

音響解析による和楽器の特徴について

About the feature of the Japanese instrument by the acoustic analysis

徳島 達也

Tokushima Tatsuya

Abstract

To pay attention to musical instruments of a Japanese tradition, and to search for the charm and the feature, the acoustic analysis was done in the present study. It took as a Japanese instrument as an example of the koto, the syamisen, the biwa, syakuhachi and shinobue, and the acoustic analysis was done in the present study. Loudness and the pitch of each musical instrument were assumed to be the same, and tones were compared. The single sound was recorded, the signal was analyzed, and the amplitude envelope of the sound (envelope curve) and the frequency spectrum were observed. Moreover, the feature of the Japanese instrument has been extracted by comparing it with the western-style music machine which the pronunciation method is near.

Four kinds of Japanese instruments were compared with the sound of the western-style music machine. Common point to four kinds of musical instruments is impressions "Slenderness", "Delicacy", "Tightened", and "Clear" compared with "Profoundness" impression of the western-style music machine. It is thought that this is near the impression of the apology and the rust of Japan. Still, it is thought that it is tones of musical instruments suitable for a Japanese sense of beauty.

1. 緒言

現代の情報過多でグローバルな時代において、様々なマルチメディア媒体を通して常に新しい文化が発生している。美術、音楽、演劇、映画などから、それらの境界を意識しないような新しい表現や文化が次々と発生し、それらを容易に触れられる時代となっている。

その中で日本人が持つ伝統的な文化、芸能も衰退することなく存続している。特に西洋文明と距離的に遠い島国である日本は、独自に固有の文化を築いた歴史があり、その中で独自に育まれた文化、芸能は日本独自のアイデンティティという範囲を越え、一つの表現手法として現在再び見直されている。

そこで本研究では日本伝統の和楽器に注目し、その魅力、特徴を探るために音響解析を行った。洋楽器の音響的な特徴を解析した文献は多いが、日本固有の伝統楽器について詳しく解説した文献が少ないためである。

本研究では和楽器として琴、三味線、琵琶、尺八、篠笛を例に取り、音響解析を行った。比較のため各楽器の音の大きさと高さを同一とし

て、単音を録音し、オーディオ信号として取り込み、振幅エンベロープ（包絡線）や周波数スペクトルを観測できるようなプログラムを作成した。作成したプログラムを用いて、クラシックギターやリコーダーといった発音方法の近い洋楽器と比較することで和楽器の特徴を抽出した。

2. 代表的な和楽器の構造・原理

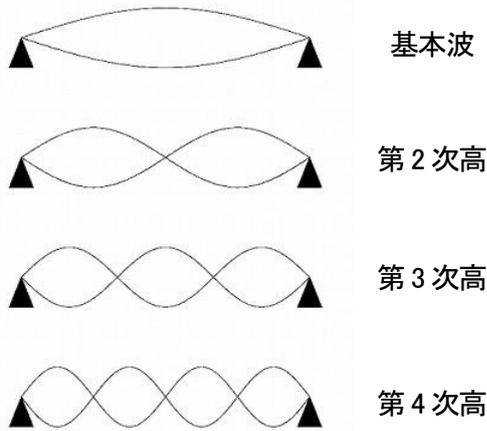
2. 1 弦楽器の構造・原理

代表的な和楽器として、箏、三味線、琵琶、尺八、篠笛などが挙げられる。その中で箏や三味線や琵琶は弦楽器に分類される。弦楽器は弦に振動を与えることで、弦の両端の支持部間の距離による定在波を発生させる。このとき発生する定在波は弦の材質や張力、弦に振動を与える方法によって決定される。これが楽器固有の共振モードを発生させる。例えば図2のように支持部中央で弾くと基本波の成分が強くなり、高調波成分は発生し難い。逆に支持部の近くを弾くことで高調波成分を多く発生されられる。

そのため、弦楽器では支持部の近くを弾くことにより、その楽器が持つ独自の音色を発音している。よく箏の爪や三味線の撥を選定する場合には、それらが楽器の音を決めると言われるが、その理由は発音方法が弦楽器の音色の特徴を表す大きな要因となるためである。

弦楽器の発音方法は大きく分けて3つある。バイオリンなどの弦を擦り発音する擦弦楽器、ピアノなどの弦を叩き発音する打弦楽器、ギターなどの弦を弾いて発音する撥弦楽器が挙げられる。その中で箏や三味線、琵琶は爪や撥で弦を弾いて発音するため撥弦楽器に区分される。

弦楽器の発音源は弦の振動であるが、弦の振動自体が空気を動かす有効面積は小さいため放射される音圧は小さい。そのため、弦を支える板や空洞などの共振機構（共鳴胴）で振動を増幅させ、空気中に放射させている。共鳴胴の形状は特定の周波数での鋭い共振を避け、幅広い周波数帯での音域で滑らかに共鳴させるため、曲線や曲面で囲まれた平面で構成される。ピアノの共振機構は単一の板、箏や琵琶、ギターでは板状の穴の開いた中空の箱、三味線では皮を張った箱である。つまり弦楽器は弦による発音とそれを増幅する機構によって音色を決めている。



弦の中央部を弾くと基本波成分が強く発生し、高調波成分は小さい
弦の端を弾くと高調波成分が強く発生する ⇒ 楽器独自の音色となる

図1 弦楽器の発音

Fig.1 Generation of sound of stringed instrument

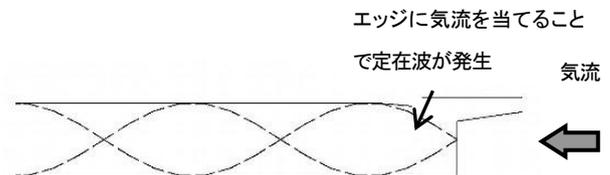
2. 2 管楽器の構造・原理

尺八や篠笛は管楽器に分類される。管楽器は呼吸などの空気振動を管内に与え、管内の空気を共鳴させることで音を放射する。発音源は薄い板を振動させるもの（シングルリード、ダブルリード）、唇を振動させるもの（リップリード）、楽器の角に息を吹き込むもの（エアリード）に分類される。尺八、篠笛、リコーダーはエアリード楽器に含まれる。

