狙いが読み取れた³⁾。文部科学省は、特に、OECDの学習到達度調査⁴⁾において日本の順位が年々下がっている現状⁵⁾に危機感を覚えたためか、小・中学校の理数系の授業は、2009（平成21）年度と2010（平成22）年度の移行期間からも、新学習指導要領の授業時数で実施⁶⁾することになった。そんな中で、小学校の高学年を対象に「光とは何か」について話す機会を得た。当初、小学校からは「児童に自然科学を専門的な立場から分かり易く話してほしい」と要請されたのだが、私が専門にしている「分子分光学と構造化学」を短時間で話すことは到底できそうになかったので、関連分野で現代科学の基礎となる「光とは何か」について話すことにした。というのは、「光」は身近でありふれた存在でありながら、神秘的な存在であるので、児童が興味や関心を持ってくれると思ったからであ

る。小学校では「光と色の科学」という表題で、光と色の本質に迫るかなりハイレベルの内容にまで踏み込んだ話をしたが、子供たちの目を釘付けにすることができた。本稿は、子供たちにどんなことを語れば好奇心を満たすことができるのかについての一例をあげることを目的としている。ここでの内容は、小学校高学年の児童や中学生を対象にした内容であるが、高校生や社会人にも十分対応できるものになっていることを付記する。

小学生に語る「光と色の科学」の内容

「光とは何か」という問に対する「形」からの答えは「光は電気と磁気の波（電磁波）」であり、「性質」からの答えは「光は光速で伝わるもの」である。これは間違いではないが、通常、「光とは何か」ということを聞かれたときは「目に見える明るさを持つ光とは何か」ということを問われていることが多い。即ち「光」と「目（物質）」の関連としての「光とは何か」である。それゆえ、「光とは何か」を専門的な立場で話すときは「光と物質の相互作用」に関連付

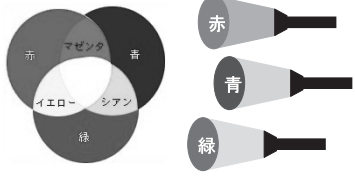
光と色の科学 西南学院大学人間科学部 松 村 敬 治	実験：光を混ぜてみよう 2つの光の混合																
内容 A 光とは何か？—宇宙の中の光 B 光の屈折と虹 C 色が見えるしくみ D 光の不思議な実験 E 実験観察をはじめよう レーザー／光の種類と色 屈折の実験／虹の観察 光を混ぜてみよう／テレビ画面の観察 不思議な青い鳥	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>赤</th> <th>緑</th> <th>青</th> </tr> <tr> <th>赤</th> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>緑</th> <td>イエロー</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>青</th> <td>マゼンタ</td> <td>シアン</td> <td></td> </tr> </table>		赤	緑	青	赤				緑	イエロー			青	マゼンタ	シアン	
	赤	緑	青														
赤																	
緑	イエロー																
青	マゼンタ	シアン															
光とは何か？ 光は電気と磁気の波でできている。光の波が1秒間に振動する回数を周波数という。光には、目に見える光もあるが、目に見えない光もある。目に見える光は可視光線とよばれ、それを周波数の順に並べると虹の色の順(赤・橙・黄・緑・青・藍・紫)になる。赤より周波数の小さい光は目に見えなくなり、その光は赤外線とよばれる。紫より周波数の大きな光は目に見えなくなり、その光は紫外線とよばれる。	3つの光の混合 赤・緑・青の3つの光を混合すると()色になる。 観察：テレビの画面 ()色と()色と()色の3つの色の光があれば、すべての色が表現できる。																
実験：光の屈折 光の屈折により、川の底やプールの底は浅く見えても、予想以上に()いことがあるので注意しないといけない。 観察：分光器で虹を見る 光を虹の順に並べてことを分光という。プリズムを使うと屈折の違いを利用して分光ができる。 プリズムを使って電球の光を見ると()が見える。 空の虹は雨粒が()の働きをしてできたものである。	加法混色(光の三原色) 赤、緑、青の3種類の色の光(ライト)ですべての色が表現できる。  (ヒトの目には赤、緑、青の光を感じる3種類の細胞が存在するから)																

図1 「光と色の科学」の配布プリント

けて話すことになるのだが、それでは小学生には抽象的過ぎるので、ここでは、「光と物質の相互作用」の結果発生する「色」という感覚と関連付けて、「光と色の科学」という表題で話すことにした。

小学校の出前授業で配布したプリントを図1に示し、そのとき使用したパワーポイント用のスライドを図2に示す。出前授業の流れは、「光とは何か」をテーマに、実験・観察を挿みながら、「光の屈折」の話から始めて、「屈折と虹（分光）の関係」について説明し、「虹の色」のつながりから「色覚」について言及する流れとなっている。「光と色の科学」の話に用いたスライドは、図2の1から23までで、その内容は次のAからEまでの5つの項目から成り立っている。

- A 光とは何か？一宇宙の中の光（スライド番号2～6）
- B 光の屈折と虹（スライド番号7～13）
- C 色が見えるしくみ（スライド番号14～19）
- D 光の不思議な実験 青い鳥（スライド番号20～22）
- E 実験観察をはじめよう（スライド番号23）

