

糸電話で楽器を作る

3534 堀流夏 3637 水野里胡

要旨

糸電話の原理を応用して作られたストリングラフィという楽器がある。私たちはストリングラフィの技術をもとに、校歌(五音音階)を演奏するため、決まった振動数の音を出す糸電話を作ることを目的に研究を進めた。糸の太さや張力を変化させることで音の振動数を変化させ、紙コップの大きさを変化させることで楽器として必要な大きさの音を出せると考え、実験を行った。その結果、糸の張力を変化させることと紙コップの固有振動数を考慮することによって、糸をはじいたときに出したい振動数の音を出すことができると分かった。

1. 目的

ストリングラフィとは糸電話の糸の部分をしてすることで音を出す楽器である。糸電話の糸やコップの条件がストリングラフィの出す音にどう関係しているかを明らかにし、糸をはじくと決まった音の出る糸電話を作る。

研究の前提条件として、家庭で再現できるサイズ、材料で楽器を作る。ストリングラフィは糸の長さを変化させることで音階を作っており、全長約 13m の大きさである。本研究では糸の長さを変化させる以外の方法で音階を作り、恵那高校の校歌(五音音階)を演奏する。

小さなサイズのストリングラフィを作るため、糸の長さを変える方法以外で音階をつくる方法を調べ、恵那高校の校歌(チャイム)を演奏する。

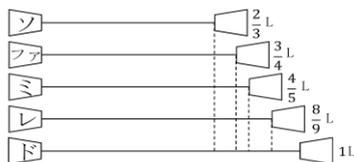


図1 ストリングラフィの糸の長さと言階

2. 仮説

トランペットの音が出る部分が広がっているように、糸に紙コップを付けることで音が大きくなる。

使用する糸を太くすると出る音の振動数が小さくなり、音階を作ることができる。

3. 使用器具

- ・糸電話(糸, 紙コップ 205mL, ボタン, 針金)
- ・スタンド2台



図2 実験①のセットアップ

実験①, ②では、このセットアップから糸を変えて実験を行う。

4. 実験

<実験①>

(1) 目的

糸電話の基本的な性質を調べる。

音源の振動数を変えたとき、糸電話が伝える音の大きさにどのような変化があるかを調べる。

校歌の演奏には、ド(低)、ファ、ソ、ラ、ド(高)つまり、1オクターブ分の音域が必要なため、ピアノの鍵盤の8つの

「ド」のうち、糸電話が音を最も大きく伝える「ド」の高さの振動数を調べる。

(2) 仮説

糸電話を通すと、どの振動数でも音の大きさは大きくなる。

《音の大きさ(dB)の公式》

$$L = 10 \log_{10} \left(\frac{2\pi^2 A^2 f^2 \rho v}{10^{-12}} \right) \text{ [dB]}$$

A : 振幅 f : 振動数 ρ : 密度 v : 音速

上式より、音の大きさは、振動数の2乗に比例するため、4186Hzの音を最も大きく伝える。

(3) 使用器具

- ・糸1本(コットン, ナイロン, 絹, ポリエステル, 綿)

- ・スマートフォン2台

使用アプリケーション

音源 : Tone generator

測定器 : 騒音測定器

<使用音源>

261Hz, 523Hz, 1046Hz, 2093Hz, 4186Hz

(ピアノの「ド」の振動数を使用する)

- ・261Hzよりも値の小さい振動数は、音源から音を出していないとき、音を出しているときの測定される音の大きさに変化がなかったため、実験には使用しない。

(4) 実験方法

- ① 糸電話を通さず、音源から聞こえる音の大きさを測定する。(図3, **A**)
音源と測定器を、紙コップの入り口から、もう片方の紙コップの入り口までの距離と同じ距離で測定する。
- ② 糸電話を通して音源から聞こえる音の大きさを測定する。(図3, **B**)
紙コップの入り口にスマートフォン(音源)をあて、音を出す。(図4)

もう片方の紙コップの入り口にスマートフォン(測定器)をあて、音の大きさを測る。(図5)

