

糸電話の音の伝わり方と定在波の影響

加藤瑤乃 百々七那葉 濱田すみれ 山岡大祐 吉成開

【概要】

当初実験で、糸電話の張力を変えると伝わる音の大きさが変わること気が付いた。糸の種類や線密度、糸の張力、糸の置かれた状態による影響を明確にするため、当実験を行った。糸の種類は6種類、振動数は400Hz, 800Hz, 1600Hz, 張力を0.5~5.0Nまで0.5N 間隔で増加させて実験した。そこで、糸を伝わる音の大きさが周期的に変化するの、定在波が関係していると考えた。

よって、張力による糸を伝わる縦波の速さが変化していると予想した。以上の実験を受け、5.0Nを超える張力で実験することにした。また、入力と出力（音が糸を伝わった後の音の大きさ）の値だけでなく、入力（糸を伝わる前の音の大きさ）の値を測定し、入力と出力の比を取ることにした。

すると、入力と出力の比を取り、10Nまで測定したものでも、周期性が見られた。また、長さを1m, 2m, 4mに変えて測定したものでも周期性が見られ、2m, 800Hzのグラフと、4m, 400Hzのグラフが似ていることから、定在波が影響していると考えられる。

In the initial experiment, when measuring the tension, we noticed that the loudness of the sound changed when the tension was changed. This experiment was conducted to clarify the effects of string type, line density, string tension, and the condition in which the string was placed. Six types of strings were tasted, the vibration frequency was 400Hz,800Hz, and 1600Hz, and the tension was increased from 0.5 to 5.0N at 0.5N intervals. Therefore, we thought that the periodic change in the loudness of sound traveling down the string was related to standing waves.

Thus, we would expect the speed of longitudinal waves traveling down the string due to tension to change. Following the above experiment, we decided to experiment with a tension greater than 5.0N. In addition to the values of input and output (the loudness of the sound after the sound travels down the string), the values of input (the loudness of the sound before it travels down the string) were also measured, and the ratio of input to output was taken.

Then the ratio of input to output was taken, and even with measurements up to 10N, periodicity was observed. Periodicity was also observed in the measurements with different lengths (1m, 2m.and 4m), and the similarity between the graph at 2m and 800Hz and the graph at 4m and 400Hz suggests that standing waves are influential.

【研究動機・目的】

物理の授業で、弦を伝わる縦波の速さは、線密度や張力の影響を受け、弦の種類には影響されないことを知った。そこで、身近な糸電話を伝わる縦波について、糸に水が含まれている場合、どのような影響があるかを調べることにした。糸を水につけて実験をしていく中で、張力の与える影響が気になった。

糸の種類や線密度、糸の置かれた状態、特に、糸の張力による影響を明確にするため、この研究をおこなった。

【研究の仮説】

糸電話はピンとよく張らないと、音が伝わらないのは、糸を張っていると粒子が均一に並んで、音の振動が伝わりやすくなるからではないかと考えた。また、ある程度で限界は来ると思うが、張力が大きくなればなるほど、音は伝わりやすくなるのでは、とも考えた。

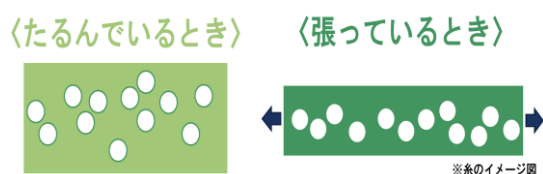


図1 仮説のイメージ

【実験装置・観測機器】

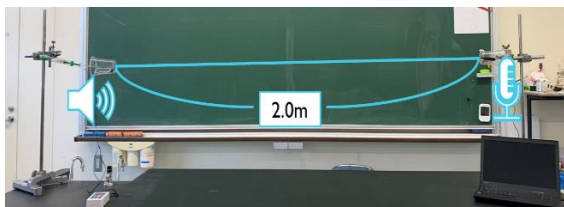


図2 実験の様子

【実験器具】

- ・プラスチックコップ
- ・糸
アクリル3種類
(線密度 $1.1 \times 10^{-3} \text{kg/m}$, $5.9 \times 10^{-4} \text{kg/m}$, $5.6 \times 10^{-4} \text{kg/m}$)…毛糸
綿2種類
($2.9 \times 10^{-4} \text{kg/m}$, $2.5 \times 10^{-4} \text{kg/m}$)
…刺繍糸
ナイロン($4.6 \times 10^{-5} \text{kg/m}$)…釣り糸
- ・ハンディ低周波発信器
- ・パソコン
- ・Wave Spectra(フーリエ解析ソフト)
- ・USBマイク
- ・イヤホン(スピーカーとして使用)
- ・鉄製スタンド
- ・ニュートンバネばかり(5.0Nまで測れるもの)
- ・[FG-5005] デジタルフォースゲージ

