

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

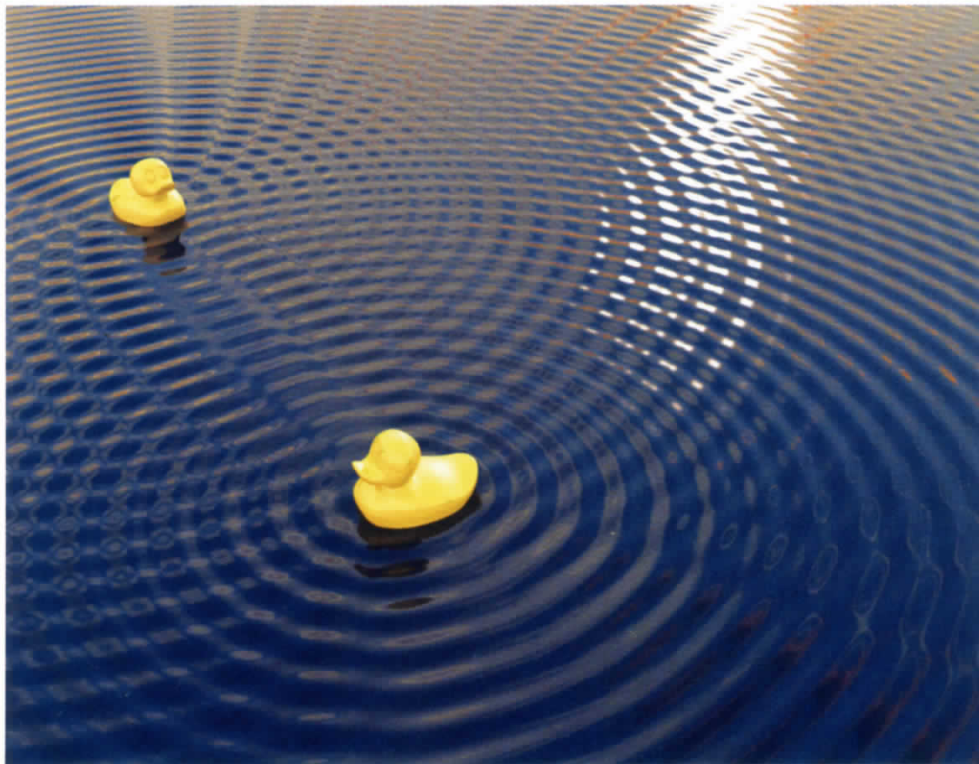
第 6 回 7 月 17 日 音の物理—足踏み揃えて吊り橋渡るな

第 7 回 8月21日午前 光の物理—光輪の正体は丸い虹なのか

第 8 回 8月21日午後 電気製品の物理—IC カードに寿命なし

第 9 回 9 月 4 日 原子核の物理—核融合と核分裂の果て

波 --- 水·音·光



Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

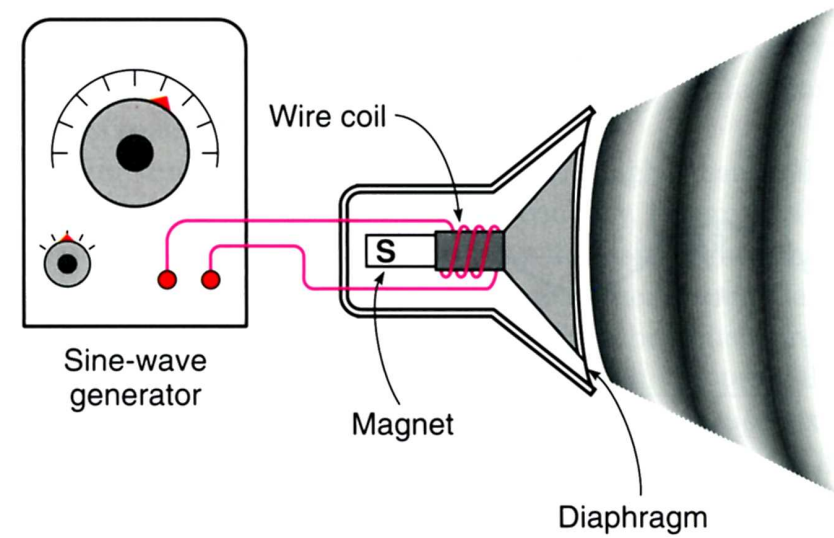


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.

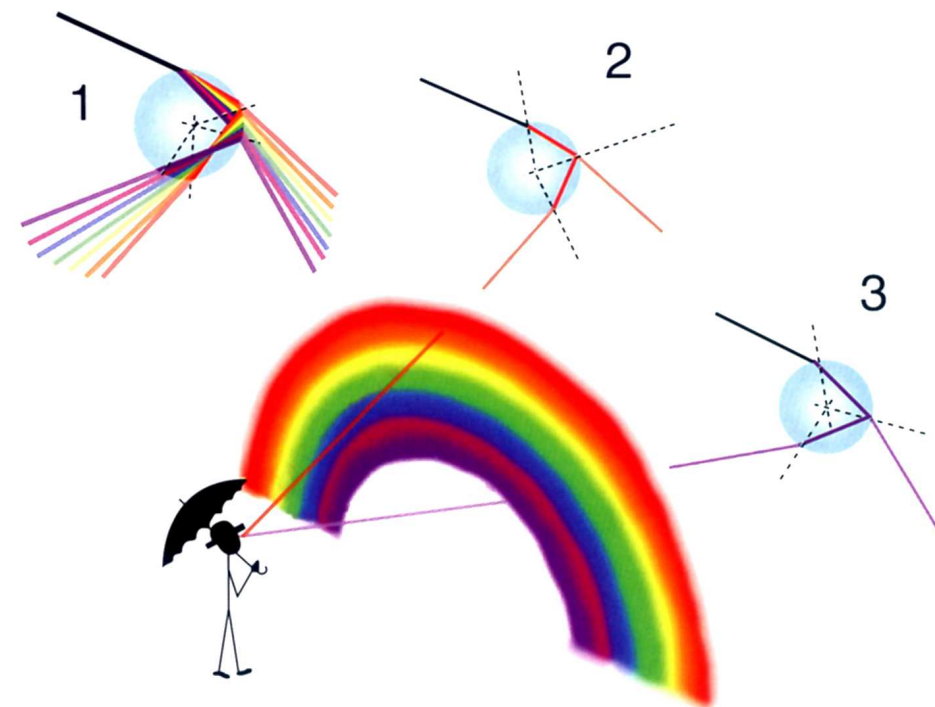
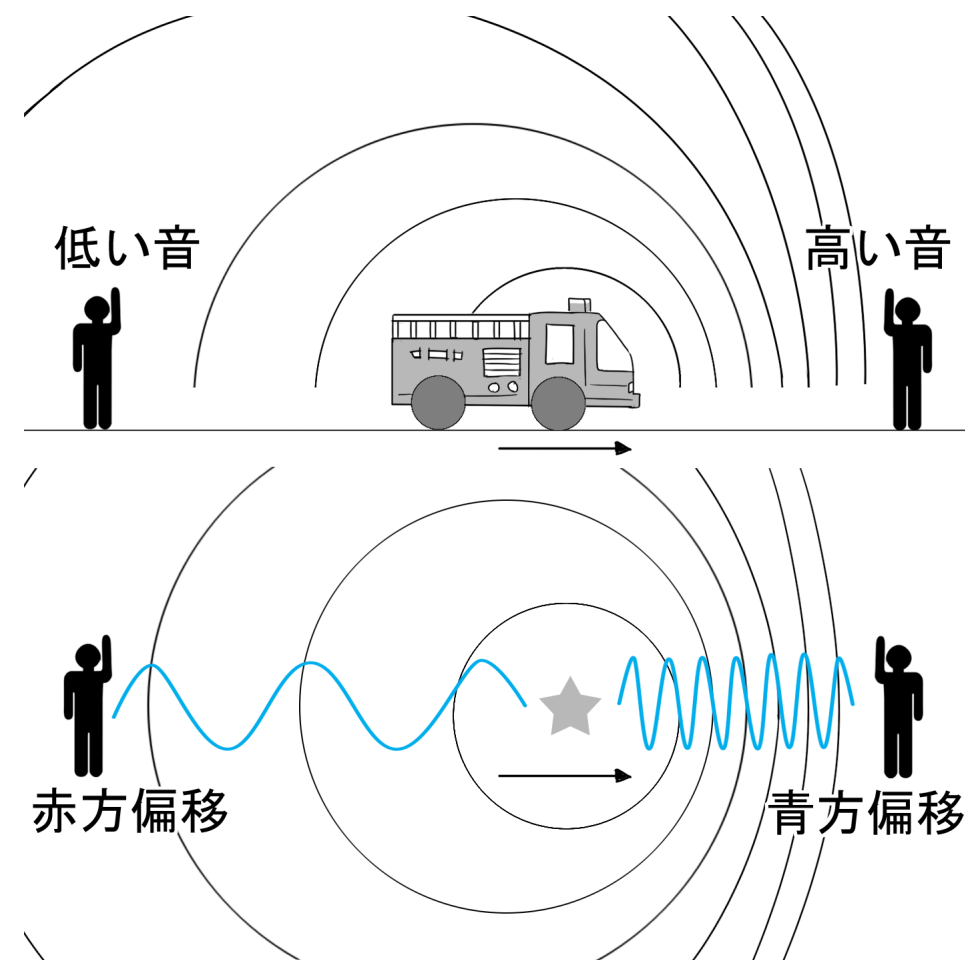
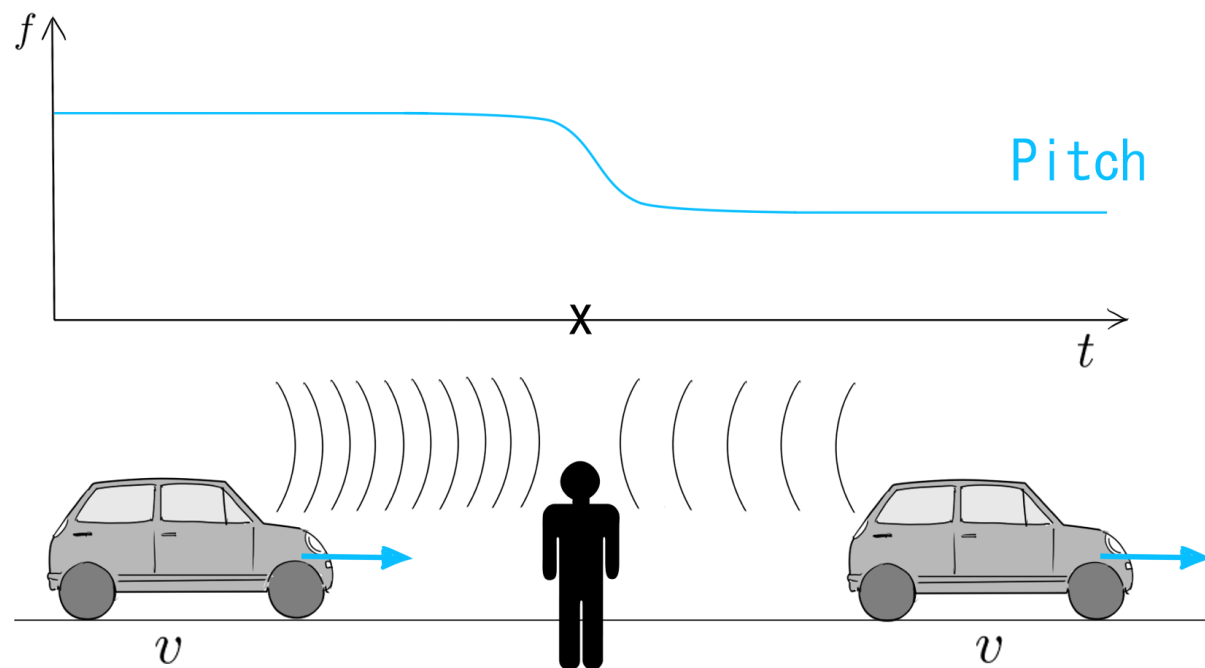


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside

7.1 ドップラー効果

救急車が近づくときや遠ざかるときに、聞こえる振動数が変化する。これは、音源が動くことによって、1秒間に伝わる波の数が増えたり減ったりドップラー効果と呼ばれる現象である。



法則 ドップラー効果

波源や観測者が移動することによって、本来伝わる波の振動数が大きくなったり、小さくなったりして観測される現象のことをドップラー効果という。

- 音源と観測者が相対的に近づくとき、振動数は大きくなる。音波の場合は波源の出す音よりも高い音として聞こえる。
- 音源と観測者が相対的に遠ざかるとき、振動数は小さくなる。音波の場合は波源の出す音よりも低い音として聞こえる。

ドップラー効果

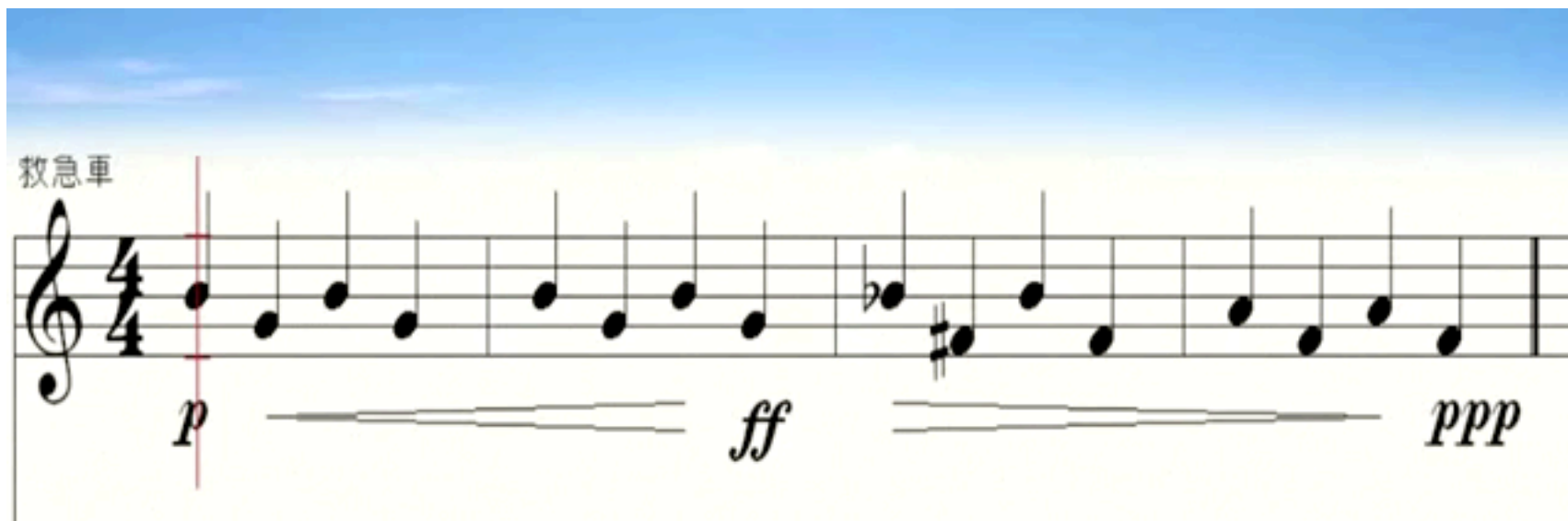


近づくとき

高い音
大きい音に

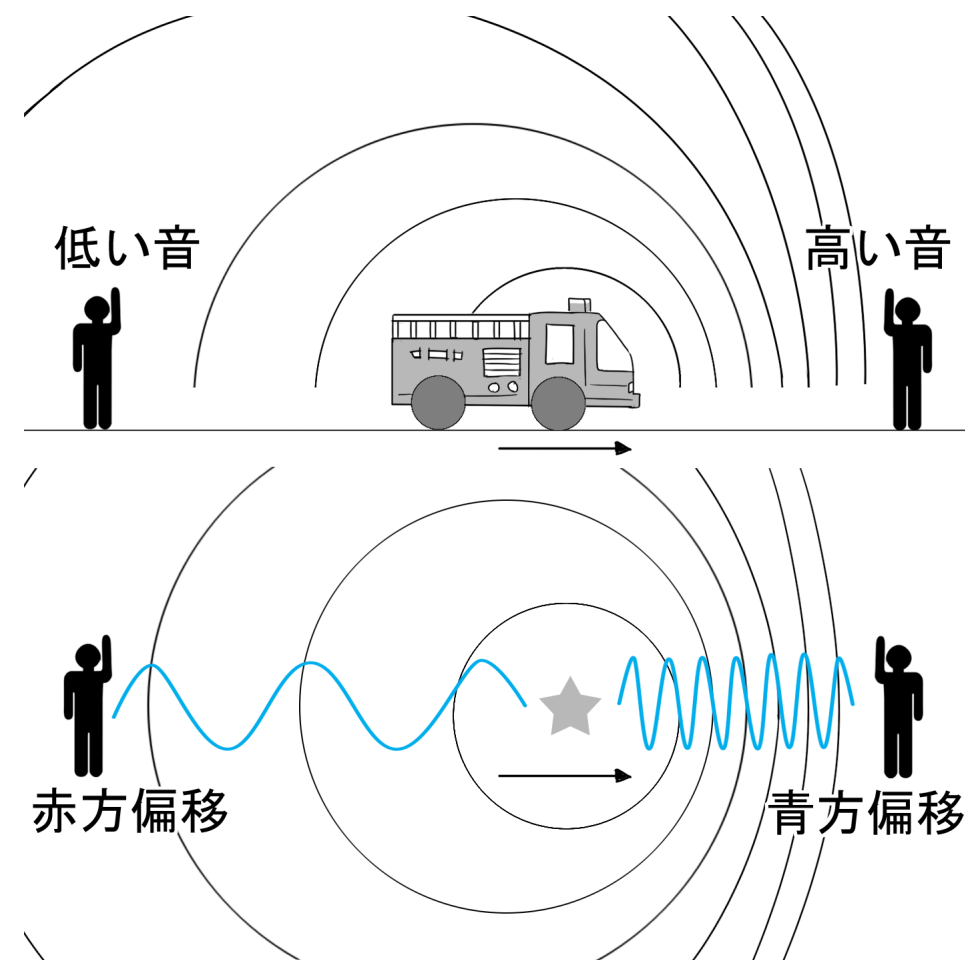
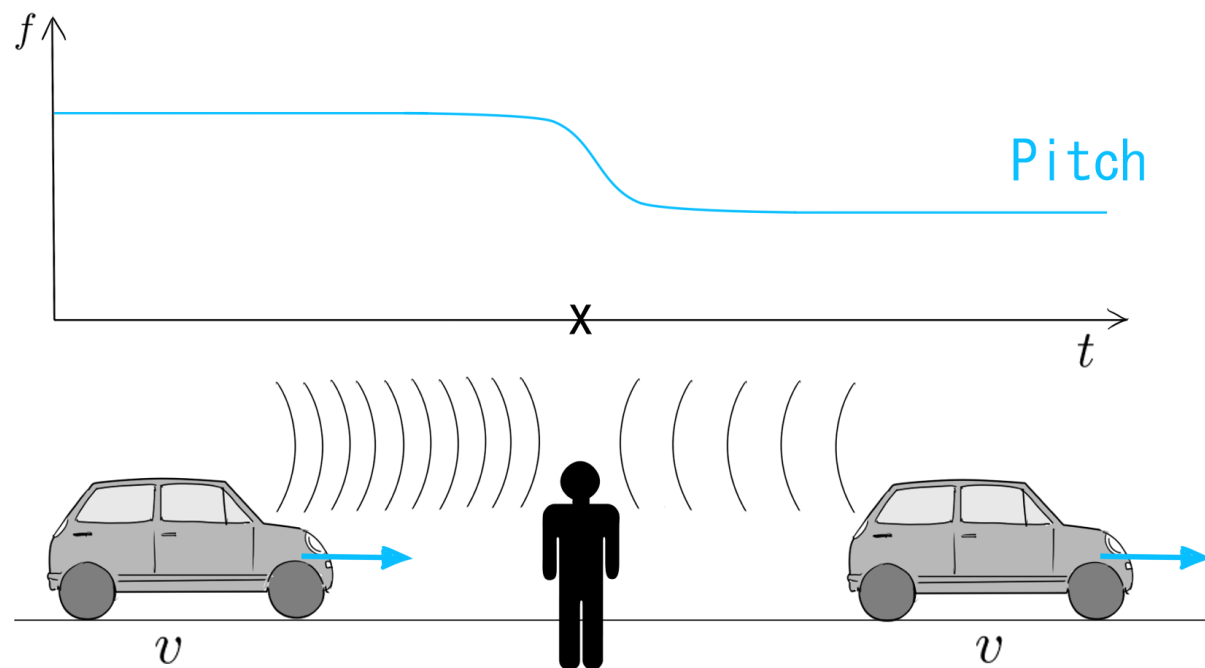
遠ざかるとき

低い音
小さい音に



7.1 ドップラー効果

救急車が近づくときや遠ざかるときに、聞こえる振動数が変化する。これは、音源が動くことによって、1秒間に伝わる波の数が増えたり減ったりドップラー効果と呼ばれる現象である。



法則 ドップラー効果

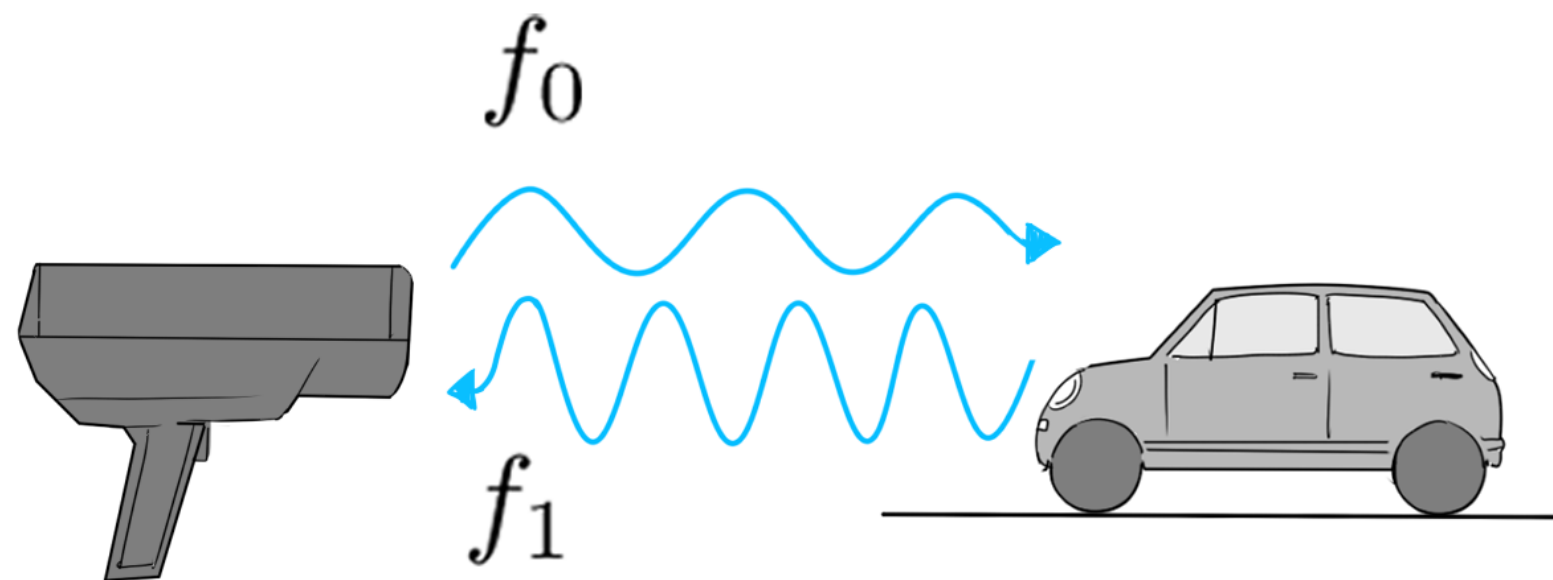
波源や観測者が移動することによって、本来伝わる波の振動数が大きくなったり、小さくなったりして観測される現象のことをドップラー効果という。

- 音源と観測者が相対的に近づくとき、振動数は大きくなる。音波の場合は波源の出す音よりも高い音として聞こえる。
- 音源と観測者が相対的に遠ざかるとき、振動数は小さくなる。音波の場合は波源の出す音よりも低い音として聞こえる。