「A 光とは何か？一宇宙の中の光」においては、光の構造・性質と色との関係を説明している。「B 光の屈折と虹」では、屈折が起きる理由を説明し、屈折のしくみの理解から虹が発生するしくみを説明している。「C 色が見えるしくみ」では、観察機器による実験の仕方について説明し、赤と緑と青の光があれば全ての色が表現できることを解説している。「D 光の不思議な実験 青い鳥」では、スライド上で残像と補色に関する実験をしている。こうした説明の後に「E 実験観察をはじめよう」のスライドに至るが、このスライドが実験観察の開始の合図になる。実験観察が終了した段階で配布したプリント（図1）に結果等を記入して45分間の授業を終了する。

以下において、図2のスライドを用いて小学生にどんなことを話したか、重要と思われることを中心に具体的に記述する。ここで、小学生に直接語りかけた内容は二重かぎ括弧（『』）で示すものとする。ただし、説明文中の専門用語

は状況に応じて省略したり、別の言葉に置き換えたりしたことを付記する。

スライド 1

このスライドで当日児童に話す内容を簡単に紹介する。

スライド 2

このスライドを含めた 5 枚のスライドを使って「A 光とは何か？—宇宙の中の光」を説明する。このスライドにおいては、「光とは何か」について「宇宙」というキーワードを使って壮大なスケールで解説することにより、児童の関心を引き付ける。具体的な内容は以下の通り。

『最初に大きな話から、即ち宇宙の話からします。宇宙の中に存在するものを大雑把に 2 つに分けると「光」と「物質」になります。「光」は宇宙一のスピード（速度）を持つものです。光の速度のことを光速といい、光速は 30 万 km/秒です。光は一瞬のうちに伝わるので、無限の速度を持つように思うかも知れませんが、実際は有限の速度なのです。昔、NHK の「みんなのうた」で「地球を七回半まわれ」という歌が放送されましたが、地球の子午線の長さは 4 万 km なので、「地球を七回半まわれ」は光が 1 秒間に進む距離のことを歌にしています。光のスピードは非常に大きいですが、最近、光速が有限であることを感じる場合があります。外国からの生の映像を衛星中継で受け取る場合や国際電話をかける場合、相手の反応が一瞬遅く感じるときです。また、現在見ている太陽は 8 分前の太陽の姿であることや、夜空に見える星の中には何億年も前の姿を見ているものがあることを考えると光速が有限であるをつくづく感じます。一方、宇宙の中で光より遅いものが「物質」です。しかし、この性質を持つものが物質であると定義すると、物質に対して失礼な感じがするので、重さ（質量）を持つものが「物質」と言うのが良いかも知れません。そうすると、重さの無いものが光ということになりますが・・・。

「物質」は原子が集まってできています。原子は約百億分の 1 メートルの大きさの小さな粒子で、右下の図のように＋の電気を帯びた重い粒子が中心に 1 個配置し、その回りに－の電気を帯びた軽い粒子が 1 個または複数個駆け巡る構造をとっています。ここで、重い粒子を原子核と呼び、軽い粒子を電子と呼

光と色の科学



西南学院大学
人間科学部
松村 敬治

A 光とは何か？—宇宙の中の光
B 光の屈折と虹
C 色が見えるしくみ
D 光の不思議な実験 青い鳥
E 実験観察をはじめよう

1

A 光とは何か？—宇宙の中の光

宇宙をつくるもの

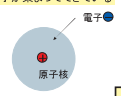
光 宇宙一の速度 (30万km/秒) 直進せよ	物質 重さ有り 光より遅い
-----------------------------------	-------------------------

光は1秒間に地球を7周半する距離を進む
(1秒がみんなの歌: 地球をまわれば、7回半まわれば)



太陽から地球に光が届くのに8分かかる

身の回りの物質は
原子が集まってできている

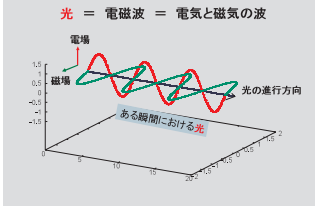


原子

2

光とは何か？ 光は波である

光 = 電磁波 = 電気と磁気の波



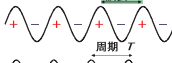
光は電気と磁気の波である！

3

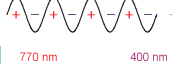
光の種類と色

光の種類は色で区別できる！

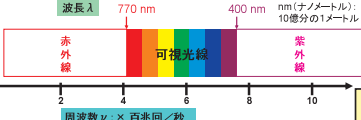
ある時間における光



ある場所における光

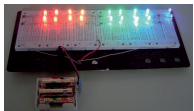


波長 λ



4

光の種類を観察 (発光ダイオード)





十個から一側に電流を流すとほぼ純粋な色の光を発生する。

赤外線

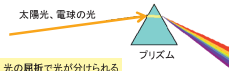
可視光

紫外線

5

分光: 太陽や電球の光をプリズムで分ける

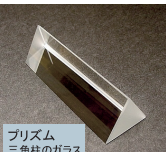
太陽光、電球の光



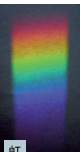
光の屈折で色が分けられる

分光: 光を周波数の順に分けること

プリズムで分光できる！



プリズム
三角柱のガラス



虹

6

図2 「光と色の科学」のスライド (その1)

