

## ばね電話の残響の仕組みについて

熊木県立第二高等学校 物理部 1年 鳥井田 歩生・宮崎 巴

## 1 研究の目的

体験入部の時にばね電話で遊んだ際、なぜエコーがかかって聞こえるのか疑問に思い、テーマとして取り上げ研究した。

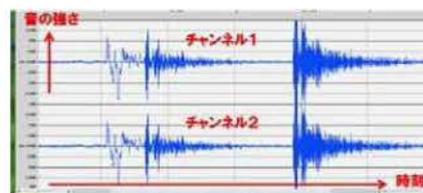
## 2 研究の方法

ばね電話に生じるエコーは、音がばねを伝わりばね電話間を往復することで発生すると予想し、反響が残響となって聞こえるためだと仮説を立てた。実験では、ばねを伝わり往復する反響音を検出し、残響となっているかを調べた。測定にはマイクとパソコンソフトを利用し、反響音の波形や振動数を調べた。

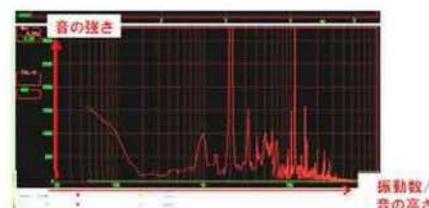
(1) 実験1「物体を伝わる音の可視化」：パソコンソフトを用いて音波の波形と振動数を調べた。

ア SoundEngine 波形表示：時間ごとの音の強さを表示する。2音を同時にグラフ化。

イ WaveSpectra 振動数検出：高速フーリエ変換で振動数毎の音の強さをグラフ化。



ア SoundEngine波形表示



イ WaveSpectra振動数検出

(2) 実験2「空気中の音速の測定」：マイク1とマイク2を2.00m離して置きマイク1の近くで音を出す。2本のマイクでひろった音をミキサーのR入力とL入力に入れ、取り込んだ信号をステレオにしパソコンの外部入力端子に出力。SoundEngineで波形にし、L入力とR入力の時間差から音速を求める。音源には「青少年の科学の祭典」等で演示される爆鳴器を使用した。

時間差の測定には以下A、B、C、Dの方法を試した。

A：画面上の時間差の長さとソフトの時間軸の長さの比を利用し測定

B：ソフトSoundEngineの時間表示による測定

C：発振器(5000Hz)の音を同時に測定し、この波形との比較で測定

D：ソフトSoundEngineのサンプリング周波数(192,000Hz)を利用した測定

Bの測定は精度不足、AとCの測定は手間がかかり、Dの方法が精度、作業性ともに有効であった。Dの測定による結果は下の通りである。結果は誤差1%未満で最も正確だったので、この後の測定はDの方法で進めた。



使用した爆鳴器

$$\begin{aligned} (\text{サンプル数}) &= (\text{間サンプル}) \\ &= (\text{開始サンプル}) - (\text{終了サンプル}) \\ (\text{時間}) &= (\text{サンプル数}) \times 1/192000 \\ (\text{速さ}) &= 2.00 / (\text{時間}) \leftarrow \text{①} \\ (\text{教科書の音速}) &= 331.5 + 0.6t \leftarrow \text{②} \quad ※ t \text{は}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

	サンプル	秒(s)	速さ①	室温	音速②
1	1120	0.005833	342.87	27.8	348.18
2	1108	0.00577	346.62	27.2	347.82
3	1110	0.005781	345.96	27.3	347.88
4	1108	0.00577	346.62	27.4	347.94
5	1107	0.005765	346.92	27.0	347.7
(A)	1111個	0.005784	345.8(m/s)	27.3(°C)	347.9(m/s)

(3) 実験3「ばねを伝わる音の速さの測定」：ばね電話のばね部分の長さを1.6mにしマイク1とマイク2のカップの中、底の部分に置く。実験2と同様に一つのカップの近くで音を出し、反響音(反射音)の検出、測定を試みた。

