

# 自動吹鳴装置を用いた倍音の研究

小坂田 文乃 尾崎 真生 橋本 一花

本研究では、人工的にマウスピースを吹鳴させる「自動吹鳴装置」を作成し、口の締め付け・唇の弾力・吹き込む息の圧力に着目していい音（整数次倍音を多く含む音）を出すための条件を追求した。

## 1. 問題提起・研究目的

私たちは吹奏楽部に所属しており、日々いい音を追求している。しかし、いい音を出すための条件（息の圧力、口の締め付けなど）は、数値として科学的に示されていない。そのため、実験を通して「いい音」を科学的な視点から観察・分析し、「いい音」の構成において重要とされる「倍音」を多く含む音を鳴らす条件を見つけ出すことにした。

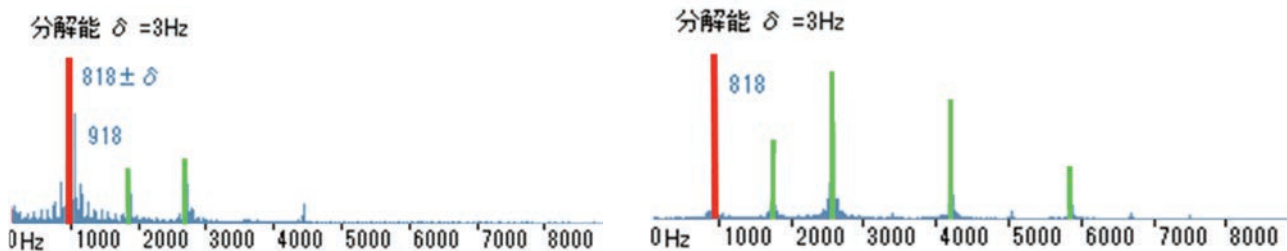
## 2. 研究方法

### (1) 倍音の説明

私たちが普段聞いている音は、多くの音が混じりあってできている。例えば、ピアノの「ド」の音を鳴らしたとき、実は「ド」以外の音（「ソ」やもう1つ高い「ド」など）も同時に鳴っている。それらの固有振動のうち、振動数の最も少ない音のことを基音といいそれ以外の音を倍音と言う。

倍音には整数次倍音と非整数次倍音の二つの種類がある。整数次倍音とは基音の整数倍の周波数を持つ音のことをさし、非整数次倍音とは基音の非整数倍の音のことをさしている。非整数次倍音の例としては、雨の音や水の音、犬の鳴き声など音程に表すことのできない音が挙げられる。

今回の研究では、倍音の量を表す際にパワースペクトルを用いる。パワースペクトルとは、縦軸を音圧レベル、横軸を周波数のグラフに音を書き表したものである。下の図では、赤色が基音、緑色が整数次倍音、青色が非整数次倍音を示す。一般的に音楽をする上では倍音は整数次倍音を指すことが多いため、今回の実験では整数次倍音の多い音を鳴らすことを目的とした。よって、以後説明で出てくる倍音という言葉は整数次倍音を指すものとする。



