

アコースティックチェロとサイレントチェロの音質の違い

下田亮介^{†1} 横山真男^{†1}

チェロという楽器には、普段見かける一般的なアコースティックチェロと骨組みだけで音が静かなサイレントチェロがある。この2種類のチェロは、構造や音の大きさなど様々な違いがある。本研究では、この異なる2種類のチェロの音に着目し、それぞれの音の周波数を比較することで検証した。それぞれのチェロの各弦と音階を弾き、得られた周波数スペクトルを比較しその特徴について述べる。

Difference in the sound quality of acoustic cello and a silence cello

RYOSUKE SHIMODA^{†1} MASAO YOKOYAMA^{†1}

There are two types of cello, one is the acoustic cello which we see ordinary and the other is silent cello which has only frame. These cellos have a characteristic in their tone or their structure each other. In the present research, it verified by comparing the frequency of the sound of two kinds of cellos. The frequency spectrum was obtained by playing each 4 strings and scale of each cello, and we discuss the feature of spectrum and sound.

1. はじめに

チェロには、一般的に弾かれているアコースティックチェロ(図 1-A)と、静かに練習するためなどに弾かれているサイレントチェロ(図 1-B)とがある。現在では、時間や場所を気にせず弾けるということもあり、サイレントチェロを使う人も増えている。なぜなら、普通に弾いても鳴る音は小さいが、ヘッドホンを使うことにより、音量を調節して聴くことが出来るからだ。しかし、この2つのチェロには、それぞれどのような音質の特徴があるのか、また双方のチェロの弾いた感触のちがいが分かっていない。

本研究ではそれぞれの音の周波数に着目し、実際に弾いてみることで音源データを集め、比較することで検証することが目的である。具体的には、それぞれのチェロの各開放弦と音階を弾き、音の違いを比較することである。

2. チェロの構造について

2.1 アコースティックチェロについて

2.1.1 本体の形態と構造

アコースティックチェロの形はヴァイオリンとほぼ同様だが相似形ではない。正面から見た形はほとんど相似で、ヴァイオリンの2倍強(ヴァイオリンが全長約60cmに対して、チェロは全長約120cm)の大きさに作られているが、胴の厚さ、つまり横板の幅はヴァイオリンの3倍程度もある。



A アコースティック

B サイレント

図1 アコースティックチェロ/サイレントチェロ

一言でいうなら、ヴァイオリンよりも共鳴胴が厚型に作られているわけで、共鳴胴の容積はヴァイオリンのその13~14倍に達している。

その他、駒がずっと高い(一番高い所で、ヴァイオリンが約33mmに対して、チェロは約92mm)こと、楽器の構え方が全く異なり、胴を下にして演奏するため、胴から脚(エンドピン)が突き出している点などが違っている¹⁾。

2.1.2 弓・弦

弓は、ヴァイオリンやヴィオラよりも太く、かつ短く作られている。楽器が大きいので同様に弓も長いように思えるが、チェロは約73cmと、ヴァイオリンより約2cm程度短く太くなっている。

弦は、古くは羊の腸を巻いたガット弦が使われたが、現代ではより強く大きい音量を求め、ヴァイオリンに比べガット弦が使われる比率は少ない傾向で、スチールやナイ

^{†1} 明星大学
Meisei University.

ロンを芯にして外側をアルミ、シルバーやタングステンなど金属を巻いたによる巻線が多い。最も高い線は楽器正面に向かって右から A 線(A3)、D 線(D3)、G 線(G2)、C 線(C2)となっている。

2.2 サイレントチェロについて

サイレントチェロは生音の小さい、減音型の電気チェロ弦・指板・駒などの主要部分はチェロ用の部品を用い、また膝で楽器を押さえる感覚や、重量はチェロと同じ 3,500グラムながらも、そのバランスを考慮するなど斬新なデザインでチェロ演奏の感覚を実現している²⁾。また、サイレントチェロは共鳴胴がなく、センサがブリッジ(駒)の下面と胴で挟持されており、弦の振動は駒を介してその下面のピエゾセンサでピックアップされる。音色、共鳴効果は電子回路で付加している。音の放射体はヘッドホン、又はスピーカである。演奏感覚の共通性を重視して、演奏時に弦の振動が胸当てやフレームを介して奏者の体へ伝搬するように配慮されている。音色については、ピックアップされた信号はイコライザで共鳴胴効果の補正をした後、デジタル信号処理により演奏会場の響きを付加して、チェロ独特の深みのある豊かな低音と、明るい高音を再現している。

