

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

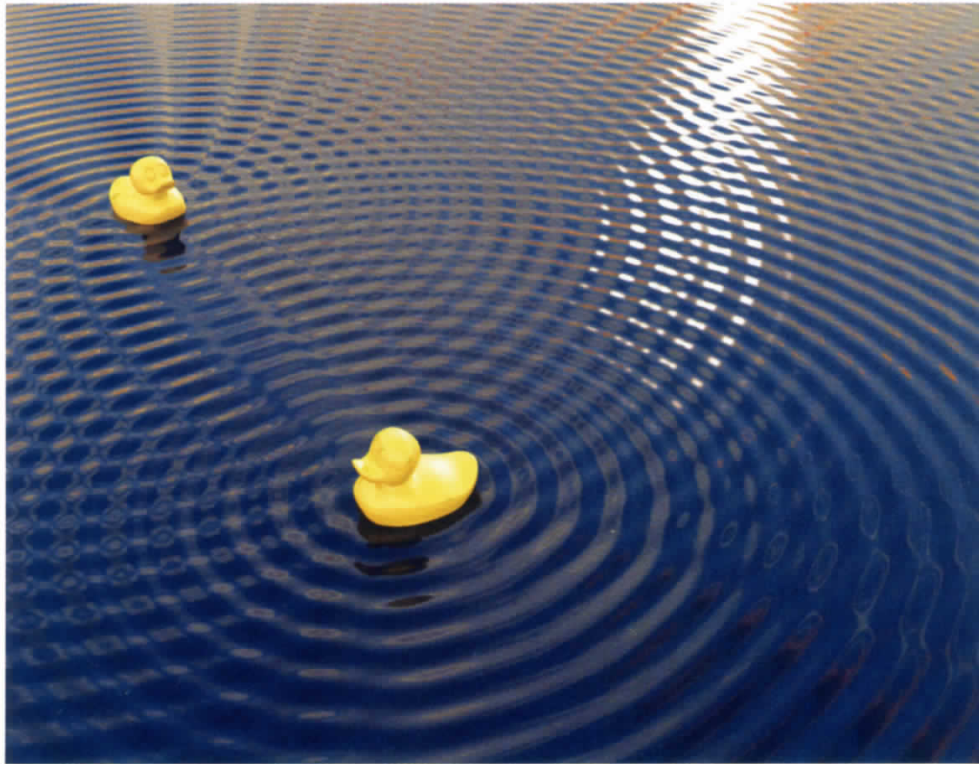
日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

- | | | |
|-------|-------------|---------------------|
| 第 5 回 | 7 月 3 日 | 台所の物理—山の上でご飯を炊く方法 |
| 第 6 回 | 8 月 7 日 | 音の物理—足踏み揃えて吊り橋渡るな |
| 第 7 回 | 8 月 21 日 午前 | 光の物理—光輪の正体は丸い虹なのか |
| 第 8 回 | 8 月 21 日 午後 | 電気製品の物理—IC カードに寿命なし |

6.1 波の特徴 — 波は何をどう伝えるのか



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

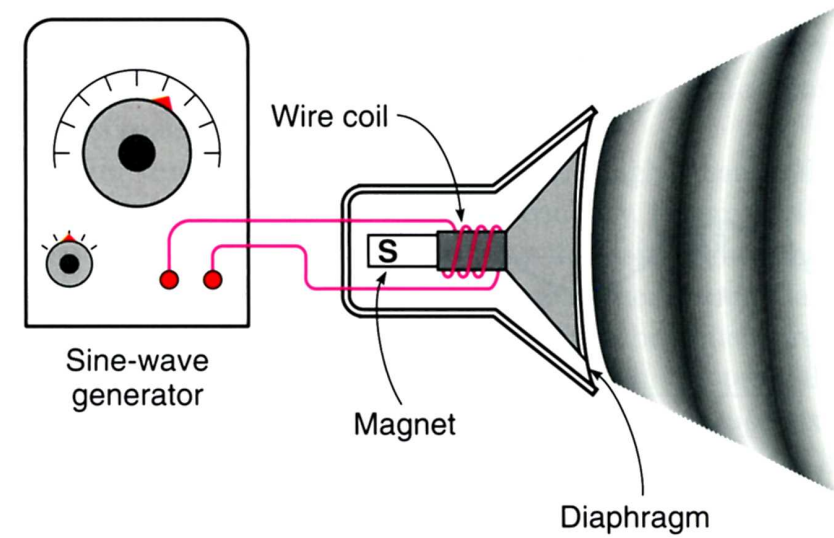


figure 15.15 An oscillating current applied to the coil of wire attached to the diaphragm of a speaker makes the diaphragm oscillate as it is attracted to or repulsed by the magnet, generating a sound wave.

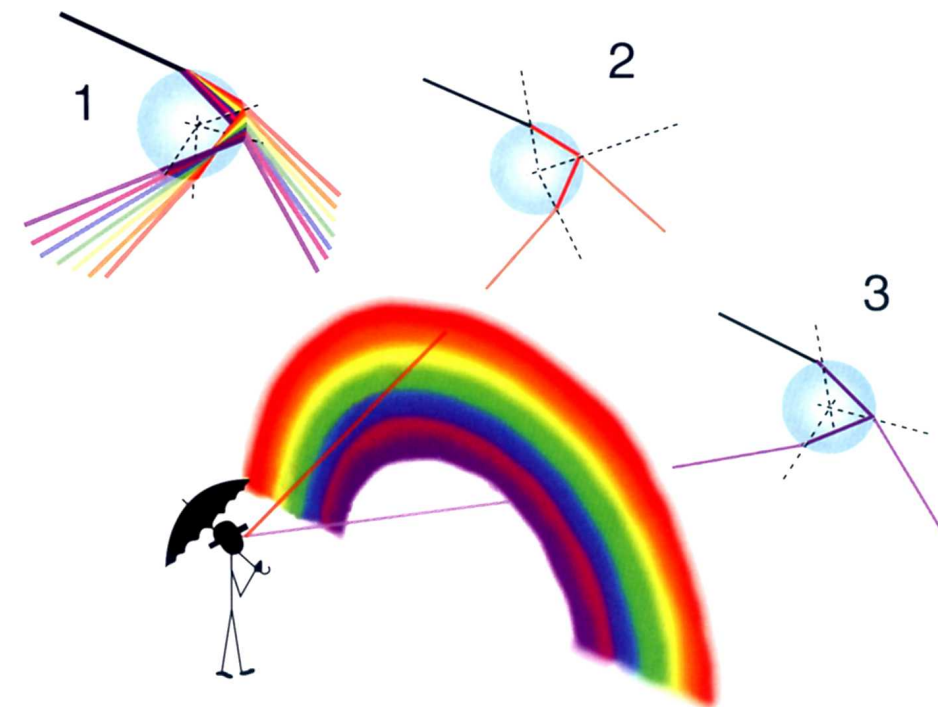


FIGURE 2.19 ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside

6.1.1 波を表す物理量・波の特徴

波の基本的な量

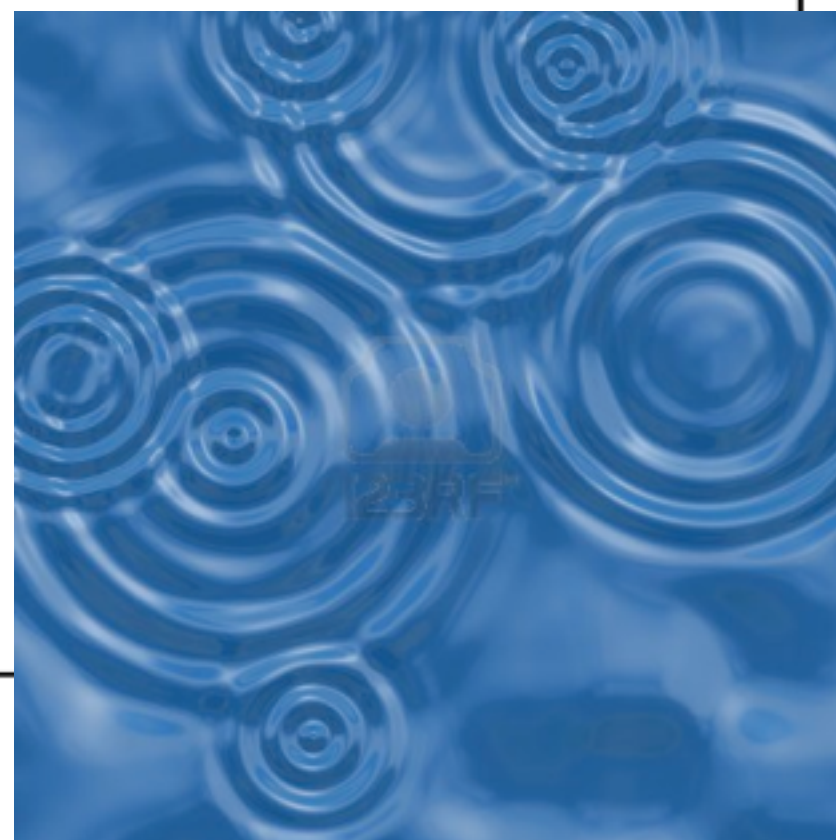
繰り返して同じ形が伝播してゆくものを波という。

- 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。

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

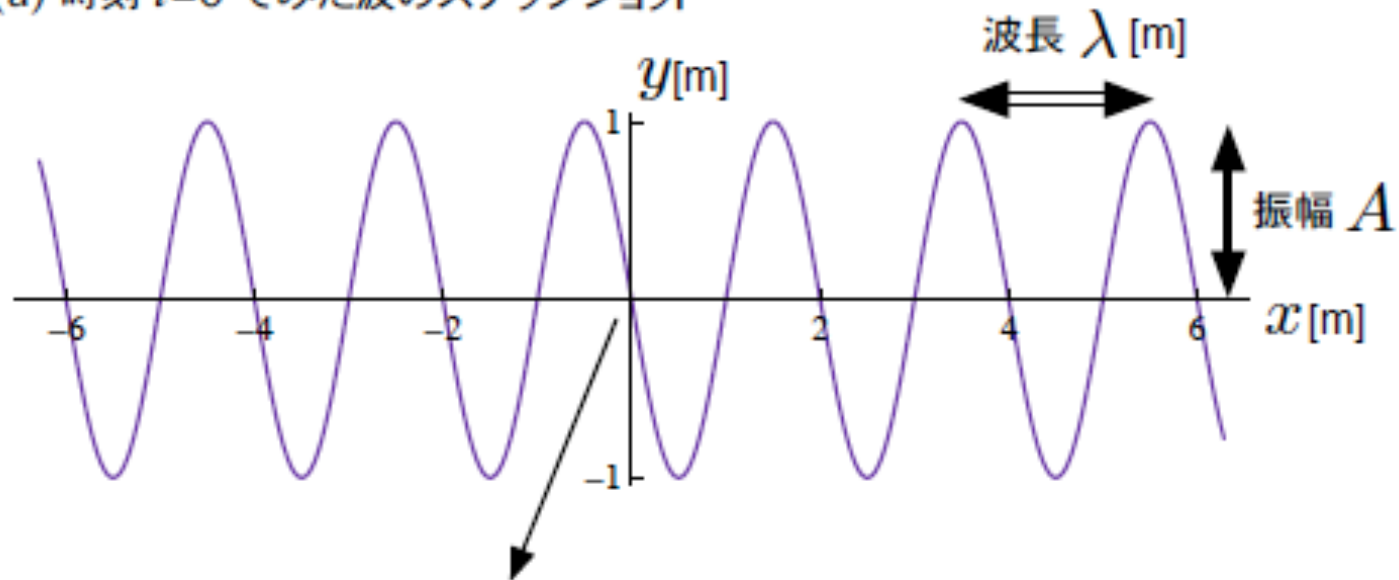
- 波の伝わる速さ v [m/s] を次のように決める。

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

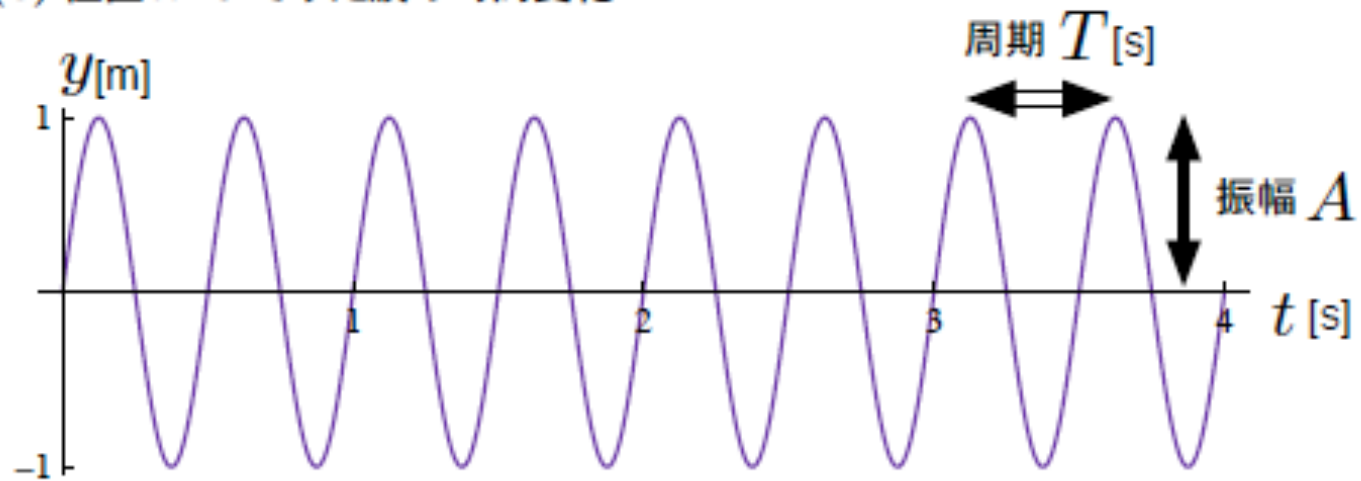


6.1.1 波を表す物理量・波の特徴

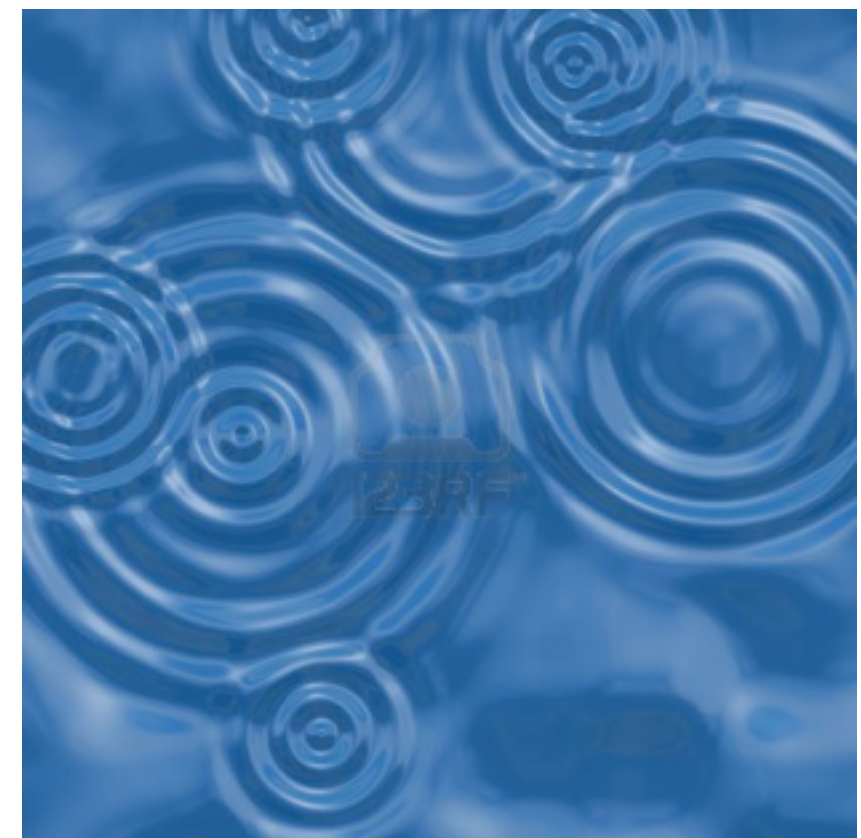
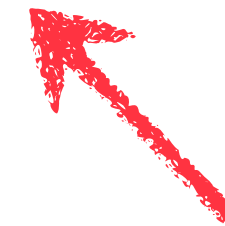
(a) 時刻 $t=0$ でみた波のスナップショット



(b) 位置 $x=0$ でみた波の時間変化

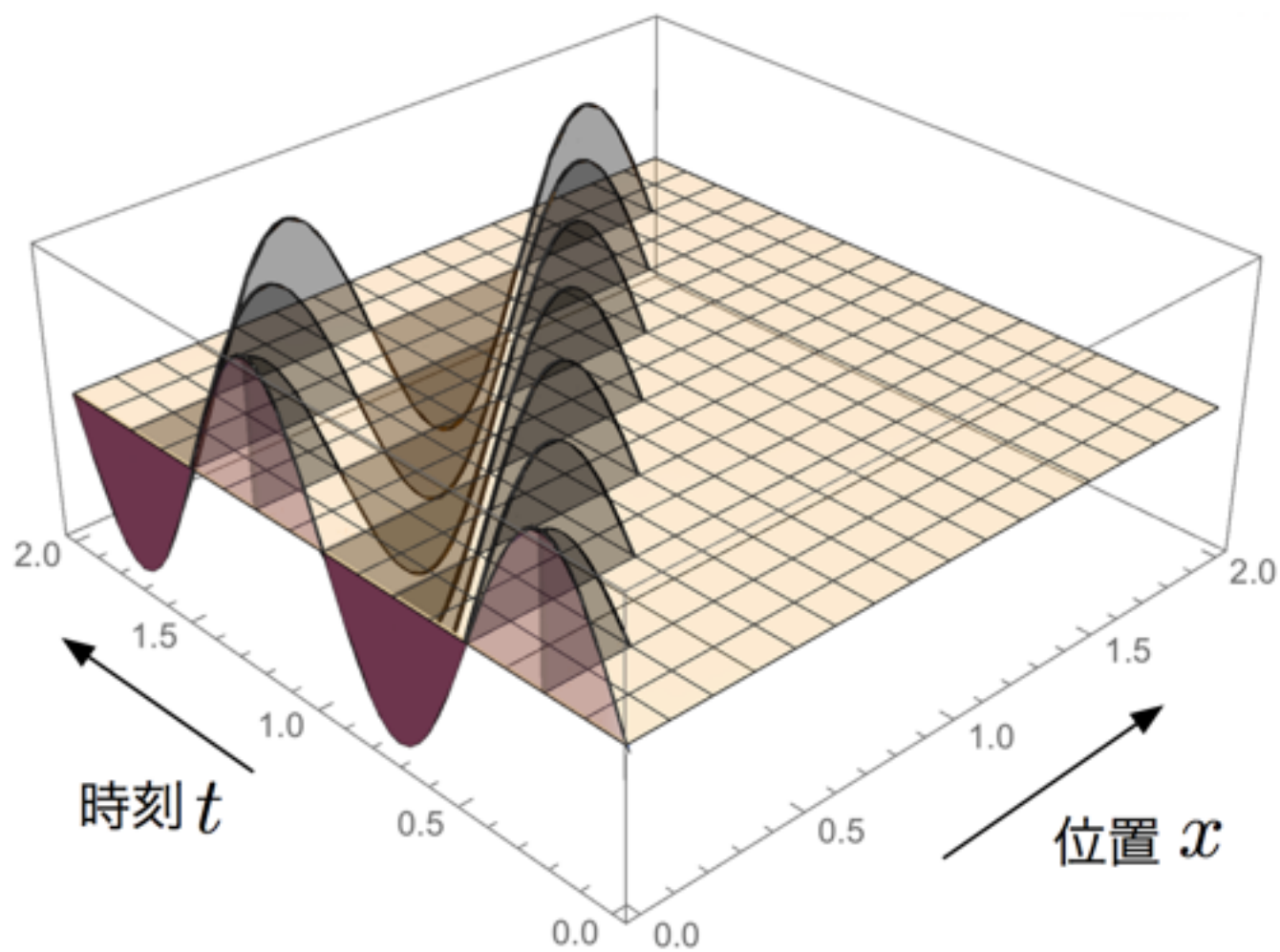


「写真を撮る」
「全体図を知る」

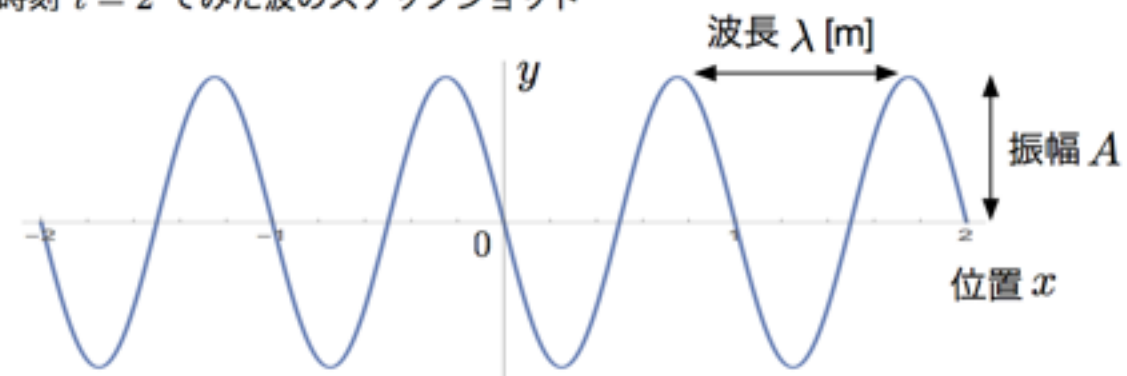


「1カ所での動きを見る」





(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

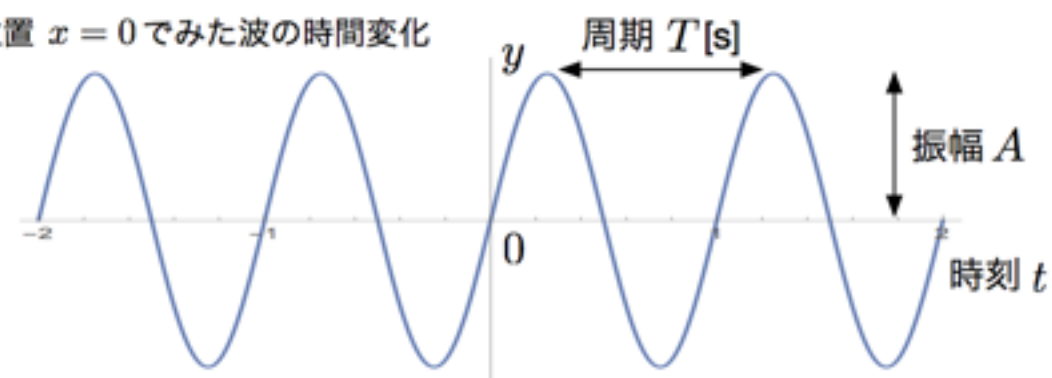


図 2: 正弦波の伝わる様子. ある時刻で写真を撮っても, 1ヶ所で止まって時間変化を観測しても, 周期的な変動になる. [左] 位置 $x = 0$ で単振動している波源から, x 軸の正の向きに正弦波の伝わる様子を $1/4$ 周期ごとの波形を並べて示した. [右] (a) x 方向に進む振幅 A , 波長 $\lambda = 1[\text{m}]$ の波を時刻 $t = 2$ でみた図. (b) は, この波を位置 $x = 0$ で観測したもの. 周期 $T = 1[\text{s}]$ であることがわかるので, この波の速さ v は, $v = \lambda/T = 1 [\text{m/s}]$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

表 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	$c = 299792458 \text{ m/s}$	赤い光	$4.0 \times 10^{-4} \text{ Hz}$	750 nm
		紫の光	$7.9 \times 10^{-4} \text{ Hz}$	380 nm
電磁波	$c = 299792458 \text{ m/s}$	電子レンジ	2450 MHz	12.24 cm
		FM	80 MHz	3.74 m
		AM	666 KHz	450 m
音	$v = 340 \text{ m/s}$ (温度で変化)	A の音	440 Hz	77.2 cm
		高い A	880 Hz	38.6 cm

