

NO. _____

DATE _____

工業用ホースを使った音響実験

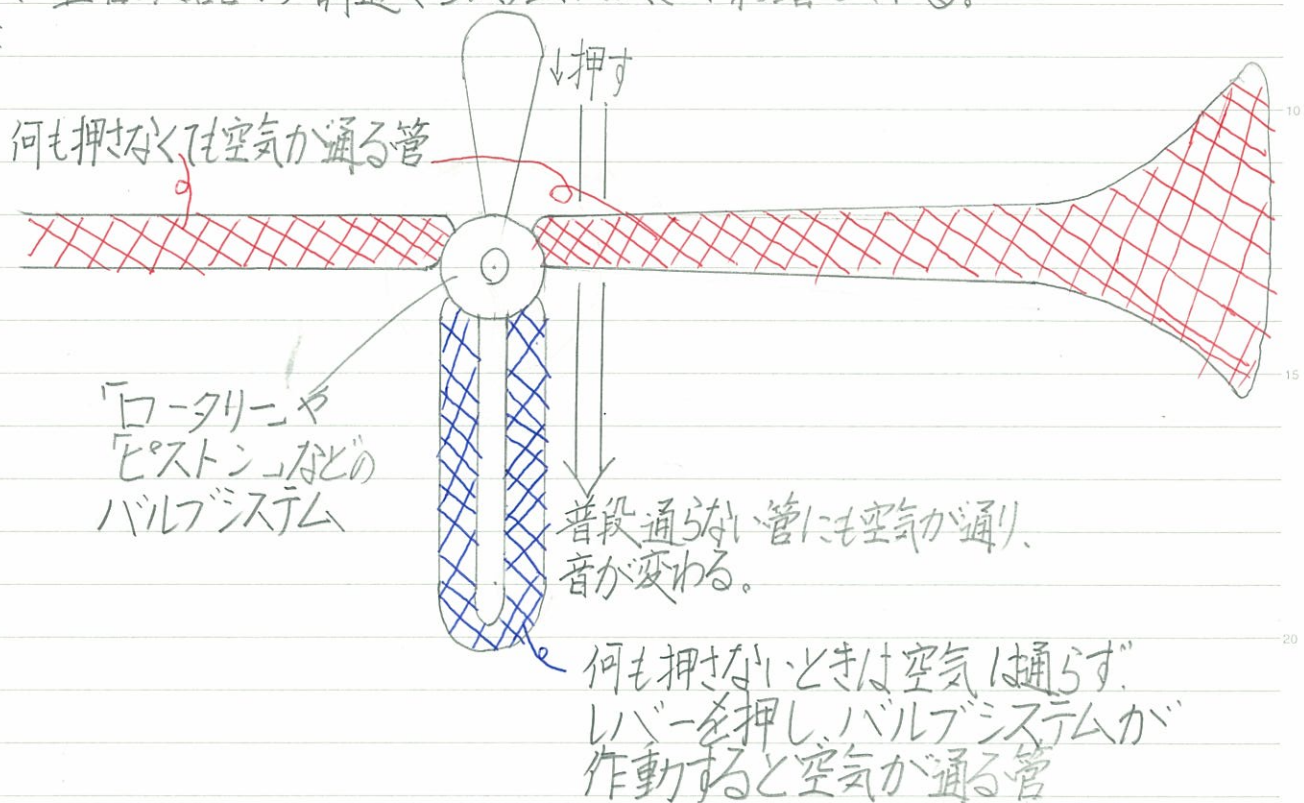
筑波大学附属駒場中学 2年 B組 10番

平井 裕一郎

1.はじめに

僕は筑駒の部活動でフレンチホルンを演奏している。
 金管楽器にフレンチホルンは属しているが、ひとちに金管楽器といっても
 様々な種類がある。起源や歌口(マウスピース)の形状など、多くの方法で
 分類できるが、中でも興味深いのは「in F」「in B \flat 」「in C」といったもので、
 これは、金管楽器の構造やシステムに大きく影響している。

例:



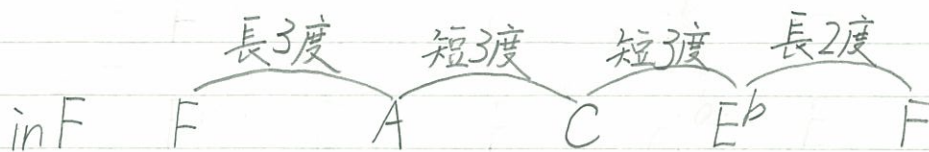
このようにバルブシステムによって管の長さを調節(主に長く)することで、
 金管楽器の音階演奏は可能となっている。

つまり、管の長さが変化しなければ、特定の音程しか発音できないという
 ことで、(原始的な金管楽器(テラリトランペットなど)が好例である)

in F (F管)なら F・A・C・E \flat ・F など

in B \flat (B \flat 管)なら B \flat ・D・F・A \flat ・B \flat などしか出せない。

また、お気づいたろうか。出せる音の間隔が共通していることに。



このことを使えば、出た音から何管か容易に知ることが出来る。

また、トランペットとホルンで管の長さが違うのは明らかであり、これは、トランペットとホルンで担当する音域が違うことによるもので、すなわち、in B^bや in Fといった管の調性による違いとも言える。

以上のことから、管の長さや管の調性の関係について調べ、今後の演奏に役立てられればと思い、今回の実験を行った。

2. 調べた方法

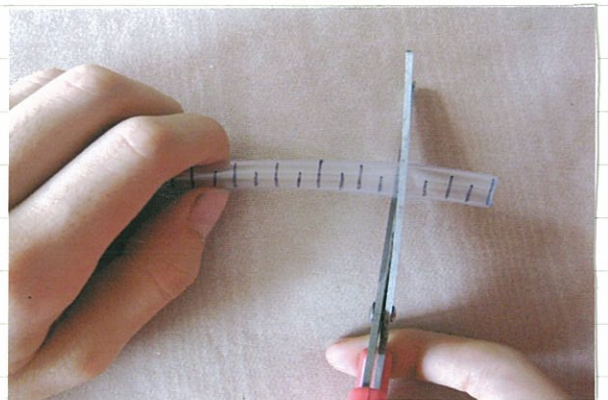
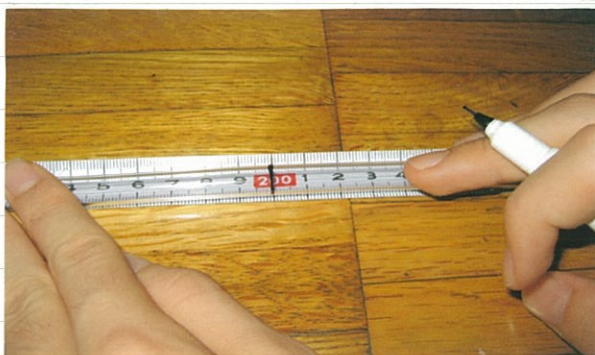
用意したもの



- ・工業用透明ホース (3m)
- ・デジタルチューナー
- ・メジャー (5m)
- ・ホルンの歌口 (マウスピース)
- ・ハサミ
- ・45cm 物差し

方法

長さを調節できる管として工業用ホースを用意し、写真のようにメジャーで50cmおきに印をつけ、その後、物差しで5mmごとに印をつけた。この目盛りに従ってホースを切った。





図のようにホースに歌口を挿し、
実験の間、一定のところから動かさないように
して、管の長さを一定に保つように心がけた。



上の歌口から息を吹きこみ
ホースから出てきた音をチューナー(下の写真)で
調べている様子。

歌口への吹きこみの強さや、その原因の一つ
となる歌口を口につける位置をできるだけ
変えないように、実験中は歌口を口から
離さないようにし、吹きこみの強さが変わら
ないように努めた。

また、室温の変化による影響が出ないように、
空調のきいた部屋の送風が当たらない場所で
実験を行った。



左のチューナーを実験では用いた。
チューナーには高低幅50までずら.5ごとに
目盛りがついている。(単位は*CENT)
つまり、半音1つの間に100CENTの幅がある。

また、今回の実験では標準ピッチの
440ヘルツにチューナーを設定して
測定を行った。

* CENT... A.J.エリス(英)が考案した半音の100分の1の音程。
微小音程を表す単位。

そのとき、ホースが何管なのか調べるために色々な強さで吹いてみたあと、
何管か調べ、

(例) in B^bの場合

B^b B^b F (B^b) D F A^b B^b C D F ...