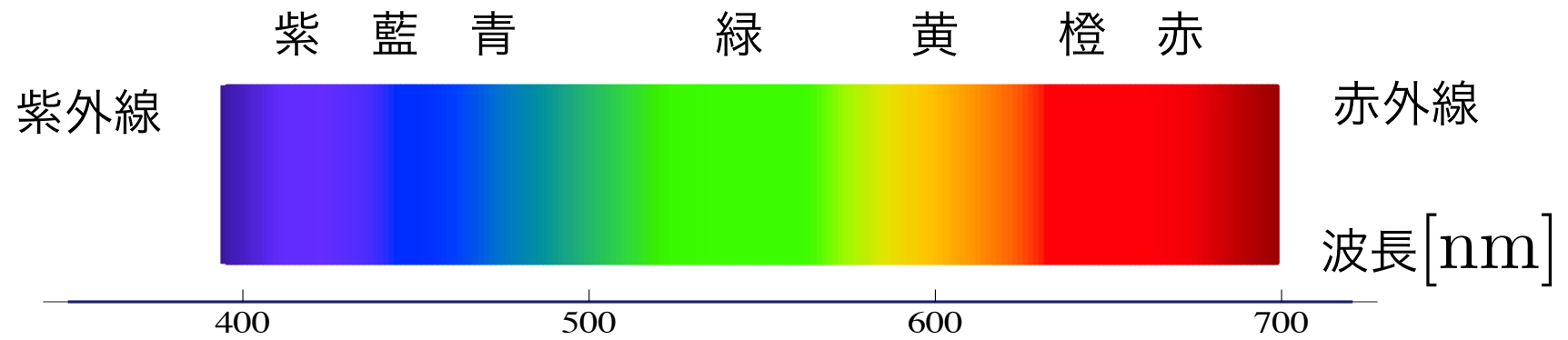
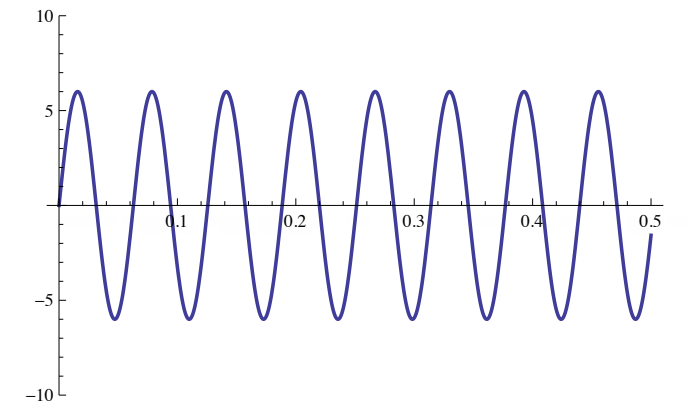
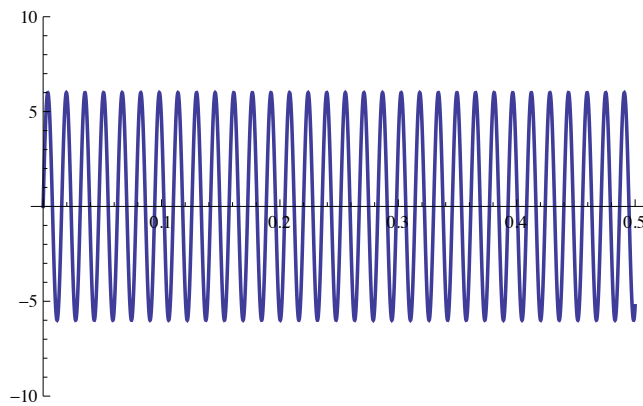
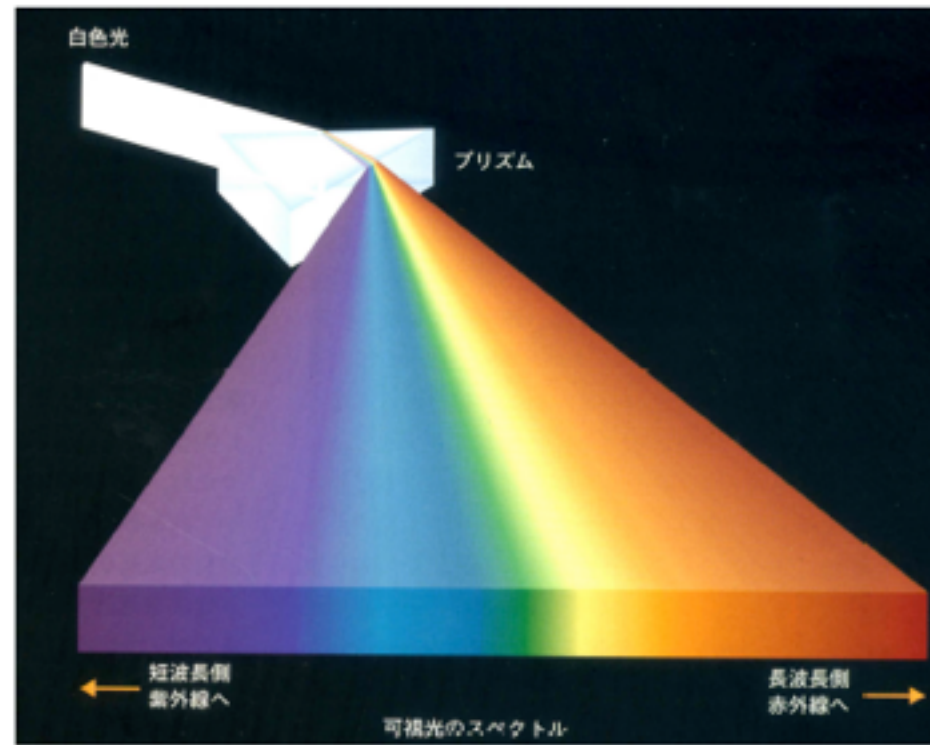
Topic

スピード測定器

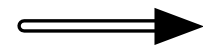
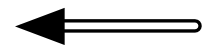
野球でピッチャーが投げたボールの速さがすぐに表示されたり，自動車のスピード違反を検出したりするために使われているスピード測定器の原理は，ドップラー効果である． 10^{10} Hz の電波（マイクロ波）を移動物体に当てて，その反射波をとらえることで，移動物体の速度がわかるしくみである．



光の色=振動数



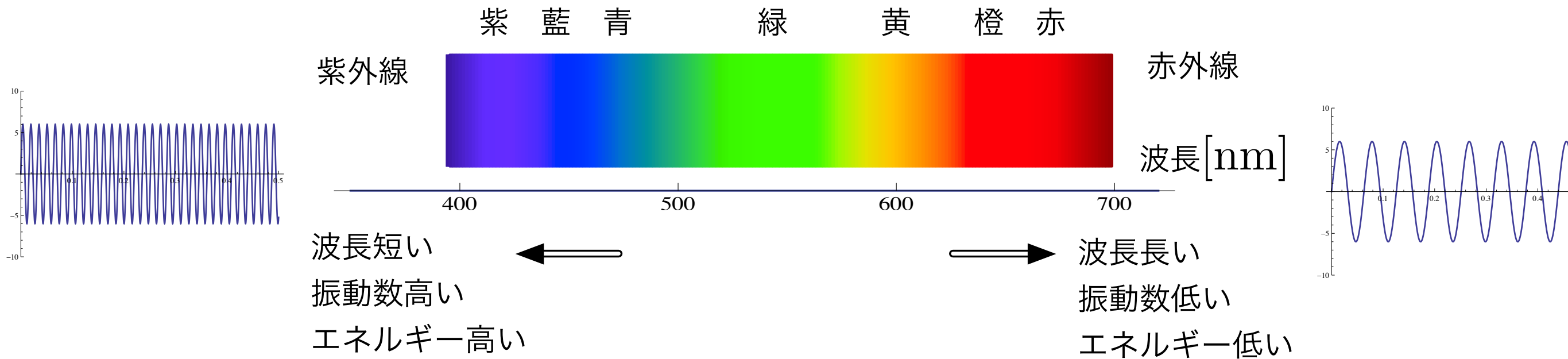
波長短い
振動数高い
エネルギー高い



波長長い
振動数低い
エネルギー低い

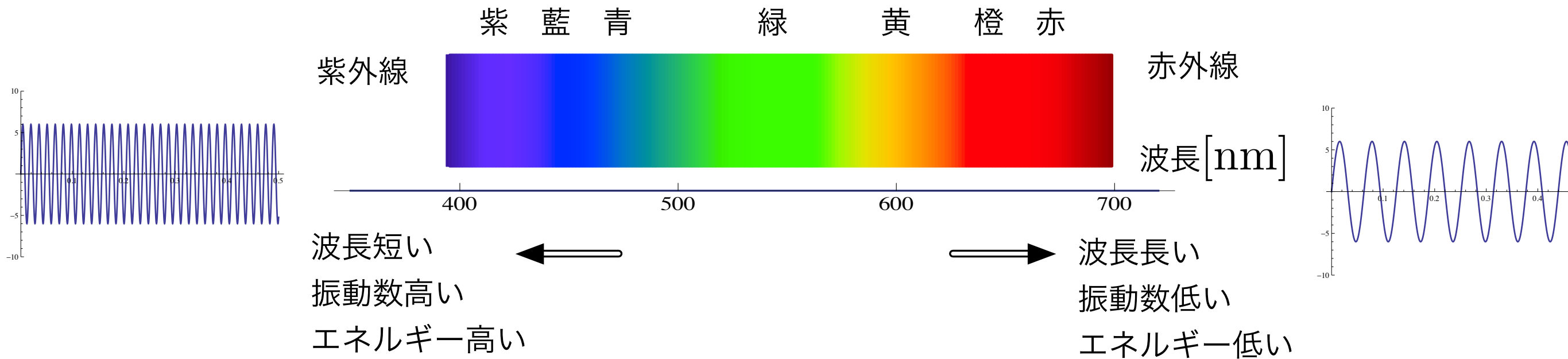
【電磁波の分類】

光の色=振動数



	宇宙線	ガンマ線	X線	光			電磁波							
				紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波		
波長 [m]	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	3.8×10^{-7}	7.7×10^{-7}	10^{-4}	1	10	10^2	10^3	10^4			
波長 [nm]				380	770									
振動数 [Hz]	3×10^{18}	3×10^{17}					3×10^{12}	3×10^8	3×10^7	3×10^6	3×10^5	3×10^4		
利用例		医療 / 食品照射	医療 / X線写真	殺菌	光学機器	赤外線写真	携帯電話	電子レンジ	テレビ	F M ラジオ	短波ラジオ	A M ラジオ	電波時計	飛行機の通信

光のドップラー効果



音源と観測者が相対的に近づく

=音が高くなる

=色が青くなる

音源と観測者が相対的に遠ざかる

=音が低くなる

=色が赤くなる



宇宙が膨張していることは どうしてわかったのか？

1929年
ハッブル, 宇宙膨張を発見

Edwin Powell Hubble
(1889–1953)

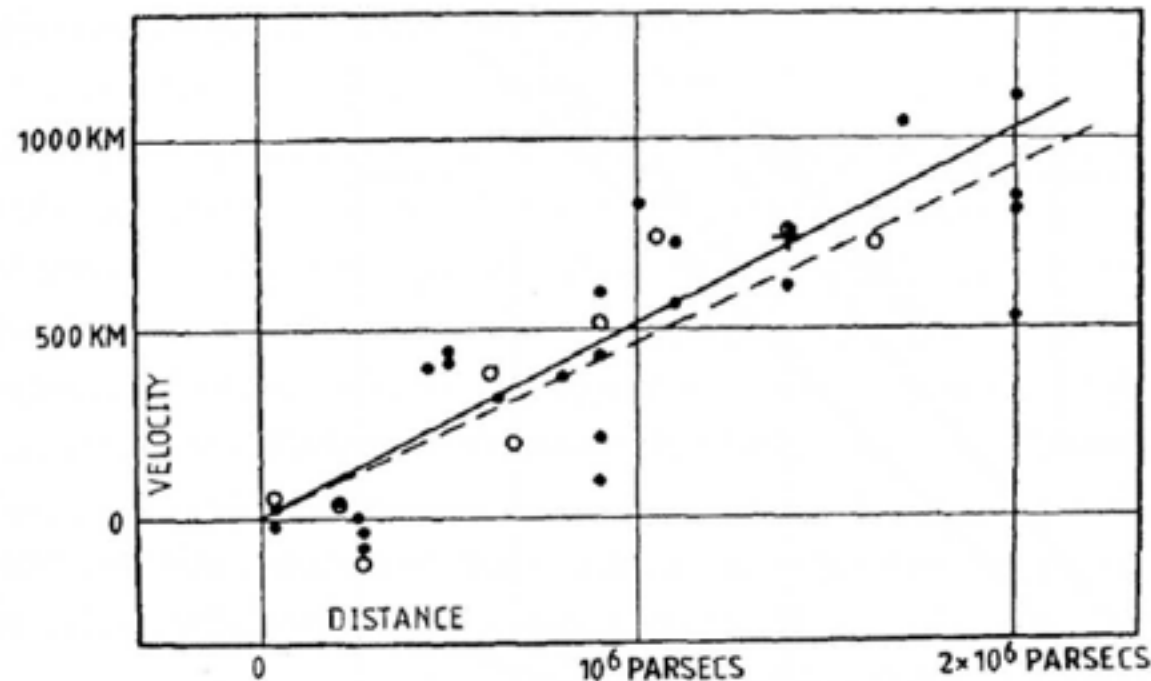
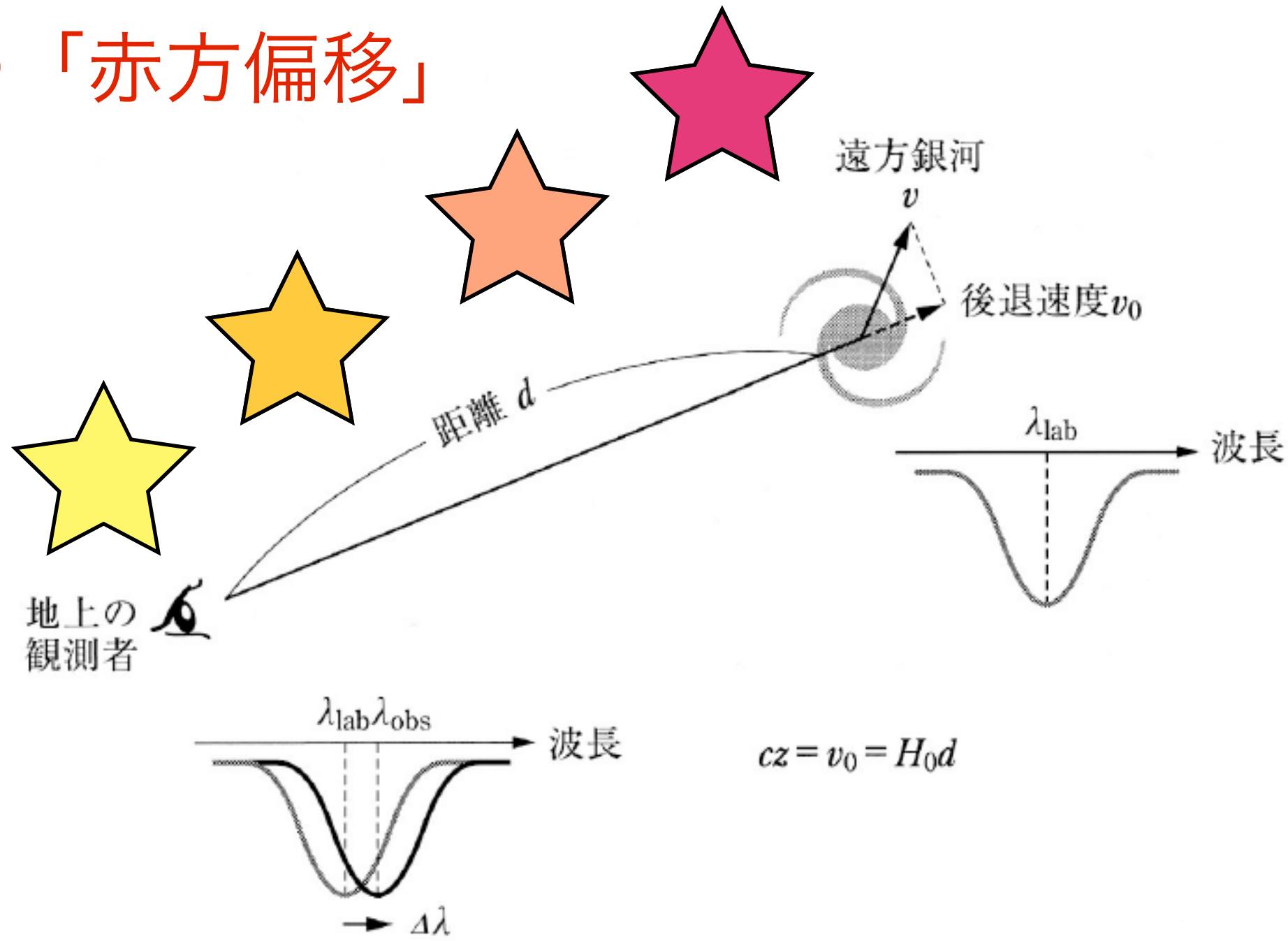


図 40: ハッブルが1929年に発表した図。横軸は距離、縦軸は銀河の後退速度。このグラフの傾きがほぼ一定になることが、ハッブルの法則である。

光の「ドップラー効果（赤方偏移）」から

宇宙が膨張していることは どうしてわかったのか？

光の「赤方偏移」



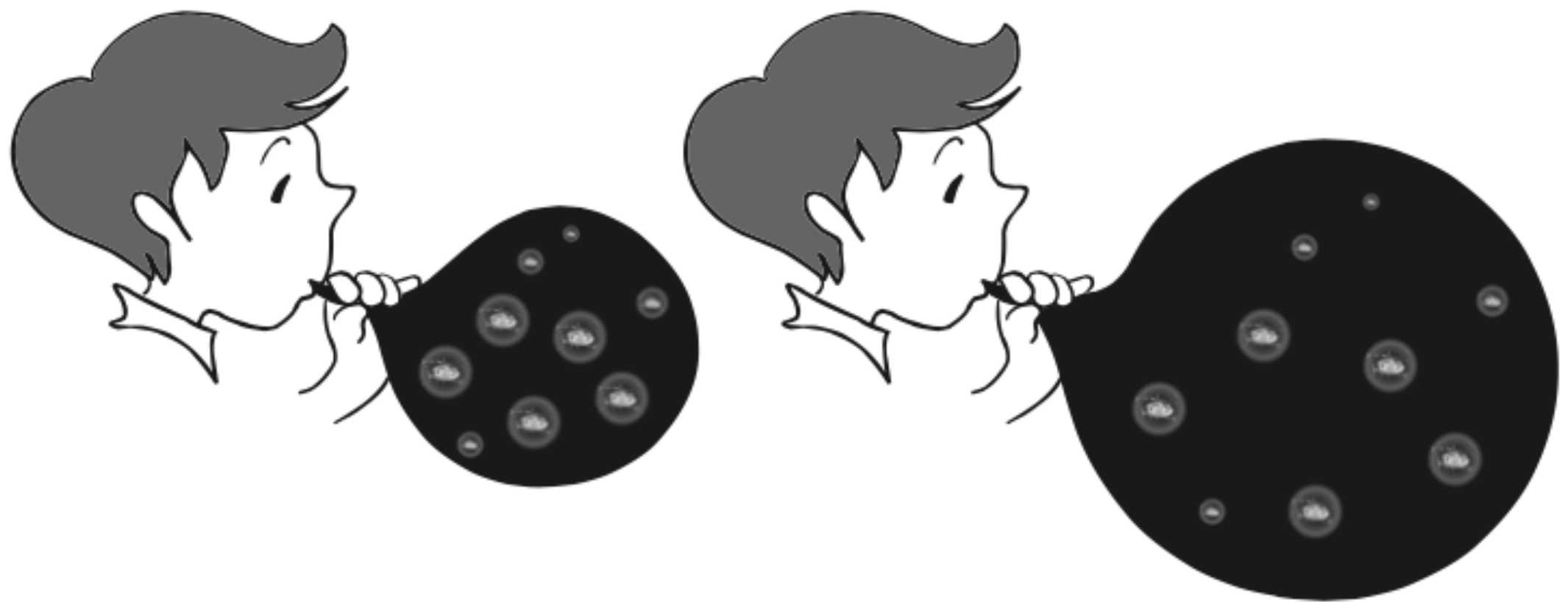
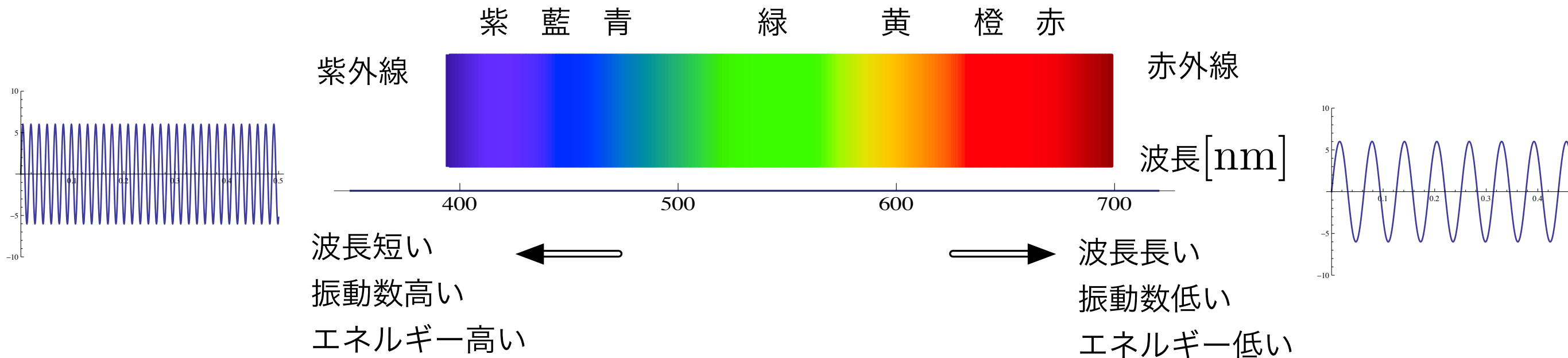


図42 遠方の銀河ほど速く遠ざかっている、というハッブルの法則は、我々が宇宙の中心にいないことを意味するわけではない。

2015年9月18日発売
光文社新書

【電磁波の分類】

光の色は振動数（波長）の違い



	宇宙線	ガンマ線	X線	光			電磁波							
				紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波		
波長 [m]	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	3.8×10^{-7}	7.7×10^{-7}	10^{-4}	1	10	10^2	10^3	10^4			
波長 [nm]				380	770									
振動数 [Hz]	3×10^{18}	3×10^{17}					3×10^{12}	3×10^8	3×10^7	3×10^6	3×10^5	3×10^4		
利用例		医療／食品照射	医療／X線写真	殺菌	光学機器	赤外線写真	携帯電話	電子レンジ	テレビ	F M ラジオ	短波ラジオ	A M ラジオ	電波時計	飛行機の通信

UV (=ultra violet rays: 紫外線)



サンバーン, 皮膚がん
SPF値

サントーン, しわ, たるみ

PA値



	宇宙線			ガンマ線			X線			光			電磁波				
	宇宙線	ガンマ線	X線	紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波					
波長[m]	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	3.8 × 10 ⁻⁷	7.7 × 10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴						
波長[nm]				380	770												
振動数[Hz]		3 × 10 ¹⁸	3 × 10 ¹⁷				3 × 10 ¹²	3 × 10 ⁸	3 × 10 ⁷	3 × 10 ⁶	3 × 10 ⁵	3 × 10 ⁴					
利用例		医療／食品照射	医療／X線写真	殺菌	光学機器	赤外線写真	携帯電話	電子レンジ	テレビ	F M ラジオ	短波ラジオ	A M ラジオ	電波時計	飛行機の通信			

コラム 17 (紫外線)

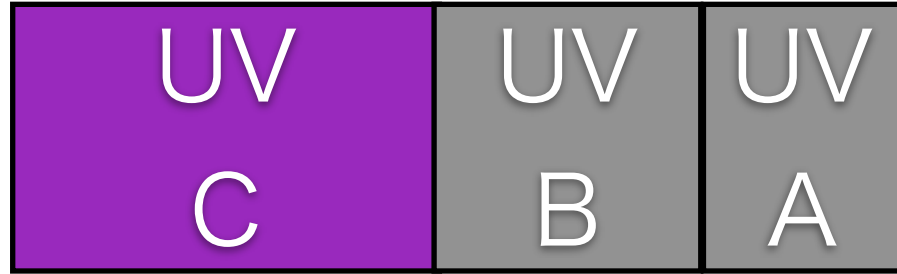
紫外線を浴びることは骨を作るのに重要なビタミンDの生合成という良い面をもつが、長時間・大量に浴びると肌に影響を与える。

