

11 糸電話を伝える音の研究

1 研究の動機

高校生になってから携帯電話で連絡をとっているうちに、小さい頃、糸電話を使って遊んでいたと思い出し糸電話を作ってみた。そうして糸電話で話をすると、通過した音に変化しているように感じた。伝わる音に変化して感じるのはどうしてか興味を持ち、調べることにした。

2 目的

糸電話の糸の種類や張り具合、発信する音の周波数などを変えることによって、音が糸電話を通過する前と後で、どのように変化しているかを調べる。

3 予想

糸電話は、糸の性質や話すときの糸電話の張り具合(張力)によって、音の伝わり方が違うことを、私たちは経験的に知っている。そこで、糸の材質、糸の張力、伝わる音の周波数に着目して以下の予想をたてた。

- ①張力が大きいほど、音は減衰しない。
- ②たこ糸より針金のほうが音の変化が少ない。
- ③周波数が高いほど、音の大きさや高さが変化しにくい。

4 実験方法

糸電話の通過前と通過後の音の違いを見るために図 1 のように糸電話を設置して実験を行った。両側のカップにマイクを設置し、収集した音をパソコンに入力し、2つのマイクで収集した音を分析して糸電話通過前後の音を比較した。

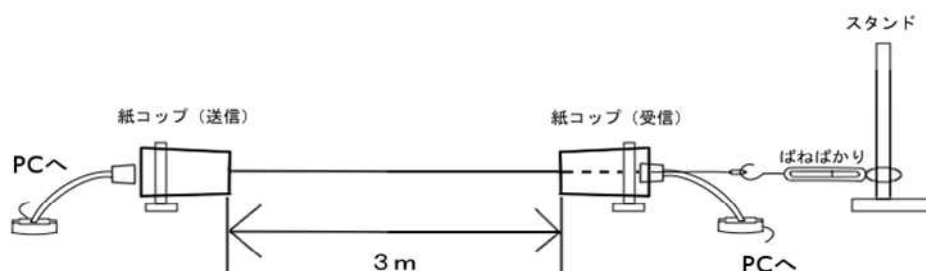


図 1. 実験装置の概要

- (1) 糸電話の弦の長さを 3 m とし、弦はタコ糸と針金で実験を行った。
- (2) 受信側では弦をカップに貫通させ、端をばね量りに接続し、ばね量りの端をスタンドに固定した。張力はこのばね量りが弦に引かれる力とした。張力は 200gW (2 N)、500gW (5 N)、1000gW (10 N) の 3 段階とした。固定する時はカップを自作の固定板に固定し、さらに固定板もスタンドで固定した。
- (3) マイクを図 1 のように送信側はカップから少し離し、受信側は先端をカップの中に入れた。そしてマイクで収集した音はパソコンに入力し、フリーソフト HandyOscillo で解析

した。

(4) 実験は、音源に純音を使った実験と人の声を使った実験の2種類を行った。実験の詳細については以下に示す。

ア 実験1：純音を音源に使った計測

音源は「200Hz」「400Hz」「600Hz」「800Hz」「1000Hz」「1200Hz」をフリーソフト「発音」からダウンロードした音を使用した。また、送信側にはスピーカーを使用した。

イ 実験2：人の声を音源に使った計測

「あ」「い」「う」「え」「お」をカップから3 cm離れたところから、3秒間発声した。発声は常に同じ人間が行った。

5 計測の方法

音の三要素（振幅、周波数、波形）に着目し、HandyOscilloの記録から計測、観察した。音の大きさの変化はFFT解析より、計測した音圧[dB単位]で示した。FFT解析とはサンプリングした音を周波数別に分解し、音圧を測定する解析法である。

音の振動数の変化はHandyOscilloのFFT解析で得られる最大音圧を示す周波数で確認し、音の波形の変化はHandyOscilloで得られる波形の形状の変化を観察することにした。

6 研究の結果

(1) 無音時の計測

計測は夕方、部活動等が終わって静かになった時間帯に行った。バックグラウンドとしての騒音が実験に影響するかどうかを調べるため、音を送信していない時の受信側に入る音の大きさと波形を計測した。波形の形状やFFT解析グラフからも特に大きな音を示す周波数は確認されず、このことからバックグラウンドの騒音は小さく、測定はバックグラウンドからの影響をほとんど受けてないと考えた。

(2) 実験1：純音を音源に使った

ア 音の大きさの変化

FFT解析グラフによって周波数音の通過前と後の音圧を測定し、弦ごと、張力ごとの音の大きさの変化を比較した。

(ア) 弦がタコ糸の場合

どの張力においても周波数200Hz、400Hz、600Hzにおける通過前後の音圧の差が大きく、1000Hz、1200Hzにおいては差が小さい傾向が見られた。図2は張力500gWの時の結果である。