■縦波と横波

波には、**縦波**（振動方向と進行方向が同じ波）と**横波**（振動方向と進行方向が垂直な波）がある。音波は縦波，水面を伝わる波は横波である。

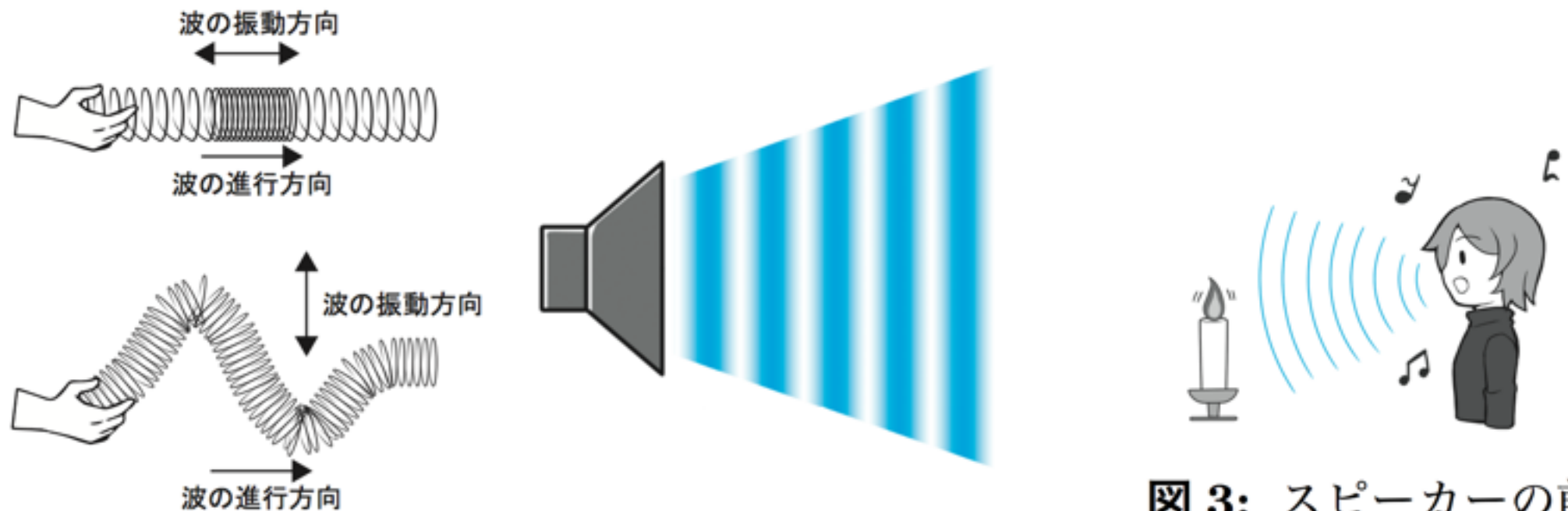
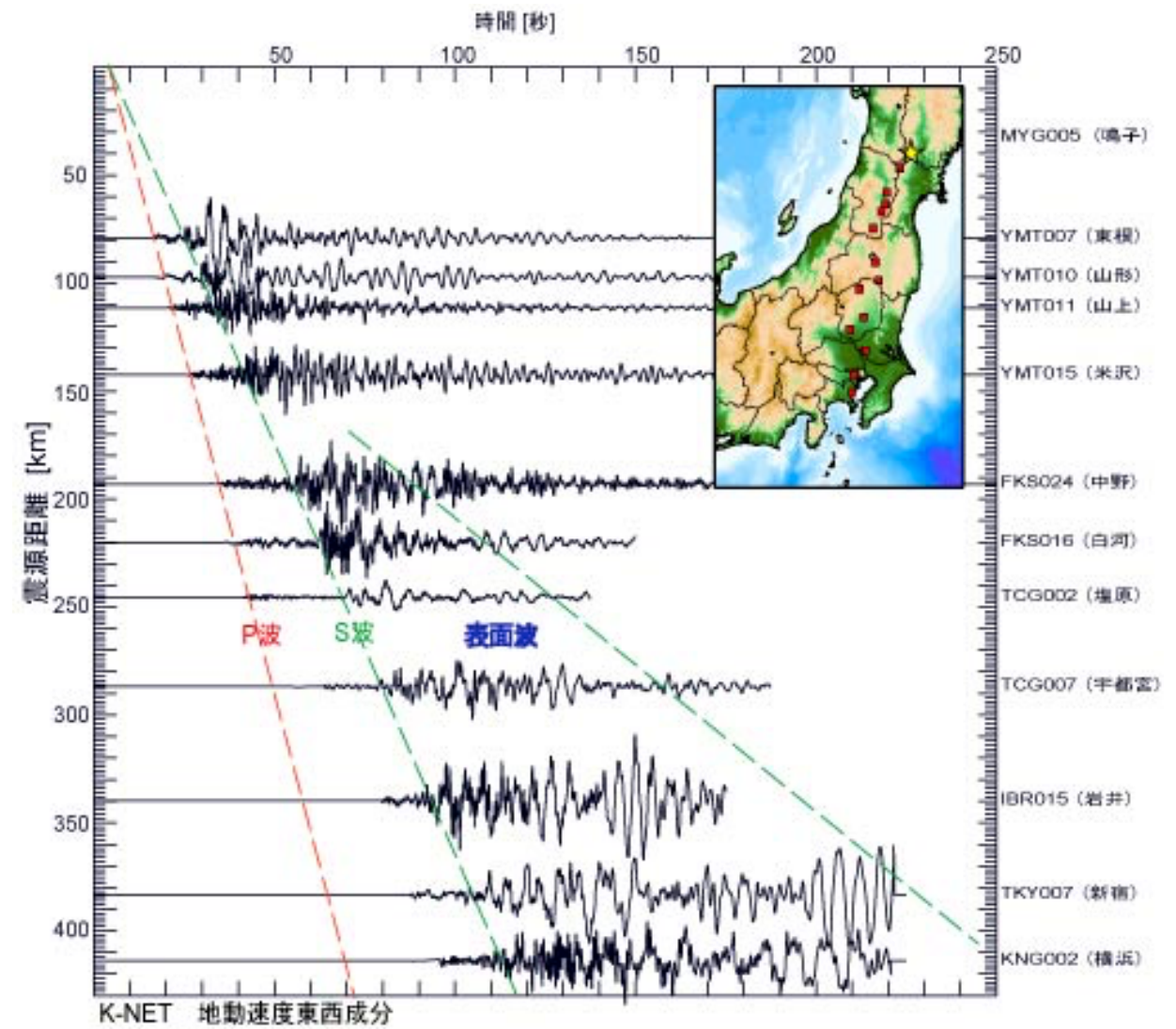
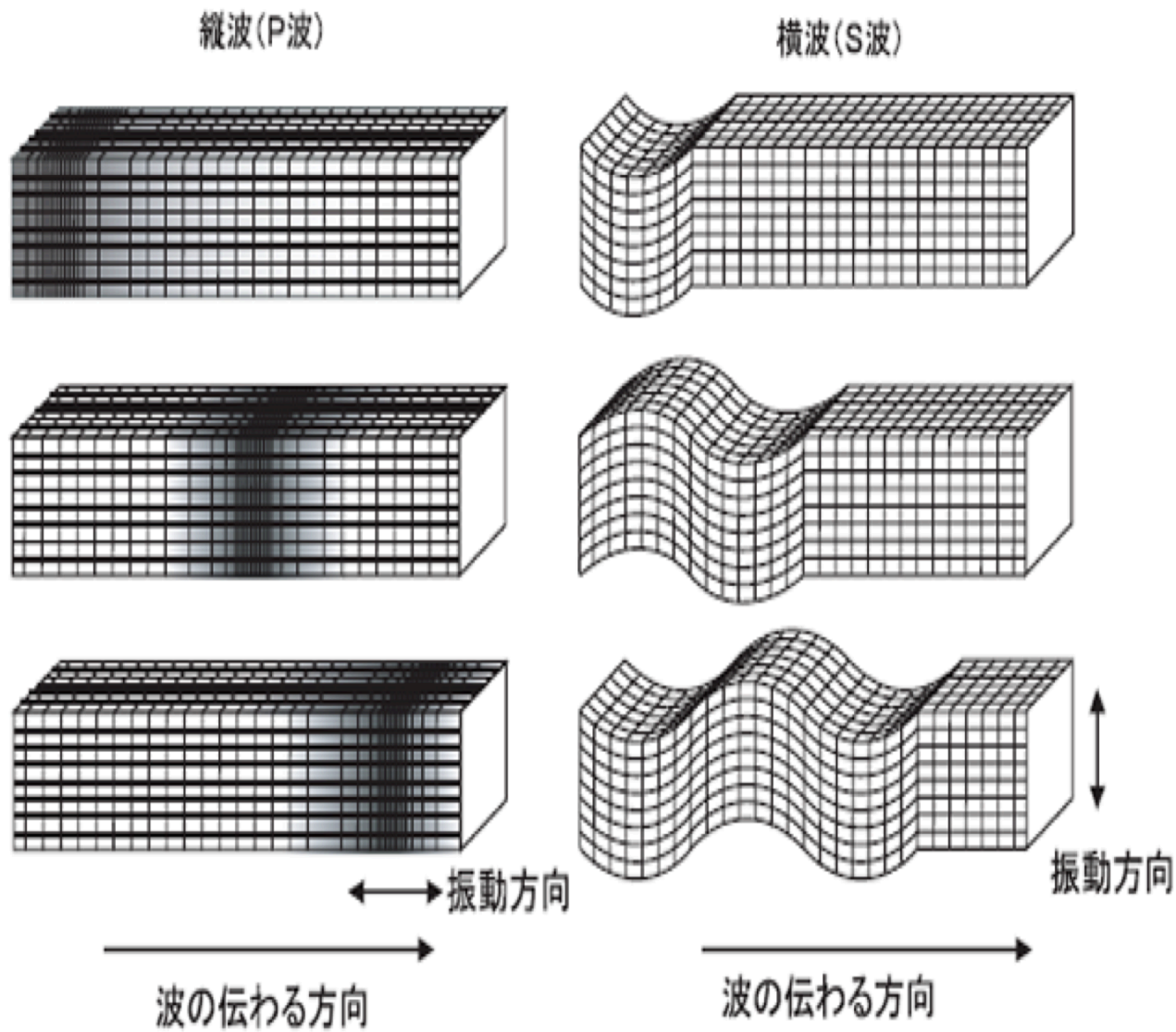


図 4: 〔左〕 上が縦波, 下が横波, 〔右〕 音波は空気振動を伝える。

図 3: スピーカーの前にろうソクを置くと炎がゆれる。音が空気中を縦波として伝わる様子がわかる。

緊急地震速報のしくみ



6.1.2. 波の特徴

重ね合わせ (superposition)

山 + 山 = 強め合う

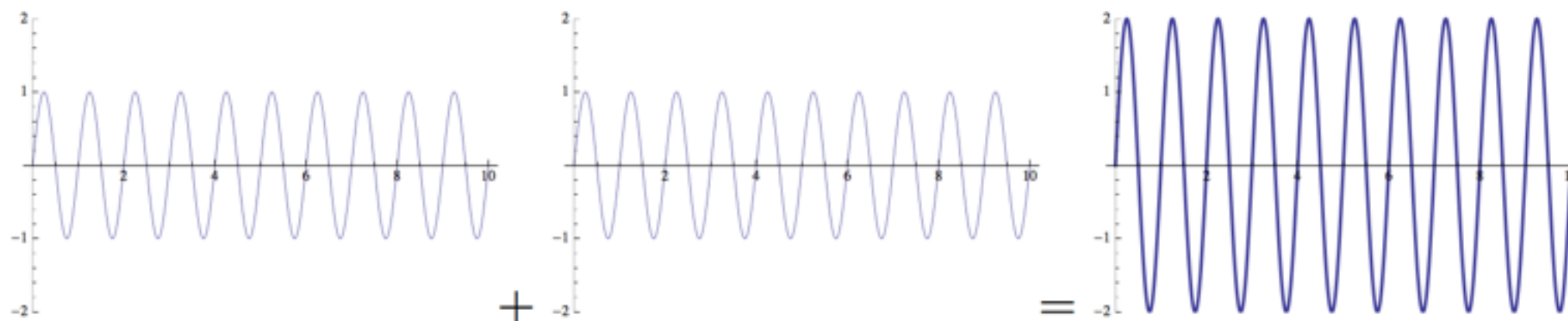


図 7: 左 2 つの波を足すと右の波になる. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = y_1(t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

山 + 谷 = 弱め合う

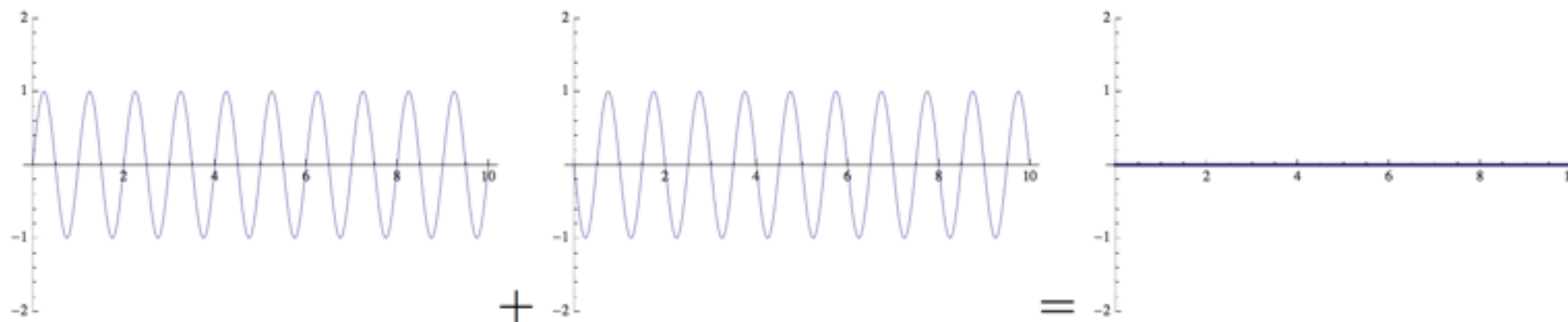
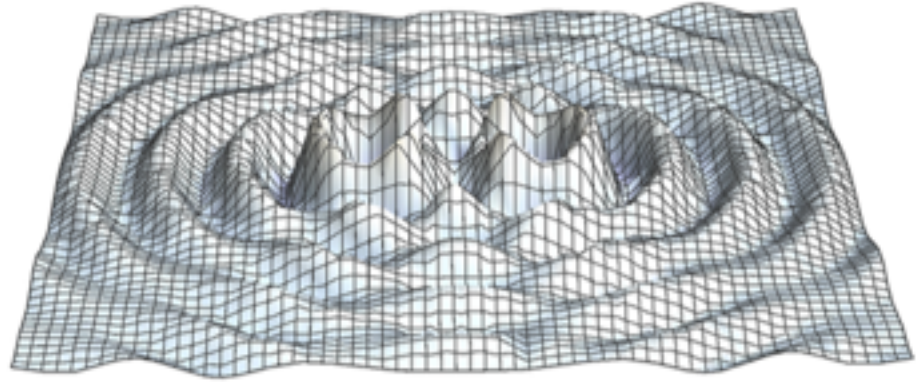
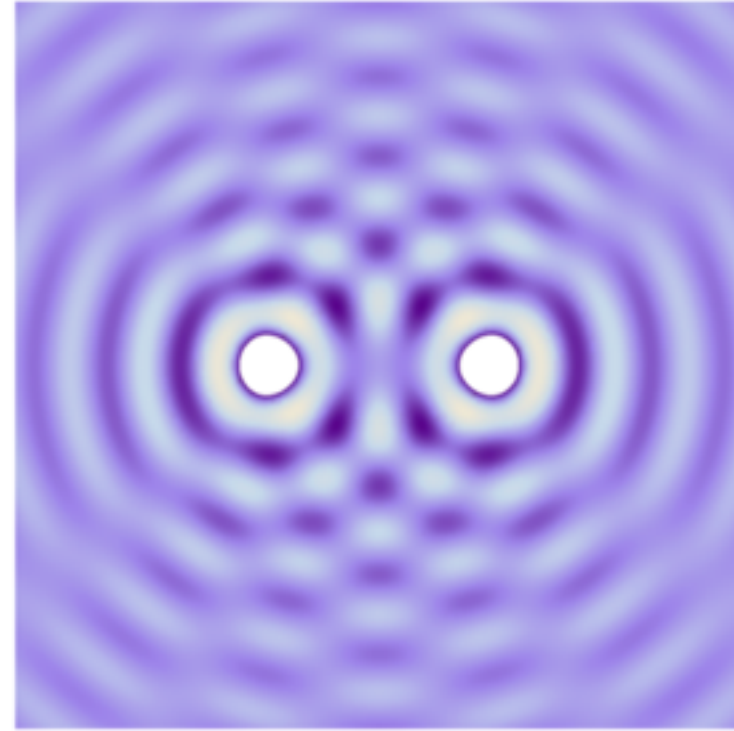


図 8: 図 7 と同様. $y_1(t) = \sin(2\pi t)$, $y_2(t) = -\sin(2\pi t)$ としたときの, $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ の図.

干渉 (interference)



(a) 斜め上から見た図

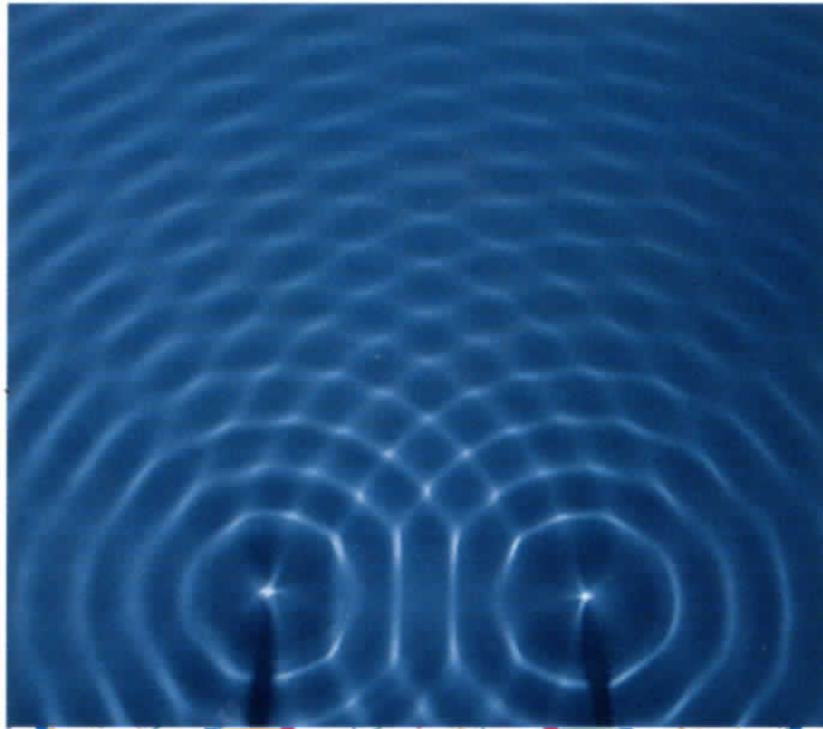


(b) 下から光を当てて上から見た図

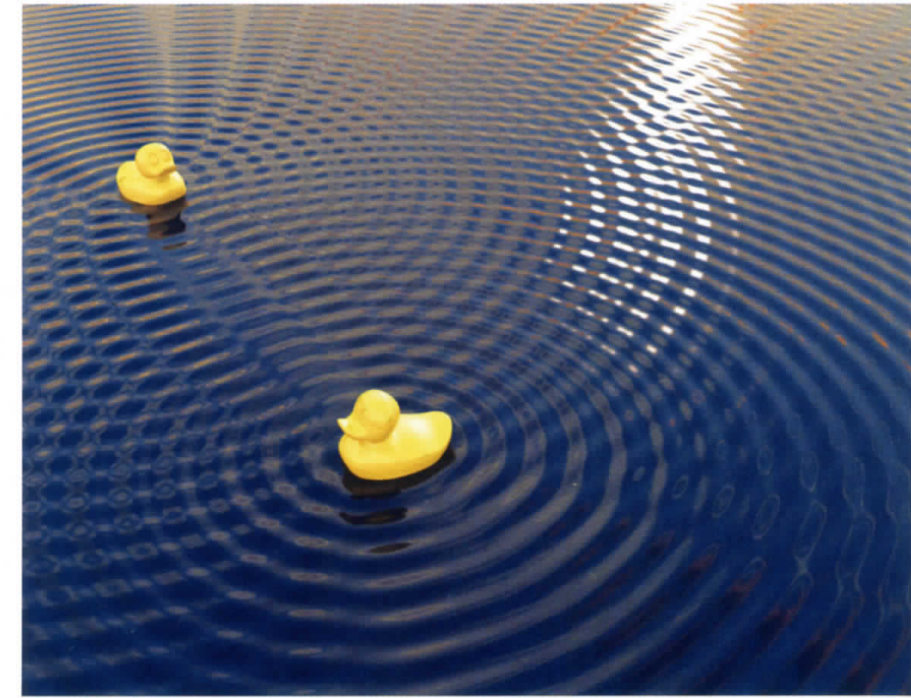
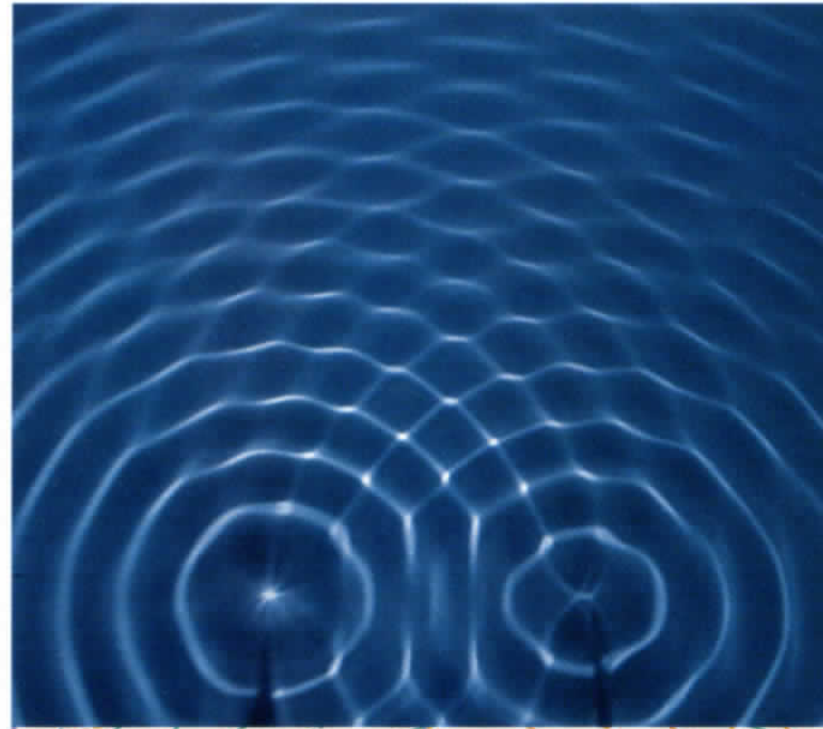
波の干渉実験

