生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第10回　2024/11/25

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

前回，レポート課題（第2回）を出しました．締切：12/29

「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．

学校で根拠のないことも教えられていたことにはおどろきました。

宣伝などの情報を信じすぎるのではなく自分で調べてだまされないようにすることが大切だと思った

ドッペルゲンガーがいるかいないかが科学的に証明できるか気になるので知りたいです。

相関と因果について、世界の見方が変わると感じました。

ドッペルゲンガー ＝ 自分とそっくりな分身

ご自身で調べてみて

「科学と疑似科学」

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）．

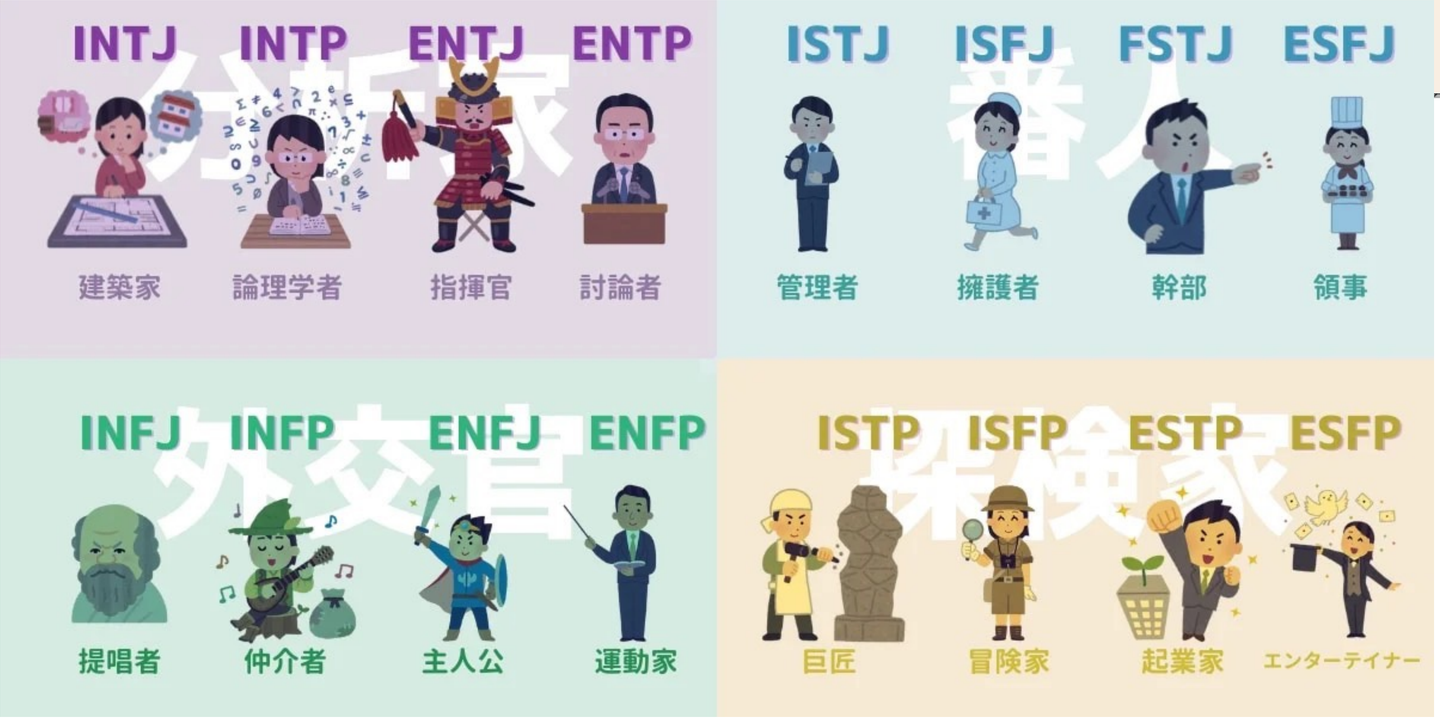
提出手順

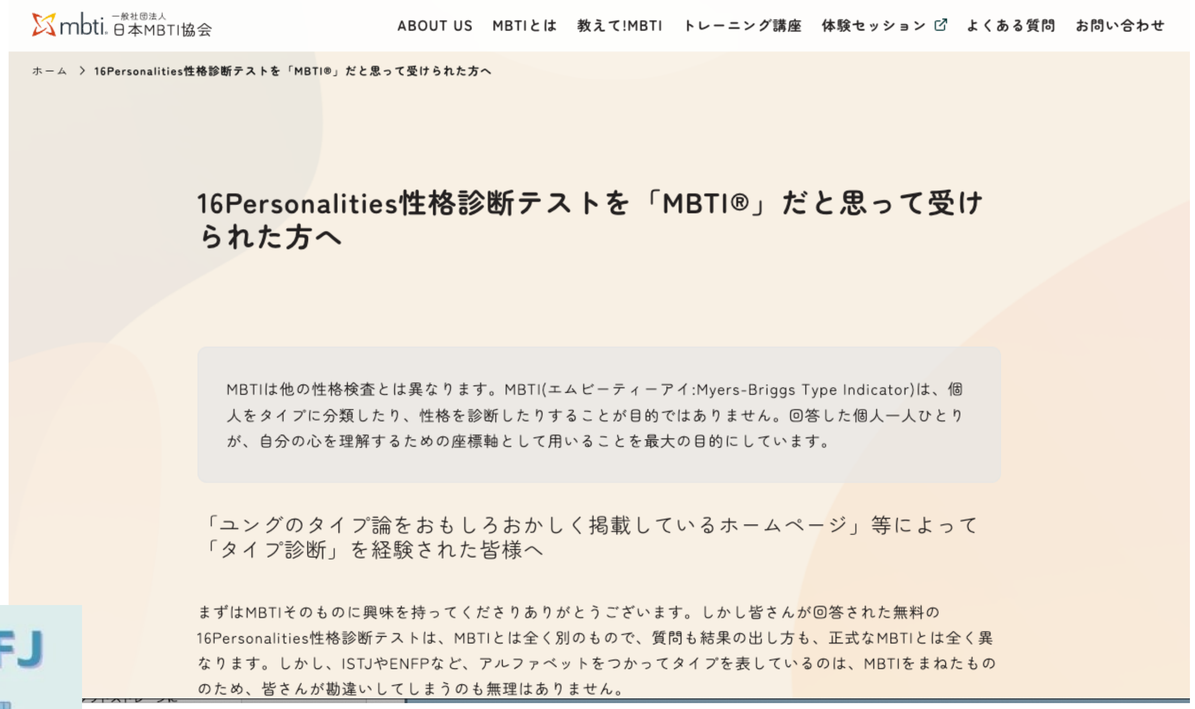
- Google Classroom の課題として提出．手書きの場合は写真撮影したものを提出
- 提出〆切は，**2024年12月29日（日）22:59**
- 提出ファイルの名前は,「P 学科 XXXXXXX ○○○○」の形式とすること.（P は Physics の頭文字でレポート区別するためのもの，学科は大日/短生など２文字で，XXXXXXX は学籍番号，○○○○は氏名）とすること．ファイル名には空白を入れず，学籍番号は半角で．一括ダウンロードして読むため，このファイル名でお願いします.
- ファイル内の初めにも，タイトル・学部学科学年・学籍番号・氏名を記載すること．

前回のミニッツペーパーから

mbti診断が流行しましたが、
先生はこれを疑似科学だと
思いますか??

https://nazology.kusuguru.co.jp/archives/150828#google_vignette





https://www.mbti.or.jp/attention/

「外向型(E)と内向型(I)」Extraverted / Introverted
「感覚型(S)と直観型(N)」Sensing / Intuition
「思考型(T)と感情型(F)」Thinking / Feeling
「判断型(J)と知覚型(P)」Judging / Perceiving

前回のミニッツペーパーから

雲をつくる実験が面白かった。

雲を自分で作れることに驚いた。

雲がとてもかんたんにつくれておどろきました。

これから暖房が必要な時期になりますが、エアコンとホットカーペットではどちらの電力消費の方が激しいですか。

エアコンの方が電力消費が激しい. 稼働部分がちがう.

ドライアイスのけむりを吸うと苦しくなるのはなぜか?

ドライアイスはCO_2の塊. 酸欠になるのでは？

ぬれた砂の上を歩くと、周りの砂の色が変わるのはどうしてですか。

乾いた石や砂の表面は光が乱反射するので,
白っぽく見える. 濡れると水が覆うので乱反射せず,
その物体の色が現れる.

濡れた砂を踏むと, まわりの水分が移動して, 乱反射の具合が変わるのでは？

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　12名

冷蔵庫を冷やすために使用した電力により発生した熱が蓄積される。

(a)上がる
冷蔵庫は中を冷やすため内部で熱交換を行いますが その際にコンプレッサーが発生させる廃熱を冷蔵庫の外側に放出しています。
電気を消費するとエネルギーと熱に変換されることになるため、
外部に熱を放出し続けるから

冷蔵庫は内部の熱を外部に放出して内部の冷たさを保っている。
そのため開け放しにしても温度の変化は±0。
ここに冷蔵庫が消費する電気が熱エネルギーとして放出されるため温度は上がる

熱効率が1を越えることはないから。
冷蔵庫は外に熱を放出することで内部を冷やす。扉を開きっぱなしにするので、温度差はなくなる。
しかし、熱効率が1にならないので冷蔵庫を冷やすのに使った電力によって発生した熱がある。だから、その分の熱だけ室内の温度は上がると考える。

冷蔵庫は内部を冷やすために、外へ熱を排出するから、むしろ部屋の温度があがりそうと感じた。

冷蔵庫の中を冷やそうと、機械が動くと、熱くなるから、部屋の温度は上がる。

冷蔵庫が内部を冷やそうとし、それによって熱エネルギーが発生するから。

冷蔵庫の気体と液体の変化による温度の変化は0だが、冷蔵庫の機械部分から発生する熱によって上がる。

氏名
冷蔵庫の冷気よりも、膨大な電力使用による熱の発生の方が大きく影響するため、温度は (a)上がる

冷蔵庫の中の物を冷やそうとするのに たくさんのエネルギーを使うから

冷蔵庫は中の熱を外に出すことで内部を冷やす。
そのため、開けっ放しにしておくと、勝手に外部の空気と交わり、出入りする。
この時点では0であるが、冷蔵庫は内を冷やすために電力を使用する。
その電力によって発生した熱により温度は上がると考えた。

(b) 下がる　3名

部屋の広さにもよるけど、部屋の空気と混ざって気持ち涼しくなると思う

冷そうこは温度も下げるものなの

(c) 変わらない　8名

ずっと開けっぱなしだと中の温度が上がって、冷蔵庫内を冷やすためにがんばって、電気をつかうので、コードとかが発熱して変わらないと思う。

冷蔵庫が想定する冷たい空気の循環する範囲に部屋全体は入っていないから。

風が出ているわけではないから、部屋の空気が動かないため。

庫内を冷やすための機能もが備わっていないから。

一時的に冷えるだけで部屋全体をずっと冷やし続けるのは難しいと考えたため。

変わらないと思う。一定時間開けていると冷蔵庫は止まってしまうのでは…？

冷蔵庫の中に部屋のあたたかい空気が入り、冷蔵庫が冷えにくくなるから。

冷蔵庫は冷蔵庫の中を冷やそうとするので部屋の温度が下がるほどの力はないと思うから

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

12名　　3名　　8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/フリッジィズー

「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.

気温とアイスクリームの売上, 喫煙と肺がん

気温とアイスクリームの売上, 身長と体重 ?

気温とアイスクリームの売り上げ

分子の運動量と温度

喫煙と肺がんの発症率

喫煙とCOPDになるリスク

喫煙と肺がんの発症率

喫煙をすると肺がんの仕方が高くなる

「ライターの所持」と「肺がんに罹るリスク」

タバコを吸うと肺がんになること

運動量と体重の減少

運動とダイエット

運動と心疾患

冬に夜空の星がきれいに見えると次の日の朝は放射冷却で寒い。

地震の頻度と防災グッズの売上

? 睡眠不足と, 脳の情報処理能力

熱中症の原因になる

水分を取らないことが

生活習慣のみだれと, 生活習慣病の関係

夏になると熱中症になる人が増え, 冬になると減る.

気圧が下がると雲が発生しやすくなる.

収入が多い人ほど, 所得税も多くとられる.

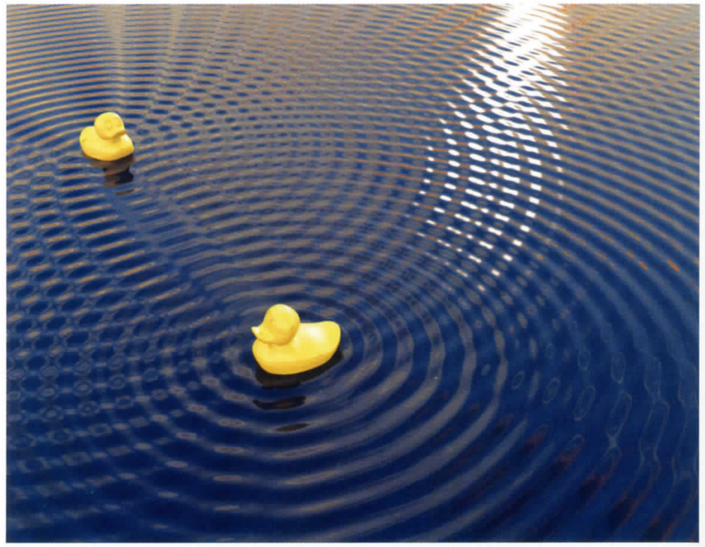
? 勉強時間と試験成績 本当に頭の良い人は勉強しなくても東大入る

? 梅雨の時期の雨が降る時間と降水量 降水量と時間は比例しない

? 天気の良し悪しとお店に来店する客数 映画館とかは？

? 帰国子女の英語の成績 中国・韓国からの帰国子女とか？

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.

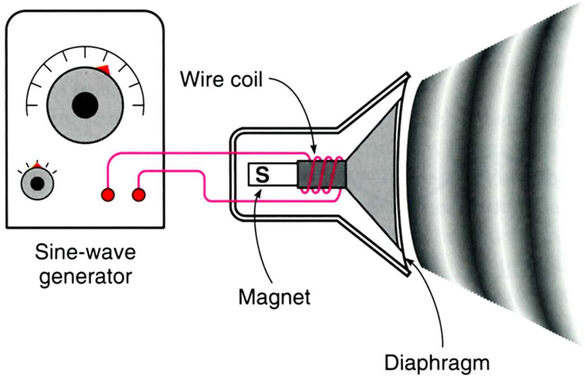


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.

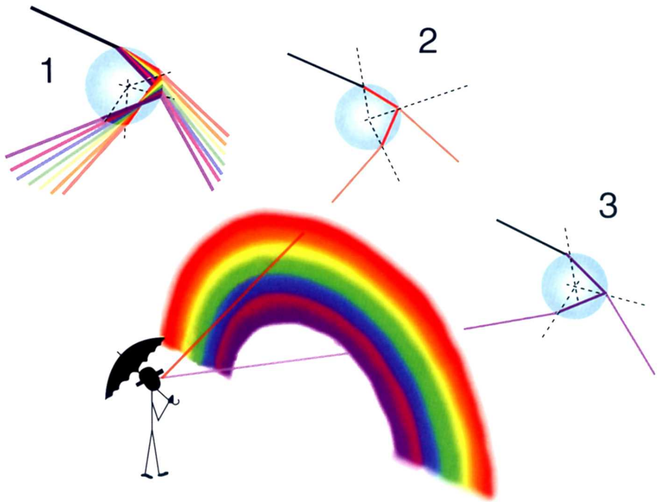


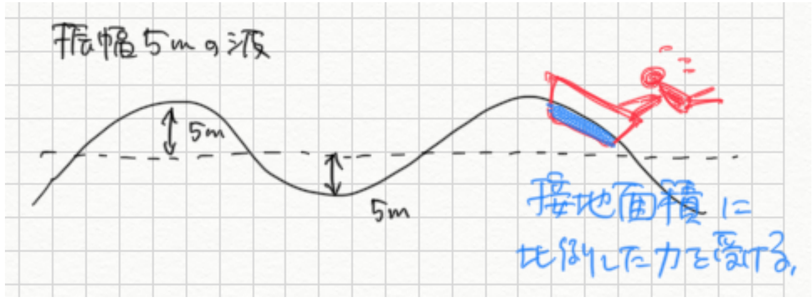
FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

前回のミニッツペーパーから

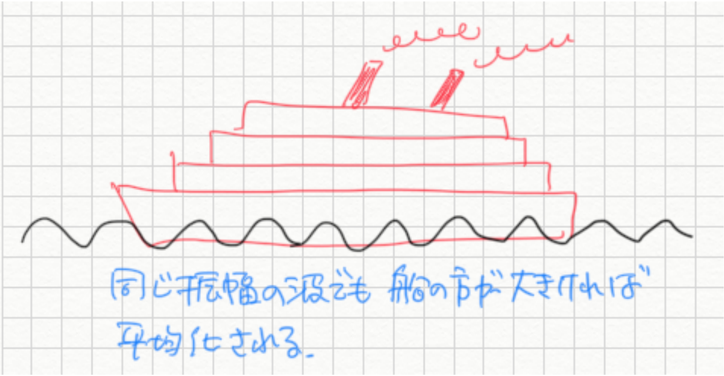
高校物理で分かりづらかった波が分かりやすくなった。

波の高さが2倍だとエネルギーは4倍と言っていましたが
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波れるなら
2グラムかわかの漁に出ている船の舵取りの人は技術が
すごいある人ってことなのか。



教科書 p138

波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

波の基本的な量

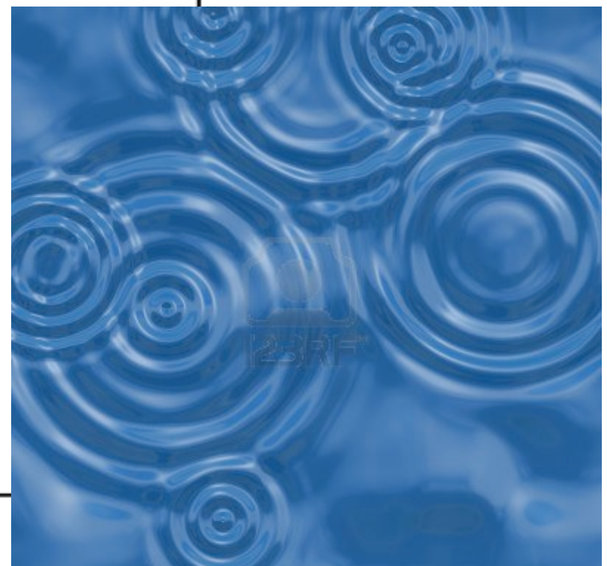
繰り返して同じ形が伝播してゆくものを波という．

- 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．

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

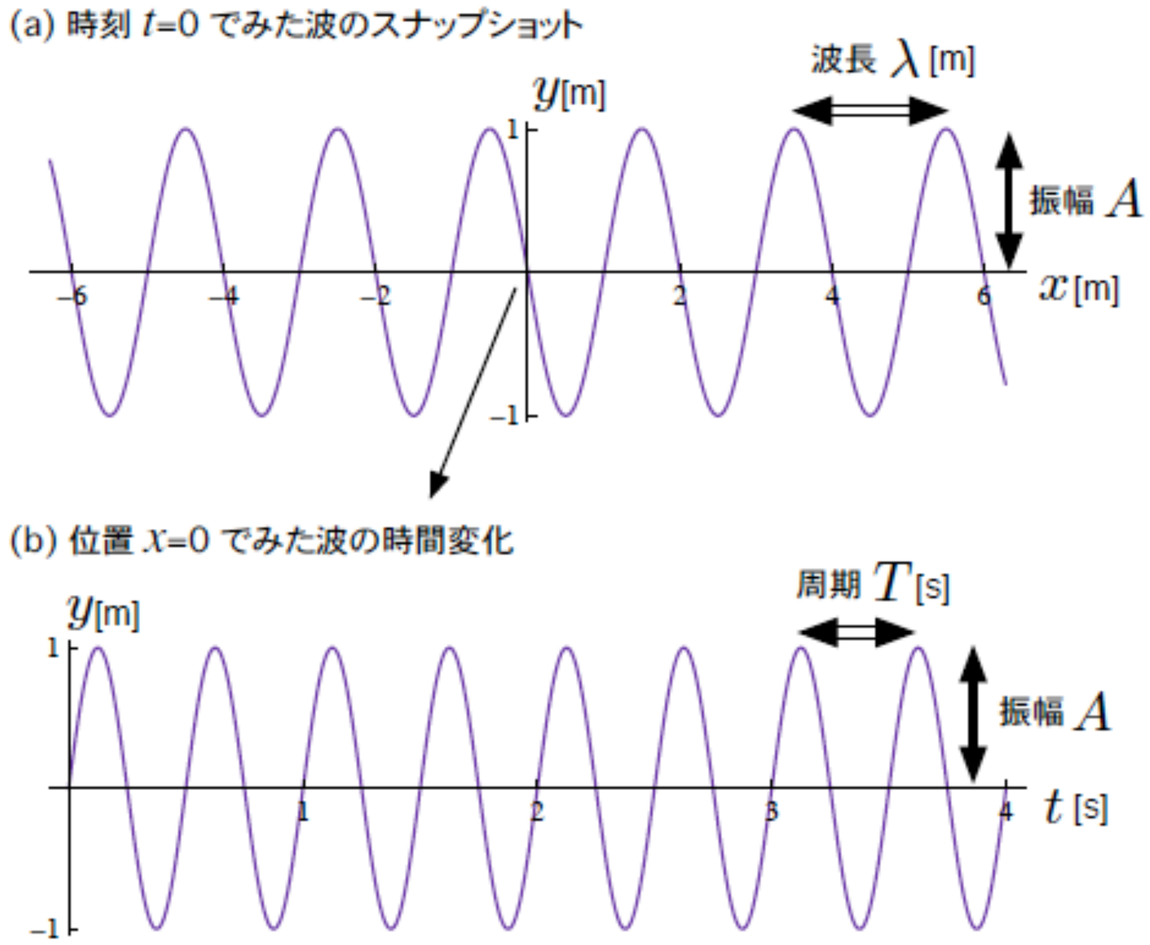
- 波の伝わる速さ v[m/s] を次のように決める．

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



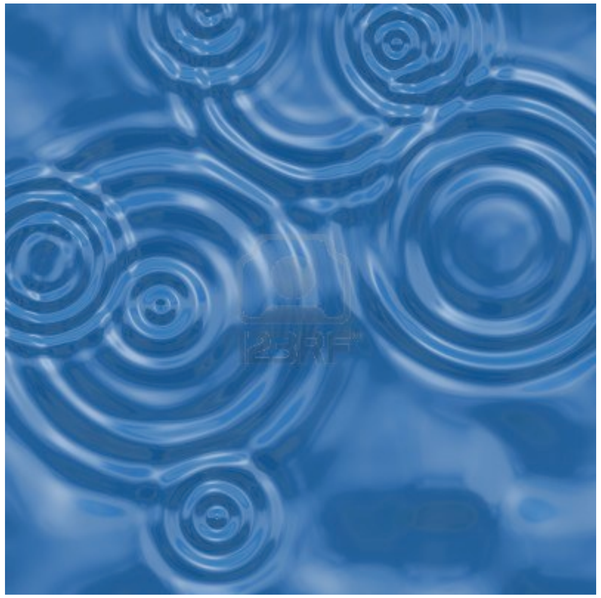
教科書 p139

波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ



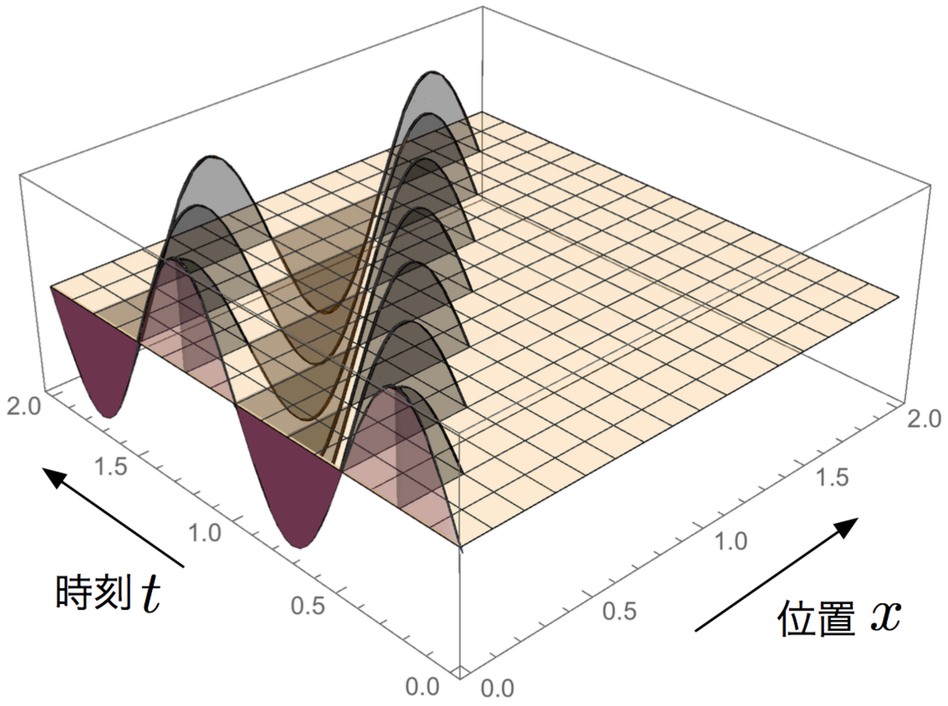
「写真を撮る」

「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



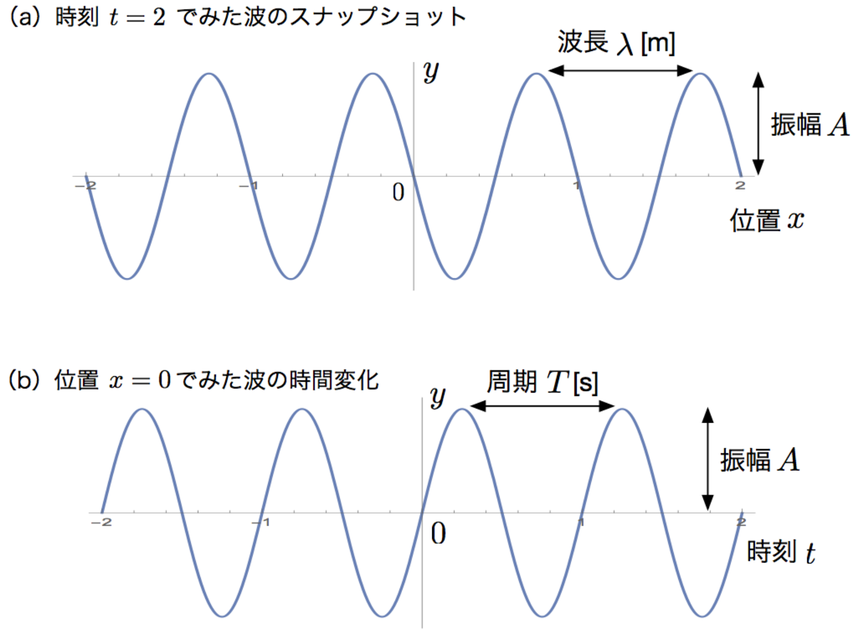


図 2: 正弦波の伝わる様子．ある時刻で写真を撮っても，1 ヶ所で止まって時間変化を観測しても，周期的な変動になる．〔左〕位置 $x = 0$ で単振動している波源から，x 軸の正の向きに正弦波の伝わる様子を 1/4 周期ごとの波形を並べて示した．〔右〕(a)x 方向に進む振幅 A，波長 $\lambda = 1$[m] の波を時刻 $t = 2$ でみた図．(b) は，この波を位置 $x = 0$ で観測したもの．周期 $T = 1$[s] であることがわかるので，この波の速さ v は，$v = \lambda/T = 1$ [m/s] である．

