

**第 11 回 講義内容**

2024/12/2

**お知らせ**

- 第 9 回 (11/18) にレポートを出しています。締め切りは 12 月 29 日 (日) 22:59 です。

**配布物**

- 11\_Physics\_contents.pdf このファイル Google classroom, web  
波の分野の教科書カラーページ付。
- 11\_Physics2024\_Viewgraph.pdf スライド Google classroom, web  
スライドファイルです。当日朝配布。

**講義内容 (予定)**

- §5.2 音  
サウンド技術, ドップラー効果
- §5.3 光  
3原色, 光の屈折・反射, 虹のしくみ

**本日の復習課題例**

こんなことを観たり, 調べたり, 考えてもらったら面白いかな, という程度のおまけ.

- 宇宙が膨張していることの発見
- ハイレゾ音源

**次回の予習項目**

こんなことを調べてもらったら面白いかな, という程度の課題.

- 冬に静電気の話が出る理由
- 充電池との付き合い方

5. 波 ) 5.2 音 ) 5.2.4 ドップラー効果 教科書 p162

### ドップラー効果

音源が近づくとやがて遠ざかると共に、聞こえる音の振動数が変化する。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することで生じる現象で、ドップラー効果と呼ばれる。

**【注目】ドップラー効果**  
 音源と観測者が相対的に近づくことによって、本来伝わる音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 = 音が高くなる  
 音源と観測者が相対的に遠ざかる = 音が低くなる

8

5. 波 ) 5.3 光 ) 5.3.1 電磁波 教科書 p164

### 光の色=振動数

| 宇宙線     | 宇宙マイクロ波背景放射        | 電磁波                | 電磁波                | 電磁波                  | 電磁波                | 電磁波             | 電磁波             | 電磁波             | 電磁波             |                    |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 長さ[m]   | $10^{-12}$         | $10^{-10}$         | $10^{-8}$          | $3.8 \times 10^{-7}$ | $7 \times 10^{-7}$ | $10^{-4}$       | 1               | $10^3$          | $10^8$          | $10^{10}$          |
| 振動数[Hz] | $3 \times 10^{16}$ | $3 \times 10^{14}$ | $3 \times 10^{12}$ | $3 \times 10^{10}$   | $3 \times 10^8$    | $3 \times 10^6$ | $3 \times 10^4$ | $3 \times 10^2$ | $3 \times 10^0$ | $3 \times 10^{-2}$ |
| 利用例     | 放射線治療              | 宇宙背景放射             | 電磁波                | 電磁波                  | 電磁波                | 電磁波             | 電磁波             | 電磁波             | 電磁波             | 電磁波                |

12

【物理】 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

13

今日のテーマ 宇宙が膨張していることはどうしてわかったのか? 教科書 p157

### 1929年 宇宙膨張の発見

「ハッブル・ルメートルの法則」と呼ぶことに、2019年、国際天文学連合 (IAU) が議決しました。

ハッブルの宇宙膨張の法則 (1929年)

$$v = H_0 d$$

銀河の退縮速度 = ハッブル定数  $H_0$  × 銀河までの距離

【注目】 ハッブルが1929年に発見した銀河の退縮現象、観測銀河の後退速度、このグラフの傾きはほぼ一定であることが、ハッブルの法則である。ハッブルが観測した値は、 $H_0 = 530 \text{ km/h/Mpc}$  だった。現在の値は  $H_0 = 68 \text{ km/h/Mpc}$ 。

光の「ドップラー効果 (赤方偏移)」から

ハッブル(1929)

ルメートル(1927)

14

【宇宙物理】 太陽系外惑星探査 トランジット法・ドップラー法

【Top】 太陽系外惑星探査  
 高度な技術で、太陽系以外の惑星系がいくぶん観測で発見されるようになった。地球のように生命が存在しそうな惑星の発見も期待されている(生命がいるかどうかはまだ不明である)。自ら発する光のない惑星を直接観測で見つけるのは難しいが、その検出方法の一つとして使われているのが太陽 (太陽のようないくぶん) のドップラー効果である。惑星が恒星を周回すると、恒星も僅かのまわりを周回運動するのでわずかに前後にも移動する。望遠鏡で観測していると、ドップラー効果で周期的に恒星が発する光の振動数がずれるのだ。