【実験方法 I】

1. それぞれの糸で糸の長さ2.0mの糸電話をつくる。
2. 一方のプラスチックコップに発信器、もう一方にマイクを固定する。
3. 張力を0.5~5.0Nまで0.5N間隔で増加させ、マイク側で測定した音の大きさをリニアPCM値(音圧の整数値)で測定する。
4. 3.の実験を3回繰り返す。(再現性を確認するため)

【結果 I】

紺の毛糸 (アクリル 1.1×10^{-3} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	171.67	177.67	102.67	96.33	102.33	113.33	126.00	146.33	172.67	206.00
800Hz	958.33	983.33	1574.00	1564.67	1140.00	1034.00	1060.00	1156.33	1303.33	1300.00
1600Hz	39.00	21.00	43.67	41.67	65.33	92.67	117.33	157.33	163.00	144.00

黄色の毛糸 (アクリル 5.9×10^{-4} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	97.67	111.33	159.00	217.67	237.67	192.67	159.67	138.67	116.67	97.00
800Hz	1813.33	943.33	974.33	1305.33	1910.00	2140.00	1726.67	1333.33	1123.33	953.33
1600Hz	38.33	17.67	62.67	86.33	179.00	190.67	276.33	310.67	252.67	227.67

ボルドーの毛糸 (アクリル 5.6×10^{-4} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	256.00	159.67	133.00	138.33	155.67	182.33	222.67	266.67	327.33	376.67
800Hz	1241.33	929.00	1330.67	1960.67	1692.67	1337.33	1168.00	1015.33	997.67	1036.33
1600Hz	49.33	21.00	40.00	79.00	83.67	169.33	222.67	254.33	197.33	148.00

ピンクの刺繡糸 (綿 2.9×10^{-4} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	235.67	281.00	581.00	535.00	346.00	302.00	391.00	408.33	451.33	317.67
800Hz	969.33	553.00	452.67	591.33	649.00	1022.33	1317.33	1569.00	1888.33	2263.33
1600Hz	22.00	27.33	16.00	22.67	10.67	21.00	25.67	19.67	21.67	17.67

ミントグリーンの刺繡糸 (綿 2.5×10^{-4} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	218.33	383.33	750.00	428.00	229.33	236.67	242.67	410.00	455.00	585.00
800Hz	930.00	390.00	478.33	790.00	1220.00	1883.33	2683.33	2983.33	2700.00	2190.00
1600Hz	14.67	23.33	22.67	28.33	26.33	29.33	35.33	35.00	36.67	33.00

釣り糸 (ナイロン 4.6×10^{-5} kg/m)										
張力[N]	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
400Hz	168.67	70.67	62.67	115.00	132.67	194.67	222.67	247.33	248.67	258.00
800Hz	101.67	104.33	89.33	76.33	62.33	85.33	114.33	131.33	135.33	137.00
1600Hz	44.67	46.00	57.33	52.67	38.00	12.67	17.00	33.33	45.00	59.67

