

生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

第10回 2023/11/27

第5章 波（音，光）

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai

俳優 チョン・ジュノ



似てると
言われま
したが？

<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/mukogawa>

「疑似科学にだまされないためにはどうしたらよいか」をテーマにして、レポートを提出してください。

1. 疑似科学(あるいはニセ科学・トンデモ科学)について調べ、印象に残った1-2の事例について説明せよ。
2. そして、疑似科学に騙されないためには、どのような注意をしたらよいか、考察せよ。

プリントにつけた雑誌記事を読み、さらに、**きちんとした本や記事をもとに**レポートすること。

ニセ・トンデモ科学は以前から興味のある分野なので課題に取り組むのが楽しみで、以前、ミネラルが知く入った水を買った(熱中症予防とかのため)と言った母が「安、いから? → っていう理由で今日まきにスライドにせて来たような変な会社の水を買おうとして大げんかしたことがあり、思わず苦笑しました。結果的には届きましたが、母がシンクに流し捨てました。

ニセ科学、怖いよね...。モリスター・ペアレイツの話を思い出さないと...

課題

- 疑似科学（あるいはニセ科学・トンデモ科学）について調べ、印象に残った1-2の事例について説明せよ。
- そして、「疑似科学にだまされないためにはどうしたらよいか」について考察せよ。

作成要領

- きちんとした本や記事をもとにレポートすること。
- 参考とした文献（web ページ含む）などがあれば、必ず記すこと。剽窃行為が認められる場合は評価を下げます。（参考文献から引用するのは構いませんが、引用範囲は必ずそう明記すること。）
- インターネット上の文献を引用するときは、書き手が不明な個人のもものは避けること。
- A4 用紙 3-5 枚程度。表紙は不要。必要であれば、図や表を添付してよい（ページ枚数に含める）。

提出手順

- Google Classroom の課題として提出。手書きの場合は写真撮影したものを提出
- 提出〆切は、**2023年12月27日（水） 22:59**
- 提出ファイルの名前は、「大日 XXXXXXXX ○○○○」の形式とすること。（XXXXXXX は学籍番号、○○○○は氏名）とすること。ファイル名には空白を入れず、学籍番号は半角で。
- ファイル内の初めにも、タイトル・学部学科学年・学籍番号・氏名を記載すること。

前回のミニッツペーパーから

暑かったので、冷蔵庫を開け放して部屋を冷やそうと考えた。1時間後、温度はどうか。

(a) 上がる 1名

上がる

外の気温などにも影響すると思うが、冷蔵庫は冷やすために電気を使っていて、中の空気が外へ逃げると温度が上がり、冷やそうとして、さらに電気を使い、熱を持ってしまうため開けっ放しは温度は上がる。

(b) 下がる 3名

冷蔵庫内から冷気が出る??

冷蔵庫が扉が開いてることで部屋が冷蔵庫だとかんがえて冷やそうとするのでは...? (かといって冷蔵庫は止まる...?)

トイレの便器を温めている時、ふたを開けておくと周りの空気が暖まるという原理と同じだから。

(c) 変わらない 9名

冷やせば冷やして、冷媒は熱くなるので、変らない。

熱さで冷気があたまでして、結局同じ温度になり、部屋が広いから、

変わらない。

(c)、冷蔵庫は部屋全体を冷やれほどの力を持っていないため、

変わらない、冷蔵庫内と室内の温度が均一に混ぜり合い、
そらだと思った。

エネルギーは保存するから。冷えた空気が出ると同時に庫内に入る空気を冷やすエネルギーの一部が熱となり放出されるので、変わらない。

冷蔵庫が周囲の空気を取り込んで中で膨張させるのを聞き、それなら、冷やされた空気が冷蔵庫から放出されてもまた冷蔵庫にそれが取り込まれるから、部屋の温度は変わらないと思う。

C → 冷気が出るので多少は涼くなりそうだが、冷蔵庫がより多くの熱を持つためプラマイゼロになる気がする。



(c) 変わらない

エネルギーは保存するから。冷えた空気が出ると同時に庫内に入る空気を冷やすエネルギーの一部が熱となり放出されるので、変わらない。

前回のミニッツペーパーから

暑かったので、冷蔵庫を開け放して部屋を冷やそうと考えた。1時間後、温度はどうなるか。

- (a) 上がる (b) 下がる (c) 変わらない
1名 3名 9名

冷蔵庫など温度を冷やす装置は、それ以上のエネルギーを外部から与える必要がある。したがって、部屋全体では、冷やすよりも多くの熱エネルギーが外部から放出されるので、**部屋の温度は上がる。**



fridgeezoo/フリッジーズー

前回のミニッツペーパーから

「相関があることと因果関係があることは異なる」という話をしたが、「相関があり，因果関係がある例」を挙げよ。

2, ← これがなかなか理解が難しかったので
自分でも調べてみた方がいい...

雪の日と車の事故

居寝り運転をすることが多いほど、事故をおこす確率が高くなる。

みかんを食べる量と手が黄色くなることは相関があり、因果関係もあると思う。

暑い日が多い夏は、台風の数が増えるか？

覚えている英単語と英文を読む速度の数

人が多いと家が多い。

夏は暑いため電気代が上がる。
電気代が上がるのはクーラーが原因である。

食生活が荒れていて肌荒れに悩む人は、野菜やビタミンからビタミンを摂取してほしい。

? めがねをかけている人に頭が良い人が多い。(東大生とか、めがねをかけてる人
が多い気がする...)

本当に頭の良い人は勉強しなくても東大入る

? 雨が降ったら客が減る。
給料日後は経済が回る。

映画館とかは？
ブラックフライデーとかは？

? 帰国子女の英語の成績

中国・韓国からの帰国子女とか？

前回のミニッツペーパーから

ハイブリットカーの仕組みをよく知らなかったから、それが「理解できてすっきり」スッキリしました！仕組みがわかると、使うことに意味あるんだなと思うのでもっと色々知りたいと感じました！！

太陽光パネルも電気をためておくところでも使われているなと思いました。

4] 世界1 落差がある滝は 900m 以上にもなるそうで、調べることはできませんが約2°C 違いがあると青森と おもしろいなと思いました。

10倍した話を仮定してみるのはいいいことですね。

4) 兵隊の行進により橋が崩壊したという事件を見たことがあるが、空気の振動が関係しているのか。

これは共振の話ですね。今日します。

なぜ「ミカン」を大量に食べると手が「黄色くなる」んですか？
本当は全身黄色になっているんですか？

ミカンには、ビタミンAのもとになる「カロテン」という色素がたくさん含まれている。このカロテンは脂肪に溶けるため、たくさんミカンを食べるとカロテンが脂肪に蓄えられて、肌が黄色くなる。特に黄色く目立つのが手のひらや足の裏。

昨日、インターン応募で 宇宙 → □ → □ → 嵐 という問題が出て、先生の答えを知りたいです。(□は単語)

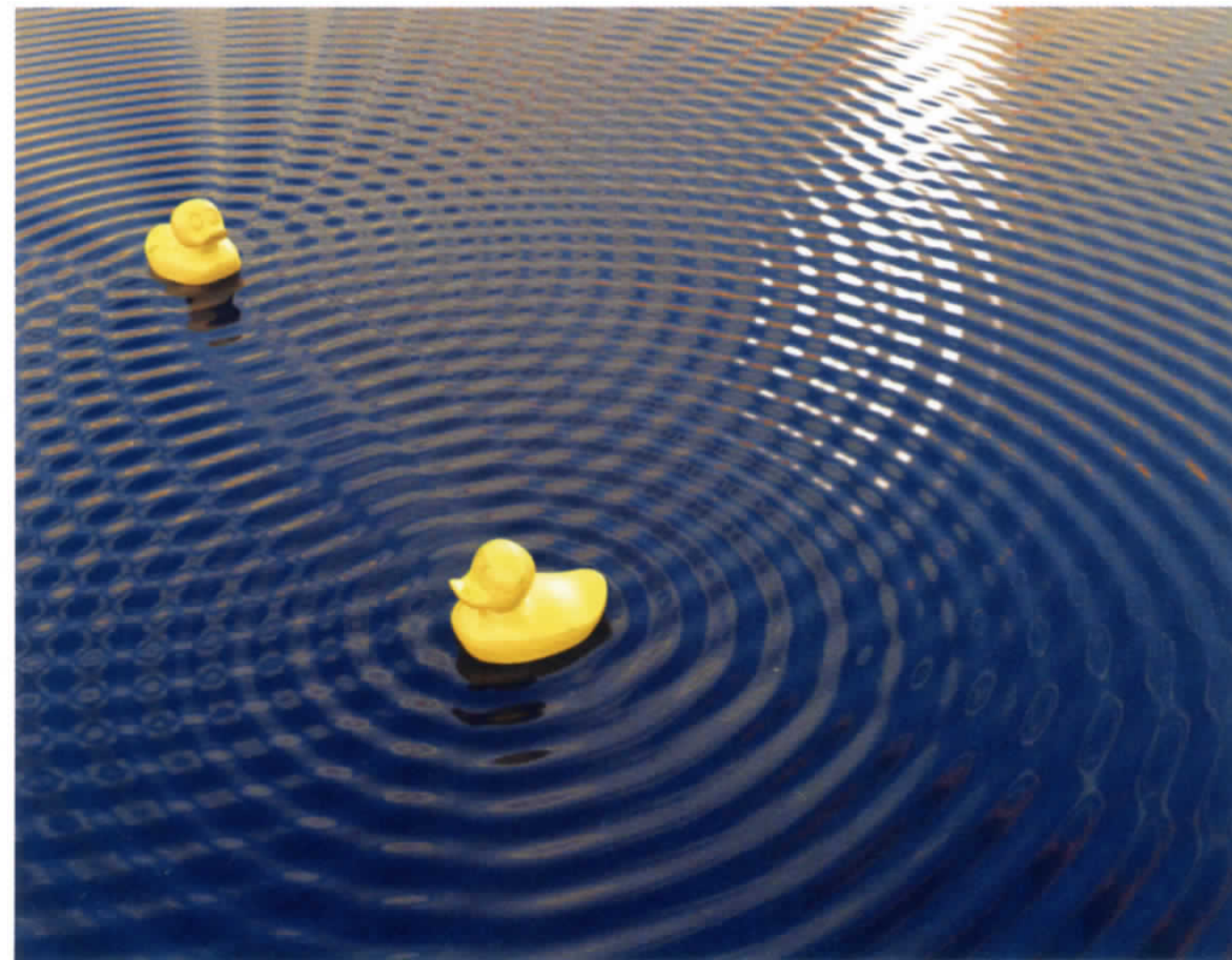
宇宙 → 太陽 → 太陽フレア爆発 → 磁気嵐

宇宙 → 天体観測 → 天気予報 → 嵐

宇宙 → 海 → ミトコンドリア → 嵐 (しりとり作戦)

宇宙 → 最先端物理学が描く宇宙 → 楽勝科目で台風の日 → 嵐

第5章 波 --- 水·音·光



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

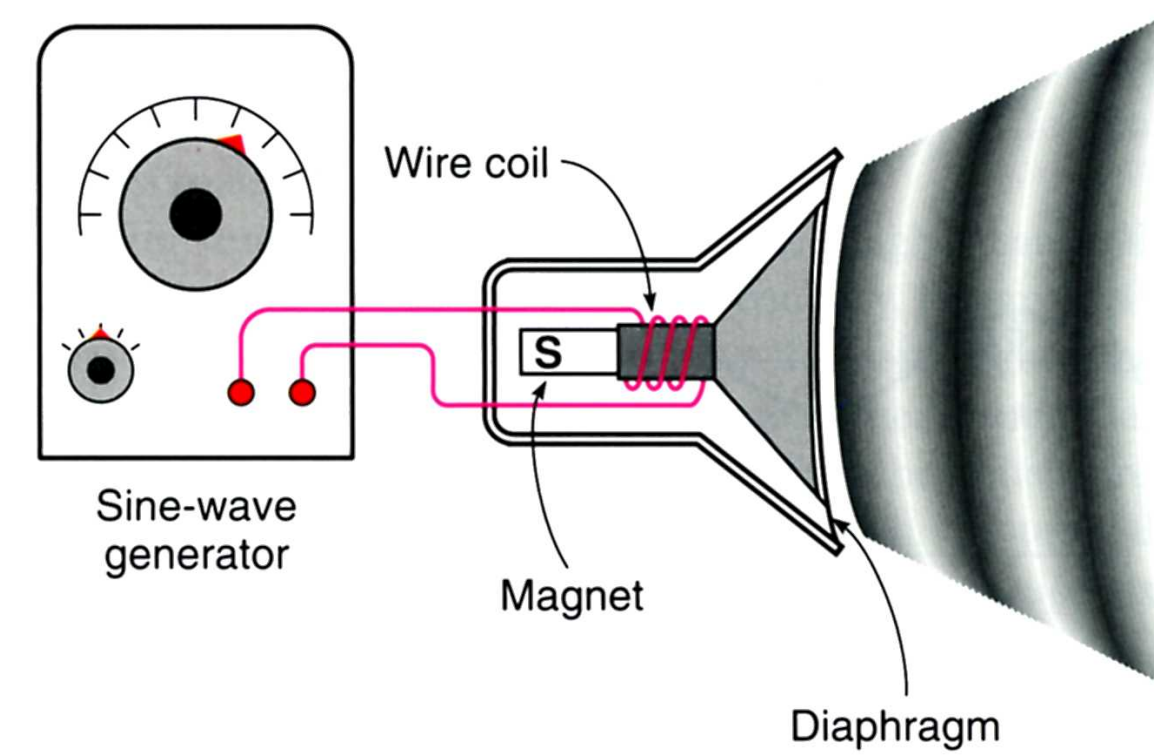


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.

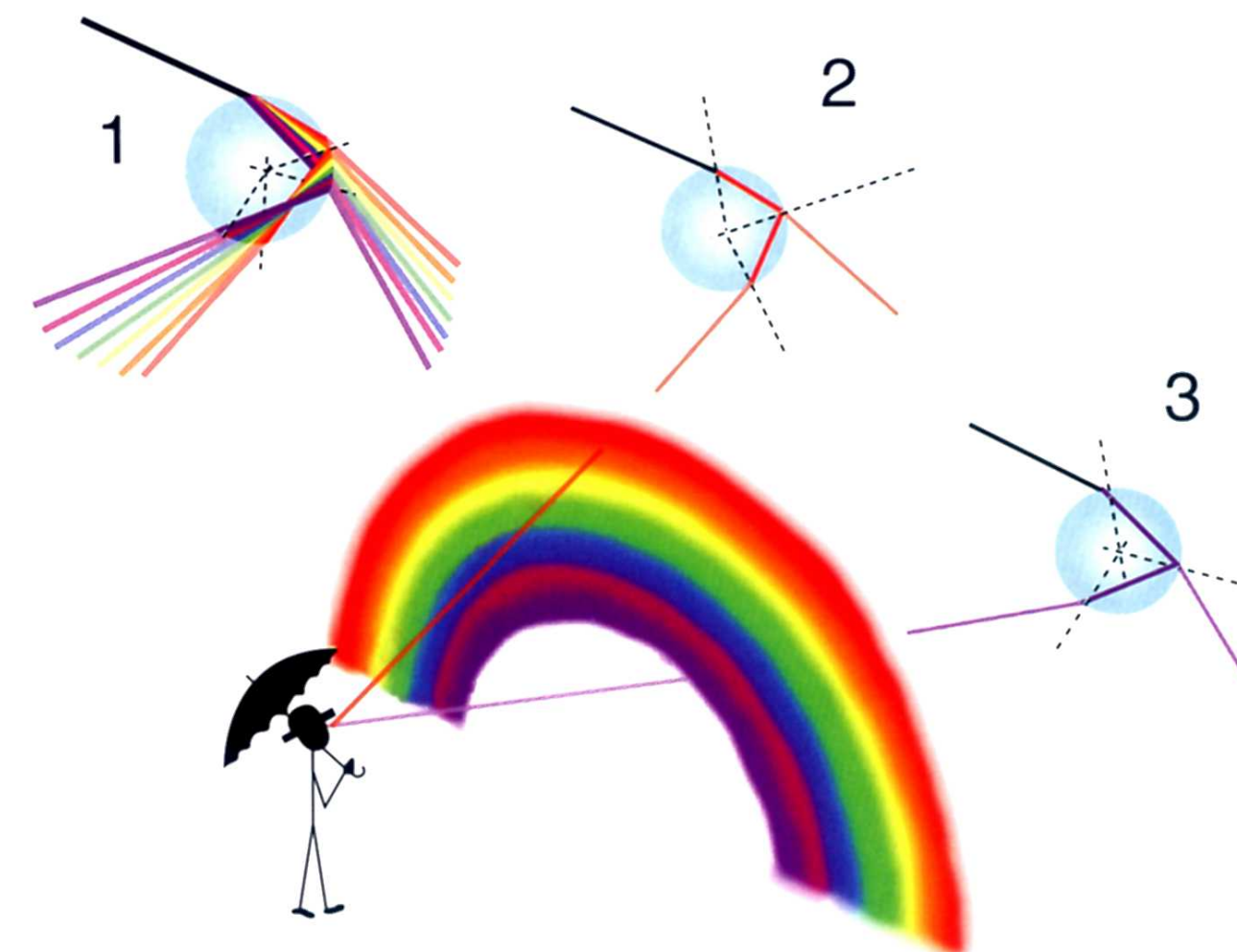


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

波の基本的な量

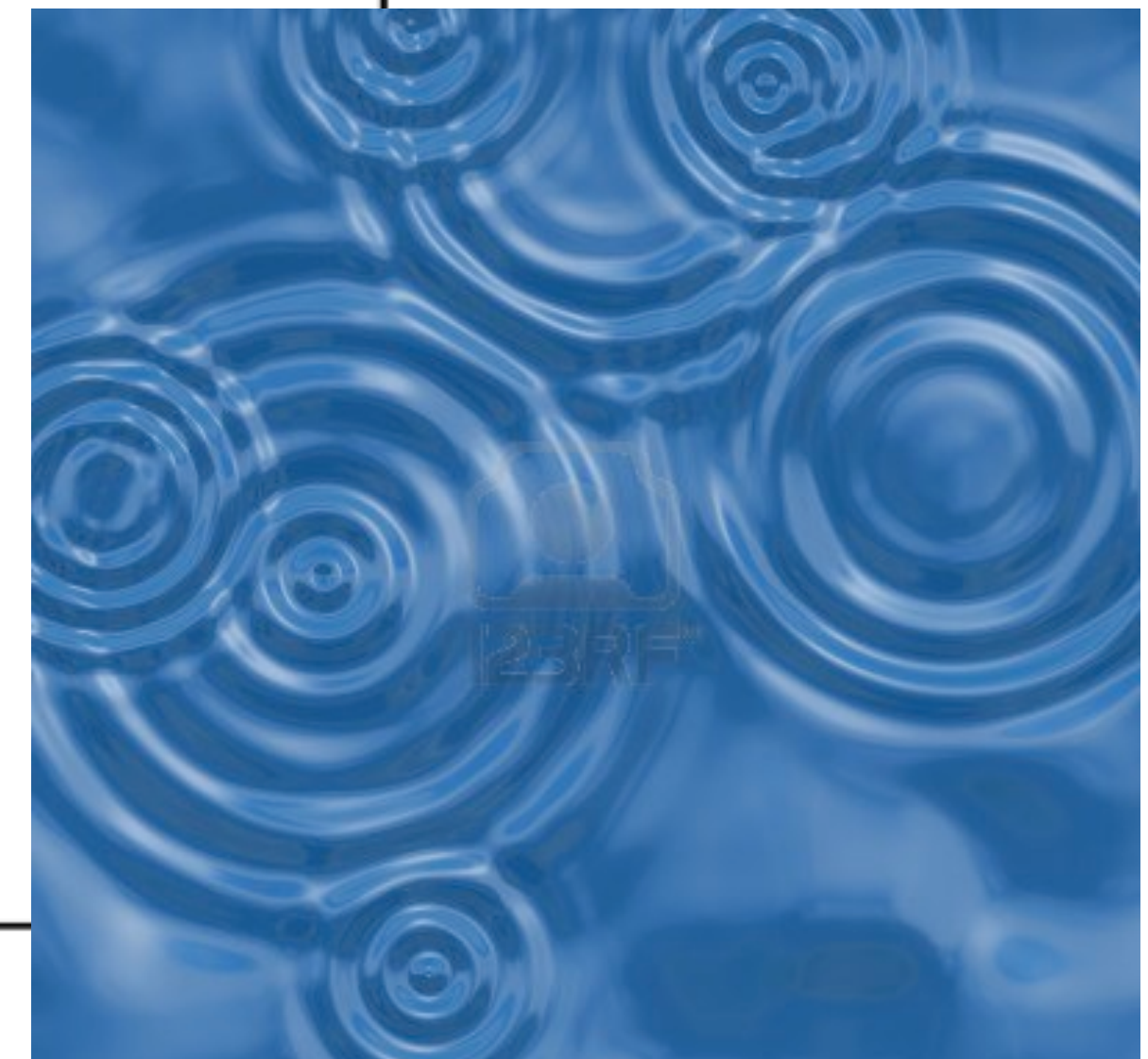
繰り返して同じ形が伝播してゆくものを波という.

- 波の振動する大きさを**振幅** A (単位は [m]) という.
- ある時刻で全体像をとらえたとき, 同じ形状の間隔を**波長** λ (単位は [m]) という.
- ある場所で止まって観測したとき, 一定時間ごとに同じ形の振動を繰り返す. この時間を**周期** T (単位は [s]) という. 1秒間に何回振動するかを**振動数**または**周波数** f (単位は [Hz]) という.

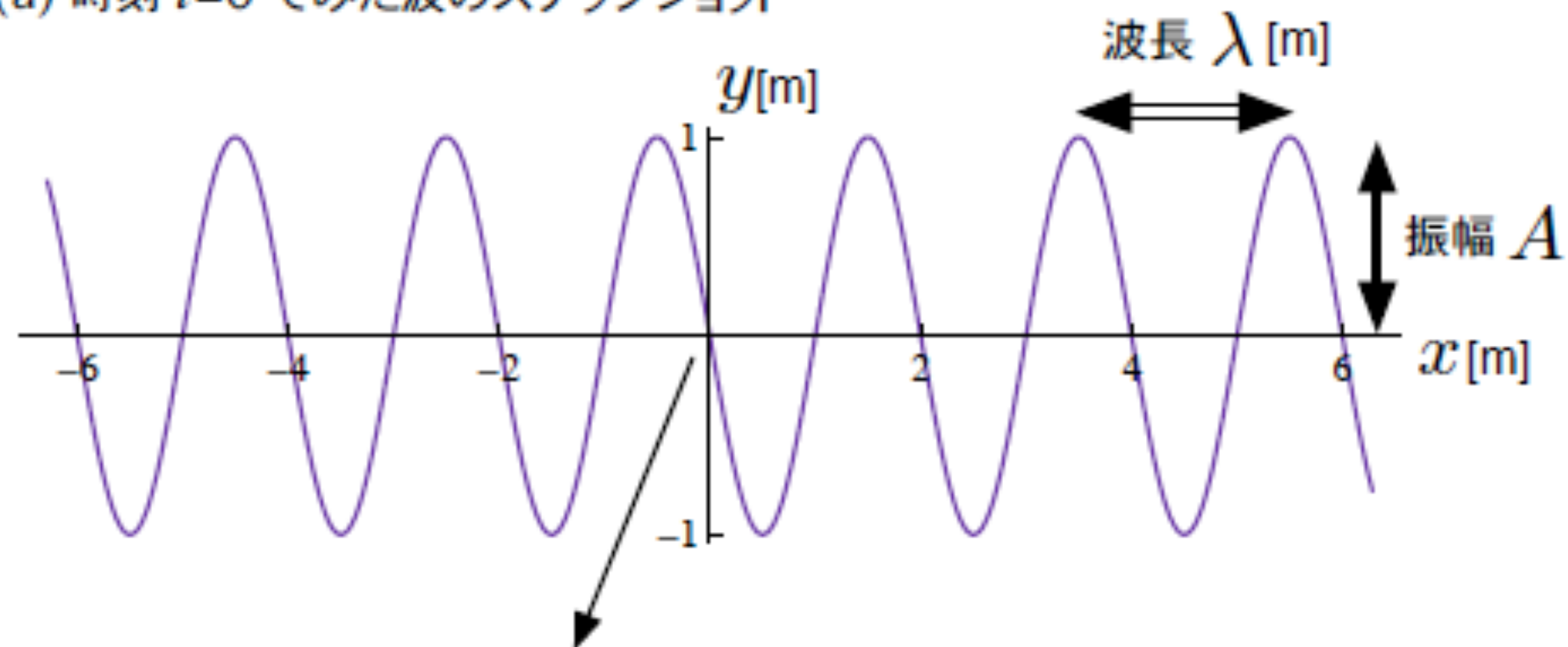
$$f = \frac{1}{T}$$

- 波の伝わる速さ v [m/s] を次のように決める.

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$



波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

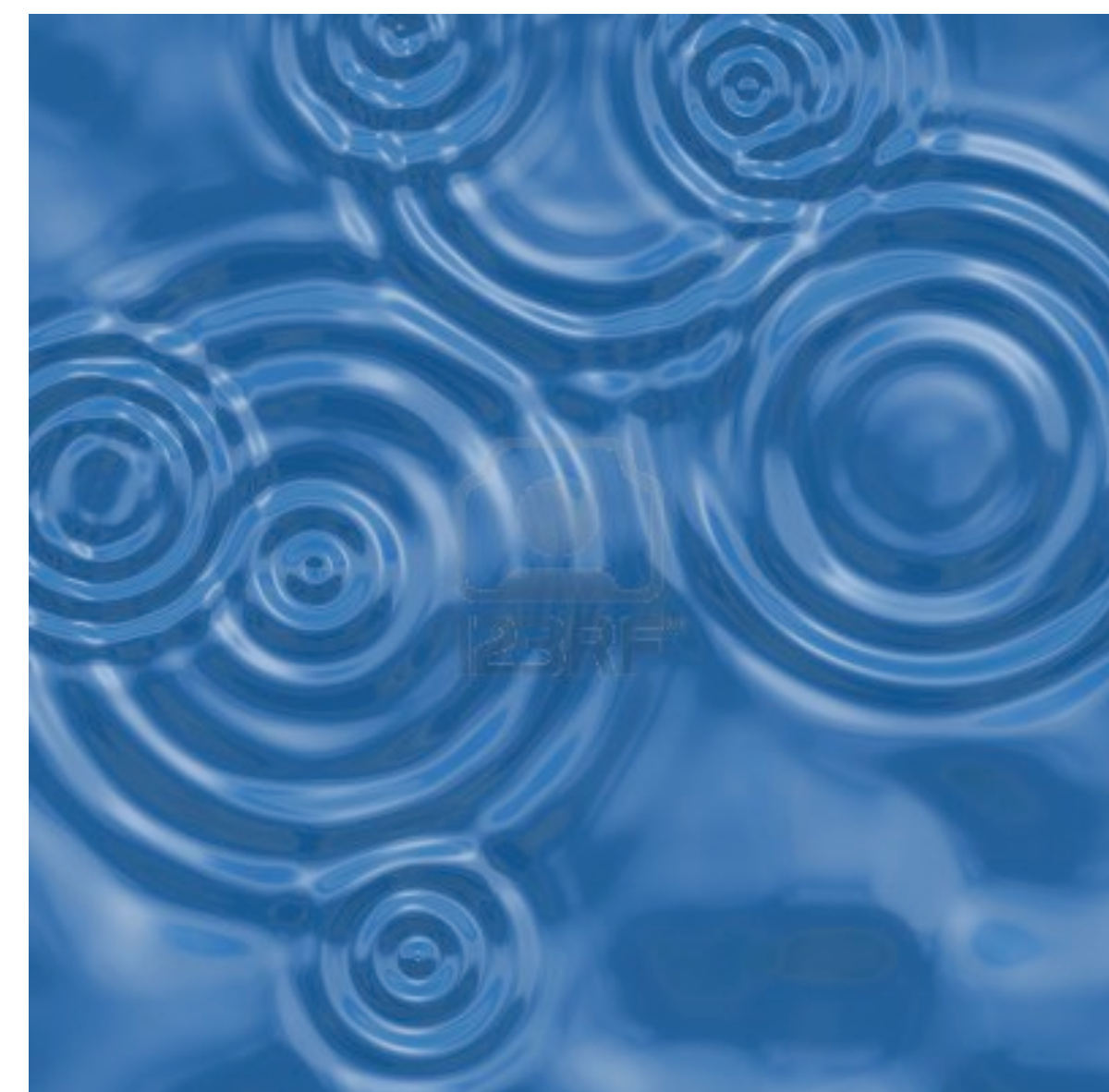
(a) 時刻 $t=0$ でみた波のスナップショット

「写真を撮る」

「全体図を知る」

(b) 位置 $x=0$ でみた波の時間変化

「1カ所での動きを見る」



波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

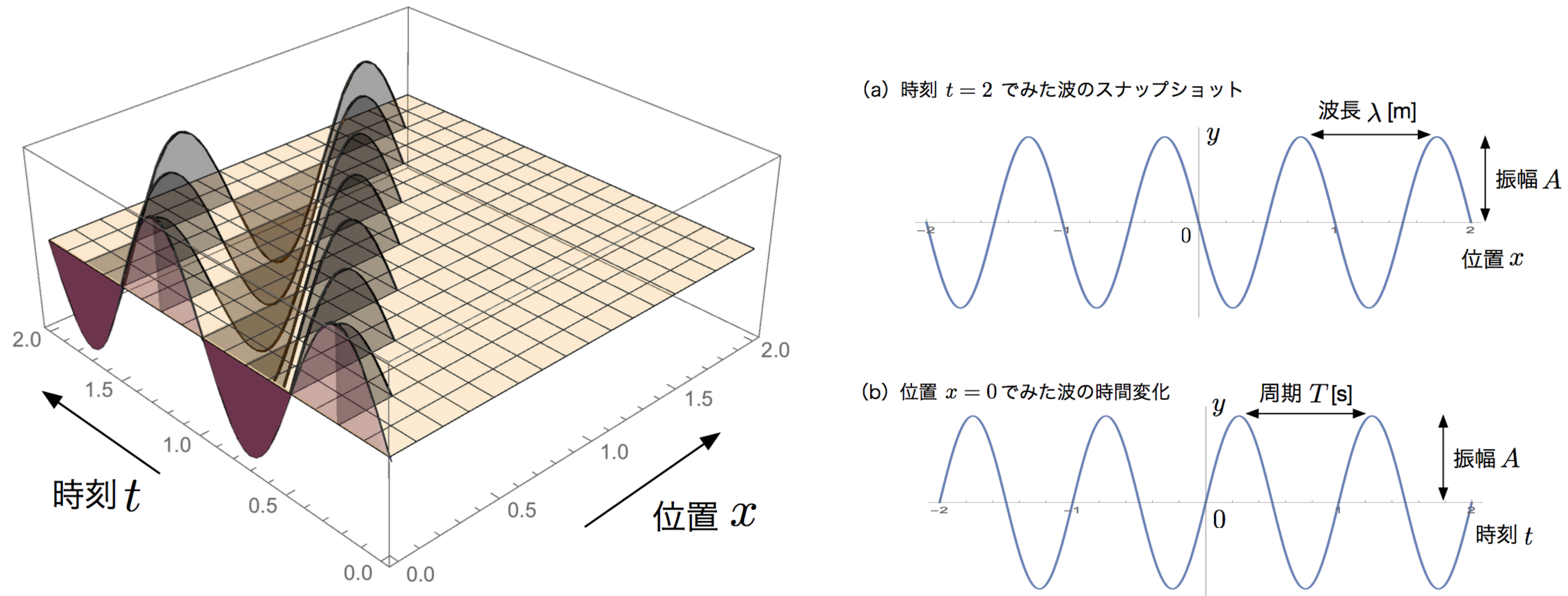


図 2: 正弦波の伝わる様子. ある時刻で写真を撮っても, 1ヶ所で止まって時間変化を観測しても, 周期的な変動になる. [左] 位置 $x = 0$ で単振動している波源から, x 軸の正の向きに正弦波の伝わる様子を $1/4$ 周期ごとの波形を並べて示した. [右] (a) x 方向に進む振幅 A , 波長 $\lambda = 1$ [m] の波を時刻 $t = 2$ でみた図. (b) は, この波を位置 $x = 0$ で観測したもの. 周期 $T = 1$ [s] であることがわかるので, この波の速さ v は, $v = \lambda/T = 1$ [m/s] である.

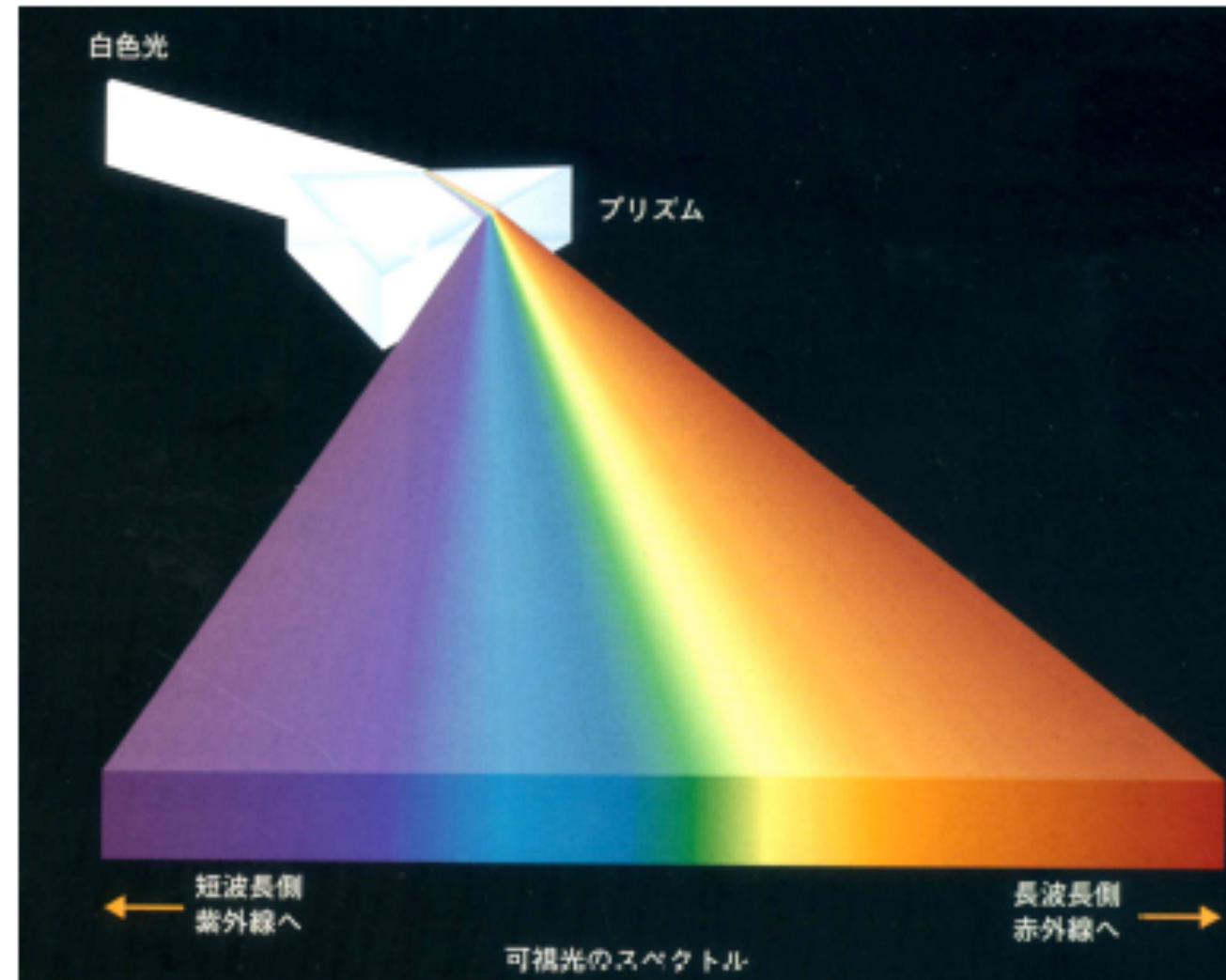
波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

問 5.1* 音や光の典型的な振動数, 波長について, 表 5.1 の (a)~(g) を埋めよ.

表 5.1 典型的な波の速度, 振動数, 波長

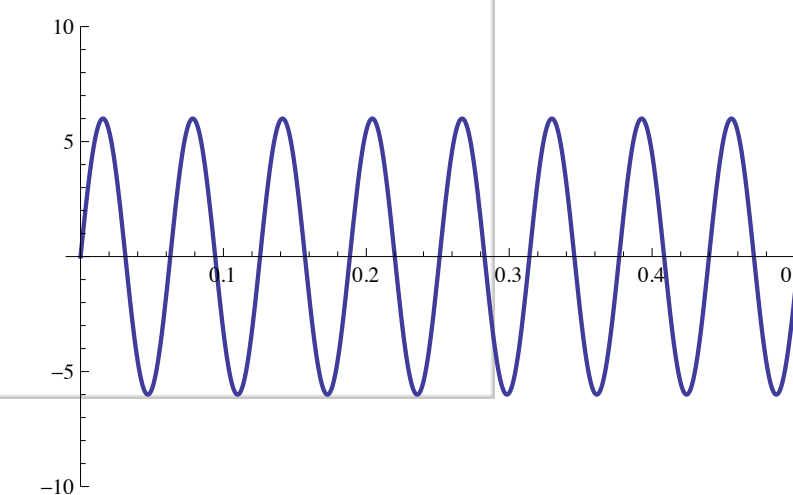
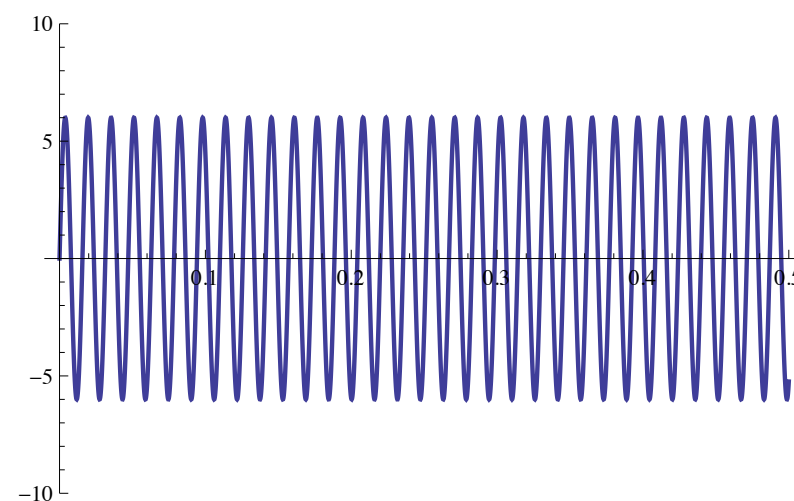
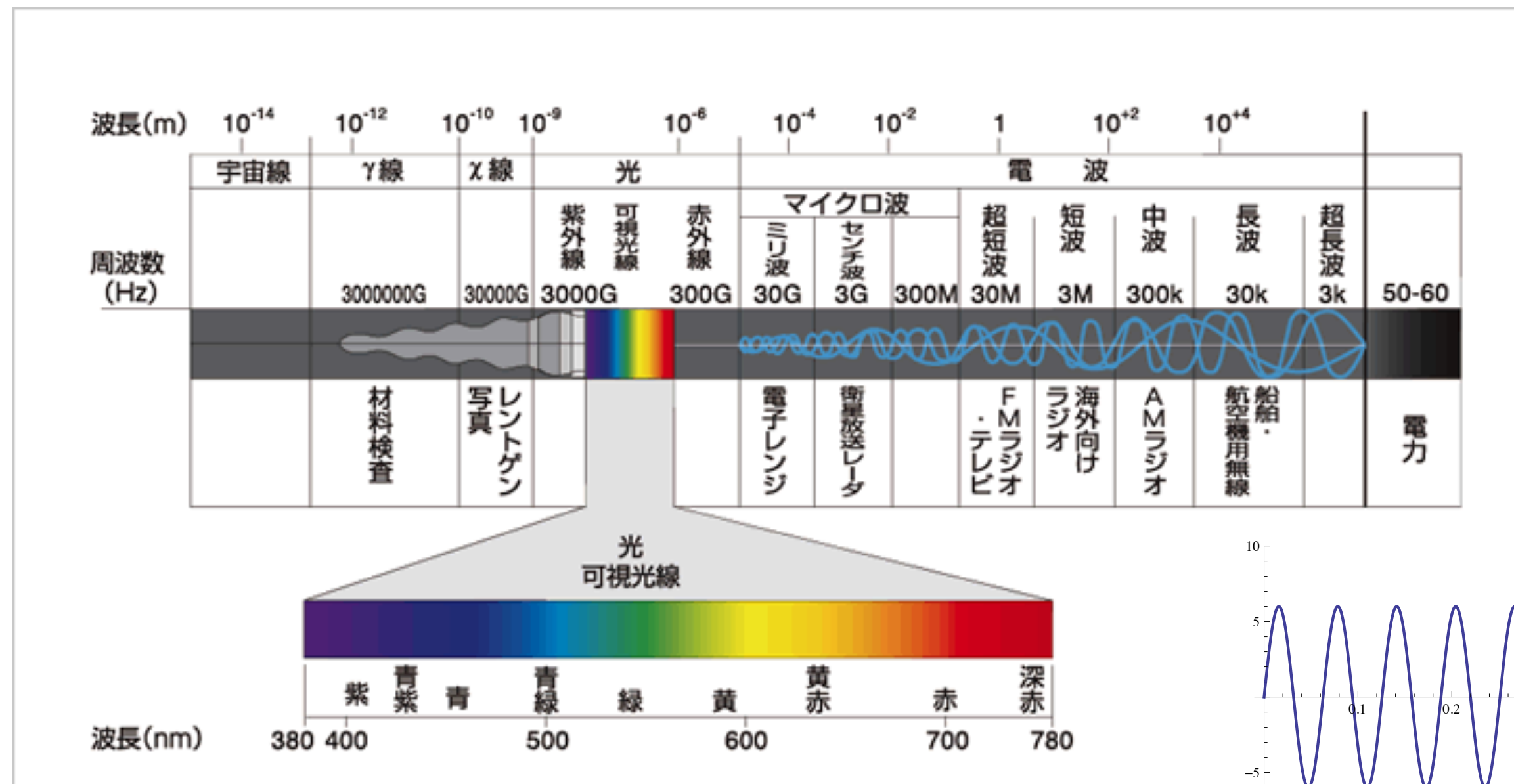
波	速度 v	振動数 f		波長 λ
光	$c = 299792458 \text{ m/s}$ 約30万 km/s	赤い光	(a) Hz	750 nm
		紫の光	(b) Hz	380 nm
電磁波	$c = 299792458 \text{ m/s}$ 約30万 km/s	電子レンジ	2450 MHz	(c) cm
		FM	80 MHz	(d) m
		AM	666 KHz	(e) m
音	$v = 340 \text{ m/s}$ (温度で変化)	A (ラ) の音	440 Hz	(f) cm
		高い A (ラ) の音	880 Hz	(g) cm

光の色=振動数



●電磁波の分類

名称	波長(振動数)	おもな利用例	
γ線	$1 \times 10^{-10} \text{m}$ 以下	食品照射, 医療	
X線	$1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-8} \text{m}$	X線写真, 医療	
紫外線	$1 \times 10^{-9} \sim 3.8 \times 10^{-7} \text{m}$	殺菌, 化学作用の利用	
可視光線	$3.8 \times 10^{-7} \sim 7.7 \times 10^{-7} \text{m}$	光学器械	
赤外線	$7.7 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{m}$	赤外線写真, 暖房	
電波	マイクロ波	$10^{-4} \sim 1 \text{m}$ ($3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12} \text{Hz}$)	携帯電話, 電子レンジ
	超短波	$1 \sim 10 \text{m}$ ($3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8 \text{Hz}$)	FM ラジオ放送, テレビ放送
	短波	$10 \sim 10^2 \text{m}$ ($3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7 \text{Hz}$)	短波ラジオ放送
	中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$ ($3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6 \text{Hz}$)	AM ラジオ放送
	長波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$ ($3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{Hz}$)	飛行機の通信, 電波時計
	超長波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	



縦波と横波

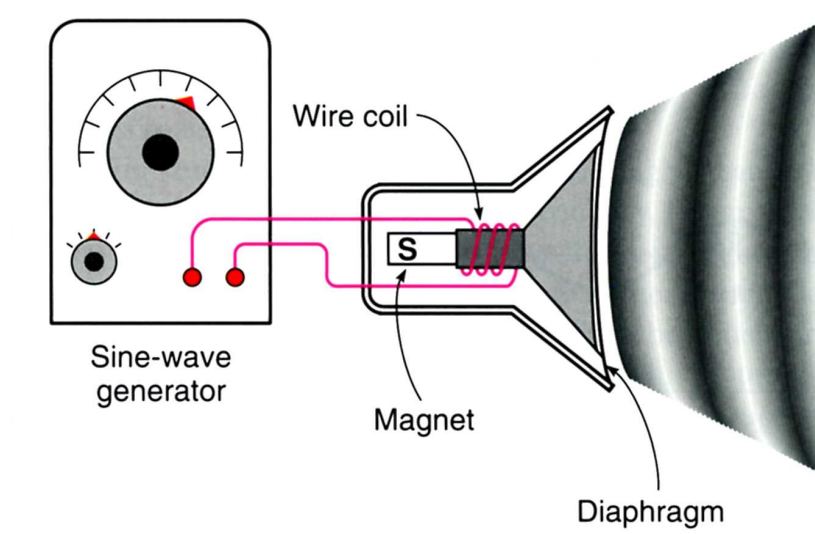
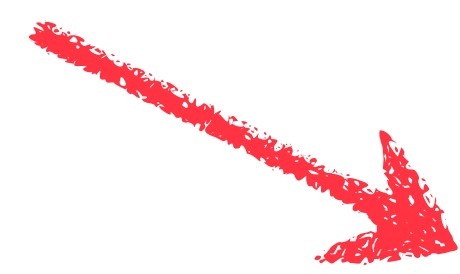
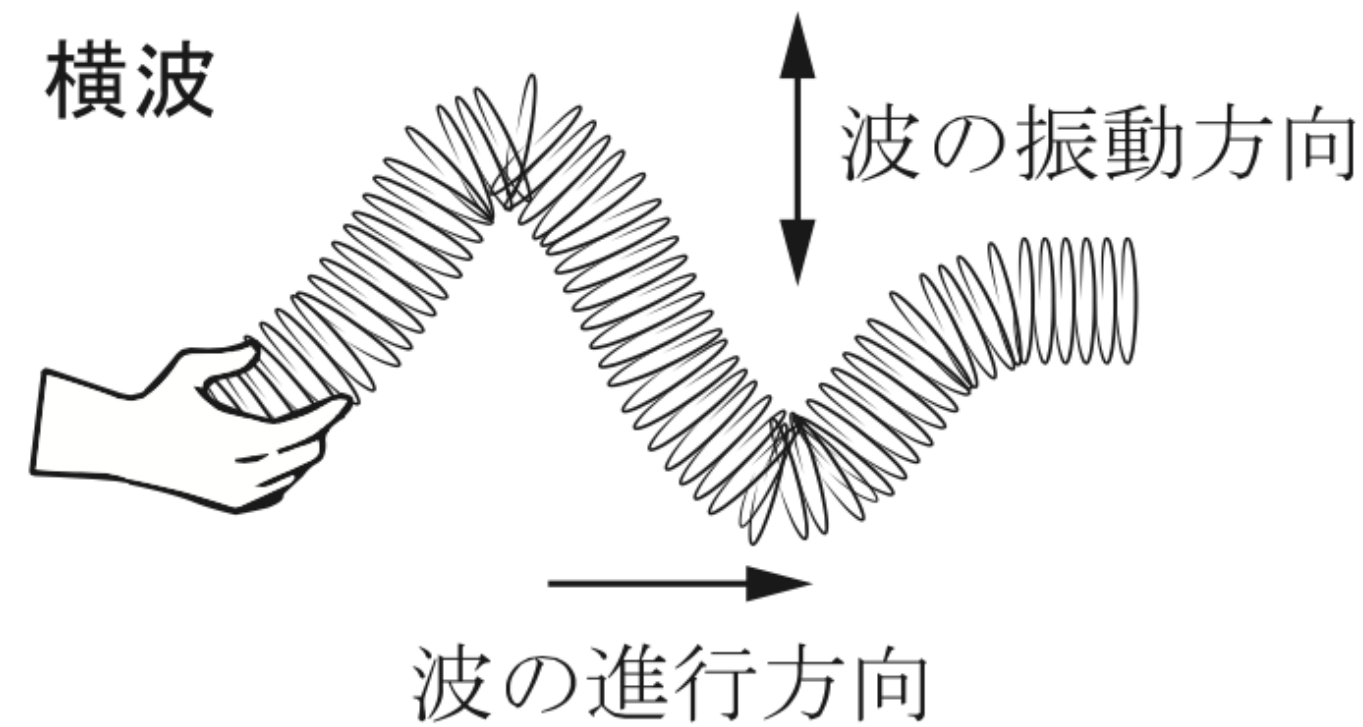
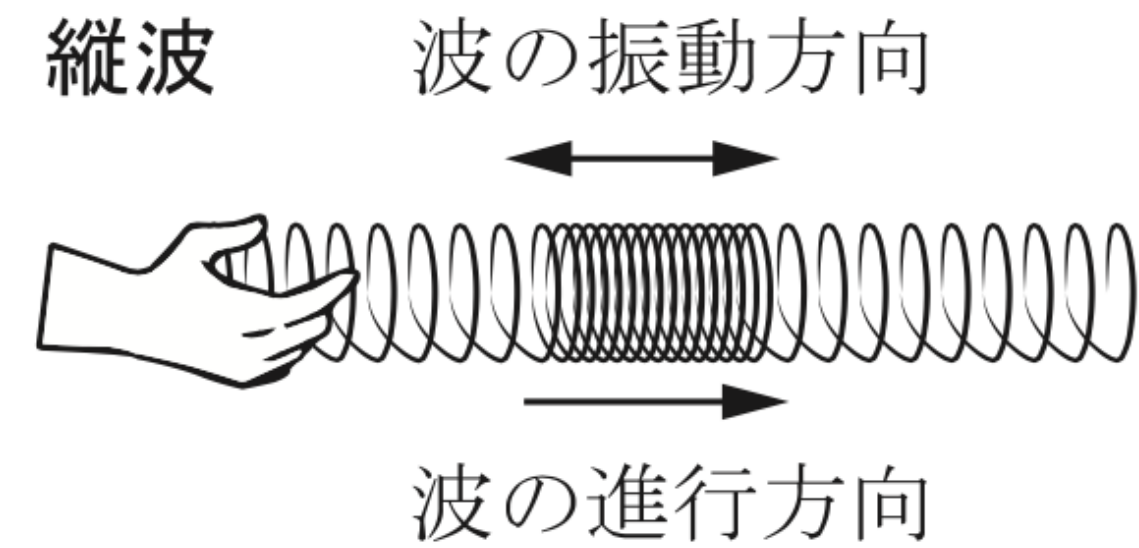
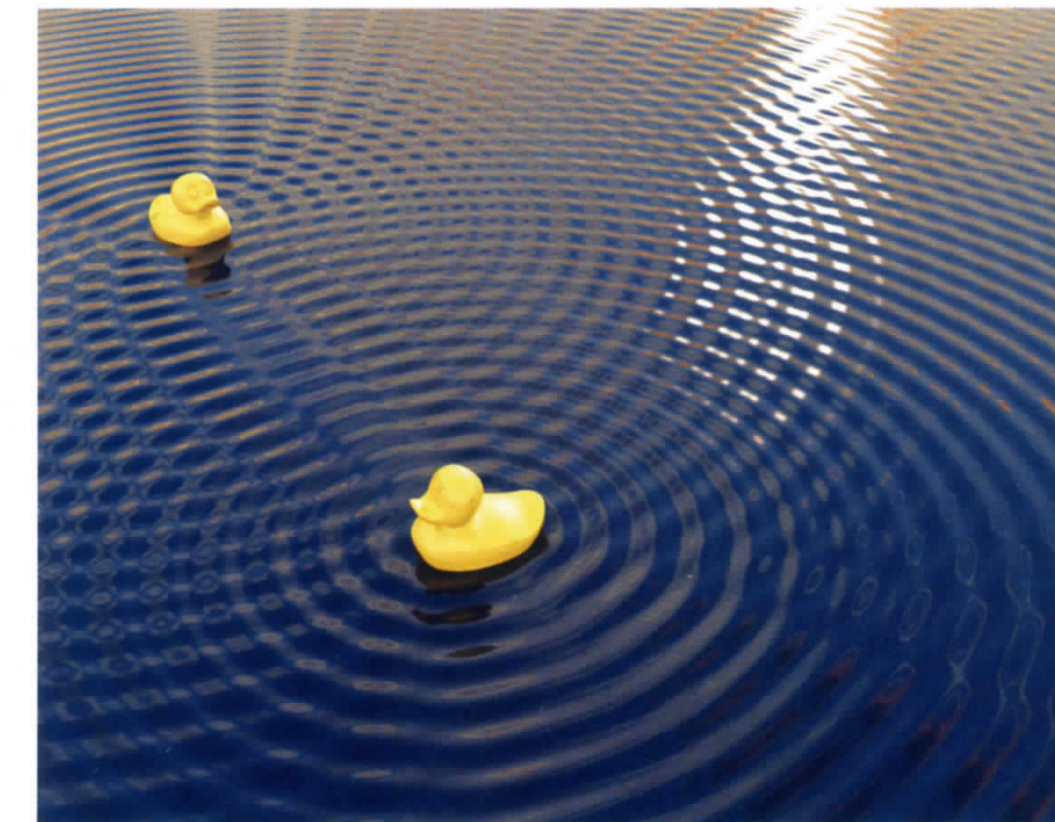


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.



