マイ　フルートを作りたい
～素材によって笛の音は変わるのか～

中学校２年　　鶴谷　菜々恵

マイ フルートを作りたい
～素材によって笛の音は変わるのか～

中学校２年　鶴谷 菜々恵

【動機・背景】

私は中学校から吹奏楽部に入部し、フルートを始めた。その中でどうして筒に息を吹き込んでこんなにきれいな音が出るのだろう、演奏者や楽器の調律によって全く音が違うように感じられるのはどうしてだろうと疑問を持つようになった。それと同時に自分の楽器を持ちたいとも思い始めた。しかしとても中学生の私のお小遣いで買えるような物ではなかったので、私は自分で楽器を作りつつ、その楽器の音を良いものにしていこうと考え、この研究を始めることにした。

【事前調査】

まずフルートはどのように音が鳴っているのか、どのような構造になっているのかを調べる。私が部活動で使っているような本物のフルートは純銀だったり純金だったり、決して身近な材料で素人が簡単に作れるものではないので、竹でできている和製フルート「横笛」を作り、その構造などを調べることにした。

実際に笛作りを教えてくださる先生がいらっしゃると聞き、福井県大野市和泉村の笛資料館（福井県大野市朝日 24－9）に向かった。

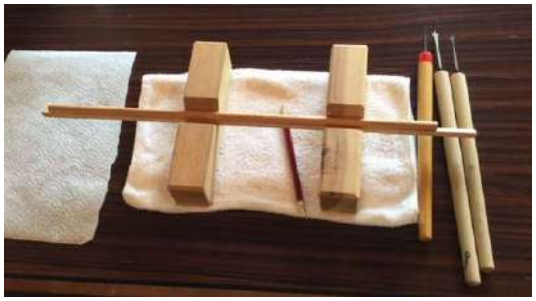
源義平（よしひら）と
里の娘おみつの像

写真=大野市公式ホームページより

●横笛作り●

＜必要な材料・道具＞

・竹（約４３センチ）
・寸法を記した棒
・キリ
・ネズミ歯キリ
（大きな穴をあけるための　　キリのようなもの）
・小刀
・蜜蝋（ミツロウ）
・和紙
・竹を転がらないように固定するもの
・えんぴつ



＜作り方＞

①竹を節が下側になるようにして固定具に置く

②竹に中心線を引く（写真→）

③寸法を示した棒と竹の最後を合わせ、穴のところに
　１つの穴につき３本線を書く

④３本線のうちまんなかの線と中心線が交わったところに
　キリで薄く印をつける

⑤次のページの穴の大きさ（mm）を参考にし、
　ネズミ歯キリで穴をあける
（写真→）

⑥小刀であけた穴を３本線の右と左の線まで広げる
（ここで穴を大きくすることと共に自分の指の腹に
フィットする楕円の穴をつくっていく）
穴の１/４ずつ丁寧に少しずつ削っていく（写真→）

⑦棒の先に紙やすりを付け、棒を穴に差し込み上下して
穴をきれいにしていく

⑧和紙を頭の方に吹き口ぎりぎりまでぎゅうぎゅうに詰め、蜜蝋でふたをする。

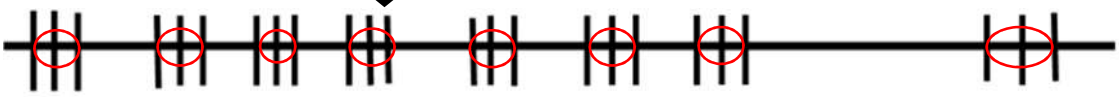
（↓写真）

（写真↓）

曲げた釘を
ガスバーナーで熱して
蜜蝋を溶かしながら
接着してく

⑨完成。（写真↓）

蜜蝋（ミツロウ）…
蜜蜂が作るロウ



6　6　7.5　6　7.5　7.5　7.5　9

この笛づくりで教わった寸法などを本研究の「横笛」とした。（数字=mm）

【先行研究】

インターネットで知らべたところ、素材を変えると音が変わる・変わらないという複数の論文が見つかった。その中から、自分の研究に近いと感じた「ラムネ笛からオリジナル笛を作る　Part１―音を変える要素の検討とその影響の調査―」という研究を参考に進めることにした。この研究は丸い穴の開いた円状のお菓子、ラムネ笛に似た本物の笛を作るための素材や息を吹き込む角度などを検討するもので、結果としては素材は音に影響がないとのことだった。この研究方法を応用しつつ、フルートに関するものとして進めていくことにした。

【仮説 1】素材によって笛の音は変わらない

先行研究でも多くの研究者が「素材が違っても音は変わらない」と結論付けているが、それは本当なのか。福井大学の森幹男先生になぜ音が変わらないのかを聞いたところ、素材が変わっても笛自体の長さと内径が同じなら、笛の中を通る空気「気柱」が同じだから音は変わらない、ということだった。

★気柱…楽器の音が鳴る原因。空気の波のこと。

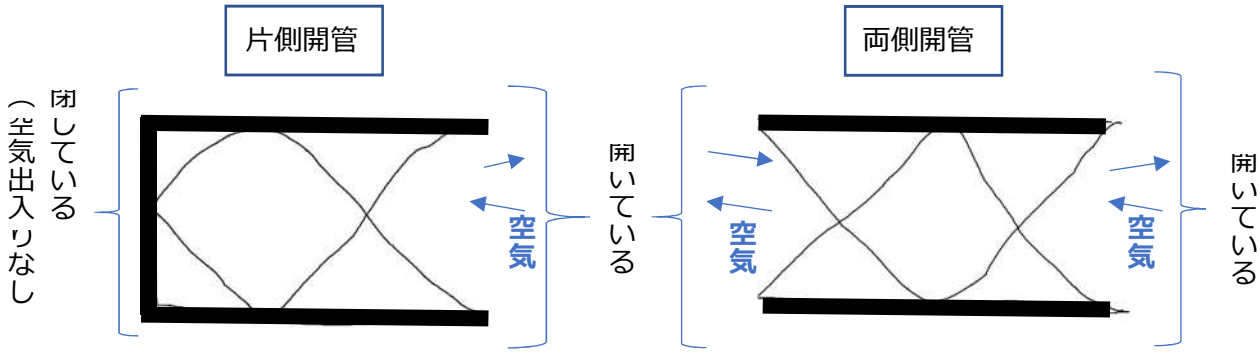
気柱には大きく分けて２種類あり、１つ目は「片側開管」の気柱、２つ目は「両側開管」の気柱。

★片側開管…筒の一方（吹き口）がふさがれていて、筒の一方の先のみが開いている状態のこと。（クラリネットなどのリード楽器があたる）

★両側開管…管のどちらか片方のみふさがれていて、吹き口と一方の筒の先が開いている状態のこと。（フルートはこちらにあたる）

この空気振動で音が決まるため、外の素材が変わったところで笛自体の長さや内径が変わらなければ空気の振動は同じになるから、素材によって音が変わることはない。とのことだった。

片側と両側では空気の波の形が違い、下のようになる。（太い線が筒、細い線が気柱）



【検証】＜方法＞

ホームセンターなどで簡単に手に入る、アクリルパイプ・アルミパイプ・紙筒・塩ビパイプ・竹　の計６種類を比較することにした。

●各素材の特徴などは別紙補足資料（最終ページ）

«各素材で簡易笛作り»

