

第7章 光と視覚

7.1 光の性質 (1) 光とは何か

光とは波と粒子の性質を持つ



波の性質： ヤングの干渉実験(1805, ヤング)
可視光は電磁波の一種(1864, マクスウェル)

粒子の性質： エネルギーを運ぶ粒子(光子)仮説
(1905, アインシュタイン)

真空中の光の速さ： 約30万km/s

媒質中では遅くなる

「光より速いものは存在せず、高速を越える速さで情報を伝えることはできない」(相対性理論, アインシュタイン)

7.1 光の性質 (2) 太陽光と熱放射

太陽・・・大きなエネルギー源(核融合：水素がヘリウムに変わる反応)

太陽-地球間距離：1億5000万km (1 AU)

太陽光：太陽からの熱放射

地球近傍における太陽から放出される光のエネルギー：1.37kW/m²

地球全体が太陽から受けるエネルギー：174PW(=174x10¹⁴kW)

30%は反射，残りのさらに70%は赤外線として宇宙に放出

吸収されるエネルギーと放出されるエネルギーのバランスが崩れると温暖化等が起きる

7.1 光の性質 (2) 太陽光と熱放射

光子・・・1個あたり hf というエネルギーを運ぶ粒子
(アインシュタイン)

プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s]}$

光の振動数 $f = \frac{c}{\lambda} \text{ [Hz]}$ (光速 c , 波長 λ)

表7.1

7.1 光の性質 (2) 太陽光と熱放射

熱放射・・・高温の物体がその温度に応じて電磁波を放出

高温の物体ほど短い波長の電磁波(f が大)を出し、
放出するエネルギーも大きい

$$\text{光の振動数 } f = \frac{c}{\lambda} [\text{Hz}] \quad (\text{光速 } c, \text{ 波長 } \lambda)$$

黒体からの放射エネルギー密度の波長依存性から、
最大放射エネルギー密度と波長の関係は、

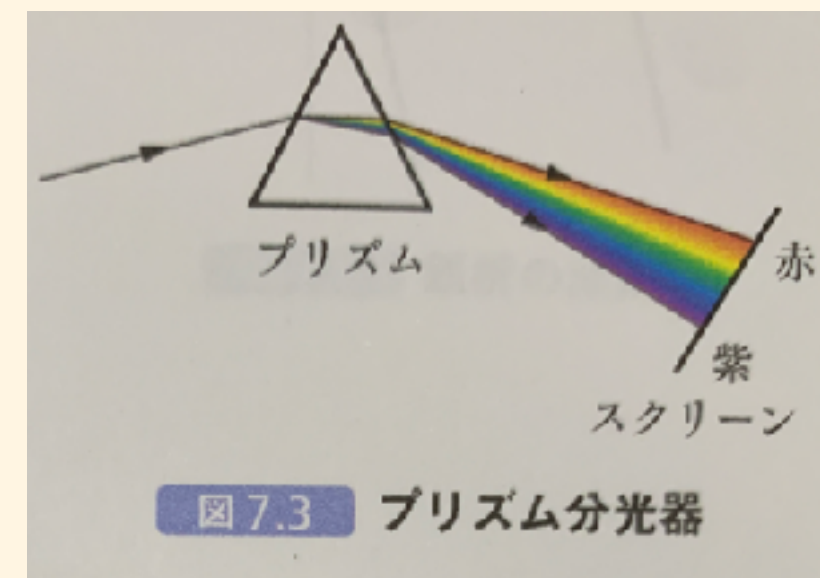
$$\lambda_m T = 2.9 \times 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{K}] \quad (\text{ウィーンの変位則})$$

