

生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

第10回 2025/11/26(水)

第5章 波（音，光）

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai

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

真貝の武庫川講義ページtop



「科学と疑似科学」

「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。

相関と因果の違いが分かって面白かった。
疑似科学の話も身近で、知らないうちに信じてることがあるかもと思った。これから少し気をつけたい。

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、**2025年12月28日（日） 22:59**
- 提出ファイルの名前は、「P 学科 XXXXXXXX ○○○○」の形式とすること。（P は Physics の頭文字でレポート区別するためのもの、学科は大日/短生など2文字で、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。一括ダウンロードして読むため、このファイル名をお願いします。
- 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、温度はどうなるか。

(a) 上がる 13名

(b) 下がる 4名

(c) 変わらない 9名

冷蔵庫から冷気が出ているから

1夏の日に冷蔵庫を頻繁に開けると冷蔵庫の温度が上がるからやめろと怒られるため、庫内の温度に変化があるから開け、ほらして室内温度にも何かしら変化があるのではと考えたから。

フットヒルが「混ざっていい工に、
乱雑で「増える方向に進んでいくから冷たい
空気が「だんだん混ざっていき、下がると思う。

変わらないと思う。
冷蔵庫の冷気は冷たいがエアコンなどのように風がないため空気が循環せず温度は上が
下がらないと思う。

部屋に対して冷蔵庫が小さすぎて温度を変えるほどの
影響を与られないと思う。開ければなすだ(冷)自体の
温度も下がるので変わらないと思う!

(9-1) 変わらない。冷蔵庫の大きいと部屋から入る大工の
温度を変えることができないと思う。

冷たい空気を部屋に流しても、冷蔵庫の中の環境とは異なるから

風がなければ冷気が回らない
冷蔵庫本体が熱いから

冷蔵庫自体熱くなってつらまての

冷蔵庫を開けると、冷蔵庫の中の温度が上がる。→ 冷蔵庫の温度を下げようとする
→ 電気を消費する → 消費エネルギーが上がる → 温度が上がる。→ 相殺される。
(消費エネルギーの方が高いと、温度は上がるかも)
(a)

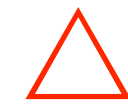
広いから

冷蔵庫の大きさでは、部屋の温度は
変わらないと思う。

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 13名



冷蔵庫からの熱で意味がなくなる。



冷蔵庫は室内の空気を冷やすが、その分背面から熱が出ているから。



1] (a) 上がる。冷やした熱量 < 排熱量。氏名
冷蔵庫は、庫内の熱を、外へ出す仕組みである。閉め切った部屋で、ドアを開け放し、部屋は冷えず、暖まるため。また、冷やした熱量を、稼働に伴う熱量が上回るため。
【エアコンも、熱を外に排出する。(室外機によるもの) [9-1] は エアコンの室外機から出る熱を、部屋の中に入れるようなもの。そりゃあ、上がるわ。】



冷蔵庫は、部屋の熱を減らすより、動くことで発生する熱の方が多く部屋に出るから。



冷蔵庫は中を冷やすために背面から熱を出しており、開け、はなしにするとその熱が部屋に広がるため。



冷蔵庫は中を冷やすために外側から熱を出すので、ドアをあければなしにすると中には冷えるけどその可成り熱が外に出るから部屋の室温は上がる。



冷蔵庫を開け放すと、庫内の温度が下がり、冷そうに冷蔵庫が稼働し続け、稼働部分の熱を持ち、部屋に熱を放つことになるから。



冷蔵庫の温度は冷蔵庫の中の機械で作っているため、冷蔵庫内の温度は変わらない。
しかし、外気からエネルギーをもらう消費電力が上がるため、むしろ温度は上昇するのかもしれない。



冷蔵庫自体も熱を発生している、その熱は室温よりも高いから。



冷蔵庫は、閉めきった状態aと中に冷やさる状態b、開いている状態cの3つがある。部屋が冷えることはない。また、暑い中閉めきっているaで部屋は暑くなる。



冷蔵庫は中を冷やすために背面から熱を出している。冷える量よりも、廃熱 + モーターが動く分の熱の方が多くなるから、部屋の温度は上がる。



外に出る熱は必ず中を冷やす以上に大きい



部屋を閉めると、風通しがなくなり、冷蔵庫は冷たい風が部屋にたかるといふ。そのため、暑くなる。

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

13名

4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

前回のミニッツペーパーから

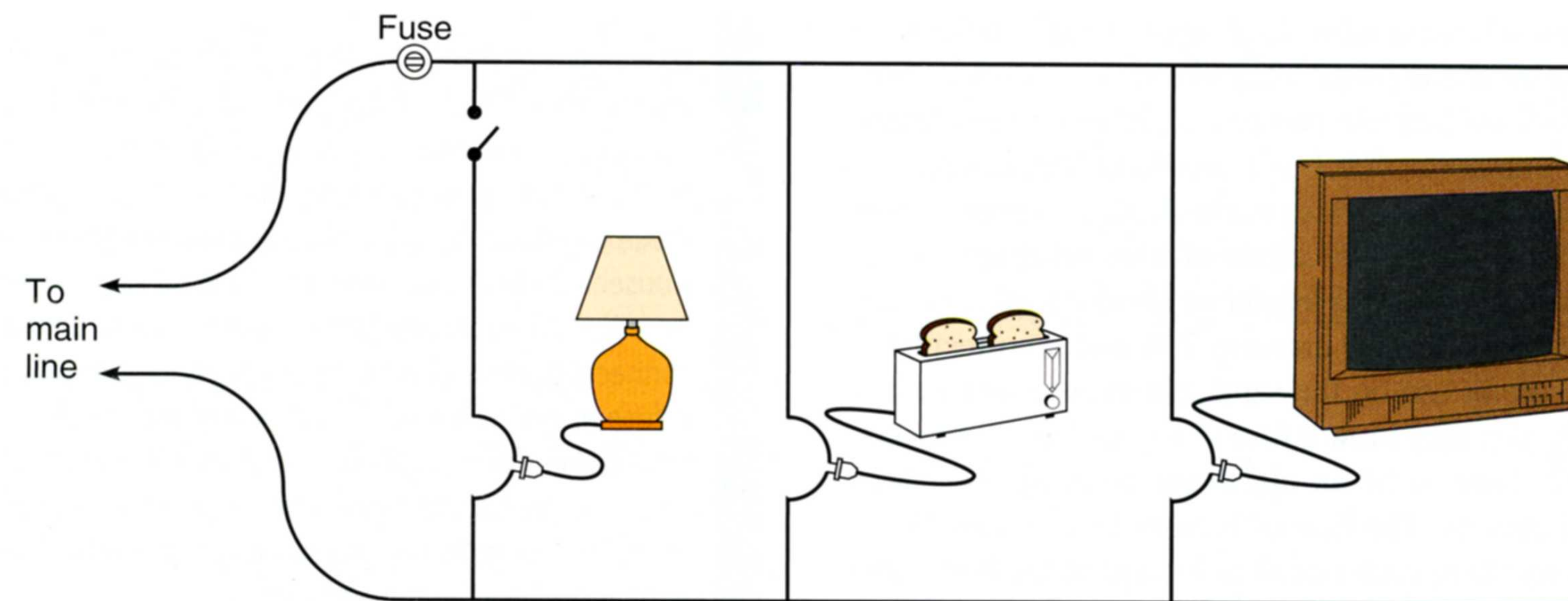
なぜ鍋の蓋がカタカタと跳ねるのか？



Charles の法則
お湯が沸くと鍋の蓋が
浮き上がる。

シャルルの法則

ブレーカーが落ちた方がいいは個人で簡単に修復できるのはせ
ブレーカーが落ちた原因が電力過剰の場合、配線は7にめいせら78へのハ



ブレーカー

電流がたくさん流れると危険防止のため、
大元で切断する装置

以前は、実際に切れてしまう電球(ヒューズ)だったが、
現在ではスイッチになっている

figure 13.19 A typical household circuit may have several appliances connected in parallel with one another. A fuse or circuit breaker is in series with one leg of the circuit.

「相関がある」と「因果関係がある」は異なる

「身長と体重には相関がある」

→ 身長が高いことが体重が重い原因 **ではない**

「消防士が多い火災現場ほど火事の規模が大きい」

→ 消防士が火災の原因である **ではない**

「アイスクリームの売れ行きが良い時期には、プールでの溺死事故の件数が多い」

→ アイスクリームが溺死の原因である **ではない**

単なる偶然

擬似相関

理由が1つと決めてかかるリスク

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。

そうですね

運動量が増える → 消費カロリーが増える。

摂取カロリーが多いと、体重は増加する。

食塩摂取量が多い地域は、高血圧患者が多い。
食塩過剰摂取は、高血圧の原因である。

睡眠時間が短いと、集中力が低下する。

Aバコを吸うと → 肺がん発症率が上がる

風が吹けば桶屋が儲かる

?

雨が降るとスーパーの客数が増える

?

?

?

例外もあるので違う

勉強する時間が長いほど、テストの点数が高い

勉強量と成績

テレビで、例えば「健康に良い」や「ダイエットにおすすめ」と紹介された食品などが、翌日売り切れになっている

相関も因果関係もある例。
運動量が増えるほど筋力が向上する。

?

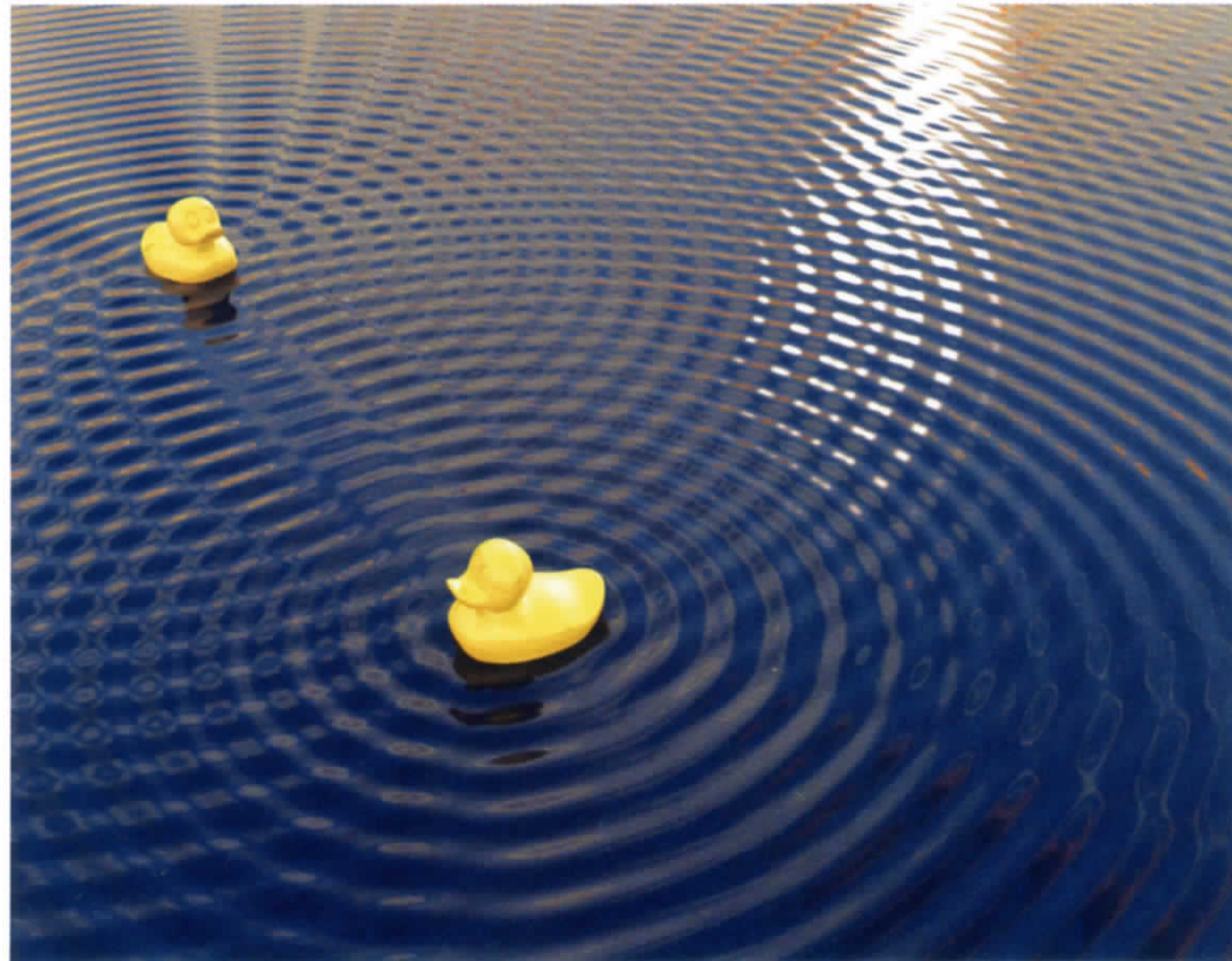
子どもの「身長」と「足の速さ」
身長が高いほど足が速い傾向があるが
足が速くはやくは身長が高いとはわけではない

涼しくなると、バラエティにカメラが増える。

機械をたくさん使ったことと 機械がホロホロなこと

気温が上がると
アイスの売上が
あがる。

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.

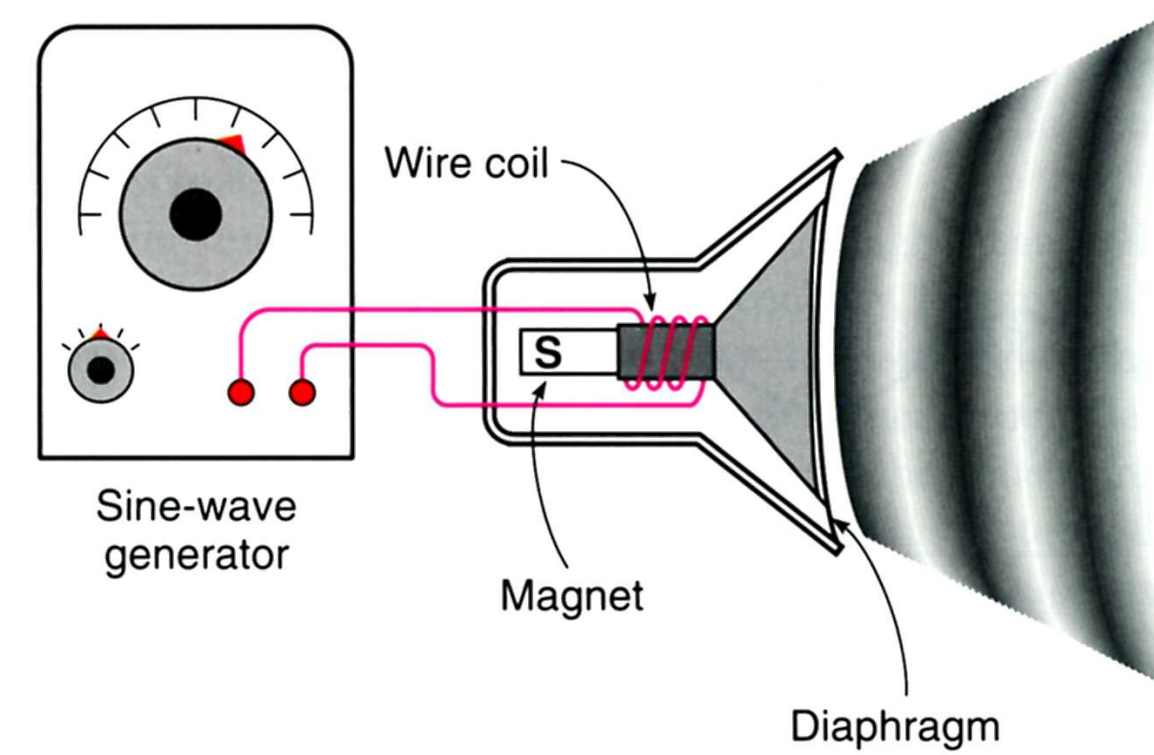


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.

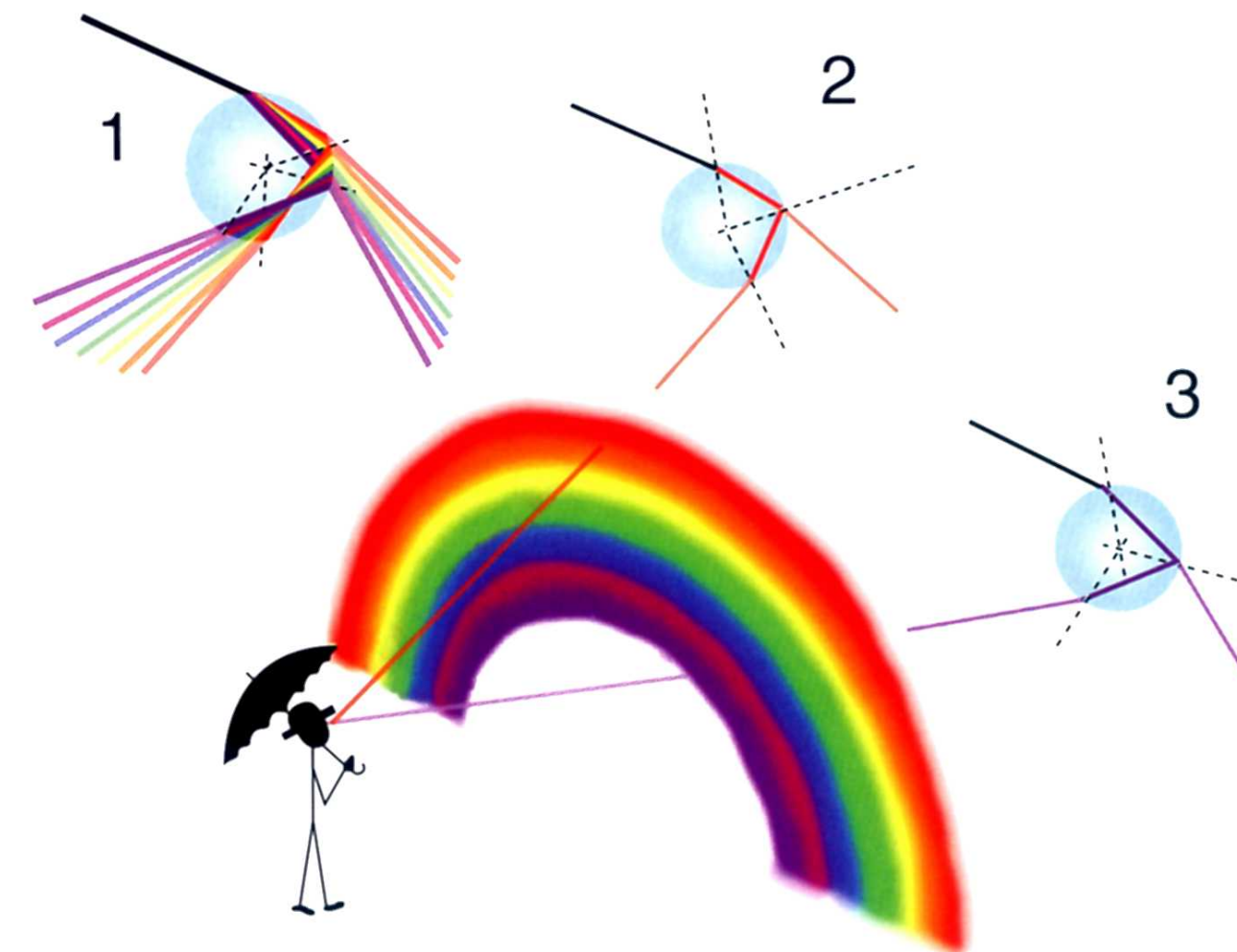


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

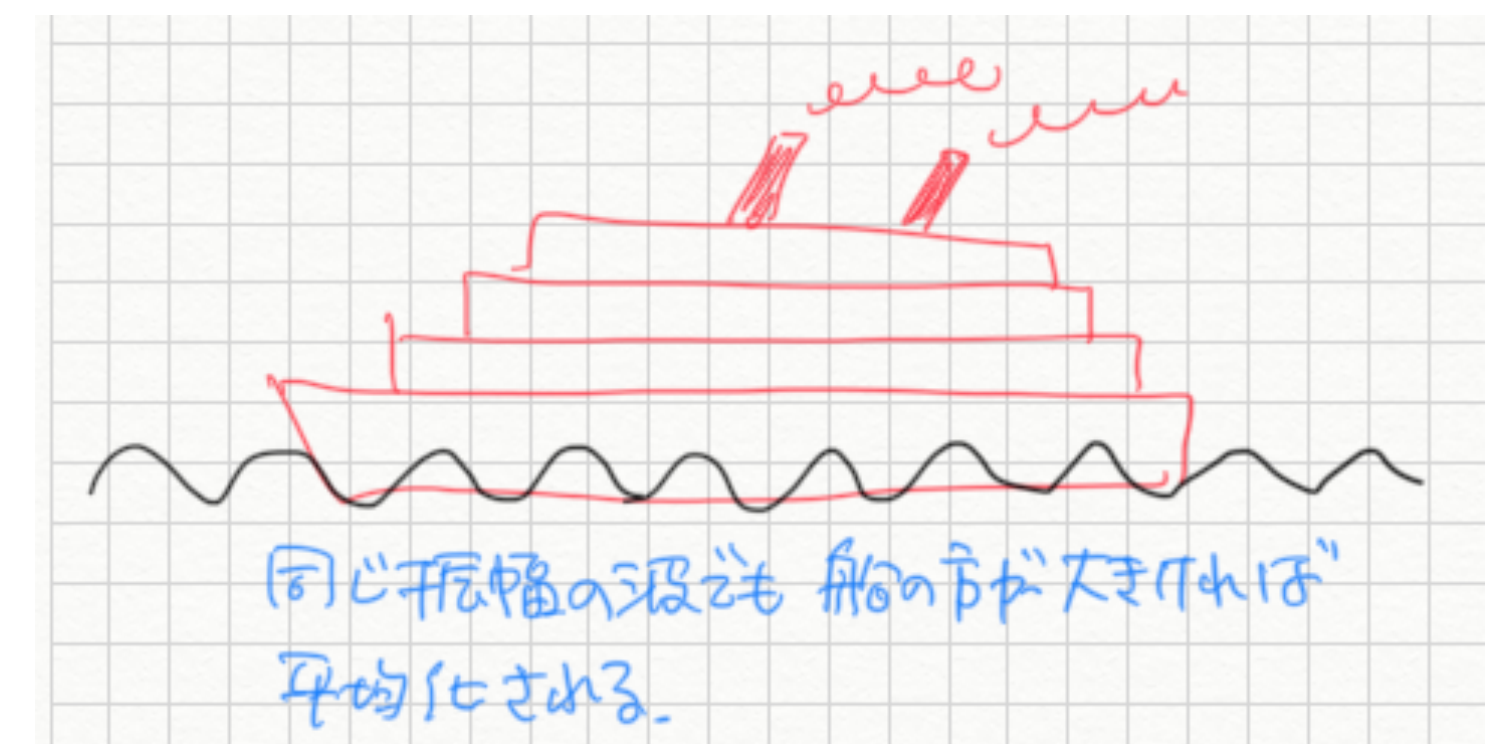
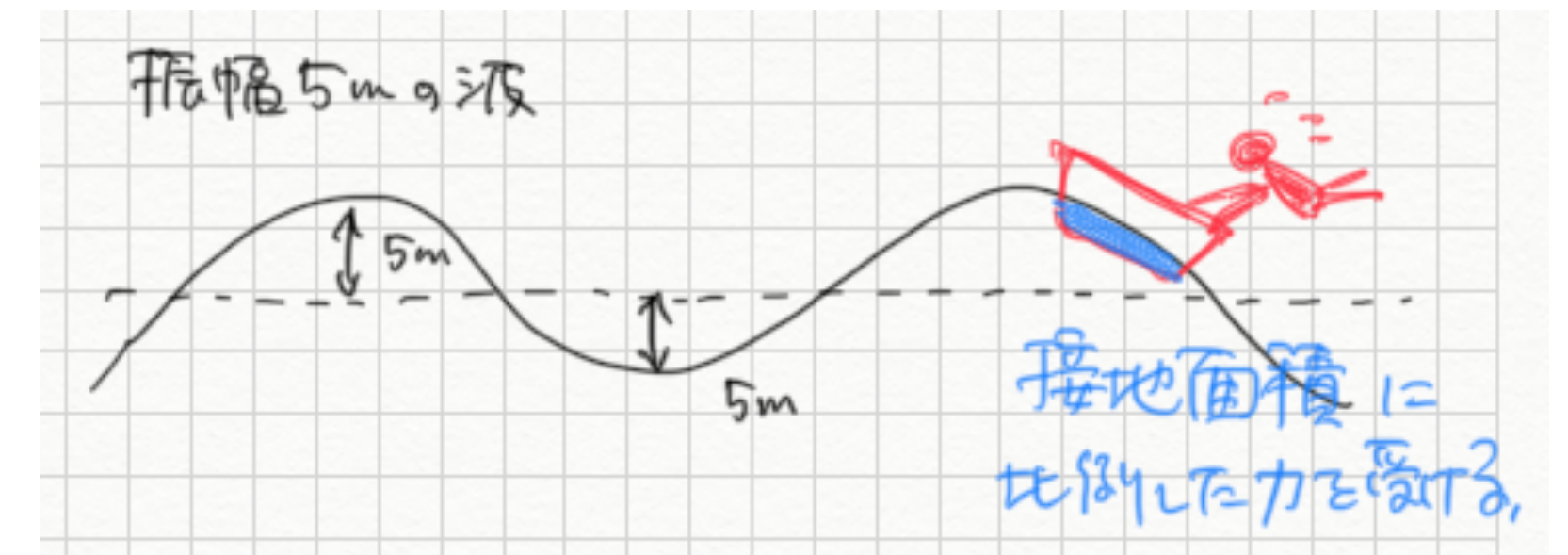
前回のミニッツペーパーから

高校物理で1つだけわかった波が 分かっていくようになった。

波の高さが2倍だとエネルギーは4倍. と言っていたが
波の高さが4倍だと エネルギーは8倍ですか. もっと多くなりますか.
こういうのは2乗3乗になるイメージなので 気になりました

エネルギーは, 振幅の2乗に比例します.
2倍なら $2^2=4$ 倍, 4倍なら $4^2=16$ 倍

波と接地面積が少なかったら海は渡れるから
270とか280の息々出ている船の船長取りの人は技術が
すごい人ってことなのかな.



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.

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

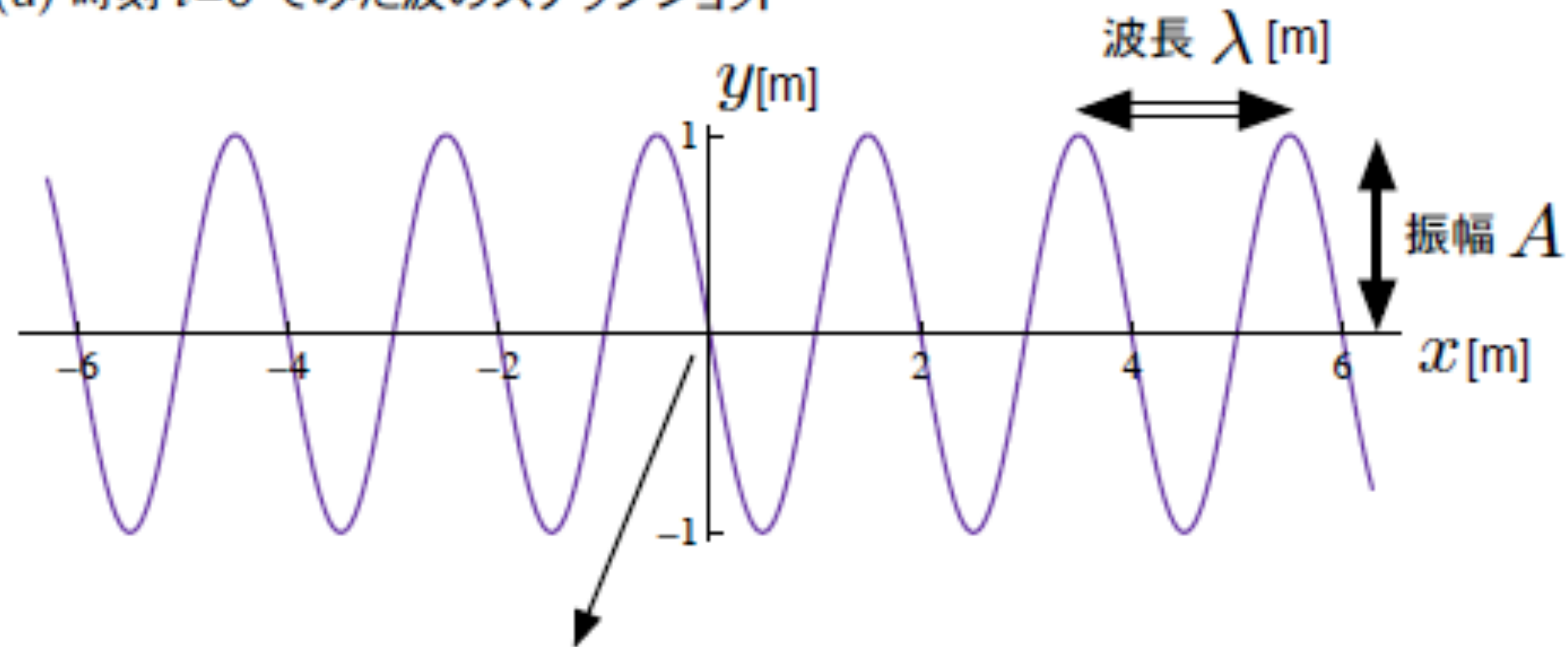
- 波の伝わる速さ v [m/s] を次のように決める.

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

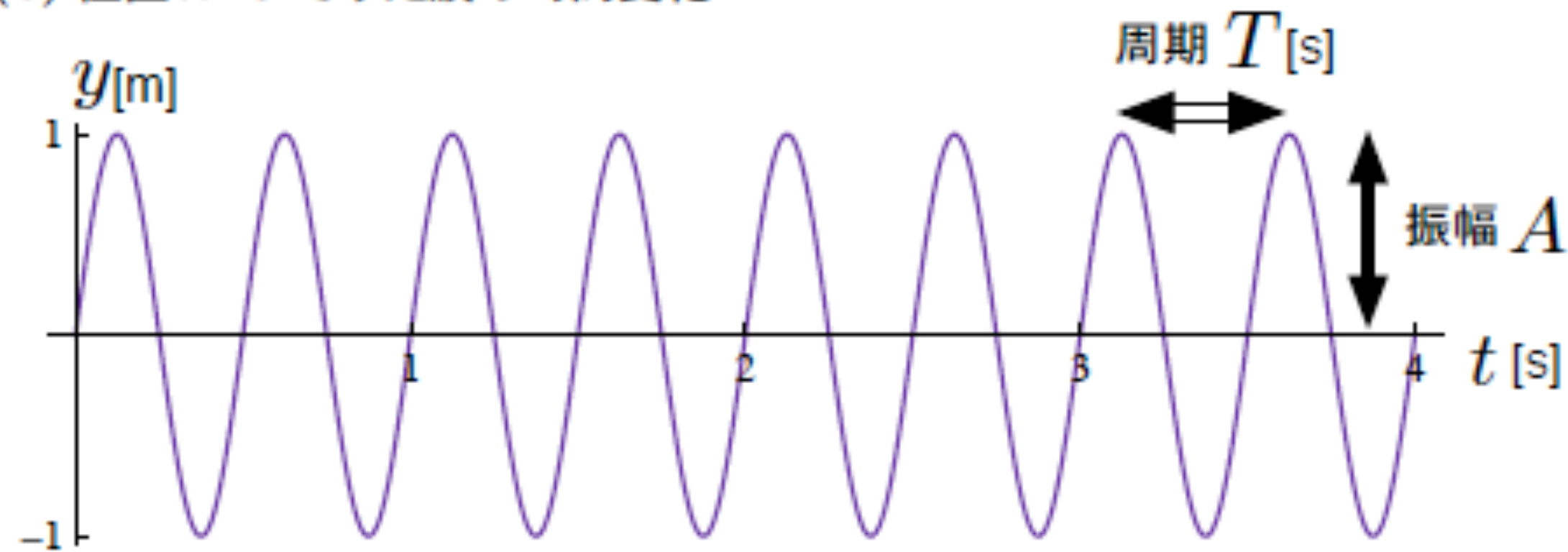


波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

(a) 時刻 $t=0$ でみた波のスナップショット

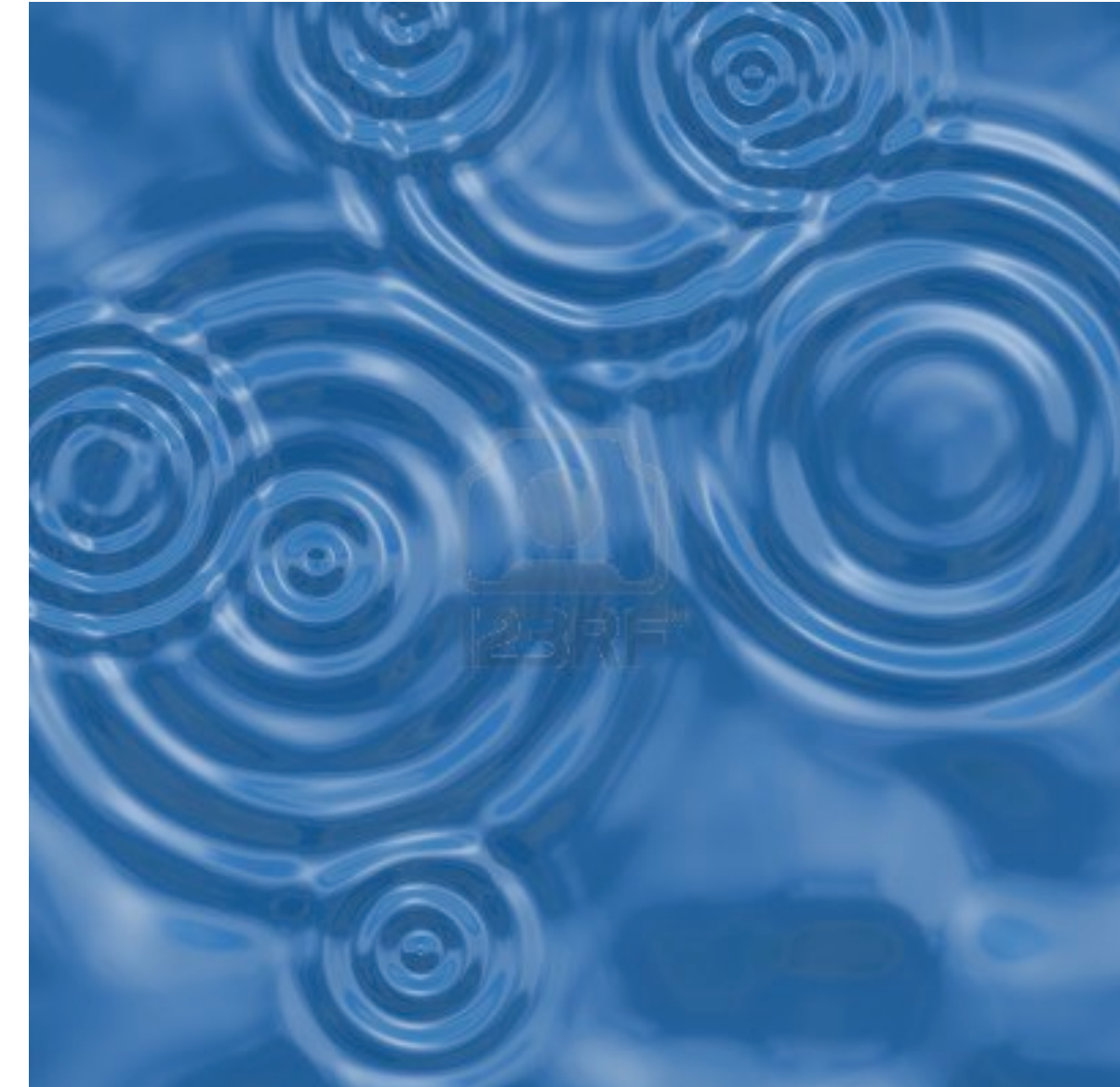
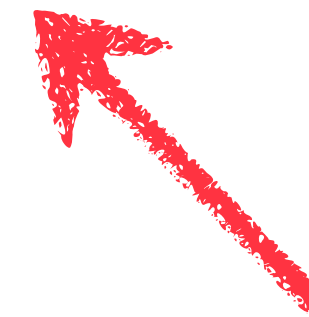


(b) 位置 $x=0$ でみた波の時間変化



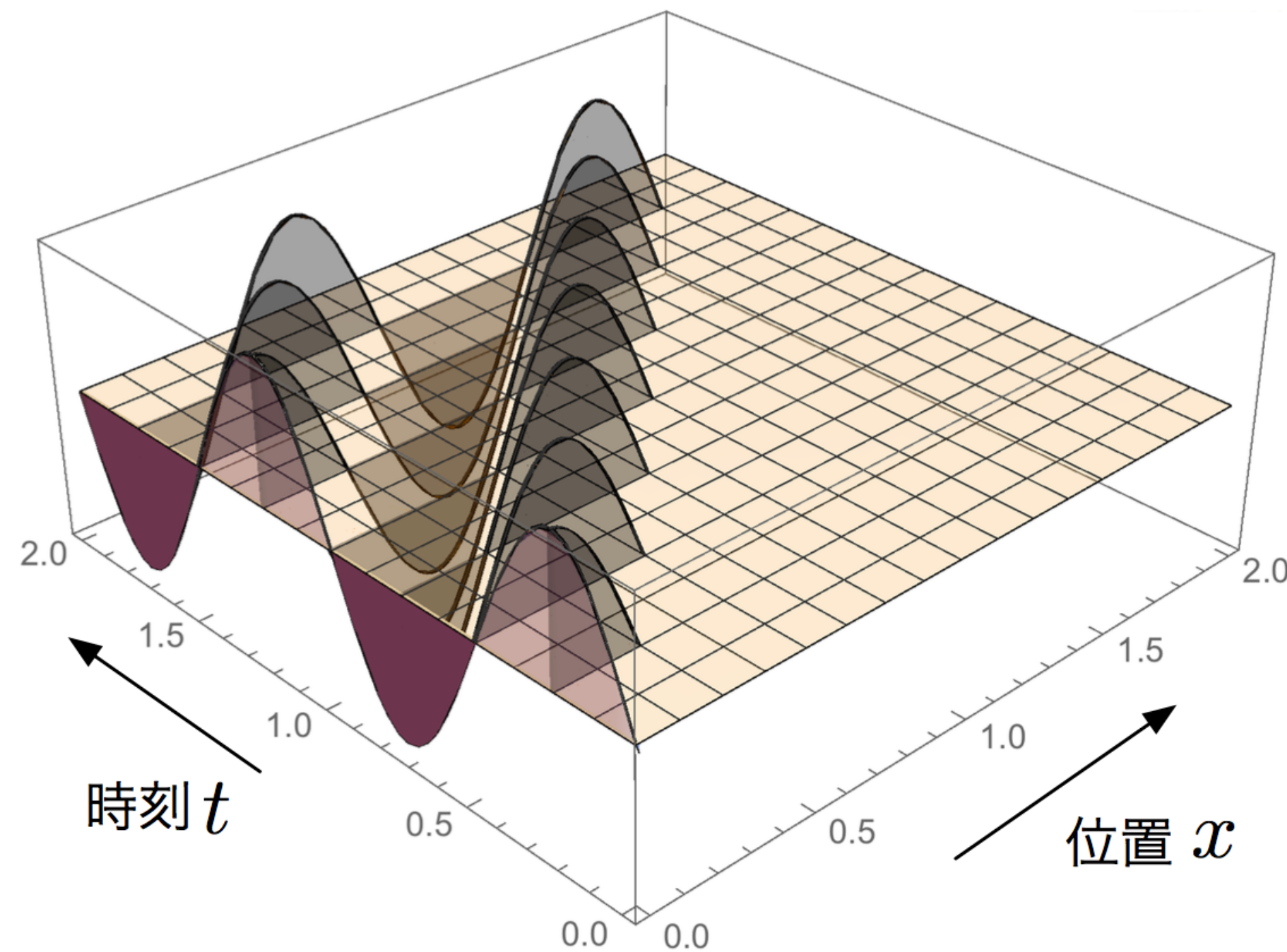
「写真を撮る」

「全体図を知る」

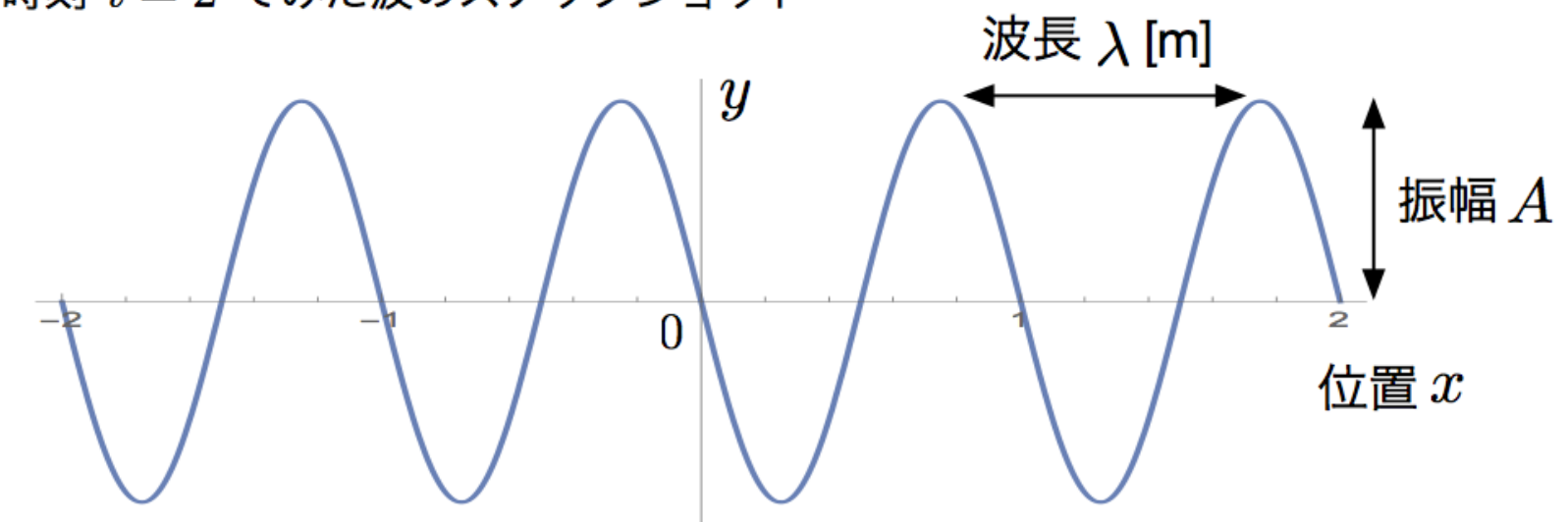


「1カ所での動きを見る」

波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ



(a) 時刻 $t = 2$ でみた波のスナップショット



(b) 位置 $x = 0$ でみた波の時間変化

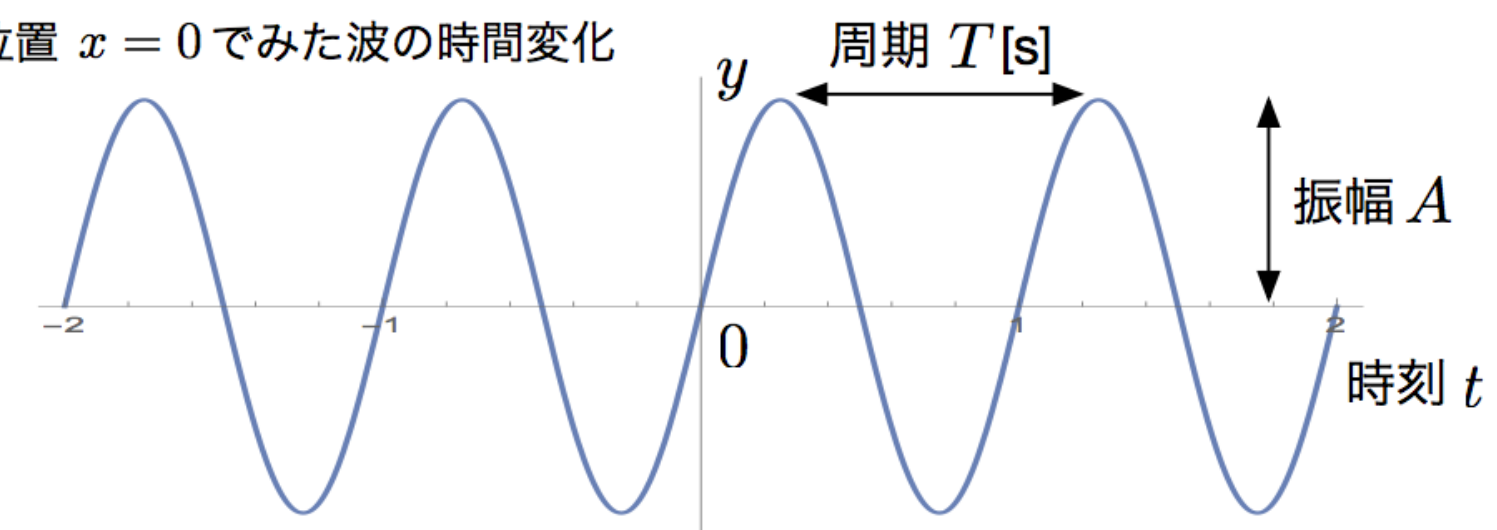


図 2: 正弦波の伝わる様子. ある時刻で写真を撮っても, 1ヶ所で止まって時間変化を観測しても, 周期的な変動になる. [左] 位置 $x = 0$ で単振動している波源から, x 軸の正の向きに正弦波の伝わる様子を $1/4$ 周期ごとの波形を並べて示した. [右] (a) x 方向に進む振幅 A , 波長 $\lambda = 1[\text{m}]$ の波を時刻 $t = 2$ でみた図. (b) は, この波を位置 $x = 0$ で観測したもの. 周期 $T = 1[\text{s}]$ であることがわかるので, この波の速さ v は, $v = \lambda/T = 1 [\text{m/s}]$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