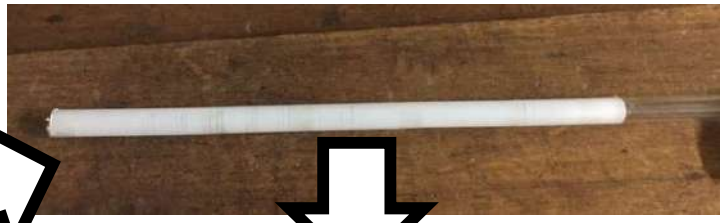
①筒を４３ｃｍに統一してカットする。（上記笛作りの際の長さに統一）

・最初は 100 円ショップで購入したパイプカッターで切ろうと思ったが一本切ってみるととてつもない時間と体力・握力・忍耐力が必要だったため、福井県教育総合研究所サイエンスラボ（福井県坂井市春江町江留緑 8-1）の機材をお借りした。

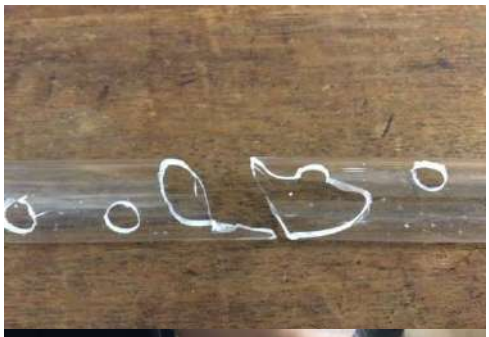
購入したパイプカッター
これを延々と回し続けると
素材が切れる仕組み

②指穴をあけてしまうとその分空気が漏れて誤差が生じてしまう為、吹き口のみを端から４cm の位置に１cm の穴と決めて１か所だけ開ける。

穴を開ける時にずれが生じないようにするため、クッキングシートに線を書き、それを素材に巻き付け、その紙ごと穴をあけた。



アクリルパイプは試作品作成の際に割れてしまったので、
先生からのアドバイスを受け、ビニールテープで補強してから
ゆっくり慎重に穴を開けた。



«各素材の音録り»

①紙の筒が両側をふさがないと音が鳴らなかったため、すべての笛を両側を閉じ、雑音の少ない静かな部屋で録音をする。

②吹き口への空気を一定にする為、ブロワー（空気を送る装置、写真右上）から笛に空気を送り、音が鳴るようにした。

しかし空気がうまく吹き口に入らず音が鳴らなかったので、空気が一定に入るように吹き口にリコーダーの原理を利用したアダプター（ストローで作成、写真右下）を取り付けて音が鳴る度に調整した。

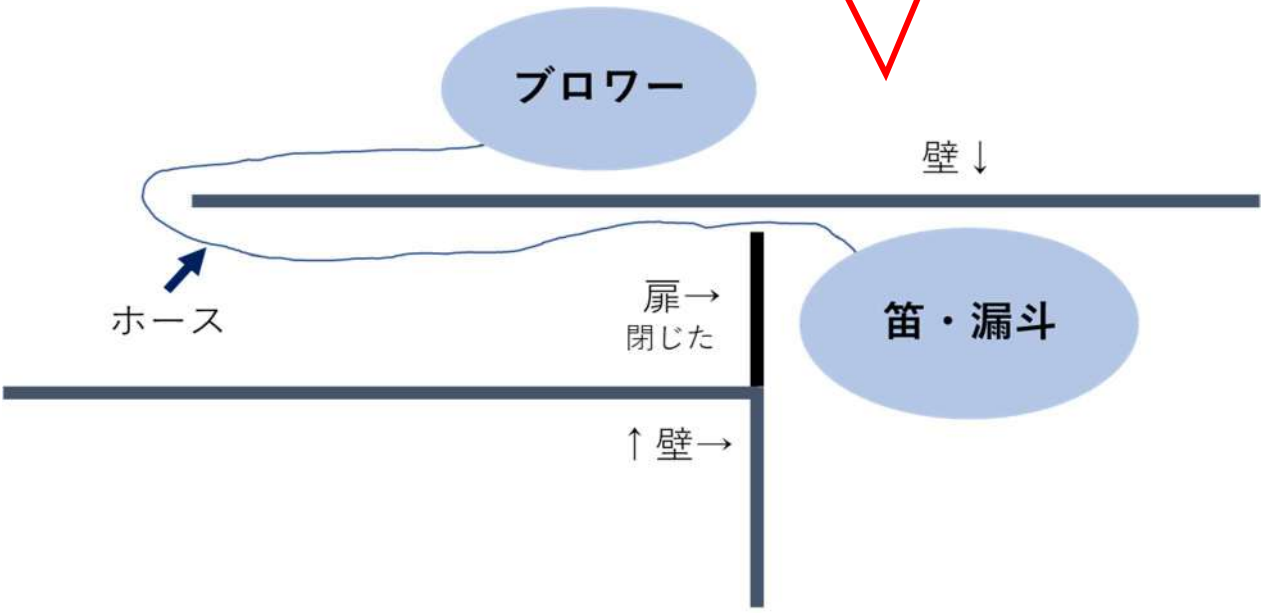
«実験現場図»