また、尺八や篠笛、リコーダーなどは管の片端が開放され、片側が閉じているため、管内の共振条件は管の両端間の距離を l 、音速を v とすると式（1）と、その奇数倍の周波数となる。

$$f_0 = \frac{v}{4l} \quad (1)$$

つまり管に息を吹き込むことで気流を発生させ、管内で式（1）によって決まる周波数の定在波を励振させる。この管内の定在波の振動を直接空間に伝えることで音が放射される。ただし、空気の振動はすぐに減衰するため、さまざまな高次の定在波を発生させる気流の発生方法が管楽器の音の特徴となる。



リコーダーや尺八などのエアリード楽器は空気口からの気流を楽器のエッジ部に当て、定在波を発生させ、定在波の振動を直接外へ放射

⇒ 管の長さで決まる基本周波数と、気流を当てて発生する高調波成分が楽器独自の音色となる

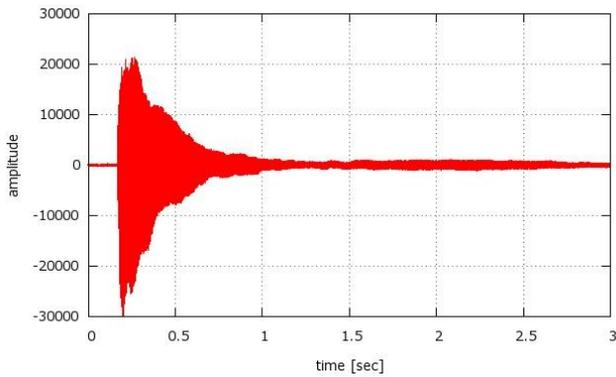
図2 管楽器の発音(エアリード楽器)

Fig.2 Generation of sound of wind instrument

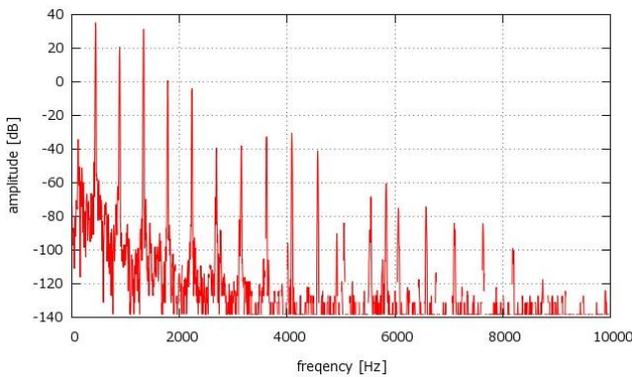
3. 音響解析手法

3. 1 音の特徴

本研究では和楽器の音の特徴を解析するため、音響解析を行った。各楽器の音を録音し、デジタル信号として取り込み、信号処理することで音響解析を行った。



(a) 時間波形



(b) 周波数スペクトル

音の大きさ : 時間波形の振幅の大きさ

音の高さ : 基本周波数の高さ

音色 : 大きさ、高さ以外の波動の特徴

時間波形や周波数スペクトルの分布による

図3 音の3要素(ピアノ A4(440Hz))

Fig.3 Three elements of sound (piano A4 (440Hz))

音の3要素は音の大きさ、音の高さ、音色である。音の大きさは音圧の振幅であり、図3(a)のように信号の時間波形を観測することで特徴が捉えることが出来る。音の高さは音圧の振動の周波数である。図3(b)のように信号の観測時間におけるフーリエ解析を行い、周波数スペクトルを観測することで特徴が捉えることが出来る。一般に楽器の音は基本波とその高調波の複合音であり、音の高さは基本波の周波数(基本周波数)を示す。音色は各楽器のそれぞれの音の特徴、印象を示す。音の時間軸上での波形および周波数スペクトルの波形によりその楽器の特徴を捉えることができる。

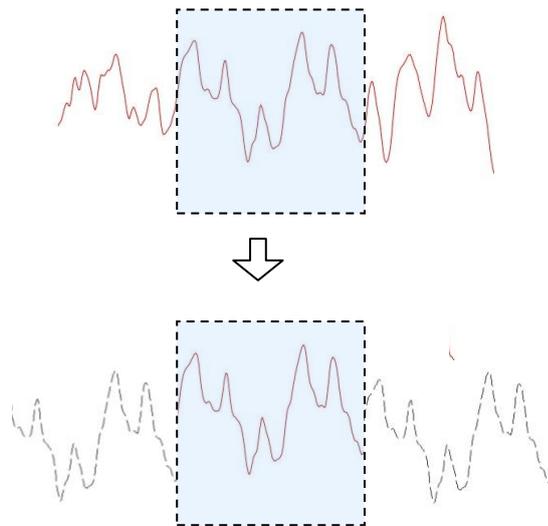
音の大きさは各楽器の音を録音する際に電氣的に音量レベルを同等に合わせることが可能である。また、音の高さも一般的な弦楽器、管楽器では容易に発音する音階を合わせることが可能である。しかし、音色は各楽器の構造、材質などによりさまざまであり、音量レベルや音階のように一次元的な物理量ではなく、時間軸上での立ち上がりや収束時間、周波数軸上でのスペクトルの分布など多次元的なものである。また聴覚的にどのような印象を与えるか検討する必要がある。本研究では和楽器の持つ音色の特徴を探るため、音の大きさ高さを同一とした状態で各楽器を比較することにより音色の特徴を捉えることとした。

3. 2 周波数解析方法

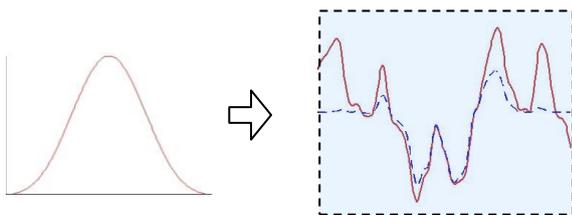
音は時間軸上での振幅と周波数軸上での振動で決められる。楽器音を録音する場合にはマイクフォンにより收音、電気信号に変換し、その振幅レベルを逐次記録する。このオーディオデータをフーリエ変換することにより周波数成分を解析できる。任意の周期振動は基本周波数の波とその整数倍の周波数の波の合成で表現できる。これをフーリエ級数展開といい、これを非周期信号にも適用する数学的手法がフーリエ変換である。但し、フーリエ変換は時間的に連続な信号を計算するものであり、オーディオファイルのような離散的なデジタル信号を扱うためには離散フーリエ変換(DFT)を行う。