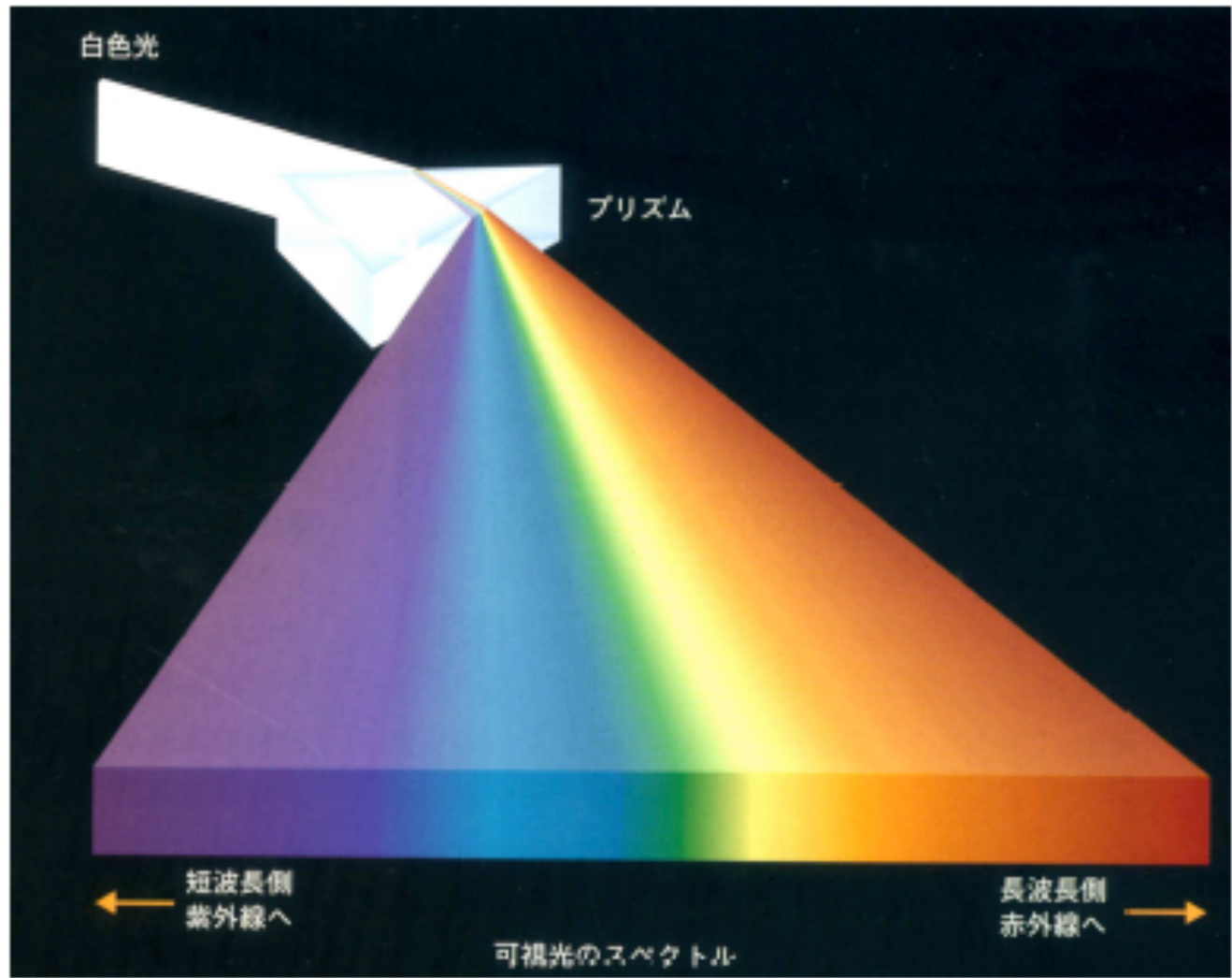
波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

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

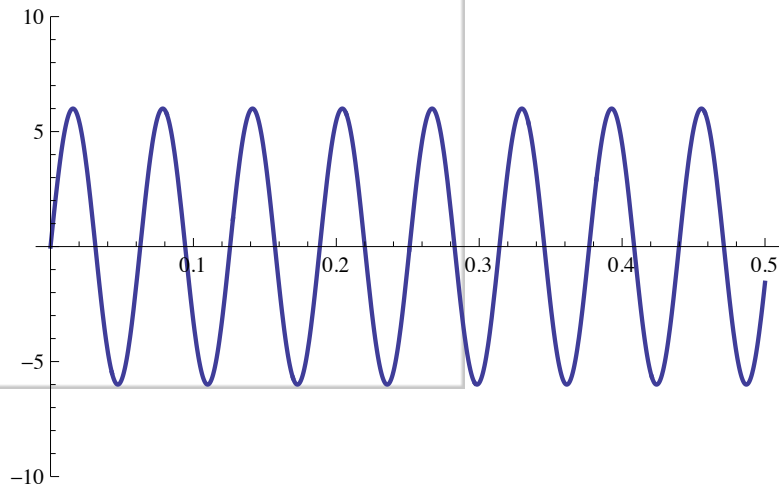
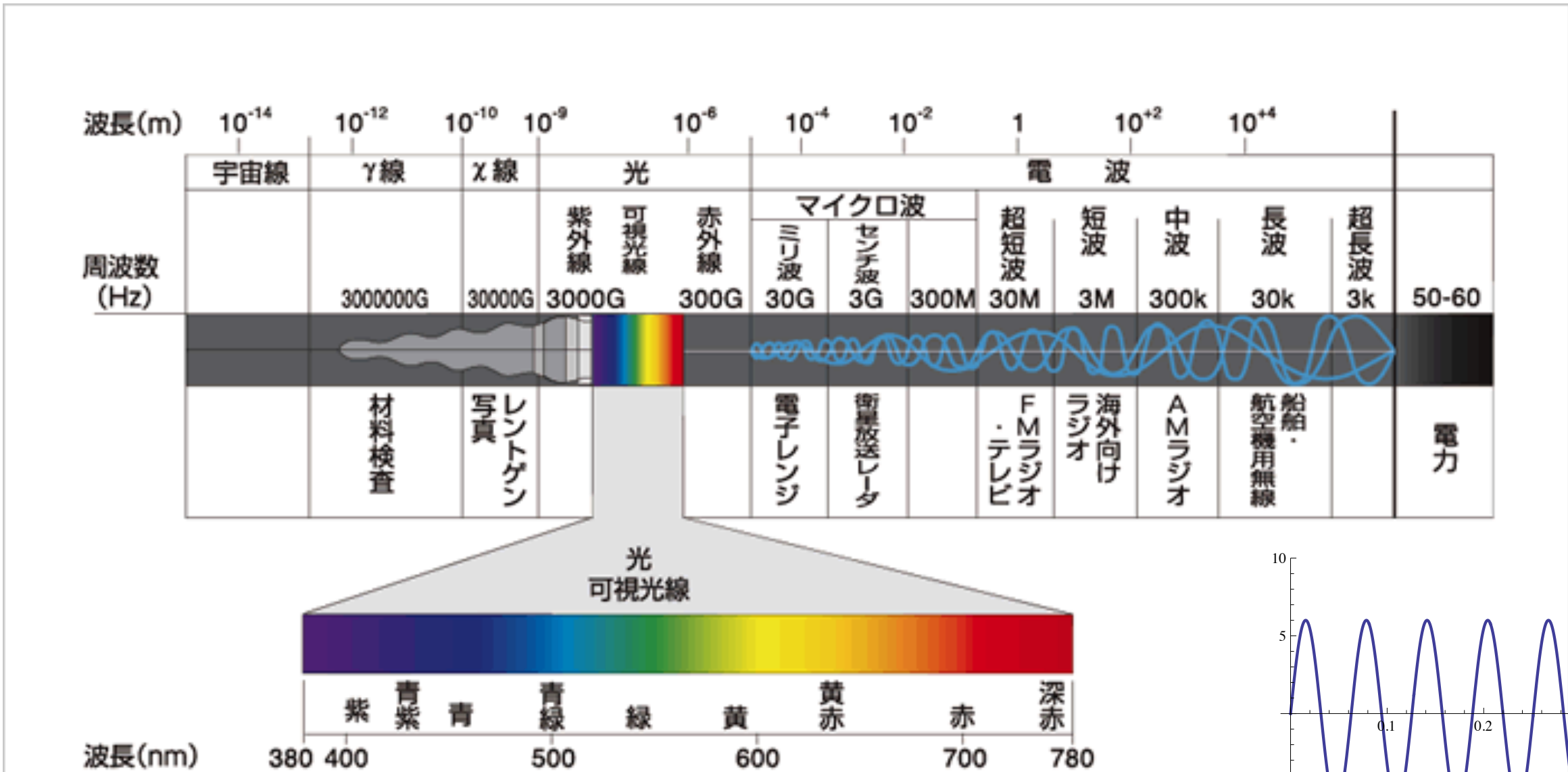
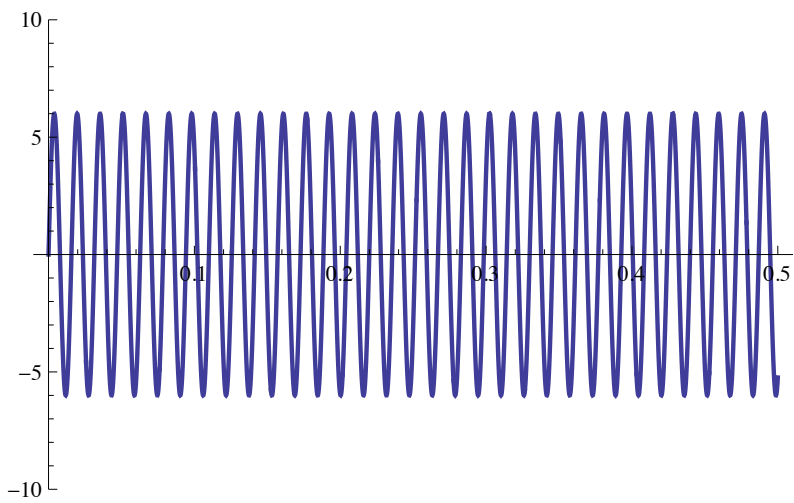
波	速度 v	振動数 f		波長 λ
光	$c = 299792458 \text{ m/s}$ 約30万 km/s	赤い光	(a) Hz	750 nm
		紫の光	(b) Hz	380 nm
電磁波	$c = 299792458 \text{ m/s}$ 約30万 km/s	電子レンジ	2450 MHz	(c) cm
		FM	80 MHz	(d) m
		AM	666 KHz	(e) m
音	$v = 340 \text{ m/s}$ (温度で変化)	A (ラ) の音	440 Hz	(f) cm
		高い A (ラ) の音	880 Hz	(g) cm

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	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	



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

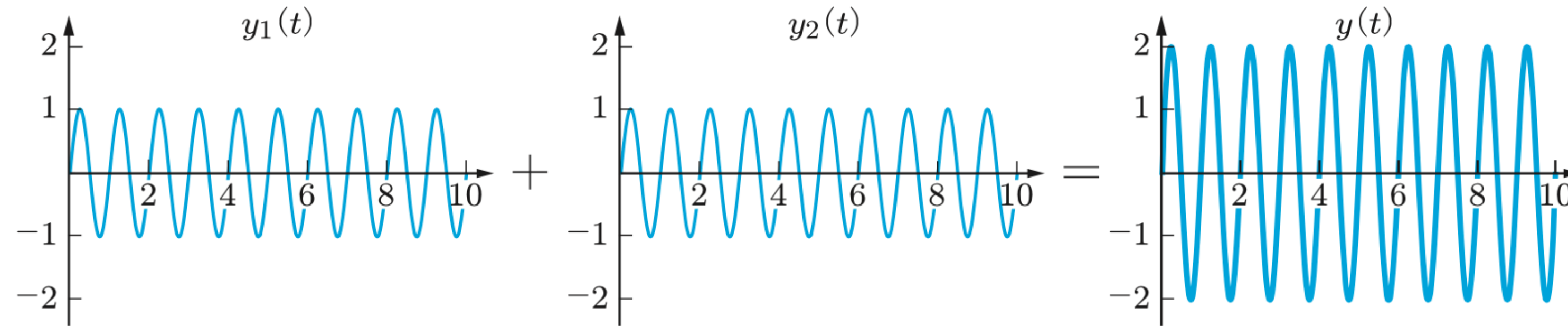


図 31: 左 2 つの波を足すと右の波になる. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = y_1(t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

- 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

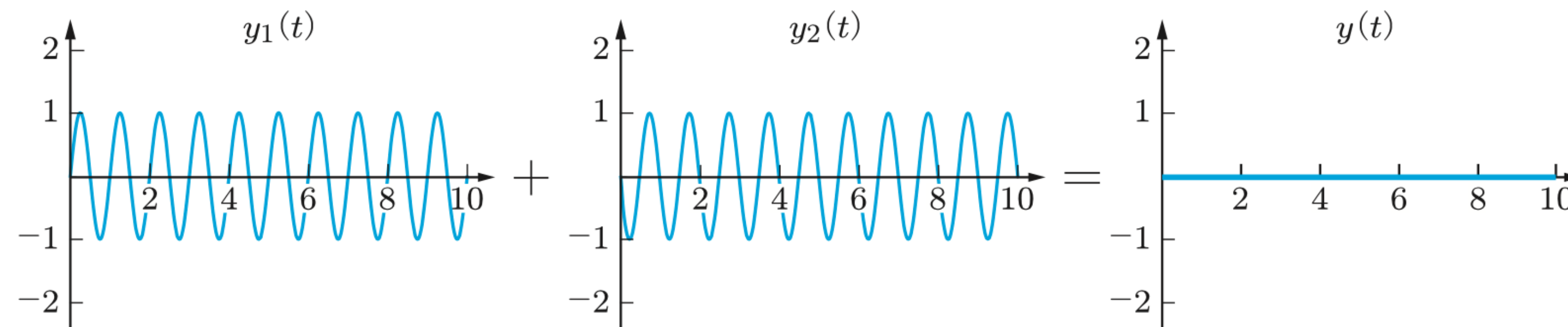
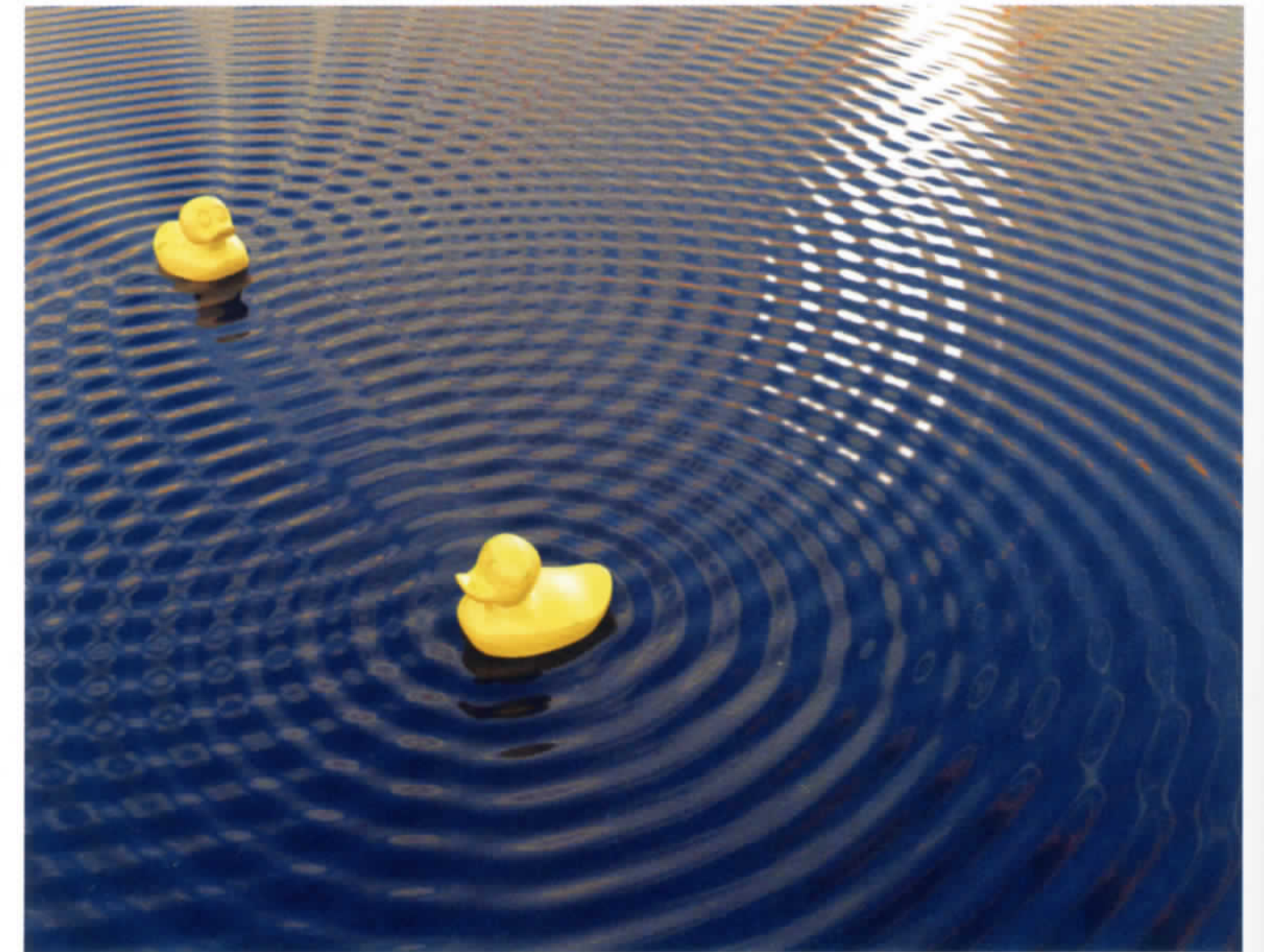


図 32: 左 2 つの波を足すと右の波になる. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = -\sin(2\pi t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

干渉 (interference)



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



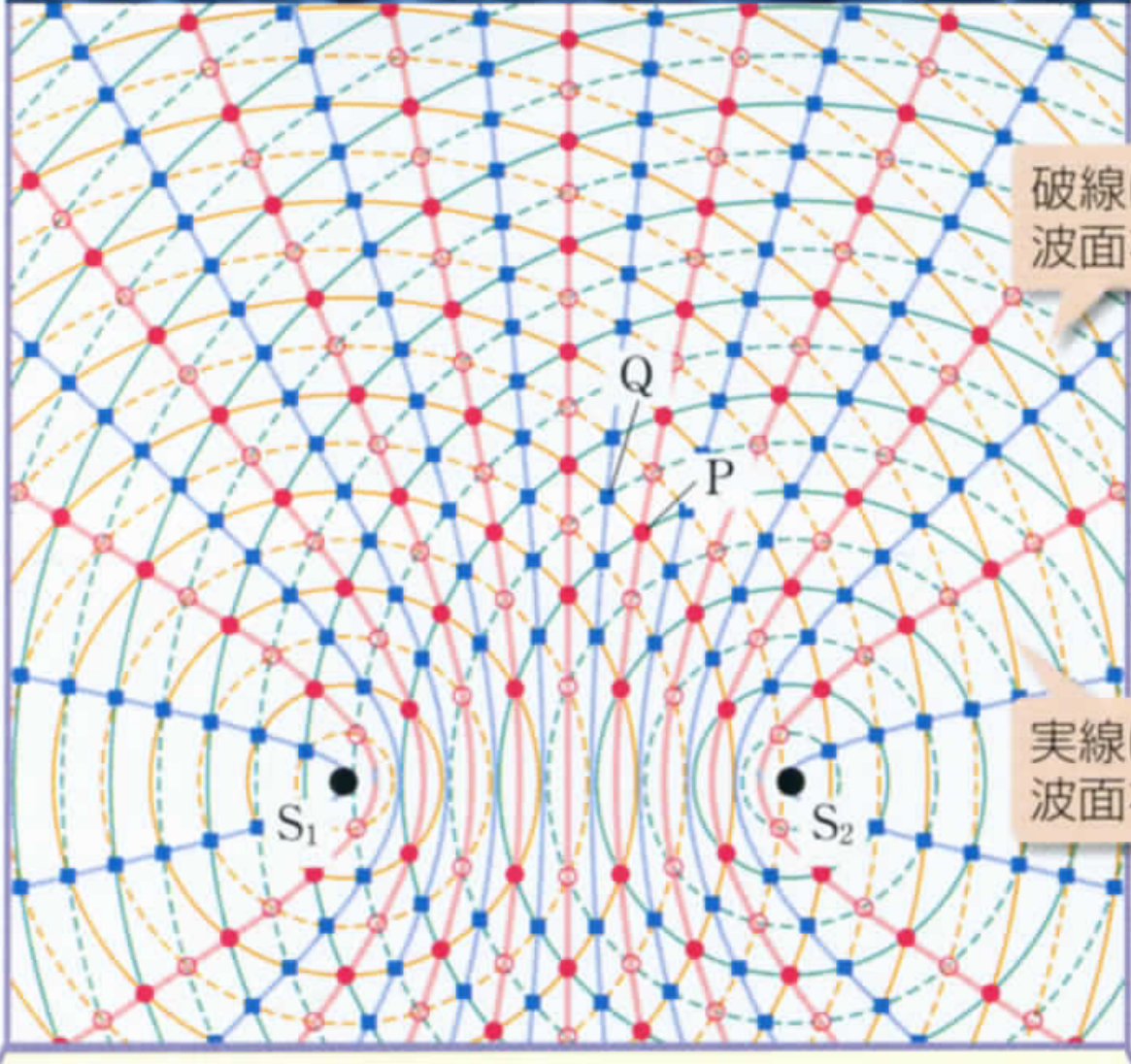
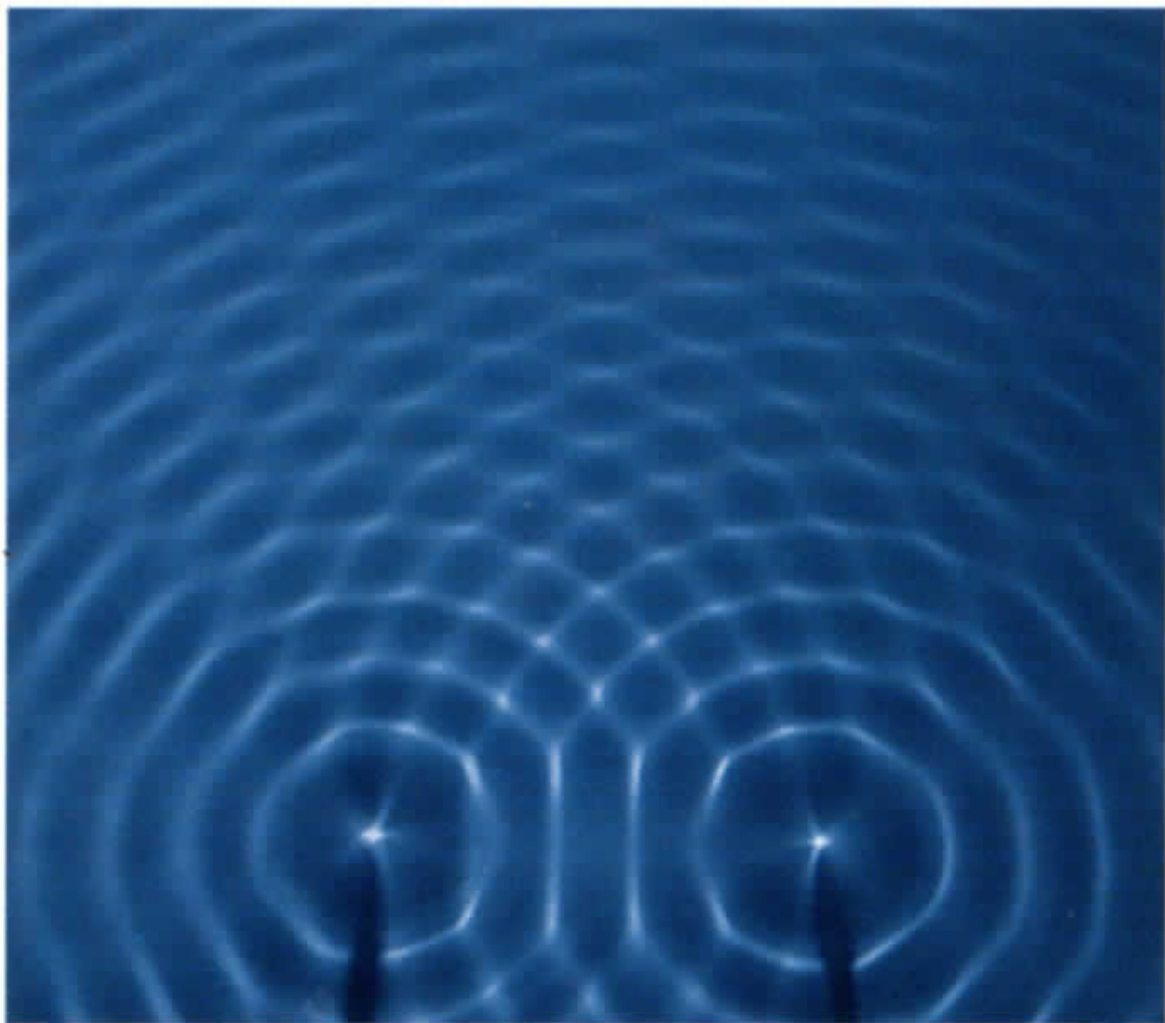
Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

法則 波の特徴：干渉

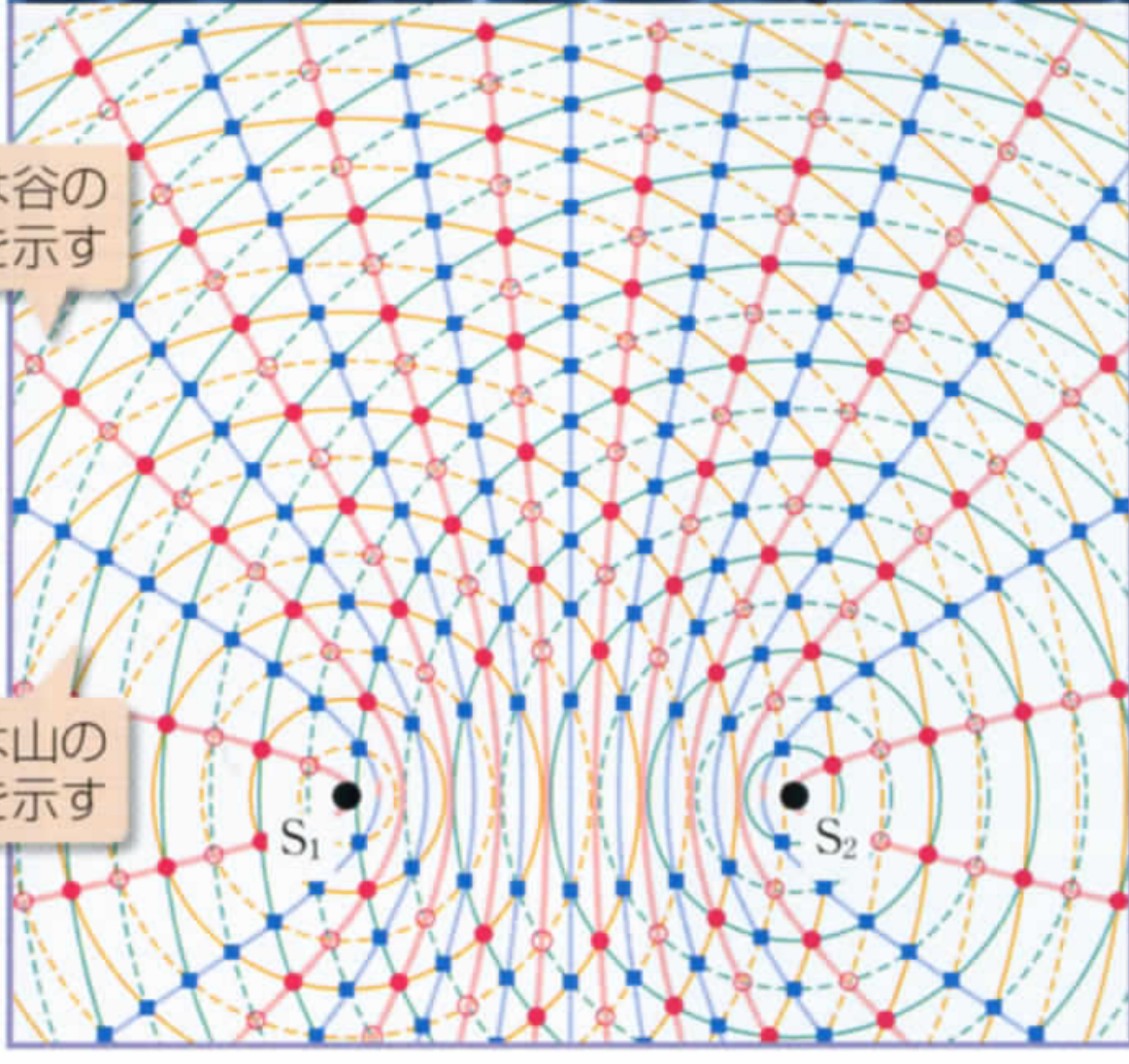
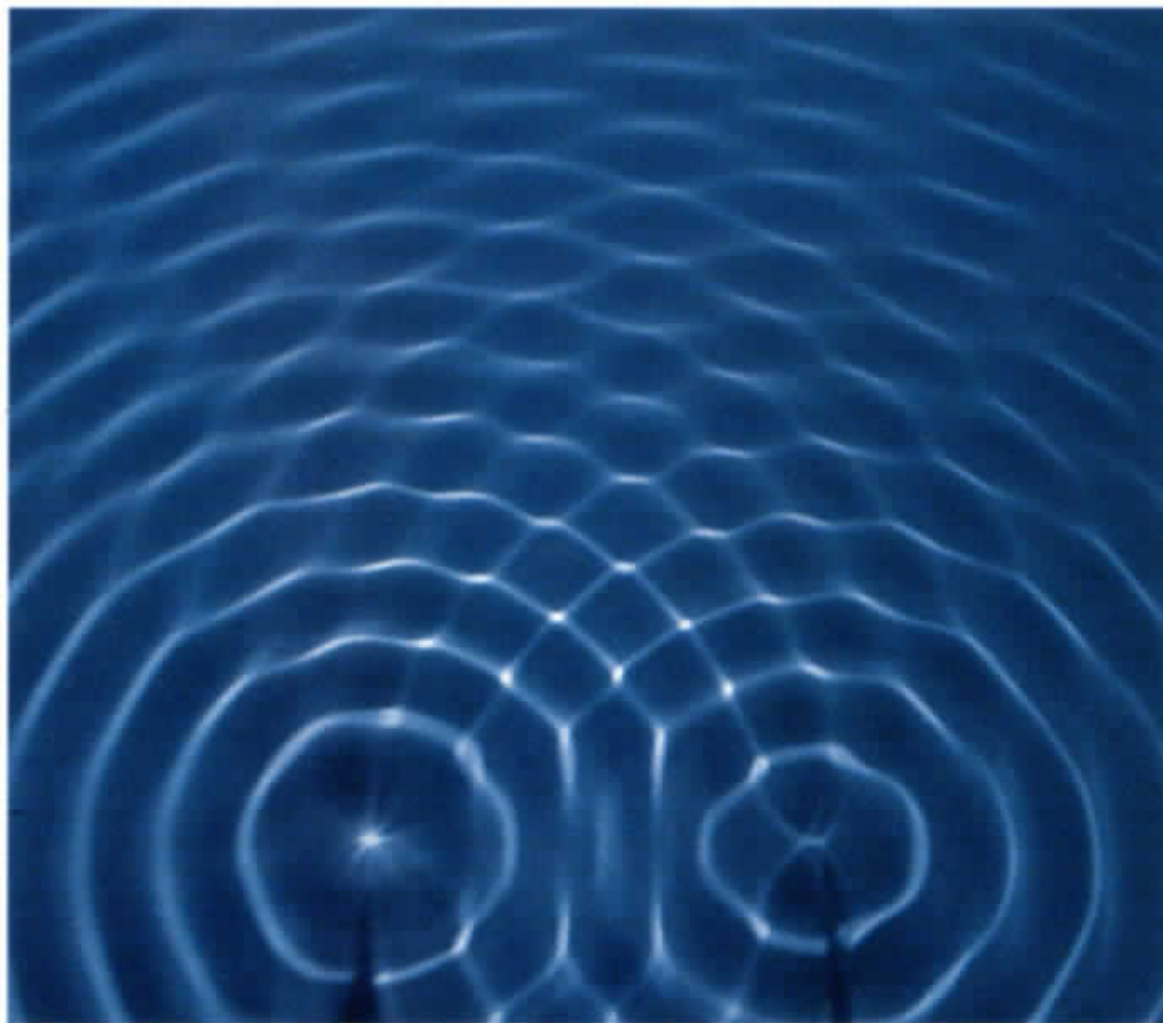
合成された波が、互いに強めあったり弱めあったりする現象を、干渉という。

干渉 = 波の重ね合わせで強めあったり弱めあったりする現象

●同位相で振動する 2 つの波源の場合

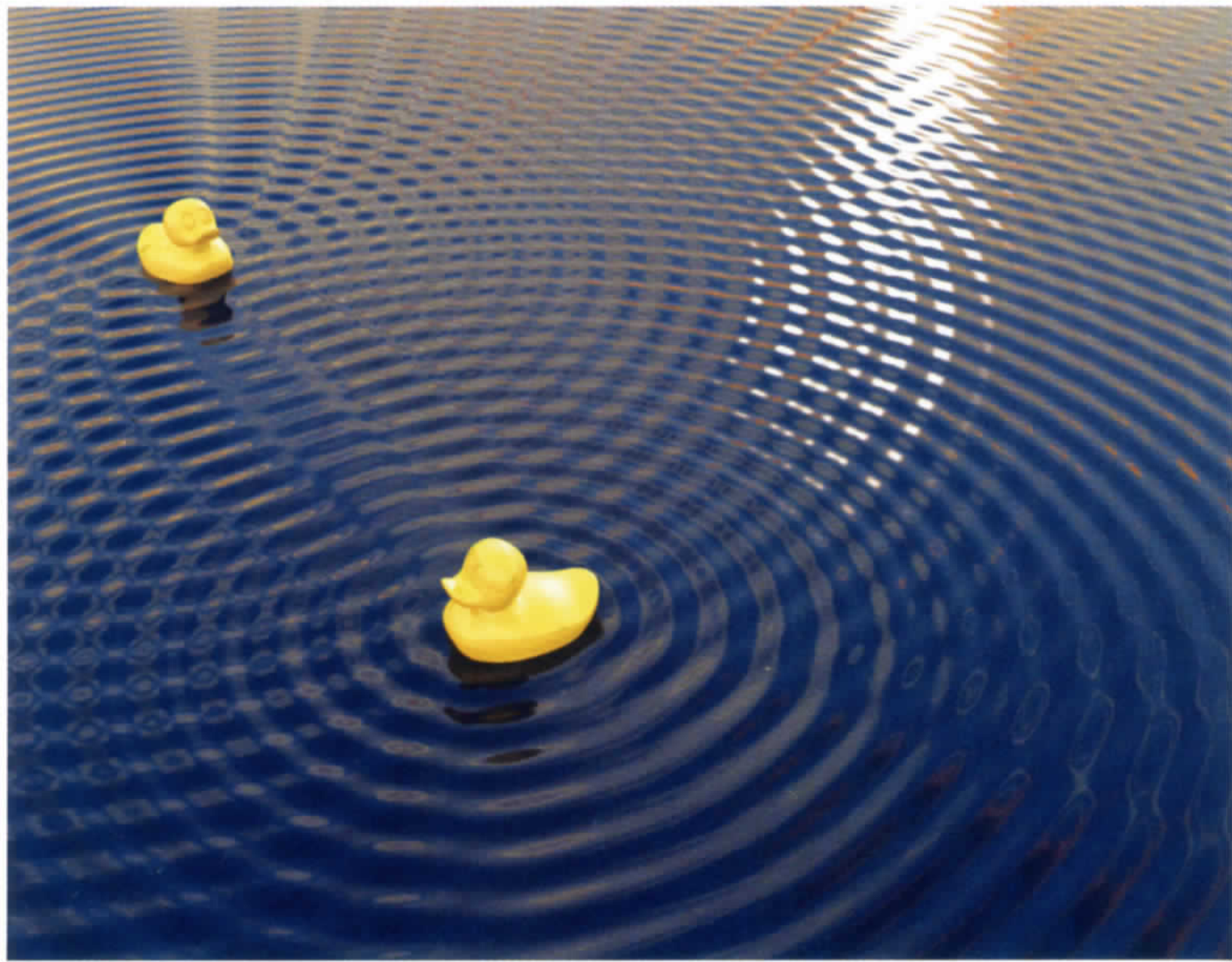


●逆位相で振動する 2 つの波源の場合



破線は谷の波面を示す

実線は山の波面を示す



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

赤色で示した曲線(双曲線) — は強めあう点を連ねて得られる曲線で、●(山と山)や○(谷と谷)の状態が移動していく経路を表している。
青色で示した曲線(双曲線) — は、打ち消しあう点(■(山と谷))を連ねて得られる曲線であり、節線という。

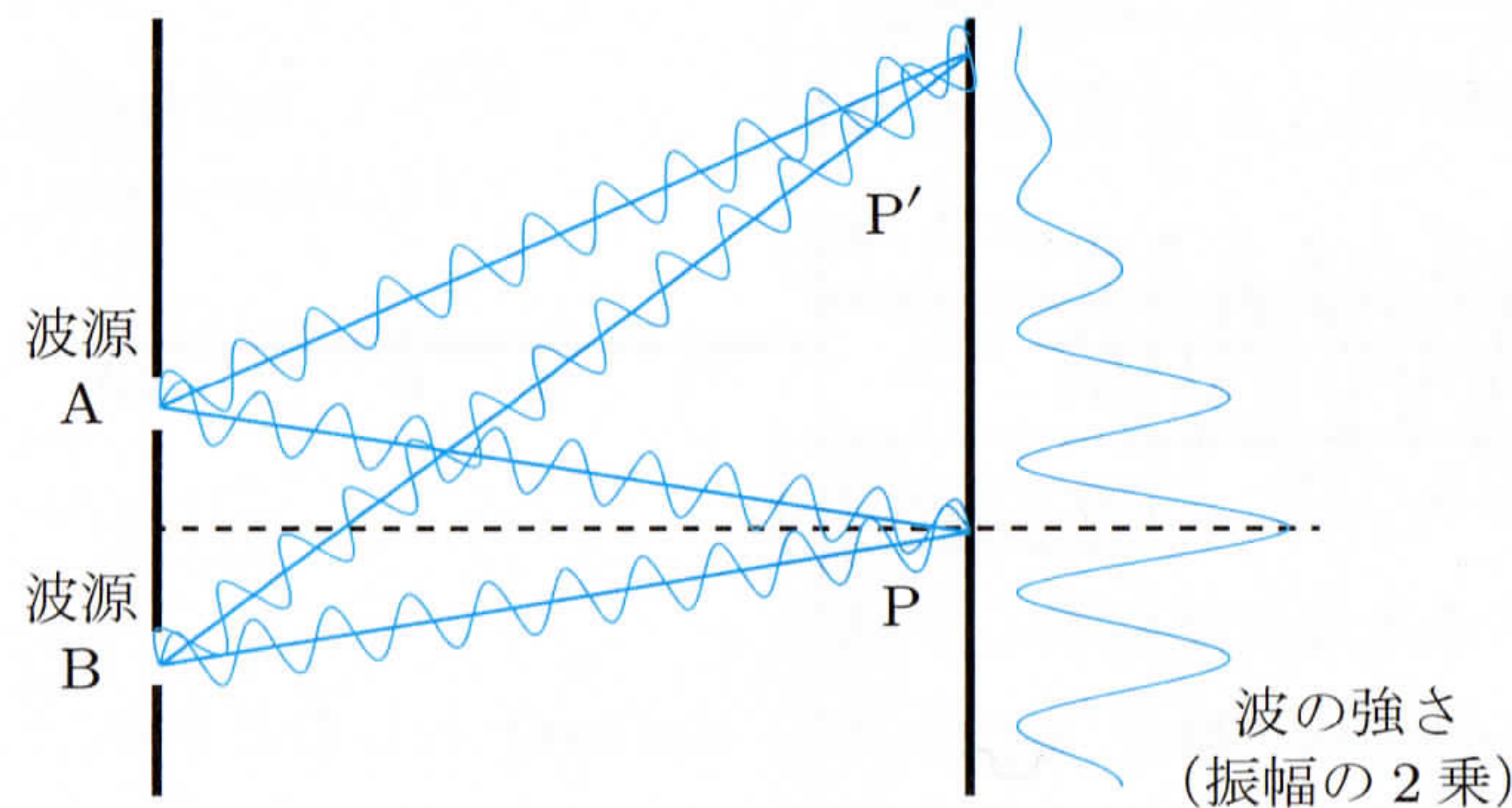


図 5.11 干渉条件 強めあうか弱めあうかは波源からの距離の差で決まる．A と B の波源を通過して P に着いた波は，山と山（谷と谷）の合成なので強めあう．P' では二つの波が，山と谷となるので弱めあう．右側のグラフは波の強度（振幅の2乗）を示す．

Advanced 干渉条件の計算式

二つの波源 A と B から，同じ位相の波が出されたとする．ある場所 P での干渉条件は，波長を λ ， n を整数 ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) として，

$$|\overline{PA} - \overline{PB}| = \begin{cases} n\lambda & \text{(強めあう)} \\ \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda & \text{(弱めあう)} \end{cases} \quad (5.6)$$

となる．距離の差が半波長 ($\lambda/2$) の偶数倍なら強めあい，奇数倍なら弱めあうとして覚えてもよい．

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

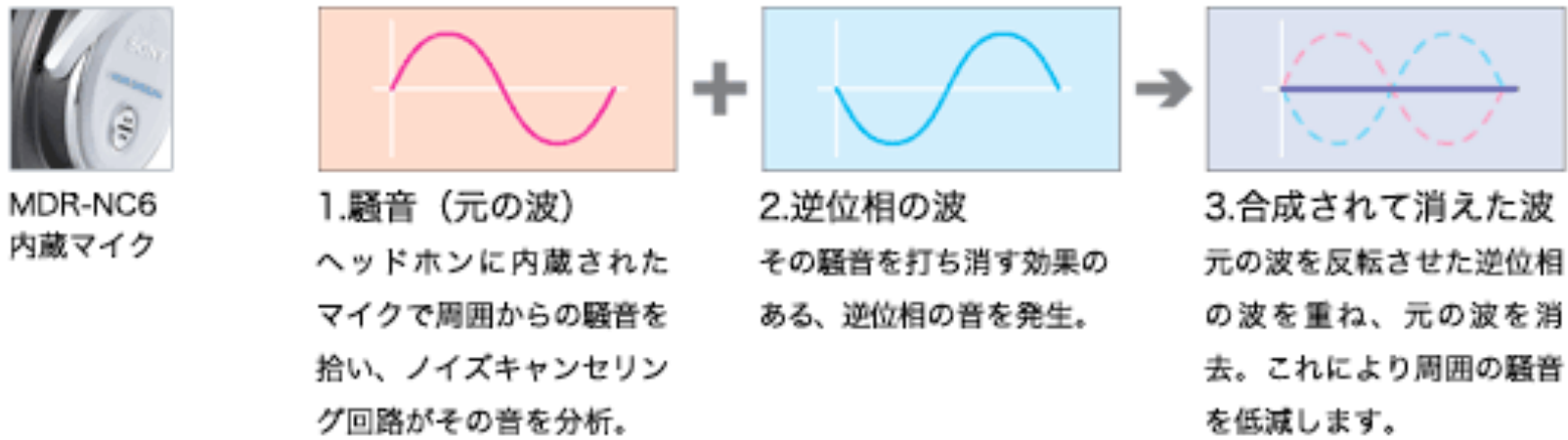
■ノイズキャンセリングヘッドホンの活躍シーン



※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

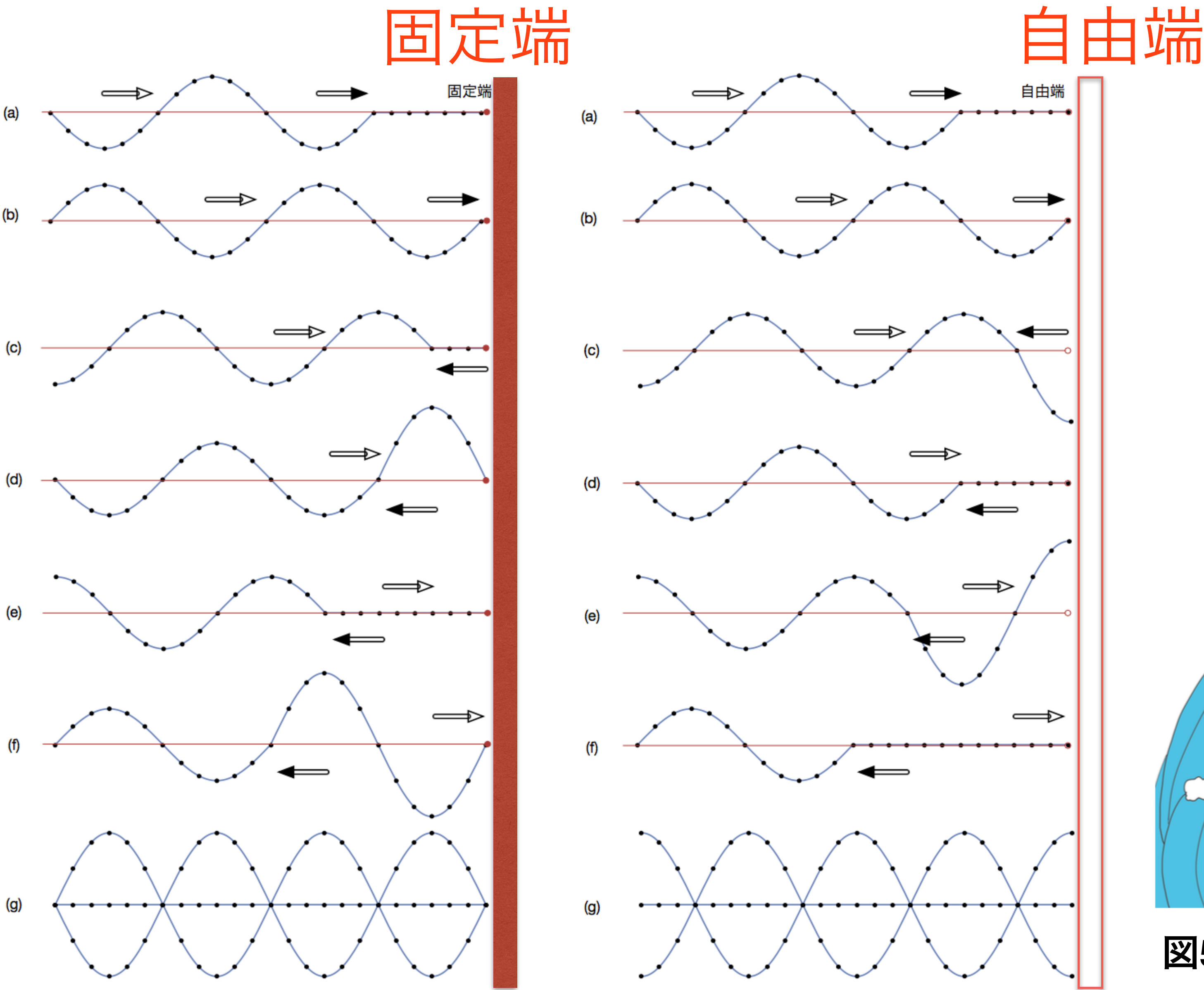


図5.13 岸壁でぎぶん.