3. 楽器音響における倍音とハーモニー

3.1 基音と倍音

楽器または声などで音を出すとき、目的の高さの音がでると同時に、その振動数の整数倍の振動数にあたる音が自然に発生する。たとえば 100Hz の音を鳴らすと、200・300・400…1000・1100…Hz の音も付随して鳴る。この場合、本来の(100Hz の)音を「基音」、それ以外のものを「倍音」と呼ぶ。倍音は、基音に対する振動数の倍音に応じて、第 2 倍音とか第 5 倍音などと呼ぶ³⁾。

ハーモニーとは、和声のことで、つまり二つ以上の音の調和した響きを指す。または、メロディを包み込んで全体的な調和感を形成する和音およびその進行に関する理論のことをいう。

弦楽器や管楽器は比較的澄んだ音、打楽器は比較的濁った音を出す。いずれもこれらの音を周波数 (frequency) 分析してみると、色々な周波数が含まれていることがわかる。前者の音は、それを構成しているいくつかの周波数が簡単な整数比となっている。特に、多くの音は基本となる周波数と、その倍数の周波数となっている。これらを一般の波動では基本波 (fundamental wave) と高調波 (harmonic wave) という。音の場合には基音 (fundamental pitch) と倍音 (harmonic tone) ともいう。また、基音の周波数は基本周波数 (fundamental frequency) と呼ばれる。基音と倍音の混ざり具合、つまり強度分布が音色 (tone) を決めることになる。一方、後者も、いくつかの周波数の合成ではあるが、

その周波数の比率は倍数関係にはなっていない⁴⁾。

人の声は、基音と倍音が完全な整数比になっているのである。声は、キツく膜のようなもので塞がれたところへ、無理に空気を流して、バタバタとした高調波の成分の多い原音を作り出す。この高調波はもちろん、原音そのものの周期の厳密な整数倍しかあり得ない。その原音を口腔、鼻腔、頭蓋骨などに共鳴させ、原音と同じ周波数であるが、エネルギー分布の異なる音にして外へ出し、音色を変えるのである。楽器で言えば管楽器が同じ原理で音を作るので、完全整数比となる。

弦楽器はやや複雑であり、おおよそ整数比であると言える。弦楽器は管楽器と異なり、一つの前音の共鳴で音を作っているのではない。弦の上に発生するいくつかのモードに対応する複数の音源の合成なのである。この複数の音源の基音の周波数が、たまたま、ほぼ整数比になっていると考えるのが分かり易い。弦には、全体に腹一つ、腹二つ、腹三つの正弦波と無数のモードで振動し得る。このことは、ハーモニクスと呼ばれる演奏法で体験することができるが、腹が多いほど、モードの周波数は高く、しかもほぼ腹の数に比例する。一般に、弦の一部を弾くと、いくつかのモードを同時に励振する。真中辺を弾くと、低い周波数のモード成分が増え、駒の傍を弾くと、高い周波数のモード成分が増える。多くの腹を持つモードの周波数は、正確な整数倍から少しずつ高目の周波数を持つ。それは、駒付近で、弦の硬さのために、動きが鈍くなることに起因している。

打楽器、特に太鼓系、銅鑼、シンバルと言ったものは、弦楽器のように一次元の振動モードでなく、二次元のモードを持つ。二次元の振動のモードはほとんど、整数比とはならない。そこで、濁った音に聞こえるのである。もちろん叩き方を工夫して、なるべく一つのモードだけを振動させるようにすることも可能であり、その場合には、理論的には純音に近い音が出せるはずであるが、技術的には難しい。

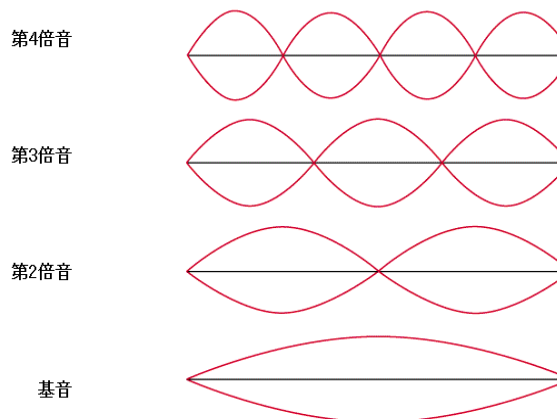


図2 周波数の変化

3.2 オクターブと周波数

人間は音量や音色以外にも「高い音」「低い音」など音の高低も感じている。1 オクターブ高い音は、周波数が 2 倍になり、1 オクターブ低い音は周波数が半分になる関係である。基音から第 4 倍音までの周波数を図 2 に表す。オクターブは互いの音の周波数が 2 倍(半分)の関係になっているので 2 つの音は最もよく調和する⁵⁾。

