

# アンティークバイオリンの音色の特徴分析

栗原義己<sup>†1</sup> 横山真男<sup>†1</sup>

**概要:** これまでに多くの弦楽器製作者や研究者がアンティークバイオリンの音色の研究を行ってきたが、現代の技術では名器と言われるアンティークバイオリンの音色の再現は困難と思われる。本研究の目的は、アンティークバイオリンの音色の音響特徴量の傾向を見だし、新作楽器製作におけるアンティークバイオリンに近い音色の再現に寄与することである。本研究の実験では、プロの演奏者にストラディバリを含む多くのバイオリンの演奏を収録し、アンティークバイオリンと新作バイオリンの比較によるスペクトル解析とSD法によるアンケート評価を行い音色の特徴分析を行った。

**キーワード:** バイオリン, ストラディバリ, 音色, スペクトル解析, 正準相関

## Feature analysis of Antique Violin Tone

YOSHIKI AWAHARA<sup>†1</sup> MASAO YOKOYAMA<sup>†1</sup>

**Abstract:** Many violin makers and researchers have studied the sound of the antique violin. But the reproduction of the sound of fine antique violin by present technology seems to be difficult. The purpose of this research is to find the model of the feature of sound in the antique violins, and is to contribute to the reproduction of sound which antique violins have in a factory of new violin making. In the present experimental analysis, we recorded many violins including Stradivari by a professional violinist, and we performed the spectral analyses and compared the feature of the sound between antique violins and new violins.

**Keywords:** Violin, Stradivari, Tone, Spectrum analysis, Canonical correlation

### 1. はじめに

本研究では、オールドバイオリンから新作バイオリンまで年代の異なる多くのバイオリンの音色の違いについて、FFTによる音響分析とアンケート評価による分析を行った。目標として、オールドバイオリンの音色の特徴量を見だし、オールドバイオリンのような音色が出せる新作バイオリンの製作への一助となるような音響モデルの構築を目指している。オールドバイオリンの音色の再現は製作者の夢であるが、それらの音響モデルの構築をすることで、バイオリン製作者側には製作方法によってどのような音色になるのかを数値化および視覚化でき音色制御の指標に繋がれると考えている。一方、バイオリンの販売者側、購買者側にとっては音色を視覚化したデータを参照することによって楽器の持つ音色を数値的、視覚的にイメージすることができるようになり、購買者側が試奏で得た音色の印象を基に、販売者側は類似の音色のバイオリンを探す、提案ができるようになることに繋がるといった応用が考えられる。

### 2. 実験

#### 2.1 バイオリン演奏の録音

本研究は、表1に示すオールドバイオリン、セミオールドバイオリンをバイオリン奏者(プロ1名2回)に演奏してもらいその演奏を録音した。

演奏楽曲は「タイスの瞑想曲」を使用した。この曲はゆったりとした曲調で、二分音符や全音符などが多いため、FFTにかける範囲を指定するのに都合が良く、上下の音域も広いということで選択をした。「タイスの瞑想曲」に加えて開放弦(E5, A4, D4, G3)を各バイオリンで演奏し、FFT解析を行った。

表1 録音したバイオリン

Table1 Violins recorded in our experiment

オールドバイオリン 5本
Stradivari, Catenari, Gragnani, Balestrini, Santo Serafin
セミオールドバイオリン 7本
Pressenda, Faniola, Scaranpella, Michetti, Guerra, Fablis, Genovese
モダンバイオリン 2本
Bisiachi, Garimberti
新作のバイオリン 7本
Pygmalius (Advance A, B, Exelent A, B), Pygmalius (Stradivari copy, Guarneri copy, Del Gesu copy ※(樹文音楽器製))

#### 2.2 録音環境について

株式会社東陽テクニカのFFTアナライザ(NVGate OR30シリーズ)を使用した。サンプリング周波数は51.2kS/sで録音を行った。マイクはICP®アレイマイクロホン(130A23型)を使った。マイク特性は、1/4インチアレイマイクロホンで、周波数応答は20Hz~20kHz(±2dB)で、ダイナミックレンジ