前回のミニッツペーパーから

音の波の話聞いて、やまびこ思い出しました。
やったことにはありますが、声がいけなかったのか、声がかえってきませんでした。

吸音材のしくみについて知りたいです。



防音の基礎知識

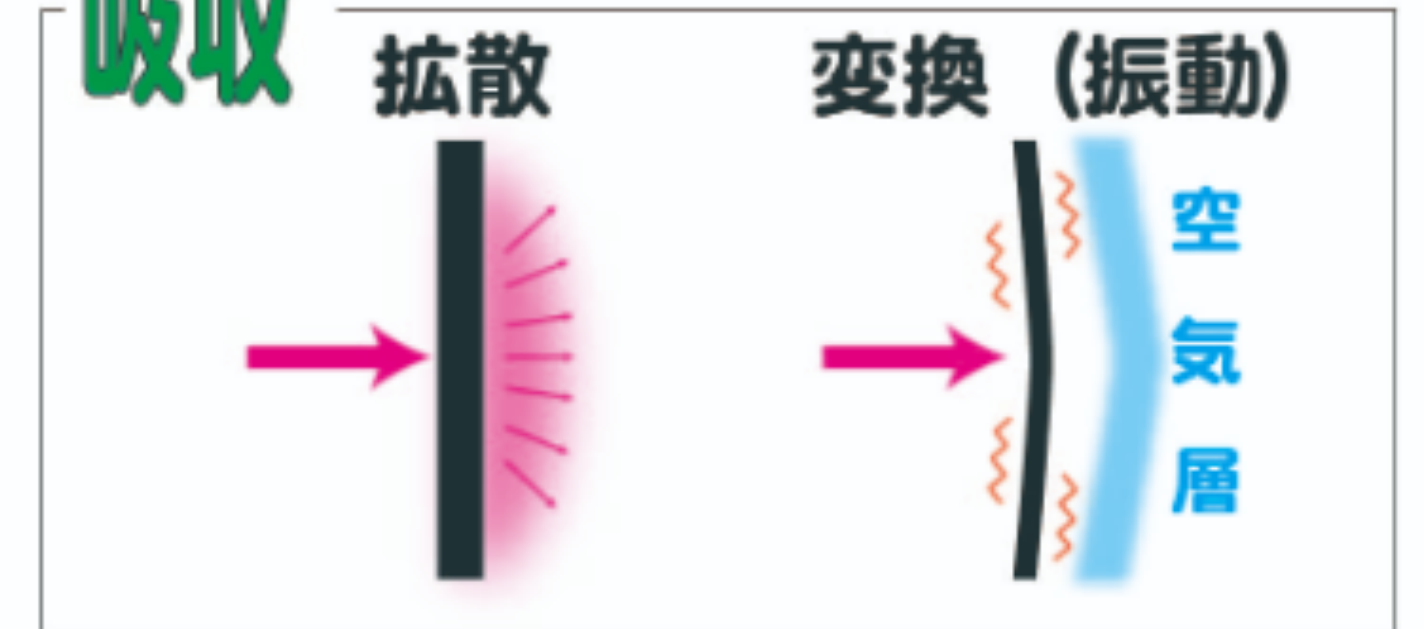
防音は反射と吸収

反射



↓
質量則

吸収



↓ ↓
グラスウール等 有孔ボード等

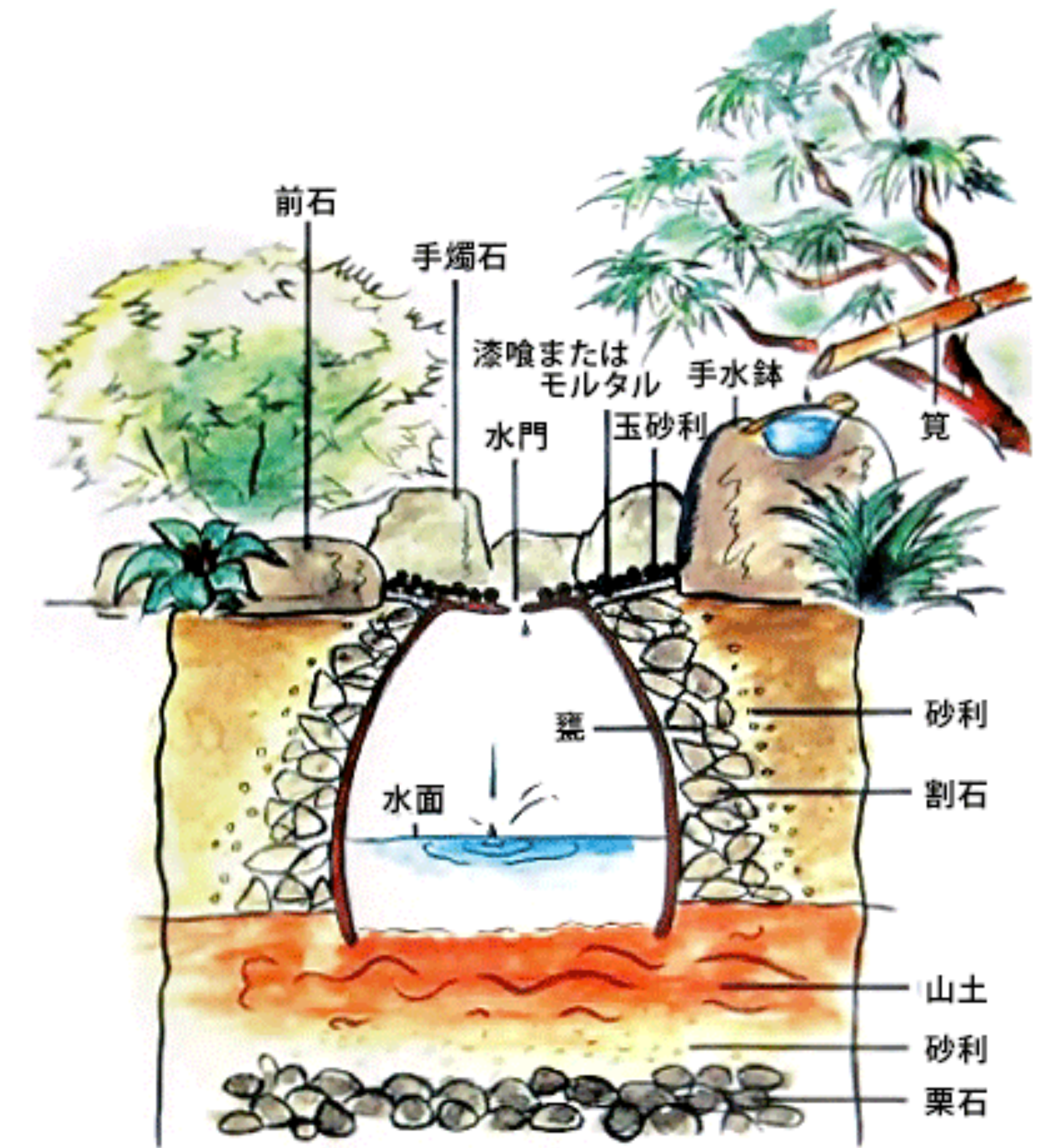
やまびこは反射, 防音は音波の吸収

前回のミニッツペーパーから

アヒルの波の画像が枯山水みたいできれいでした。
水琴窟も波に関係しているのかなと思いました。



<https://www.youtube.com/watch?v=P5jDB5MUhWg>



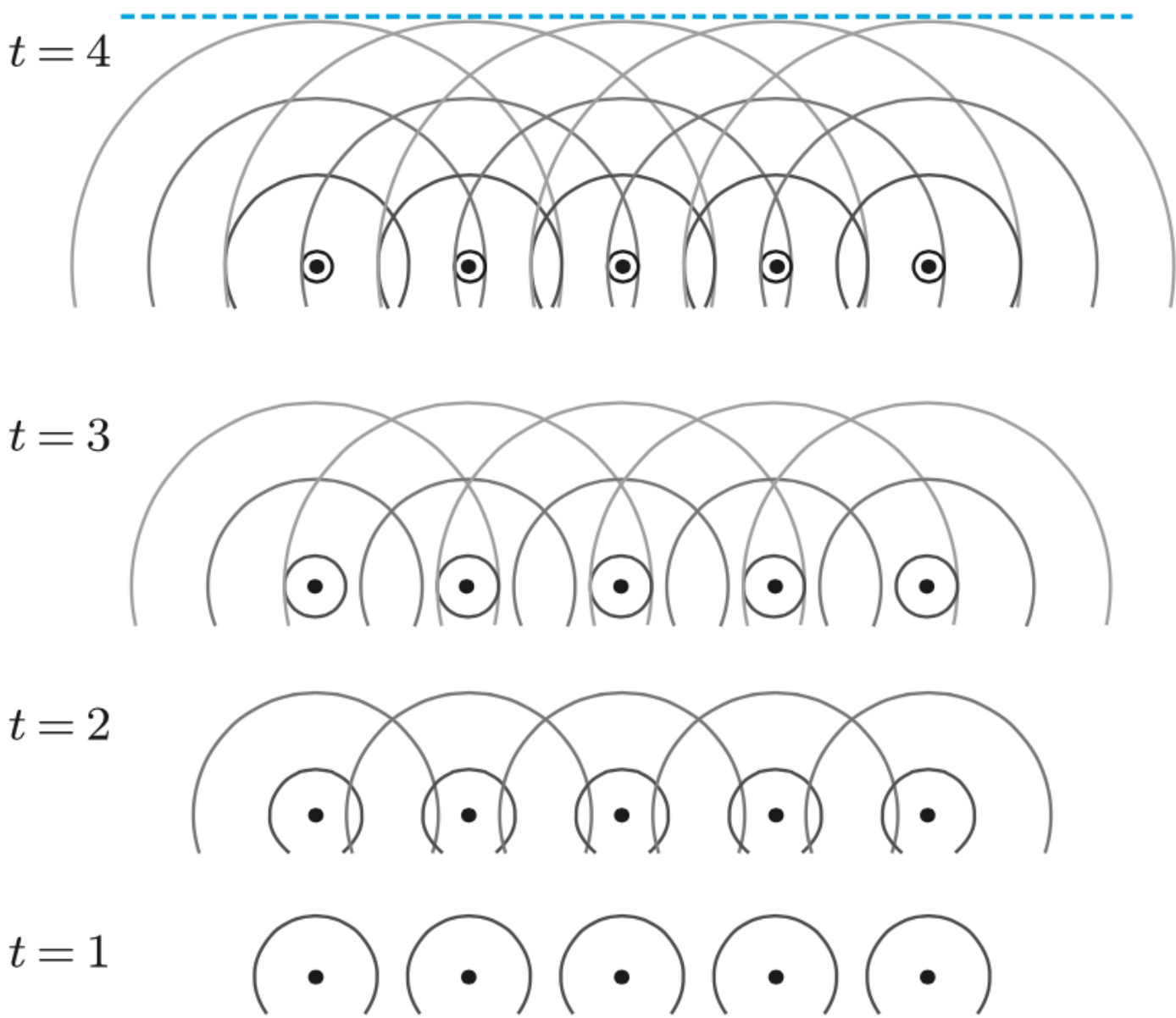
昔ながらの 水琴窟 断面図
田村光 画

<http://tamurazouen.com/about/>

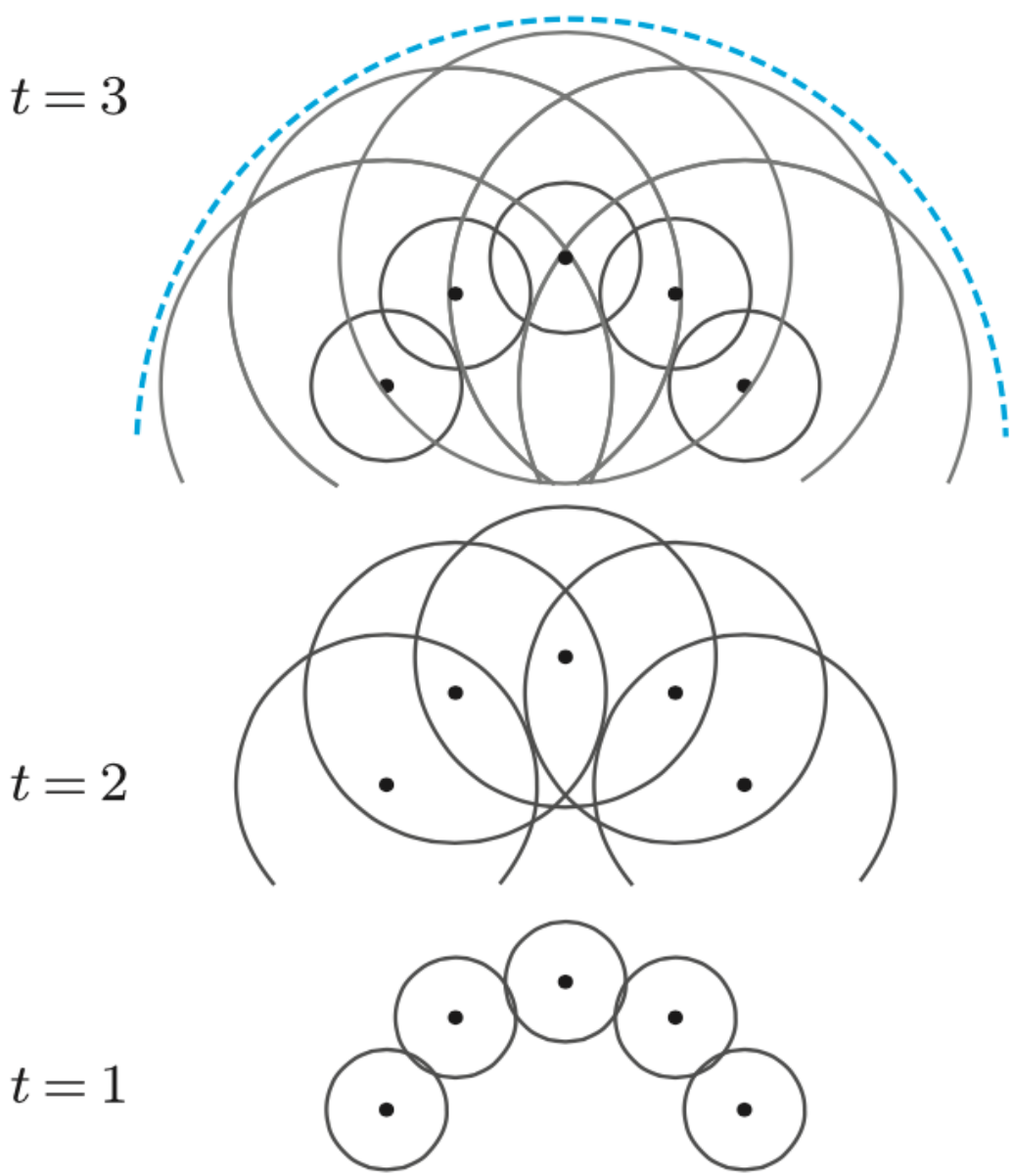
ホイヘンスの原理

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

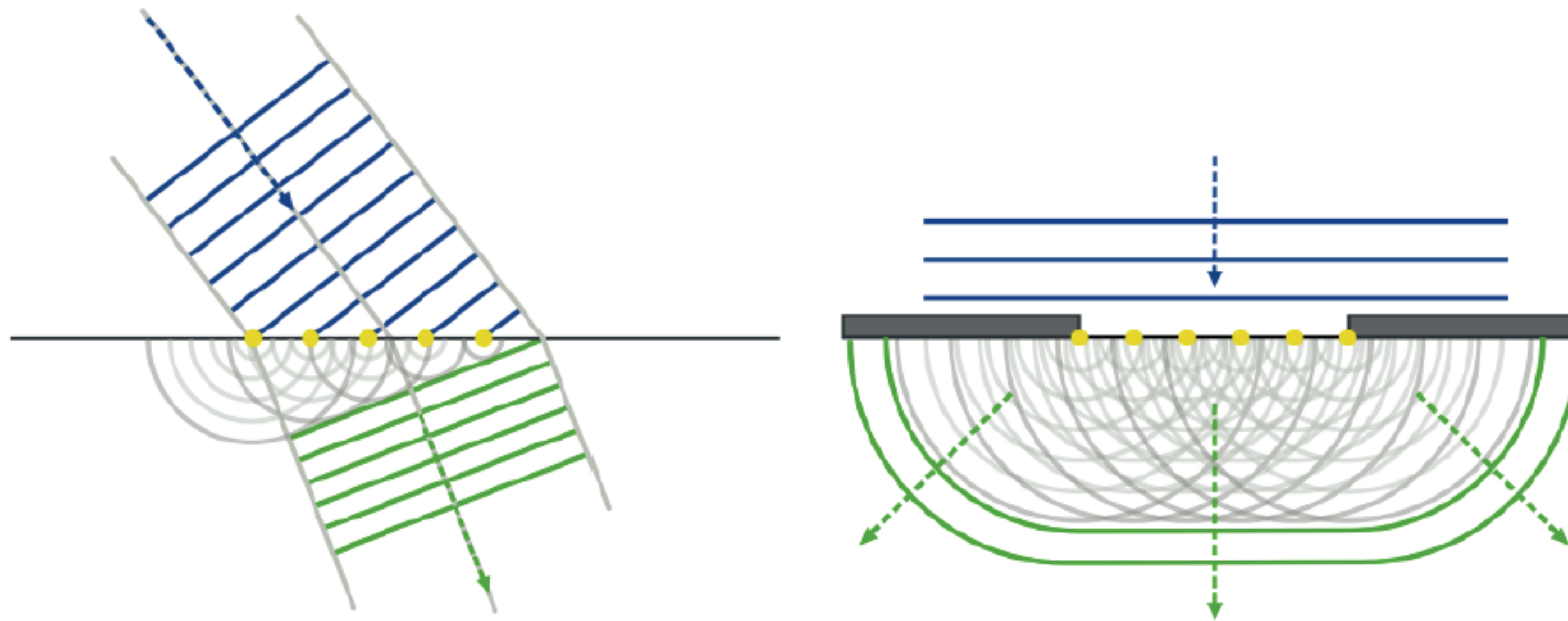
Christiaan Huygens
(1629–95)



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

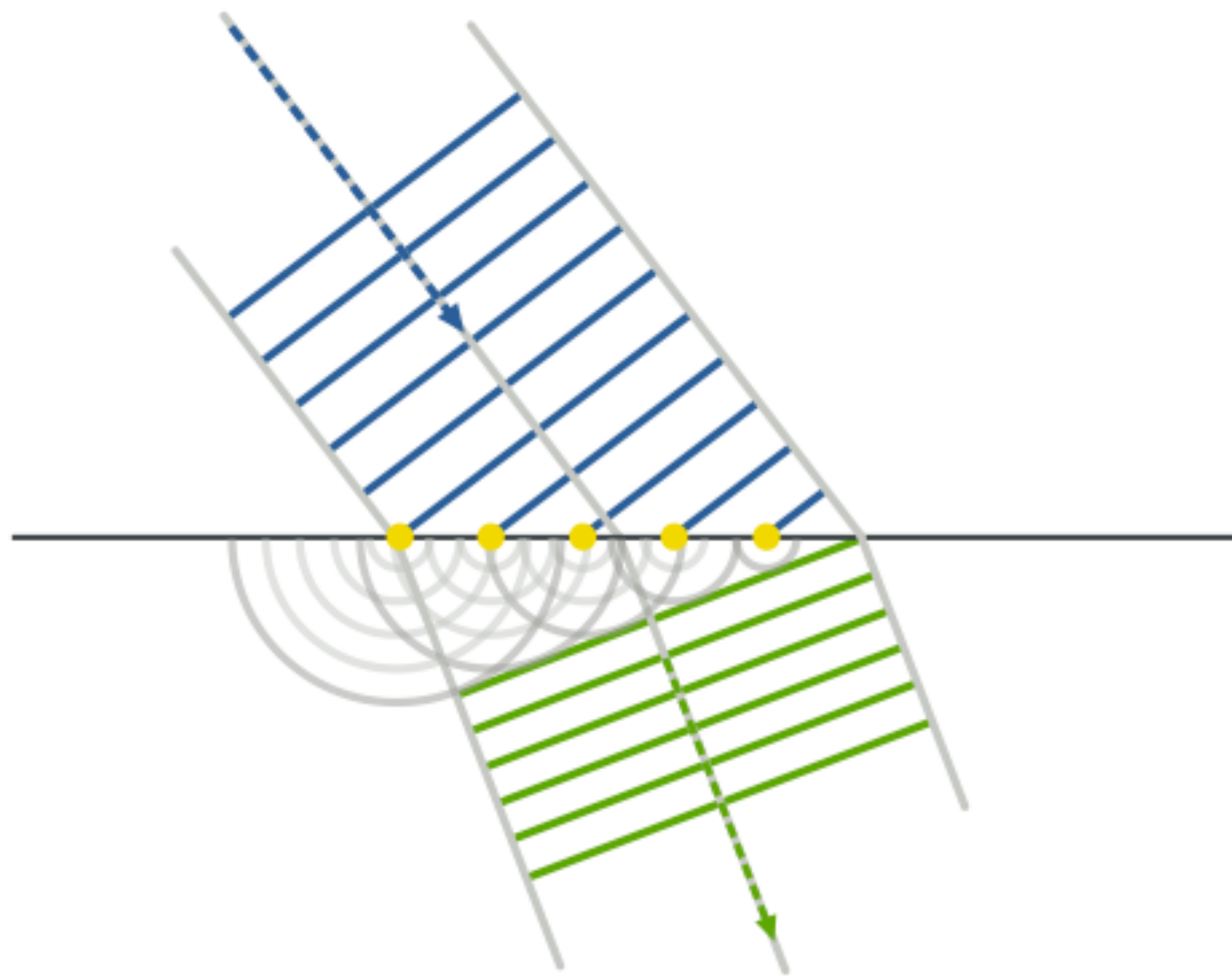
波面は無数の波源の集まりとみなすことができ、波の各点を波源として球面状に広がっていく**素元波**の重ね合わせとして、次の瞬間の波面が形成される。

Christiaan Huygens
(1629–95)

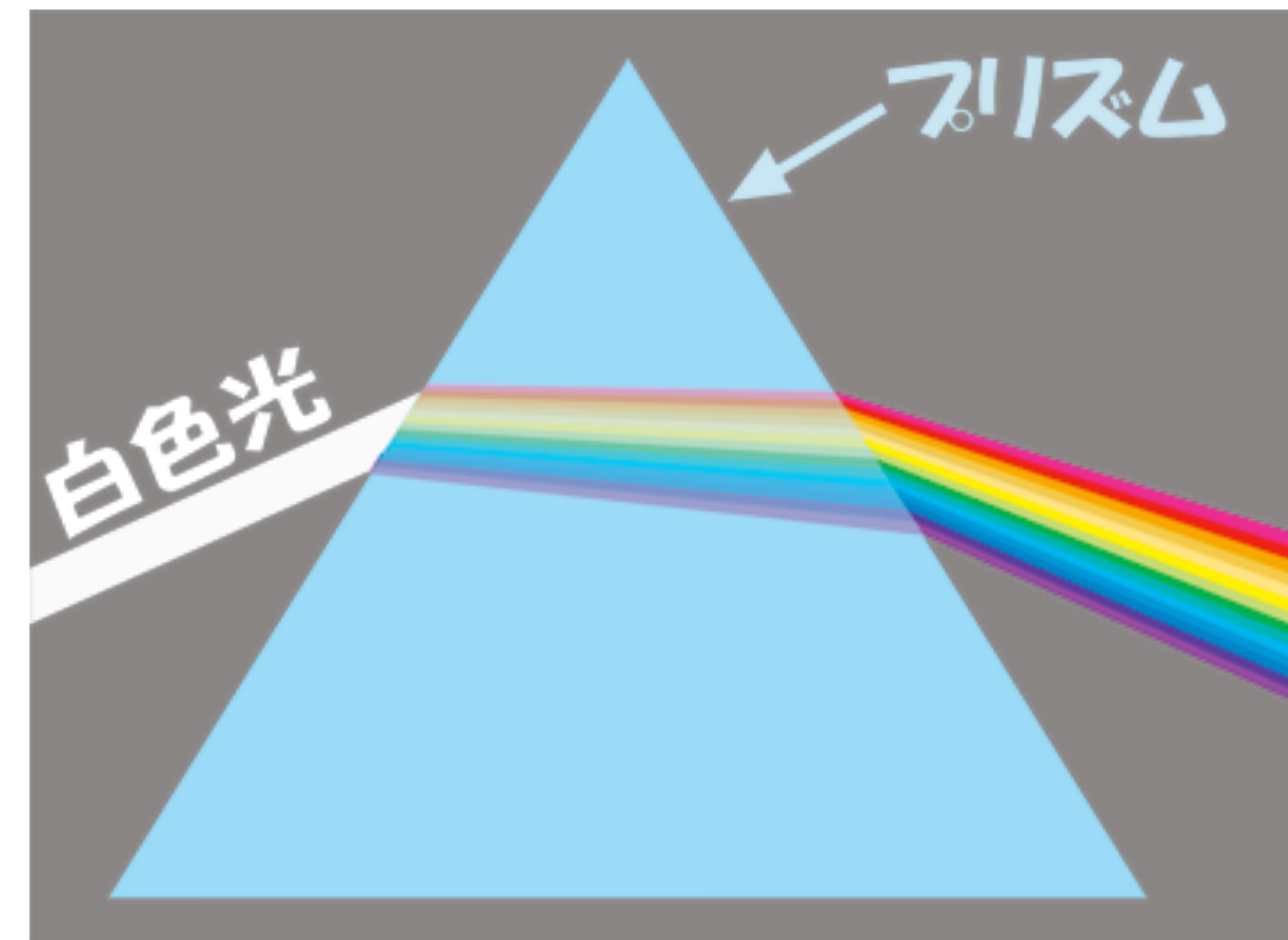


屈折 (refraction)

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)



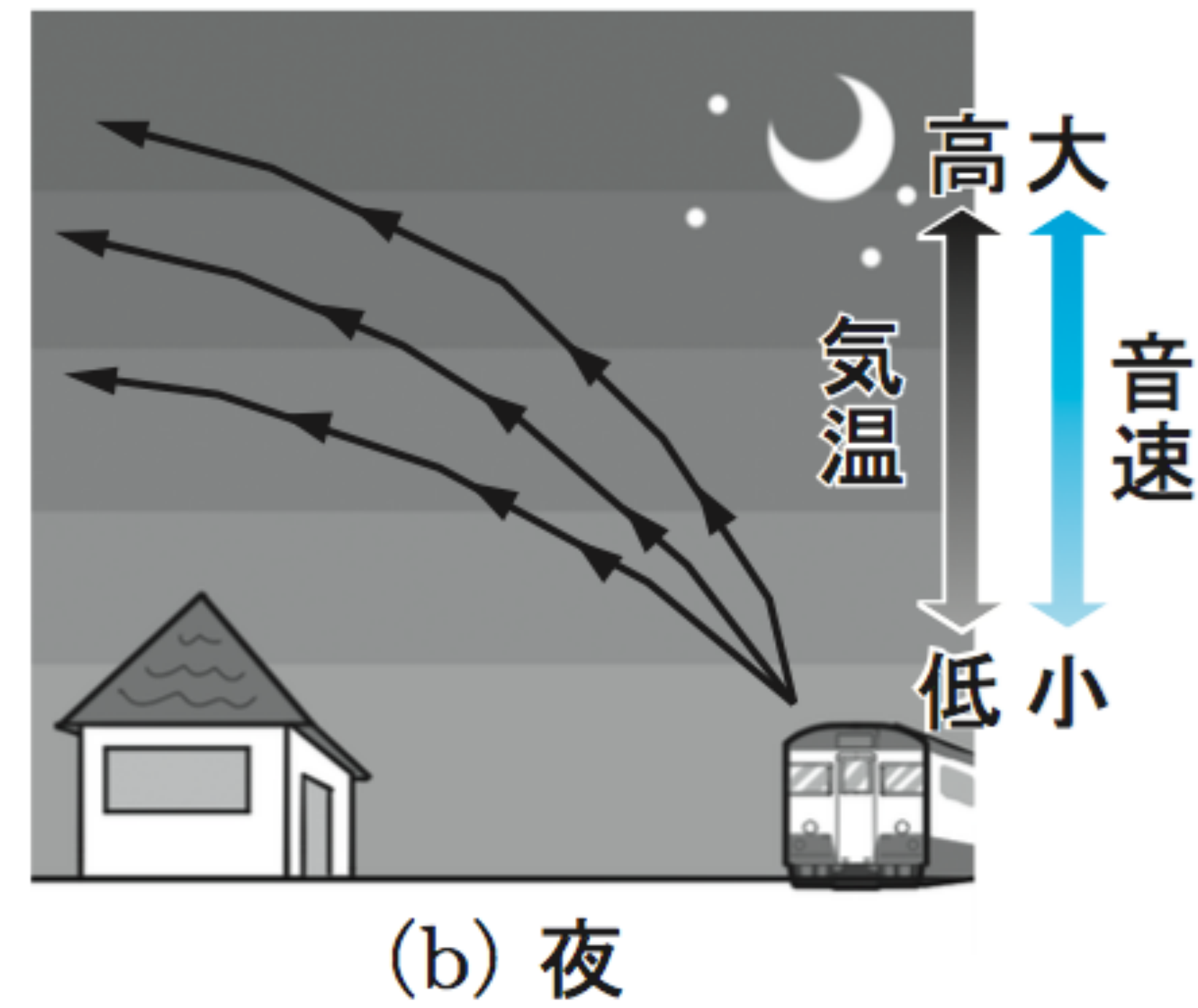
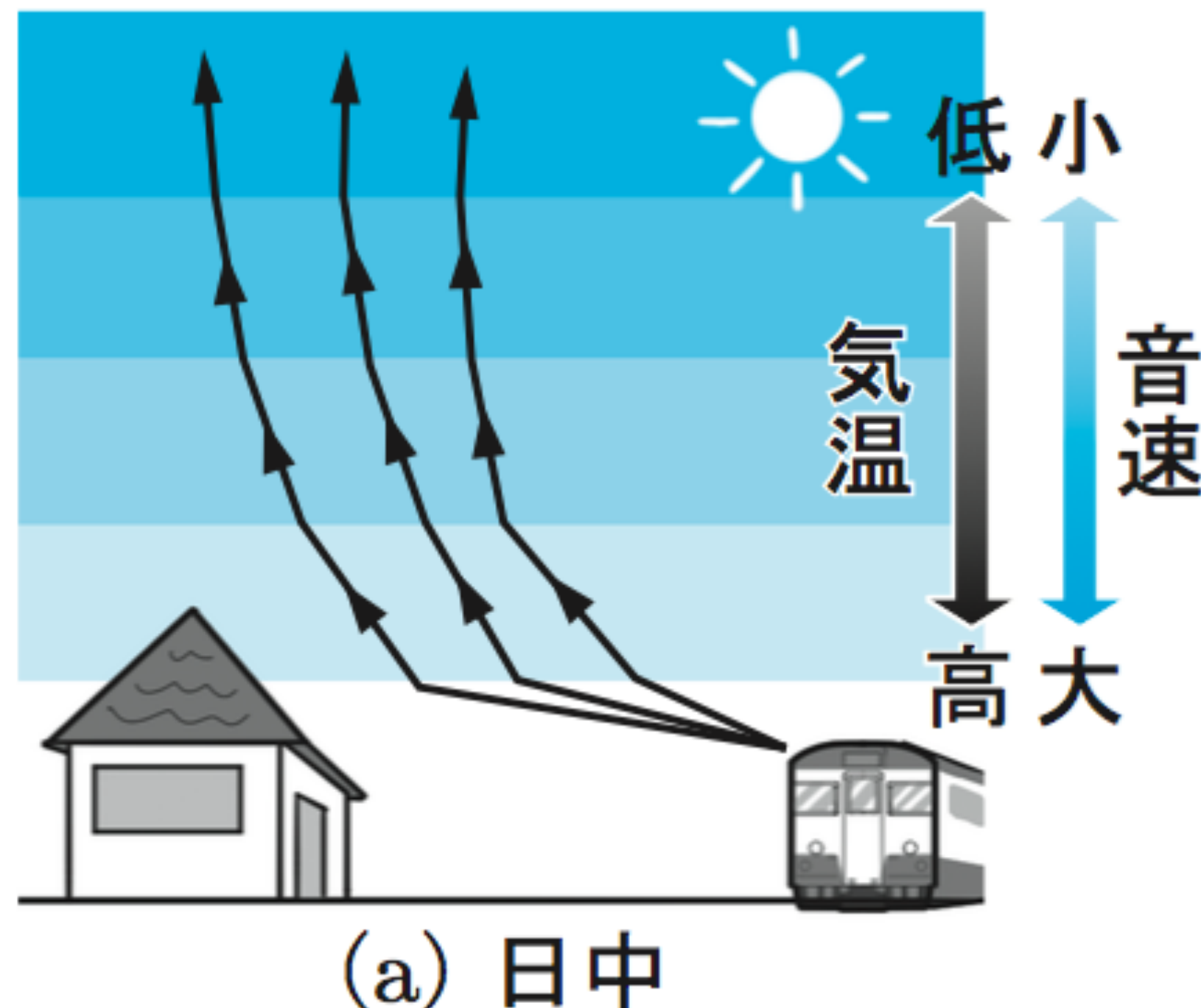
屈折 (refraction)



