

糸電話でできた楽器ストリングラフィの波の性質

相原 悠汰 奥田 陽介 新居 千鈴

抄録

ストリングラフィを伝わる波の特性について研究した。実験を通して、線密度と速さに負の相関関係があることが分かった。また、糸が左右に振動していることから縦波が生じているのではないかと考察した。今後は算出した波の速さと理論値を比較したい。

The characteristics of waves traveling through stringraphy were studied. Through experiments, we found that there is a negative correlation between line density and velocity. We also considered that longitudinal waves may be generated by the fact that the string oscillates from side to side. In the future, we would like to compare the calculated wave speeds with theoretical values.

1. 序論

ストリングラフィとは、糸電話の形をした楽器である。糸を指でこすると、両端の紙コップがスピーカーの代わりになり音が鳴る。この時、指でこすっている部分で波が発生し、紙コップへと伝わっていく。伝わる波が単振動である場合、紙コップが波の腹となり、糸の中央が節となる。現状では、ストリングラフィの糸中に伝わる波についての具体的な先行研究が少ない。よって、本研究ではこの糸中に伝わる波にはどのような特性があるのかを定量的に調べたい。

2-1. 実権器具

- ・糸（絹、綿、アクリル糸）
- ・鉄製スタンド
- ・紙コップ
- ・松ヤニ
- ・ニュートンばねばかり
- ・Wave Spectra(フーリエ解析ソフト)
- ・オシロスコープ

・マイク

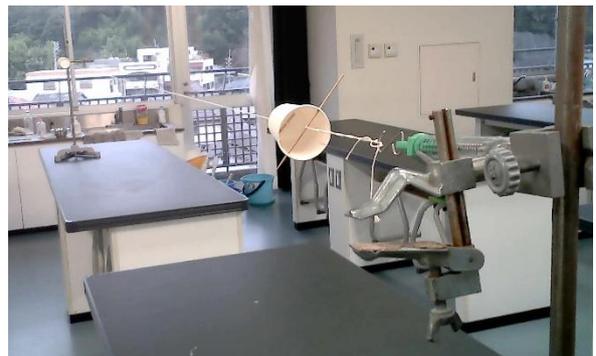


写真 1

使用する糸について

- ・絹糸（線密度： 8.5×10^{-6} g/m）
- ・綿（線密度： 2.4×10^{-4} g/m）
- ・アクリル糸（線密度： 9.7×10^{-4} g/m）

2-2. 文字の定義

実験で用いる文字を以下の通りに表す。

記号	定義	単位
v	速さ	m/s
f	振動数	Hz
λ	波長	m
x	図 2 をご参照ください	m
s	張力	N
ρ	線密度	kg/m
x	ストリンググラフィの全長	m
T	時間	s
t	温度	°C

2-3. 実験で用いる数式

線密度 ρ は

$$\rho = \frac{\text{糸の重さ}(kg)}{\text{糸の長さ}(m)}$$

で

求める。

実験〈1〉で用いる速さについての式は

$$v = \frac{x}{T}$$

空気中を伝わる波の速さの理論値は

$$v = 331.5 + 0.6 t$$

を用いた。

実験〈2〉で用いる波の速さの式は

$$v = f \lambda$$

線密度による横波の速さは

$$v = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

で求める。

3. 実験の計画

(1) オシロスコープを用いた波の速さの実測

(2) 糸の材質（線密度）と波の速さの関係について

(3) 波の向きの観察

4. 仮説

(2) の実験について、私たちは線密度の小さい糸ほど糸に伝わる波の速さは速くなると仮説を立てた。また、(3) では波は正面から見て左右に振動して見えると考えた。

5. 研究方法

(1) オシロスコープを用いた波の速さの実測

図 2 のようにマイクをストリンググラフィの両端の紙コップに 10 cm を離して置く。マイクにオシロスコープをつなげ、片方の紙コップの近くで音を鳴らす。鳴らした音ともう片方の紙コップに伝わった音の時間差測り、速さを算出する。この時、実際に計測した時間では、紙コップからマイクに伝わる時間も含まれるので、その時間を引いておく。



写真 2

(2) 糸の材質（線密度）と波の速さの関係について

糸を綿、絹、アクリルにした3種類のストリングラフィを用意し、5Nに設定する。音を鳴らし、フーリエ解析ソフト Wave Spectra で波長を測定する。波長から波の速さを算出する。これらの実験を、糸の張力を1~5Nで変化させて同様に行う。