この音にあたる音を出し、4回の平均を出した。

3. 結果 (管の長さ・出した音・音はどうだったか) 例 300.0 G -30

(300mのときGより30CENT低い音が出た。)

300.0 G -30	279.0 A ^b -20	254.0 A +25	209.0 C [#] -45	175.0 E-10	139.5 A ^b -30
299.0 G -25	278.0 A ^b -15	251.0 B ^b -50	208.0 C [#] -35	174.5 E ± 0	138.5 A ^b -15
298.0 G -20	277.0 A ^b -5	249.0 B ^b -30	207.5 C [#] -15	171.0 E +30	138.0 A ^b -10
297.0 G -10	276.5 A ^b -3.75	248.0 B ^b -20	207.0 C [#] -10	168.0 F-45	137.5 A ^b ± 0
296.0 G -10	276.0 A ^b -2.5	247.0 B ^b -10	206.5 C [#] -5	166.0 F-35	135.0 A ^b +30
295.0 G -5	275.5 A ^b ± 0	246.5 B ^b ± 0	206.0 C [#] ± 0	165.0 F-25	133.0 A ^b +50
294.5 G -5	274.5 A ^b +10	243.5 B ^b +20	203.0 C [#] +15	164.5 F-15	131.0 A-40
294.0 G -5	273.5 A ^b +15	240.5 B ^b +35	200.0 C [#] +45	164.0 F-5	130.0 A-20
293.5 G -2.5	272.5 A ^b +20	237.5 B ^b +45	197.0 D-45	163.5 F ± 0	129.5 A ± 0
293.0 G ± 0	271.5 A ^b +30	235.0 B -45	196.0 D-30	160.5 F+30	
292.0 G +5	270.5 A ^b +40	234.0 B -30	195.0 D-15	157.5 F+50	
291.0 G +17.5	269.5 A ^b +40	233.5 B -20	194.5 D-5	155.5 F [#] -40	
290.0 G +15	268.5 A ^b +45	232.5 B -5	194.0 D ± 0	154.5 F [#] -20	
289.0 G +20	267.5 A -50	232.0 B ± 0	191.0 D +25	154.0 F [#] -5	
288.0 G +20	266.5 A -45	229.0 B +15	188.0 D +40	153.5 F [#] ± 0	
287.0 G +22.5	264.5 A -30	226.0 B +35	186.0 E ^b -50	150.5 F [#] +30	
286.0 G +25	263.5 A -20	223.0 C-45	185.0 E ^b -30	147.5 G-40	
285.0 G +30	262.5 A -10	221.5 C-30	184.5 E ^b -15	146.5 G-15	
284.0 G +35	262.0 A -7.5	220.0 C-15	184.0 E ^b -10	146.0 G-5	
283.0 G +45	261.5 A -5	219.0 C-10	183.5 E ^b ± 0	145.5 G ± 0	
282.0 G +50	261.0 A -2.5	218.5 C ± 0	180.0 E ^b +30	143.5 G+30	
281.0 A ^b -45	260.5 A ± 0	215.0 C+20	177.0 E -50	141.5 A ^b -50	
280.0 A ^b -30	257.0 A +10	212.0 C+35	176.0 E -35	140.5 A ^b -40	

±0 でぴったりになった長さ

G管	293.0 cm	
A ^b 管	275.5 cm	約1.06倍
A管	260.5 cm	約1.05倍
B ^b 管	246.5 cm	約1.06倍
B管	232.0 cm	約1.06倍
C管	218.5 cm	約1.06倍
C [#] 管	206.0 cm	約1.06倍
D管	194.0 cm	約1.06倍
E ^b 管	183.5 cm	約1.05倍
E管	174.5 cm	約1.07倍
F管	163.5 cm	約1.06倍
F [#] 管	153.5 cm	約1.05倍
G管	145.5 cm	約1.06倍
A ^b 管	137.5 cm	約1.06倍
A管	129.5 cm	約1.06倍