<https://www.facebook.com/reel/1384825916557726>

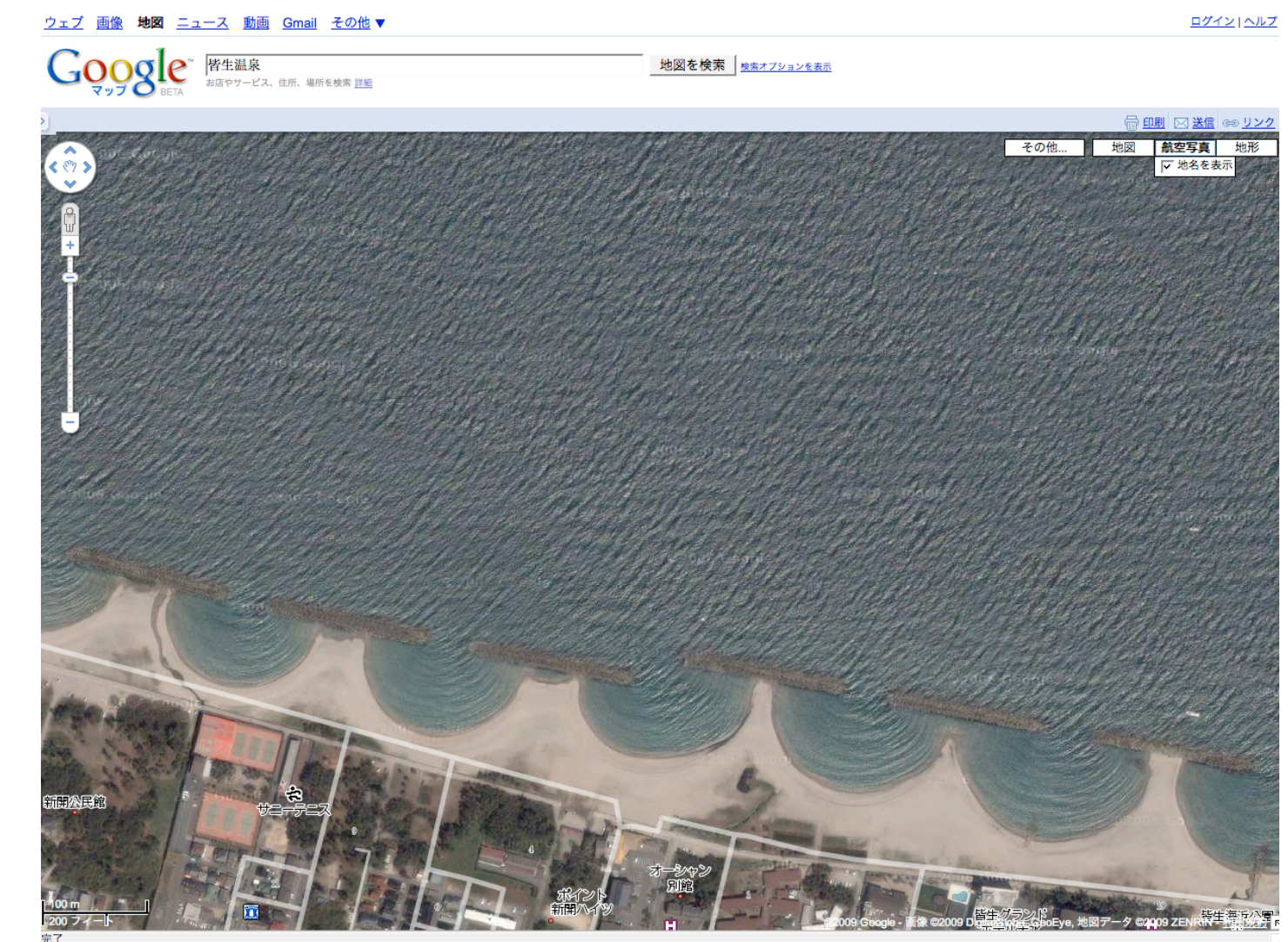
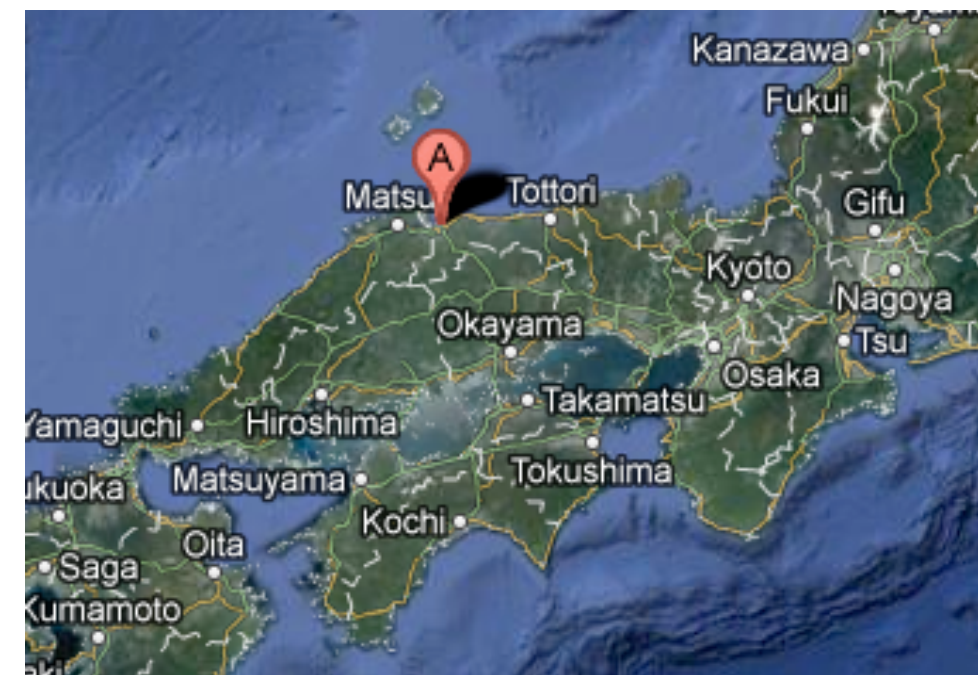
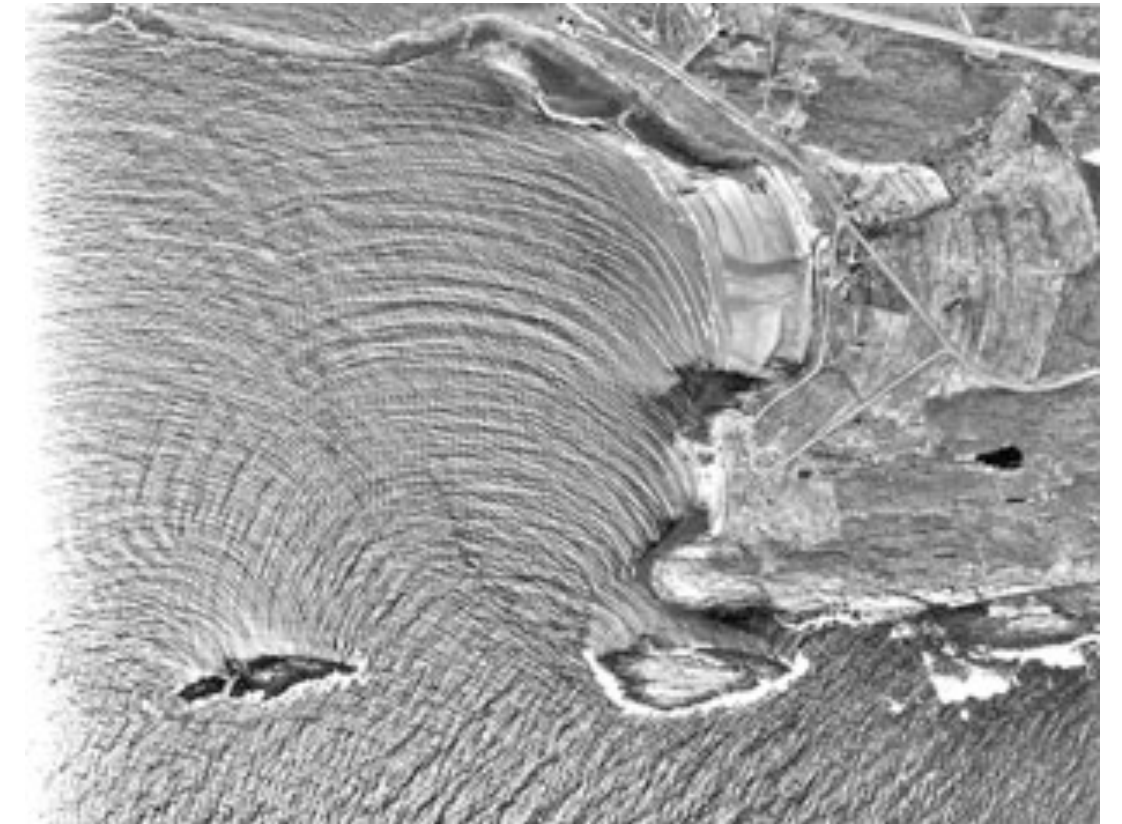
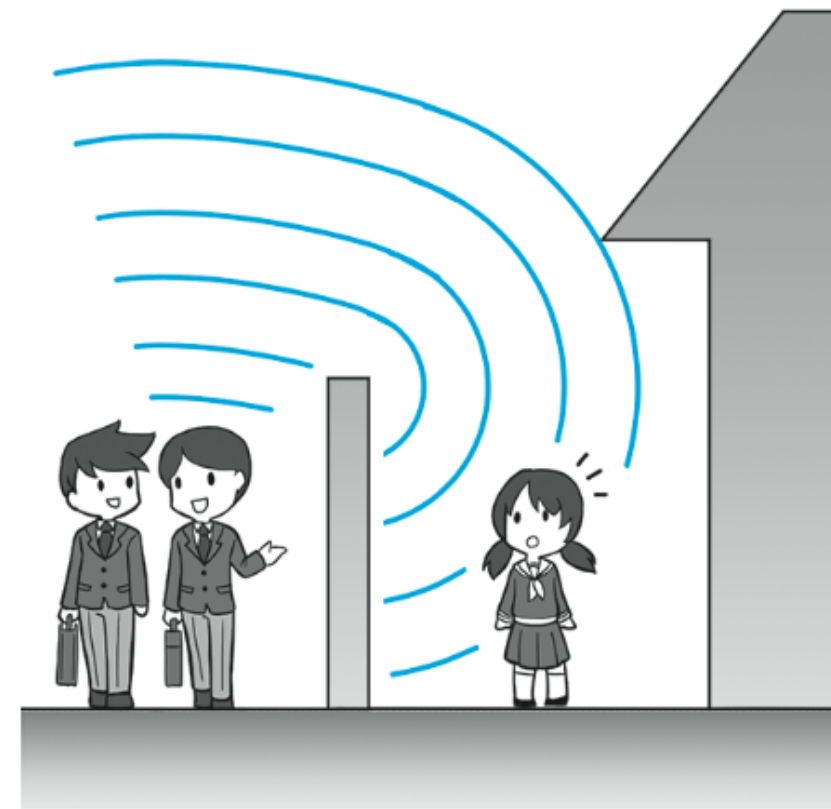
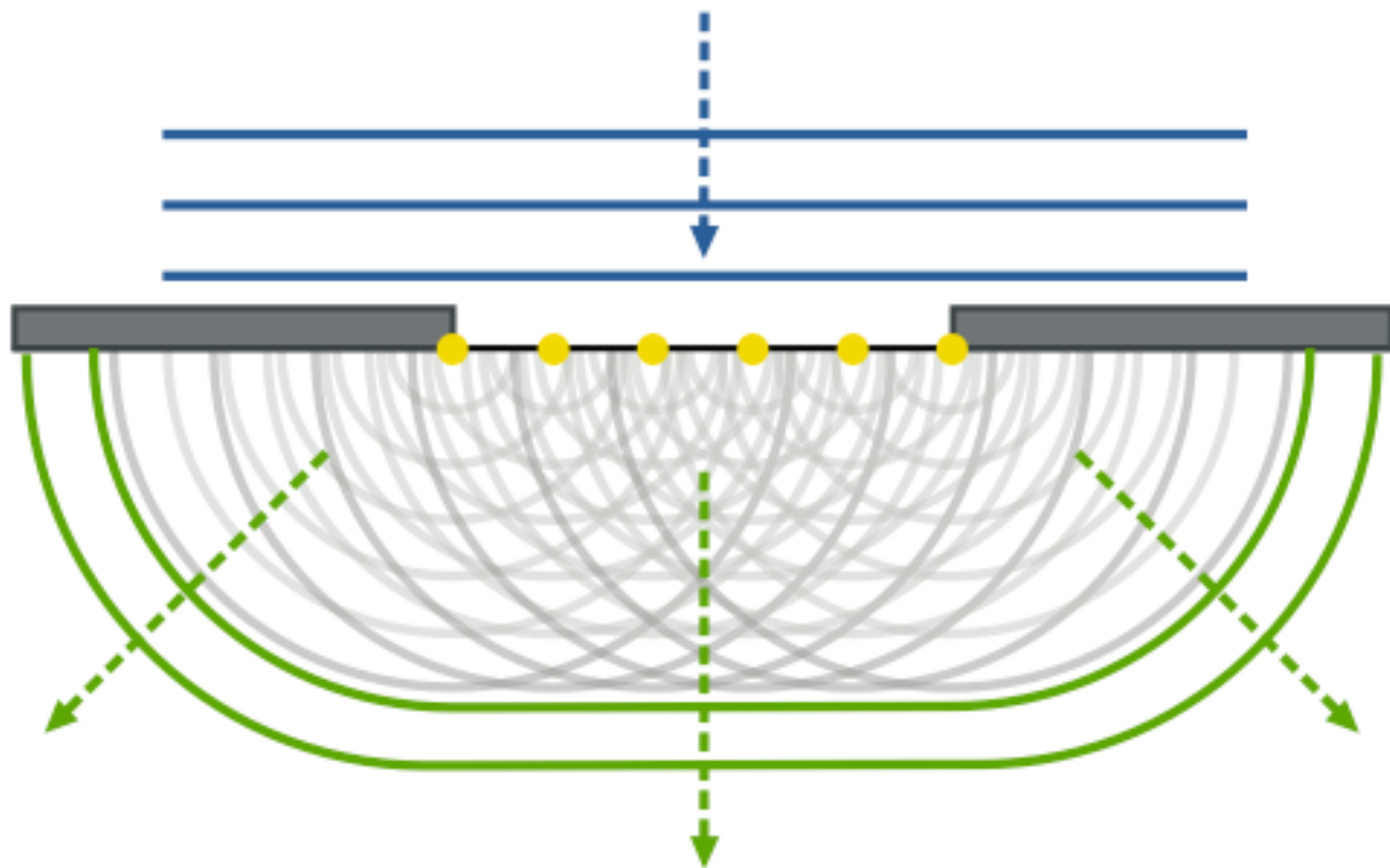
夜汽車の音が遠くまで届く

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

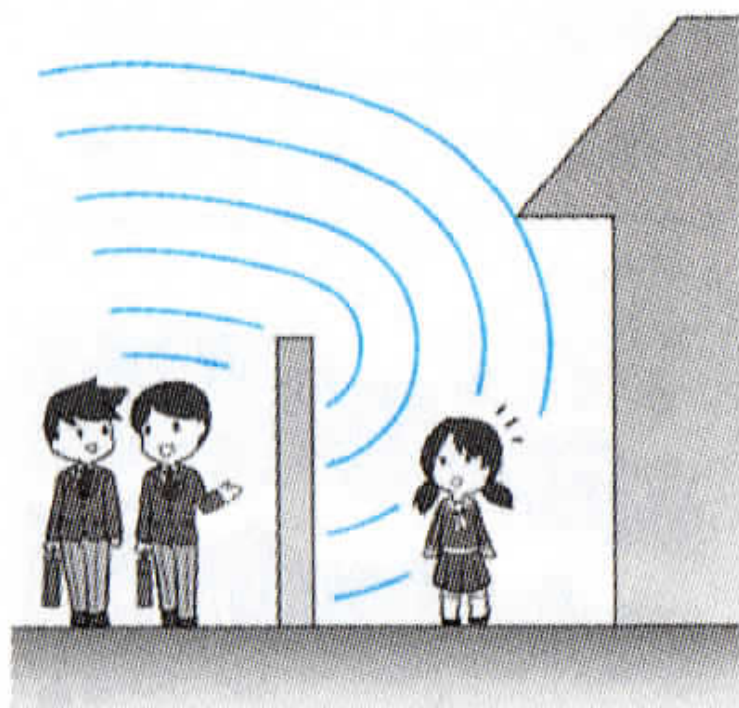
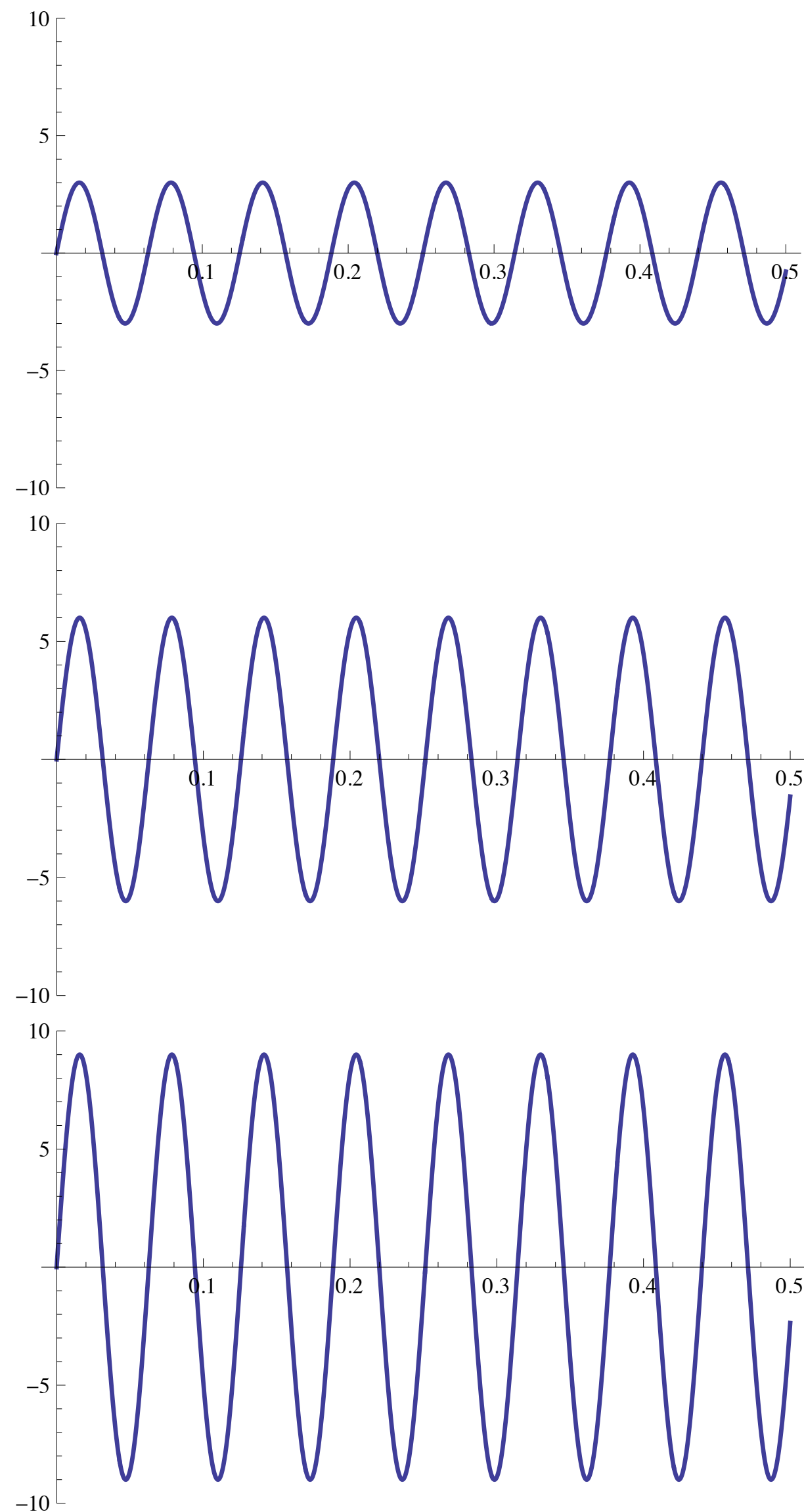


図 5.21 壁に耳あり

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)

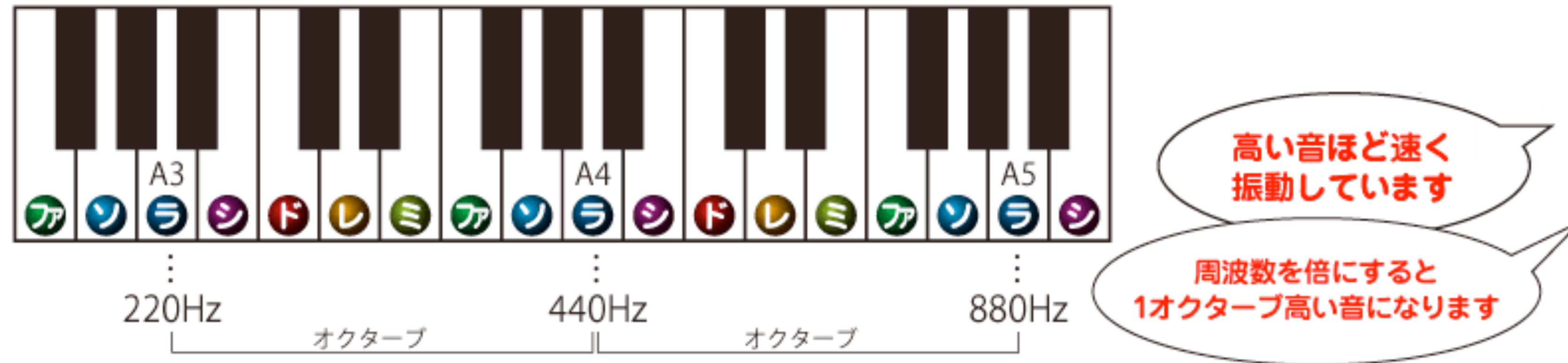


音の大きさ=振幅

【図6. 音圧と音圧レベル】



5.2.1 音の3要素(2) 音の高低 (pitch)



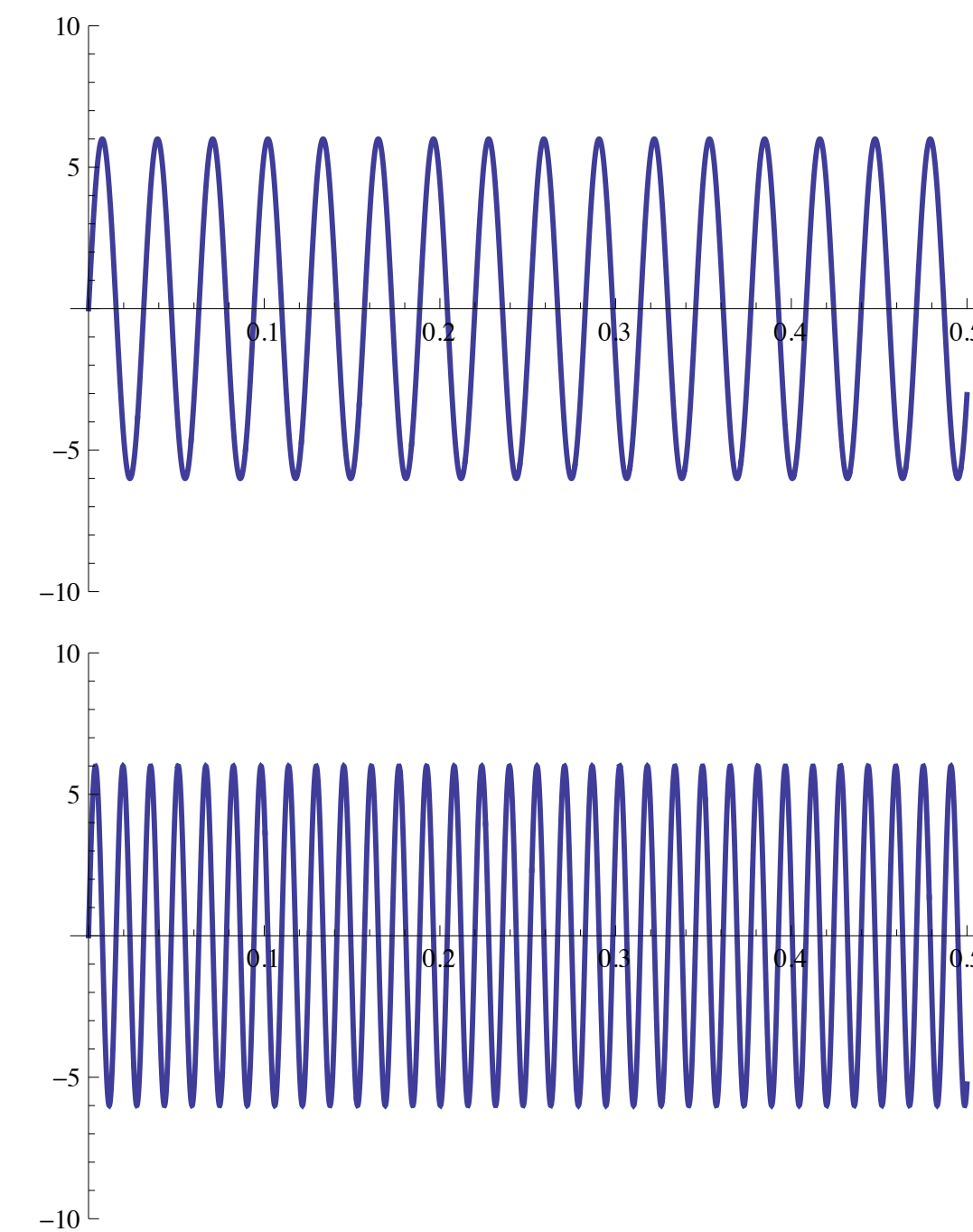
人間が聞く事ができる音は 20Hz から 20,000Hz

人間が聞くことが出来る音より

遅い振動は**低周波音**

速い振動は**超音波**

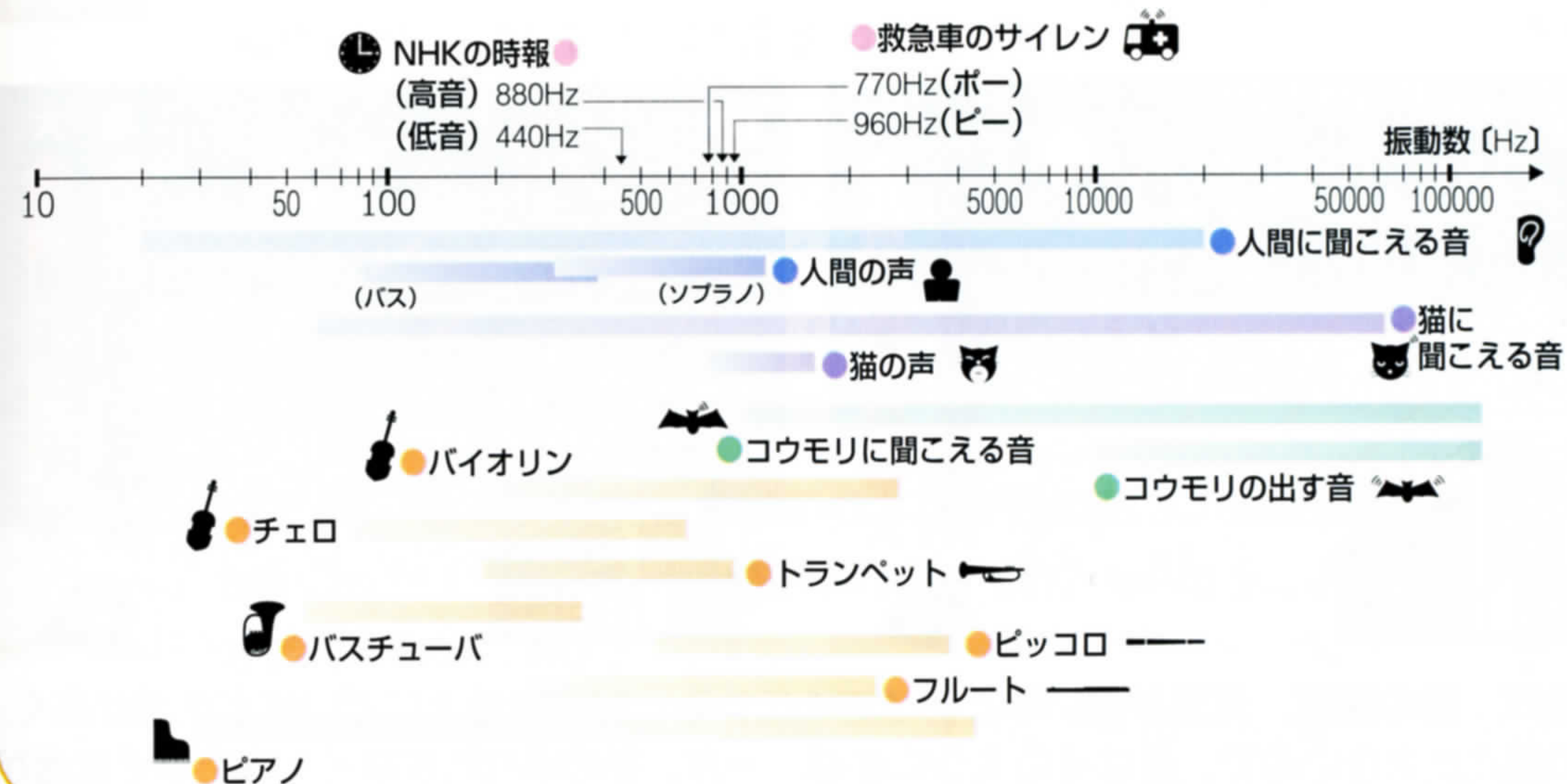
音の高低=振動数



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 $20 \sim 20000 \text{ Hz}$ 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



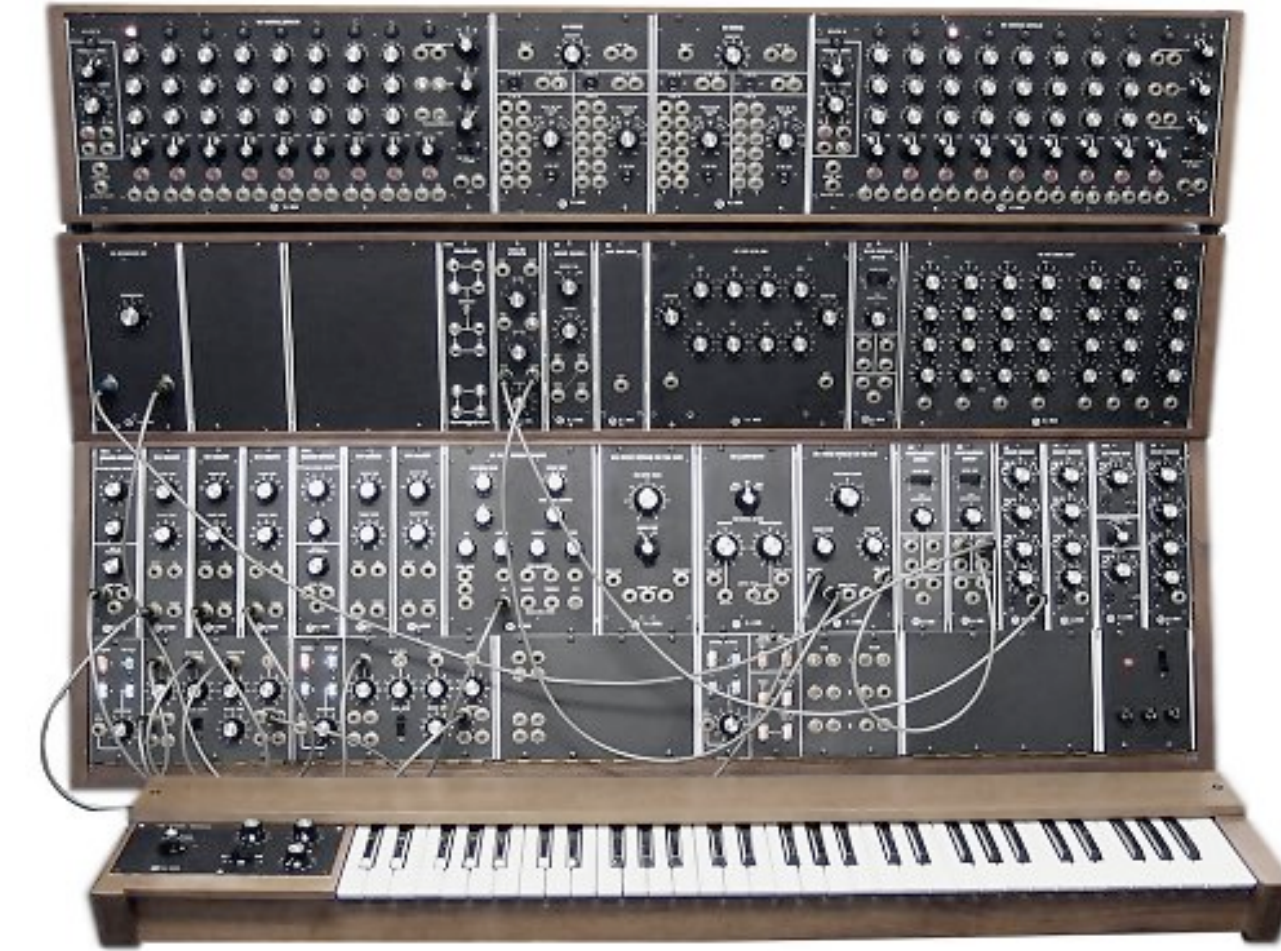
(c) フルート



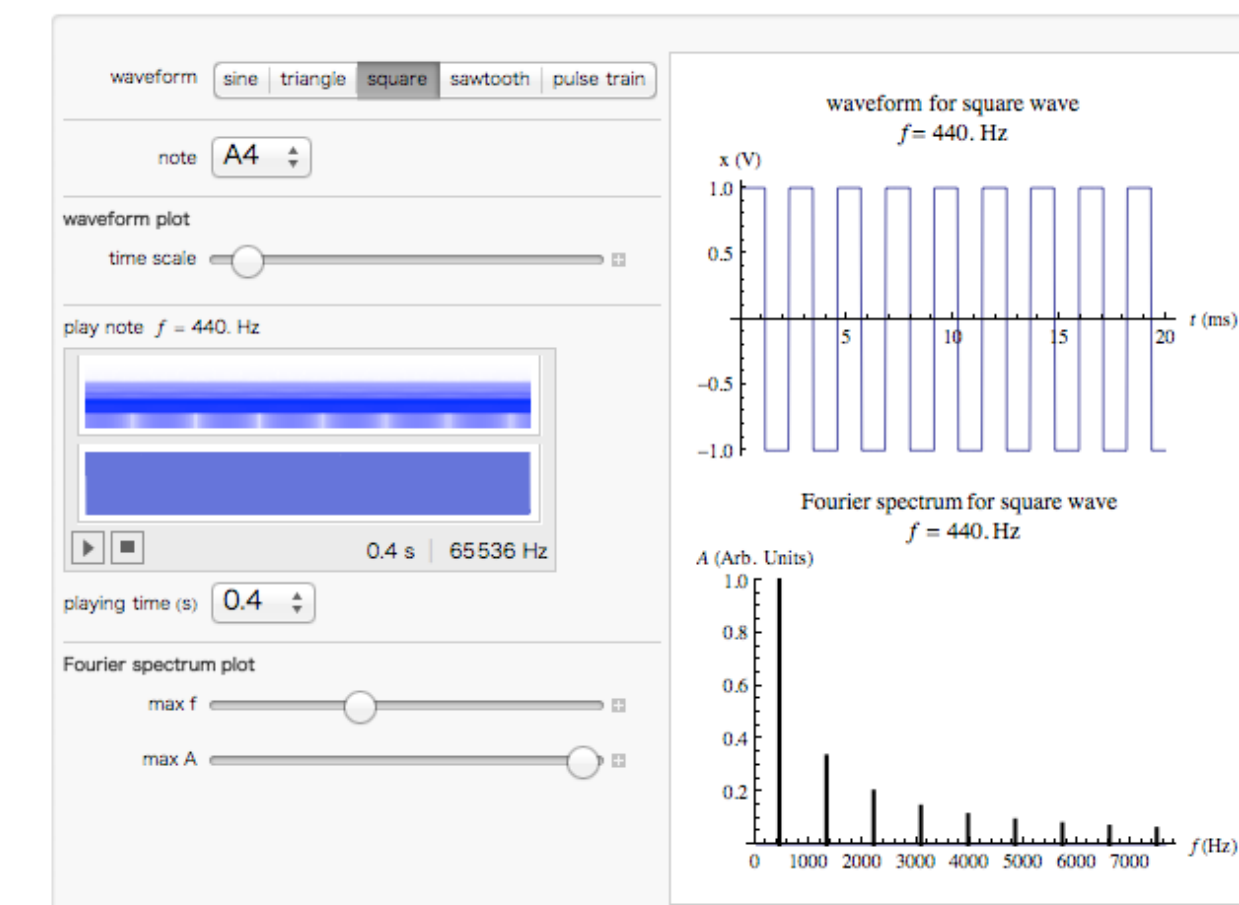
(d) 母音(ア)



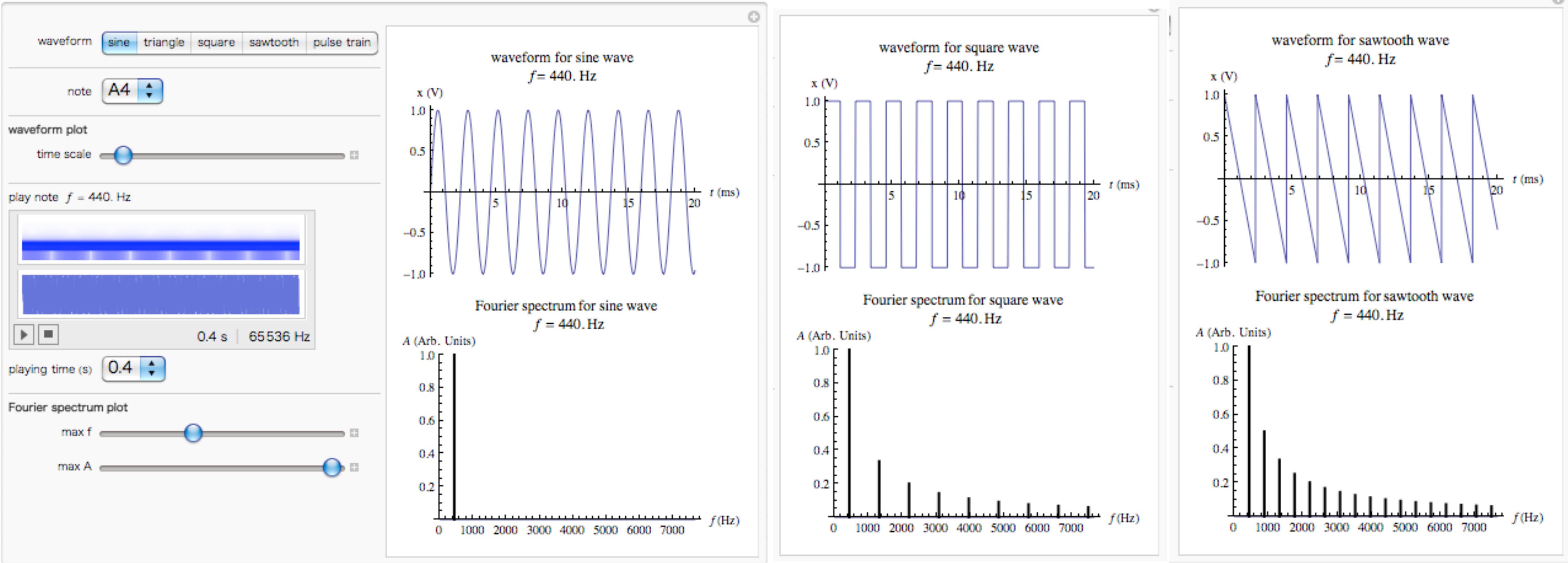
(e) 騒音



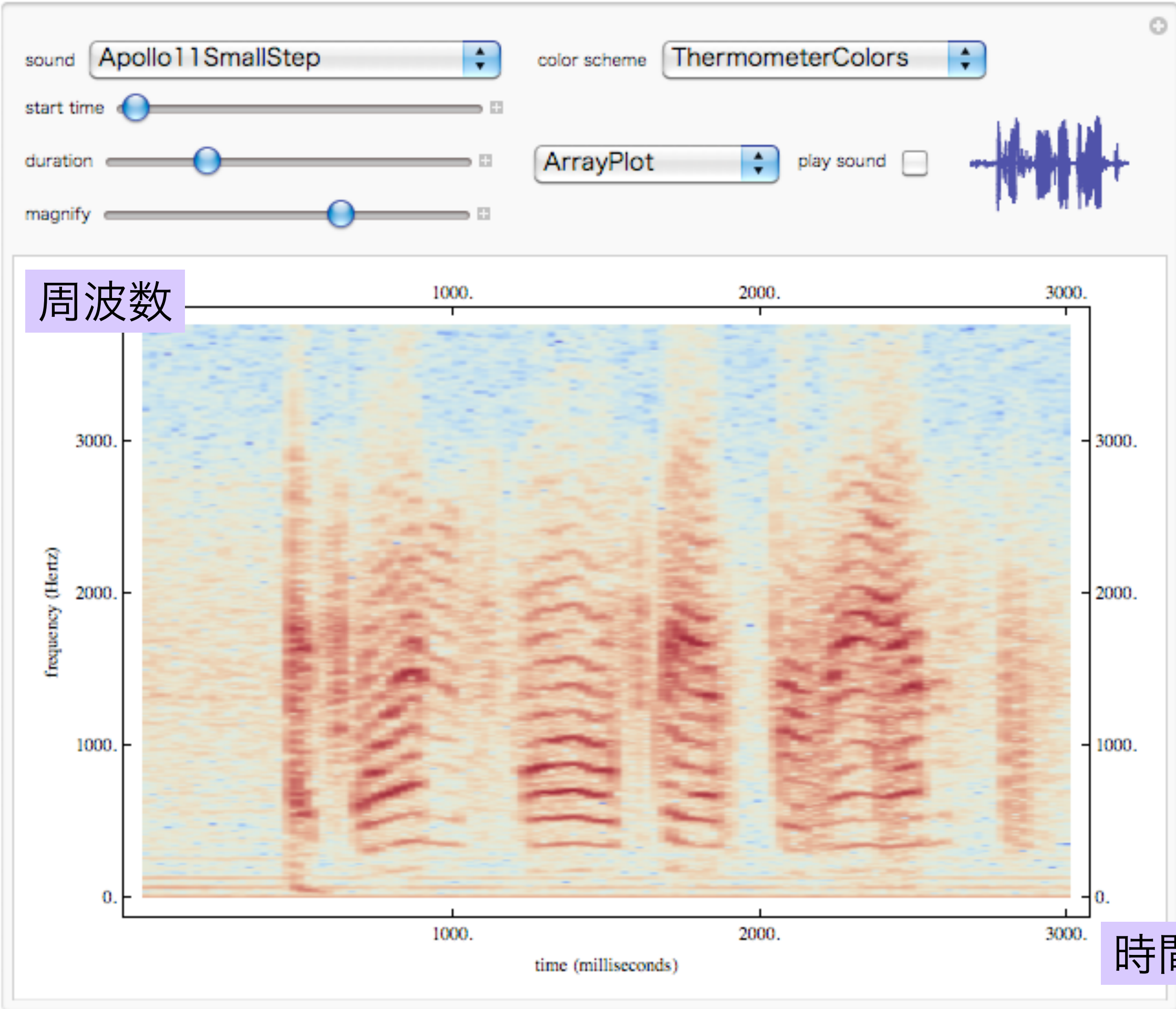
Sounds of Waveforms



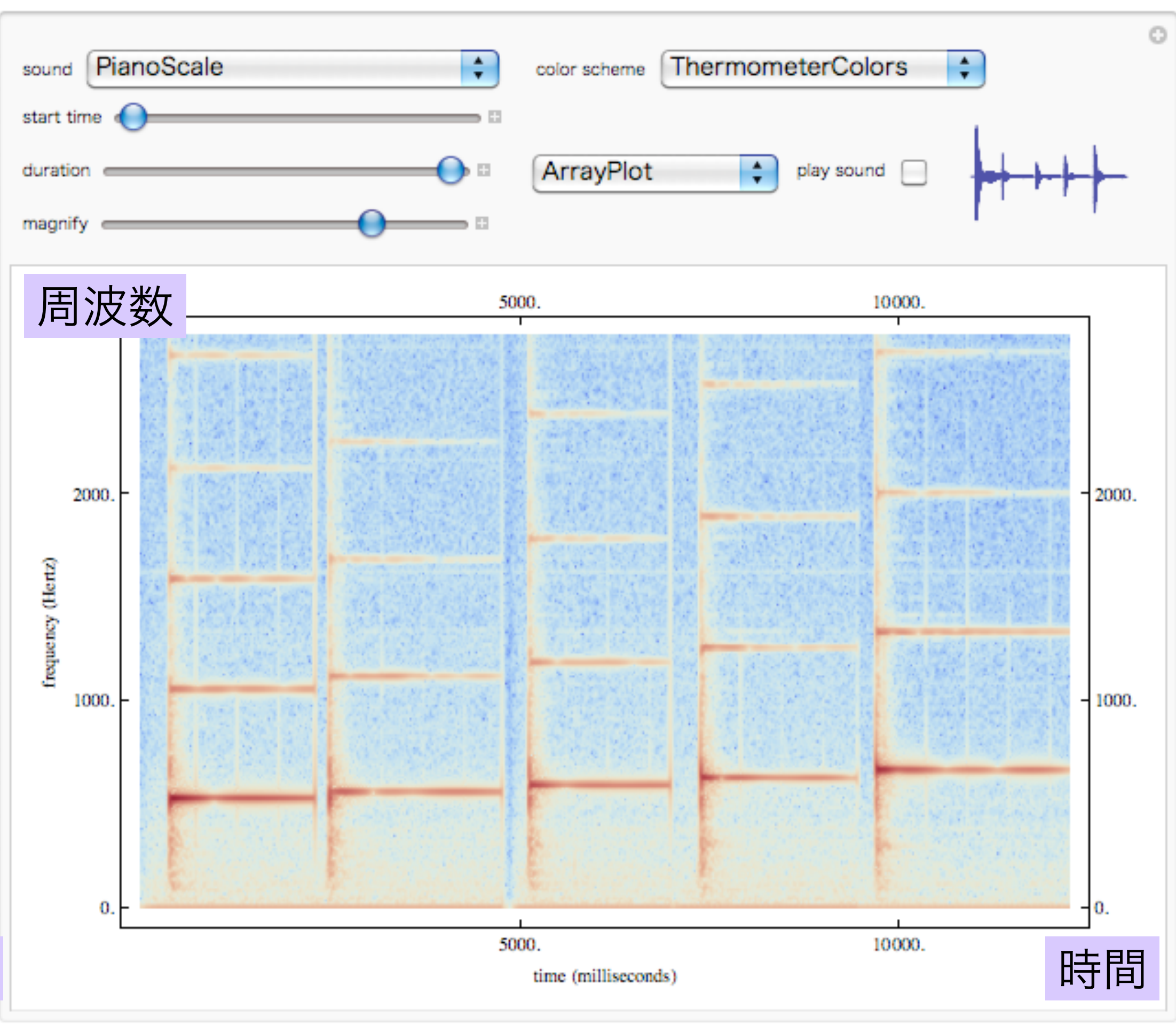
Sounds of Waveforms



Audio Spectrogram



人の声



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



1930-2012



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
音名	{	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

