

筑波大学

朝永振一郎記念

第 18 回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SE0169

応募部門 : 小学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : 「ボン」の音を究める！

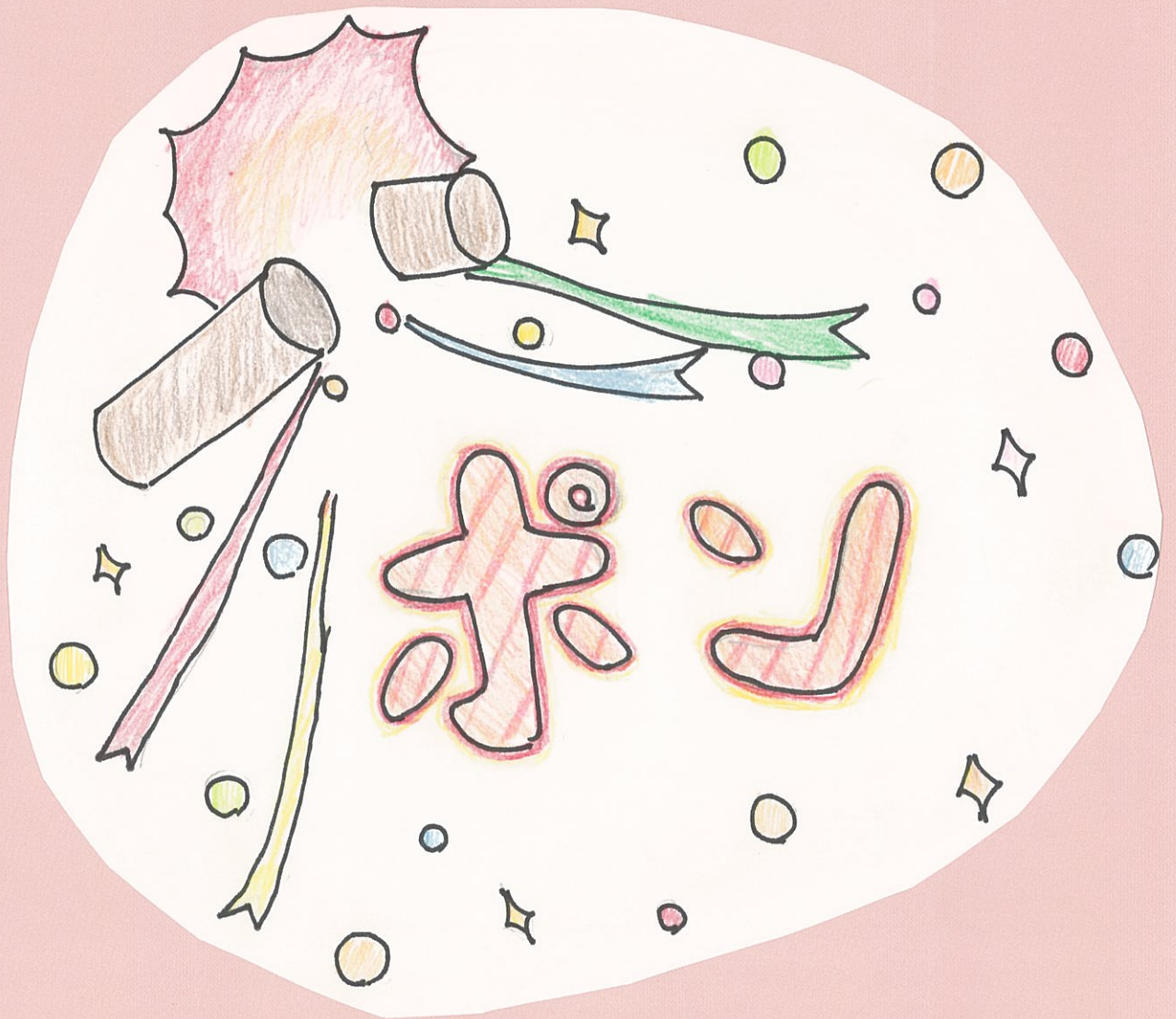
学校名 : 東京都 国立筑波大学付属小学校

学年 : 5 年生

代表者名 : 大友 さやか

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

「ポン」の音を究める！



筑波大学附属小学校
5年 大友さやか

【研究の動機・目的】

私はお菓子のチョコレートが入っている筒を開けた時にする「ポン」といういい音が好きだ。「ポン」という音を聞くために、何度もフタを開け閉めする。

そんななか、どうやったらよりよい「ポン」という音が出るのかを試してみたくなった。

そして家にある賞状を入れる筒も、色鉛筆が入っていた筒も、同じように「ポン」という音が出るけれど、ちょっとずつ音がちがうことに気付いた。

「ポン」と言う音の違い、より理想的な「ポン」という音を出すにはどうしたらよいか？ 今回研究してみることにした。

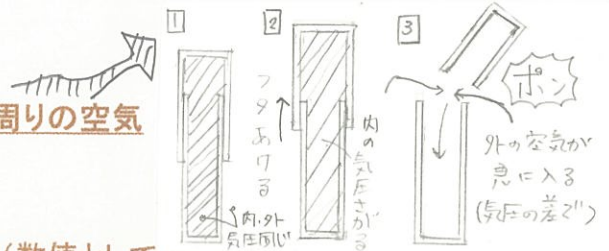


…本で調べてみると…

☆フタを開けた時に「ポン」と音がするのは、フタの周りの空気が容器の中に急に入ることで発生する。

☆音とは空気の圧力変化である。

☆音は「大きさ(数値として測定可、単位dB)」「高さ(数値として測定可、単位Hz)」「音色(数値ではあらわせない)」という3つの要素があって、人間は耳と脳で感じ取っているのだそう。