②ブロワー→ホース→漏斗（ろうと）
→アダプター→笛→音

①ブロワーからの空気を
ホースに通す

空気の流れ

＊分かりやすいようにテーブルに
置いています

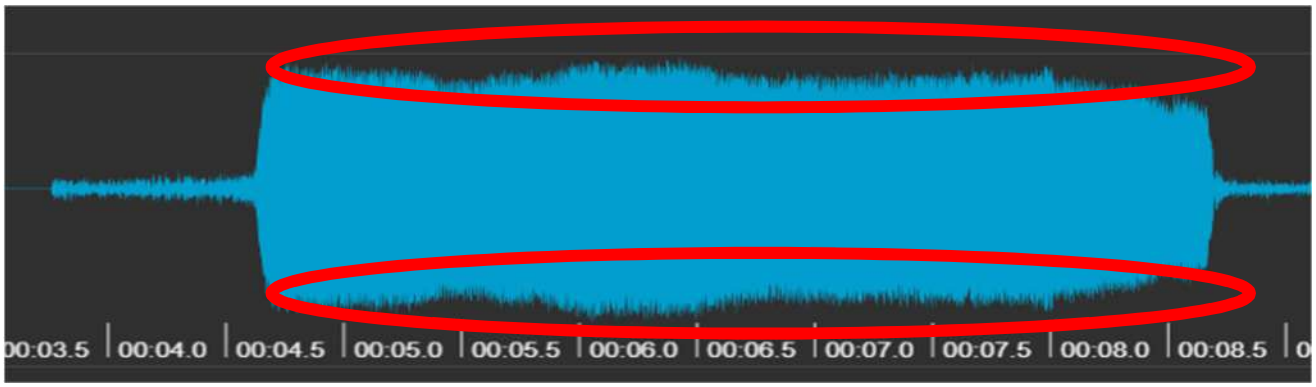


途中で綺麗な音を鳴らすのが非常に難しいと判断した為、ブロワーの音に加え、フルート歴１年、フルート歴４年の人間が吹いたデータも取ることにした。

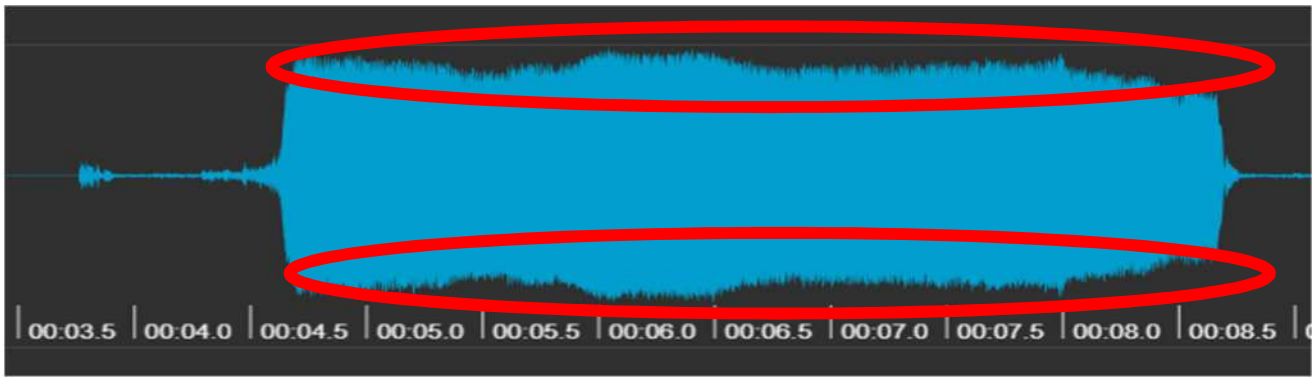
«音を可視化する～ノイズ除去～»

録音した音源からブロワーなどの雑音を消し、笛の音のみを取り出すためにフリーアプリ「MyEdit」を使用。「ウィンドノイズ除去」を使用し、完全ではないがブロワーの音を除去。

＜除去前＞

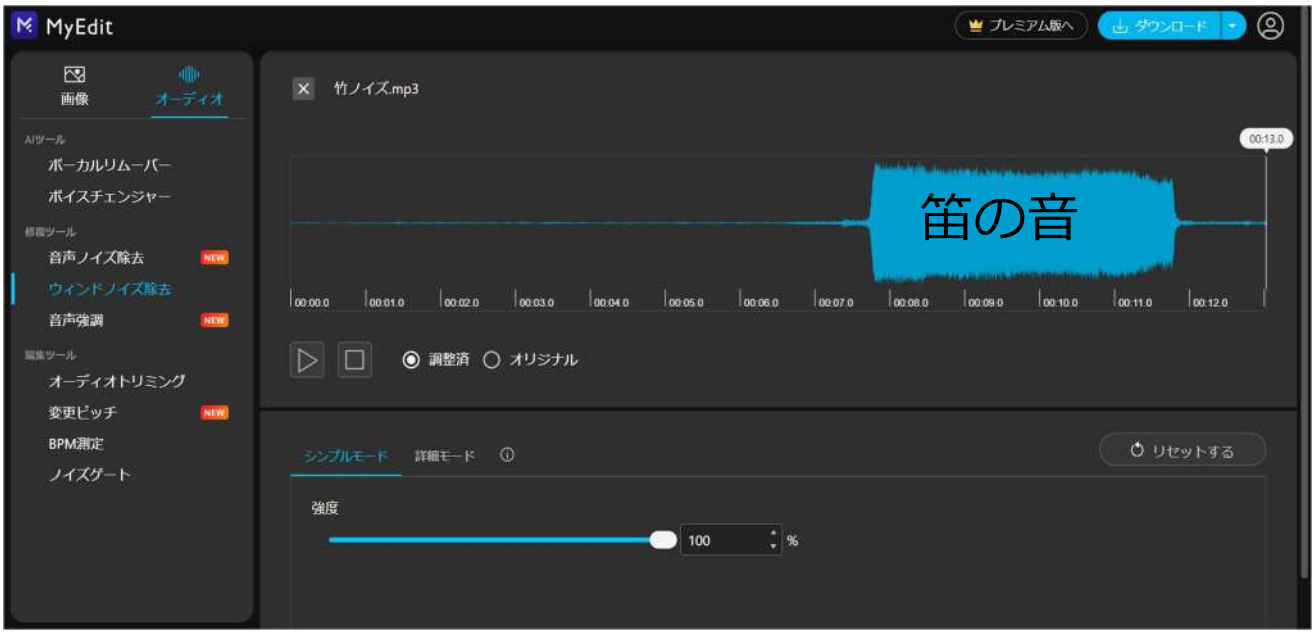


＜除去後＞



細かい荒い波が少しずつだがなくなってきている=ノイズがなくなってきているということ。

↓実際の作業画面

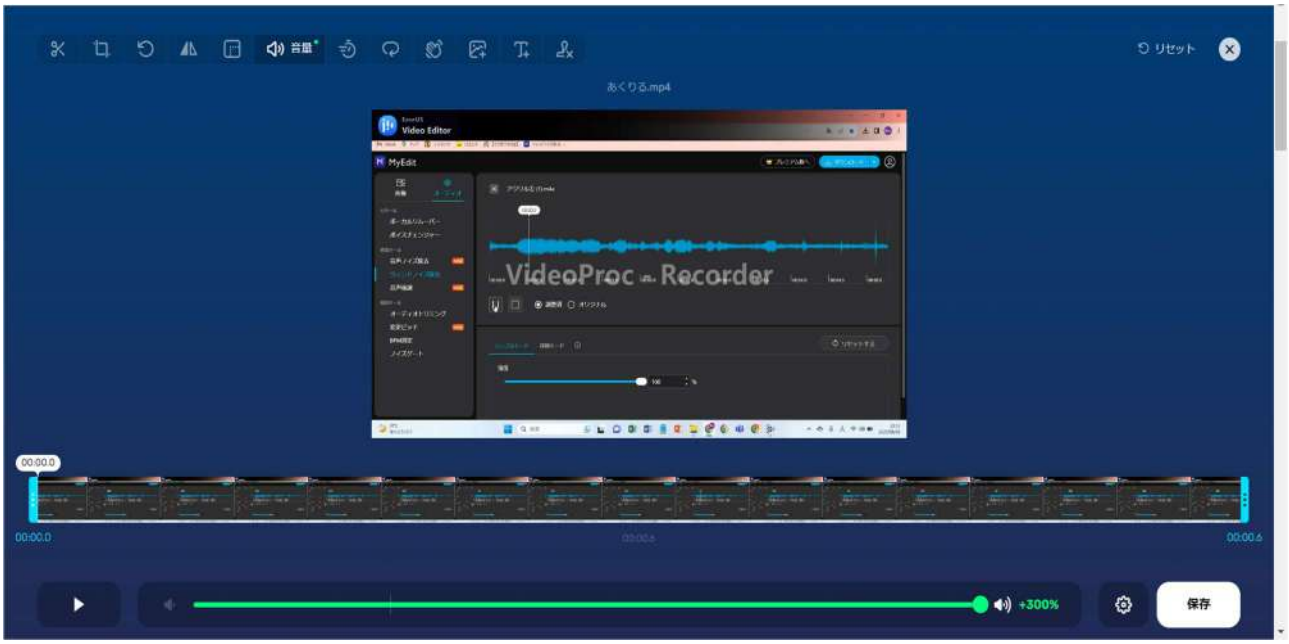


しかしノイズ除去を繰り返すと録音した笛の音まで消えてしまうことがあり非常に困った。

音がクリアにはなったものの音がとても小さくなってしまい、音量を最大にしても解析アプリで波形が現れないほどになってしまった。

そこでデータの音量を上げるためにフリーアプリ「123apps」を使用し、音量を変更した。

↓実際の作業画面



抽出した音源は拡張子がｍｐ４だったが、解析をするフリーアプリ「WaveSpectra」はwavという拡張子の対応のみ。そこで再度フリーアプリ「123apps」のオーディオコンバータを使用し、ｍｐ４をwavに変換した。