<sup>†1</sup> 明星大学  
Meisei University

は 30dB<sub>A</sub>~143dB になっている。

録音を行った部屋は、広さ 4 畳ほどの残響の少ない部屋を使用した。部屋の中心あたりに演奏者の方に立ってもらい、演奏者の正面に楽譜とマイクスタンドを設置した。マイクは演奏者の持つバイオリンの f 字孔から約 5cm 離れた位置に固定し録音を行った。

### 2.3 FFT によるスペクトル解析結果

FFT アナライザによるスペクトル解析の結果の一部を図 1 から図 4 に示す。x 軸は、周波数を基音の周波数  $f_0$  で割って正規化したもの、y 軸は、音圧を基音の音圧で割って正規化し無次元化したものである。

図 1 および図 2 は Stradivari(1698 年製, 1711 年製)と 3D スキャンにより複製製作された新作バイオリン(柘文教楽器製最上級クラス Pygmalius Rebirth モデル, 上記とは別の Stradivari のコピー)の F#5 音および E4 音をそれぞれ比較したものである。

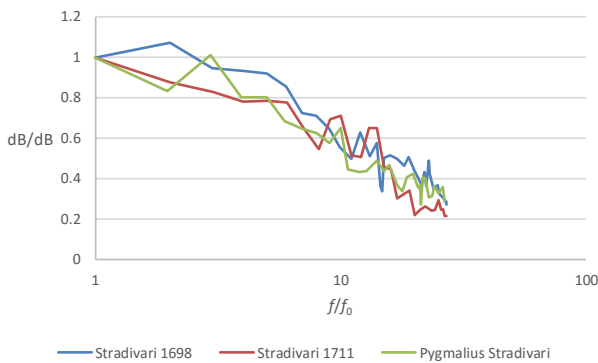


図 1 Stradivari F#5  
 Figure 1 Stradivari F#5

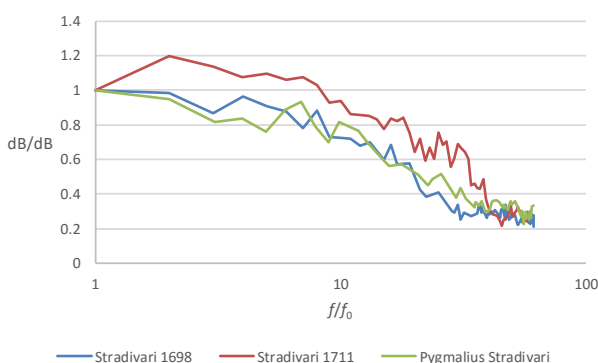


図 2 Stradivari E4  
 Figure 2 Stradivari E4

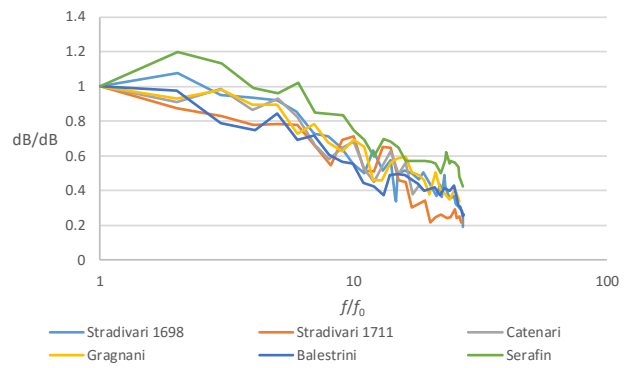


図 3 オールドバイオリンまとめ F#5  
 Figure 3 Summary of Old Violin F#5

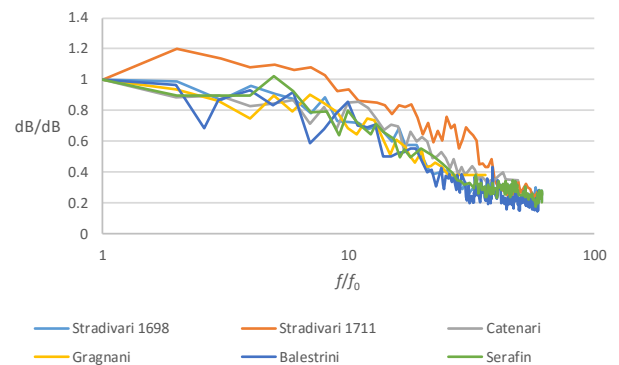


図 4 オールドバイオリンまとめ E4  
 Figure 4 Summary of Old Violin E4

図 1 では各倍音のピーク出方に違いが見られるが、10 倍音を超えたあたりから音圧の差に大きな違いが見られなかった。1698 年製の Stradivari は 2 倍音で基音よりピークが出ているのに対し Pygmalius Stradivari は 3 倍音で基音に近いピークが出ているなどの違いが見られた。図 2 では、1698 年製の Stradivari と Pygmalius Stradivari では F#5 同様にピークの出方に違いは見られ、音圧の差が大きく見られる部分が少ないが、1711 年製の Stradivari は 2 倍音から 8 倍音にかけて基音よりピークが出ており、また 2 本のバイオリンと比べ音圧の差が大きく見られた。ほかのバイオリンと比べ音圧の差が大きく見られる特徴は D4 音でも見られた。