Puddle Interference The concept of interference shows up in

問 5.2 次に挙げる波はそれぞれ縦波・横波どちらか。
 水面波・音波・電磁波（電波・光）・地震波・弦を伝わる波・管を伝わる波・膜を伝わる波

重ね合わせ と 干渉

波の特徴：重ね合わせと干渉

- 2つの波が重なるときは、**重ね合わせの原理**が成り立つ。
- 波が足し合わされると、振幅が大きくなる箇所と小さくなる箇所が発生する。

山+山=強め合う, 山+谷=弱め合う

このように、互いに強めあったり弱めあったりする現象を**干渉**という。

山と山の重ねあわせ

山と谷の重ねあわせ

重ね合わせ (superposition)

- 同じ位相の波を重ね合わせるとき 波は強め合う。

山 + 山 = 強め合う

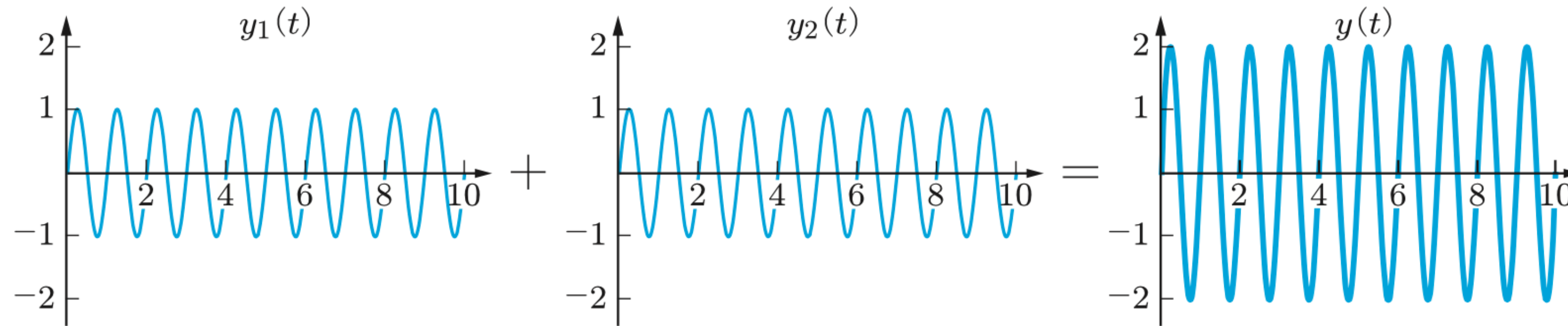


図 31: 左 2 つの波を足すと右の波になる. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = y_1(t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

- 逆位相の波を重ね合わせるとき 波は弱め合う。

山 + 谷 = 弱め合う

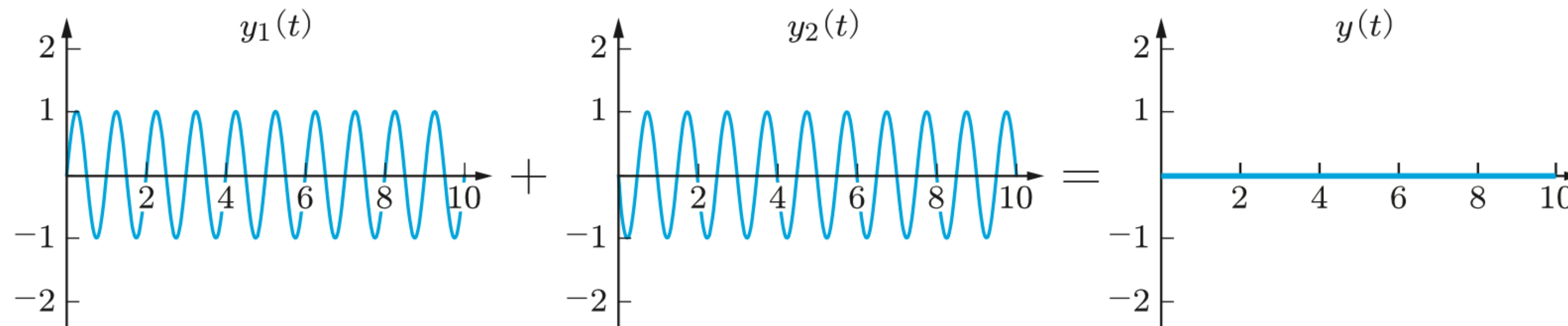
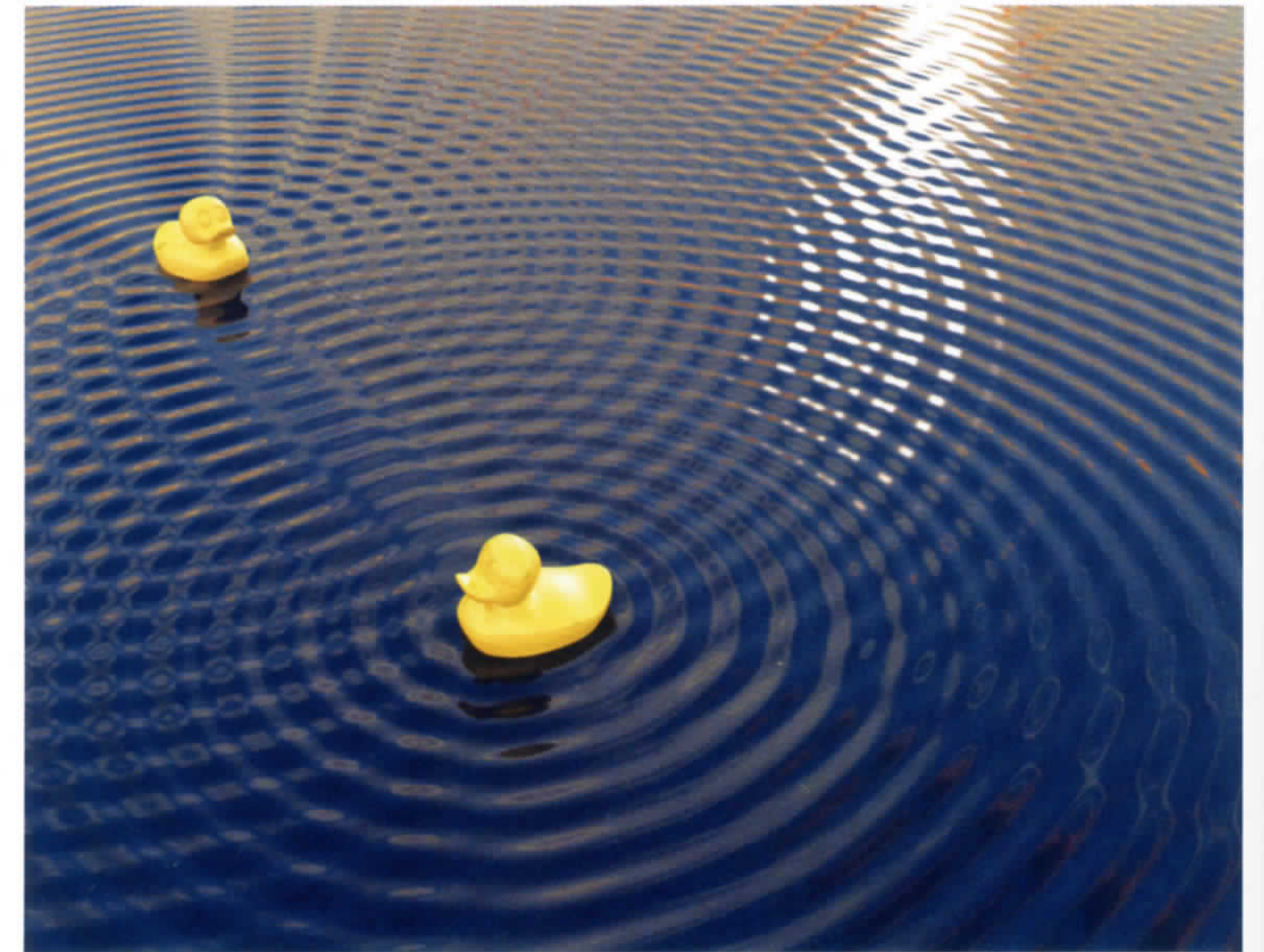


図 32: 左 2 つの波を足すと右の波になる. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = -\sin(2\pi t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

干渉 (interference)



<https://www.youtube.com/watch?v=dNx70orCPnA>



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

法則 波の特徴：干渉

合成された波が、互いに強めあったり弱めあったりする現象を、干渉という。

ノイズキャンセリング ヘッドホン

ノイズキャンセリングヘッドホンとは？

周囲の騒音を低減し、クリアなサウンドを再生する
ノイズキャンセリングヘッドホン



電車内や航空機※などでのリスニング時に、走行音やエンジンノイズなどさまざまな騒音を低減。
勉強や仕事するときなどは、気が散る原因となる周囲の雑音を低減し、静かな環境で聴けるので目的に集中できます。また、音量を上げ過ぎずに音楽を聴きとれるので、周囲への音漏れの心配がありません

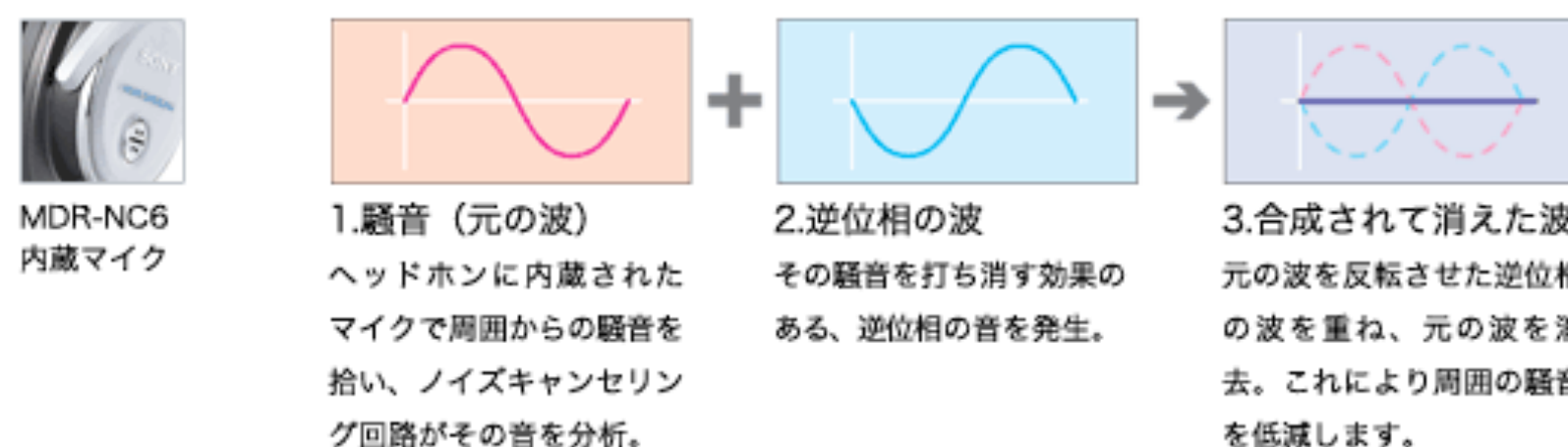
■ノイズキャンセリングヘッドホンの活躍シーン



※航空機内の音楽サービスシステムにより、ご使用になれない場合があります
※航空機内で電子機器の使用が禁止されている場合や、機内の音楽サービスを個人のヘッドホンで利用することが禁止されている場合は、本機を使用しないでください



■ノイズキャンセリング機能の原理



*ノイズキャンセリング機能は、人が耳障りに感じやすい40~1,500Hzの音を低減させます。周囲からの騒音がまったく聞こえなくなるわけではありません

固定端と自由端

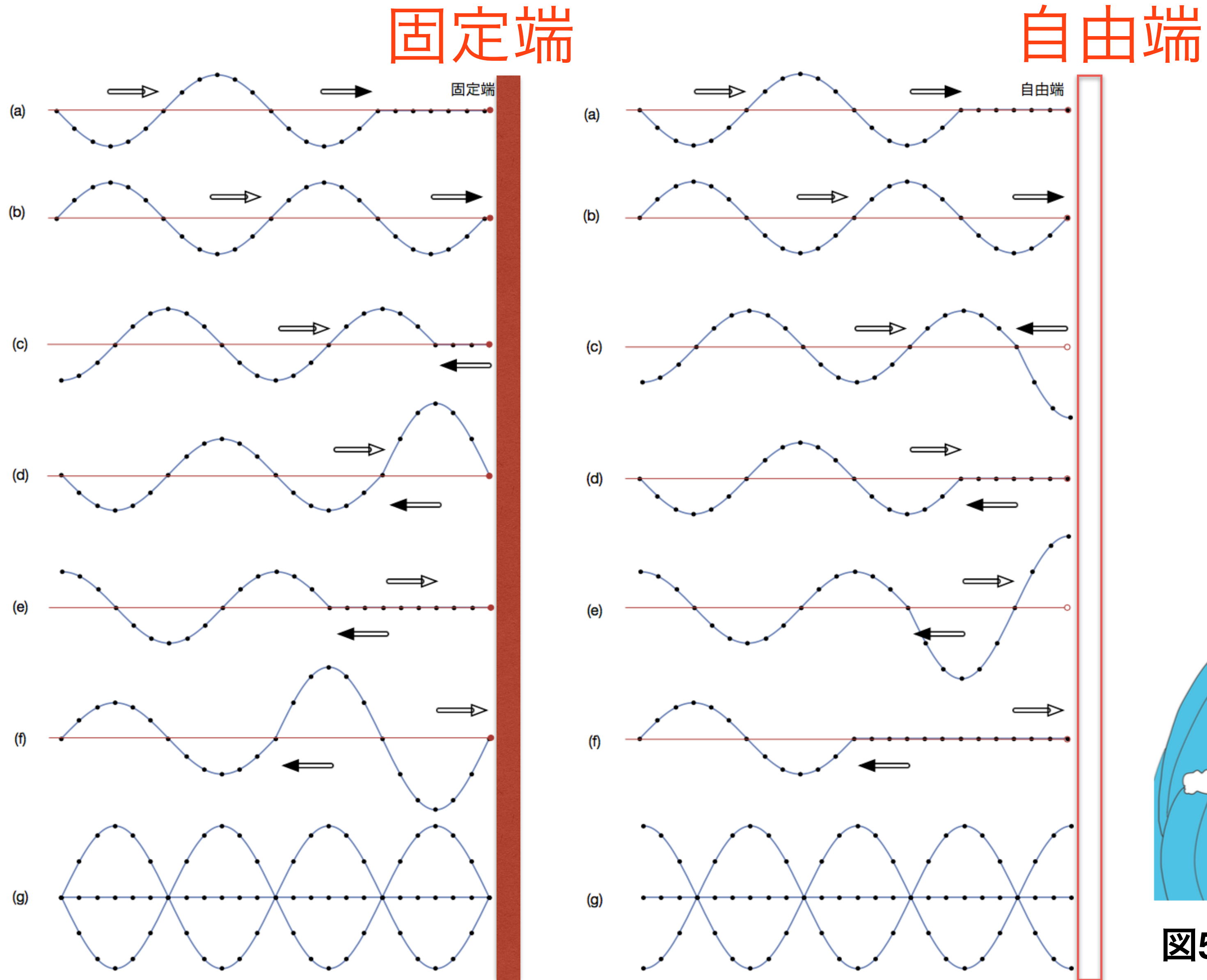
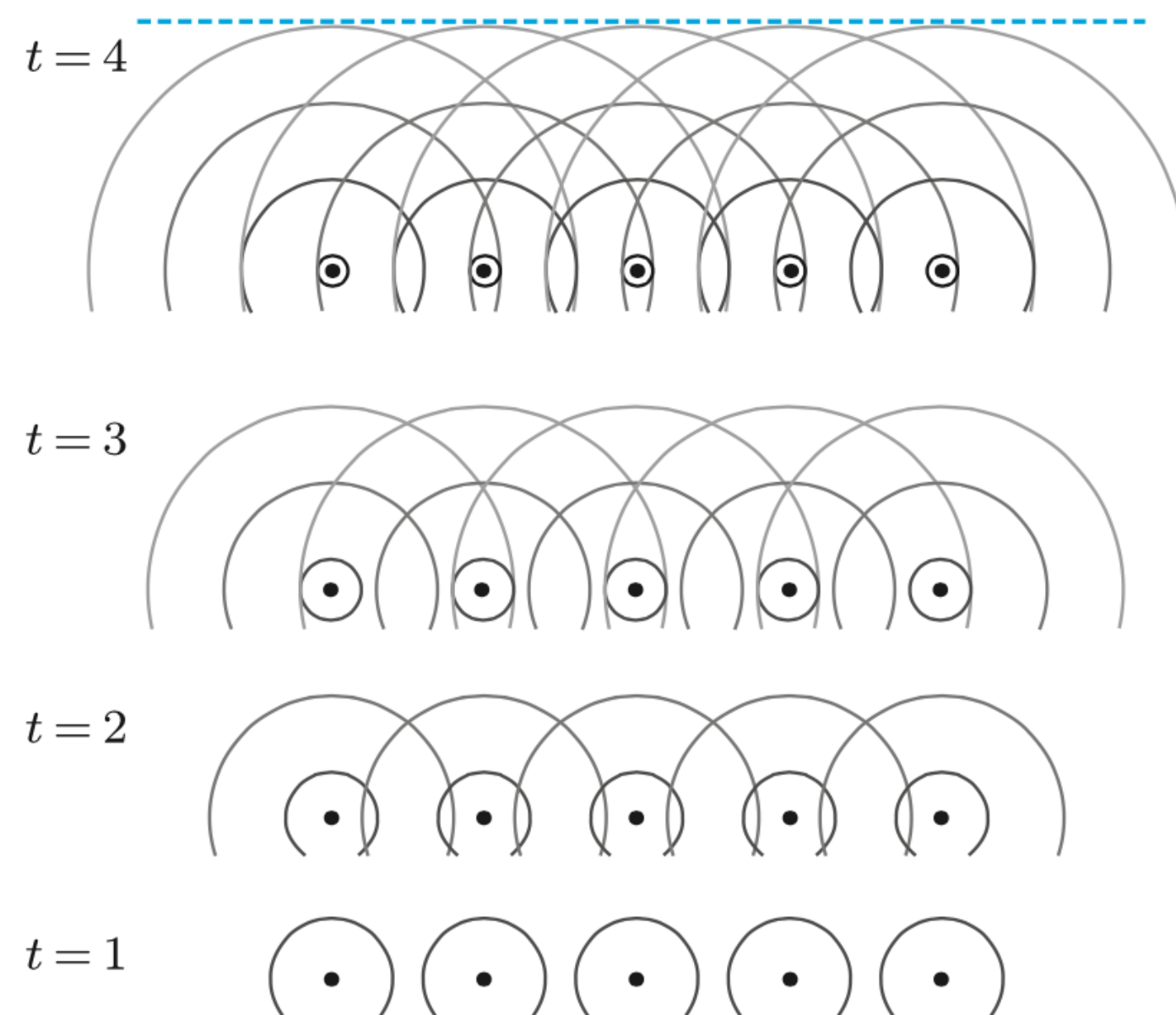


図5.13 岸壁でざぶん.

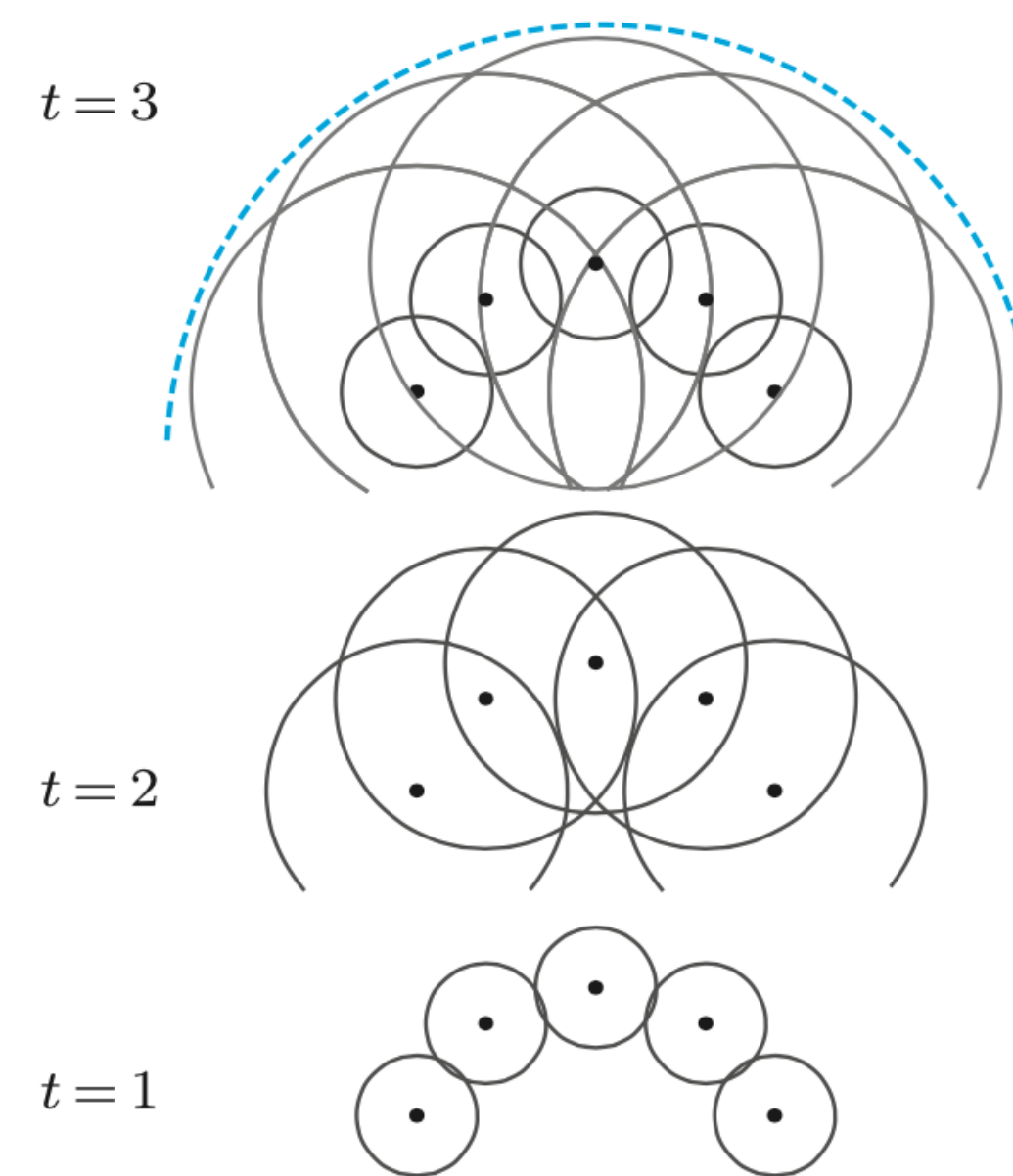
ホイヘンスの原理

法則 ホイヘンスの原理

波面は無数の波源の集まりとみなすことができ、波の各点を波源として球面状に広がっていく波（素元波）の重ね合わせとして、次の瞬間の波面が形成される。



(a) 重ね合った波面は平面状になる



(b) 重ね合った波面は球面状になる

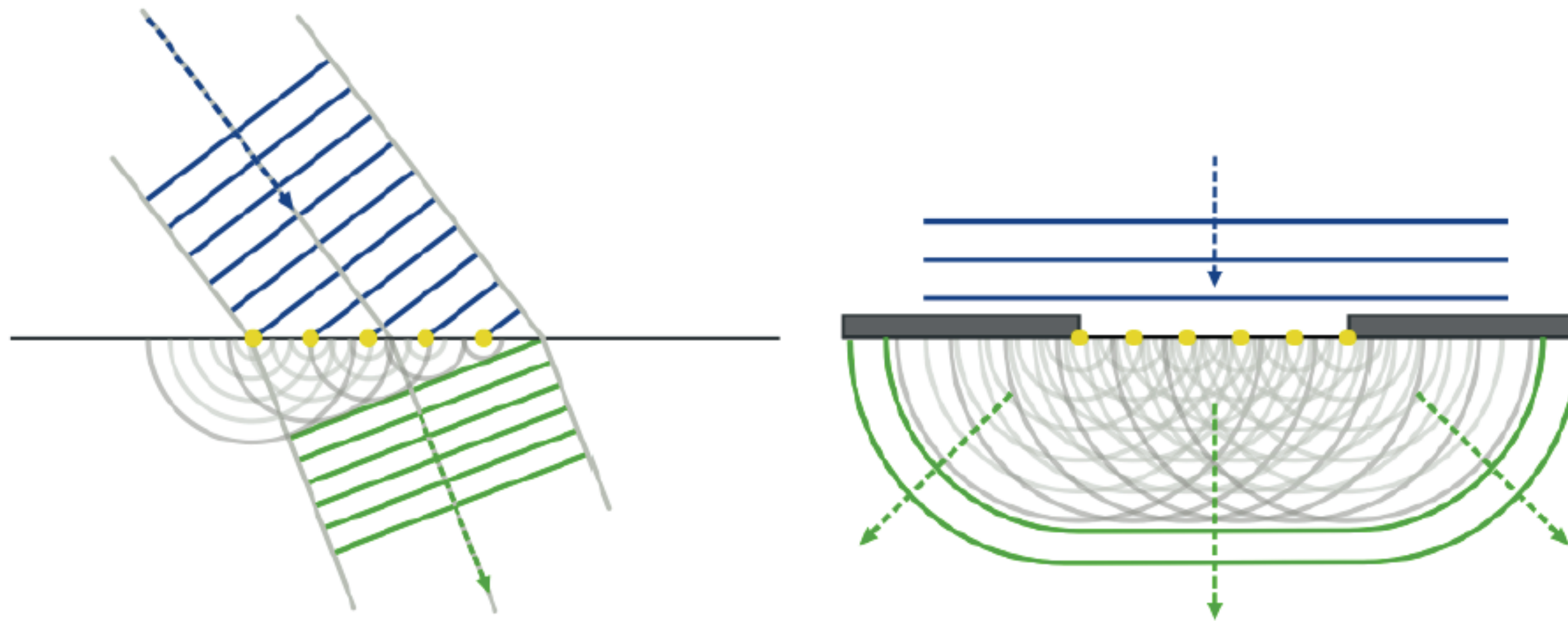
Christiaan Huygens
(1629–95)



屈折 と 回折

波の特徴：屈折と回折

- 波は媒質が異なるところへ進むとき、**屈折**する。(ホイヘンスの原理)
- 波は障害物の後ろにも**回折**して進む。(ホイヘンスの原理)



法則 ホイヘンスの原理

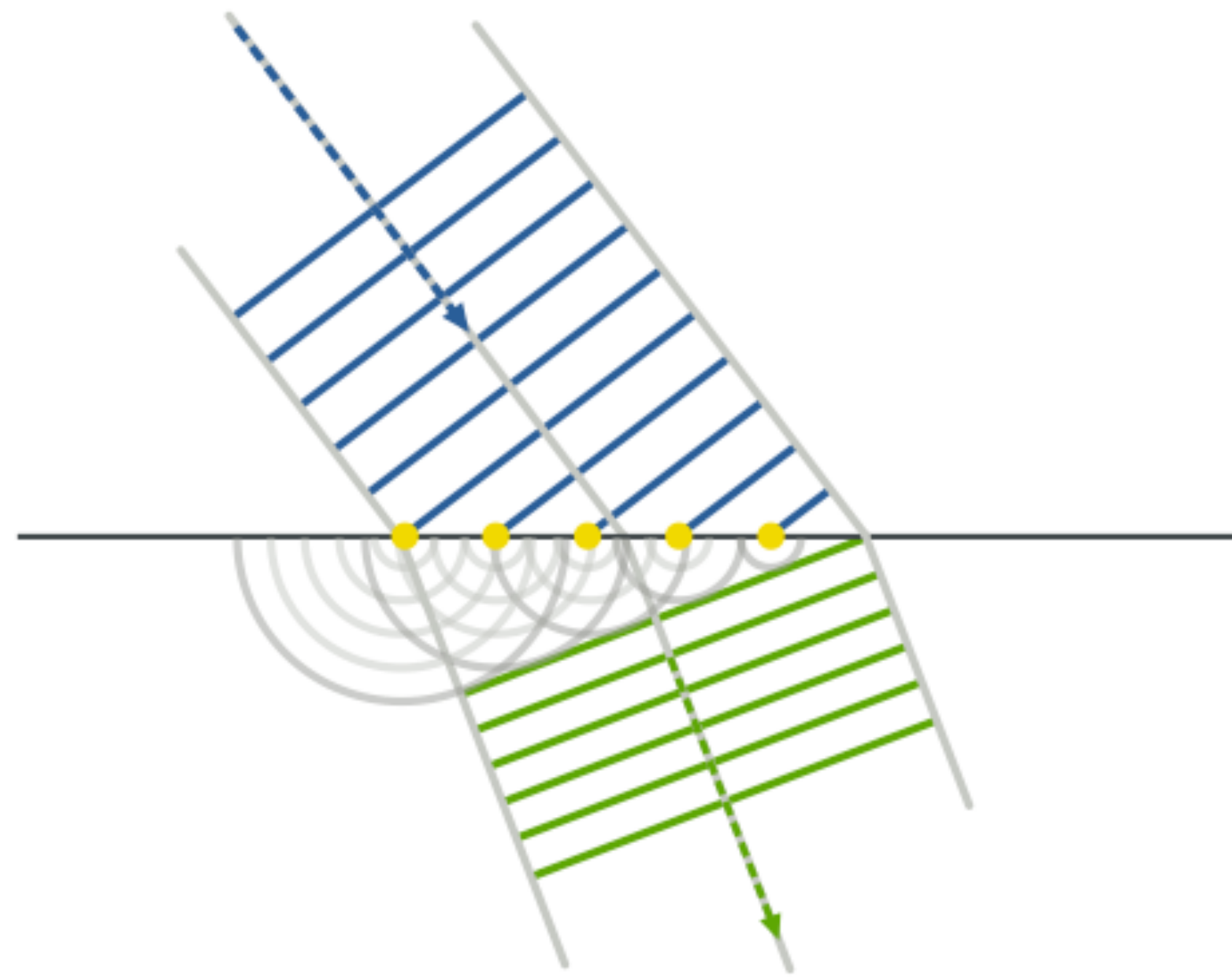
波面は無数の波源の集まりとみなすことができ、波の各点を波源として球面状に広がっていく**素元波**の重ね合わせとして、次の瞬間の波面が形成される。

Christiaan Huygens
(1629–95)

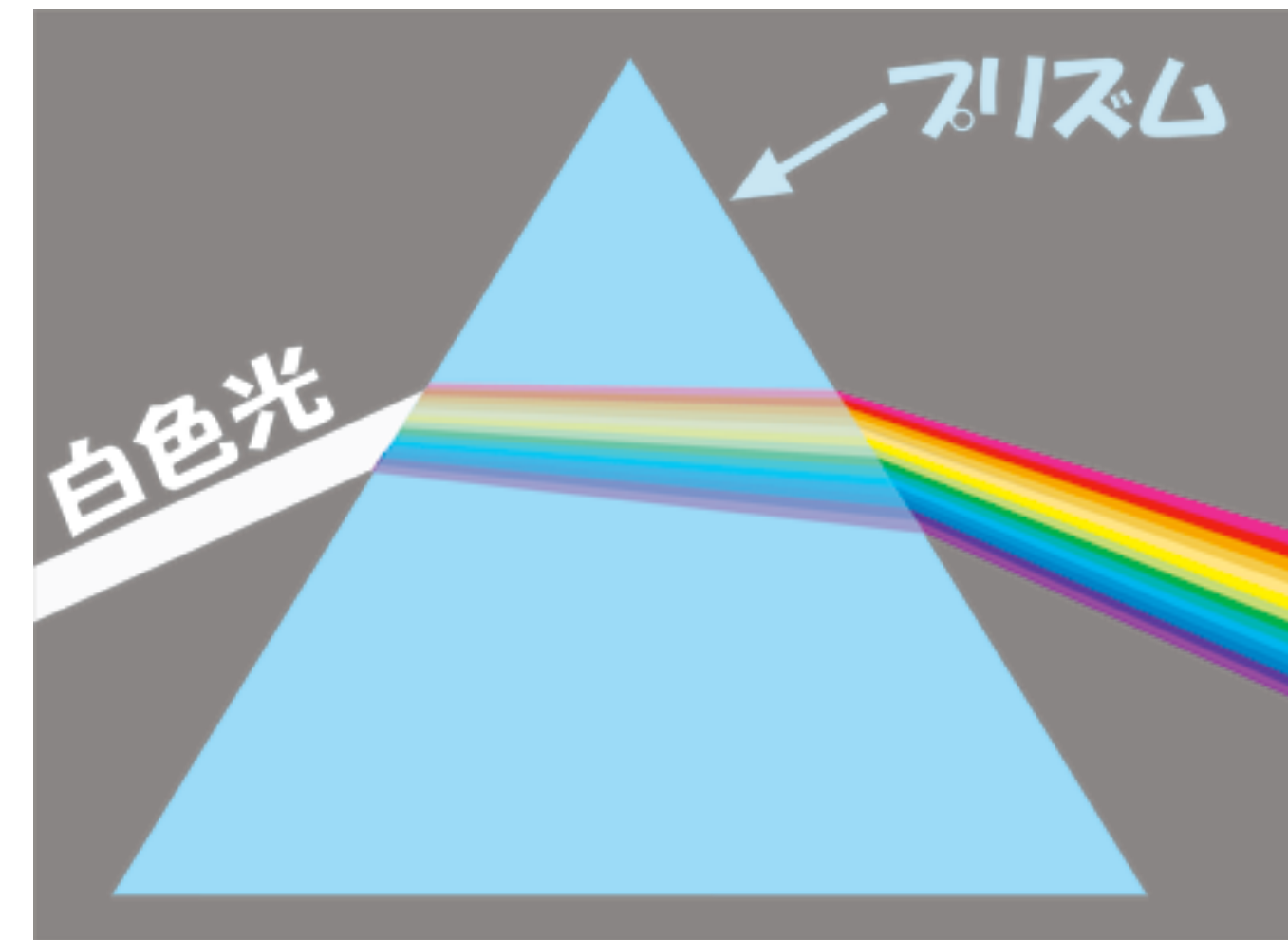


屈折 (refraction)

媒質が異なるところへ進むとき、波は**屈折**する。



波は素元波の合成である
(ホイヘンス)



海面の波の進む速さは深さによって決まる。浅い方が海底からの抵抗を受けるため進みにくい。これは浅い海岸に行くほど屈折率の大きな場所を進むことと同じである。したがって、緩やかな砂浜では波はしだいに海岸線に向かって進むようになるため、打ち寄せる波は海岸線に平行になる。

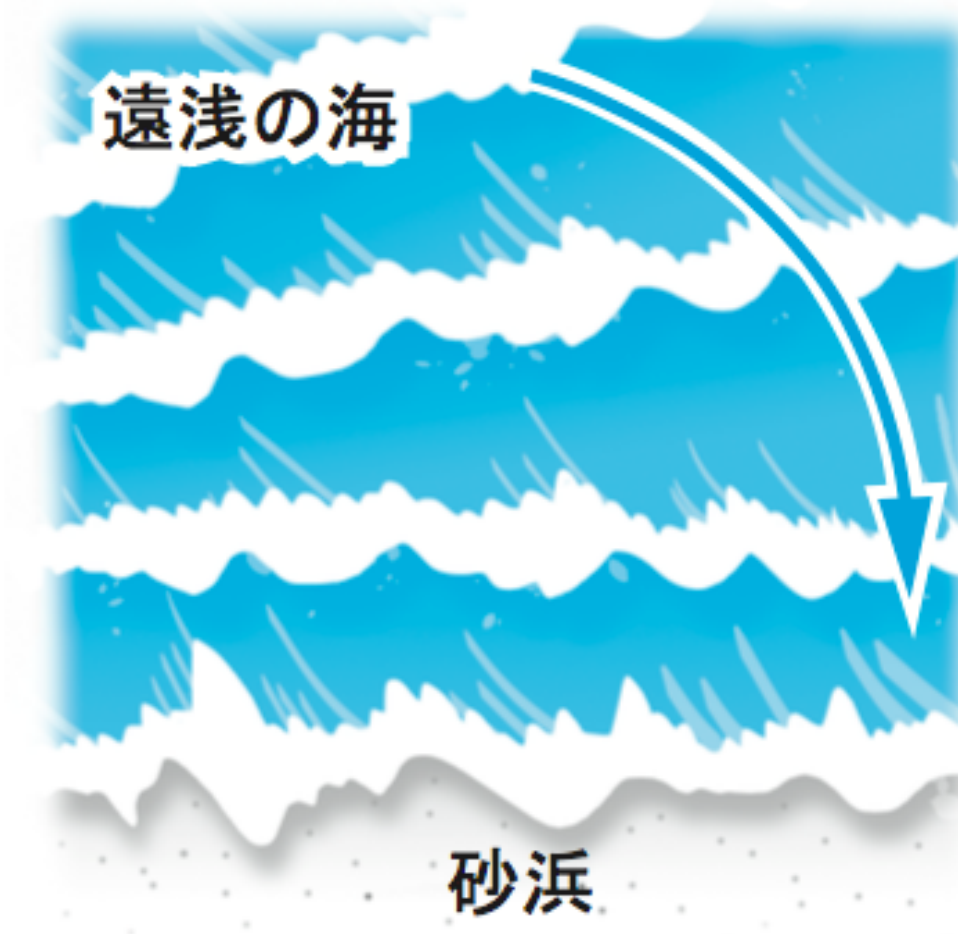
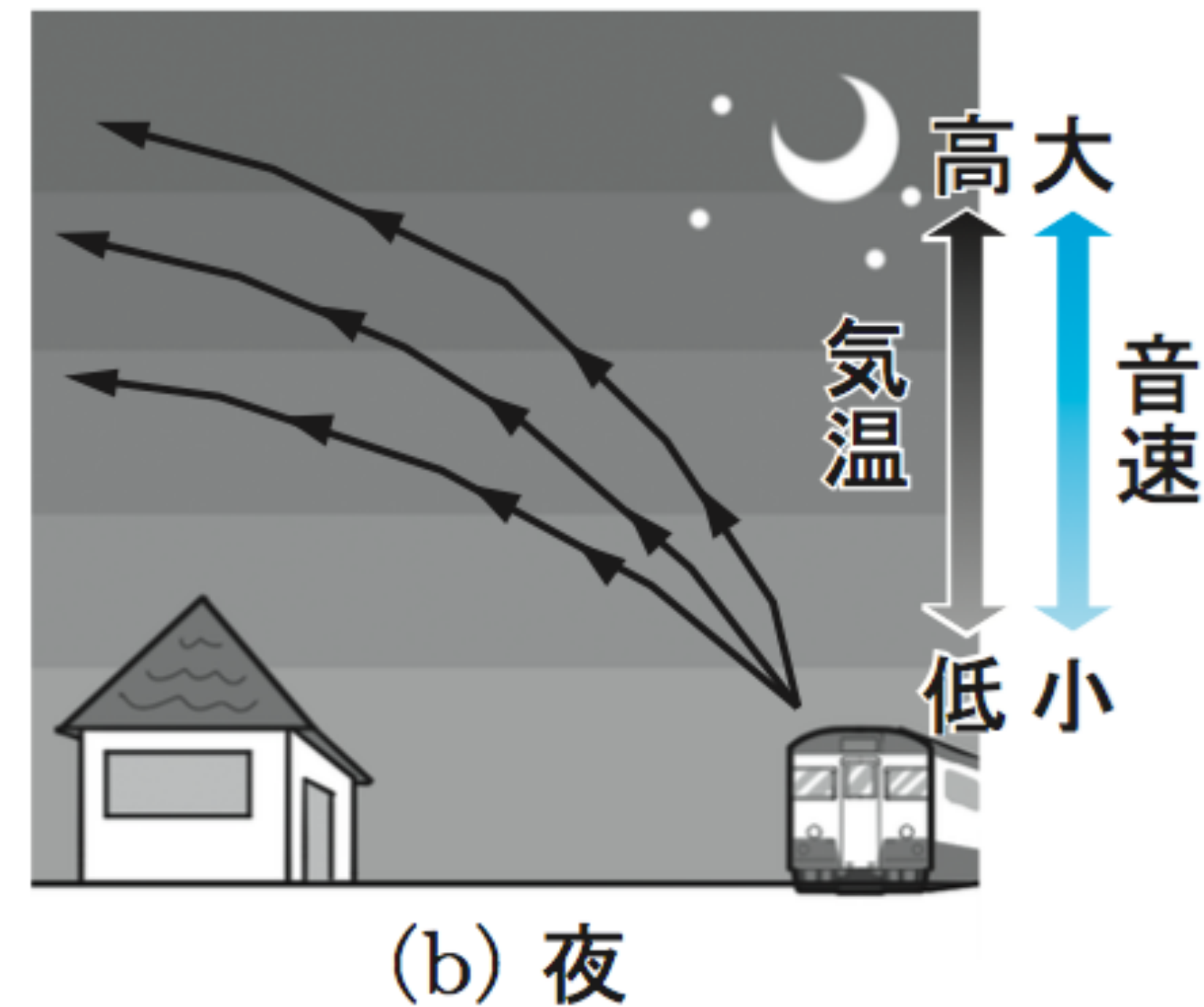
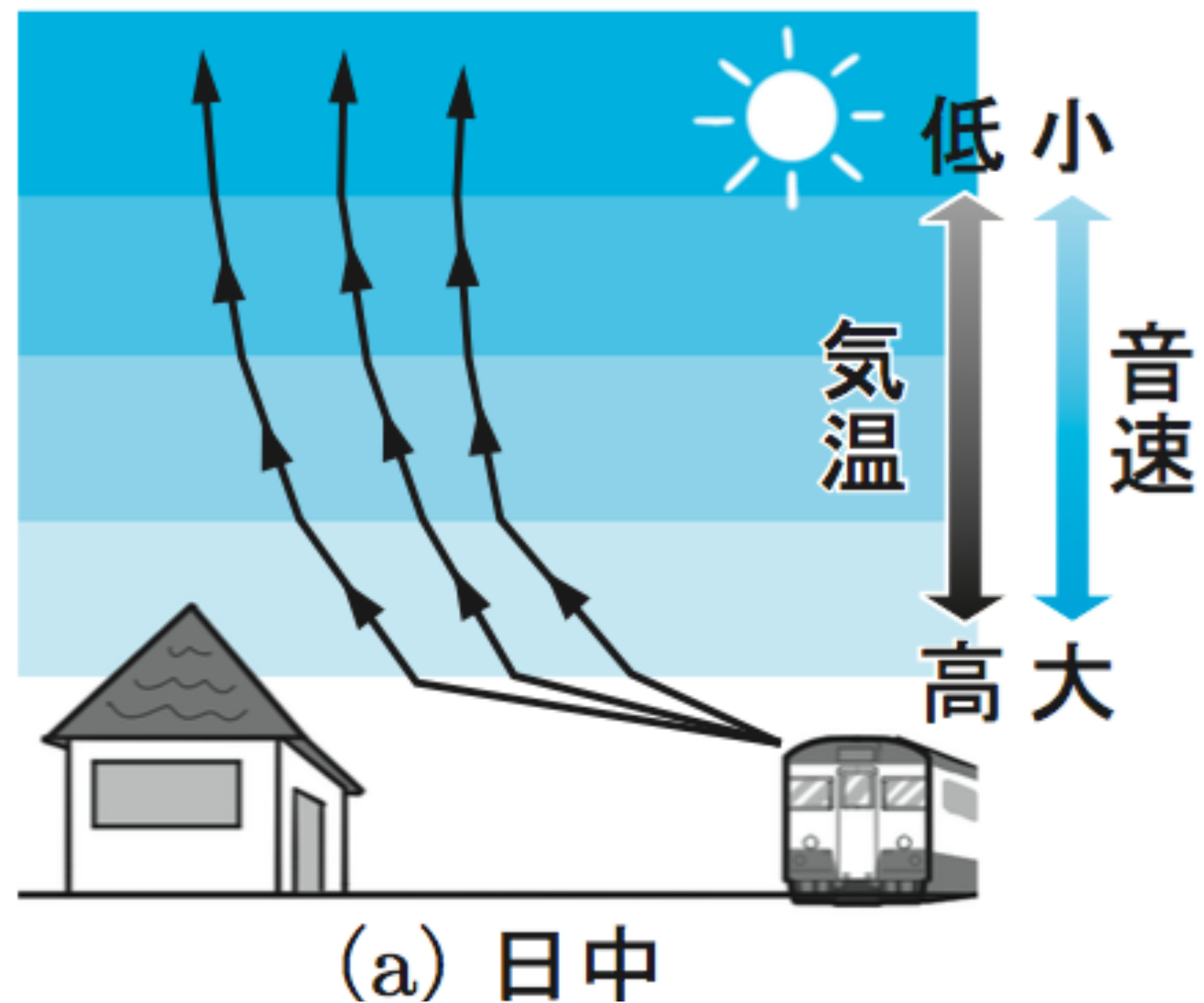