実験は静かな教室で行い、測定は音源から10秒間音を出し、10秒間の平均値を記録する。

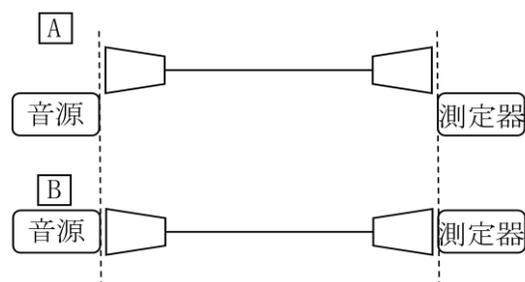


図3 実験①測定方法

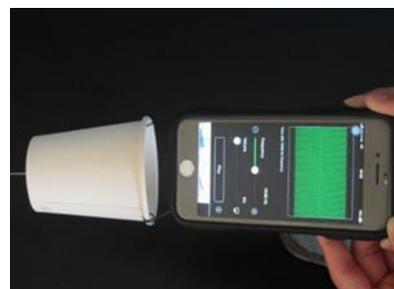


図4 音源(Tone generator)



図5 測定器(騒音測定器)

(5) 結果

糸電話を通さずに音源から出る音を測定した値を**A**, 糸電話を通して音源から出る音を測定した値を**B**とする。

1046Hzで最も音を大きく伝え、ほとんどがマイナスになる。

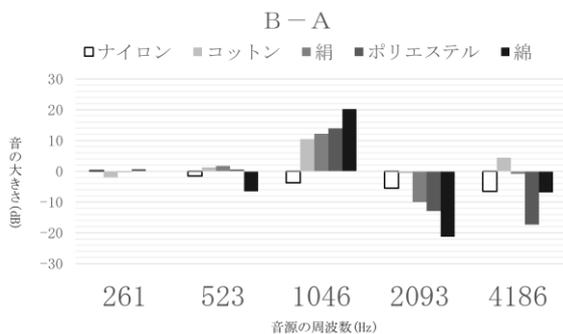
ナイロン	261Hz	523Hz	1046Hz	2093Hz	4186Hz
A (dB)	39.9	46.8	45.6	50.3	59.8
B (dB)	40.1	45.3	41.8	44.8	53.3
B - A (dB)	+0.2	-1.5	-3.8	-5.5	-6.5

コットン	261Hz	523Hz	1046Hz	2093Hz	4186Hz
A (dB)	38.2	43.7	49.5	53.1	55.8
B (dB)	36.2	44.9	59.9	52.5	60.2
B - A (dB)	-2.0	+1.2	+10.4	-0.6	+4.4

絹	261Hz	523Hz	1046Hz	2093Hz	4186Hz
A (dB)	36.6	38.5	50.3	55.7	55.4
B (dB)	36.4	40.2	62.5	45.7	54.6
B-A (dB)	-0.2	+1.7	+12.2	-10.0	-0.8

ポリエステル	261Hz	523Hz	1046Hz	2093Hz	4186Hz
A (dB)	39.5	45.4	46.8	60.8	63.4
B (dB)	40.2	46.0	60.7	47.9	46.1
B-A (dB)	+0.7	+0.6	+13.9	-12.9	-17.3

綿	261Hz	523Hz	1046Hz	2093Hz	4186Hz
A (dB)	41.1	45.7	47.8	58.8	58.3
B (dB)	41.0	39.2	68.0	37.5	51.4
B-A (dB)	-0.1	-6.5	+20.2	-21.3	-6.9



(6) 考察

物質には伝えやすい音の振動数と伝えにくい音の振動数が存在するのではないかと。1mの糸は種類によらず1000Hz周辺の振動数を伝えやすいことが分かった。このことから、1046Hzを含むオクターブの音階の糸電話を作れば、最も大きい音で演奏することができると思う。

今後は、このことを考慮に入れて実験を行う。

(7) 結論

205mLの紙コップ、1mの糸では、1000Hz周辺の音を大きく伝えやすい。

<実験②>

(1) 目的

糸の太さで音階をつくるため、糸の本数を増やすことによって糸の太さを変

え、糸電話から出る音の振動数にどのような変化があるか調べる。

(2) 仮説

ギターでは、糸の太さが太い弦のほうが低い音が出るため、糸の本数が多いほど糸電話から出る音の振動数が小さくなる。

(3) 使用器具

- 糸(絹, ナイロン)

実験①で伝えやすい振動数は糸の種類によらないことがわかったため、使用する糸を絹とナイロンに限定する。

絹は箏の弦、ナイロンはギターのために使用されているため、絹とナイロンを使用する。糸の本数を1本から10本と変え、実験を行う。

- 松脂

- スマートフォン1台

使用アプリケーション

測定器：音程チェッカー

(4) 実験方法

糸の midpoint にスマートフォン(測定器)をあて、振動数を測定する。(図6)