図 3 でもオールバイオリンそれぞれの F#5 の音圧の差に Serafin の 2 倍音、3 倍音が基音より大きくなっているのに対し、図 4 の E4 音では 1711 年製の Stradivari だけ、他のオールバイオリンと比べ倍音の音圧に大きな差が見られた。

以上述べたように各楽器のみならず倍音により倍音の構造が異なる。特に 2 倍音、3 倍音といった高次において基音より大きくなることもありこれらが音色の印象を左右すると思われる。また奇数倍音と偶数倍音の構成によっても音色は変わる。そこで、本研究では、倍音の構造によって音色がどのように聴衆に印象を与えるのかを調べるため、

アンケート評価実験と倍音構造と印象語の相関について正準相関を用いて分析を行った。

## 2.4 SD 法によるアンケート評価実験

印象評価実験として、演奏音(F#5, F#6, C6, D4, E4)と開放弦(E5, A4, D4, G3)の音を、ヘッドホン(SONY MDR-1ABT)を使って聴いてもらい5段階のSD法による印象評価アンケートを行った。印象語には、「明るい」、「美しい」、「暖かい」、「豊かな」、「のどかな」、「上品な」、「解放された」、「柔らかい」、「重々しい」、「好き」の10項目を使用した[1][2]。

被験者には、バイオリンやピアノ、吹奏楽部など楽器経験者10名を対象に評価アンケート実験を行った。本研究は、Stradivariをはじめとする多くの名器を使用しているため先入観でいい音になるだろうという印象を与えないために被験者には何のバイオリンを聴いているかわからないようにして実験を行った。

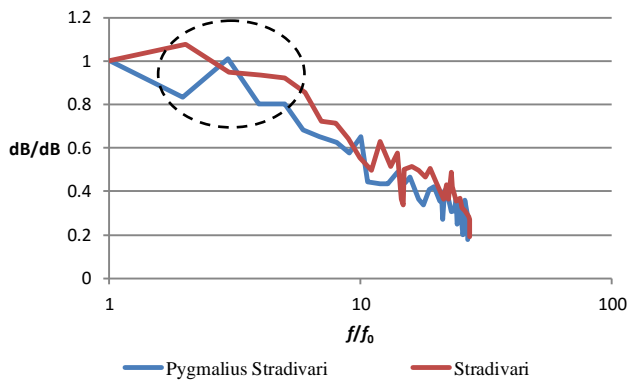


図5 Pygmalius Stradivari と Stradivari の比較 F#5

Figure 5 Comparison of Pygmalius Stradivari and Stradivari F#5

表2 アンケート結果 F#5

Table 2 Questionnaire Result F#5

	Stradivari	Pygmalius Stradivari
明るい	4	3.2
美しい	3.6	3.5
暖かい	3.4	3.5
豊かな	3.3	3.3
のどかな	3.5	3.2
上品な	3.1	3.3
解放された	3.3	3.3
柔らかい	2.8	3.6
重々しい	2.9	3.3
好き	3.4	3.2