【よい「ポン」音にするために必要だと予想したこと】

☆☆私が思うよい「ポン」音とは☆☆

- ①高い
- ②大きい
- ③響く



これらのために予想したことは、以下の通り。

・筒の形が大きいほど大きな音が出るのでは？

→小さなチョコレートの筒よりも、賞状入れの方が大きい音と感じるから。

・筒の形は、おそらく円柱の形がよいのではないかな？

→今までの経験で他の形(四角い箱など)では良い音がしなかったから。

・素早くフタを開けた方がよいのではないかな？

→空気が早く動くから

・フタや本体を持つ指を少なくした方がよいのではないかな？

→指が何本もあると音が吸収されそうだから

・筒が大きいくて筒が長い方がよいのではないかな？

→より大きな音が出そうだし、響きそう

・フタの底の素材が金属の方が良い音が出るのではないかな？

→家にある市販の賞状入れの筒は、フタの底と本体の底素材が金属で、全て紙でできている筒よりも良い音が出ると感じたため。

・金属製だったり、硬い筒の方が高い音が出るのではないかな？

→金属を叩くと高い音がするから

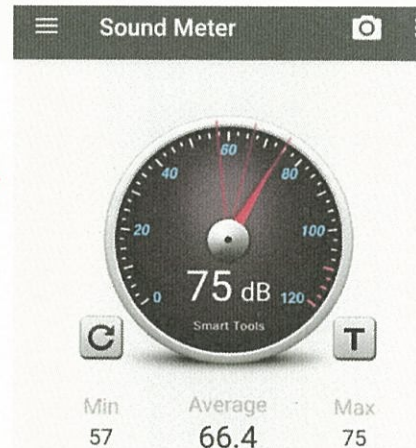
【実験の方法】

＜実験① 家にあるフタつき箱の形で音を調べる＞

家にあった、紙製のフタつき容器(チョコレート筒、色鉛筆入れ、賞状入れ、ピーナツ型のフタつき箱、四角い蓋つき箱)で、それぞれフタを開けるとどのような音が出るかを調べた。それぞれ10回ずつやって平均値を求めた。

◆音の大きさ(dB)を知るために……

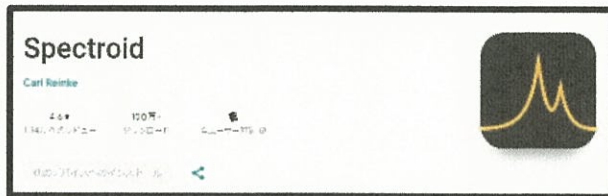
Android スマートホンとアプリ「Sound Meter」を使って測定した。



