

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：33921

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12039

研究課題名(和文) オールドバイオリンの音色、製法、奏法の総合的解明

研究課題名(英文) Comprehensive analysis of the timbre, manufacturing method, and playing techniques of old violins

研究代表者

牧 勝弘 (Maki, Katuhiro)

愛知淑徳大学・人間情報学部・教授

研究者番号：50447033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ストラディバリウスの音色の美しさはその空間放射特性に大きく依存することが、音色の美しさに関するコンテンポラリー、モダン、オールドのバイオリンとの比較評価実験により明らかになった。さらに、ストラディバリウスの空間放射特性は、空間印象だけでなく、色彩感、リアル感、深み等の様々な音色にも大きく寄与することが明らかになった。バイオリン表板全体の厚みの分布を音響的に評価した結果、オールド同士、ならびにモダン同士では分布の相関が高く、オールドとモダンの組み合わせの相関はそれらよりも低い結果となった。これは、両時代のバイオリン表板に音響構造上の違い、すなわち製法に違いがあることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ストラディバリウスの音色の美しさとその空間放射特性に起因していることが証明され、また初見演奏ではその空間放射特性を引き出せないことを考えれば、これまでのストラディバリウスの音色評価に関する論争に一応の終止符を打つことができたと考える。また、楽器の空間放射特性の音色への寄与が実証されたため、音色を決定づける音響要因の解明が停滞している楽器の音色研究にインパクトを与えることができたと考える。さらに、オールドバイオリン表板の音響的に有効な厚みは、モダンバイオリンとは異なり、単なるサイズではなく木材の硬度等を考慮した板厚の調整が必要なことを示すことができた。今後優良なバイオリンの制作に繋がると考える。

研究成果の概要(英文)：A comparative evaluation experiment encompassing contemporary, modern, old, and Stradivarius violins on the beautifulness of their timbre revealed that the beautifulness of Stradivarius' sound strongly depends on its spatial radiation characteristics. Furthermore, it was clarified that such characteristics greatly contribute not only to the impression of space, but also to various timbres related to color, realism, and depth. As a result of acoustically evaluating the thickness distribution of the entire violin top plate, we found that the correlations between the old top distributions and between the modern top distributions are high. Likewise, the correlation between the old and modern tops is lower, suggesting that there were differences in the acoustic structure of the violin tops in both eras; in other words, there were differences in the manufacturing methods in both eras.

研究分野：Acoustics

キーワード：空間放射特性 マイクロホンアレイ マルチチャンネルスピーカ ストラディバリウス バイオリン 音色 オールドバイオリン

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

18世紀初頭より前に製作されたバイオリンは、「オールド」バイオリンと呼ばれる。その中でも楽器製作者「アントニオ・ストラディバリ」によって製作されたバイオリンは「ストラディバリウス」と呼ばれ、製作当時から現在に至るまで一貫して高く評価されている。そしてその価格は1億円を優に超える。ストラディバリウスは歴史的に名立たるバイオリニストによって愛用され、時代を超えて奏者から奏者へと引き継がれている。また、多くのバイオリン製作者にとってストラディバリウスは永遠に越えられない目標となっており、現在でもストラディバリウスのコピーモデルの製作が盛んに行われている。しかし、約300年の間バイオリンのボディ形状はほとんど変わっていないにも関わらず、なぜストラディバリウスが傑出した評価を受けるのかは、未だに解明されていない[ ]

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、オールドバイオリン、特にストラディバリウスに固有の音色の正体と、さらにそれを生じさせる固有の製法と奏法の解明である。

## 3. 研究の方法

(1) ストラディバリウスの空間放射特性がその音色評価に与える影響を調べるために42ch球形スピーカによりストラディバリウスの空間放射特性を疑似的に再現し、再生音に対して音色評価を行った。この際、42chの球状マイクロホンアレイで録音したストラディバリウスの演奏音(音源)を、同じ方位のスピーカユニット(42ch)からそれぞれ再生する条件をオリジナル条件とした。比較条件として、42chの全てのスピーカユニットから演奏者正面に位置する1chの音源を再生する条件(呼吸球条件)と、演奏者の正面近傍の4chの音源を球形スピーカの前面の4chから再生する条件を設けた。また、参考としてプロ仕様のモノラルモニター用スピーカ(1ch音源)と、ホームシアター用のステレオスピーカ(2ch音源)による再生音との比較も行った。音色を評価するために、「立体感」といった空間印象に関する印象語だけでなく、「色彩感」や「深み」等の美的印象に関する印象語も用いた。

