

エコラッパに音階をつける

3617 高田栞那 3520 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周波数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。

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。(表1)



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	C4#
293.665	レ4	D4
311.127	レ#4	D4#
329.628	ミ4	E4
349.228	ファ4	F4
369.994	ファ#4	F4#
391.995	ソ4	G4
415.305	ソ#4	G4#
440.000	ラ4	A4
466.164	ラ#4	A4#
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切り込みの振動数が大き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

プラコップを気柱として考えコップの長さを変化させた。

4-1. 仮説1

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

表2 コップの長さとの周波数の関係 (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 コップの長さとの周波数の関係 (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	1111

(27°C $v=3.5 \times 10^2 \text{m/s}$)

コップの長さによって周波数が変化し、一つのコップから二つの周波数が測定されたコップもあった。

- ① コップの長さ 9.8cm での音の周波数は 482Hz で、この音の波長は $v=f\lambda$ より 72cm である。したがって基本振動の場合はコップの中で 1/4 波長の波が生じるため、コップの長さは 18cm 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、8.2cm 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

一つのコップから二つの周波数が測定されたのは倍音があるからだと考えられる。

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。切込み面積と周波数の関係をグラフに表すと表 4、図 4 となった。

表 4 切込みの面積と周波数の関係 (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	—	G4
2.3	0.9	2.1	982 510	982	B5

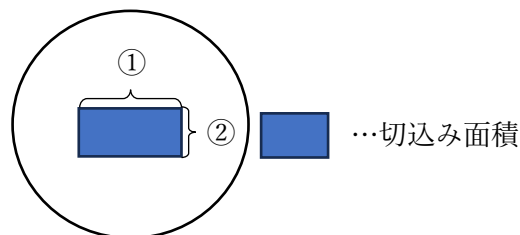


図 3 コップの切込み面積

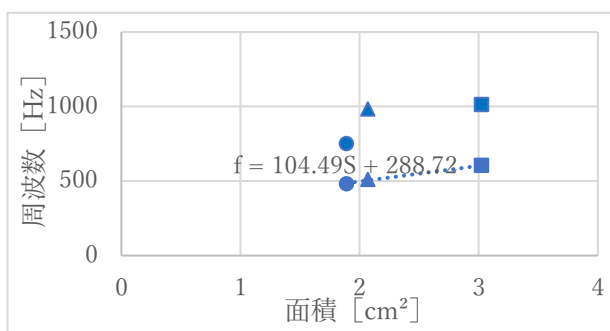


図 4 切込み面積と周波数の関係 (結果)

各コップの一番小さい周波数の音に着目すると、面積と周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周波数の関係を明らかにするため、より多くのデータを集める。

5-1. 仮説 2

実験 2 の結果より、 $f = 104S + 289$

(f [Hz] : 振動数、 S [m²] : 面積)

になると考えられる。

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。
(コップの長さはすべて 11.5cm)
- ② エコラップを吹く。
- ③ 音階を測定する。

実験 1 では倍音の周波数が測定され、二つの関係式を立てることができた。より簡潔にするため、測定された音階に対応する周波数を記録する。より近い値を出すために音階に加え、基準より高かったら「+」、低かったら「-」とした。また、「±」の場合、周波数は 1 番近い音と平均した値にした。

例) A+ 453.1 [Hz]

$$(A + A\#) \div 2$$

$$(440.000 + 466.164) \div 2 = 453.082$$

5-3. 結果 2

表 5 切込み面積と周波数 (結果)

コップ番号	切込み① (cm)	切込み② (cm)	面積 (cm ²)	周波数 (Hz)	音階
1'	1.7	0.9	1.5	605	D5#-
2'	2.3	0.9	2.1	509	C5-
3'	2.5	1.0	2.5	330	E4
4'	2.7	1.0	2.7	381	G4-
5'	2.7	1.0	2.7	428	G4#+
6'	2.7	1.0	2.7	428	A4-
7'	3.0	1.0	3.0	320	E4-
8'	3.2	1.0	3.2	320	D4#-
9'	3.2	1.0	3.2	285	C4#+
10'	3.5	1.1	3.8	247	B3
11'	2.5	1.0	2.5	428	A4-
12'	2.6	1.0	2.6	404	G4+
13'	2.3	1.0	2.3	453	B4b-
14'	1.7	1.0	1.7	605	D5+
15'	2.0	1.0	2.0	509	B4+