3.3 音の調和について

二つの音から和音を作った際に、これらの音の基本周波数の比が、整数であると、両方の音の倍音はすべて、これら基本周波数の最大公約数の周波数の整数倍となる。つまり、最大公約数を基本周波数とする別の音色 (tone) の音のように聞こえることになる。しかし、実はこの合成音は最大公約数である基本周波数そのものは含んでいないため、やや不自然な音になるが、濁った感じはない。

基本周波数の比が整数から少しずれてくると、正しく合っているときの最大公約数に対応する周波数に、差が生じてくる。その差に相当する唸り (beat) が聞こえてくる。さらにずれてくると、濁った音として聞こえてくる。また、この周波数比が余りに複雑であると、自然音とは著しく異なる音色を持つことになり、違和感を感じるようになる。これをウルフ音 (wolf) と呼び、チェロの特定の音程を弾くときに聞かれるよくある症状で、演奏者を悩ます現象の一つである。

以上のように、快い和音を構成するのは、二つの音の基音が簡単な比を持つ場合に限られる。これを調和 (consonance) とする。調和したとき、始めて澄んだ音になるのである。

4. 録音と分析

4.1 録音方法

本研究では、実際にアコースティックチェロとサイレントチェロ弾き、その弾いた音を録音し、集めたデータを周波数解析することで得たスペクトル図を比較した。

録音した楽器については、サイレントチェロ(YAMAHA Vc-SVC210)に対し、アコースティックチェロとして、国内量産メーカー(=アコースティックチェロ 1、1969 年製作,Nagoya)、国内手工製チェロ(=アコースティックチェロ 2、2001 年製作,Tokyo)とイタリアのマエストロによる手工製チェロ(=アコースティックチェロ 3、1976 年製作,Cremona)を使用し、計 4 本での録音と比較を行った。採取した音は開放弦のド(C2)、ソ(G2)、レ(D3)、ラ(A3)、それと前述のウルフトーンが出やすい D 線のミ(E3)、ファ(F3)、ファ#(F#3)である。次に、その録音した音源をオーディオエディタといったソフトウェア (Audacity) で周波数とスペクトル図

を取得した。スペクトルのサンプルサイズは 4096 で軸は対数周波数軸で行った。そのスペクトル図からそれぞれの数値を書き出し、またサイレントチェロとアコースティックチェロのスペクトル図を重ね合わせて比較する。

4.2 分析結果

4.2.1 各音のスペクトル図

サイレントチェロとアコースティックチェロのそれぞれを実際に弾いて得られた音源の定常状態における、スペクトラムを重ねて比較すると図 3~図 6 のようになった。緑がアコースティックチェロ 1 で、紫がサイレントチェロを表している。縦軸は音の大きさ(dB)、横軸は周波数(Hz)を表している。これらの図より、実際に弾いた音の基音とその倍音の周波数(64Hz,132Hz,197Hz,263Hz)がピークにきていることが分かる。例えば、図 6 では基音に対する 2 倍音,3 倍音,4 倍音のパワーがアコースティックチェロでは、大きくなるが、サイレントチェロでは小さくなっていることが分かる。

4.2.2 ピーク時の周波数と音圧

アコースティックチェロ 3 本とサイレントチェロの、それぞれのピーク時に表示された、パワーとピッチを数値とグラフにより比較したものである(図 7~図 10)。パワーは、ピーク時のパワー(dB)を全パワーの二乗平均平方根(dBave)により求めたものを使用する。この縦軸はパワー、横軸はヘルツを表している。また、アコースティックチェロ 1 は(国内量産メーカー,1969 年製作,Nagoya)を、アコースティックチェロ 2 は(手工製チェロ,2001 年製作,Tokyo)を、アコースティック 3 は(イタリアマエストロ製,1976 年製作,Cremona)を指す。さらに、各音の一番音圧が大きかった時の周波数も表として示す(表 1~表 4)。