表7.2

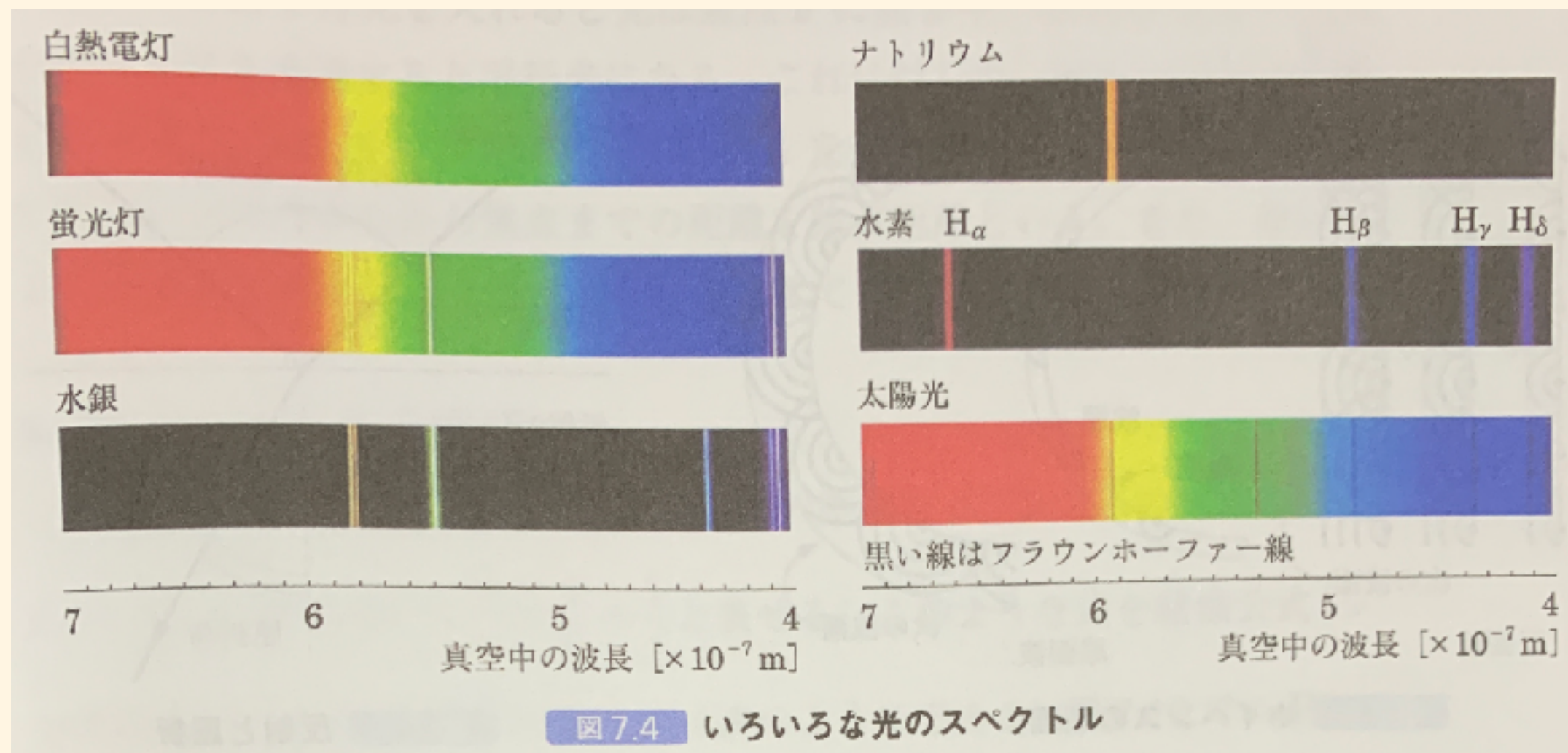
太陽表面温度5800K → 波長500nm (青緑色)

人間表面温度310K → 波長10 μ m (遠赤外線)