波の干渉 = 強めあったり弱めあったりする現象

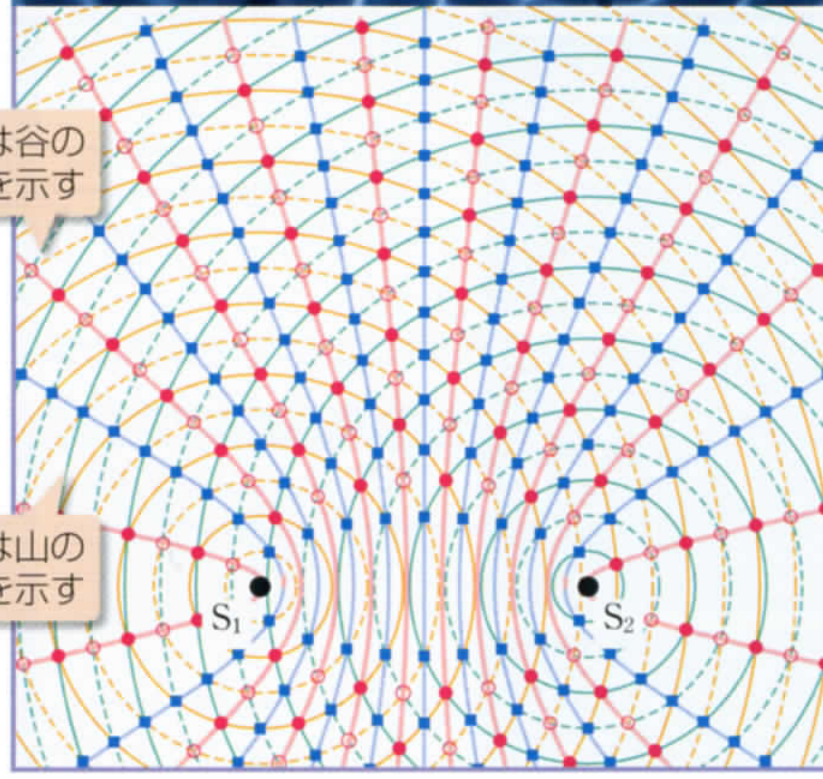
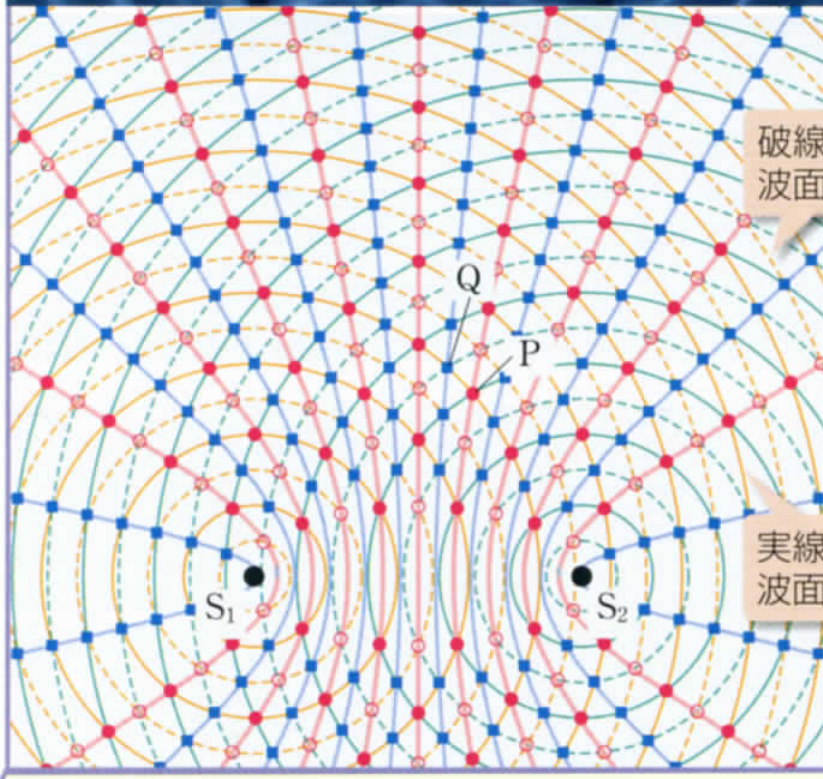
● 同位相で振動する 2 つの波源の場合



● 逆位相で振動する 2 つの波源の場合



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

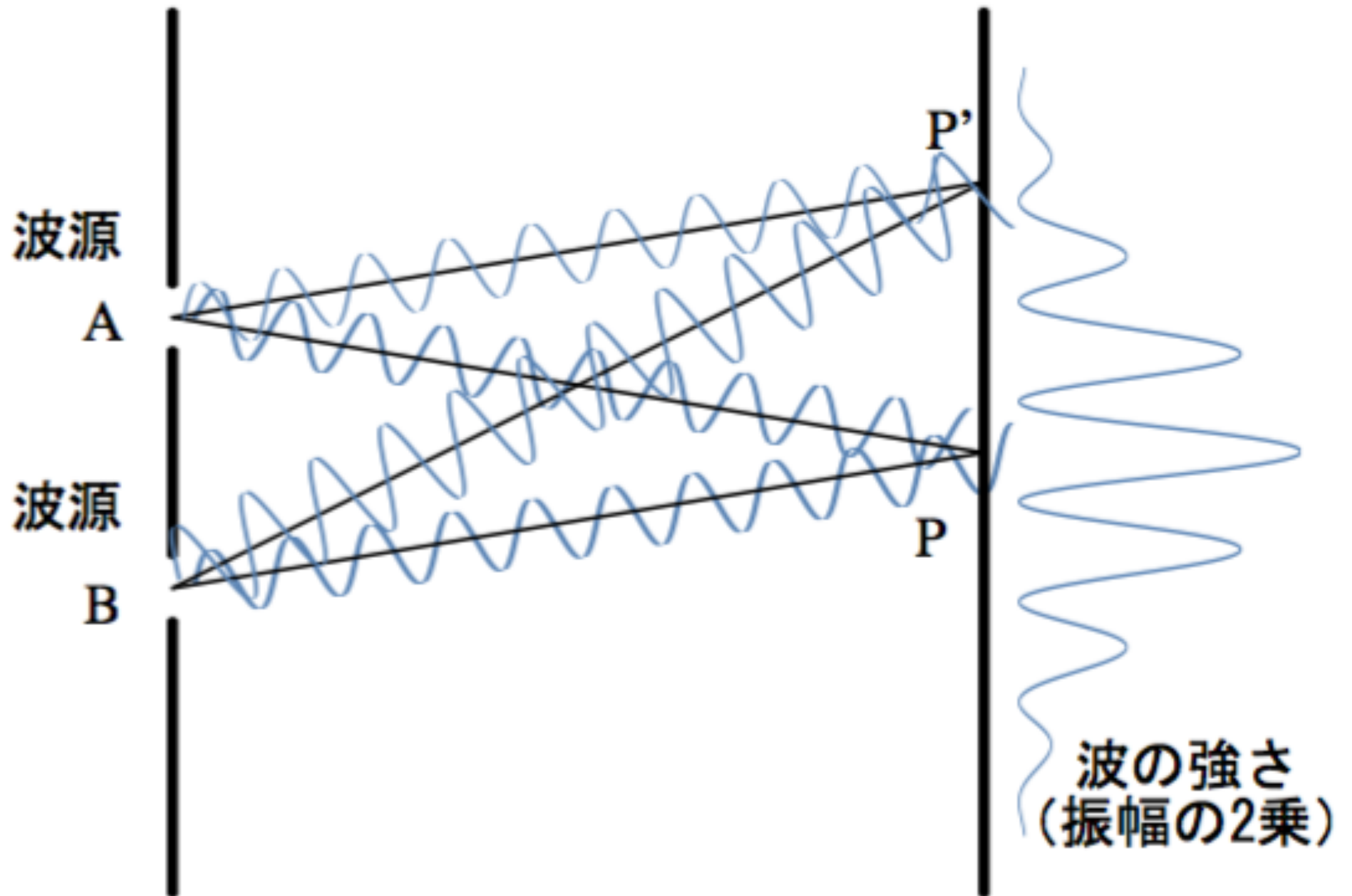


破線は谷の波面を示す

実線は山の波面を示す

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。

波の干渉条件



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



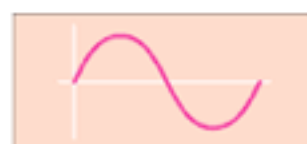
※航空機内の音楽サービスシステムにより、ご使用になれない場合があります
※航空機内で電子機器の使用が禁止されている場合や、機内の音楽サービスを個人のヘッドホンで利用することが禁止されている場合は、本機を使用しないでください



■ノイズキャンセリング機能の原理

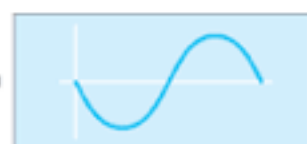


MDR-NC6
内蔵マイク



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。

→

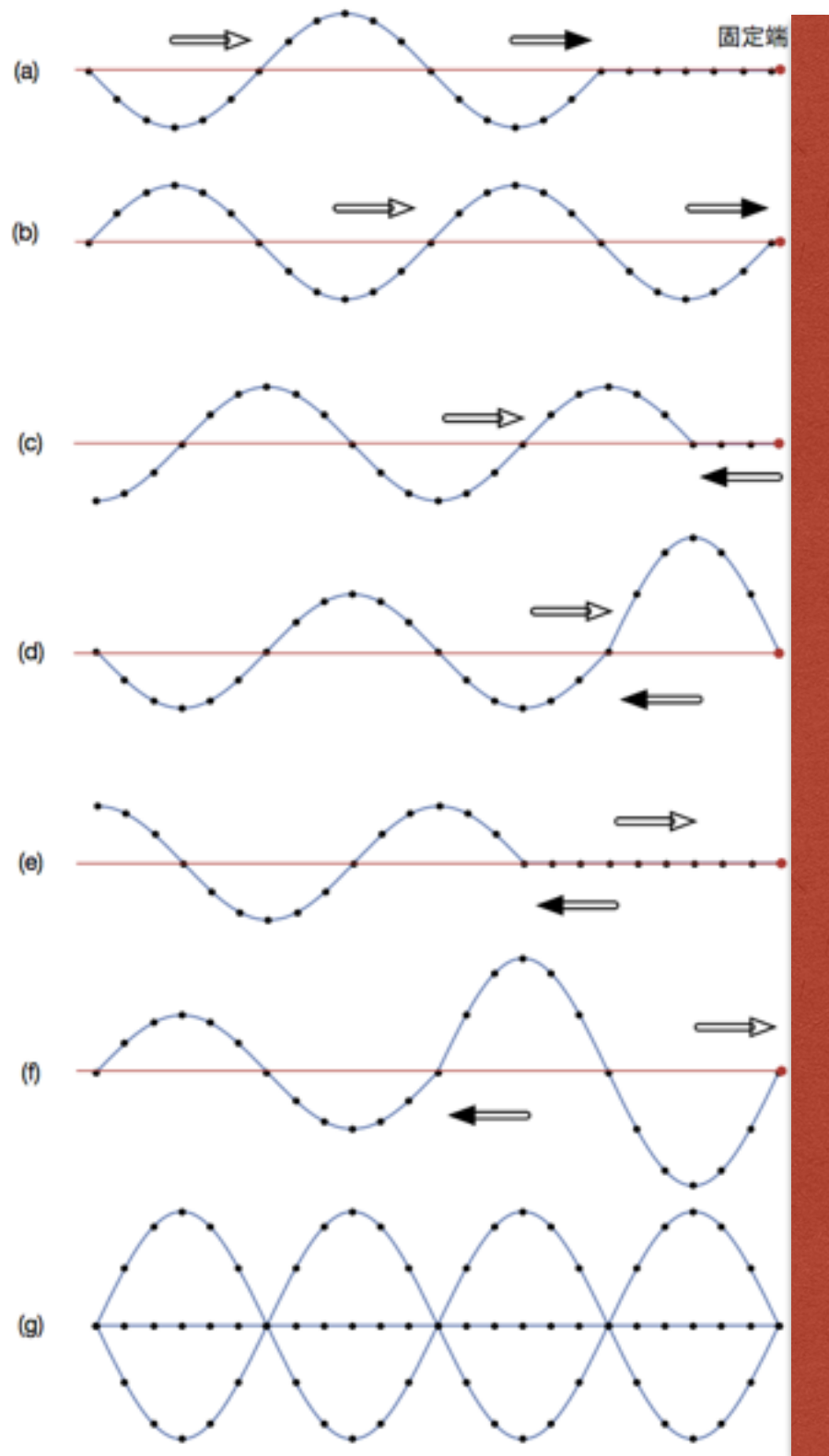


3.合成されて消えた波
元の波を反転させた逆位相の波を重ね、元の波を消去。これにより周囲の騒音を低減します。

*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

固定端と自由端

固定端



自由端

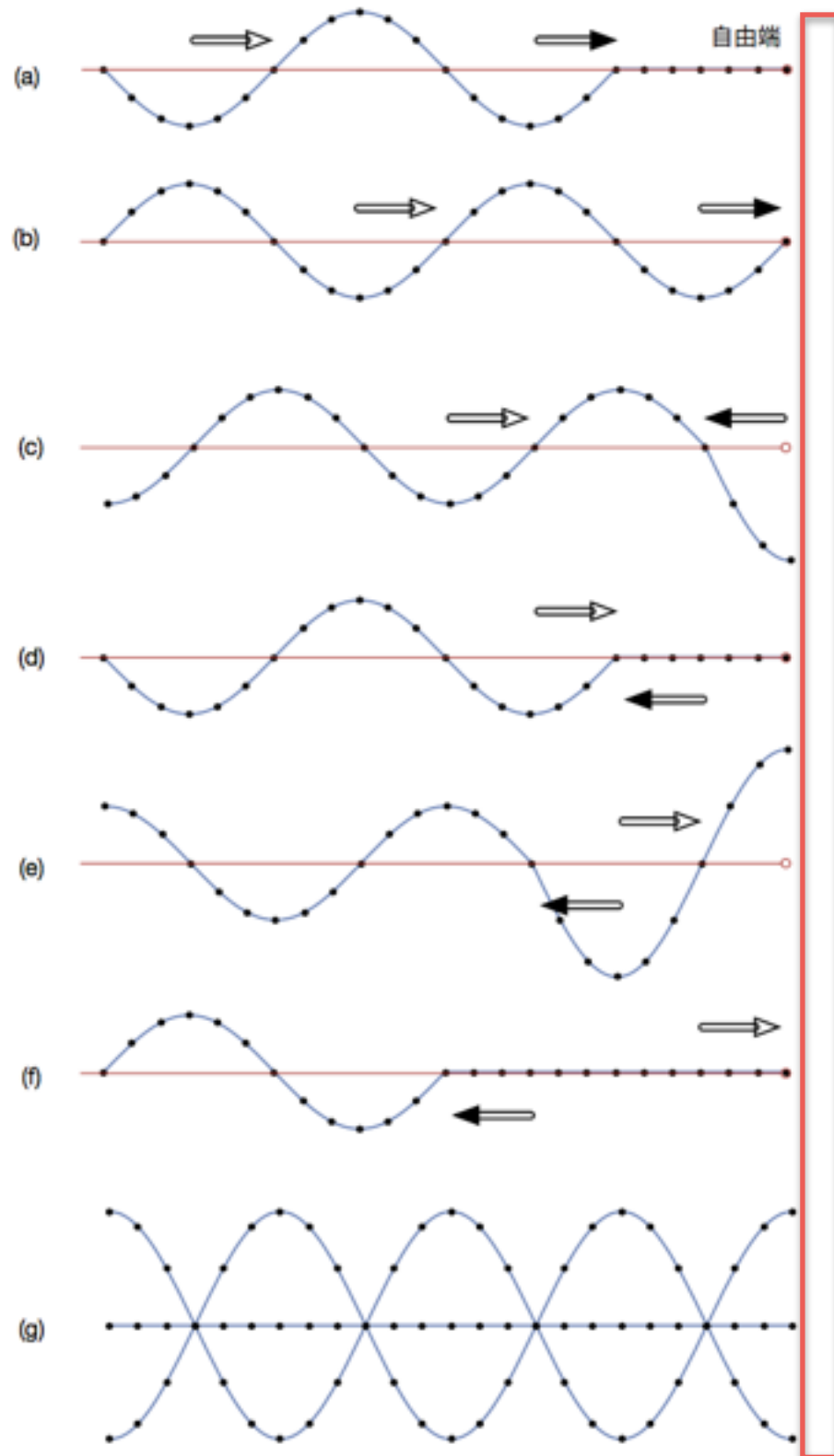
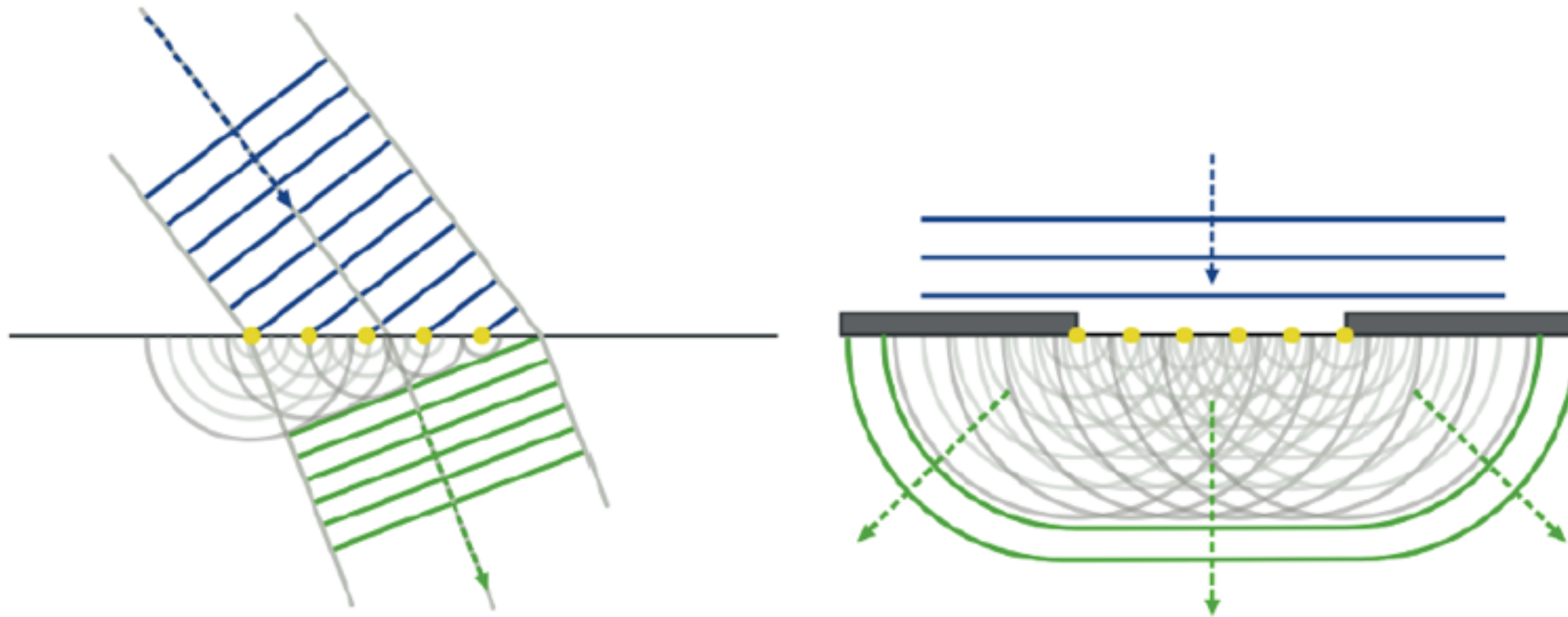


図 12: 岸壁でざぶん.

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

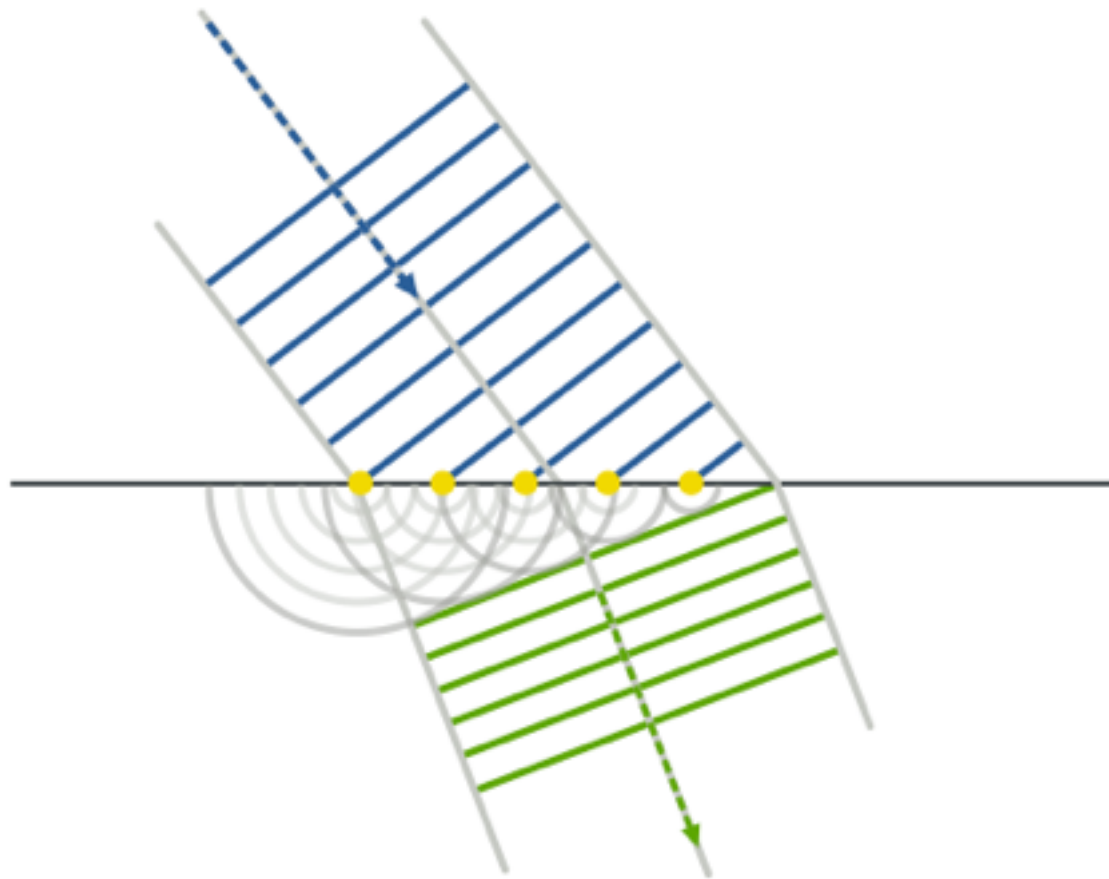
波面は無数の波源の集まりとみなすことができ、波の各点を波源として球面状に広がっていく**素元波**の重ね合わせとして、次の瞬間の波面が形成される。

Christiaan Huygens
(1629–95)