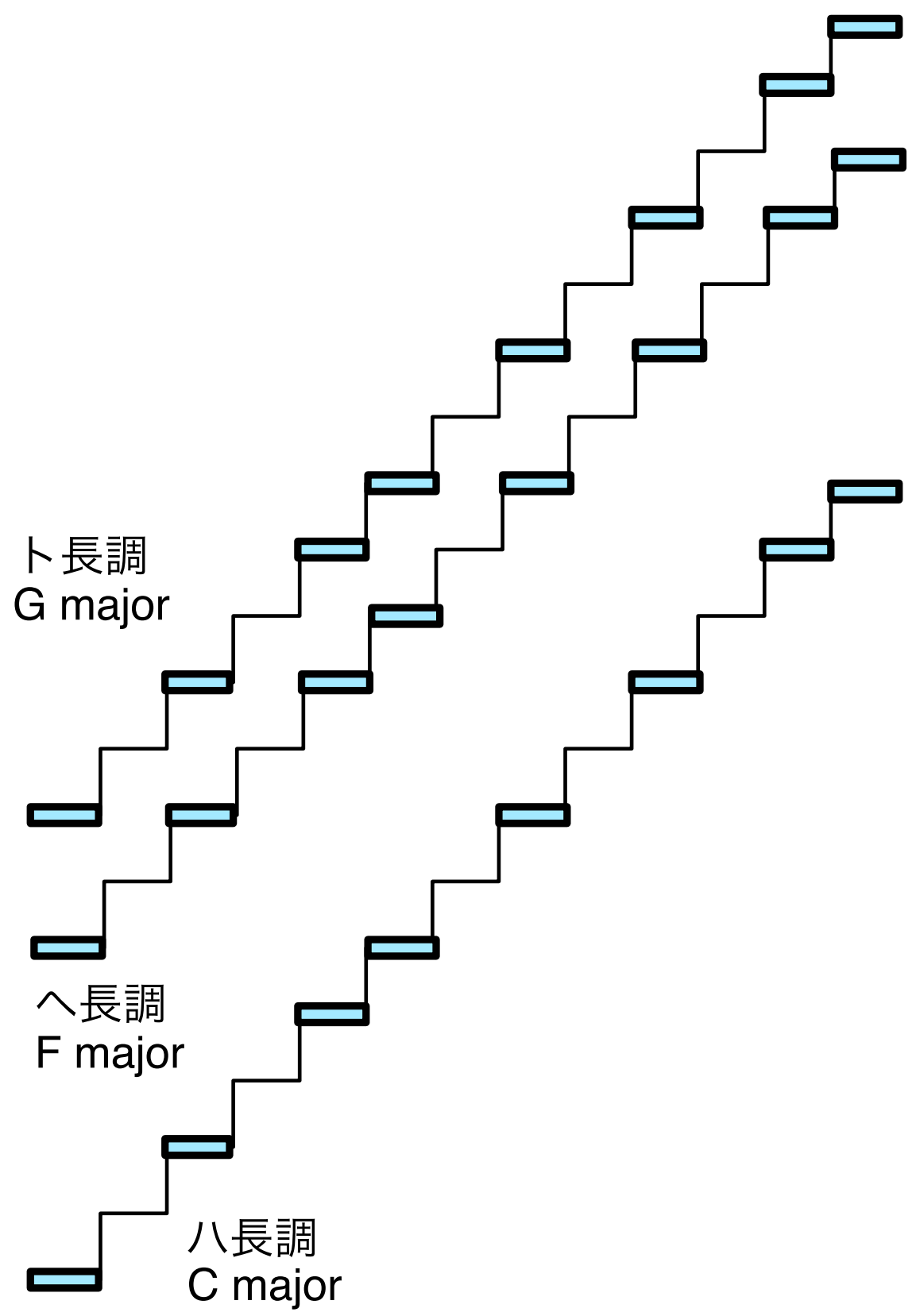
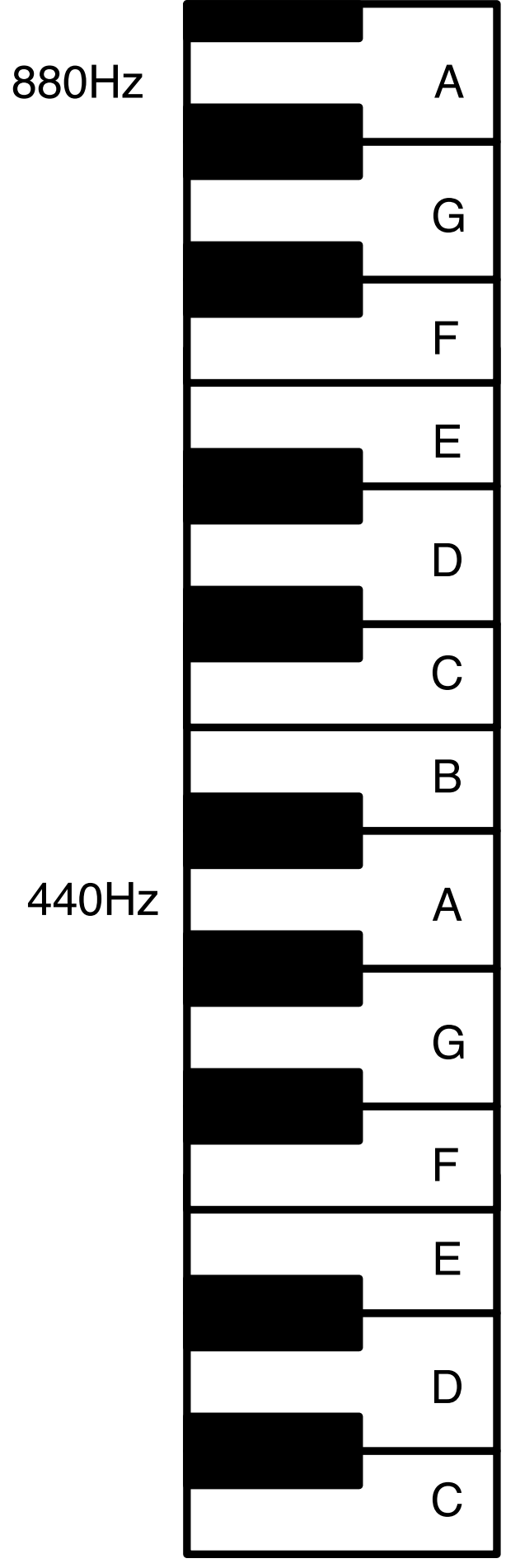
ハ長調

全音 全音 半音 全音 全音 全音 半音

ハ短調

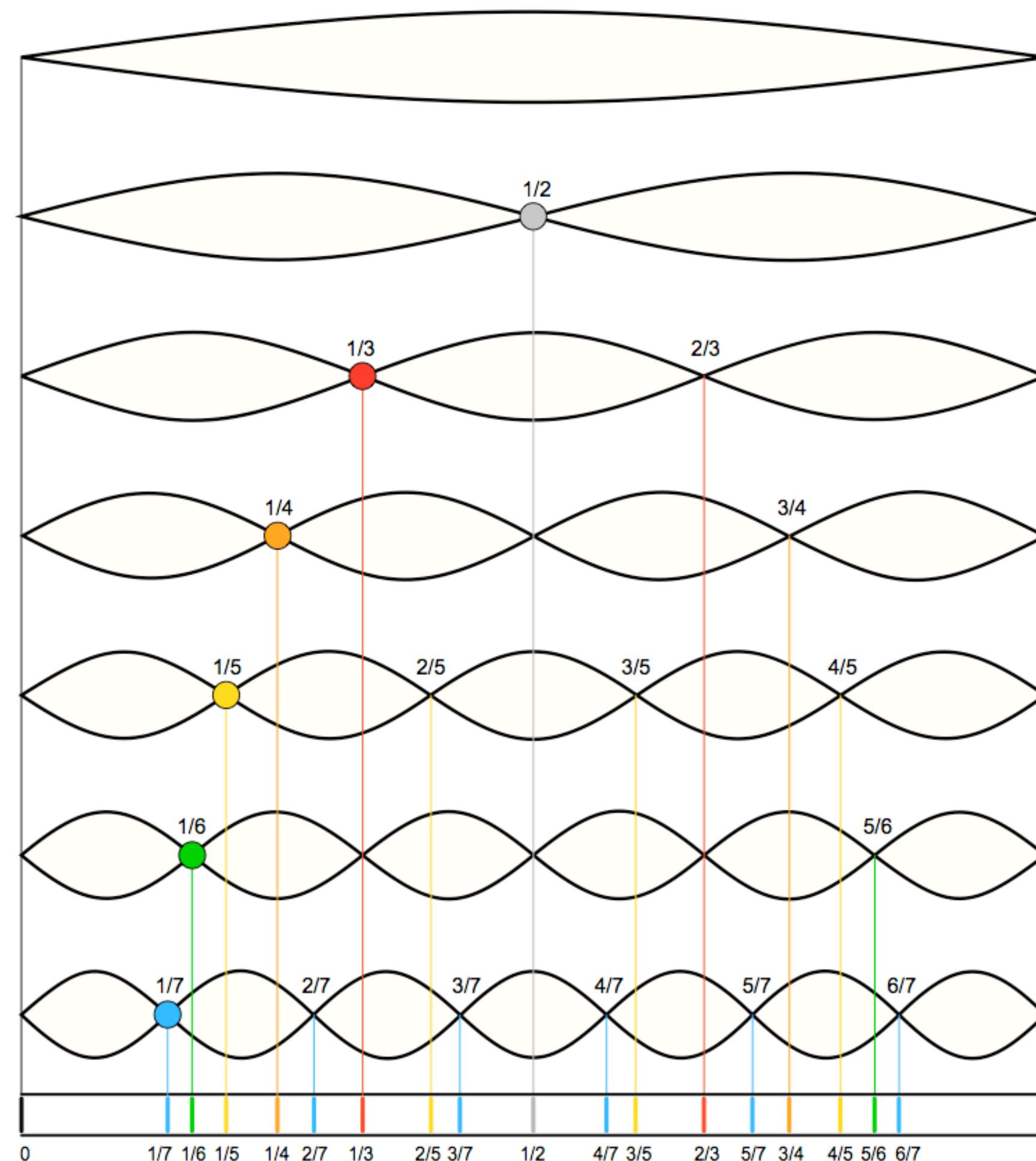
全音 半音 全音 全音 半音 全音 全音

(a) 長調と短調

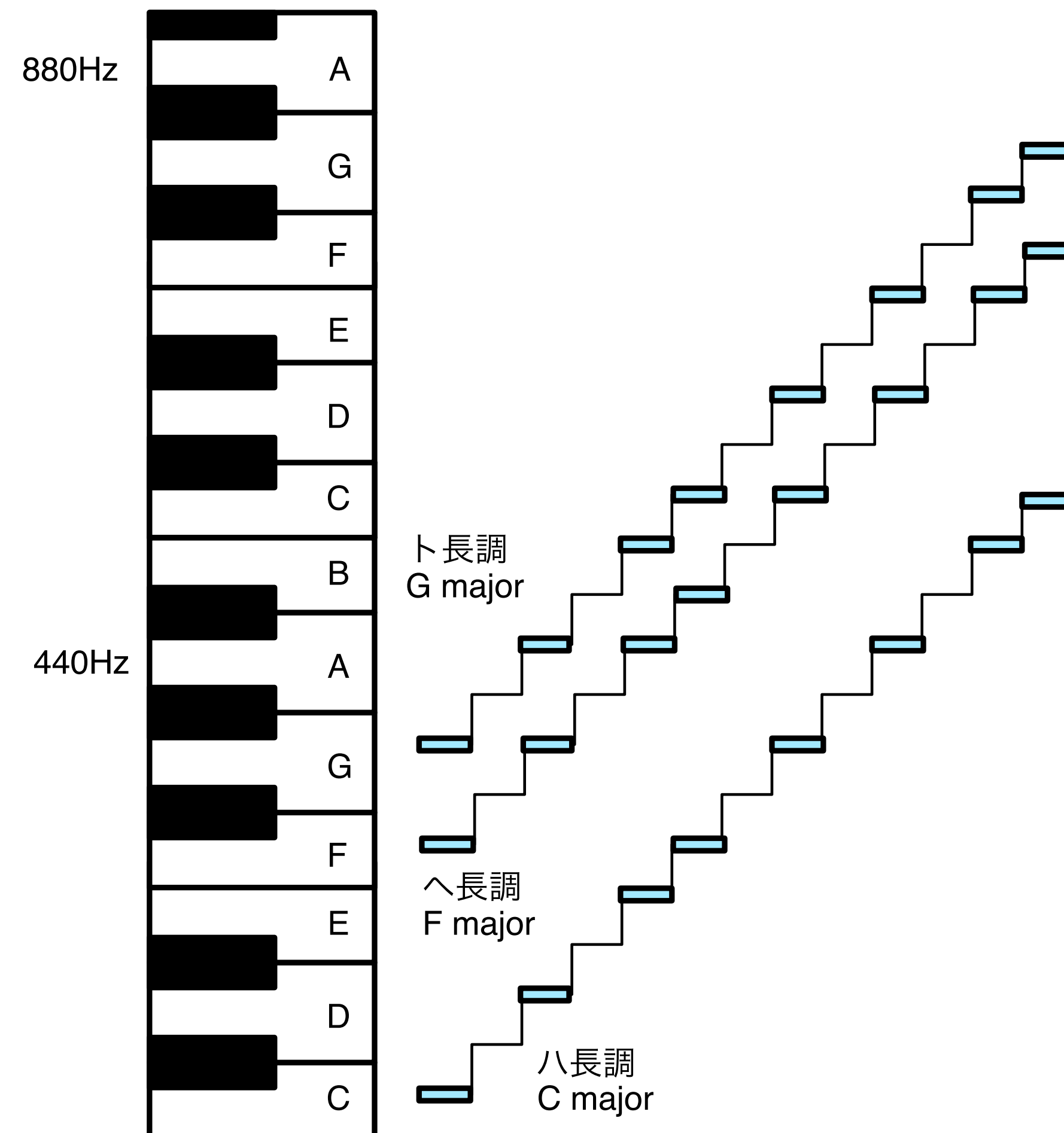


純正律と平均律(1)

- 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。



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

平均律



純正律



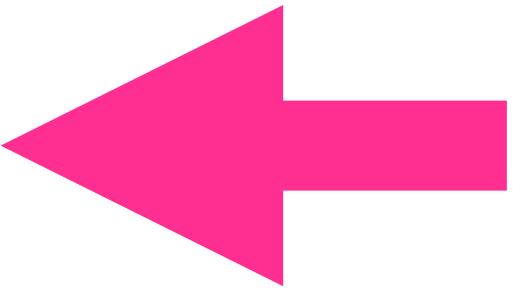
純正律と平均律(4)

平均律	f [Hz]	周波数比率
C	523.3	1.0594
B	493.9	
A	440.0	1.0594
G	415.3	1.0594
F	392.0	1.0594
E	370.0	1.0594
D	349.2	1.0594
C	329.6	1.0594
B	311.1	1.0594
A	297.3	1.0594
G	277.2	1.0594
F	261.6	1.0594

純正律	f [Hz]	周波数比率
C	528.0	$6/5$
B	495.0	
A	440.0	$5/4$
G	396.0	$5/4$
F	352.0	$6/5$
E	330.0	$4/3$
D	297.0	$5/4$
C	264.0	$9/8$

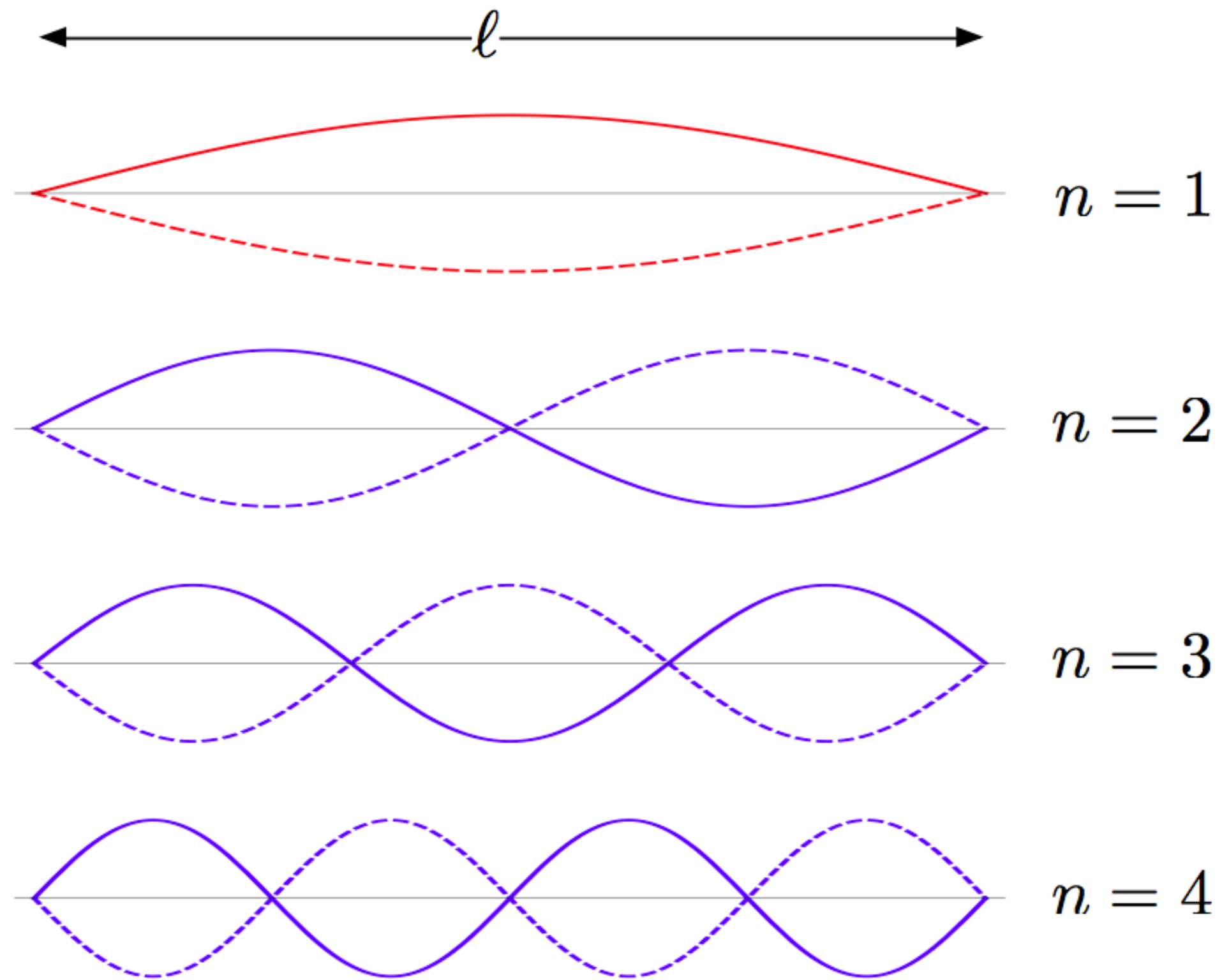
平均律

純正律

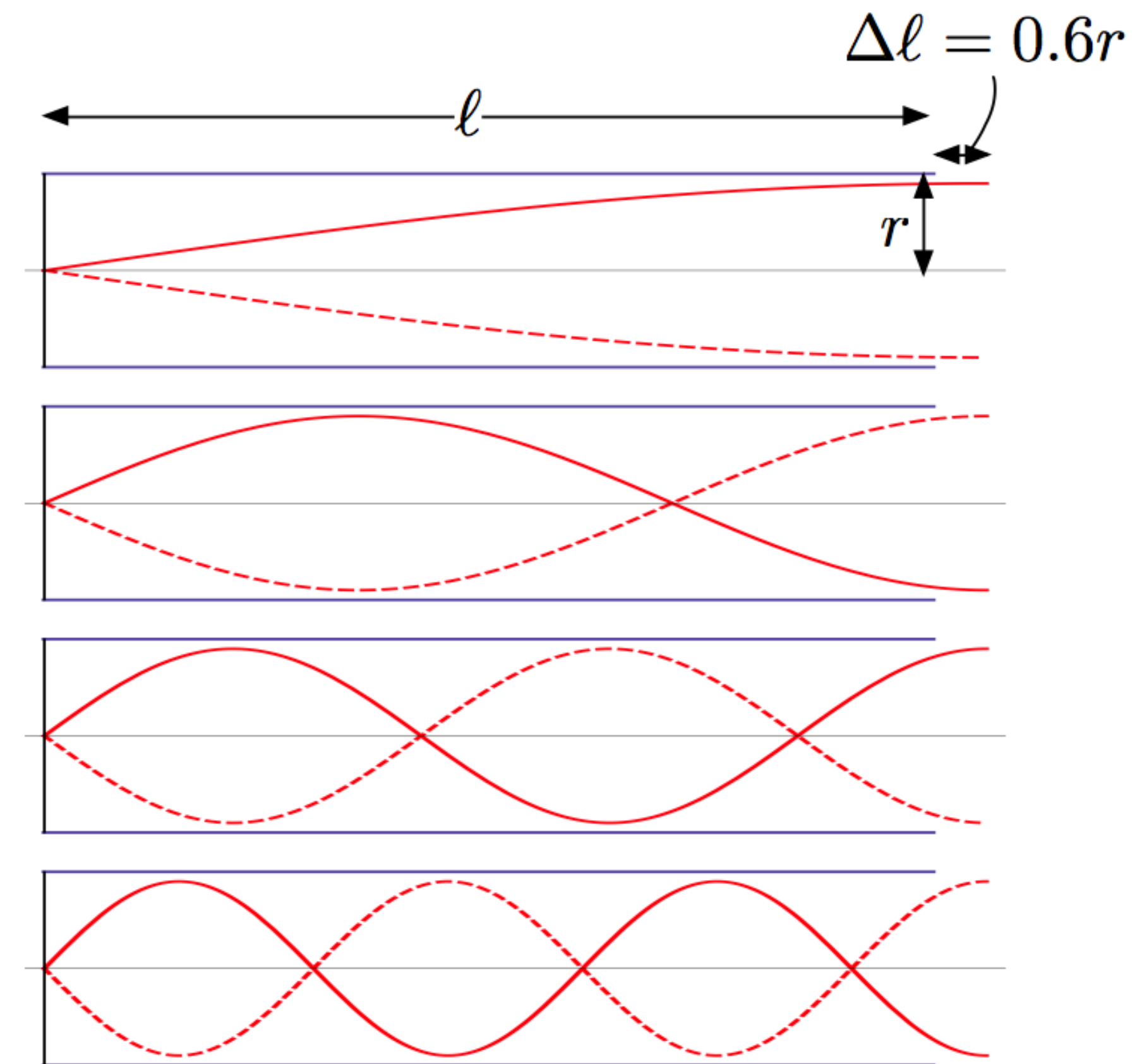


基本振動

弦の振動



管内の空気の振動



きらきら星

作詞 武鹿 悦子
フランス民謡

♩=80

C F C V G7 C G7 C V

きらきらひかる おそらのほしよ

C F C G7 V C F C G7 V

まばたきしては みんなをみてる

C F C V G7 C Dm G7 C

きらきらひかる おそらのほしよ

ドレミの歌

オスカー・ハマーシュタイン 作詞

リチャード・ロジャーズ 作曲

ベギー 葉山 日本語詞

Allegretto e animato

C G⁷

1. ド は ドーナ ツ の ド レ は レ モ ン の
2. ど ん な と き に も れ つ を ー く ん

C F

レ ー ミ は み ん な の ミ ファ は
で ー み ん な た の し く ファ イ

C⁷ F

ファ イ ト の ファ ー ソ は あ お い そ ら
ト を も っ て ー そ ら を あ お い で

D G E

ー ラ は ラ ッ バ の ラ ー シ は
ー ラ ラ ラ ラ ラ ラ ー し あ

C C⁷ F G⁷ 1. C

し あ わ せ よ ー さ あ う た い ま しょう
わ せ の う た ー さ あ う た い ま

さんぽ

歌 井上 あずみ

作詞 中川 李枝子

作曲 久石 譲

♩=120 ♩=♩³

Intro. F G7/F Em7 Am7 Dm7 G7 C

A C G C Em/B Am Dm7 G7

あ る こう あ る こう わ た し は げ ん き

F Em Dm7 G7 C

あ る く の ー だ い す き ど ん ど ん ゆ こ う

B Fm C Fm6 C

さ か み ち ー ト ン ネ ル ー く さ っ ば ら

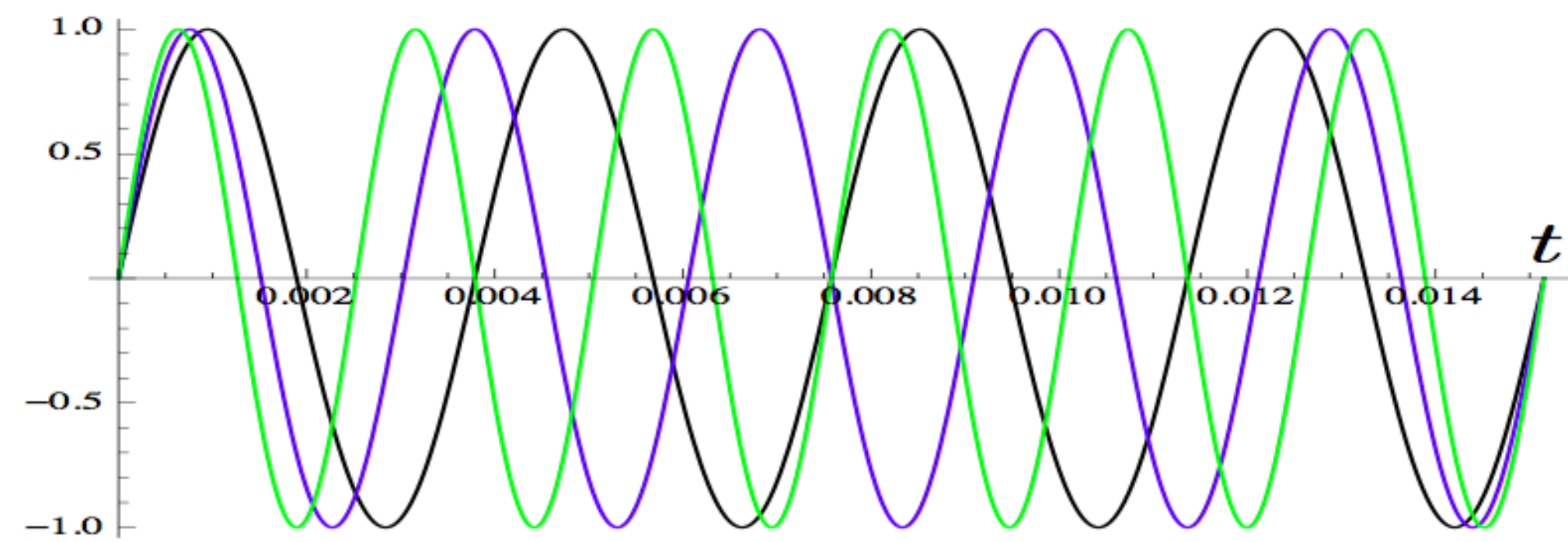
Am Em F D7 G

い っ ぽ ん ば し に ー で こ ぼ こ じ ゃ り み ち

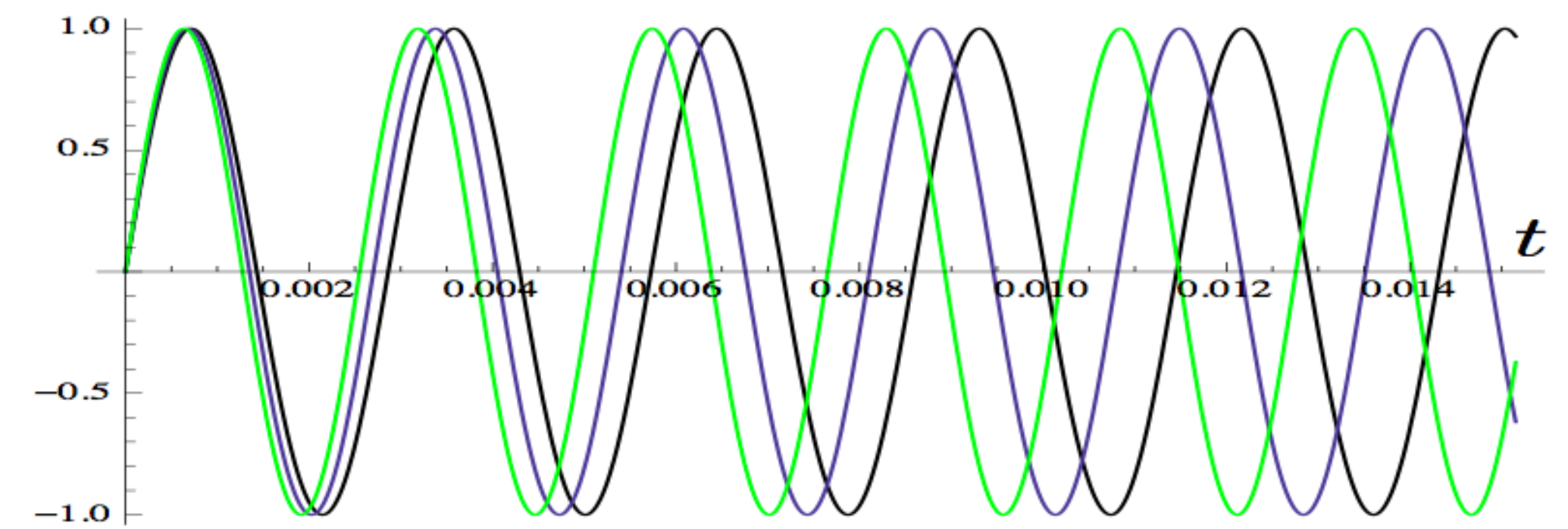
C C Em F G7 C

く も の す く ぐ っ て ー く だ り み ち

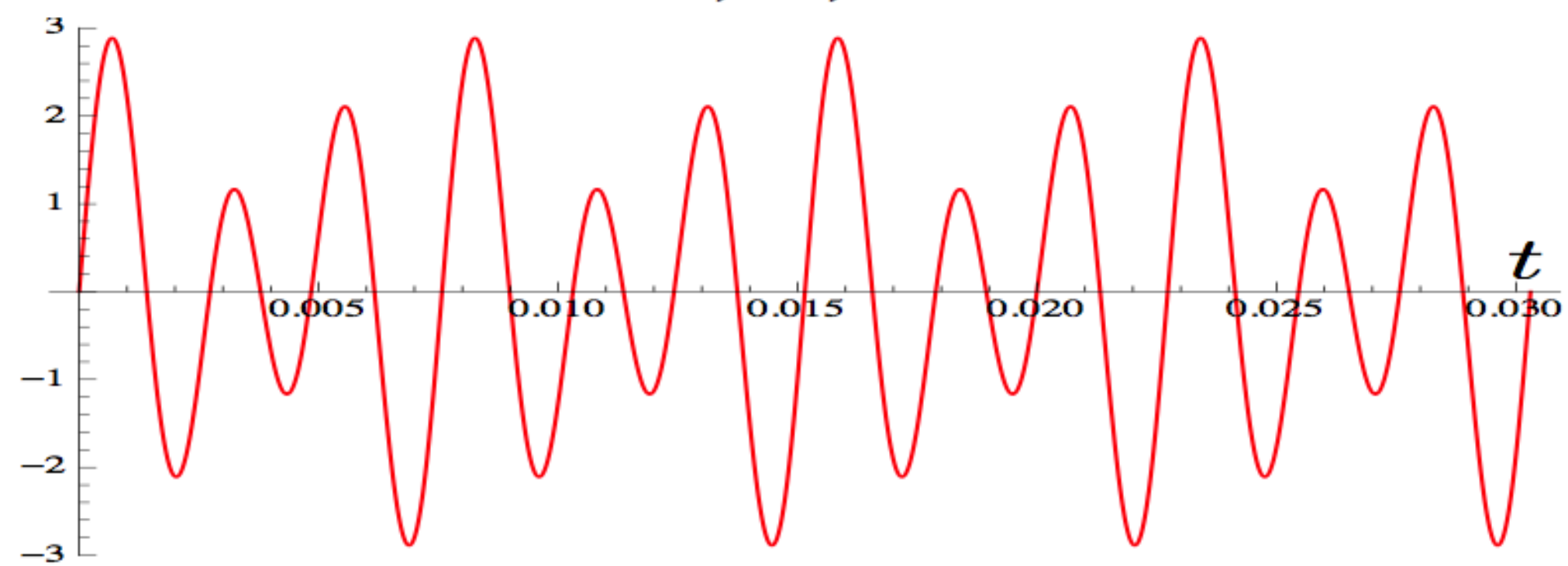
和音



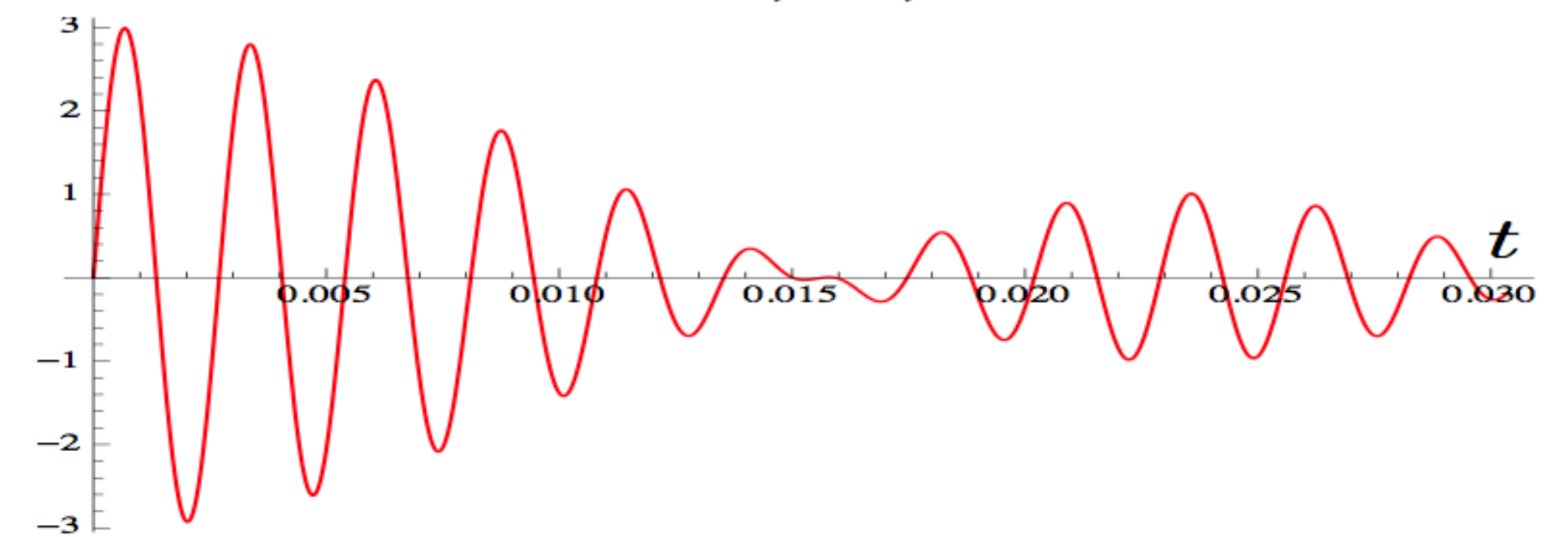
do, mi, so



fa, fa#, so



do+mi+so



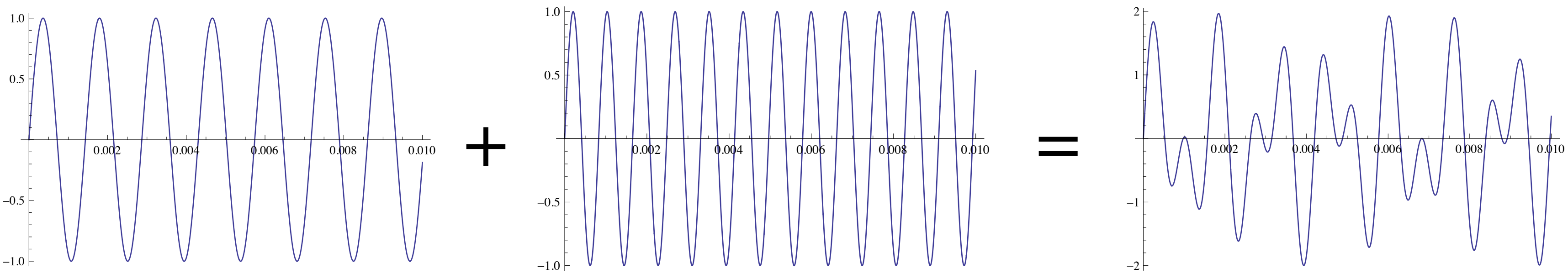
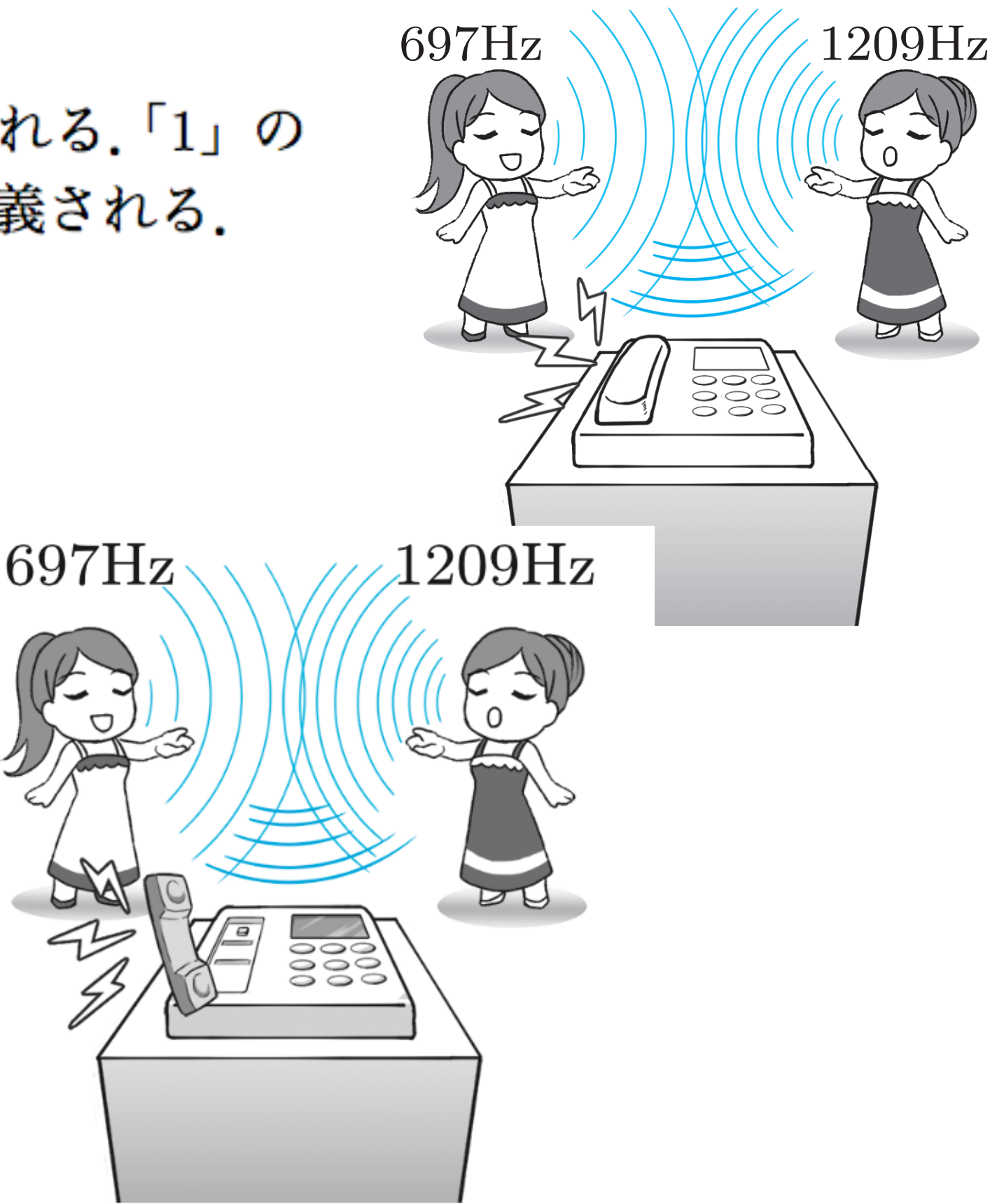
fa+fa#+so

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)

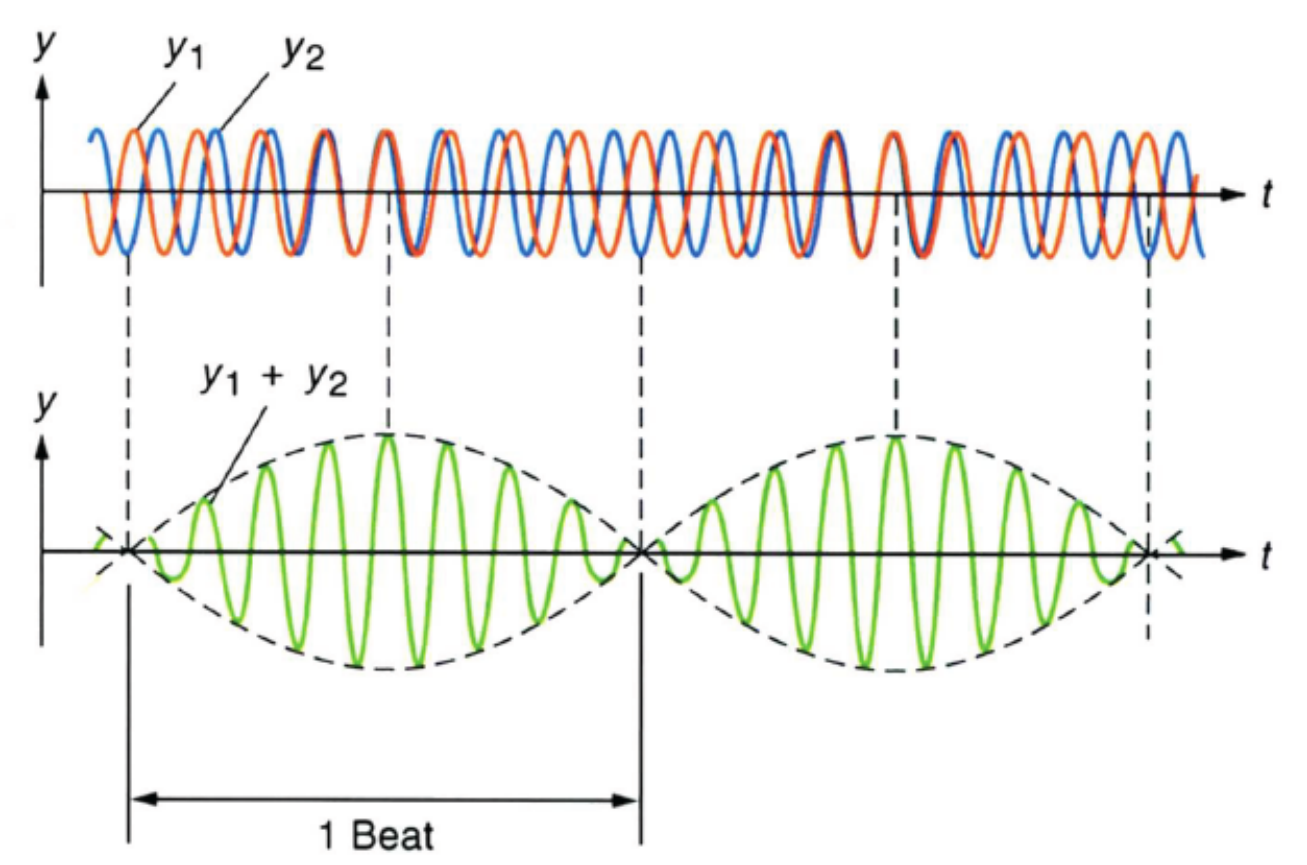
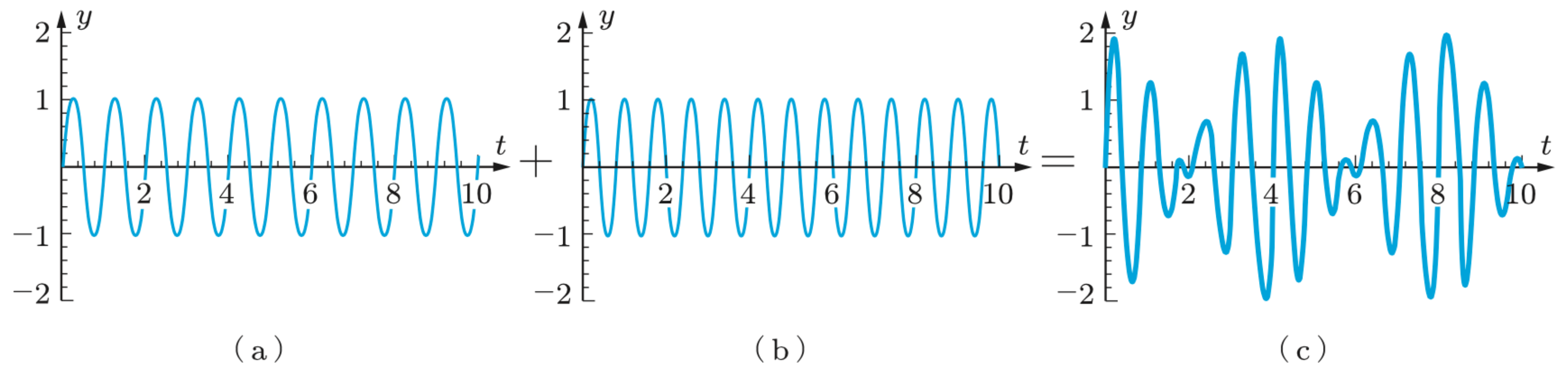


figure 15.23 The two waves with slightly different frequency in the top drawing interfere to produce the beats shown in the lower drawing. The two waves come in and out of phase as time progresses.