波を表す量： 振幅, 波長, 周期, 振動数, 速さ

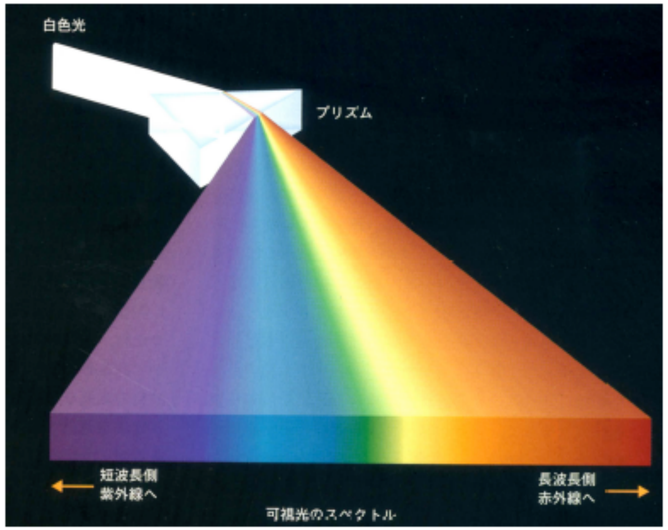
問 5.1* 音や光の典型的な振動数，波長について，表 5.1 の (a)～(g) を埋めよ．

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	$c = 299792458\ \mathrm{m/s}$ 約30万 km/s	赤い光	(a) Hz	750 nm
		紫の光	(b) Hz	380 nm
電磁波	$c = 299792458\ \mathrm{m/s}$ 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	$v = 340\ \mathrm{m/s}$ (温度で変化)	A（ラ）の音	440 Hz	(f) cm
		高い A（ラ）の音	880 Hz	(g) cm

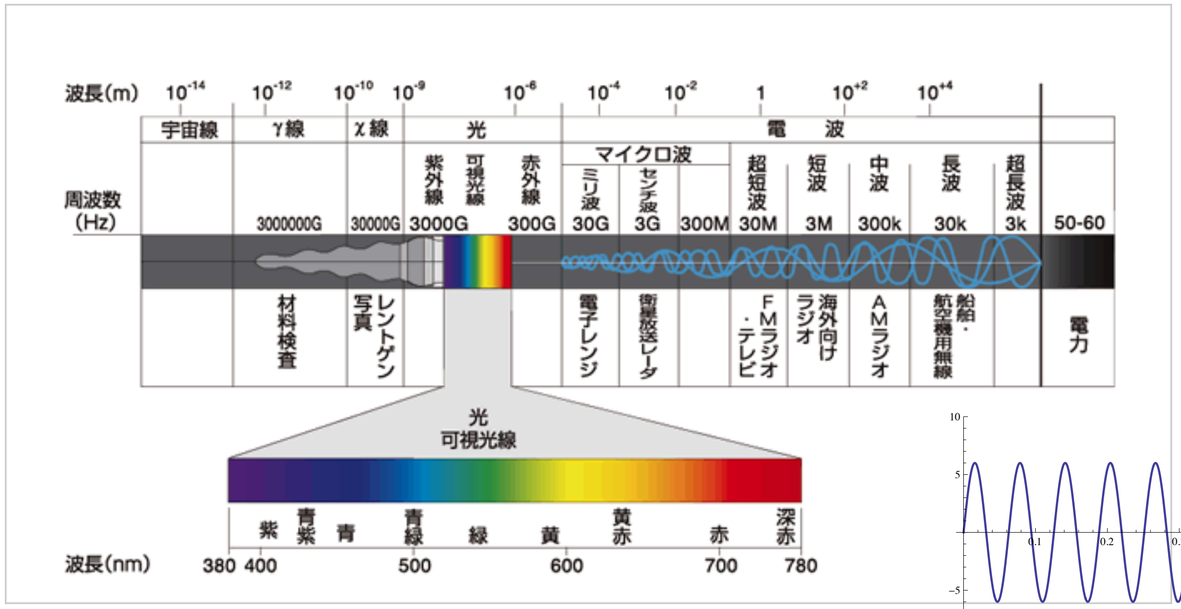
教科書 p164

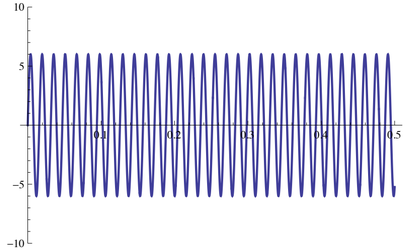
光の色＝振動数

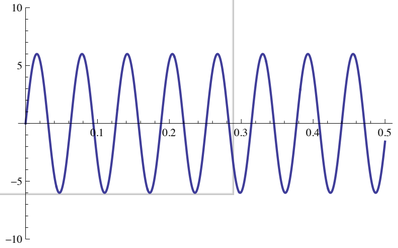


●電磁波の分類

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

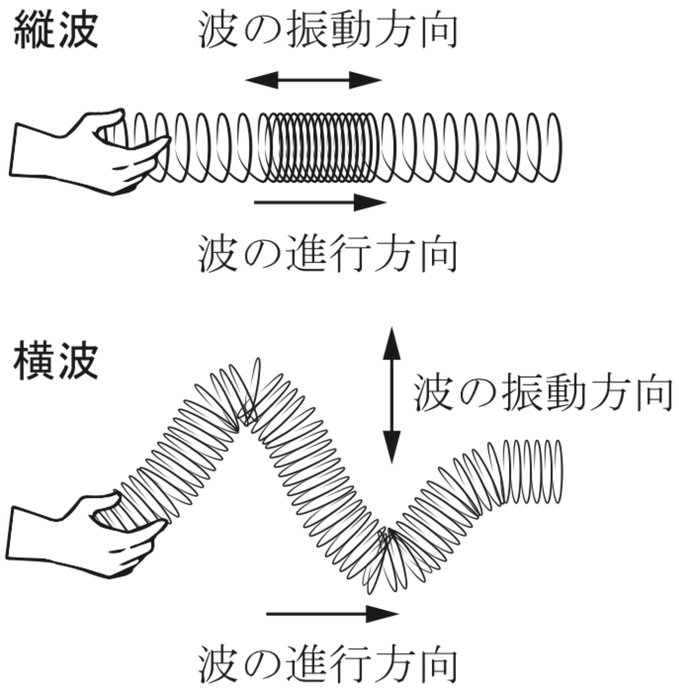






教科書 p140

縦波と横波



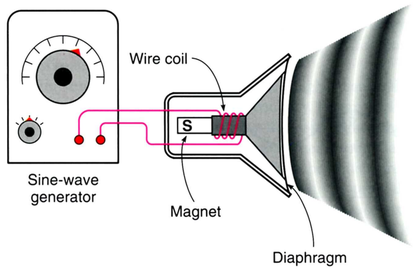
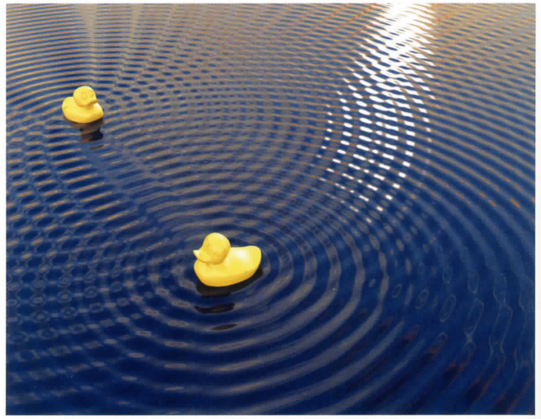


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.



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

教科書 p142

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．

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

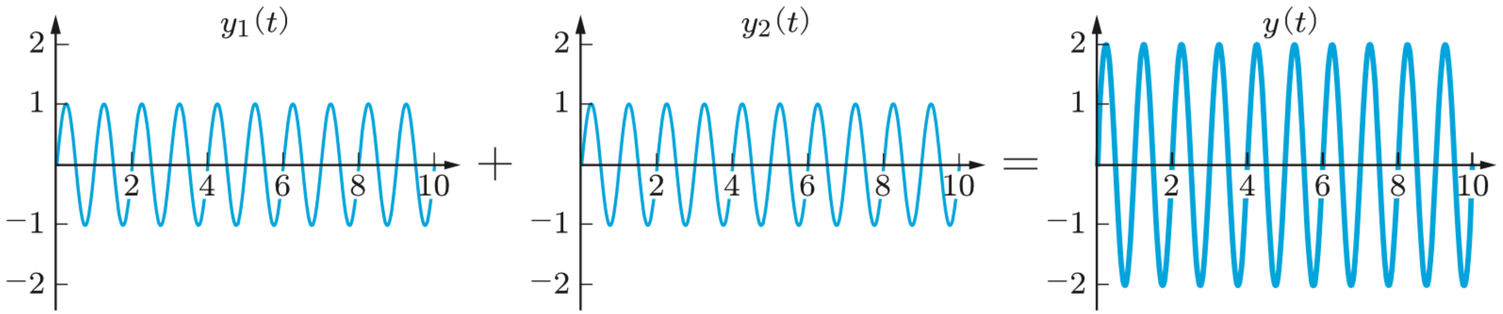


図 31: 左 2 つの波を足すと右の波になる．$y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = y_1(t)$ としたときの，$y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図．

- **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

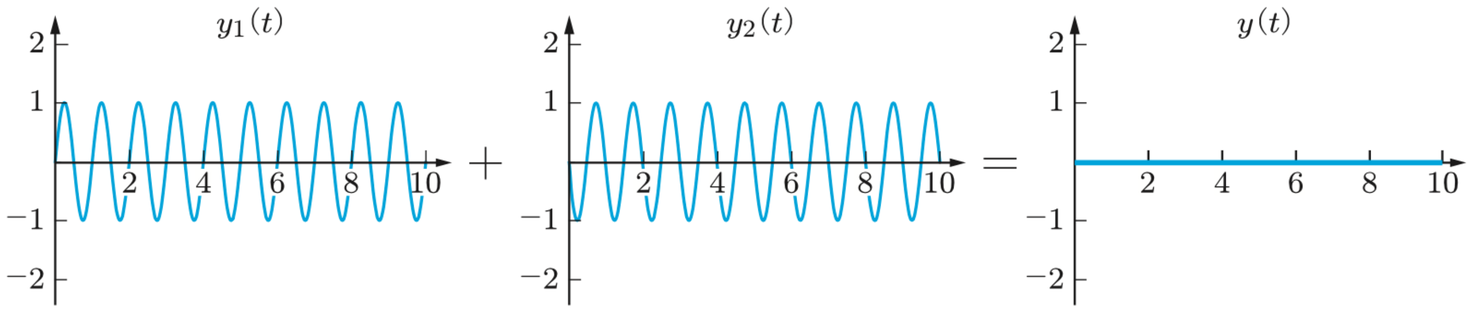
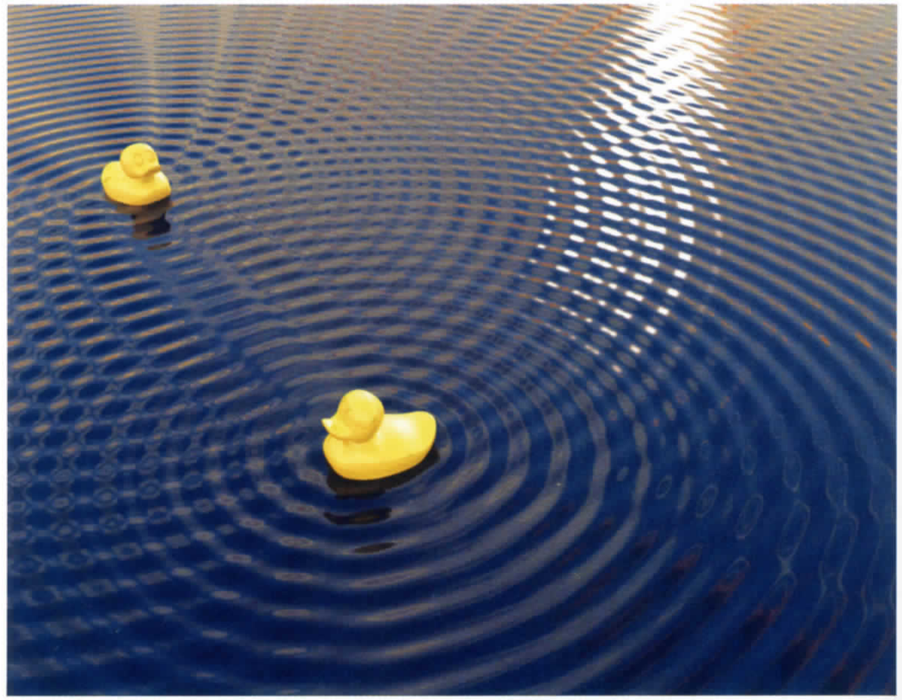


図 32: 左 2 つの波を足すと右の波になる．$y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = -\sin(2\pi t)$ としたときの，$y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図．

教科書 p143

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

NC NOISE CANCELING

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。
勉強や仕事のときなどは、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

電車の中でもクリアなサウンドで聴けます

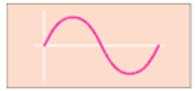
航空機※での移動時に快適にリスニング

勉強・仕事などに集中して取り組めます

※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

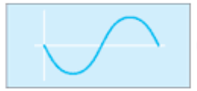
■ノイズキャンセリング機能の原理

MDR-NC6
内蔵マイク



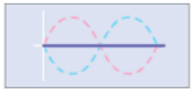
1.騒音（元の波）
ヘッドホンに内蔵されたマイクで周囲からの騒音を拾い、ノイズキャンセリング回路がその音を分析。

＋



2.逆位相の波
その騒音を打ち消す効果のある、逆位相の音を発生。

→



3.合成されて消えた波
元の波を反転させた逆位相の波を重ね、元の波を消去。これにより周囲の騒音を低減します。

＊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

http://www.sony.jp/headphone/select/popup_noise_cancel.html

教科書 p145

固定端と自由端

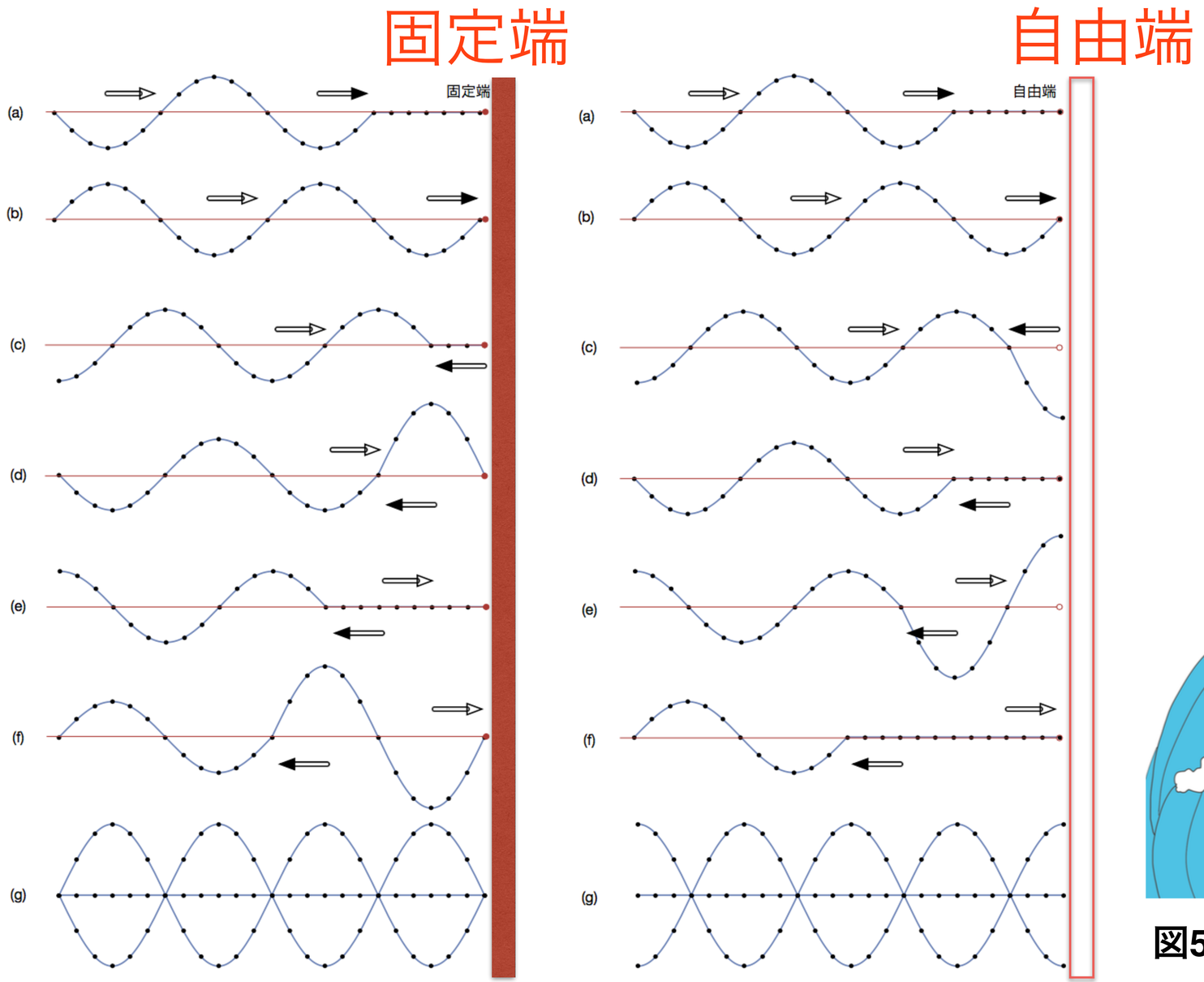


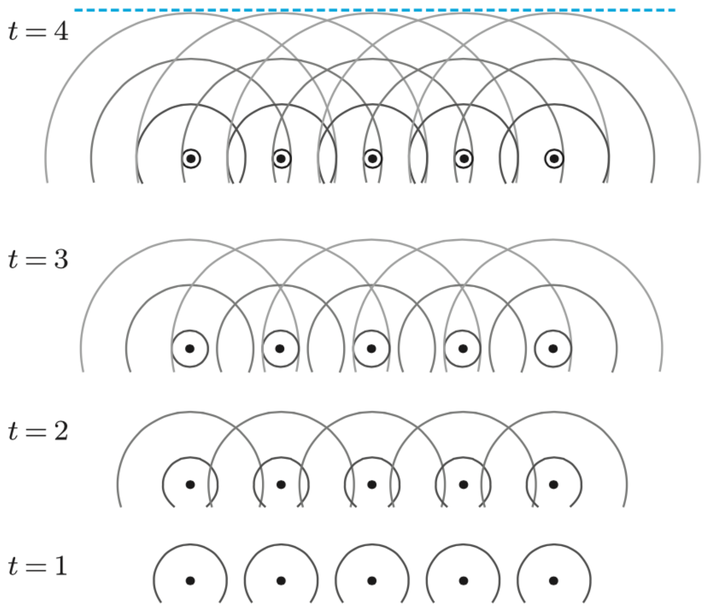
図5.13 岸壁でざぶん.

教科書 p146

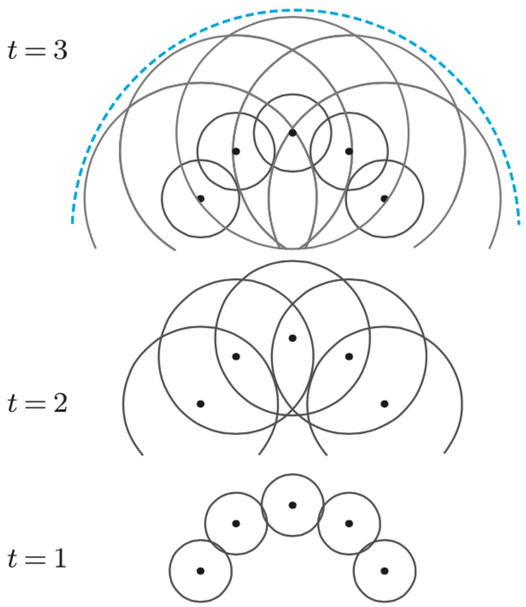
ホイヘンスの原理

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

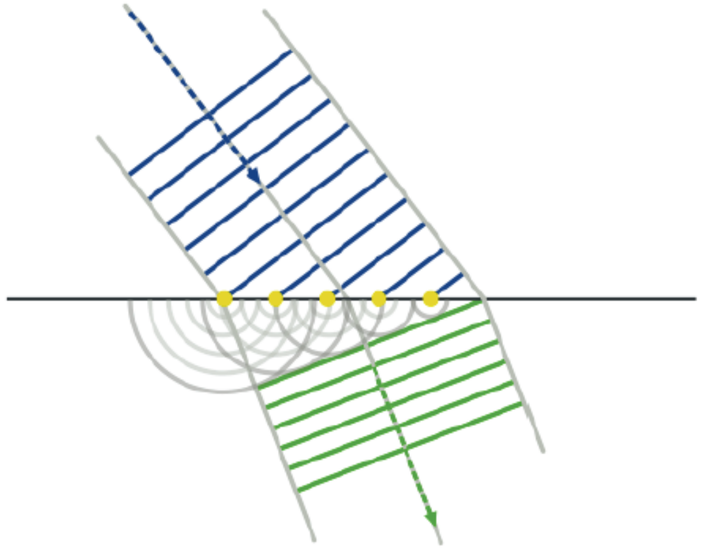
Christiaan Huygens
(1629–95)

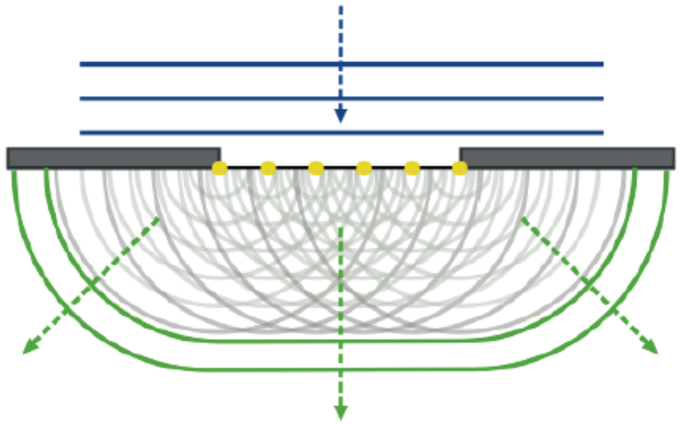
教科書 p146

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)





Christiaan Huygens
(1629–95)

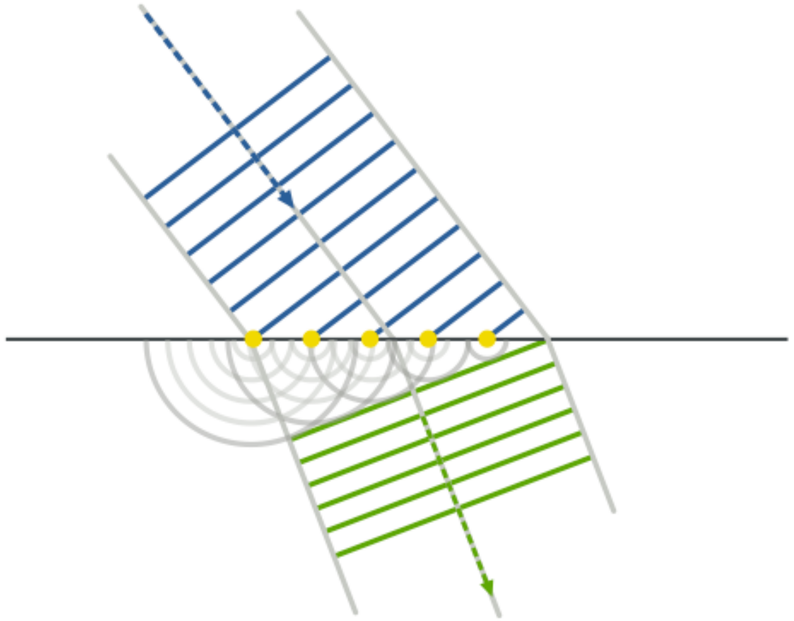
法則　ホイヘンスの原理

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．

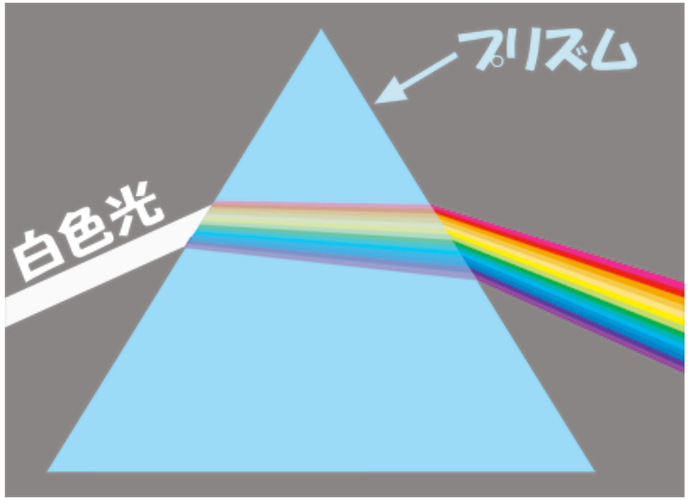
教科書 p146

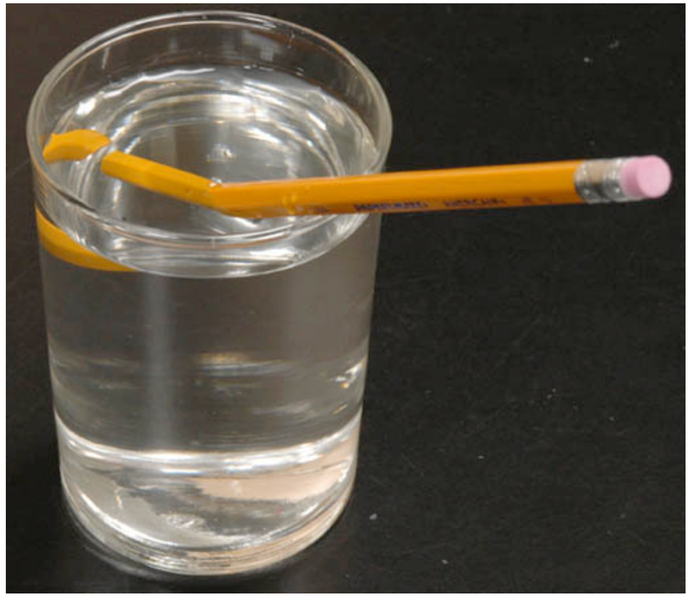
屈折（refraction）

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）





前回のミニッツペーパーから

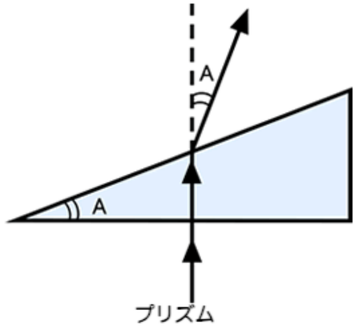
斜視の治療をしていたとき，眼鏡にプリズムのフィルム（?）のようなものを貼っていたのですが，理由は分かりますか？