7.1 光の性質 (3) 光のスペクトル



光スペクトル・・・振動数や波長による分布を示したもの
線スペクトル： 特定の波長だけが発光
連続スペクトル： 広い範囲の波長で発光



7.1 光の性質 (3) 光のスペクトル

ボーアの水素原子モデル

水素原子：陽子1個からなる原子核とその周りを回る電子1個で構成

電子の回る軌道は決まった軌道しか回れないとし、
電子のエネルギーの状態で回る軌道が決まると考える

エネルギーを吸収 → 高いエネルギーの軌道に遷移

エネルギーを放出 → 低いエネルギーの軌道に遷移

↓
光として放出

図7.5

1つ下の軌道へ，2つ下の軌道へ・・・

遷移する軌道間で決まったエネルギーを放出

→ 決まった波長の光しか出さない

7.1 光の性質 (4) 光の反射・屈折

ホイヘンスの原理

波面：波の山と山，谷と谷のように振動の状態が等しい点を結んだもの

平面波：波面が平面である波 **球面波**：波面が球面である波

次の瞬間の波面：今の波面の各点から球面波が出て作り出す面

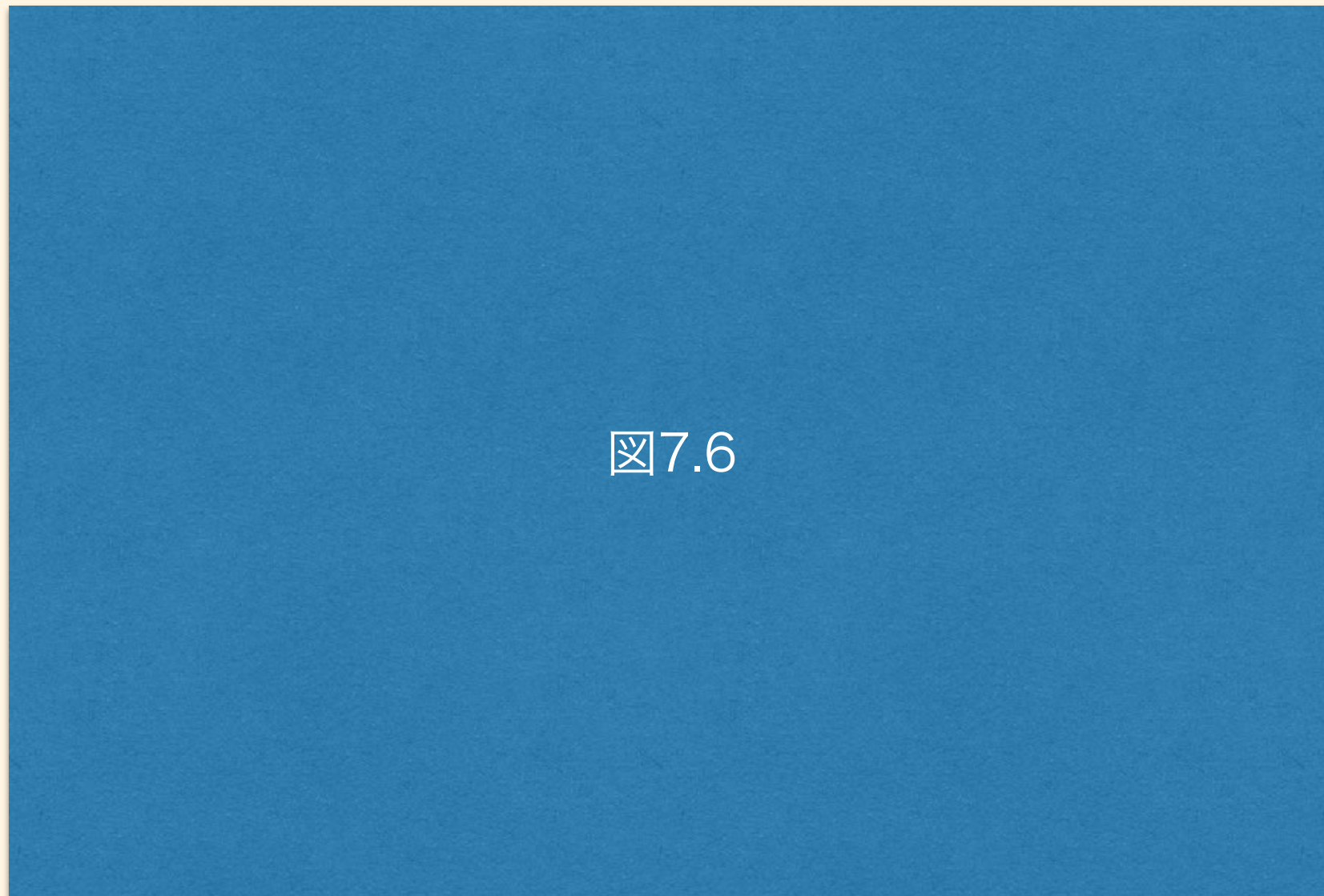


図7.6

7.1 光の性質 (4) 光の反射・屈折

反射と屈折 波が異なる媒質に入る（入射）とき、その境界線で反射や屈折が起こる（ホイヘンスの原理で説明できる）

反射の法則：入射角と反射角は等しい

屈折の法則（屈折：媒質中の速度が異なるため起こる）：

媒質1における波の速さ v_1	入射角 θ_i	$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12}$
媒質2における波の速さ v_2	屈折角 θ_r	