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。

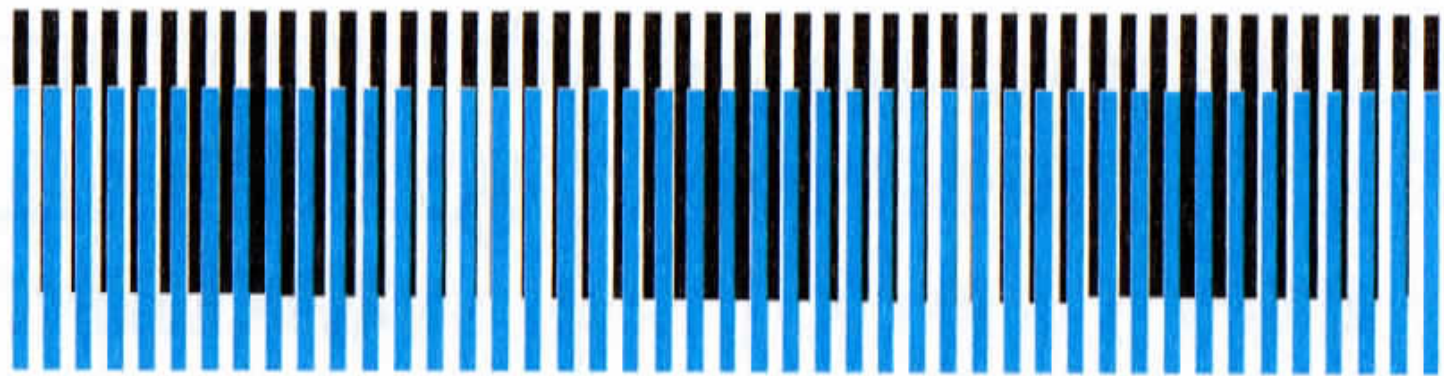
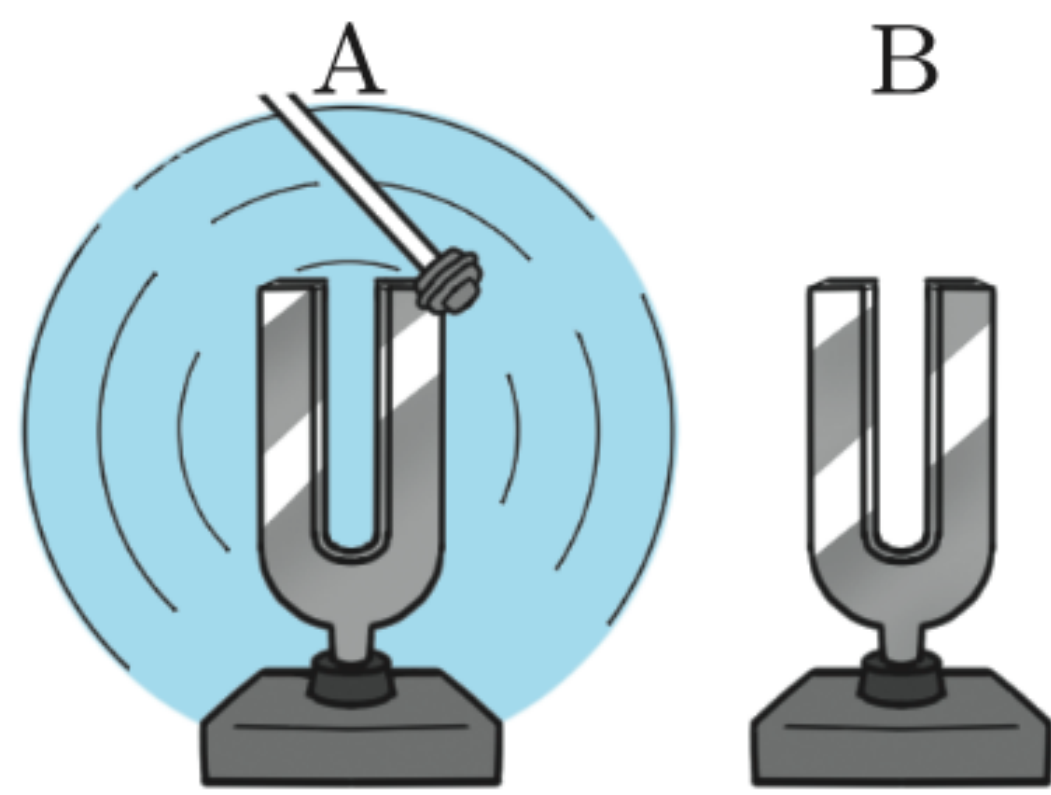
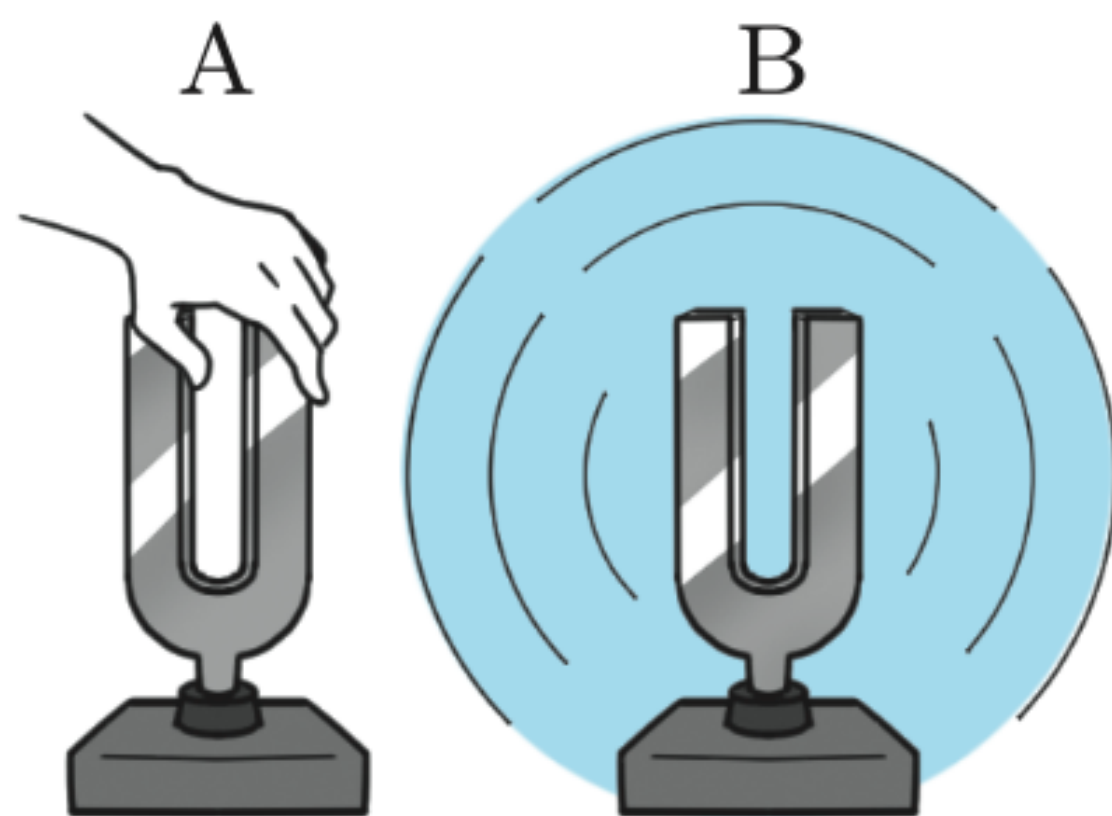


図 5.33 うなり，みえますか？



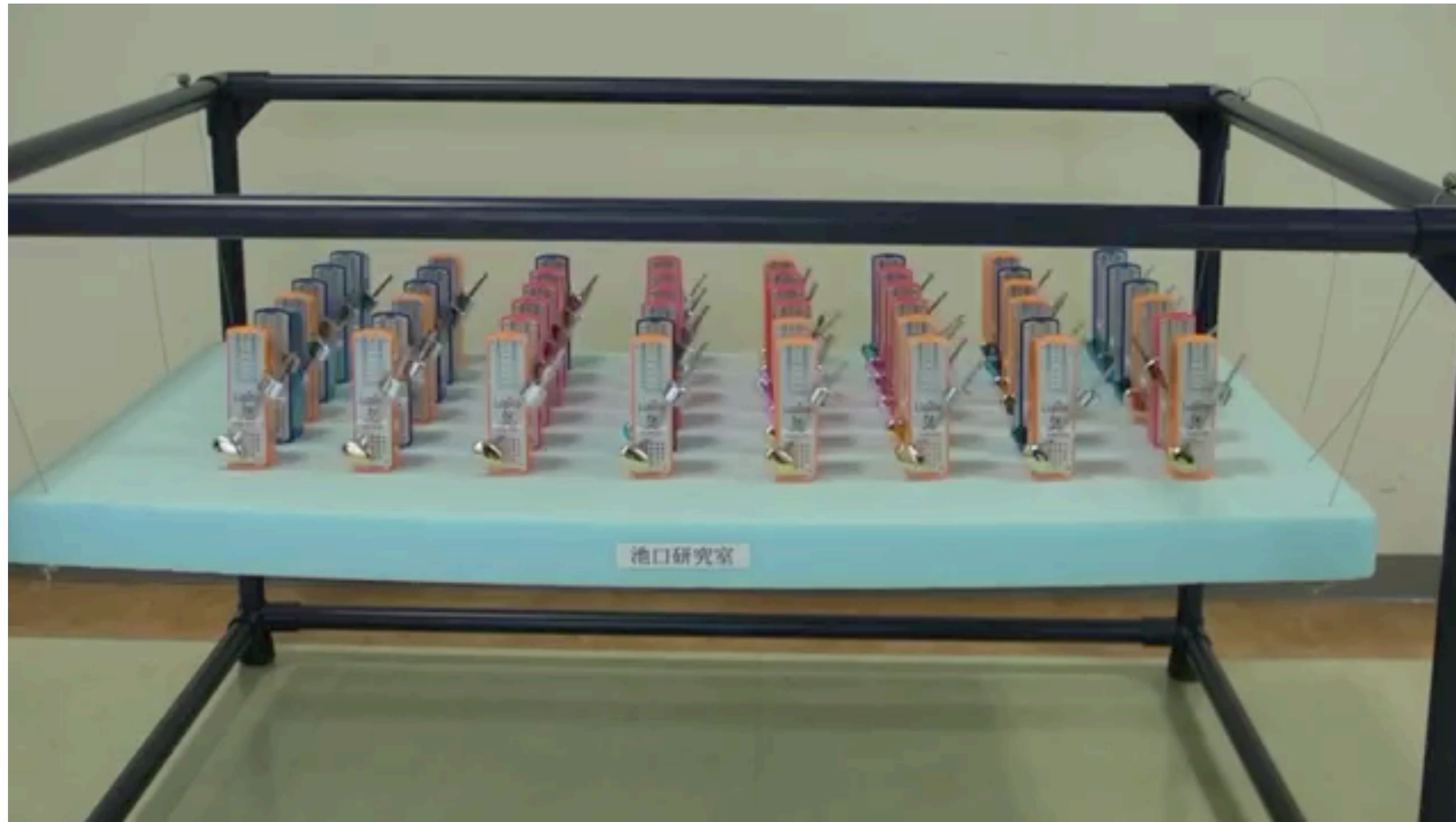
Aを鳴らす

Aを止める
Bは鳴り続ける

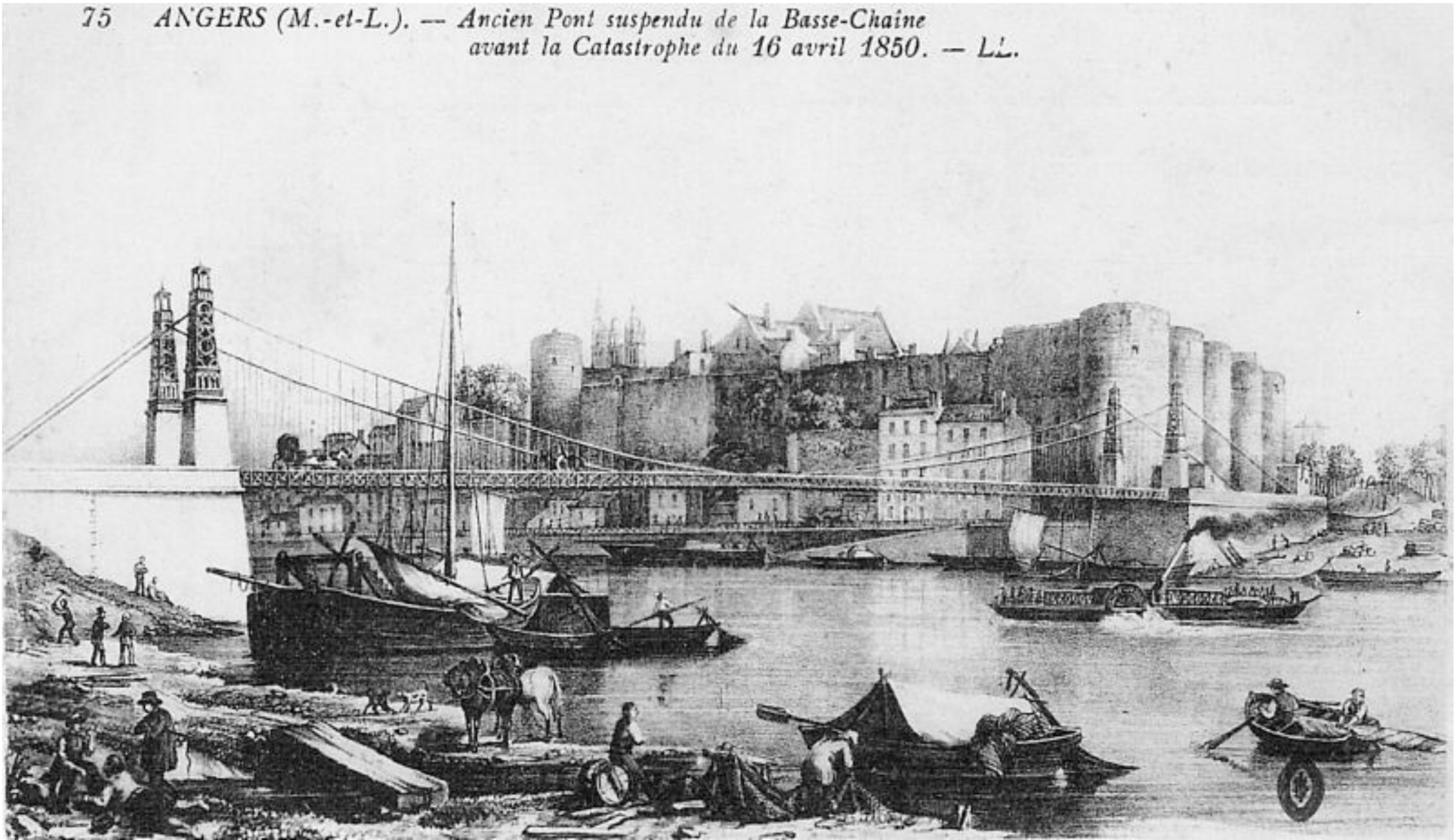
弦や管などには、サイズに応じて振動しやすい固有振動数が存在することを説明した。この固有振動数にあわせた外力を加えると、小さな力でも大きく振れる。この現象を**共振**あるいは**共鳴**という。

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 [\(start on click, 2:40\)](#)



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](#)

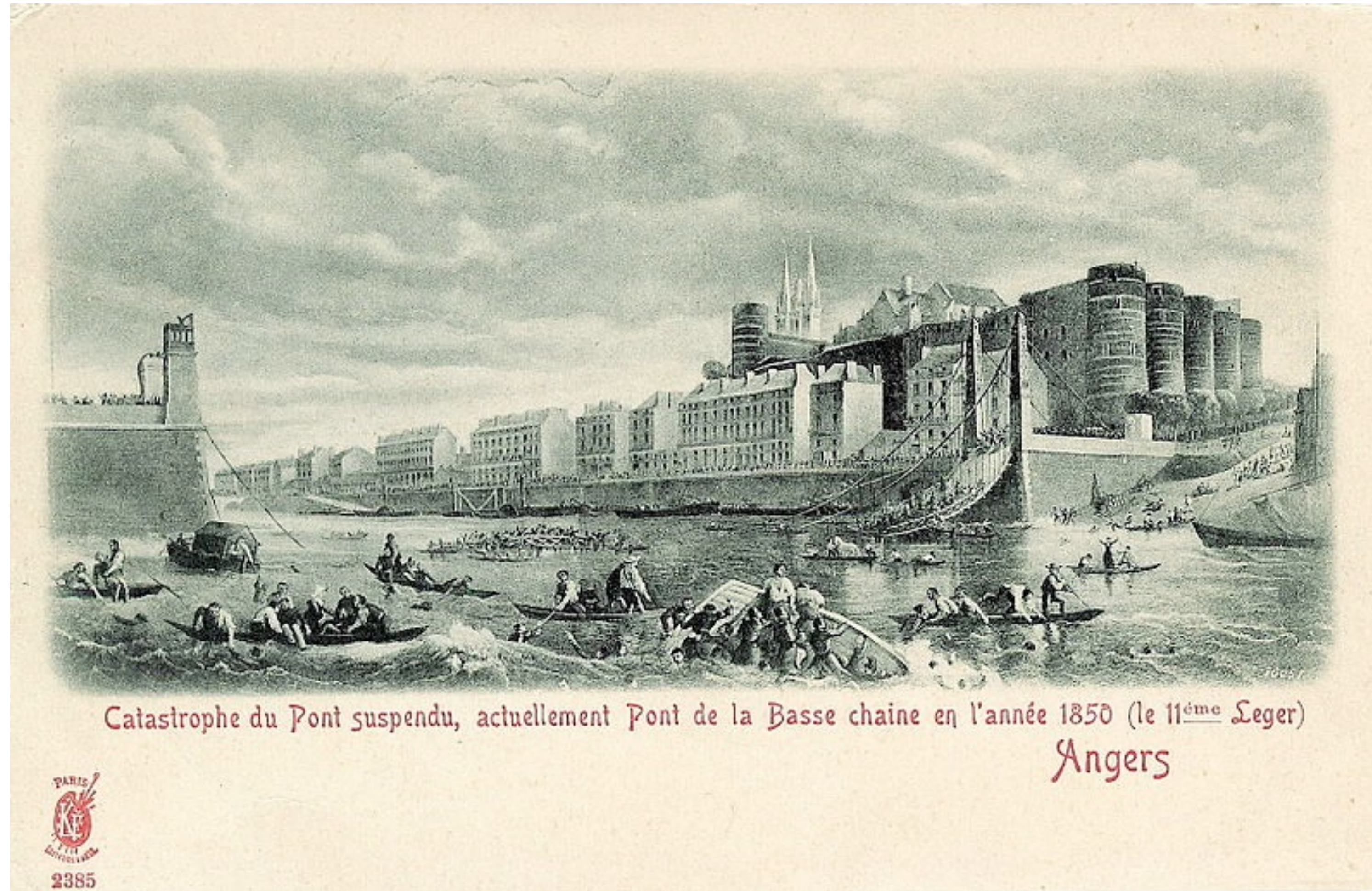
Angers Bridge

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}



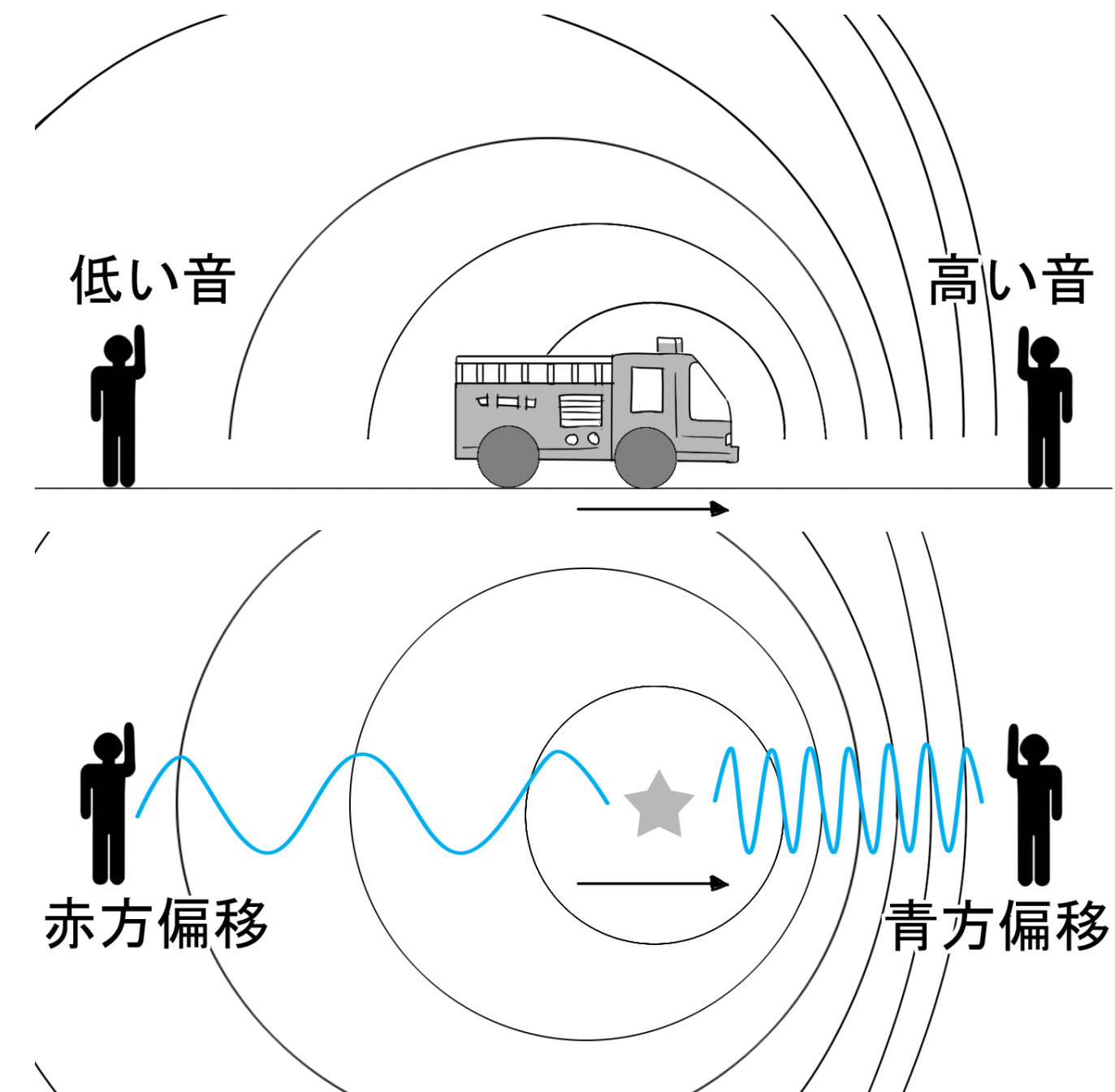
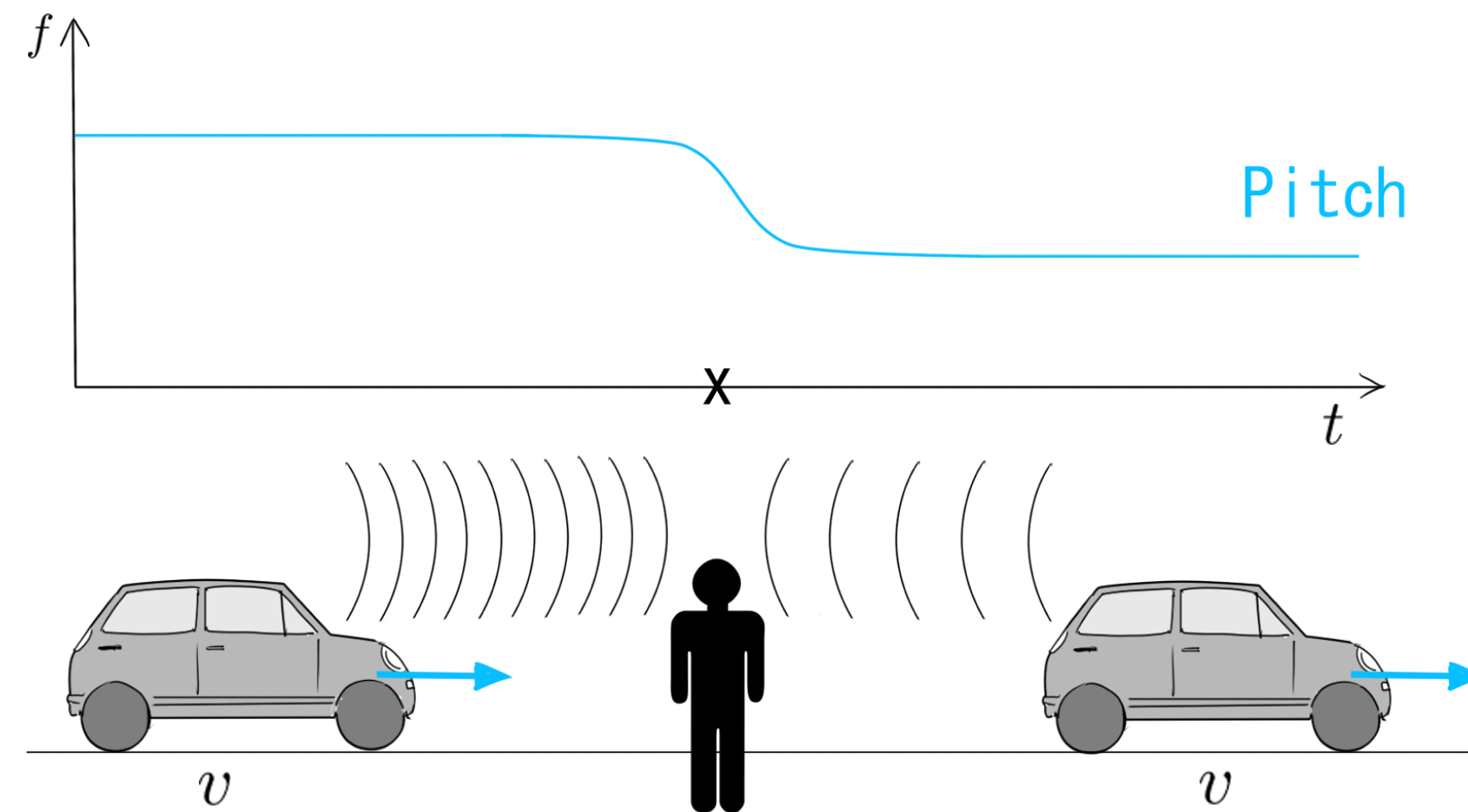
長周期地震動



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

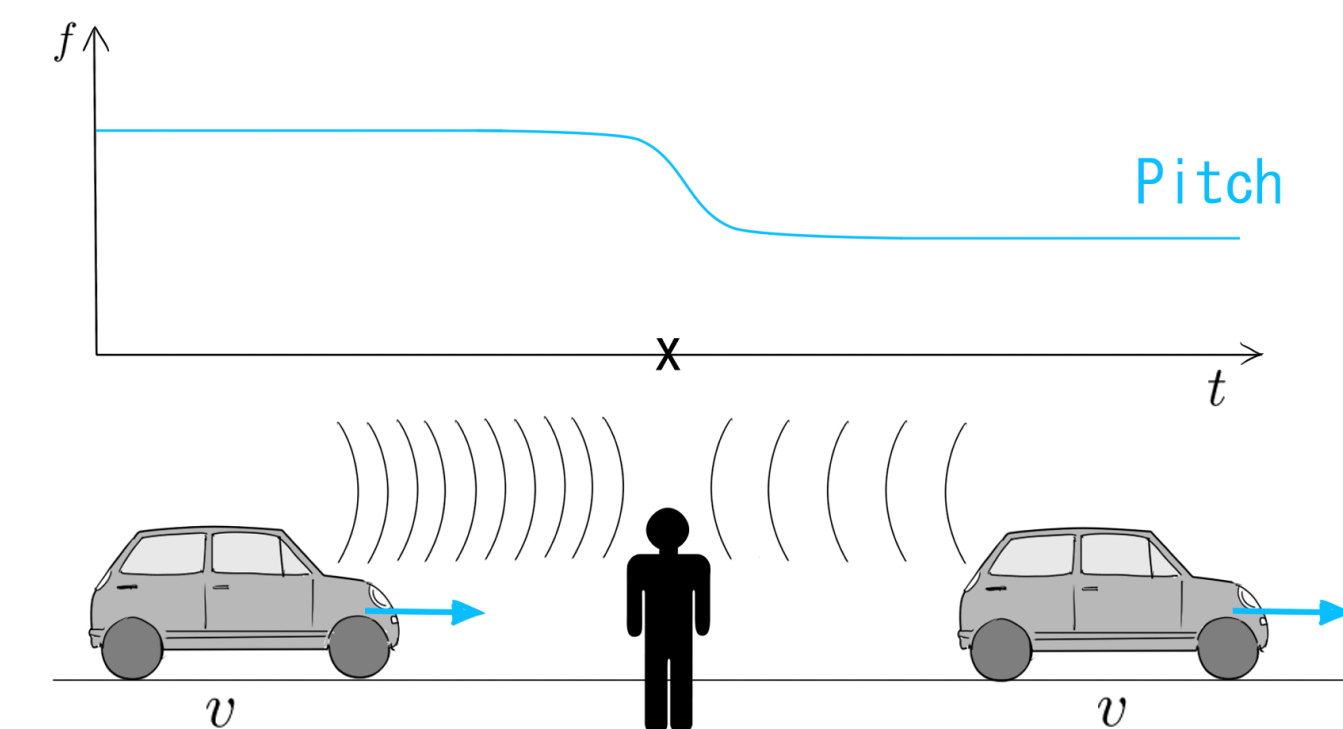
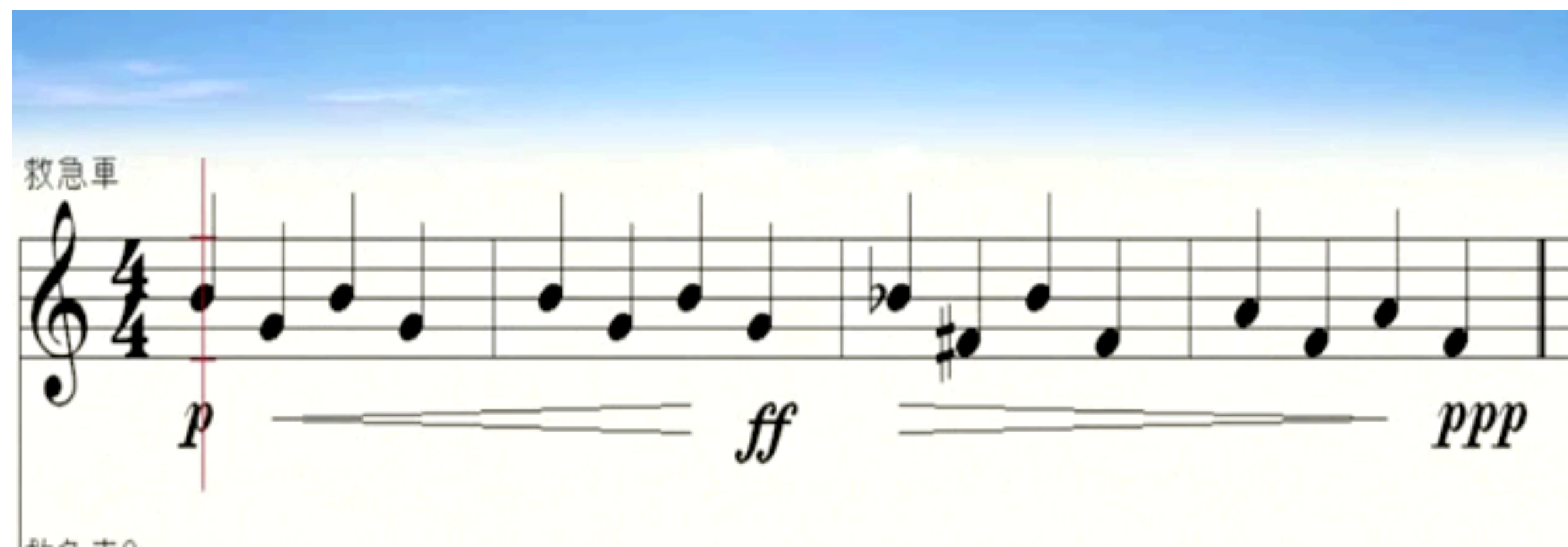
音源と観測者が相対的に遠ざかる = 音が低くなる

ドップラー効果

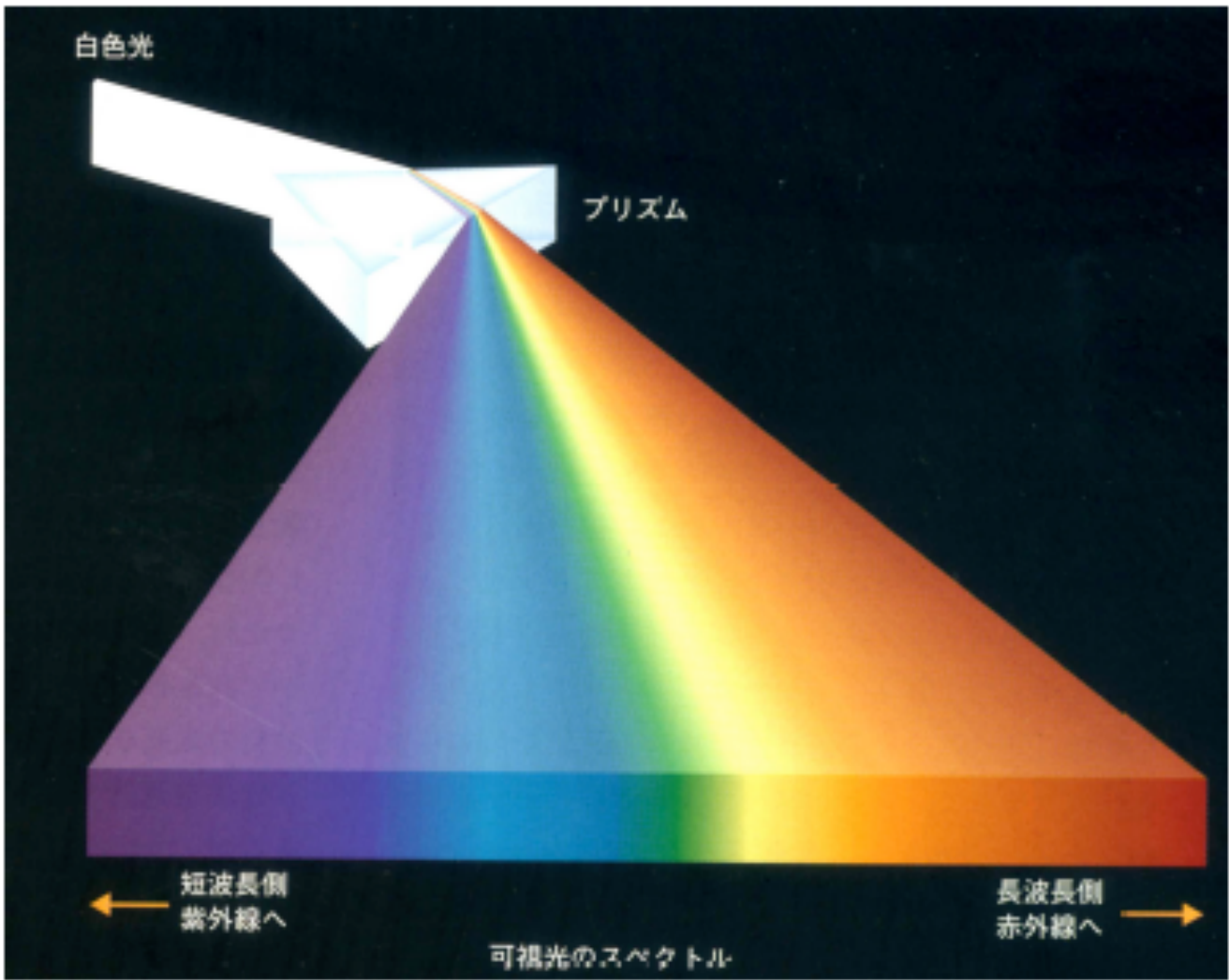


近づくとき
高い音
大きい音に

遠ざかるとき
低い音
小さい音に

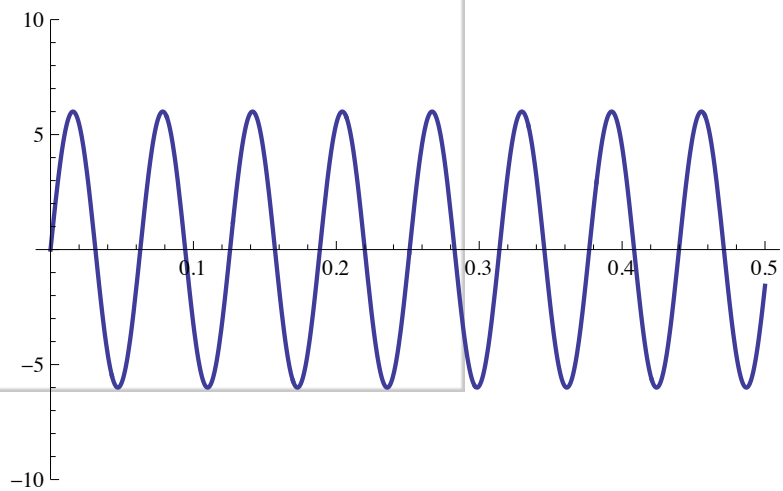
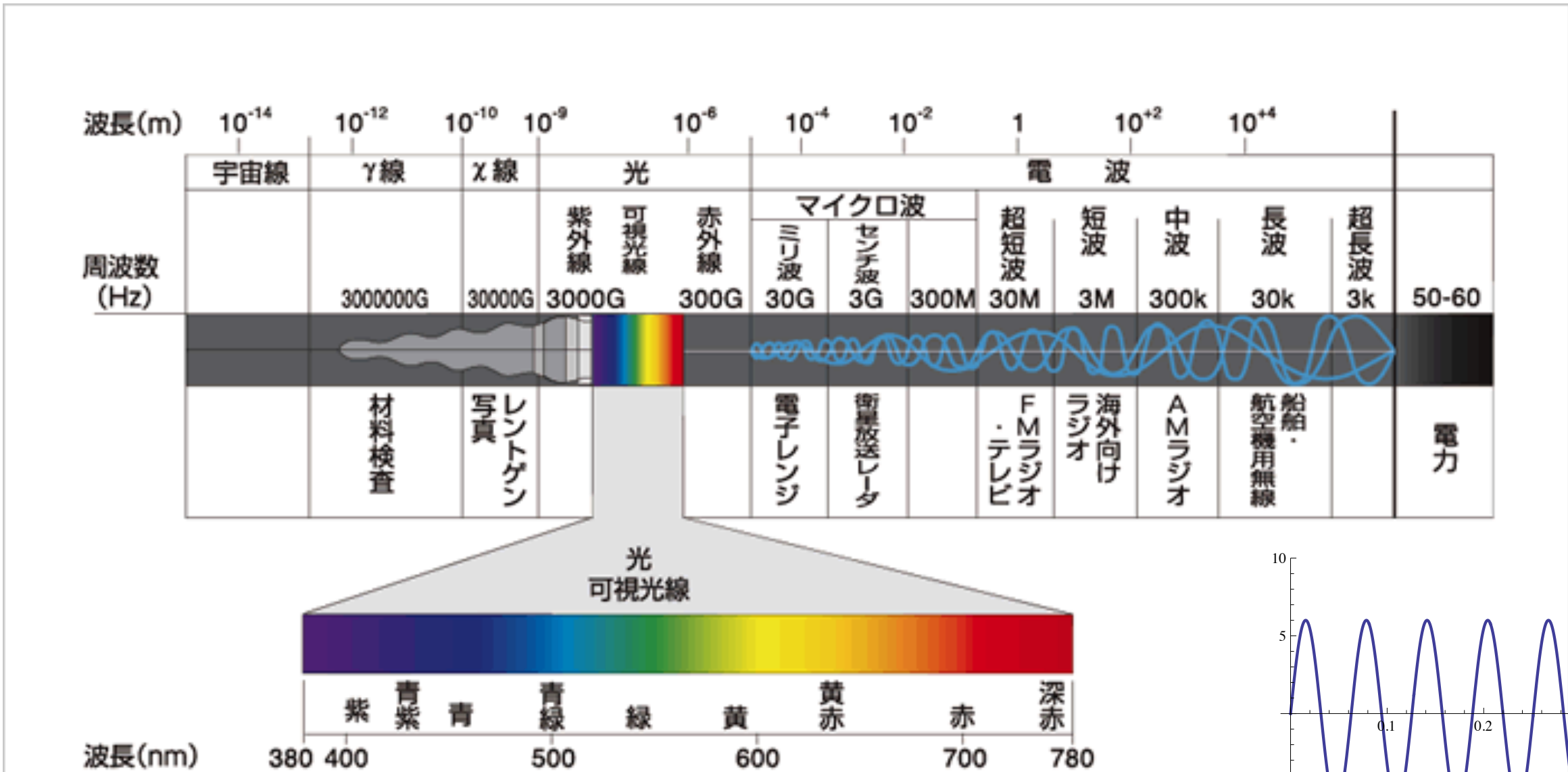
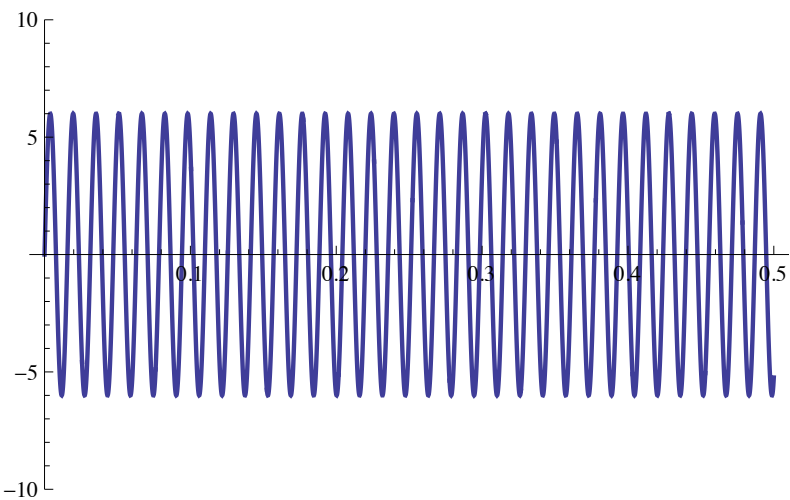


光の色＝振動数

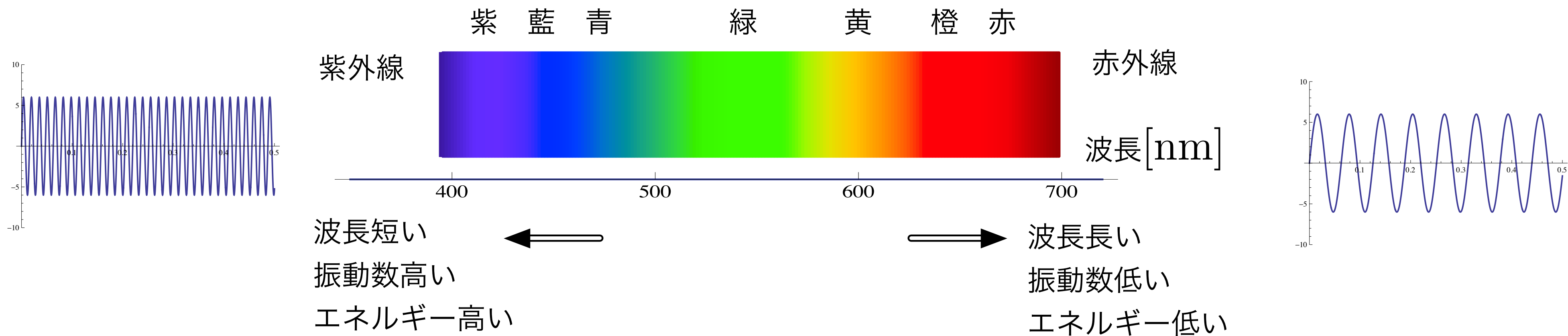


●電磁波の分類

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	FMラジオ	短波ラジオ	AM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