斜視の治療法

斜視の種類や年齢に応じて治療法が異なります。遠視が原因の内斜視では、まず眼鏡による屈折矯正を行います。これだけで眼位が治る事もあります。それ以外の斜視では手術が必要になる事もあります。弱視を伴っている場合は、手術に先立って弱視の治療を行います。斜視の原因を正しく把握するためにも、専門医を受診し、詳しく検査をしてもらいましょう。

斜視とプリズム眼鏡

プリズムは、三角形のくさび型で、プリズムを通った光線は、くさび型の角度に応じて厚い方向へ屈折します。斜視によって、両眼の視線が正しく目標に向かわず、物が二重に見える（複視）、何となく焦点が合いにくいなどの症状を、プリズム眼鏡で視線を屈折させて軽くすることができます。 プリズム眼鏡の種類には、膜プリズムと組み込みプリズムの２種類があります。膜プリズムは、片面に細かいギザギザの筋がついた薄いフイルムで、眼鏡の裏面に貼り付けて使います。軽くて、取り外しが簡単にできることが利点です。欠点は筋で少しぼやけてみえること、汚れがつきやすいことです。

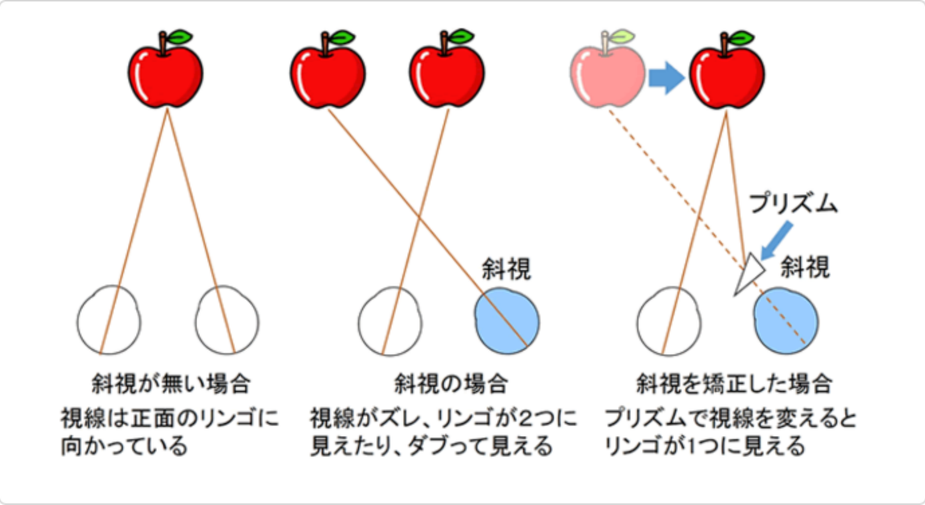


光はＡの角度だけ屈折し曲がる


膜プリズムを貼った眼鏡
横方向に細かい筋がわかる

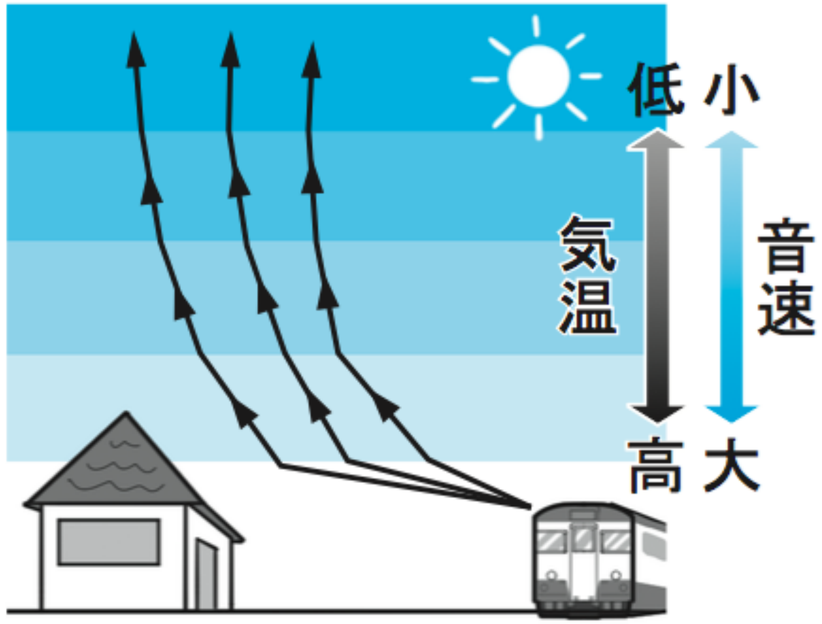
組み込みプリズムは、通常の眼鏡レンズに直接プリズムが組み込まれたものです。利点は筋でぼやけないこと、欠点はレンズが重たいこと、取り外しができないこと、大きな角度の複視に対応できないことです。 処方の際は、その方の目の状態に合わせて、レンズの種類を選び、使用するプリズムの度数や角度を決めます。 プリズム眼鏡は斜視自体を直すことはできませんが、二重に見えて車の運転が出来ない、文字がダブって本が読みにくいなどの症状を和らげることが出来ます。

https://kimura-eye.or.jp/mb/mb_ssi/

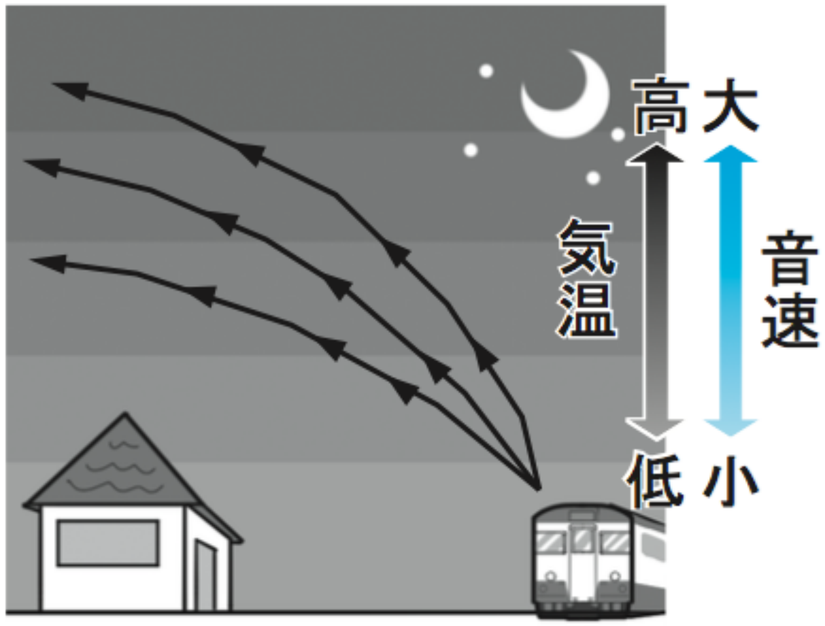


夜汽車の音が遠くまで届く

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．



(a) 日中

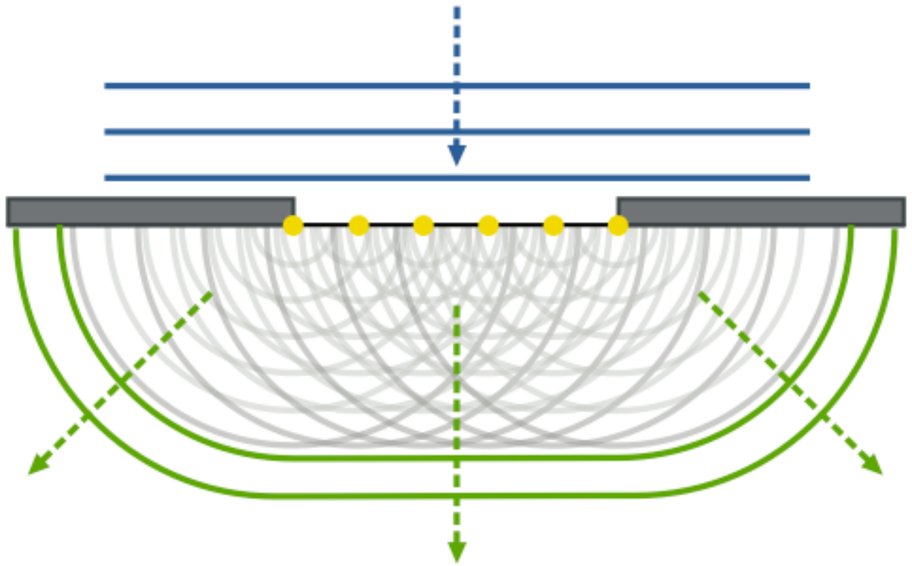


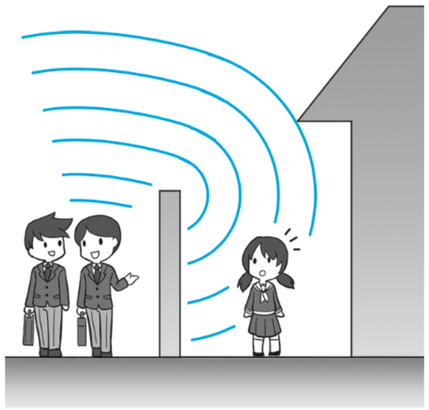
(b) 夜

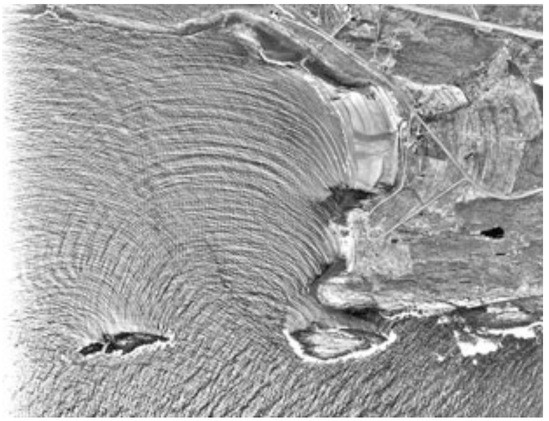
教科書 p148

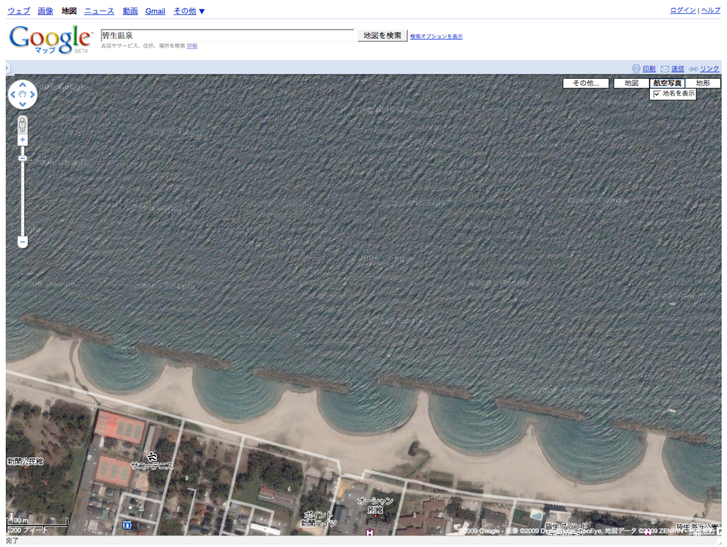
回折（diffraction）

障害物の後ろにも，波は**回折**して進む.









皆生温泉 google map

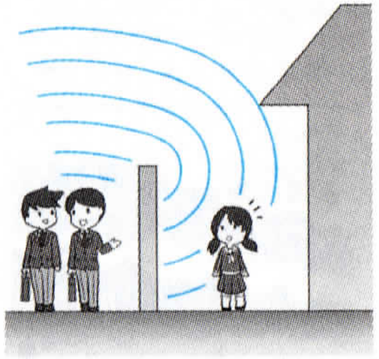
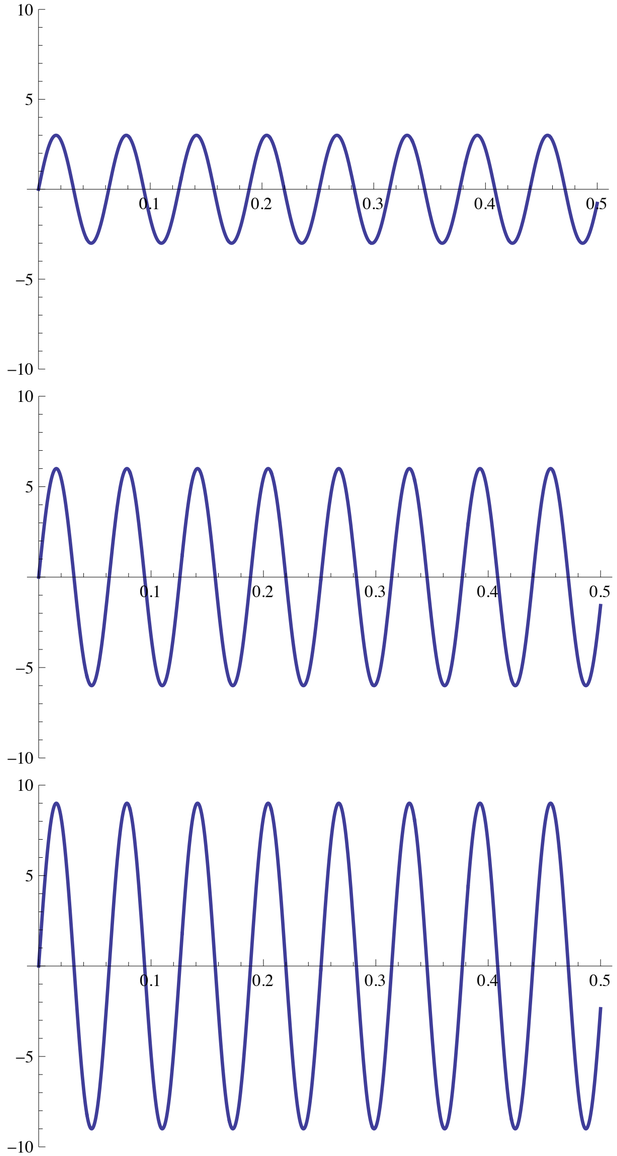


図 5.21　壁に耳あり

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．

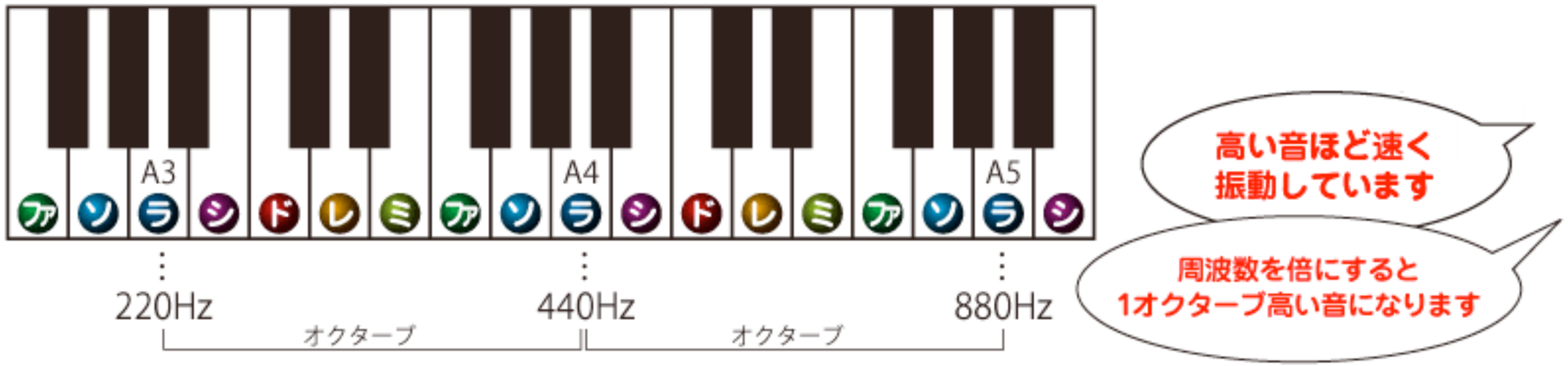
5.2.1 音の3要素(1) 音の大きさ（amplitude）



音の大きさ=振幅

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

5.2.1 音の3要素(2) 音の高低（pitch）



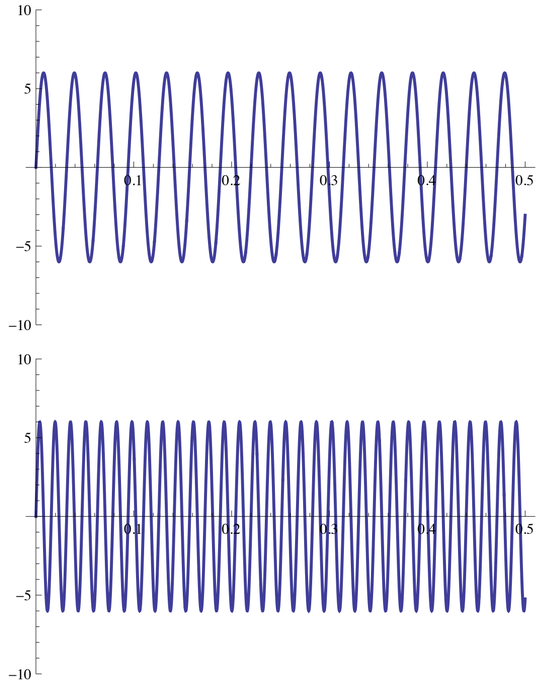
人間が聞く事ができる音は 20Hz から 20,000Hz

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



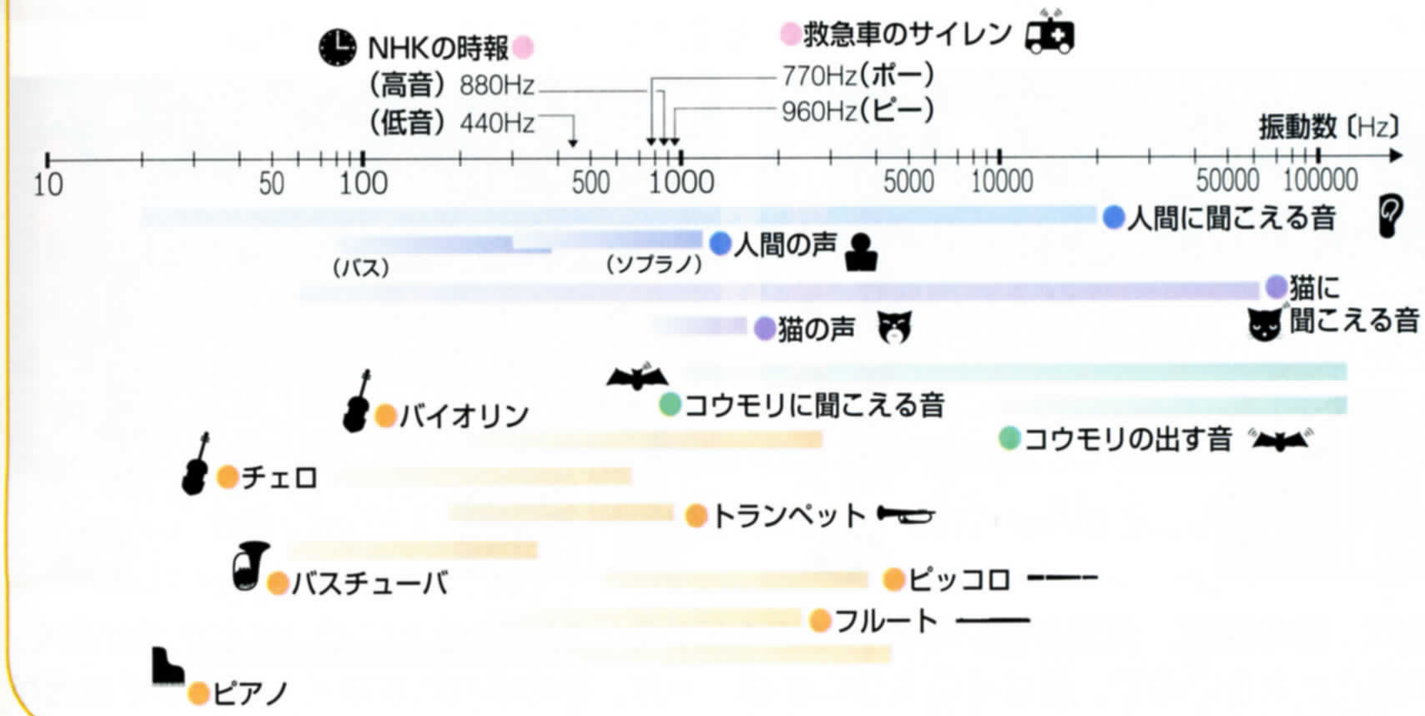
http://www.tajima-d.jp/music/basic/01.html

教科書 p150

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。



数研出版「物理I」

教科書 p150

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）．

教科書 p150

5.2.1 音の3要素(3) 音色

（a）純音

（b）バイオリン

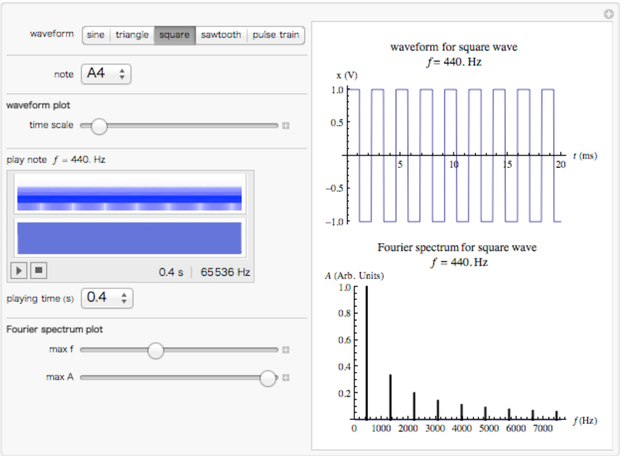
（c）フルート

（d）母音(ア)

（e）騒音

音色=波形

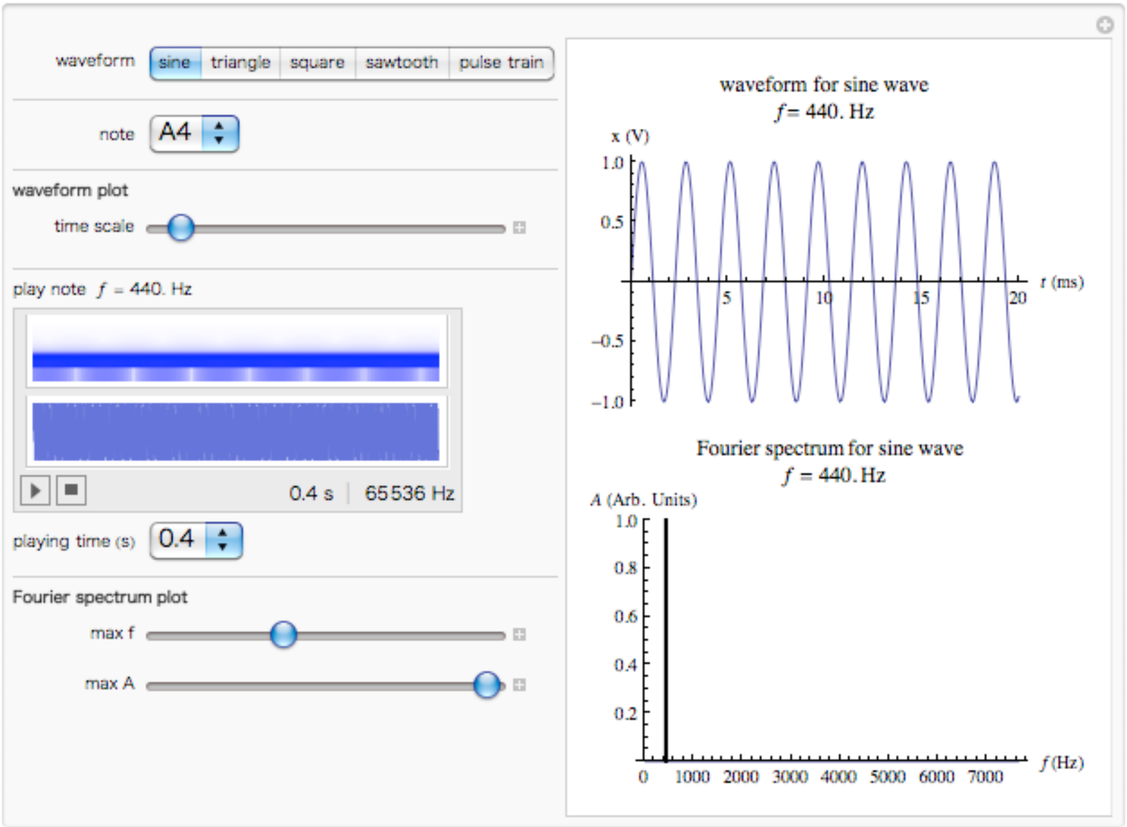
Sounds of Waveforms

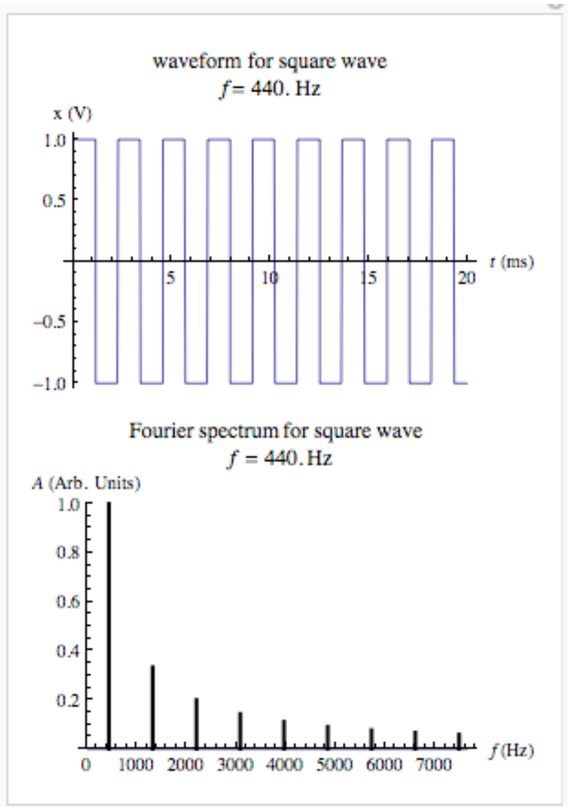


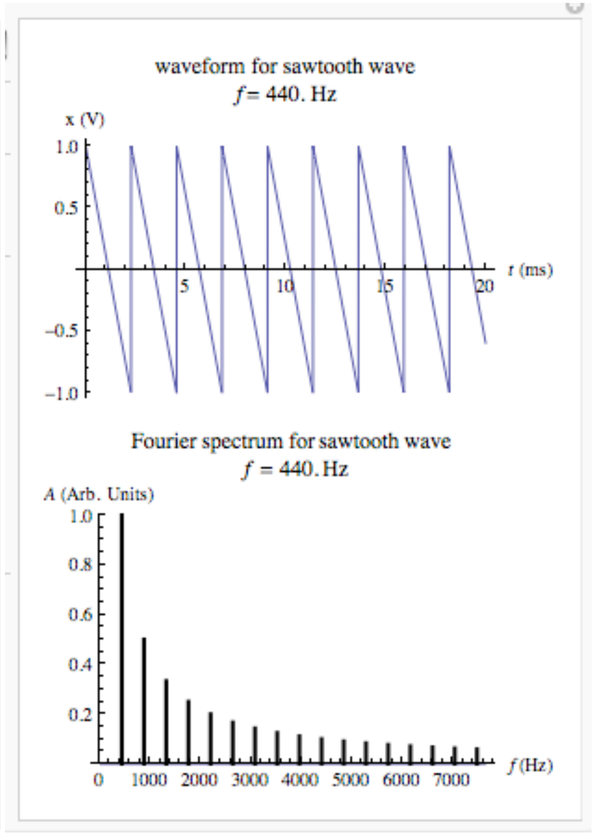
音の波形と音色

Wolfram Demonstrations Project demonstrations.wolfram.com »