DFTは時系列の信号から解析する部分を切り出し、切り出した波形を周期と仮定した信号の周

波数解析を行う。実際のオーディオデータの解析では任意に切り出したデータの先頭と最後では信号の振幅が異なり、信号が不連続となる。これによって元の信号にはない周波数成分が発生してしまう。そのため、図4のように切り出した信号の先頭と最後で振幅を小さくするような窓関数を解析する信号に掛けてから DFT を行う。本研究では窓関数としてデジタル信号解析に一般的に使われているブラックマン窓を用いた。



解析データから任意長を切り出し、その波形が繰り返される
波形として周波数解析を行う
⇒ 切り出した波形の両端は不連続



窓関数(ブラックマン窓)

データ波形に窓関数を掛けることで、データ両端を滑らかに接続
⇒ 不連続点によるスペクトル誤差を軽減

図4 フーリエ変換による周波数解析

Fig.4 Frequency analysis by Fourier transform

また、オーディオ信号などの大きなデータを扱う場合には DFT をより効率的に行うアルゴリズムとして高速離散フーリエ変換(FFT)を用いて周波数解析を行う。本研究ではオープンソースの FFT プログラムの中で最も高速といわれる FFTW を用いて FFT を行った。

4. 音響解析結果

4. 1 弦楽器の音響解析

弦楽器の音響解析を行った。音階は A4 (440Hz) の単音とし、録音の際に同等の音圧レベルとなるようにレベル調整を行った。まず、洋楽器としてクラシックギターの音響解析を行いクラシックギターの音色の特徴、印象が観測できるかを確認した。次に、三味線、箏、琵琶の音響解析を行い、クラシックギターと比較しながらそれぞれの楽器の音色の特徴を解析した。

4. 1. 1 クラシックギターの音響解析

クラシックギターの音響解析を行った。クラシックギターの形状を図5に示す。



図5 クラシックギターの形状

Fig.5 Shape of classic guitar

クラシックギターは YAMAHA G-90A という練習用のものを用いた。弦はナイロン製 (2 弦) を用いた。また弦は指を使って弾いた。時間波形の変化を図6に示す。時間波形の振幅のエンベロープ (包絡線) としては弦を弾いたときに最も大きな振幅に立ち上がり、その後振動が楽器

全体に伝わり、共振しながら、減衰している。これは弦楽器の基本的な特徴である。振幅が収束するまでの時間は約 2.8sec であった。発音時の時間波形の詳細を観測すると、波形は方形波に近い波形をしており、基本周波数の 440Hz の周期 (約 9.1msec) で繰り返される成分が強いことが分かる。

次に周波数解析結果を図 7 に示す。基本周波数の 440Hz でスペクトルのピークがあり、基本周波数よりも低い周波数の成分も強いことが分かる。スペクトルは基本周波数から 6000Hz 付近まで分布しており、強度は 4000Hz 付近まで単調に減少しており、低域に集中した分布と考えられる。また、4000Hz 以上の高域でもスペクトルが分布している。

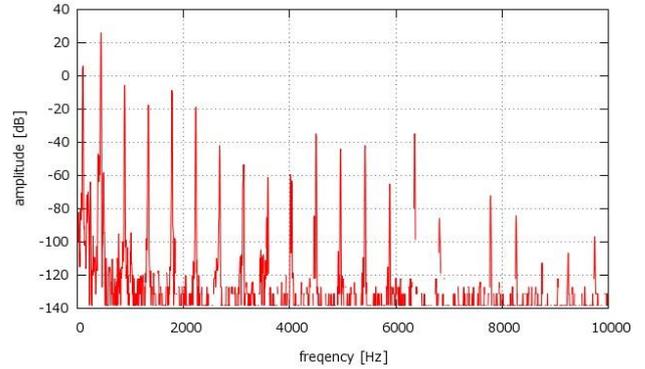
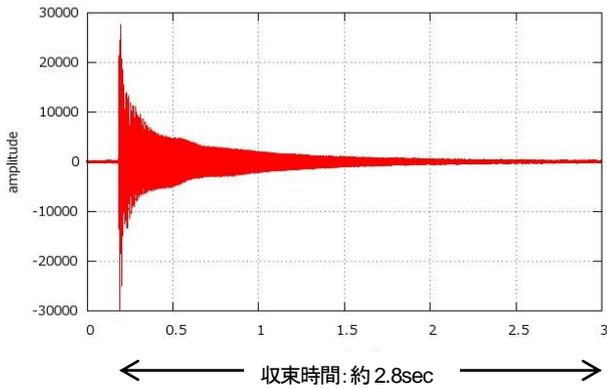


図7 クラシックギターの周波数解析結果 A4(440Hz)

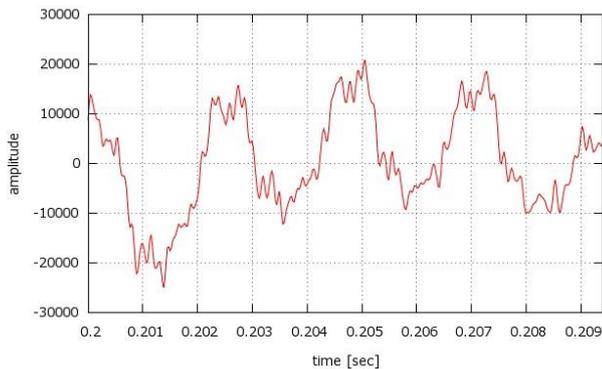
Fig.7 Frequency analysis result of classic guitar

クラシックギターの音色の印象としては、豊かさや重厚感、金属性の甲高さともった音色の複合音という印象を受けた。これは振幅の収束時間が約 2.8 秒と長いこと、また、周波数スペクトルが低域に集中していることによる重み、こもった印象や、高域に広がるスペクトルによる明瞭さが重厚感を与えているものとする。

このように聴覚的な印象は解析結果と一致しており、本研究で作成したプログラムにより、時間的な振幅の推移と、周波数的な振幅の分布を解析することによって、楽器の音色を特徴付けることができていると考える。



(a) 全体



(b) 発音部詳細

図6 クラシックギターの時間波形 A4(440Hz)