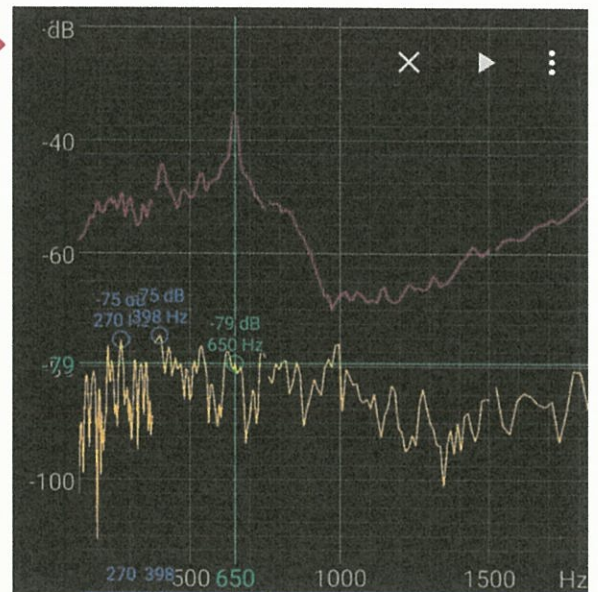
◆音の高さ(Hz)を知るために……

同じくスマートホンとアプリ「Spectroid」を使って測定した。

これは「スペクトラム アナライザ」というもので、高速フーリエ変換(FFT)によるリアルタイム方式と書かれていた。横軸が音の高さ(Hz)で、縦軸が音の大きさ(dB)になる。



↓実際に測定している画面



音の高さの値

「ポン」という音は複雑な波形(音叉のような単一の振動数ではない)をしめすので、一番波が高い部分(音が大きい点)の音の高さ(Hz)を代表数値として採用した。

(右のグラフだと、黄色が「ポン」音がしていない今現在(リアルタイム)の波で、赤色が録音した期間(「ポン」音を出した期間)の最高値の波である。

右の波形でいうと、一番波が高い=音が大きい時は、650Hzの音の高さとなり、これを「ポン」音の高さとした。

＜実験② フタを開けるスピードは音に影響するのか＞

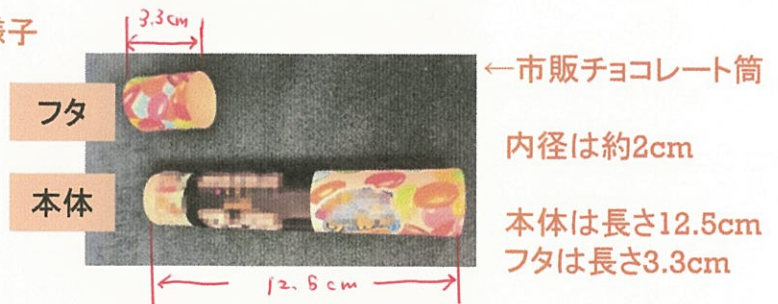
市販チョコレートの筒を使って、開ける秒数を1秒、2秒、3秒と変えて音の高さ、音の大きさを比較してみた。それぞれ10回ずつの平均値を求めた。

開けるときは、その秒数のなかでできるだけ同じスピードになるようにした。(人力)一定のスピードで引っ張る装置が作れたらよかったが難しかったため人力とした。

<実験③ フタを持つ指の本数によって音は吸収されるのか？>

市販チョコレートの筒で本体とフタを持つ指の本数を、フタ4本+本体5本、フタ3本+本体4本、……と変えていって、音の大きさや高さに変化があるかをみた。それぞれ10回ずつの平均値を求めた。

↓ フタは指2本、本体は指3本の様子



<実験④ 筒の長さで音は変わるのか？>

市販チョコレートの筒を切って筒本体の長さを1cmごとに短くしていく。それぞれの長さで音の大きさ、高さが変わるか、10回平均値を調べる。



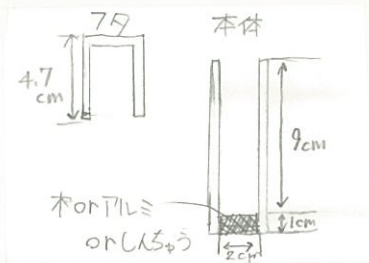
←筒本体の長さを変えていったもの
(フタの長さは変えていない)

一番右が筒本体の長さ 12.5cm(切っていない)
その隣が、11.5cm, 10.5cm, …, 5.5cm(一番右)