おおむねすべての管の長さが半音高い調性の管の約1.06倍となっており、また、1オクターブ高い調性の管の約2倍となっている。

約2倍

約2倍

約2倍

4. 考えたこと

- ① 管の長さはその1オクターブ上の調性の管の2倍になることが分かった。
 ② これに対し管の長さはそれより半音高い調性の管の1.06倍になることが分かった。

この二つの数の関係について考えると、

1オクターブの間には12個の半音があり

$$1.06^{12} = 2.01219647179 \dots \approx 2 \text{ となっている。}$$

- ① のとおり 1オクターブ上の調性の管の長さのちょうど2倍になるなら、
 ② の数字 x は (今回の実験では1.06だが) $x^{12} = 2$ となることになり、

$$x^6 \times x^6 = 2$$

$$x^6 = \sqrt{2}$$

$$x^3 \times x^3 = \sqrt{2}$$

$$x^3 = \sqrt[4]{2}$$

x^3 は4乗すると2になる数と予想される。

漠然とした数字だけでは計算できなかったので、

インターネットで調べたところ、「1オクターブ高い音は周波数が倍になる (株式会社エー・アール・アイのHPより) 」ことが分かった。

これにより、2の12乗根の1.0594... となることも分かった

これは周波数の話だが管の長さにも関係すると思われる。

吹き込む力が一定なのだから、管を振動させるエネルギーは一定であり、

管の長さ (= 重さ) が2倍になれば、振動する回数は半分になると

予想され、振動する回数が半分ということは前述より1オクターブ下

ということになる。つまり管の長さが半分になれば、管の調性は

1オクターブ上がると予想できる。

また、他に考察できたこととして次のようなことがある。

以前から「バルブシステムを2つ以上稼働させると音程が高くなる」という金管楽器奏者の話を聞いたことがあったがよく理由が分からなかった。

しかし、今回の実験をしてみても、管の調性の変化を起こす管の長さには一定の割合があることが分かり、その理由が分かった。

右のホルンのバルブシステムは
左から、F管の調性をそれぞれ、
半音2つ(全音)、半音、半音3つ上げるものと
なっている。

つまり、黒くかかったセクションが作動すると
このホルンはE \flat 管となる。

その上に青くかかったセクションが作動すると
さらに半音3つ下がり、C管となる。はずなの

だが、この青くかかったセクションは
F管を半音3つ上げる管なので、すでに管が
E \flat 管となっている今、E \flat 管を半音3つ下げるには
F管のそれよりも、もっと長さが必要となり、
その必要な分の長さが無いので、
音程が高くなってしまふのである。

今回の研究により、で意外な謎が解けた。



フレンチホルン (in F)

5. 結論

- ・ オクターブ管の調性が低くなると、管の長さは2倍となる。
- ・ これを12等分するので、音が半音下がる時、管の長さは2の12乗根倍(=約1.06倍)になる。

6. 感想

今回の実験を行ってみて、あまり華やかな結果は出ず、インターネットで調べてみると、容易に周波数とオクターブに関する記事を見つけることができ、実験ではないところから裏付けを取ることになってしまい、少し悔しい気持ちはあったが、インターネットなどで調べたものなどではなく、ゼロから始めた実験から、1.06という数字を得ることができたこと、また、実際に管の調性が変化していく様子や、メカニズムに直接触れ、実体験とでき、そのことから、未解決のまま疑問のまま放置していた「音程が高くなる問題」についても、自ずから気付き、考察を立てられたことはとても嬉しく思う。

これから、身近な疑問に対処するとき、とりあえず「実験をしてみることで、様々な思考とリンクし、意外な謎が解けることもある」ということが今回の研究を通して得た教訓であり、最大の収穫と言えるかもしれない。

8. 参考文献

株式会社 エー・アール・アイ ホームページ

(<http://www.ari-web.com/sound/measurement/spl-04.>)

広辞苑 第六版

「セント」