Fig.6 Temporal waveform of classic guitar A4(440Hz)

4. 1. 2 三味線の音響解析

三味線の音響解析を行った。三味線は地歌用の中棹を用いた。楽器の各部の材質は、棹や胴は紅木、皮は犬、糸巻きは黒檀、撥と駒は鼈甲、糸は絹糸のものを用いた。なお、この楽器は舞台用として一般的なものを用いた。使用した三味線の形状を図 8 に示す。

三味線の時間波形を図 9 に示す。全体の振幅エンベロープはクラシックギターと同様であり、急速な立ち上がりとは滑らかな収束という弦楽器の特徴的な発音、減衰の仕方をしていない。但し、発音から収束するまでの時間はクラシックギターに比べて短く、すばやく立ち上がり、短い時間で滑らかに減衰していることが分かる。

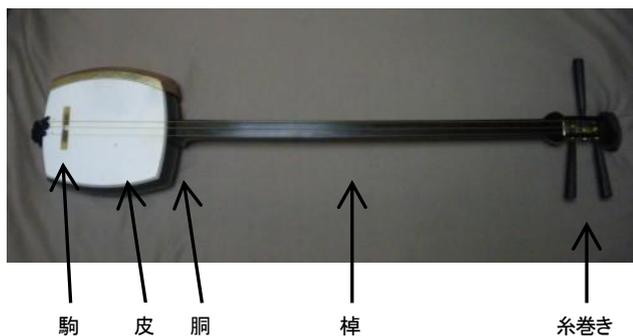


図8 三味線の形状

Fig.8 Shape of syamisen

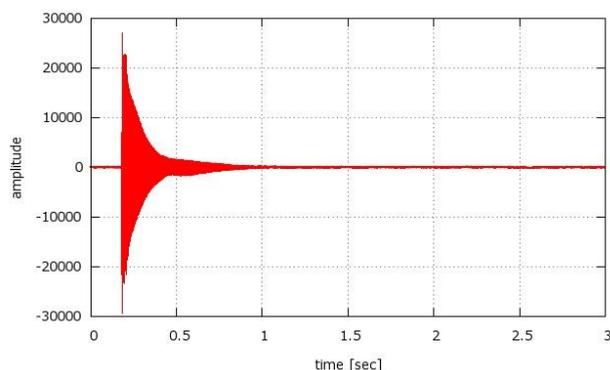
音が収束するまでの時間は約 1.2sec であった。そのため、深い余韻を残さず、短時間に収束するため、音がクリア（澄んだ）で、薄く、やせた印象を受ける。

発音部の波形詳細を見ると三角波に近い形状をしており、基本周波数である 440Hz の周期（約 9.1msec）だけではなく、その 2 倍の周期の周波数成分が強く現れていることが分かる。

次に周波数解析結果を図 10 に示す。440Hz の整数倍にスペクトルの分布があるため、基本周波数は 440Hz と言える。しかし、基本周波数の 440Hz よりも 2 次高調波の 880Hz 付近でスペクトルの強度が最も強い。また、基本周波数よりも低い周波数成分はほとんど見られない。そのため相対的に高域側が強調され、クリア（澄んだ）、軽い印象を与えている。また、600～1200Hz でのスペクトルの集中はタイト（引き締まった）印象を与えている。

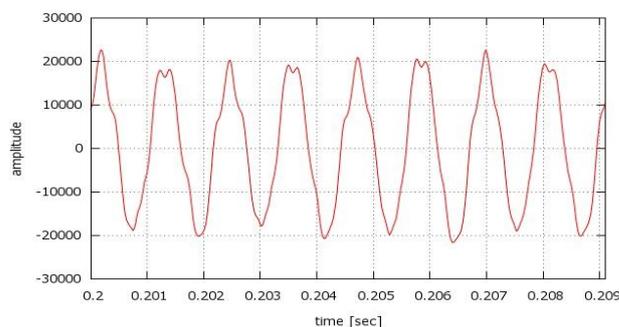
以上の点から、三味線の音色としてはクラシックギターと比べ、クリア（澄んだ）、か細い、抜けのよい、タイト（引き締まった）といった印象を持つ楽器と考える。これらの特徴は楽器として優劣を挙げているのではなく、その楽器の持つ味であり魅力と言える。

本研究において繰り返し三味線の音を聞いてみたが、日本庭園にある「ししおどし」の音色を思い起こさせられた。やはり日本人の好みに合った音色ではないかと考える。



← 収束時間: 約 1.2sec →

(a) 全体



(b) 発音部詳細

図9 三味線の時間波形 A4(440Hz)

Fig.9 Temporal waveform of syamisen A4(440Hz)

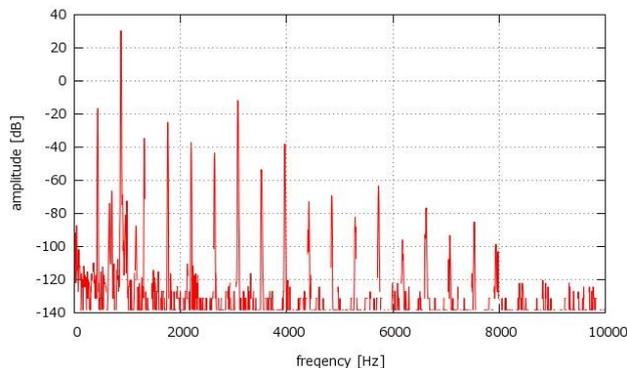


図10 三味線の周波数解析結果 A4(440Hz)

Fig.10 Frequency analysis result of syamisen A4(440Hz)

4. 1. 3 箏の音響解析

箏の音響解析を行った。箏の材質は桐、糸はナイロン、琴柱と爪は象牙のものを用いた。なお、この楽器は先に解析したクラシックギターや三味線と比べて舞台用として高価で、良質な音色と言われるものを使用した。使用した箏の形状を図 1 1 に示す。