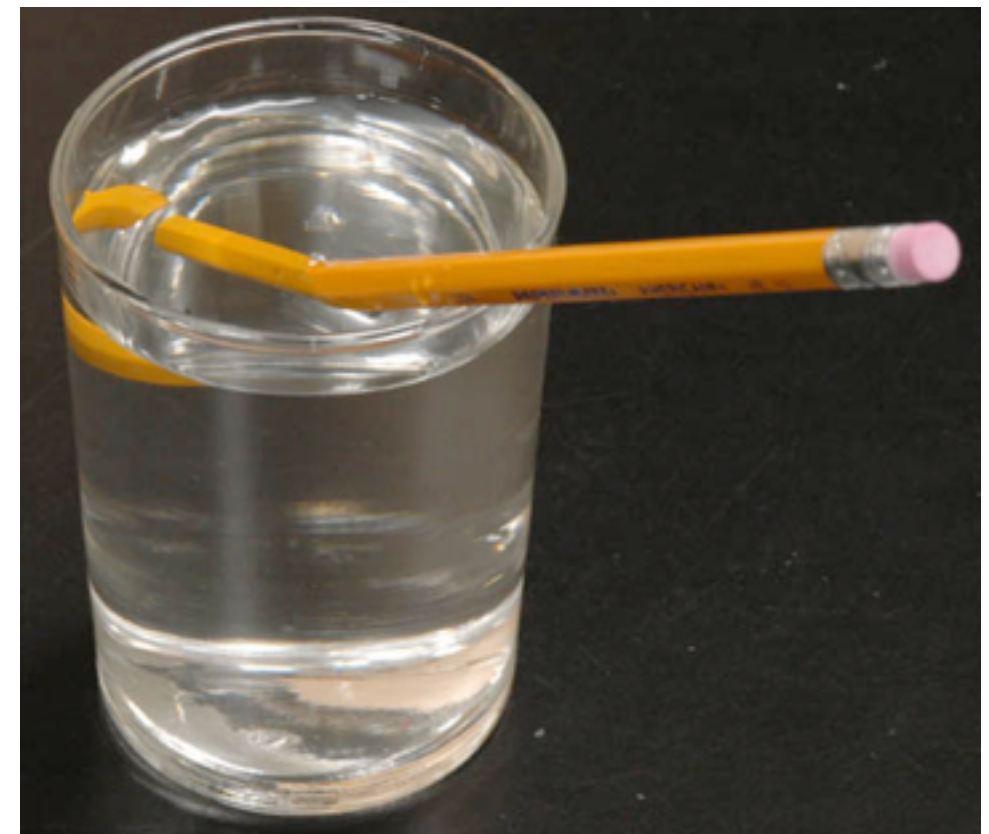
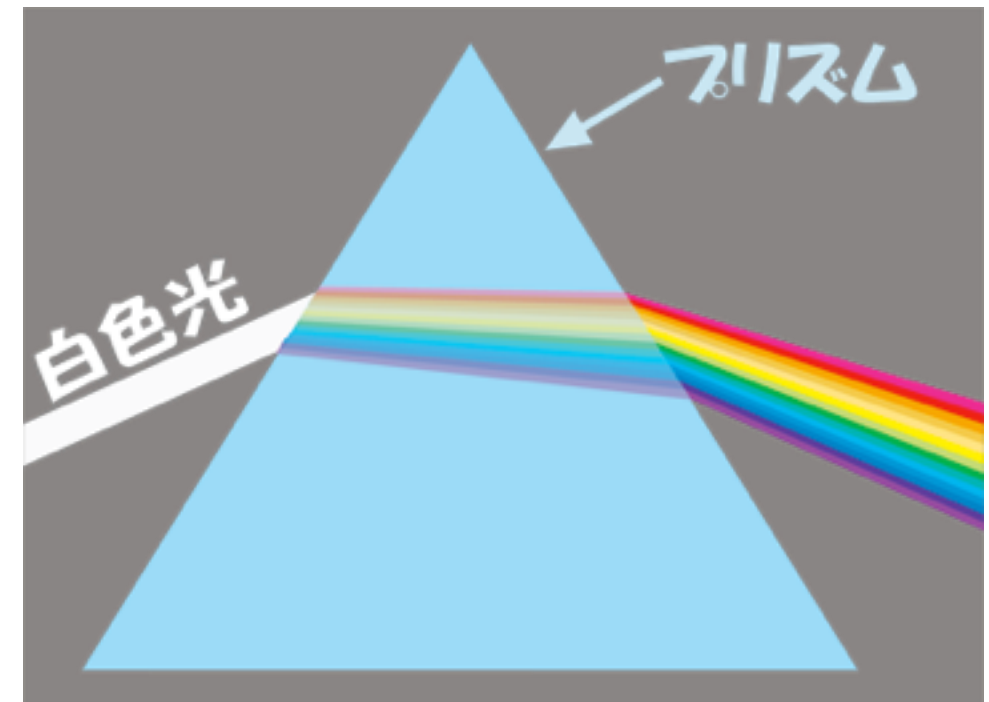


屈折 (refraction)

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)



砂浜に打ち寄せる波は海岸線に平行

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

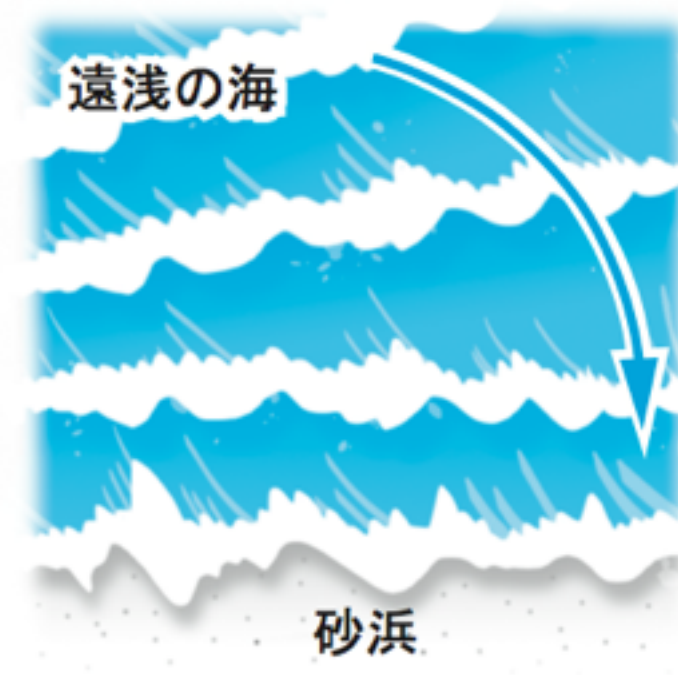
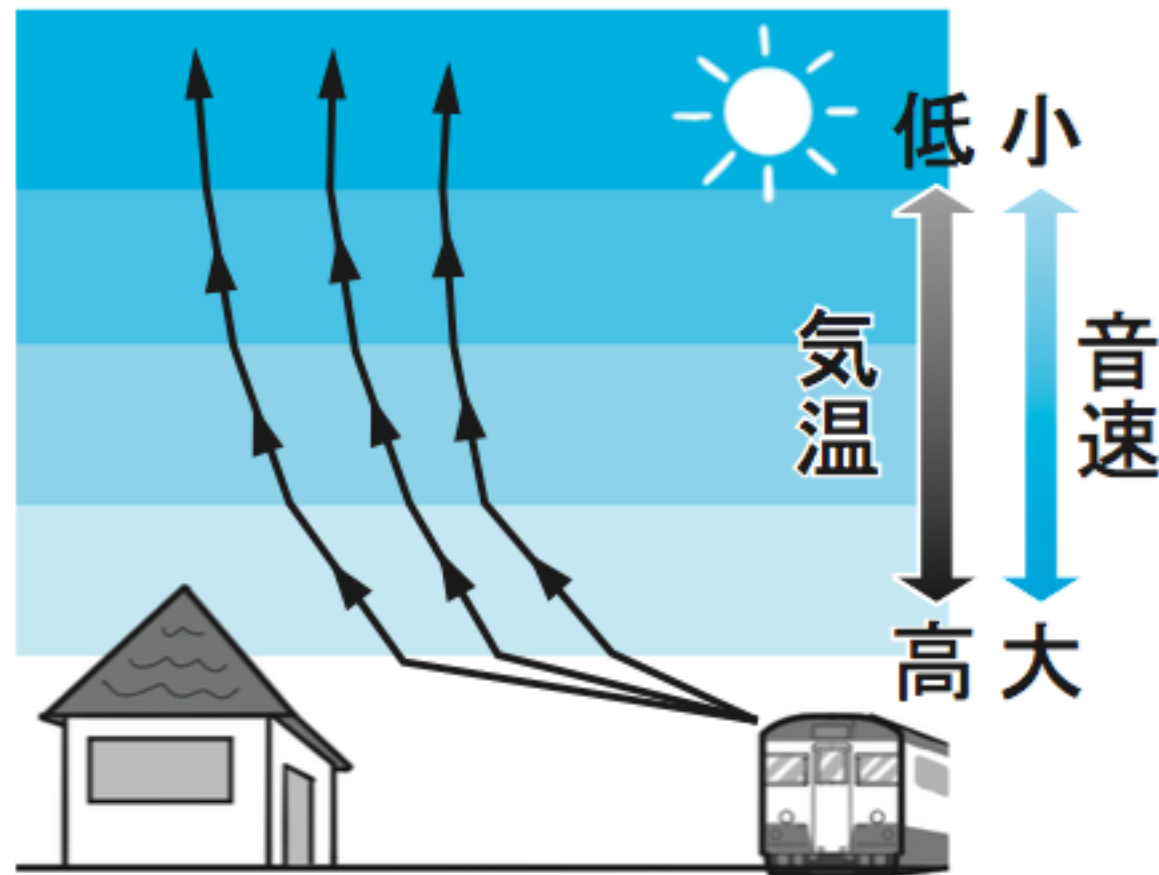


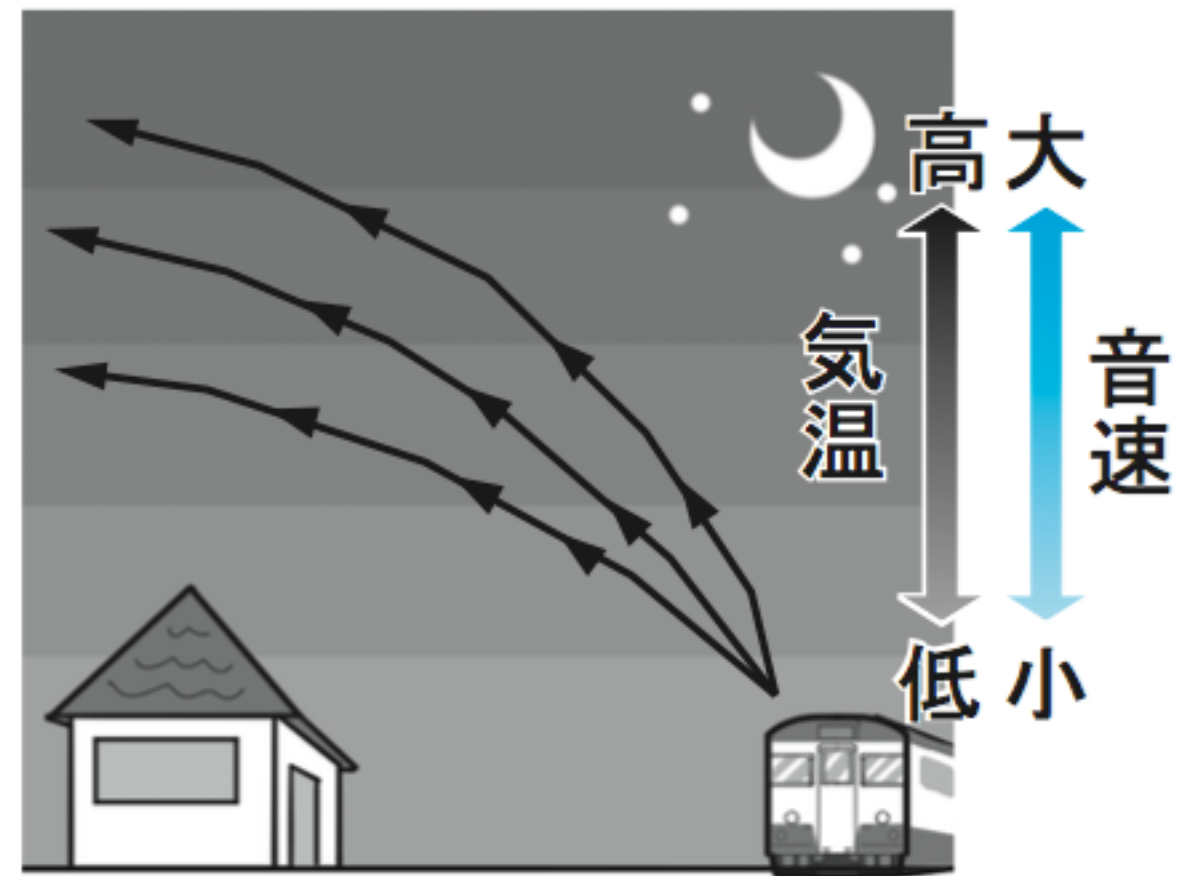
図 15: 遠浅の海では波も屈折する。

夜汽車の音が遠くまで届く

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



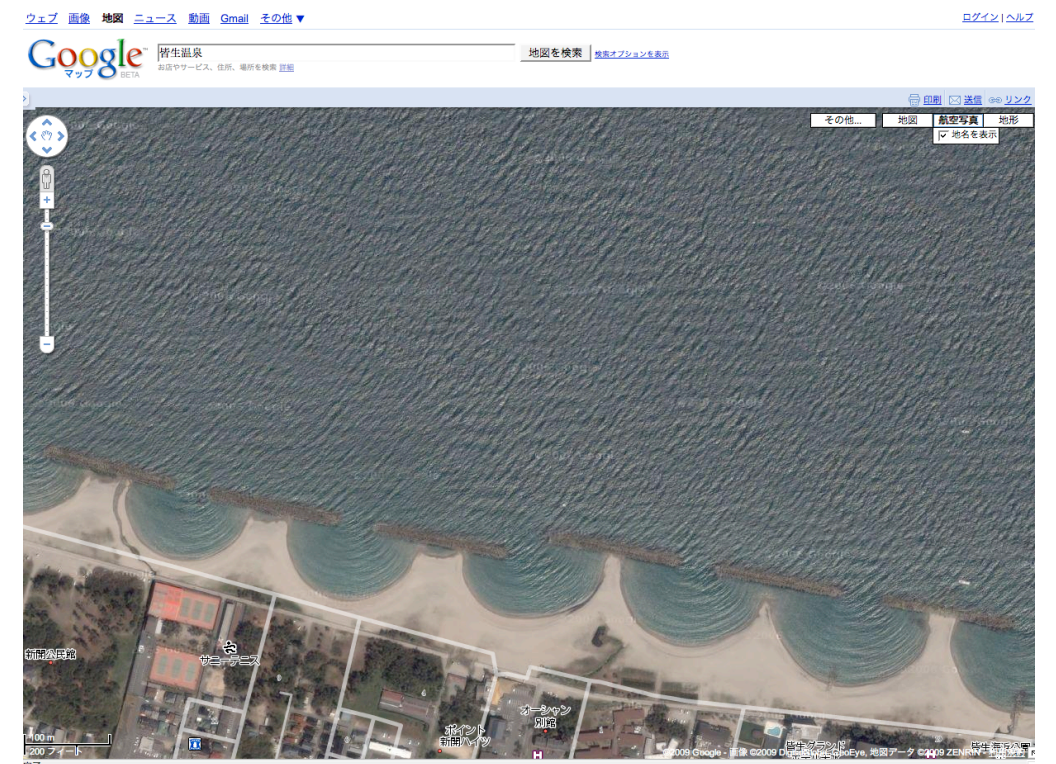
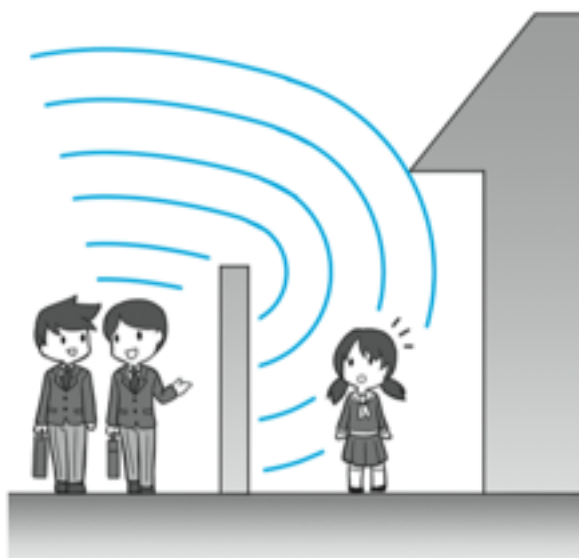
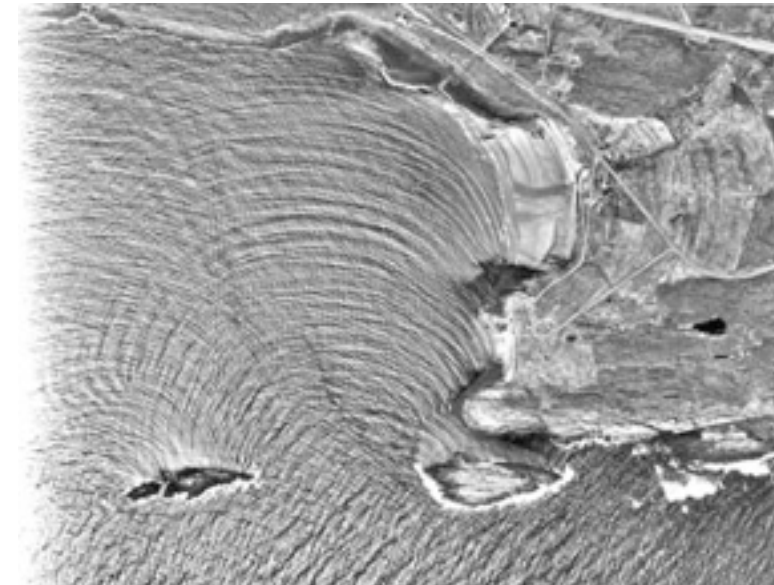
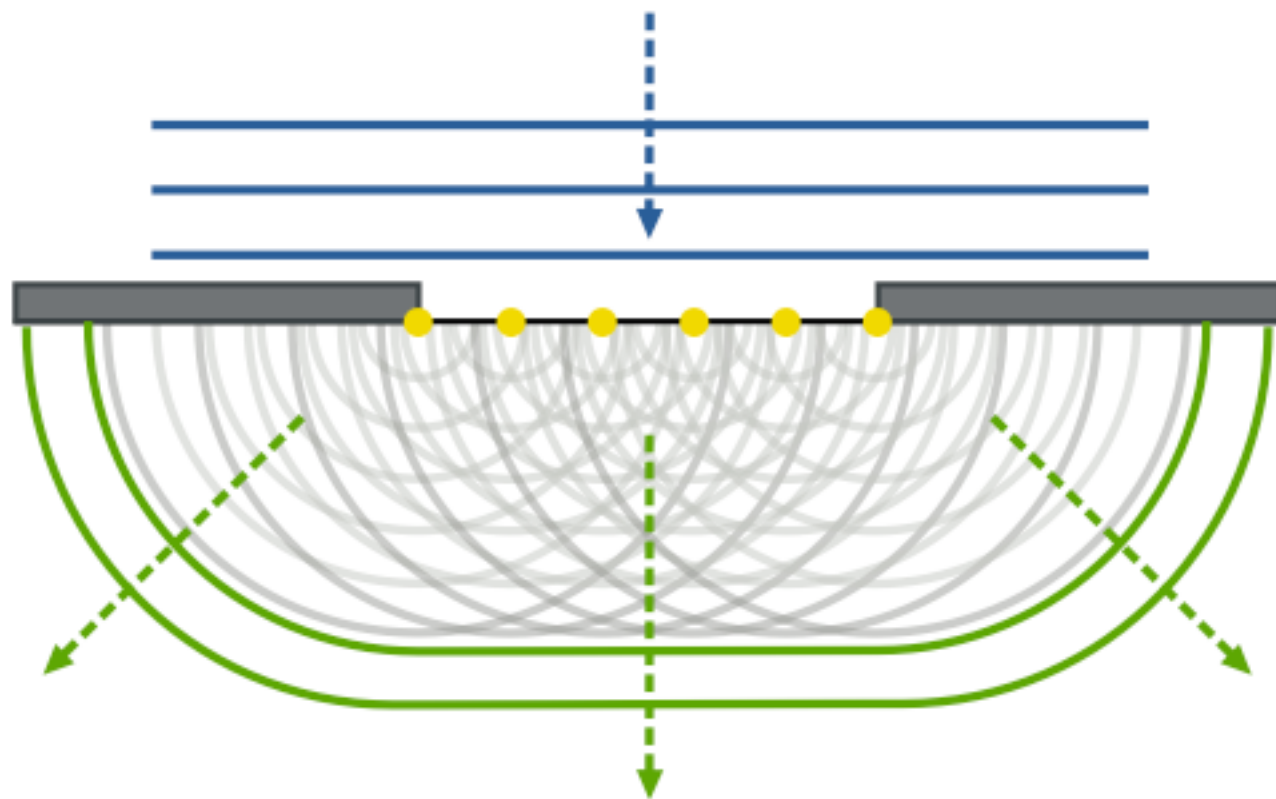
(a) 日中



(b) 夜

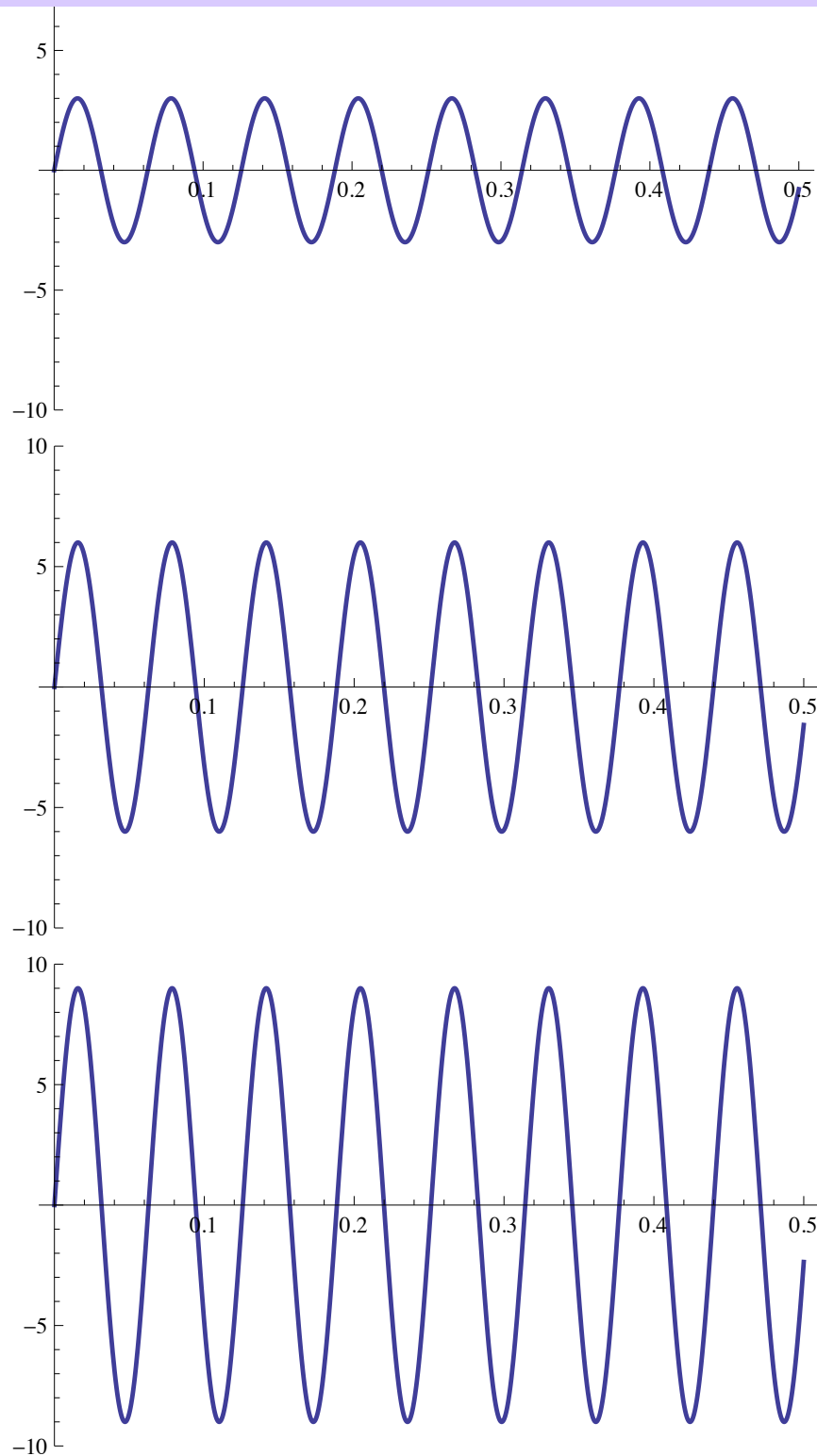
回折 (diffraction)

