

エコラッパに音階をつける

2615 高田葉那 2618 永井真由

この研究の目的は、吹くことが簡単なエコラッパにトランペットのように音階をつける方法を探ることである。エコラッパとは、ペットボトル、プラコップ、ストローからなる楽器である。プラコップを気柱と考えたとき、 $v=f\lambda$ よりプラコップの長さを短くするほど λ が小さくなり、 f が大きくなるため音も高くなるという仮説を立てた。そこで、長さの違うプラコップを用意し周波数を計測した結果、プラコップの長さとの関係には仮説のような関係性は見られなかった。しかし、プラコップの切込みの面積と周波数の関係を調べたところ、プラコップの切込みの面積と周波数には負の相関があることが分かった。今後は、プラコップが長くなるほど周波数も大きくなるのかももう一度実験し、最終的にはピストンを使って音の高さを変えられるようにしたい。

1. 目的

誰でもトランペットを楽しんでもらうために、吹きやすく簡単に作れるエコラッパにピストン式で音階をつける。



図1 エコラッパ



図2 プラコップ

表1 周波数と音階の関係

周波数 (Hz)	音階	
	イタリア語	英語
277.183	ド#4	C#4
293.665	レ4	D4
311.127	レ#4	D#4
329.628	ミ4	E4
349.228	ファ4	F4
369.994	ファ#4	F#4
391.995	ソ4	G4
415.305	ソ#4	G#4
440.000	ラ4	A4
466.164	ラ#4	A#4
493.883	シ4	B4
523.251	ド5	C5

2. 仮説

- 波の基本公式、 $v=f\lambda$ より、気柱であるコップ

の長さを短くすることで波長が短くなり周波数が高くなるので音も高くなる。(表2)

- 波の基本公式、 $v=f\lambda$ より、強く吹くことで息の速度が速くなり周波数が高くなるので音も高くなる。

3. 器具・材料

- スマートフォン (測定器)
アプリ: オーディオスペクトルアナライザ
- スマートフォン (測定器)
アプリ: Smart Metronome & Tuner
- エコラッパ

4. 実験1

プラコップを気中として考え長さを変化させた。

4-1. 仮説1

コップの中で基本振動が生じていると考え、 $v=f\lambda$ を用いてコップの長さから周波数の仮説を立てた。

表2 コップの長さとの関係 (仮説)

コップの長さ (cm)	周波数 (Hz)	振動の様子	音階
9.8	887		F6
8.3	1054		C6
6.5	1337		A5

(27°C $v=3.5 \times 10^2$ m/s)

4-2. 実験方法 1

- ① エコラップを吹き周波数を測定する。
- ② プラコップの長さを変えたエコラップを吹いて周波数を計測する。

4-3. 結果 1

表 3 コップの長さと言波数の関係 (結果)

	コップの長さ (cm)	周波数 (Hz)	音階	仮説との差 (Hz)
①	9.8	750	B4	401
		482		405
②	8.3	604	G5	450
		1012		42
③	6.5	982	B5	175
		510		823
		226		A3

(27°C $v=3.5 \times 10^3 \text{m/s}$)

コップの長さによって周波数が変化した。

- ① コップの長さが 9.8cm の場合、波長は $v=f\lambda$ より 70cm である。したがって基本振動の場合にはコップの中で 1/4 波長の波が生じるため、コップの長さは 17.5cm になるはずである。しかし、今回は気柱の長さは 9.8cm であるため、7.7cm の差が出てしまった。
- ② 1012Hz は仮説通りだった。また、604Hz は倍音であると考えられる。しかし、仮説では C が鳴るはずだったが、G が鳴った。
- ③ 同じコップでも 2 種類の音が鳴った。

4-4. 考察 1

①について

仮説と結果が異なった理由は、開口端補正があるからだと考えた。しかし開口端補正が 7.7cm は長すぎるため、他に要因があると考えた。

③について

6.5cm で 226Hz の音が鳴ったときは、息をたくさん入れないと鳴らなかった。その理由は、切込みがまだ硬くて振動しにくかったからだと考えた。他のエコラップも最初は切込みが硬く、息をたくさん入れても聞こえなかったが、もしかしたら他のエコラップも違う音が小さく鳴っていた

のかもしれない。

結果と仮説の違いを明らかにするためプラコップの観察をした。すると、切込みの長さが若干違うことに気づいた。切込み面積と言波数の関係をグラフに表すと表 4、図 4 となった。

表 4 切込みの面積と言波数の関係 (結果)

切込み① (cm)	切込み② (cm)	面積 (cm ²)	周波数 (cm)	聞こえている周波数 (Hz)	音階
2.1	0.9	1.9	750 482	482	B4
2.8	1.1	3.0	604 1012	—	G
2.3	0.9	2.1	982 510	982	B5

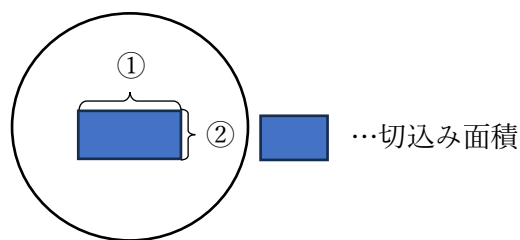


図 3 コップの切込み面積

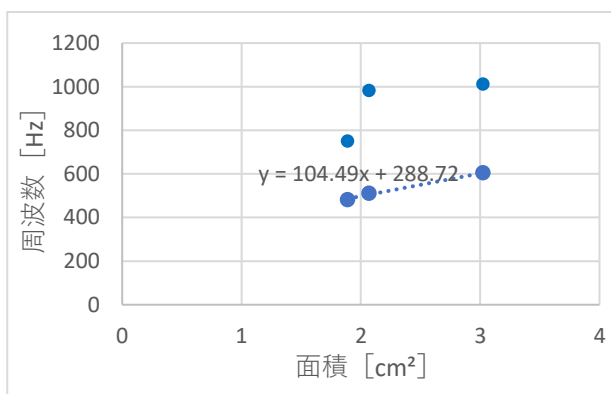


図 4 切込み面積と言波数の関係 (結果)