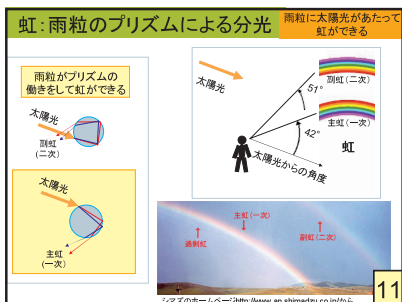
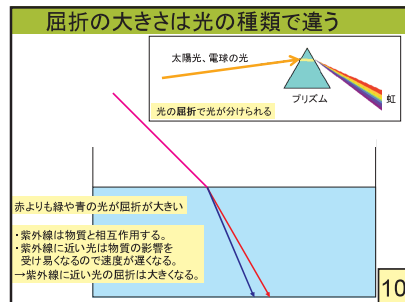
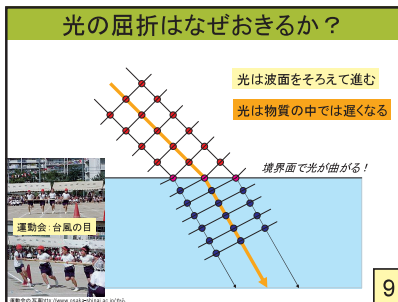
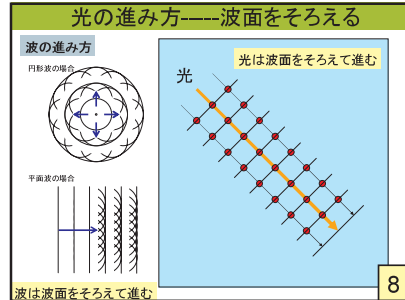
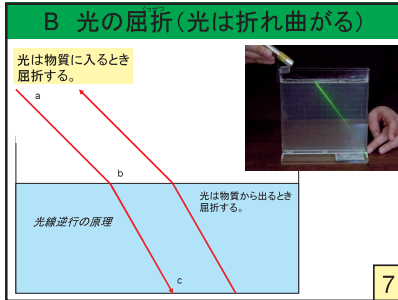


図2 「光と色の科学」のスライド(その2)

実験：屈折による現象

じっけん くせつ げんしょう

ここまで浮き上がって見える 観察者

水を入れるとミンフィーが浮かび上がる

棒が曲がり切れて見える

水無し 水有り

川や池は遠く見えても予想以上に深いので注意！

13

C 色が見えるしくみ

光の3原色観察器を用いた光の混合実験

光の3原色観察器：中村理科製

この画面に混合した色が出る

赤と緑と青の光を混ぜる実験

青スイッチ
緑スイッチ
赤スイッチ

14

実験：光を混ぜてみよう

じっけん ま

2つの色の混合

	赤	緑	青
赤		?	?
緑			?
青			

3つの色の混合

赤緑青の3つの色を全部混ぜると・・・
(?) 色になる

15

目のしくみと色が見える理由

物体

角膜

虹彩

毛様体

瞳孔

網膜上の視細胞

脳

脳で物体の形と色を認識する

網膜の表面に光を感じる視細胞がある

光

すい体細胞：色を認識する細胞
3種類あり、それぞれ赤色、緑色、青色の光を認識する。

かん体細胞：明るさを認識する細胞。

光の3原色

16

視細胞の興奮と認識される色

無光

黄色光

赤色光

白色光

視細胞 視神経 脳

脳で色を認識

脳で色を認識

脳で色を認識

脳で色を認識

実線の矢印(→)：興奮した視細胞からの信号
点線の矢印(---→)：興奮していない視細胞からの信号

17

加法混色

赤・緑・青の3色の光があればすべての色が表現できる。

光の3原色

赤 赤+緑
マゼンタ 赤+青
シアン 緑+青
白 赤+緑+青

18

図2 「光と色の科学」のスライド（その3）

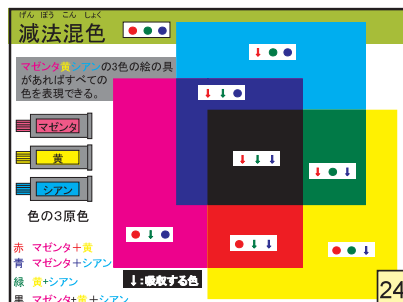
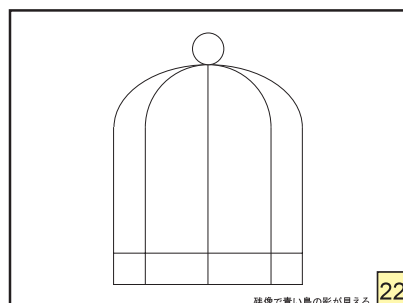


図2 「光と色の科学」のスライド（その4）

びます。通常の物質が電気を帯びていないように見えるのは、全体として＋と－の電気量が等しいからです。ともかく物質はこのような電気を帯びた粒子が集まってできていることを覚えておきます。

一方、光は電磁波とも呼ばれ、電気と磁気の波からできています。実際の光は、次のスライドに示すように、＋と－の電気が交互に変わる波と N 極と S 極が交互に変わる波が組み合わさった構造を持ちます。