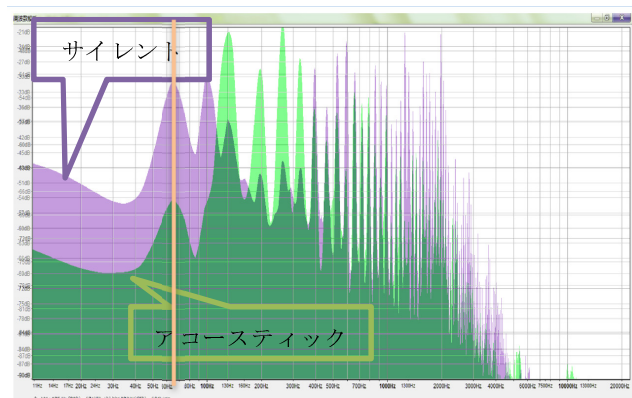


図 3 ド(C2)音のスペクトル比較

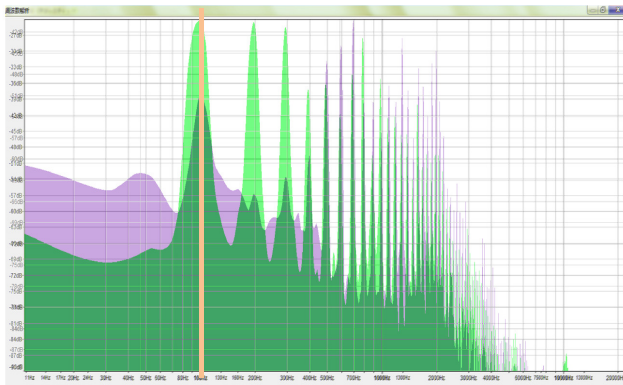


図4 ソ(G2)音のスペクトル比較

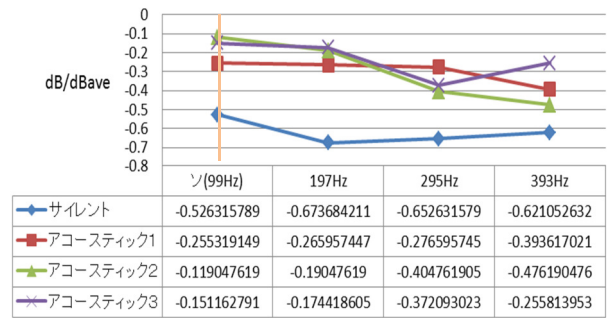


図8 ソ(G2)音のパワー、ピッチ

表2 ソの音の音圧最大値とその時の周波数

φ	ソ(99Hz) ^φ	φ	φ	ソ(691Hz) ^φ
アコースティック MAX(dB) ^φ	-24.3 ^φ	サイレント MAX(dB) ^φ		-40.5 ^φ

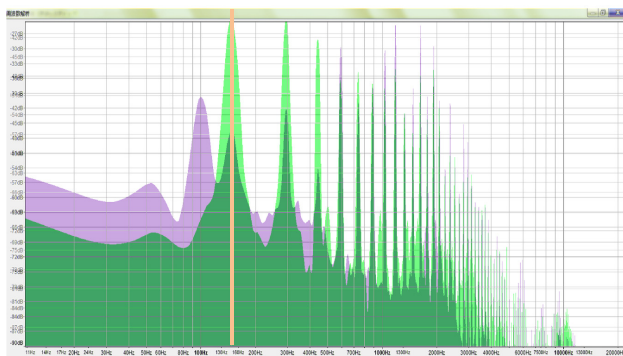


図5 レ(D3)音のスペクトル比較

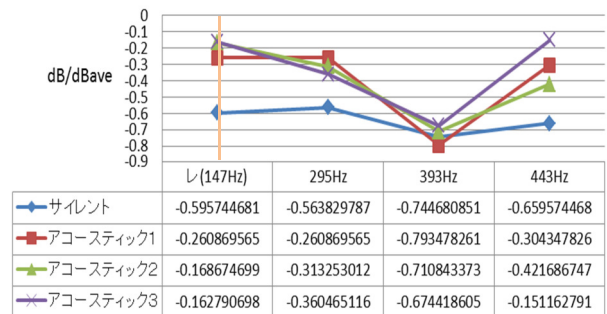


図9 レ(D3)音のパワー、ピッチ

表3 レの音の音圧最大値とその時の周波数

φ	レ(147Hz) ^φ	φ	φ	レ(1182Hz) ^φ
アコースティック MAX(dB) ^φ	-24.1 ^φ	サイレント MAX(dB) ^φ		-40.0 ^φ

