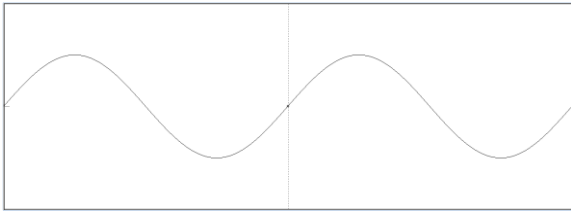
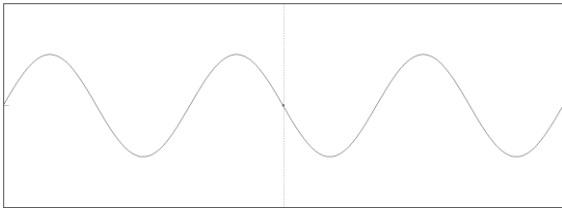


Experimental phonetics

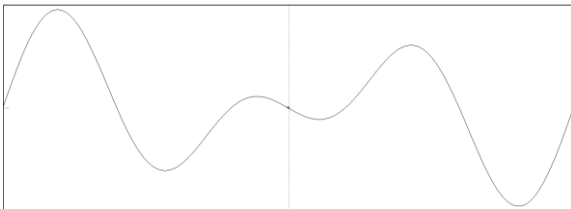
- 声帯振動で「空気の濃いところ」と「薄いところ」を作り、それが縦波(longitudinal wave)として伝わったのが音声
- 空気の濃淡が生じた時間(duration)が長い声は、長く(long)聞こえる。  
duration は物理量なので時計で測定できる。一方 length は聞き手の主観的判断。
- 空気の濃さの差（波の振幅）が大きい(intense)声は、大きく(loud)聞こえる。  
intensity は物理量なので機械で測定できる。一方 loudness は聞き手の主観的判断。  
stress (強勢)は、語彙の loudness の規則的配置。
- 空気の濃淡の差の数（波の振動数）が多い(frequent)声は、高く(high)聞こえる。  
frequency は物理量なので機械で測定する。一方 pitch は聞き手の主観的判断。  
話し手の声帯が1秒に振動する回数は基本周波数(fundamental frequency, F0)と呼ぶ。  
発話（文）単位での pitch の動きは intonation と呼ぶ。
- 聞き手の主観的判断を調べるには、聞き比べて大きい方を選んだり、並べ変えたり、  
2倍や半分の大きさ（高さ、長さ）を答えてもらったりして調べるしかない。アン  
ケートのように「倍の大きさの音」や「半分の高さの音」を調べると、実際は人によ  
ってかなり違い、直線（一次関数）的に対応はしない。
- 「きれいな発音」は調べにくい、「何人がそう思うか」を調べることはできる。  
'Measure what is measurable, make measurable what is not so.' (Galileo)
- praat で New- Sound -Create Sound from formula... の Formula の箇所に  
+ randomGauss(0,0.1)  
部分を削除し、  
 $1/2 * \sin(2*\pi*440*x)$   
と書き込み、OK を押して正弦波を作りなさい。その Object を View & Edit で観察  
し、実際に音を聞きなさい。
- 上記の音をドレミの「ラ」として、「シ」を作るには 440 の箇所をいくつにすれば  
よいか？ Windows 「アクセサリ」の電卓の「表示」を「関数電卓」にし「x<sup>y</sup>」キー  
を使うのが簡単。（課題1）
- 440Hz に 441Hz や 442Hz を加え、「ホワンホワン」とした音の大きさの変化が聞こ  
えることを確認せよ。これは「うなり」(beat)と呼ばれる現象で、ヒトには聞こえ  
るはずのない 1Hz や 2Hz を感じるができる。
- 440Hz の音叉の音とギター の 5 弦解放音を同時に鳴らして「うなり」を消せば、ギ  
ターを調律(tuning)できる（正確には 110Hz の 4 倍音とのうなり）。