<実験⑤ 筒の底の素材は音に影響を与えるのか？>

紙を使って自分で以下の大きさの筒を作る。

底の素材を、同じ厚みの木、アルミ、真鍮と変えて、それぞれで音が変わるかを調べる。

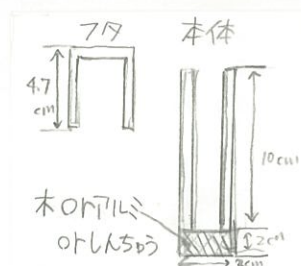


←フタの長さ 4.7cm、本体の長さ9cm、底径約2cm

本体の底に、厚さ1cm・直径2cmのアルミ、真鍮、木を
各々つけ、セロハンテープで隙間がないようにした。

<実験⑥ 筒の素材は、紙ではなく金属の方がよいのか？>

同じ長さの筒を紙、アルミ、真鍮で作って、音が素材によって違ってくるのかを調べる。



←フタは長さ 4.7cm、底径約2cm、全て紙製

本体の長さ10cm、底径約2cmのアルミ、真鍮、紙で、
底には厚さ2cm・直径2cmのアルミ、真鍮、木をつけ、セロ
ハンテープで隙間がないようにした。

【実験の結果】

＜実験① 家にあるフタつき箱（紙製）の形で音を調べる＞



名前 (底の形) ＜高さ＞	①賞状筒 (円) ＜高い＞	②チョコ筒 (円) ＜高い＞	③色鉛筆筒 (円) ＜高い＞	④クッキー箱 (円) ＜低い＞	⑤ピーナツ箱 (ピーナツ) ＜低い＞	⑥お菓子箱 (長方形) ＜低い＞
底の大きさ	直径 4.8cm	直径2cm	直径2.5cm	直径11cm	長径19cm くびれ4.8cm ³	12.5x9cm
本体の高さ (長さ)	34cm	12.5cm	7.5cm	11cm	9cm	5.5cm
音の大きさ 平均値(dB)	79.2	76.8	77.5	73.4	測定不可能	測定不可能
音の高さ (Hz)	234	650	984	745	275? 波形の山が はっきりしな い	586? 波形の山が はっきりしな い
ふたの密着 度	きつい	きつい	きつい	やや緩い	緩い	緩い
音についての 気づき	「ポン」 低い音 よく響く	「ポン」 高い音	「ポン」 高い音	「ポン」 高い音	「ガサツ」とい う小さな音	「スカツ」とい う小さな音

・それぞれの容器で、10回ずつ行ったが、同じ容器で音の大きさはプラスマイナス5くらいの範囲で変化した。音の高さ(ピーク値、Hz)は不変だった。容器ごとに音の高さは決まっているようだ。

・底が丸以外の形では「ポン」音はでなかった。

・ふたが緩い場合は音がほとんど出なかった。

・予想したとおり底が丸い、円柱の形の方が音が大きく出た。

・底の大きさに比べて高さが低い円柱(平べったい物、たとえば上の④)では大きな音が出にくかったため、大きな音を出すにはある程度の筒の高さが必要だと思った。

<実験② フタを開けるスピードは音に影響するのか>

下の表のようにゆっくり開けると音は小さくなった(予想通り)。音の高さあまり変わらなかった。

開ける秒数	1秒	2秒	3秒
音の大きさ 平均値 (dB)	75.5	63.5	58.2
音の高さ (Hz)	650	652.5	657.2

<実験③ フタを持つ指の本数は音に影響するのか>

フタと本体をもつ指の数をそれぞれ変えて測定してみたが、下の表のように、指の本数は音の大きさにも音の高さにも影響しないようだった。
つまり、持つ指に音は吸収されていないと考える。