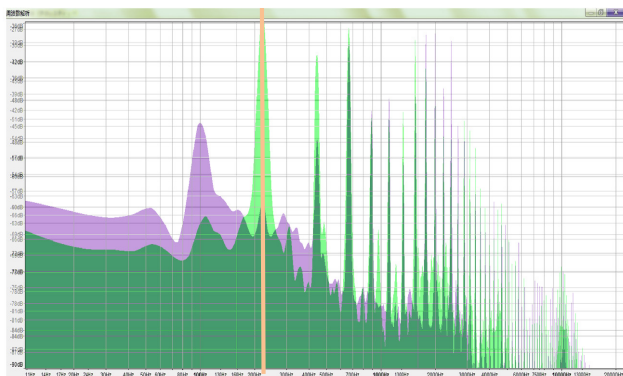


図6 ラ(A3)音のスペクトル比較

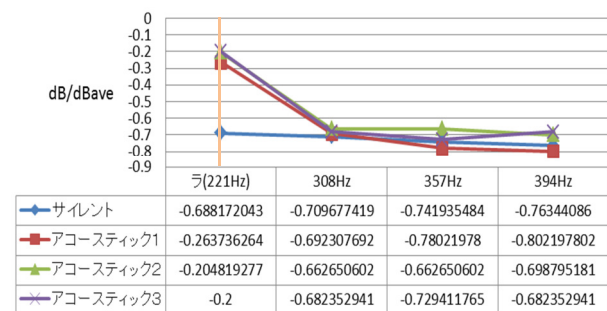


図10 ラ(A3)音のパワー、ピッチ

表4 ラの音の音圧最大値とその時の周波数

φ	ラ(221Hz) ^φ	φ	φ	ラ(1772Hz) ^φ
アコースティック MAX(dB) ^φ	-24.0 ^φ	サイレント MAX(dB) ^φ		-37.2 ^φ

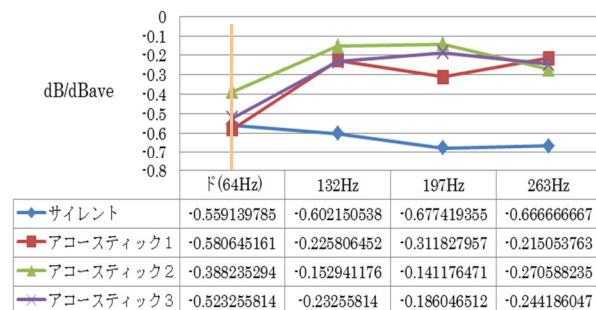


図7 ド(C2)音のパワー、ピッチ

表1 ドの音の音圧最大値とその時の周波数

φ	ド(263Hz) ^φ	φ	φ	ド(1247Hz) ^φ
アコースティック MAX(dB) ^φ	-19.6 ^φ	サイレント MAX(dB) ^φ		-45.3 ^φ

4.2.3 ピックアップを通じた場合の音響

サイレントチェロをピックアップのライン入力により録音した音源と、マイクを楽器に近づけて直接録音した音源

をスペクトラムで比較する。図 11 はライン入力により録音した音源で、図 12 は直接録音した音源を表す。

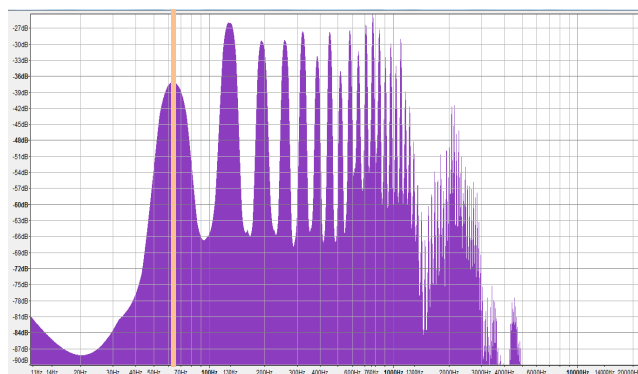


図 11 ライン入力で録音した時のスペクトラム(ド C2)