1 秒に 2 回繰り返し(2Hz)と

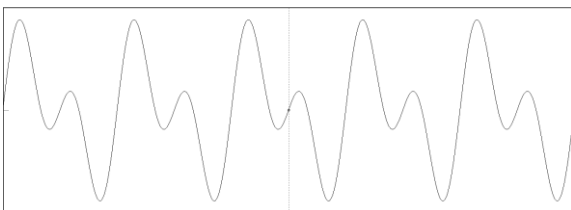


1 秒に 3 回繰り返し(3Hz)を y 軸の値で足し算すると



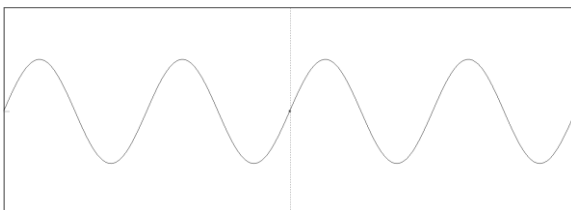
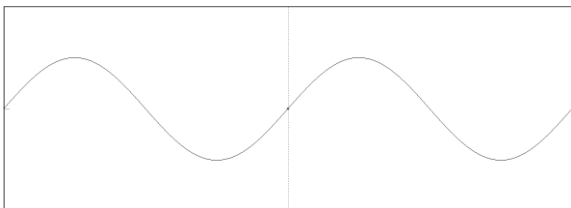
こうなる。1 秒に何回繰り返しているか？

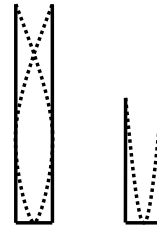
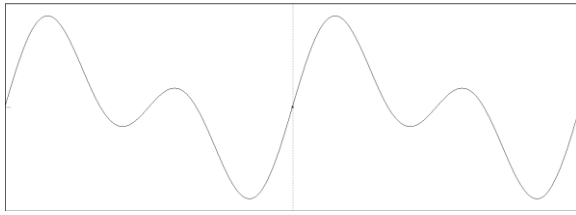
$2\text{Hz} + 3\text{Hz} = 5\text{Hz}$  ではないことを直感的に理解せよ。