(イ) 弦が針金の場合

200Hz、1000Hz、1200Hzの通過前後の大きさの差はどの張力でも同じような差を示しているが400Hz、600Hz、800Hzでは張力ごとに変化量が異なる傾向が見られた。図3は張力500gWの時の結果である。

(ウ) タコ糸と針金の比較

どちらも張力に関係なく1000Hz、1200Hzの通過前後の音圧の差が他の周波数に比べて小さい傾向

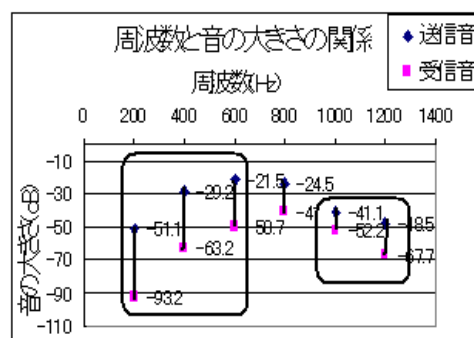


図2. 弦タコ糸(張力500gW)における通過前後の音圧の比較

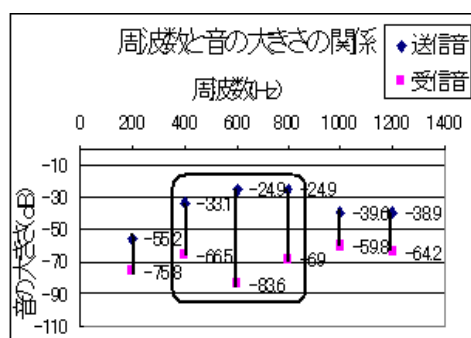


図3. 弦針金(張力500gW)における通過前後の音圧の比較

が見られる。一方、800Hz では通過前後の音圧の変化量が張力ごとに異なる。さらに、タコ糸では 200Hz においては通過前後の音圧の差が大きいのにに対して針金では小さくなる傾向が見られた。

イ 音の振動数の変化

純音を FFT 解析すると、グラフには音源の周波数帯に音圧が他より突出したピークが現れる。音圧が十分に高ければ受信音にもピークは現れ、そのピークの周波数を比べると糸電話通過前後で周波数が変化しているかを確認することができる。図 4 は 400Hz 張力 200gW の実験結果である。通過前にピークを示している周波数と同じ周波数で通過後にもピークが現れている。このことから、この実験では糸電話通過前後で周波数は変化しなかったと結論できる。

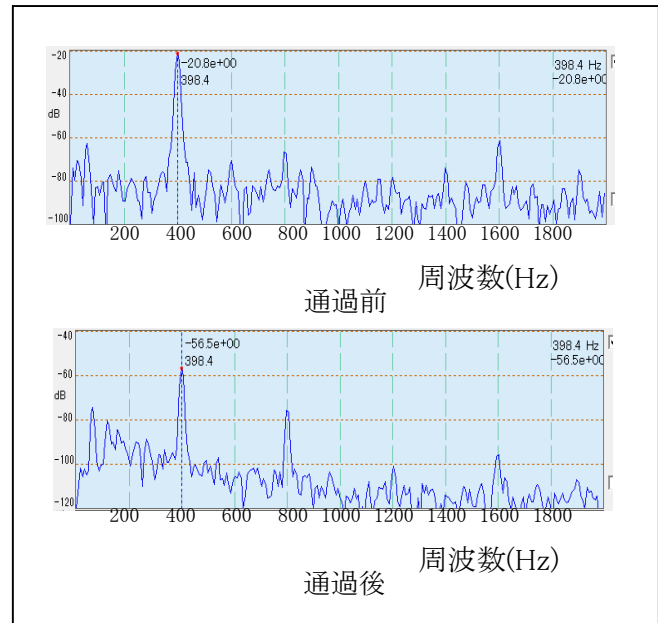


図 4. 弦：タコ糸 400Hz 張力 200gW の FFT 解析グラフ

(ア) 弦がタコ糸の場合

200Hz の実験では、通過後においてピークが明瞭ではなくなったが、それ以外の周波数においては通過前後で同じ周波数にピークが確認できた。また図 4 の通過後のグラフを見ると、800Hz にも新たにピークが出現している。同様のことは、800Hz 張力 500gW、800Hz と 1200Hz の張力 1000gW、600Hz の張力 500gW と 1000gW でも見られた。