図5は、図1のPygmalius Stradivariと1698年製のStradivariの2本にまとめたものである。黒丸で囲った部分は2倍音から4倍音にあたる周波数で、ピークの凹凸に違いがある

が、その違いによりどのように印象の違いが見られるのかについて、表2に示すアンケート結果で考察する。これらの評価値で差がある項目をみると、F#5の2倍音などのピークの出方の違いでは、明るいなどの美的因子や柔らかいなどの金属性因子で差が見られるのではないかと考えられる。

## 2.5 アンケートとスペクトル解析の正準相関

オールドバイオリン全部を対象にSD法によるアンケート評価実験の結果と倍音音圧の関係を調べるために、印象評価アンケートの平均と倍音音圧の2組の重回帰モデルを設定し正準相関を行った。

表3から倍音音圧と印象語の相関を調べた。第1固有ベクトルでは、第2群の固有ベクトルを確認すると5倍音、6倍音の値が高く、第2群の固有ベクトルに対応する印象語が何かを第1群の固有ベクトルで確認すると「美しい」の値が高かった。このことからF#5の第1固有ベクトルでは、5倍音や6倍音で「美しい」の印象を与えるのではないかと考えられる。同じ方法で各音の第4固有ベクトルまで調べ、倍音の構造と印象の相関の検証を行った。

表3 正準相関 F#5

Table 3 Canonical correlation F#5

	第1	第2	第3	第4
正準相関係数	1.3256	1.0757	1.0679	1.0039
第1群(音色)	固有ベクトル			
明るい	0.0650	-0.2188	0.6759	-0.3605
美しい	0.5815	-0.0833	-0.2212	-0.0685
暖かい	0.5188	0.1413	0.2321	0.2937
豊かな	-0.2529	-0.3242	0.2793	0.4030
のどかな	-0.3740	-0.1361	-0.1030	0.3075
上品な	0.2167	0.0384	-0.3376	-0.1187
解放された	0.2713	-0.2129	-0.0188	0.6681
柔らかい	-0.1234	0.8042	0.1916	0.2472
軽やかな	0.2004	-0.1169	0.3807	0.0189
好き	0.0931	0.3074	0.2362	-0.0112
第2群(倍音)	固有ベクトル			
2倍音	0.0446	0.0652	-0.4151	-0.8916
3倍音	0.0839	-0.1346	0.7748	-0.1618
4倍音	-0.0864	-0.2549	0.5745	-0.2698
5倍音	0.2758	-0.2864	0.6209	0.6470
6倍音	0.2646	-0.4762	-0.2047	0.8206
7倍音	0.0817	-0.4693	-0.4722	-0.8574
8倍音	-0.0766	0.1796	0.6623	0.1863
9倍音	-0.7380	0.4847	-0.6068	0.2882
10倍音	-0.2110	0.5787	-0.5884	0.0160
11倍音	0.0622	0.4272	-0.4490	-0.3332

表 4 正準相関した結果

Figure 4 Canonical correlation result

	印象語	倍音音圧
	正準変量 y1	正準変量 z1
Faniola	0.7954	0.6823
Scaranpella	-0.555	-0.458
Fablis	0.0085	-0.598
Balestrini	-0.175	0.0166
Santo Serafin	0.1638	-0.107
Stradivari	0.6744	0.1583
Michetti	-0.304	-0.05
Pressenda	-1.273	-0.566
Genovese	0.7086	0.2778
Pygmalius AdvanceA	1.5385	1.2473
Pygmalius AdvanceB	0.3635	-0.22
Pygmalius Exelent A	-1.384	-0.644
Pygmalius Exelent B	0.2634	0.2424
Bisiachi	-0.495	-0.308
Garimberti	-1.476	-0.021
Guerra	0.435	0.1387
Catenari	0.0547	-0.147
Gagnani	-0.434	-0.351
Pygmalius Stradivari	0.8856	0.5394
Pygmalius Guarneri	0.6635	0.5383
Pygmalius Del Gesu	-0.459	-0.37