図5.18：遠浅の海では波も屈折する。

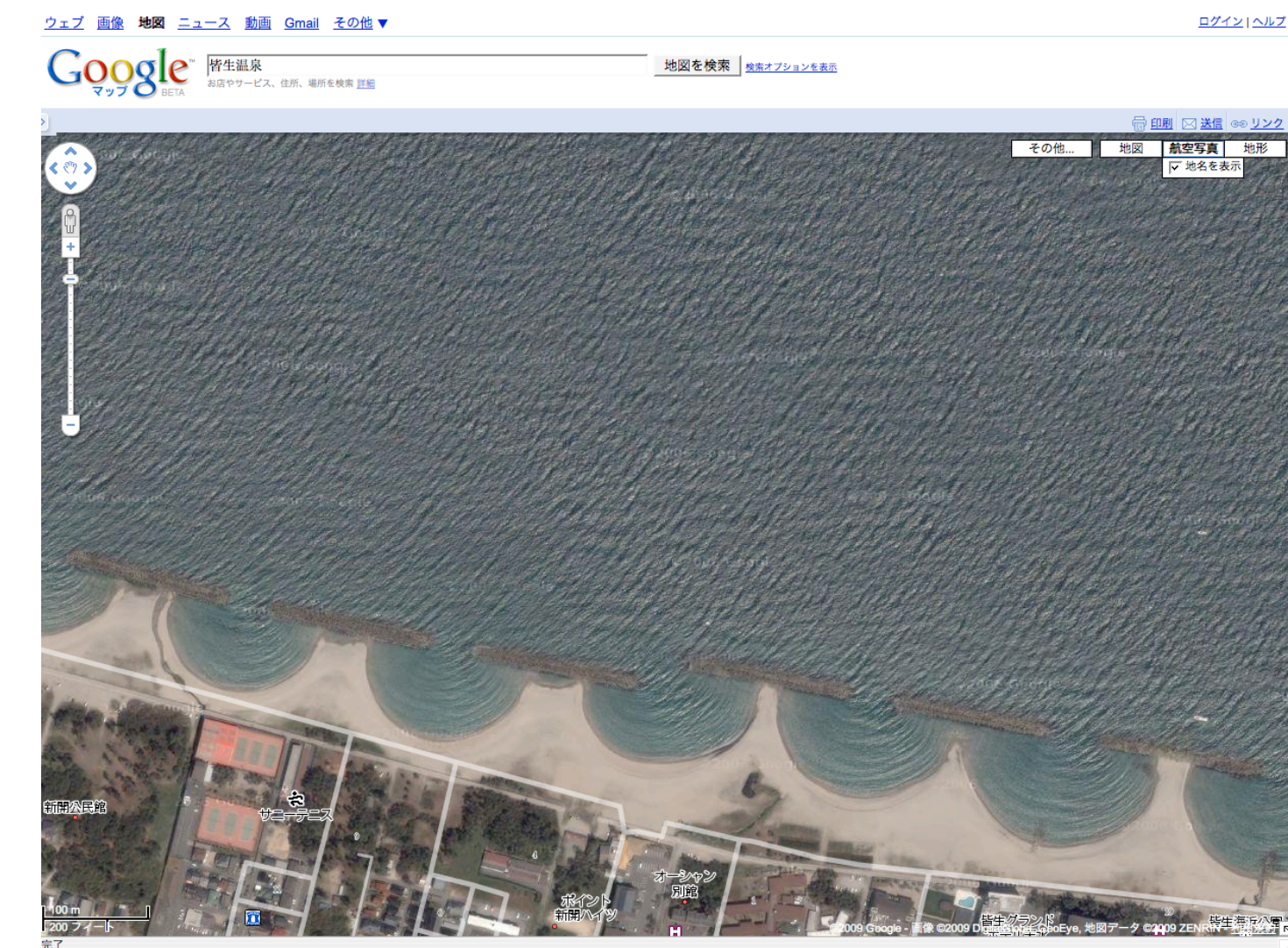
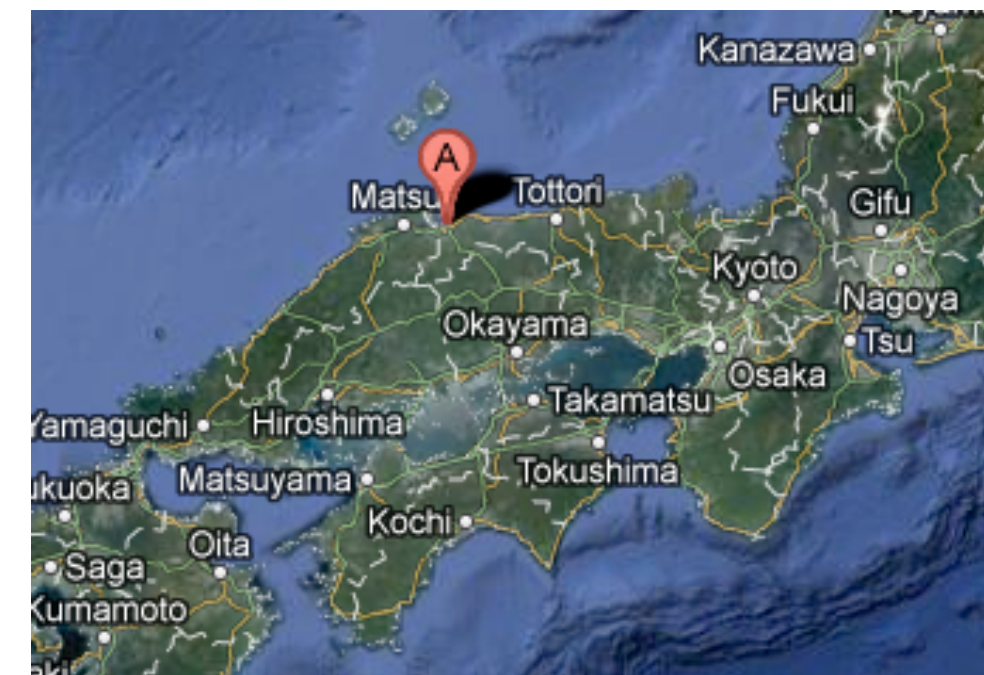
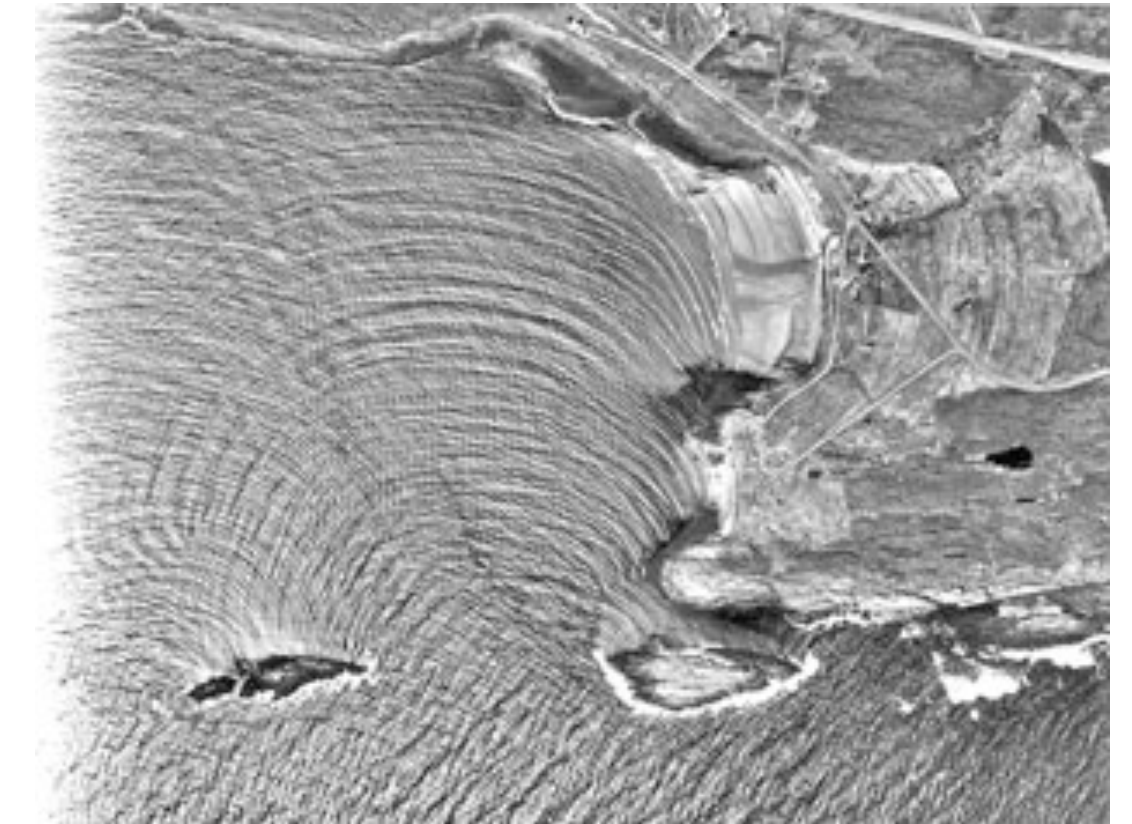
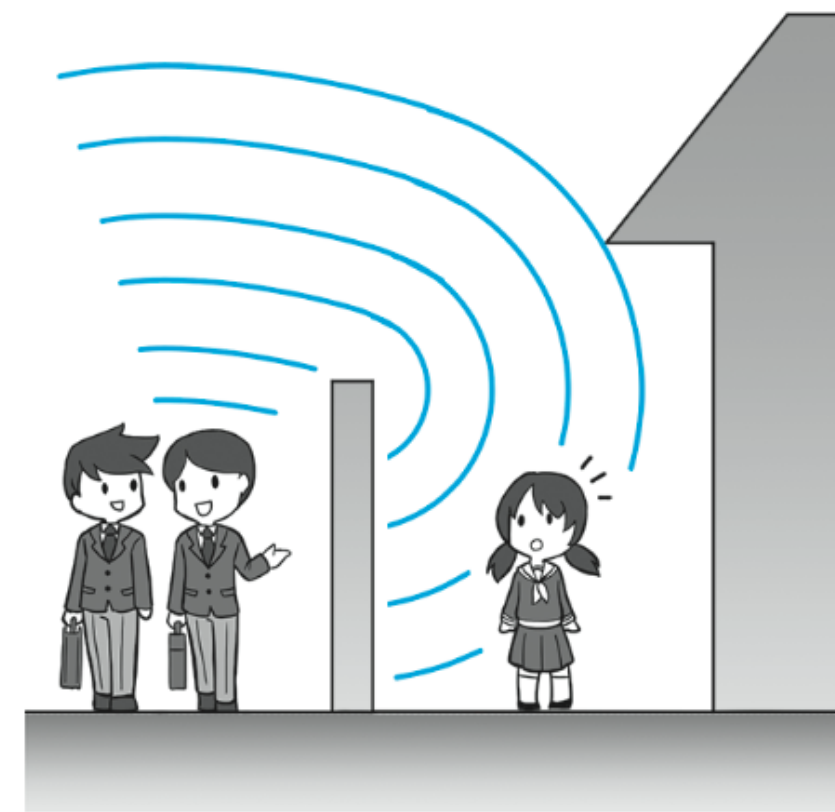
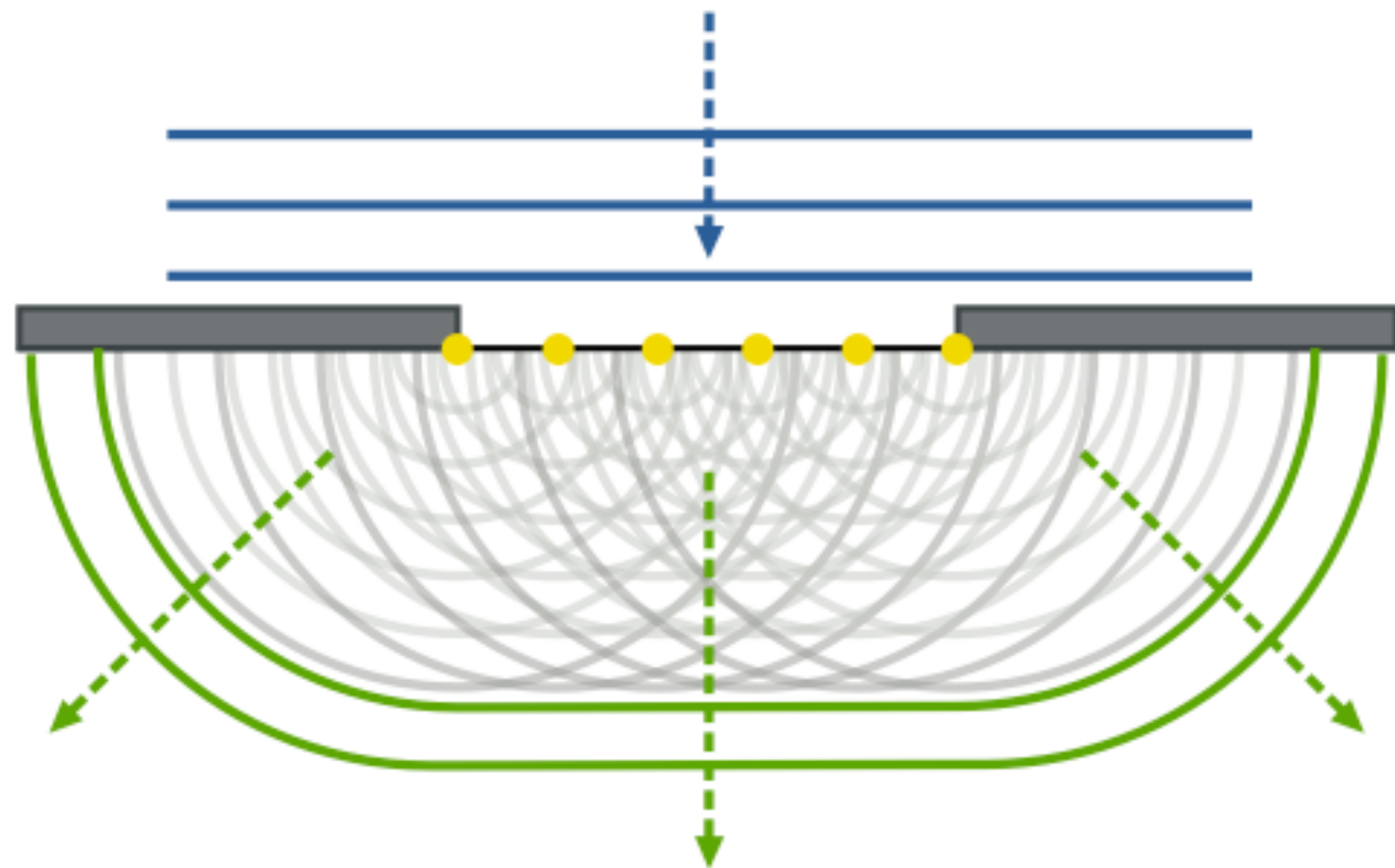
夜汽車の音が遠くまで届く

音も屈折現象を起こす。空気中の音速は温度によって変わり、温度が高い方が音速は速い。日中は地上ほど温度が高く、夜間は地上の方が温度が低い。したがって、音波は、日中は上空に向かって屈折し、夜間は地上に向かって屈折する。夜汽車の音が遠くから聞こえるのは音の屈折現象である。



回折 (diffraction)

障害物の後ろにも，波は**回折**して進む。



皆生温泉 google map

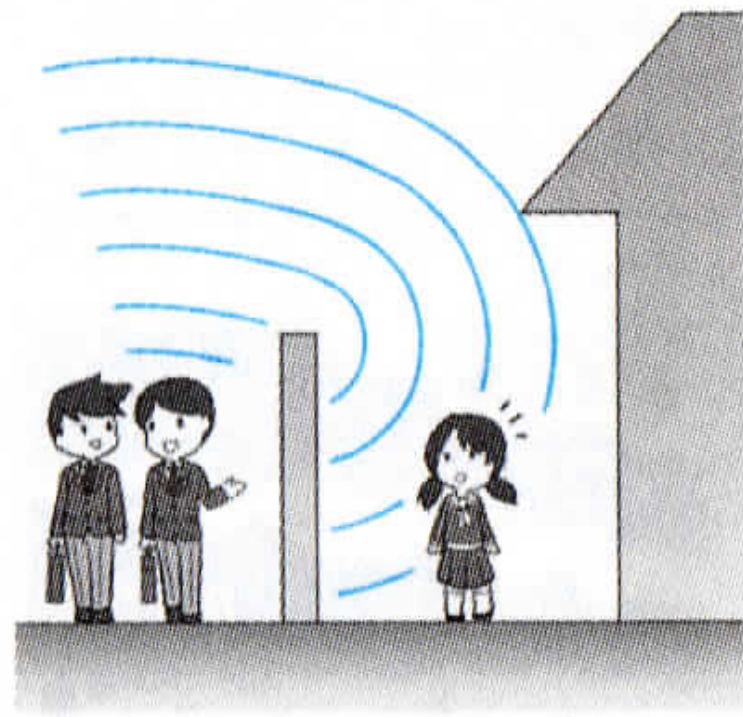


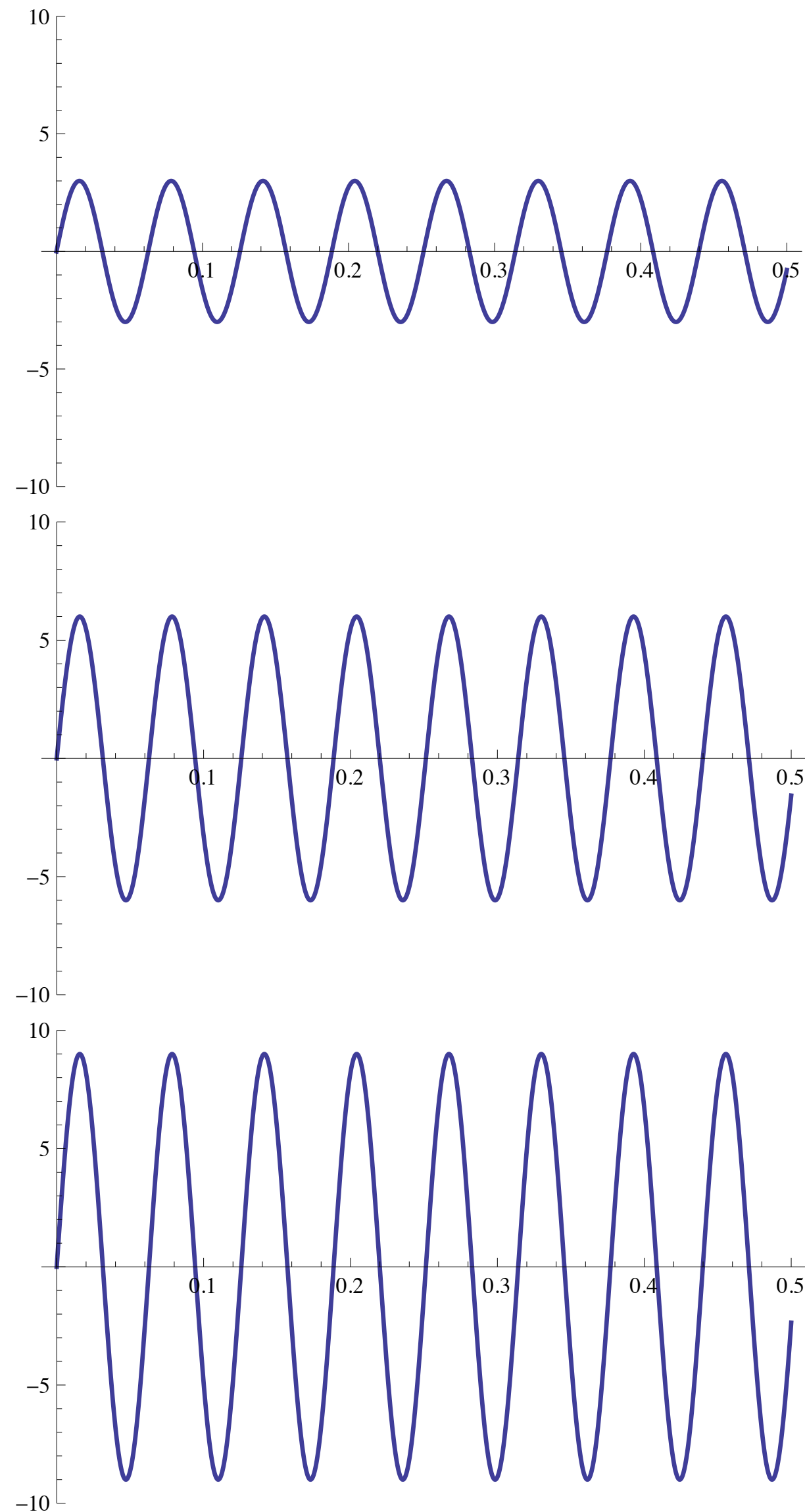
図 5.21 壁に耳あり

Topic 壁に耳あり

ひそひそ話す声は意外に遠くまで聞こえてしまう。小さい声で低く話すと、振幅が小さくて振動数が低い波になる。振動数が低い波は波長が長いことに対応し、よく回折する。授業中のひそひそ話はよく聞こえるし、「壁に耳あり」ということわざにも一理あるようだ。

5.2.1 音の3要素(1) 音の大きさ (amplitude)

音の大きさ=振幅

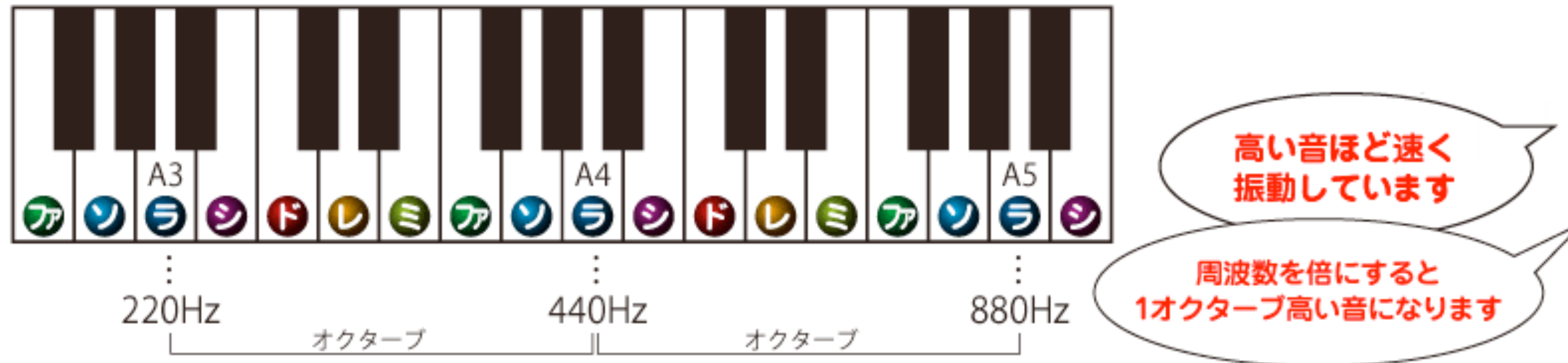


[図6. 音圧と音圧レベル]



http://www.widexjp.co.jp/hearing/various_sounds/

5.2.1 音の3要素(2) 音の高低 (pitch)



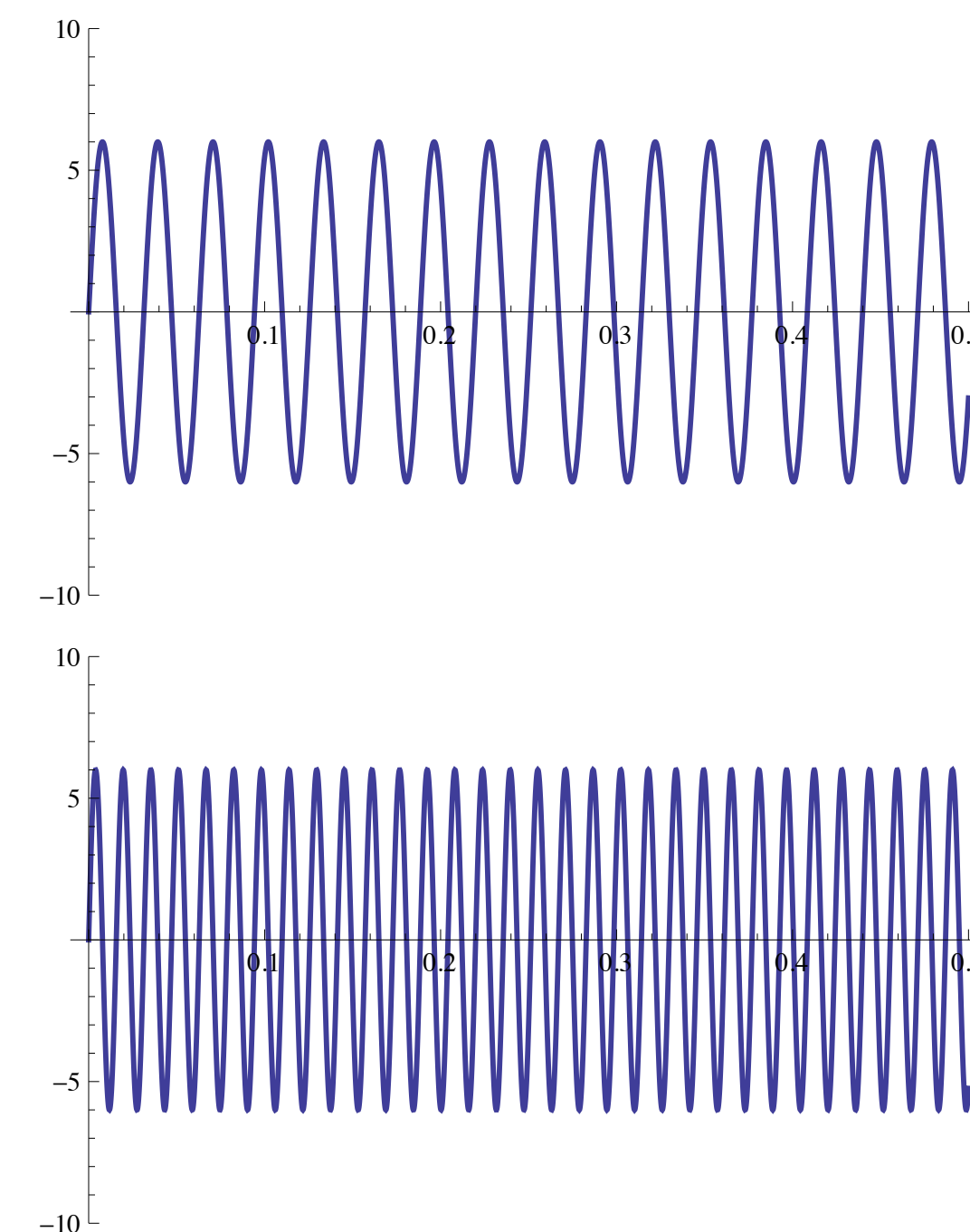
人間が聞く事ができる音は 20Hz から 20,000Hz

人間が聞くことができる音より

遅い振動は**低周波音**

速い振動は**超音波**

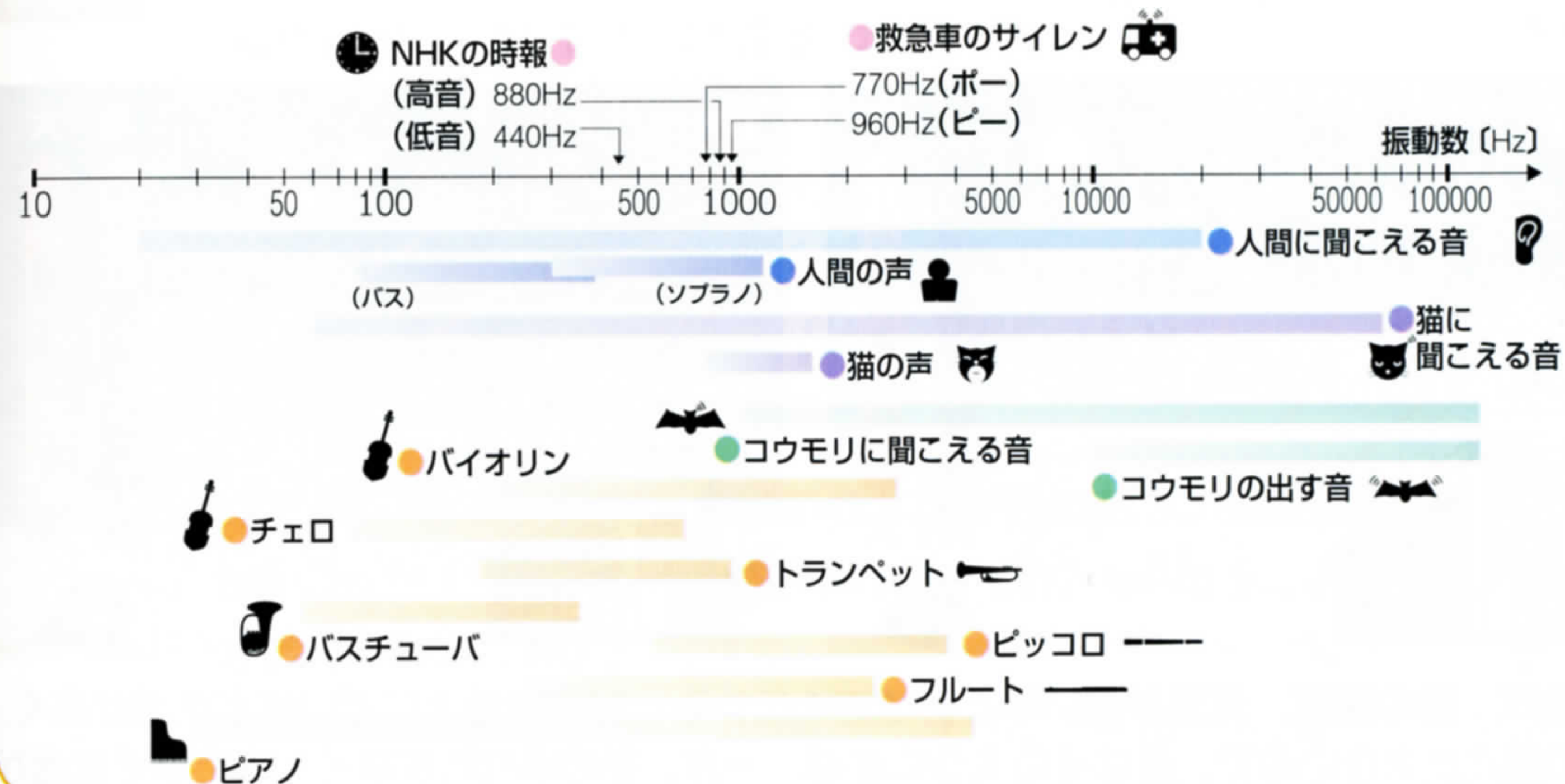
音の高低=振動数



5.2.1 音の3要素(2) 音の高低 (pitch)

高い音, 低い音

聞こえる音の範囲や, 出せる音の範囲は, 動物の種類によって異なる。人が聞くことのできる音波の振動数は約 20 ~ 20000 Hz の範囲であり, この上限を超えるものを **超音波** という。コウモリは超音波を聞いたり出したりすることができる。



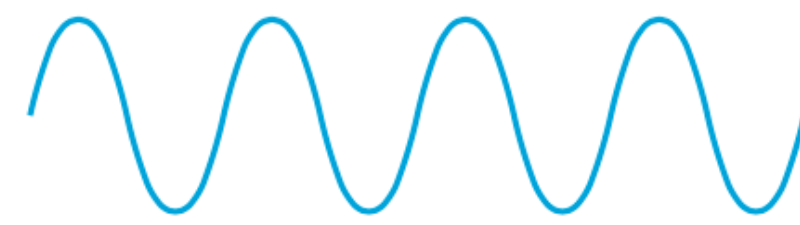
5.2.1 音の3要素(2) 音の高低 (pitch)

Topic モスキート音

人間は若い人のほうが高音が聞き取れる。20代前半くらいまでは、17000 Hz の音が聞こえるという。蚊の飛ぶときのような音で、モスキート音とよばれている。最近の携帯電話ではモスキート音を通知音にすることができるようだ。授業中でも学生は受信通知が聞き取れるが、先生には聞こえない (はず)。

5.2.1 音の3要素(3) 音色

音色=波形



(a) 純音



(b) バイオリン



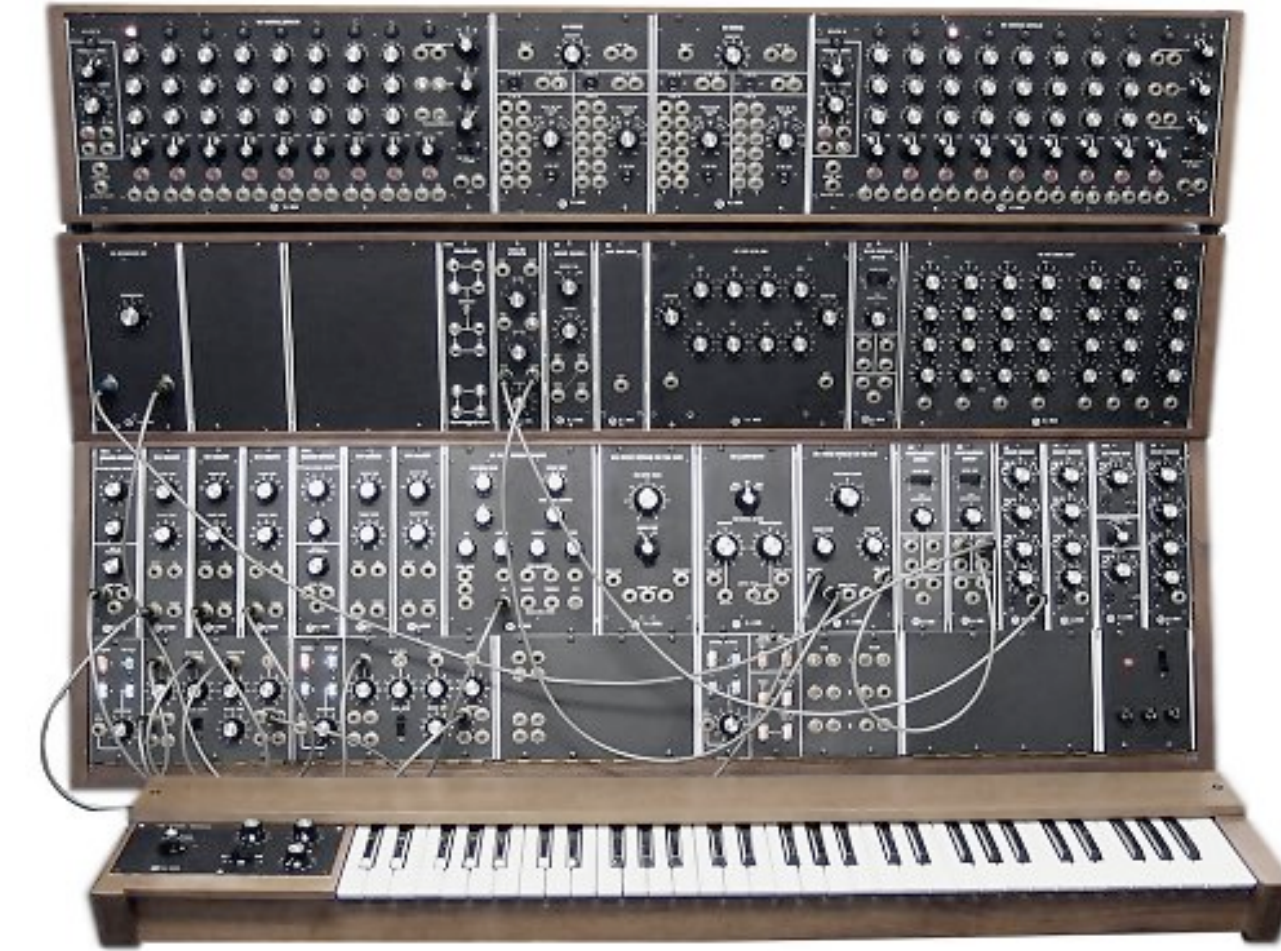
(c) フルート



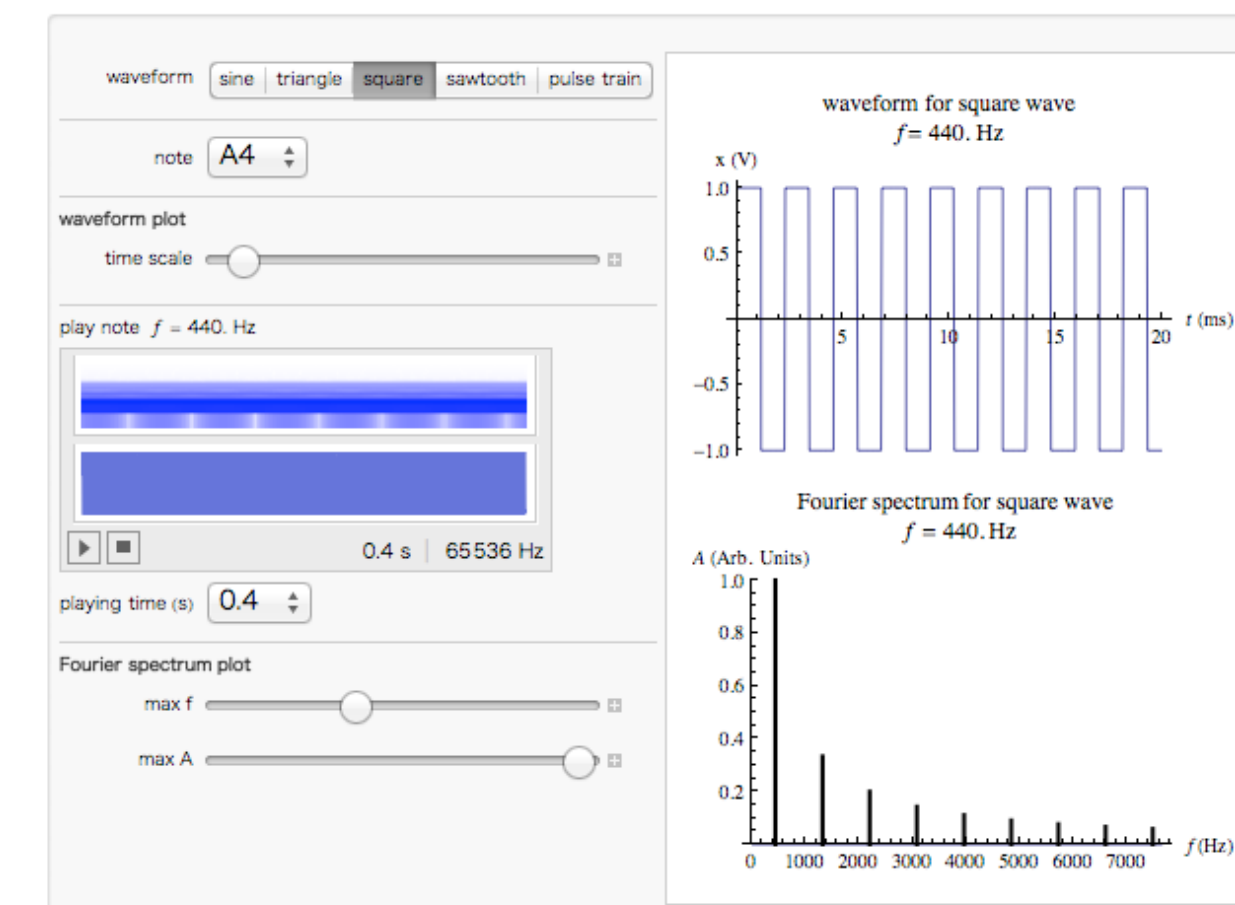
(d) 母音(ア)