図7.7

図7.8

7.1 光の性質 (5) 結像公式 (レンズの式)

レンズ
屈折を利用

凸レンズ：中央部が厚い - 人の目

凹レンズ：中央部が薄い - メガネ

図7.9

図7.10

結像公式：

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

像の倍率：

$$m = \frac{b}{a}$$

7.1 光の性質 (5) 結像公式 (レンズの式)

収束度

光線が1点に収束した後、距離 $d[m]$ 進んだ位置での
光線の収束度 U

$$\text{収束度 } U = -\frac{1}{d} [1/m], [D]$$

[D](ジオプター, ジオプトリー)

レンズの屈折力 $D = \frac{1}{f} [D]$

複数のレンズがあるとき、**屈折力 (D)** を足し算で扱える。

$$\text{レンズ1: } D_1 = 2D, \text{レンズ2: } D_2 = 3D$$

$$\rightarrow \text{全体の屈折率 } D = D_1 + D_2 = 2D + 3D = 5D$$

収差

球面収差：凸レンズでは外周部の焦点距離が短くなる

色収差：波長により焦点距離が異なる

→ 非球面レンズ, アクロマートレンズを用いる

7.2 目と屈折 (1) 目の構造

レンズ

図7.11

表7.2

表7.3

7.3 眼と明るさ・色 (1) ヒトの視細胞

ヒトの視細胞は色を感じる錐体が3種類(青緑赤)

多くの哺乳類は2種類(青緑)

鳥や昆虫は4種類(青緑赤近紫外)