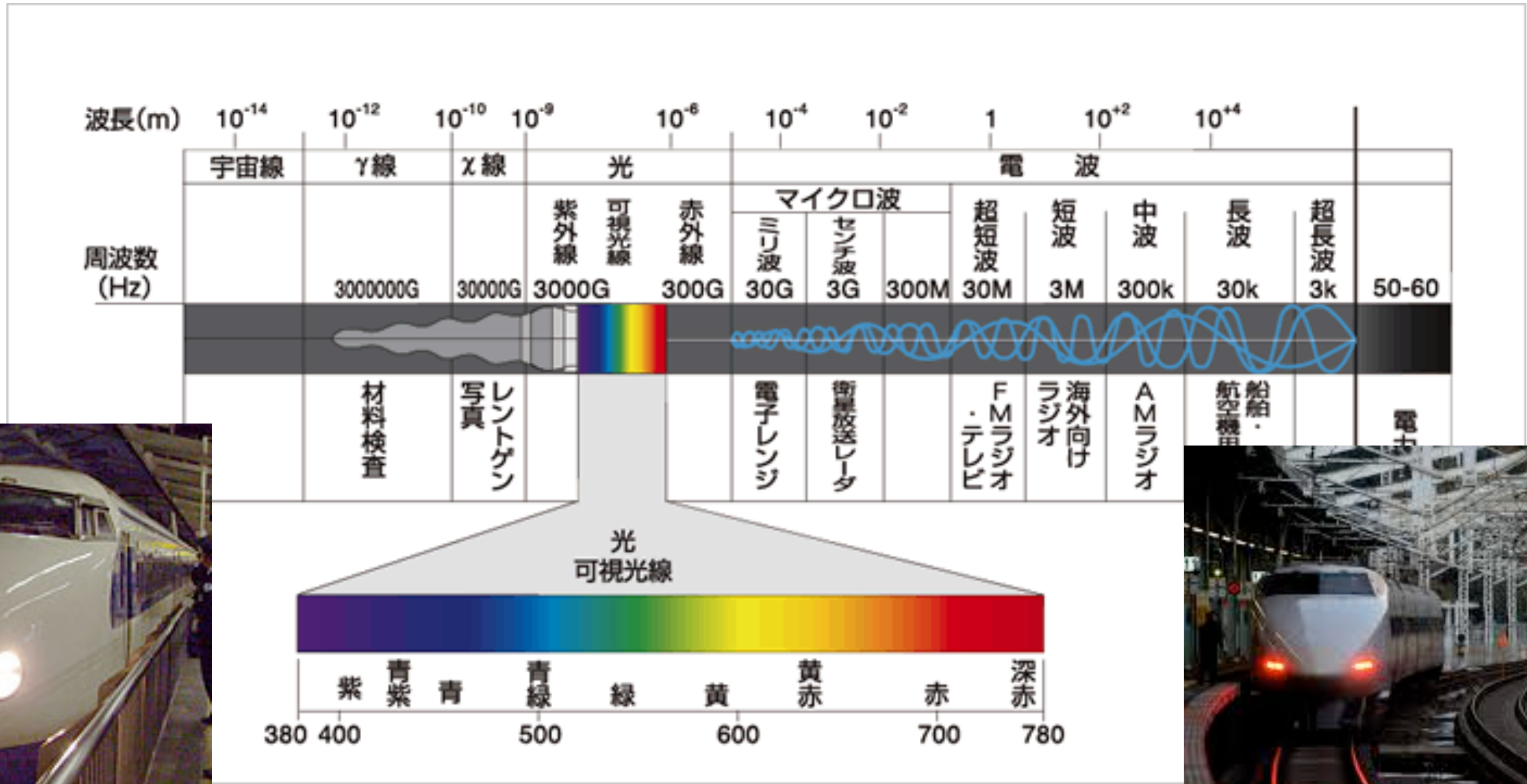
= 音が高くなる

= 色が青くなる

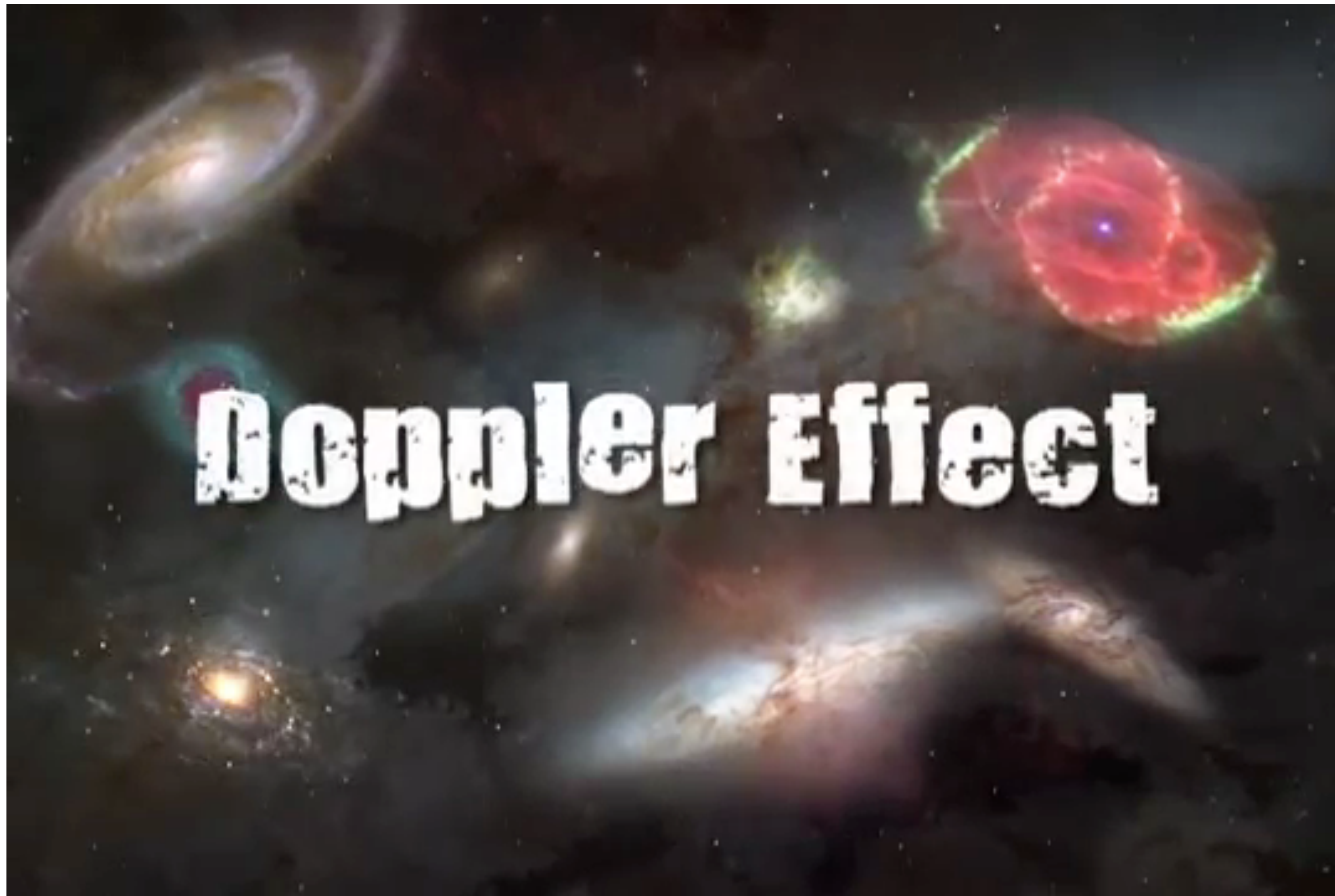
音源と観測者が相対的に遠ざかる

= 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？



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

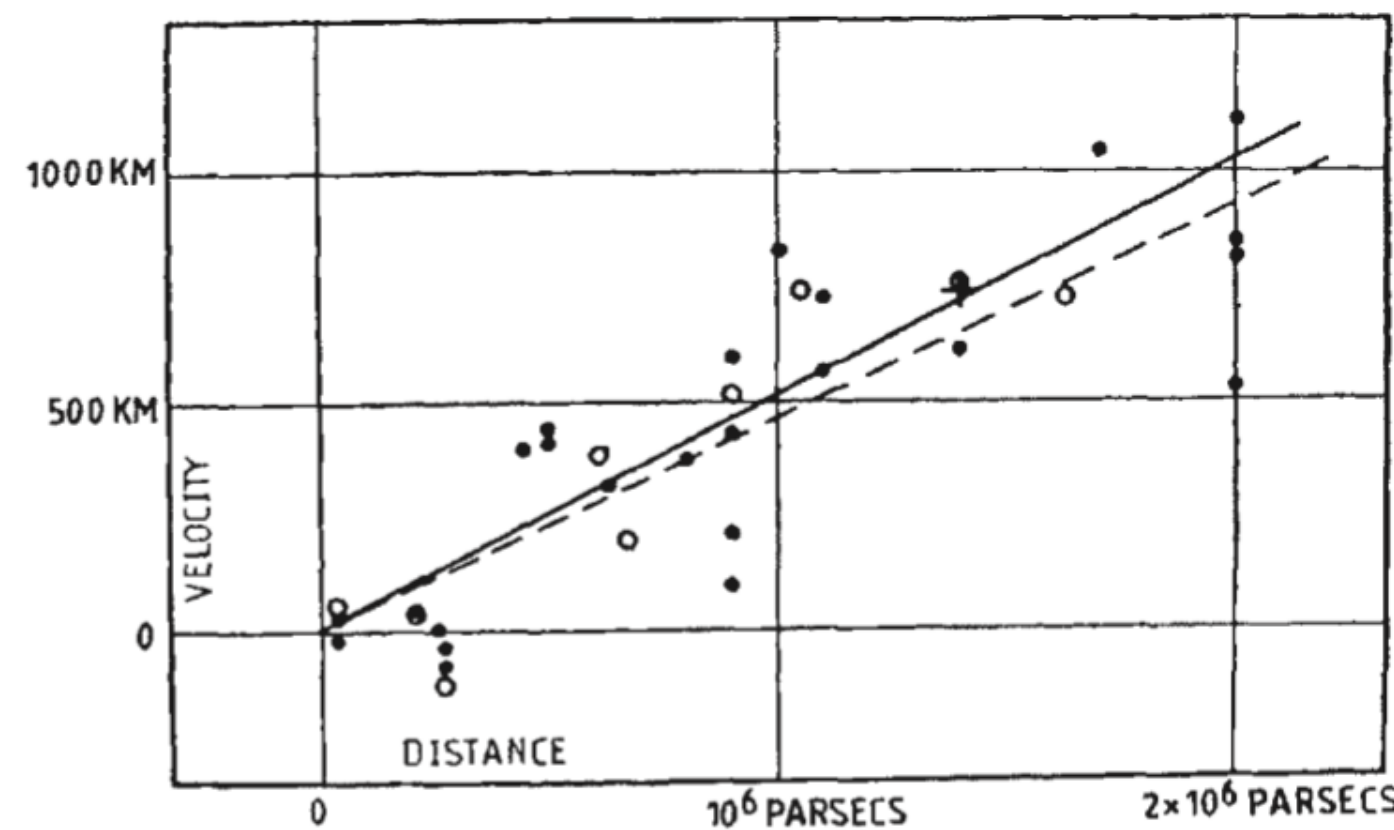
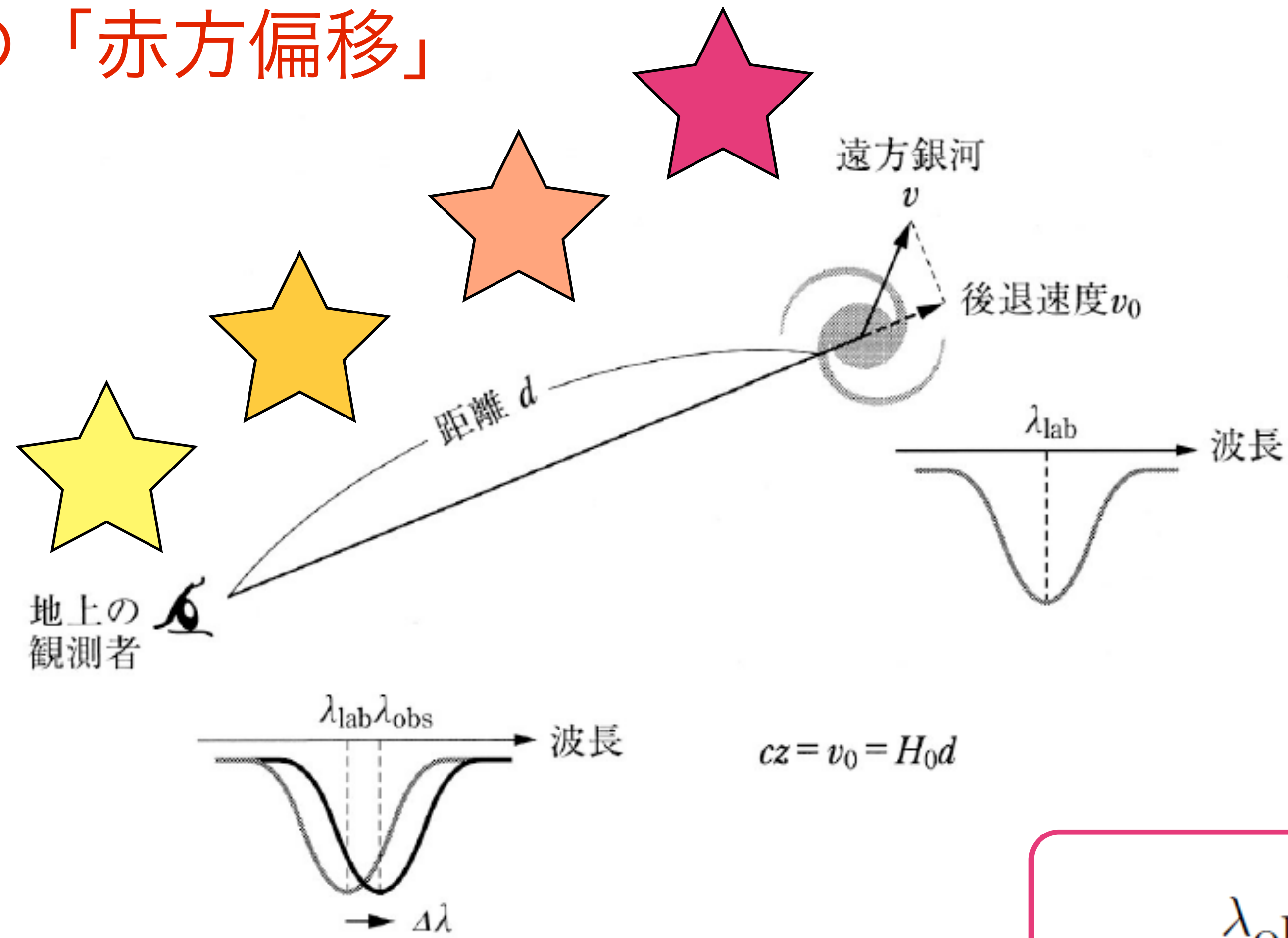


図 5.7 ハッブルが 1929 年に発表した図。横軸は距離，縦軸は銀河の後退速度。このグラフの傾きがほぼ一定になることが，ハッブルの法則である。ハッブルが報告した値は， $H_0 = 530 \text{ km/s/Mpc}$ だった。現在値は $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$ 。

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

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

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

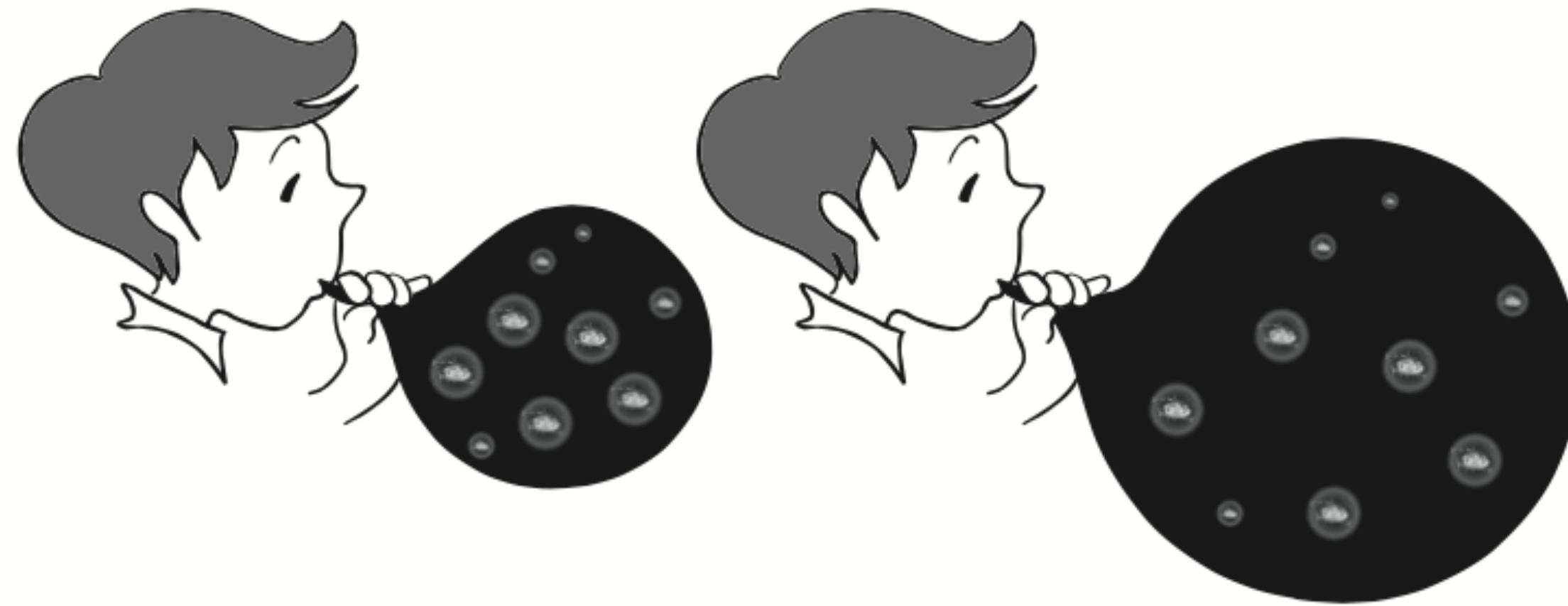


図42 遠方の銀河ほど速く遠ざかっている、というハッブルの法則は、我々が宇宙の中心にいないことを意味するわけではない。

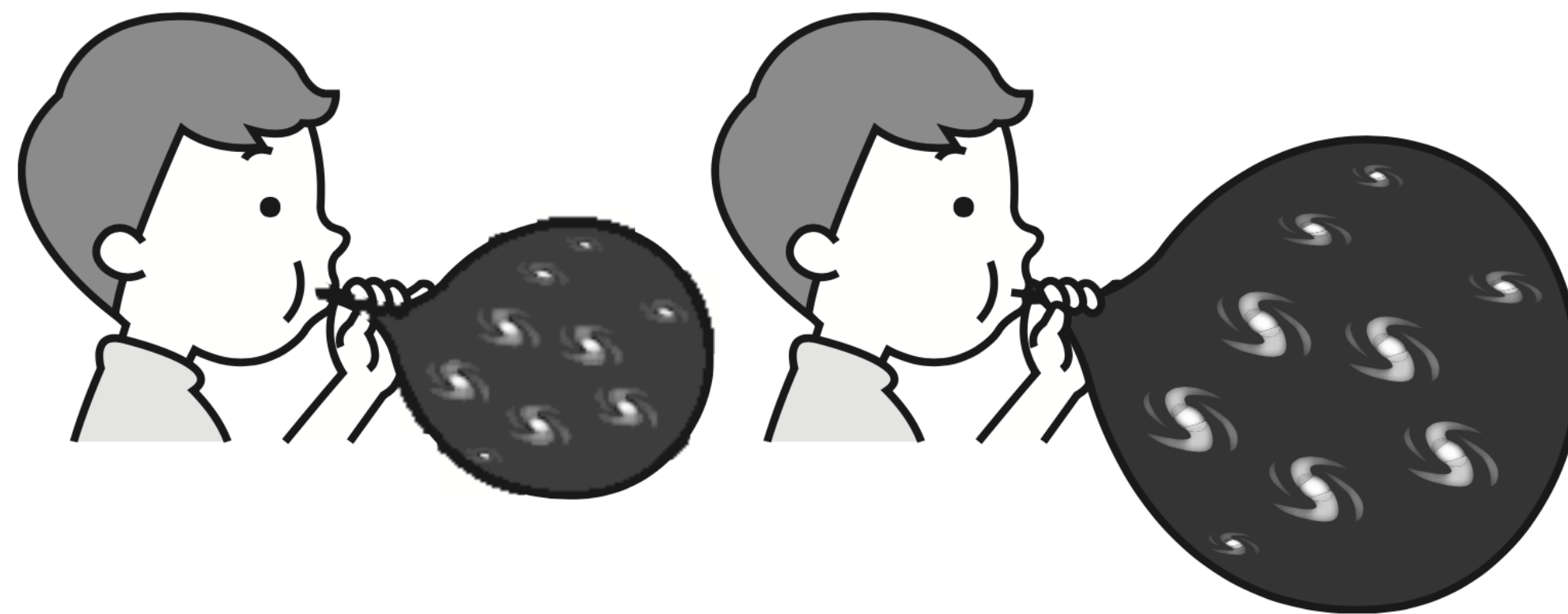
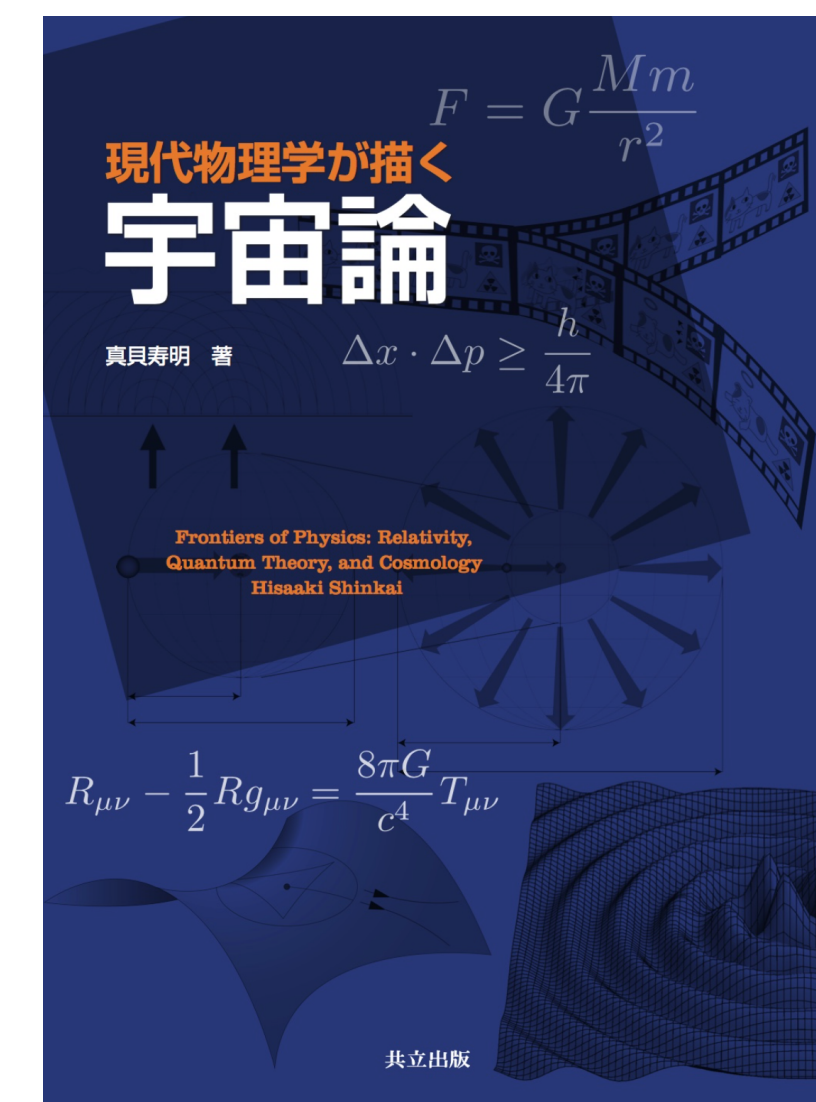
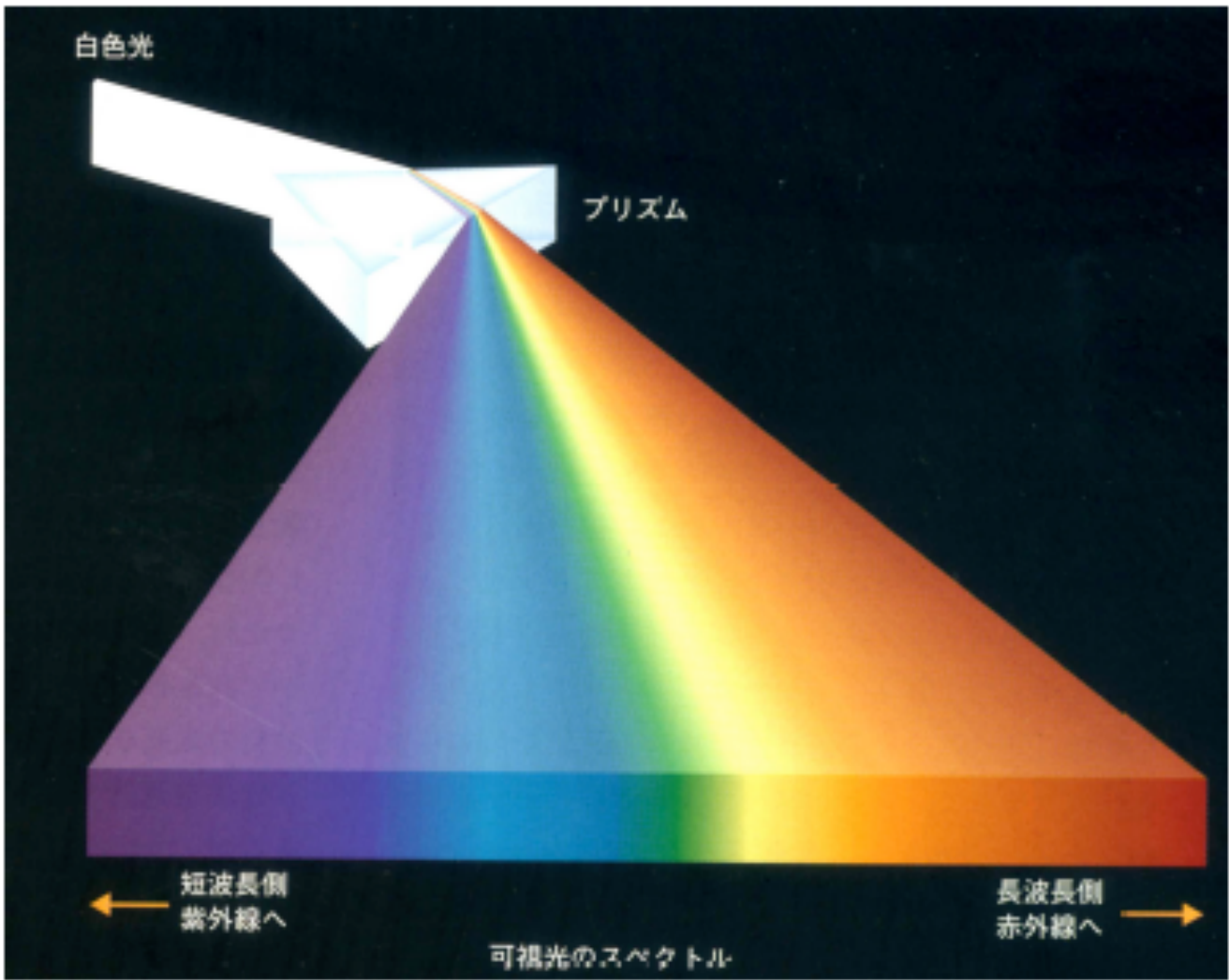


図 5.8 宇宙の中心はどこ？

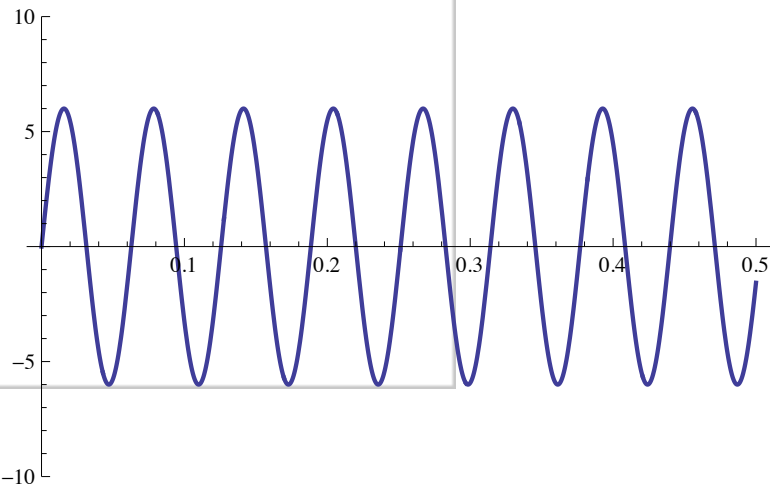
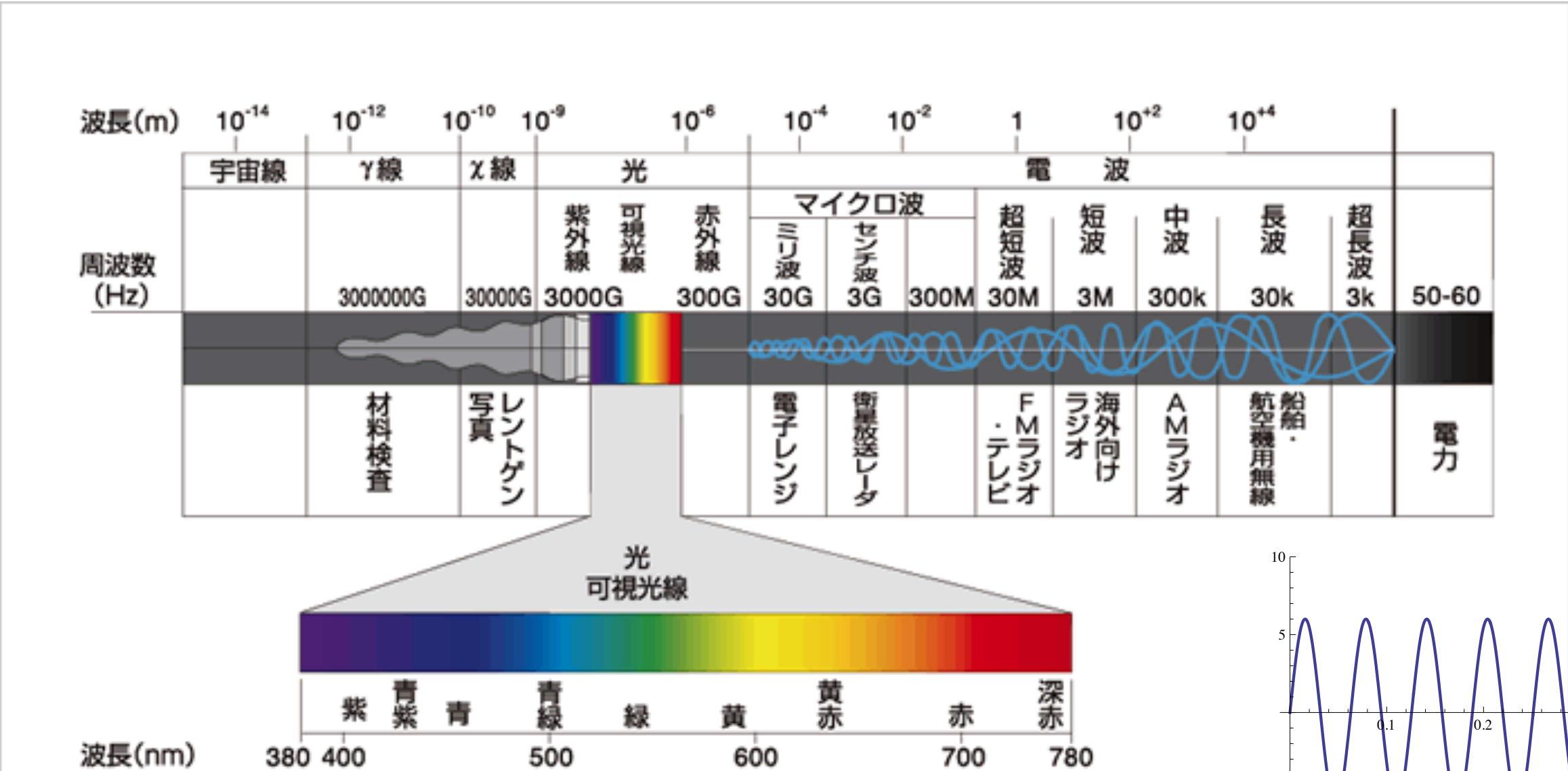
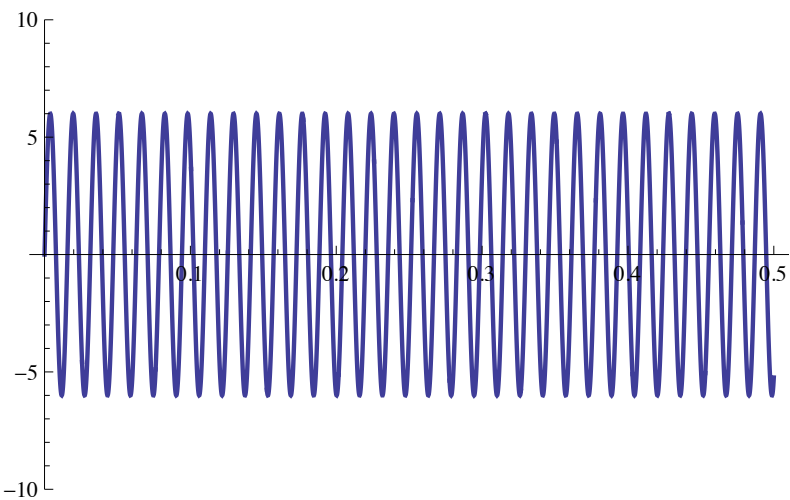


光の色＝振動数

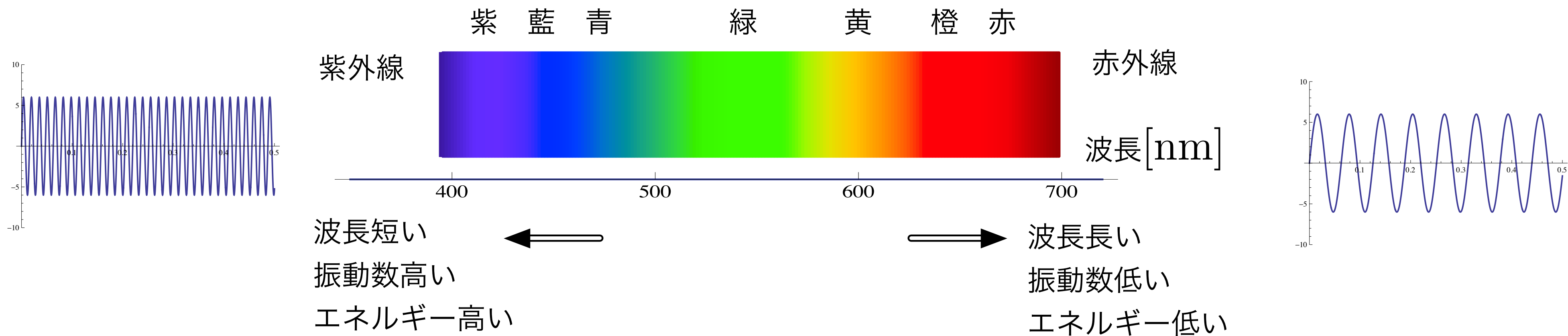


●電磁波の分類

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	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	

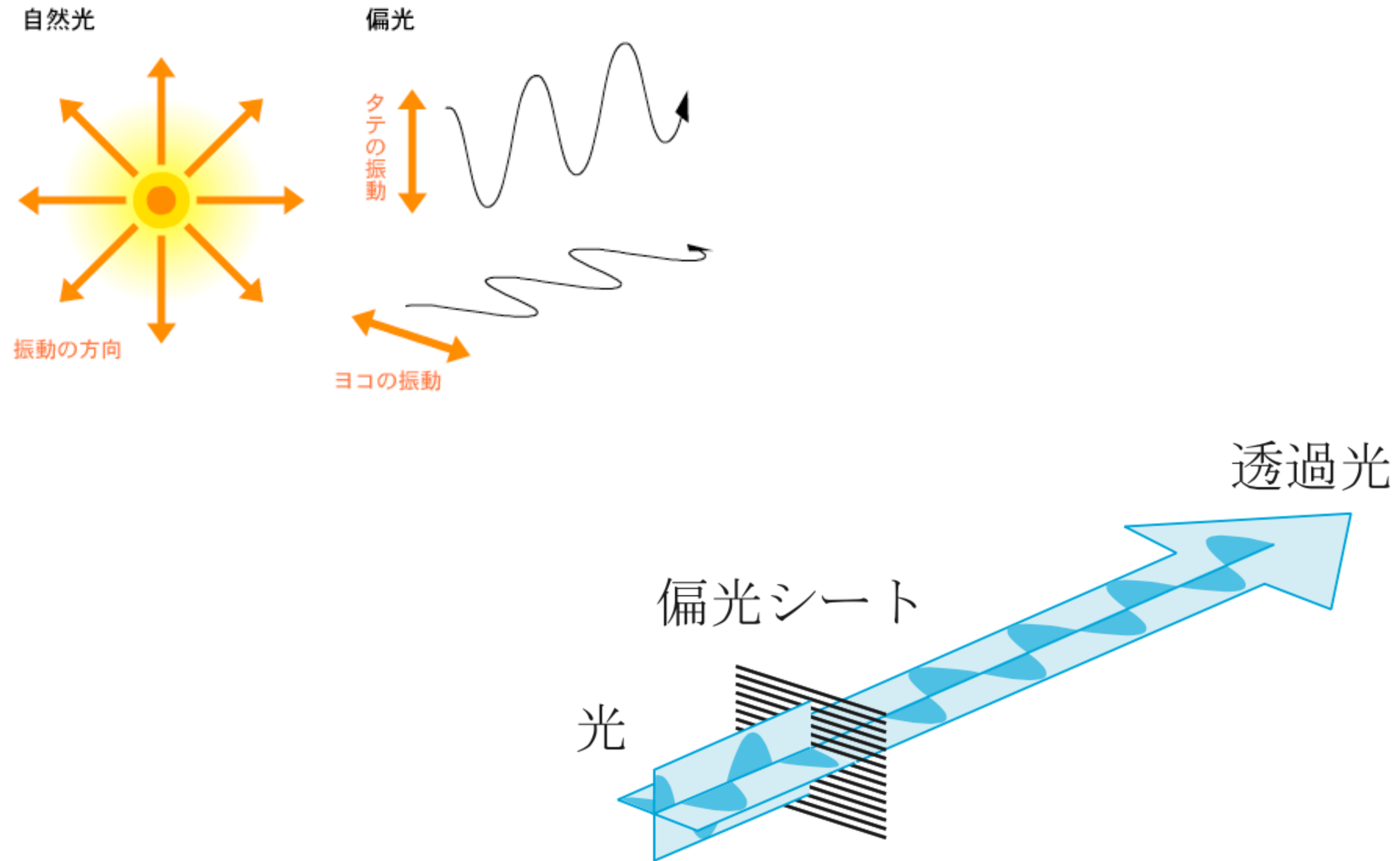


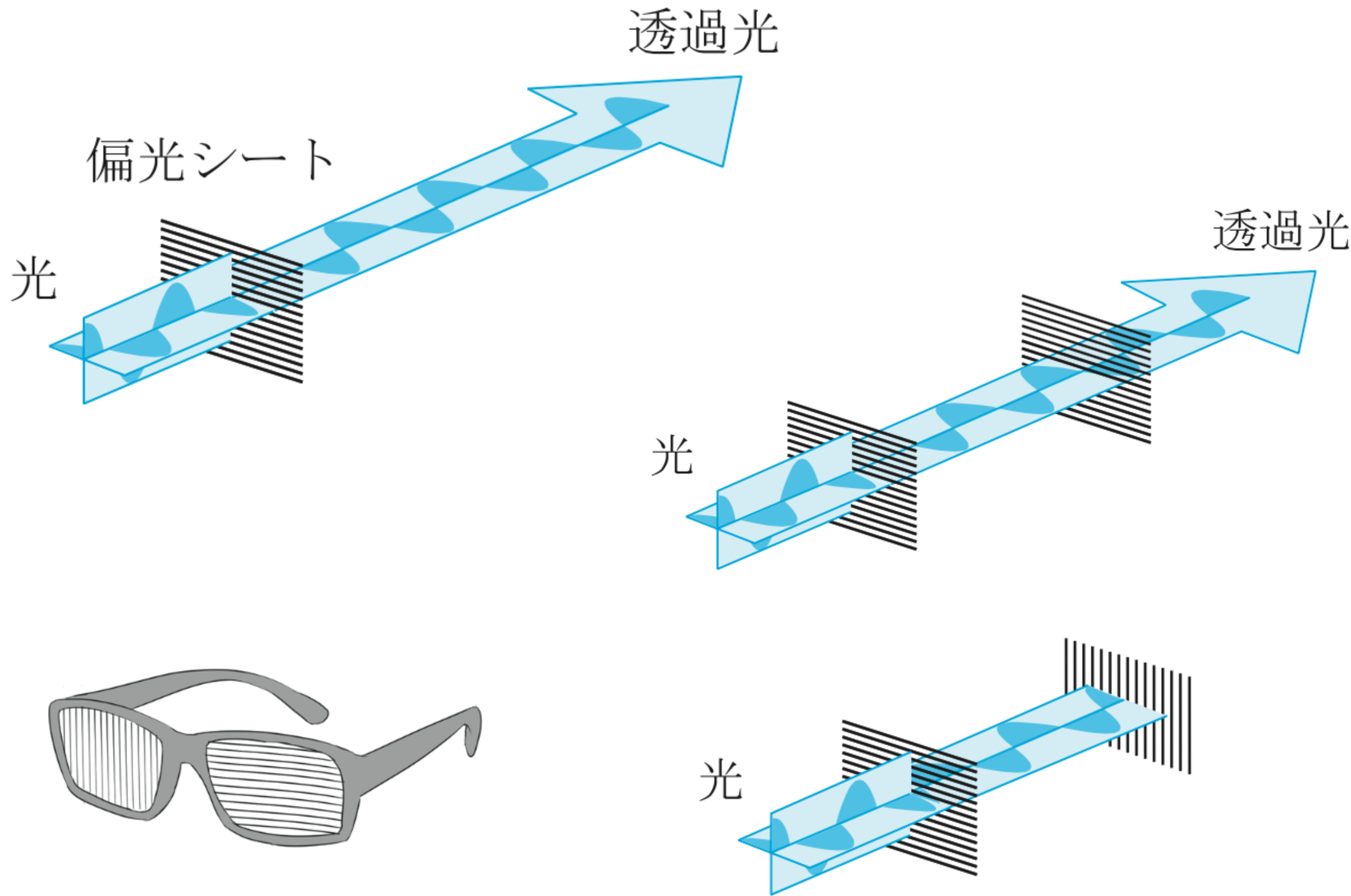
光の色=振動数



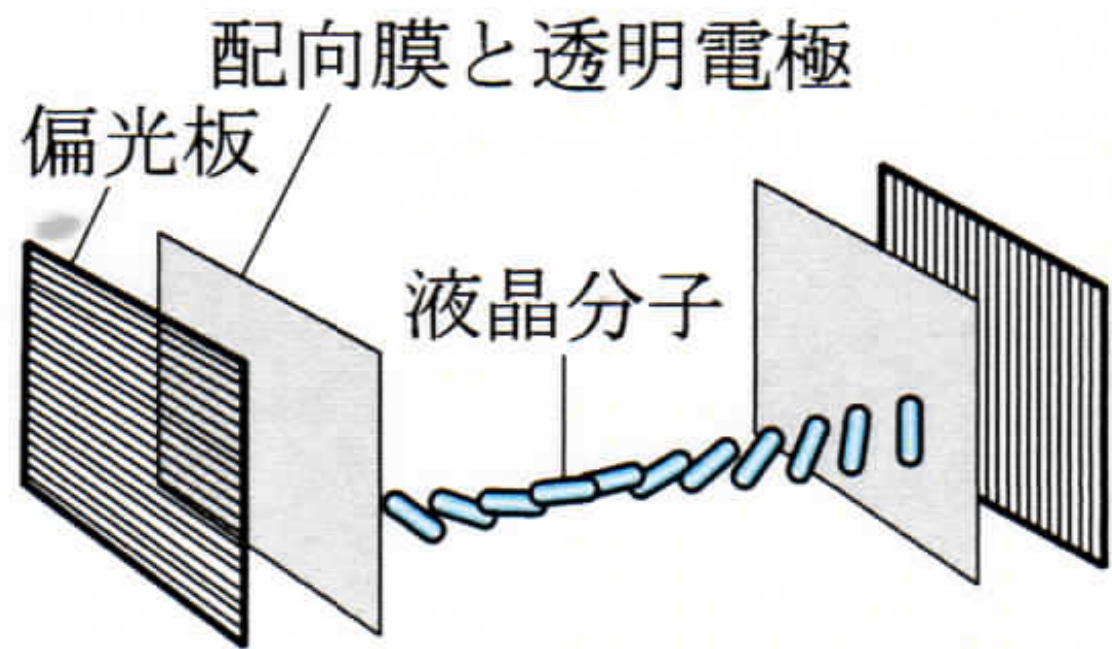
	宇宙線	ガンマ線	X線	光			電磁波						
				紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波	長波	超長波	
波長[m]	10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	3.8×10^{-7}	7.7×10^{-7}	10^{-4}	1	10	10^2	10^3	10^4		
波長[nm]				380	770								
振動数[Hz]		3×10^{18}	3×10^{17}				3×10^{12}	3×10^8	3×10^7	3×10^6	3×10^5	3×10^4	
利用例		医療／食品照射	医療／X線写真	殺菌	光学機器	赤外線写真	携帯電話	電子レ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