実際の画面の様子→

★ｍｐ３とは音声のみのデータ

★ｍｐ４とは映像などより多くのデータ

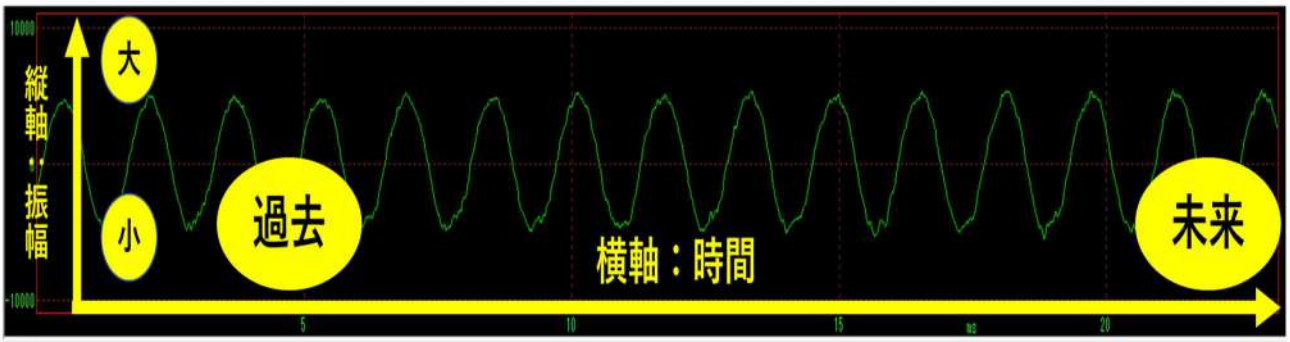
«音を可視化する～FFT 解析～»