物質は＋と－の電気を帯びた粒子からできており、光は＋と－の電気が交互に変わる波であるので、光と物質は相互作用をします。この相互作用には、物質が光を吸収したり放出したりする大きな変化を伴う現象もありますが、ここでは光が物質によって進行方向を曲げられる「屈折」という、どちらかと言えば、ささやかな現象についてお話ししたいと思います。』

スライド 3

このスライドにおいて、光は電磁波と呼ばれる波の一種で、スライドの図のような構造を持つことを説明する。

スライド 4

このスライドにおいて、光の種類について解説し、光と色の関係について言及する。具体的な内容は以下の通り。

『1 つ前のスライドで光は電気と磁気の波であると言いましたが、日常起きる現象の殆どは電気の波の部分との関係で起きているので、ここでは光が電気の波であるとして説明します。光は＋と－の電気を時間的に、空間的に変化させながら存在します。光が 1 秒間に＋－を変化させる回数を周波数と言い、光が＋－を 1 回繰り返すときに進む距離を波長と言います。

光は目に見えるものというイメージがありますが、目に見えるものも目に見えないものも光速であれば光です。光の波長が 400 nm から 770 nm の範囲 (1 nm は 10 億分の 1 m) にあれば、その光は目に見え、可視光線 (可視光) と呼ばれる光になります。周波数で言うと、400 兆から 750 兆ヘルツ (1 ヘルツは 1 秒間に 1 回＋－を変化させるときの周波数) の光が可視光で、それよりも周波数が小さかったり大きかったりすると目に見えない光になります。可視光を周波数の小さいほうから順に並べると虹の七色、即ち、赤・橙・黄・緑・

青・藍・紫の光となります。赤よりも周波数が小さい光は、赤の外にある目に見えない光ということで、赤外線と呼ばれ、また、紫よりも周波数が大きい光は、紫の外にある目に見えない光ということで、紫外線と呼ばれています。皆さんの家庭には電力会社から 100 V の交流の電気が届いていますが、これも 1 秒間に 60 回電気を＋－に変化させているので、60 ヘルツの光であると言えなくはありません。もし、電力会社が頑張って 600 兆ヘルツの電気を家庭に届けることができるとしたら、各家庭のコンセントからは緑色の光が出てくることでしょう。また、これが 800 兆ヘルツの光になれば、目に見えない危険な紫外線という光になります。皆さんは 800 兆という数をイメージできますか・・・。800 兆という数はとても想像できないくらい大きな数ですが小学生の皆さんも知っておかなければいけない数です。というのは、国の借金が 800 兆円だからです。日本の国の借金は、5 年前は、(可視光と同じように) 目に見える額でしたが、現在は、(紫外線と同じように) 目に見えないほどの危険な額になっていることを言っておきたいと思います。』

スライド 5

このスライドにおいて、可視光が示す虹の 7 色を発光ダイオードが出す光を用いて説明する。発光ダイオードがほぼ純粋な光を与えることを述べ、虹ボード^{7, 8)}を用いて虹の七色が具体的にどんな色になるかを説明する。

スライド 6

このスライドにおいて、プリズムを用いた太陽光の分光とスペクトルについて説明する。教室の中に鏡などを使って太陽光を導入できるときは、プリズムに太陽光を当てて作った明るい虹(スペクトル)を児童に観察させる。太陽光が使えないときは、スライドの説明だけに止める。

スライド 7

このスライドを含めた 5 枚のスライドを使って「B 光の屈折と虹」を説明する。このスライドにおいて、光の屈折とはどんな現象であるかを説明する。具体的な内容は以下の通り。

『このスライドから「B」の項目の「光の屈折と虹」についてお話しします。光の屈折とは異なる物質の間を光が進むときその界面で光が折れ曲がる現象

です。例えば、光が空気中から水中に入射する場合、光はこの図のように界面（水面）で“への字型”に折れ曲がります。このとき入射した光線が水面の法線と成す角を入射角（入射角： θ ）といい、屈折した光線が水面の法線と成す角を屈折角（屈折角： ϕ ）といいます。もう一度この図を見ると、光は水面で水中に取り込まれる方向に（屈折角 ϕ が入射角 θ よりも小さくなる方向に）曲がっています。一般に光は密度の大きくなる方向（濃度が大きくなる方向）に屈折する傾向⁹⁾があります。この傾向を知っておけば、中学で学ぶ凸レンズや凹レンズの働きが理解できます。

また、光には、「ある光がa点に入射してb点を通してc点に出て行く場合、その光をc点から入射させると同じ道筋を通してa点に到達する」という「光線逆行の原理¹⁰⁾」が成り立つので、光の進み方を考えるときに参考になります。光線逆行の原理を用いると、水中から出て行く光がたどる経路がこの図のようになることも理解できます。』