- 可視光より少し波長が短い紫外線 A(UVA) は、肌の奥まで侵入し、肌を黒くする日焼け（サンタン）、しわ、たるみ（光老化）の原因となる。日焼け止めの PA 値 (Protection grade of UVA) は、UVA を、どれほど防ぐかを示す。「PA+/PA++/PA+++」の順に効果が高くなる。
- UVA よりさらに波長の短い紫外線 B(UVB) は、強いエネルギーで肌表面の細胞を傷つけ、肌を赤くする日焼け（サンバーン）や皮膚癌の原因となる。日焼け止めの SPF 値 (Sun Protection Factor) は、UVB を、個人にとって何倍の時間防ぐかを示す。日焼け止めを塗らずに、20 分紫外線を浴びれば日焼けする人の場合、SPF15 は「 $20 \times 15 = 300$ 分 (5 時間)」紫外線 B を防いでくれる。SPF 値が高いほど肌への刺激も大きいので、単純に大きければ良いというわけではない。
- さらに波長の短い紫外線 C(UVC) は、生物に大きなダメージを与える。地球を取り巻くオゾン層は、宇宙線による UVC 被曝を防ぐ働きをしている。



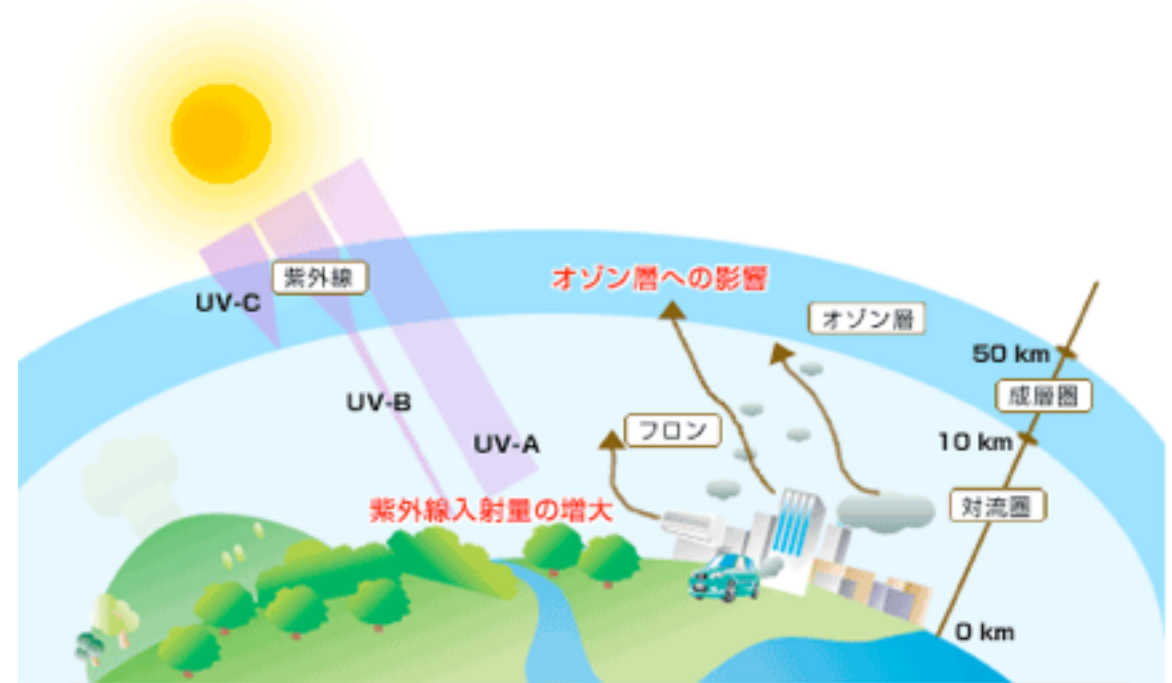
オゾン層を守る

紫外線Cから生物をまもっているのは、オゾン (O₃) 層

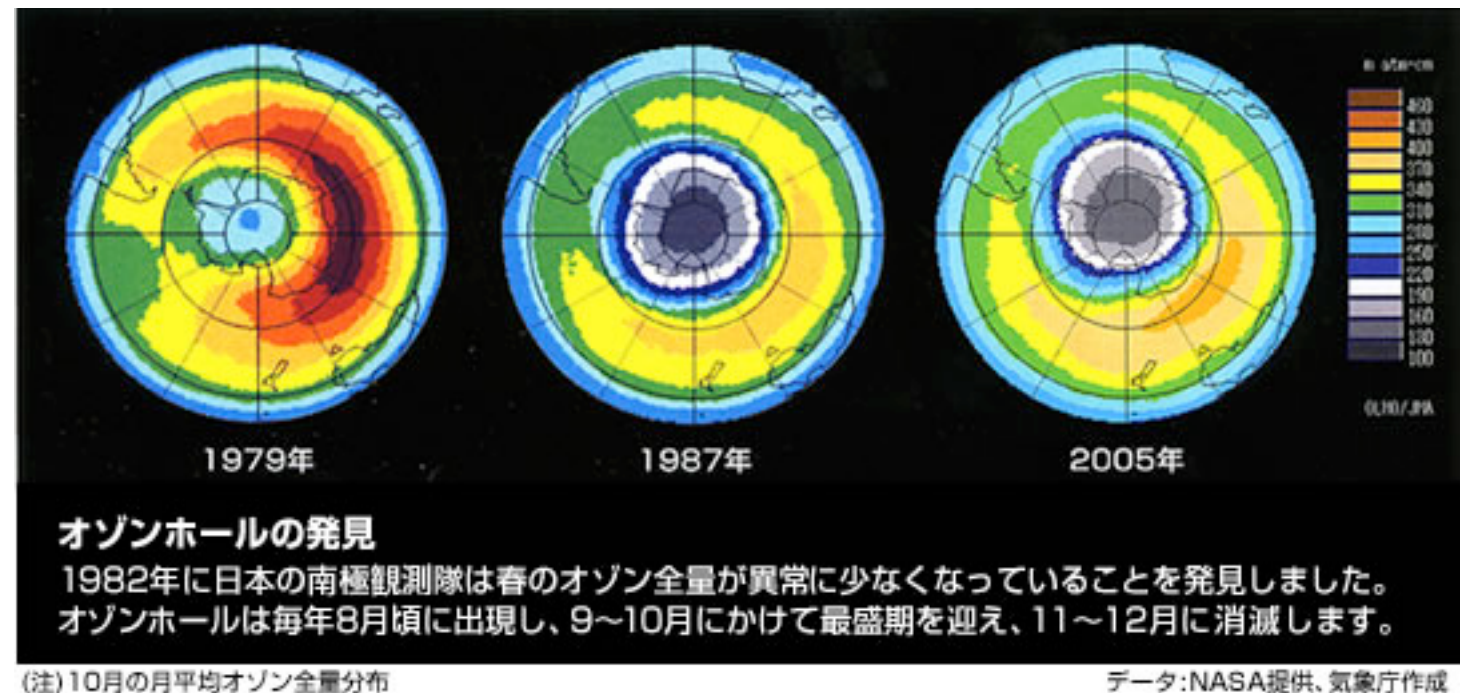


フロンガスがオゾン層を破壊する

フロンよりも亜酸化窒素(N₂O)？



オゾンホール
=オゾン層が破壊されたところ



色の正体は何か

ニュートンは、プリズムを通すと、太陽の白色光はさまざまな色に分割できることを発見した。このように光を分割することを**分光スペクトル**といい、分割された光を**スペクトル光**という。

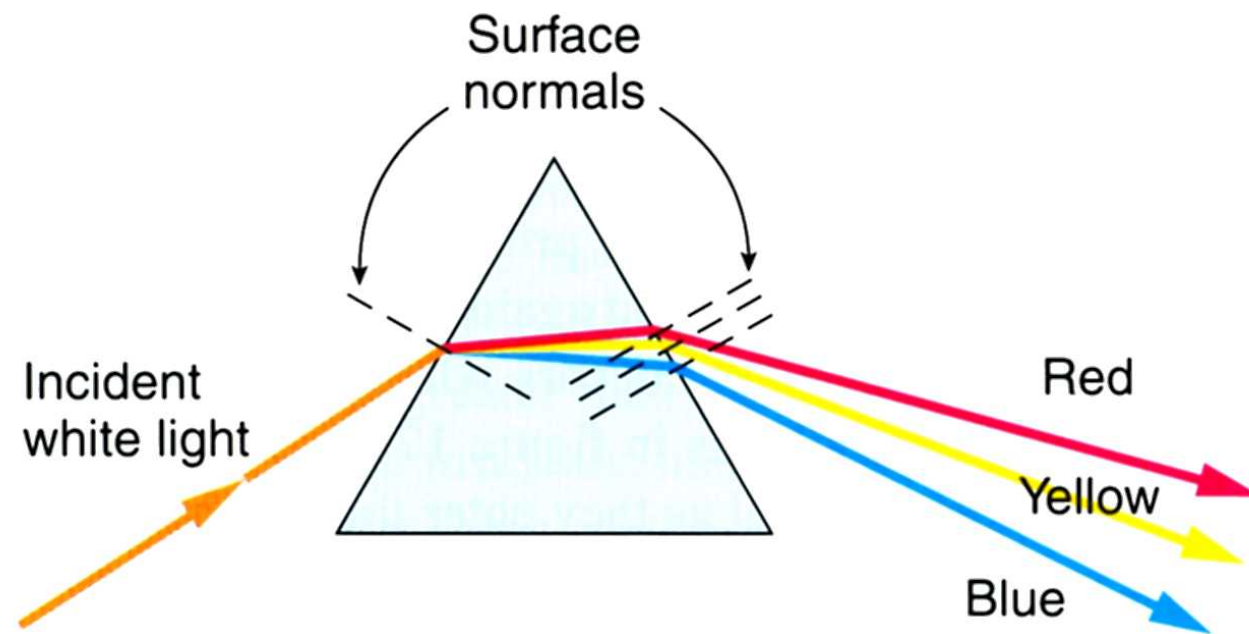
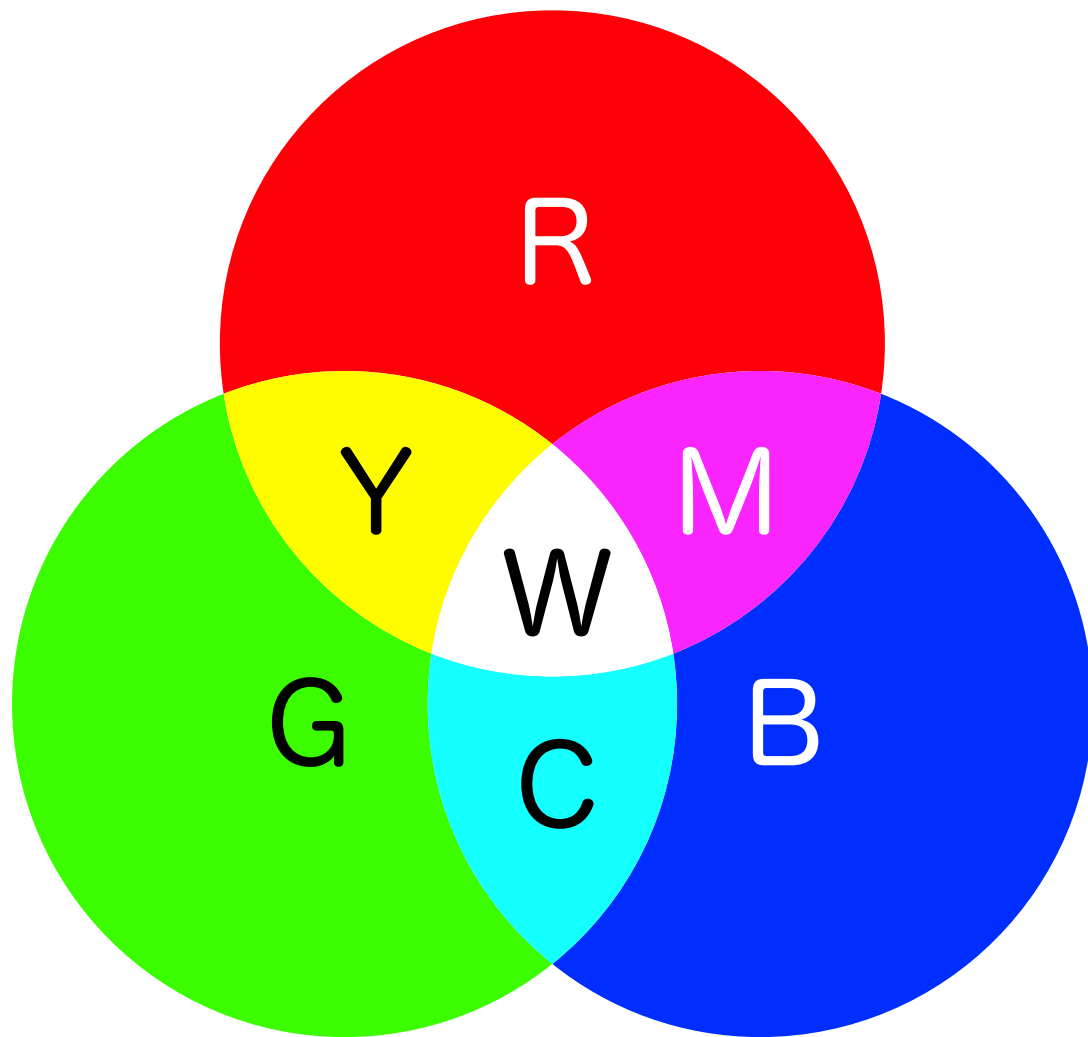


figure 17.13 Light rays passing through a prism are bent at both surfaces, with blue light being bent more strongly than red.

3原色 RGB

光の3原色 = RGB

テレビやディスプレイなど発光体の色の基本
目の視細胞はRGBに反応する3種類



$$R + G = \square$$

$$G + B = \square$$

$$R + B = \square$$

$$R + G + B = \square$$

$$W = R + \square$$

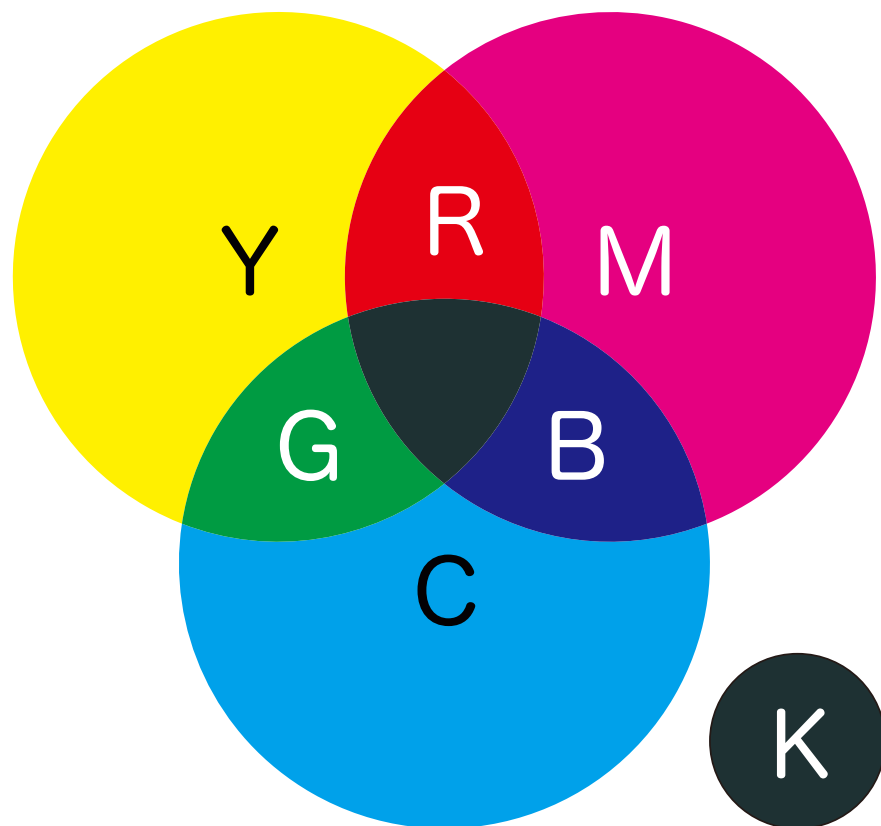
$$W = B + \square \quad : \text{Wダイオード}$$

$$W = G + \square$$

3原色 CMY

色彩の3原色 = CMY

インクや絵の具など，元の光を遮る形で反射して色を識別させる場合の基本



C = **R**の補色

M = **G**の補色

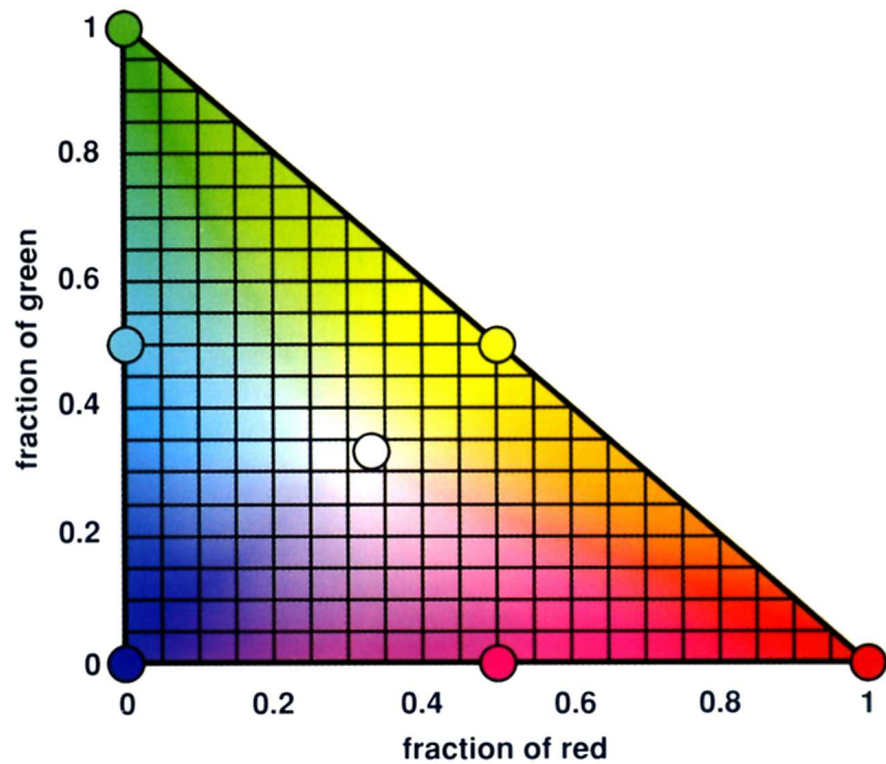
Y = **B**の補色

C + **M** + **Y** =

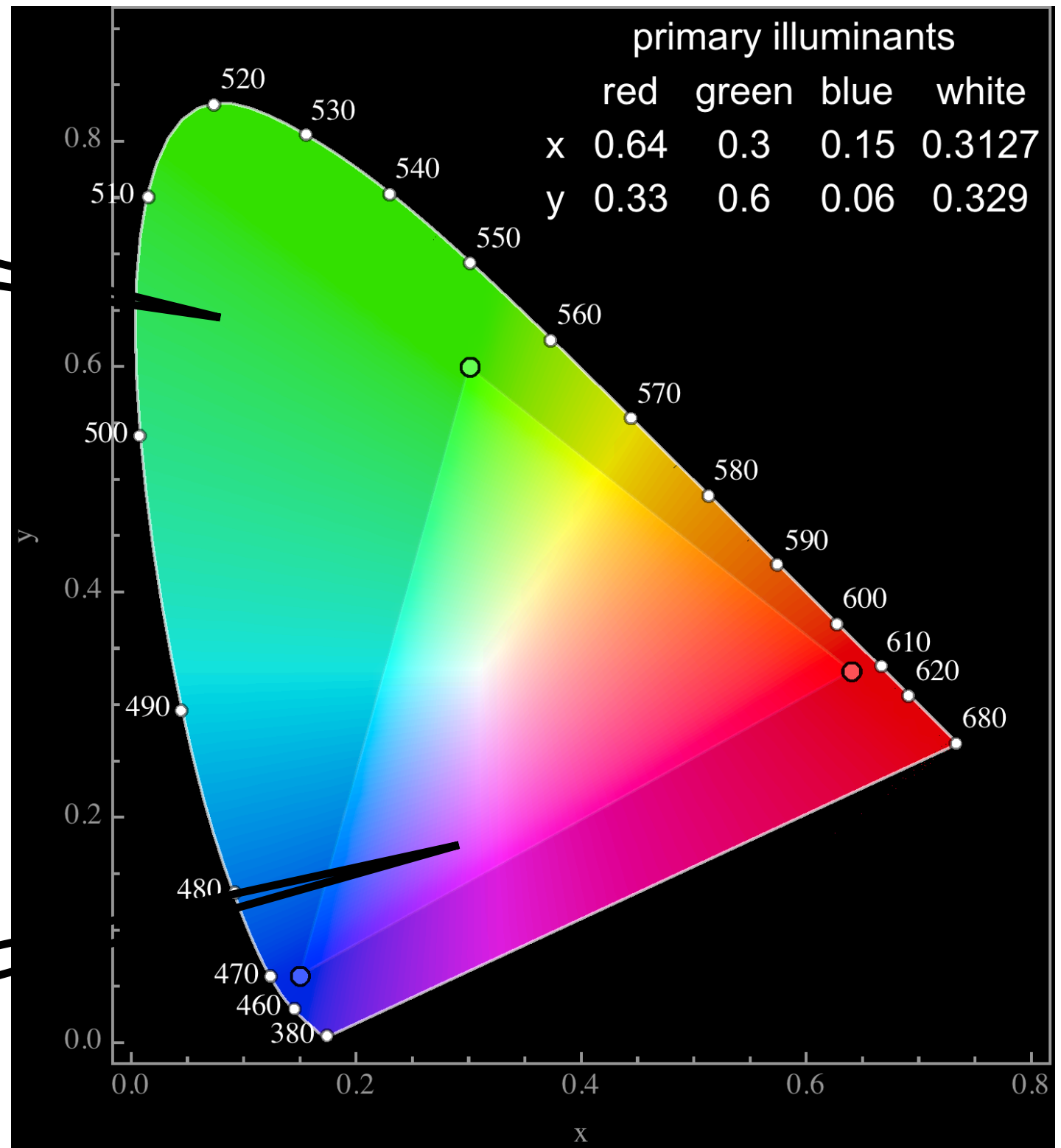
Mのゼロファンは，白色光のうち，**G**を吸収するので，透過光は**R**と**B**が通過して**M**に見える。

RGB 表色

人間の認識する色



RGBで再現する色



色の3種類の情報

色彩の客観的な表示 色彩を指定するためには、3種類の情報を指示する必要がある。

- 色相（色, Hue）.



- 明度（明るさ, Brightness/Value）. 反射率の高さ. 白がもっとも明るく, 黒がもっとも暗い.