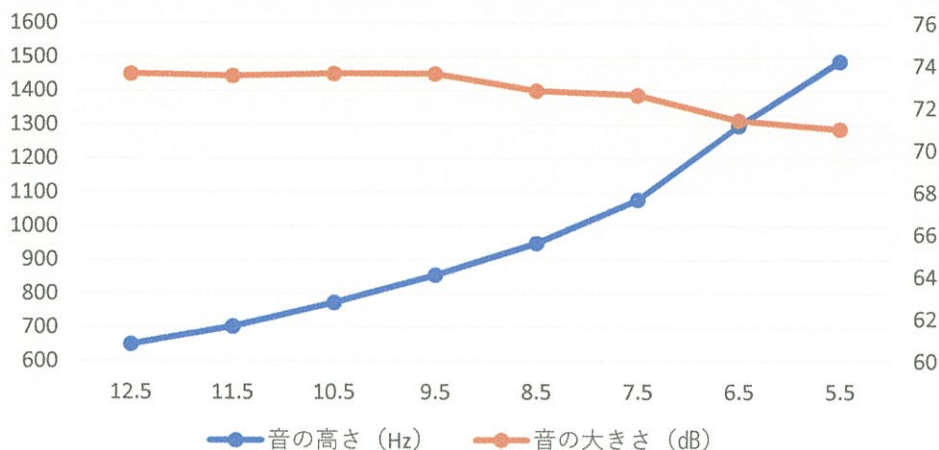
ふたの指本数 本体の指本数 (合計本数)	4 5 (9)	3 4 (7)	2 4 (6)	2 2 (4)	3 3 (6)
音の大きさ 平均値 (dB)	73.8	74.0	72.5	74.6	73.4
音の高さ (Hz)	650	650	650	650	650

<実験④ 筒本体の長さで音は変わるのか?>

下のように、筒本体の長さを短くすると音の高さはどんどん高くなった。
また音の大きさはやや小さくなる傾向にあった。

10回ずつやったが、音の高さのピーク値は10回ともほぼ変化せず、やはり筒の長さで音の高さは決まるようだった。一方、音の大きさは、2~4dB程度は変化した。

筒本体の長さを変えた時の音の高さ・大きさ

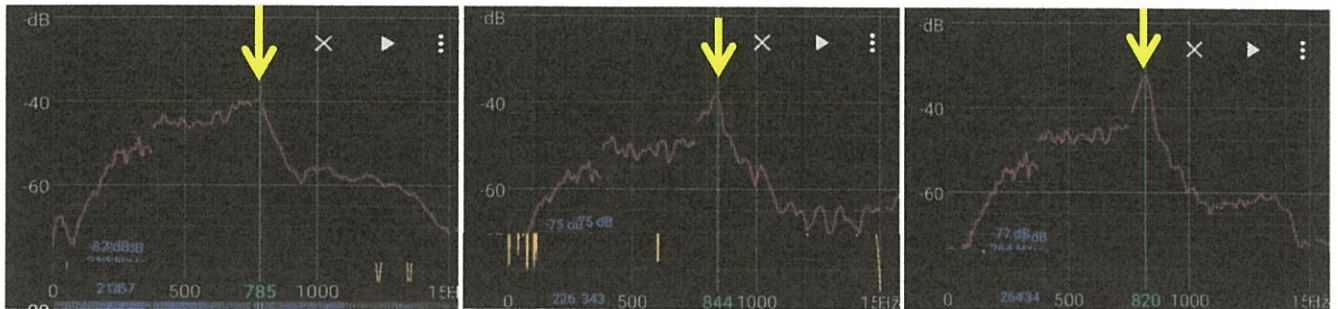


<実験⑤ 筒底の素材で音は変わるのか？>

右の表の様に、底の素材を比較的柔らかいものから硬いもの変えてみても、「ポン」音の高さと大きさには影響はなく、ほぼ一定だった。

	木	アルミ	真鍮
音の高さ(Hz)	902	902	902
音の大きさ(dB)	69.0	71.8	71.7

<実験⑥ 筒の素材は、紙ではなく金属の方がよいのか？>



	紙	アルミ	真鍮
音の高さ(Hz)	785	820	820
スペクトルアナライザでの波の形(赤線の波)	山がなだらか705Hzがとびぬけて音が大きいわけではなく、その前後の音の高さでも大きい音が出ている。	山がとがっている820Hzでとびぬけて音が大きい	山が一番とがっている820Hzでとびぬけて音が大きい
音の響き	響かないと感じた	響くと感じた	一番よく響き、一番聞きやすい音だと感じた
音の大きさ(dB)	75.6	75.8	75.4