障害物の後ろにも，波は回折して進む。



皆生温泉 google map

音の3要素 (1) 大きさ



音の大きさ=振幅

【図6. 音圧と音圧レベル】

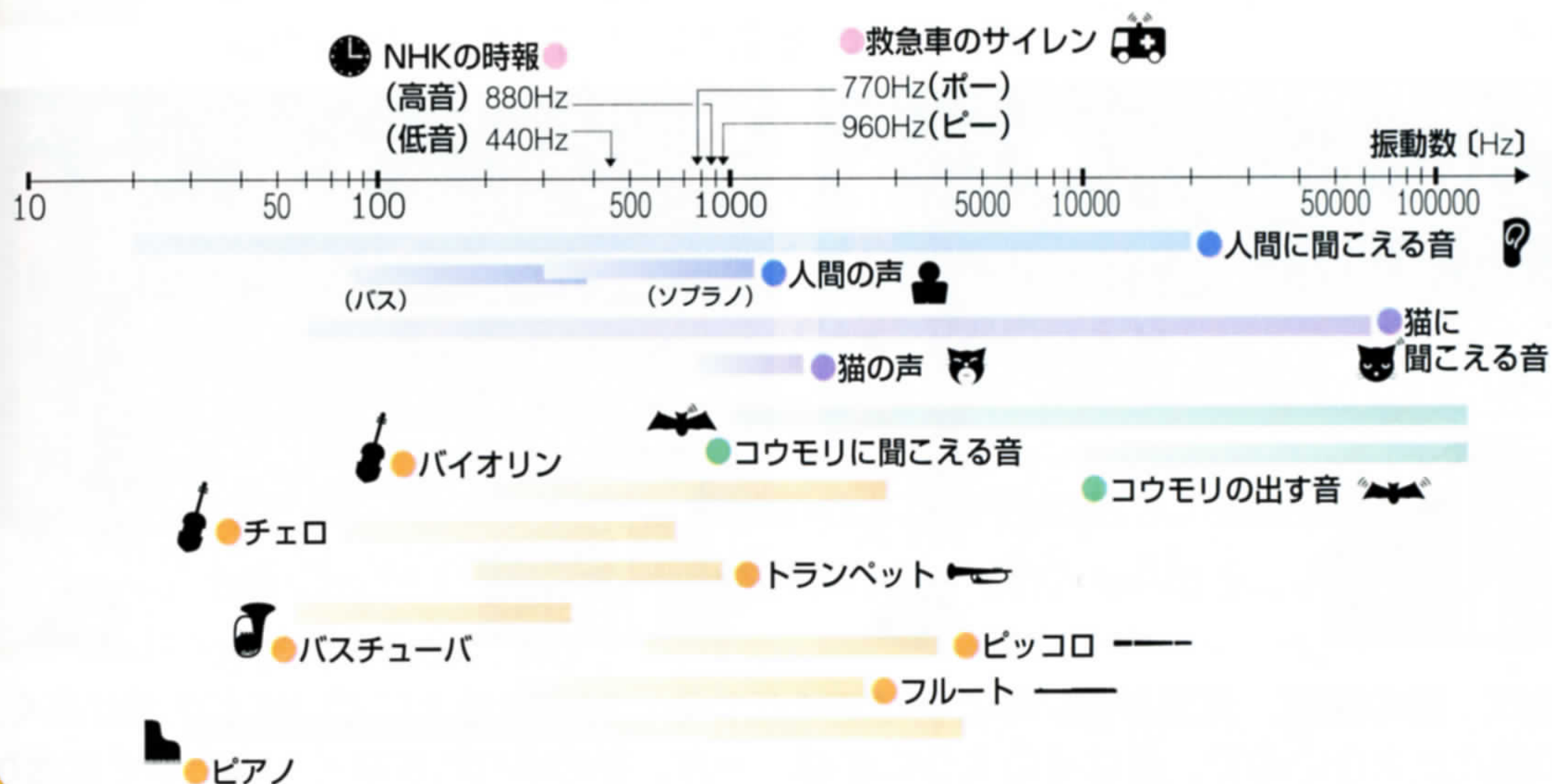


5. 波 : 5.2 音

5.2.1 音の3要素 (2) 音の高低 (pitch)

高い音, 低い音

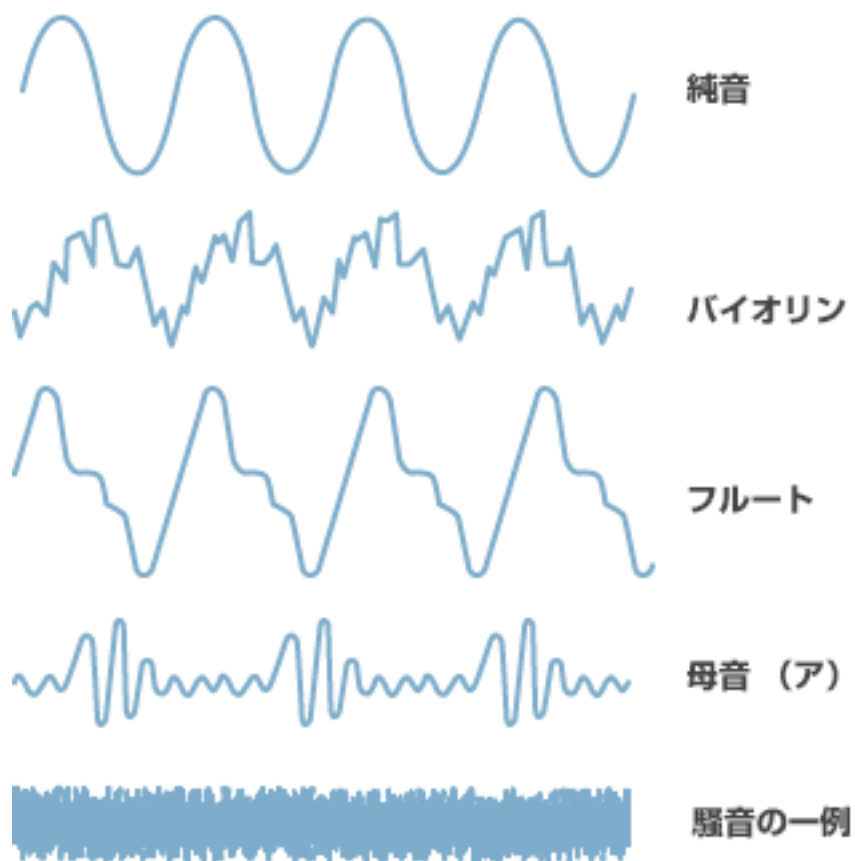
聞こえる音の範囲や, 出せる音の範囲は, 動物の種類によって異なる。人が聞くことのできる音波の振動数は約 20 ~ 20000 Hz の範囲であり, この上限を超えるものを **超音波** という。コウモリは超音波を聞いたり出したりすることができる。



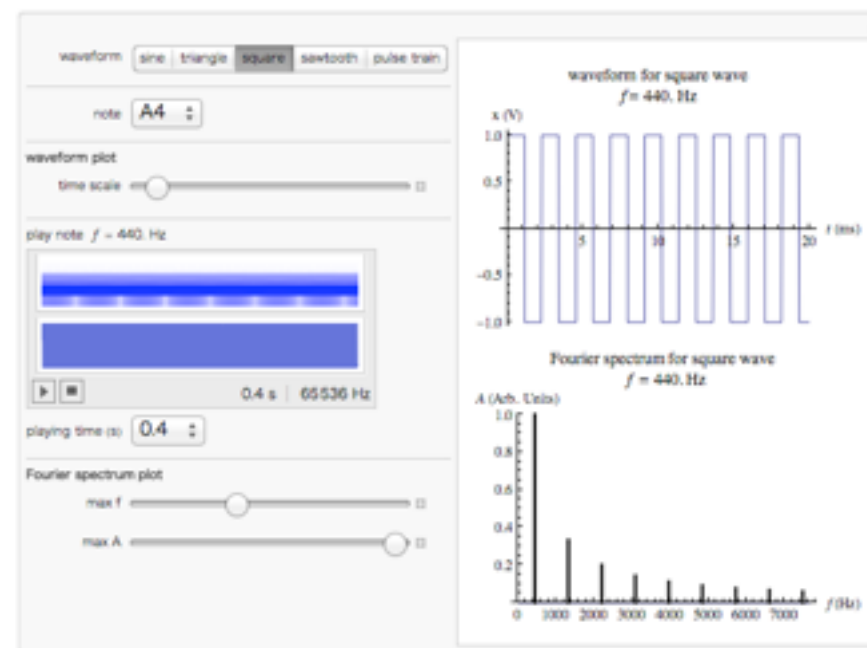
音の3要素 (3) 音色

音色=波形

[図5.いろいろな音の波形]

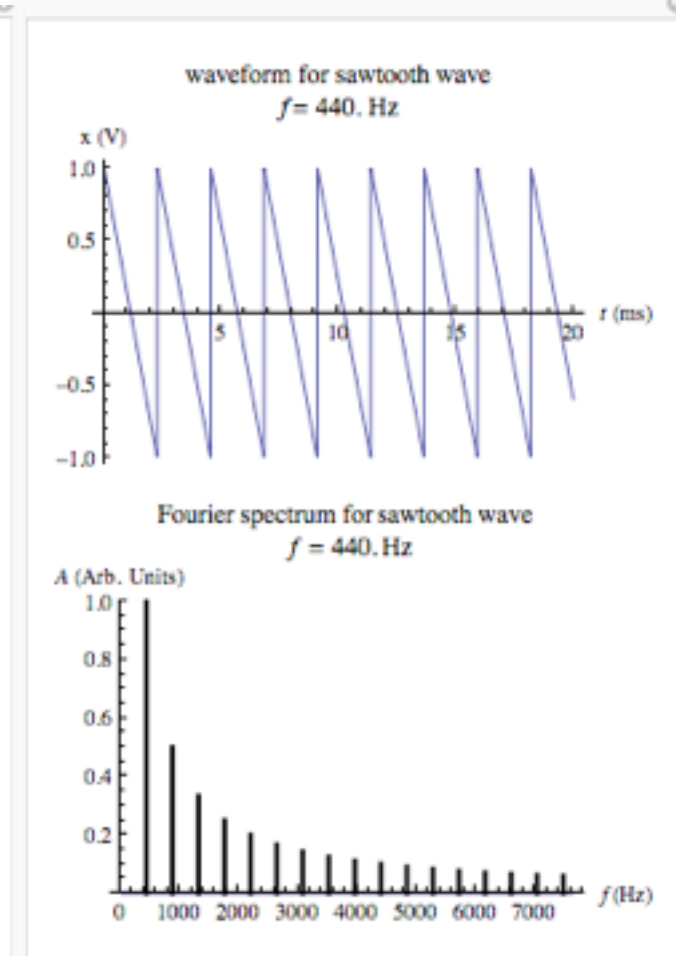
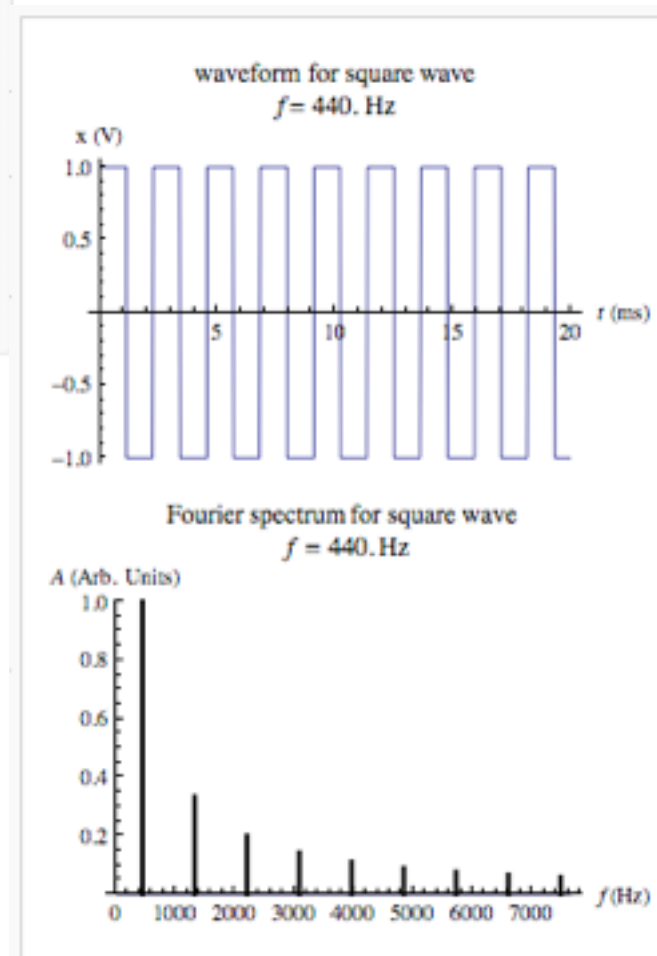
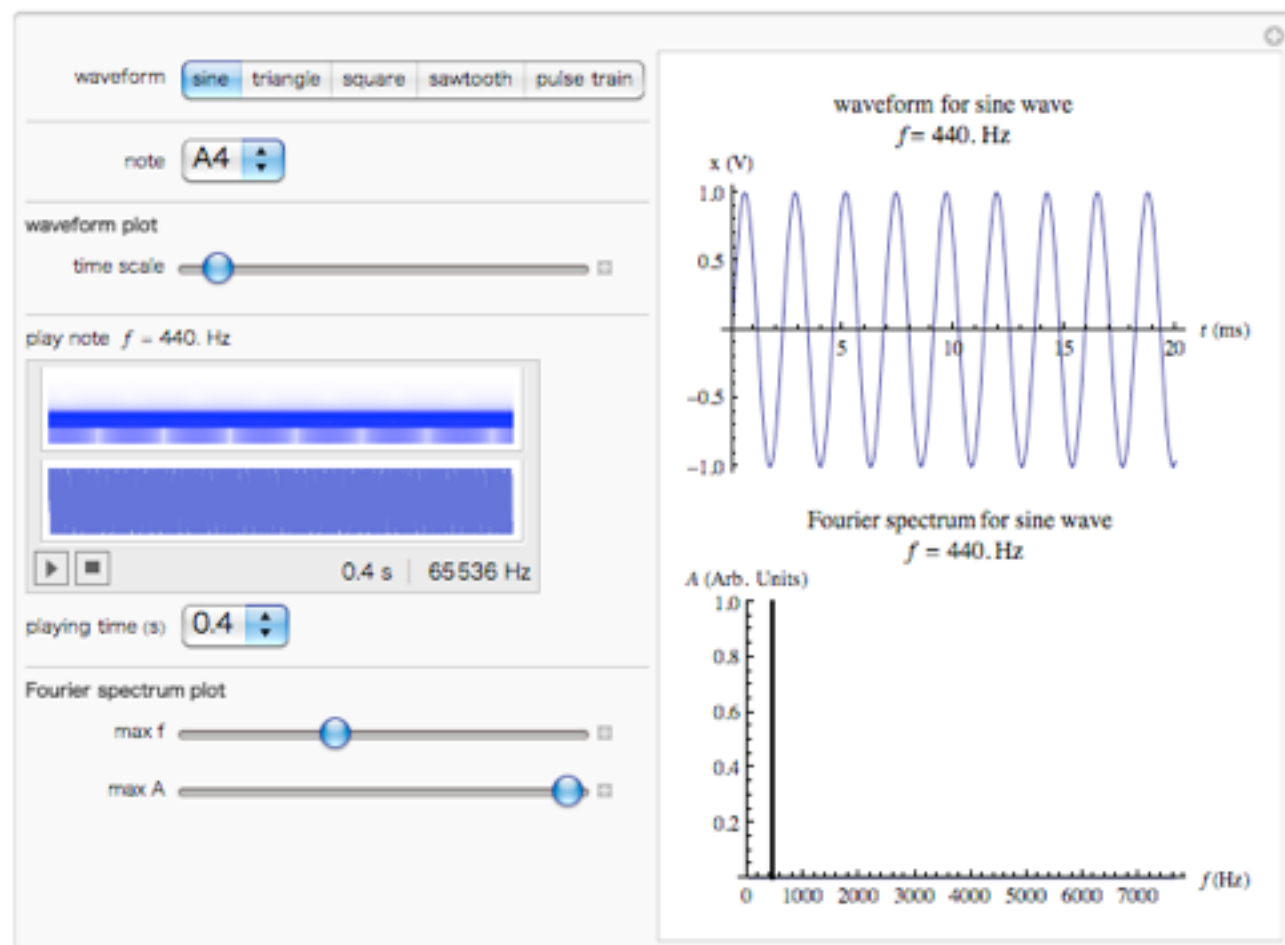


Sounds of Waveforms



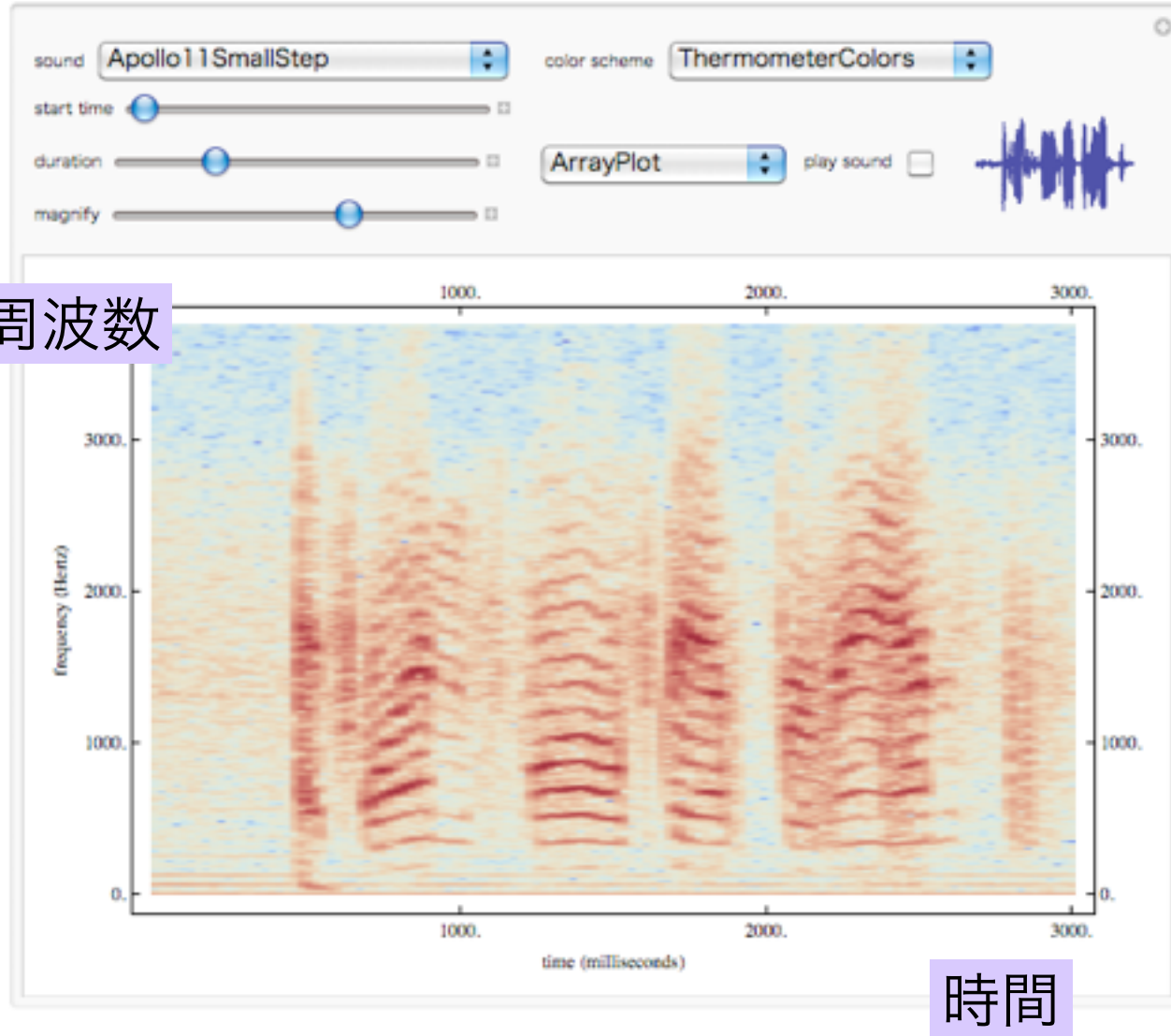
音の波形と音色

Sounds of Waveforms

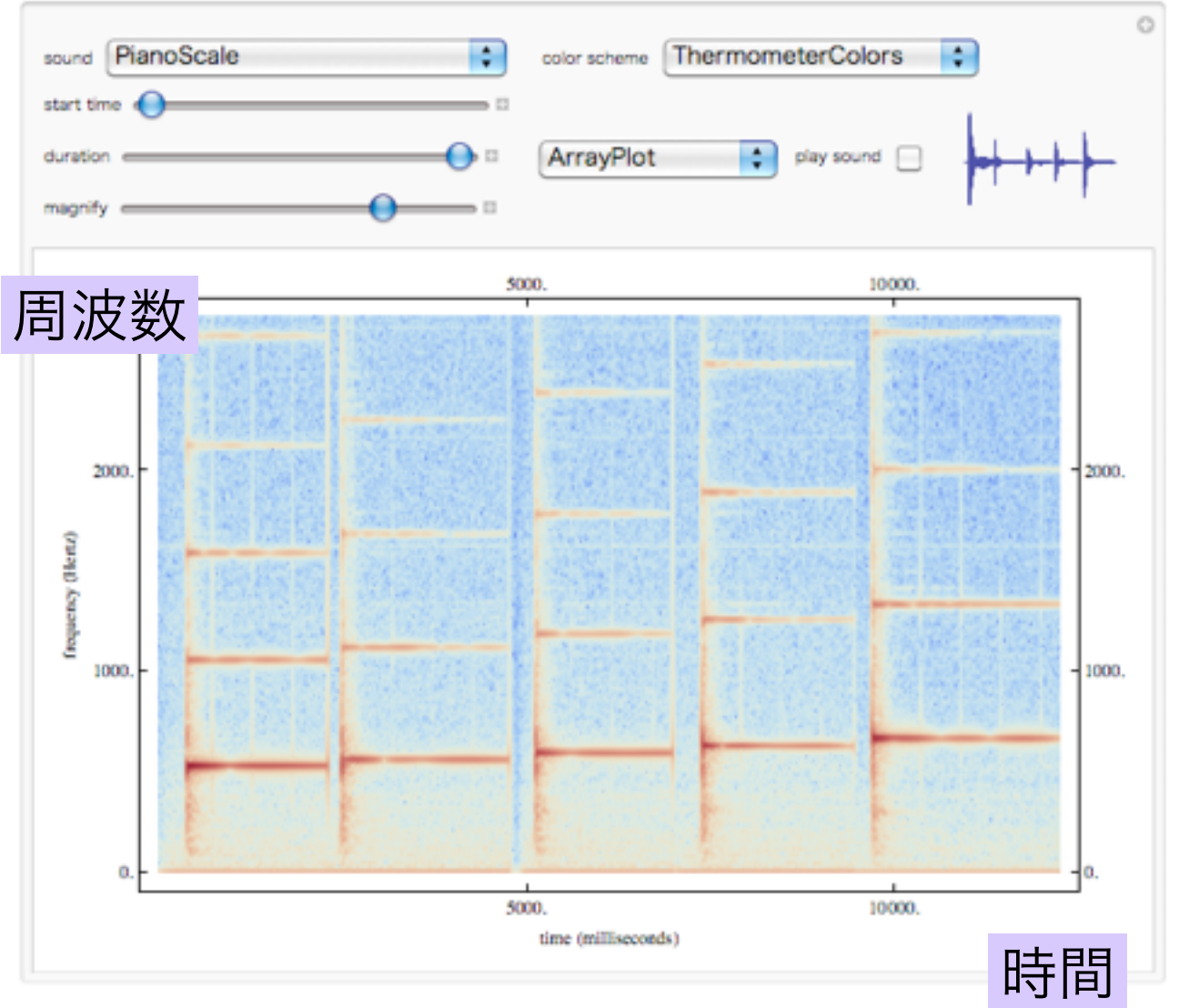


音のスペクトル (周波数分解)

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.