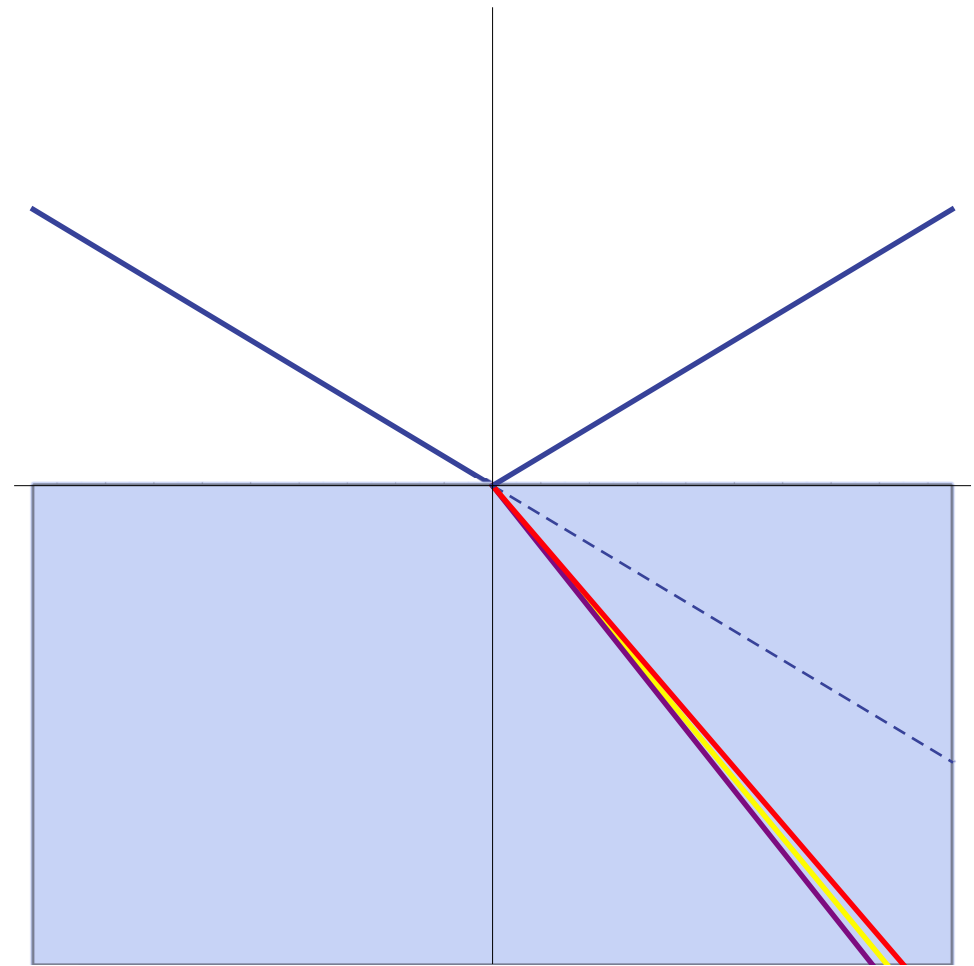
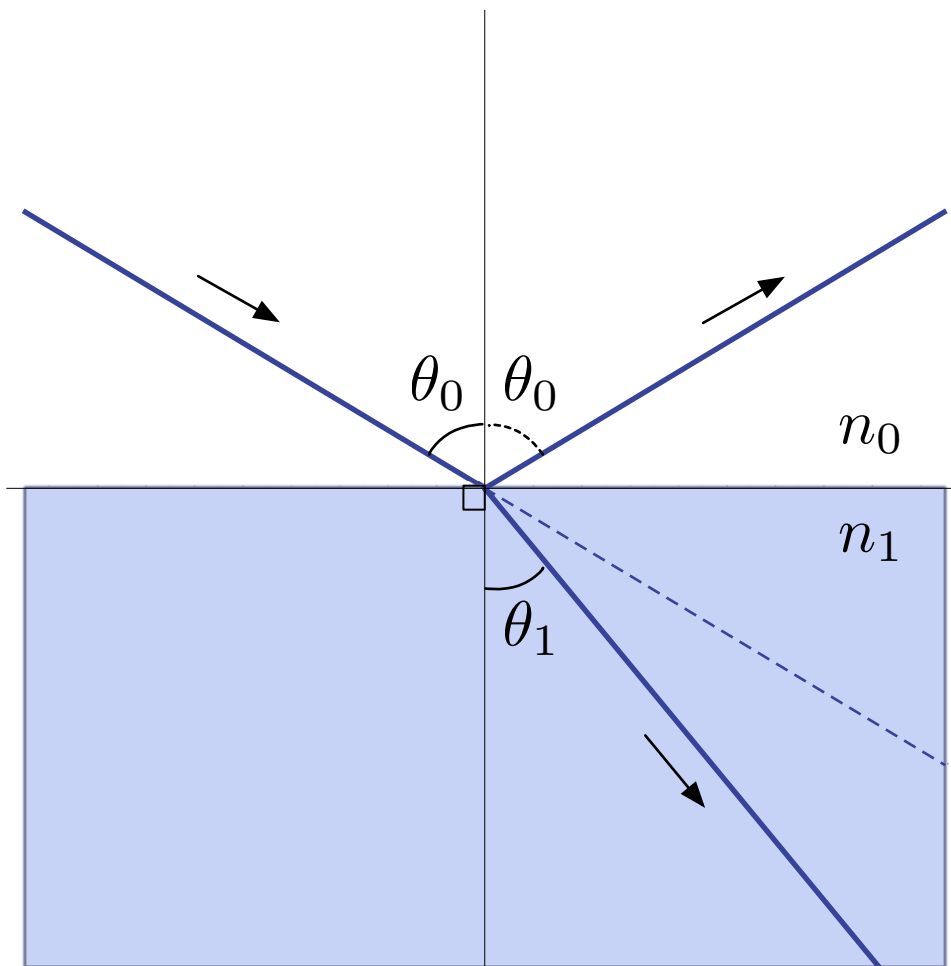


- 彩度（鮮やかさ, Chroma）. 色彩に混じる白や灰色の成分.



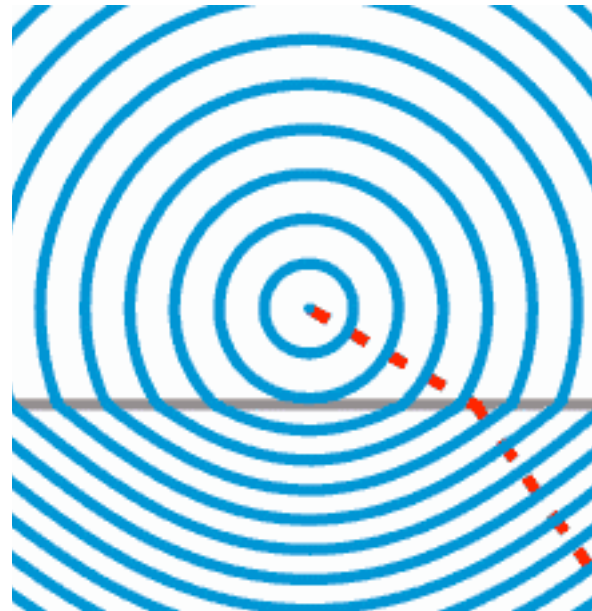
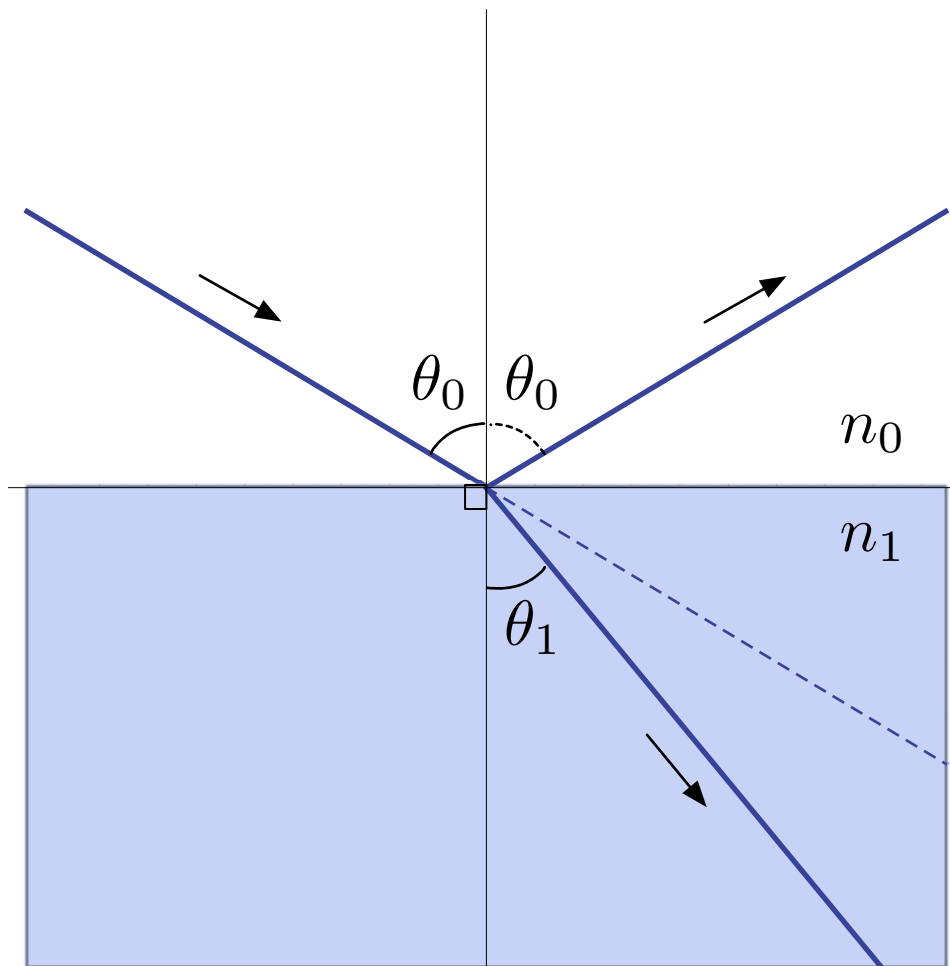
7.3 光の屈折・反射 — 虹のしくみ

光も波であるから、反射・屈折・回折現象を引き起こす。



光の屈折・反射

屈折の法則

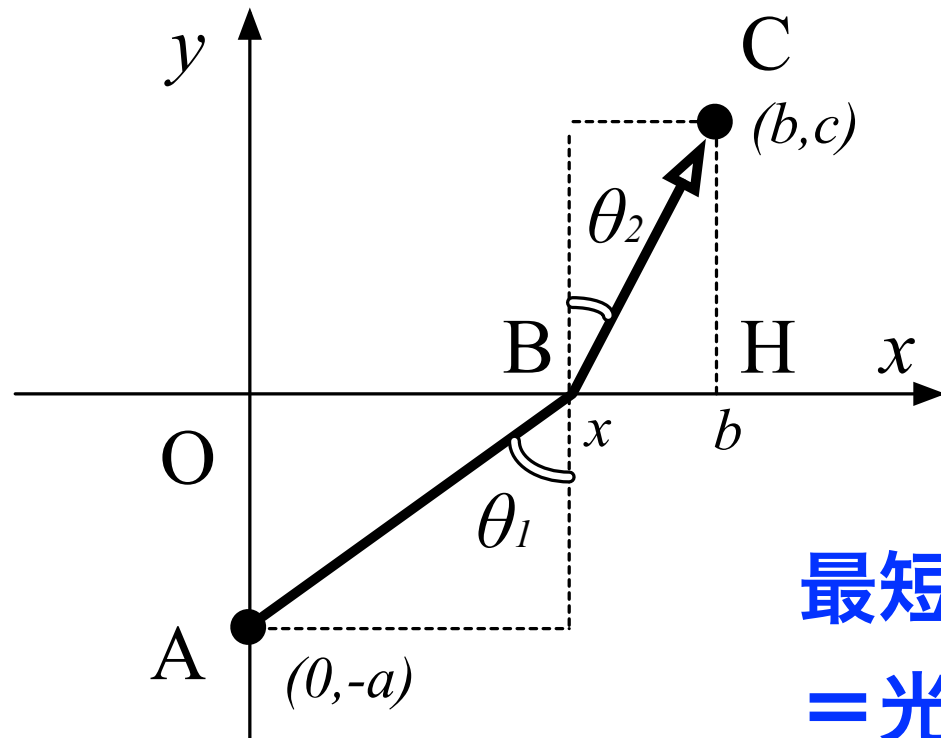
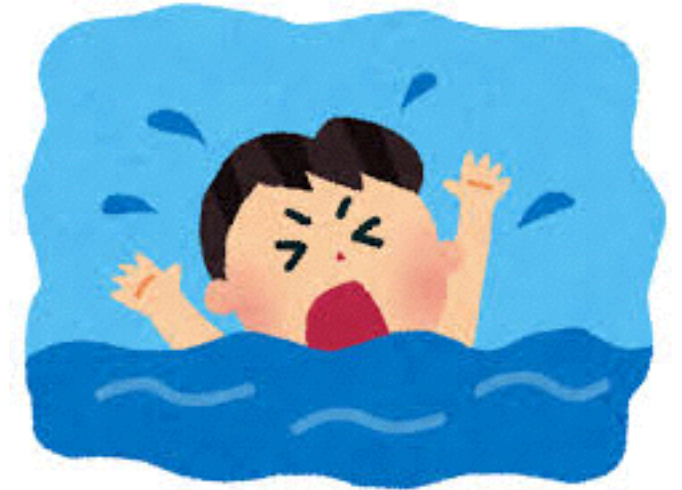
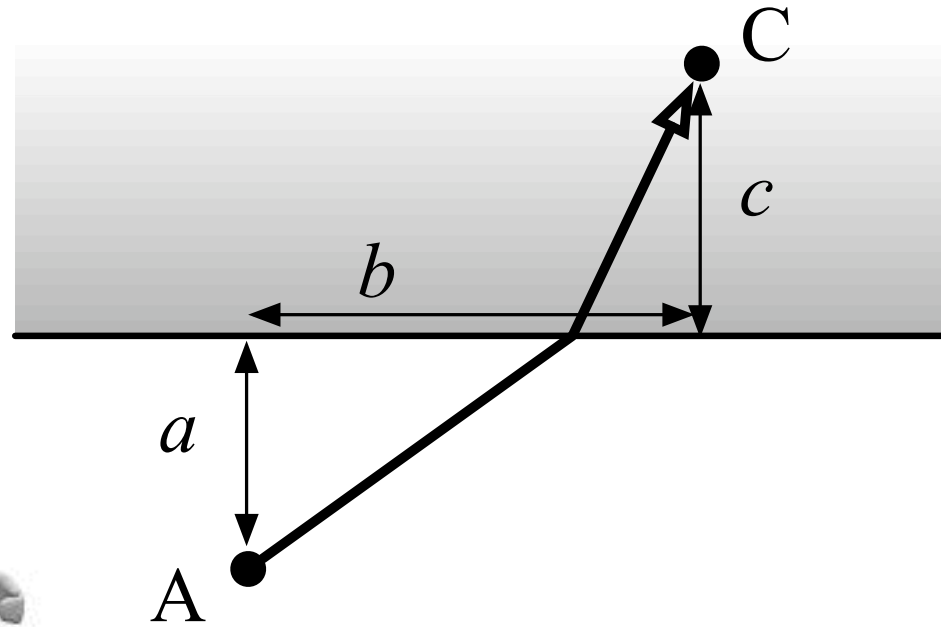


見かけの水深

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

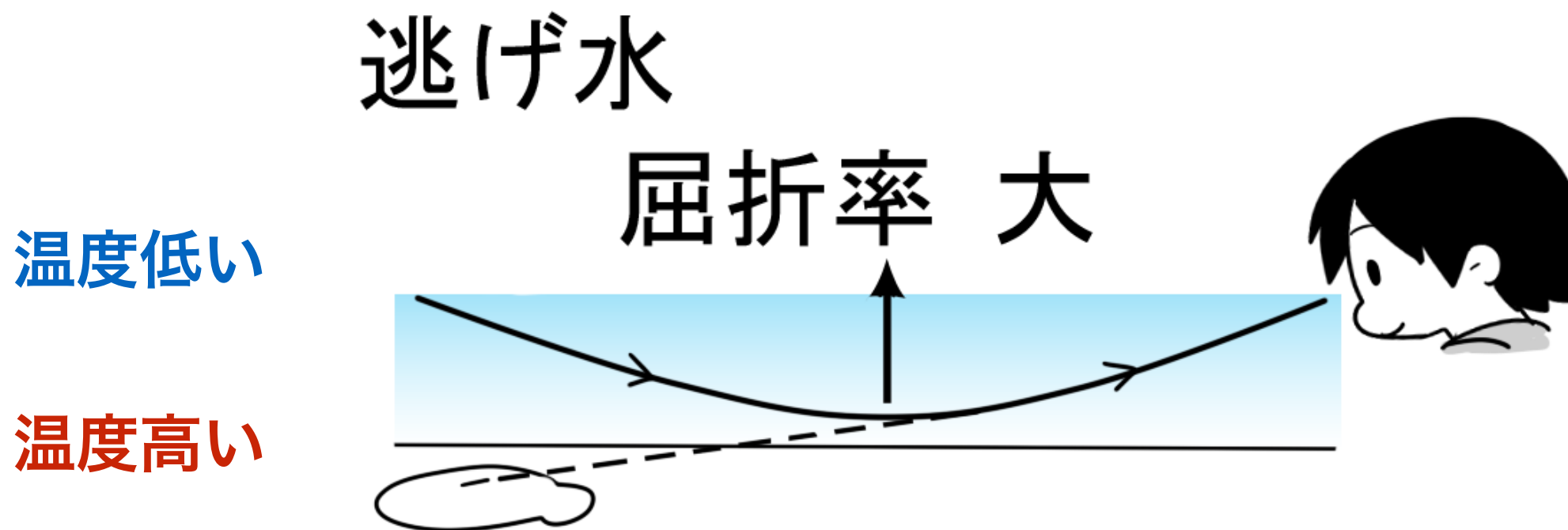
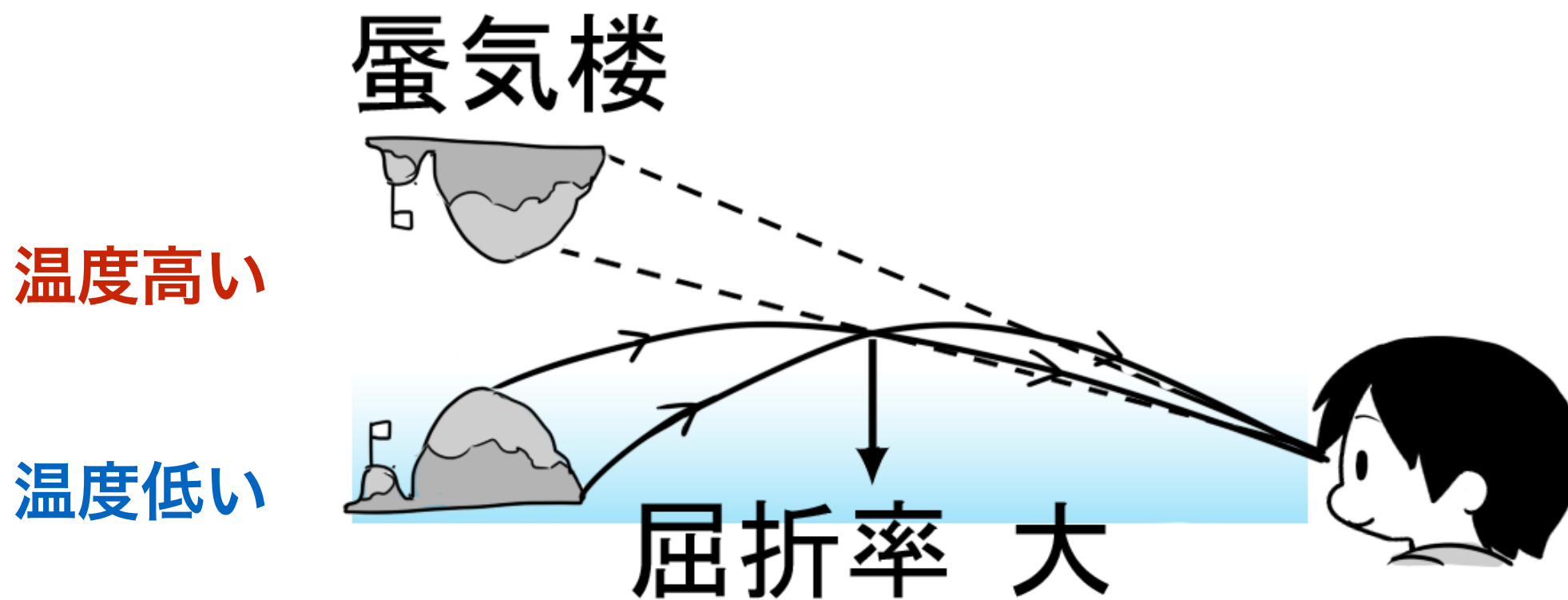


最小作用の原理 (フェルマーの原理)



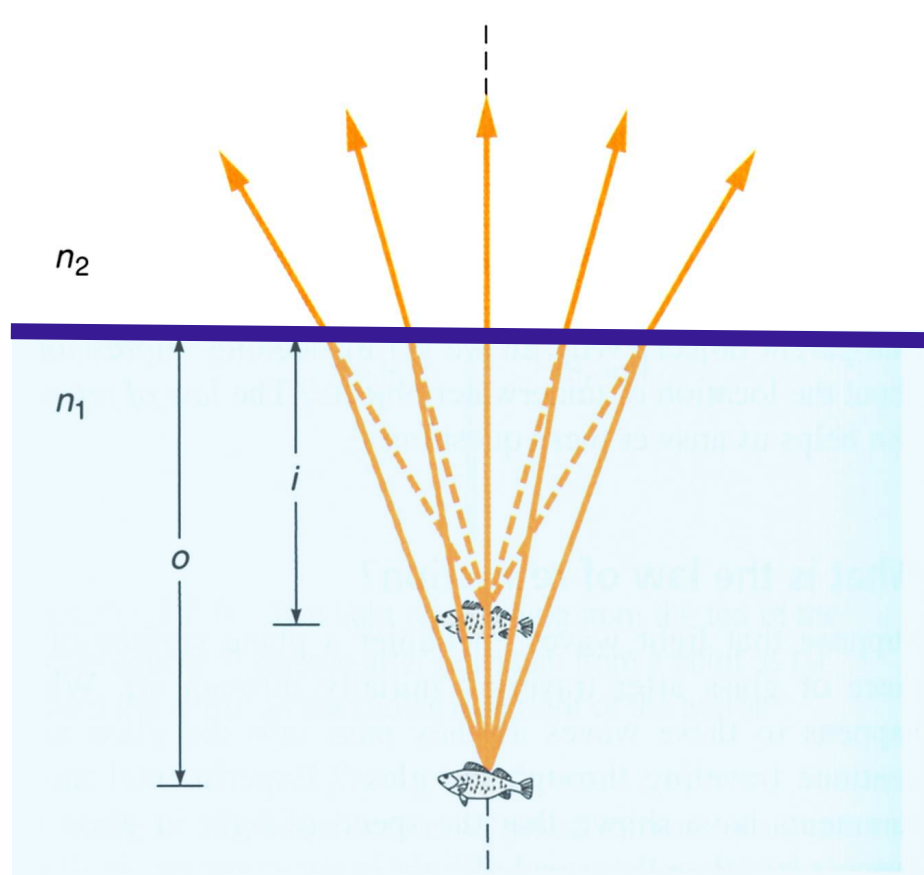
最短時間で到達する経路
= 光の経路と同じ

光の屈折 (温度が高いと屈折率が下がる)



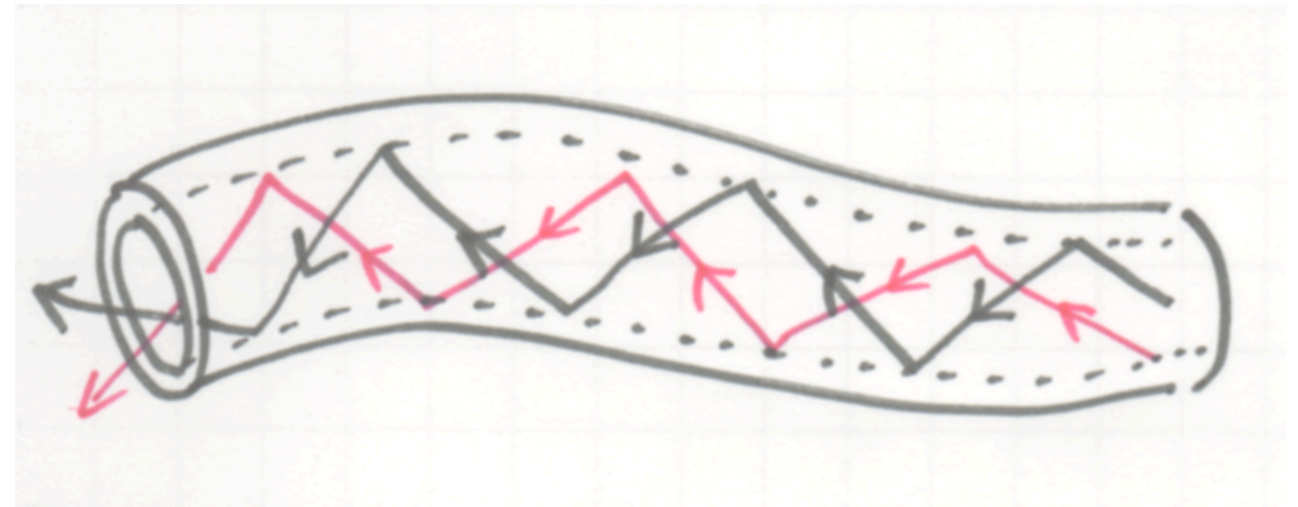
全反射

魚眼レンズ



2009年7月22日 福江善氏撮影

光ファイバー



節約? 引越? スマホ?
だったら eO光

eO光は お客様満足度 No.1

節約? スマホ? だったらeO光♪

テレビと一緒に フレッツ光。

The advertisement features a woman and a man pointing upwards. A TV screen displays 'TVに光 フレッツ光'. The background is yellow with various logos and text.