(グラフ1) パワースペクトルの例

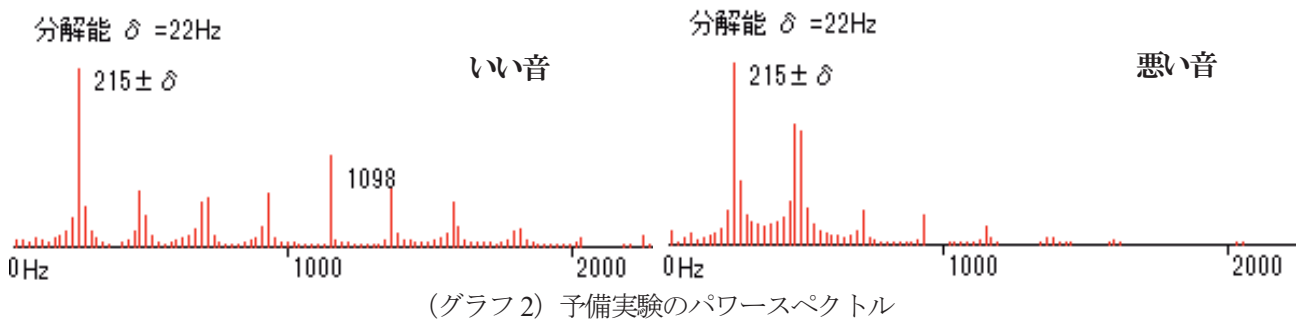
### (2) 予備実験

**目的** 今回の実験の前提である「いい音には倍音が多く含まれている」という通説が本当に正しいのか検証する。

**方法** サクソフォン奏者1人にいい音と悪い音二種類の音を5回ずつ吹いてもらい、その音を計測する。音の善悪は主観で判断するものとする。オシロスコープを用いていい音と悪い音のパワースペクトルを表示する。

**予想** いい音をイメージして吹いたときのほうが倍音が多くなる。

## 結果



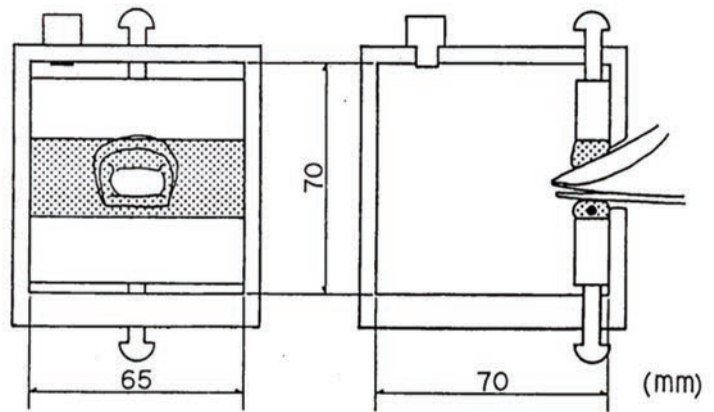
考察 いい音には倍音が多く含まれていることが確認できた。

### (3) 自動吹鳴装置の作成

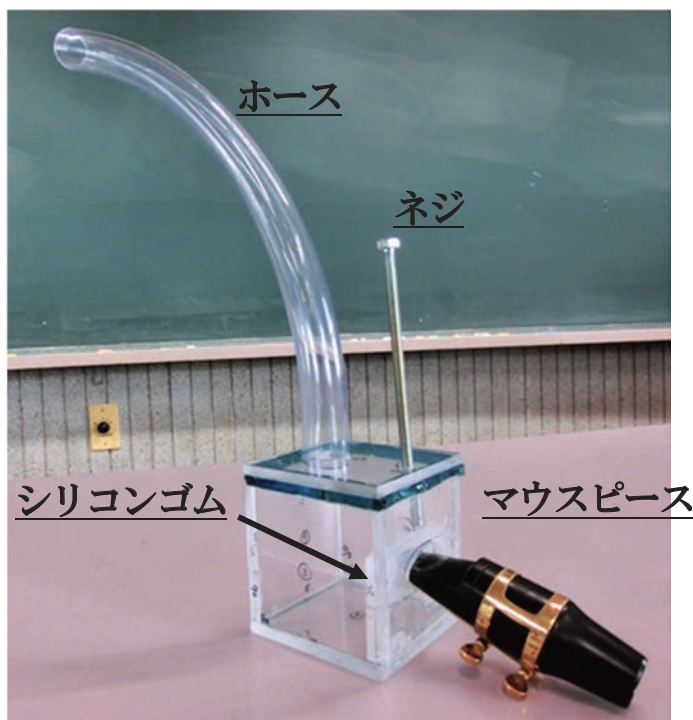
私たちは演奏する際の重要な要素として、①口の締め付け、②唇の弾力、③息の圧力があげられると予想した。人間が演奏したデータを使用すると、これらの条件を一定にすることができず、実験結果に大きな差が生まれる。

そこで、自動吹鳴装置を作成することにした。参考文献(1)「リード木管楽器の人口吹鳴実験」では、井戸川氏と小島氏がリード木管楽器の挙動の科学的解明を目指した人口吹鳴実験を行った。その際に使用していた装置の設計図を参考にした。

使用したものは、ネジ(①口の締め付けを再現)、シリコンゴム(②唇の弾力を再現)、コンプレッサー(③息の圧力を再現)、転倒防止ジェルマット、ホース、アクリルの箱(口の中の空間を再現)、プラスチックリード(硬さ3.0)。



