

この実験では、音階とその振動数に純音の圧力波(音波)の周期を対応させて、音の勉強をします。

イントロダクション

波の振動数とは、ある1点を単位時間内に通過する完全な波の個数です。音階にはすべてヘルツ (1 Hz = 1サイクル / 秒)を単位とする特定の振動数があります。おんさを使うと、音階の振動数 (f)と対応する音波の周期 (T) (単位: 秒)の関係を見つけることができます。この関係は、 $f = 1/T$ となります。

ほとんどのおんさには、振動数と音階が明記されています。この実験では、音波の周期から振動数を決定します。分析の過程でこの関係を決定します。

音波の周期と振動数の関係を導き出したあとで、水の入った瓶の、口のところを吹き、形成される音波の周期を調べて瓶を調律します。音波の周期から、対応する音階を決定します。最後に、調律した瓶を使って、簡単な曲を演奏します。

音階	振動数 f (単位: Hz) ¹	音階	振動数 f (単位: Hz) ¹
C	262	G	392
C [#] または D ^b	277	G [#] または A ^b	415
D	294	A	440
D [#] または E ^b	311	A [#] または B ^b	466
E	330	B	494
F	349	C (1オクターブ上)	524
F [#] または G ^b	370		

必要な装置

CBL

接続ケーブルのついた電卓

CBL DINアダプターのついた Vernier音センサー(MCA-U)

おんさとおんさ用ハンマー

(「キラキラ星」などの) 簡単な曲の楽譜

空の16オンス(= 0.47リットル) 瓶 (曲の中の音階の種類分が必要です。)

プログラム

プログラム TUNE を電卓にダウンロードして使用します。

¹ 調律した半音階 (Douglas C. Giancoli著, “Physics” 第3版, Prentice Hall などに記載されています。)

装置の設定手順

図1にしたがって、次の手順で装置を接続します。

- ① CBL と電卓の下部にある入出力口を接続ケーブルでつなぎます。ケーブルの端はきっちり押し込んでください。
- ② 音センサーを CBL の上側にあるチャンネル1 (CH1)に接続します。
- ③ 音センサーを上向きに置きます。
- ④ CBL と電卓の電源を入れます。

これで、CBL が電卓からの命令を受け取ることができます。

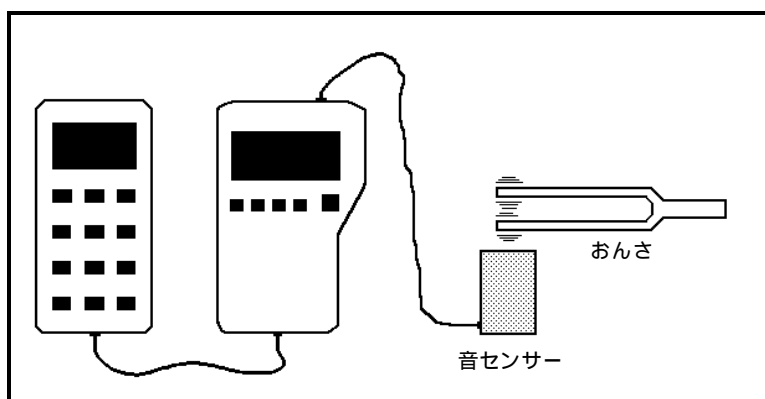


図 1：装置の設定

実験手順 No. 1

- ① CBL の電源が入っていることを確認してから、電卓でプログラム TUNE をスタートします。電卓の **[ENTER]** を押すまで、このプログラムは実行されません。CBL は、音波の圧力の時間変化のデータを収集します。
- ② おんさを1本選んで、その音階と振動数をメモします。振動数と音階はほとんどすべてのおんさに書かれていますが、音波の周期から振動数を求める場合もあります。
- ③ おんさをゴムのハンマーで叩いて、振動しているおんさを音センサーにできるだけ近づけます(おんさが音センサーに直接触れないようにします)。
- ④ おんさを音センサーに十分近づけてから、電卓の **[ENTER]** を押します。圧力は L_5 に、時間(単位：秒)は L_2 に記録されます。
- ⑤ 電卓の **[TRACE]** を押して、隣り合う頂点の x 座標を求めます。音波の周期を調べ、表に記録します。
- ⑥ 振動数の異なる、最低6個のおんさを使って、①～⑤を実行します。

Note : ①～⑥によって、音波の振動数と周期の関係を確定します。 $f=1/T$ の関係を生徒達に教えてもかまいません。教えた場合には、1本のおんさを使って、①～⑤の操作を行い、この関係式が成り立つことを確認します。クラスによっては、この確認だけで済ませることもできます。