虹



半円を描く主虹と副虹 (写真提供：長谷川能三氏)

虹 (rainbow)

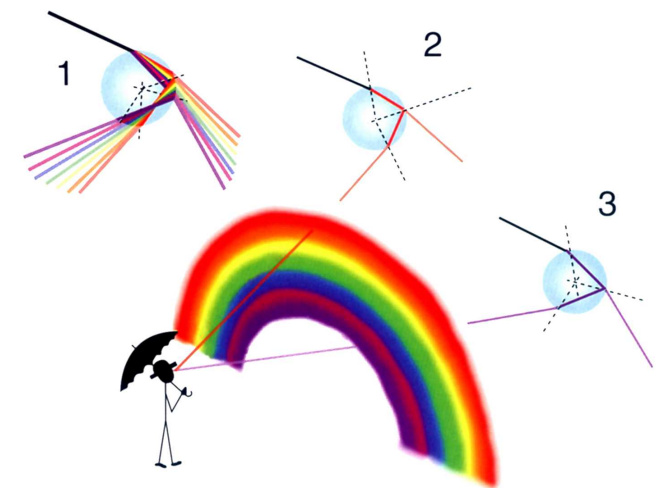
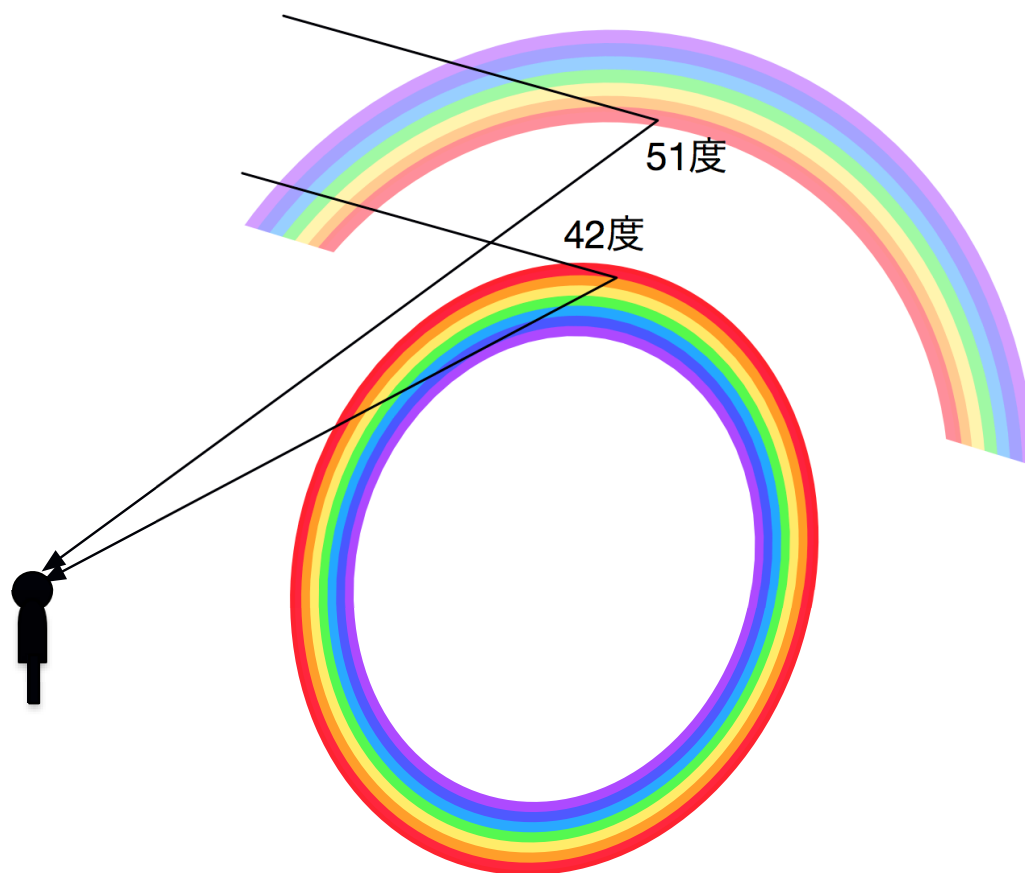
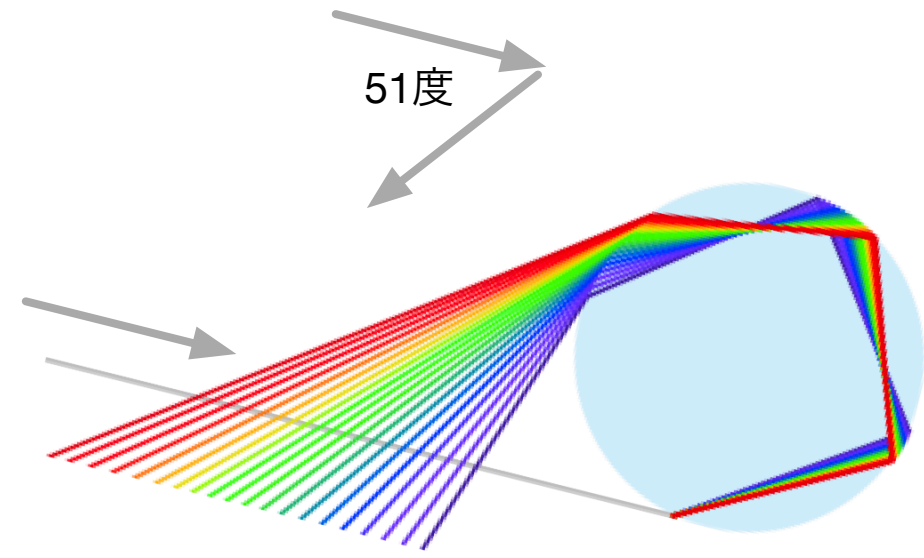
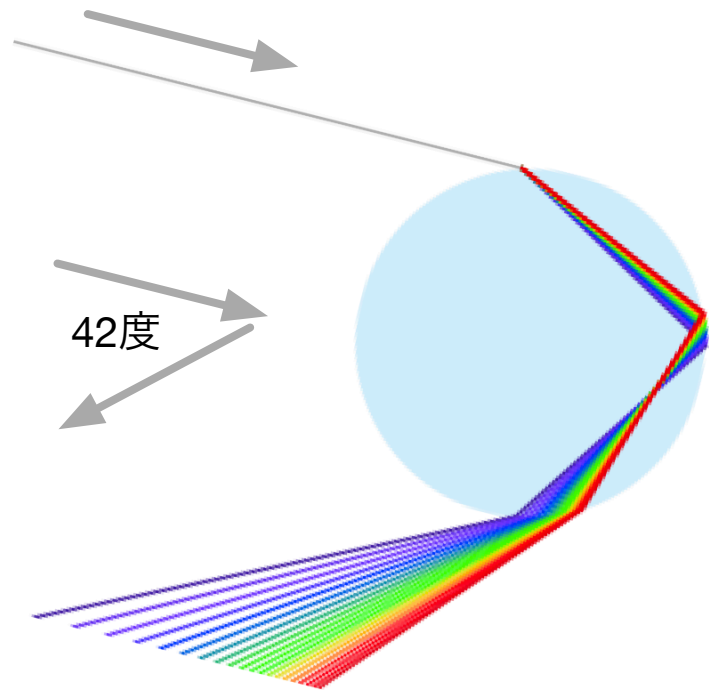
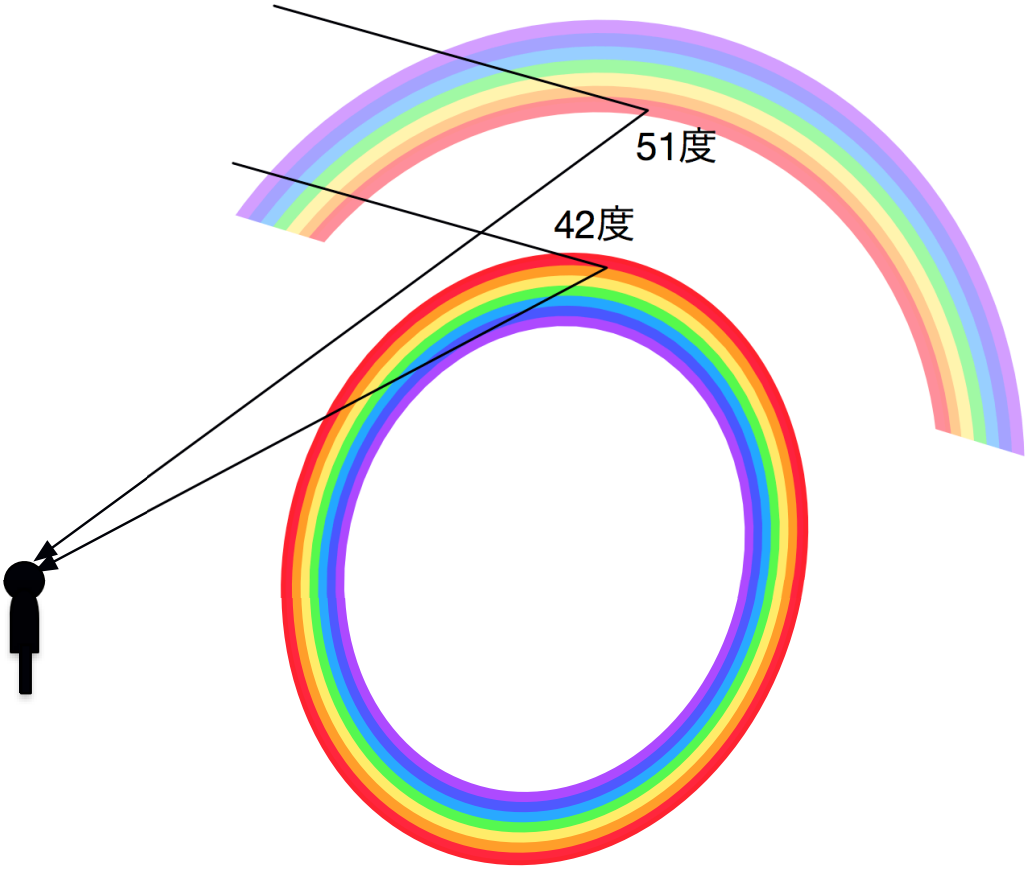


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

ブロッケン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)



虹の色は何色か？



6色の虹の壁掛け(本文75頁)



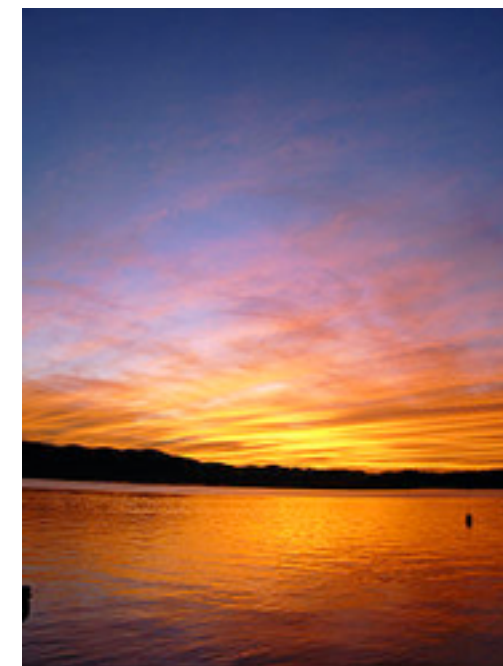
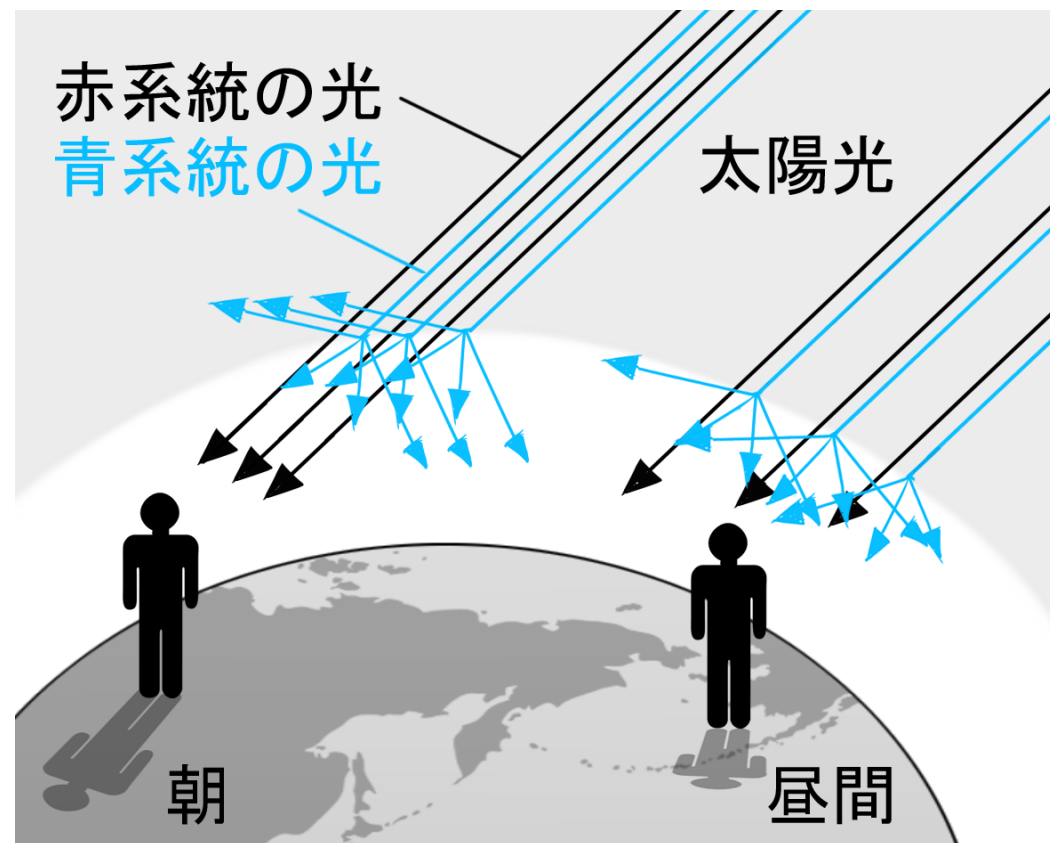
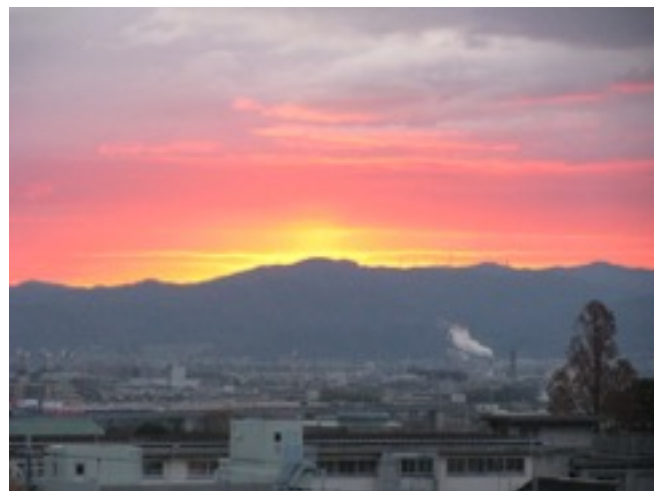
物議をかもした6色の虹の切手(下左)ほか(本文87頁,88頁,101頁)



モスクワ郊外の公園に立つ看板(本文86頁)

日本	7色	赤,	橙,	黄,	緑,	青,	藍,	紫
イギリス	6色	赤,	橙,	黄,	緑,	青,		紫
アメリカ	6色	赤,	橙,	黄,	緑,	青,		紫
ドイツ	5色	赤,		黄,	緑,	青,		紫
フランス	7色	赤,	橙,	黄,	緑,	青,	藍,	紫

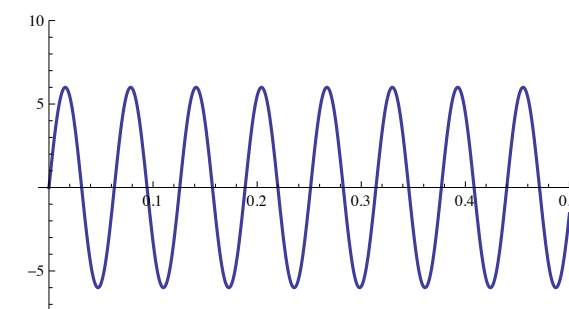
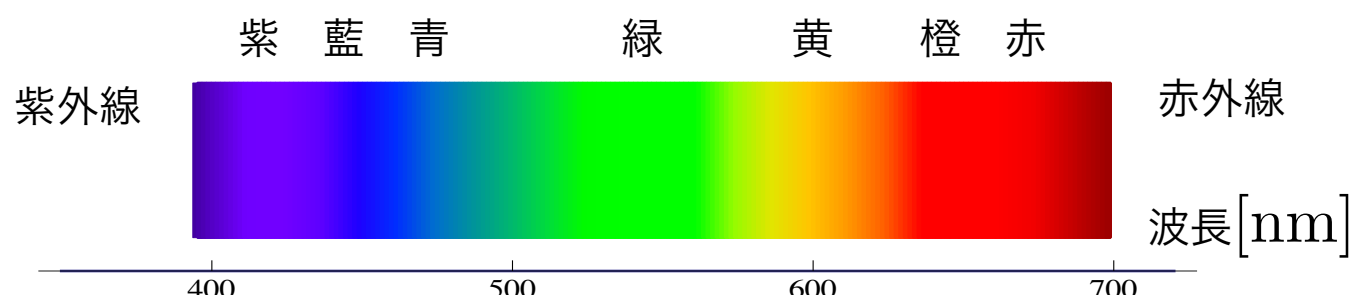
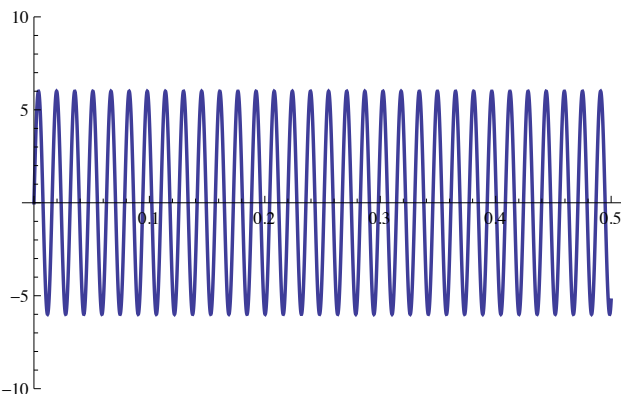
朝焼け・夕焼け なぜ赤い？



レイリー散乱 (Rayleigh scattering)

光の波長よりも小さな物体（窒素分子，酸素分子）で散乱を受ける。

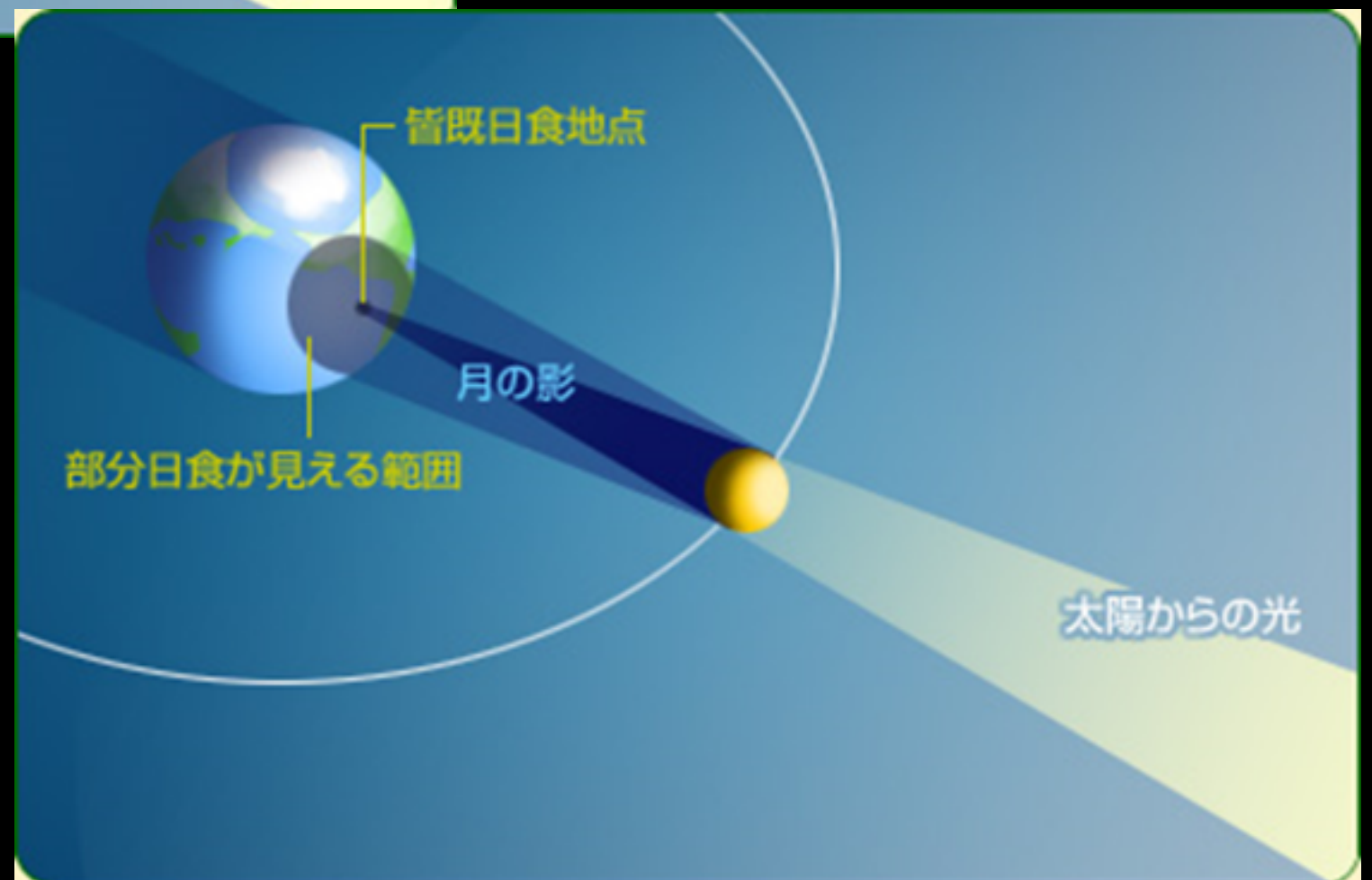
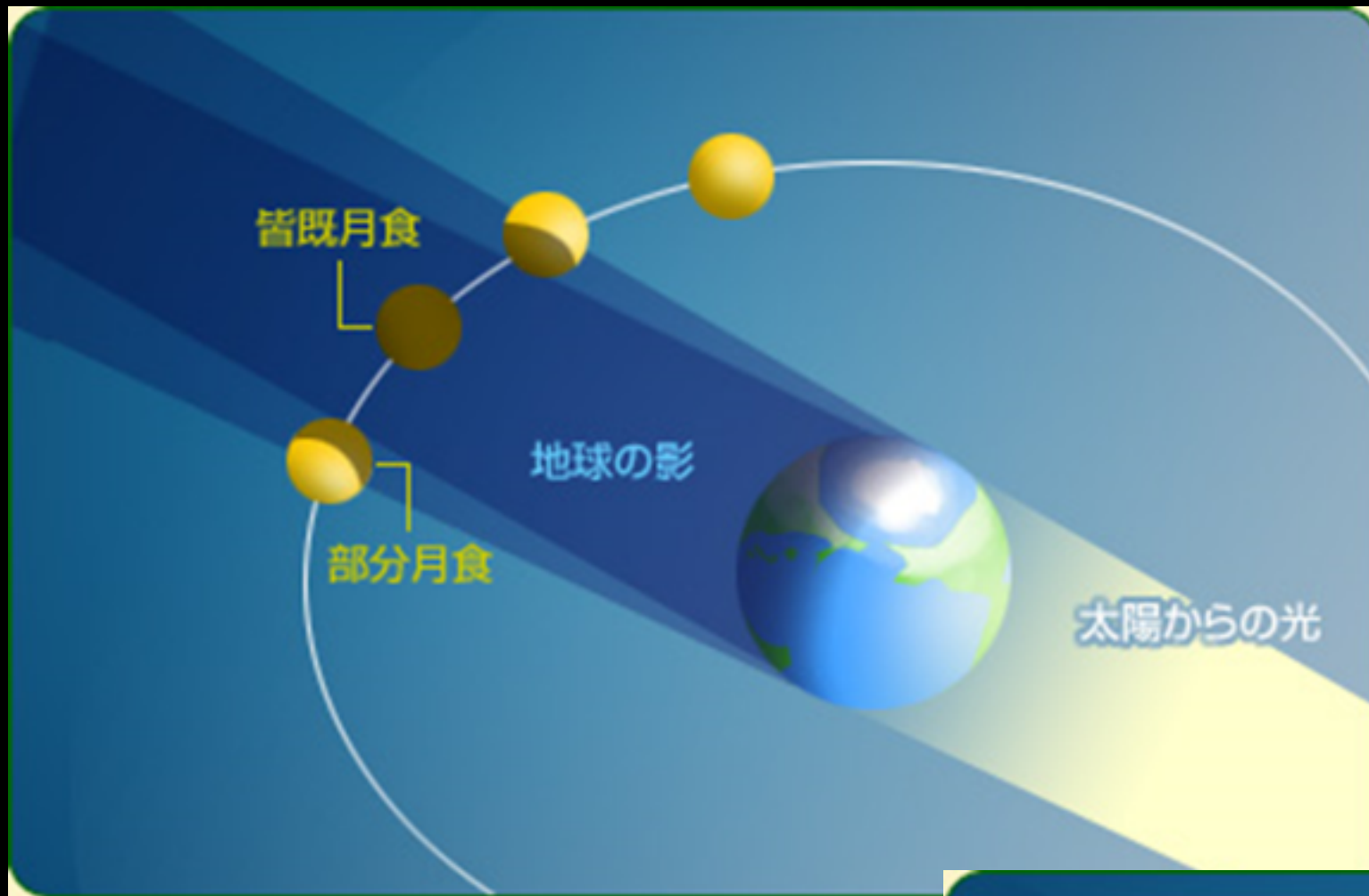
散乱する量は，波長の4乗に反比例するので，**青い光は赤い光の5倍強く散乱する**