スライド 8

このスライドにおいて、波としての光の進み方を説明する。具体的な内容は以下の通り。

『光の屈折がなぜ起きるかについて述べる前に、一般的な波に進み方について説明します。波の進み方を一言で言うと「波は波面を揃えて進む¹¹⁾」です。一滴の水を水面に垂らすと水滴の着水点を中心に同心円状に波が広がって円形波をつくります。このときの波の広がり方は、内側の円の円周上の無数の各点から同時に小さな波が広がって行って、波の重なり合わせで外側の同心円の波面を作るようにして広がります。一方、海の波が堤防に押し寄せる様子を上空から眺めると、この下の図のように波の山が直線状に並んで堤防に向かって押し寄せるのが見えてきます。この場合は平面波の進み方になりますが、この場合も直線状の波の山の無数の各点から同時に小さな波が広がって行って、波の重なり合わせで進行方向に直線状の波面を作るようにして波が進みます。

光も波の一種なので、光が進行する場合も円形波や平面波が進むようなやり方で波面を揃えて進みます。右の図は光が矢印の方向に進む場合の波面のでき方を示しています。図では光が進むときにできる波面を直線と3つの小さな赤

丸で強調して示しました。』

スライド 9

このスライドにおいて、光が屈折する理由を説明する。具体的な内容は以下の通り。

『光が波面を描いて進むやり方は、まるで運動会の「台風の日」の競技をしているようです。「台風の日」においては、4 人一組で 1 本の棒を運ぶとき、4 人が同じ速度で走るときは、棒は真っ直ぐ進みます。しかし内側の人が速度を落とすとこの写真のように進行方向は曲がってしまいます。ところで、皆さんはグラウンドを走るのとプールの中を走るのではどちらが速く走れますか？（このとき、児童は全員「グラウンド」と答える。）プール中は水が足にまわりついて速く走れませんね……。光も同じようなことが言えます。光は、水中を進行するときは空気中のときよりも進行速度が遅くなります。この図は、光を空気中から水中に入射させるときの様子を示しています。光は空気中を進むときは波面を描いて真っ直ぐ進みますが、水面にさしかかったとき内側の波面から順に速度が遅くなり、「台風の日」のように進行方向が曲がります。光が水の中に完全に入った後は、進み方は遅くなるものの、波面の速度は同じになるので、再び真っ直ぐ進むことになります。このように波面を用いて光の進み方を考えれば、光が屈折するしくみが良くわかります。では、なぜ光は物質中では速度が遅くなるかというと、物質は光に対して「寄ってらっしゃいよ」という働きかけをするから、光は躊躇して伝わり方が遅くなるのです。これからは、物質の光に対するこの働きかけを「寄ってらっしゃいよ効果」と呼ぶことにします。』

スライド 10

このスライドにおいて、プリズムで虹が見える理由を光の屈折との関係で説明する。具体的な内容は以下の通り。

『光の屈折の大きさは光の種類によって異なります。赤い光よりも青い光の方が「寄ってらっしゃいよ効果」が大きくなるので、屈折が大きくなります。なぜ青い光の方が大きいかというと、青い光の方が赤い光よりも周波数が紫外線に近いからです。一般に、「寄ってらっしゃいよ効果」は紫外線に近い光は

ど大きくなります。紫外線においては「寄ってらっしゃいよ効果」というよりも「光の吸収」、即ち、「泊まってらっしゃいよ効果」が現れます。物質に紫外線を当てると、物質の中の電子が紫外線の＋－の電気の変化に合わせて動き出して、紫外線の吸収¹²⁾ が起きるからです。ともかく、青い光の方が、赤い光よりも屈折が大きくなるので、ガラスの角やプリズムのような物に太陽光を当てると虹が発生します。』

スライド 11

このスライドにおいて、空に架かる虹は雨粒がプリズムの役目をしてできたものであることを説明する。

スライド 12

このスライドにおいて、後で行う分光器による電球の観察実習について概略を説明する。

スライド 13

このスライドにおいて、光の屈折で起きる現象について説明する。具体的な内容は以下の通り。

『光の屈折でどのような現象が起きるかお話しします。左の写真は同じ絵柄の黄色とオレンジの2つの深皿を示しています。どちらの皿も同じ角度から撮影していますが、水を入れたオレンジの皿だけ底に描いた絵が浮き上がって見えています。一方、右の写真は2つの透明なカップにスプーンとマドラーを立てかけた様子を斜めから撮影していますが、水を入れたカップに立てかけたスプーンとマドラーは水面あたりで不連続に切れて見えます。これらは光の屈折が原因で起きる現象です。

なぜこのような現象が起きるかという、皿の底から出た光はこの図のように界面（水面）で屈折して観察者の目に入りますが、観察者にとっては「光は真っ直ぐ来ている」という固定観念があるので、目に入る光の延長上にある点線で示したポイントから光が来ているように錯覚して見えます。即ち、底に描いた絵は浮き上がった位置から真っ直ぐ目に入ったように錯覚して見えます。

ここで、皆さんに教訓を一つ与えます。それはプールや川の底は見た目以上に深いので注意しないといけないという教訓です。川面を見て「これは浅そう

な川だからちょっと歩いて渡ろう」と思って足を入れると水の中にドボンということも有り得ることですから・・・。

スプーンやマドラーの現象も同じように光の屈折で説明がつけます。皆さんも風呂に入るとき、お湯に浸かった自分の手や足を見てください。おそらく、通常とは違って変形して見えることでしょう。