(3) 波の向き

アクリル糸を使ったストリングラフィの糸に印を付け、音を鳴らす。印の振動方向を観察する。

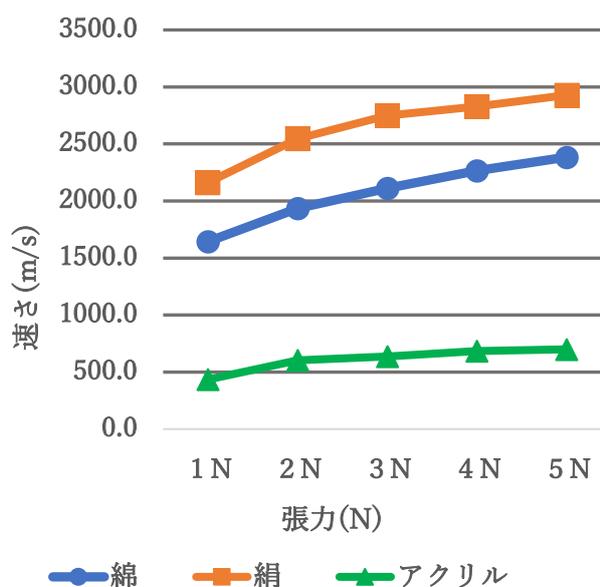
6. 研究結果

(1) オシロスコープを用いた波の実測

本実験では測定が正しく行われているのかを確かめるために対照実験として空気中での音の速さの算出を行った。同様の実験方法を行ったところ、温度が17℃の空気中では波の速さの理論値が341m/sに対して339m/sとなった。また、糸中では測定して出た時間 1.75×10^{-3} (s)から、紙コップからマイクロフォンに伝わるまでの時間 5.9×10^{-4} (s)を引いた $T = 1.16 \times 10^{-3}$ (s)とわかった。 $\lambda = 3$ より波の速さは 2.60×10^3 (m/s)となった。

(2) 糸の材質（線密度）と波の速さについて

糸の材質によるグラフ1のような結果になった。波の速さは順に絹、綿、アクリルとなった。したがって、線密度の小さい順に波の速さが速くなるとわかった。



グラフ1 糸の材質による波の速さの変化

(3) 伝わる波の向き

スロー再生で波の向きを観察したところ、写真3の矢印のように左右に振動して見えた。スロー再生されている動画が見たい場合は、下記のQRコードから動画をご覧ください。

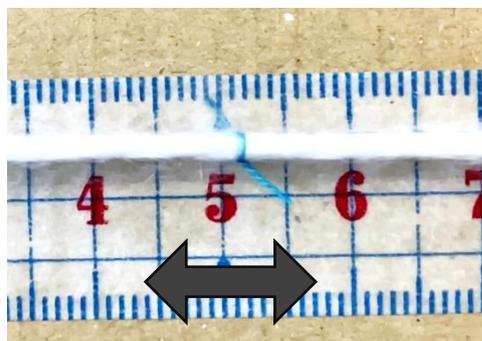


写真3 波の向きについて



7. 実験の考察

(3)の結果から、印が左右に振動して見えるので、糸に伝わる波は縦波だと考察した。よって、この考察と(2)の結果から縦波も線密度と波の速さについて関係があると考察した。また、張力と波の速さの関係について研究したときに張力が大きくなるにつれて波の速さが大きくなってきたので、線密度と波の速さには負の相関関係があると考えた。

(2)の結果から、線密度と波の伝わる速さには負の相関関係があると考えた。これは、弦を伝わる横波の速さの公式と類似した特性を示している。

また、(3)の結果から、印が左右に振動して見えるため、糸に伝わる波は縦波であると考察した。これらを踏まえると、縦波も線密度と波の速さについて負の相関関係があるのではないかと考察した。

8. 今後の展望

理科年表によると、波の速さの実測値が縦波の理論値と近い値となっていることが推測できる。縦波の伝搬速度が素材のヤング率と密度で求まることから、各素材における伝搬速度の理論値を実測値と比較し、ストリングラフィが縦波であることを明確にしたい。そして、縦波における速さと密度の相関関係についても定量的に示したい。

また、素材や断面積を変えるだけでなく、素材の編み方を変えることでヤング率がどのように変化するか研究したい。定量的に考察することができれば、ストリングラフィの伝搬速度を変化する方法に多様性をもたせることができると考える。その

際には、ヤング率も実際におもりの顕微鏡を用いて実測したい。

9. 参考文献

山田ふしぎ 「中学 理科の自由研究」、成美堂出版、2001年、P92～103