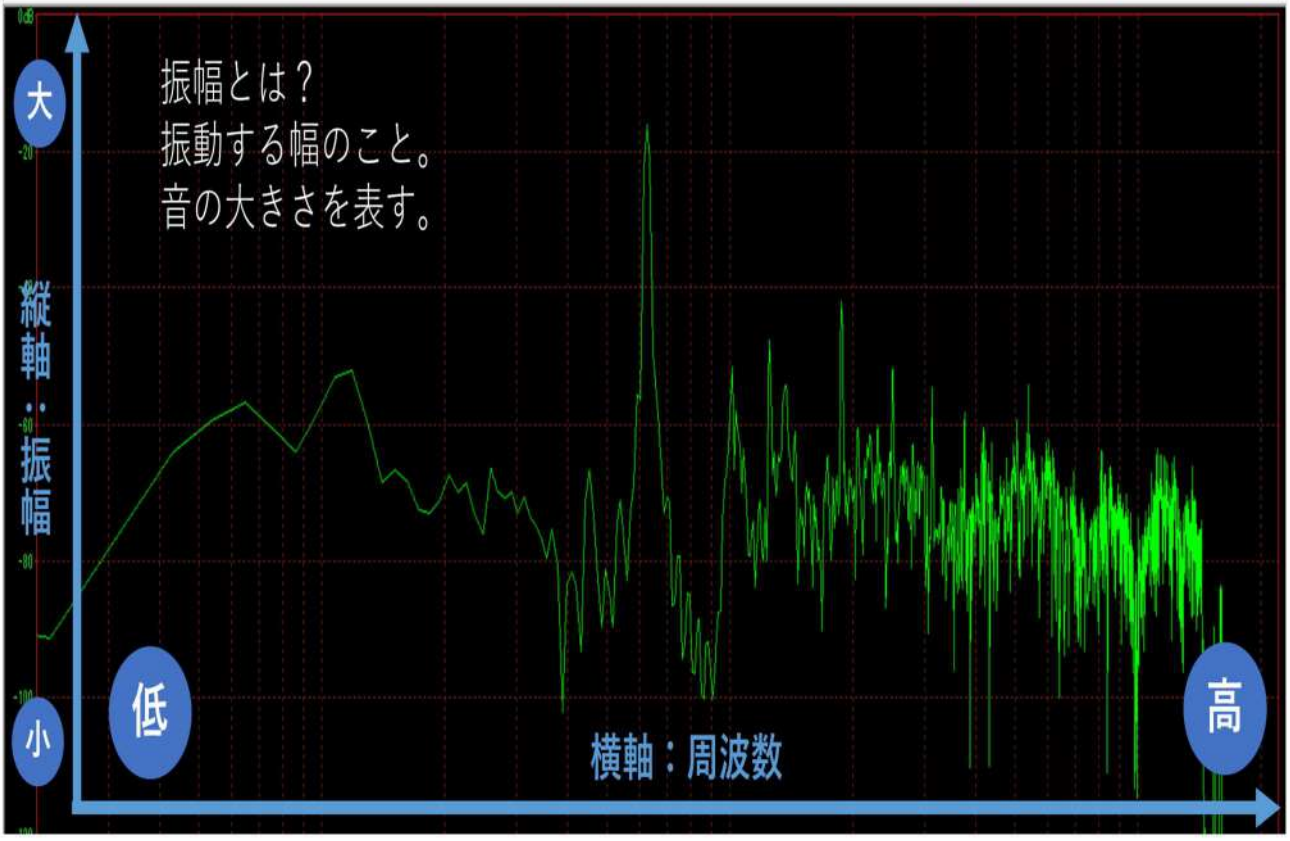
※FFT 解析とは

理科の教科書によく載っている音の波（黄色のグラフ上部）は縦軸が振幅（音の大きさ）、横軸が時間を表し、時間の経過と共に音がどうなっているのかを見ることができる。

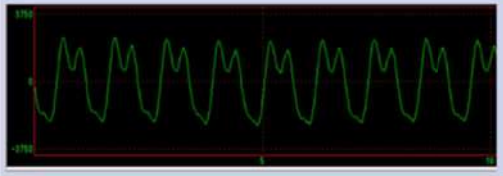
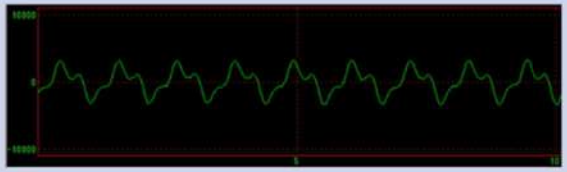
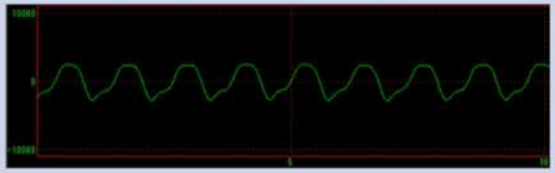
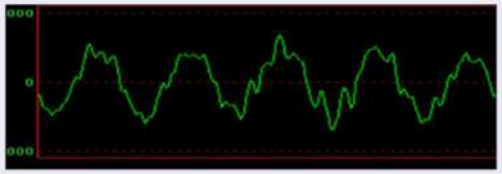
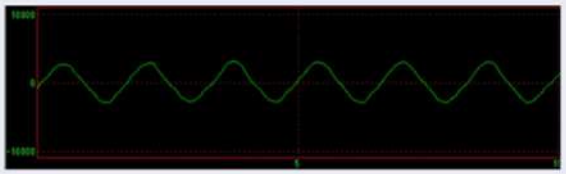
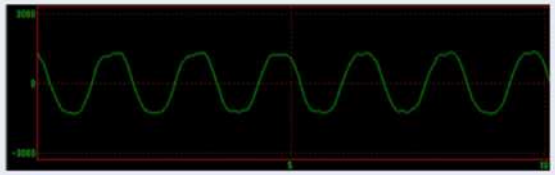
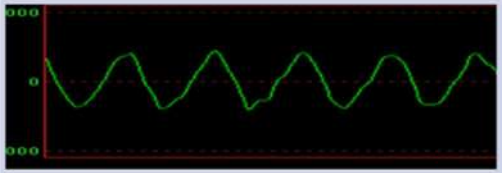
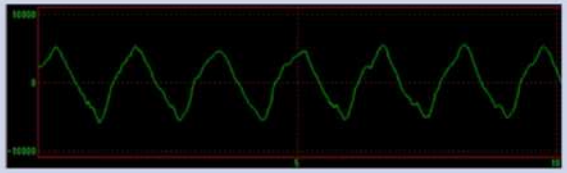
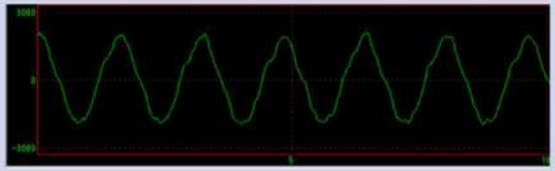
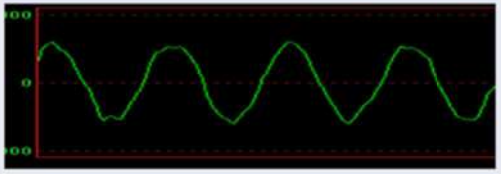
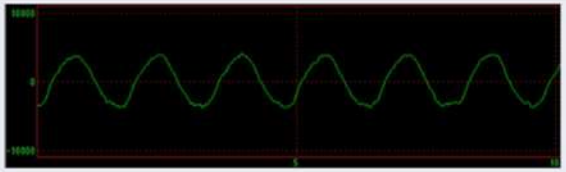
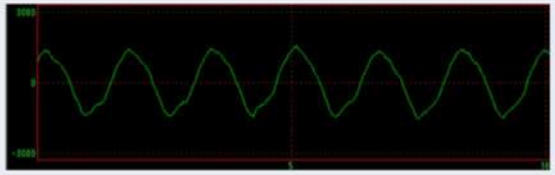
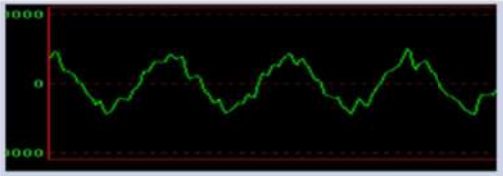
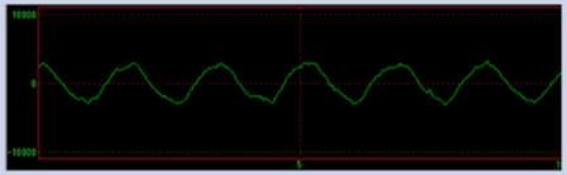
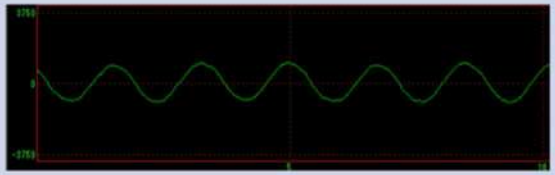
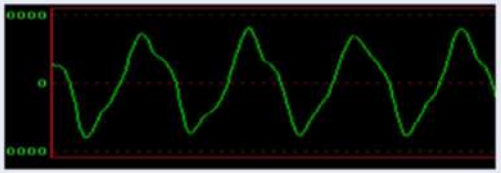
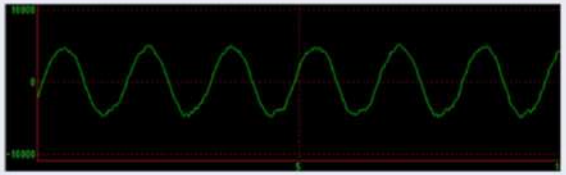
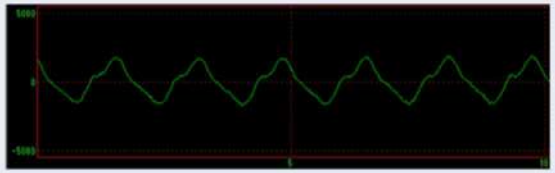
FFT 解析（青色のグラフ下部）をすると縦軸が振幅、横軸が周波数のグラフを得ることができる。「音」は複数の音が重なることによって１つの音ができている。FFT 解析では、その各音がどの周波数の波の音がどれくらいの大きさで聞こえているのかなどを知ることができる。