5Hz は 1 秒に 5 回の繰り返し (周期性) が観察できないといけない。

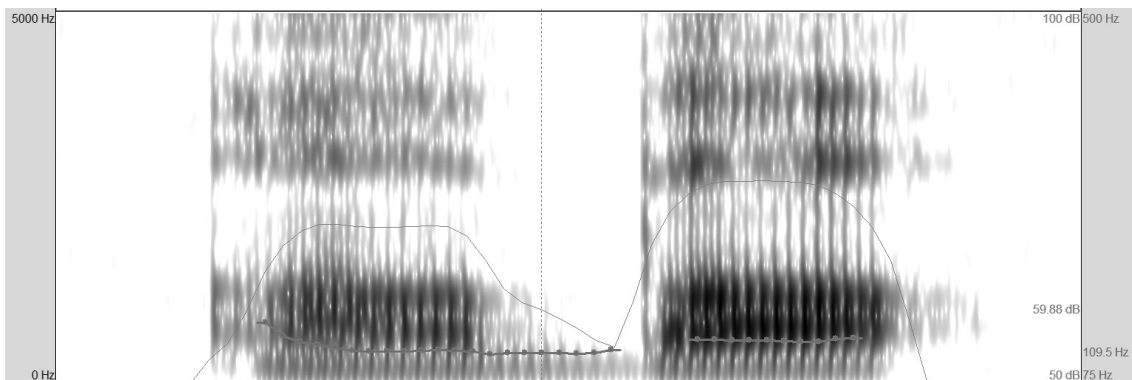
先ほどの 2Hz と、今度は 4Hz を縦に加算してみよう。周期はどうなるか？



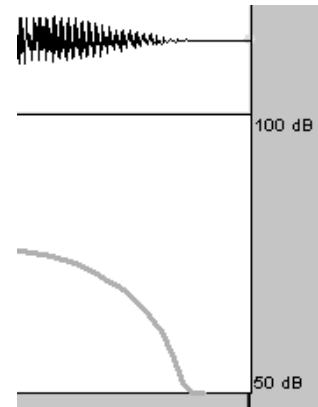


合成された波形は1秒に何回繰り返しているか確認せよ。

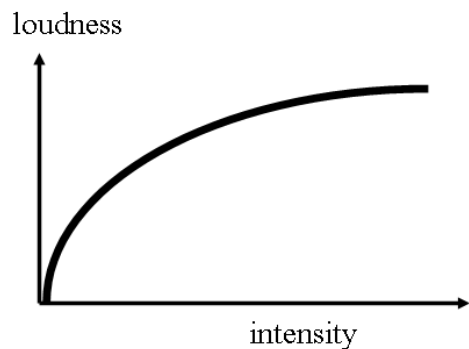
- 声帯(vocal folds)が100回振るえる時、その基本周波数は100Hzである。  
波形の合成の例は200Hzと400Hzでも同じで、元の周波数と「2倍」(1:2)の周波数は波形が重なり、同じ高さに聞こえる。これが「オクターブ上」の音。  
200Hzを root/fundamental (基音), 400Hzを overtone/harmonic (倍音) と呼ぶ。
- 元の周波数と整数比(1:3 や 4:5 など)になっている音はキレイに波形が重なり、「ハモって」「美しく」聞こえる。  
物理で気柱の共鳴実験をした学生は、腹とくびれの部分を思いだそう。
- 基音から倍音までを octave と呼び、12等分すると equi-tempered scale (平均律)。  
整数比, たとえば3倍は何度2倍しても2のべき乗にはならないので、倍音と音階にはどうしても「ずれ」が生じる。これは平均律の限界。
- 声道(vocal tract)の長さや太さは管楽器のように変化し、様々な倍音が同時に出る。  
その波長ごとの強さ分布(spectrum)を濃淡で表すとスペクトログラムができる。



- praat で intensity のグラフを作ると、目盛りは dB (デシベル) になっている。
- intensity (音の強さ) は物理的に測定したエネルギーを指し、loudness (音の大きさ) は intensity の強い音波を受けてヒトが感じる主観的な程度を指す。loudness は前述のように様々な大きさの音を多くの人に聴いてもらって調べるしかない。
- 声の強さ (sound pressure, 音圧) は単位面積あたりの圧力であり、これも物理的に測定できる。
- 大気圧と同じく 1m<sup>2</sup>あたり 1N (100g くらい) で押す力が 1Pa (パスカル)。太鼓や声帯により発生する空気の濃さの大気圧からの「ずれ」と考えれば良い。
- sound pressure が 2, 3, 4 倍になると intensity は 4, 9, 16 倍となる。  
すなわち、音の強さは音圧の 2 乗に比例する  
(実際には空気の密度や音速 (共に温度によって変化する) も影響するが無視する)。



- 硬貨を手のひらに重ねていくと、1 枚, 2 枚, 3 枚の違いが分かる。次に、手のひらに重い本を置き、その上に 1 円玉を重ねてみよ。
- ヒトの感覚は小さい差違には敏感で、大きな刺激には鈍感であるであることが分かる。
- 多くの感覚量は刺激量の対数に比例する。  
(Weber-)Fechner's law と呼ばれる。
- 「音量つまみ」は右のグラフを補うような特性 (抵抗値) に作らないと、いきなり大きな音が出て、細かい調整ができない。縦軸に intensity, 横軸に「音量つまみ」の回転角 (あるいはリモコンの「ボリューム」を押す時間) のグラフを作ると、どのような形になるか。「挿入」-「図形」で描いてみよ (課題 2)。