Sounds of Waveforms



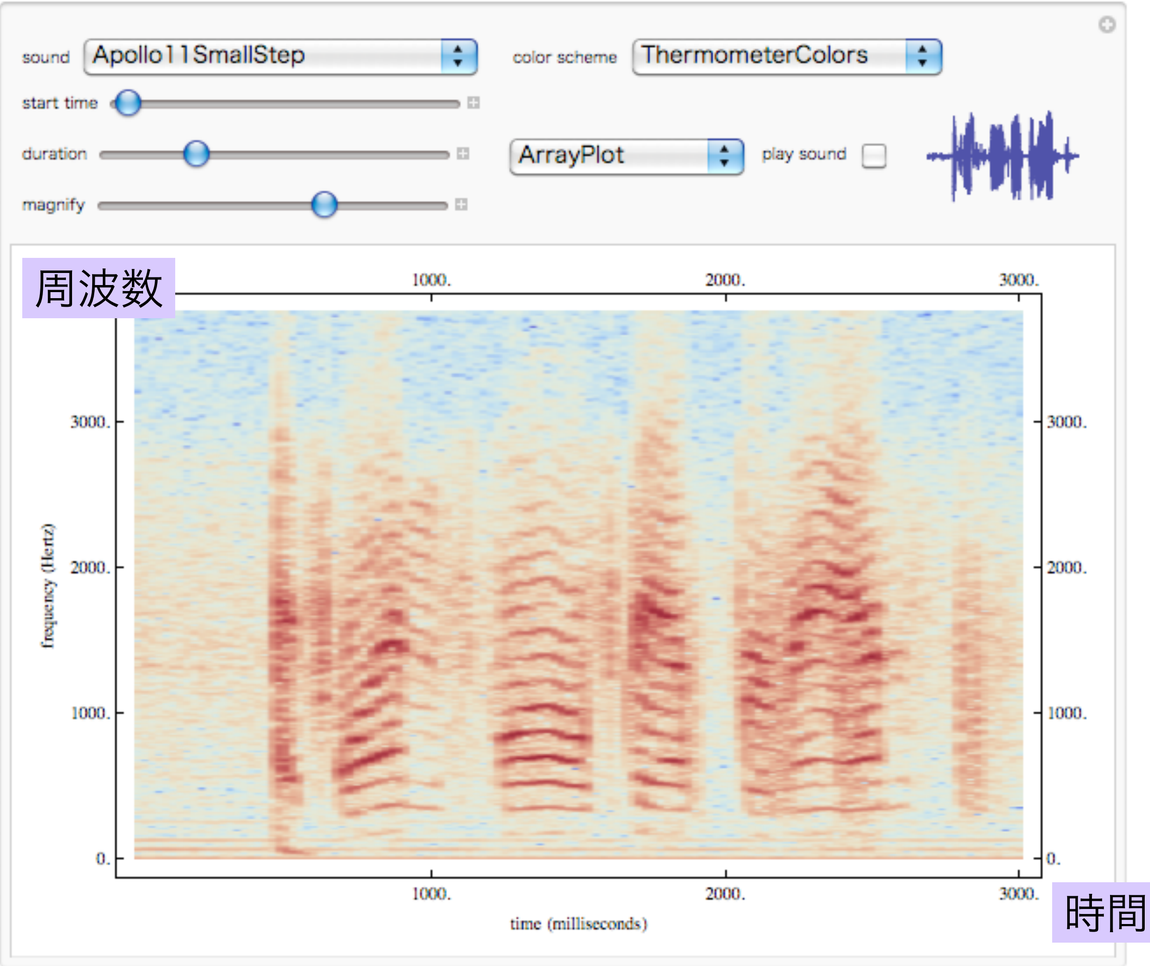




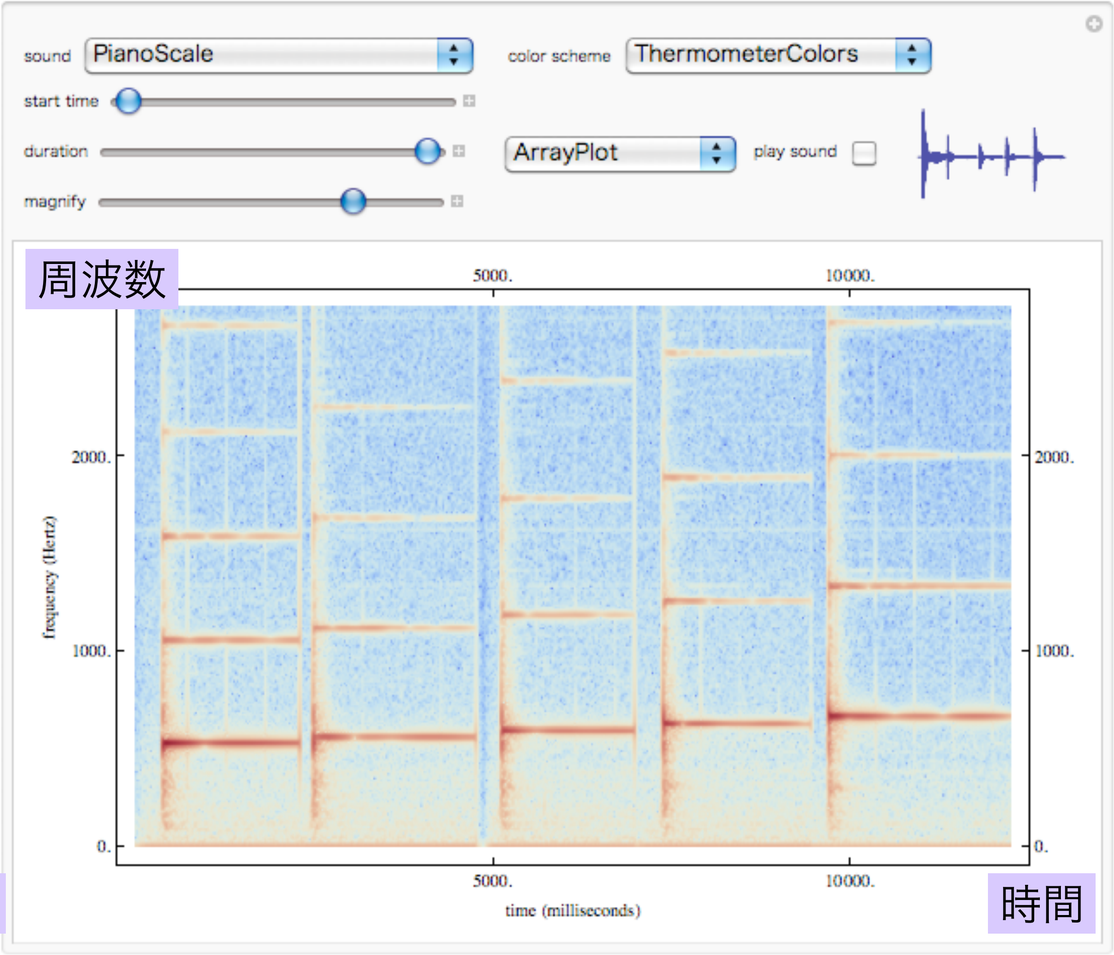
音のスペクトル（周波数分解）

Wolfram Demonstrations Project demonstrations.wolfram.com »

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


人類、ここに月を踏む

予定早め午前11時56分20秒

「月面、炭の粉のよう」

わずかにめりこむ 2人、軽快な動き


読売新聞

人間、初めて月を踏む

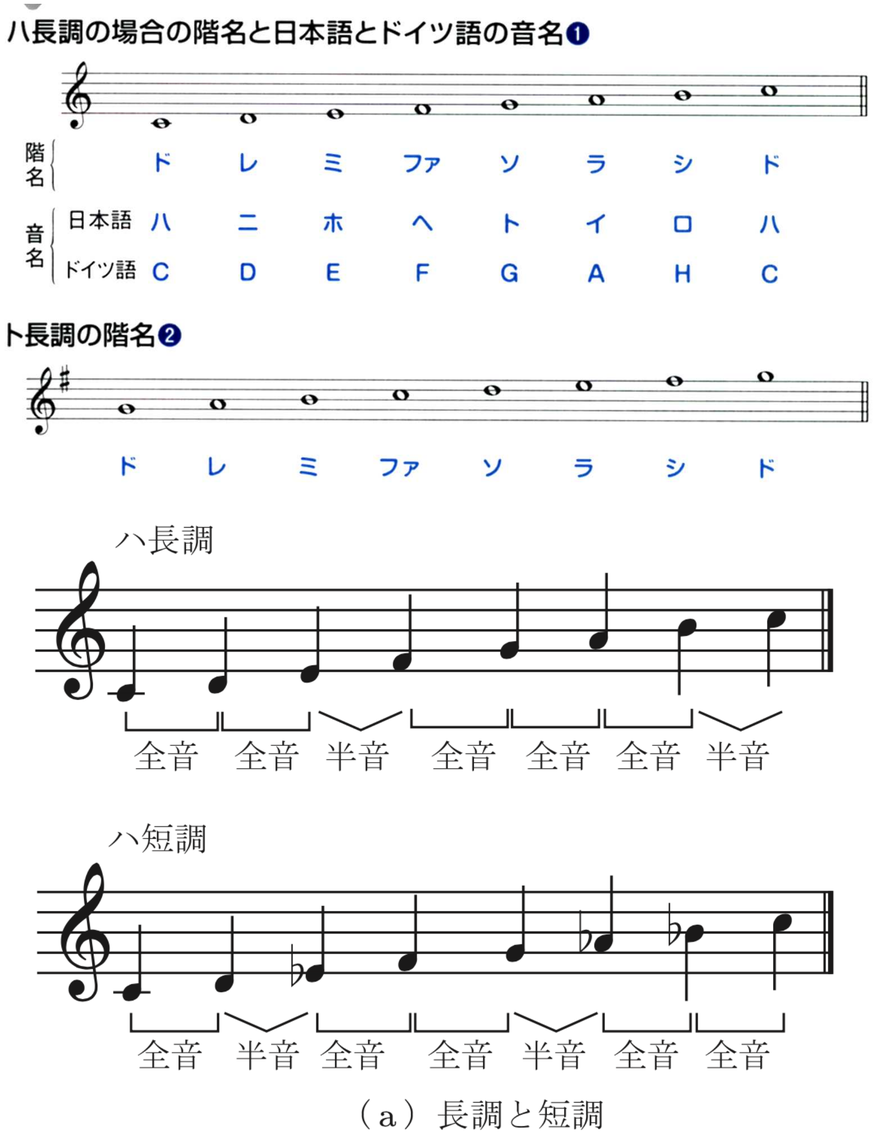
午前11時56分20秒

岩石28キロを採取

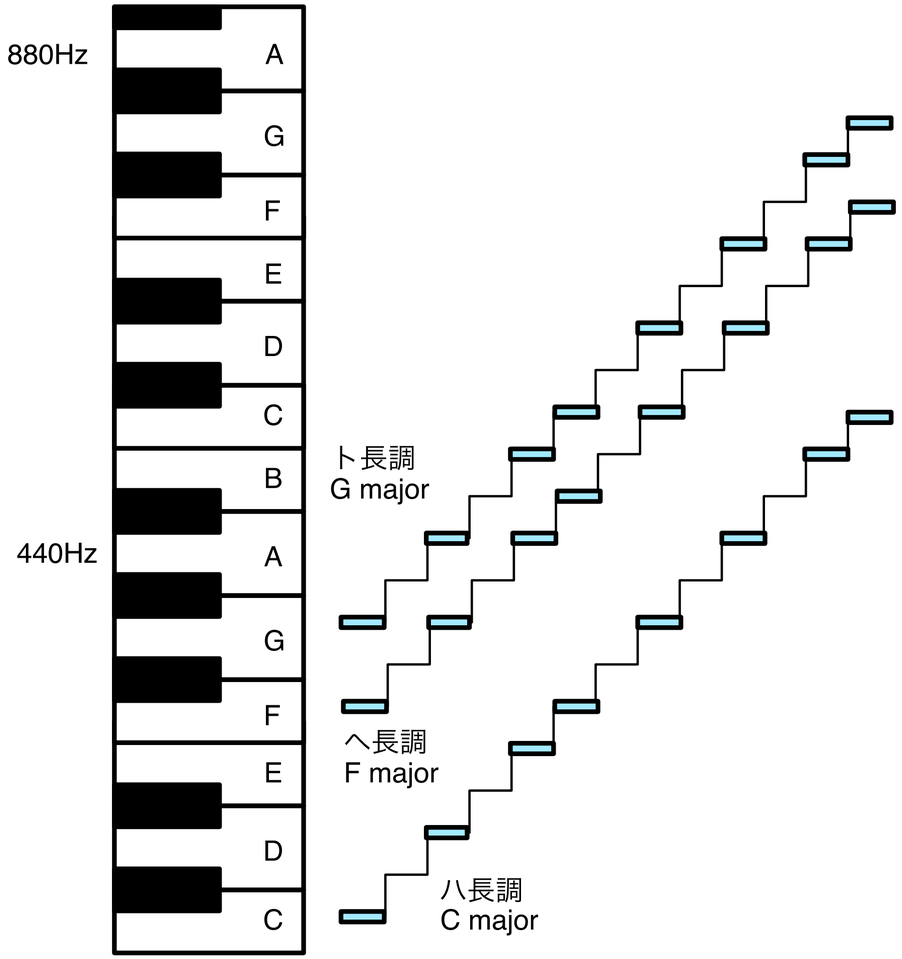
細かい砂上、楽に活動

教科書 p151

音階



（a）長調と短調

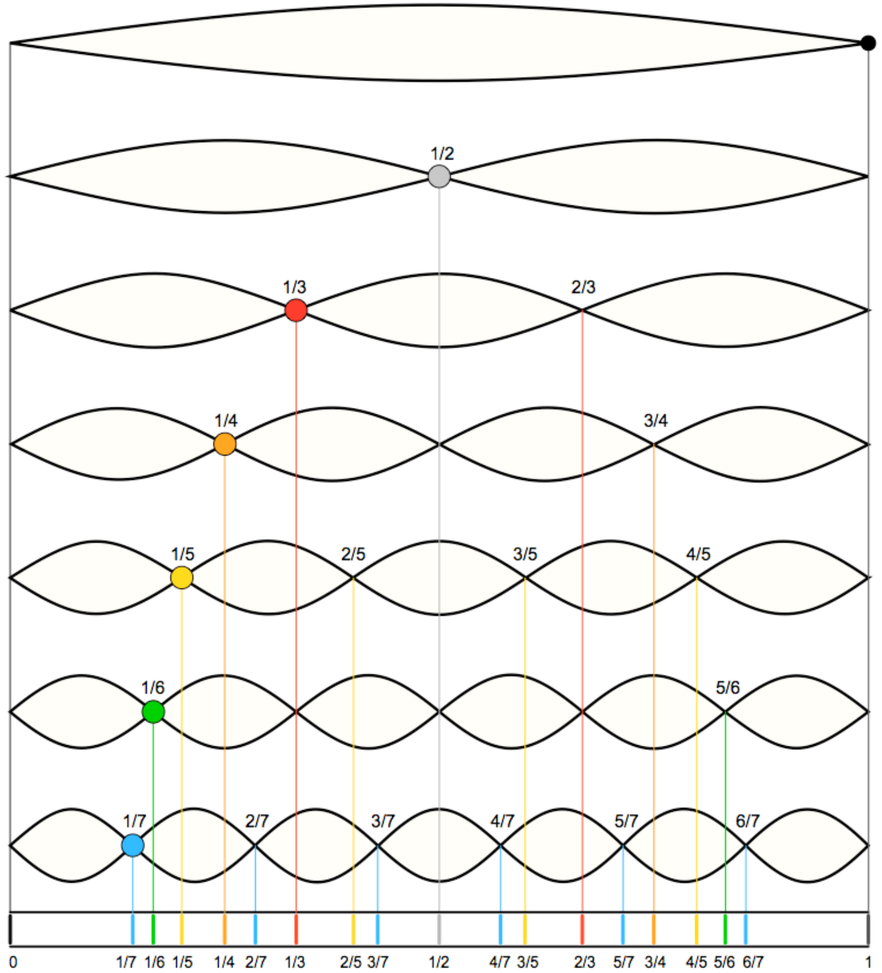


長音階，自然短音階

教科書 p151

純正律と平均律(1)

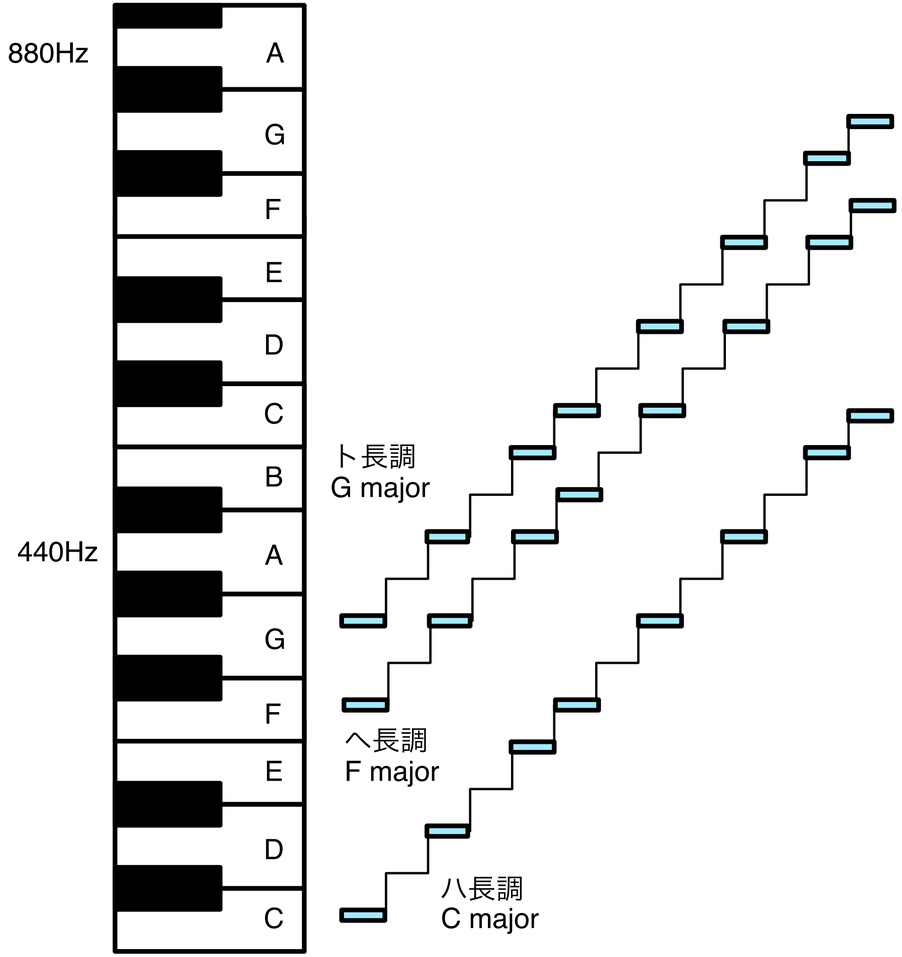
- 周波数の比が単純な整数比で構成される音律を**純正律**という．うなりを伴わない純正な和音をつくることができるが，転調・移調が困難であり，全音に 2 種類あるため音階が不均等な印象を与えてしまう欠点がある．



純正律と平均律(2)

教科書 p151

- 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．



教科書 p151

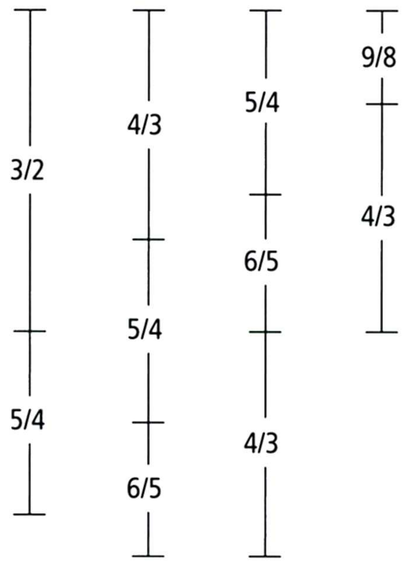
純正律と平均律(3)

table 15.1

Frequencies and Ratios for Different Tuning Methods

Equal Temperament			Just Tuning	
Note	*f* (Hz)	Ratios	Note	*f* (Hz)
C	261.6		C (*do*)	264.0
		1.05946		
C♯ (D♭)	277.2			
		1.05946		
D	293.7		D (*re*)	297.0
		1.05946		
D♯ (E♭)	311.1			
		1.05946		
E	329.6		E (*mi*)	330.0
		1.05946		
F	349.2		F (*fa*)	352.0
		1.05946		
F♯ (G♭)	370.0			
		1.05946		
G	392.0		G (*sol*)	396.0
		1.05946		
G♯ (A♭)	415.3			
		1.05946		
A	440.0		A (*la*)	440.0
		1.05946		
A♯ (B♭)	466.2			
		1.05946		
B	493.9		B (*ti*)	495.0
		1.05946		
C	523.3		C (*do*)	528.0

Frequency Ratios

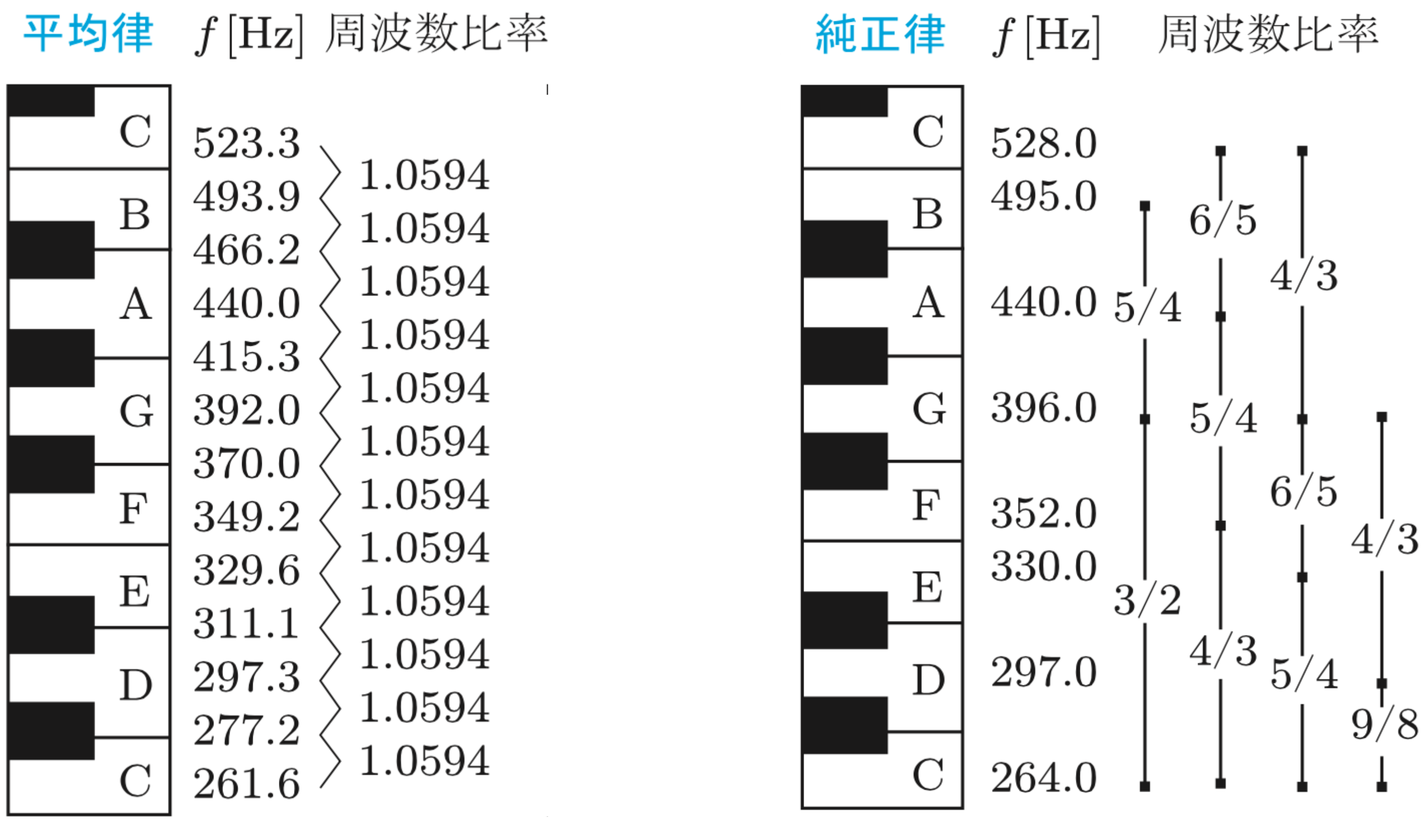


平均律

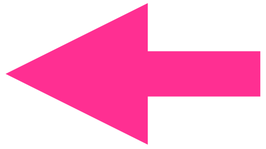
純正律

教科書 p151

純正律と平均律(4)