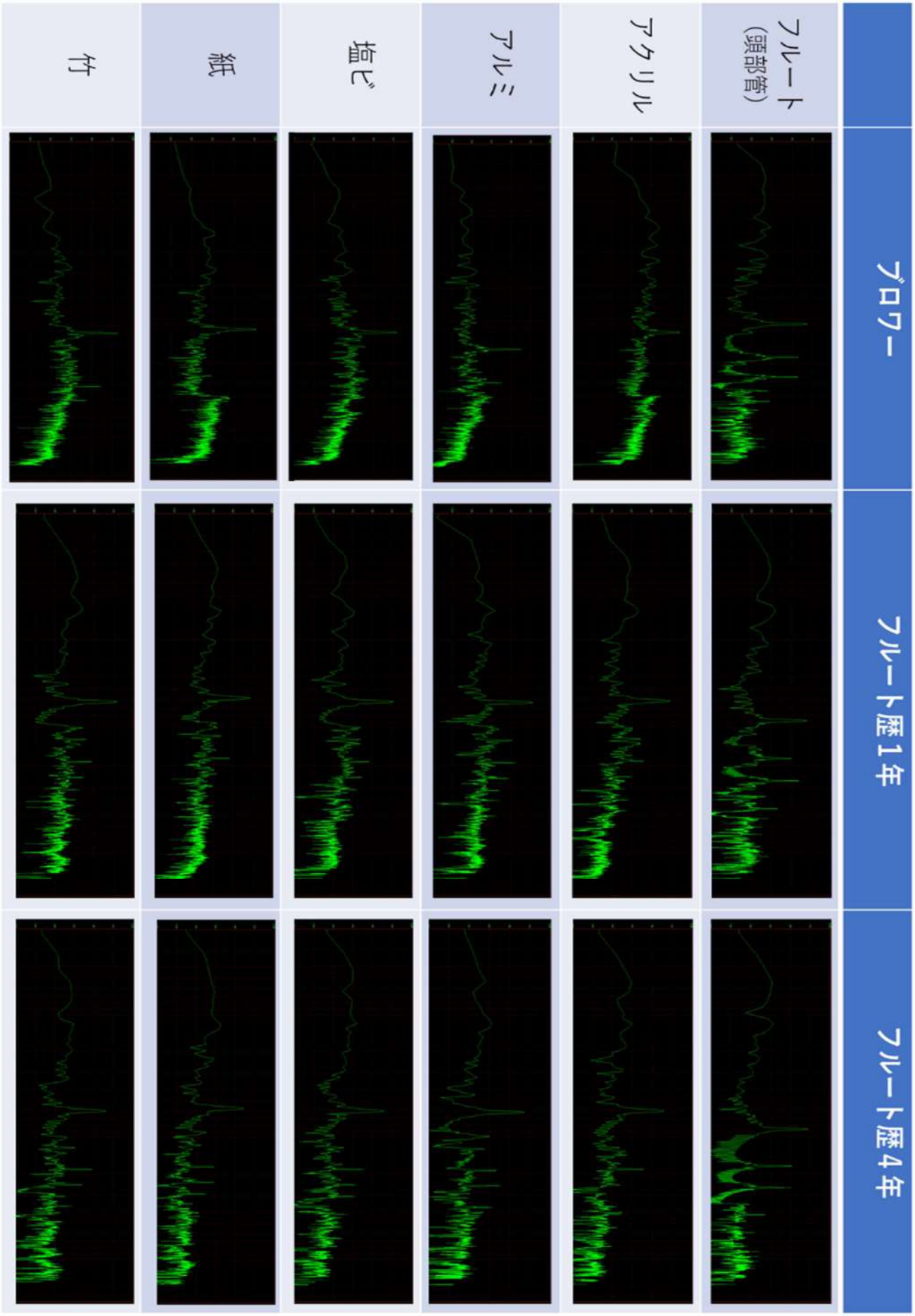
今回、FFT 解析にはフリーアプリ「WaveSpectra」を使用した。このアプリは時間の変化、周波数の変化を同時に見ることができる。





«音を可視化する～各素材のグラフ～»

	ブロワー	フルート歴１年	フルート歴４年
フルート（頭部管）			
アクリル			
アルミ			
塩ビ			
紙			
竹			


ブロワー
フルート歴１年
フルート歴４年
フルート（頭部管）
アクリル
アルミ
塩ビ
紙
竹

【結果と考察】

波が荒れているところは綺麗な音ではないということ。雑音や空気の音が入ってしまい、かつその音が取り切れなかった為だと思う。
ブロワーだと特に人間のような微調整ができず音が出にくいものがあった。特にアクリルパイプと紙筒は音を出すことが難しく、波もギザギザになった。しかし人間が吹いたものは音が出るように唇や楽器の傾きなど微調整が可能な為、音の出にくい素材でも綺麗な波形になっていると考えた。音の出にくさなどは実験方法にも問題があったと思われるので、全く同じになるのは難しいと思うが、物理学としての「音」が同じであるということはこの波形が似ていることからその結論に近いと感じた。どの素材で作った笛であっても、笛が出している「音」はほぼ同じであると思う。

よって【仮説 1 素材によって音は変わらないのか】は決定的な結果とは言えないが、肯定的な結果が出た。やはり物理として「素材が変わっても音は変わらない」ということになるようだ。

しかし、私が実験中に強く思ったことは

「やはり素材によって音は変わる！」

ということだ。例え数値に現れなくても、録音したものを聞いて違わないと感じても、音を直接聞いたり吹いたりしている自分にはどうしても違うように感じられた。

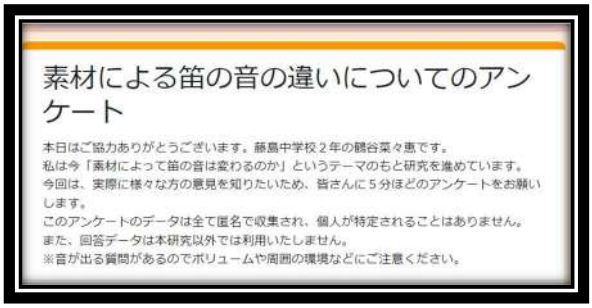
そこで次は感性評価としての側面から音を検証してみることにする。

【仮説 2】素材が違う笛の音は人の耳では違うように感じる

【検証】＜方法＞

福井新聞社様ご協力の元、2023 年 8 月 13 日の福井新聞に研究概要とアンケートＱＲコードを掲載していただいた。また、福井工業高等専門学校の小松先生にお力添えいただき、教職員の皆様、ならびにジュニアドクター育成塾２,３期生の皆様・保護者の方々、個人的にお願いした方にアンケートを行った。

＜実施した質問内容＞



問①　あなたの年齢はいくつですか。

問②　あなたの性別を教えてください。

問③　あなたの職業を教えてください。

問④　あなたの出身地を教えてください。

問⑤　あなたは楽器経験がありますか？

　問⑤追加質問→問⑥　なんの楽器経験がありますか？

　問⑤追加質問→問⑦　どのくらいの期間していましたか？

問⑧（笛の音を聞いてもらい）フルートと聞き比べて、一番フルートの音色に近いものはどれですか？

問⑨（笛の音を聞いてもらい）あなたが一番気に入ったものはどれでしたか？

問⑩　演奏を聞いた感想を教えてください。

問⑪（笛を見てもらい）外見的に一番気に入ったものはどれですか？

　問⑪追加質問→問⑫　それはなぜですか？

以上

●質問意図●

問①～⑦の質問で回答者自身の属性を調査。

問⑤～⑦の楽器経験の有無では、耳が楽器の音に慣れている経験者の方と、あまり慣れていない、経験がない方とでは感じ方、考え方などが違うと考え作成。

また、楽器経験の長さでもかなり耳の精度が変わるため、それも合わせて調査。

問⑧を聞いた理由はこの研究では、最終的に最もフルートの音色に近いものが作りたいと思っている為。

また、この設問でフルートに似ているというものがバラバラになれば人の感覚によって音色の感じ方が違うということを証明できると考えた。

質問⑨⑩⑪では、どんな人がどんな音を好きなのかを知ることで、新たな発見や考察が生まれるかもしれないと思った為。

●カウンターバランス●

また、順番によるひいきをなくすために順番をバラバラにして出題することも合わせて実施した。新聞掲載、高専依頼分、中学校依頼分、個人依頼分などそれぞれで様々な順番を入れ替えた。