昼間は，青い光の散乱を見上げるので，青い空

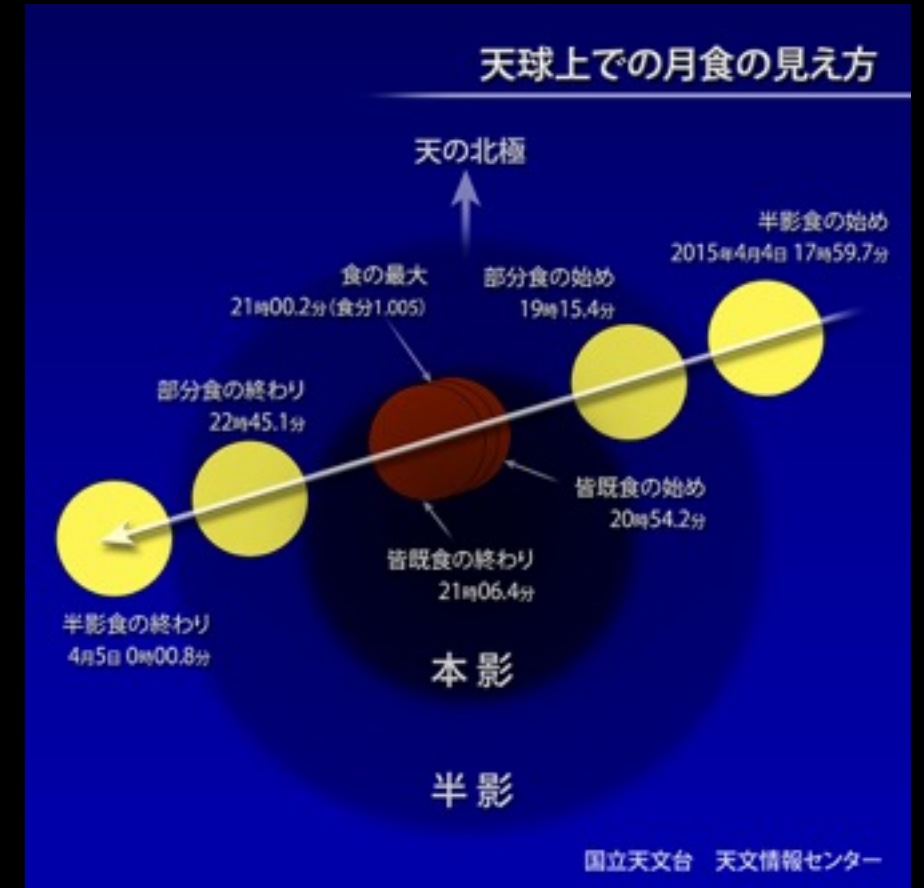
朝夕は，青い光の成分が散乱されて届かないので，白-青=赤い空

月食のしくみ



日食のしくみ

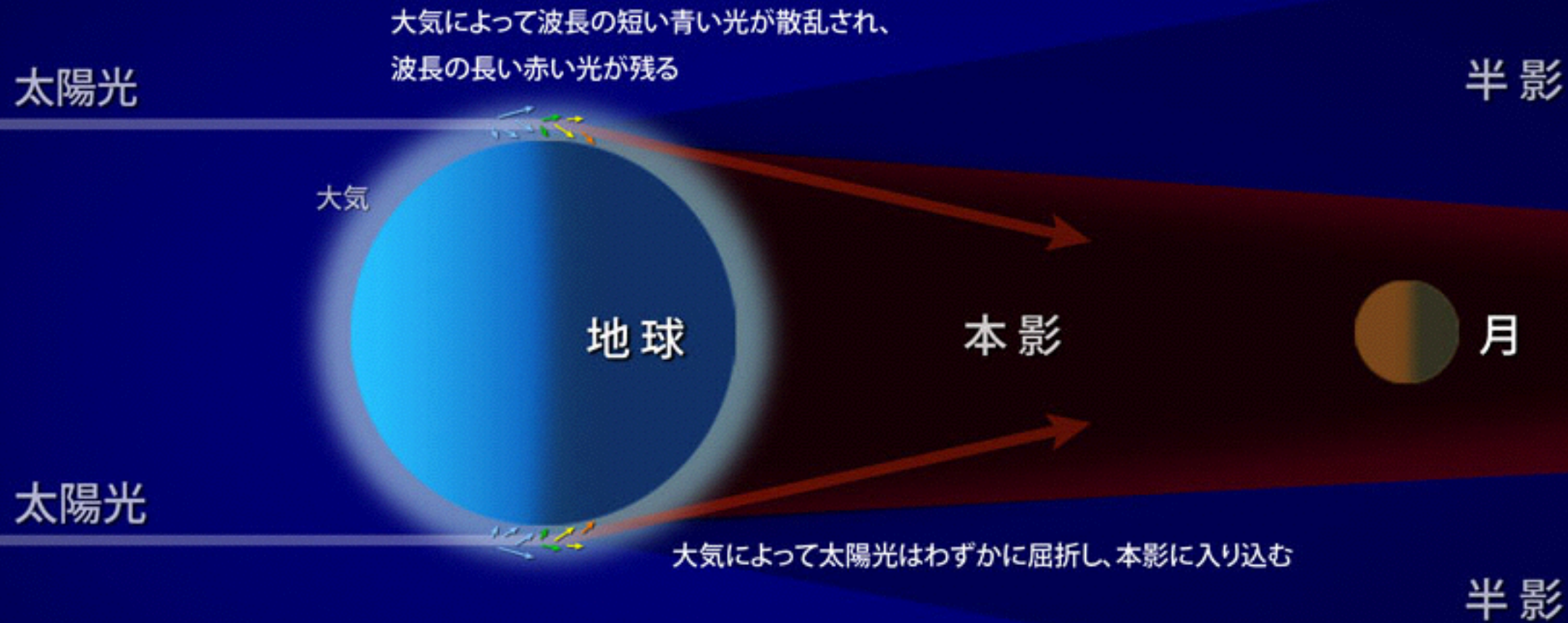
2015年4月4日 の皆既月食



19時15分 部分食の始め
 20時54分 皆既食の始め
 21時00分 食の最大
 21時06分 皆既食の終わり
 22時45分 部分食の終わり

★皆既月食になると、
 月が赤く見えるのはなぜ？

★皆既月食になると、月が赤く見えるのはなぜ？



皆既中の月が赤く見える理由

これは説明図であり、実際の距離や大きさとは異なります。

皆既月食を使って食糧を手に入れたコロンブス



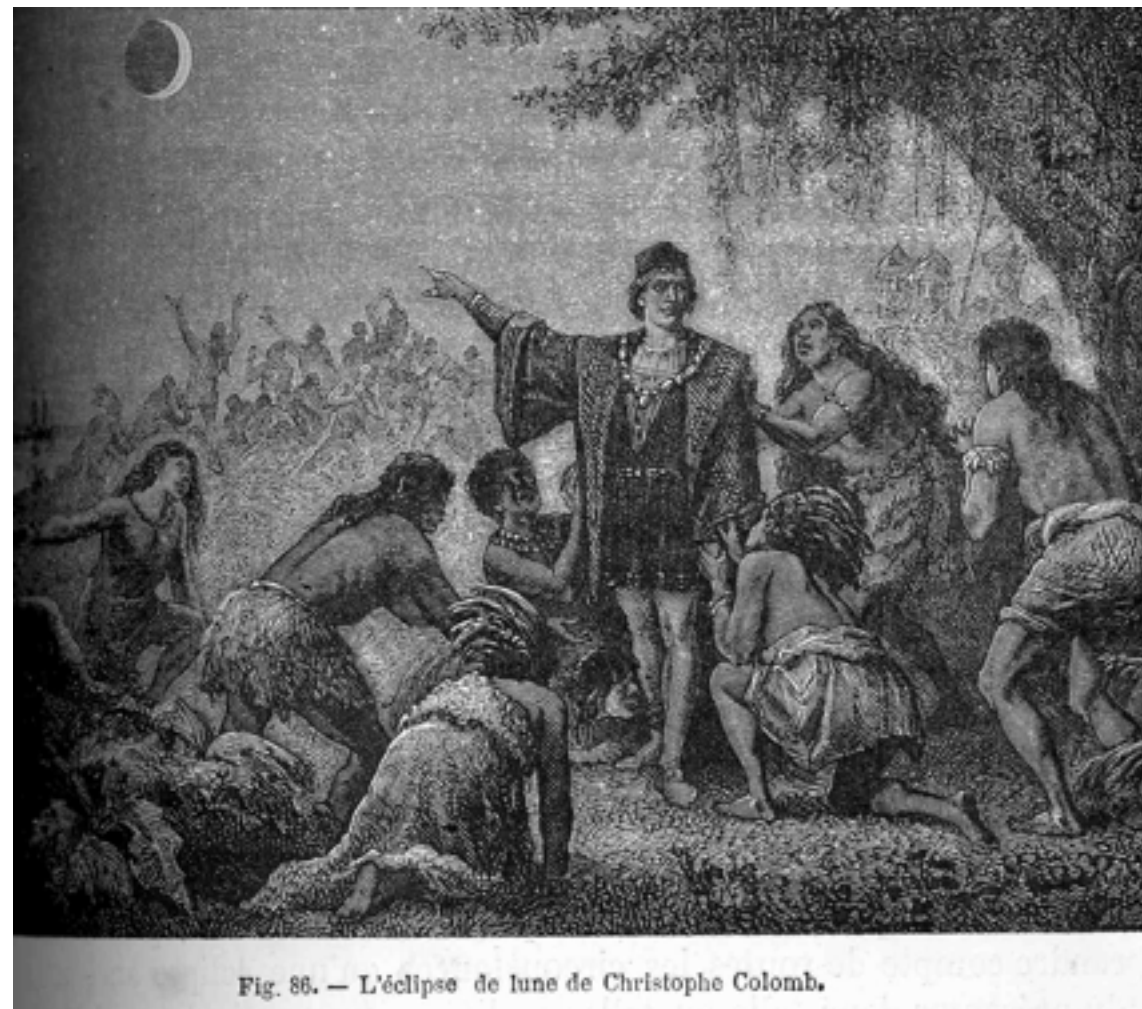
クリストファー・コロンブス
(1451-1506)

4回目のアメリカ探検

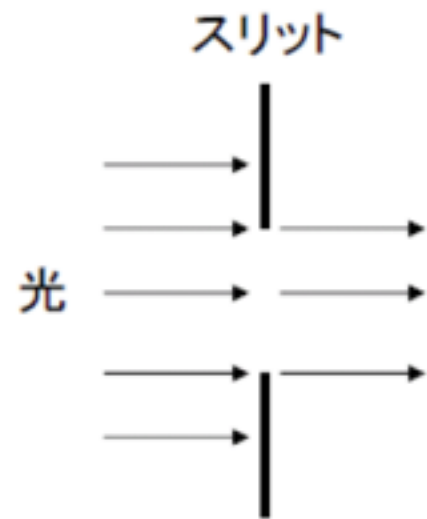
船員の振る舞いが悪く，原住民が食糧配給をやめた。

1504年3月1日の皆既月食を利用

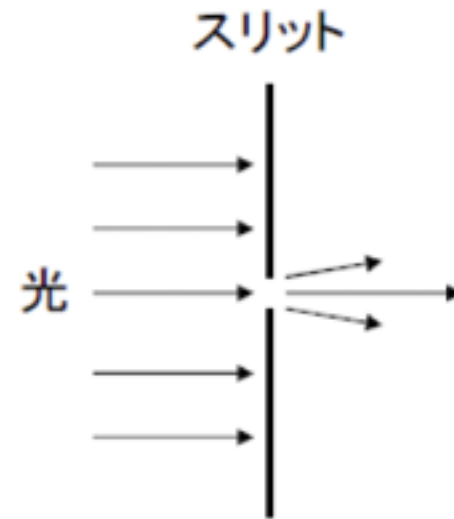
「月が血のように赤くなれば，君たちの行いに対して，
神様が怒っている証拠だ」



光の回折と干渉



スリットの幅が広い場合

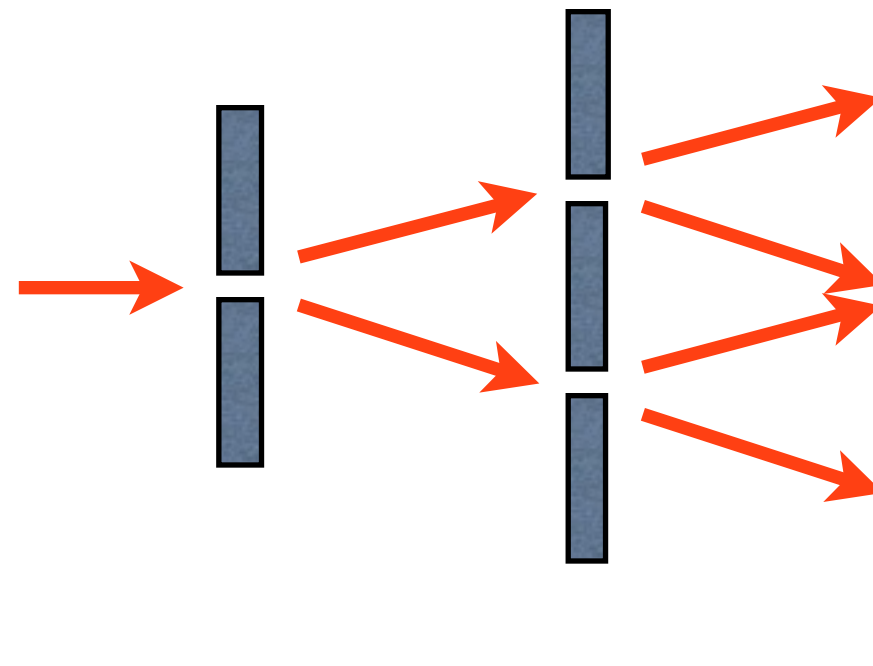


スリットの幅が狭い場合

狭いスリットを
通ると回折する

図3 光の回折

2重スリットを
通ると??



スクリーン

光の2重スリット実験

■光の干渉（2重スリット）

光は波であるので、音や水の波と同様、干渉して、強め合ったり弱め合ったりする。2つのスリットを通った光は回折し、スリットから同心円状に広がっていく。2つのスリットからの距離に応じて、光の波の山と山が重ね合うときは強め合い（光り）、山と谷が重なるところでは弱め合う（暗くなる）。結果として暗線がみえることになる。干渉条件は75ページで説明したことがそのまま成立する。

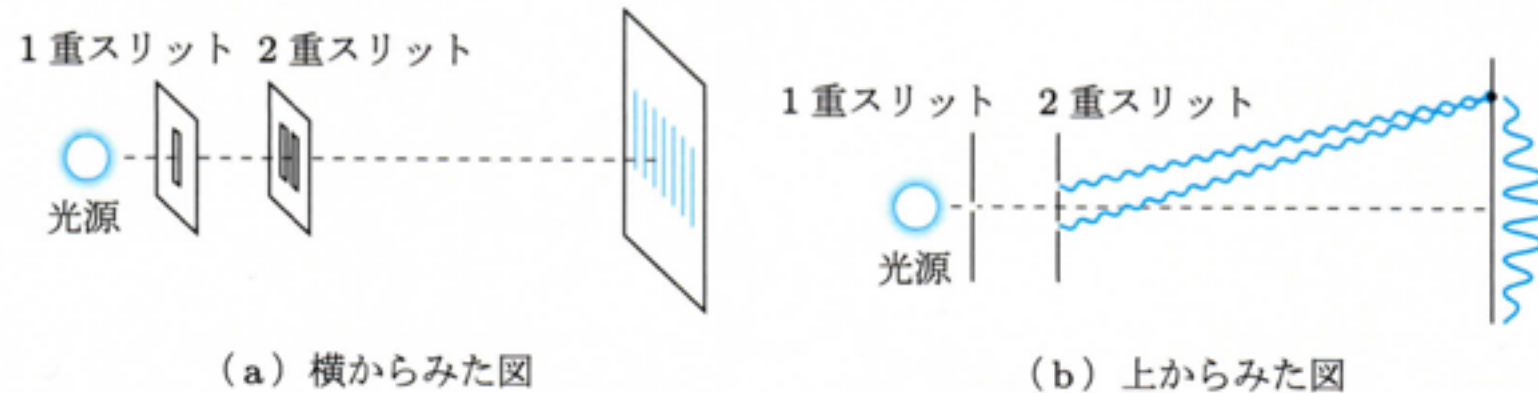


図 23: 光の2重スリット実験（ヤングの干渉実験）。

光の2重スリット実験

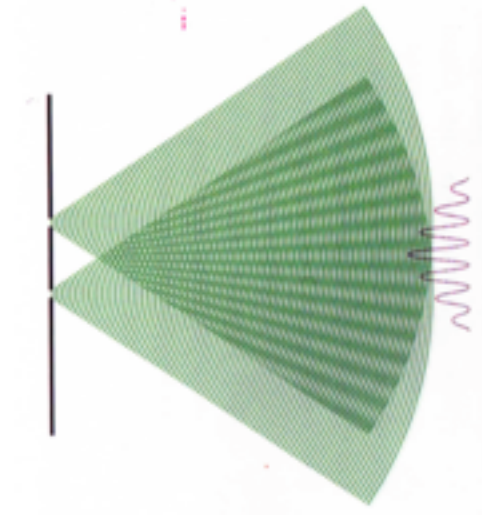


図 22: 2重スリットからの光の干渉。

回折格子： 回折＋干渉で分光

多重のスリットをつくる。（実際には，1 cmあたり400～10,000本程度の割合で溝を等間隔に刻んだ回折格子をつくる）

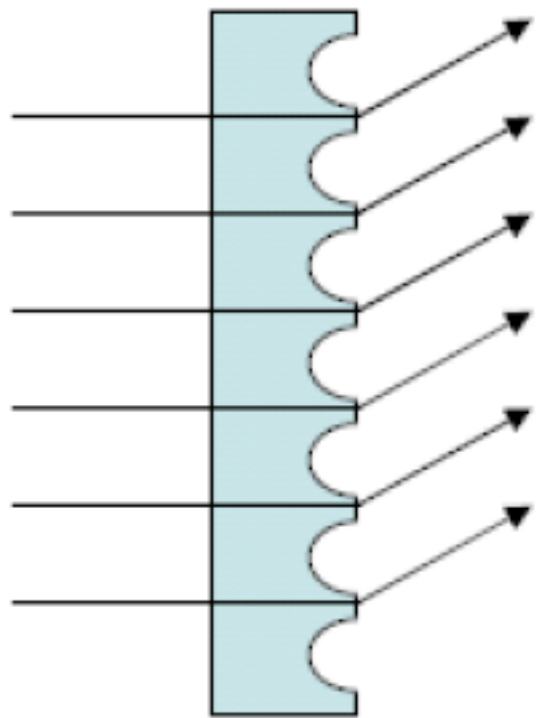


図 6 回折格子

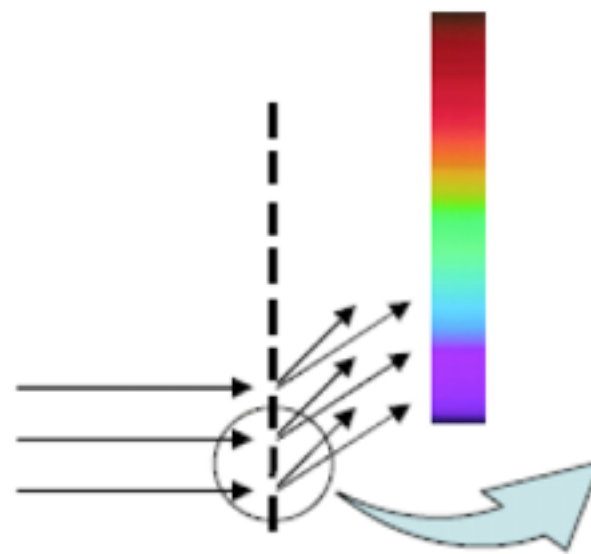
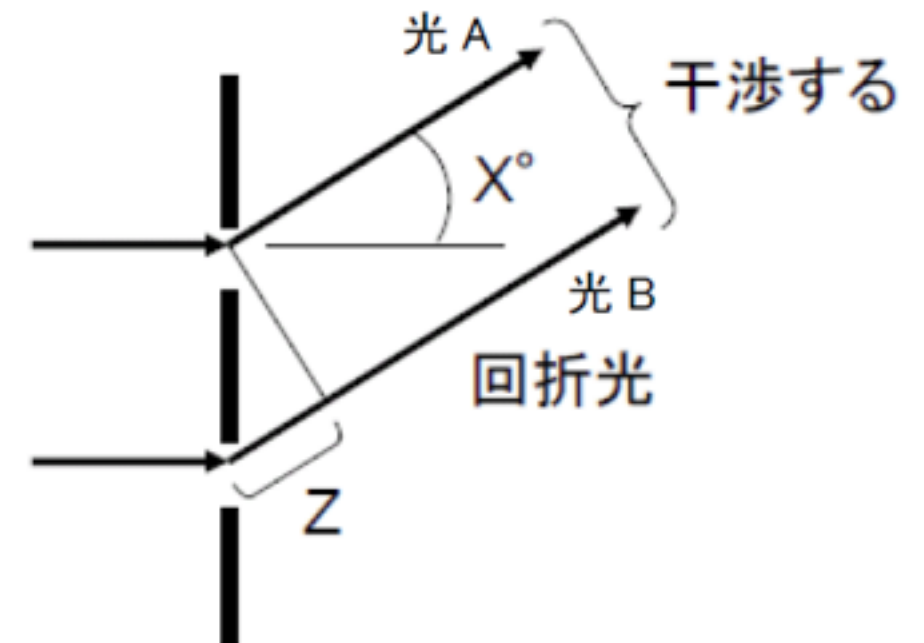