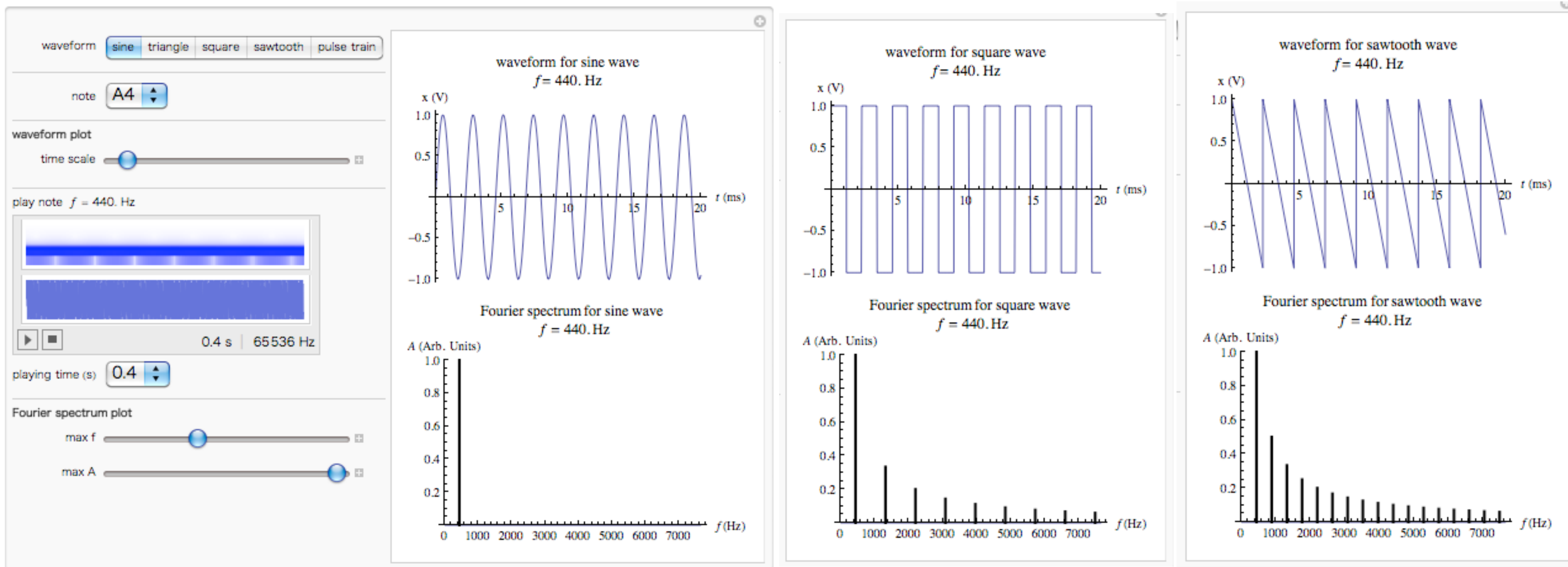
(e) 騒音



Sounds of Waveforms



Sounds of Waveforms

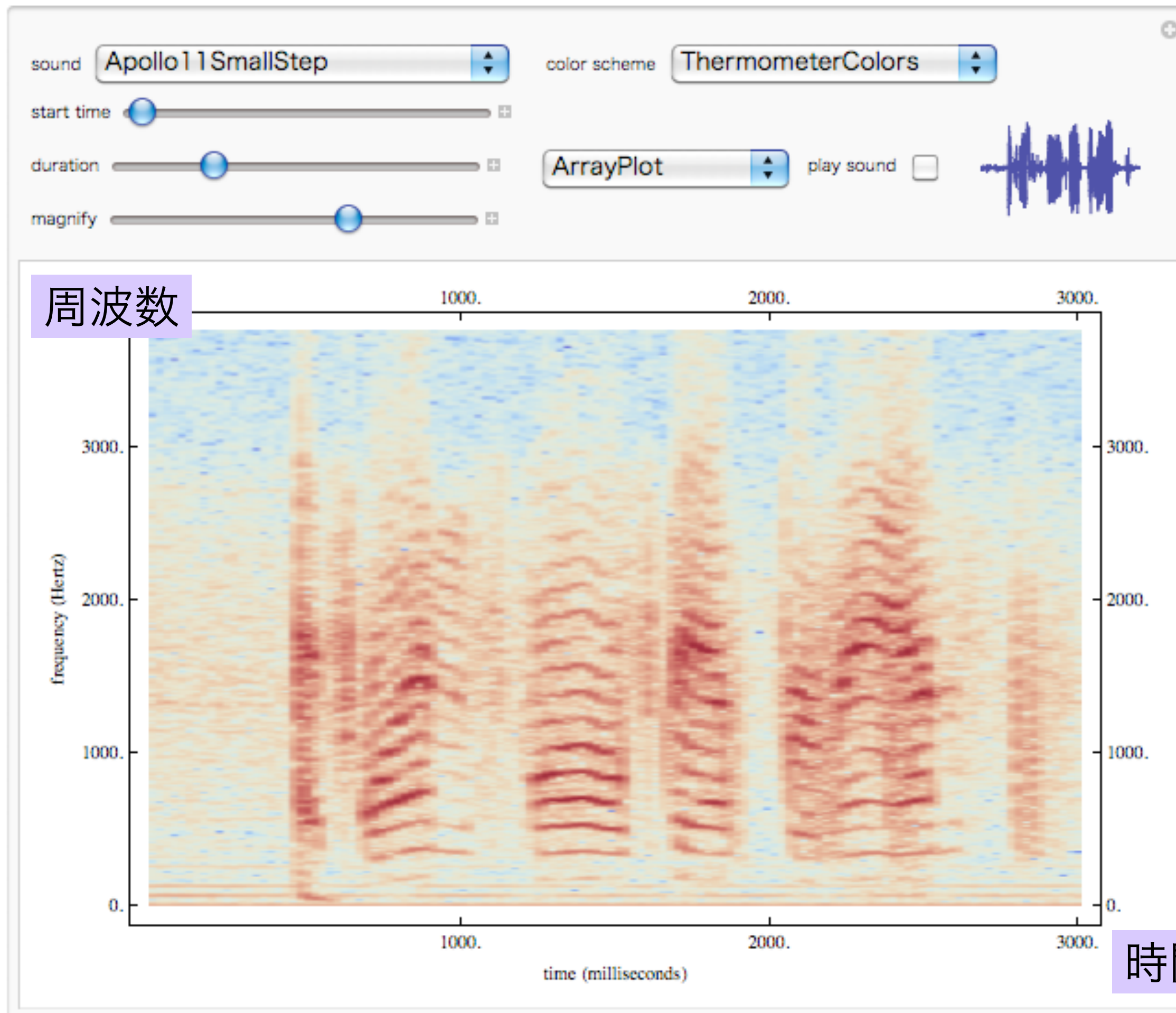


音のスペクトル (周波数分解)

Wolfram Demonstrations Project

demonstrations.wolfram.com »

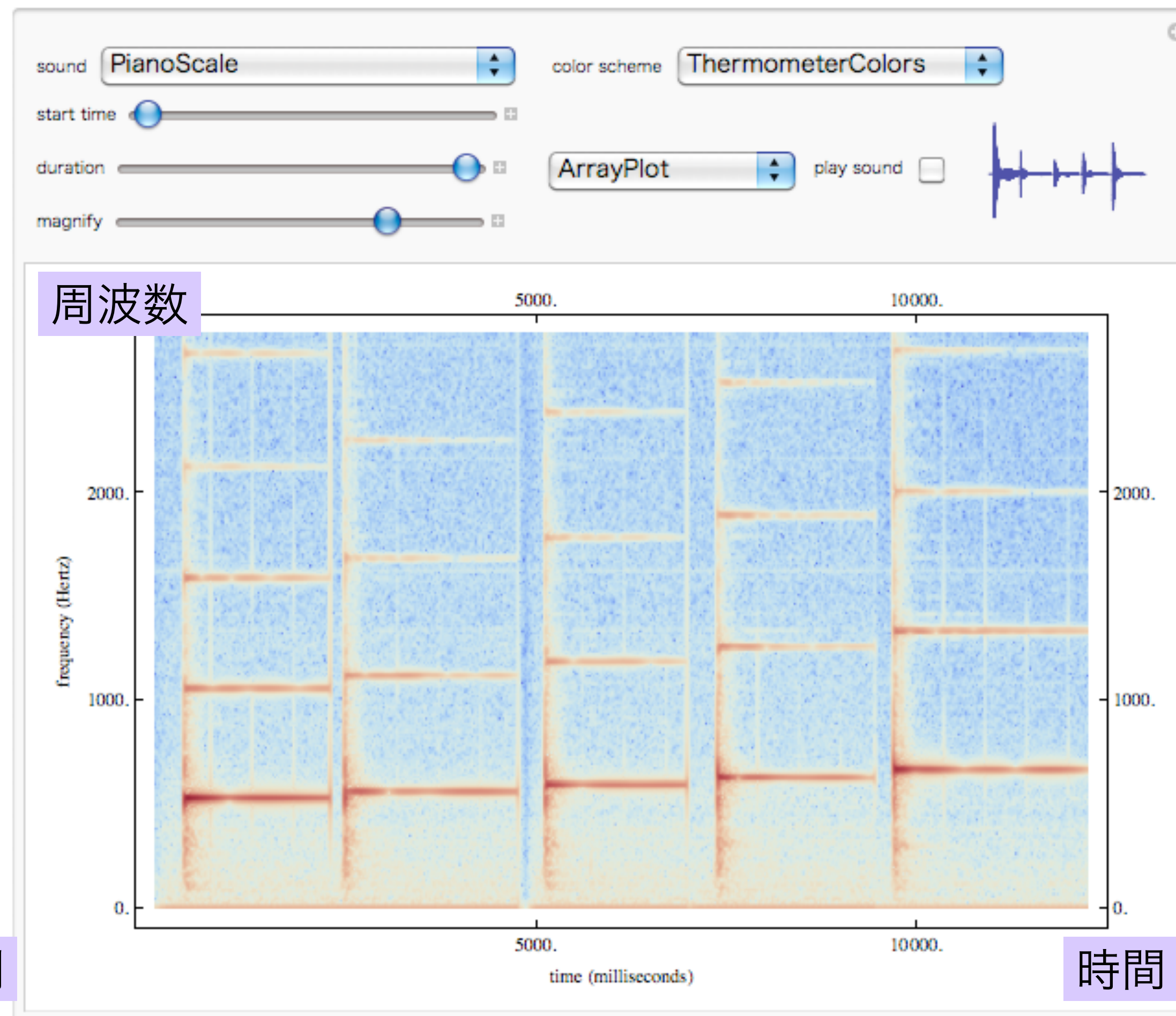
Audio Spectrogram



周波数

時間

人の声



周波数

時間

ピアノ

アポロ11号, 月面へ降り立つ第1声

That's one small step for [a] man,
one giant leap for mankind.

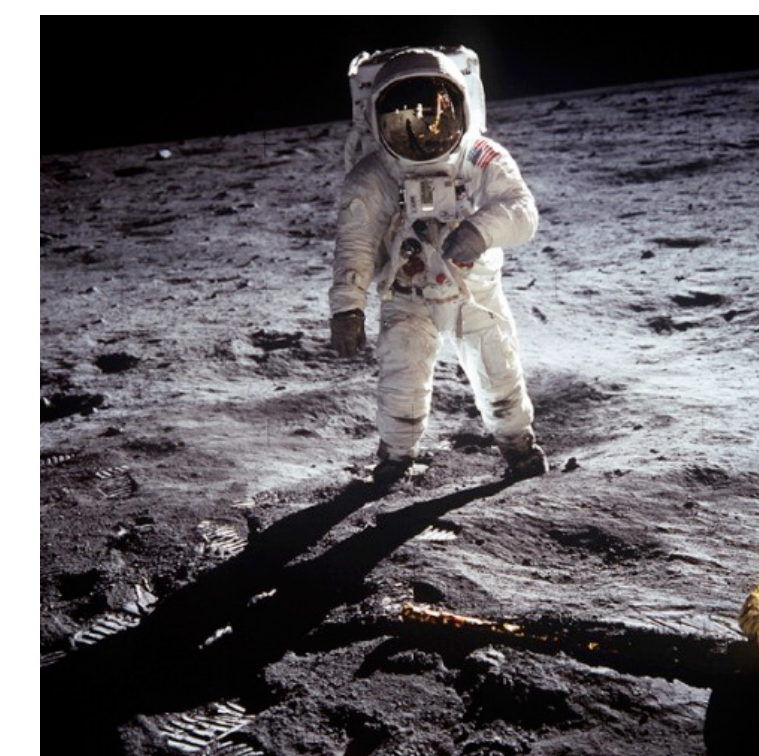
1969/7/21

これは一人の人間にとっては小さな一歩だが、
人類にとっては偉大な飛躍である

ニール・アームストロング
Neil Armstrong



1930-2012



以前のミニッツペーパーから

前に、視覚障害の方が温かいお湯と冷たい水の注ぐ音が聞き分けられると言っておられました。目が不自由な方は聴覚で情報を集めているため、音に敏感だと思うのですが、水の温度によって音は変わるのですか。



https://www.youtube.com/watch?v=Ri_4dDvcZeM

温度が上がると分子の振動が激しくなり、分子同士の間隔が広がって分子間力が弱まるので、一般に液体の粘度は高温になるほど小さくなる。

音階

ハ長調の場合の階名と日本語とドイツ語の音名①

階名	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ	ド
日本語	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	イ	ロ	ハ
ドイツ語	C	D	E	F	G	A	H	C

ト長調の階名②

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド

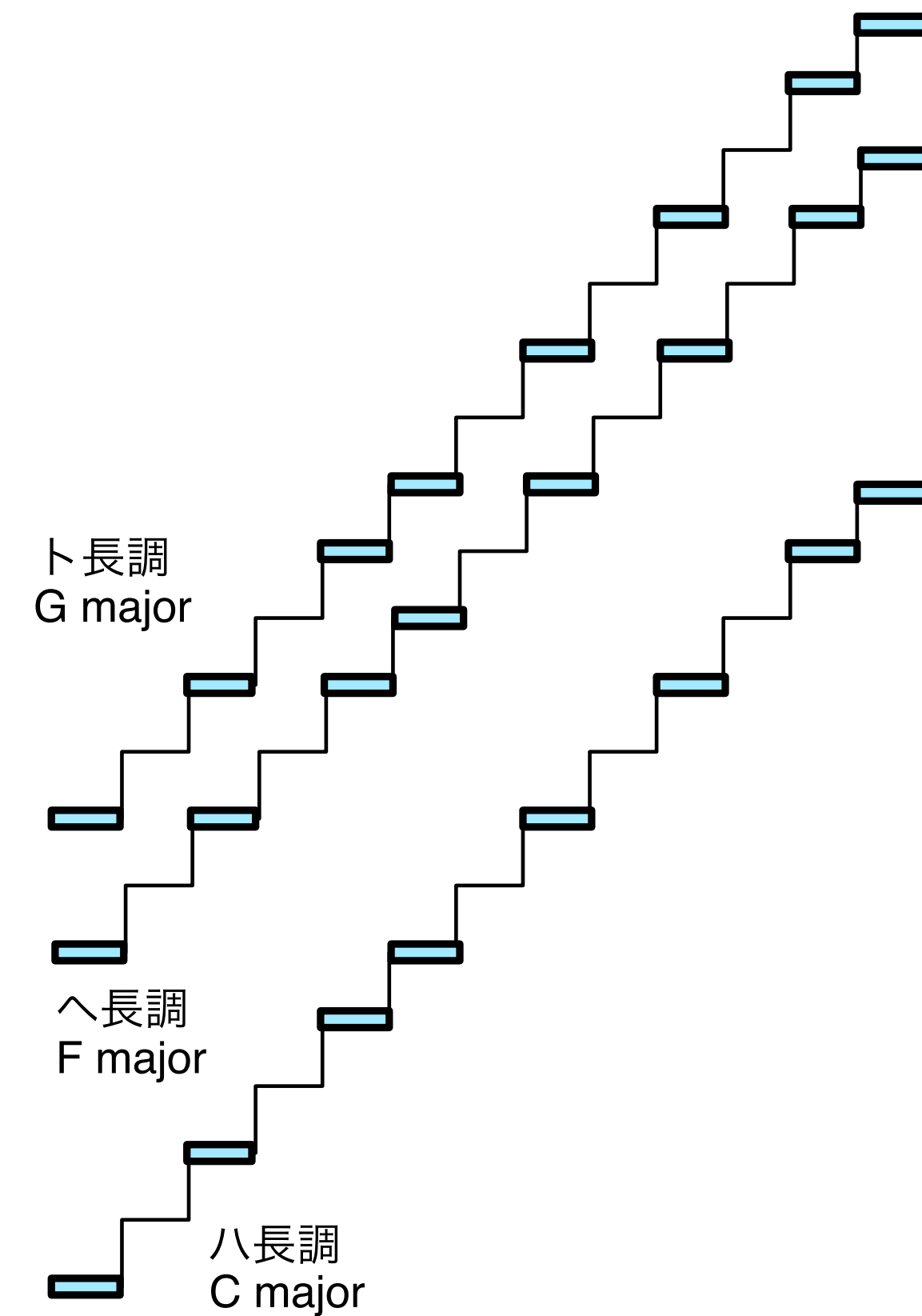
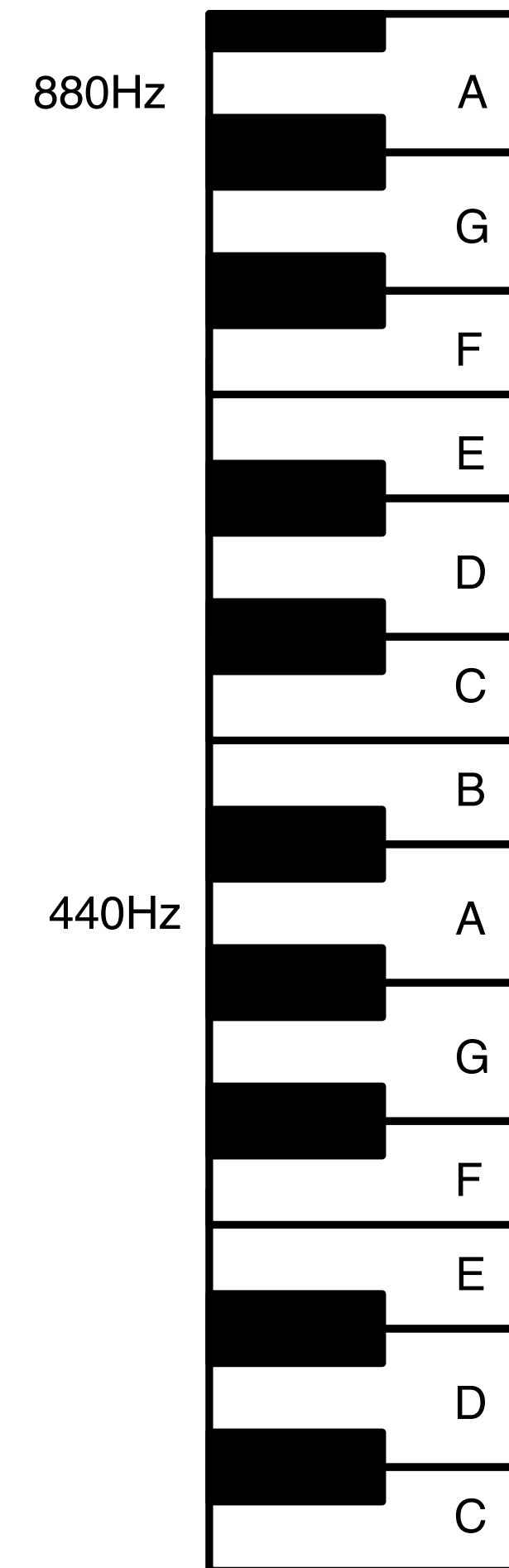
ハ長調

全音 全音 半音 全音 全音 全音 半音

ハ短調

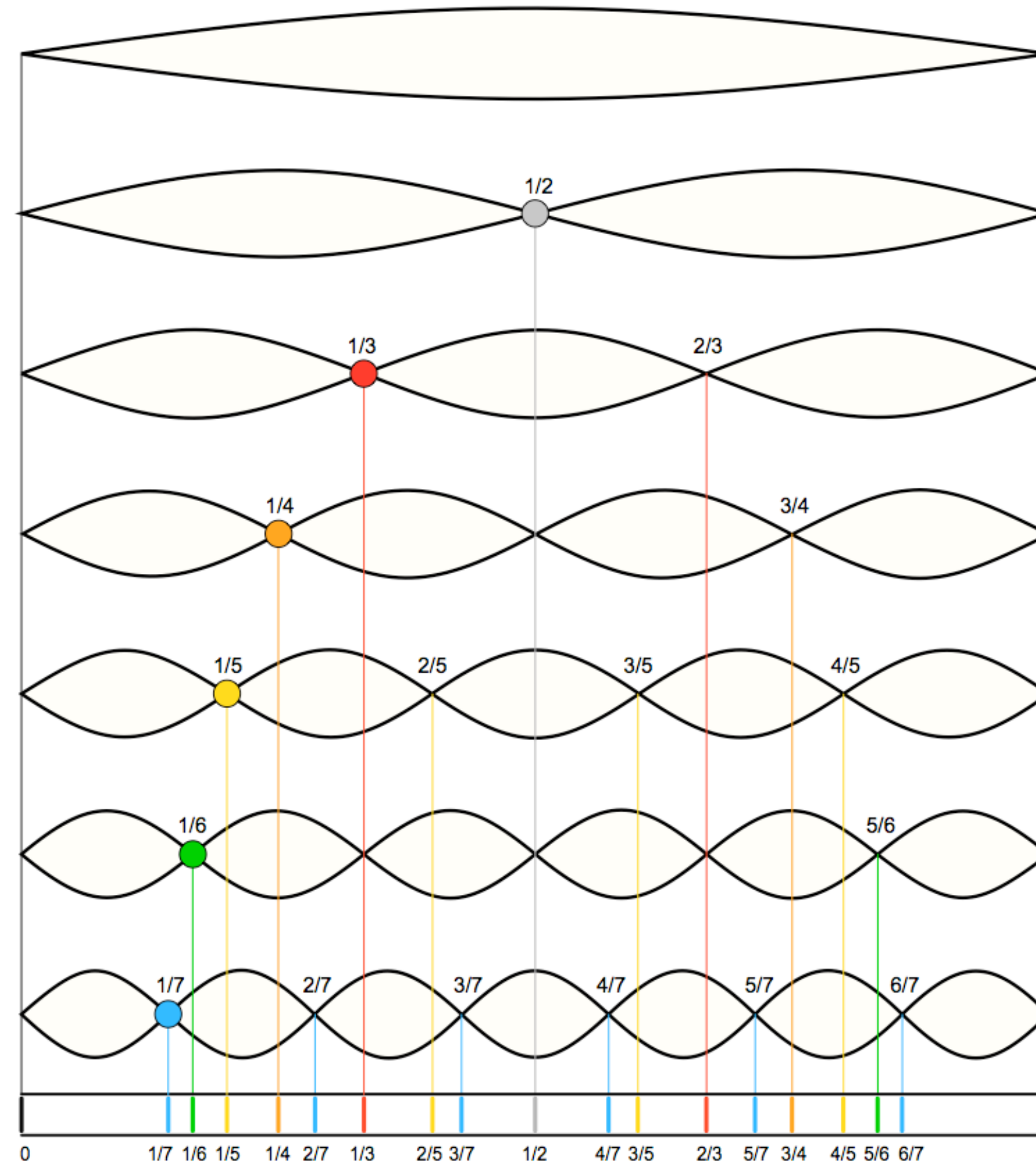
全音 半音 全音 全音 半音 全音 全音

(a) 長調と短調



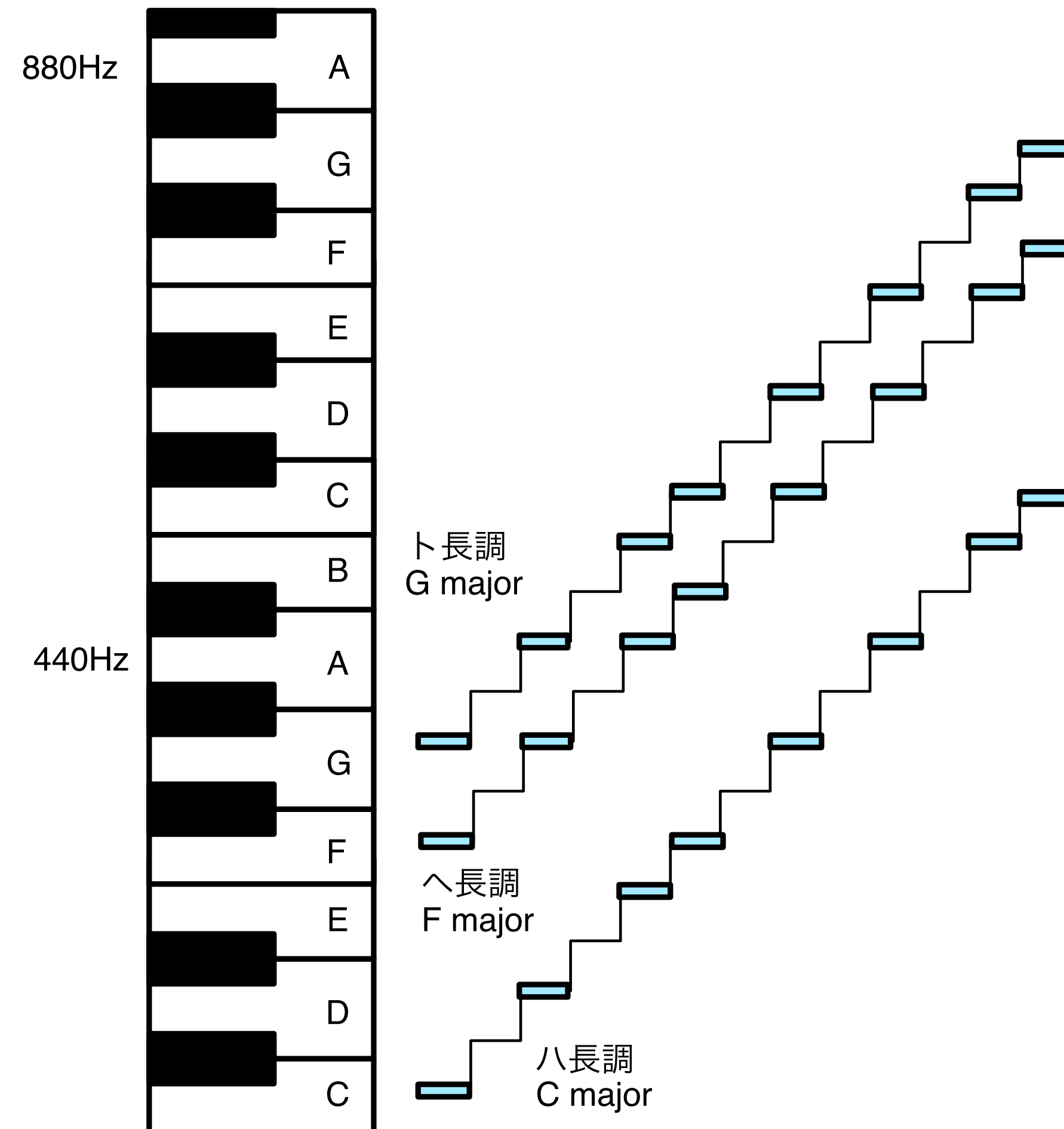
純正律と平均律(1)

- 周波数の比が単純な整数比で構成される音律を**純正律**という。うなりを伴わない純正な和音をつくることができるが、転調・移調が困難であり、全音に2種類あるため音階が不均等な印象を与えてしまう欠点がある。



純正律と平均律(2)

- これに対して、1オクターブの音程を均等な周波数比で分割した音律を**平均律**という。2倍になる周波数比を半音12個分で分けるので、半音の間隔は周波数比で $\sqrt[12]{2} = 1.059463$ 倍になる。

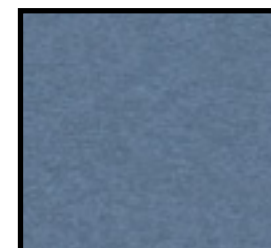


純正律と平均律(3)

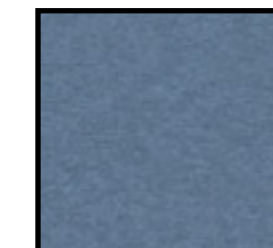
table 15.1
Frequencies and Ratios for Different Tuning Methods

Equal Temperament			Just Tuning				
Note	f (Hz)	Ratios	Note	f (Hz)	Frequency Ratios		
C	261.6	1.05946	C (<i>do</i>)	264.0			
C# (<i>D^b</i>)	277.2	1.05946	D (<i>re</i>)	297.0		$\frac{4}{3}$	$\frac{9}{8}$
D	293.7	1.05946	E (<i>mi</i>)	330.0	$\frac{3}{2}$		$\frac{5}{4}$
D# (<i>E^b</i>)	311.1	1.05946	F (<i>fa</i>)	352.0			$\frac{4}{3}$
E	329.6	1.05946	G (<i>sol</i>)	396.0		$\frac{5}{4}$	
F	349.2	1.05946	A (<i>la</i>)	440.0	$\frac{5}{4}$		$\frac{4}{3}$
F# (<i>G^b</i>)	370.0	1.05946	B (<i>ti</i>)	495.0		$\frac{6}{5}$	
G	392.0	1.05946	C (<i>do</i>)	528.0			
G# (<i>A^b</i>)	415.3	1.05946					
A	440.0	1.05946					
A# (<i>B^b</i>)	466.2	1.05946					
B	493.9	1.05946					
C	523.3	1.05946					

平均律



純正律



純正律と平均律(4)

平均律 f [Hz] 周波数比率

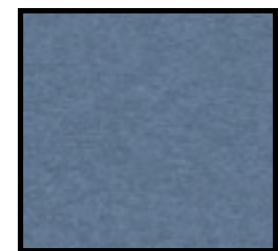
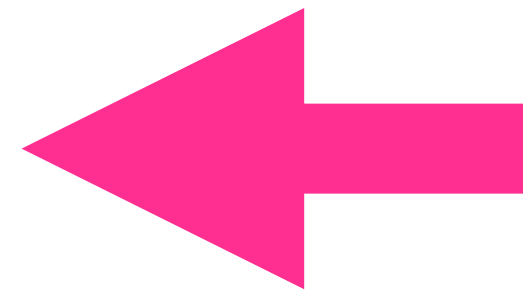
C	523.3	}	1.0594
B	493.9		
A	440.0		
G	415.3		
F	370.0		
E	329.6		
D	297.3		
C	261.6		

純正律 f [Hz] 周波数比率

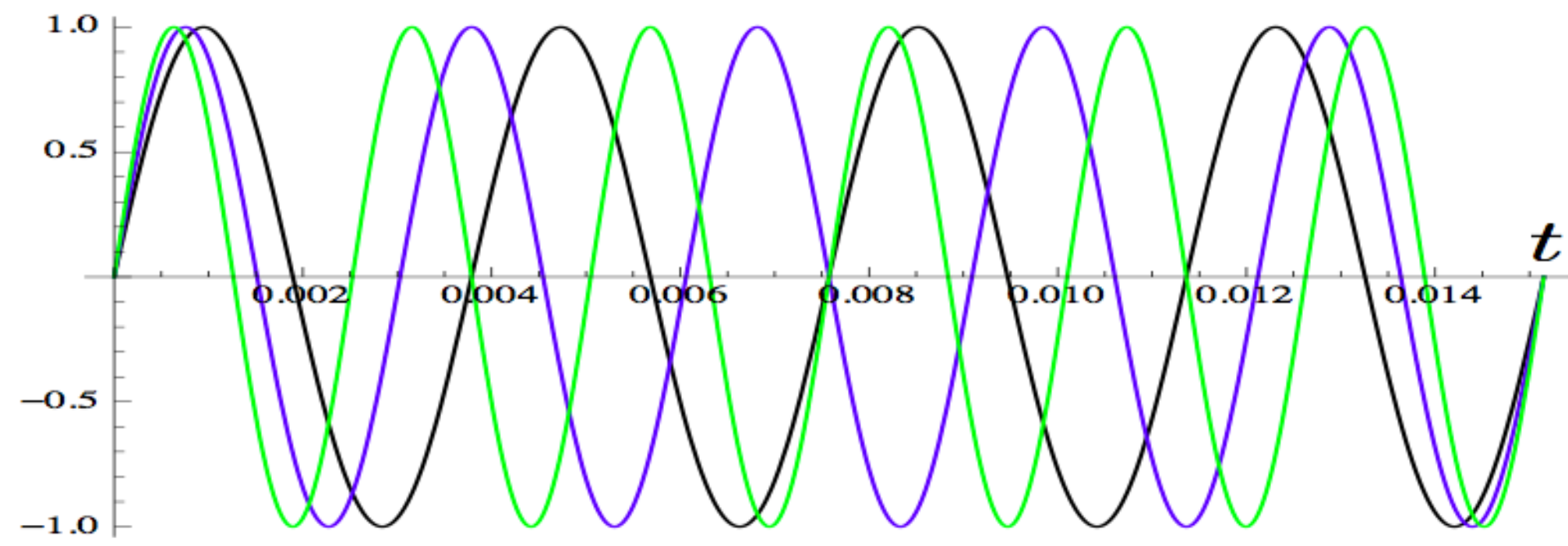
C	528.0	}	1.0594				
B	495.0			6/5			
A	440.0			5/4	4/3		
G	396.0			5/4	6/5	4/3	
F	352.0			3/2	4/3	5/4	9/8
E	330.0			4/3	5/4	9/8	
D	297.0			4/3	5/4	9/8	
C	264.0			3/2	4/3	5/4	9/8

平均律

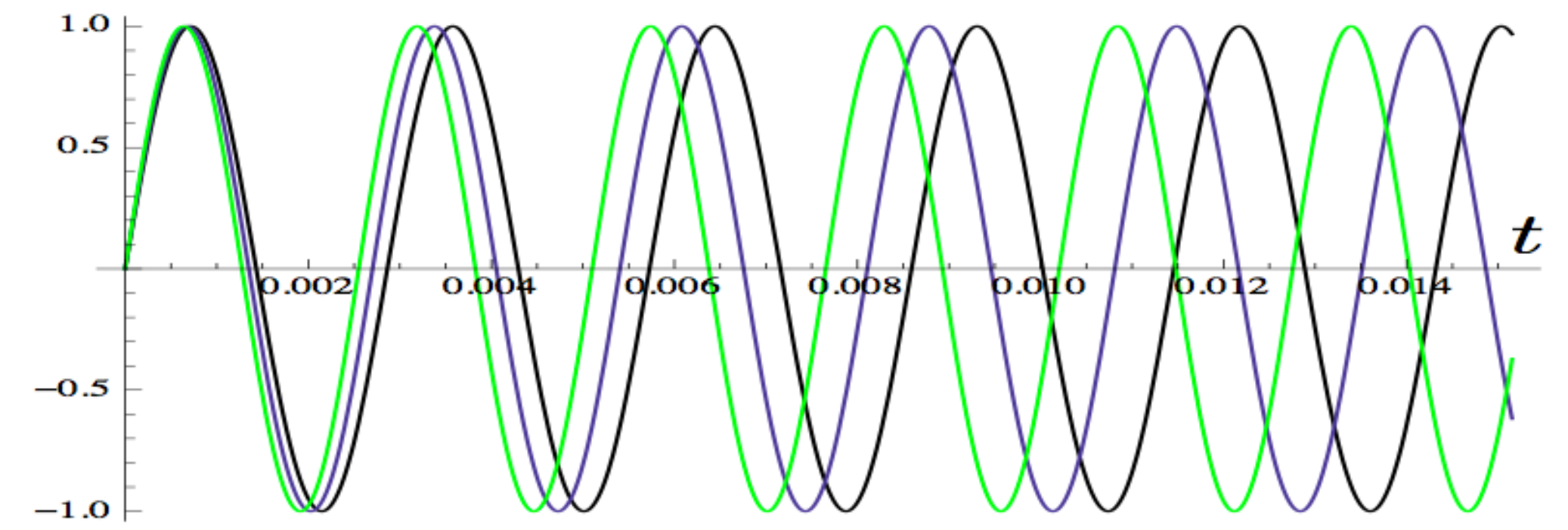
純正律



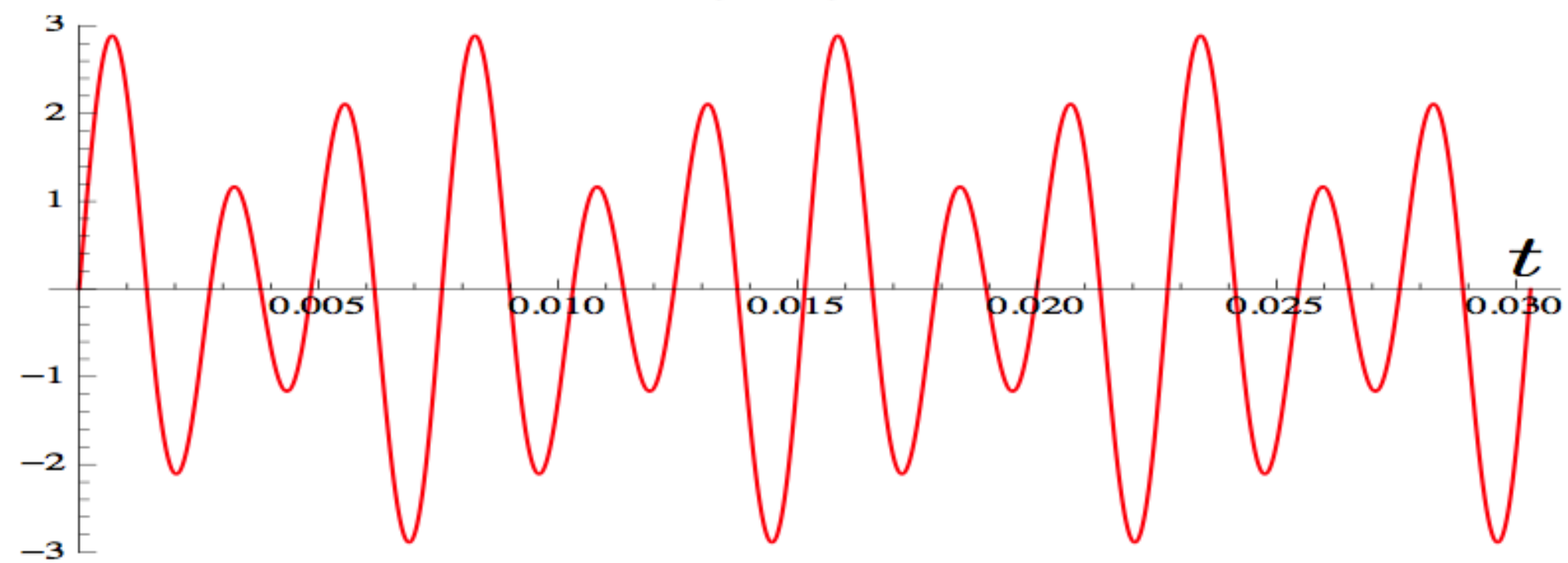
和音



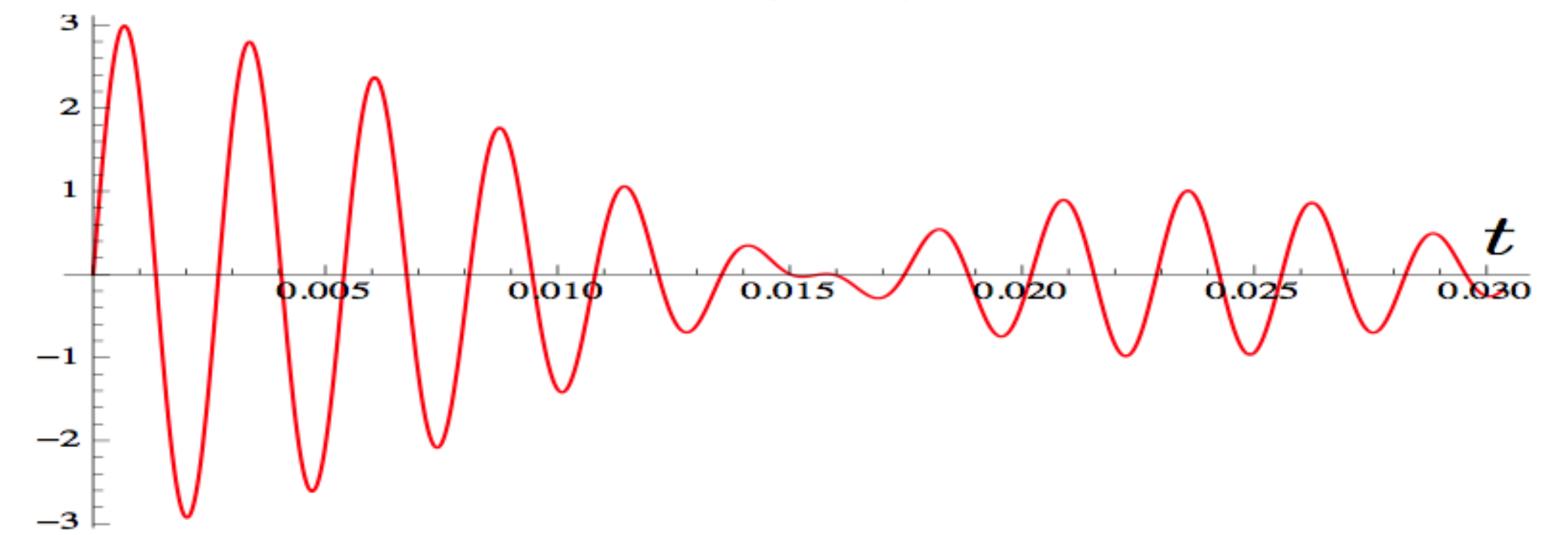
do, mi, so



fa, fa#, so



do+mi+so



fa+fa#+so

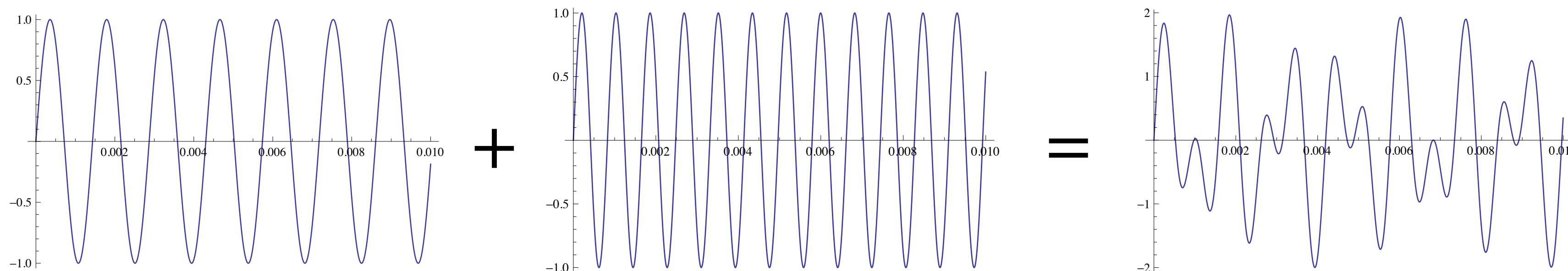
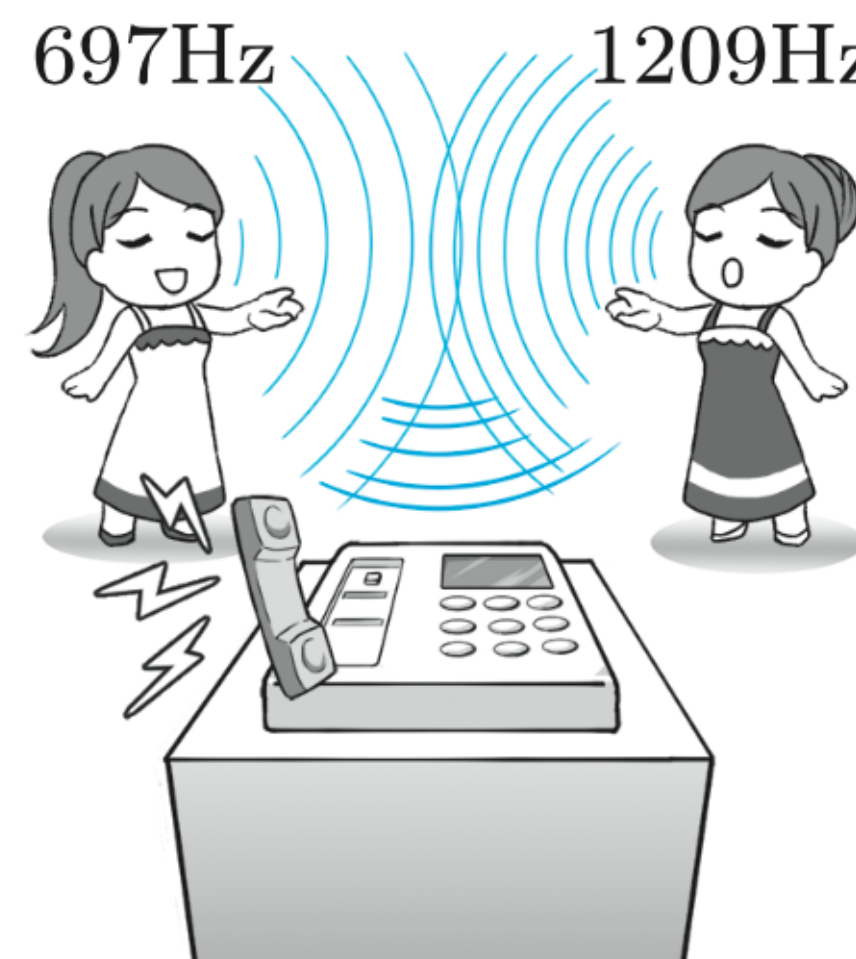
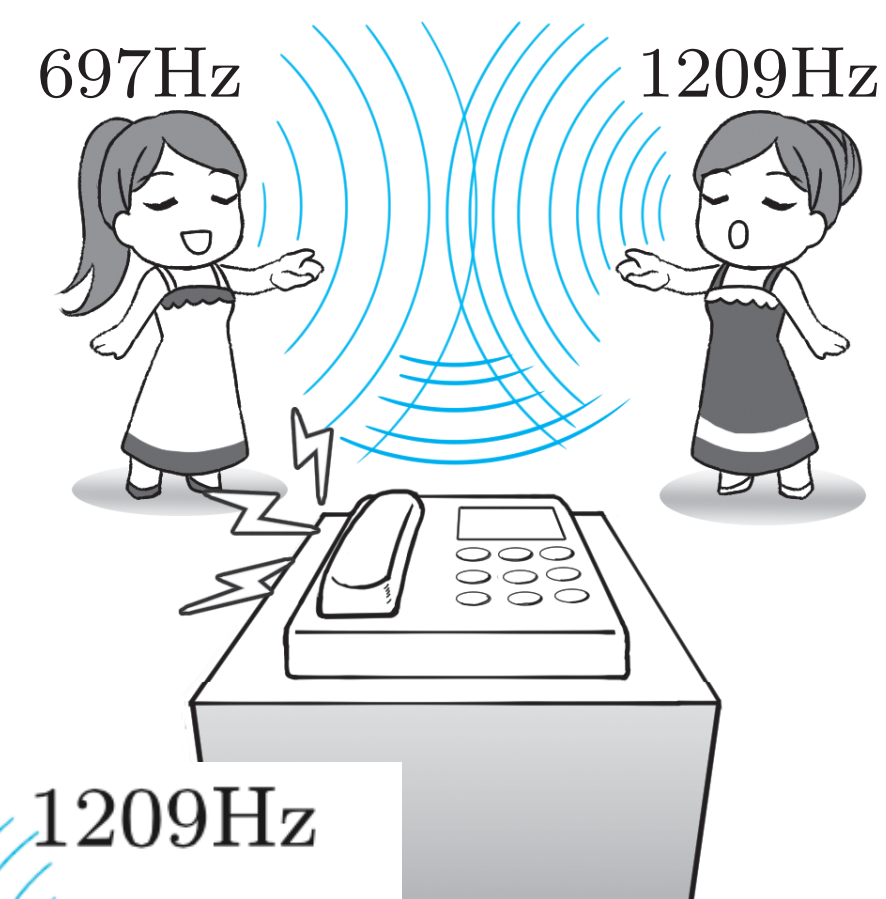
ピポパは, 2つの音の合成

DTMF (Dual-tone multi-frequency signaling)

電話をかけるときの, 「ピ・ポ・パ」の音は, 2つの音の合成で作られる. 「1」の音は, 697 Hzの音と 1209 Hzの音を同時に流した時の音として定義される.

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

表 5: DTMF 信号の合成.