尚、このスライドに示した現象は、後から皆さんにも観察実習で体験していただきます。』

スライド 14

このスライドを含めた 6 枚のスライドを使って「C 色が見えるしくみ」を説明する。このスライドでは、「光の 3 原色観察器¹³⁾」を用いた光の混合実験の方法を説明する。

スライド 15

このスライドで光の混合実験の実験結果を配布プリント（図 1）に記入する方法を説明する。具体的には、このスライドの「？」の部分に観察された色を記入するように指導する。

スライド 16

このスライドから、目のしくみと色が見える理由について、ヤングーヘルムホルツの三色説をもとに説明する。説明の概略は以下の通り。

目で物体の存在が確認できるのは、網膜上の視細胞が物体から出る（物体が反射する）光を検出して信号を発し、その信号が視神経を通して脳に伝わり脳で物体として認識されるからである。視細胞には、錐体細胞と桿体細胞の 2 種類がある。錐体細胞は更に 3 種類あり、それぞれ、赤、緑、および青の光を検出して信号を出し、その信号が脳で処理されて色として認識される。一方、桿体細胞は明るさのみを認識する。錐体細胞が 3 種類しかないということは、赤、緑、および青の 3 色の光があれば、全ての色が表現できることを意味し、実際に「光の 3 原色観察器¹³⁾」を用いてこのことを確かめることができる。

スライド 17

このスライドにおいて、色が認識されるしくみを具体的に説明する。眼球 1 個当たりの視細胞の数は、錐体細胞が約 650 万個であり、桿体細胞が約 1 億個

であるが、ここではモデル化した一組の赤・緑・青の錐体細胞を使って色の見えるしくみを解説する。説明の概略は以下の通り。

光が無いときはどの錐体細胞も興奮しないので、脳は黒（暗）と認識する。赤い光が来たときは赤の錐体細胞のみが興奮して脳では赤と認識する。黄の光が来たときは赤と黄の錐体細胞が同時に興奮して脳は黄と認識する。一方、白色光が来たときは、白は色々な光を含んでいるので、赤・緑・青の全ての錐体細胞が興奮して脳は白と認識することになる。その他の色も錐体細胞の興奮の度合いに応じて、それぞれ、それなりの色として認識されることになる。

スライド 18

このスライドで加法混色について説明する。赤、緑、および青の3色の光があれば全ての色が表現できることを3種類の錐体細胞との関係で説明する。説明の概略は以下の通り。

赤、緑、および青の光は、それぞれ、赤、緑、および青の錐体細胞を興奮させる。ここで、図中の色付きの四角印「■」とマイナス記号「-」は、それぞれ、該当する光の色に対する錐体細胞の興奮状態と静止状態を示す。2つの光を混ぜた場合は、赤と緑の光で黄になり、緑と青の光でシアンになり、青と赤の光でマゼンタになる。赤、緑、および青の3色の光を混ぜ合わせると白になる。その他の色の光は、赤、緑、および青の光の強度を加減して混合することにより生み出される。

スライド 19

このスライドにおいて、加法混色の観察実習のやり方を説明する。具体的には、パソコン上の画面をルーペで拡大して観察することにより、画像が赤、緑、および青の3色だけで表現されていることを確認する。

スライド 20

このスライドを含めた3枚のスライドを使って「D 光の不思議な実験 青い鳥」に示された実験をスクリーン上で行う。このスライドでは、『次のスライドでは、この赤い鳥を拡大したものを映します。その赤い鳥をこの写真の女性のように視点をそらさず顔を動かさず30秒間見つめると、その後「青い鳥」が見えてきます。』と案内する。

スライド 21

このスライドが映し出されたら、赤い鳥の目を 30 秒間、顔を動かさずにじっと見つめるように指導する。30 秒間の間を持たすために児童と一緒に 20 からゆっくりカウントダウンする方法がお奨めである。カウントダウンでゼロになったときにクリックして次のスライドに移る。

スライド 22

このスライドが映し出されると、鳥かごの中に「青い鳥（正確にはシアン色の鳥）」の残像が見えるはず¹⁴⁾である。このとき児童の殆どがこのスライドで歓声をあげている。この実験で残像が見える理由は、前のスライドの赤い鳥を見たときに赤の錐体細胞が興奮した分、赤を検出する物質の濃度が低下して、赤に対する感度が低下したために、次のスライドの白の画面を見たときに網膜上の緑と青の錐体細胞の感度が相対的に大きくなって画面上にシアン色の残像が見えるのである。

スライド 23

このスライドが映し出されたら、実験観察の開始を宣言する。実験観察はスライド 12、13、15、および 19 について行う。実習補助員がいる場合は、スライド 7 の「スキムミルク（あるいは牛乳）を薄く溶かした水にレーザー光を入射して屈折を観察する」実験を行うことも効果的である。ただし、この実験はレーザー光を用いるので機器管理に関する注意が必要になる。

スライド 24

このスライドは質問が出たときの予備のために準備しておく。このスライドの目的は「減法混色の 3 原色は、赤・緑・青ではなく、マゼンタ・黄・シアンである」ことを説明することにある。即ち、マゼンタ、黄、およびシアンの 3 色の絵の具（ペンキなど）があれば全ての色が表現できることをこのスライドで説明する。説明の概略は以下の通り。