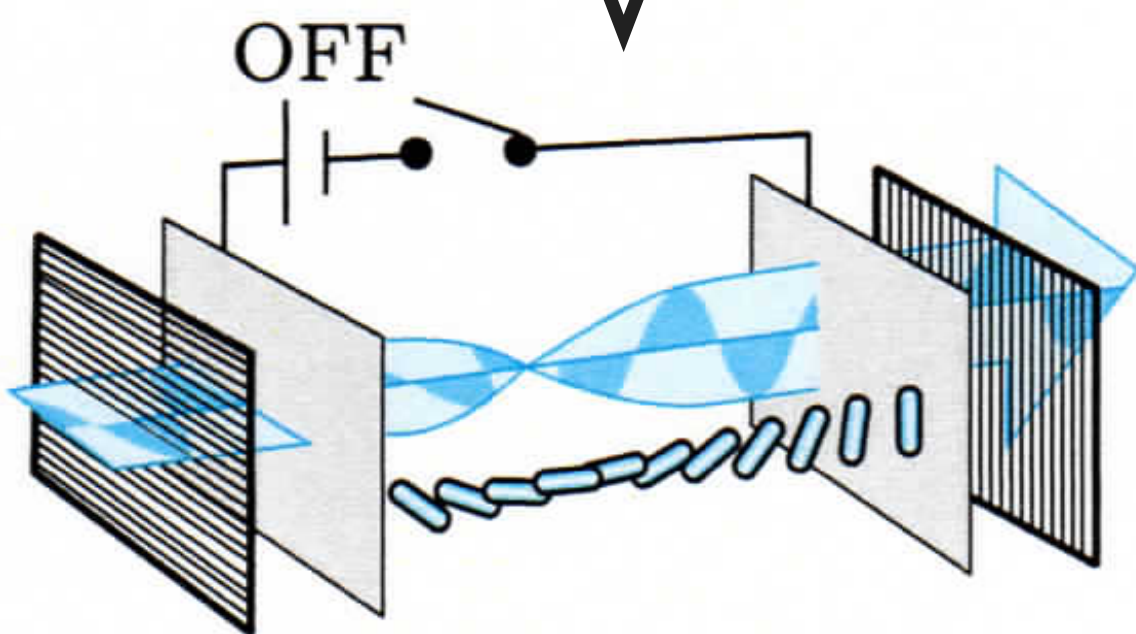


液晶分子は90度ねじれて
配列されている。

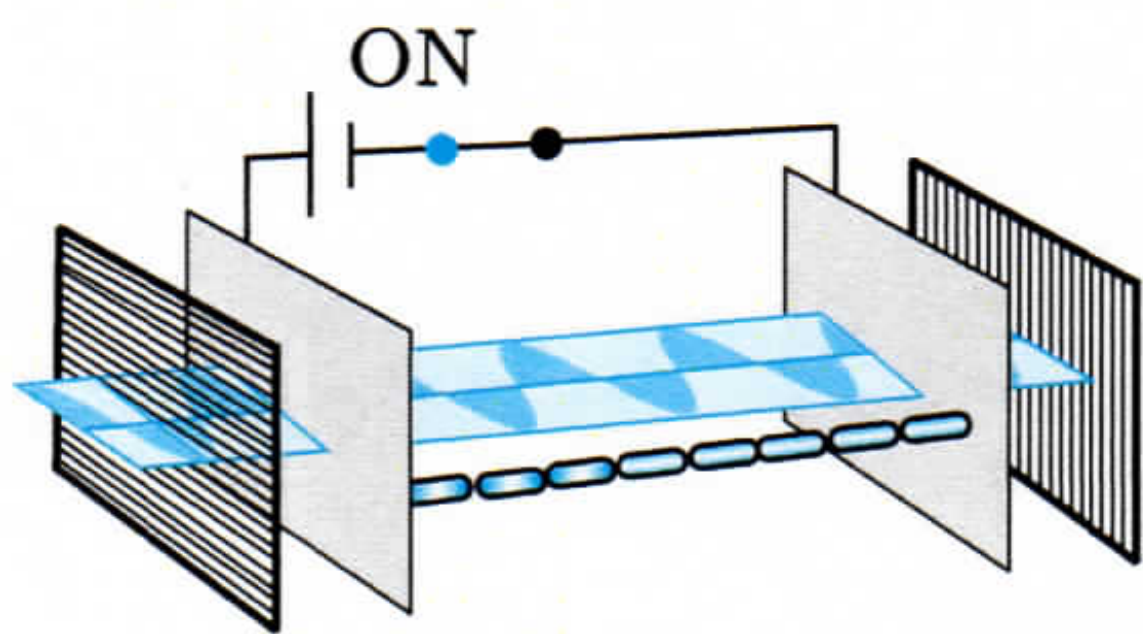


(a) 液晶の構造

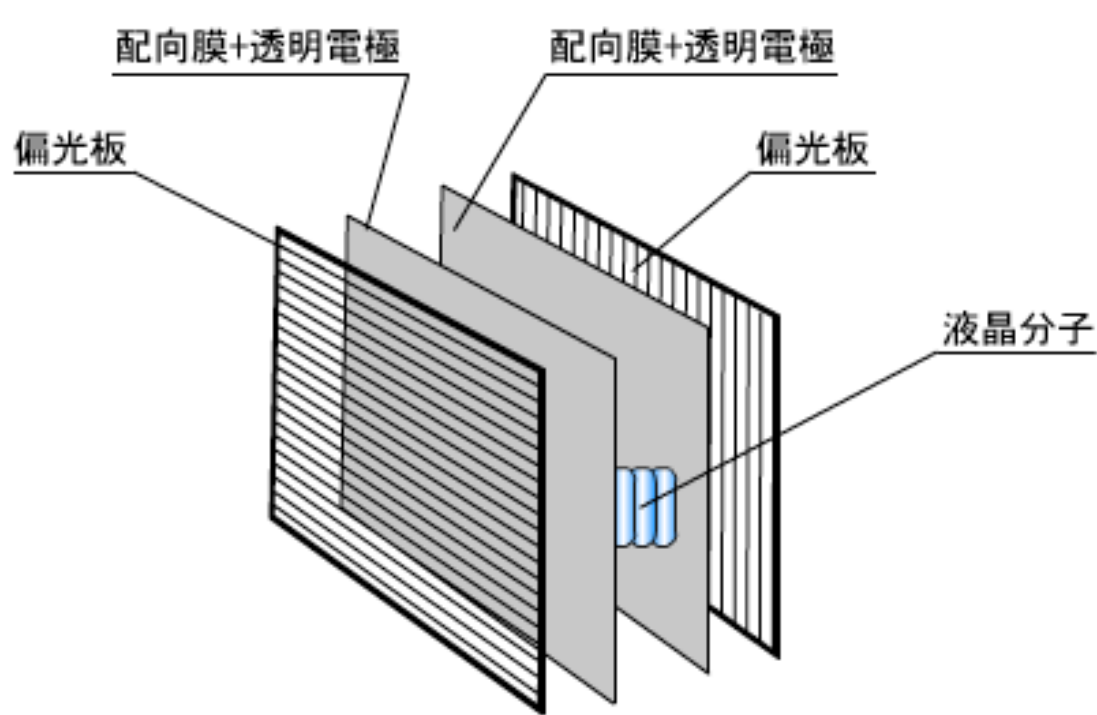
電源offだと、光は曲がり、偏光板を
通過して白色になる。



(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。

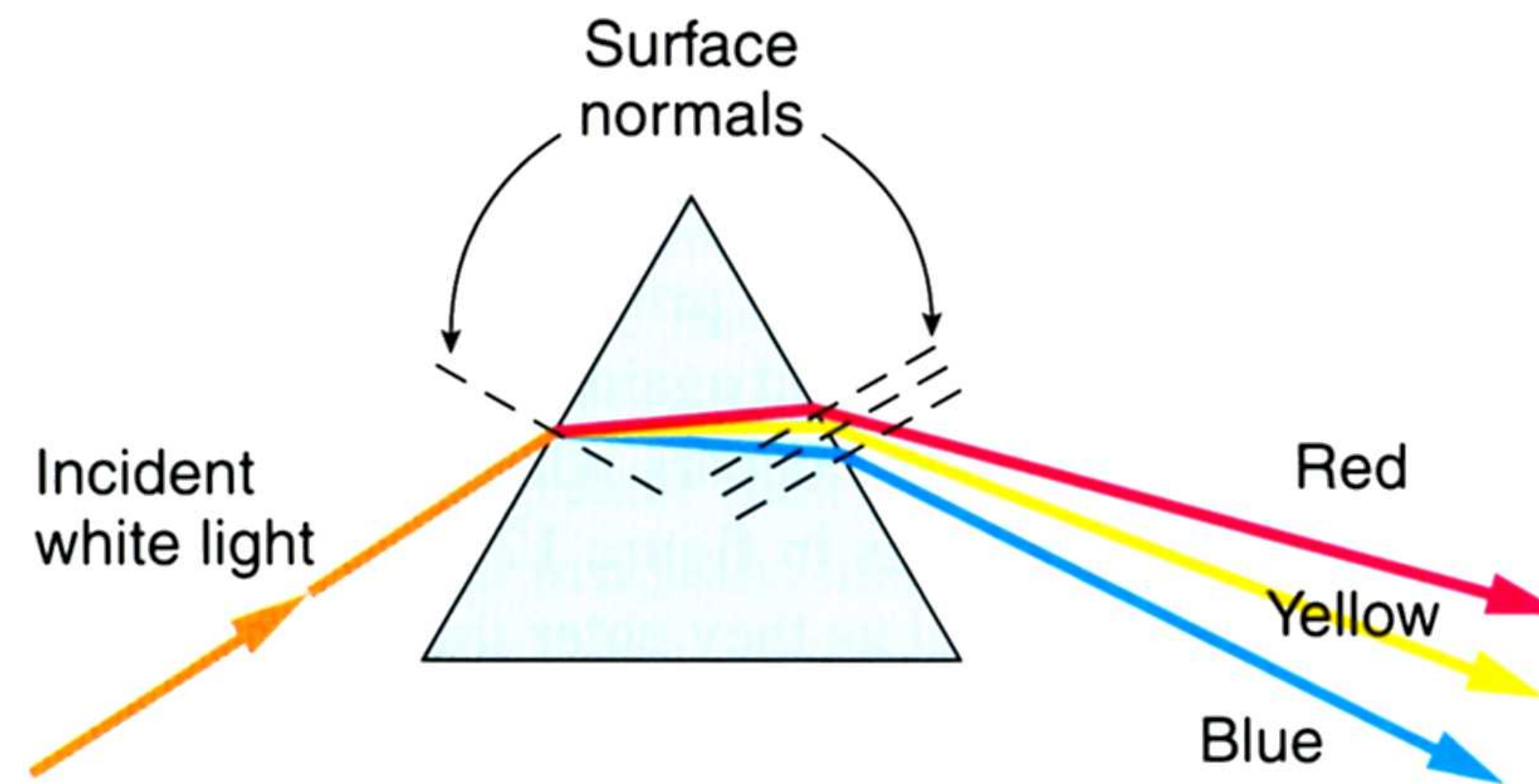


figure 17.13 Light rays passing through a prism are bent at both surfaces, with blue light being bent more strongly than red.

色の正体は何か



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



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)

虹



撮影 長谷川能三 氏

虹



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

虹のしくみ

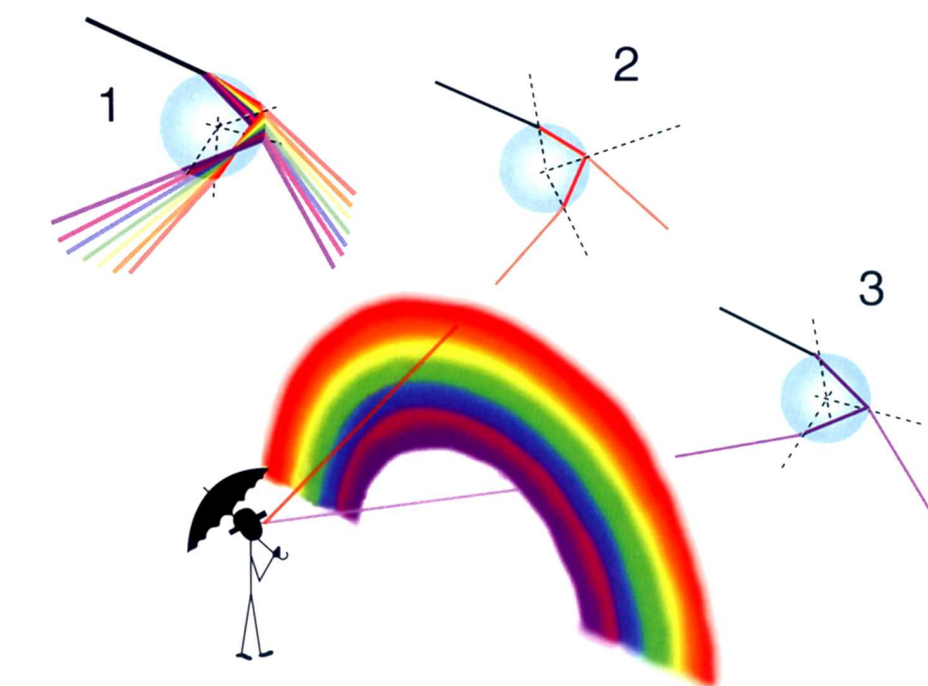
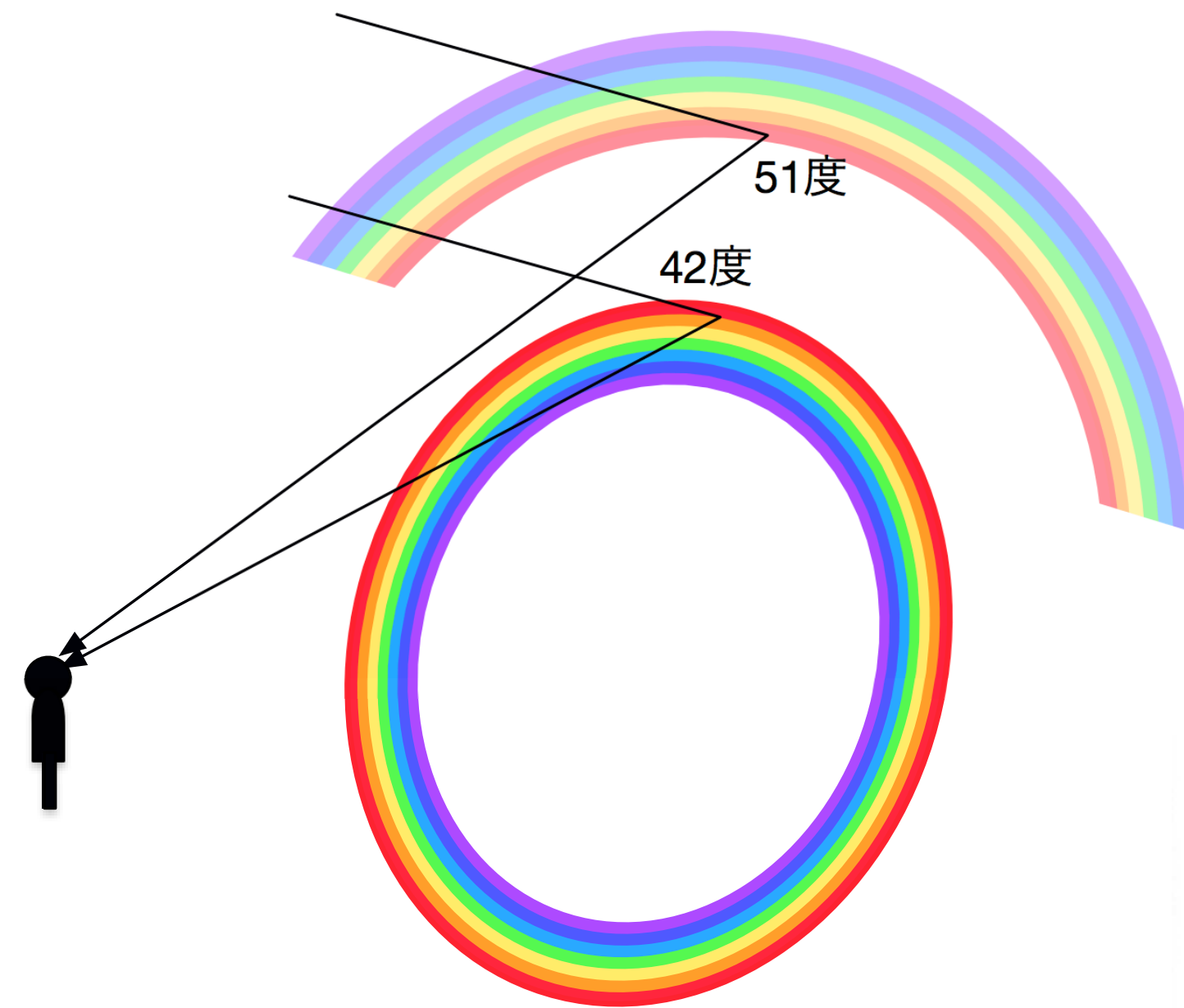
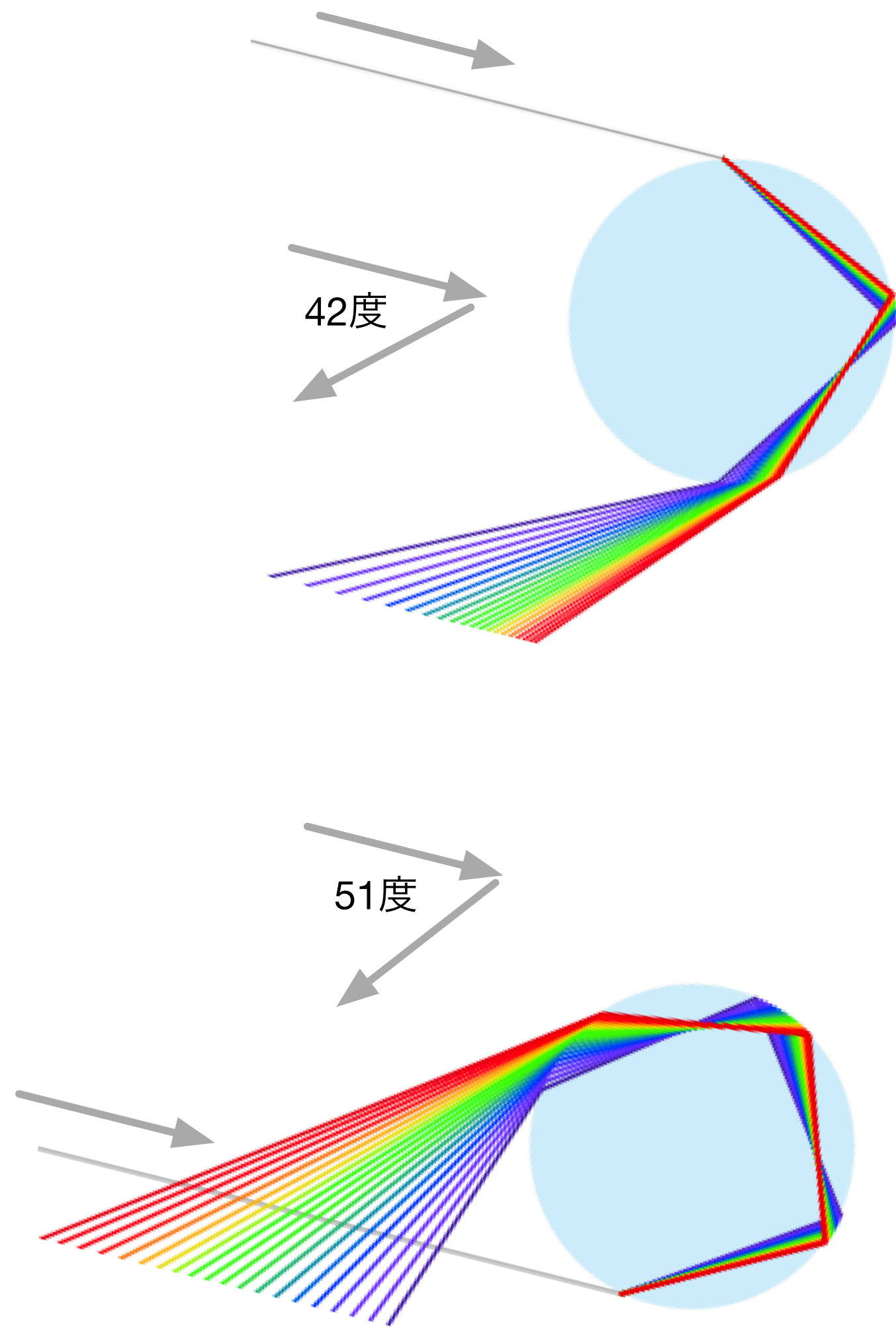
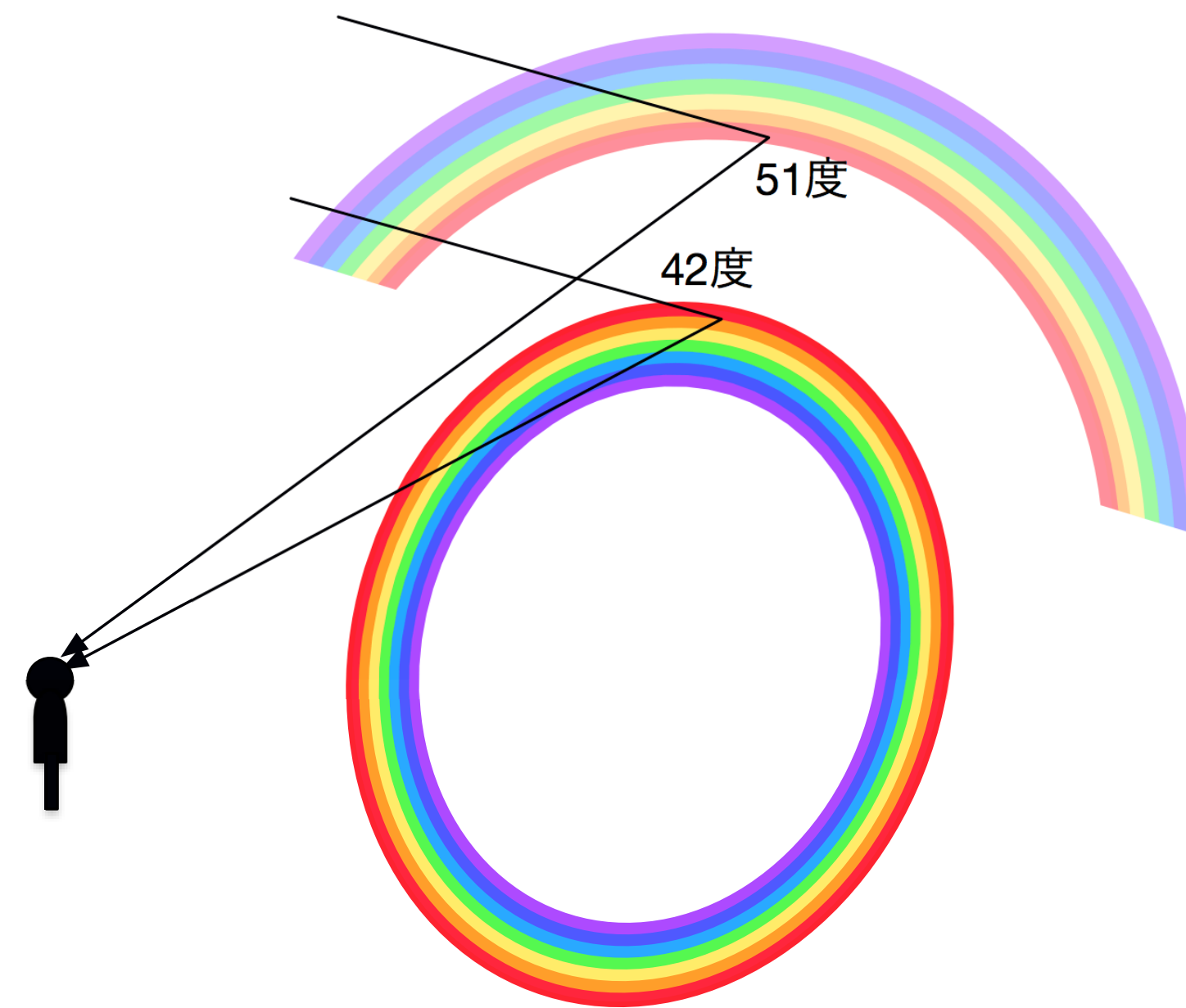
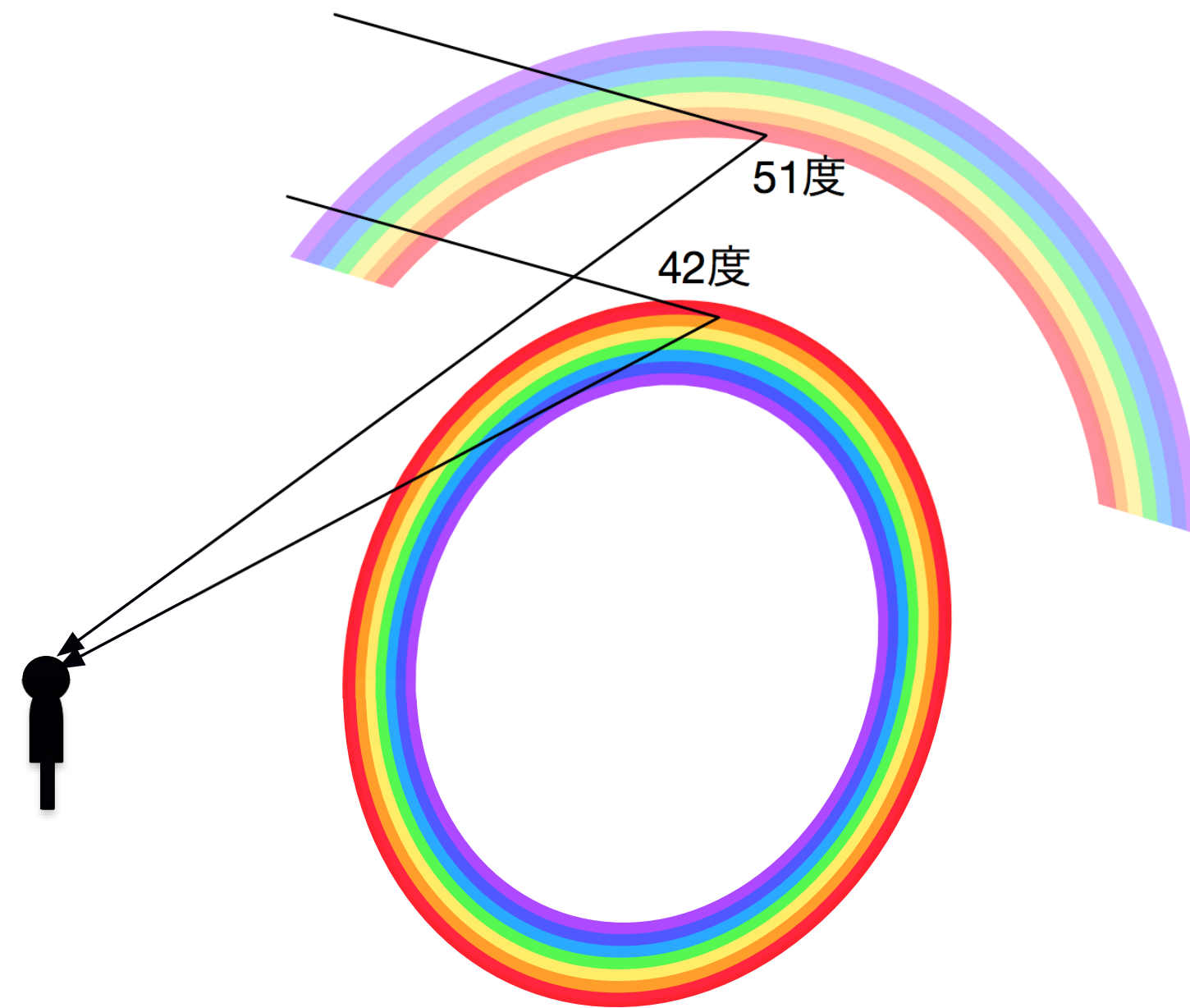


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

ブロッキン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)



ブロッキン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)



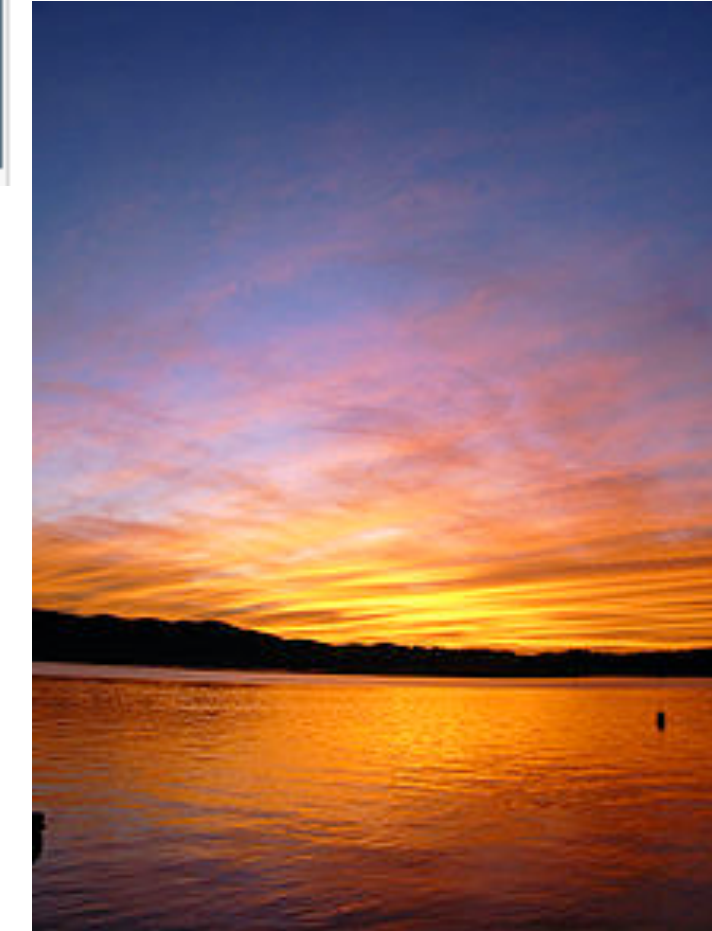
朝焼け・夕焼け なぜ赤い？

夕日が赤く見えるのはどうしてですか。

昼間は白っぽく見えるのも、理由がありますよね。

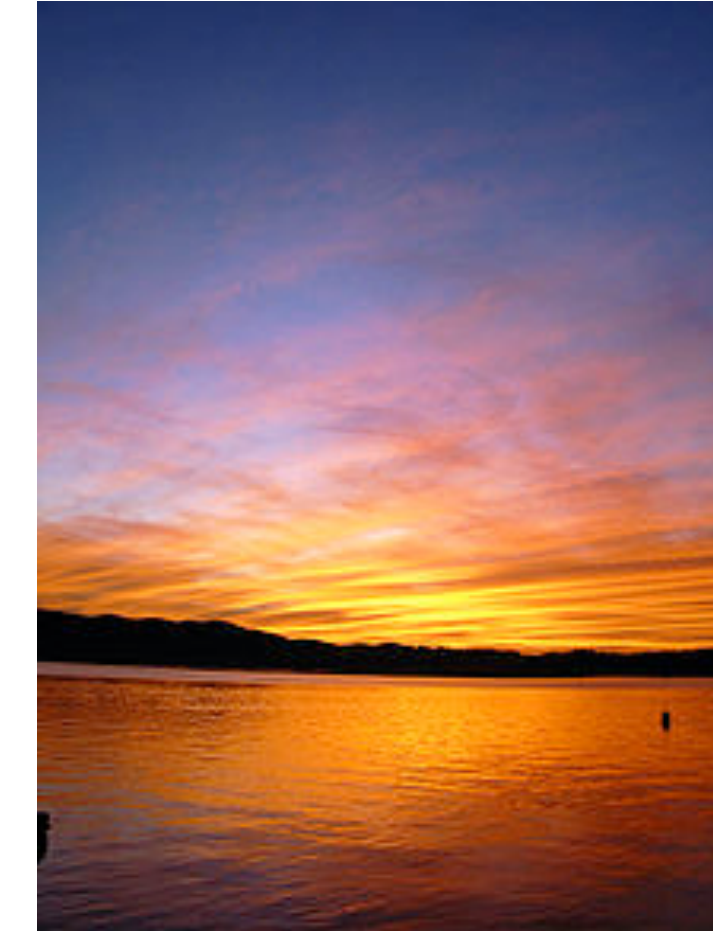
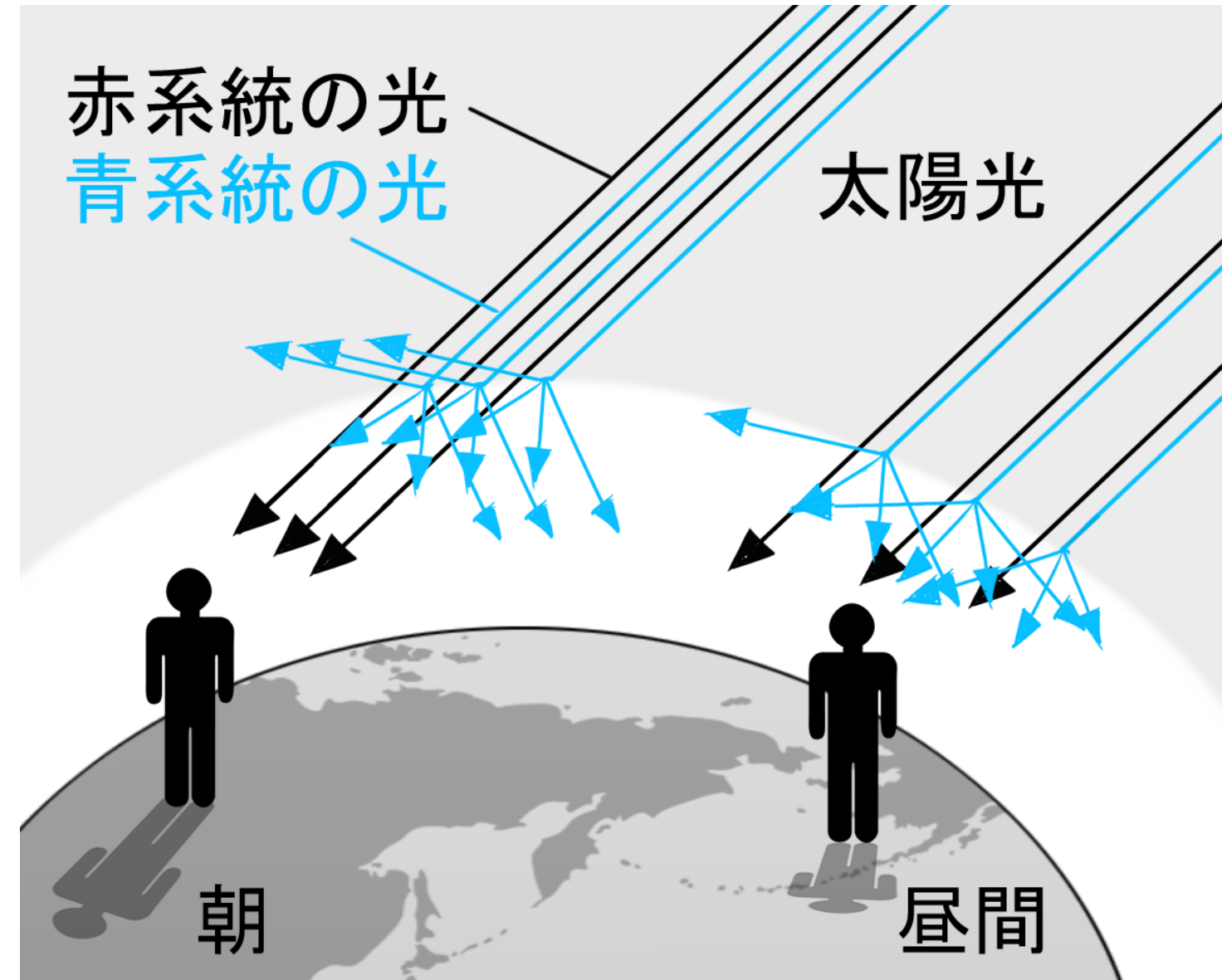
また、星の色も異なって見えるのをなぜですか。

これは、同じ原理によるものですが。
(夕焼け・星の色も同じ原理によるもの)



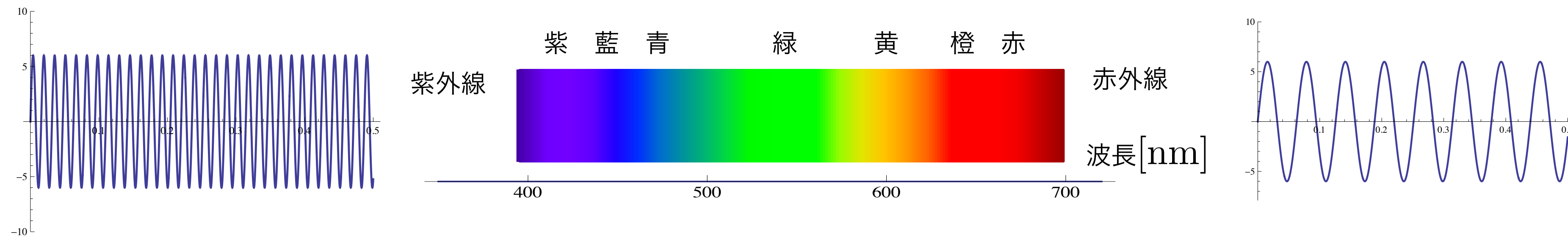
空に向かって光を当てると、スマホのライトでは空を照らせるから
ディズニーランドのショーで使われるような光では空まで明るくなる理由。

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

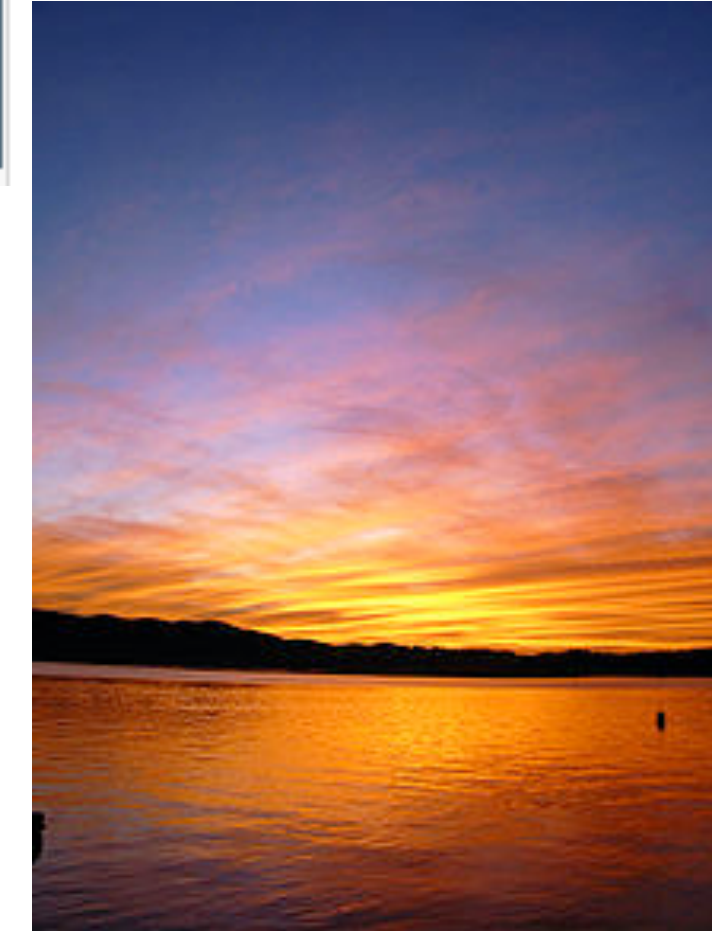
朝焼け・夕焼け なぜ赤い？

夕日が赤く見えるのはどうしてですか。
昼間は白っぽく見えるのも、理由がありますよね。
また、星の色も異なって見えるのなぜですか。

これは、同じ原理によるものですが。

昼間は青い空。朝と夕は赤い空 どちらも太陽の光の空中散乱で説明できる。

星の色が異なるのは、星の燃焼(核融合)の進み具合が違うから。



ヘルツシュプルング・ラッセル図(HR図)

空に向かって光を当てると、スマホのライトでは空を照らせないので、ディズニーランドのショーで使われるような光では空まで明るくなる理由。

スマホや懐中電灯のような、たった一筋の光は、まっすぐ進みながら散乱するだけ。ディズニーランドのショーなど多数の光が空を照らすと、それぞれが散乱する

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」

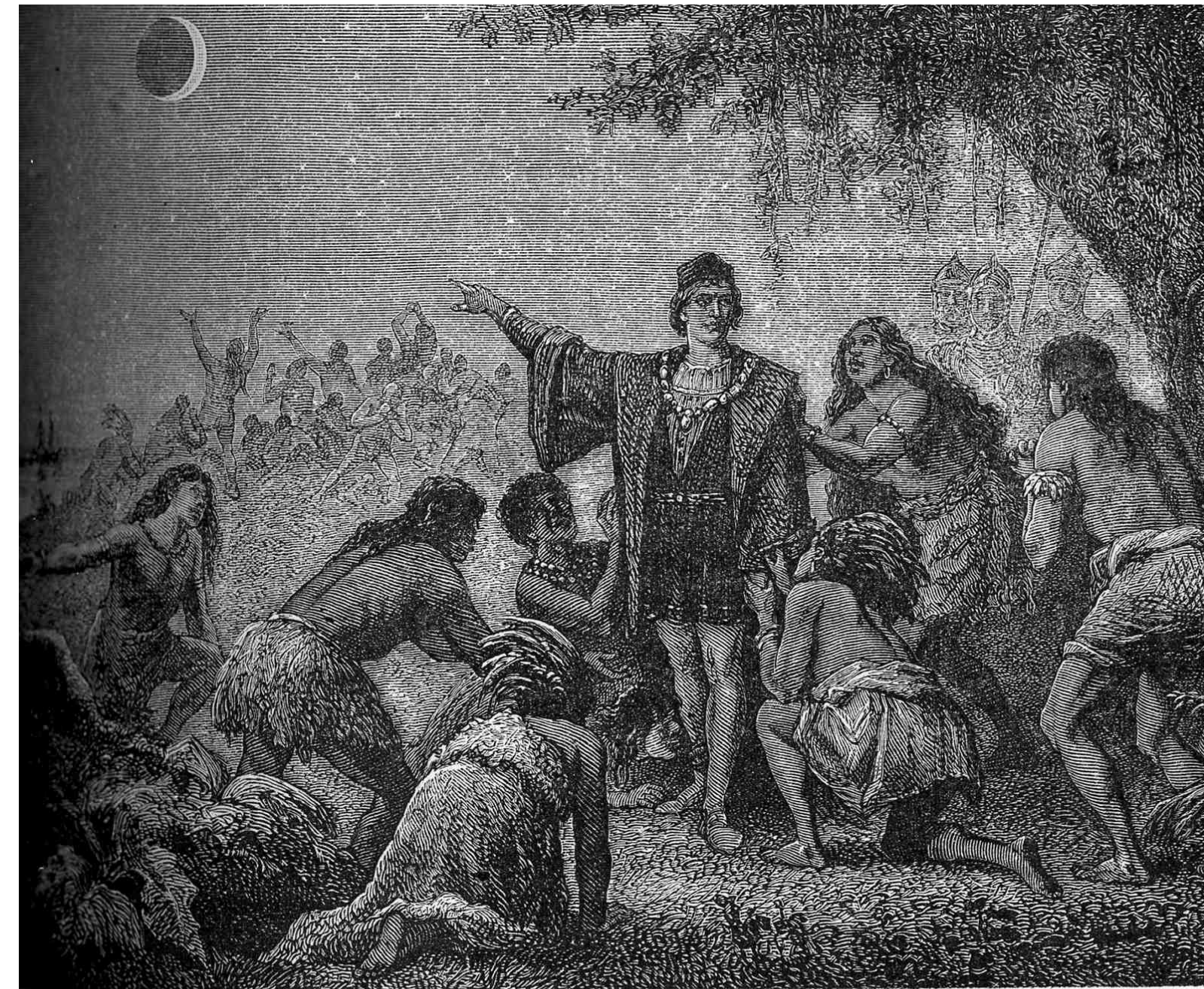


Fig. 86. — L'éclipse de lune de Christophe Colomb.

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

(次回の内容から)

[10-1]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.

[10-2]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.

[10-3]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)