新宿駅 1 番線 (埼京線)

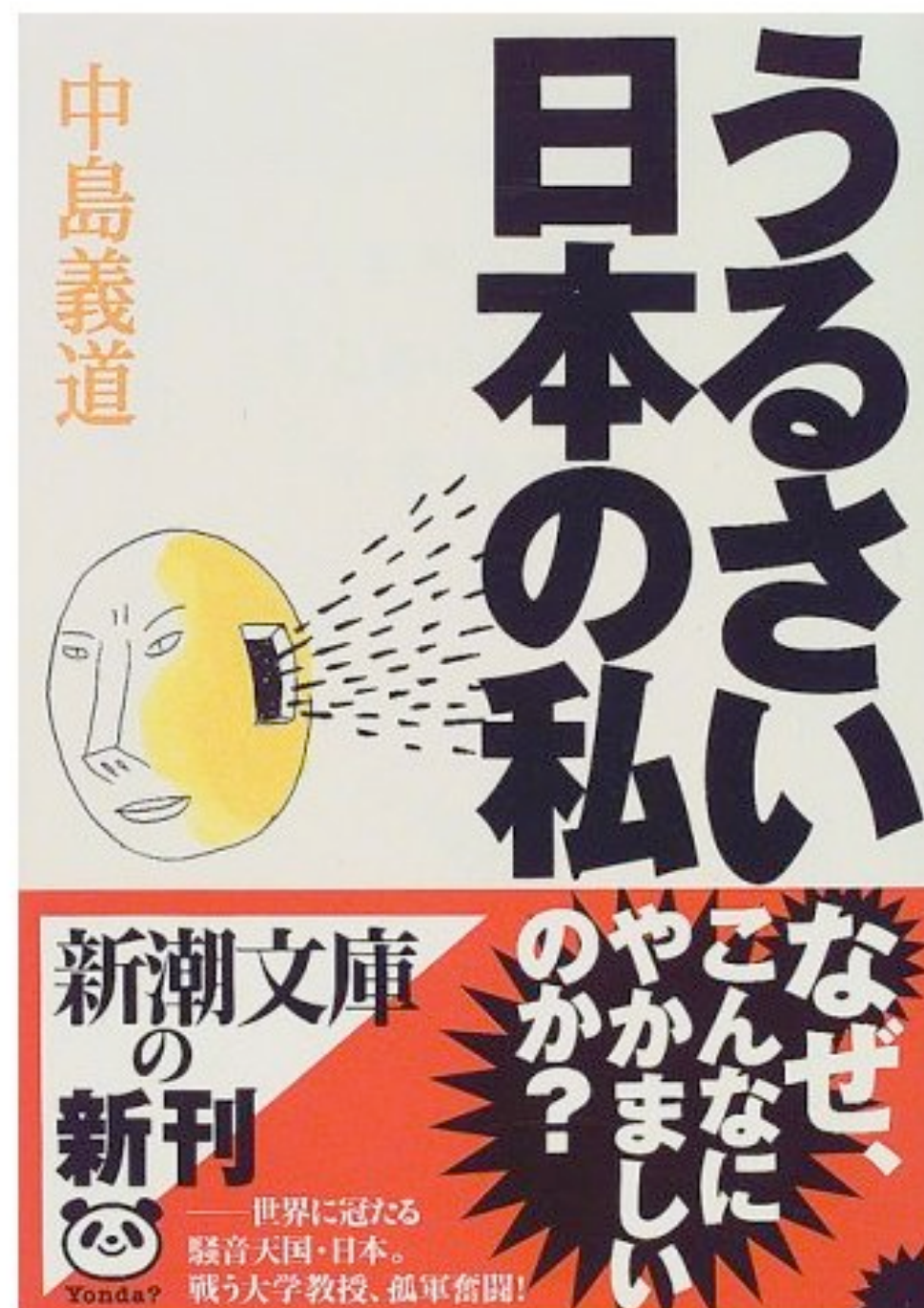
新宿駅 9-10 番線 (中央線)

新宿駅 12-13 番線 (山手線)

新宿駅 11-14 番線 (総武線)

山手線+総武線

うるさい日本の私



バスや電車の中、駅や観光地、デパートから不用品回収車まで、日本中にいたるところで“おせっかい放送”が聞こえてくる。「戦う哲学者」が孤軍奮闘、静かな街を求めて「音漬け社会」に異議を申し立てた話題の書。



少しずれた位相の波の合成＝うなり

- 少しだけ位相のずれた波を重ね合わせるとき 波はうなりを生じる。

うなり (beat)

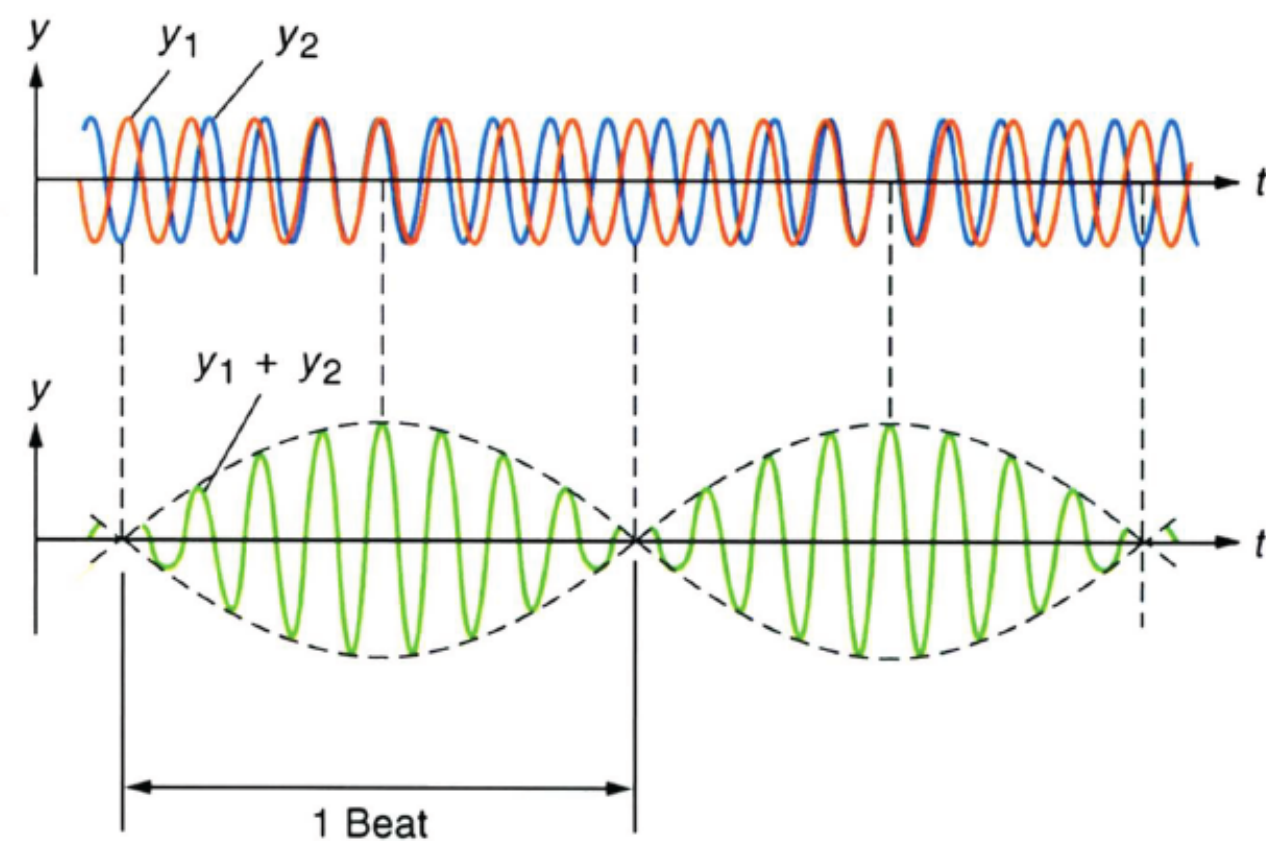
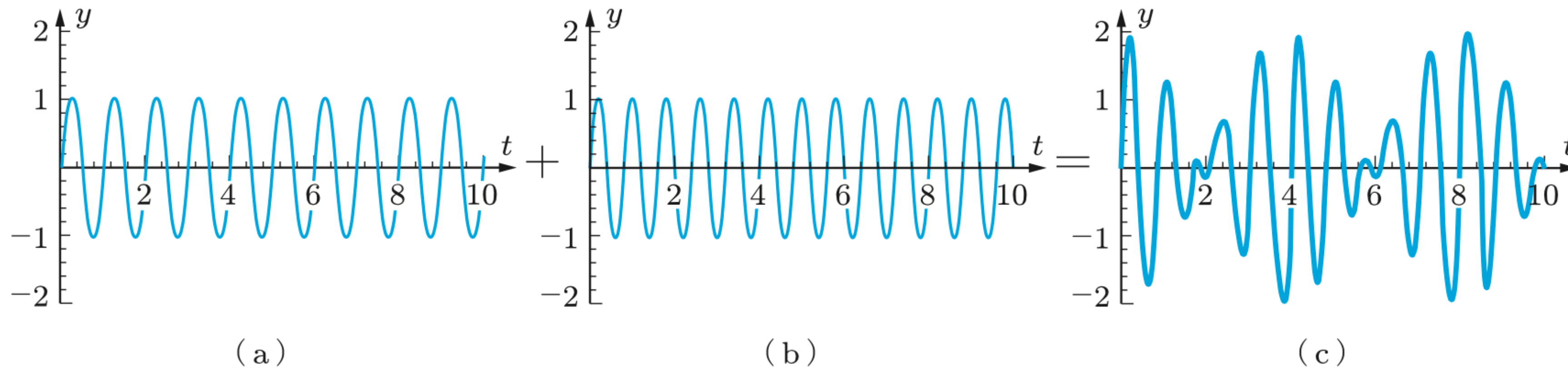


figure 15.23 The two waves with slightly different frequency in the top drawing interfere to produce the beats shown in the lower drawing. The two waves come in and out of phase as time progresses.



少しずれた位相の波の合成＝うなり

Topic チューニング

オーケストラのコンサートでは、演奏直前に各楽器の音合わせが行われる。まず、オーボエが A の音を出し、それぞれの楽器が A の音を出して揃えていく。楽器の音は、弦の締め方や管の長さで音の高低（振動数）が微妙に変わってしまう。調整が悪いと、うなりが聞こえてしまい、和音にならないからだ。ちなみに、いつもオーボエから始まるのは、オーボエは管の長さを調整できないからである。

実験 19 目でみるうなり

同じ太さで間隔が少しだけ異なる線を重ねると縞模様が見えるが、これは「うなり」と同じ。歯の間隔が少しだけ異なる「くし」を重ねてもみることができる。

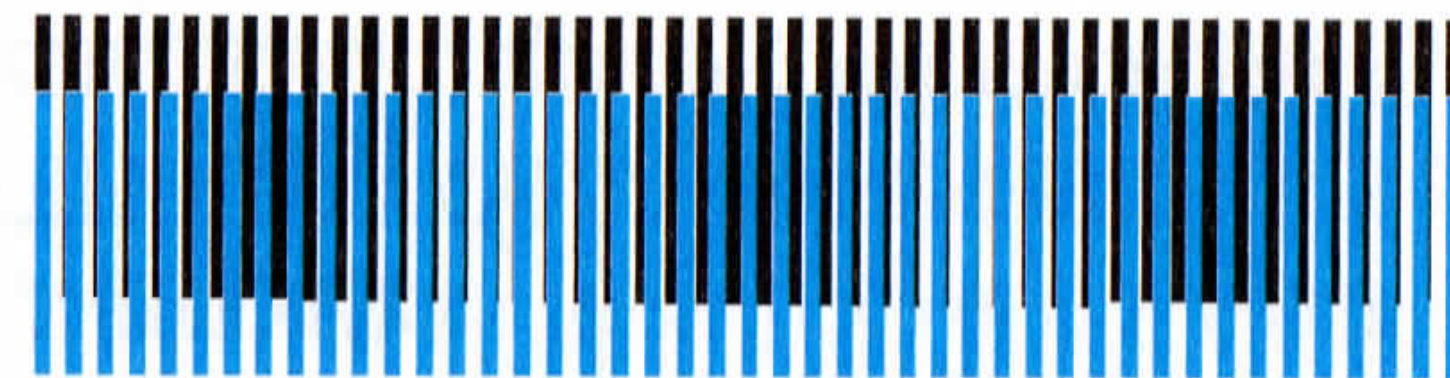
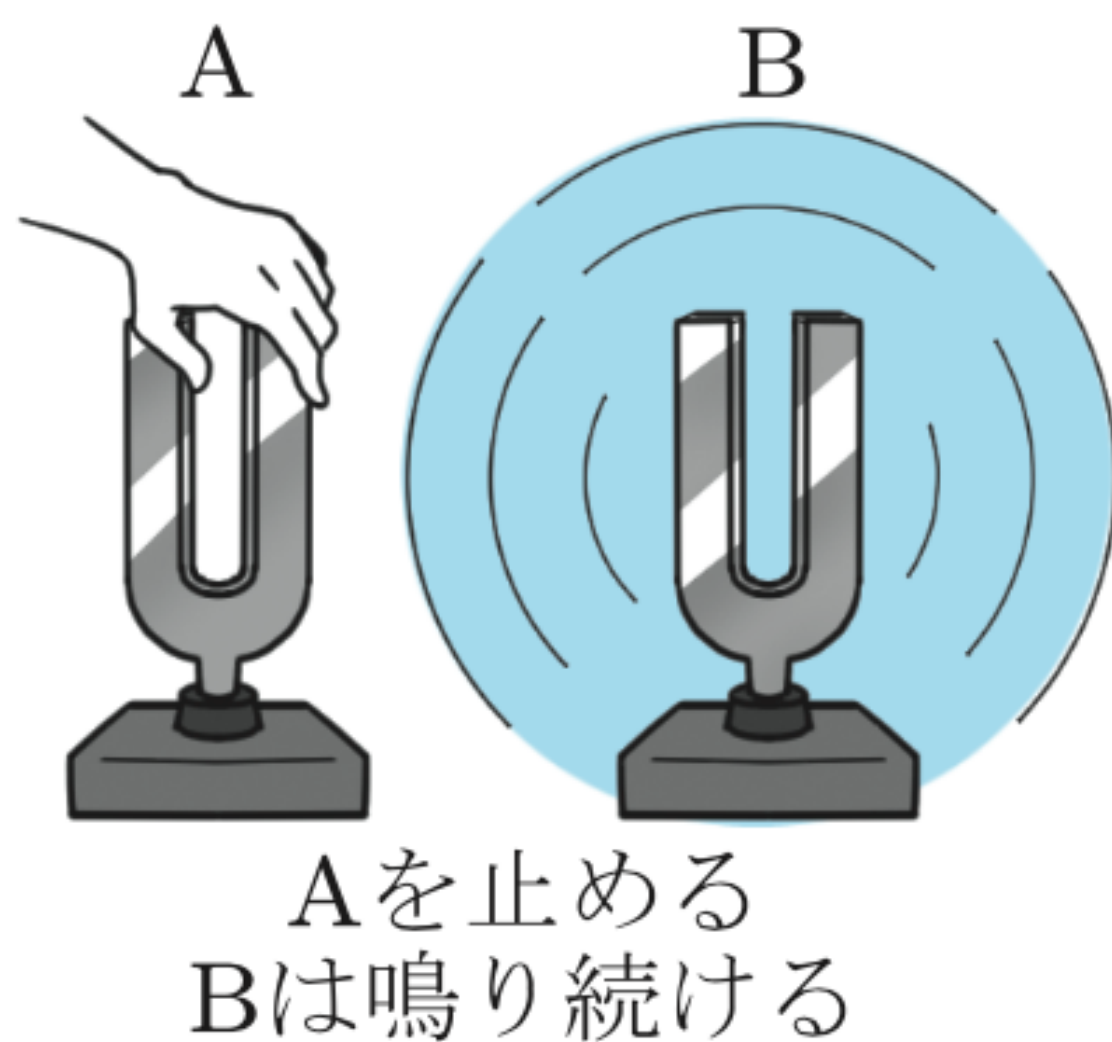
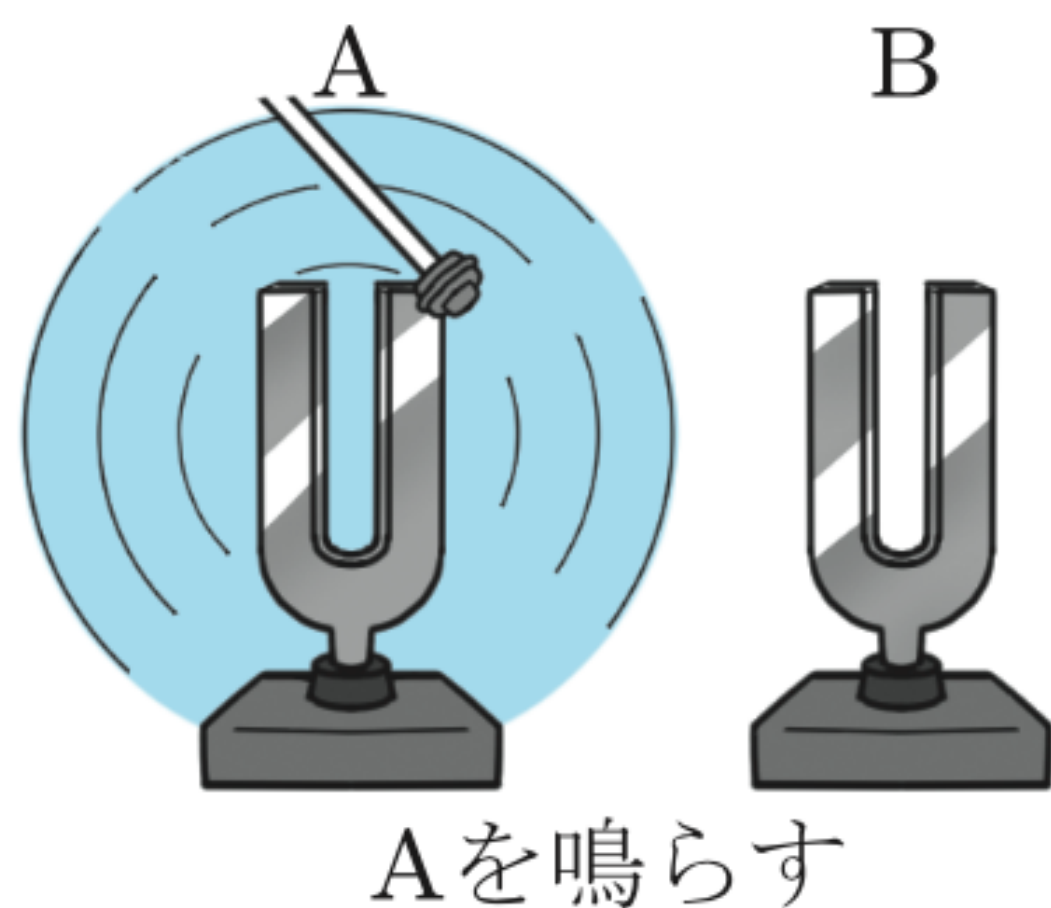


図 5.33 うなり、みえますか？



弦や管などには、サイズに応じて振動しやすい固有振動数が存在することを説明した。この固有振動数にあわせた外力を加えると、小さな力でも大きく振れる。この現象を**共振**あるいは**共鳴**という。

2つの同じおんさを用意し、一方だけをたたいて音を出すと、他方もわずかに振れて音を出す。しかし、振動数の異なるおんさでは、そのような共振現象は見られない。

可動な板の上のメトロノームは同期する [\(start on click, 2:40\)](#)



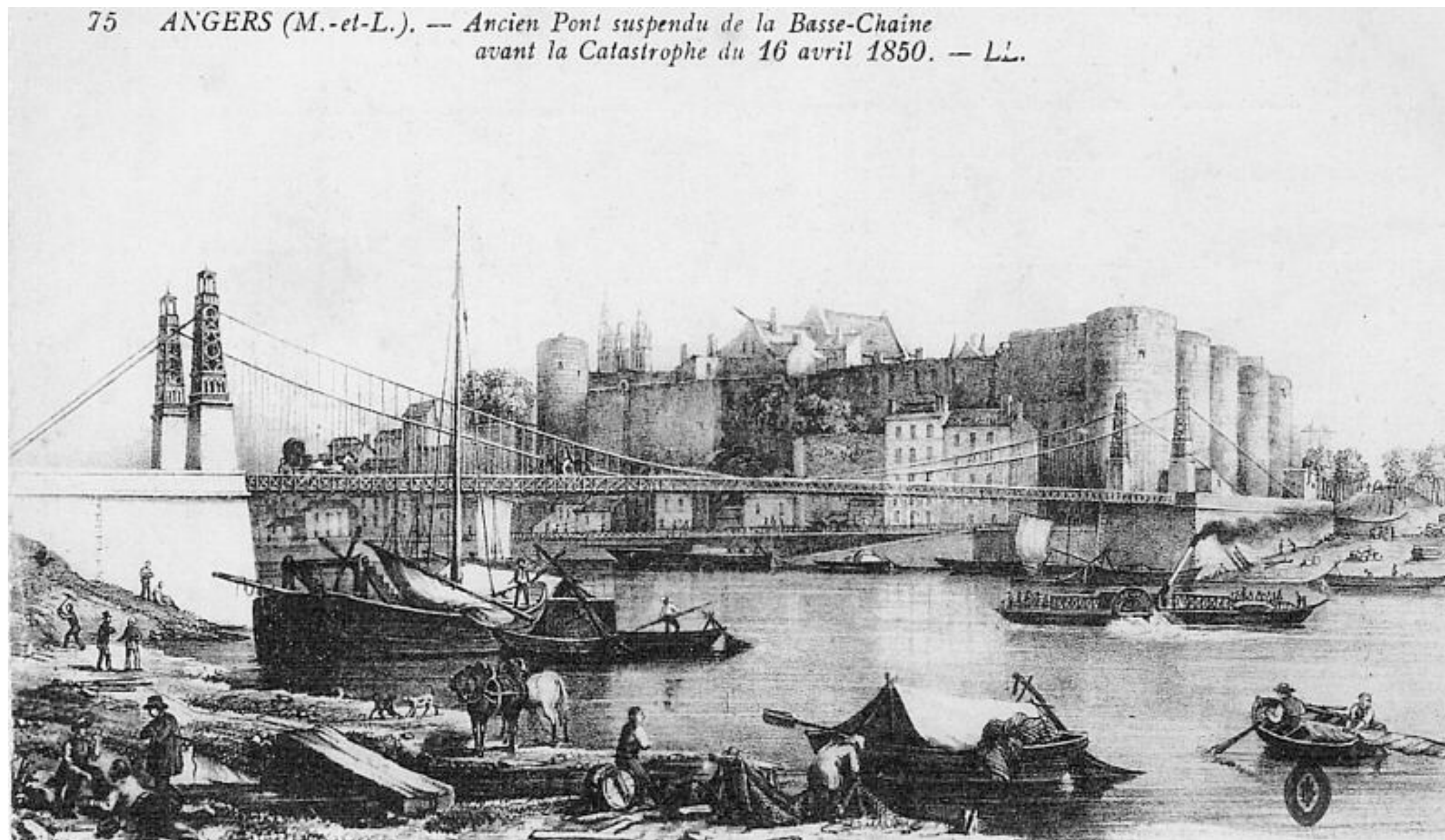
メトロノーム同期 (48個)

Synchronization of 48 metronomes

2013年9月8日, 池口研究室にて撮影

Recorded by Ikeguchi Laboratory, on September 8, 2013.

共振: つり橋では歩調を揃えて渡ってはいけない



Other name(s)	Basse-Chaine Bridge
Crosses	Maine River
Locale	Angers, France
Designer	Joseph Chaley and Bordillon
Design	Suspension bridge
Material	Cast iron
Width	7.2 m (24 ft)
Height	5.47 m (17.9 ft)
Longest span	102 m (335 ft)
Construction begin	1836
Opened	1839
Collapsed	April 16, 1850



WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

[Main page](#)
[Contents](#)
[Featured content](#)
[Current events](#)
[Random article](#)
[Donate to Wikipedia](#)

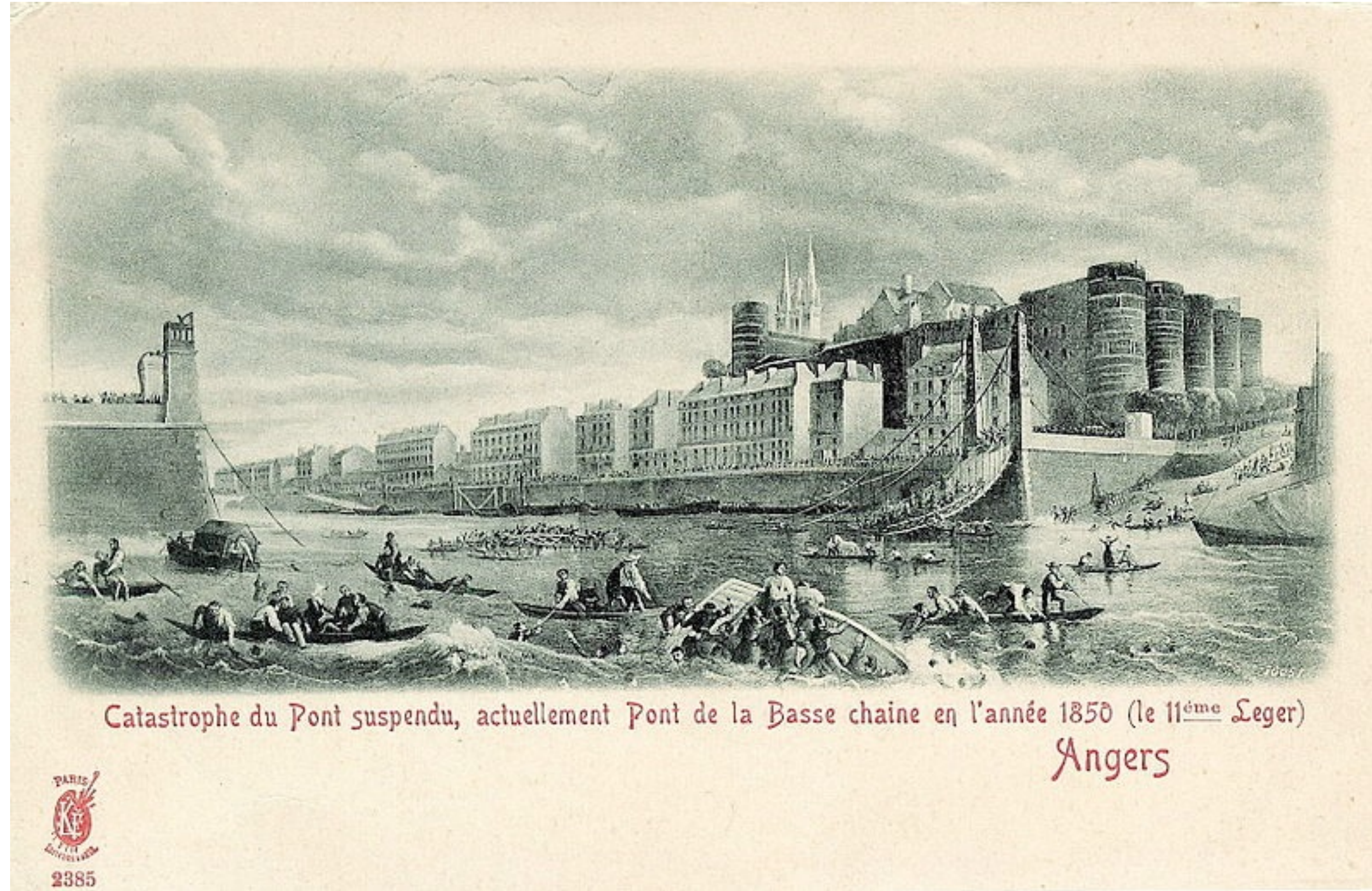
Angers Bridge

From Wikipedia, the free encyclopedia

Angers Bridge, also called the **Basse-Chaine Bridge**, was a [suspension bridge](#) over the [Maine River](#) in [Angers, France](#). It was designed by [Joseph Chaley](#) and Bordillon, and built between 1836 and 1839.^[1] The bridge collapsed on April 16, 1850, while a battalion of French soldiers was [marching](#) across it, killing over 200 of them.

The bridge spanned 102 m (335 ft), with two wire cables carrying a deck 7.2 m (24 ft) wide. Its towers consisted of [cast iron](#) columns 5.47 m (17.9 ft) tall.^[1]

共振: つり橋では歩調を揃えて渡ってはいけない



**Collapsed
April 16, 1850**

Collapse of the Tacoma Narrows Bridge

TACOMA NARROWS BRIDGE COLLAPSE

Length of center span	2800 ft
Width	39 ft
Depth of stiffening girders	8 ft
Start of construction	Nov. 23, 1938
Opened for traffic	July 1, 1940
Collapse of bridge	Nov. 7, 1940

2003年9月26日 十勝沖地震

本震	
発生日	2003年（平成15年）9月26日
発生時刻	4時50分07秒（JST）
震央	● 日本 北海道襟裳岬南東沖 80km 北緯41度46.7分 東経144度4.7分（  地図）
震源の深さ	45km
規模	■ マグニチュード（M） 8.0
最大震度	■ 震度6弱：北海道 新冠町、 静内町、浦河町など
津波	2m55cm:北海道 豊頃町
地震の種類	海溝型地震
余震	
最大余震	同日 午前6時08分 M7.1 震度6弱：浦河町
被害	
死傷者数	死者:1人 行方不明者:1人
被害地域	北海道



地震の震央の位置を示した地図

苫小牧は震度4
地震の2日後に火災発生



2003年9月26日 十勝沖地震 地震発生から2日後の28日午前、出光興産北海道製油所のナフサタンクが炎上、30日朝まで約44時間燃え続けた = 9月28日午後8時26分、苫小牧市真砂町で

また、地震直後及び2日後に苫小牧市にある出光興産北海道製油所で2基の石油タンクの火災があった。これは、震源からやってきて苫小牧市周辺の堆積平野で増幅された長周期地震動の周期と、石油タンクの固有周期が一致し、石油タンクの内容物が共振するスロッシングと呼ばれる現象が発生し、浮き蓋の上に溢れ出した重油やナフサが浮き蓋と側壁の接触との摩擦で発生した火花に触れて引火することによって引き起こされた。地震後、このような巨大地震によってもたらされる長周期地震動による大規模構造物の被害が注目された。

2011年3月11日 東日本大震災

本震	
発生日	2011年3月11日
発生時刻	14時46分18.1秒 ^[1] (JST) 5時46分18.1秒 (UTC)
震央	 日本 三陸沖 (仙台市の東方70km) 気象庁発表  北緯38度6分12秒 東経142度51分36秒 ^[2] 米国地質調査所発表  北緯38度19分19秒 東経142度22分8秒 ^[3]
震源の深さ	24 ^[4] km
規模	 モーメントマグニチュード (Mw) ^[5] 9.0
最大震度	 震度7：宮城県栗原市
津波	9.3m以上: 相馬港 ^{[6][注 1]} 最大遡上 40.1m: 綾里湾 ^[7] 浸水面積 561km ² 以上 (地盤沈下によるものも含む) ^[8]
地震の種類	海溝型地震、逆断層型 ^{[5][9]}
余震	
回数	震度1以上: 10278回 ^{注1} 震度4以上: 308回 ^{注1} M5以上: 774回 ^{注1}



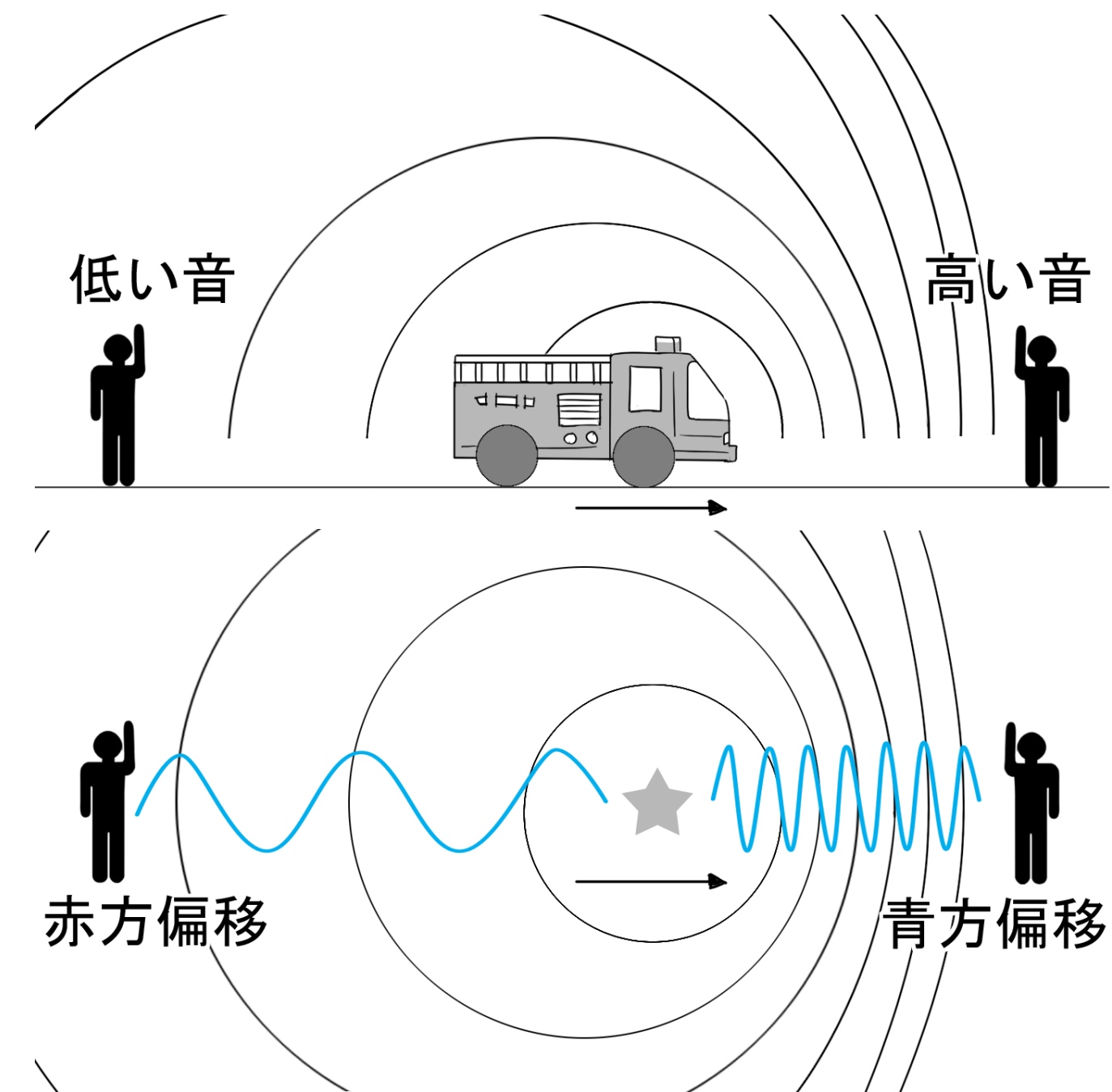
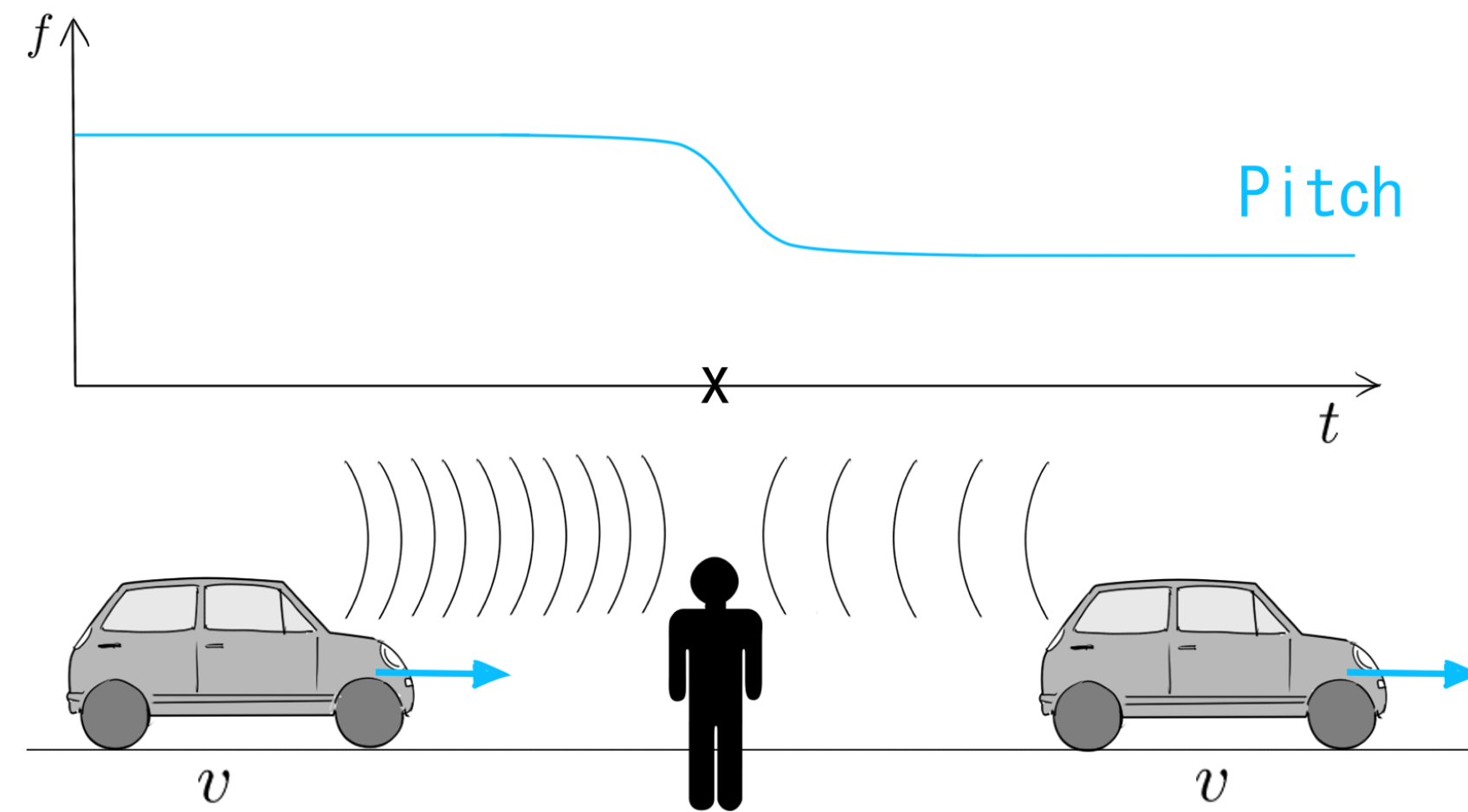
長周期地震動



Start on Click, 1'46"

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。



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 = 音が高くなる

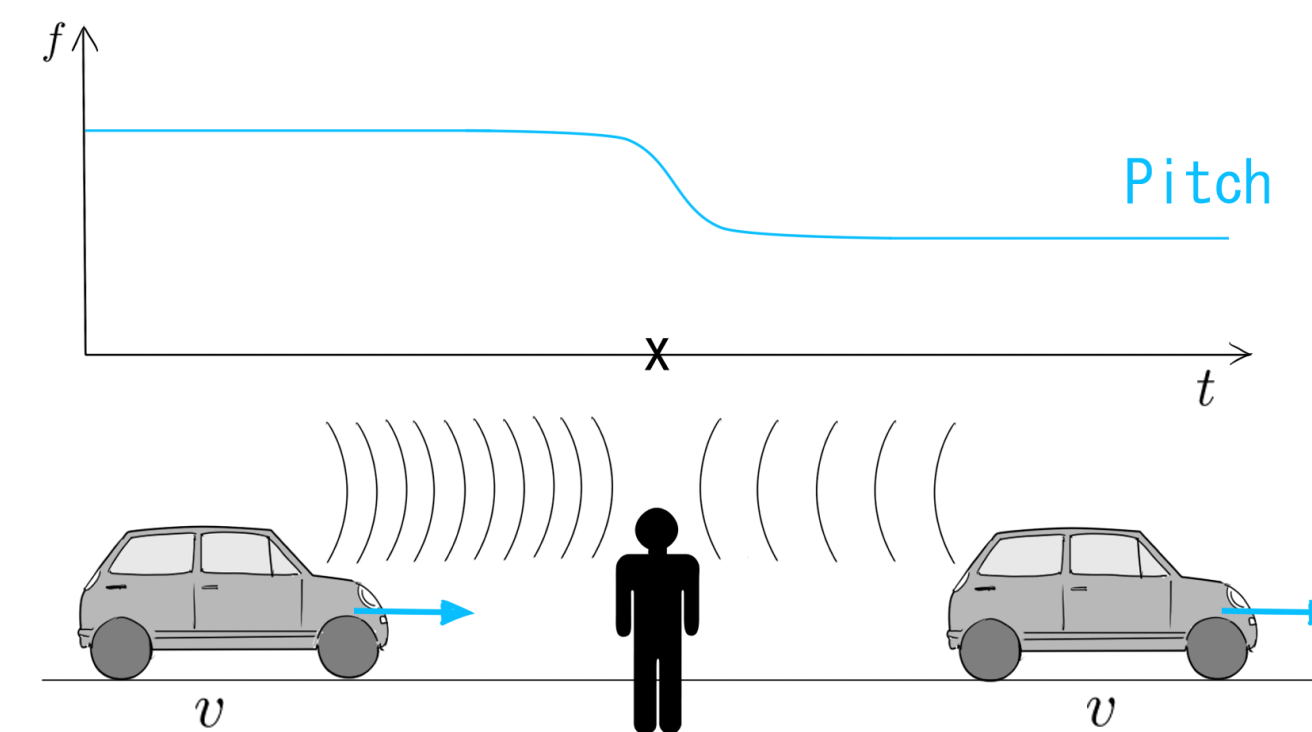
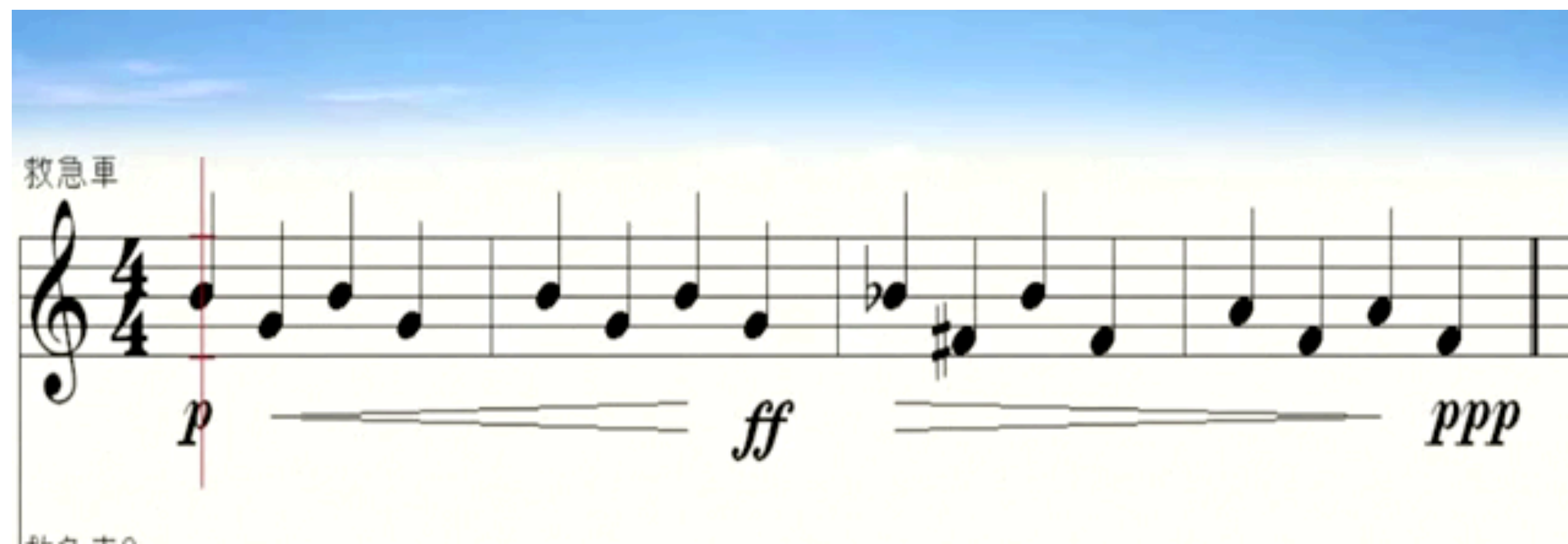
音源と観測者が相対的に遠ざかる = 音が低くなる