実験手順 No. 2

- ① CBL の電源が入っていることを確認してから、電卓でプログラム TUNE をスタートします。
指示が出るまでは、**[ENTER]**を押さないでください。
- ② 1人の生徒に、瓶の口を吹いて音を出させます。
- ③ 生徒が音を出している間に、音センサーを瓶にできるだけ近づけて、**[ENTER]**を押します。
- ④ **[TRACE]**を押して、波の周期を調べます。
- ⑤ 音の振動数を求めます。
- ⑥ 表から、その振動数に対応する音階を見つけます。
- ⑦ 残りの瓶に、異なった量の水を入れ、選んだ曲を演奏するために、必要な音階に合わせて調律します(①～⑥をすべての瓶について、実行します)。
- ⑧ 簡単な曲を演奏します(複雑なメロディーでは大変なので)。



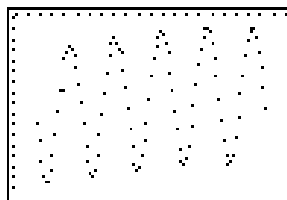
分析と結論

Note : 電卓の統計機能の利用方法については、ガイドブック「CBL System Compatible Calculators」の“Performing Data Analysis (データ分析)”を参照してください。

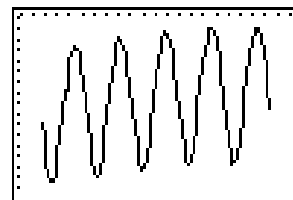
1. 本実験では、次の課題を行います。
 - a. 1本のおんさをを使って、振動数と周期の関係を確認する。
 - b. 用意したすべてのおんさをを使って、データ分析の問題として、振動数と周期の関係を決定する。
 - c. 振動数と周期の関係と、与えられた表を利用して空の瓶を吹いたときの音階を求める。
 - d. 瓶に水を入れて調律し、曲を演奏する。

2. データのグラフ表示では、x 軸は時間 (単位：秒)、y 軸は圧力です。

データは、プログラムで指定されている通りに、散布図を使って表示されます。グラフを折れ線グラフで表示するには、プログラムの Plot1 の行を修正するか、プログラムが終了する前に STAT PLOT で変更します。

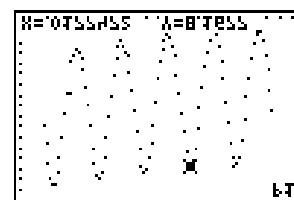
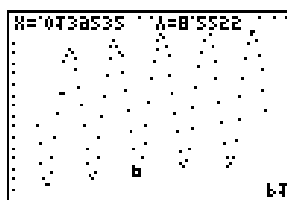


散布図



折れ線グラフ

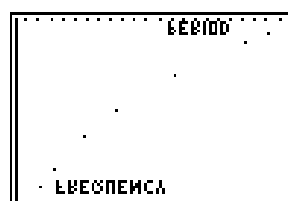
3. 1本のおんさのデータから周期を計算するには、**TRACE**を使ってグラフ上の隣り合った2つの頂点の x 座標を求めます。



図のデータの場合の周期は、
0.0177472秒 0.0139232秒より
0.003824秒となります。

4. 振動数と周期の関係を決定するために、複数のおんさを使用します。それらのおんさの振動数と周期の関係を表にします。つぎに、その表をもとに散布図を描きます。7本のおんさを使ったデータ例を、次に示します。対応する音階と振動数は、それぞれのおんさに書かれています。周期は、最初の実験の①～⑥で決定されています。

振動数 f (単位: Hz) ¹	周期 T (単位: 秒)
262	0.0038168
277	0.0036101
330	0.0030303
392	0.0025510
440	0.0022727
494	0.0020243
524	0.0019084



関係式 $f = 1/T$ は、電卓の STAT CALC の PwrReg 機能を使って導き出すことができます。

5. この関係式がわかれば、おんさの振動数と対応する音階が計算できます。

この節の 3. のデータ

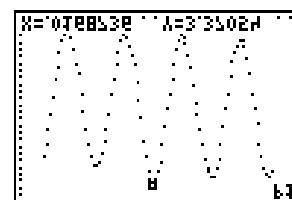
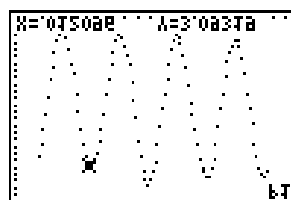
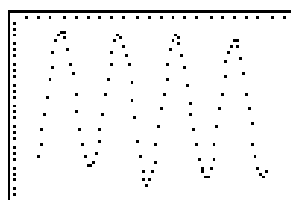
振動数 = $1/0.003824$ 秒

振動数 = 261.5 Hz

表から、このおんさの音階は C であることがわかります。

6. 同じようにして、瓶を調律することができます。瓶に水を入れて、プログラム TUNE と上記の方法を使って、周期と振動数を求めます。音が低すぎる場合には、瓶に水を追加して、再度計算します。必要な音がすべて得られるまで、この作業を行います。

次のグラフは、空の16オンス (= 0.47リットル)のガラス瓶を使って、TUNE で収集したデータです。



周期 = 0.0168736秒 0.012096秒 = 0.0047776秒
振動数 = $1/0.0047776$ 秒 = 209 Hz