(イ) 弦が針金の場合

200Hz の実験では、通過後においていずれの張力の場合もピークが明瞭ではなくなった。同様に 400Hz 張力 200gW、600Hz 張力 500gW、張力 1000gW、1000Hz 張力 200gW、1200Hz 張力 200gW においてもピークが明瞭ではなくなった。しかしながら、800Hz では、すべての張力において同じ周波数にピークが確認できた。また 800Hz の張力 500gW では、1600Hz にも新たなピークが出現した。この現象は 400Hz の張力 200gW でも見られた。

(ウ) タコ糸と針金の比較

どちらの弦においても、音圧の変化によってピークが明瞭ではなくなる条件があったものの、糸電話通過前後で周波数が変化することはなかった。傾向として 200Hz の音圧変化が大きく、800Hz の音圧変化が小さく、針金よりタコ糸の方が安定して音を伝えているようであった。

また、通過後に新たに音圧が上昇する周波数がいくつかの実験で見られ、その周波数は送信音の倍数であり、すべての場合ではないが張力の高いほうがこの現象は現れやすいようであった。

ウ 音の波形の変化

弦がタコ糸の場合、多少のバラつきがあったものの、糸電話の通過前後で音の波形に大きな変化は無かった。しかしながら、弦が針金の場合には、振幅が極端に大きくなったり、

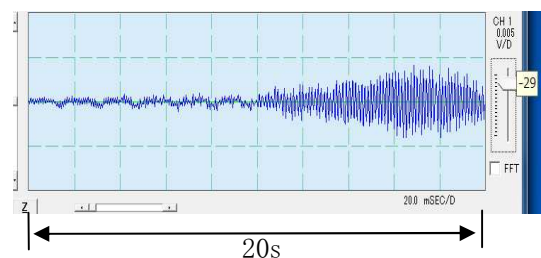


図 5. エコーの波形

小さくなったりするエコーの波形が確認された。(図 5)

(3) 実験 2 : 人の声を音源に使った計測

ア 音の大きさの変化

図 6 は「ア」の音を糸電話通過前と通過後で FFT 解析したものである。人の声は様々な周波数が混ざった複合音のため、図 6 のように高い音圧を持つピークがいくつかの周波数帯に現れる。「ア」～「オ」のそれぞれの音で最大音圧を示した周波数で音の大きさを糸電話の通過前後で比較した(図 7)。「ア」の場合、送信前に音圧が最大であったのは約 731Hz であったので、731Hz の音圧を糸電話通過前後で比較した。

弦がタコ糸の場合、母音の中では「ア」「エ」「オ」の音は通過前後の音圧差が小さく、逆に「イ」「ウ」の音は通過前後の音圧差が大きい事が確認できる。

弦が針金の場合にはエコーがかかるため実験の度に音圧に大きな差が生じ一定にならなかった。

イ 音の振動数の変化

図 6 の各ピークを持つ周波数を糸電話通過前後で比較すると、通過後に音圧は低下するもののピークの周波数に変化は認められないことがわかる。弦がタコ糸、針金のいずれの場合でも同様の結果であった。

また、低い周波数は通過後の音圧が通過前の音圧と比べ著しく下がるが、高い周波数は低い周波数と比べるとそれほど音圧は下がらないことも見てとれる。このような変化の傾向は純音の実験で見られた結果と調和的であり、複数の周波数を含む複合音であっても同様の傾向が示されたといえる。

ウ 音の波形の変化

音の波形を通過前後で比べたところ「ア」～「オ」それぞれの特有の波形は大きく変化していないことがわかった(図 8)。しかしながら、弦が針金の場合にはエコーがかかり、時間によって波の大きさが大きく異なる部分も見られた。弦が針金よりもタコ糸の場合の方が、波形の変化が小さく、音