ドップラー効果

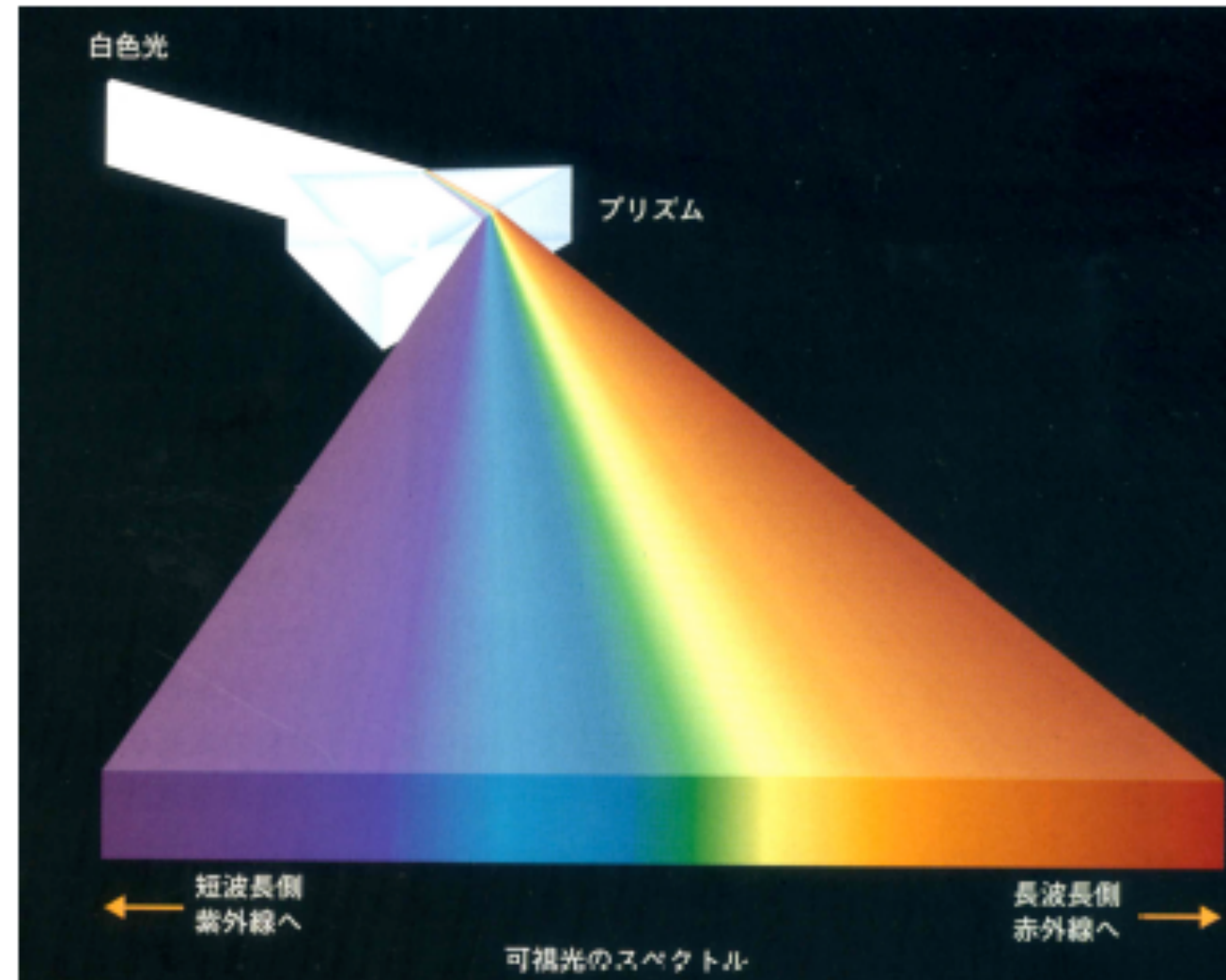


近づくとき
高い音
 大きい音に

遠ざかるとき
低い音
 小さい音に

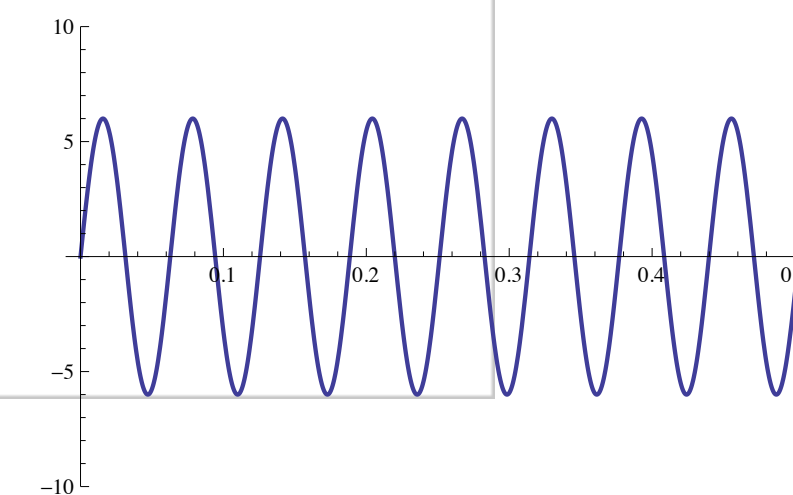
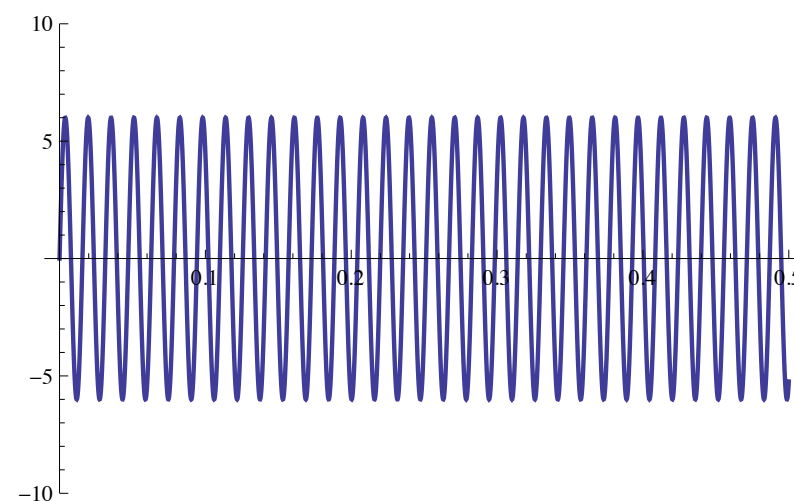
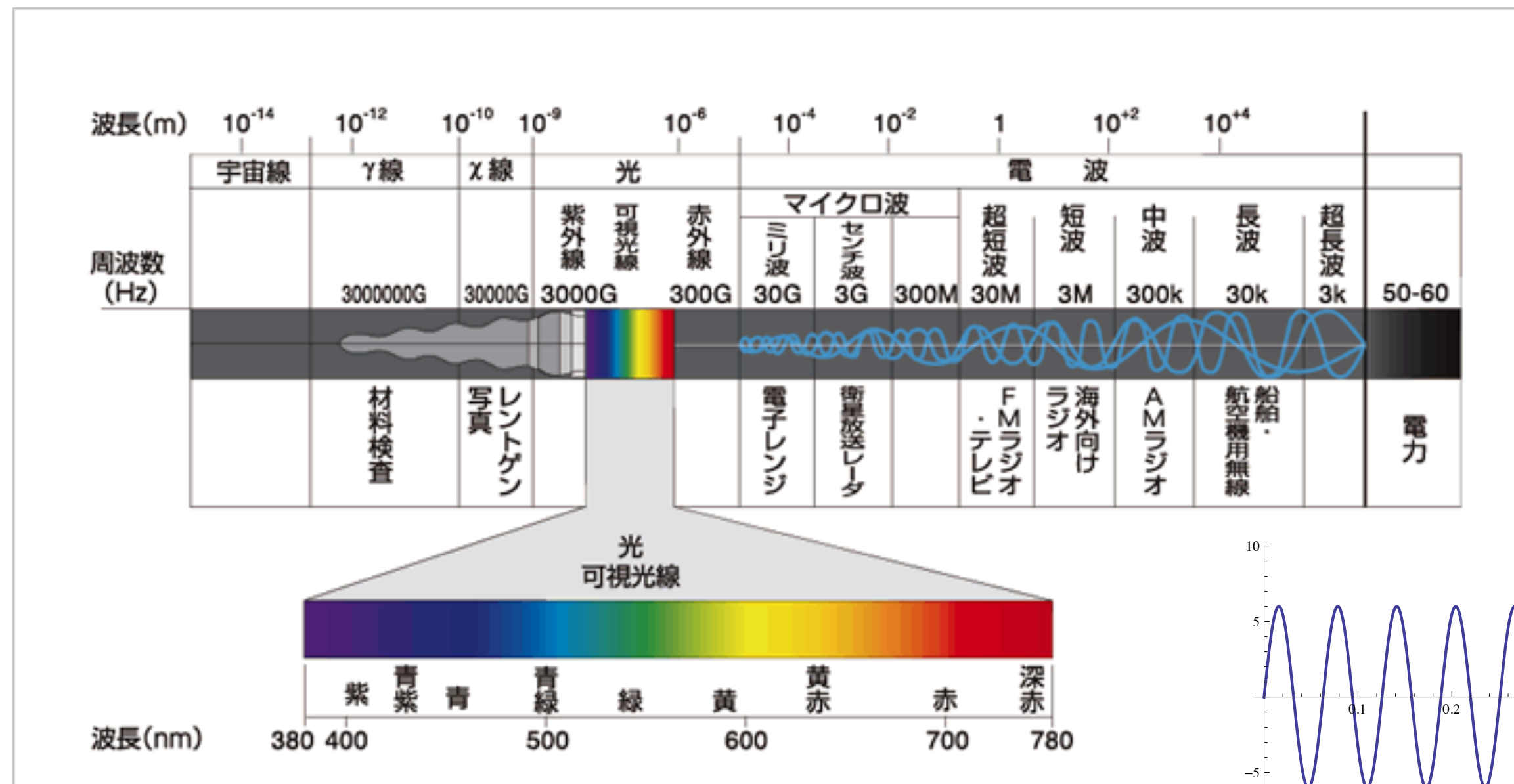


光の色=振動数

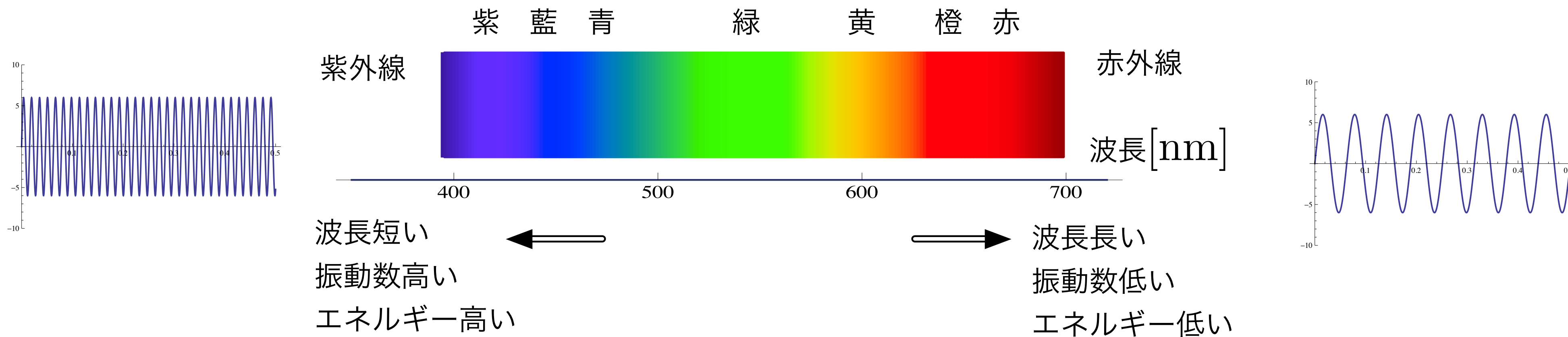


●電磁波の分類

名称	波長(振動数)	おもな利用例	
γ線	$1 \times 10^{-10} \text{m}$ 以下	食品照射, 医療	
X線	$1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-8} \text{m}$	X線写真, 医療	
紫外線	$1 \times 10^{-9} \sim 3.8 \times 10^{-7} \text{m}$	殺菌, 化学作用の利用	
可視光線	$3.8 \times 10^{-7} \sim 7.7 \times 10^{-7} \text{m}$	光学器械	
赤外線	$7.7 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{m}$	赤外線写真, 暖房	
電波	マイクロ波	$10^{-4} \sim 1 \text{m}$ ($3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12} \text{Hz}$)	携帯電話, 電子レンジ
	超短波	$1 \sim 10 \text{m}$ ($3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8 \text{Hz}$)	FM ラジオ放送, テレビ放送
	短波	$10 \sim 10^2 \text{m}$ ($3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7 \text{Hz}$)	短波ラジオ放送
	中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$ ($3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6 \text{Hz}$)	AM ラジオ放送
	長波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$ ($3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{Hz}$)	飛行機の通信, 電波時計
	超長波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	



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

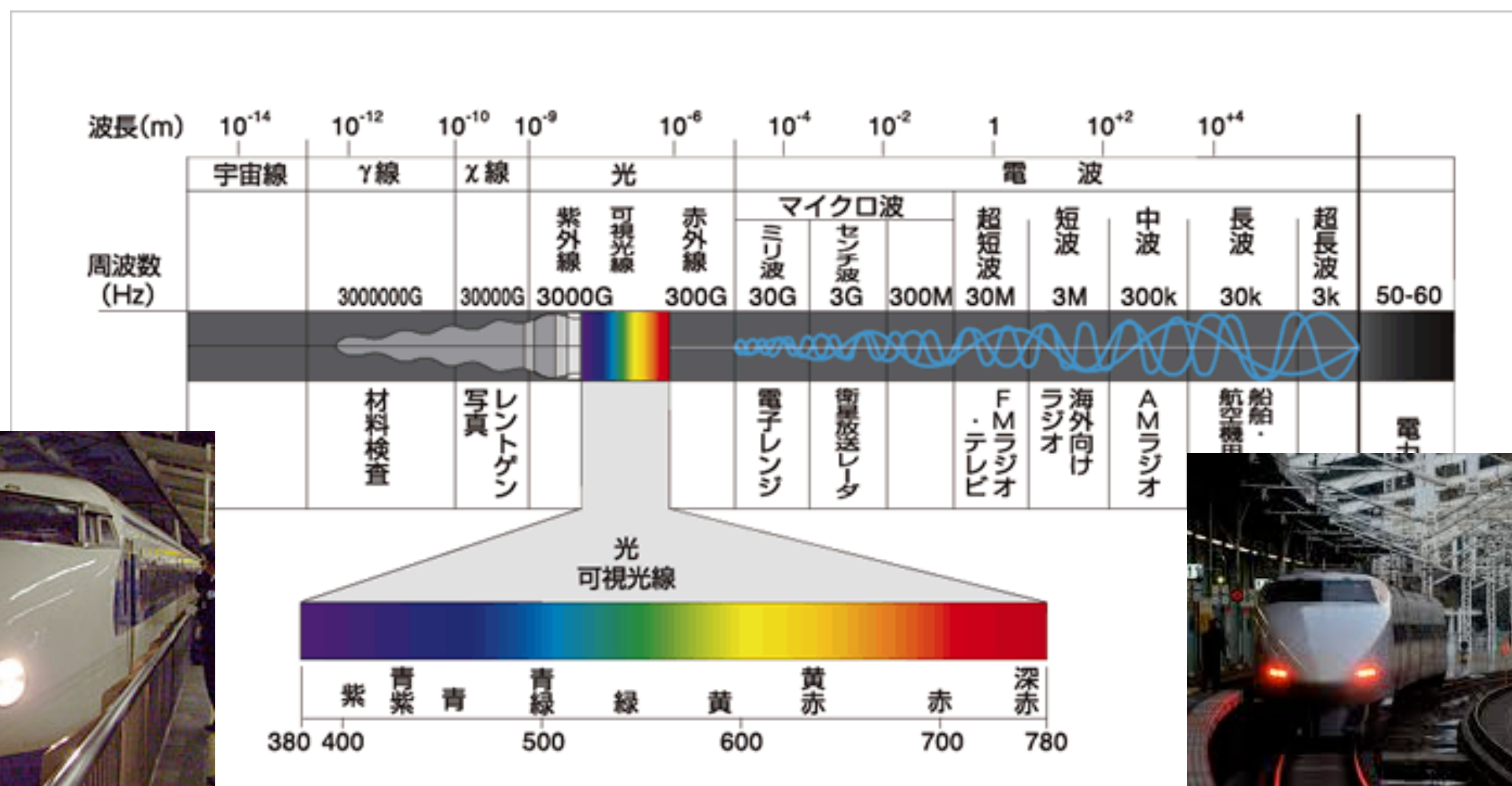
=音が高くなる

=色が青くなる

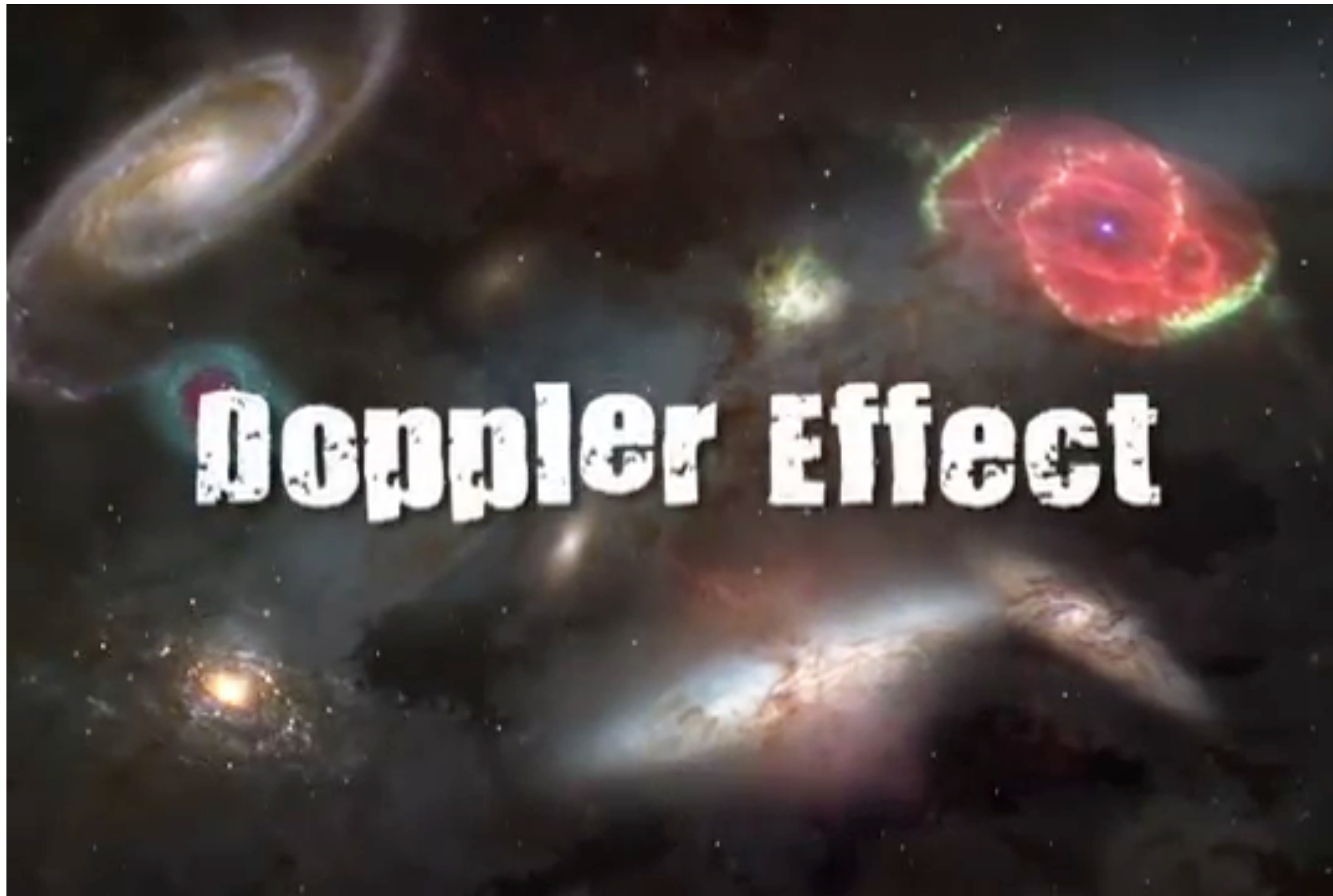
音源と観測者が相対的に遠ざかる

=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 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。

Edwin Powell Hubble
(1889–1953)



ハッブルの宇宙膨張の法則 (1929年)

$$v = H_0 d \quad (5.9)$$

銀河の後退速度 = ハッブル定数 H_0 × 銀河までの距離

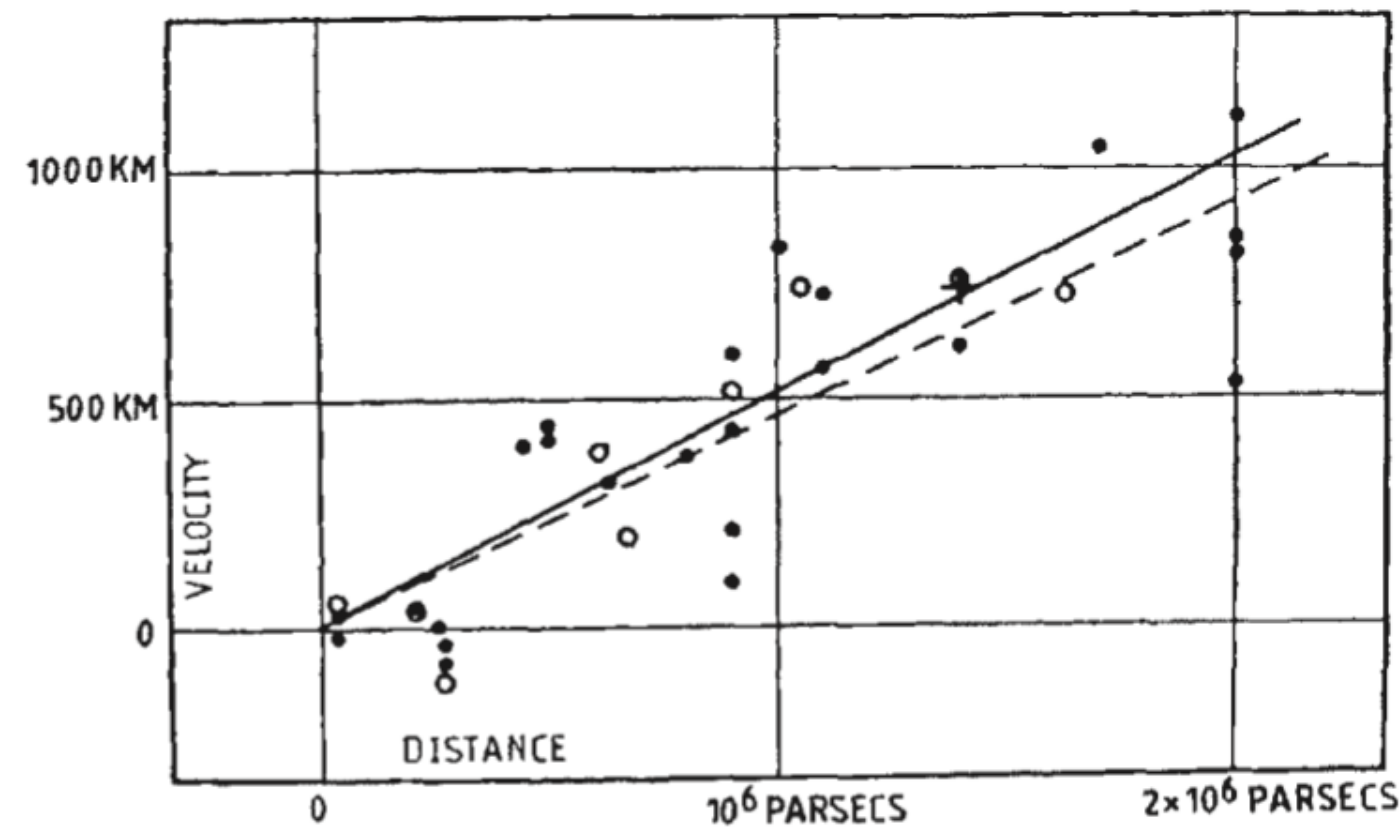
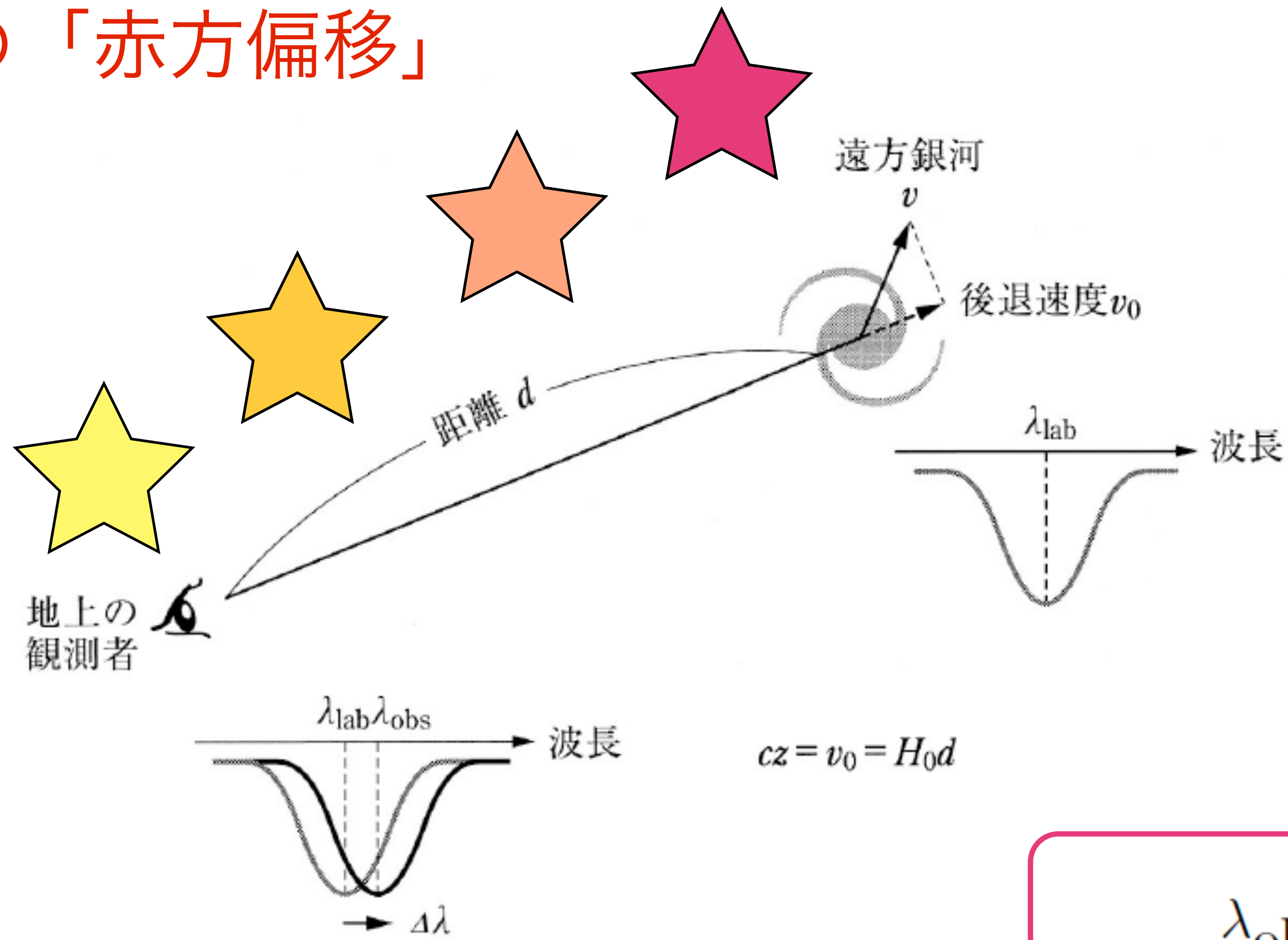


図 5.7 ハッブルが 1929 年に発表した図。横軸は距離、縦軸は銀河の後退速度。このグラフの傾きがほぼ一定になることが、ハッブルの法則である。ハッブルが報告した値は、 $H_0 = 530 \text{ km/s/Mpc}$ だった。現在値は $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$ 。

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」



赤方偏移パラメータ

$$z \equiv \frac{\lambda_{obs} - \lambda_S}{\lambda_S}$$

遠方の銀河ほど速く遠ざかる, だが我々は宇宙の中心ではない

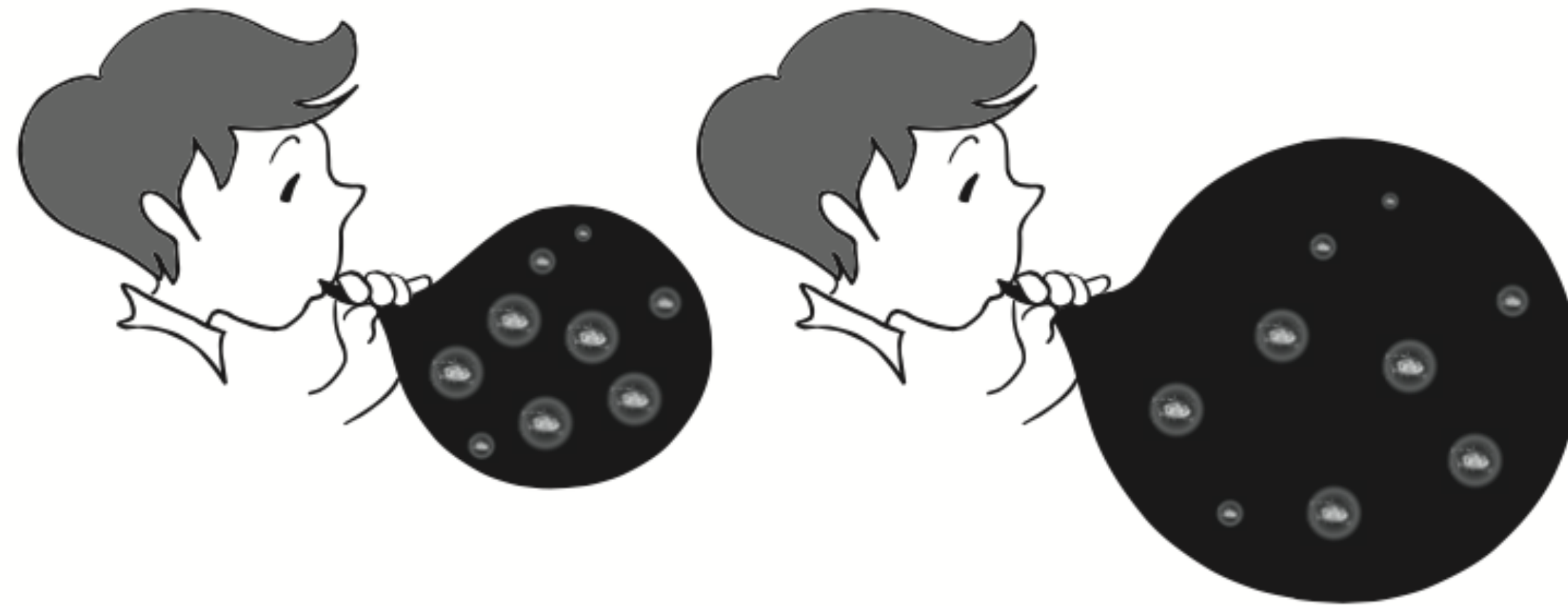


図42 遠方の銀河ほど速く遠ざかっている、というハッブルの法則は、我々が宇宙の中心にいることを意味するわけではない。

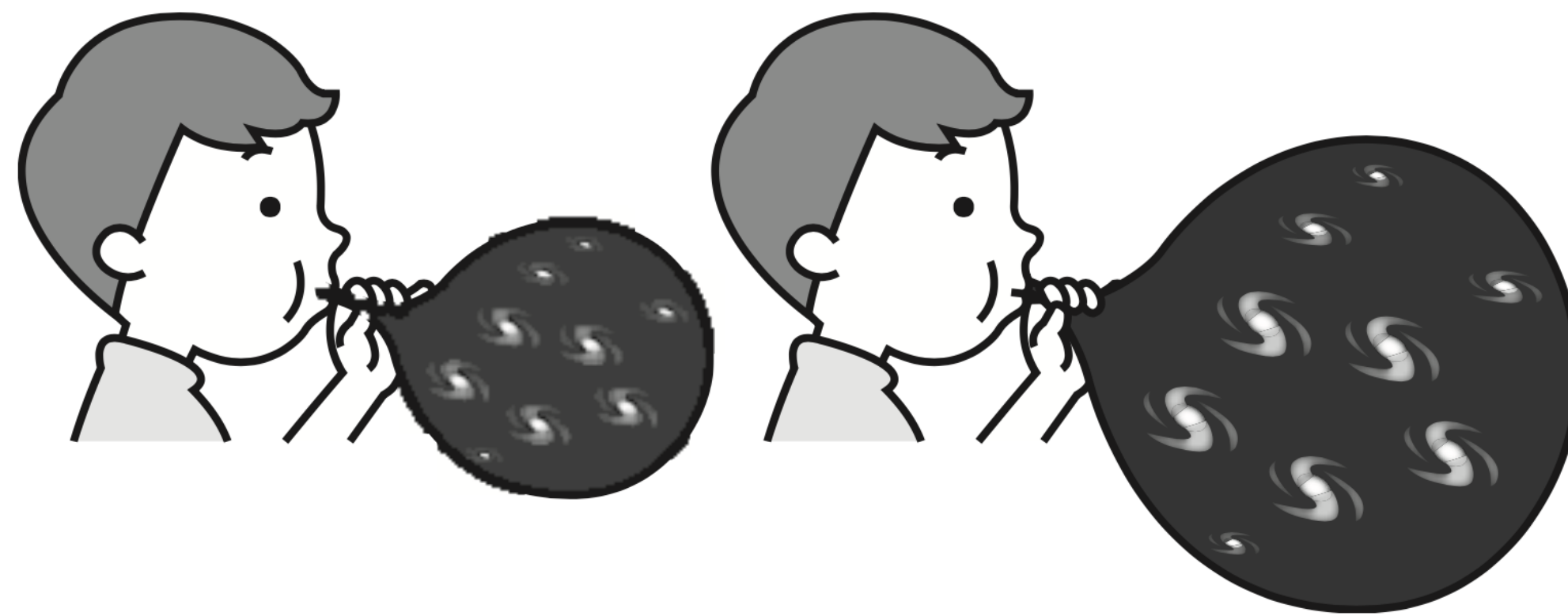
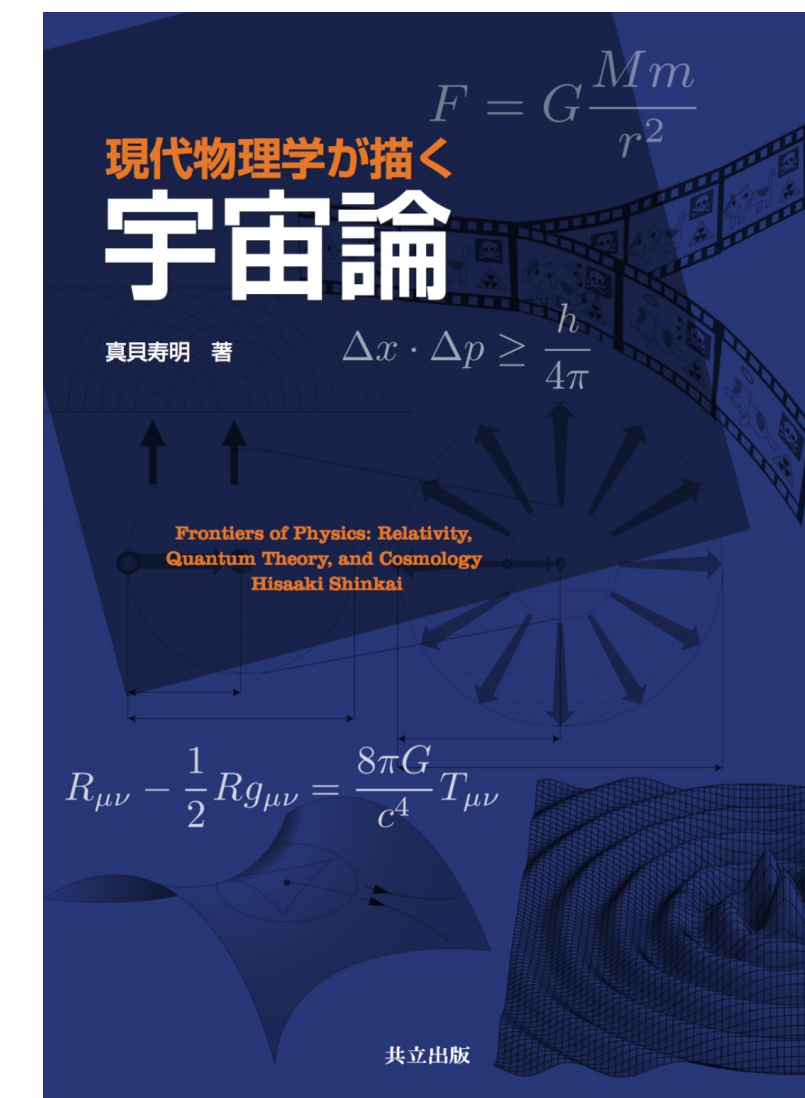
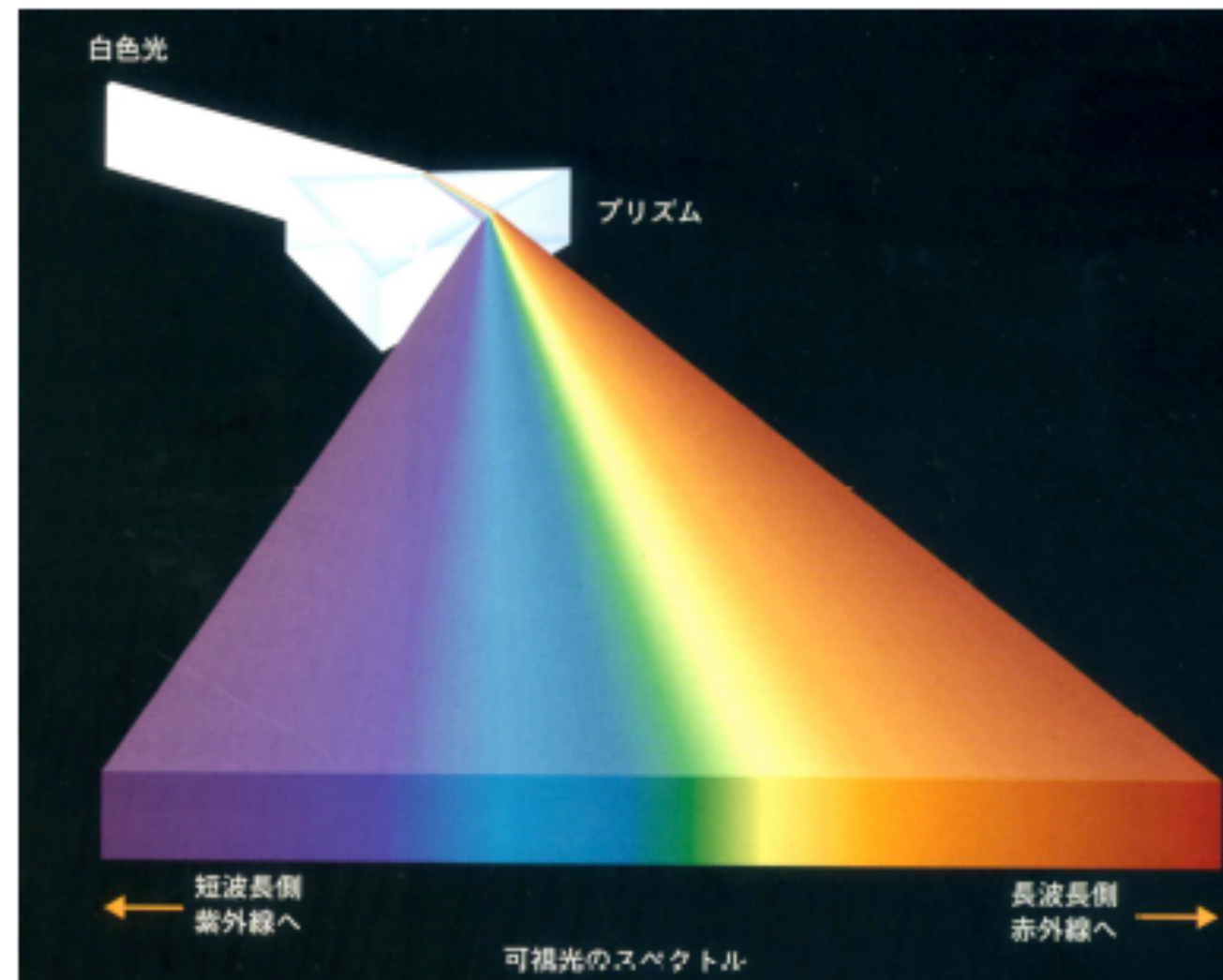


図 5.8 宇宙の中心はどこ？

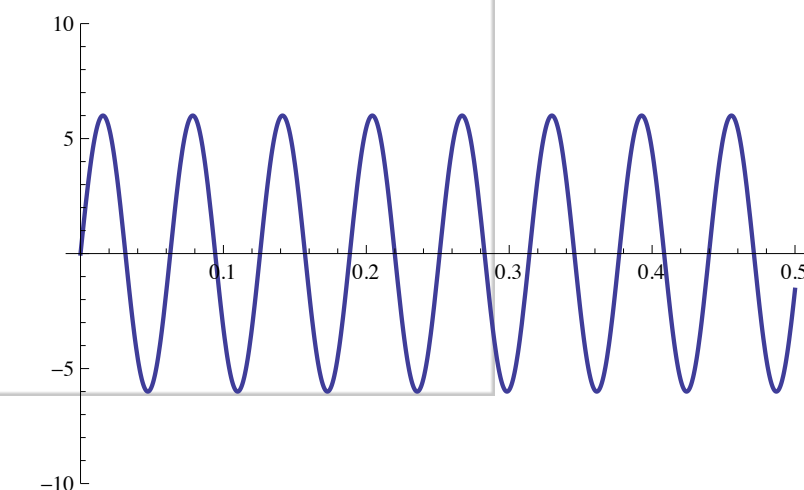
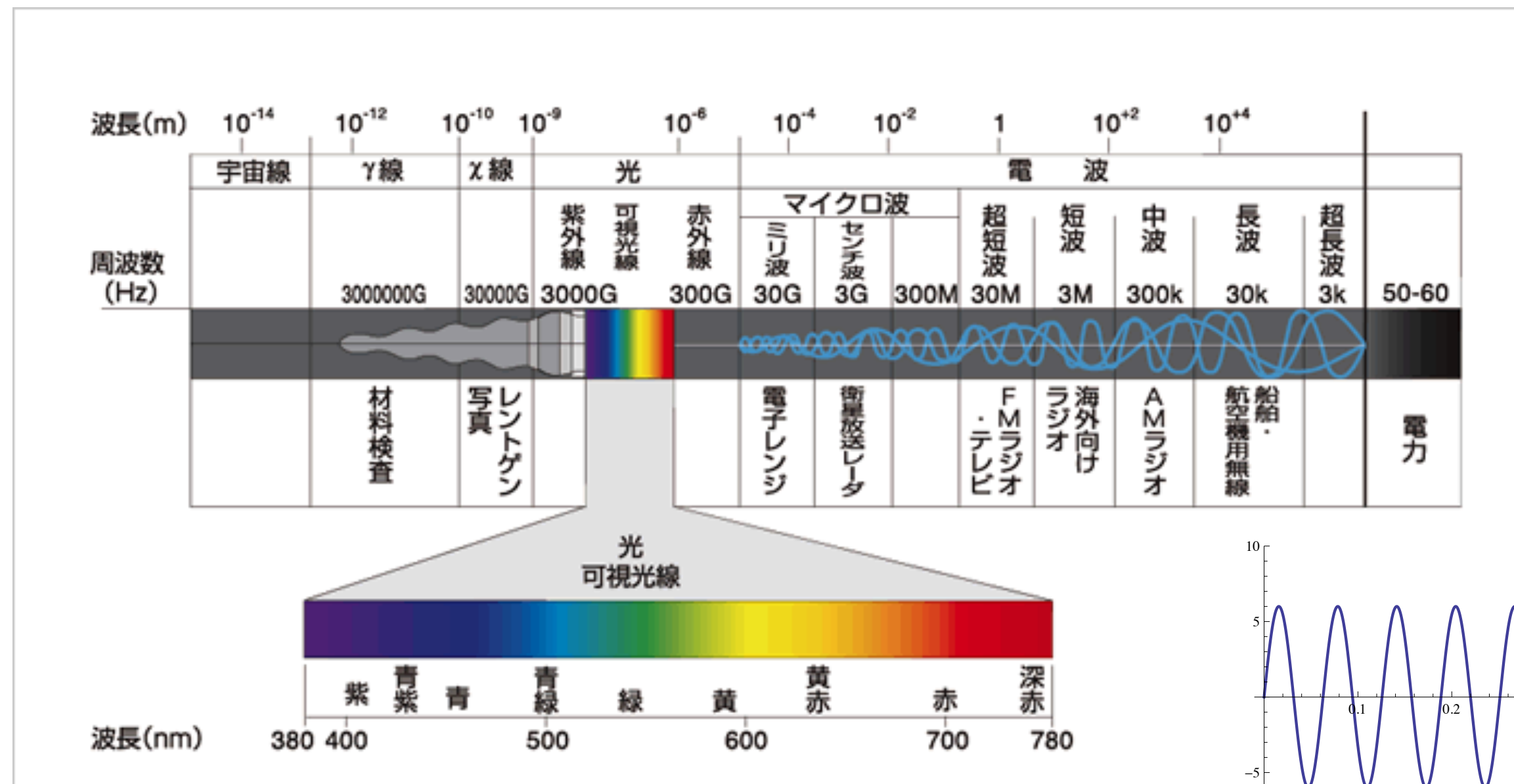
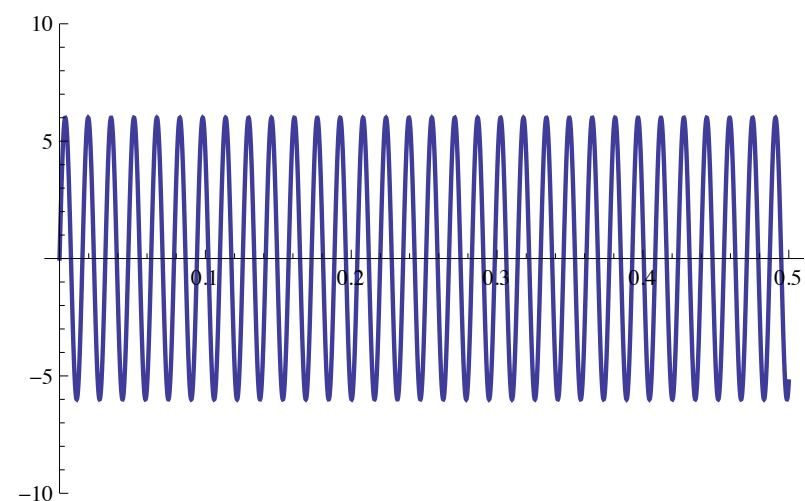


光の色=振動数

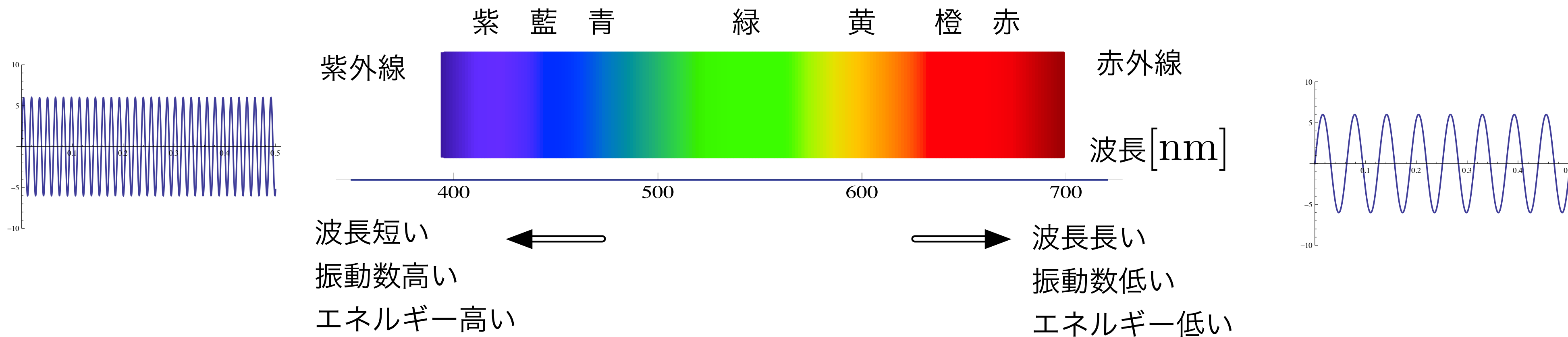


●電磁波の分類

名称	波長(振動数)	おもな利用例	
γ線	$1 \times 10^{-10} \text{m}$ 以下	食品照射, 医療	
X線	$1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-8} \text{m}$	X線写真, 医療	
紫外線	$1 \times 10^{-9} \sim 3.8 \times 10^{-7} \text{m}$	殺菌, 化学作用の利用	
可視光線	$3.8 \times 10^{-7} \sim 7.7 \times 10^{-7} \text{m}$	光学器械	
赤外線	$7.7 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{m}$	赤外線写真, 暖房	
電波	マイクロ波	$10^{-4} \sim 1 \text{m}$ ($3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12} \text{Hz}$)	携帯電話, 電子レンジ
	超短波	$1 \sim 10 \text{m}$ ($3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8 \text{Hz}$)	FM ラジオ放送, テレビ放送
	短波	$10 \sim 10^2 \text{m}$ ($3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7 \text{Hz}$)	短波ラジオ放送
	中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$ ($3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6 \text{Hz}$)	AM ラジオ放送
	長波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$ ($3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{Hz}$)	飛行機の通信, 電波時計
	超長波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	