図 11 箏の形状

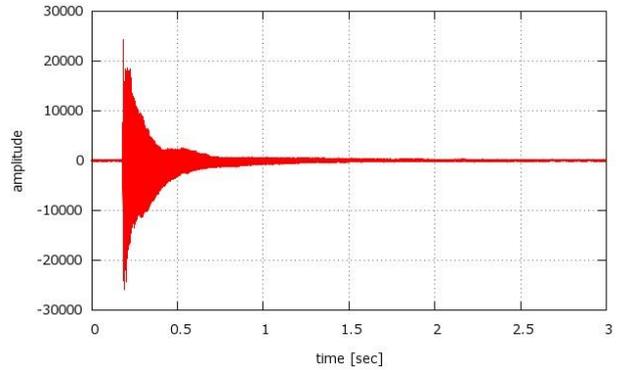
Fig.11 Shape of koto

箏の時間波形を図 1 2 に示す。全体の振幅エンベロープは急速な立ち上がりと滑らかな収束という、弦楽器の特徴的な発音、減衰の仕方をしている。音が収束するまでの時間は約 1.8sec とクラシックギターよりも短い、三味線よりも長い。そのためクラシックギターよりも薄く、すっきりとした印象を受けるが、三味線と比べると余韻が長く、豊かな印象を受ける。発音部の詳細を見ると基本波のみならず、その高調波成分が多いことが分かる。

次に周波数解析結果を図 1 3 に示す。基本周波数の 440Hz の整数倍でスペクトルが現れているが、基本周波数よりも 3 次高調波の 1320Hz 付近でスペクトルが最も強く分布している。このように周波数が高くなるにつれてスペクトルの強度が強くなることで鋭く、鮮やかな印象を与える。また、600~1200Hz でスペクトルが集中し、タイト（引き締まった）印象を与えていると考える。

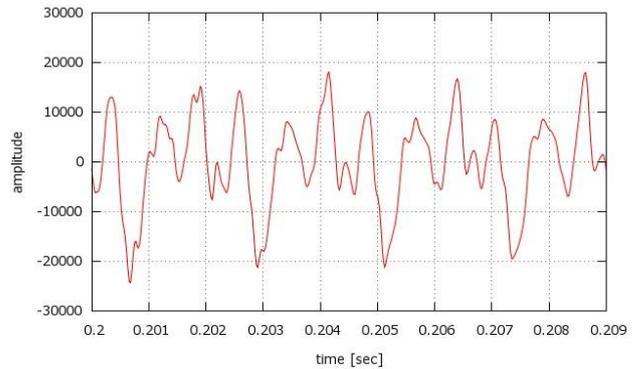
3 次高調波からは周波数が高くなるにつれてスペクトルが単調に減衰しながら広域に分布している。更に、クラシックギターや三味線に比べて、基本周波数の倍音以外の帯域にもスペクトルは広く分布している。こういった全体的には低域にスペクトルが集中しながらも、高域にわたって細かなスペクトルも複合され、深みや

豊かさ、重厚さといった印象を与えていると考える。



← 収束時間:約 1.8sec →

(a) 全体



(b) 発音部詳細

図 12 箏の時間波形 A4(440Hz)

Fig.12 Temporal waveform of koto A4(440Hz)

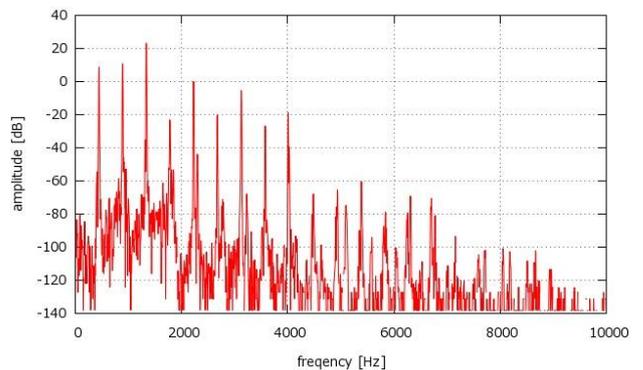


図 13 箏の周波数解析結果 A4(440Hz)

Fig.13 Frequency analysis result of koto A4(440Hz)

4. 1. 4 琵琶の音響解析

琵琶の音響解析を行った。琵琶は薩摩琵琶を用いた。材質は桐、糸は絹糸、撥は桐のものを用了。なお、この楽器も先に解析したクラシックギターや三味線と比べて舞台用として高価で、良質な音色と言われるものを使用した。使用した琵琶の形状を図14に示す。

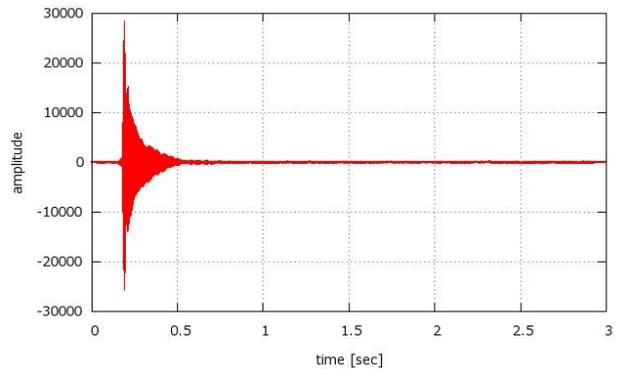


図14 琵琶の形状

Fig.14 Shape of biwa

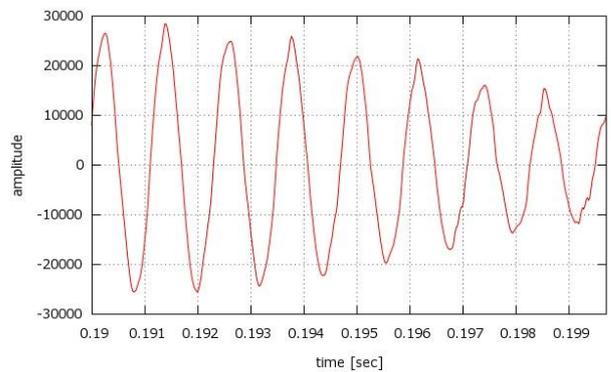
琵琶の時間波形を図15に示す。全体の振幅エンベロープは弦楽器の特徴である、急速な立ち上がりと急速に収束する形状である。但し、前述した楽器と比べて音が収束するまでの時間は約0.5secと非常に短い。このような急速な収束は、音の余韻を残さず、クリア（澄んだ）、やせた、哀愁のある音色とといった印象を受ける。発音部の詳細を見ると波形は正弦波に近い形状であり、基本波のみならず、その2倍の高調波成分が強いことが分かる。