図 5 回折格子による分光の原理



回折して干渉する

→ → 干渉するかどうかは波長できまる。

→ → 角度によって，強めあう光の色がちがう。 **分光する**

分光シート

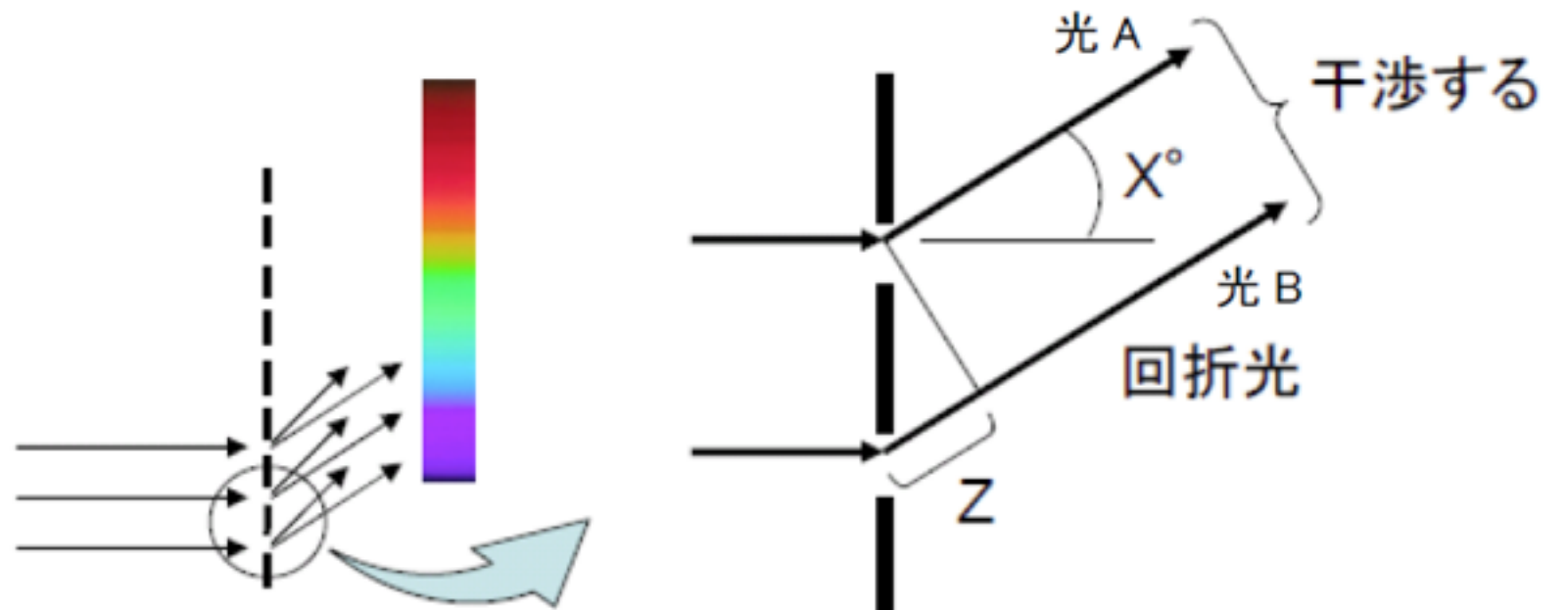
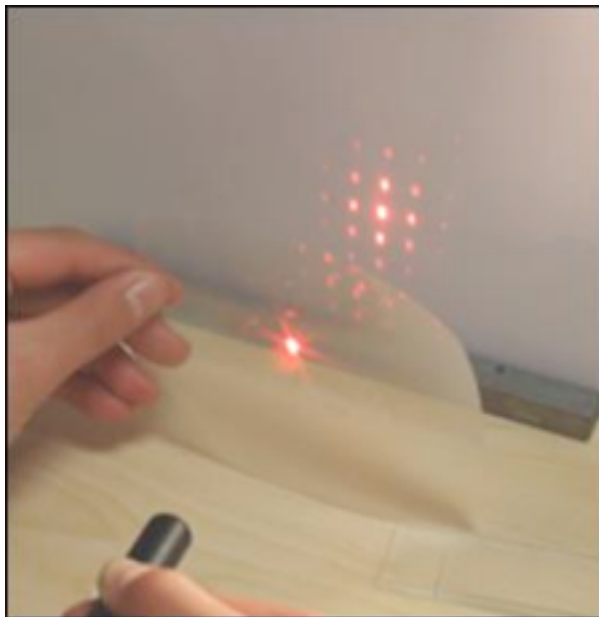
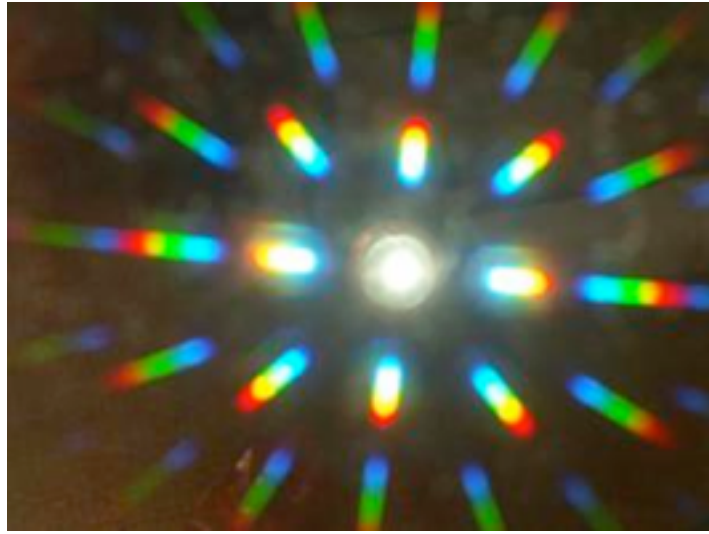


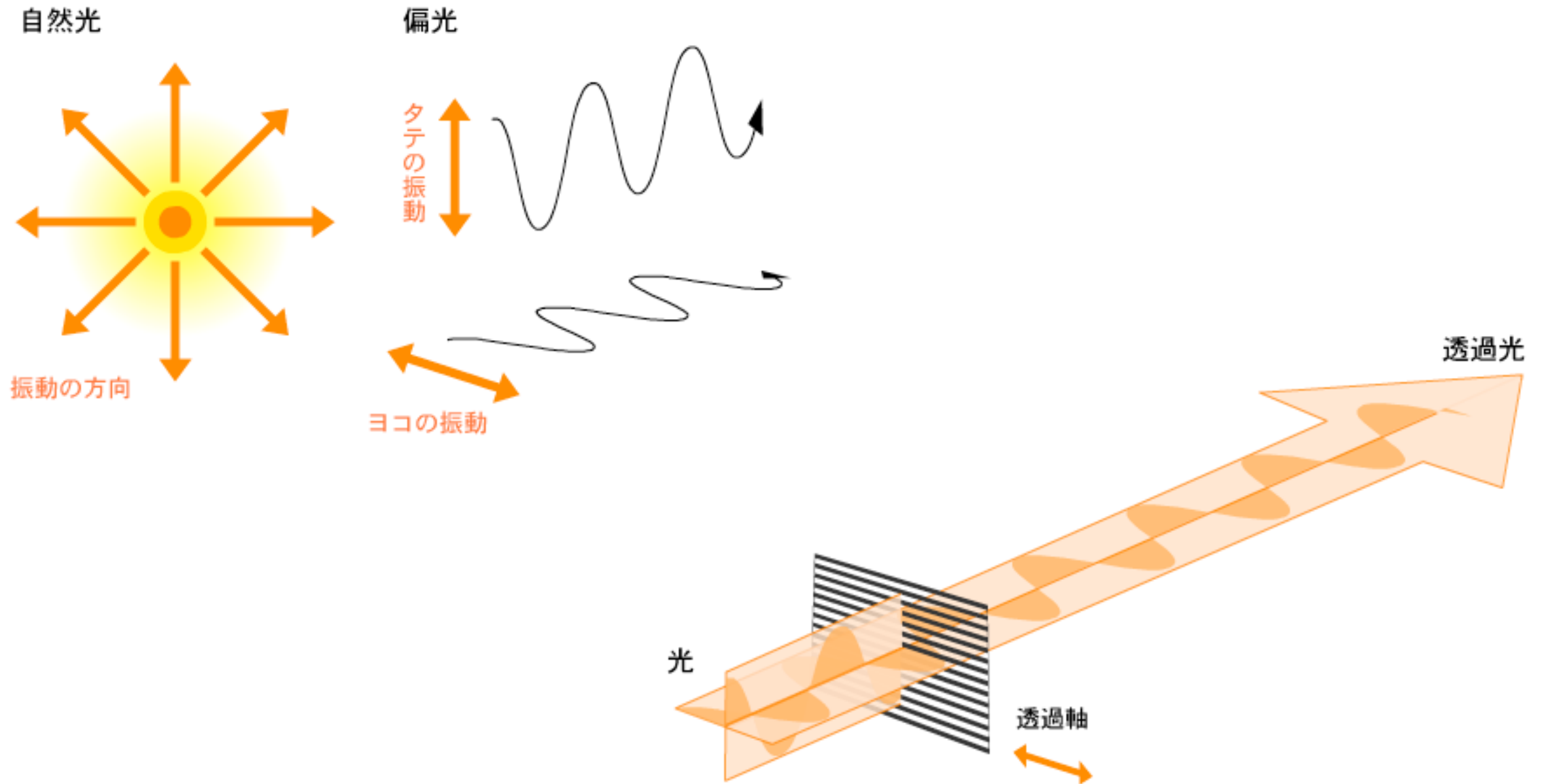
図 5 回折格子による分光の原理

回折して干渉する

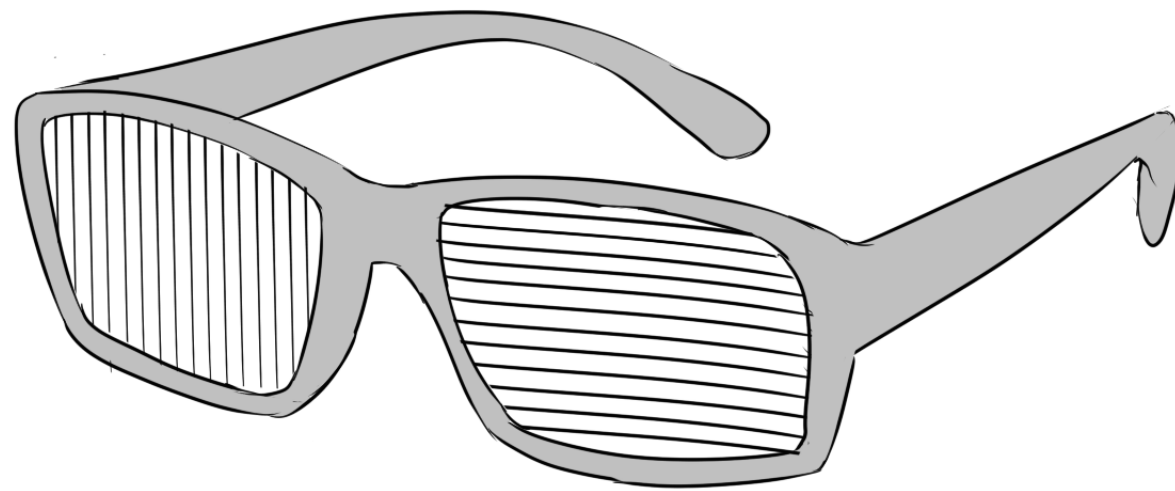
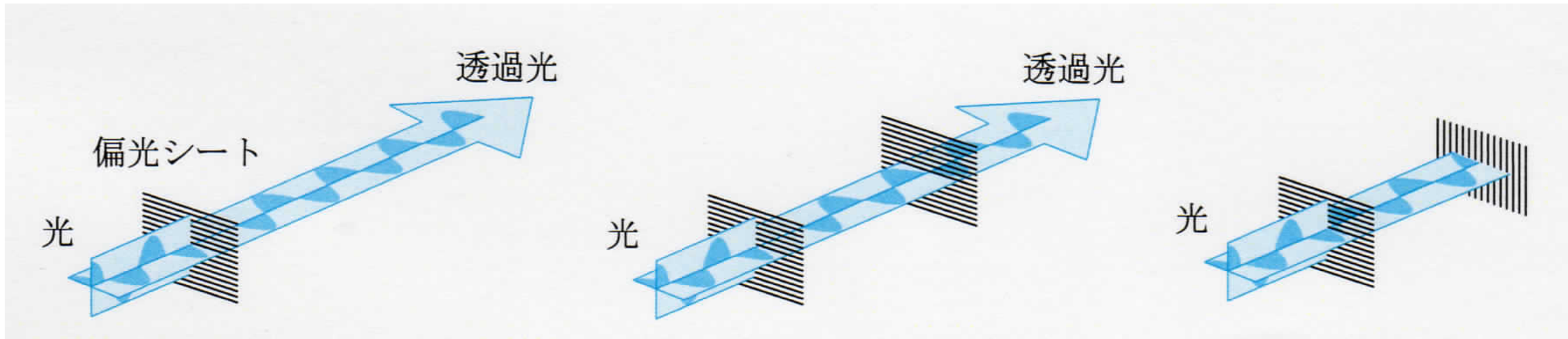
→ → 干渉するかどうかは波長できまる。

→ → 角度によって、強めあう光の色がちがう。 **分光する**

光は横波である



光は横波である 偏光板で確かめよう



凸レンズによる像

positive lens

平行光線は焦点Fに集まる

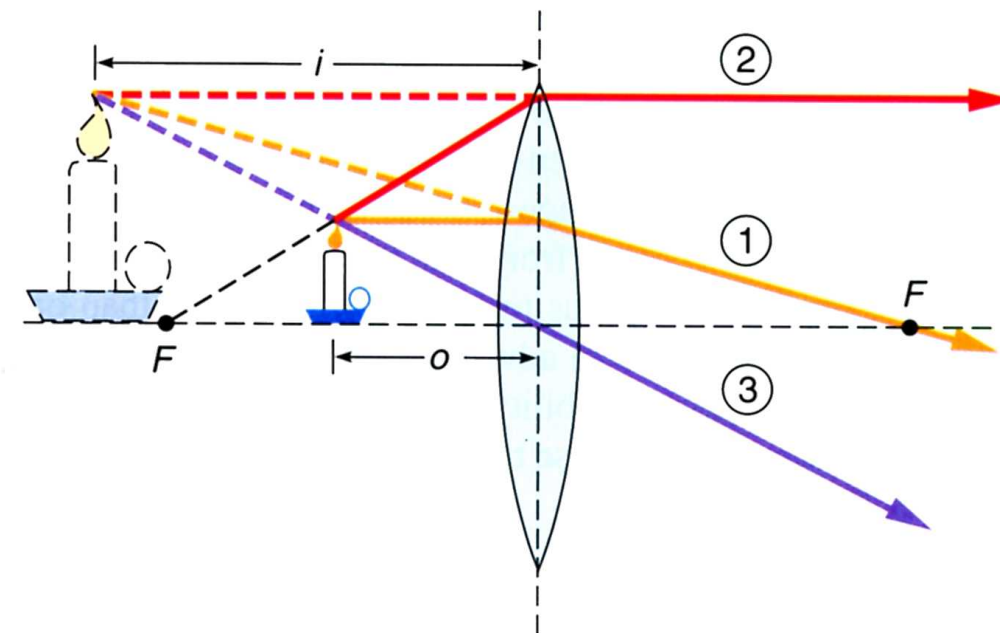
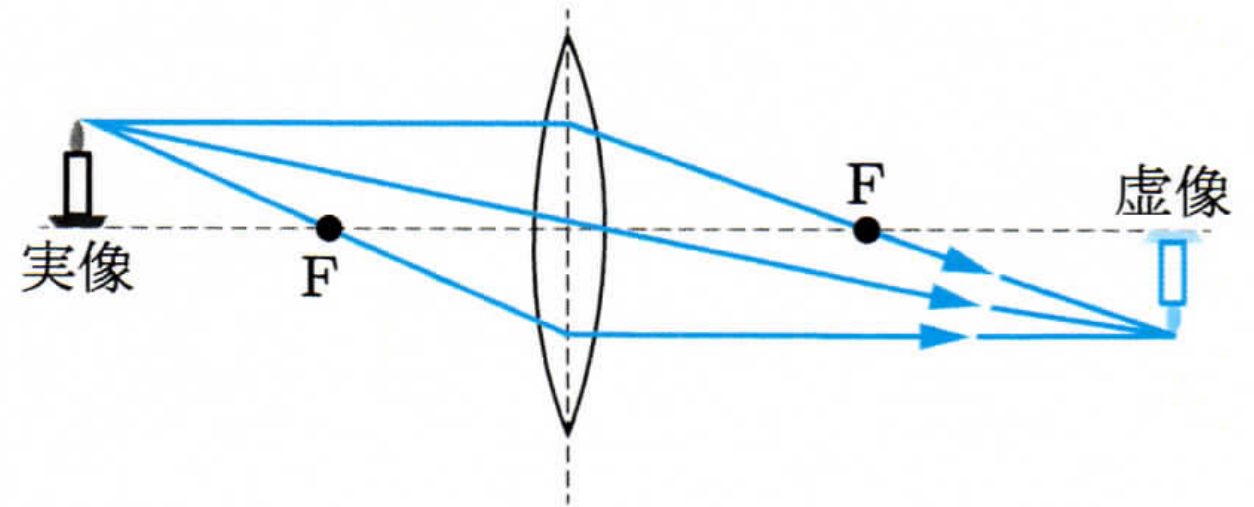
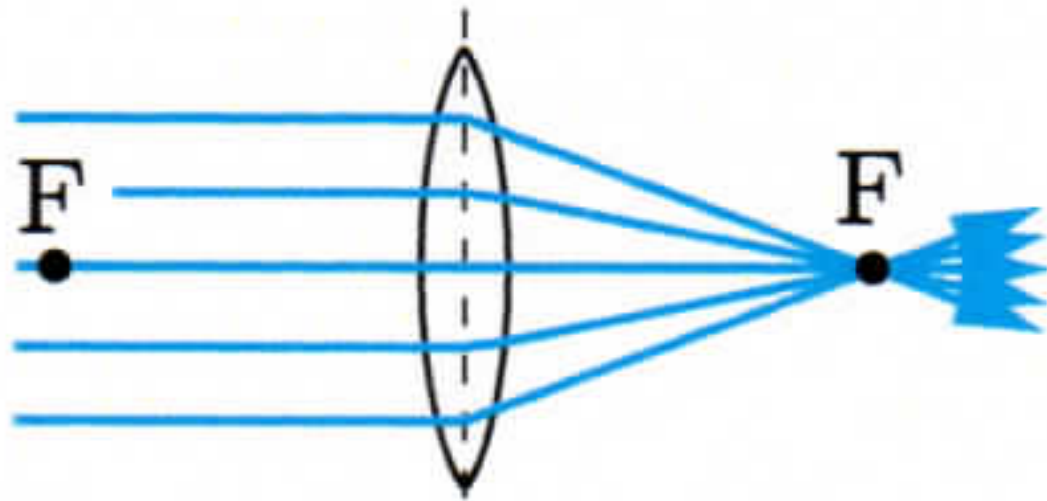
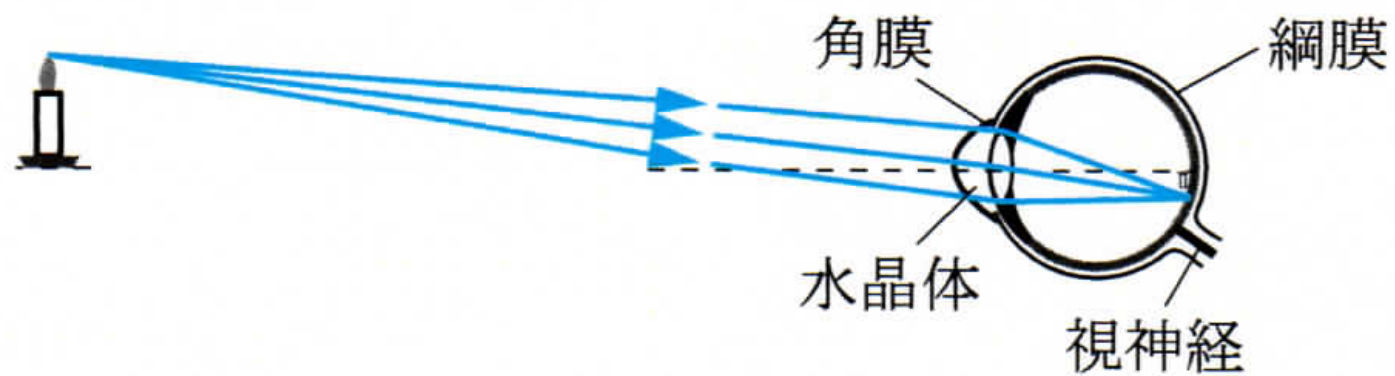
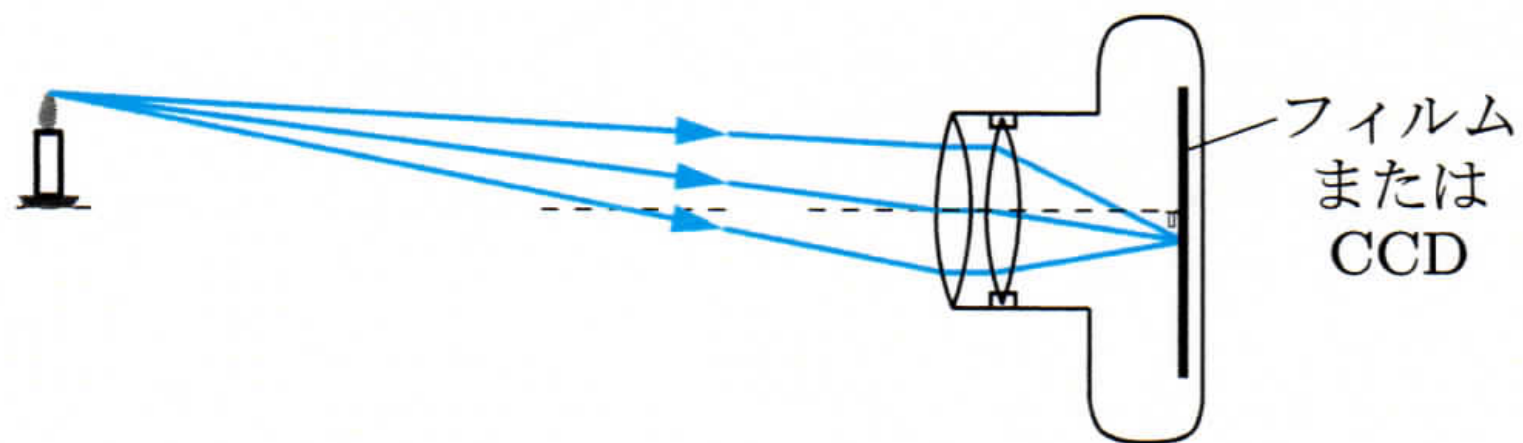


figure 17.17 A magnified virtual image is formed when the object lies inside the focal point of a positive lens. The emerging light rays appear to diverge from a point behind the object.