- ① 糸に松脂を塗り、糸の上面のみを人差し指でこすり、振動数を測定する。
- ② 糸に松脂を塗り、糸を人差し指と親指で挟んでこすり、振動数を測定する。
- ③ 糸を人差し指ではじき、振動数を測定する。

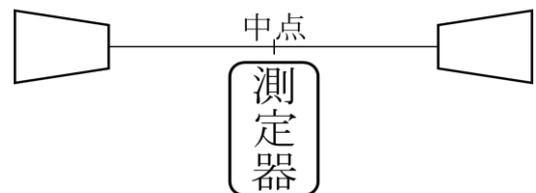


図6 実験②の測定方法

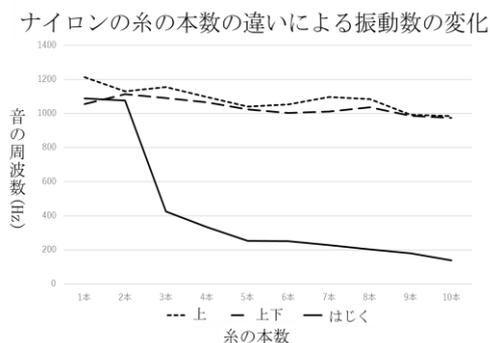
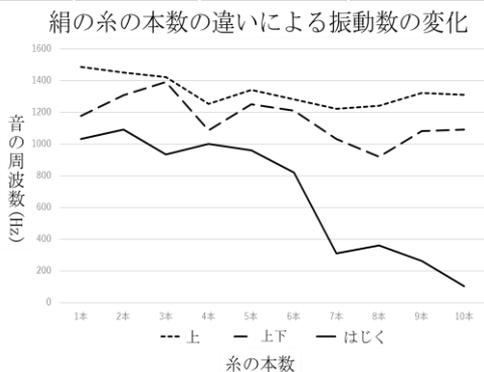
(5) 結果

糸の上をこすったとき、絹は振動数の数値が安定せず、ナイロンは安定した。

糸をはじいたときは、糸の本数を増やすにつれて振動数が小さくなった。

絹(本)	①上(Hz)	②上下(Hz)	③はじく(Hz)
1	1487	1176	1032
2	1451	1308	1090
3	1421	1391	933
4	1252	1087	1001
5	1340	1250	960
6	1282	1211	819
7	1221	1032	309
8	1241	919	361
9	1321	1081	262
10	1311	1091	103

絹(本)	①上(Hz)	②上下(Hz)	③はじく(Hz)
1	1241	1055	1089
2	1130	1113	1076
3	1155	1090	425
4	1096	1066	334
5	1040	1023	252
6	1054	1003	250
7	1096	1011	227
8	1085	1036	202
9	992	987	180
10	984	974	139



(6) 考察

絹、ナイロンともに、糸が1本の糸電話と糸が10本の糸電話を比べると、どの場合でも、10本のときの振動数が1本の時よりも小さい。よって、糸の本数を増やしたことで、出る音の振動数を小さくすることができる。これは、音を伝える媒質の質量が大きくなることによって、糸を伝わる音の速さが遅くなり、振動数が小さくなったためだと考えられる。

また、糸をこすったときよりも、はじいたときのほうが振動数の変化が大きいことより、糸をはじく演奏方法のほうが音の高さを変えやすい。これは、糸をはじく場合では、すべての糸に同時に振動を与えることができるが、糸をこすった場合では、指と接している糸にしか直接振動を与えることができない。これにより、はじいたときは糸が10本ある場合は10本の糸すべてが同時に同じ振動をするが、こすったときには糸が10本あっても10本の糸すべてが同時に同じ振動をしているわけではないからであると考えられる。

(7) 結論

糸をはじく演奏方法は、糸の本数によって音の高さを変えることができるが振動数の変化が大きすぎるため、楽器として演奏するには適していない。

糸をこする演奏方法は、振動数の変化に大きな傾向が見られず、音の高さを変えにくい。

<実験③>

(1) 目的

糸の張力の変化によって音階を作るため、ナイロンの糸の線密度を測定する。

(2) 使用器具

- ・糸電話

(糸:ナイロン 1m, 1本, 紙コップ 205mL 1個, ボタン, 針金)