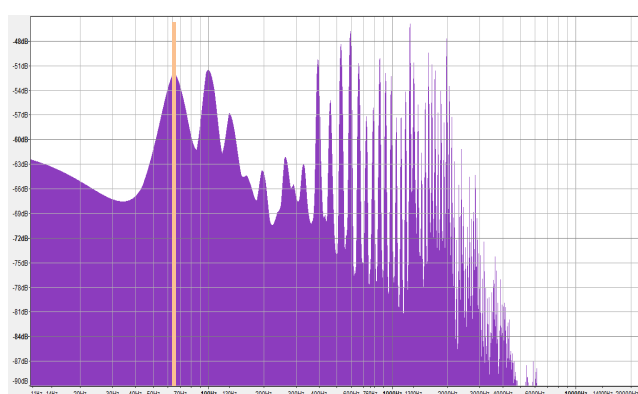


図 12 直接録音した時のスペクトラム(ド(C2))

図 11,12 から同じサイレントチェロでも録音の仕方によりスペクトラムに違いがでることが分かる。図 11 では低周波がほぼ抽出されてなく中間の周波数がよく出ているが、図 12 では低周波から高周波まで万遍なく出ているのが分かる。そのことより、ライン入力での録音ではサイレントチェロ内で音の処理が行われているためと考えられるが、それでも、基音となる部分や倍音はしっかり出ているので、聴いていて音に違和感を持たないのだと考える。

5. 考察

実験により得られたスペクトラムを、アコースティックチェロ 1 とサイレントチェロで分けて比較すると図 13、図 14 のようになった。これらの図よりアコースティックチェロの方は低周波の時にパワーが強く、高周波になるにつれて弱くなっていることが分かる。それに対してサイレントチェロの方では、高周波数帯でもピークのパワーが大きい場合がある。アコースティックチェロのスペクトラムの、高周波に向かっての下がり方が $1/f$ ゆらぎに似たような傾向が見られた。 $1/f$ ゆらぎとは⁶⁾、周波数 f の逆数 $1/f$ に比例するスペクトルをもつゆらぎのことを呼んでいるが、このスペクトルを持つ音の傾向には、川のせせらぎやクラシ

ック音楽のように人に心地よさを与えヒーリング的な効果があるとも言われている。この結果によるとサイレントチェロよりアコースティックチェロの方が快い音に聞こえると考えられる。

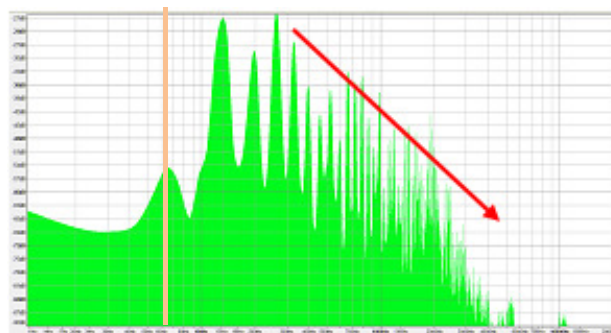


図 13 ド(C2)の音のスペクトラム(アコースティック 1)

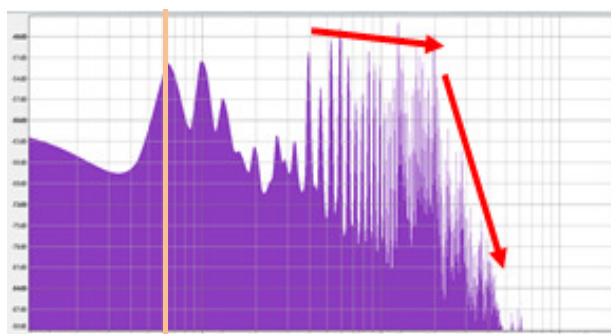


図 14 ド(C2)の音のスペクトラム(サイレント)

6. おわりに

本研究では、アコースティックチェロとサイレントチェロの音源をスペクトルで比較した。今後の課題として、初心者及び経験者に弾いてもらい、どちらの方が弾きやすい、どちらの音が好きなどといった官能試験で検証することが課題である。また弾きやすさだけでなく、初心者と経験者のスペクトルなどの違いも比較し、検証することも課題である。

参考文献

- 1) 金光威和夫: 楽器学入門オーケストラの楽器たち, 音楽之友社.
- 2) 村上和夫:「サイレントバイオリン」、「サイレントチェロ」の仕組み, 日本音響学会, 55(12), 851-856 (1999).
- 3) 大蔵康義:目で見える楽器の音, 国書刊行会 (2004).
- 4) 基音と倍音: <http://www.moge.org/okabe/temp/scale/node2.html>
- 5) 音楽理論講座: <http://www.animato-jp.net/~se/riron.html>
- 6) 武者利光, 高倉公朋, 池辺潤: ゆらぎの医学-1/f ゆらぎ健康法-, 秀潤社 (1985).