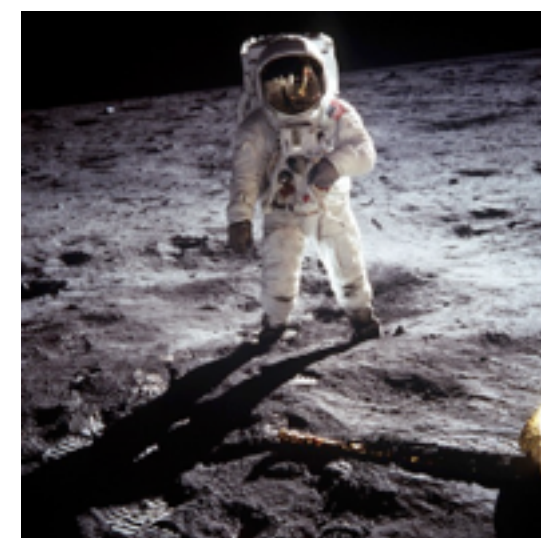
1969/7/21

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

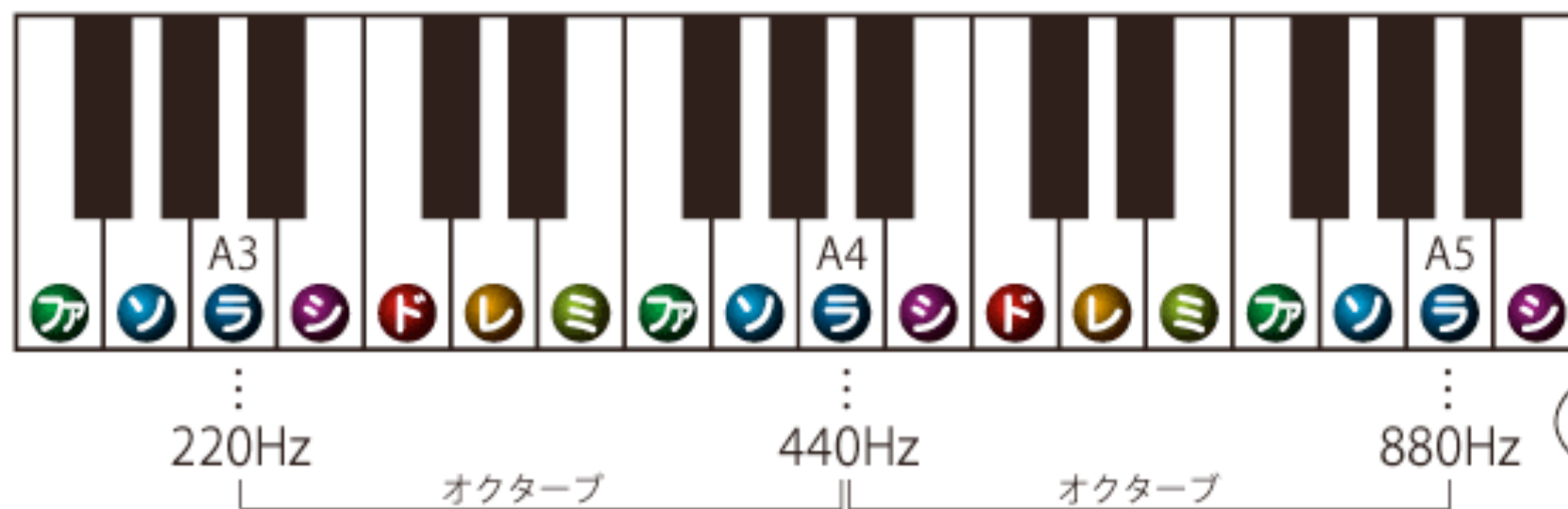
ニール・アームストロング
Neil Armstrong



1930-2012



音の3要素 (2) 音の高低 (pitch)



高い音ほど速く振動しています

周波数を倍にすると1オクターブ高い音になります

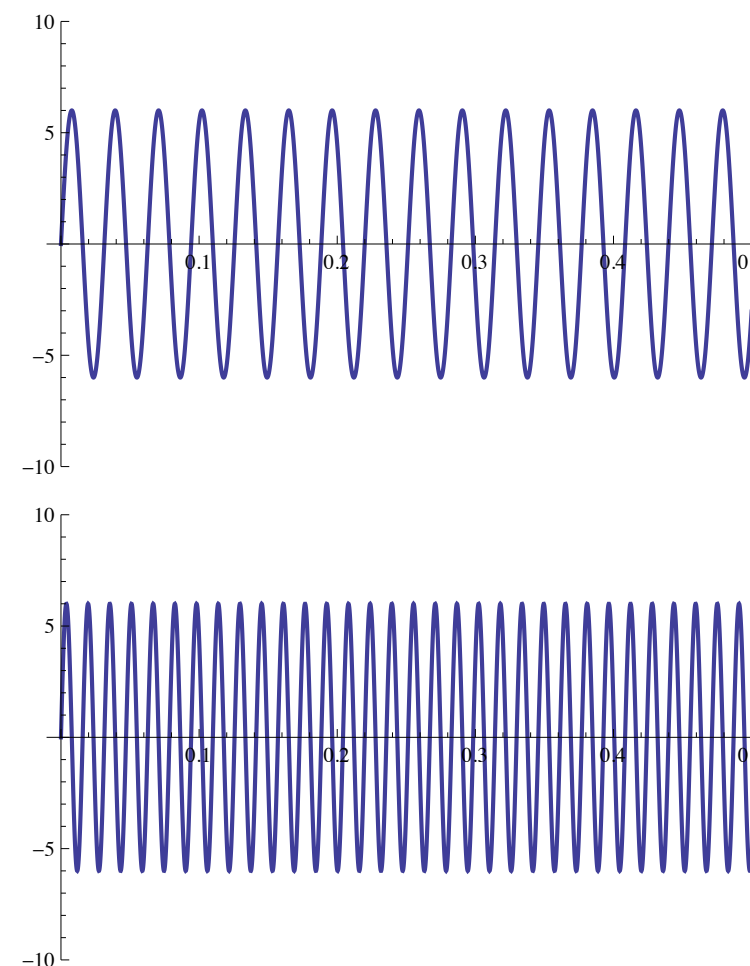
人間が聞く事ができる音は 20Hz から 20,000Hz

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



音階

八長調の場合の階名と日本語とドイツ語の音名①

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

ト長調の階名②

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド

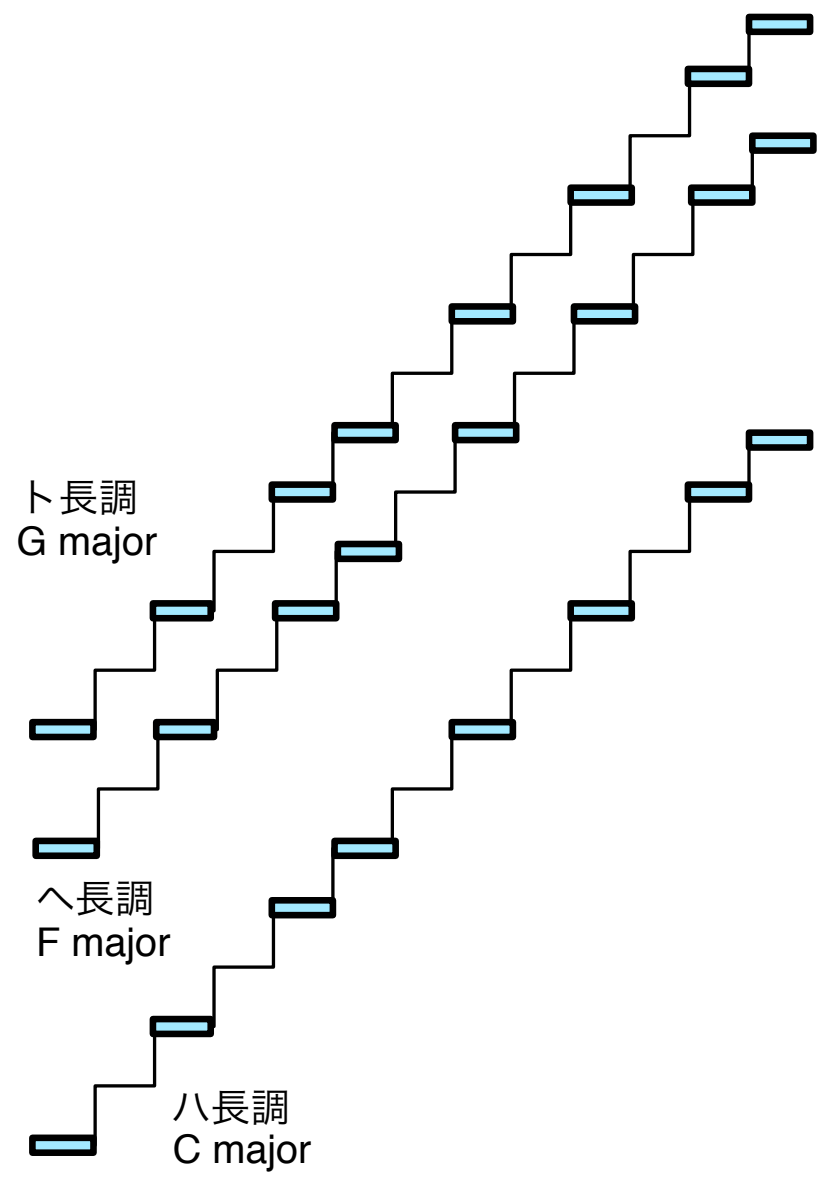
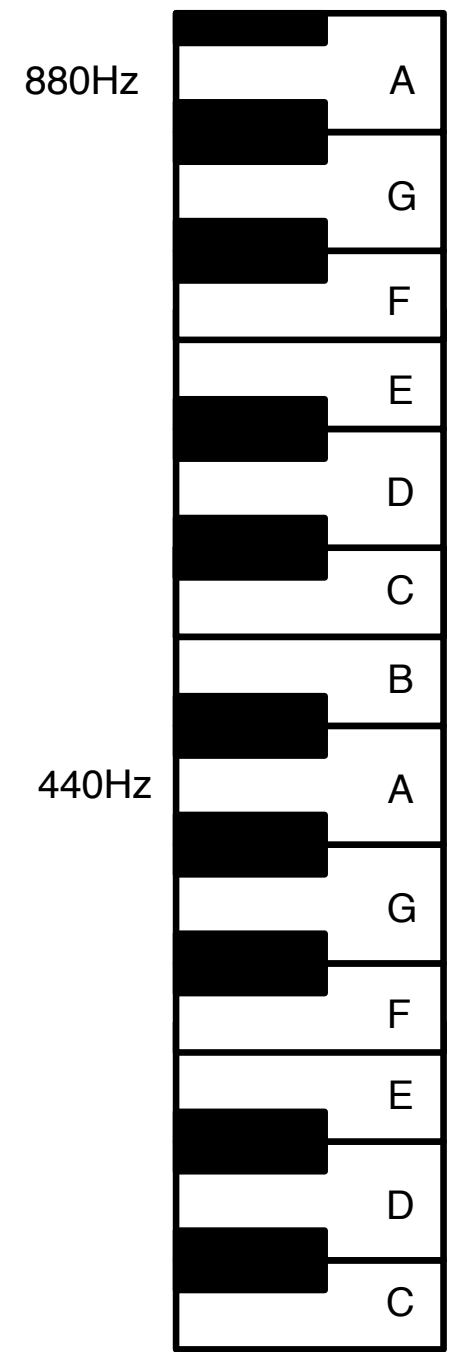


図 2-5

八長調

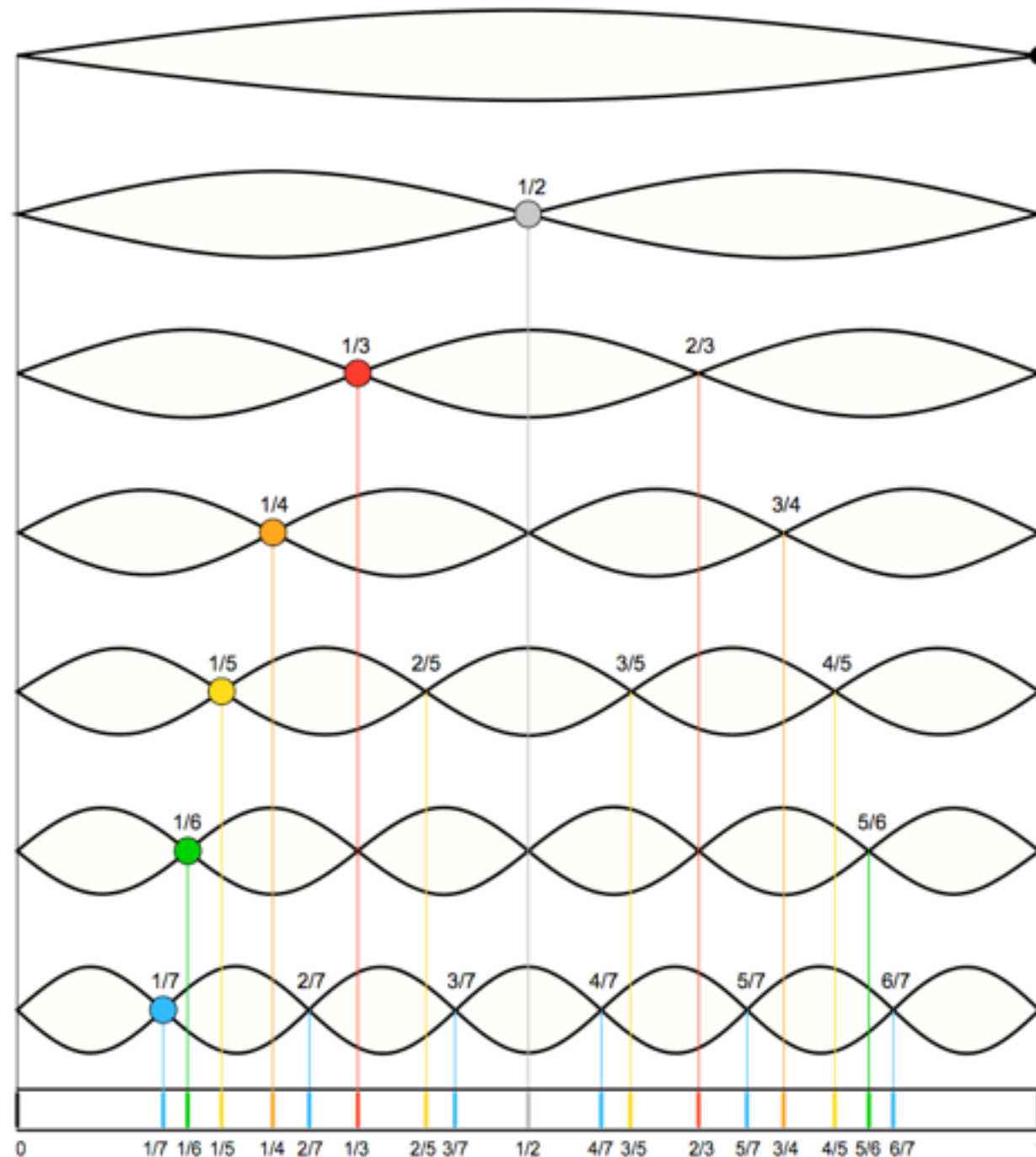
全音 全音 半音 全音 全音 全音 半音

八短調

全音 半音 全音 全音 半音 全音 全音

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。



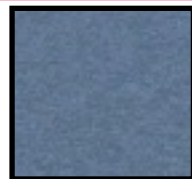
純正律と平均律(3)

table 15.1

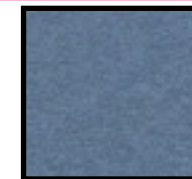
Frequencies and Ratios for Different Tuning Methods