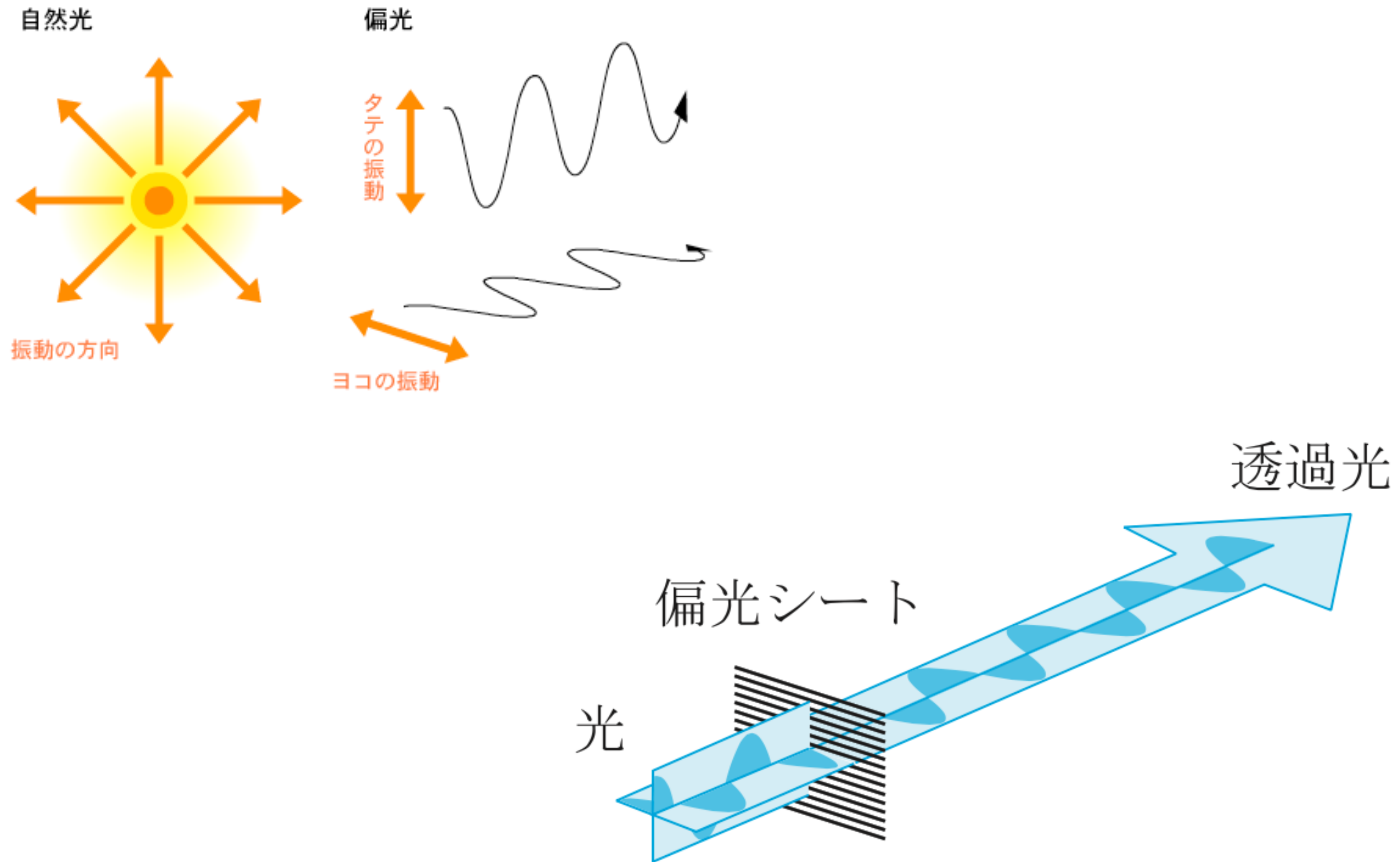


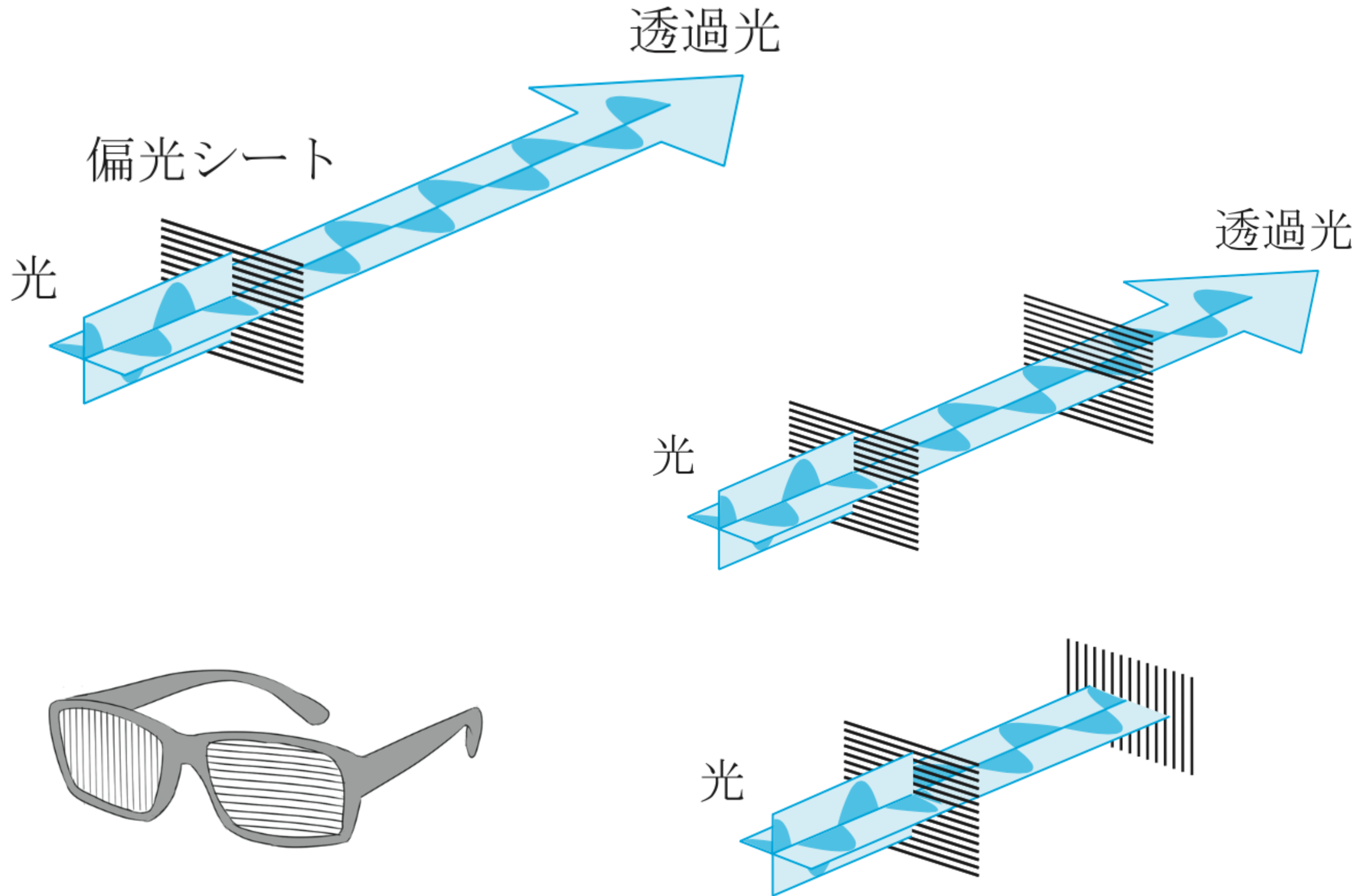
光の色=振動数



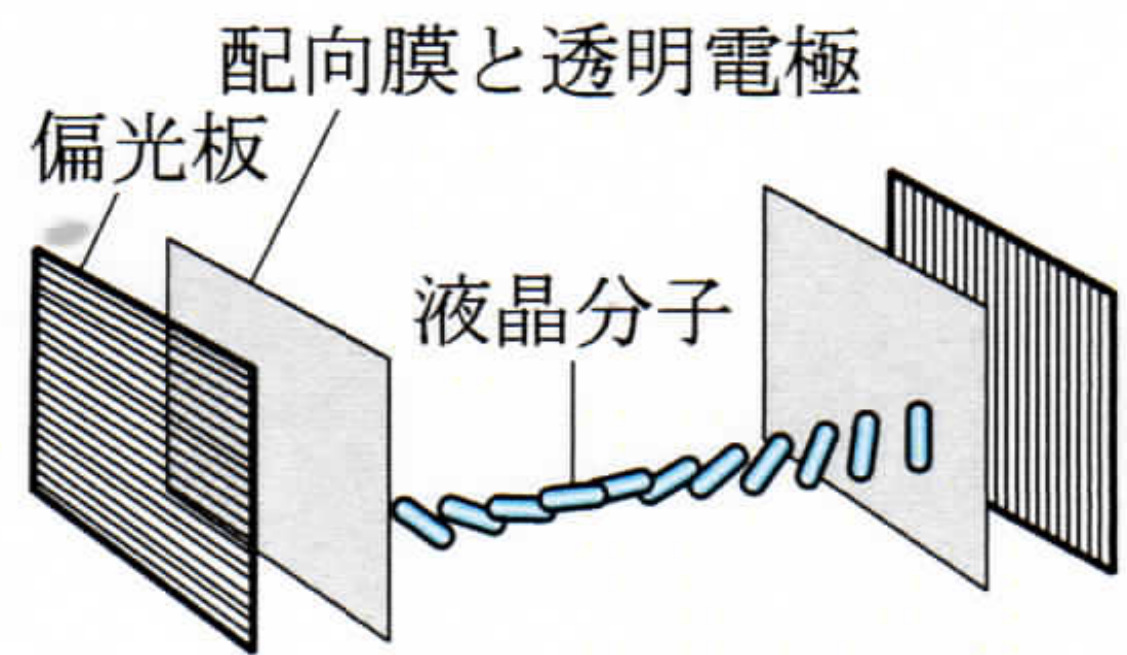
	宇宙線			ガンマ線			X線			光			電磁波				
				紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波					
波長 [m]	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	3.8×10^{-7}	7.7×10^{-7}	10^{-4}	1	10	10^2	10^3	10^4						
波長 [nm]				380	770												
振動数 [Hz]		3×10^{18}	3×10^{17}				3×10^{12}	3×10^8	3×10^7	3×10^6	3×10^5	3×10^4					
利用例		医療 / 食品照射	医療 / X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			

光は横波である



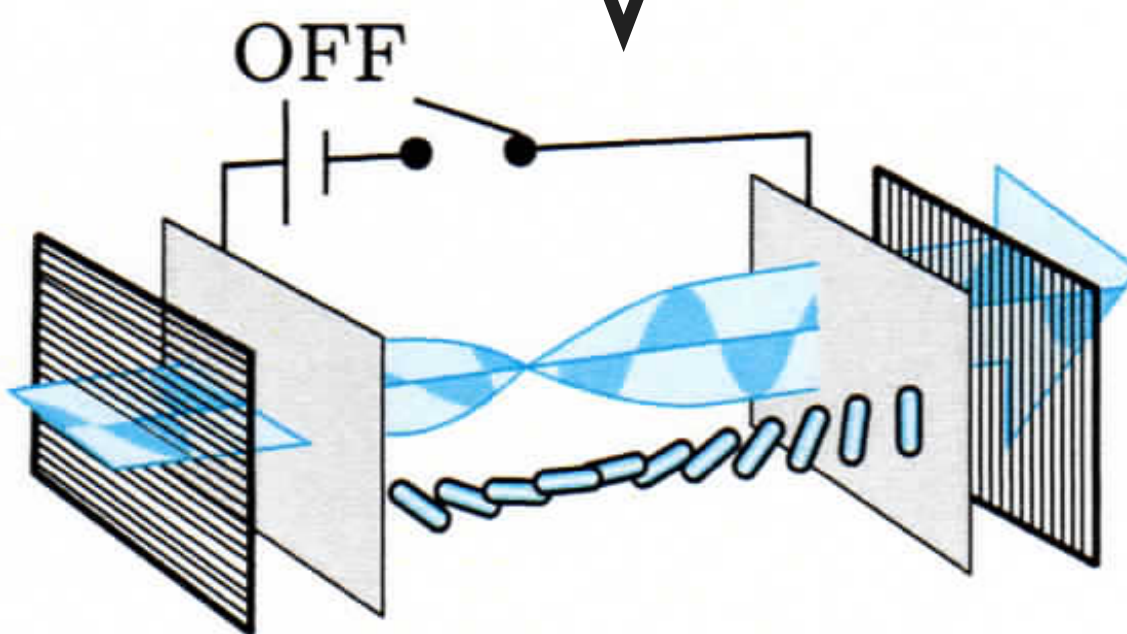


液晶分子は90度ねじれて配列されている。

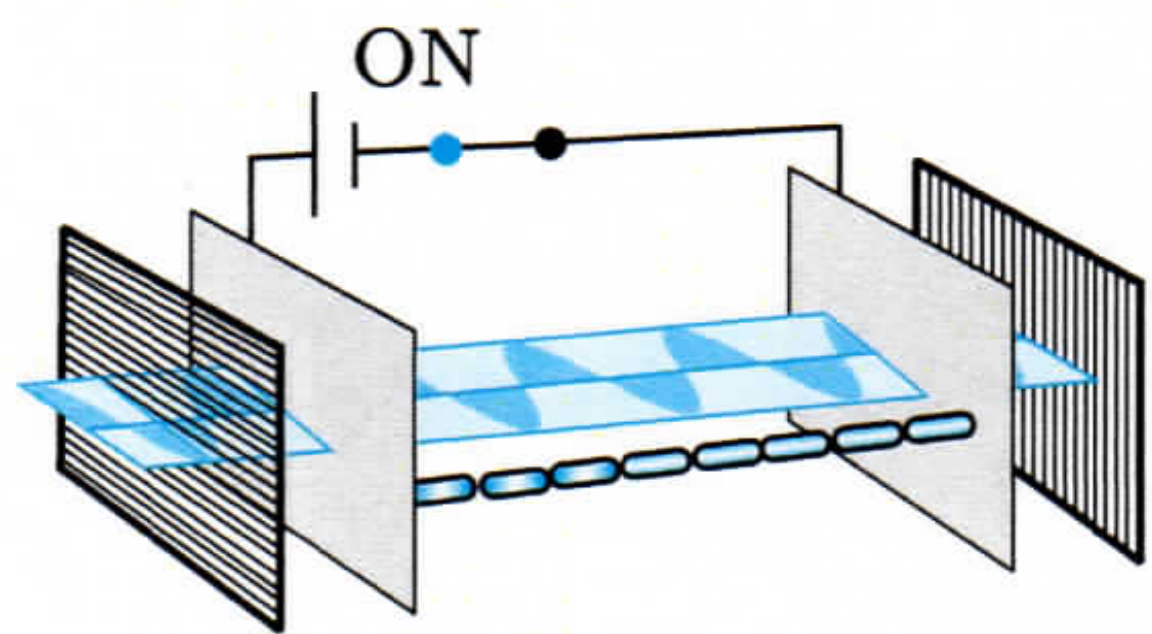


(a) 液晶の構造

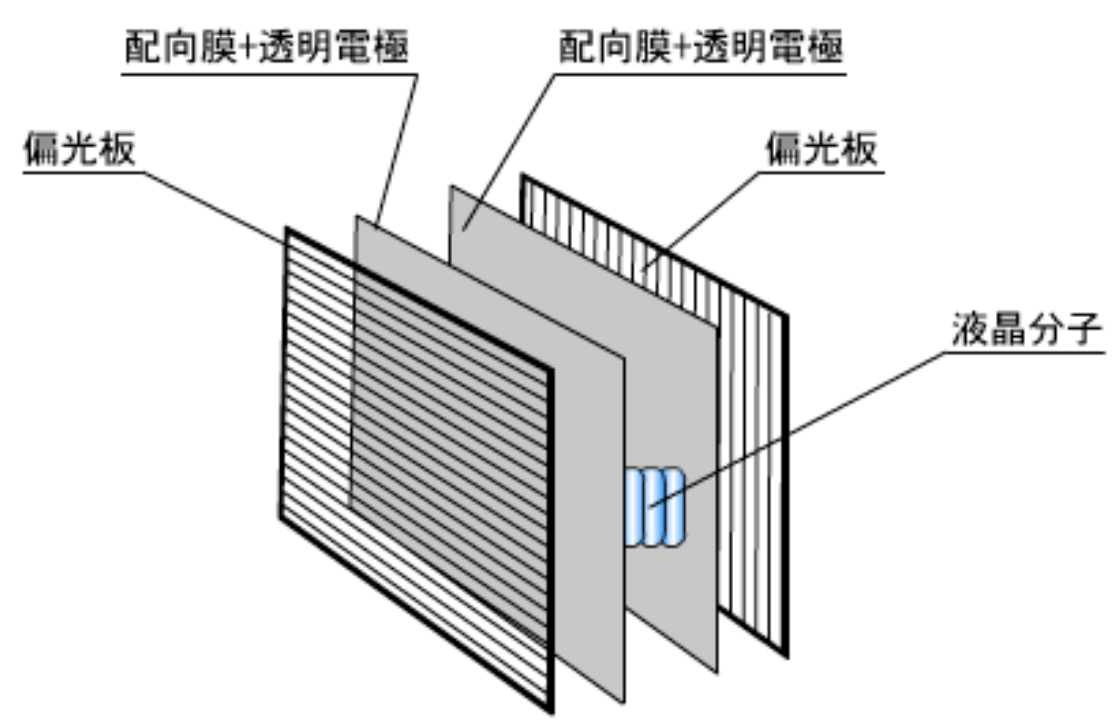
電源offだと、光は曲がり、偏光板を通過して白色になる。



(b) 光が通る状態



(c) 光が通らない状態



電源onだと、分子がそろい、光が通過しないので黒色になる。

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。

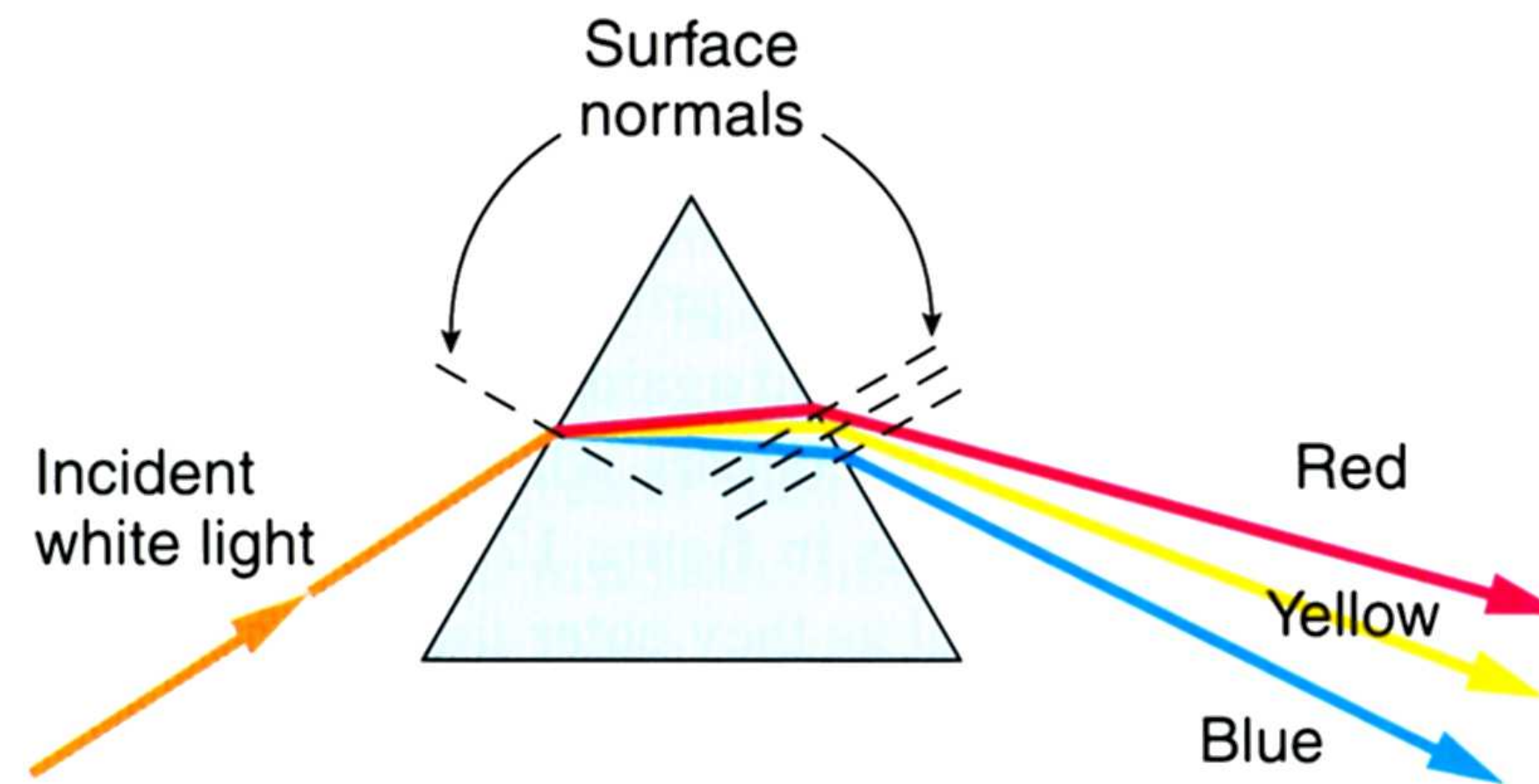
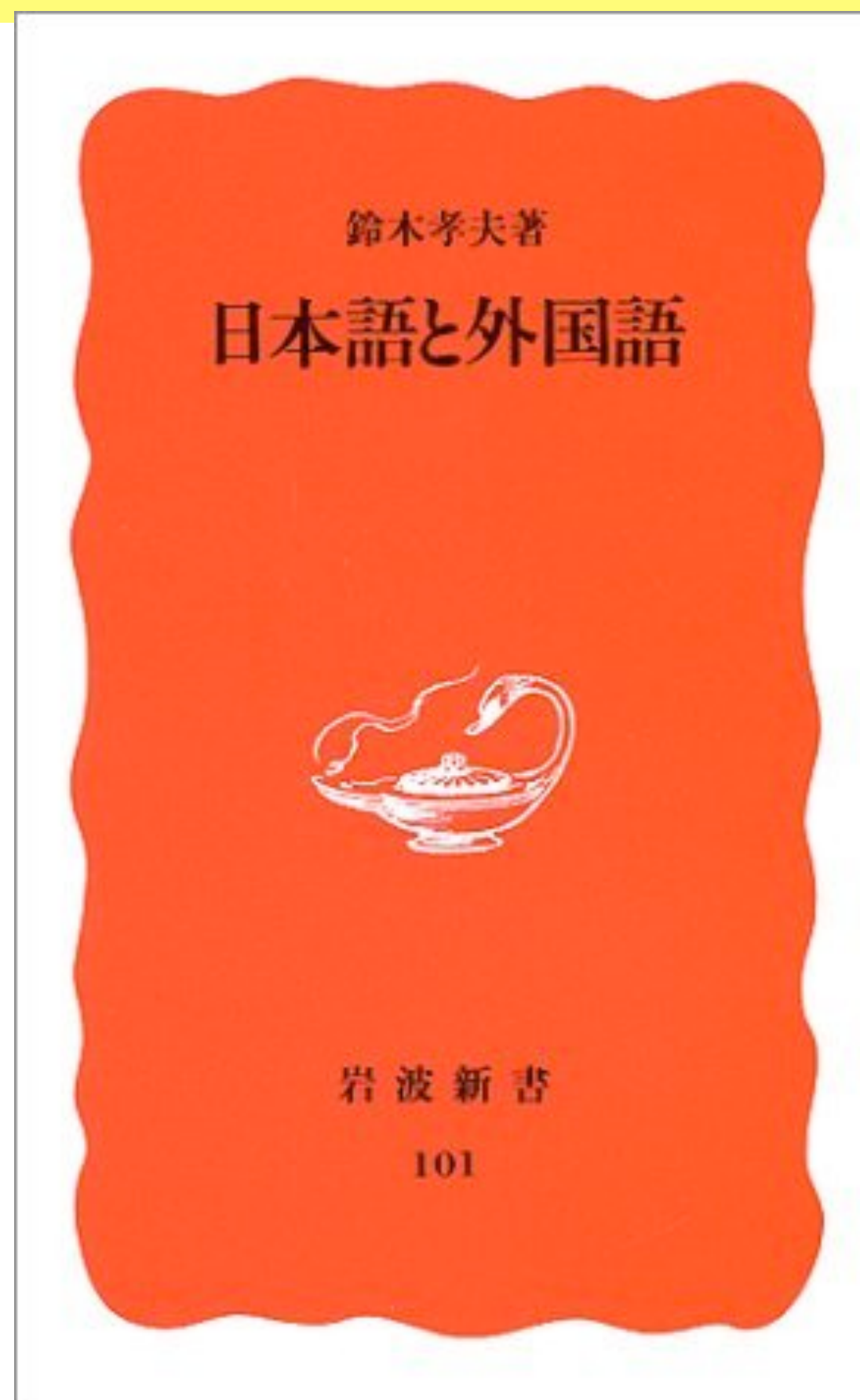


figure 17.13 Light rays passing through a prism are bent at both surfaces, with blue light being bent more strongly than red.

色の正体は何か



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

虹



撮影 長谷川能三氏

虹



<http://en.wikipedia.org/wiki/Rainbow>

虹のしくみ

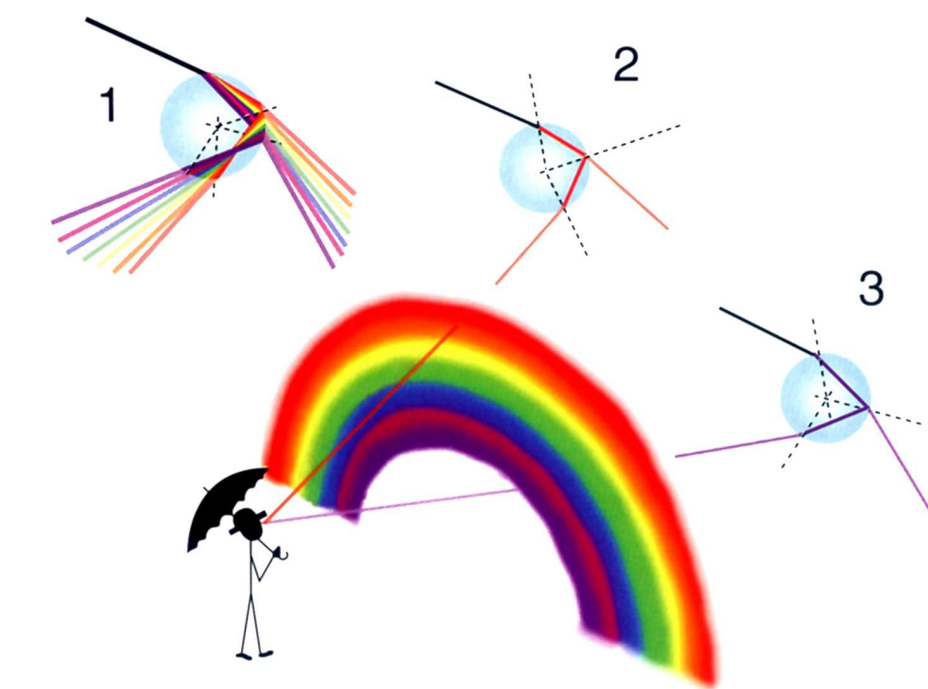
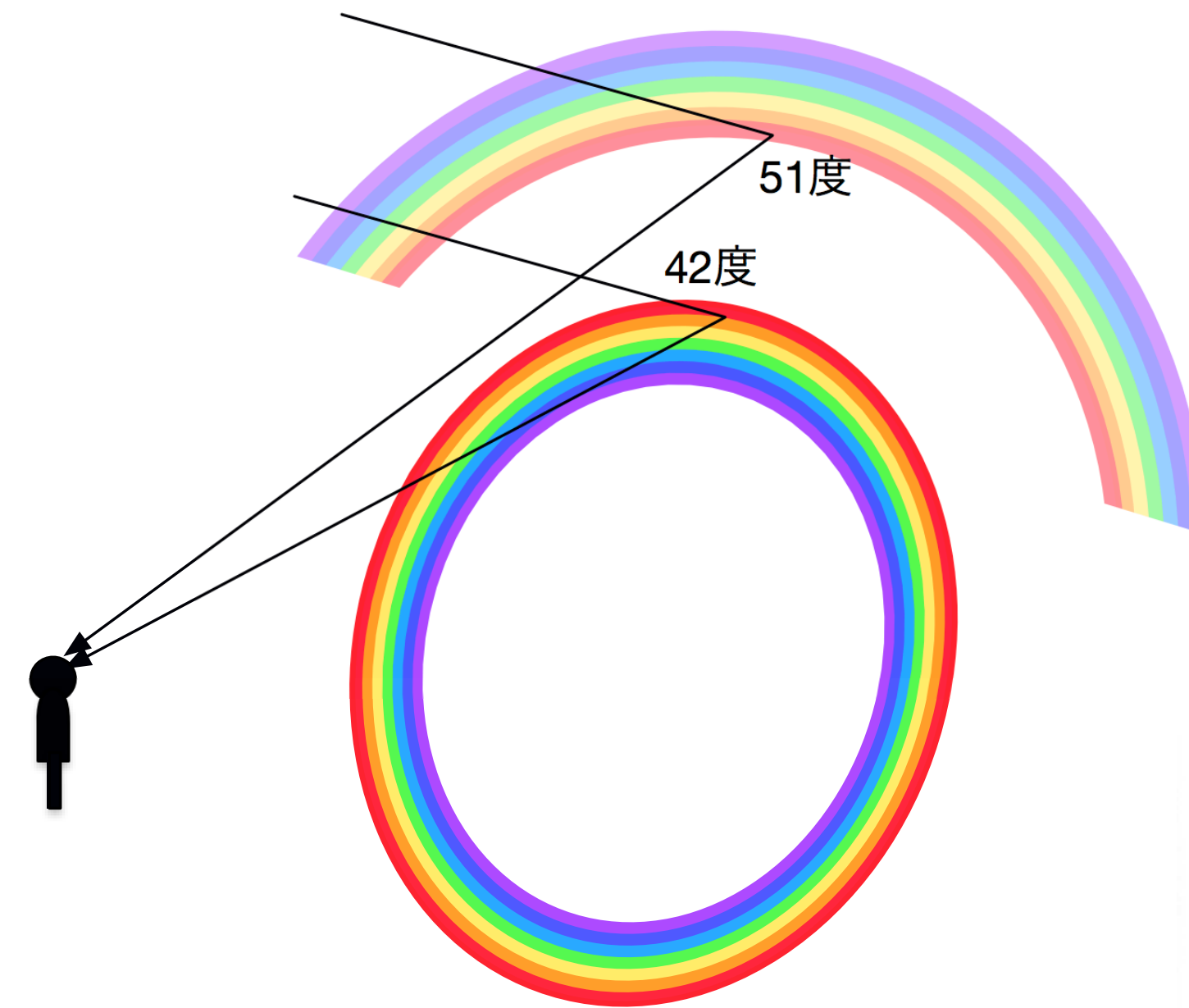
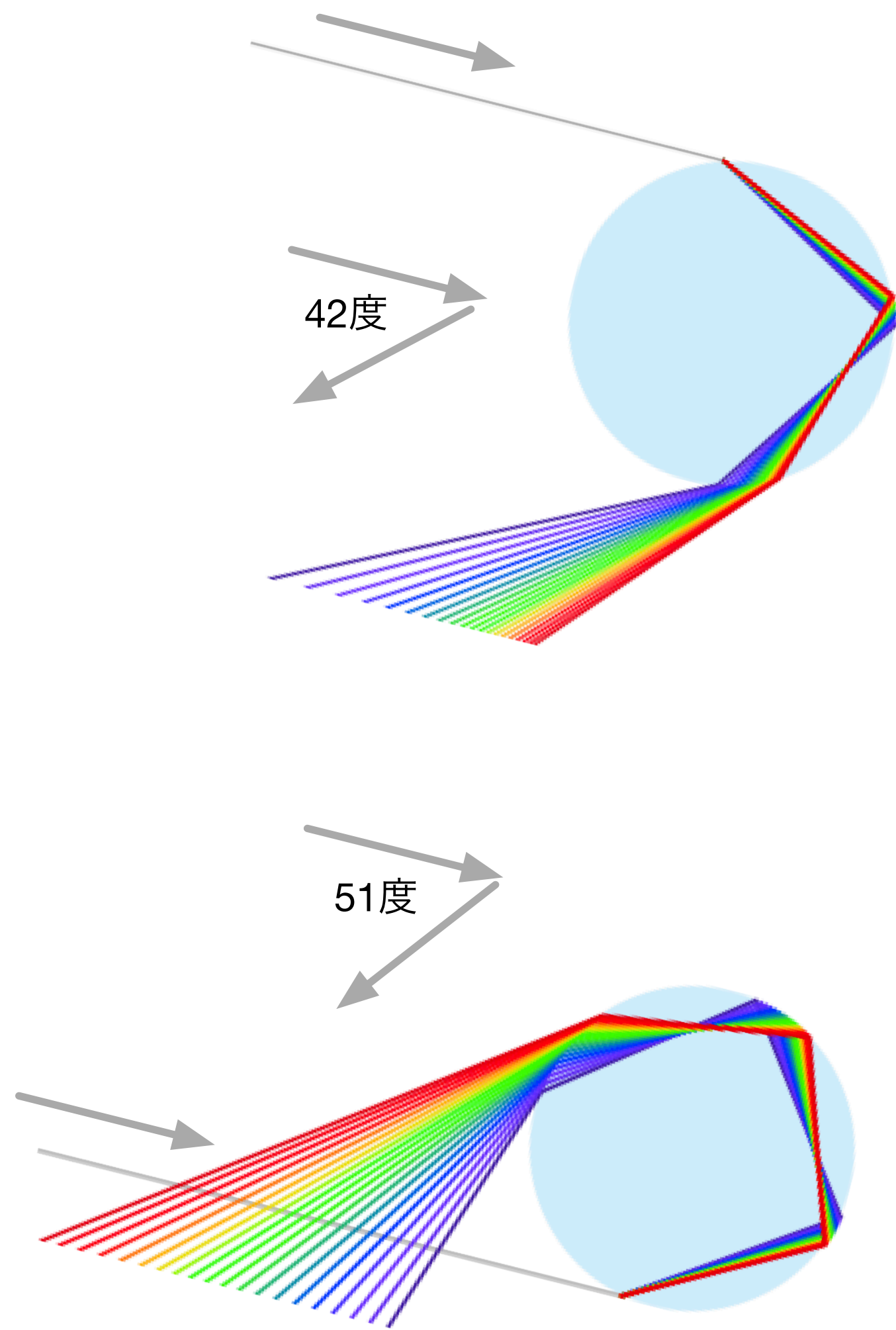
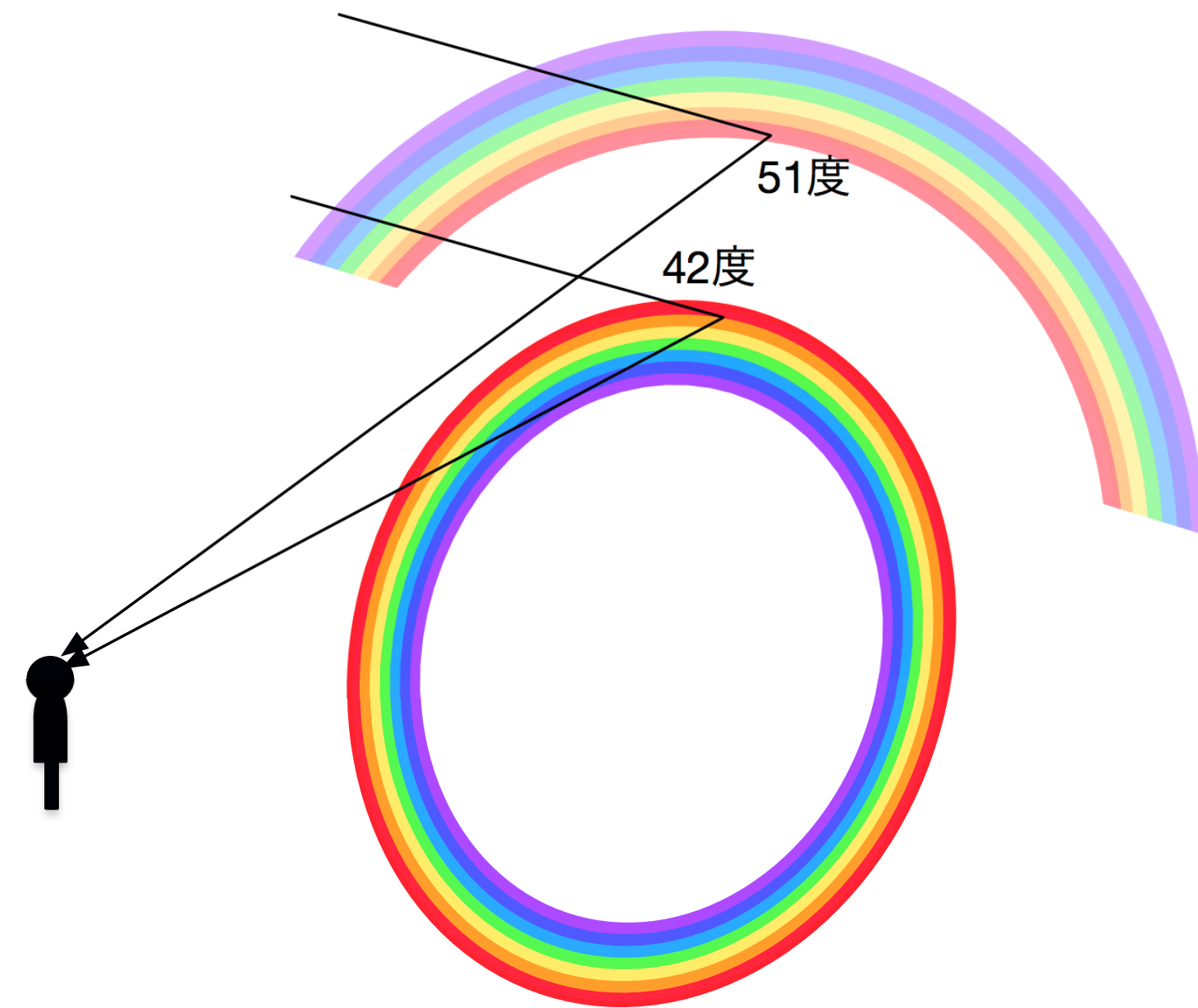
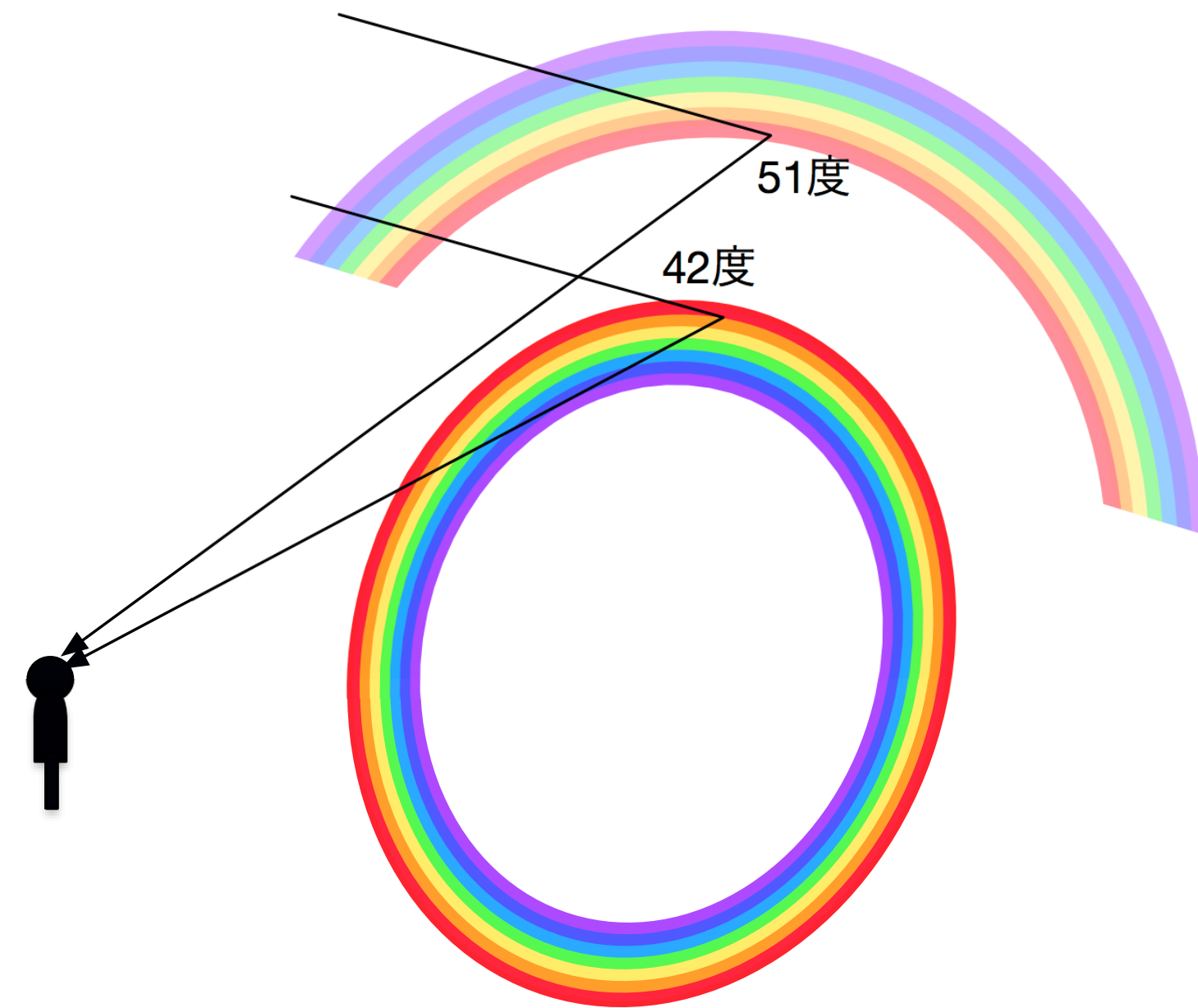


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

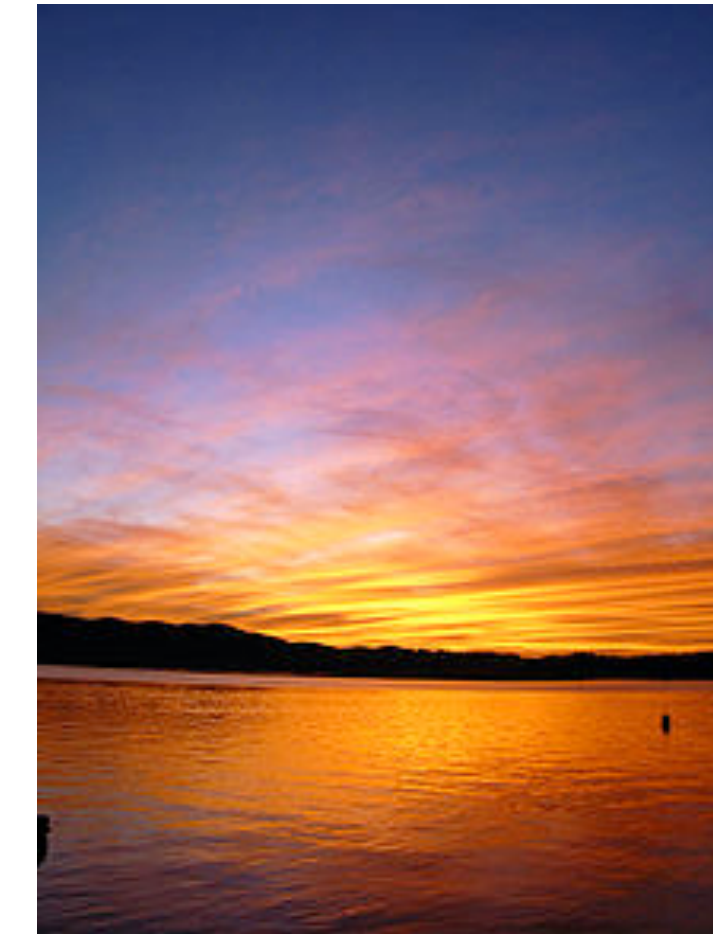
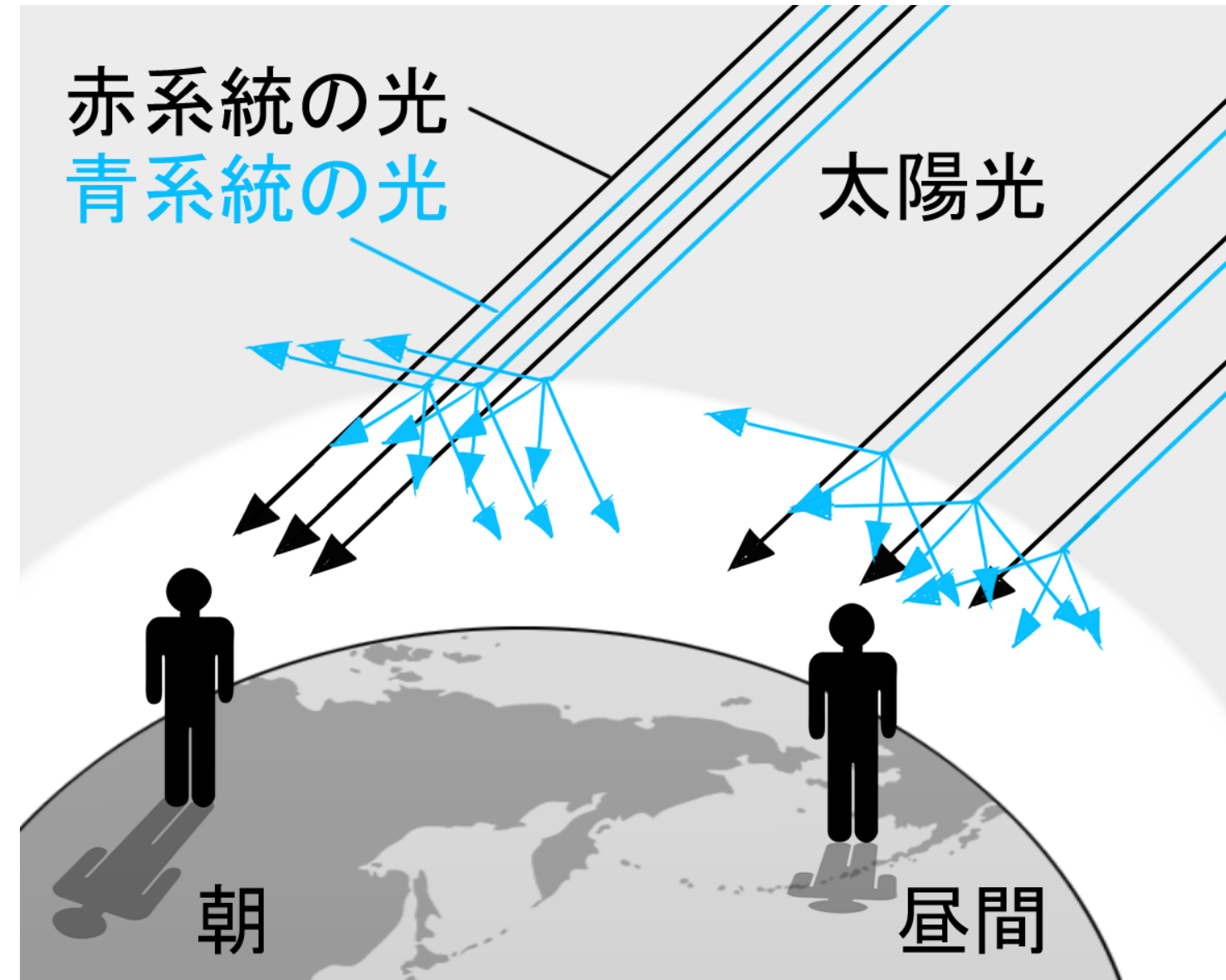
ブロツケン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)



ブロツケン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)