図 27 (左) トランジット法 (食滅法) による惑星検出。恒星の半径を恒星が隠れるほど、恒星が暗くなる。恒星が不完全隠れながら動くと、恒星サイズの異なる 0.01% の減光になる。(右) ドップラー法 (視線速度法) による惑星検出。恒星が前後に動くことによるドップラー効果による。

23

Nobel Prize ノーベル物理学賞受賞者 2019年 Nobel Laureates in Physics 2019 <http://www.nobelprize.org/>

### 物理学賞

James Peebles, Michel Mayor, Didier Queloz

宇宙の進化、宇宙における地球の位置づけについて理解を改めた貢献  
 "for contributions to our understanding of the evolution of the universe and Earth's place in the cosmos."

【注目】 ビッグバン宇宙論の基礎理論の確立に大きな貢献をした。宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度分布を精密に測定する技術を開発。宇宙膨張の速度が時間とともに変化する。宇宙の年齢を測定する。宇宙の膨張速度が時間とともに変化する。宇宙の膨張速度が時間とともに変化する。

マイヨールとケロズ、スズース達51歳でのドップラー効果から、太陽系外惑星を発見した功績。

24

【実験でよう】 光は横波である 偏光板で確かめよう 教科書 p173

26

【身近な技術】 サウンド技術(1) マイク、スピーカー 教科書 p158

### 電磁誘導

磁石のまわりでコイルを動かすと電流が発生する。  
 電流が変化すると、そのまわりの磁場が変化する。

【注目】 マイクの原理は電磁誘導による電圧発生である。マイクのコイルは永久磁石の間にあり、音波による振動でコイルが動く。この動きが電圧を生じ、それがマイクの出力信号となる。スピーカーの原理は電流による磁場の発生による。スピーカーのコイルには電流が流れる。この電流が永久磁石の間にあり、電流による磁場の発生でコイルが動く。この動きがスピーカーの振動板を動かす。この振動板が音を発生させる。

28

【身近な技術】 サウンド技術(2) 蓄音機 教科書 p159

1877年、エジソン  
筒箱内筒式蓄音機「フォノグラフ」を完成。

1885年、ベルリナー  
円盤形蓄音機「グラモフォン」を完成。

ニッパード(Edison)

THIS MASTER'S VOICE

29

【身近な技術】 サウンド技術(3) レコードから CDへ 教科書 p160

アナログ LPレコード

デジタル CD(コンパクトディスク)

<http://www.suglab.net/jp/joho-kiu/index.html>

30

【身近な技術】 サウンド技術(4) 磁気テープ 教科書 p161

1979 SONY Walkman発売

ビデオテープは、磁気テープを材料にして、厚さを小さく、19.2mm

31

【身近な技術】 CDへの記録方法 教科書 p162

ピット 坑を反射しない部分

ランド 坑を反射する部分

レーザー 坑を照らすレーザー光

検出器 ランドの反射光

ピット 坑を反射しない部分

ランド 坑を反射する部分

レーザー 坑を照らすレーザー光

検出器 ランドの反射光

32

【身近な技術】 サウンド技術(5) DVDとBlu-ray 教科書 p163

赤色のレーザー光 → 青色レーザー光

短い波長のレーザー光  
高密度に記録ができる

33

【身近な技術】 サウンド技術(6) アナログからデジタルへ 教科書 p164

アナログ

デジタル

オシロスコープ

<http://www.suglab.net/jp/joho-kiu/index.html>

34

【身近な技術】 サウンド技術(7) デジタル信号化 教科書 p165

サンプリング

量子化

エンコーディング

35

【身近な技術】 サウンド技術(8) デジタル信号の圧縮 教科書 p166

| 圧縮形式          | 特徴                            | サイズ    |
|---------------|-------------------------------|--------|
| WAV           | 音楽CD上の保存形式                    | 44.7MB |
| MP3 (128kbps) | 音楽CDと同レベルの品質                  | 29.9MB |
| AAC (256kbps) | iTunes Store (iTunes Plus) 品質 | 9.9MB  |
| MP3 (192kbps) | iTunesでは「高品質」表示               | 6.4MB  |
| MP3 (128kbps) | iTunesでは「標準品質」表示              | 6.2MB  |
| AAC (128kbps) | iTunes Store (標準品質) 表示        | 4.3MB  |
| MP3 (96kbps)  | iTunesでは「標準品質」表示              | 4.3MB  |