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

平均律

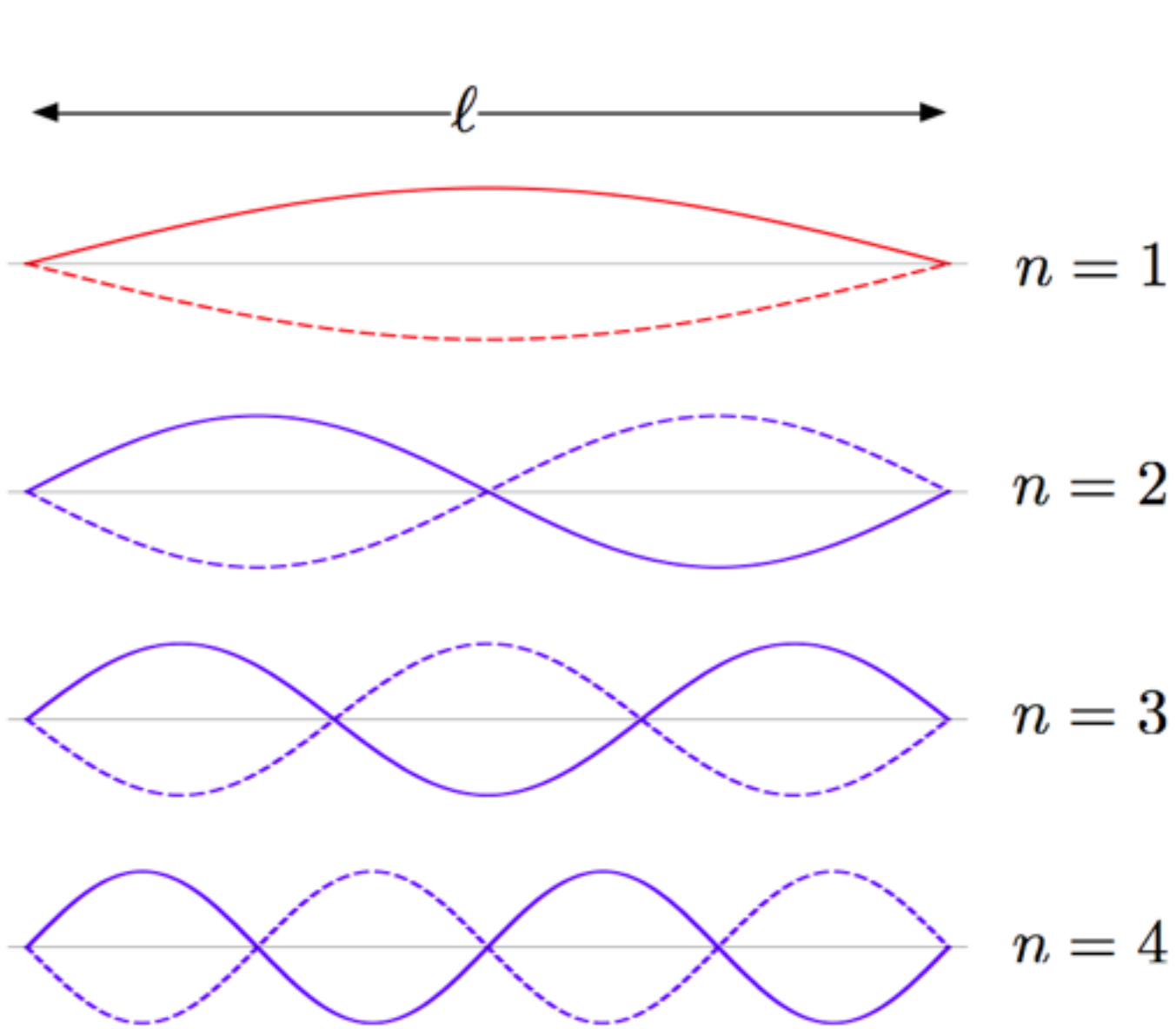


純正律

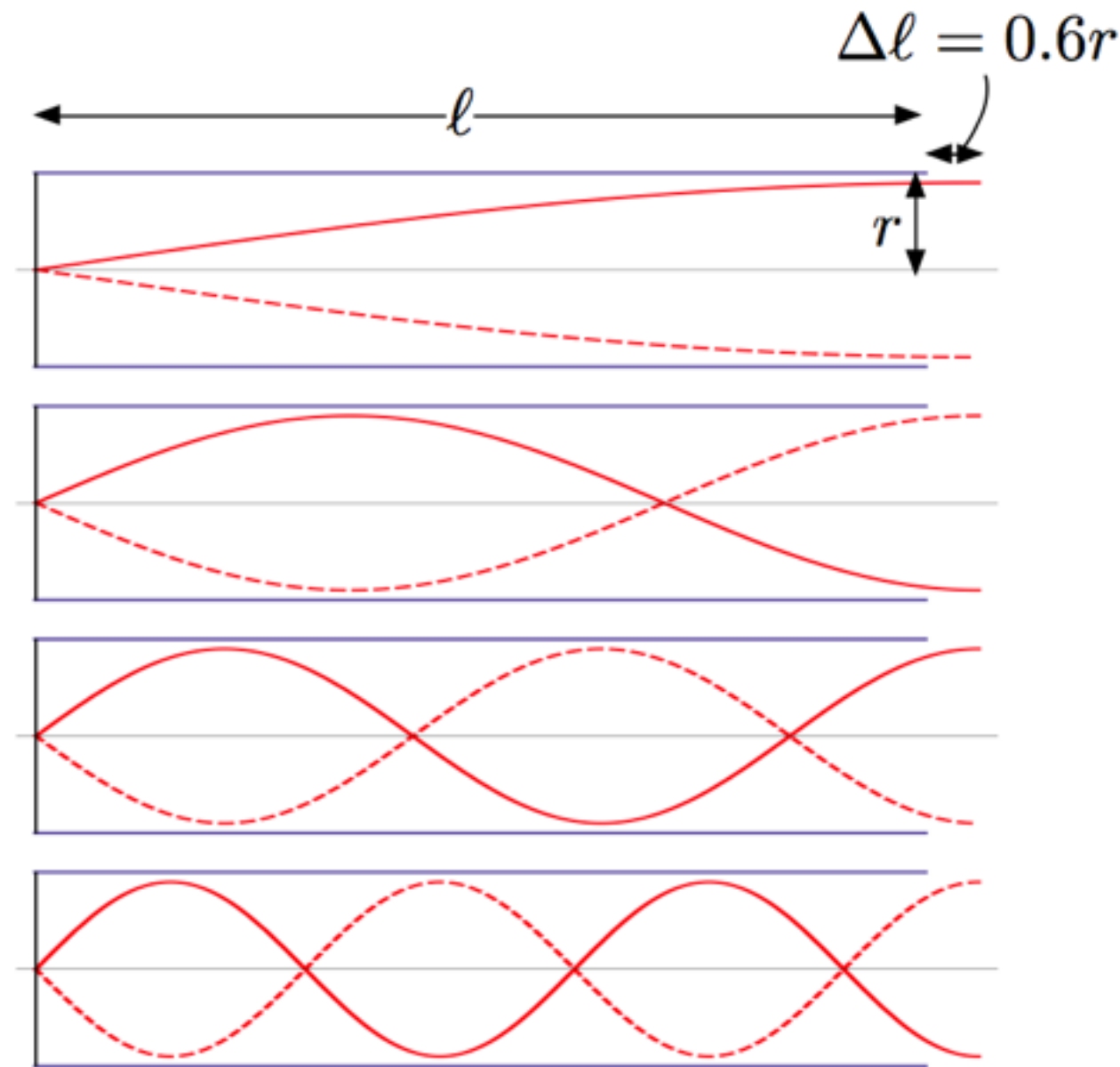


基本振動

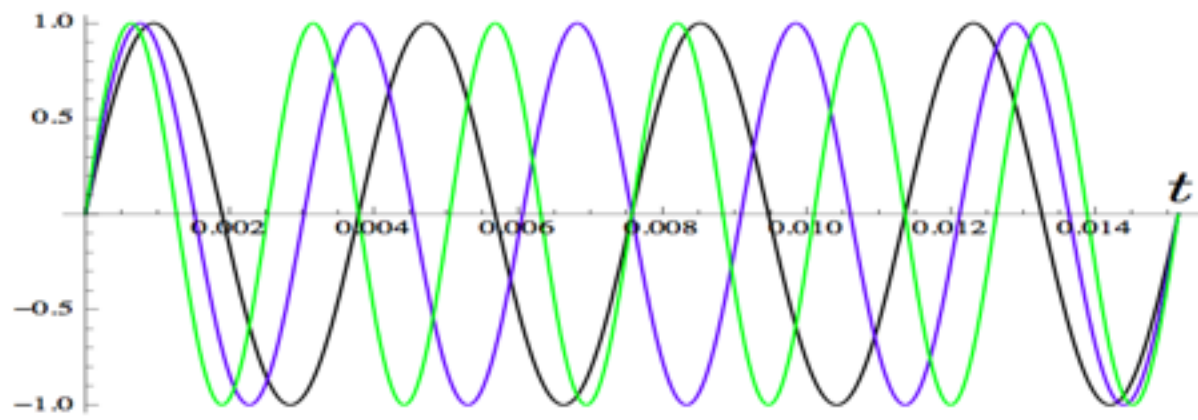
弦の振動



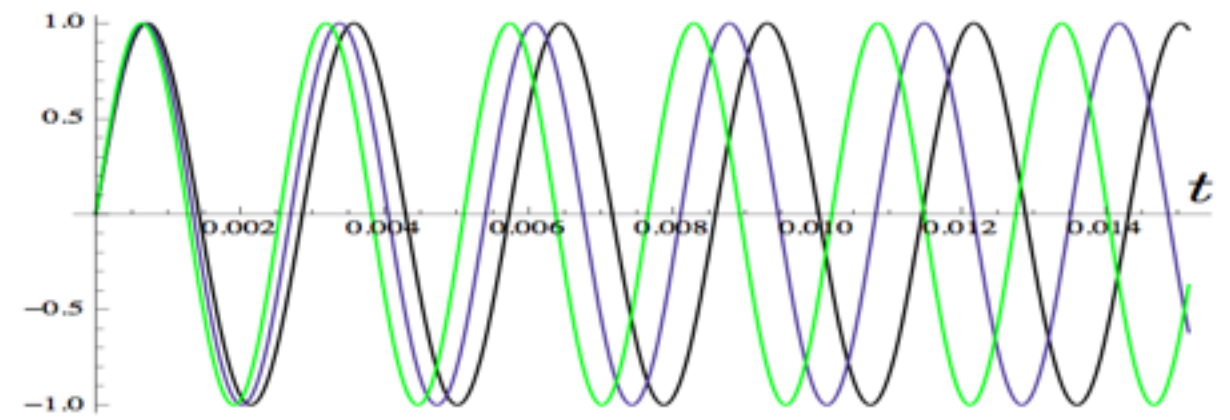
管内の空気の振動



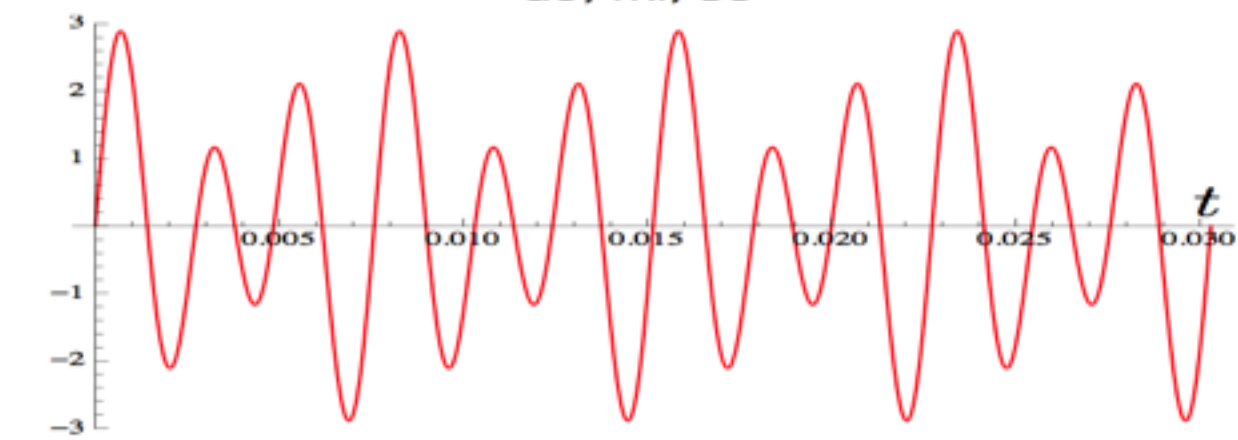
和音



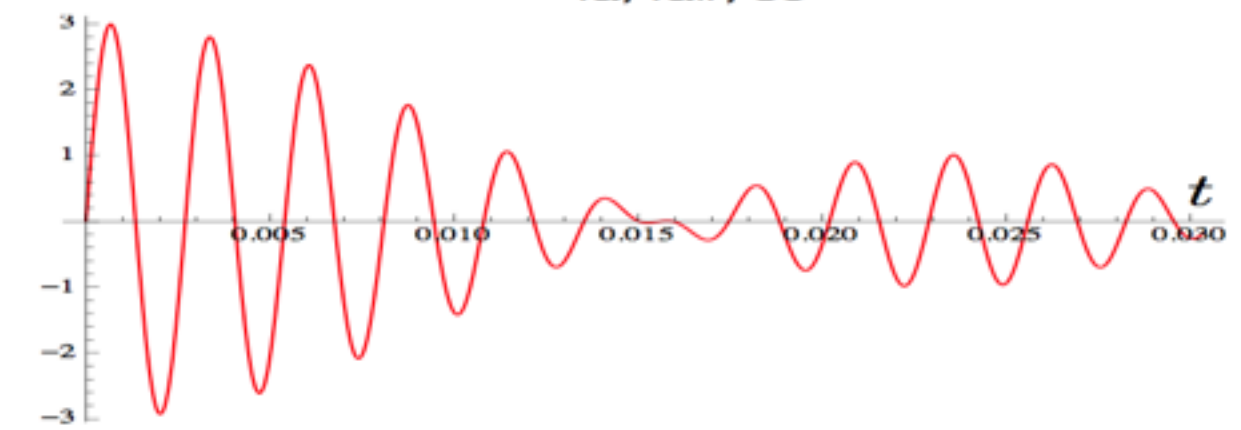
do, mi, so



fa, fa#, so



do+mi+so



fa+fa#+so

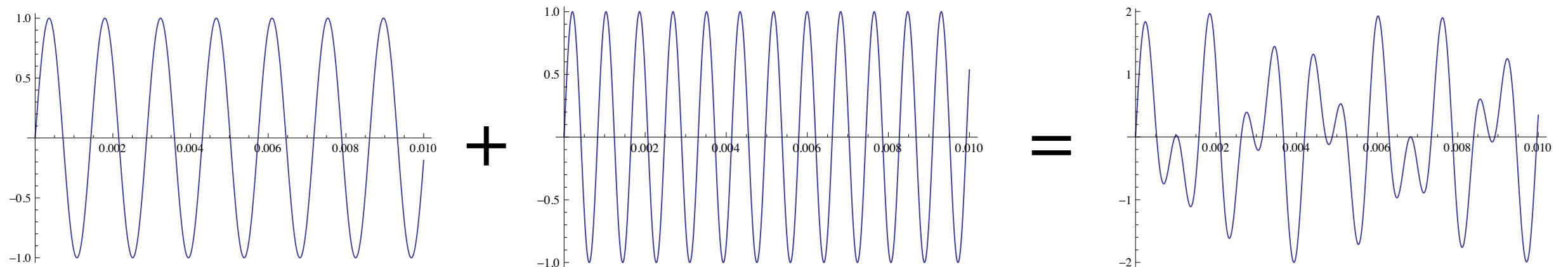
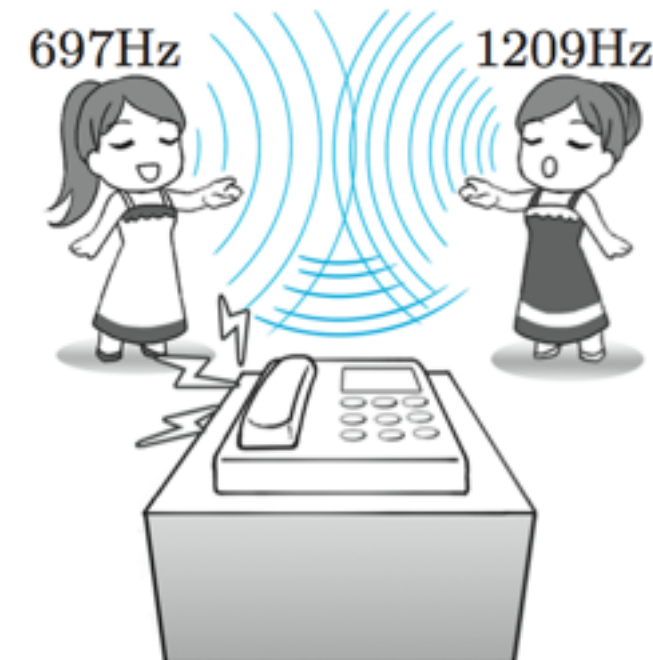
ピポパは、2つの音の合成

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

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。

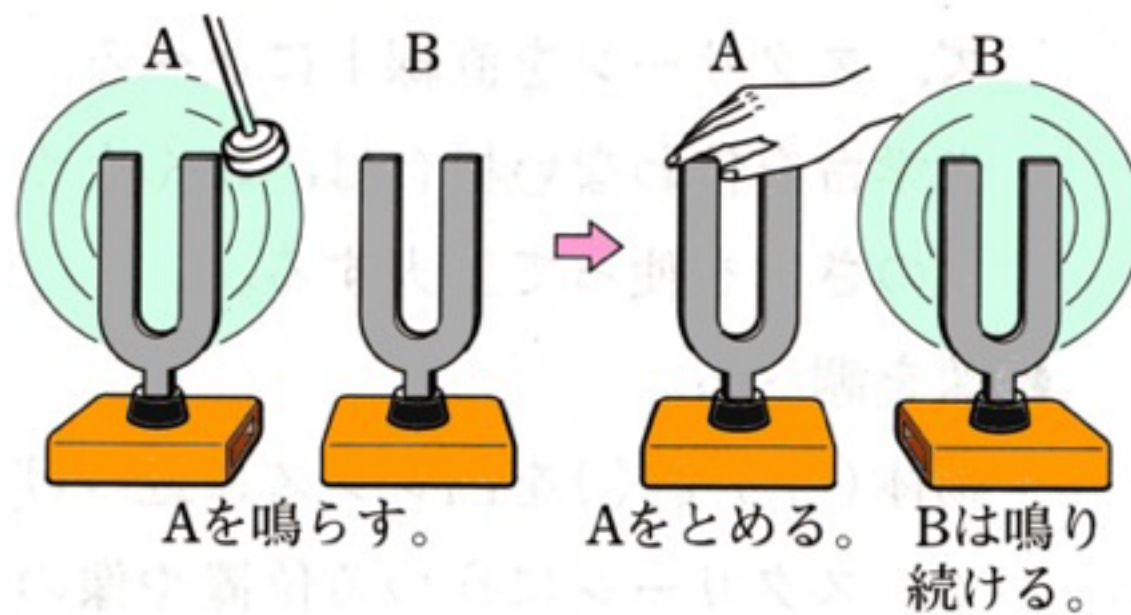


共鳴・共振

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。

▼おんさの実験



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)



メトロノーム同期 (48個)

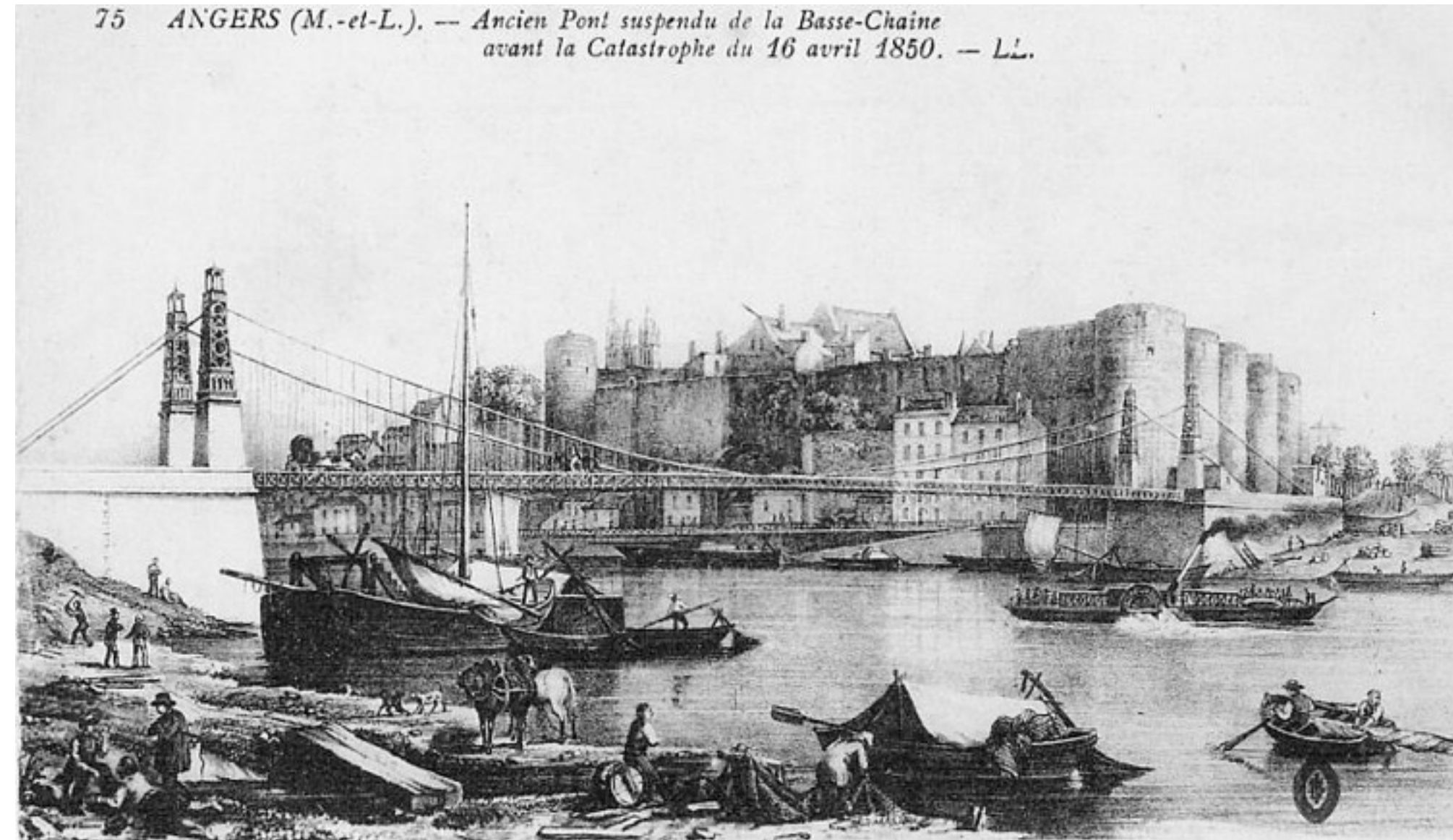
Synchronization of 48 metronomes

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

75 ANGERS (M.-et-L.). — Ancien Pont suspendu de la Basse-Chaine avant la Catastrophe du 16 avril 1850. — LL.



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](#)

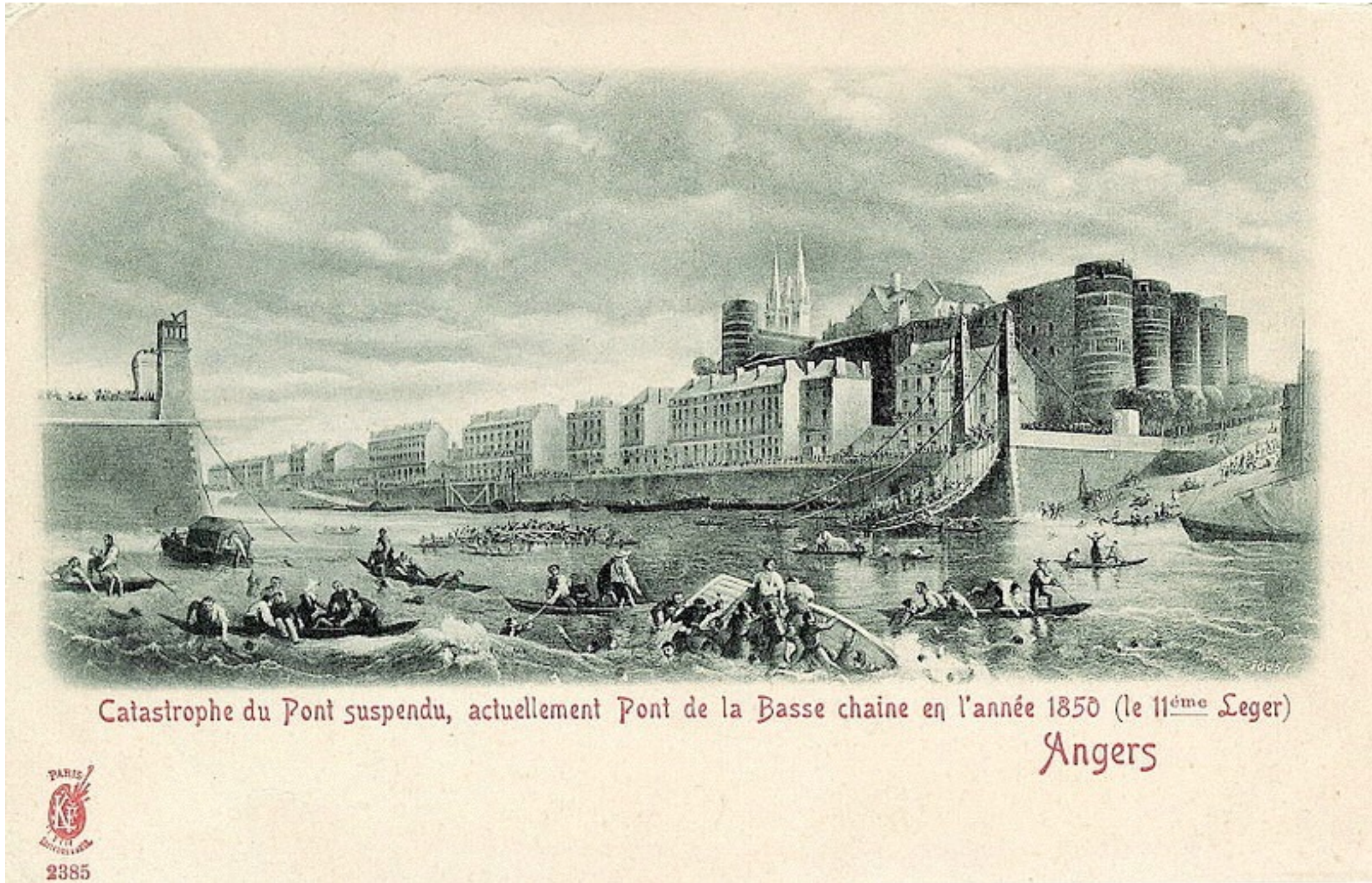
Angers Bridge

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

Start on Click, 4'13"

<http://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs>

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}

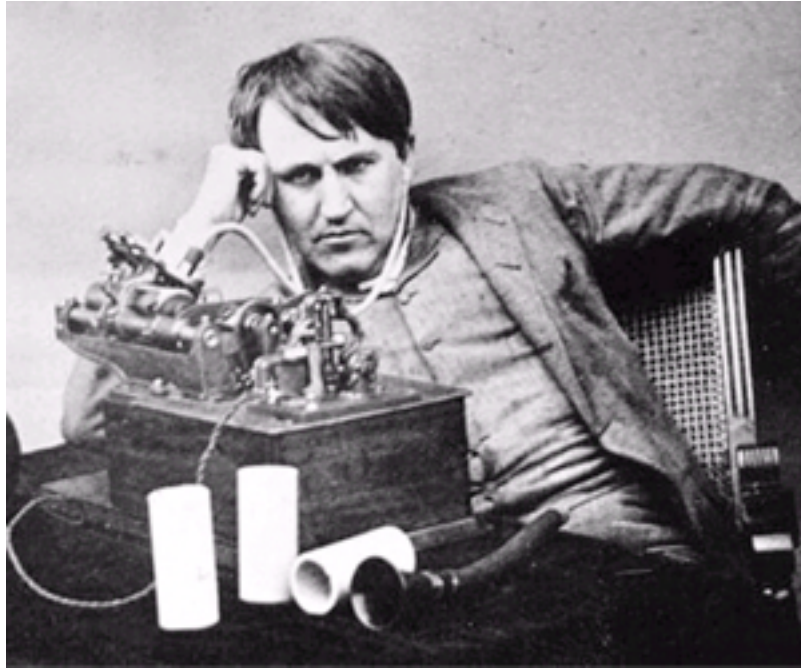


長周期地震動

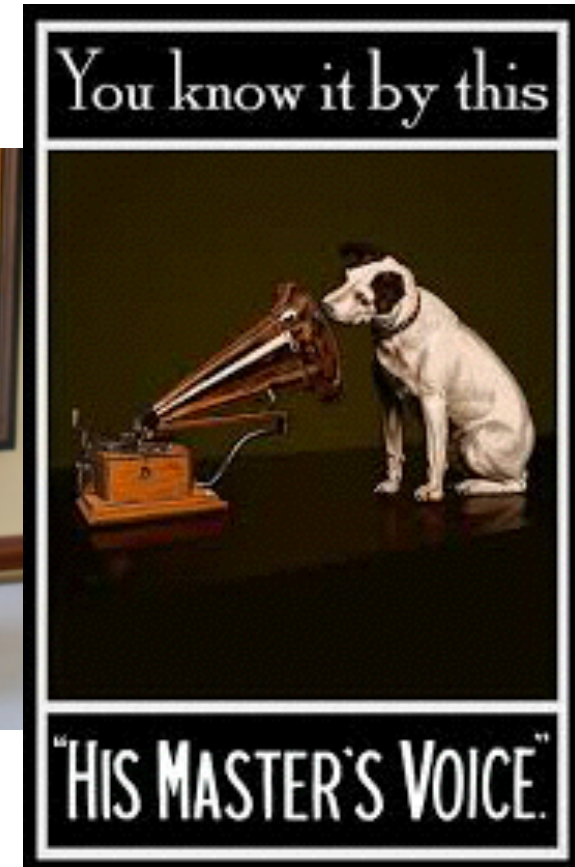
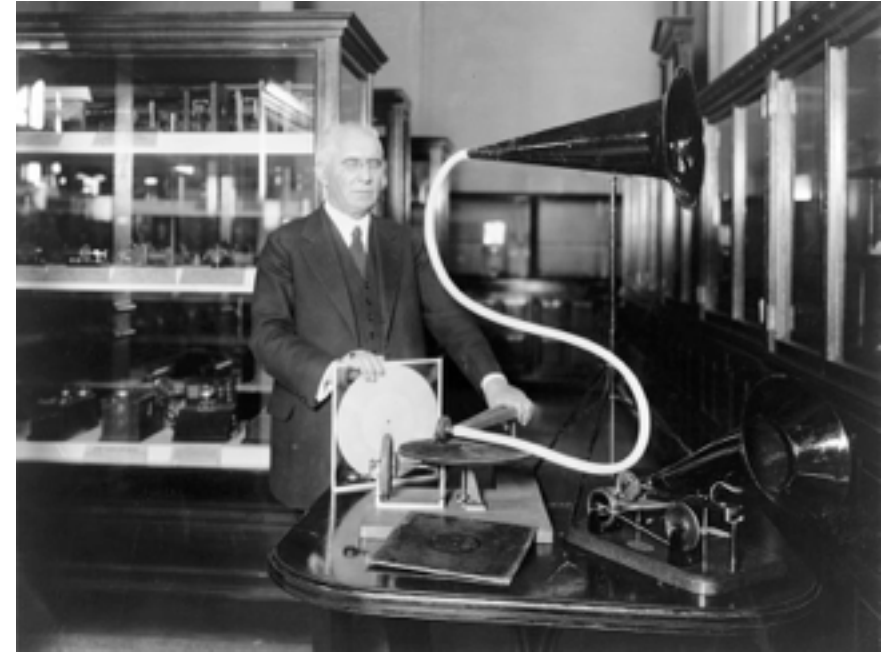


サウンド技術： 蓄音機

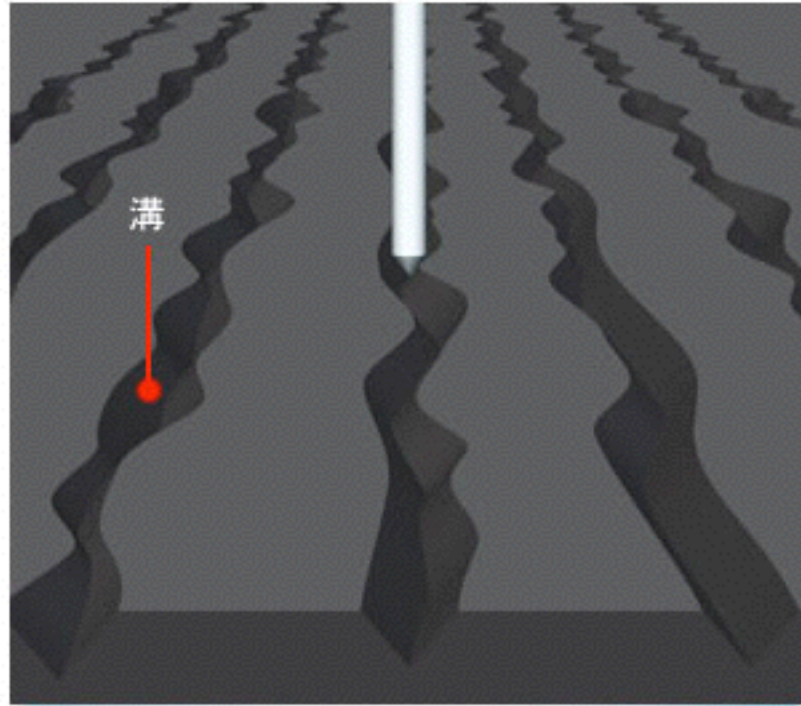
1877年, エジソン
錫箔円筒式蓄音機「フォノグラフ」を完成.