平均律

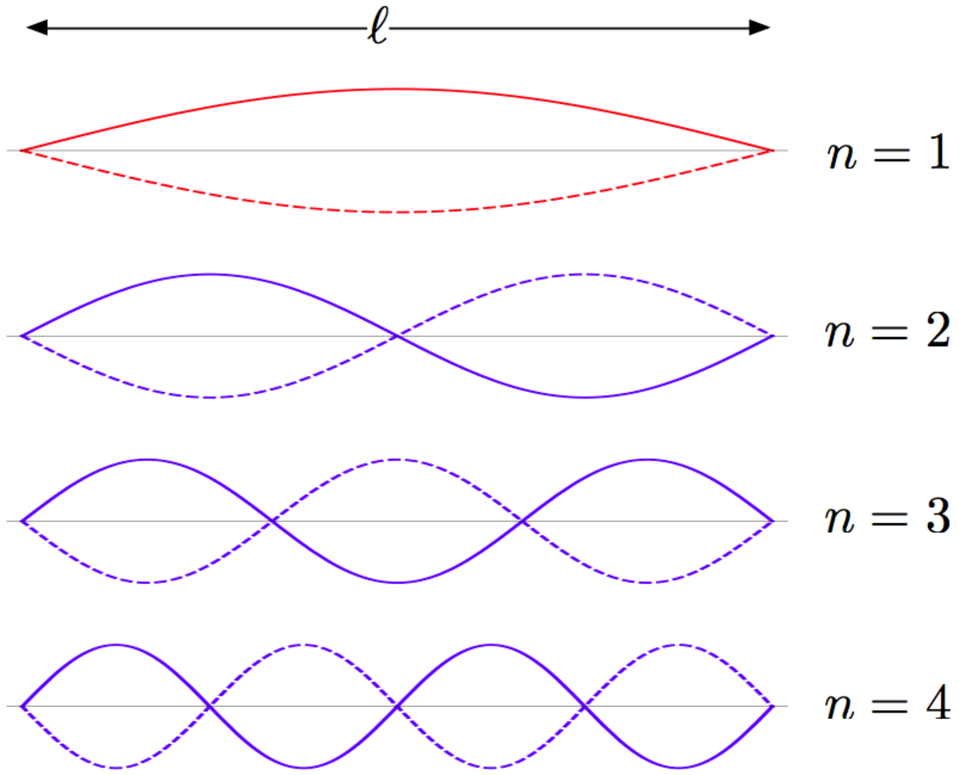


純正律

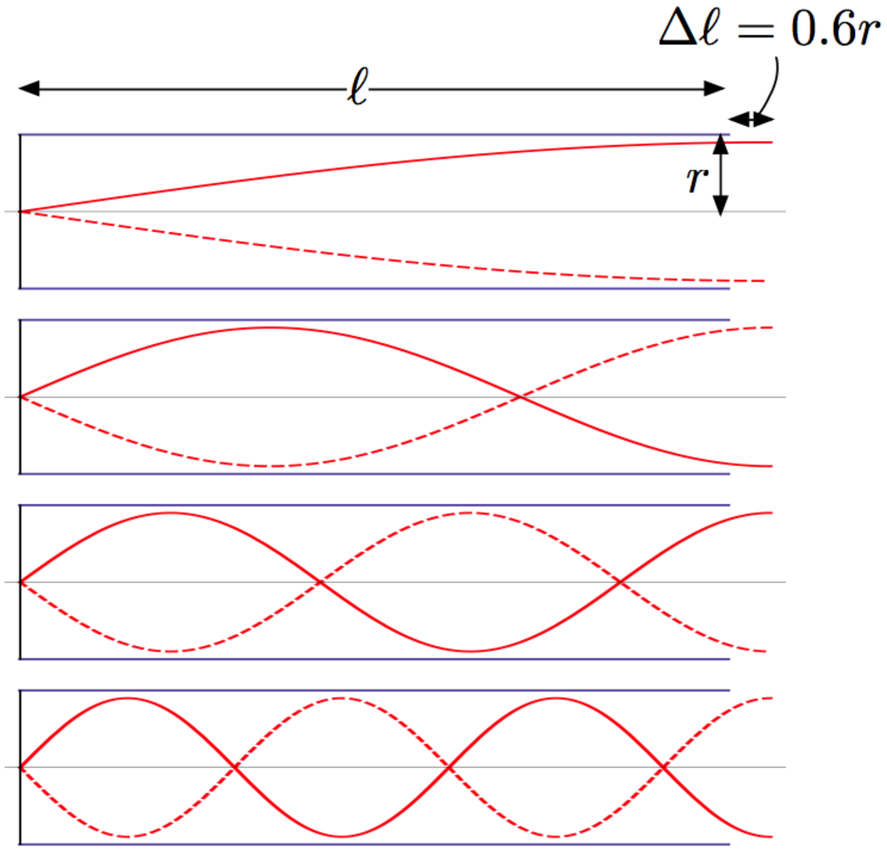
教科書 p152

基本振動

弦の振動

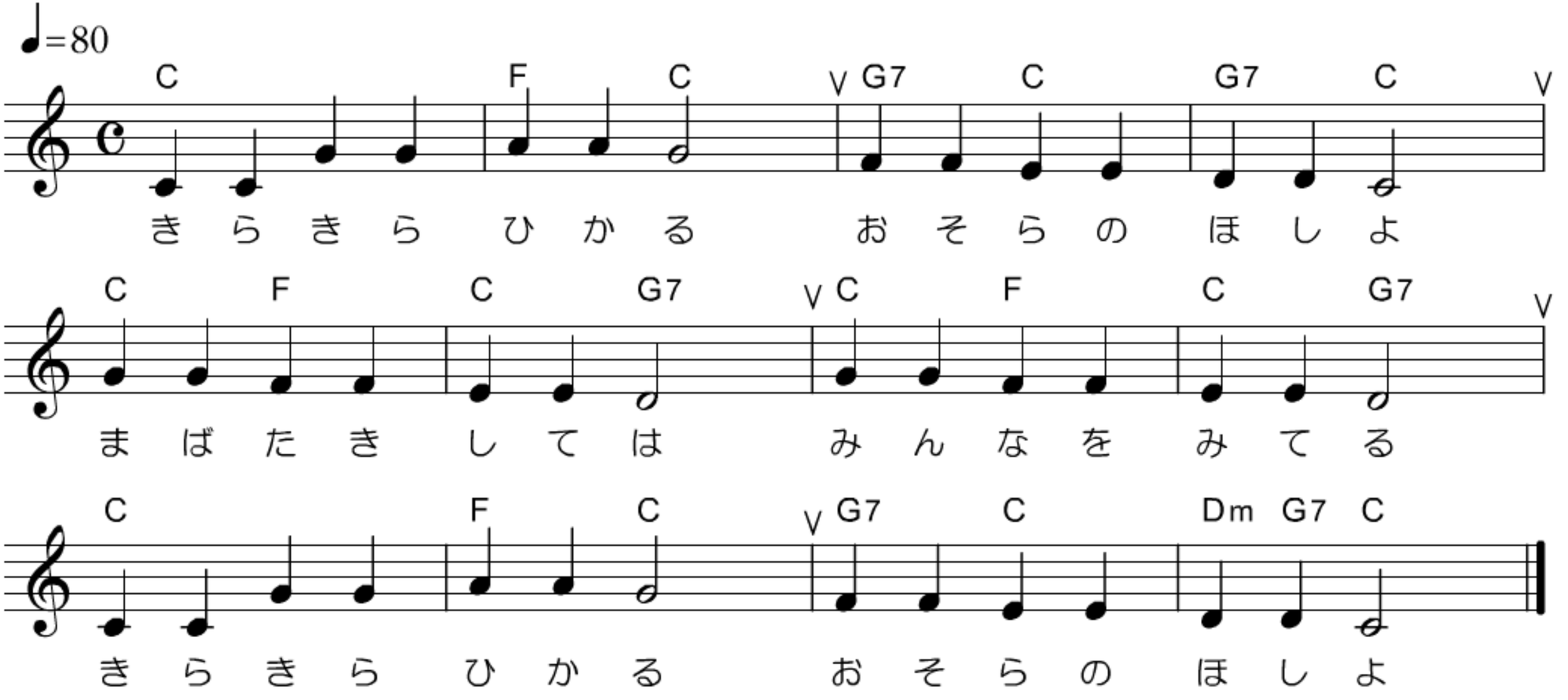


管内の空気の振動



きらきら星

作詞　武鹿 悦子
フランス民謡



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
ペギー 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

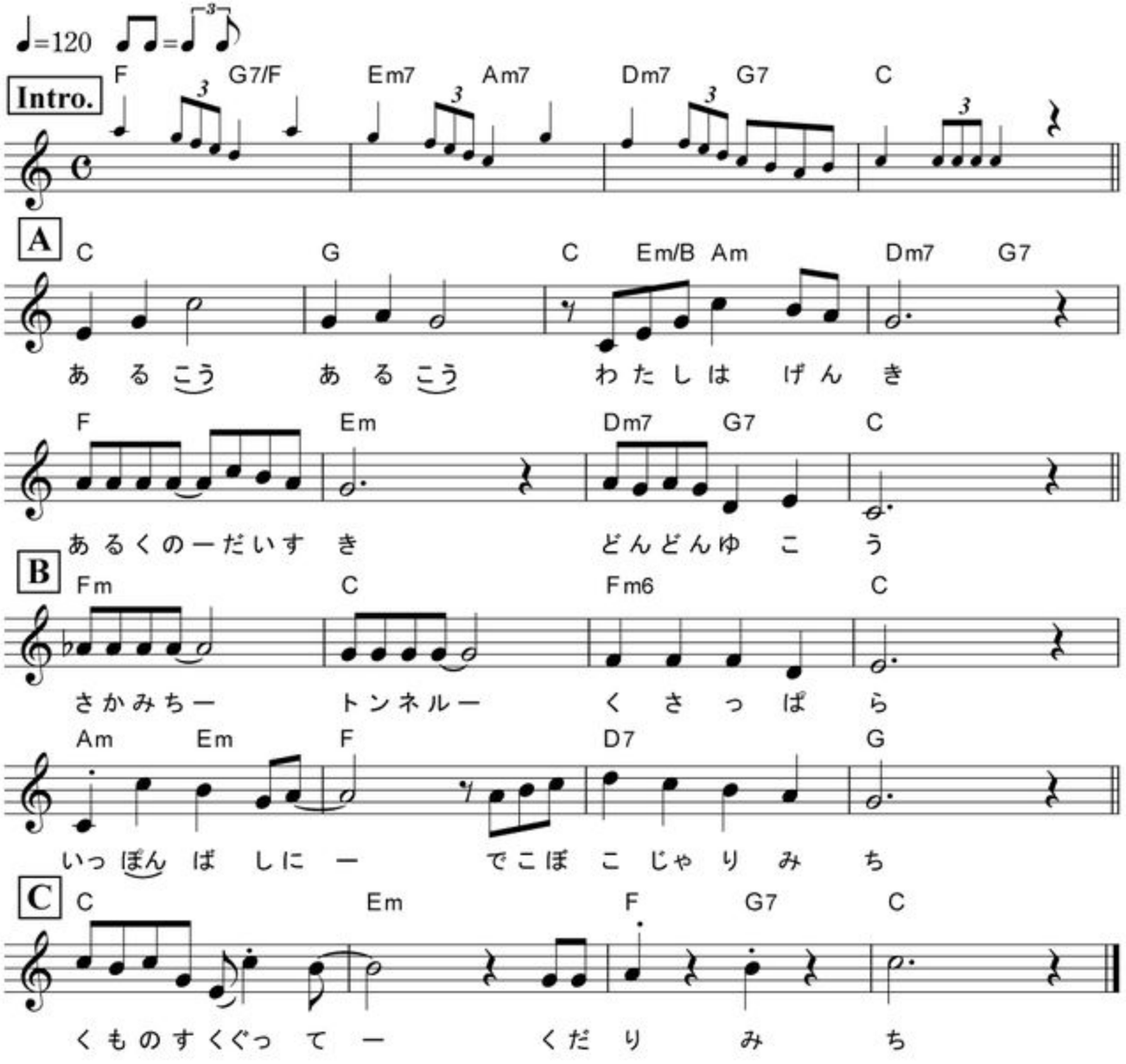
ー ラ は ラ ッ パ の ラ ー シ は
ー ラン ラ ラ ラ ラ ラ ー し あ

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

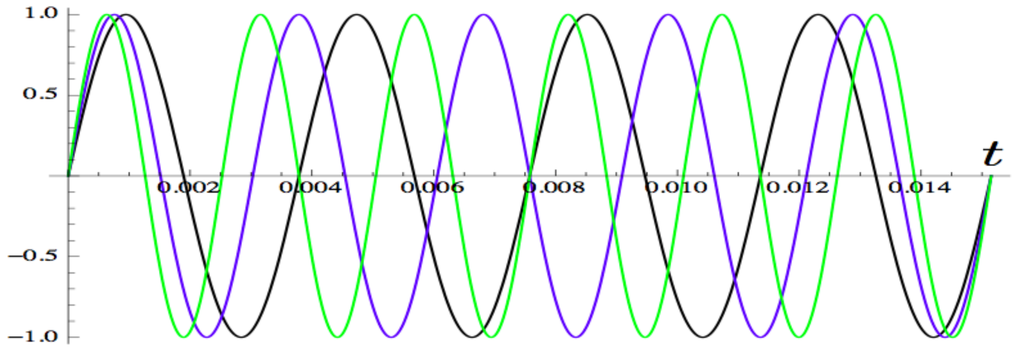
さんぽ

歌　井上あずみ
作詞　中川李枝子
作曲　久石　譲

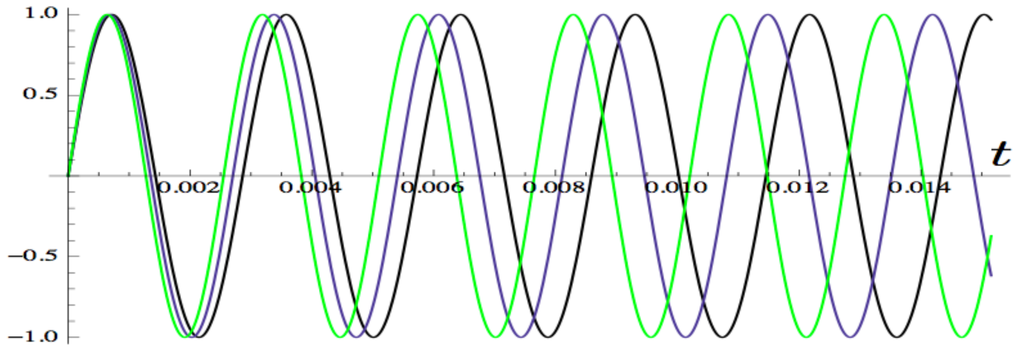


教科書 p153

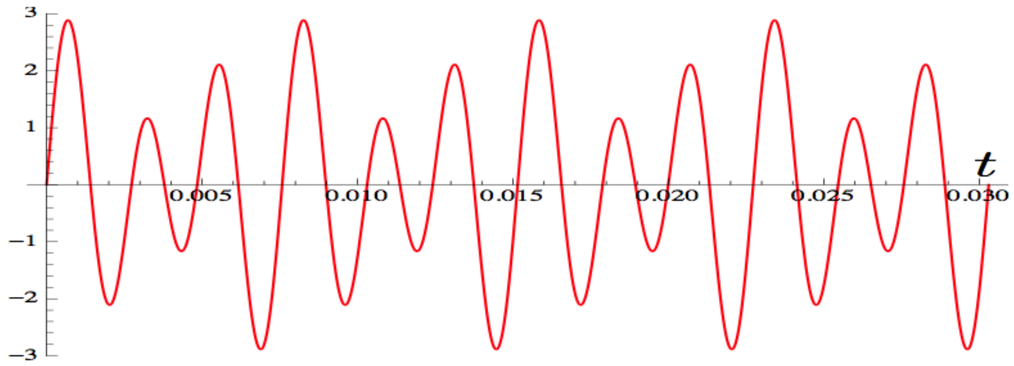
和音



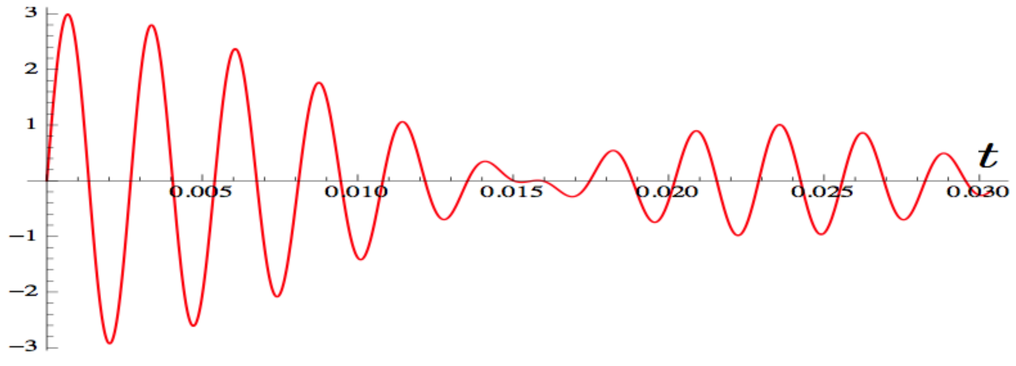
do, mi, so



fa, fa#, so



do+mi+so



fa+fa#+so

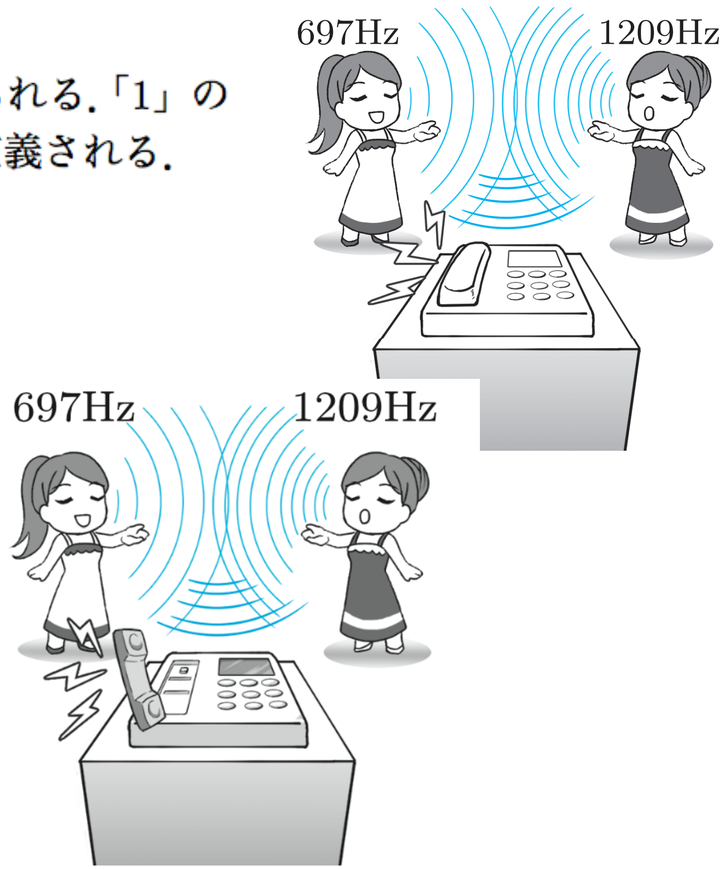
ピポパは, 2つの音の合成

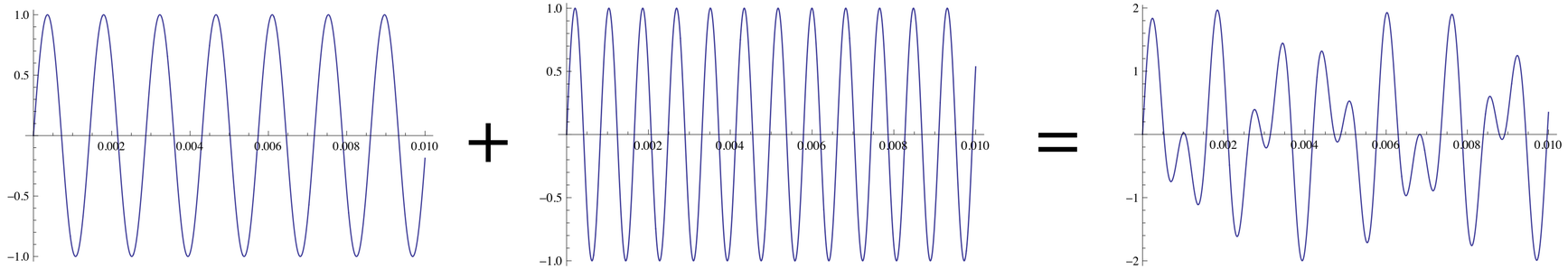
DTMF (Dual-tone multi-frequency signaling)

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.





駅の発車メロディー

新宿駅１番線（埼京線）

新宿駅9-10番線（中央線）

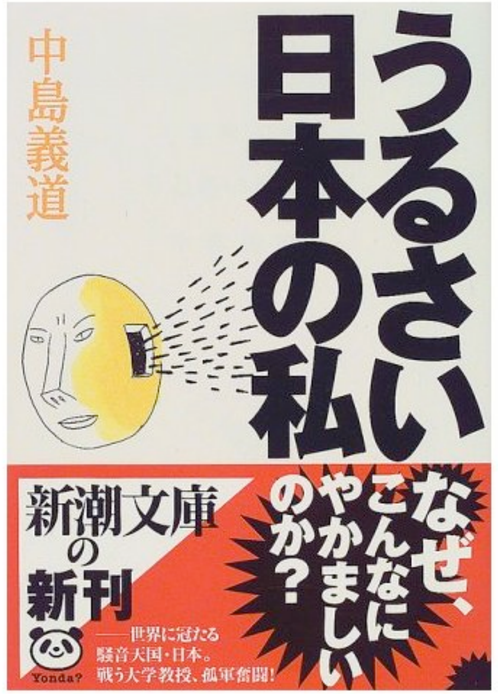
新宿駅12-13番線（山手線）

新宿駅11-14番線（総武線）

山手線+総武線

【話題】

うるさい日本の私

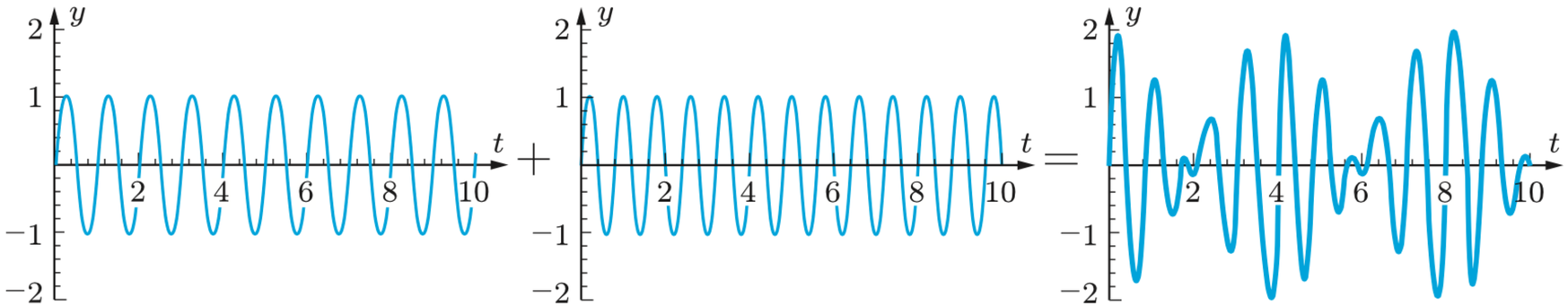


バスや電車の中、駅や観光地、デパートから不用品回収車まで、日本中にいたるところで“おせっかい放送”が聞こえてくる。「戦う哲学者」が孤軍奮闘、静かな街を求めて「音漬け社会」に異議を申し立てた話題の書。

うなり　（beat）

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)



（a）　（b）　（c）

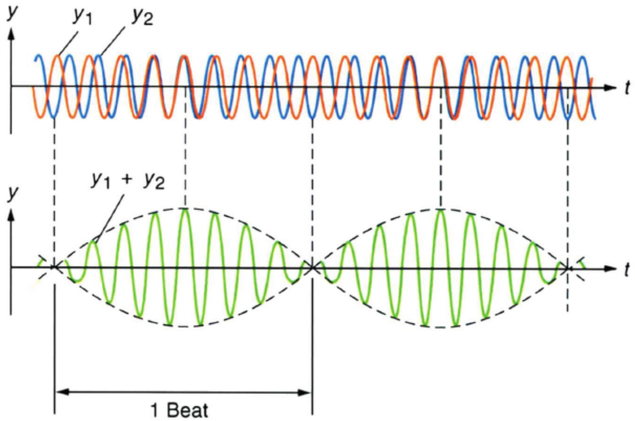


figure 15.23　The two waves with slightly different frequency in the top drawing interfere to produce the beats shown in the lower drawing. The two waves come in and out of phase as time progresses.