<http://pc.nhk.or.jp/art/tech/technique/2012/01/040496/>

36

5. 波 | 5.3 光 | 5.3.2 色 | 色の正体は何か | 教科書 p165

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層できることを発見した。このように光を分解することを分光スペクトルといい、分解された光をスペクトル光という

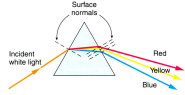
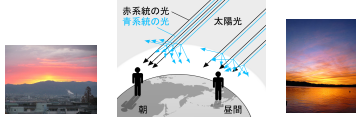


figure 17.13 light rays passing through a prism are bent at both surfaces, with blue light being bent more strongly than red.

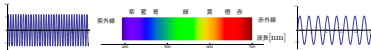
5. 波 | 5.3 光 | 5.3.2 色 | 色の正体は何か | 教科書 p165

Color charts and books including 'ことばと文化' and '日本語と外国語' with color swatches for Japanese, English, and French.

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 (塵埃分子、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

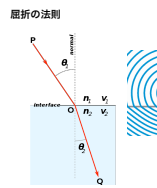


昼間は、青い光の散乱を見上げるので、青い空 朝夕は、青い光の成分が散乱されて届かないので、白-青=赤い空

【図解】「ローヌ川の星月夜」の散光

Article and images about the 'Starry Night' painting by J.M.W. Turner, discussing the optical effects of light scattering on the water in the painting.

5. 波 | 5.3 光 | 5.3.3 光の屈折・反射・散乱 | 屈折の法則 | 教科書 p168



sin θ1 / n1 = sin θ2 / n2



見かけの水深



【図解となる話】最小作用の原理 (フェルマーの原理) | 教科書 p181

Diagram illustrating Fermat's principle of least time, showing a light ray path from point A to point B via point C on a boundary between two media.

最短時間で到達する経路 = 光の経路と同じ

5. 波 | 5.3 光 | 5.3.3 光の屈折・反射・散乱 | 光の屈折 (温度が高いと屈折率が下がる) | 教科書 p168

Diagram showing light rays bending away from the normal in a temperature gradient (hot air above, cold air below), illustrating mirages and the 'shallow water' effect.

【身近な技術】Brilliant Cut for Diamonds | 教科書 p180

Diagram of a brilliant-cut diamond showing its facets and proportions, including the table, crown, and pavilion angles.

ダイヤモンドの価値 = 4C Color カラー (色) Clarity クラリティ (透明度) Cut カット Carat カラット (重さ) このカットがダイヤモンドの美しさを最大に引き出す形と書かれている。 1 ct = 0.2 g インドの黒色いなど豆の重さ



# 1 カラー図版

## 1.1 色

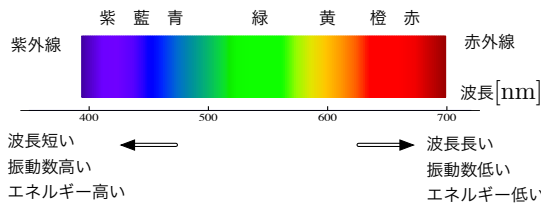


図 5.49 可視光の範囲 (教科書 p165).

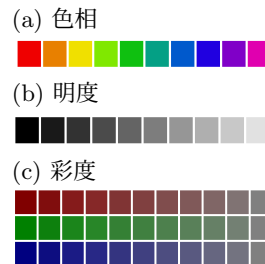


図 5.51 色相, 明度, 彩度 (教科書 p166)

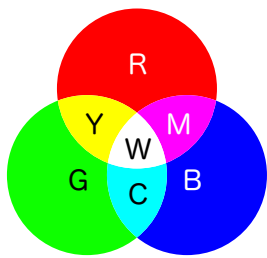


図 5.52 加法混色 (RGB/赤+緑+青).