1885年, ベルリナー
円盤形蓄音機「グラモフォン」を完成.

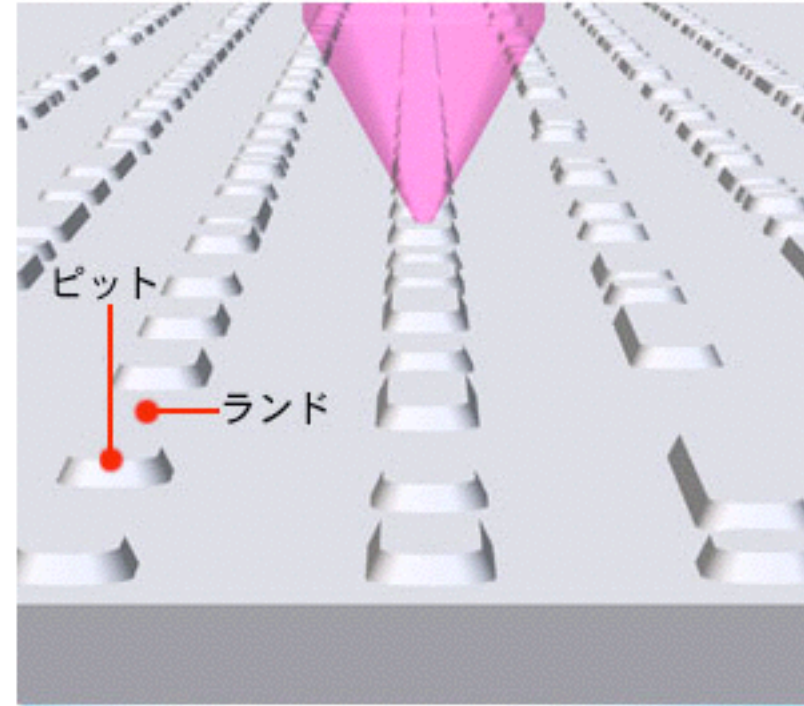


サウンド技術：レコードから CDへ



LPレコード

アナログ

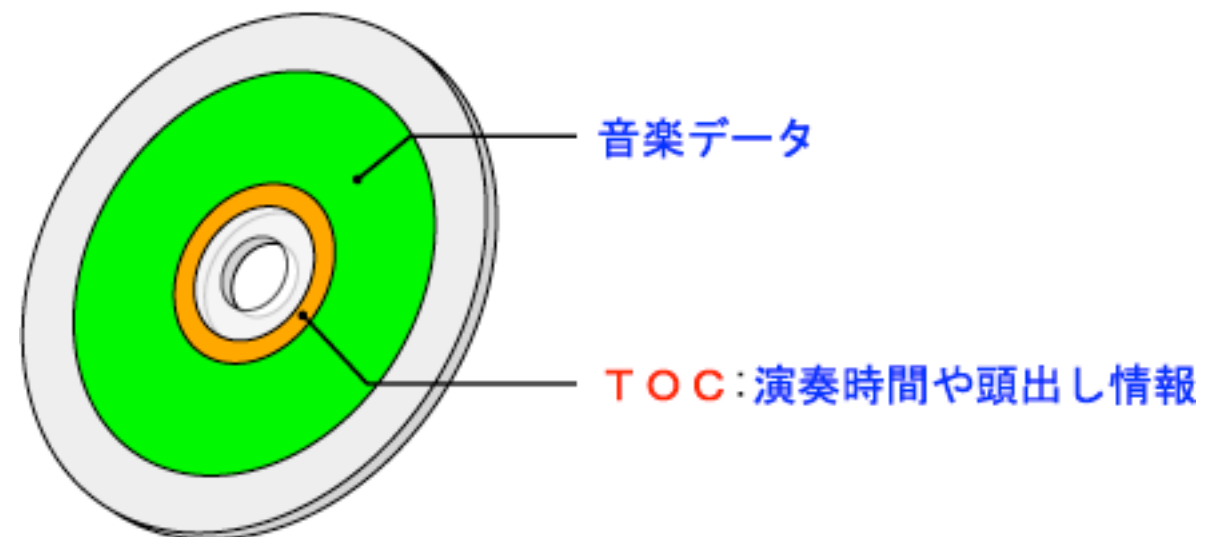
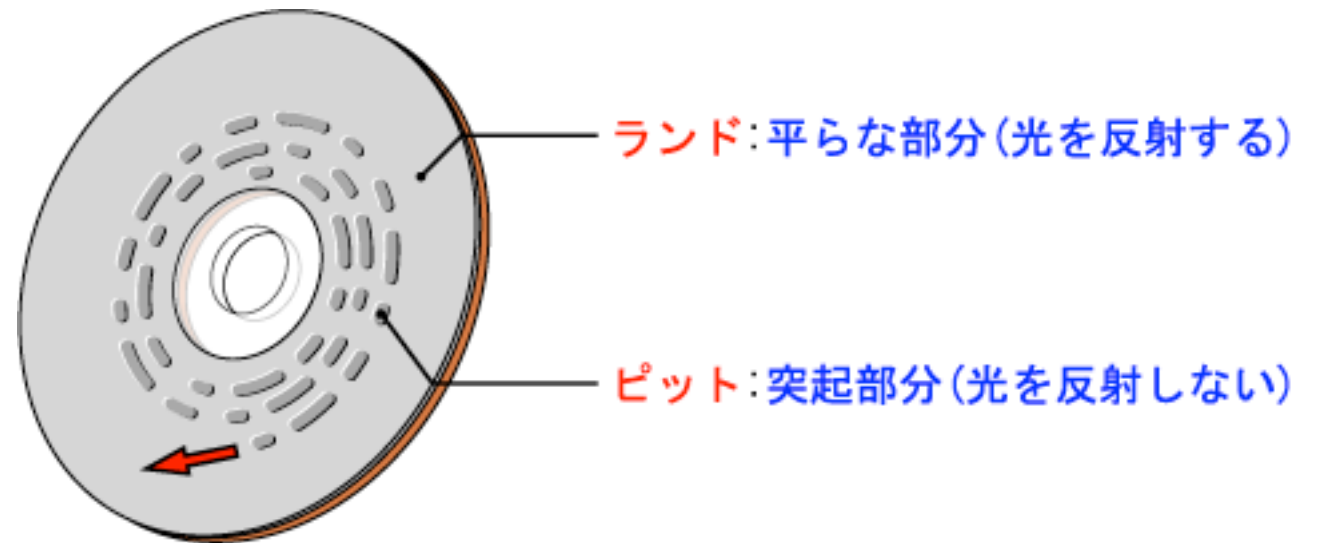
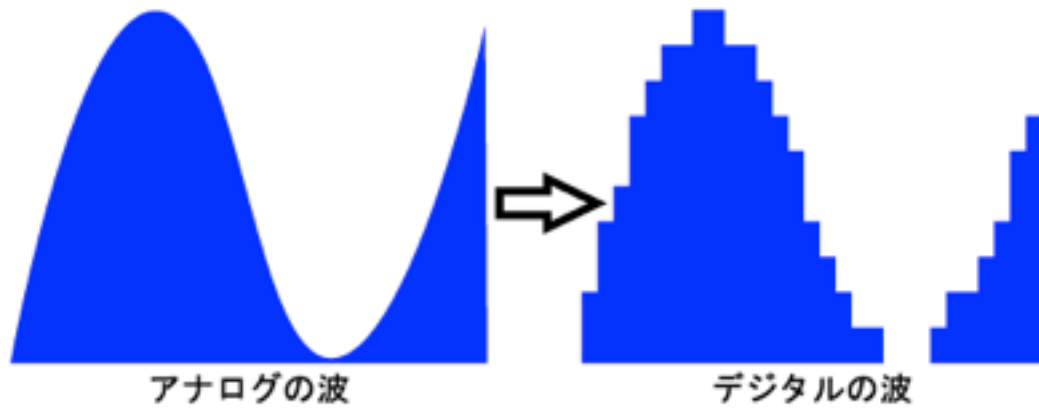
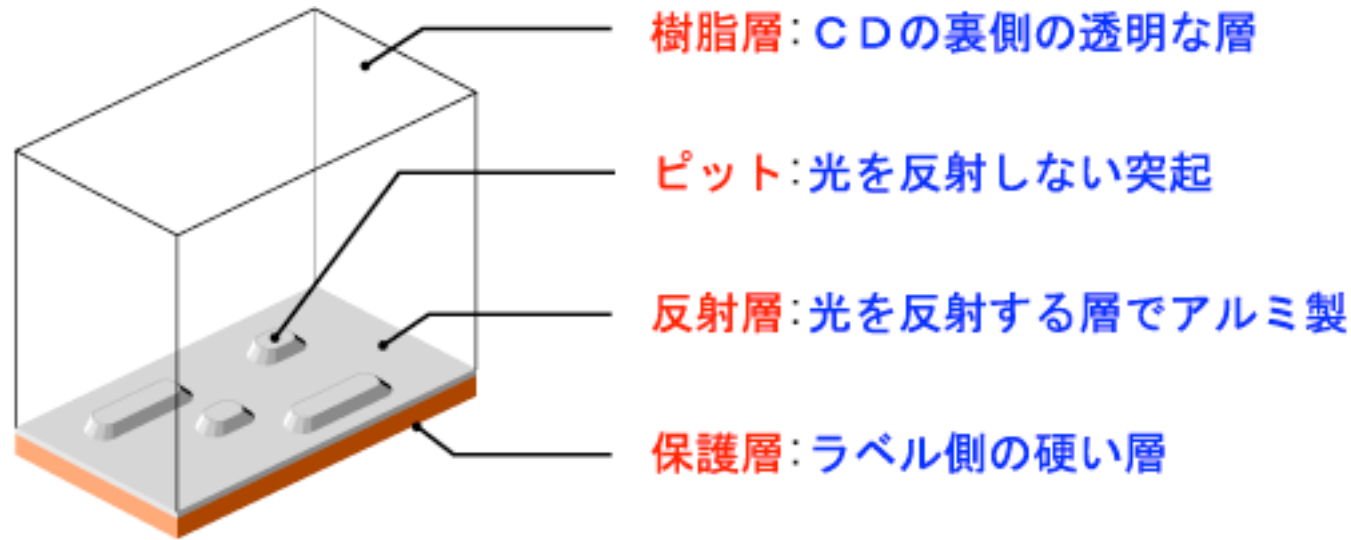


CD(コンパクトディスク)

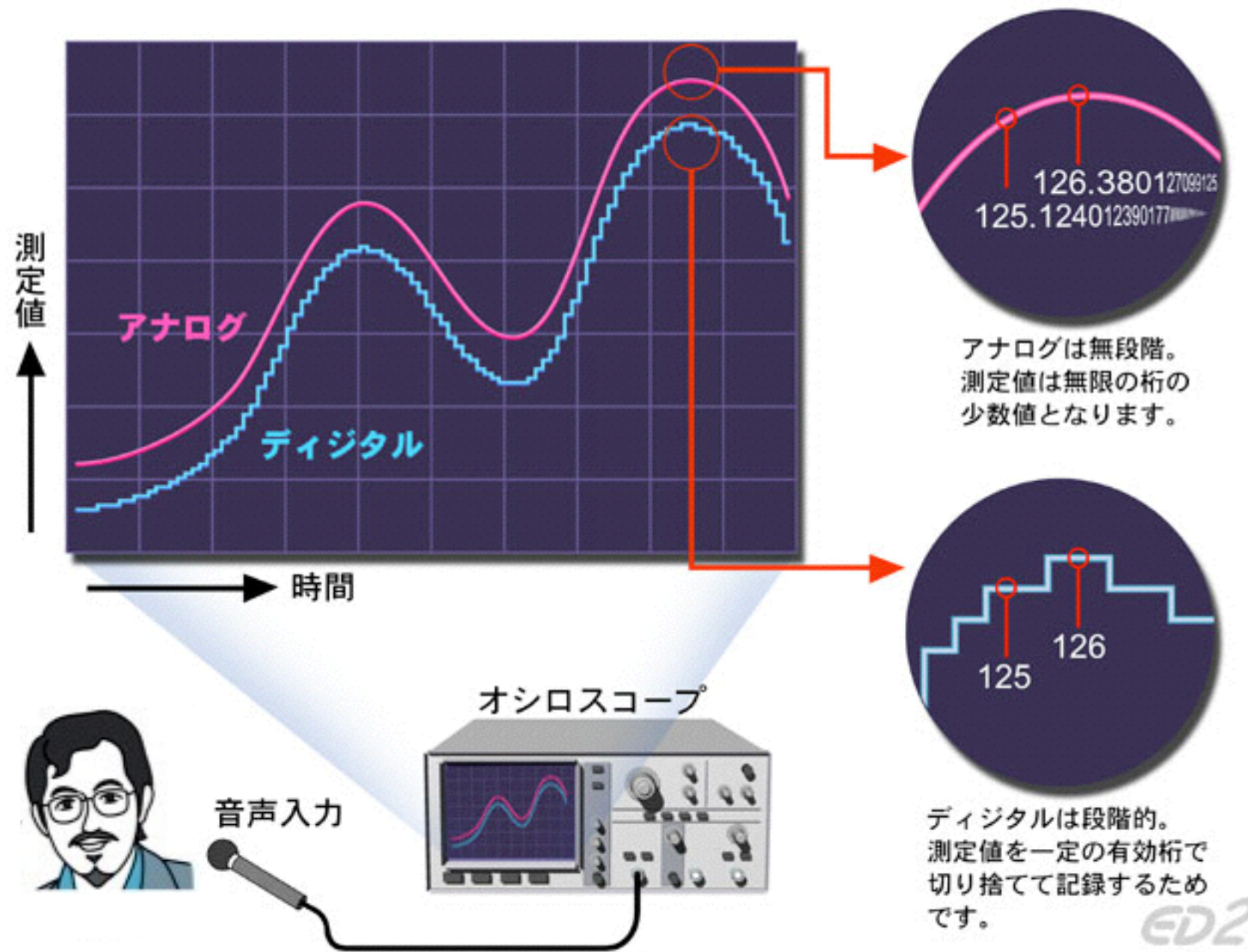
デジタル

ED2

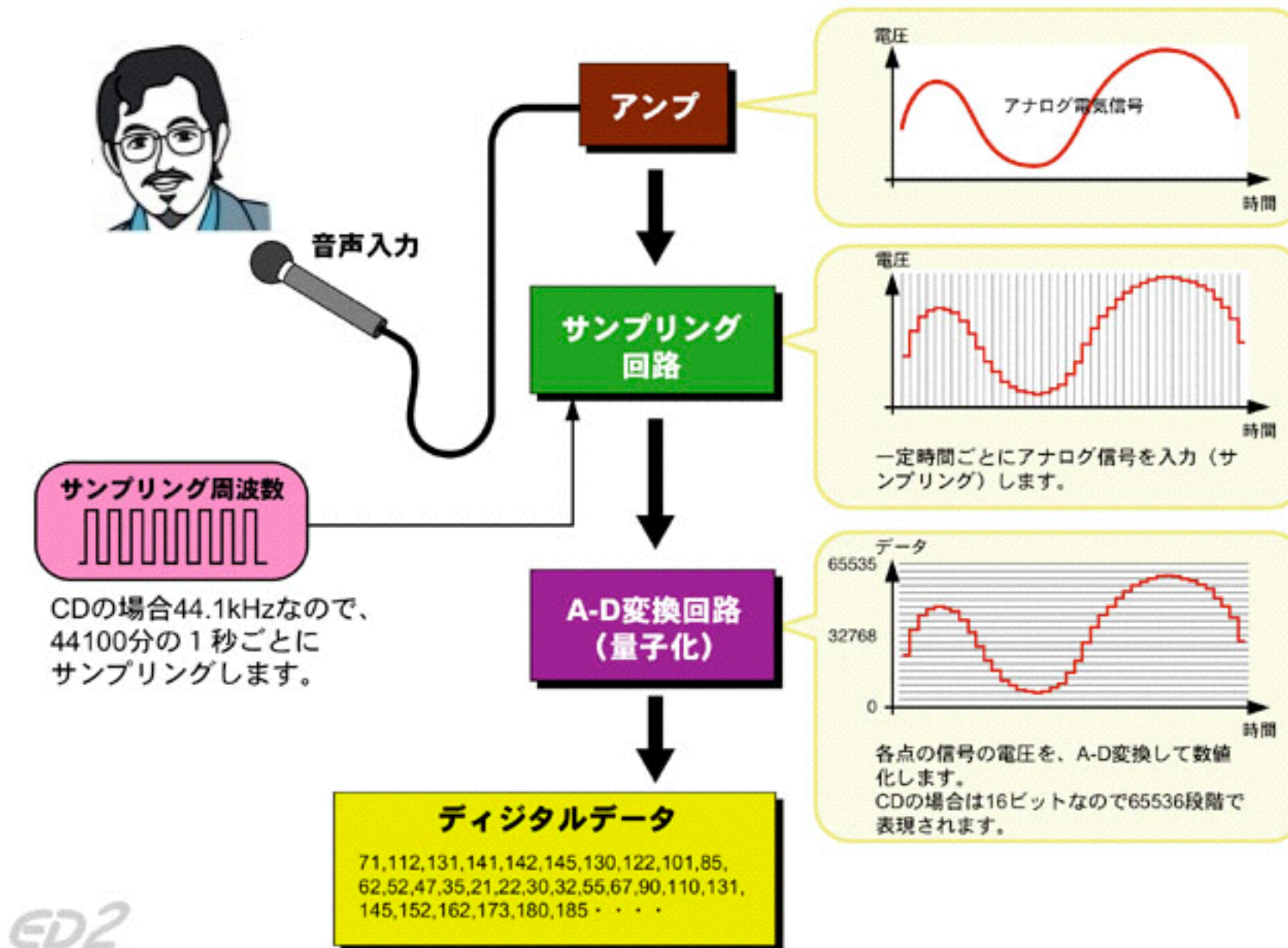
CDへの記録方法



サウンド技術： アナログからデジタルへ

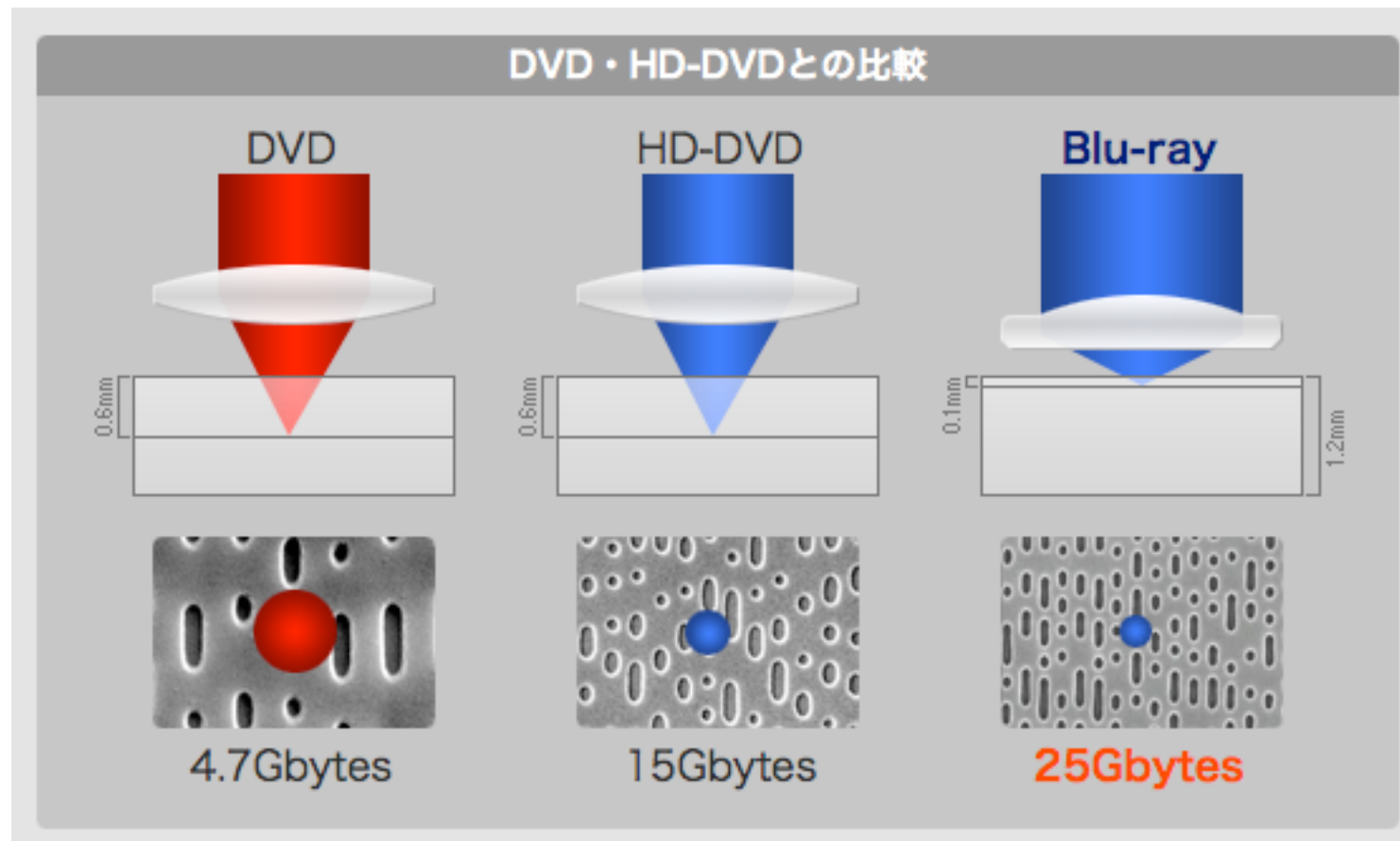


サウンド技術： デジタル信号化



サウンド技術： DVDとBlu-ray

赤色のレーザー光 → 青色レーザー光



短い波長のレーザー光
高密度に記録ができる

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

次回は、8月21日（金）、ダブルです

第 5 回 7 月 3 日 台所の物理——山の上でご飯を炊く方法

第 6 回 8月7日 音の物理——足踏み揃えて吊り橋渡るな

第 7 回 8月21日午前 光の物理——光輪の正体は丸い虹なのか

第 8 回 8月21日午後 電気製品の物理——IC カードに寿命なし