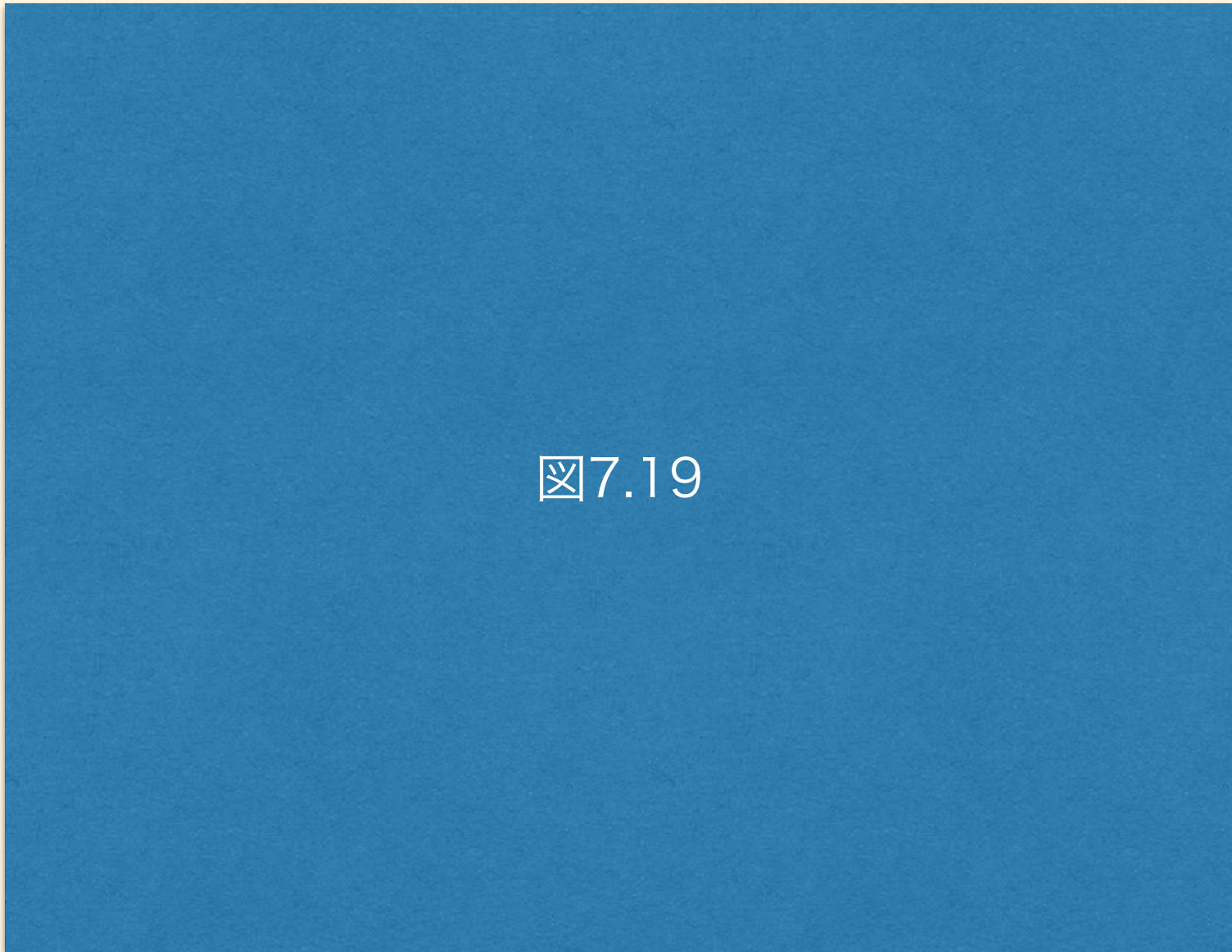


図7.19

7.3 眼と明るさ・色 (2) 明るさ

光源から放射される光の単位時間当たりのエネルギー[W]に対して人間が感じる明るさとして**光束[lm](ルーメン)**を導入する

光束[lm]：比視感度曲線を考慮した光の放射量

1[W] → 693[lm]、100W白熱球 → 1500[lm]

光源から放射状に広がる光束のうち、
ある面積を通過する光束を**光度[Cd](カンデラ)** という

例) 1[lm]の光源から1mの球面上の1m²での光度
半径1mの球の面積 $4\pi \text{ m}^2 \rightarrow 1/4\pi [\text{cd}]$