・筒の素材が紙(柔らかい)のときよりも、金属(硬い)ときの方が、より高い「ポン」音が出ていた。

・金属の方が、紙よりも音が大きいと感じたが、数値で見るとほとんど差はなかった。

・アナライザの波形を見ると、金属の筒のほうが波形の山がとがっていたが、紙の筒は波形はなだらかだった。

→つまり紙の筒は、785Hz前後のやや広い音の高さで「ポン」音が出ていたのに対して、金属ではほぼ820Hzの狭い音の高さでできた「ポン」音だった。

そのため私の耳では金属の方が大きく聞こえたのかなと思った。

・アルミと真鍮では、真鍮の方がより響く「ポン」音だと感じたが、波形で響きを出すようなその違いは分からなかった。

【ここまでの考察と新たな疑問】

◎「ポン」の音が大きいためには、

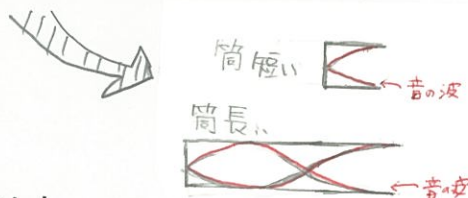
蓋つき容器の形は、筒状(底面が小さく、高さが長い円柱状)が一番良い。
また四角よりも丸形のほうが音は出やすい。(フタがきつく閉まりやすいからだと思う)
→リコーダーや木琴、パイプオルガンといった楽器も細長い円柱状だから、この形が音を出すのには適しているのだと思う。

フタを引っ張る速さが速いほど、大きな音がでる。
→筒の中に勢いよく外の空気が入り込むからだと思う



◎筒のフタを開けた時のポンの音の高さは、筒本体が短いほど高い音が出る。

→ 本で調べてみると、これは「閉管での気柱の共鳴」という現象のようだ。
つまり、片方が閉じた筒では音の波(横波で表現)は以下の様になっていて、
管が長いほど音の波は間延びして低くなり、
管が短いほど音の波は高くなる



◎筒素材による音の違いを調べてみると、
底の素材を変えただけではあまり変化はなかったが、
筒の素材をアルミや真鍮変えると音の高さと響きが変化した。

→ 金属の筒の方がより高い音を出せた。
響きはアルミよりも真鍮の方がよいと感じた。

☆☆ ここまでのまとめ ☆☆

容器の形は、円柱状が音が出やすく、筒本体が短い方が高い音が出る！
開ける速さが、速いほど大きな音になる。
筒の素材を金属にすると、紙よりも音が高くなり響きが良くなる。

～ここで新たな疑問～

◎スペクトル・アナライザの波の形で一番波が高いときの音の高さ(Hz)を記録してきた。しかし実際には山は小さいけれど(=音は小さい)、別の音の高さにも山が見えることが多かった。2番目山は、1番目よりも高いところ(Hz)にみえることが多い。

→おそらく1つ目の一番大きい山の波は筒本体で鳴っている音、もう一つの小さい山の波はフタで鳴っている音(小さい)ではないだろうか？



◎私の理想的な「ポン」という音(音が高い／大きい／響く)をチョコレートの筒で工夫する場合、

・素材を金属製(真鍮製)にすれば、響きと大きさは良くなるが・・・真鍮製にするのは難しい
→なぜなら筒入りチョコレート菓子は140円なのに、同じくらいのサイズの真鍮の筒は400円くらいでチョコレートの中身より高価になってしまう。

・筒を短くすれば、音の高さは高くなるが・・・短くするのは厳しい
→なぜなら、チョコレートは普通36個入っているのだから、短くすればチョコレートが入らなくなるから。

→何か解決策はないだろうか？？

リコーダーを思い出した！！

リコーダーは長い筒だが孔が開いていて、孔を開けたり閉じたりすることで高い音も出せる！

→チョコレートの筒も横に小さな孔を開ければ、高い音ができるのではないだろうか？



【追加実験で調べること】

<その1>

筒本体だけでなく、フタ自体も音を出しているのか？

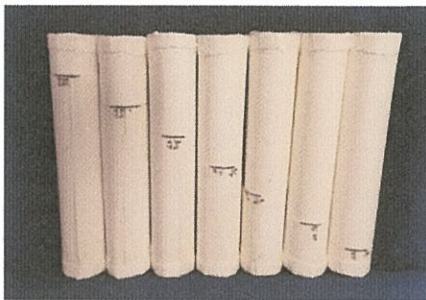
<その2>

チョコレートの筒の側面に穴をあけることで、高い音が出せるか調べる。もし音の高さを変えることができるなら、一番高い音が出る穴の位置を決める。

【追加実験の方法】

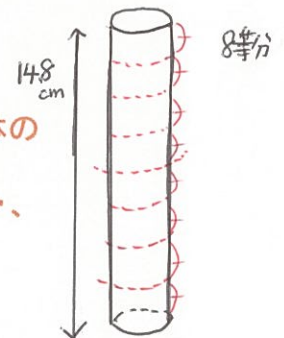
<追加実験① 筒のフタも音を出しているのか？>

フタと本体の長さを一定(14.8cm)として、フタの長さを変えた紙製の筒を手作りし、フタを開けた時に音の大きさや高さが変化するかを調べる。各10回ずつ音を測定する。