次に周波数解析結果を図16に示す。基本周波数の440Hzの整数倍でスペクトルが現れているが、基本周波数よりも2次高調波の880Hz付近にスペクトルのピークがあることが分かる。これは三味線や箏と同様であるが、三味線や箏に比べ基本周波数など、低次の高調波成分が小さいため、か細く、鈍い印象を受ける。また、スペクトルはピークから2500Hzまでは単調に減少しているものの、その後は高域までに単調に広がっており、相対的にスペクトルが高域に分布している。そのため、高域に広がるクリア（澄んだ）で、琵琶特有の鮮やかさ、艶っぽさといった印象を与えていると考える。



←→ 収束時間:約0.5sec

(a) 全体



(b) 発音部詳細

図15 琵琶の時間波形 A4(440Hz)

Fig.15 Temporal waveform of biwa A4(440Hz)

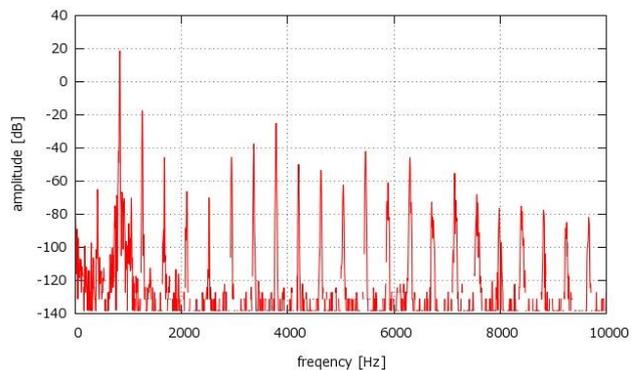


図16 琵琶の周波数解析結果 A4(440Hz)

Fig.16 Frequency analysis result of biwa A4(440Hz)

弦楽器の分類として洋楽器と和楽器の振幅エンベロープや周波数スペクトルを比較すると、減衰時間が短く、基本周波数よりも高い2次、3次高調波でスペクトルのピークがあり、スペクトルがやや高域側に強いという共通の特徴が見られた。そのためクラシックギターと比較してか細い、軽い印象はあるが、クリア（澄んだ）、タイト（引き締まった）という音色の印象を受けた。このような点が日本人的な情感、哀愁にマッチしているため、和楽器として残っているのではないかと考える。

4. 2 管楽器の音響解析

管楽器の音響解析を行った。洋楽器としてリコーダー、和楽器として尺八、篠笛を録音し、時間波形および周波数スペクトルを比較して音色の特徴を解析した。どちらの楽器も管楽器の中ではリードを用いず、空気を楽器のエッジに当てることで定在波を発生させるエアリード楽器である。また、管の片側が閉じた構造をしている。音階はC5 (523.25Hz) の単音とした。

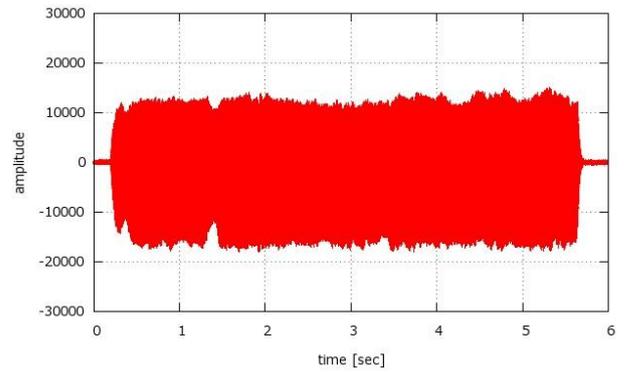
4. 2. 1 リコーダーの音響解析

まずリコーダーの音響解析を行った。リコーダーはYAMAHA YRS-312BIIIという練習用のソプラノリコーダーを用いた。材質はABS樹脂製である。なお、管楽器は吹き込む空気を管内で共振させて、直接放射するため、管の材質の影響は受けにくいとされている。使用したリコーダーの形状を図17に示す。

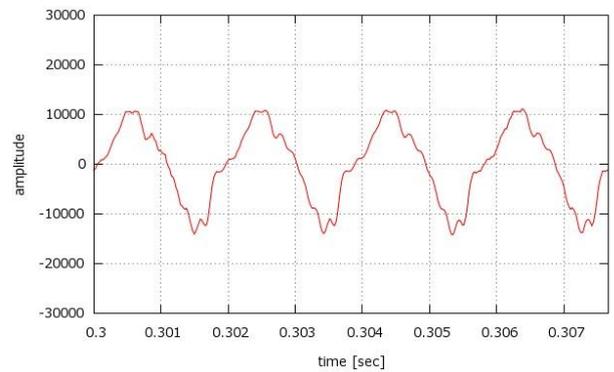


図17 リコーダーの形状

Fig.17 Shape of recorder



(a) 全体



(b) 振動部詳細

図18 リコーダーの時間波形 C5(523.25Hz)

Fig.18 Temporal waveform of recorder C5(523.25Hz)

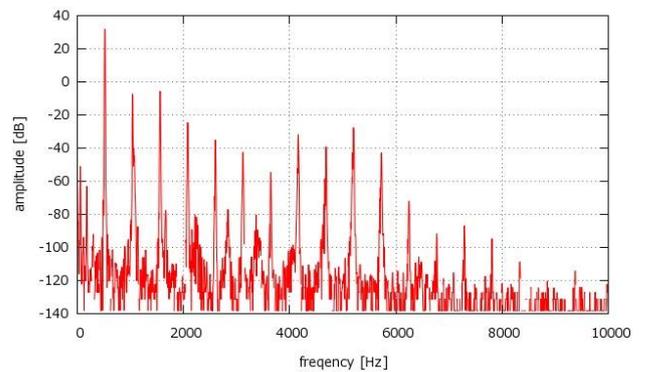


図19 リコーダーの周波数解析結果 C5(523.25Hz)

Fig.19 Frequency analysis result of recorder C5(523.25Hz)

時間波形を図18に示す。全体の振幅エンベロープは空気を入れることで立ち上がり、空気

を入れ続けている間は振動がほぼ一定に持続し、空気を止めると急速に減衰している。これは管楽器の基本的な特徴である。このような一定の振幅で音が持続することで、音の全体がはっきりと、力強く聞こえる音色という印象を受ける。振動部の波形の詳細を見ると三角波の形状をし、基本周波数の 523.25Hz の周期で振動する成分が強いことが分かる