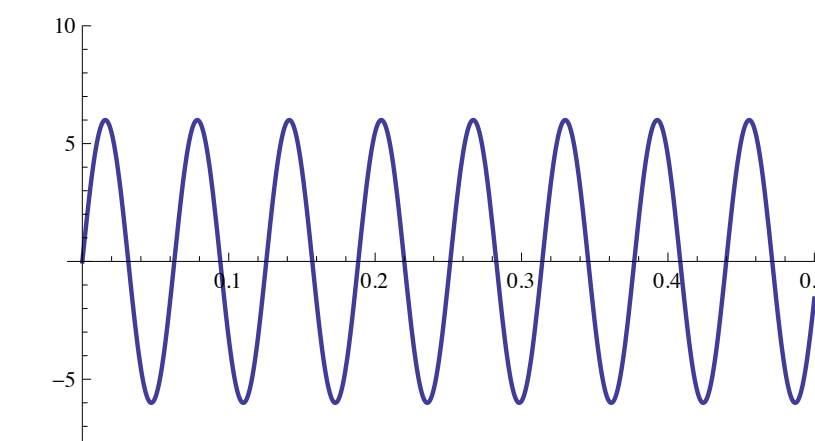
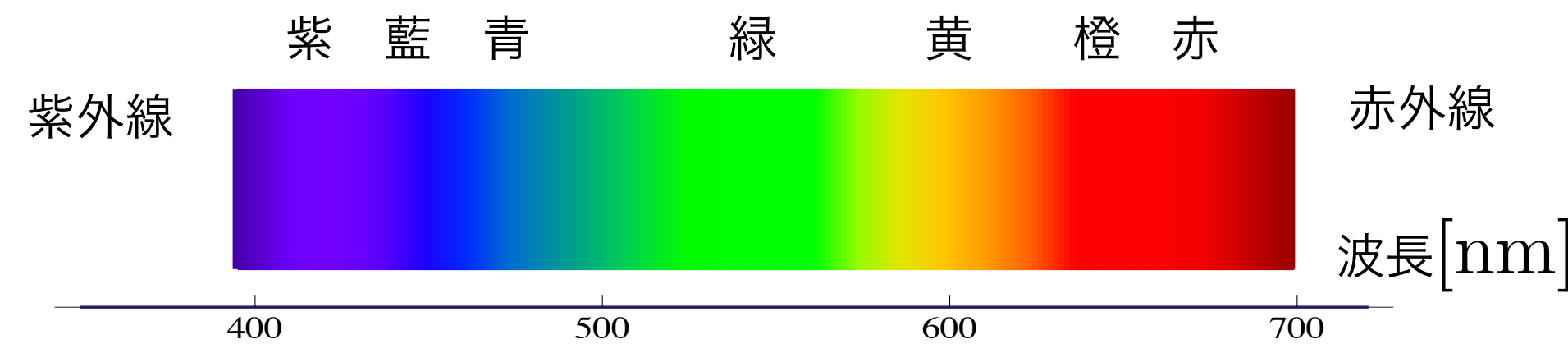
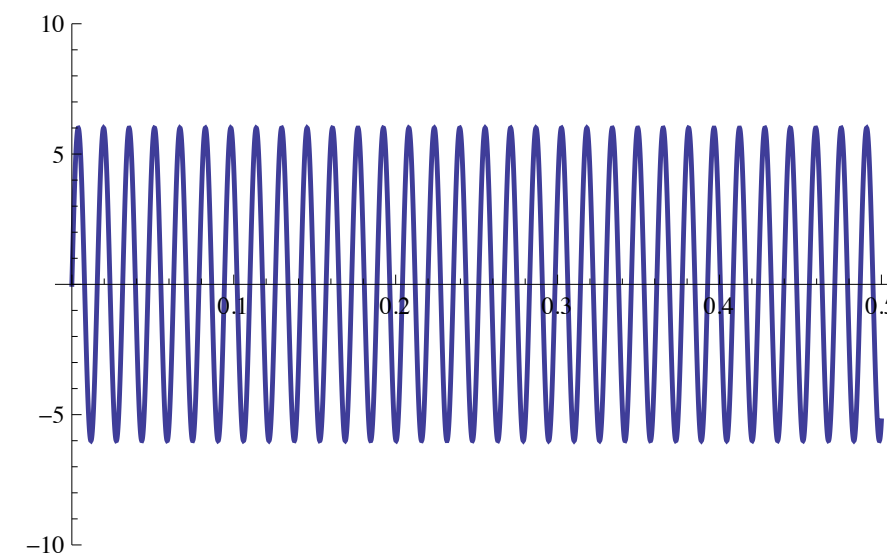
朝焼け・夕焼け なぜ赤い？



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

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」

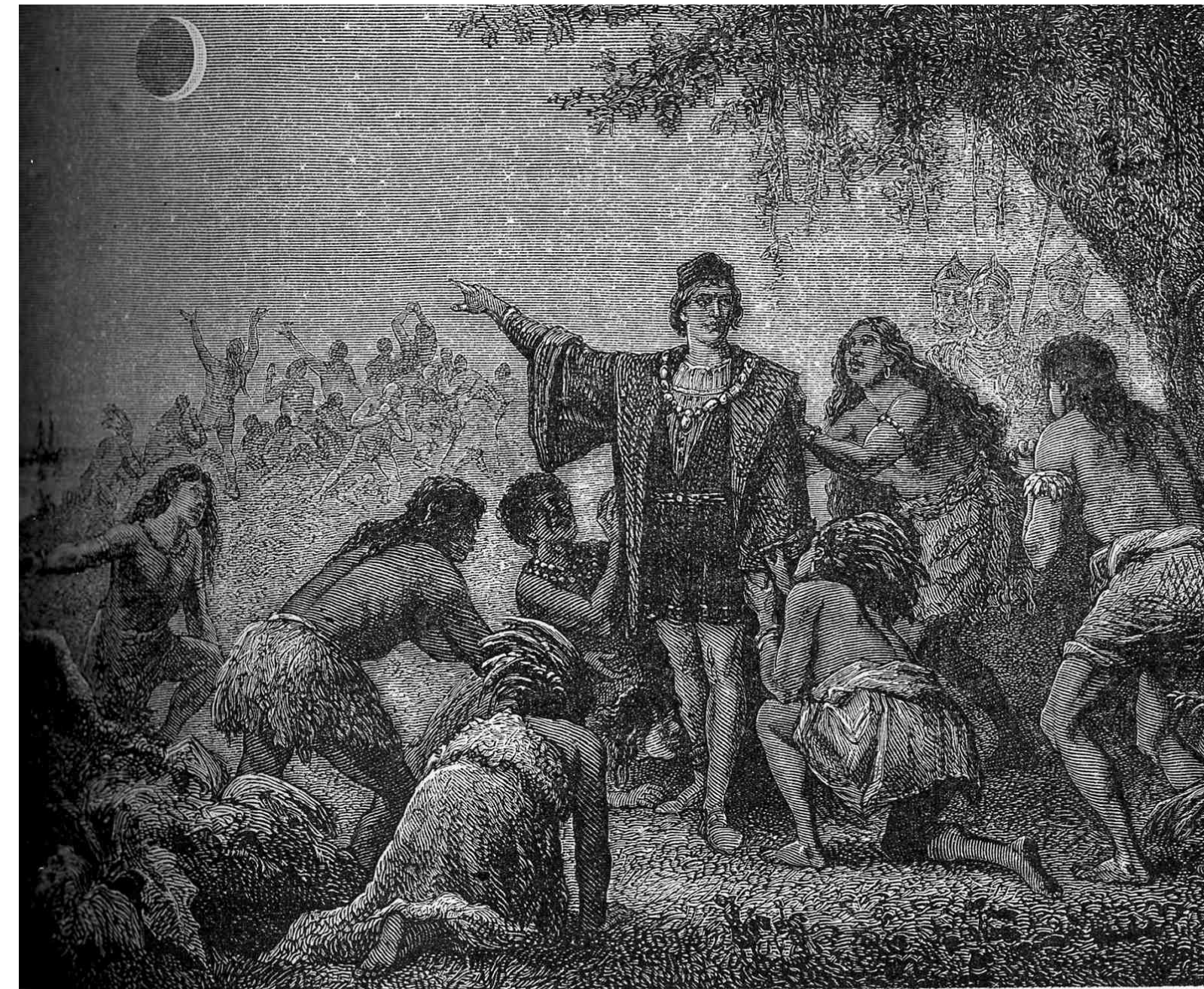


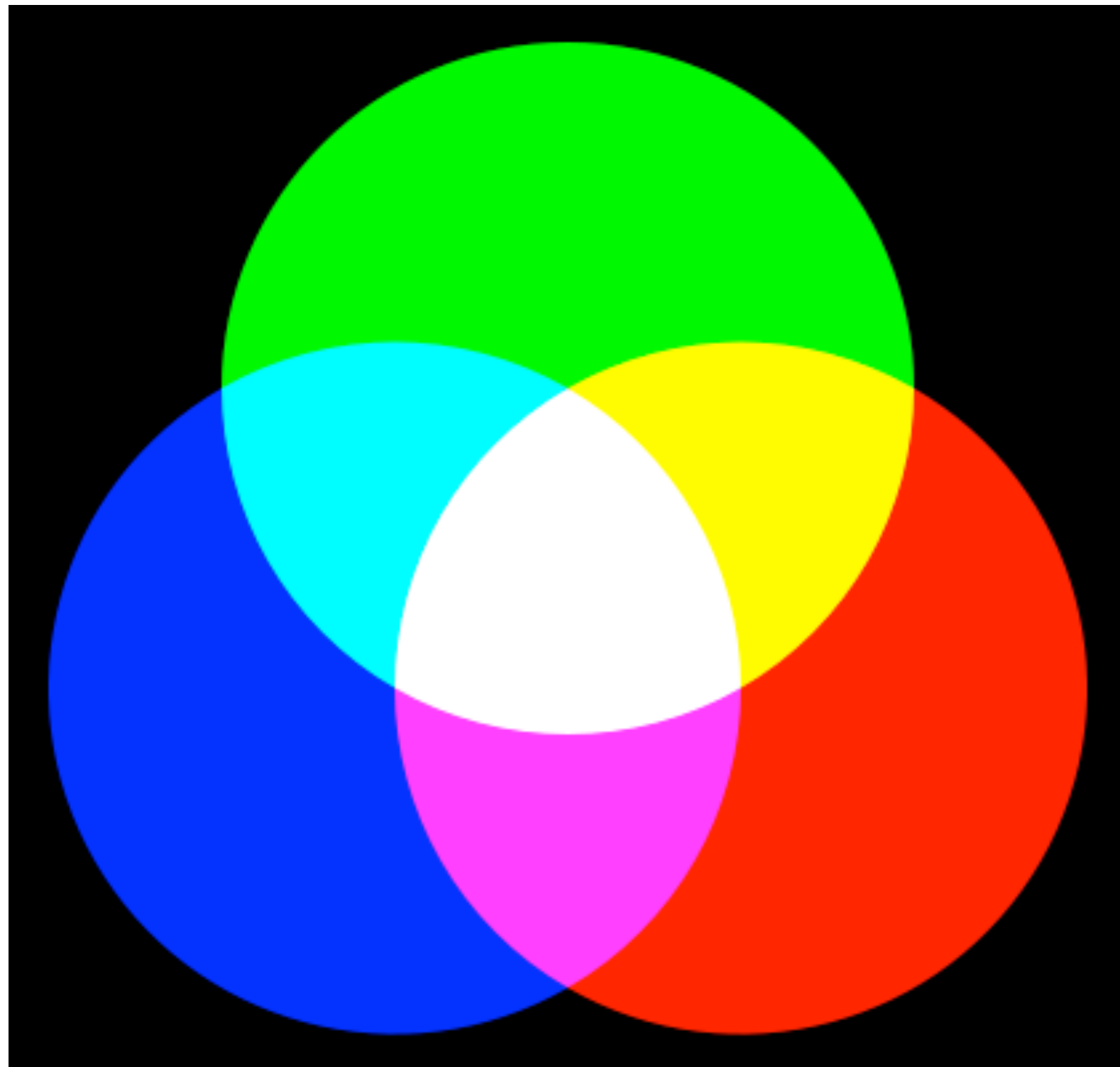
Fig. 86. — L'éclipse de lune de Christophe Colomb.

http://en.wikipedia.org/wiki/March_1504_lunar_eclipse

色の正体は何か

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



$$R + G = \square$$

$$G + B = \square$$

$$R + B = \square$$

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

光の混色は「加法混色」
全部加えると白

$$W = R + \square$$

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

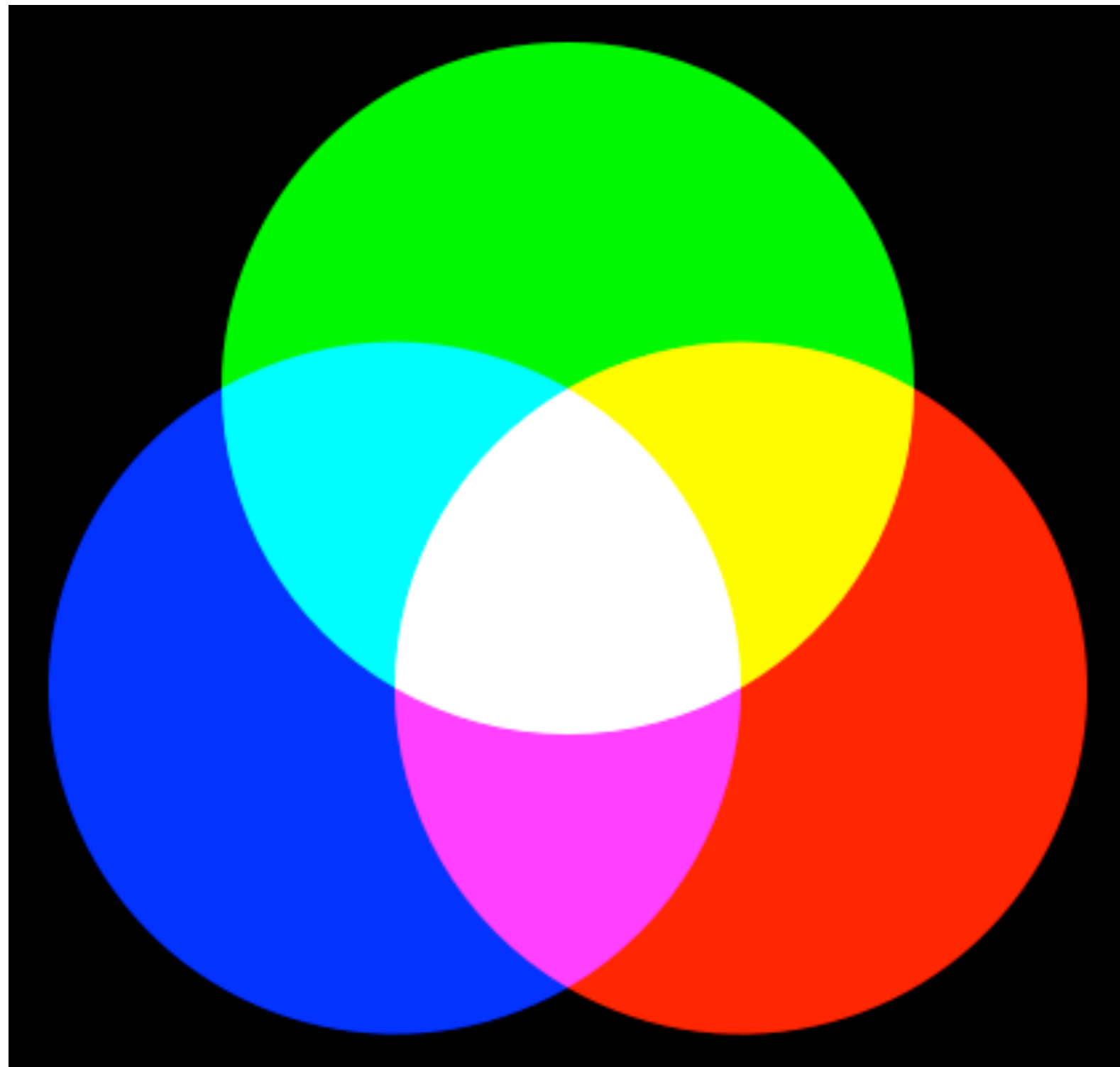
$$W = G + \square$$

デジタルは青の表現がムズイ！（青ライトは白く見える）
緑は黄と青、青は色作りできない…？

色の正体は何か

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 =

青緑の絵の具は補色のRを吸収する物質

赤紫の絵の具は補色のGを吸収する物質

黄色の絵の具は補色のBを吸収する物質

絵の具の混色は「減法混色」
全部加えると、灰色(無彩色)

絵具をどれだけ混ぜても黒にならずにどっぴり色になるのはなぜ。
↑量は計っているのに、

色の正体は何か

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

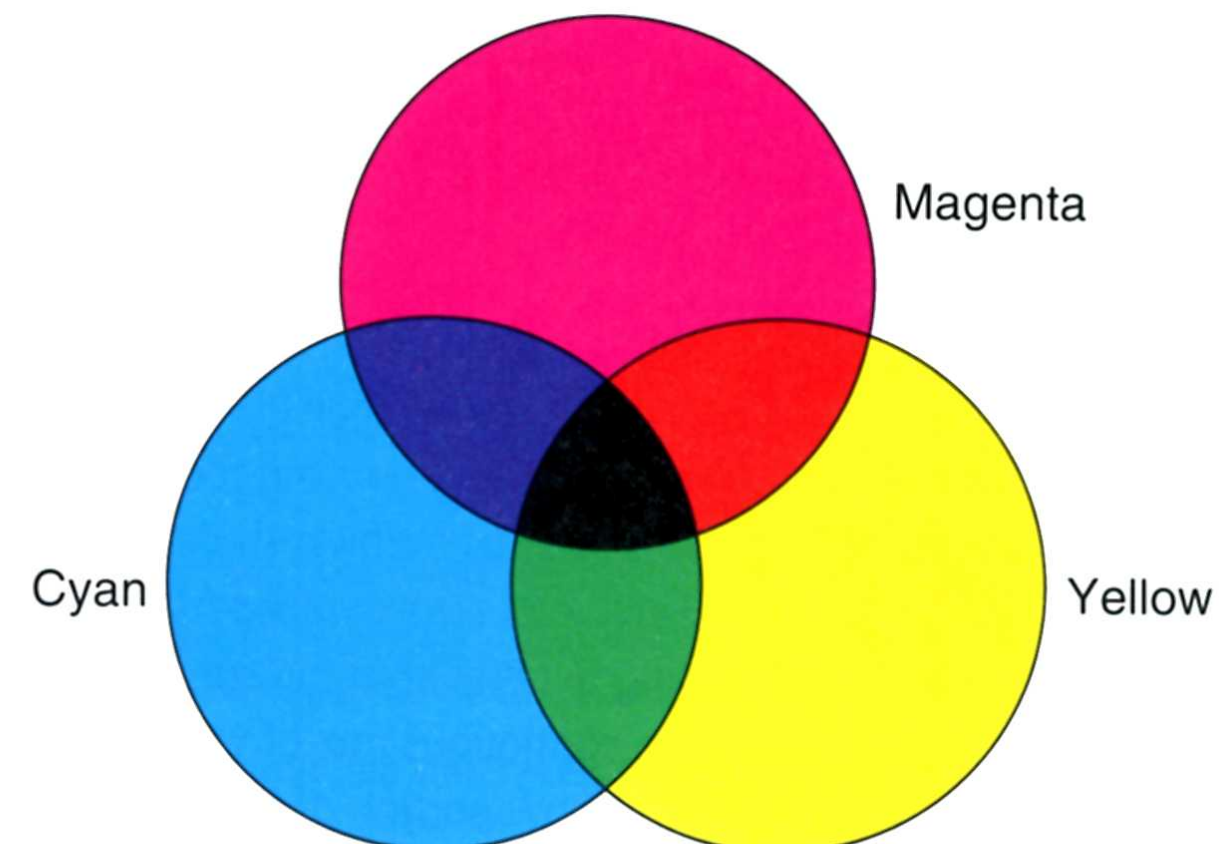


figure 16.11 Subtractive color mixing is demonstrated by overlaying yellow, magenta, and cyan pigments used in color printing.

C = **R**の補色

M = **G**の補色

Y = **B**の補色

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

Mのセロファンは, 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.

色の正体は何か

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。

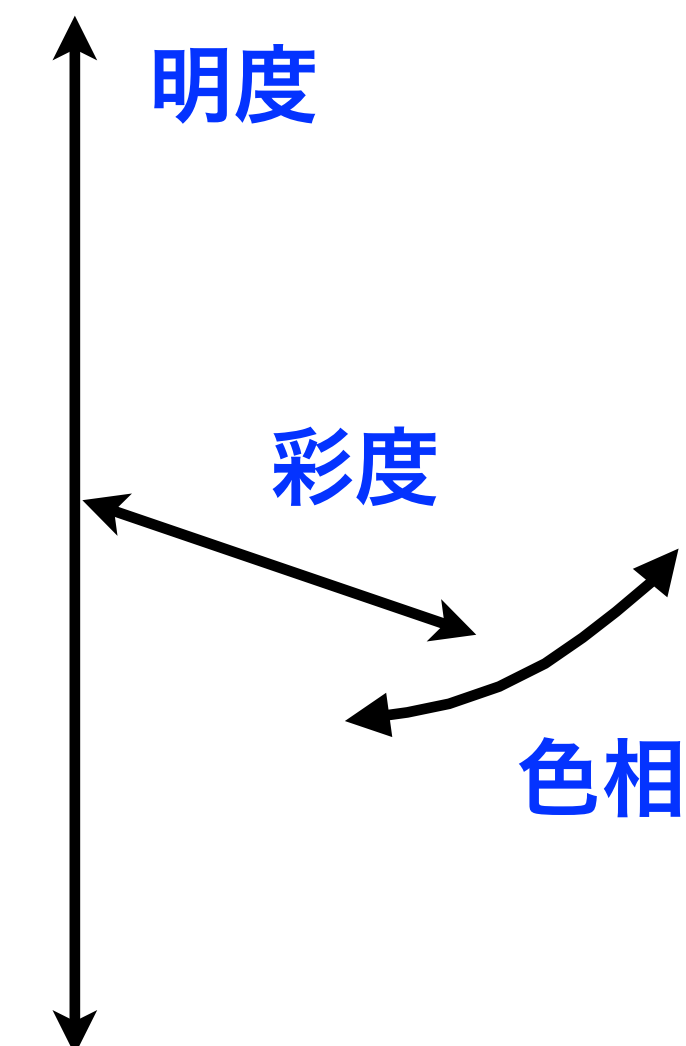
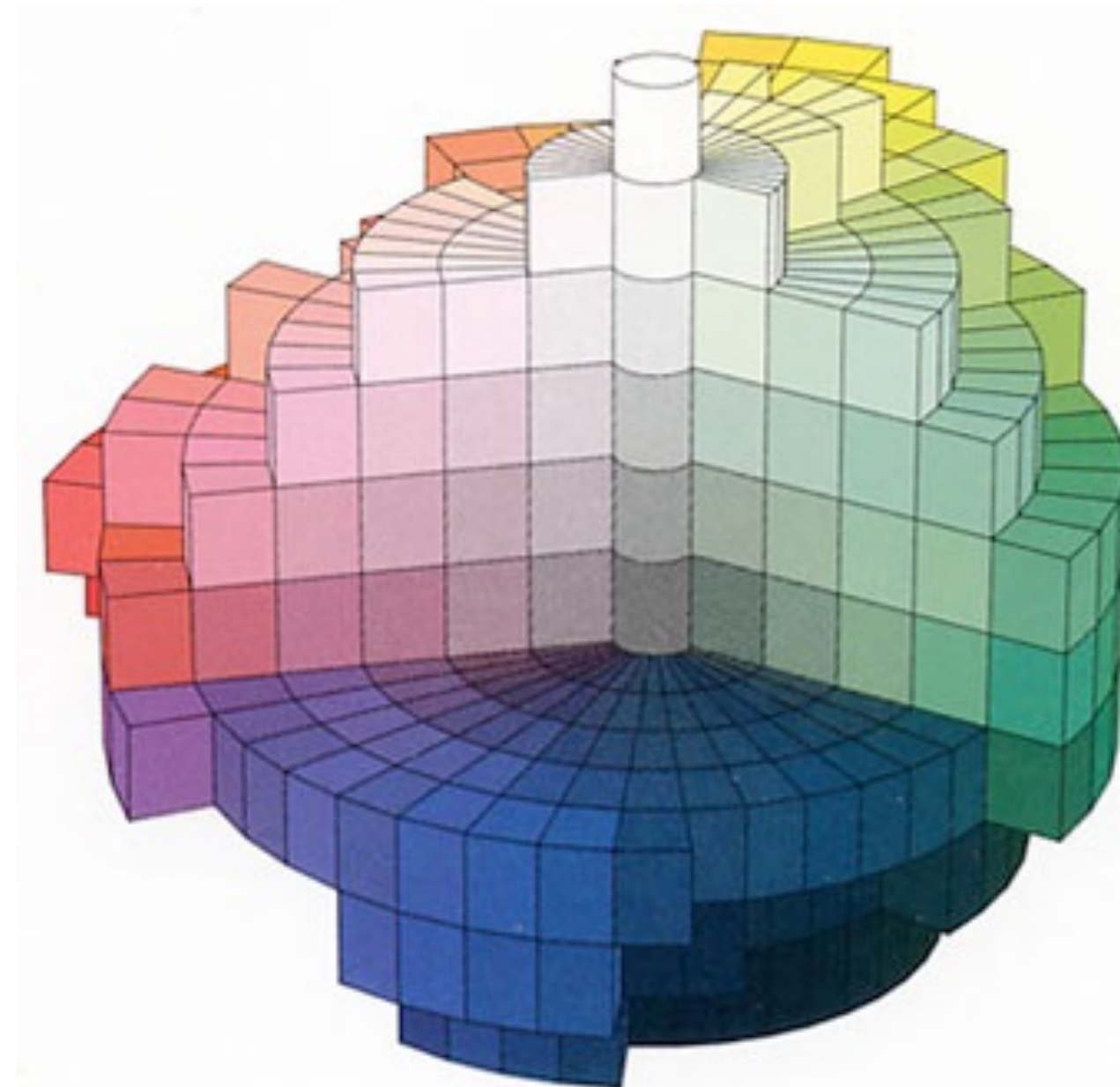
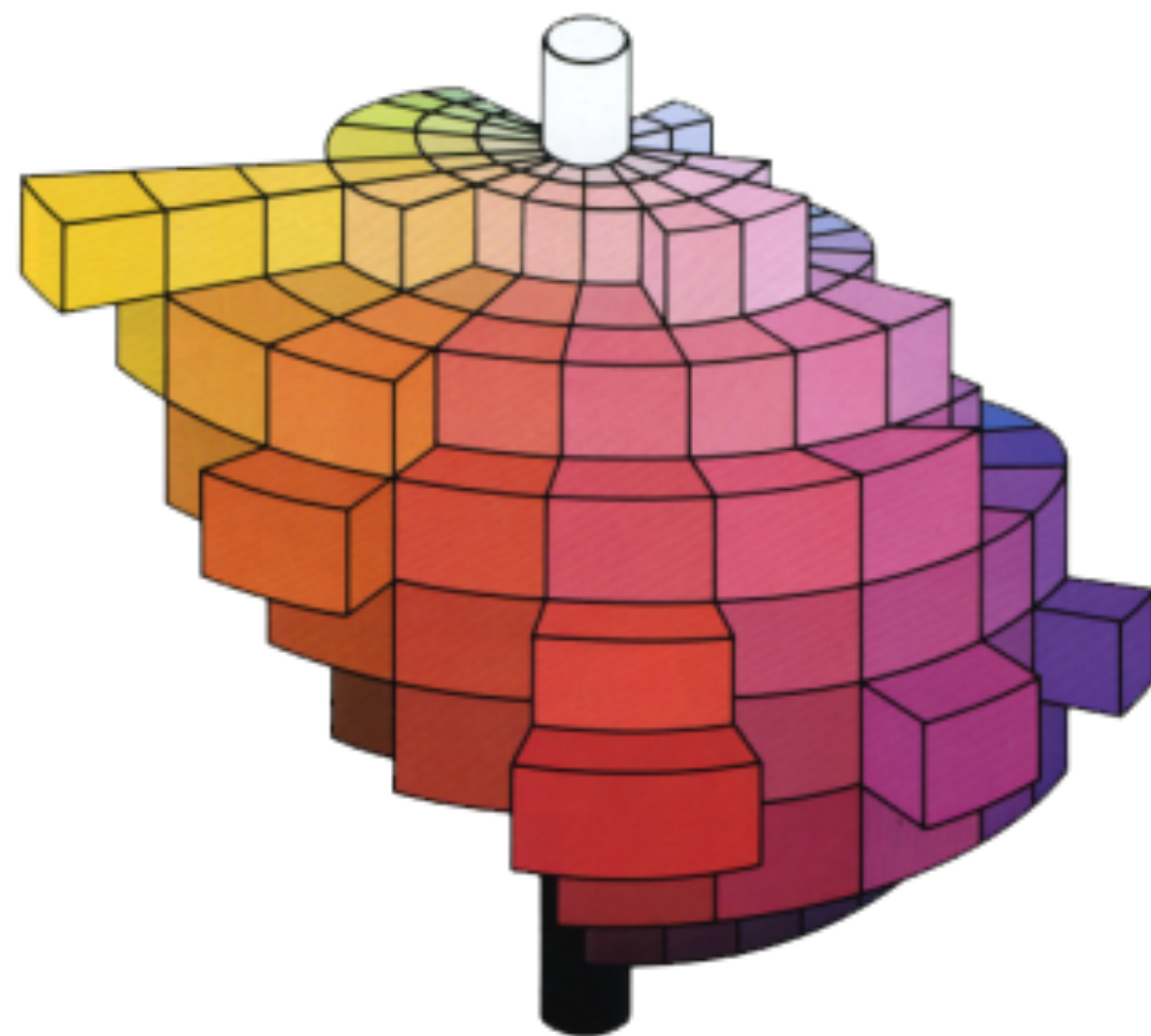
- 色相（色, Hue）.



- 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.



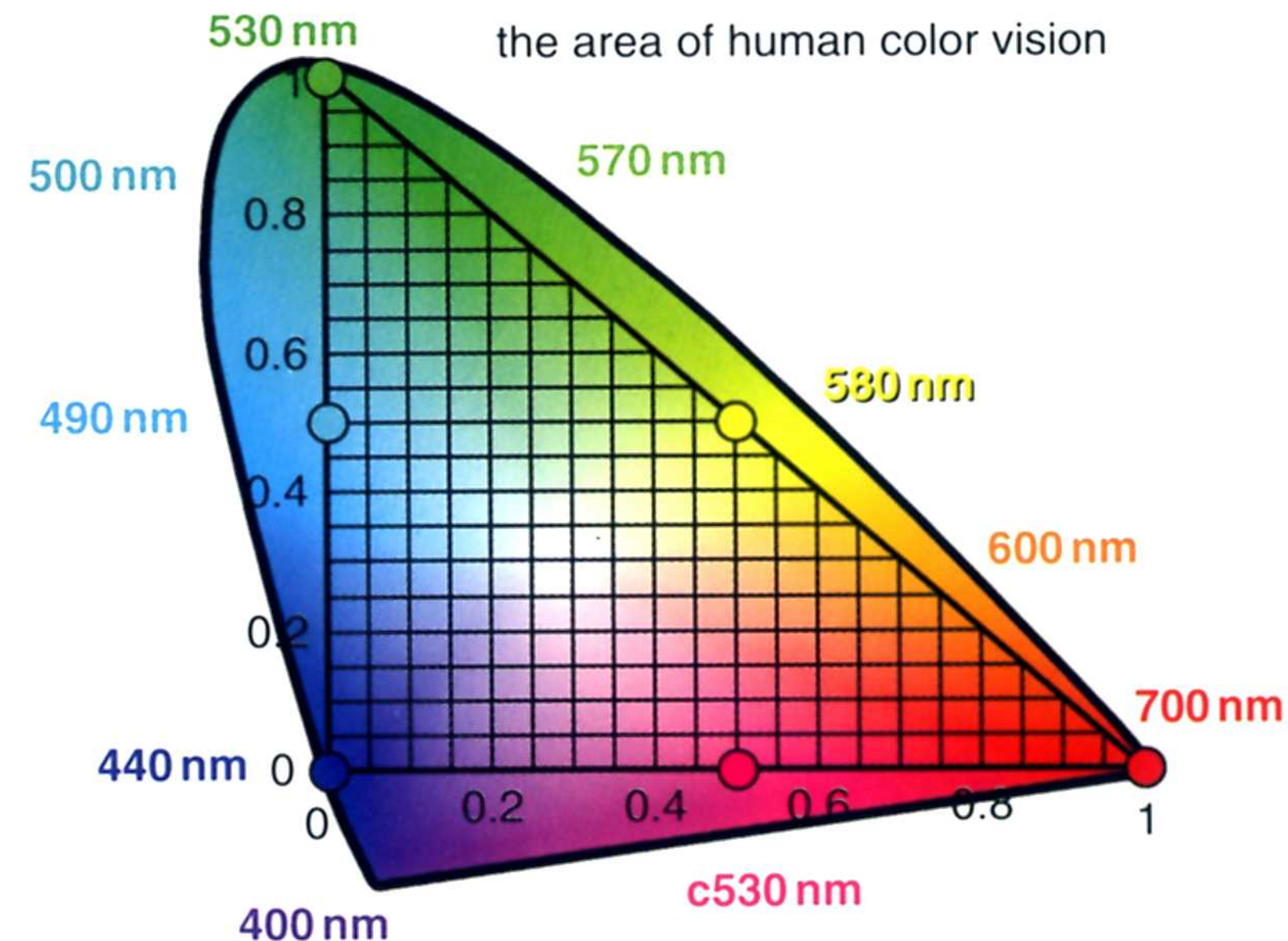
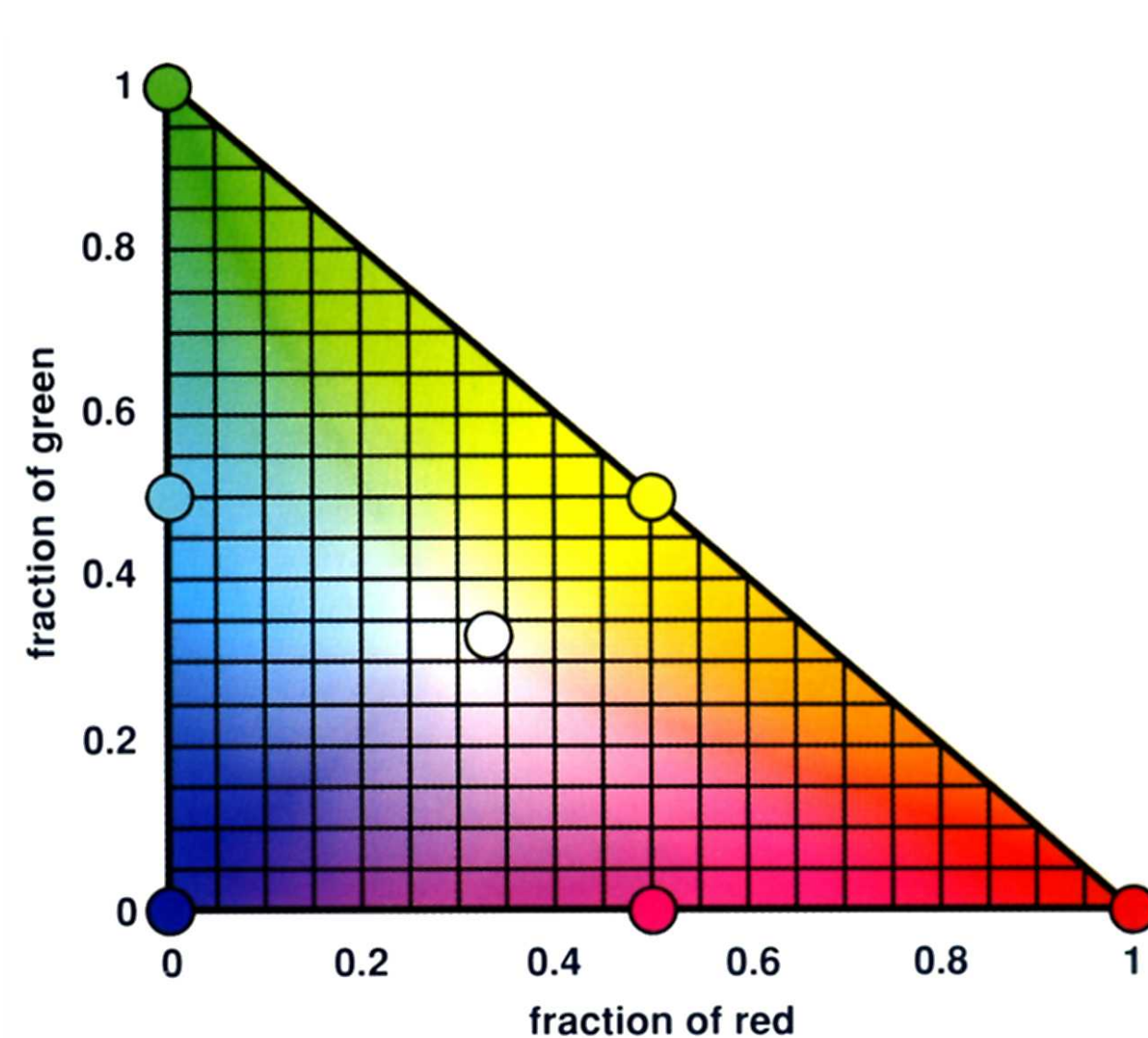
- 彩度（鮮やかさ, Chroma）. 色彩に混じる白や灰色の成分.



RGB表色

原色を R (赤、700nm), G (緑、546.1nm), B (青、435.8nm) とする表色系が、パソコンにて最も多く用いられている。1色ごと 0~255 階調で、16777216色になる。なお、RGB 表示では知覚できる色を完全に合成できないことも知られている。

(R, G, B)	16進数表示	色	(R, G, B)	16進数表示	色	(R, G, B)	16進数表示	色
(255,0,0)	#ff0000	赤 ■	(255,255,0)	#ffff00	■	(126,126,0)	#7e7e00	■
(0,255,0)	#00ff00	緑 ■	(255,0,255)	#ff00ff	■	(126,0,126)	#7e007e	■
(0,0,255)	#0000ff	青 ■	(0,255,255)	#00ffff	■	(0,126,126)	#007e7e	■
(0,0,0)	#000000	黒 ■	(255,255,255)	#ffffff		(126,126,126)	#7e7e7e	■



RGB表色

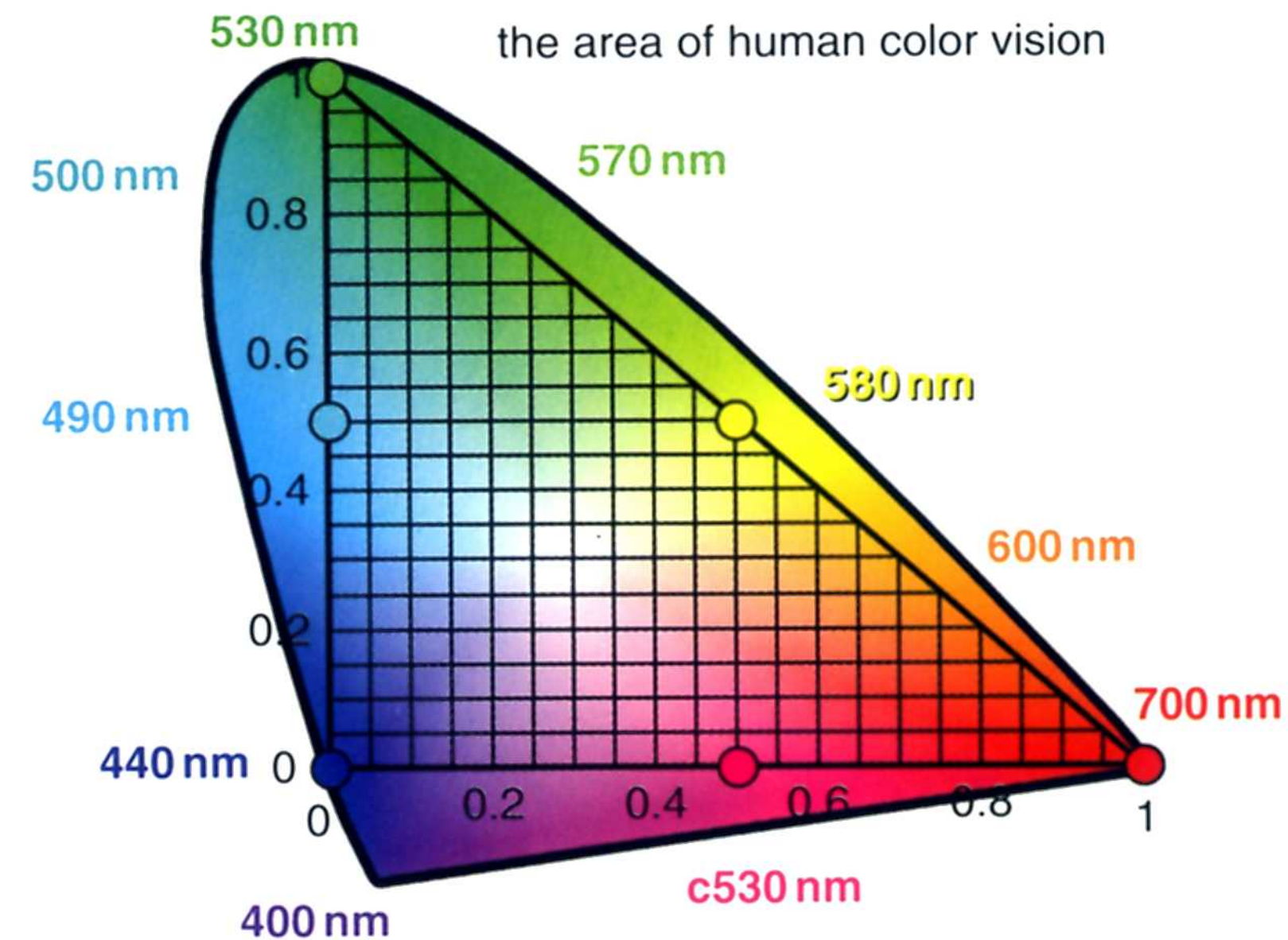
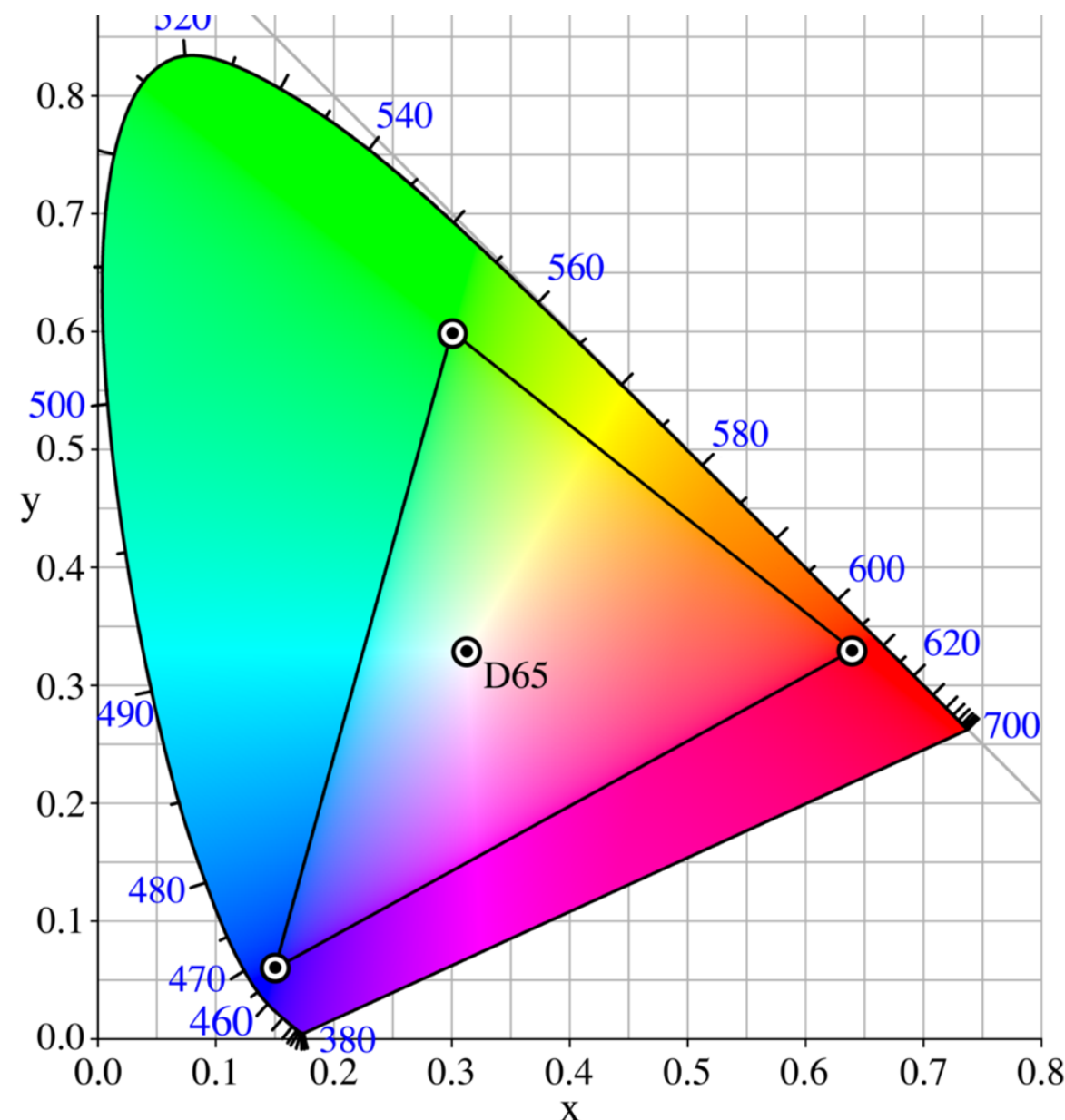
【補足】すべての色を数学的に表現する方法がある。
CIE（国際照明委員会）が定めた XYZ 表色は、RGB 表示系の係数 (R, G, B) から計算される

$$\begin{aligned} X &= 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y &= 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B \\ Z &= + 0.0565G + 5.5943B \end{aligned}$$

で得られる 3 刺激値 (X, Y, Z) を使う。Y は輝度を表す係数であり、X, Z は明るさのない架空の色彩に対応する係数である。 (X, Y, Z) から、

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

とすれば、 $x+y+z=1$ となる係数が得られ、すべての色は、 $C = xX + yY + zZ$ として表現することができる。図 44 左のヨットの帆のように塗られた部分は、 (x, y) 表示された断面である。



本日のミニッツペーパー記入項目

(今日の講義から)

〔10-1〕音のドップラー効果とは、音源と観測者が相対的に近づくと、(a)_____が大きくなる現象をいう。光も波なのでドップラー効果を起こす。光源と観測者が相対的に遠ざかると、光の(b)_____が大きくなり、本来の色より(c)_____っぽく変化する。これを(d)_____偏移という。

(次回の内容から)

〔10-2〕虹の色は何色あるか、と色の数をたずねられた。物理的にはどう答えるのが正しいか。

〔10-3〕あなたが考える赤と、隣人が考える赤は、同じ赤い色なのだろうか。
これを検証する手段はあるのだろうか。

〔10-4〕通信欄。 (感想・コメント・講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば)

出席票を兼ねます。