減法混色は絵の具（ペンキなど）が自然光（太陽光）を照射したときにどんな色になるかを問題にしている。このスライドの図を見ると、マゼンタの絵の具は緑の光を吸収するので、赤と青の光を反射してマゼンタ色になることがわかる。同様に、黄の絵の具は青の光を吸収するので、赤と緑の光を反射して黄

色になることがわかり、シアン絵の具は赤の光を吸収するので、緑と青の光を反射してシアン色になることがわかる。ここで、図の中の色付きの矢印「↓」と丸印「●」は、それぞれ、発光の3原色（赤・緑・青）の中で絵の具（ペンキなど）が吸収した光の色と反射した光の色を示す。光の吸収とは何かについては、文献7および文献8に詳述しているので、ここでは触れない事にする。続いて、絵の具を混ぜるとどんな色になるかについて説明する。マゼンタと黄を混ぜた絵の具は緑と青の光を吸収するので、赤の光だけを反射して赤色に発色する。同様に、黄とシアンを混ぜた絵の具は青と赤の光を吸収するので緑色になり、シアンとマゼンタを混ぜた絵の具は赤と緑の光を吸収するので青色になる。更に、マゼンタと黄とシアンを混ぜた絵の具は緑と青と赤の光を吸収するので黒色になる。その他の色は、マゼンタ、黄、およびシアンの絵の具の濃度を調節することにより、発色することになる。

以上の内容が小学生を対象にした「光と色の科学」で準備した内容であるが、実際の現場で話すときは聴講している小学生の雰囲気に応じて内容を追加したり、削除したりした。本稿の内容と小学校理科との関係は文献8に詳述しているので参考にされたい。

中学生に語る「光と色の科学」

本稿で取り上げた「光と色の科学」の内容は、中学校理科で学ぶ内容とは視点は違うが一部関連しており、中学生にも十分興味を持って聴いてもらえるはずである。本稿と関連した部分は、中学校では第1学年の理科（第1分野）の「身近な物理現象」という項目の中の「光と音」という単元で学習している。中学校学習指導要領²⁾では、これらの指導内容を次のように定めている。

(1) 身近な物理現象

身近な事物・現象についての観察，実験を通して，光や音の規則性，力の性質について理解させるとともに，これらの事物・現象を日常生活や社会と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う。

ア 光と音

(ア) 光の反射・屈折

光の反射や屈折の実験を行い、光が水やガラスなどの物質の境界面で反射、屈折するときの規則性を見いだすこと。

(イ) 凸レンズの働き

凸レンズの働きについての実験を行い、物体の位置と像の位置及び像の大きさの関係を見いだすこと。

(ウ) 音の性質

音についての実験を行い、音はものが振動することによって生じ空気中などを伝わり、及び音の高さや大きさは発音体の振動の仕方に関係することを見いだすこと。

[中学校学習指導要領²⁾ 第2章 第4節 理科 第2(第1分野)2から]

この内容からもわかるとおり、中学校理科では屈折について学んだ後に、凸レンズの学習をすることになっている。「光と色の科学」は、光の構造と屈折の話から始めてプリズムによる分光について説明し、最後に色について解説しているので、中学校理科の内容を含みつつも、更に発展させた内容になっている。また、「光と色の科学」では、光の屈折が起きる理由やプリズムで虹ができる理由を具体的にわかり易く説明しているので、生徒の学習理解の助けとなる。以上の理由で、「光と色の科学」の話は中学生にも有益であり、新鮮さを持って受け入れてもらえるはずである。

おわりに

本稿は、小学校の第3学年から第6学年の児童に対して「光と色の科学」という表題で2009年度に行った出前授業の内容の概略を記したものである。「光と色の科学」は光の屈折という日常見かけるありふれた現象の話から始めて、五感の中の色覚に関する内容まで解説しているので、ハイレベルの内容を含んでいるにもかかわらず、最後まで児童の興味や関心を引き付けることができた。

特に、図2のスライド20から22に示した「青い鳥」の残像実験¹⁴⁾は、パワーポイントのスライドの切り替えの早さを利用しているので、注意が散漫になりがちな小学生にも残像を体験させることができた。

「光と色の科学」のスライド(図2)には示していないが、その内容に図3の「偏光シートの実験」を加えることもできる。図3の自転車の車輪は偏光シー

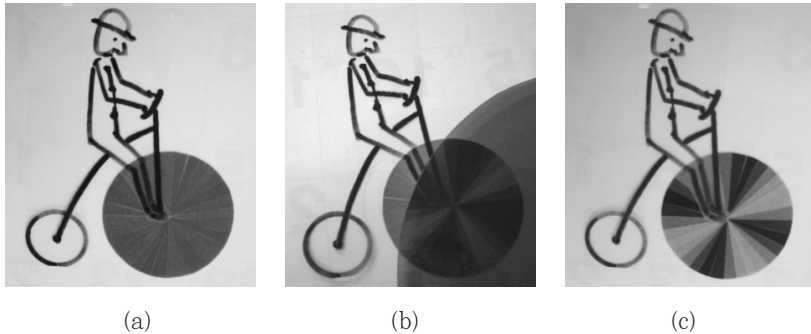


図3 偏光シートの不思議な実験：(a) 2枚目の偏光シートを重ねる前、(b) 2枚目の偏光シートを重ねる途中、(c) 2枚目の偏光シートを重ねた後の様子。(c)において、2枚目の偏光シートを回転させると、自転車の車輪が回転するように見える。