ア 実験2を参考にし、音源には爆鳴器・火薬ピストル・途切れる音・手やハンマー、紙筒でばねを直接弾くなど、音の立ち上がりが速い音源を利用したが、この方法では反

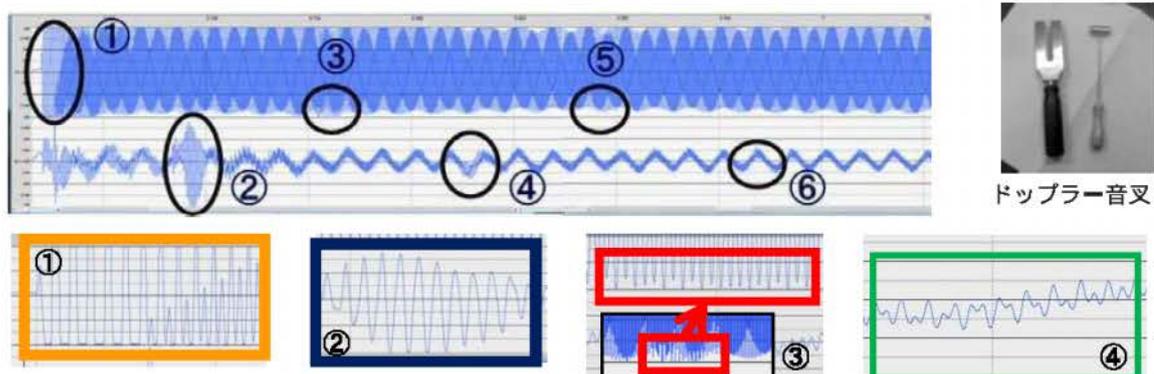


ばね電話

響音を検出できなかった。これらの音源の波形は元々歪みが大きく急激に減衰していくのに対し、反響音の信号は非常に小さいため、重なり合った波形を見ても反響音の信号を選別できなかった。

イ アの結果を参考にし、一定振動数の音を継続して鳴らせば反響音と重ね合わさることで波形に周期的な歪みが生じるのではないかと考えた。そこで、発振器からの音や音叉を音源として測定したが、周期的な歪みは検出できなかった。

ウ イの実験を進める中で、反響の信号をはっきりと検出できる音源を見つけ出した。それがドップラー音叉（規格2000Hz）である。ドップラー音叉での測定波形は以下のとおりである。図の上側がドップラー音叉の近くのカップ、下が反対側のカップでの音の波形である。



(ア) ①を見ると、2000Hz規格のドップラー音叉では最初に1000Hzの強い音が立ち上がっている！その後、徐々に2000Hzの振動が立ち上がって長く続く。Wave Spectraでドップラー音叉の音の振動数を調べると、叩かれた瞬間に1000Hzとその倍音が発生し、1000Hzが最も強い音であった。2000Hz以外の高さの音は速やかに減衰し、2000Hzの音だけが長く残る。

(イ) ②はマイク 2 に最初に届いた①の信号である。1000Hzのとても強い音が検出されている。

(ウ) ③はマイク 1 で検出した①の反響音である。2000Hzと1000Hzが重なり、音波がひとつおきに強め合っているのがわかる。④でも1000Hzが強調された歪みがよくわかる。⑤、⑥では③、④の現象が繰り返されている。

エ ①から⑥までの歪みが交互に周期的に観測された。これは、1000Hzの強い音がばねの端で反射しばねの間を往復することで生じたと考えられる。各反射までの時間を実験 2 の D の方法で測定した（右表）。(A)より1往復する時間は0.137秒(=0.0685秒×2)となった。

	サンプル数	2往復時間	片道の時間
1	51520	0.2683	0.0670
2	51808	0.2698	0.0674
3	52640	0.2741	0.0685
4	52328	0.2725	0.0681
5	53056	0.2763	0.0690
6	53568	0.2790	0.0697
7	52640	0.2710	0.0685
(A)	52508.6	0.2734[秒]	0.0685[秒]

(4) 実験 4：「残響の周期」：実際の残響を耳で聞き取り、

その周期とばねを伝わる音の一往復の時間を比較した。残響の音が最も聞き取りやすい爆鳴器の測定データのマイク 1 の音のみを再生し、発振器により発生させたうなりの音と交互に聞き比べたところ、うなりが毎秒 7 回から 8 回のときが残響の強弱の変化と最も近かった。このうなりの周期は $1/7.5=0.133$ 秒となり、ばねを伝わる音が 1 往復するのに要する時間と一致し、仮説が確認できた。

### 3 研究の結果

(1) ドップラー音叉を音源にすることで、ばねを伝わる反響の信号を検出できた。

(2) 音がばねを 1 往復するのに要する時間を 0.137 秒と求めることができた。このことから、ばねを伝わる音の速さを $3.2[m]/0.137[s]=23.358\dots\approx 23.4[m/s]$ と求めることができた。

### 4 参考文献

教科書「物理 I」（啓林館）・平成 13 年度「会誌」（熊本県高等学校教育研究会理化部会）