- アクリル
- アルミ
- 塩ビ
- 紙筒
- 竹
- 分からない

- 塩ビ
- アクリル
- 竹
- 紙筒
- アルミ
- 分からない

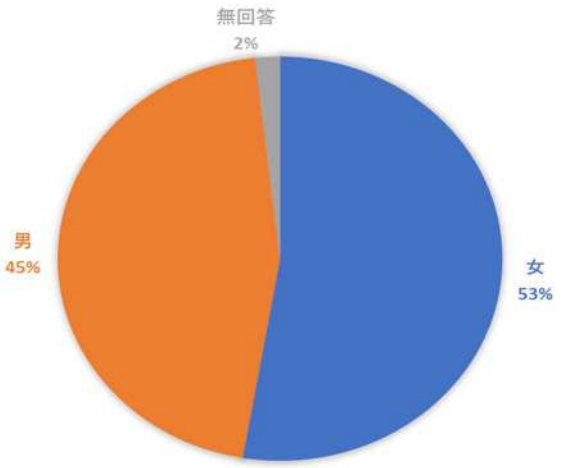
←具体的にはこのように

【結果】

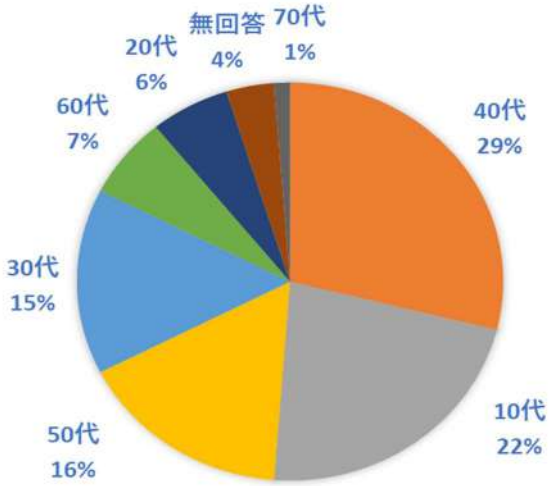
2023 年 8 月 27 日時点で 167 名の方にご協力いただき、その時点でのアンケート結果をグラフにまとめた。