トを色々な角度で細い扇型に切って貼り付けて作ったものである。この車輪の上に別の(2枚目の)偏光シートを重ねてゆっくり回転させると、あたかも自転車の車輪が回転するように見えてくる。図3の3枚の写真では、(a)が偏光シートを重ねる前、(b)が2枚目の偏光シートを重ねる途中、(c)2枚目の偏光シートを重ねた後の様子を示している。(c)においては自転車のスポークが見えているが、このスポークが上に重ねた(2枚目の)偏光シートを回転させることにより回転して、あたかも車輪が回転するように見えてくる。この実験を児童の目の前で行うと例外無く驚きの声を上げる(ただし児童がその場を離れなくなるので授業の最後にやるのがポイントである)。その他の実験としては、偏光シートはノートパソコンや薄型テレビの画面に使われているので、教室のパソコンの画面に偏光シートを当てて画面の変化を見せることもできる。偏光シートは光が横波であることの証拠を示すことができる手軽で良質の実験材料

であるので、小・中学校にも備えておくことをお奨めする。

以上、「光とは何か」という問に端を発した出前授業を紹介したが、「光」は身近で、ありふれた存在でありながら、神秘的な存在でもあるので、奥が深いことをつくづく感じる。小学生や中学生が、この「光と色の科学」によって、「光」の神秘の一端を垣間見、自然科学に対して興味を持つきっかけになってくれることを願う。

謝辞

本稿に掲載したスライドの大部分は 2007 年度の出前授業用に製作したものである。当時のスライド作成にあたって田中夢見さんから有益な助言をいただいた。ここに記して、心から御礼申し上げる。

参考文献および注

- 1) 文部科学省 『小学校学習指導要領 平成 20 年 3 月告示』 東京書籍 (2008).
- 2) 文部科学省 『中学校学習指導要領 平成 20 年 3 月告示』 東山書房 (2008).
- 3) 松村敬治 「新学習指導要領のねらいと小学校理科の展開」 西南学院大学人間科学論集 第 5 巻 1 号 pp.47-65 (2009).
- 4) 学習到達度調査 (Programme for International Student Assessment, PISA) : 経済協力開発機構 (OECD) が義務教育終了段階にある 15 歳の生徒を対象にした国際的な学力調査。2000 年から 3 年ごとに行われ、2006 年には 3 回目の学力テストが 57 ヶ国・地域の 40 万人を対象に行われ、日本からは無作為に抽出した約 6000 人の高校 1 年生が参加した。調査は読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーの 3 分野について行われ、テストに合わせてアンケートも実施された。テスト結果は OECD 加盟国の平均点が 500 点になるように調整して発表されている。
- 5) 文部科学省の統計情報のサイト http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/main_b8.htm から。

- 6) 文部科学省のサイト「小・中学校学習指導要領の改訂に伴う移行措置案関係資料 (http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/080424.htm)」から。
- 7) 松村敬治 「私のくふう 発光ダイオードの『虹ボード』を用いた可視スペクトルの演示実験—吸収スペクトルを実感する教材の開発—」 化学と教育 第51巻6号 pp.374 - 375 (2003).
- 8) 松村敬治 「『虹ボード』を用いた可視スペクトルを実感する教材 —『虹ボード』の製作から小・中学校の理科教育への応用まで—」 西南学院大学人間科学論集 第1巻2号 pp.109-139 (2006).
- 9) 一般に波は密度が濃い方向に曲がるということを知っておけば便利である。この考え方を使うと、例えば、凸レンズはレンズの中心が肉厚になっているから、当てた光は集まるように出て行くと考え、凹レンズはレンズの外側が肉厚になっているから、当てた光は分散するように出て行くと考えることができ、光の進み方が予想できる。一般に、密度が大きなものは屈折率が大きくなる傾向にあるので、スネルの法則によりこの考え方が裏付けられる。
- 10) 「光線逆行の原理」は、A が B を物の陰に隠れて観察する場合でも B が A を観察するルートができていることを意味する。このことを児童に話すときは「かくれんぼ」のときのことを例に出すと良い。
- 11) これをホイヘンスの原理と言う。ホイヘンスの原理は、伝播する波動の次の瞬間の波面の形を考える時、波面のそれぞれの点から二次波（球面波）が出ているとして、この二次波の包絡面が次の瞬間の新たな波面となる考え方で、回折などの様々な波動現象の理解の助けとなる。
- 12) すべての物質は何らかの形で紫外線の領域に吸収を持つ。これはもともと原子の中の外側にある電子の運動の速さが紫外線の ω の変化と同程度であるからである。
- 13) 中村理科工業株式会社（現：株式会社 ナリカ）製の「光の3原色観察器」
- 14) この実験は、「有馬朗人総監修、大山光晴監修『学研キットボックス 夢中になれる!! 光の3原色実験』学習研究社(2004).」の p.29 の紙上実験

をパワーポイントのスライド上の実験にアレンジしたものである。

西南学院大学人間科学部児童教育学科