うなり　(beat)

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みえるが，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．

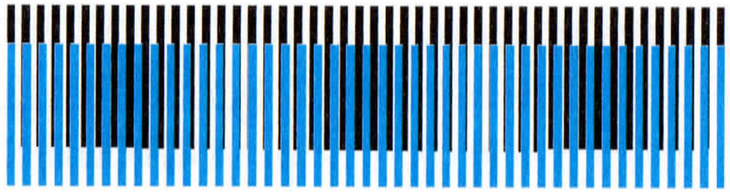
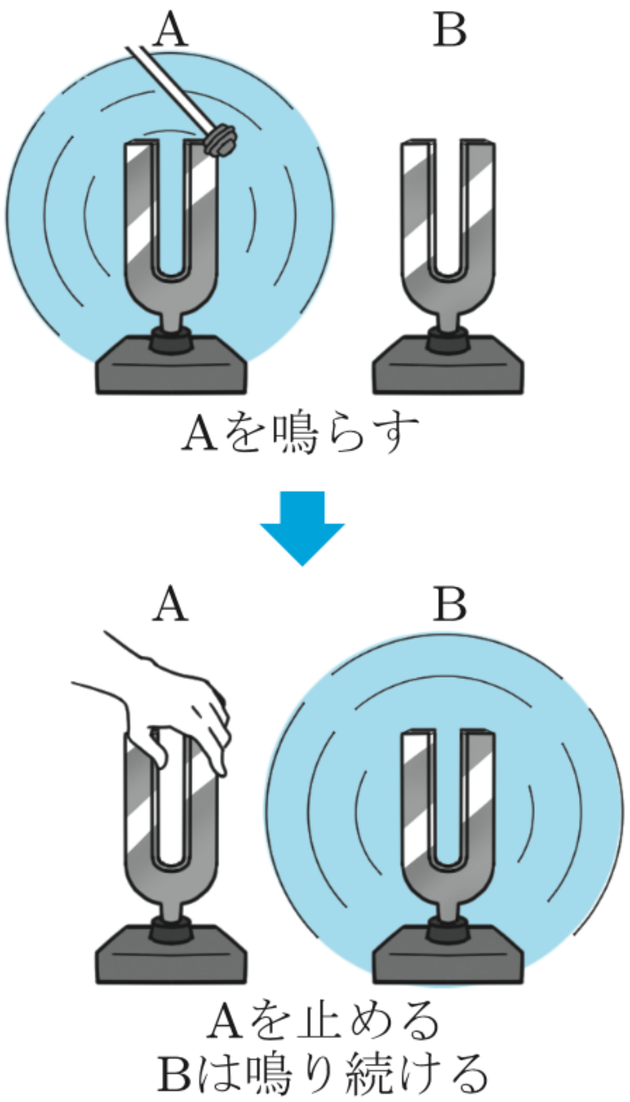


図 5.33　うなり，みえますか？

共鳴・共振

教科書 p153



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．

共振

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

非線形問題解決軍団
池口研究室
NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEM

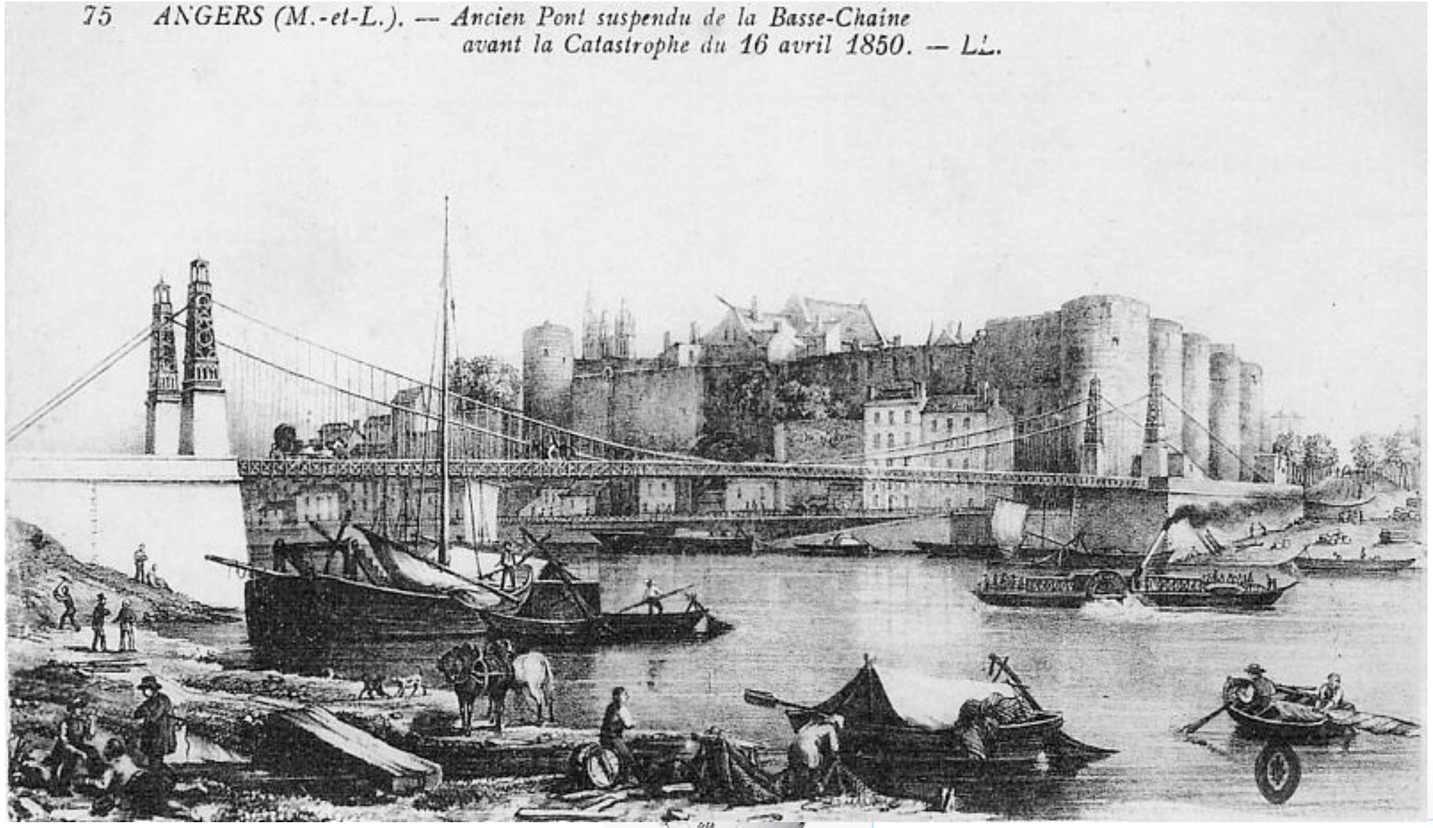
メトロノーム同期 (48個)

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-Chaîne 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

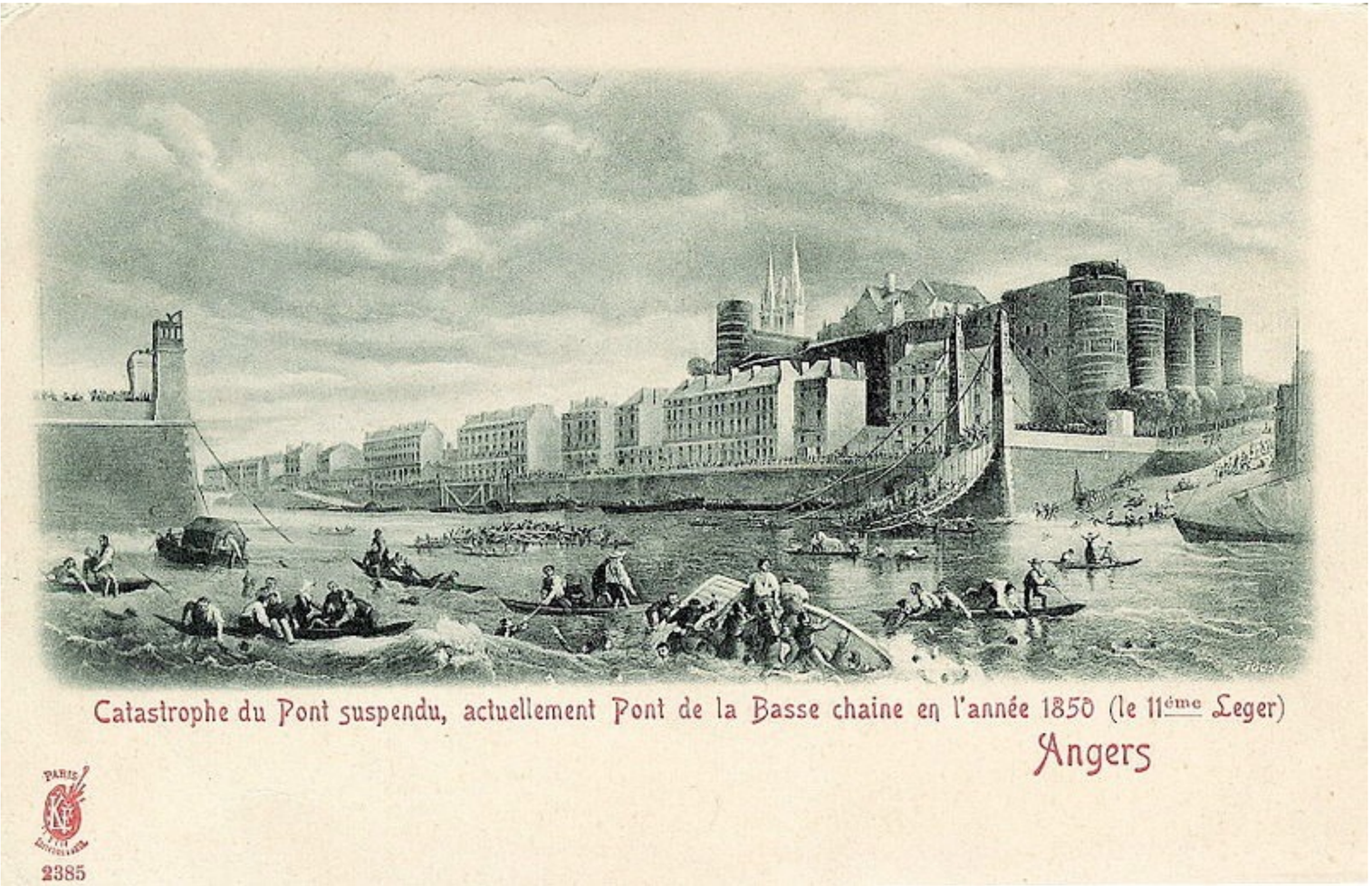
Angers Bridge

From Wikipedia, the free encyclopedia

Angers Bridge, also called the **Basse-Chaîne 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.

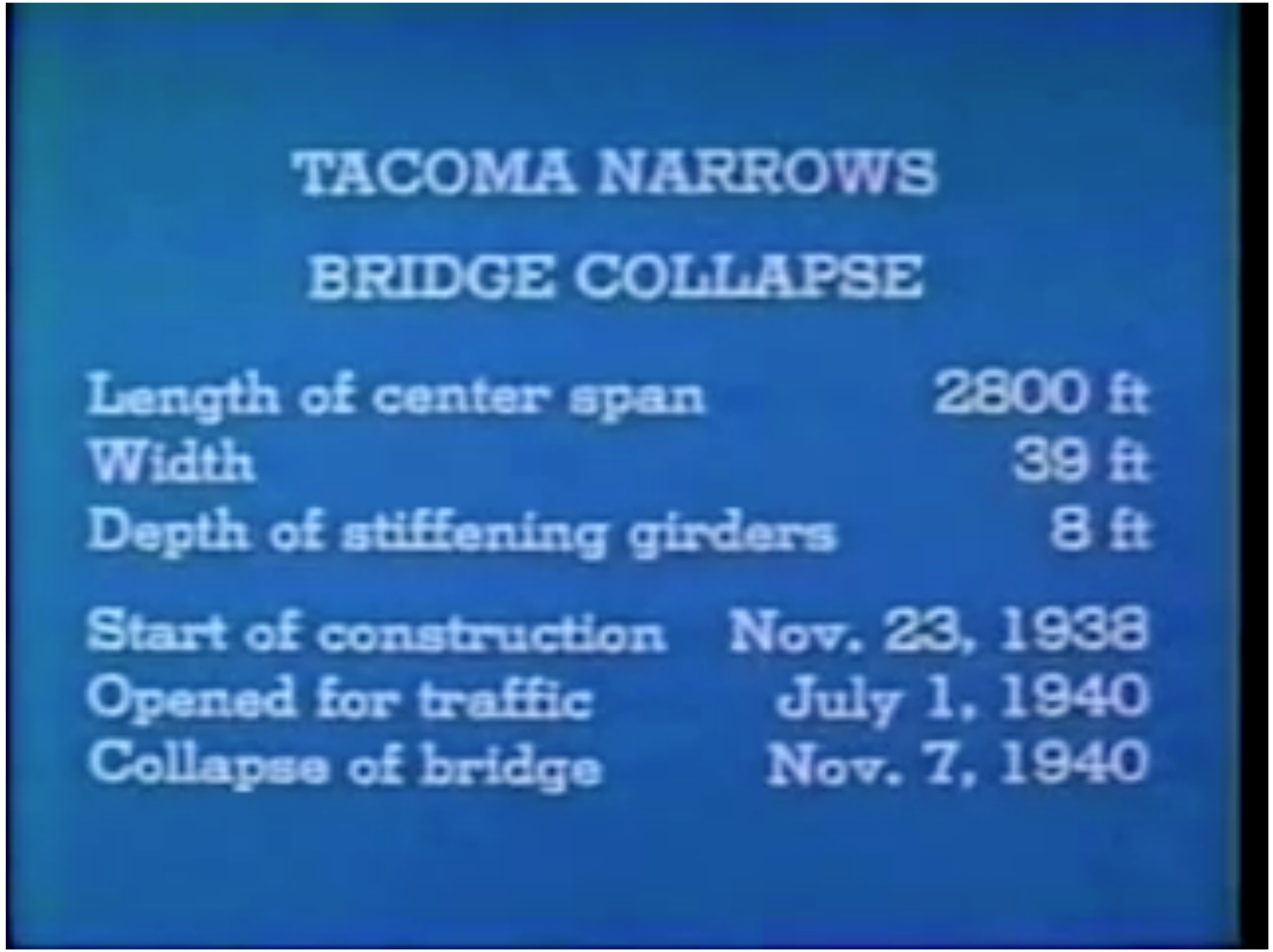
The bridge spanned 102 m (335 ft), with two wire cables carrying a deck 7.2 m (24 ft) wide. Its towers consisted of cast iron columns 5.47 m (17.9 ft) tall.[1]

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



http://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs Start on Click, 4'13"

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。

http://ja.wikipedia.org/wiki/十勝沖地震
http://www.asahi.com/special/saigaishi/

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

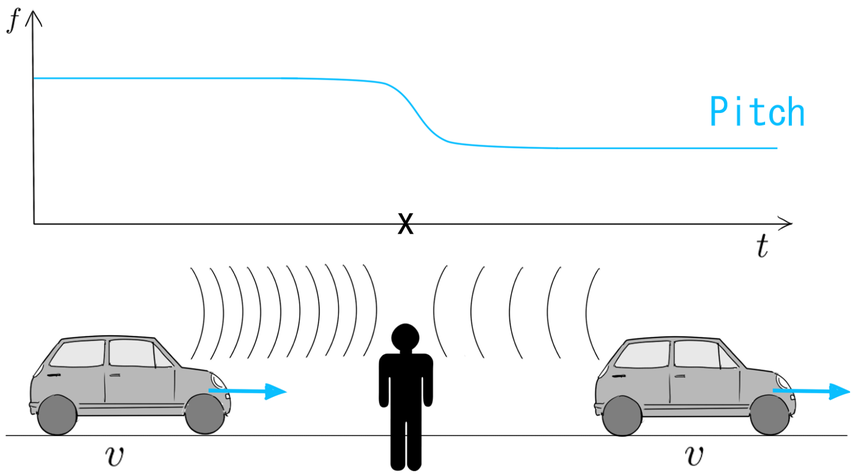
Start on Click, 1'46"

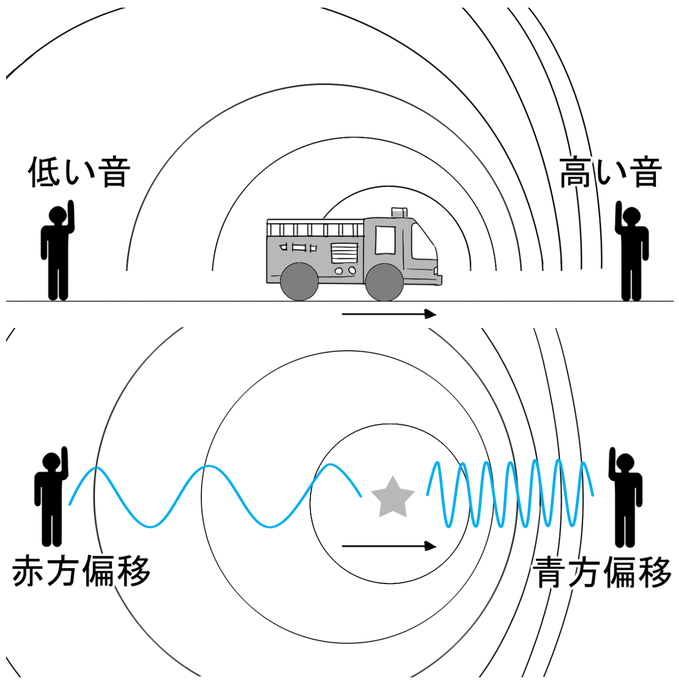
http://ja.wikipedia.org/wiki/東北地方太平洋沖地震
https://www.youtube.com/watch?v=ACKMPD6MySs

教科書 p162

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

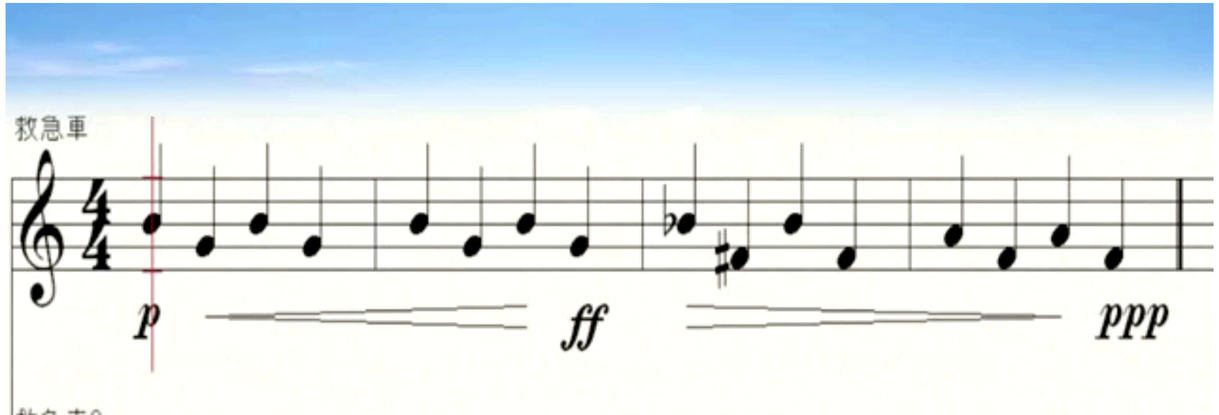
音源と観測者が相対的に遠ざかる＝音が低くなる

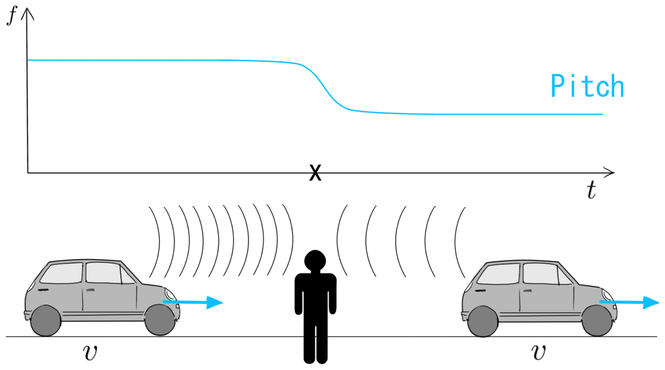
教科書 p162

ドップラー効果

近づくとき
　高い音
　大きい音に

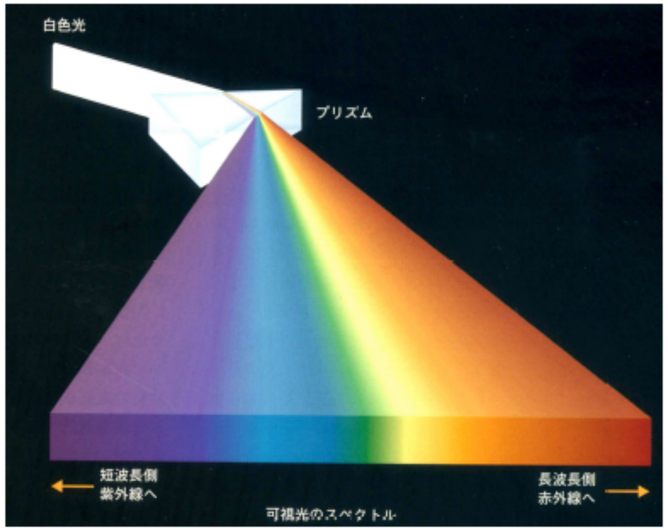
遠ざかるとき
　低い音
　小さい音に





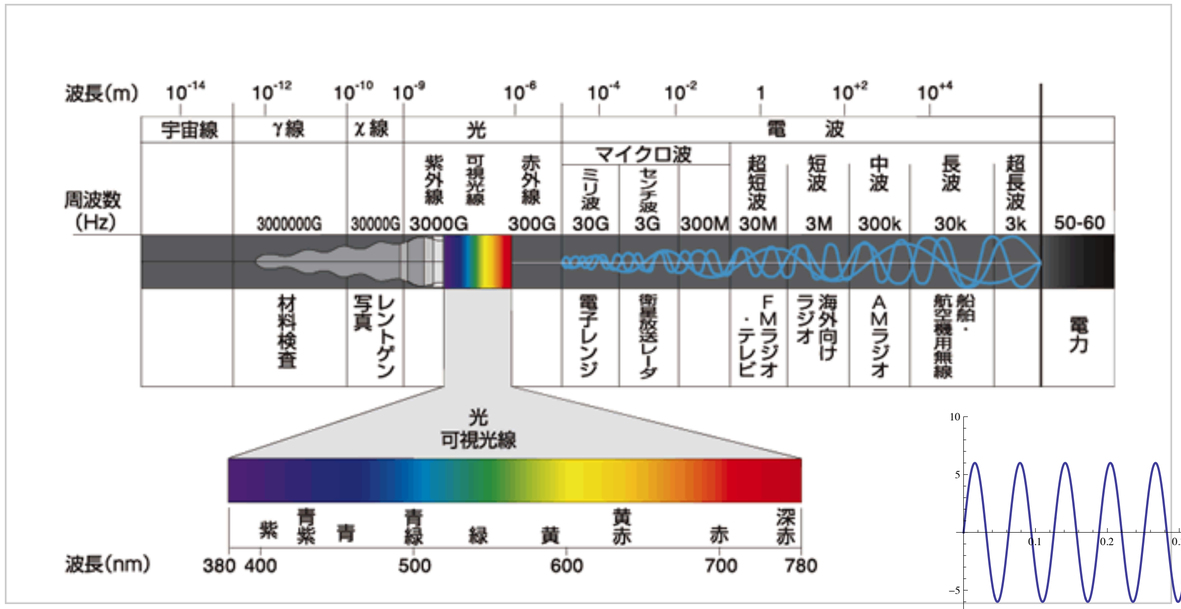
教科書 p164

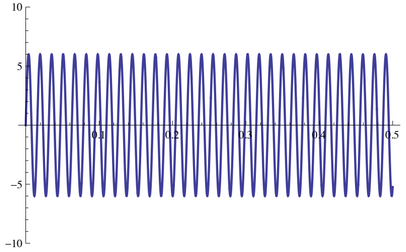
光の色＝振動数

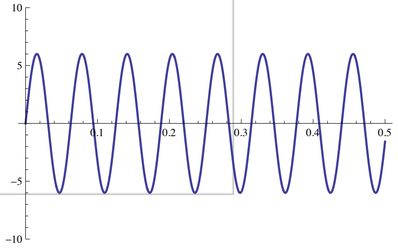


●電磁波の分類

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

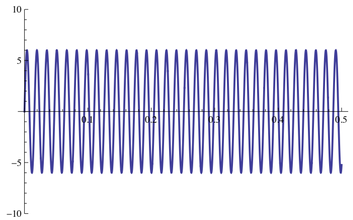


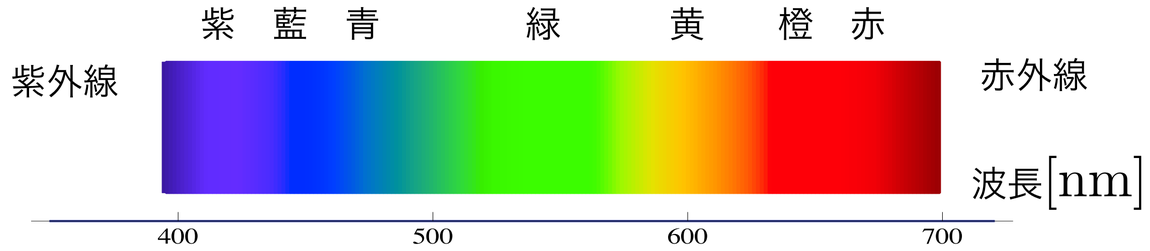


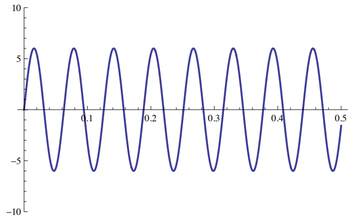


教科書 p164

光の色＝振動数







波長短い
振動数高い
エネルギー高い

波長長い
振動数低い
エネルギー低い

	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 FMラジオ	短波ラジオ	AMラジオ	電波時計 飛行機の通信	