(図1) 参考文献(1)より引用した設計図



※ホースの開口部分からコンプレッサーの空気を送る。

(写真1) 自動吹鳴装置

#### (4) 自動吹鳴装置を用いた吹鳴実験

**目的** 自作した自動吹鳴装置を用いて①口の締め付け ②唇の弾力 ③息の圧力 3つの条件を変化させ、吹鳴が可能かどうか調べる。

**方法** 作成した自動吹鳴装置を用いて条件を変化させ、マウスピースを吹鳴させる。この実験の際、調べる条件以外の条件は統一するものとする。

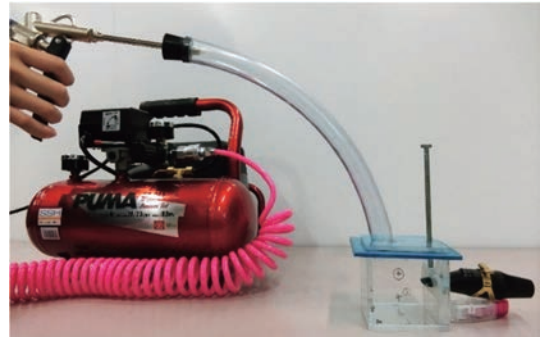
条件① (口の締め付け) : ネジの回転数をネジなし, 0.5 回転, 1 回転, 1.5 回転と変化させる。