1[cd] → ろうそく1本,

自動車ヘッドライト15000[cd]が必要

図7.20

7.3 眼と明るさ・色 (2) 明るさ

その場所の明るさを**照度[lx](ルクス)**という
照度は「単位面積あたりの光束」

1m²の面積を1lmの平行な光束で照らしたとき照度1lx

夏の晴天時の太陽光下の照度：100000lx

蛍光灯で照明された明るい室内：500lx

満月の明かり：0.2lx

発光体が面積を持つ場合、単位面積当たりの光度を
輝度[cd/m²]という

同じ光束であっても蛍光灯は面積が広いので輝度が低い
白熱電球は小さいので輝度が高い（まぶしい）

7.3 眼と明るさ・色 (2) 明るさ

肉眼で見える限界：6等星 10^{-8} lx

許容できる強い光（太陽光）：100000 lx

人間が感じる明るさ

$10^{-8} \sim 10^5$ lx と広い範囲に及ぶ

7.3 眼と明るさ・色 (3) 偏光

光（可視光線）は電磁波の一種で横波

自然光は様々な方向からの光 ⇒ 振動方向が様々な
特定の方向の横波だけを通過させる ⇒ 偏光 という

偏光させる板を 偏光板 という

偏光により特定の振動方向の光を消すことができる

例) レンズフィルタ：水面の反射，ガラスの反射



図7.19

7.4 光を利用した機器 (1) 顕微鏡

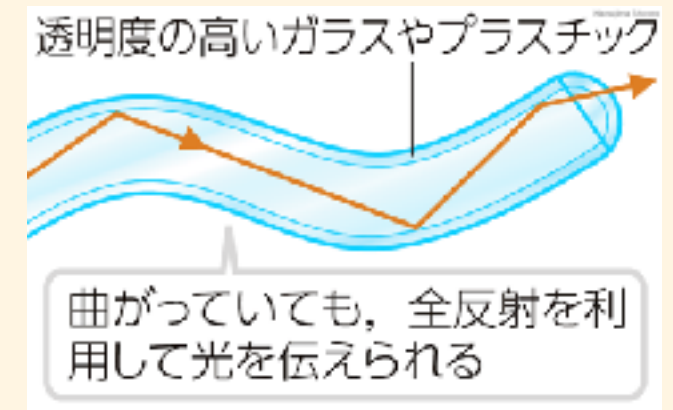
顕微鏡



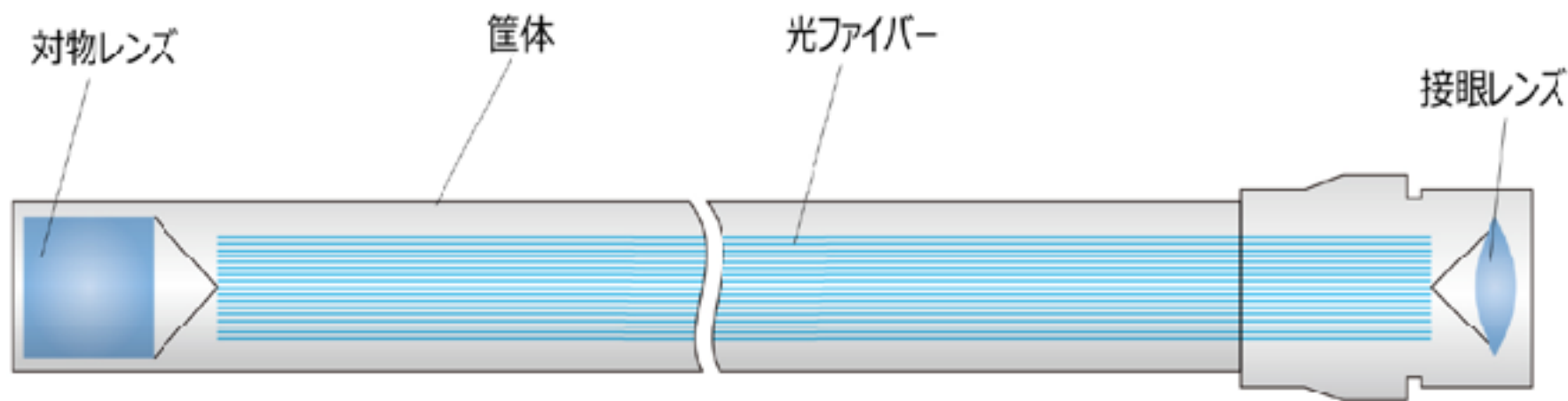
図7.24

7.4 光を利用した機器 (2) 内視鏡

内視鏡

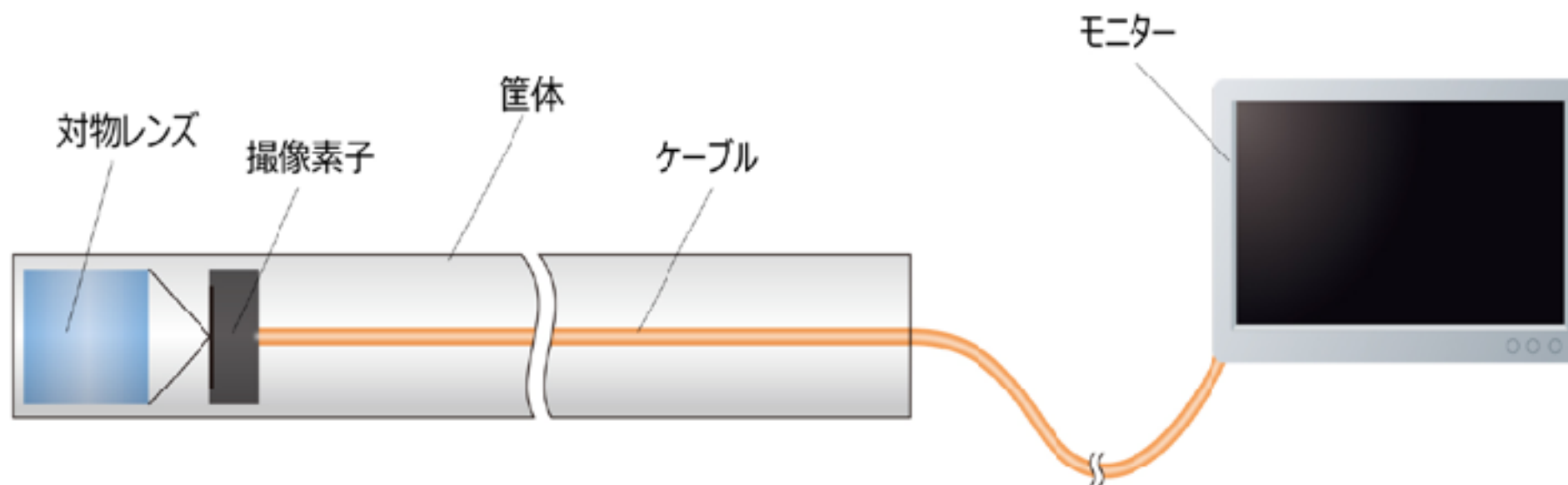


軟性内視鏡 (ファイバーバンドルタイプ)