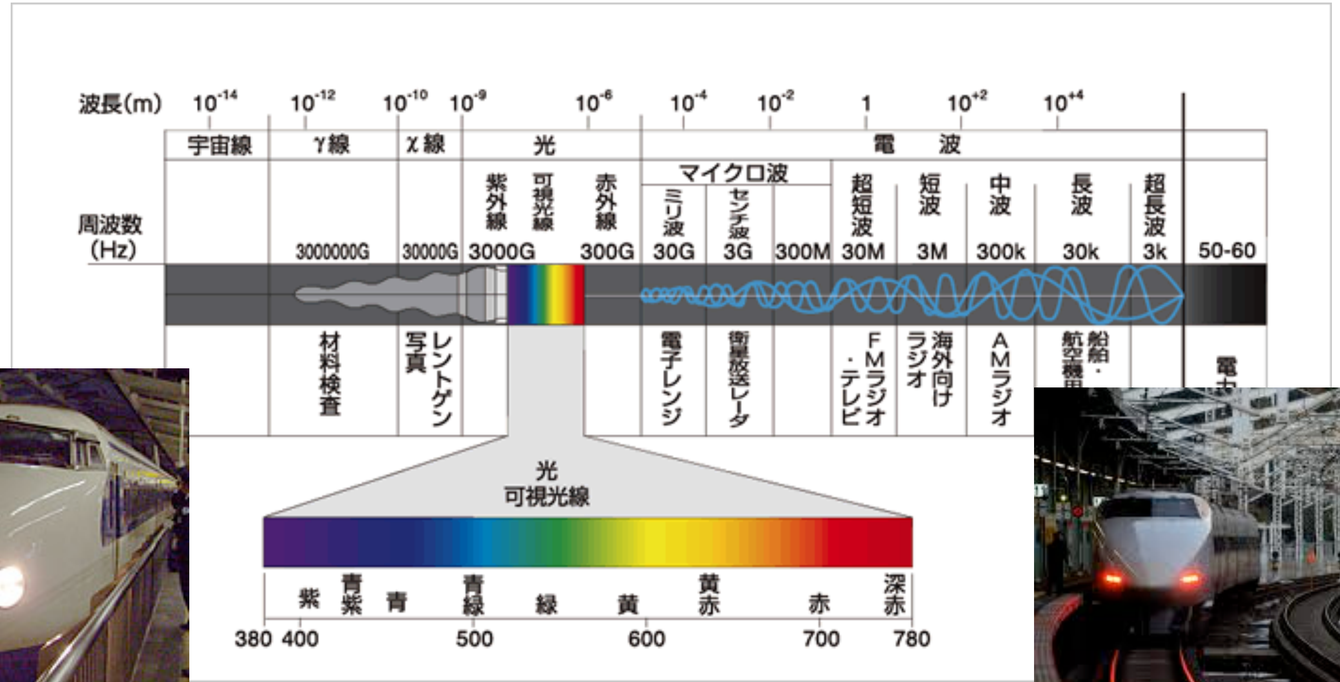
光のドップラー効果

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？

http://www.youtube.com/watch?v=Kg9F5pN5tll

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）

$$v = H_0 d \tag{5.9}$$

銀河の後退速度 ＝ ハッブル定数 H_0 × 銀河までの距離

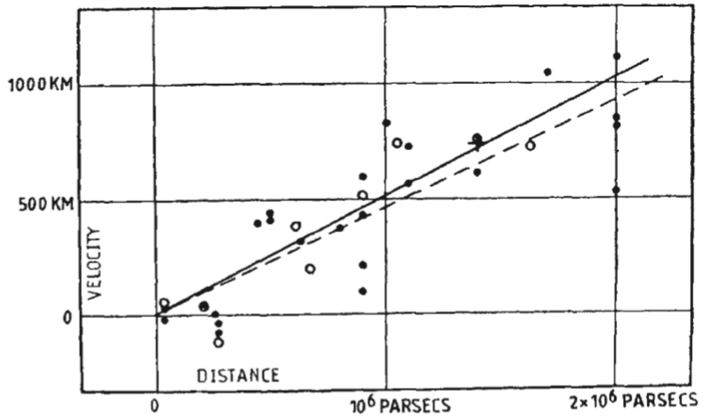
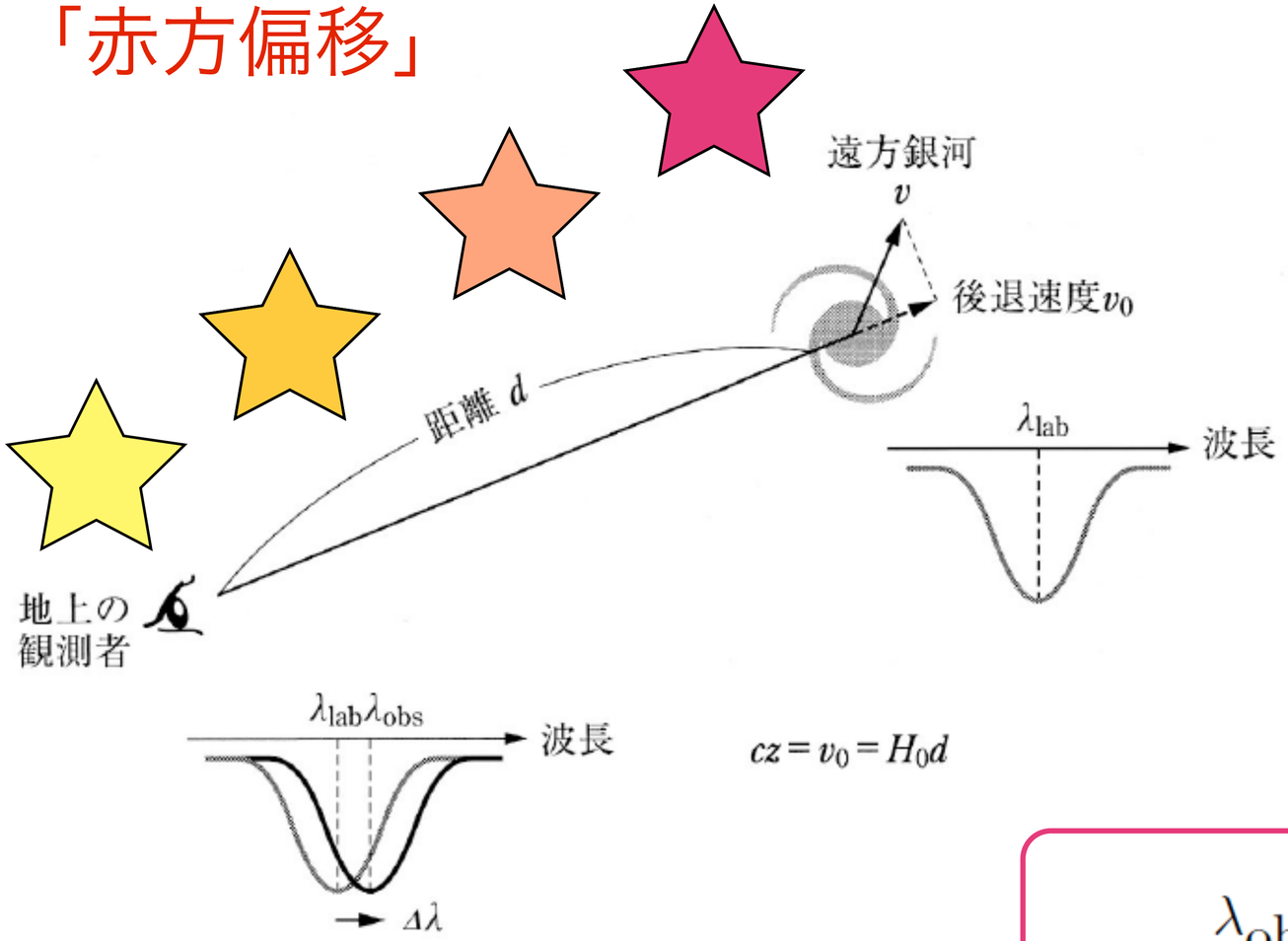


図 5.7　ハッブルが 1929 年に発表した図．横軸は距離，縦軸は銀河の後退速度．このグラフの傾きがほぼ一定になることが，ハッブルの法則である．ハッブルが報告した値は，$H_0 = 530\,\mathrm{km/s/Mpc}$ だった．現在値は $H_0 = 68\,\mathrm{km/s/Mpc}$.

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」



$$cz = v_0 = H_0 d$$

赤方偏移パラメータ

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

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

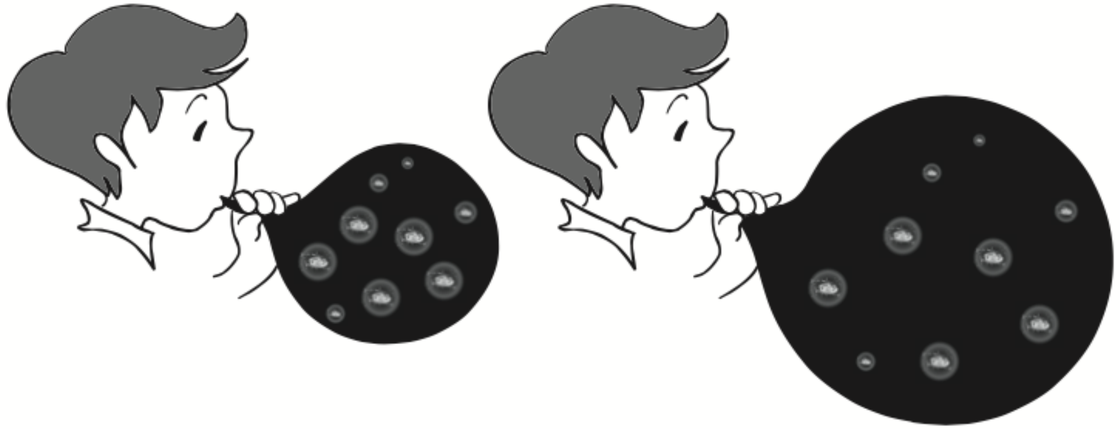


図42　遠方の銀河ほど速く遠ざかっている、というハッブルの法則は、我々が宇宙の中心にいることを意味するわけではない。

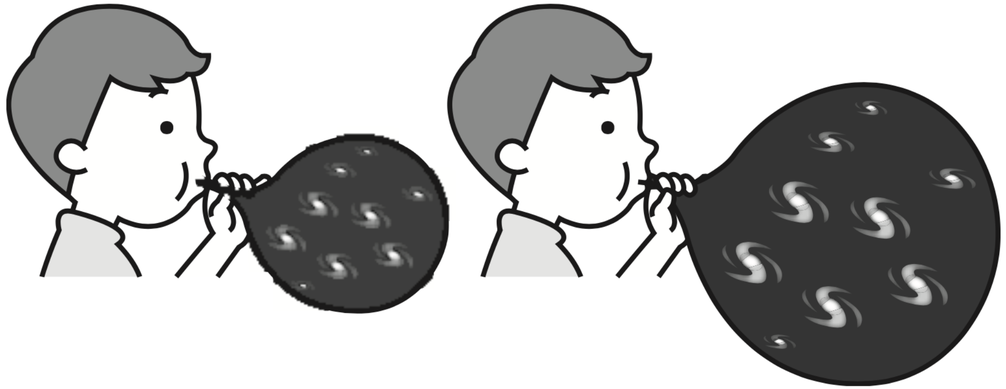
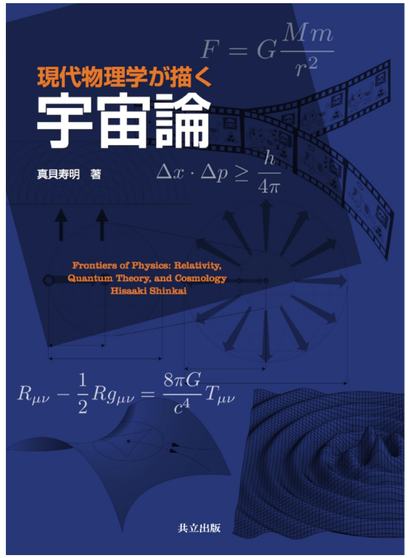
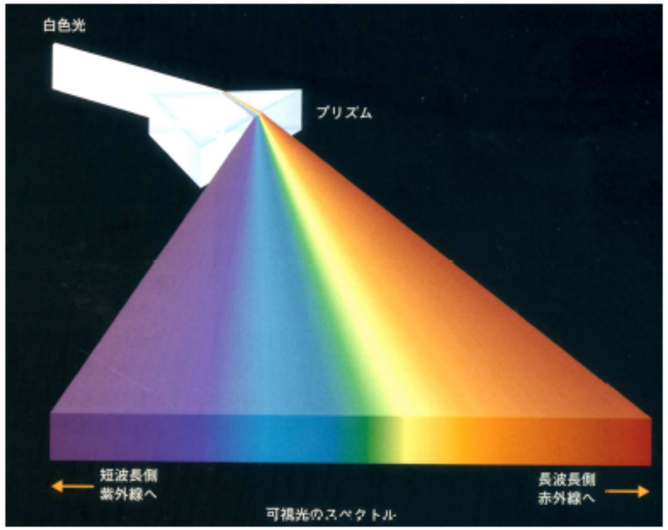


図 5.8　宇宙の中心はどこ？



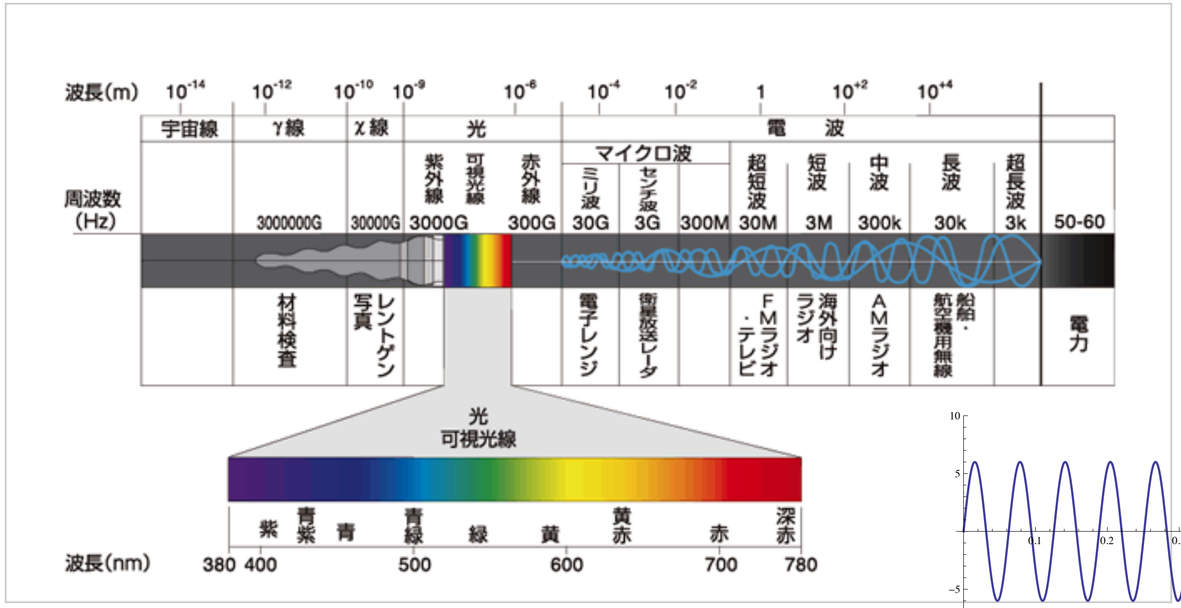
教科書 p164

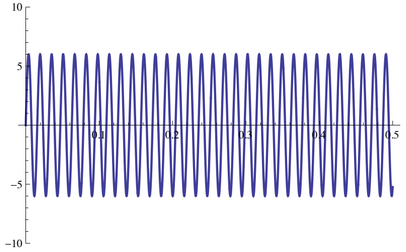
光の色＝振動数

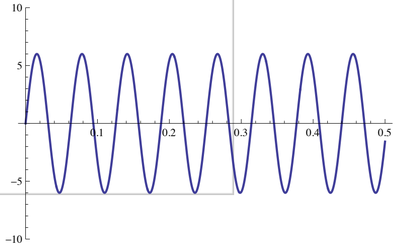


●電磁波の分類

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

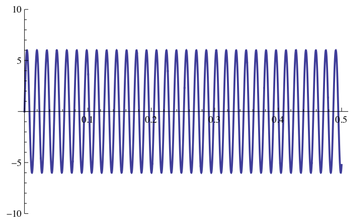


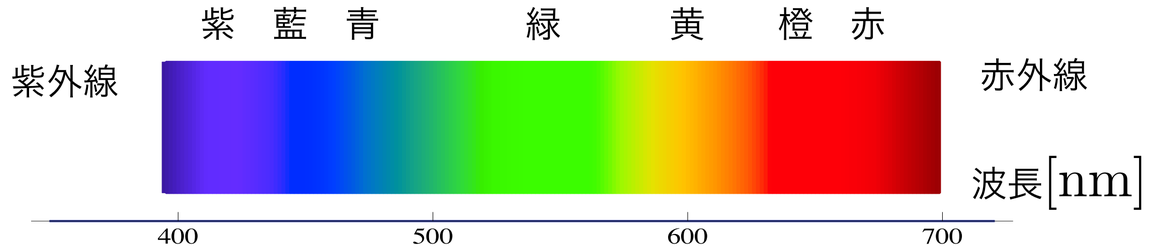


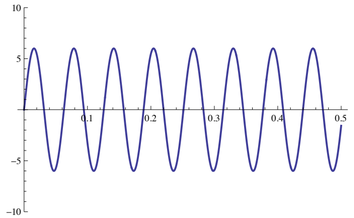


教科書 p164

光の色＝振動数







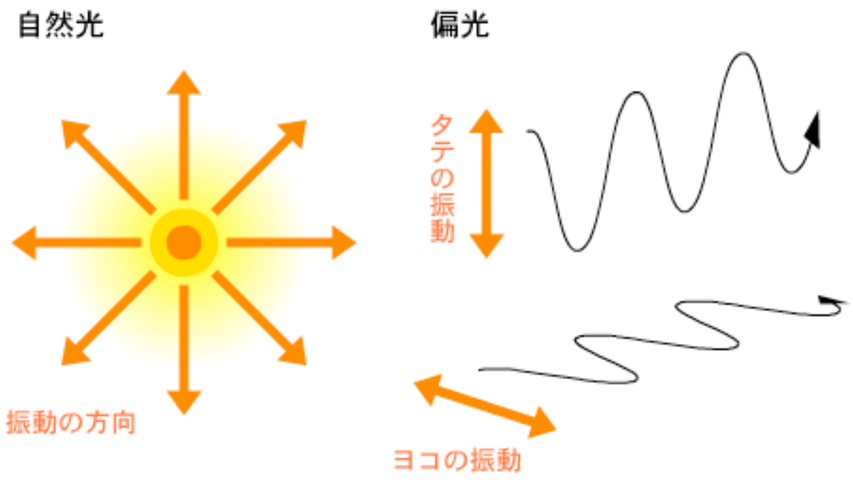
波長短い
振動数高い
エネルギー高い

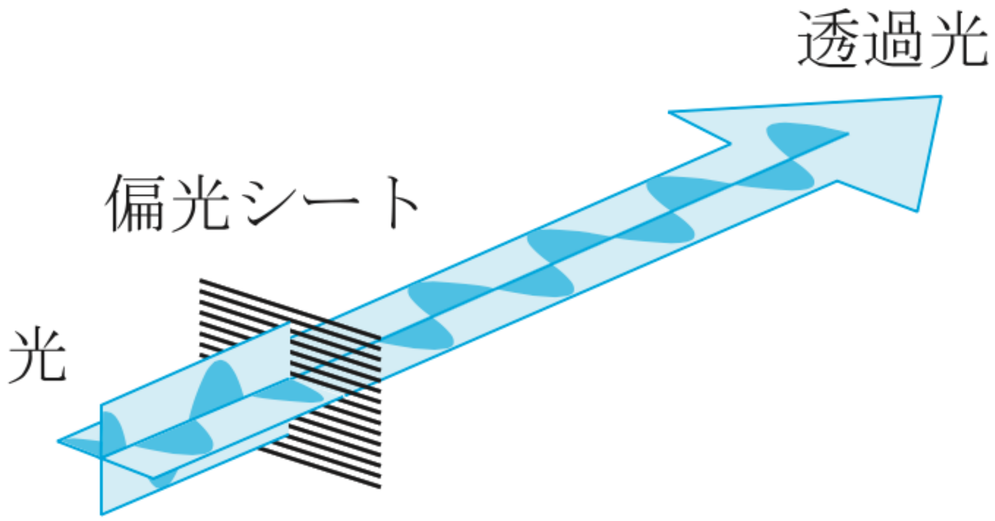
波長長い
振動数低い
エネルギー低い

	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 FMラジオ	短波ラジオ	AMラジオ	電波時計 飛行機の通信	

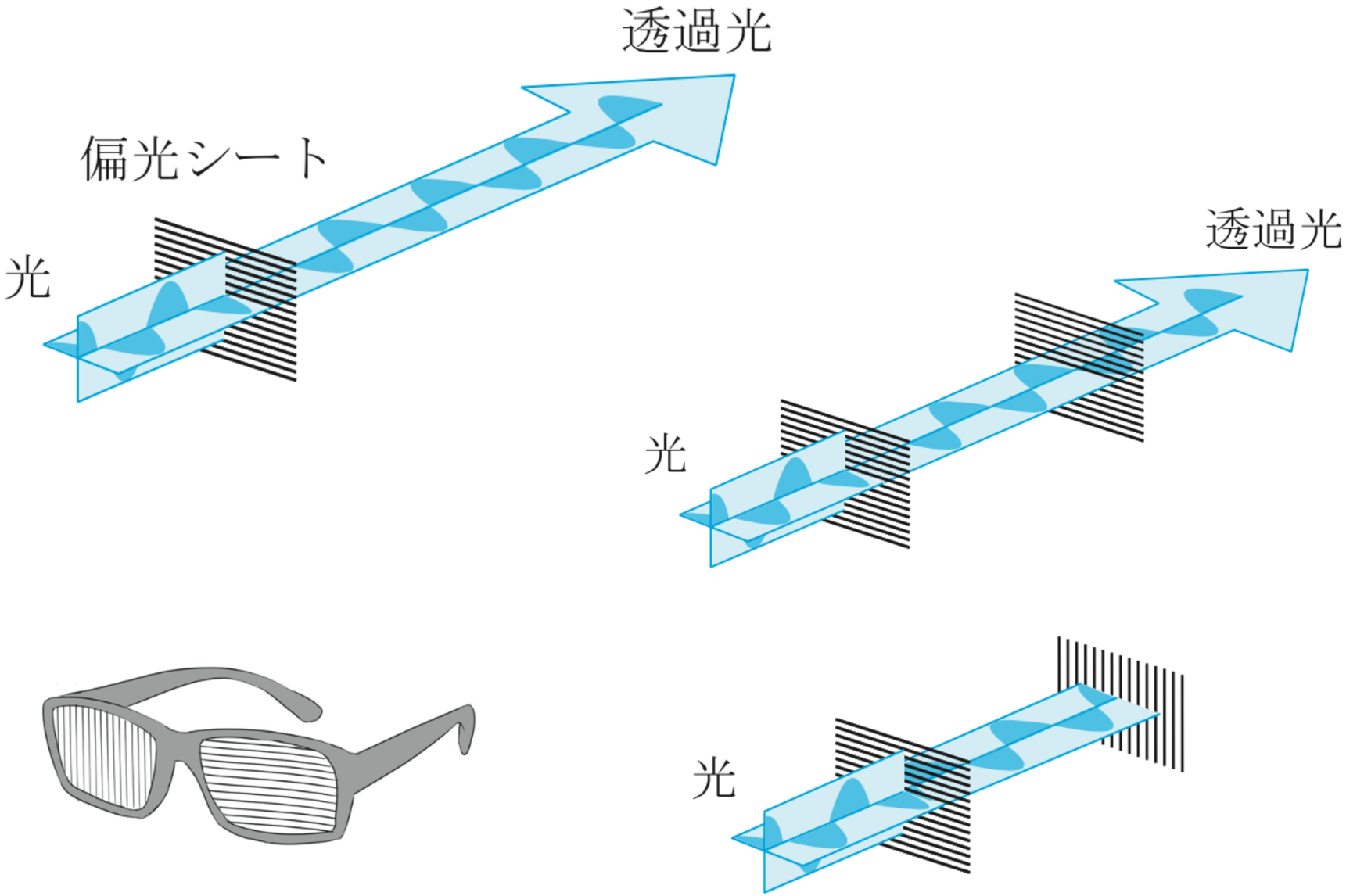
教科書 p173

光は横波である





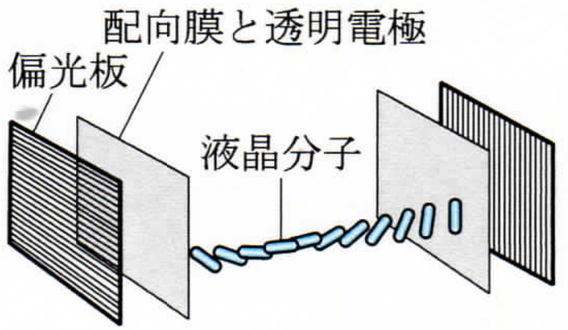
光は横波である　偏光板で確かめよう



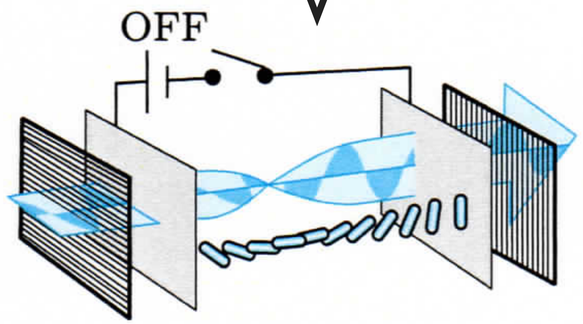
偏光板と液晶ディスプレイ

液晶分子は90度ねじれて配列されている.

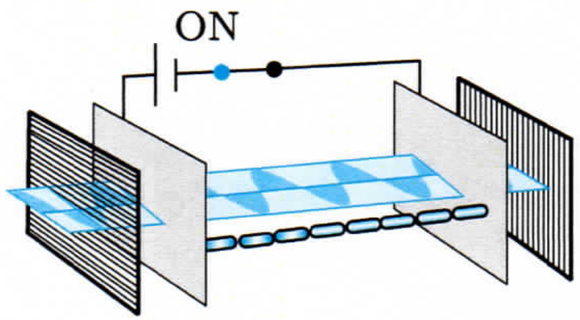
電源offだと，光は曲がり，偏光板を通過して白色になる.



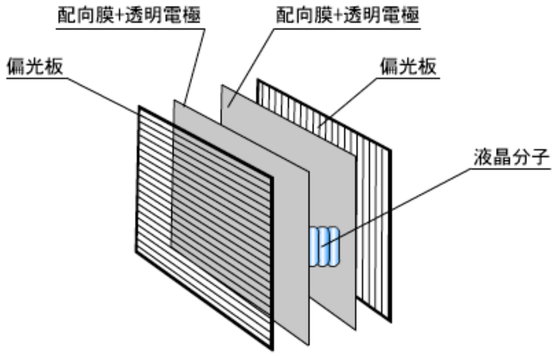
（a）液晶の構造



（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.

教科書 p165

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．

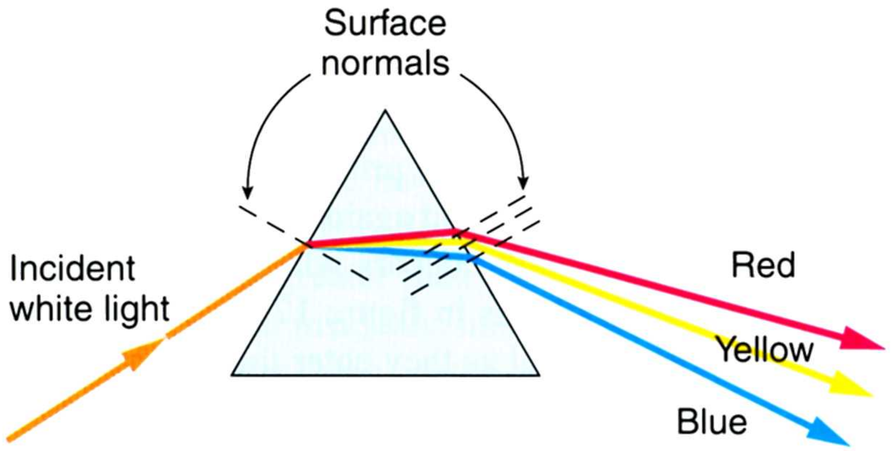
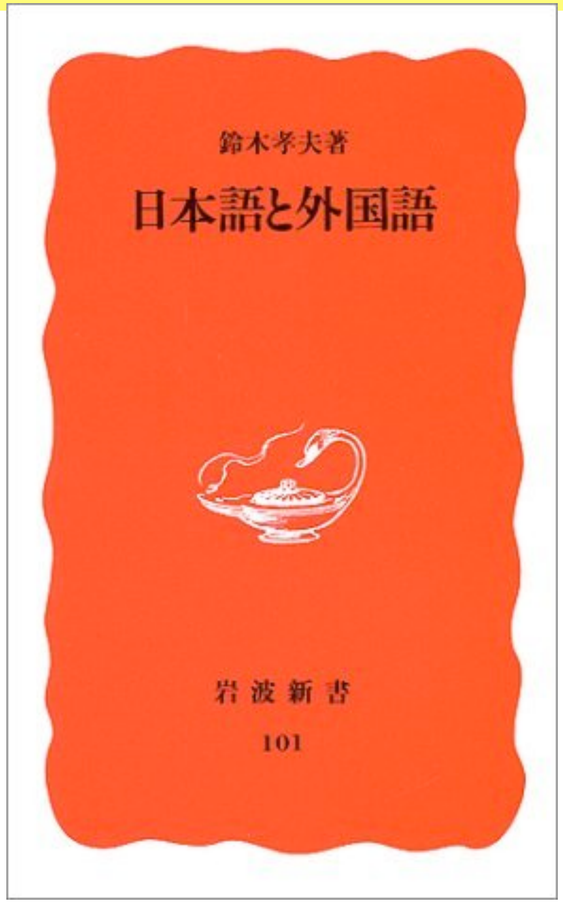


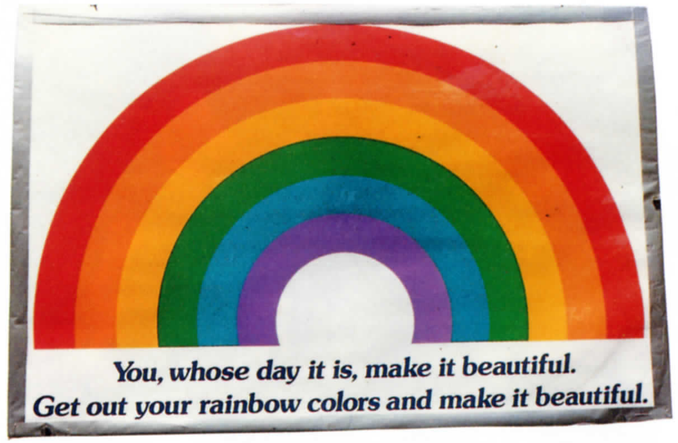
figure 17.13 Light rays passing through a prism are bent at both surfaces, with blue light being bent more strongly than red.