凸レンズによる像 カメラ・望遠鏡

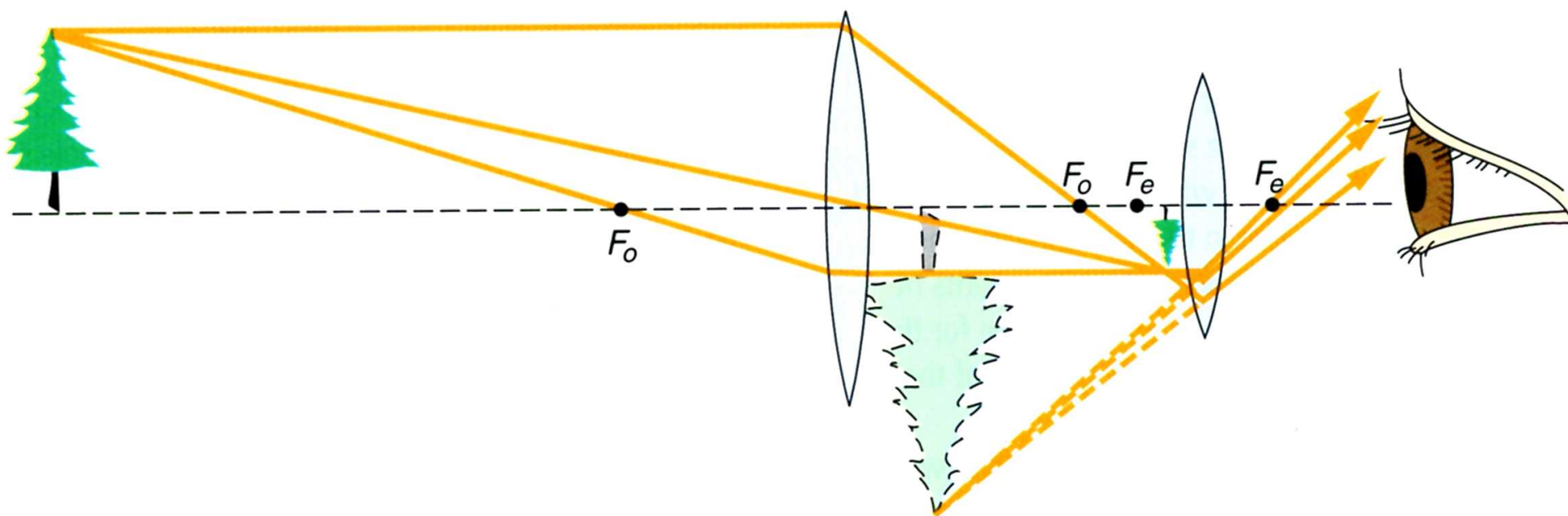


(b) 人間の目



対物レンズ
object lens

接眼レンズ
eyepiece



凹レンズによる像

negative lens

平行光線は焦点Fに光源があるかのように広がる

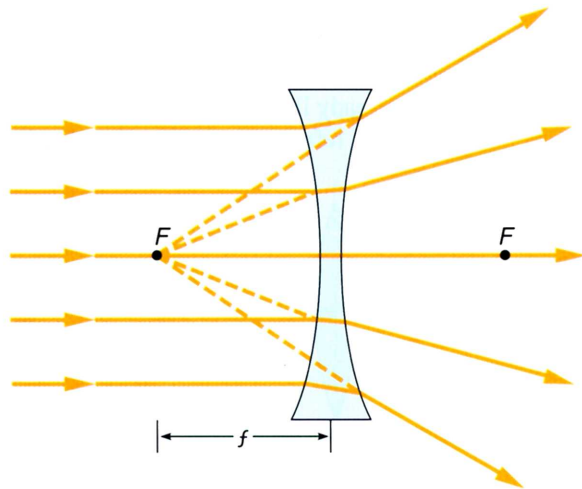


figure 17.18 Light rays traveling parallel to the axis are bent away from the axis by a negative lens so that they appear to diverge from a common focal point F .

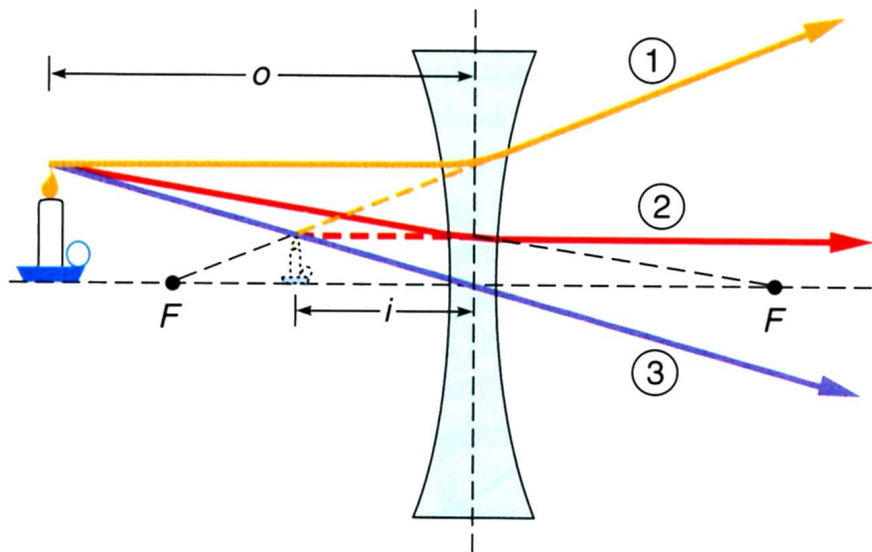


figure 17.19 Three rays are traced from the top of an object to locate the image formed by a negative lens. The virtual, upright image lies on the same side of the lens as the object and is reduced in size.

凹面鏡による像

concave mirror

平行光線は焦点Fに集まる

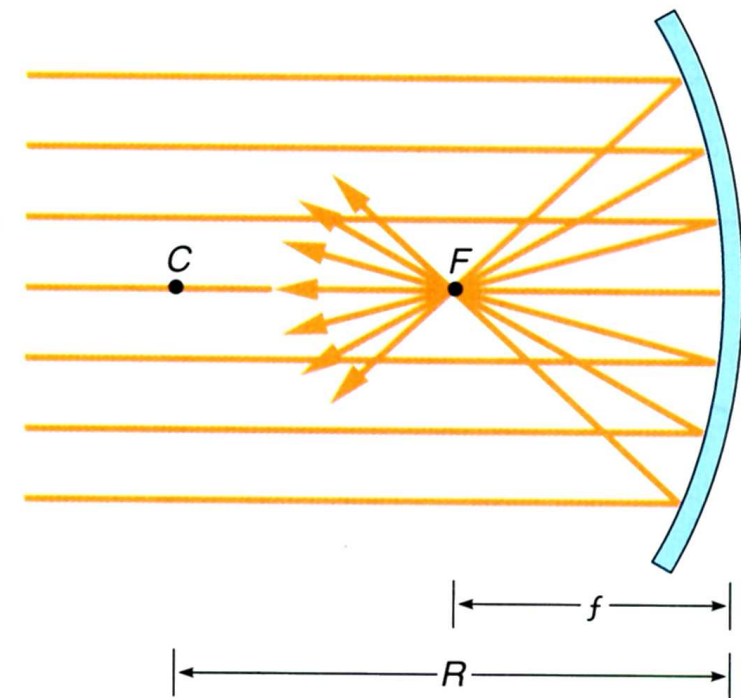


figure 17.20 Light rays approaching a spherical concave mirror traveling parallel to the axis are reflected so that they all pass approximately through a common focal point F . The focal length f is half the radius of curvature R .

凹面鏡による像

concave mirror

平行光線は焦点Fに集まる

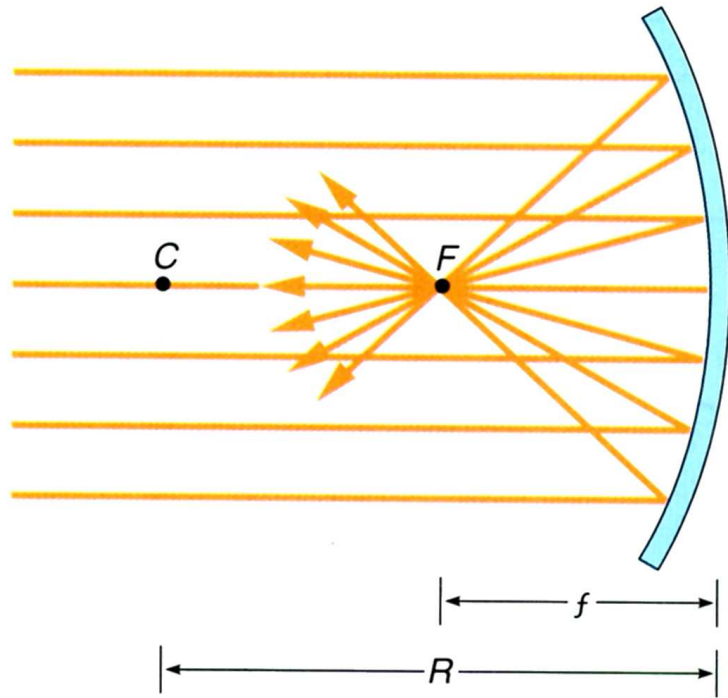


figure 17.20 Light rays approaching a spherical concave mirror traveling parallel to the axis are reflected so that they all pass approximately through a common focal point F . The focal length f is half the radius of curvature R .

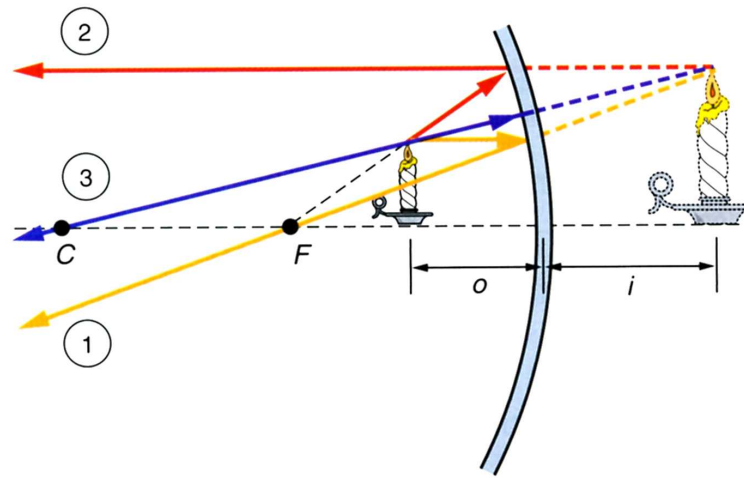


figure 17.21 Three rays are traced from the top of the candle placed in front of the mirror. Extending the reflected rays backward locates the top of the image behind the mirror.

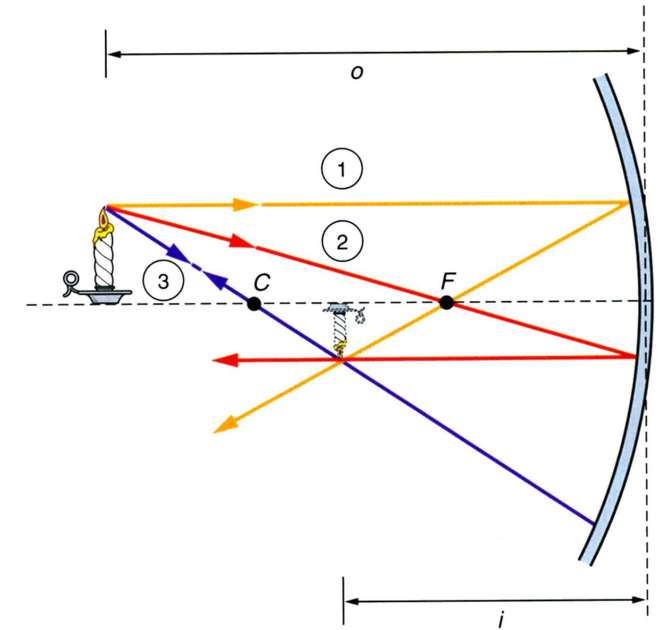


figure 17.22 Light rays coming from an object located beyond the focal point of a concave mirror converge to intersect in front of the mirror, forming an inverted real image.

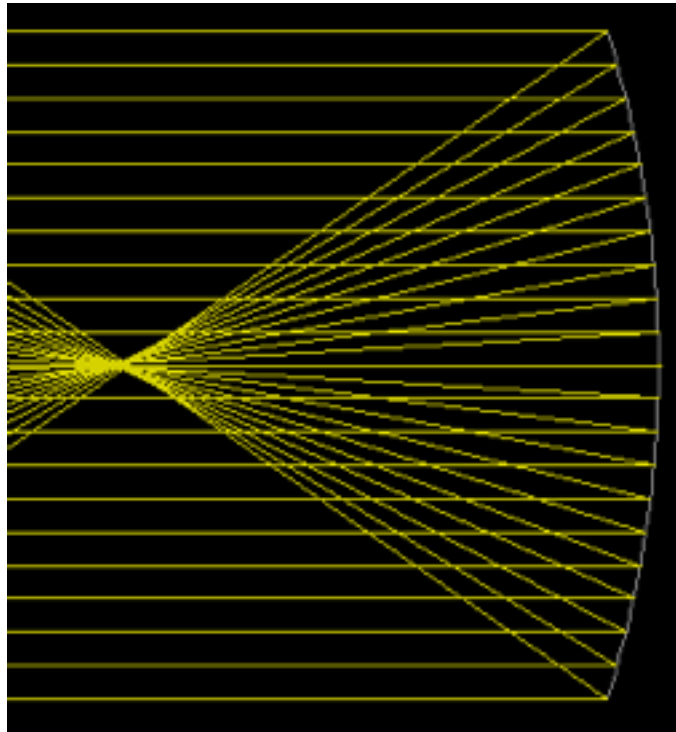


放物面鏡による像

parabolic mirror

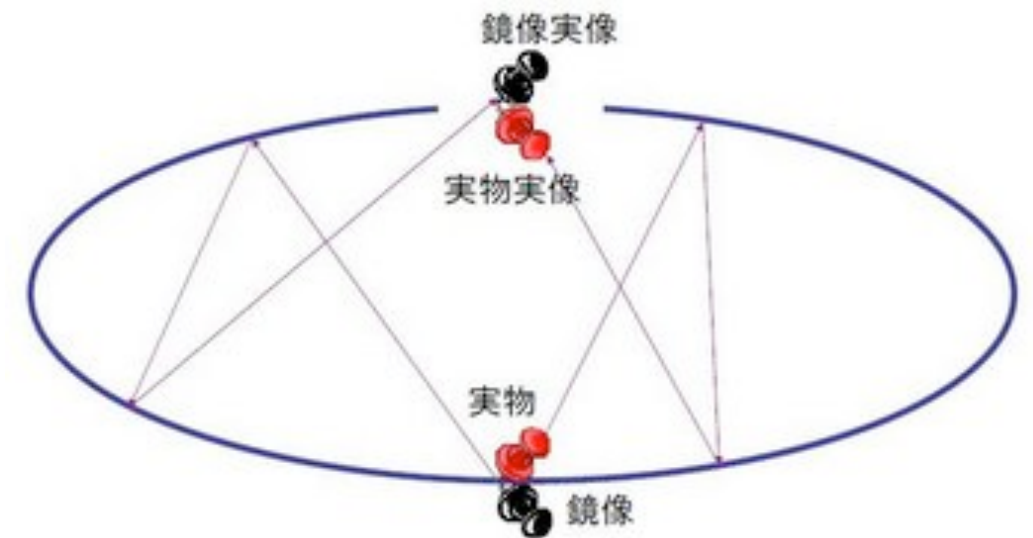
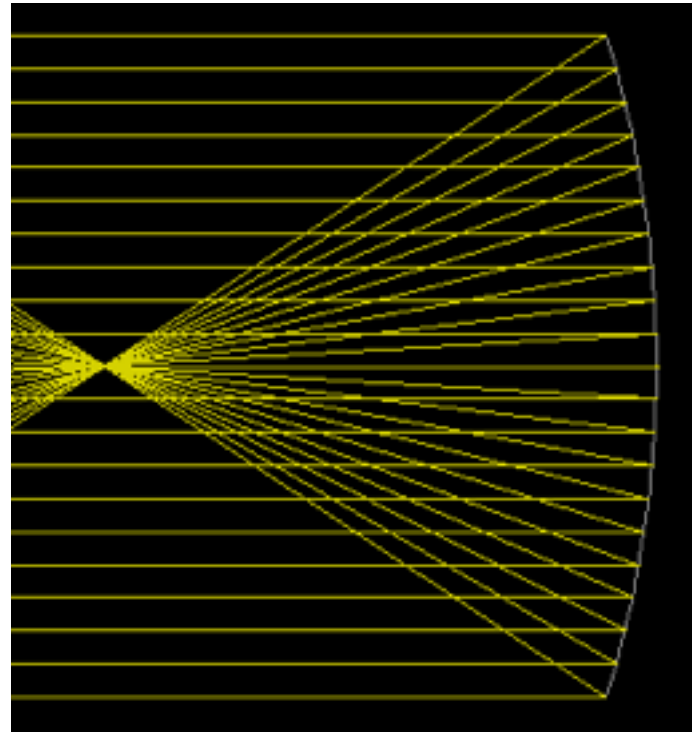
球面鏡

焦点でやや広がりをもって
光が集まる



放物面鏡

完全に1点に光が集まる



<http://www.astrophotoclub.com/hansya2.htm>



NHK 大科学実験 みんなここに集まってくる

凸面鏡による像

convex mirror

広い視野が見られる

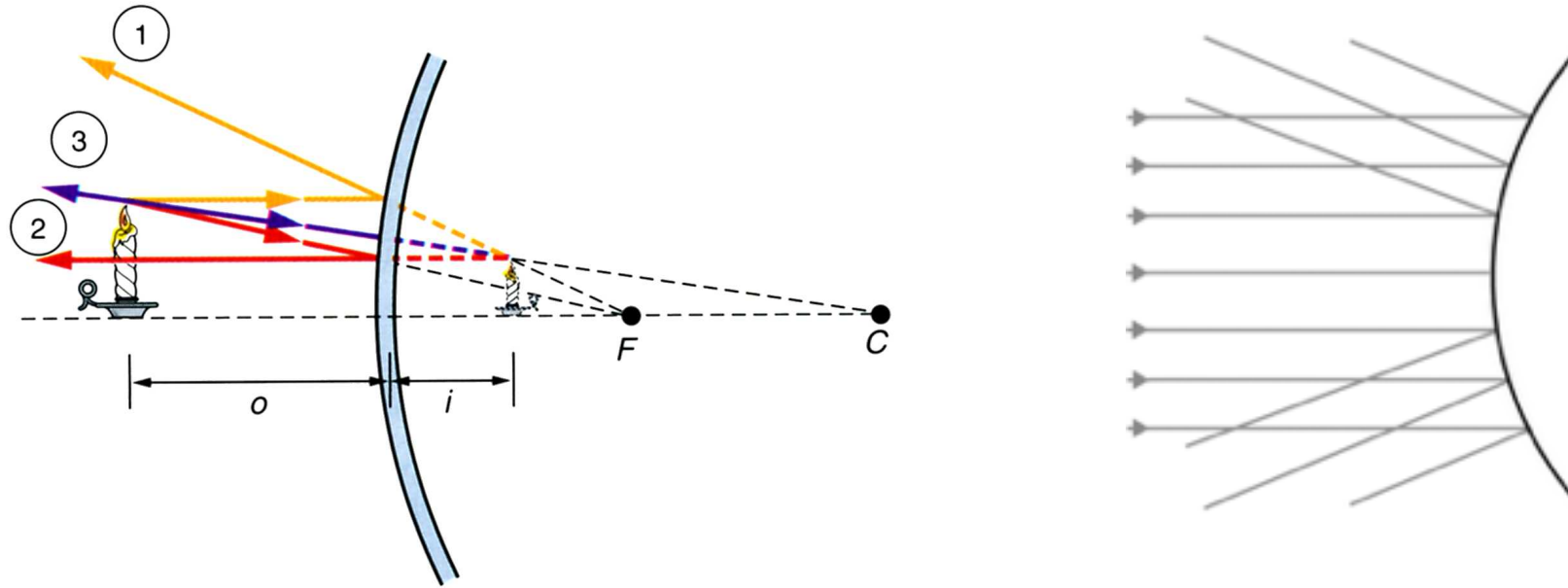


figure 17.24 Three rays are traced to locate the virtual image of an object placed in front of a convex mirror. The reflected rays diverge as though coming from the image point behind the mirror.



鏡は左右を反転するのに、どうして上下は反転しないのか？

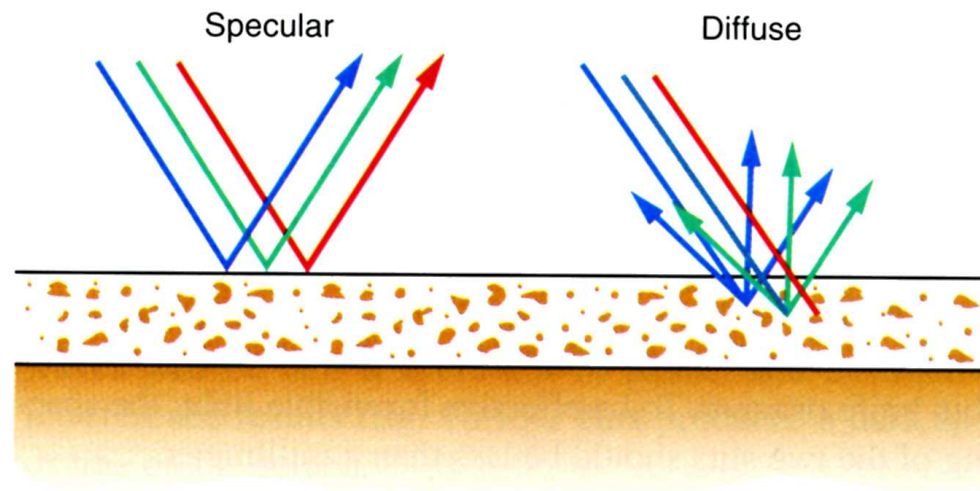
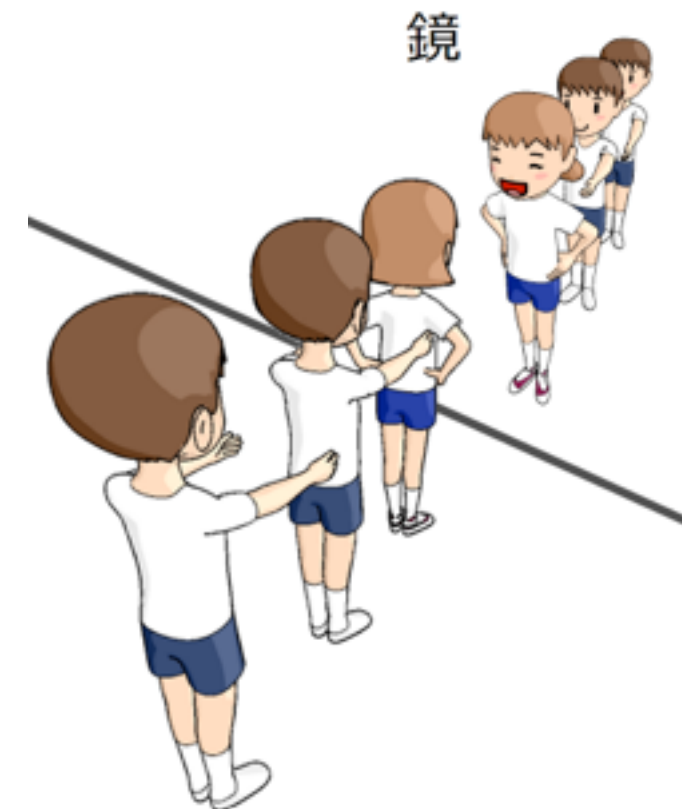
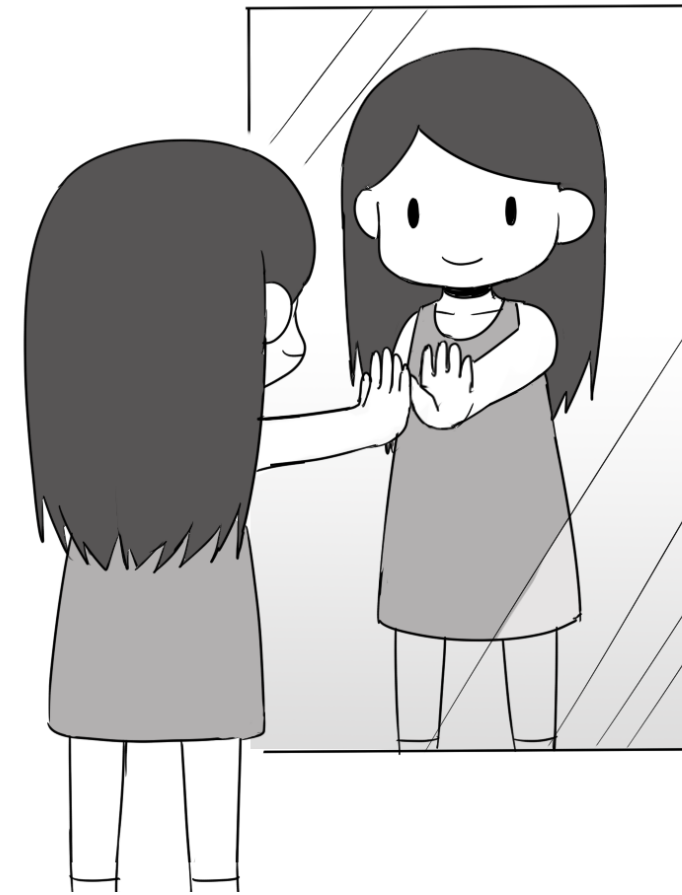


figure 16.10 Specular reflection obeys the law of reflection with all colors reflected equally. In diffuse reflection, light rays penetrate a short distance and some wavelengths are absorbed.



平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

午後は、1時30分より始めます

第 7 回 8月21日午前 光の物理——光輪の正体は丸い虹なのか

第 8 回 8月21日午後 電気製品の物理——IC カードに寿命なし

第 9 回 9 月 4 日 原子核の物理——核融合と核分裂の果て

第 10 回 9 月 18 日 タイムマシンの物理——相対性理論入門