接眼レンズ以降は、目視またはモニターと接続して観察

軟性内視鏡 (ビデオスコープタイプ)



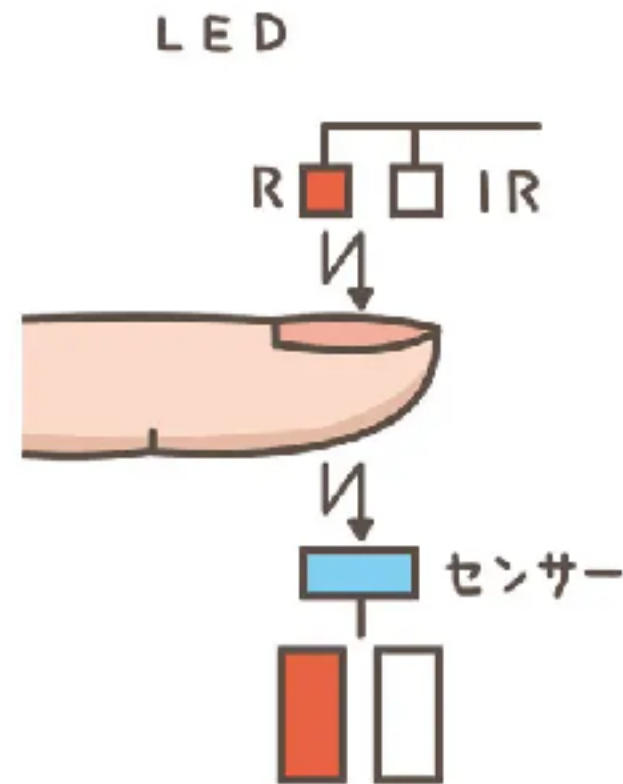
7.4 光を利用した機器 (3) パルスオキシメータ

パルスオキシメータ

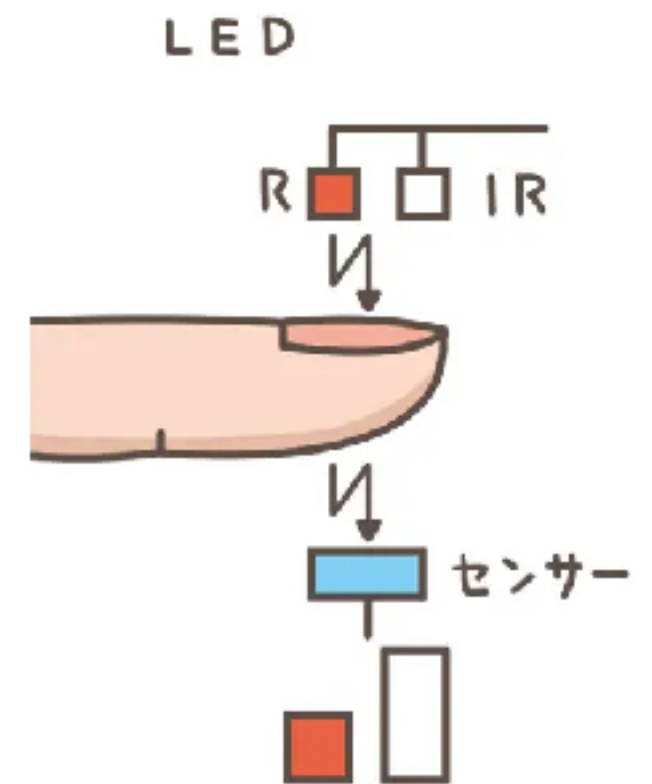
パルスオキシメータ



酸素と結合したHb



酸素と乖離したHb



CHAPTER 7 光と視覚

7.4 光を利用した機器 (4) レーザー