各コップの一番小さい周波数の音に着目すると、面積と言波数には正の相関があると考えられる。

5. 実験 2

コップの切込み面積と言波数の関係をより多くのデータを集め、明らかにする。

5-1. 仮説 2

実験 2 の結果より、

$$f = 1.0 \times 10^2 S + 2.9 \times 10^2$$

(f [Hz]: 振動数, S [cm²]: 面積)

を使って仮説を立てた。

表 5 切込み面積と周波数 (仮説)

コップの長さ (cm)	切込み① (cm)	切込み② (cm)	面積 (cm ²)	周波数 (Hz)	音階
11.5	1.7	0.9	1.5	449	A4
11.5	2.3	0.9	2.1	510	C5
11.5	3.4	1.1	3.8	685	F5
11.5	3.0	1.0	3.0	602	D5

5-2. 実験方法 2

- ① エコラップの切り込み面積を変化させる。
- ② エコラップを吹く。
- ③ 周波数と音階を測定する。

5-3. 結果 2

表 6 切込み面積と周波数 (結果)

	切込み① (cm)	切込み② (cm)	面積 (cm ²)	周波数 (Hz)	聞こえている周波数	音階
①	1.7	0.9	1.5	1204 594	1204 594	D5
②	2.3	0.9	2.1	756 505	505	B4
③	3.4	1.1	3.8	750 192	750	G5
④	3.0	1.0	3.0	307	307	D#

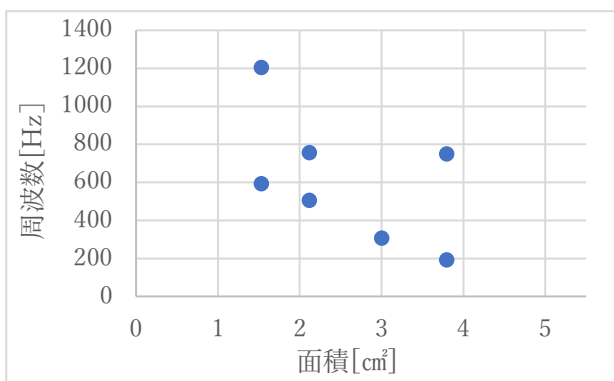


図 5 切込み面積と周波数の関係 (結果)

- ① 仮説と大きく異なった。

- ② 仮説通りの結果となった。
- ③ 仮説と異なった。
- ④ 仮説の倍音が鳴った。

5-4. 考察 2

切込み面積と周波数には負の相関があると考えられる。また、倍音が鳴っているため 2 本の線ができる考えた。

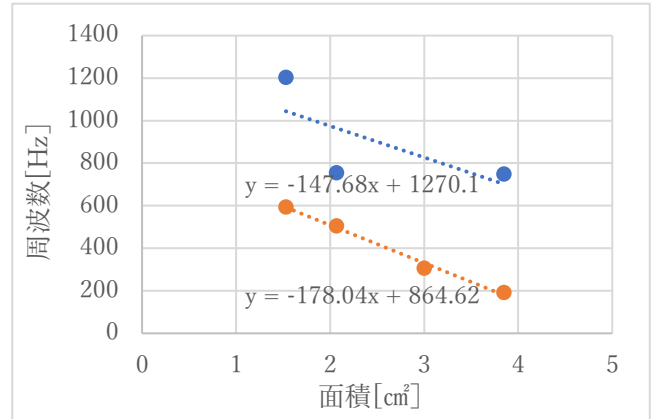


図 6 切込み面積と周波数の関係 (考察)

仮説と結果が異なった理由は、仮説をコップの長さをそろえていない実験 1 から導いたためだと考えられる。

また、今回の結果はハーモニカの原理と同じだと考えた。

〈ハーモニカの原理〉

音が高い→リード部分：薄い，短い
⇒リード部分が軽くなり，振動しやすくなるため周波数が大きくなる。

音が低い→リード部分：厚い，長い
⇒リード部分が重くなり，振動しにくくなるため周波数が小さくなる。

ハーモニカのリード部分がエコラップの切込み部分に相当すると考える。

実験 1 では、最初は切込みの振動部分が硬かったため振動しにくく、周波数も小さい音が鳴ったと考えられる。

6. 展望

- ① 人が吹くためエコラップ内の音速は理論値とは異なるという仮説を検証する。
- ② 何もしない状態で C の音が鳴るようにする。
- ③ 音の高さを、ピストンを押すことで切り込みの面積を変え、音の高さを変える。
- ④ データの数が少ないため増やしていく。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり物理科の先生方には、終始適切なお指導をいただきました。心から感謝いたします。

8. 参考文献

- ・おもちゃおじさん “エコラップ・プラッパ n” .Goo ブログ

<https://blog.goone.jp/shun2cb/e/0630287737bf9bba23c9f7e527c816e1>

(2023年6月20日最終閲覧)

- ・tomari のホームページ,

<https://www.tomari.org/main/java/oto.html>

(2023年12月20日最終閲覧)