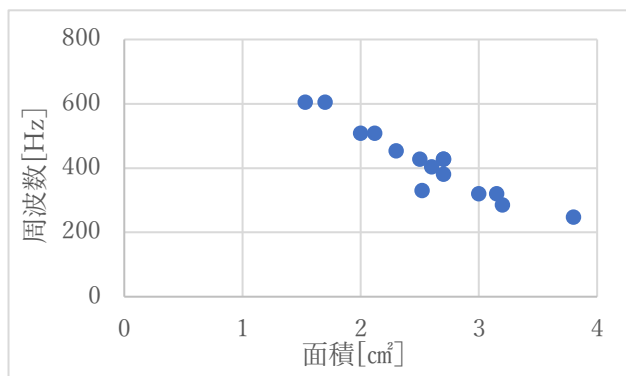


図 5 切込み面積と周波数の関係 (結果)

仮説の $f = 104S + 289$ と大きく異なった。

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。

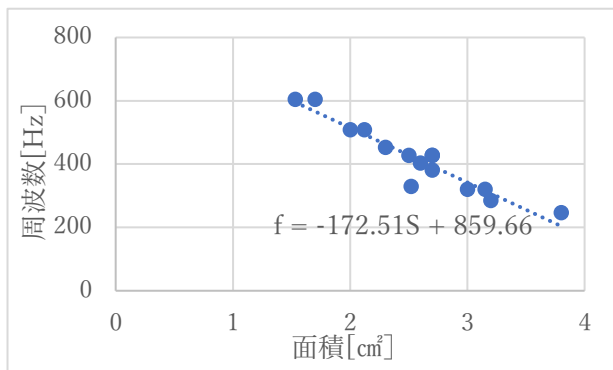


図 6 切込み面積と周波数の関係 (考察)

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。結果から切込み面積と周波数には次の関係式が成り立つと考えられる。

$$f = -173S + 860$$

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. 実験3

コップの切込み面積をそろえた場合のコップの長さや周波数の関係を調べる。

6-1. 仮説3

$v=f\lambda$ 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と考えられる。

6-2. 実験方法3

- ① 初めの状態で同じ音が鳴るように切り込みの長さを調節した。(すべて E が鳴るようにした)
- ② エコラッパを吹き、音階を測定した。
実験2と同様に測定された音階に対応する周波数を記録する。

6-3. 結果3

表6 コップの長さや音階 (結果)

コップの長さ (cm)	切込み ① (cm)	切込み ② (cm)	面積 (cm ²)	音階
9.5	2.5	1.0	2.5	E4
8.5	2.6	1.0	2.6	E4
7.5	2.6	1.0	2.6	E4

コップの長さを変えても同じ音が鳴った。

6-4. 考察3

コップの長さは周波数に影響を与えないと考えられる。

また今回の実験では、最初にコップの切込み面積をすべて 2.5 cm²にしたが、コップによって違う音が鳴った。このことから、切込み面積以外にも周波数に影響を与える要素があると考えられる。

7. 展望

- ① コップの長さを変化させても周波数が変わらなかった理由を突き止める。
- ② コップの切込み面積以外に周波数に影響を与える要素があるか調べる。

③ 1 オクターブ分の音が鳴るエコラッパをそれぞれ作る。

④ 人が吹くためエコラッパ内の音速は理論値とは異なるという仮説を検証する。

⑤ 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。

8. 謝辞

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

9. 参考文献

- ・おもちゃおじさん “エコラッパ・プラッパン”. 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)