教科書 p165

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



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）

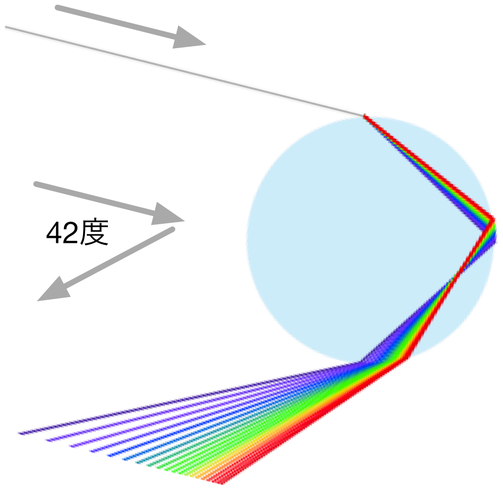
虹

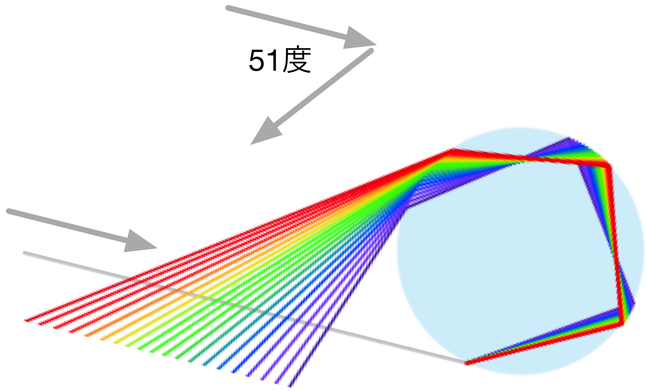
撮影　長谷川能三 氏

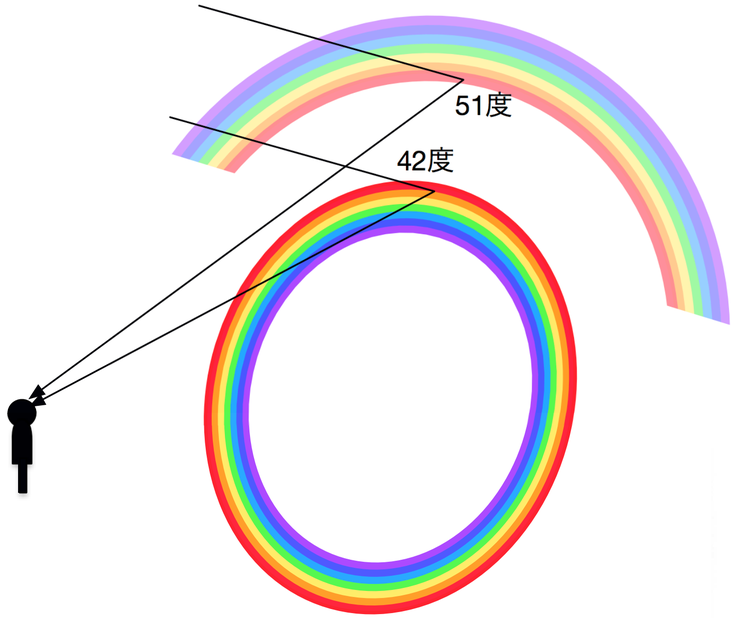
虹

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

虹のしくみ







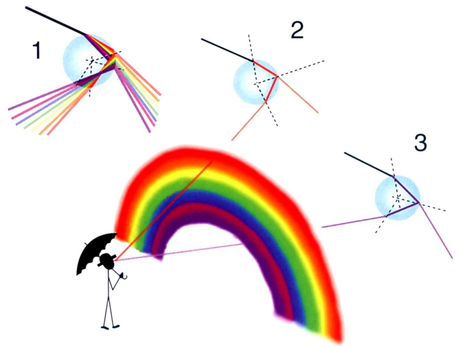
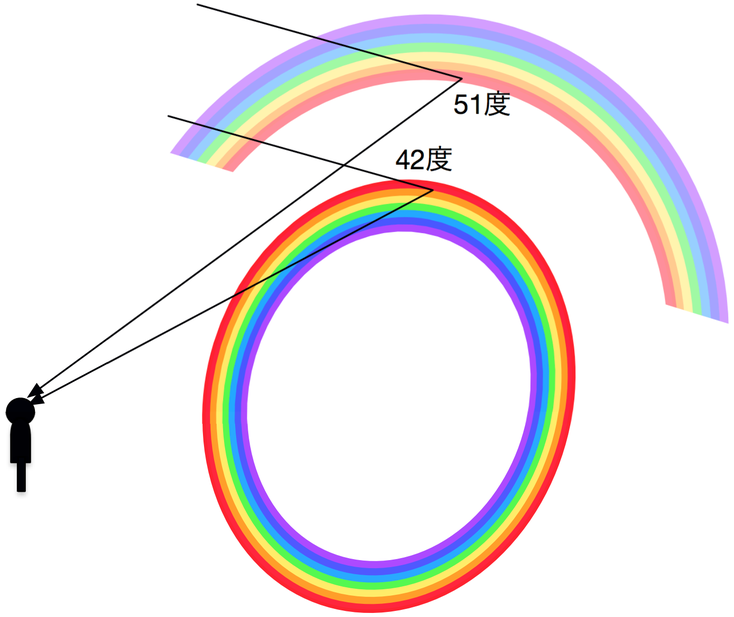
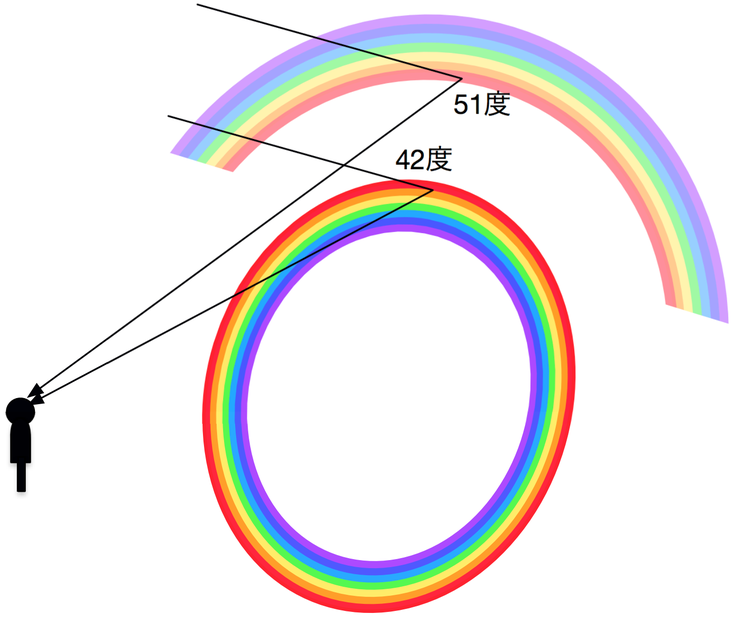


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.

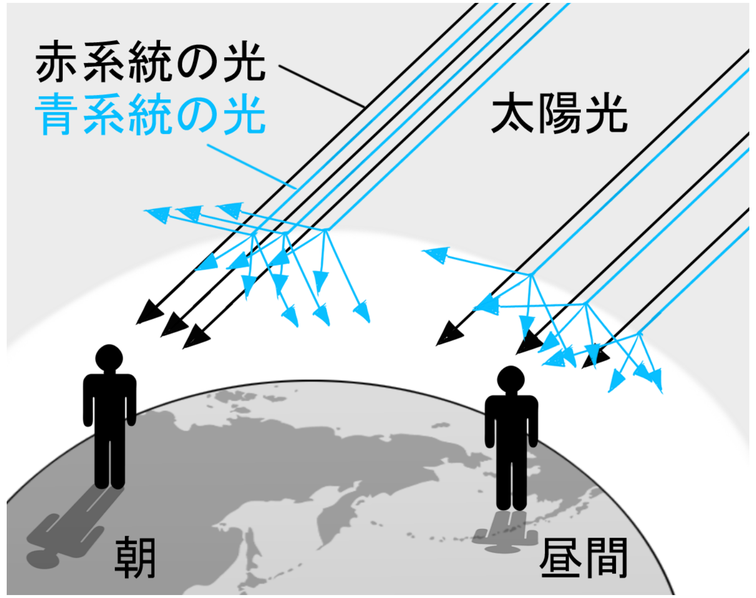
ブロッケン現象（Brocken spectre/Solar Glory）

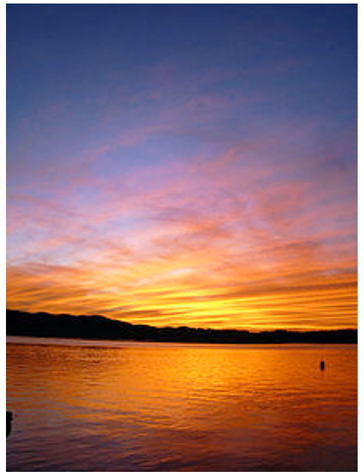


ブロッケン現象（Brocken spectre/Solar Glory）



朝焼け・夕焼け　なぜ赤い？

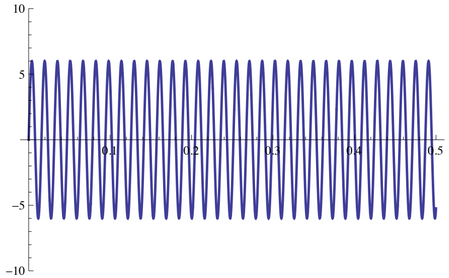


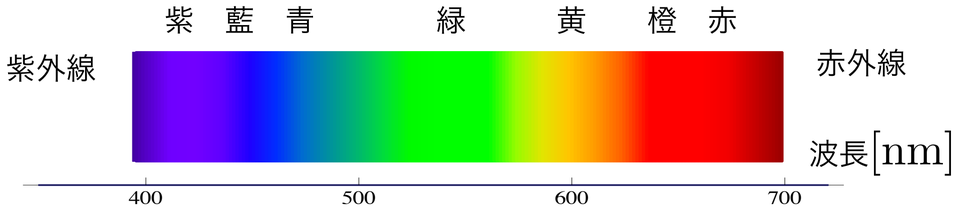


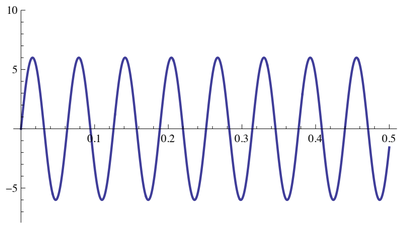
レイリー散乱（Rayleigh scattering）

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，白ー青＝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」

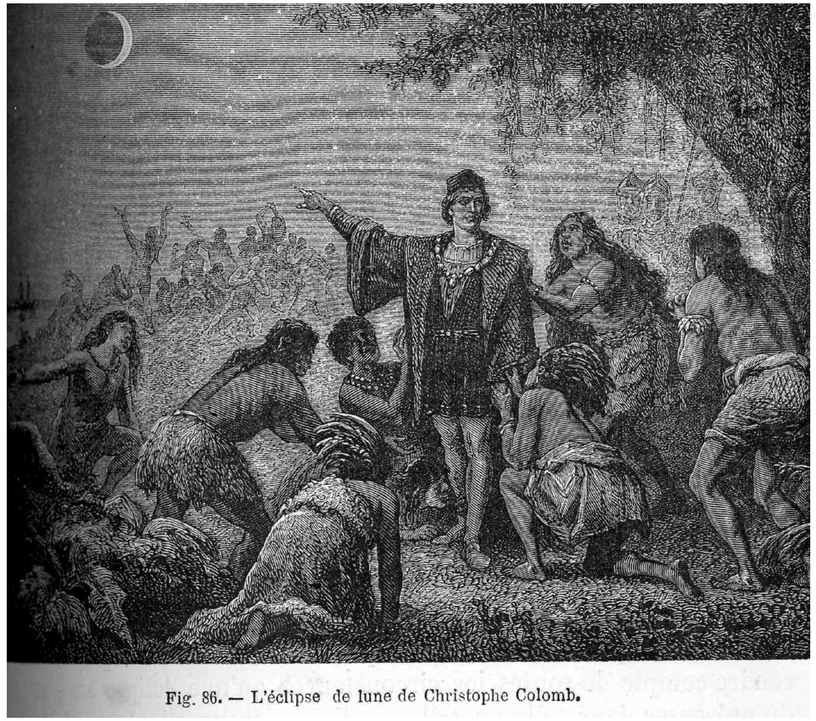


Fig. 86. — L'éclipse de lune de Christophe Colomb.

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

本日のミニッツペーパー記入項目

出席票を兼ねます.

（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）

Newton ニュートン × 朝日新聞 The Asahi Shimbun
科学雑誌Newtonの最新号から、誌面をピックアップして紹介します。毎月最終日曜に掲載

インターステラー

はるか遠くへ瞬間移動する「ワープ」は可能か？

『スタートレック』や『スターウォーズ』（1974年）のように，広大な銀河を宇宙船に乗って自在に移動する映像は，人々を魅了してきました。映画のように宇宙空間を自在に往来するには，光の速度（秒速30万キロメートル）よりも速く移動する技術が必要です。しかし，時空の性質を説明する理論である「相対性理論」によれば，いかなる物体も自然の最高速度である光速をこえることはできません。つまり，宇宙船そのものが光速をこえて移動することは，原理的に不可能です。

時空を操作し，宇宙船をワープさせる

そこで多くの宇宙もののSFでは，宇宙船自体を加速して超光速に到達させるのではなく，何らかの方法で時空を操作することで，宇宙船を別空間に“ワープ”させるという方法をえがいてきました。

中でも最も“現実的”といえる方法が，「ワームホール」です。ワームホールとは，相対性理論から予言される，はなれた2点間を結ぶ時空の構造のことです。ワームホールを通過すれば，何光年もはなれた場所に一瞬でワープできます。

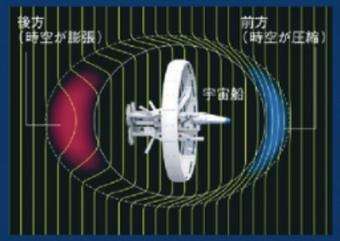
ワームホールをはじめてえがいたSF作品が『コンタクト』です。原作小説の著者カール・セーガンは，宇宙の彼方にいる知的生命体に会いに行くために，科学的に可能な方法は何かを真剣に考えました。そこで，アメリカの物理学者キップ・ソーン博士（2017年にノーベル物理学賞）に相談したところ，ソーン博士が提案したのがワームホールだったのです。

ソーン博士が製作総指揮の一人を務めたSF映画『インターステラー』（2014年）でも，ワームホールが登場します。本作は，地球環境の荒廃により人類が絶滅の危機におちいる中，新たな移住先となる惑星をさがしに行く物語です。主人公のクーパーたちは，何らかの知的生命体によって土星の付近につくりだされたとされるワームホールを通過し，候補となる惑星に向かいます。

負の質量をもつ「エキゾチック物質」が必要

ワームホールは，一般相対性理論の基礎方程式の解としてみちびかれますが，実際に宇宙に存在しているかどうかはわかっていません。ワームホールを安定して存在させるには，「負の質量」をもち，重力に反発するなどの奇妙な性質をもつ「エキゾチック物質」を時空に注入する必要があると考えられています。負の質量をもつ状態は極小領域で瞬間的には存在しますが，その状態をエキゾチック物質としてとりだせるのか，さらにはワームホールを安定化させるのに必要な量を集めることが可能かどうかはまったく不明だと大阪工業大学の真貝寿明教授はいいます。

ワームホールを使わずにワープする方法も提案されています。メキシコの物理学者，ミゲル・アルクビエレ博士が考案したアルクビエレ・ドライブです。ワープがほんとうに実現するかはわかりませんが，科学的に不可能だと証明されたわけではないのです。

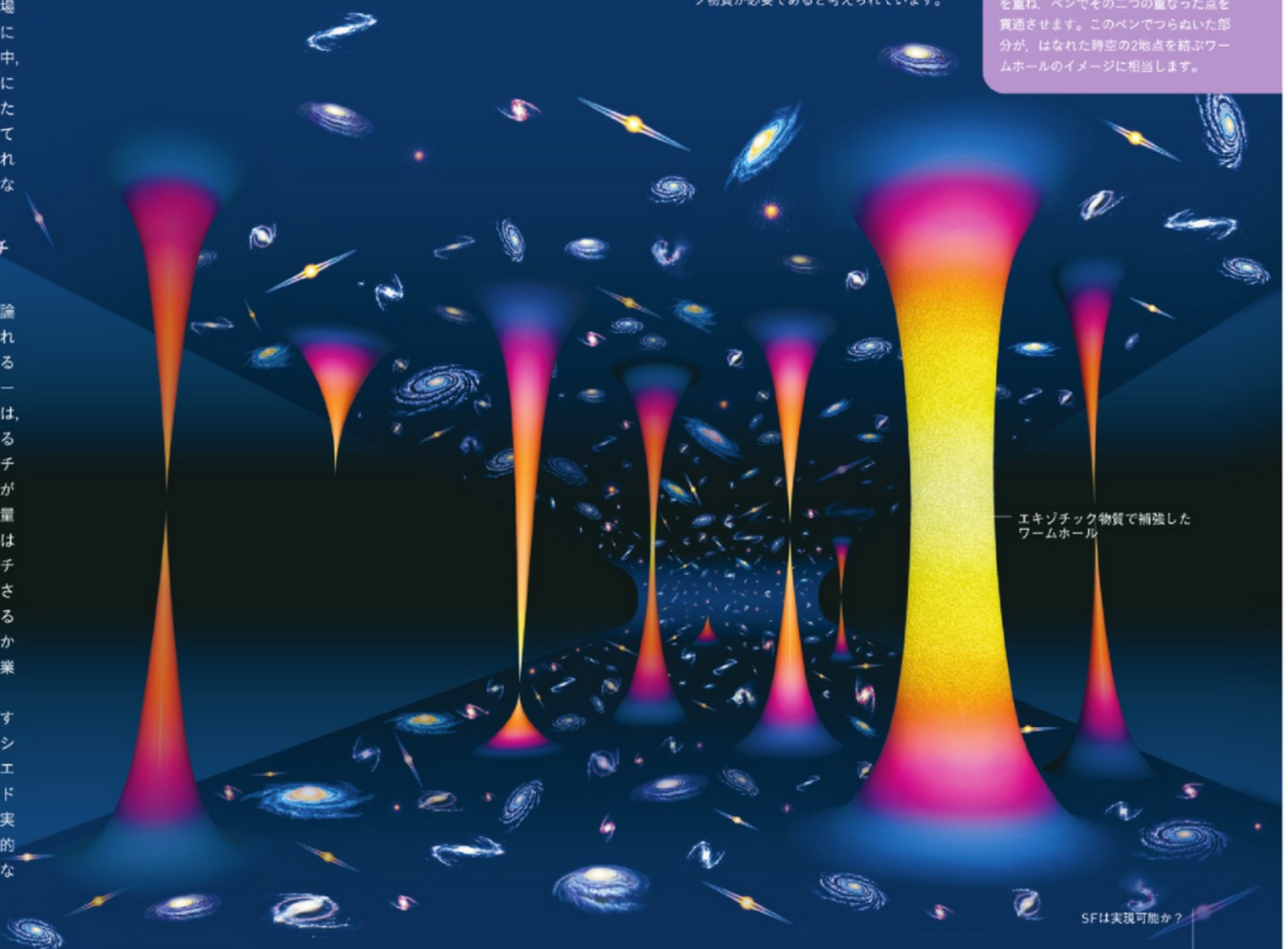


アルクビエレドライブ

アルクビエレドライブは，宇宙船を特殊な“時空の泡”でつつむという方法です。時空の泡の前方は空間を収縮させる性質をもち，後方は時空を膨張させる性質をもちます。そのため，時空の泡は全体として前へ進むことになります。そして，この時空の泡の外から見ると，時空の泡が光速を超えて進んでも，相対性理論と矛盾しないといいます。ただし，この実現についても，負の質量をもつエキゾチック物質が必要であると考えられています。

時空の“虫食い穴”を通って瞬間移動する

空間を2次元の面で表現した場合のワームホールをえがきました。空間が砂時計状に曲がった部分がワームホールです。映画『インターステラー』では，紙とペンを使ってワームホールを説明するシーンがあります。紙のはなれた場所に二つの点を打ち，紙を折りたたんで二つの点を重ね，ペンでその二つの重なった点を貫通させます。このペンでつらぬいた部分が，はなれた時空の2地点を結ぶワームホールのイメージに相当します。



SFは実現可能か？

ワープから透明マントまで

SFは実現可能か？

SF（サイエンス・フィクション）にえがかれてきた未来技術は、科学の発展によって、いつか本当に実現するかもしれません。ワープから透明マントまで、想像力をふくらませながら空想と現実世界の間を行き来してみましょう。

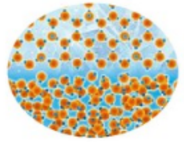
Newton（ニュートン）編集部から　科学を先取り SFの可能性

「人間が想像できることは必ず実現できる」。SFの父といわれる作家ジュール・ベルヌの言葉です。ロボットや携帯電話などの今では当たり前の技術も、かつてはSFにえがかれたものでした。現時点では到底不可能に思えるSFの世界も、将来実現する可能性が十分にあるのです。

地球外知的生命体との出会いがテーマのSF映画「コンタクト」には、遠い星への移動手段としてワームホールが登場します。このアイデアを提供した物理学者キップ・ソーン氏は、ワームホールが安定して存在できる条件を理論的に考察して論文に残しました。すぐれたSF作品は、科学そのものを発展させる原動力になるのです。

私がおすすめしたいSF作品は、手塚治虫の名作マンガ「火の鳥」です。寿命の克服、ロボット、人工知能など、現代的な科学のテーマをことごとく先取りしていることに驚かされます。多くの科学ファンに今こそ読まれてほしい作品です。（板倉龍・Newton編集部長）

最新１月号のNewtonは　11月26日発売



第２特集

感動する化学

ありふれた物質である「水」は、化学の目で見れば実はとても風変わりな物質です。氷が水に浮くのも、その変わった性質のおかげ。読んだらきっと感動する、摩訶不思議な化学の世界へと招待します。

そのほかの主な記事

- 「時間心理学」入門
- JWST最新宇宙ギャラリー
- 「超伝導」の世紀
- 能登半島は今
- AIを支えるベクトルと行列
- 光をあやつる生物たち

朝日新聞デジタルで第１特集を全部読み

朝日新聞デジタルのプレミアムコース、ダブルコースでは、Newton最新号の第１特集30ページ相当を全て読むことができます。毎月26日更新で、期間は各号90日間です。

雑誌の購読はこちらから

今月のNewtonは26日発売です（一部地域を除く）。定価1190円（電子版は950円）。お求めは書店やAmazonなどから。割引がある定期購読もあります。

攻殻機動隊

体を透明にして身をかくすことは可能なのか？

人と機械が融合した未来社会をえがいた人気漫画『攻殻機動隊』（1989年）には、「光学迷彩」とよばれる透明化技術が登場します。1999年、東京大学の稲見昌彦教授がこの光学迷彩を開発し、大きな注目を集めました。

周囲の風景を体の上に映し出す

『攻殻機動隊』では、光学迷彩を身にまとい透明になった主人公の草薙素子が敵の目をかいくぐり、任務を遂行するシーンがえがかれます。しかし厳密には、光学迷彩は自分の姿を透明にしているのではなく、周囲の風景を自分の体に映しだすことで環境の中にとけこみ、相手から自分の存在を気づかれないようにするという技術です。動物のカメレオンのように、周囲の環境に「擬態」する技術といってもいいでしょう。

稲見教授はこの技術を、「再帰性反射材」とよばれる特殊な素材を利用することで実現しました。通常、プロジェクターで風景を体の上に映しだしても、光が乱反射して映像が歪んでしまいます。また周囲が明るいと、映像がはっきり見えません。しかし再帰性反射材は、光が入射したのと同じ方向に反射する性質をもつため、プロジェクターで投影した光が乱反射せず、見ている人の側に直接もどってきます。そのため、再帰性反射材を用いたマントを身にまとえば、明るい環境でも背後の景色をはっきりと映しだすことができるのです。

稲見教授が開発した光学迷彩の技術は、さまざまな応用が検討されています。たとえば、自動車の中を透明化して、外の景色が見えるようにする「透明コックピット」です。車の内装に再帰性反射材を用い、そこに外の景色を投影することで、車内がすけているように見えるのです。車をバック駐車する際に後部座席を透明化することで、駐車しやすくすることも可能です。

稲見教授は、「たとえば、車の中に空の景色を投影すれば、まるで空の上を車で走っているような体験ができます。透明コックピットは自動運転と相性がよいため、今後自動運転が普及することで、この技術も広く使われるようになっていくことでしょう」と語ります。

光の屈折を制御して透明になる

光学迷彩のほかにも、透明化の研究は進んでいます。たとえば、生体組織の屈折率を化学的に変化させて、マウスの死体を透明にしてしまう技術などが研究されています。また、自然界には存在しない「負の屈折率」をもつ「メタマテリアル」という特殊な物質を使って、光の軌道を対象をまわりこむようにすることで、透明にみせる技術もあります。光学迷彩だけでなく、透明マントも今後実現するかもしれません。

メタマテリアルで透明マントをつくる

「メタマテリアル」は、自然界にはない特性をもつ人工的な物質のことです。物質の中に光の波長（可視光は380～780ナノメートル）よりも小さな微細構造を組みこむことで、通常の物質では不可能な方向に光を屈折させるなど、物質の光学特性を自在に操作することができます。この性質を応用すれば、SFに登場するような"透明マント"をつくることも理論的には可能だと考えられています。

右に、メタマテリアルで"透明マント"を実現する原理をえがきました。川の中に石を置くと、水が石を避けるように迂回し、ふたたび元の流れにもどります。これと同じように、隠したい物体をメタマテリアルで覆うと、物体の背後から向かってくる光が物体のまわりを迂回して通り抜けます。これにより、私たちの目には物体の背景だけが見えるので、物体は視界から消えたように見えるのです。

Newton Special

©Newton Press 202