←作成した筒

フタの長さは短い方から順に、全体の1/8、2/8、・・・、7/8とした。
(長さとしては、1.8cm、3.6cm、・・・、11.9cmとなった。)



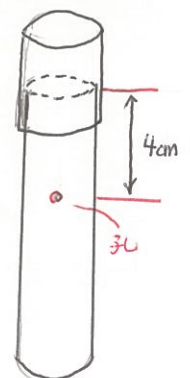
<追加実験② 側面に孔を開けて、高い音を出せるのか>

チョコレートの筒の側面に、上から(フタ方向から)3cm、4cm、5cm、6cm、7cmのところそれぞれ孔をあけた筒を作る。孔の大きさは直径約2~3mmとする。それぞれフタを開けた時に出る「ポン」音の高さを調べ10回平均値を出す。



←側面に穴を開けた様子

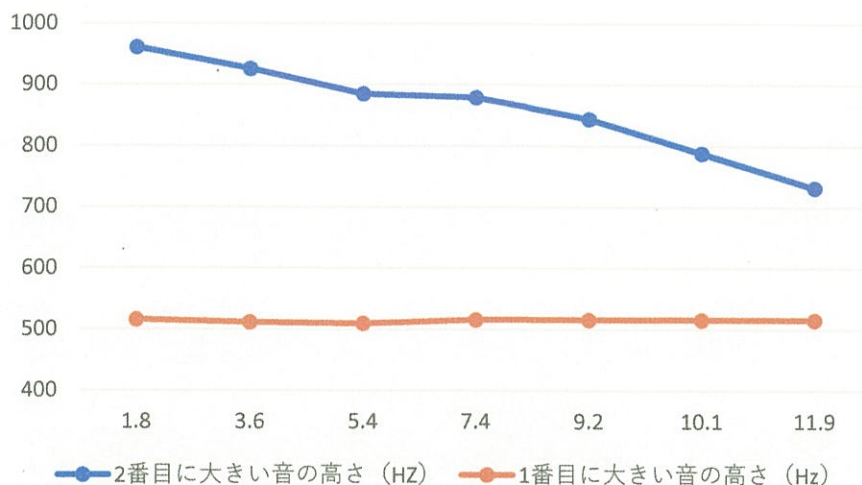
左から順に、本体筒の上端から3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cmの位置に穴を開けた。



【追加実験の結果】

<追加実験① 筒のフタも音をだしているのか？>

フタの長さを変えたときの音の高さ



・筒の長さを同じにしてフタの長さだけを変えていっても、スペクトラムアナライザで見る1番目に音が大きい波は516Hz前後で変わらなかった。

→ 1番目に大きな音は、筒本体に空気が入ったことで生まれる音だと分かった。

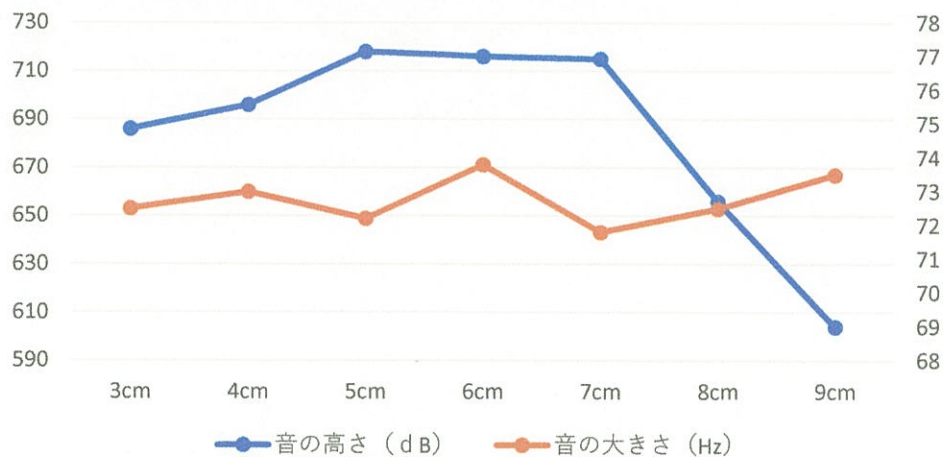
→ 値がやや変わったのは、手作りの筒のため微妙に本体の長さに誤差があったからだと考えた。