周波数スペクトルを図 19 に示す。基本周波数の成分が最も強く、その後 4000Hz 付近まで単調に減衰する分布となっている。そのため低域側が強調され、基本周波数の音をはっきりと聞こえ、重みのある印象を受ける。また、相対的に 3000Hz 付近が弱く、やわらかな印象があり、5000~6000Hz 付近までの高域側でもスペクトルが強められ、高域の明瞭な印象を与えているとも考える。なお、このようなスペクトル分布はクラシックギターと近い傾向である。

4. 2. 2 尺八の音響解析

尺八の音響解析を行った。尺八は六寸管、五孔のものを用いた。材質は真竹のものを用いた。なお、この楽器は先に解析したリコーダーと比べて舞台用として高価で、良質な音色と言われるものを使用した。形状を図 20 に示す。

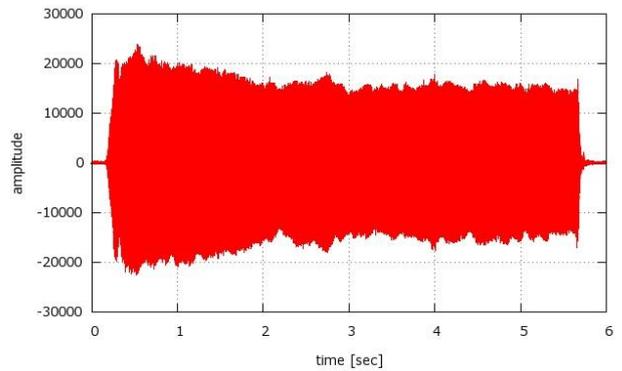


図20 尺八の形状

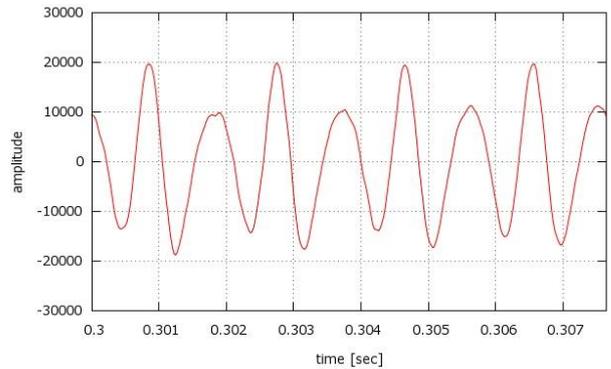
Fig.20 Shape of syakuhachi

時間波形を図 21 に示す。全体の振幅エンベロープは管楽器の特徴的な形状をしているが、リコーダーに比べて共振モードに定常状態になるまでに振幅の推移が見られる。やや滑らかに立ち上がり、共振モードとなったときに最も振幅は大きくなり、その後共振モードを持続させるように振幅も定常状態となっている。これは

リコーダーと比べて発音が難しい楽器であるためと考える。このような振幅の推移によって、発音時の振幅の変化が直接的に感じられ、尺八特有の力強さや、やわらかさといった印象を与えていると考える。



(a) 全体



(b) 振動部詳細

図21 尺八の時間波形 C5(523.25Hz)

Fig.21 Temporal waveform of shinobue C5(523.25Hz)

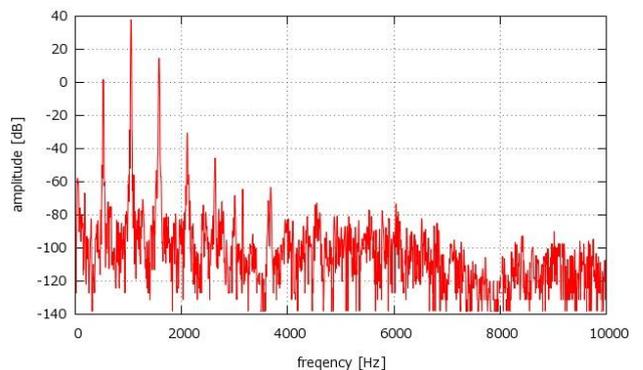


図22 尺八の周波数解析結果 C5(523.25Hz)

Fig.22 Frequency analysis result of shinobue C5(523.25Hz)

周波数スペクトルを図 2 2 に示す。基本周波数、2 次、3 次高調波成分が強く、高域への分布は非常に狭いことが分かる。そのため、1000Hz 付近が強調され、太く、力強い、甲高い印象を受ける。更に 600~1200Hz でのスペクトルの集中から、タイト (引き締まった) 印象を与えていると考える。

また、低域から高域に渡って広帯域の雑音成分が見られるのが大きな特徴である。これは管の共振モードとは別に、尺八に空気を入れることで発生するものである。このような雑音成分もまたそれぞれの楽器特有の音色である。雑音成分は広域に渡って見られるが、低域では共振モードのスペクトルが強調されていて音色への影響はほぼない。高域では「シュー」というかすれた音色が独特な哀愁のある印象を与えていると考える。(管楽器ではフルートの息づかいなども同様)