- ・スタンド2台
 - ・滑車1台
 - ・おもり(100g5個)
 - ・スマートフォン1台
- 使用アプリケーション
測定器:音程チェッカー

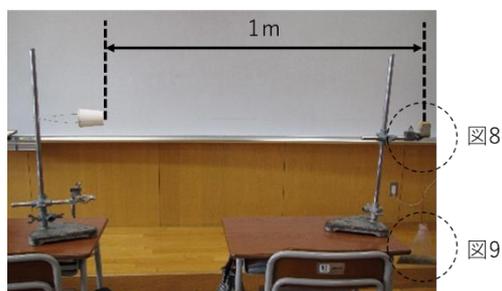


図7 実験③のセットアップ



図8 滑車の取り付け図 図9 砂袋の取り付け図

紙コップの底から糸の長さが1mとなる位置が滑車と糸の接点になるように設置する。

(3) 実験方法

糸を人差し指ではじき,紙コップの入り口にスマートフォン(測定器)をあて,振動数を測定する。

(4) 結果

測定した中で最も多かった音はファ#であった。測定した音の振動数の平均値をとり,その値を計算に使用する。

《弦の固有振動数(Hz)の公式》

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{s}{\rho}} \text{ [Hz]}$$

L :弦の長さ s :張力 n :1

$L=1\text{m}$, $s=0.50 \times 9.8\text{N}$, $n=1$, $f=1449\text{Hz}$ を使用する。

計算より, $\rho = 5.83 \times 10^{-7} \text{ (kg/m)}$

実験④, ⑤, ⑥ではこの値を線密度とし,実験を行う。

〈実験④〉

(1) 目的

糸の張力を変化させることで,音の振動数が変化するか調べる。

(2) 仮説

弦の固有振動数の公式より,実験③の線密度を使って計算し,おもりの重さを何gにすれば出したい音を出すことができるのか計算する。500gのおもりをつるしたときの糸の様子から,おもりの重さを500gより重くすると糸が切れてしまうと考えたため,ソ,ラ,ド(高)の音を出すときに使う糸の長さを65cmとして計算する。

〈計算結果〉

音程	振動数	糸の長さ	おもりの重さ
ド(低)	1047Hz	1m	261g
ファ	1397Hz	1m	464g
ソ	1568Hz	65cm	247g
ラ	1760Hz	65cm	311g
ド(高)	2093Hz	65cm	440g

表① 振動数と重さの関係・仮説

(3) 使用器具

- ・糸(ナイロン1本,長さ:表①参照)
- ・砂(重さ:表①参照)

おもりの代わりに重さを微調整しやすい砂を使用する。

- ・金魚袋
- ・スタンド2台
- ・滑車1台
- ・スマートフォン1台

使用アプリケーション

測定器:音程チェッカー

(4) 実験方法

実験③と同様

(5) 結果

出したい音	おもりの重さ (g)	1回目 (Hz)	2回目 (Hz)	3回目 (Hz)	4回目 (Hz)	5回目 (Hz)	平均値 (Hz)	標準偏差
ド 1047Hz	261	1052	1053	1145	1195	1173	1123.6	60.178401
ファ 1397Hz	464	1335	1335	1337	1340	1346	1338.6	4.1279535
ソ 1568Hz	247	1022	1037	1040	1043	1057	1039.8	11.232097
ラ 1760Hz	311	960	980	998	1019	1019	995.2	20.85985
ド 2093Hz	440	2032	2036	2042	2057	2082	2049.8	18.203296

(6) 考察

計算したおもりの重さで実験したにもかかわらず、出したい音を全て出すことができなかった。

低いドを測定しているときに、音が安定しないと感じていたが、測定結果からばらつきが大きいことがわかる。

実験結果より 1040Hz, 1339Hz, 2082Hz, の音が出やすいことがわかる。一番標準偏差が小さい 1339Hz をもとに基本振動数を求めると、148Hz の 9 倍音である可能性が高い。148Hz の 7 倍音が 1041Hz, 14 倍音が 2082Hz であることから、紙コップにも固有振動があり、205mL の紙コップの固有振動数の 1 倍音は 148Hz ではないかと考える。

紙コップの大きさの変化や紙コップを加工することで固有振動数を合わせ、砂の量を微調整することによって出したい振動数の音を大きく出せるのではないかと考える。

(7) 結論

ド(高)の音は出すことができた。

ド(低)の音はド(低)の音を多く測定したが、正確に出すことができない。

ファ, ソ, ラの音は出すことができない。

205mL の紙コップの固有振動数は、148Hz である。

<実験⑤>

(1) 目的

紙コップの種類を変え、紙コップの固有振動数と出したい音の振動数が合うか調べる。

(2) 仮説

実験①, 実験④の結果より、紙コップにも固有振動数があるため、紙コップの種類を変え、固有振動数を求めることで決まった振動数の音を大きくする糸電話を作ることができる。