・一方で、2番目に音が大きい波の周波数はどんどん低くなった。

→ 2番目に大きい音はフタから出ていると考える！

<追加実験② 側面に孔を開けて高い音を出せるか？>

側面に孔をあけたときの音の高さ・大きさ



・口方向から5~7cmの側面に孔をあけた時、高い音が出た。

・逆に3cmの位置、4cmの位置では音が低くなっていた。

→ フタに近い位置に孔をあければ、どんどん高い音が出ると思っていたが、予想と違う結果だった。

・側面に孔をあける位置で、音の大きさには大きな変化はなかった。

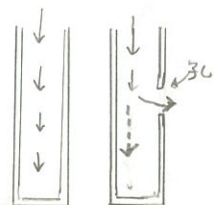
【追加実験の考察】

・筒本体だけでなく、実はフタからも音が出ている。

→圧力の差で筒外側の空気が筒中に入り音が出ているという仕組みを考えると、筒本体だけでなくフタにも空気が入って音が出ていると考える。しかし筒の「ポン」とフタの「ポン」では前者の方が音が大きく、音が出る時間(秒)もあまり変わらないため人の耳では1つの「ポン」音と感じるのだと思った。

・筒の側面に小さな孔をあけると、音の高さを変えることができる。

→孔が開くと、そこに向かう以外の空気の逃げ道ができ、空気の動き方が変わり、音の高さ(波)も変わってしまったのだと考えた。



【全体のまとめ】

☆容器のフタを開けて出る「ポン」という音は・・・

- ・細長い筒状の容器で出やすい
- ・「ポン」音は、筒本体が短いほど高い音になる
- ・素早くフタを開ければ、より大きい音になる傾向あり
- ・筒の底の素材は音に影響しないが、筒本体の素材によって音の高さや響きが変わる。
- ・筒本体だけでなく、フタからも音が小さく出ている
- ・筒本体の側面に孔をあけることで、音の高さを変えることができる



☆私の理想の「ポン」の音(高い／大きい／響く)をチョコレート筒で出すには・・・

- ・高い音のために
側面に小さな孔をあける(筒の口から約5～7cmつまり全長の約半分の位置)
- ・大きい音のために
できる限り素早く一気にフタを開ける
- ・響きのために
紙の筒ではよい響きとなる方法は残念ながら見つからなかった。
もし筒の素材を紙以外に変えてよいのなら、筒を真鍮など金属に変えるとよい。

【感想】

- ・何度も音を測定するのは大変で雑音が入りやり直しすることも多かった。
- ・自分で紙の筒を作っていくのも苦労した。紙なので耐久性がなく、実験を繰り返すとつぶれるので、紙の厚さを工夫して作るのが難しかった。筒の太さが合わず作り直しも多かった。
- ・今回、スマホに専用の無料アプリを使うことで、音の大きさや高さ、波形が見えるのがとても面白く便利だった。厳密な測定ではないけれど、比較するには十分役立ったと思う。
- ・ずっと疑問に思っていた、「ポン」の音を究めることができよかった。一部疑問は残ったけれど、実験や、本で調べたりすることでだいぶんすっきりした。

【参考にした本・サイト】

- 図解入門よくわかる 最新 音楽の仕組みと科学、著者 岩宮眞一郎、発行日 2020年10月5日、発行所 秀和システム
- CDでわかる 音楽の科学、著者 岩宮眞一郎、発行日 2009年10月7日、発行所 ナツメ社
- 音楽知覚認知ハンドブック、監修者 大串健吾ら、発行日 2020年2月20日、発行所 北大路書房
- NHK 高校講座 物理基礎、第25回～29回、<https://www.nhk.or.jp/kokokoza/butsurikiso/>