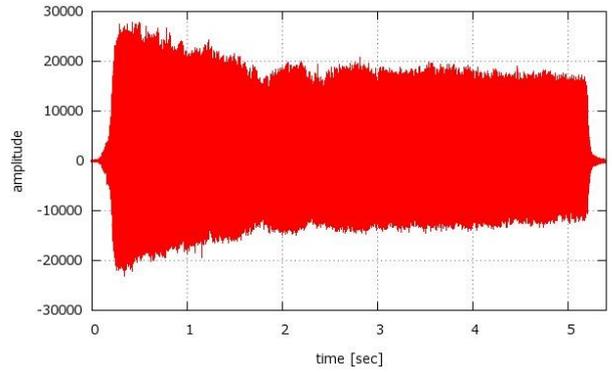
4. 2. 3 篠笛の音響解析

次に篠笛の音響解析を行った。篠笛は七孔、材質は女竹 (篠竹)、内部は漆で塗装されているものを使用した。形状を図 2 3 に示す。

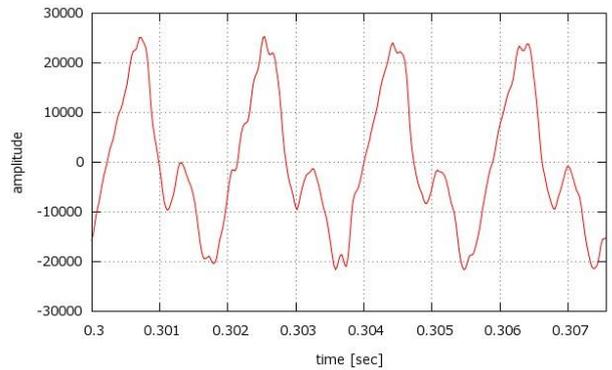


図23 篠笛の形状
Fig.23 Shape of shinobue

時間波形を図 2 4 に示す。全体の振幅エンベロープは尺八と非常に近い形状をしている。やや滑らかに立ち上がり、共振モードに励振させたときに振幅が最も強くなっている。その後、定常状態となり振動を持続させている。振動部の詳細を見ると三角波に近い形状で、基本周波数や 2 次高調波の成分が強いことが分かる。



(a) 全体



(b) 振動部詳細

図24 篠笛の時間波形 C6(523.25Hz)

Fig.24 Temporal waveform of shinobue C6(523.25Hz)

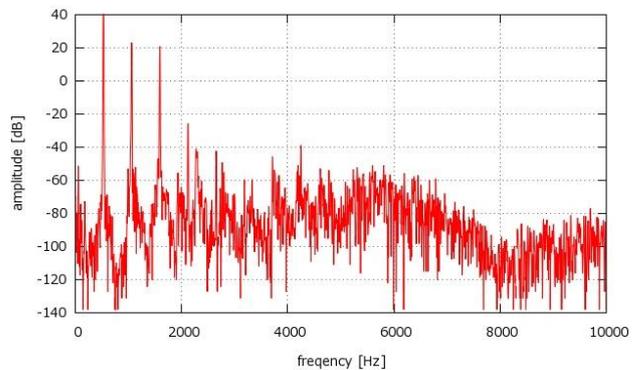


図25 篠笛の周波数解析結果 C5(523.25Hz)

Fig.25 Frequency analysis result of shinobue C6(523.25Hz)

周波数スペクトルを図 2 5 に示す。基本周波数成分が最も強く、2 次、3 次の高調波成分にスペクトルが集中している。高域のスペクトルはリコーダーに比べて小さく狭い。そのため低域

が強調されて、太く、重く、はっきりとした印象を与えていると考える。

また、尺八と同様に低域から高域に渡って広帯域の雑音成分が見られる。これは管の共振モードとは別に、篠笛に空気を入れることで発生する息遣いである。特に中域、高域での雑音成分がはっきりと聞こえ、独特のかすれた息遣いが深み、わびしさといった印象を与えていると考える。

リコーダーと比較しての全体の印象は、広帯域な雑音（特に高域強調）の中に、基本周波数による管振動がはっきりと聞こえるため、繊細さと、力強さを併せ持つ音色と考える。

管楽器の分類として洋楽器と和楽器の振幅エンベロープや周波数スペクトルを比較すると、基本周波数や2次、3次高調波にスペクトルが集中し、スペクトルの帯域は狭い。そのため、低次の成分によって力強くはっきりと感じた。また、広帯域に分布する雑音（特に高域強調）のような息遣いも独特なわびしさや哀愁を与える印象と感じた。

5. 結言

本研究では和楽器の音響的な特徴を探ることを目的として、三味線、箏、尺八の音響解析を行い、以下のような結果を得た。

- ① 弦楽器と管楽器の音響解析を行うことで、時間的な波形の形状や、周波数スペクトルがそれぞれの楽器の構造や原理、印象を捉えており、作成したプログラムの実効性を確認した。
- ② 三味線の音響解析を行った結果、クラシックギターと比較して振幅の減衰時間が短く、高域に強調されたスペクトル分布が見られた。そのためクラシックギターと比べてクリア（澄んだ）、か細い、抜けのよい、タイト（引き締まった）といった印象を持つ楽器と考える。
- ③ 箏の音響解析を行った結果、クラシックギターと比較して振幅の減衰時間はやや短く。ま

た、3次高調波付近でピークを持ち、その後高域に行くほど単調にスペクトルが減衰していた。そのためクラシックギターと比べて鋭い、鮮やか、豊か、タイト（引き締まった）といった印象を持つ楽器と考える。

- ④ 琵琶の音響解析を行った結果、クラシックギターと比較して振幅の減衰時間は非常に短く、周波数スペクトルは2次高調波でピークを持つが、低域は弱く、高域に広がっていた。クラシックギターと比べてか細い、鈍い、クリア（澄んだ）、鮮やかといった印象を持つ楽器と考える。
- ⑤ 尺八と篠笛の音響解析を行った結果、リコーダーと比較して振幅の立ち上がりはやや滑らかで、揺らぎを持っていた。また、周波数スペクトルは狭く、低域に集中していた。更に、空気を入れることで発生するノイズが広帯域（特に高域強調）に分布していた。そのため太い、力強い、深い、かすれた、わびしいといった印象を持つ楽器と考える。

4種類の和楽器の音を洋楽器と比較して特徴を述べたが、共通する印象としては、洋楽器の基本周波数の音階を中心として、重厚な音色を持っているという印象に比べて、和楽器はか細さ、繊細さ、タイト（引き締まった）、クリア（澄んだ）といった傾向が見られた。これは日本のわび・さびにも通じるものと考えられる。やはり日本人の美意識に合った和楽器固有の音色であると考えられる。

謝辞

本研究において、琵琶奏者の杉本紫水先生、尺八奏者の宮本盟山先生、篠笛奏者の泉紫風先生、箏奏者の中山妙子先生に演奏および和楽器に関する知識や魅力について多くの協力と助言を頂きました。深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 小泉宣夫 基礎 音響・オーディオ学 コロナ社 2005
- (2) 岩宮眞一郎編著 音色の感性学 日本音響学会 2010
- (3) 松下耕二郎 信号処理のためのプログラミング入門 技術評論社 2009
- (4) 野村秀子 箏の常識と楽理のお話 正弦社 1973
- (5) Wikipedia <http://ja.wikipedia.org>