＜アンケートに協力していただいた方全体のグラフ（N=167）＞

問1　あなたの性別は何ですか。

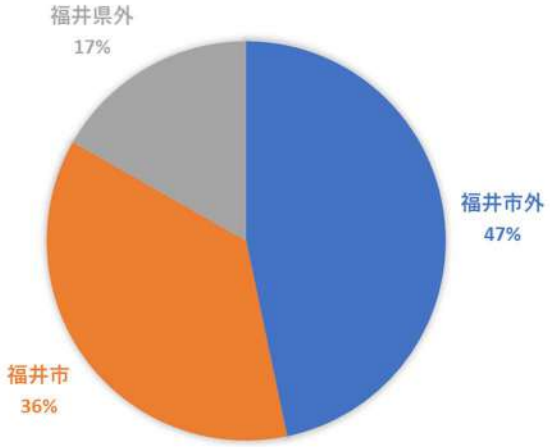


問2　あなたの年齢はいくつですか。

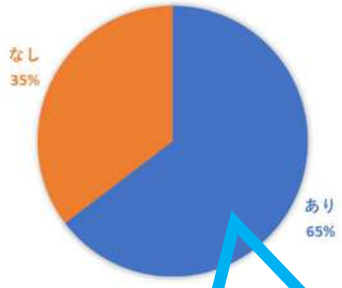


問3　あなたの職業は何ですか。

問4　あなたの出身地はどこですか。



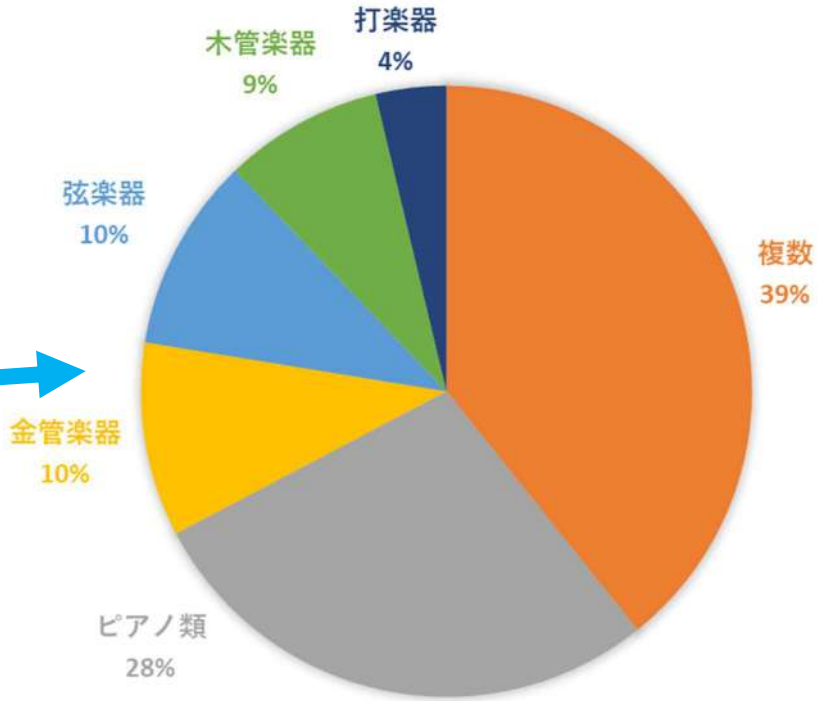
問5　あなたは楽器経験がありますか？



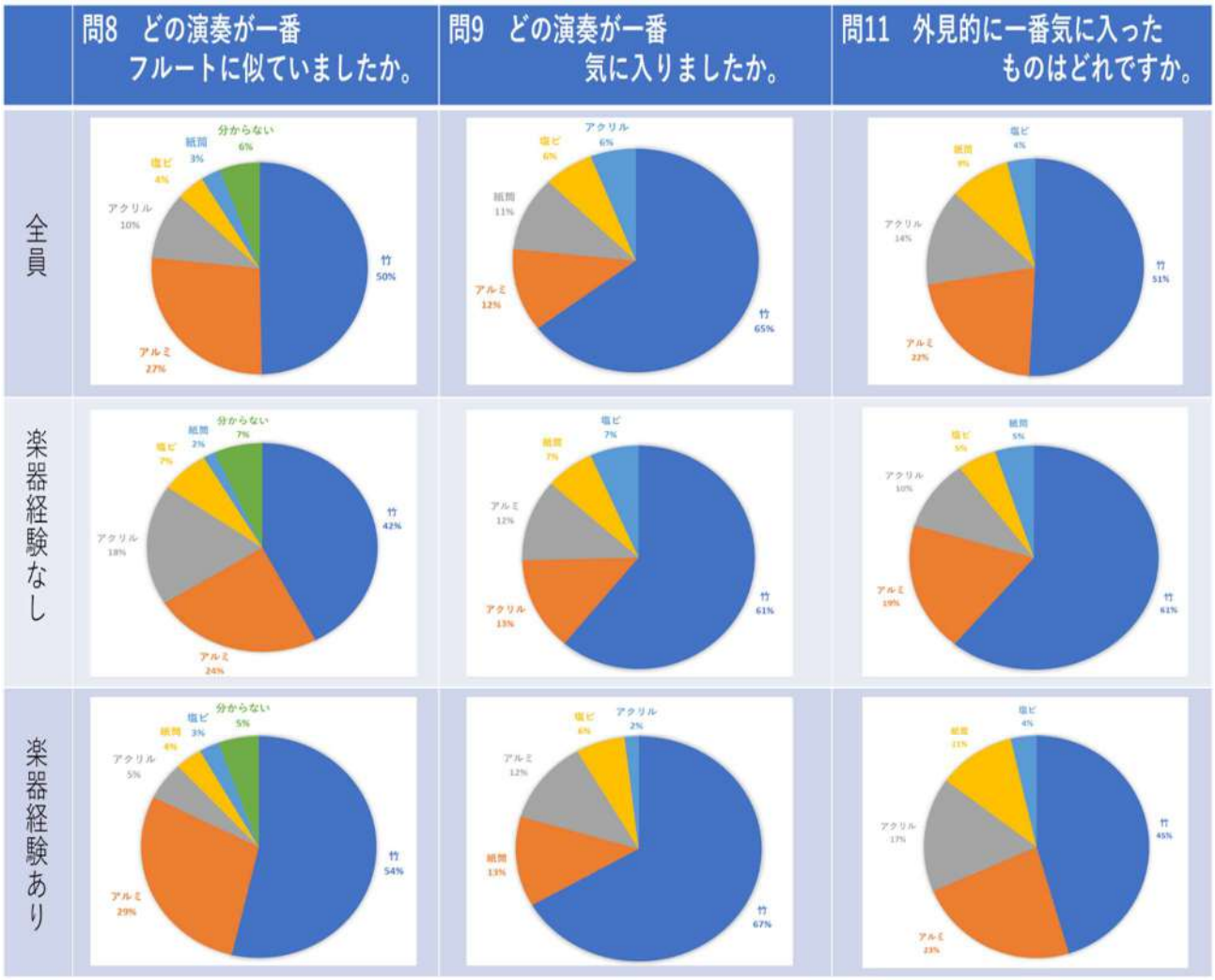
問５で「あり」と回答した
１０８人の回答です

複数の楽器を経験された方は、
ピアノやフルート、バイオリン
ドラムやベース、電子楽器や
南国の楽器経験ありの方も。

問6　なんの楽器をしていましたか。



問6　どのくらいの期間楽器をしていましたか。



問 10　演奏を聞いた感想（記述式なため、一部を抜粋）

・素材により微妙な違いがあると思った。

・紙と竹は音が逃げている感じがした。

・どれも楽器として成立していた。

・結構音が違うことに驚いた。

・竹に自然の深みがあると思った。

・どの音もフルートとはかなり違った。

・意外と同じ音になるんだと思った。　　など

【考察】

回答者の性別は約半分ずつになりどちらかに偏りが出ずに良かった。年代としては 40 代,10 代が約半数を占めたので、自分と同じくらいの回答者とその保護者の方かなと思った。どの世代の方にも回答していただけてうれしい。

楽器経験については約４割の方が２つ以上の楽器を経験しており、どの経験者も学校の部活動以上の期間楽器に触れていることになる。そのベテランの方が選んだ多くが竹。フルートに似ているのも、気に入ったものも、外見が良いと思うものも竹。私自身はフルートと同じ金属から作ったアルミ、もしくは竹が１番近い音かな、と思っていたが結果は意外なほどに竹。楽器の経験に関係なく竹。日本古来から親しまれている竹は、やはり日本人の感性に合うのかもしれない。

素材が違う笛の音を聞いていただいての感想は本当にみんな違っていて、違いがあった！という方がいれば、同じ音だという方もいたが、数としては音が違うと感じた方が多い印象があった。やはり機械や数値では測れないものが、人間の感性にはあるのだと思った。素材によって笛の音は違うと私は思う。

【今後の展望・感想】

今後は、吹き口だけ開いている素材に指穴を開け、楽器を完成させたいと思う。自分の一押しはやはり竹かアルミ。音のデータはもちろんだが、普段聞けないような多くの方の意見を参考にできたことは大きい。フルートを始めとする楽器や、音のことを様々な角度から見られたことで、「音」の可能性も感じ、ますますフルートが好きになれた。もっと練習をして、上手になりたい。完成した楽器も、ぜひ上手に吹けるように練習しようと思った。

この研究を通して、まず研究というのは本当に小さなミス、誤差が大きな違いとして結果に出るのだと痛感した。今回あまり結果がうまく出なかった仮説１の実験は、大変だっただけにとても悔しかった。私のわがままな研究に付き合ってくださったたくさんの先生に、しっかりとした明確な結果も出せなくて申し訳ないとも思った。頭の中ではうまくいくだろうと思っていた実験が、実際に行ってみると全く違う結果になったり、うまくいかなかったりして辛かった。どうして？と何度も思ったが…もっと計画段階で様々な手を考えておくべきだったのか、自分の考えの甘さも反省した。挑戦失敗を何回も繰り返して、更に望んでいた結果がうまくでなくて残念だったが、それも次回の研究や、いろいろなこと

に活かそうと思えた。自分一人でやろうと思ってもできないことは多く、もうどうしたらいいのかわからない時に手を差し伸べてくださった先生に本当に感謝したい。

【謝辞】 ご所属五十音順

藤井寛隆先生、今澤泰秀先生（福井県教育総合研究所サイエンスラボ）
朝日先生・笛資料館館長先生（福井県笛資料館）
小松貴大先生、小越咲子先生、秋山肇先生、髙橋優太先生（福井工業高等専門学校）
菊野昭彦先生（福井新聞社）
森幹男先生,研究室の皆様、葛生伸先生（福井大学）
栗波優真先生（藤島中学校）
谷口美恵子先生、城野家の皆さま
アンケートにご協力くださった皆様

この研究を進めるにあたり、各先生方に本当にお世話になりました。
ありがとうございました。

補足資料「各素材の特徴など」

	アクリル	アルミ	塩ビ	紙筒	竹
重さ （幅1m・高さ1m・厚み1mmの板）	1.19ｋｇ	2.7ｋｇ	1.45ｋｇ	とても軽い	0.4ｋｇ
耐水性	ある 水槽などにも 使用されている	ある だが、水に含まれる イオンで腐食してしまう 可能性がある。	ある パイプやホースに使用 されている	紙のため、ほぼない	あまりない 防水加工がとても 有効らしい
耐熱性	ない ８０度で溶け出す	かなりある 200-300度で溶け出す	70度くらいで柔らかくなり、 120-150度くらいで溶ける	紙のため、ない	ほぼない
耐久性	10-20年	40-50年	50年くらい	保存状況によって かなり違う	柔軟に曲がり硬い為 とても耐久性がある
加工のしやすさ	加工しやすいが、 割れてしまうことがある	しやすい	ものすごくしやすい	加工しやすいが加工面が ケバケバになることがある	しやすい 特に割りやすい
見た目 （私の思う）	透明度が高く、綺麗	金属ならではの良さが ある	大体は灰色だが、 本研究で使用したような 透明のものもある	白色の物や茶色のもの が多い	自然な感じがいい
手の入れやすさ	ホームセンターなどで 売っている	ホームセンターなどで 売っている	ホームセンターなどで 売っている	ホームセンター× 通販で売っている	あまり売っていない 山で採れる
値段 （パイプ・外径1ｃｍ・長さ1m）	５００円くらい	2000円くらい	500-800円くらい	300円	買った場合、 500円ほど
ポイント！	耐薬品性があったり、 接着に強かったりと 「プラスチックの女王」 と呼ばれている。	強度が高く錆びにくい のが特徴。金属の中で も非常に柔らかく加工 しやすい。	耐久性・耐火性・耐水性・ 耐候性・電気絶縁性・ 紫外線に強い、 安価である	リサイクル可能で環境 にやさしい、とても軽 い、紙なため割れない	とても柔軟性があり、 衝撃吸収力・耐火性・ 耐久性に優れている