※圧力 0.2MPa, シリコンあり。

条件② (唇の弾力) : シリコンの有無を変化 させる。※圧力 0.2MPa, ネジなし。

条件③ (息の圧力) : コンプレッサーの圧力を 0.1~0.8MPa の範囲で 0.1MPa ずつ変化 させる。

※ネジなし, シリコンあり。



(写真2) 実験の様子

**予想** 条件① (口の締め付け) : 締め付けを強くしすぎるとリードミスが起こる。

条件② (唇の弾力) : シリコンがある場合のみ吹鳴可能。

条件③ (息の圧力) : コンプレッサーの圧力が上がると音の大きさは大きくなり、ある一定値を超えると音が割れる。

**結果** 条件① (口の締め付け) : ネジの回転数が 0~2.5 回の間で吹鳴可能。3 回転目以降はリードミスが起こった。

条件② (唇の弾力) : シリコンの有無に関わらず吹鳴可能。

条件③ (息の圧力) : 設定可能なすべての圧力で吹鳴可能。圧力を変化させると音の大きさにも変化がみられた。

**考察** 条件①②についてはネジとシリコンの有無に関わらず音が鳴ったが、ねじとシリコンの有無によって音の違いが生じた。原因として倍音の量の違いがあげられると考え、次に倍音に着目して実験を行う。

#### (5) 条件①②と倍音の関係について調べる実験

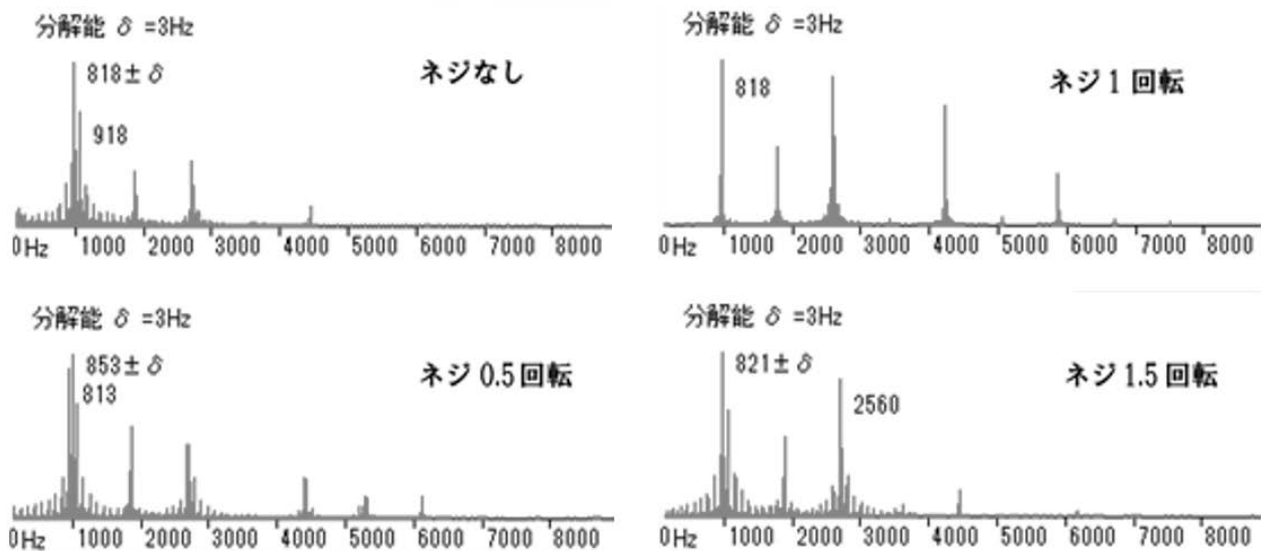
**目的** ネジの締め付け, シリコンの有無による倍音の量の変化を調べる。

**方法** 実験 (4) の条件①②について、上記と同じ方法でマウスピースを吹鳴させる。その音を 3 回ずつオシロスコープで計測し、倍音の量を比較する。条件③の圧力は 0.2MPa で統一する。

**予想** 条件① (口の締め付け) : 適度に締め付けるとき倍音が最も多くなる。締め付けが強すぎる、または弱すぎる場合には倍音の量は少なくなる。

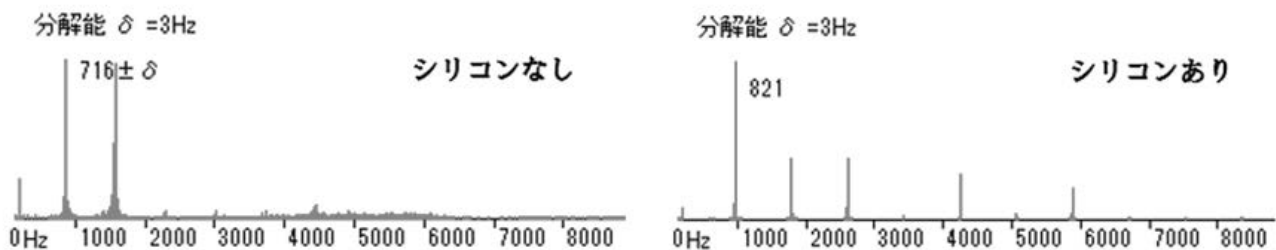
条件② (唇の弾力) : シリコンありの方が倍音の量は多くなる。

## 結果 条件①



(グラフ 3) ネジの回転数を変化させたときのパワースペクトル

## 条件②



(グラフ 4) シリコンの有無を変化させたときのパワースペクトル

ネジの回転数が1回るとき最も倍音が多い。また、シリコンありのほうが倍音が多い。

**考察** ネジで締めつける際の最適な回転数が分かったことから、実際の吹鳴の際にも、これらの回転数で締めつけると倍音の多い音が鳴るのではないかと考えた。実際の吹鳴状況とこの実験をリンクさせるため、今後はネジ1回転分の力を計測したい。

シリコンの実験に関しては、シリコンありの方が倍音が多くなった。これは、実際の吹鳴の際、唇がリードに対するクッションの役割をしており、リードの振動をコントロールしているからだと考えた。

## 3. 結論

テナーサクスを演奏する際には、息の圧力を0.2MPaにしてマウスピースをねじ1回転分の圧力で締め付けることで、倍音の多い音を鳴らすことができる。また、唇の有無に関わらず吹鳴は可能だが、唇を用いたほうが倍音の多い音を鳴らすことが可能である。

## 4. 今後の課題

- ・口の締め付けによる力の大きさを計測する。
- ・より倍音の多い音を出すために、口の締め付け・唇の弾力・息の圧力の3つの条件以外にも重要な条件を探していく。
- ・条件①(口の締め付け)、条件③(息の圧力)について、実際の吹鳴とリンクさせる。
- ・テナーサクス以外のほかの楽器でもいい音を鳴らす条件を調べていく。
- ・自動吹鳴装置については気密性が悪く空気が漏れるなど、問題点があるので改良する。

## 5. 参考文献

- (1) 「リード木管楽器の人工吹鳴実験」 井戸川徹 (埼玉工業大学) 小島時彦 (筑波大学)  
<https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/95370/1/KJ00004736462.pdf>
- (2) 「3D プリンターを用いたクラリネット用リードの研究」 群馬県立藤岡中央高校 F.C.Lab  
<https://www.milive.jp/live/19sobun/ba01/>
- (3) 「『音の良さ』と『良い音の基準』について」 KHUFRUDAMO NOTES-Official Web Site  
<https://khufrudamonotes.com/what-is-good-sound>
- (4) 「倍音とは何か？初心者にもわかるように簡単に解説します。」 月の中の雲  
<https://yuukihruc.com/2017/11/blog-post.html>
- (5) 「パワースペクトル-『音』とはそもそも何だろうか!？」 九州大学附属図書館 岡田昌大  
<https://guides.lib.kyushu-u.ac.jp/c.php?g=846503&p=6051929>
- (6) 「いい音とは何か, というのをまじめに考察する」 Recorded Music Devotee 's Site K.Kojima  
[https://soundevotee.net/blog/2016/06/10/there\\_is\\_no\\_rule\\_for\\_good\\_sound/](https://soundevotee.net/blog/2016/06/10/there_is_no_rule_for_good_sound/)

## 6. 謝辞

この研究を指導して下さった岡田友良先生, 中島昭一先生をはじめ, 高松第一高等学校の先生方に厚く感謝申し上げます。