図3 各糸での実験結果

以下のグラフの横軸は張力(N)、縦軸は張力0.5Nから5.0Nの間で、測定した音の大きさの最大値を1としている。

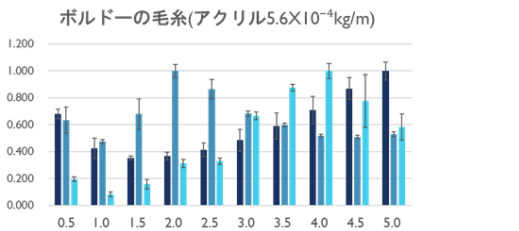


図4 ボルドーの毛糸での実験結果

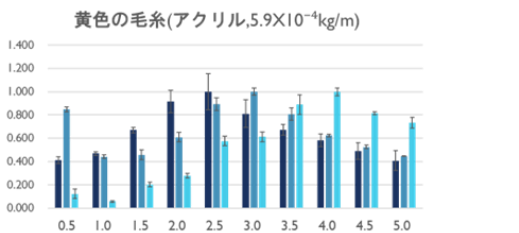


図5 黄色の毛糸での実験結果

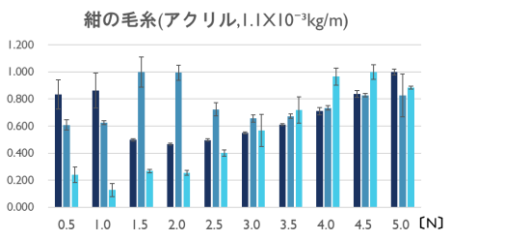


図6 紺の毛糸での実験結果

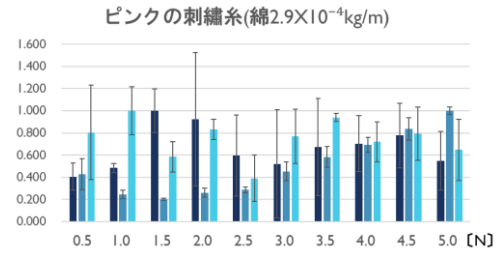


図7 ピンクの刺繡糸での実験結果

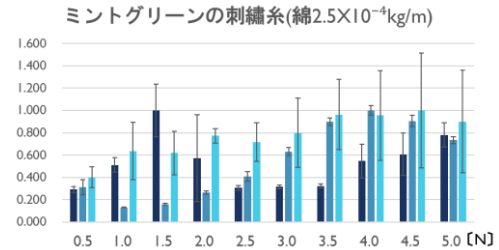


図8 ミントグリーンの刺繡糸での実験結果

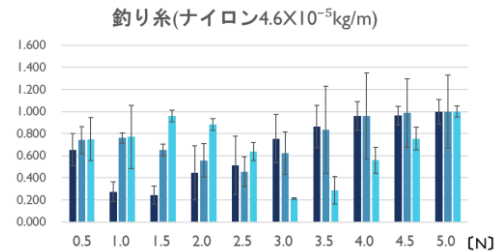


図9 釣り糸での実験結果

【考察 I】

- 1) 綿・ナイロンでは1600Hzの音はほとんど伝わっておらず、振動数の大きな音は糸電話を伝わりにくい。綿密度の小さな糸でも音が伝わりにくい。
- 2) 同じ素材で綿密度に近いのものにもかかわらず、測定結果が大きくずれているものもあり、繊維の編み方の違いも影響していると思われる。
- 3) 糸を伝える音の大きさが周期的に変化する。定在波が影響していると考えられ、張力によって糸を伝える縦波の速さ

が変化していると予想する。ほかの糸でも同じような傾向がみられる。

【実験方法Ⅱ】

1. 実験方法Ⅰの1. と同様
2. 実験方法Ⅰの2. と同様
3. ばねばかりの代わりにデジタルフォーススケジを取りつけた方のスタンドを動かして、張力を1.0～10.0Nまで1.0N間隔で増加させ、マイク側で測定した音の大きさをリニアPCM値（音圧の整数値）で測定する。
4. 3. の実験を400Hz, 800Hz, 1600Hz, それぞれ3回繰り返す。（再現性を確認するため）

【結果Ⅱ】

出力／入力の値を縦軸に、張力を横軸に表示した。

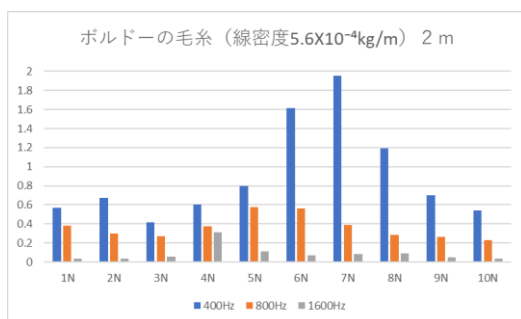


図10 ボルドーの毛糸 2m での追加実験結果

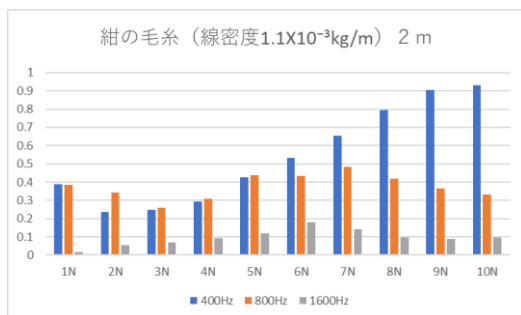


図11 紺の毛糸 2m での追加実験結果

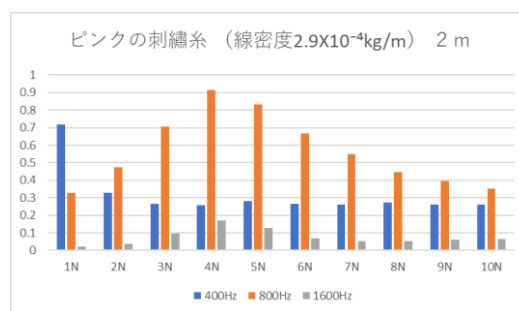


図12 ピンクの刺繍糸 2m での追加実験結果

【考察Ⅰ】

出力と入力の比をとり、10Nまでの範囲でも、周期性が見られた。（ピンクの刺繍糸の、長さが2mで、振動数が1600Hzの時、周期性が見られないのは、あまり音が伝わらなかったのが原因だと考えられる。）

【今後の展望】

糸を伝える縦波の速さを実測し、定在波の影響を明らかにしたい。

音の伝わりやすさについては、糸電話への入力の音の大きさと出力の音の大きさを比較したい。余裕があれば、糸の編み方の違いによる音の伝わり方も調べたい。

【参考文献】

- ・山田伸志 面白サイエンス「音と振動の科学」 日刊工業新聞社 2015
- ・改訂版 物理 数研出版 2017
- ・〈平成23年度 第28回 山崎賞〉
静岡県立科学技術高等学校 11 糸電話を伝える音の研究 2011