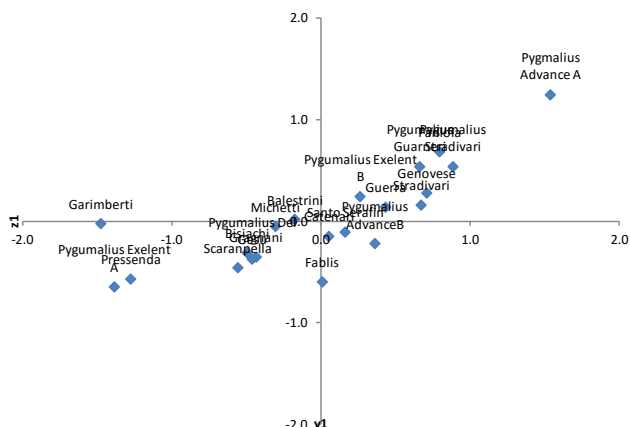


図 6 正準相関 F#5

Figure 6 Canonical correlation

しかし、今回の研究では倍音の構造と印象の相関と当てはまるバイオリンを確認することが現段階ではまだ把握しきれいなく今後の課題である。

図 6 は、表 4 の正準相関した結果を y 軸は印象語の正準変量、x 軸は倍音音圧の正準変量でグラフにプロットしたものである。例えば、Pygmalius Advance A と Pygmalius Exelent A で反対の結果が出た。これらの楽器についてそれぞれアンケート結果のユーザー平均の評価値を参照すると、Pygmalius Advance A は、「明るい」、「美しい」の評価が高く「豊かな」の評価が低かった。Pygmalius Exelent A は、「柔らかい」の評価が高く「豊かな」、「上品な」の評価が低か

った。このことから第一象限では、美的因子が作用しており第三象限では金属性因子が作用しているのではないかと考えられる。

このように正準相関を用いることにより音ごとに似た特徴のあるバイオリンがどのバイオリン同士なのかを知ることにつなげることができると考えられる。

### 3. おわりに

本研究は、バイオリンの FFT 解析を行いスペクトル図で倍音の出方の分析を行った。分析をした倍音の出方と印象語に関係があるのかを正準相関を利用してバイオリンの倍音の出方と被験者の印象の相関があるのかを調べた。しかし今回の正準相関では、相関の特徴と当てはまるバイオリンを確認することができなかった。

今回のアンケート評価実験では、音楽経験者を楽器経験者としたが、より精度を上げるために良質の音を聴き慣れているプロのバイオリン経験者に絞るなど被験者対象を変えることや、ヘッドホンのフラット特性を考慮するなど今後アンケート評価実験内容の改善が必要であると考えられる。

また、逆に演奏者に意図する音色の演奏をしてもらい、その録音データがどのような倍音構造を持っているのか、また被験者にその意図した印象を与えることができるのかを今後研究を行ってきたい。

### 謝辞

多くの貴重な楽器と録音スタジオをご提供いただいた(株)文京楽器様におかれましてはこの場をもちまして感謝の意を表します。

### 4. 参考文献

- [1] 渋谷恒司, 菅野重樹. 心理実験によるバイオリン演奏における音色表現語とボーイングパラメータの関連付け. バイオメカニズム学会誌. 2006, vol.15 p.153-164.
- [2] 中間岳, 本間俊介, 富士川計吉. バイオリンの音色に関する研究~高速フーリエ(FFT)法および意味微分法(SD)法による試み. 認知科学研究. 2002, vol.1 p1-20.