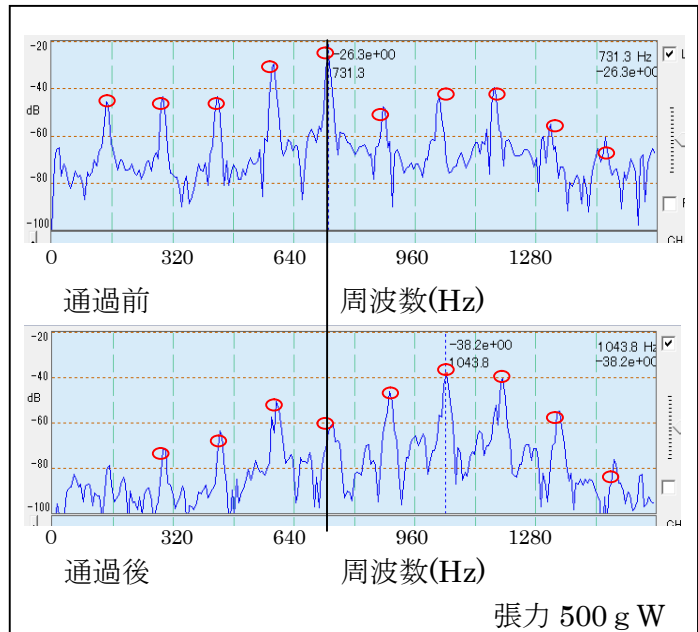


図 6. 「ア」糸電話通過前後の FFT グラフ

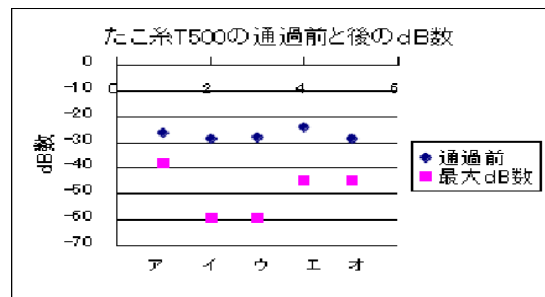


図 7. 弦タコ糸における母音の糸電話通過前後の音圧変化

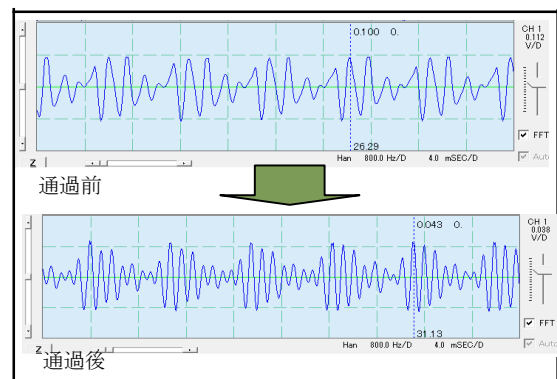


図 8. 「ア」通過前後の波形変化 (タコ糸)

はもとの音に近い形で伝えられると考えられた。

7 考察

(1) 全般的考察

送信音に純音を使った実験では、弦がタコ糸の場合には糸電話通過後、低い周波数の音圧低下が大きく、高い周波数の音圧低下は小さかった。この結果と同様に、人の声による実験でも低い周波数帯の音圧低下が大きく、高い周波数帯の音圧低下は小さかった。

糸電話を通過することで、伝わる音の周波数自体に変化は起きないが、周波数によって音圧の低下しやすさに違いがあることがわかった。そのことから、声に含まれる周波数成分の音圧バランスが変化することが糸電話通過後に声の質感が変化してきて聞こえるといった変化の原因ではないか考えられる。さらにそのことは、低い周波数帯が高音圧を示す「イ」や「ウ」で、弦通過後の音圧が大きく下がっていることからわかる。

また、針金ではタコ糸と違う周波数に変化のしやすさが現れたり、エコーが強くなったりするなど、弦の種類によって音に含まれる周波数の音圧バランスが異なった変化をみせることがわかった。

(2) 固有振動について

音圧の変化のしやすさは何によって左右されるのだろうか。針金でみられたエコーを考えると反射音による干渉や共振の影響も考えられる。そこで弦の固有振動を計算してみたところ、実験で行った張力 200gW、500gW、1000gW の間では糸・針金の固有振動数はおよそ 3Hz～14Hz となっており固有振動数がとても小さかった。このことから、単純に共振を考えることは難しい。

8 まとめ

実験を通して、糸電話を使用した時に通過前と通過後でどのように音が変わるのかということに対して、糸電話を使用することで、伝わる声の持つ周波数成分が変化するのはなく、人の声に含まれる周波数ごとの音圧の強さが変化するため、声が変わって聞こえるのではないかという結論が導かれた。

今回の研究では、弦の種類にタコ糸と針金を使用し、弦の長さなどは 3 m に固定した上で実験を行ってきたが、条件を変えることで更に結果、考察は広がってくると思われる。他にも送信部、受信部に設置するカップの種類、数等を変えたときにどのように音が伝わっていくのかを調べてみたい。

研究をしていくうちに「この条件を変えたらどうなるのか」というアイデアが次々に思い浮かび、発展の可能性のある研究内容だったと実感している。

9 参考資料

- ・松井健太・茂木裕太「糸電話の原理」
- ・「物理 I・II」 数研出版
- ・「発音」 ネットワーク一般公開版

<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0260b/start.html>

- ・「HandyOscillo」 鳥谷 隆 <http://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se376225.html>