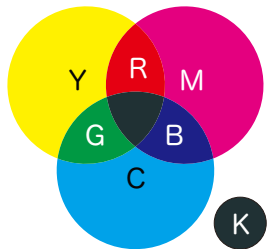


図 5.53 減法混色 (CMYK/シアン+マゼンタ+黄+黒).

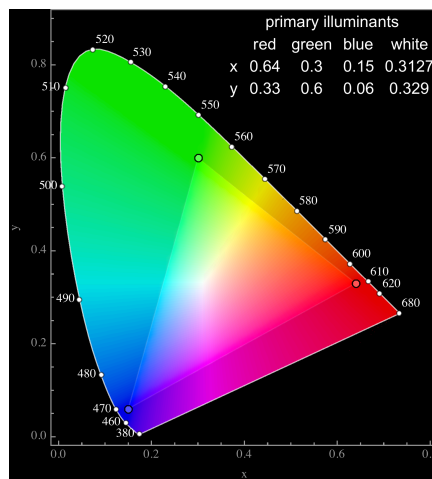


図 5.54 CIE の  $xy$  色度図.

表 5.6 RGB 表色の代表的な色. (教科書 p167)

| $(R, G, B)$ | 16 進数表示 | 色  | $(R, G, B)$   | 16 進数表示 | 色  |
|-------------|---------|----|---------------|---------|----|
| (255,0,0)   | #ff0000 | 赤  | (0,0,0)       | #000000 | 黒  |
| (0,255,0)   | #00ff00 | 緑  | (126,126,126) | #7e7e7e | 灰  |
| (0,0,255)   | #0000ff | 青  | (255,255,255) | #ffffff | 白  |
| (255,255,0) | #ffff00 | 黄  | (126,126,0)   | #7e7e00 | 黄緑 |
| (255,0,255) | #ff00ff | 紫  | (126,0,126)   | #7e007e | 紫  |
| (0,255,255) | #00ffff | 水色 | (0,126,126)   | #007e7e | 水色 |

## 1.2 虹のしくみ

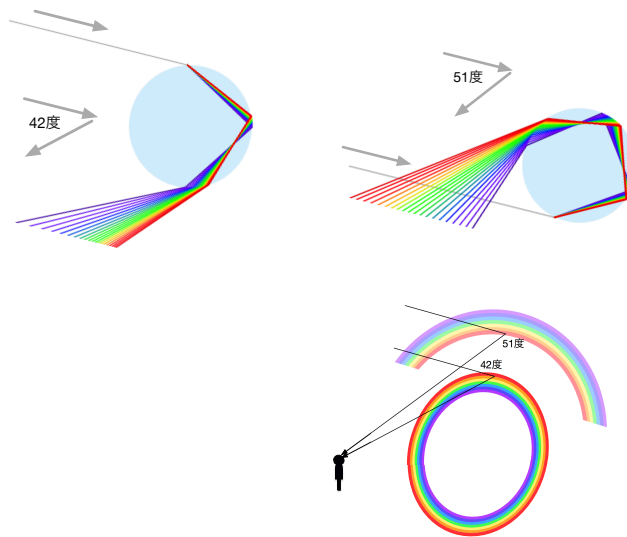


図 5.62 〔上左〕 主虹をつくる光の経路. 太陽光線から 42 度の方向が最も強い反射光になる.  
 〔上右〕 副虹をつくる光の経路. 51 度の方向が最も強い.  
 〔下〕 条件がよければ, 主虹の外側に色の順が逆転した副虹が見えるはず. 山の上ならば, 円形の虹が見える可能性がある. (教科書 p170)



図 5.61 半円を描く主虹と副虹 (© 長谷川能三)



図 5.65 皆既月食で赤く光る月 (© 樋谷則夫)