- intensity (音の強さ) を 10 倍の「強さ」にすると、loudness (音の大きさ) は 2 倍, 100 倍の「強さ」で、3 倍の「大きさ」になったように聞こえる。
- 逆に言うと、loudness (音の大きさ) 1 単位, 2 単位, 3 単位増加したと感ずるためには、intensity (音の強さ) が 10<sup>1</sup>, 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup> 増加すれば良い。
- 上記を対数で簡単に記述したものが B (ベル) であり、 $B = \log_{10} \frac{I}{I_0}$  と書く。  
(I は大きくなった intensity, I<sub>0</sub> は元の intensity)

- sound pressure (音圧) の 2 乗が intensity だったので,  $B = \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2}$  とも書ける。(p

は大きくなった sound pressure,  $p_0$  は元の sound pressure)。

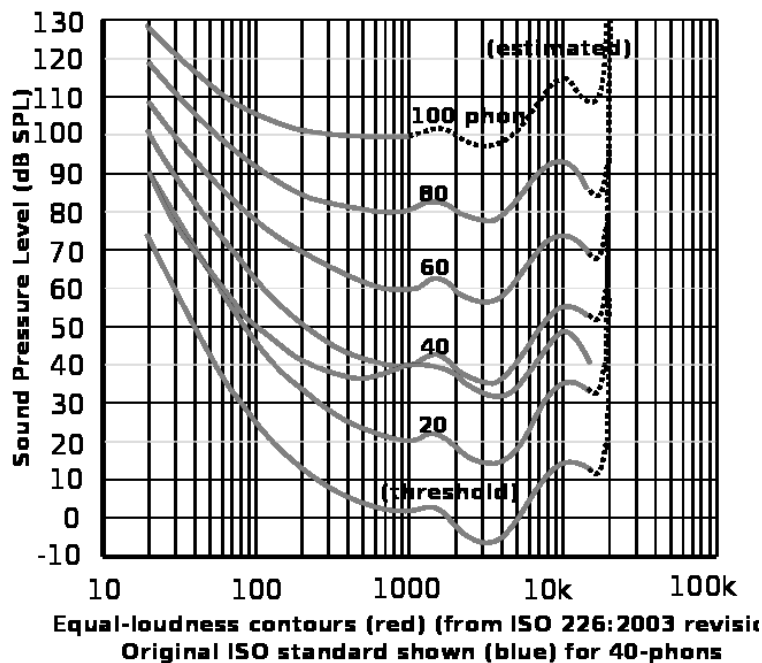
- B は大きすぎて使いにくいので, その 10 分の 1 を単位とすれば dB となる。

$$dB = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \text{ または } dB = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \text{ と書ける。}$$

1B 大きくなった = 10 dB 大きくなった = 「強さ」10 倍 = 「音圧」 $10^{1/2}$  倍,  
 2B 大きくなった = 20 dB 大きくなった = 「強さ」100 倍 = 「音圧」10 倍,  
 となることが分かる。

- $p_0$  のところに「ヒトが聞ける最も小さい音」を設定すれば, 全ての音の大きさがそれを基準に表せる。 $20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$  を基準値  $p_0$  にして計算した音の強さを Sound Pressure Level (音圧レベル) と呼ぶ。定義から音圧レベル 0dB =  $20 \mu\text{Pa}$ 。

- 下のグラフは縦軸が音圧レベル (上に行くほど大きな音), 横軸が周波数 (右に行くほど高い音) を示す(ISO 226:2003)。
- 低い音は音圧レベルを上げないと同じ大きさに聞こえない。だから音楽プレーヤには BassBoost スイッチがある。ちなみに健康診断で聞くピーという音は 1kHz と 4kHz。



- 自民党の選挙カーは 60dB, 自民党は 72dB であった。自民党候補の声は, 民主党候補の何倍か。再度関数電卓で計算してみよ (課題 3) (学籍番号.pdf を提出)