(3) 使用器具

- ・糸(ナイロン1本, 長さ: 表①参照)
- ・砂(重さ: 表①参照)

おもりの代わりに重さを微調整しやすい砂を使用する。

- ・金魚袋
- ・スタンド2台
- ・滑車1台
- ・スマートフォン1台

使用アプリケーション

測定器: 音程チェッカー

- ・紙コップ(545mL, 250mL, 150mL, 90mL)



図10 紙コップの大きさ

(4) 実験方法

実験③と同様

(5) 結果

ソ (1568Hz, 65cm, 247g)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値	標準偏差
90mL	1515	1599	1599	1603	1611	1585.4	35.4717
150mL	1130	1148	1160	1173	1181	1158.4	18.1174
250mL	920	961	1000	1003	1035	983.8	39.6051
545mL	666	675	679	681	696	679.4	9.76934

ラ (1760Hz, 65cm, 311g)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値	標準偏差
90mL	1239	1243	1244	1423	1481	1326	104.514114
150mL	12361	12554	12639	12865	12873	12658.4	194.143864
250mL	1771	1771	1771	1773	1773	1771.8	0.9797959
545mL	604	652	668	765	906	719	107.144762

(6) 考察

標準偏差の値より、250mLの紙コップはラの音を最も伝えやすいためラの音を出すことができたと考えられる。

ソの音は90mLの紙コップを使用したとき最も多く測定されたが、音が安定しなかったことから、使用した紙コップにはソの音を最も伝えやすい紙コップはないのではないかと考える。また、90mLの紙コップでは音が小さすぎて、楽器として演奏するには適していないと考える。

(7) 結論

ラの音は出すことができた。

ソの音は出すことができない。

<実験⑥>

(1) 目的

紙コップを加工することによって紙コップの固有振動数を変え、砂の量を微調整することによって出したい振動数の音を大きく伝える紙コップを作る。

(2) 仮説

ファの音については、実験④でミを多く測定したことから、振動数を大きくしたいため、糸の張力を大きくする必要があります。したがって、砂の量を増やすことでファの音が出る。

ソの音については、実験⑤において250mLの紙コップでラの音を出すことができたため、紙コップの固有振動数を小さくしたい。したがって、250mLの紙コップにマスキングテープを貼り、紙コップの重さを重くし、振動する回数を減らすことでソの音を大きく出す紙コップを作ることができる。

(3) 使用器具

- ・糸 (ナイロン1本, 長さ: 表①参照)
- ・砂 (重さ: 出したい音が出た場合量る)
- ・マスキングテープ

紙コップの入り口から2cmの位置にマスキングテープを1周または2周貼る。

(4) 実験方法

実験③と同様

(5) 結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値	標準偏差
ファ 205mL/472g	1370	1371	1373	1380	1382	1375.2	4.8744
ソ 250mL①/247g	1014	1017	1099	1594	1612	1267.2	275.93
ソ 250mL②/247g	940	990	1611	1687	1715	1388.6	347.9

(6) 考察

ファの音を出すことができたのは、砂の量を増やすことによって張力が大きくなったためだと考える。本実験で出したいファは1397Hzで205mLの紙コップの固有振動数の9倍音の1339Hzと振動数の差が小さいため、205mLの紙コップでも音を大きくすることができたと考えられる。しかし、紙コップの固有振動数と出したい音の振動数の差がどの程度まで大きく出せるかなど、不明点も多い。今後

の実験でより詳しく確かめていく。

いずれの方法でもソの音を出すことができなかったのは、実験に使用した紙コップの固有振動数と合わなかったためである。

今回の実験では、測定器にスマートフォンのアプリ(音程チェッカー)を使用した。このアプリは感知した様々な振動数が合わさった振動数を表示している可能性が高い。測定器をオシロスコープに変え、測定した音の波形を見ることで最も伝えやすい音の振動数が分かるのではないかと考える。

(7) 結論

ファの音は出すことができた。

ソの音は出すことができない。

5. 展望

測定器にオシロスコープを使用し、測定した波をフーリエ解析することで使用する紙コップが最も伝えやすい振動数を見つける。

6. 謝辞

意見をくださった先生方ありがとうございました。

7. 参考文献

水嶋一江&ストリングラフィ・アンサンブル
スタジオ・イブ 公式ホームページ
ハイベスト教科事典 物理 学研