(2) バイオリン表板の構造を調べるために、オールドバイオリン、およびモダンバイオリンの表板全面を指等で軽くタップし、表板全体の音響的に有効な厚みを評価した。音響的に有効な厚みは、タップ音のスペクトル重心(100 Hz~1300 Hz)を計算することで評価した。その後、オールドバイオリン同士、並びにモダンバイオリン同士の重心分布の相関を調べた。同様に、オールドバイオリンとモダンバイオリンの相関を調べ、オールドバイオリン同士、モダンバイオリン同士と比較した。

(3) ストラディバリウスの音色評価実験(1)では、音源は全てストラディバリウスの演奏音であるため、ストラディバリウスの空間放射特性がその音色に寄与していることを示すことができたとしても、他のオールドバイオリンやモダンバイオリン、コンテポラリーバイオリンの音色に対して優位であることを示す実験計画にはなっていない。そこで、ストラディバリウスと他のバイオリンとを比較するために、2名のプロバイオリニストがストラディバリウスとそれ以外のオールドバイオリンやモダンバイオリンを含むそれぞれ5挺のバイオリンを演奏した際の演奏音を使用して音色の美的印象について比較評価実験を行った。さらに、バイオリン音の空間放射特性の有効性を調べるために、空間放射特性を全く再現できないヘッドホンを用いて音を呈示した場合と、空間放射特性を疑似的に再現できる42球形スピーカを用いて音を呈示した場合のバイオリン評価の序列の比較を行った。

## 4. 研究成果

(1) 全ての音色印象語について、オリジナル条件と呼吸球条件は、突出して他の再生条件よりも高い評価となった。また、オリジナル条件と呼吸球条件の比較では、迫力印象を除く音色印象語において、オリジナル条件の方が高い評価を得た。これらの結果は、空間全体に音を放射することの重要性と、ストラディバリウスの放射パターンとその時間変化が迫力を除く音色の印象に大きく貢献していることを示している。

(2) バイオリン表板を弱い力でタップした際に生じるタップ音のスペクトル重心(周波数)を計算した結果を図1に示す。オールドバイオリンであるGasparo da SalòとNicolò Amatiでは、顎当ての部分の周波数が他の部位と比較して高いものの、その他の部分ではおおよそ同じ様な重心周波数となった(図1)。オールドバイオリンの使用されていた時代は、現代のような顎当てを使用しておらず、顎との摩擦によりニスが剥がれてしまうため何度もニスが塗られてきた。そのため、顎当ての部分は硬度が他の部位よりも高くなっており、顎当ての部分の重心周波数の高

さは、その部分の硬度が高いことに由来していると考えられる。つまり、顎によるニスの摩耗がなければ、オールドバイオリンの重心周波数の分布は板の場所によらずおおよそ同じだったと考えられる。一方、モダンバイオリンである SS と MZ は、F 字孔周りの表板中心部分の重心周波数が高く、またアッパーバウツの重心周波数分布が顕著に左右非対称であった（図 1）。

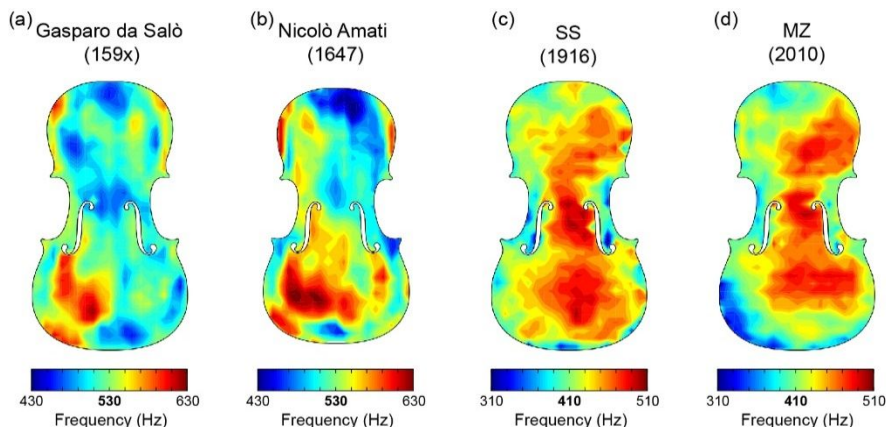


図 1 タップ音の重心周波数の分布。(a),(b): オールドバイオリン。(c),(d): モダンバイオリン。

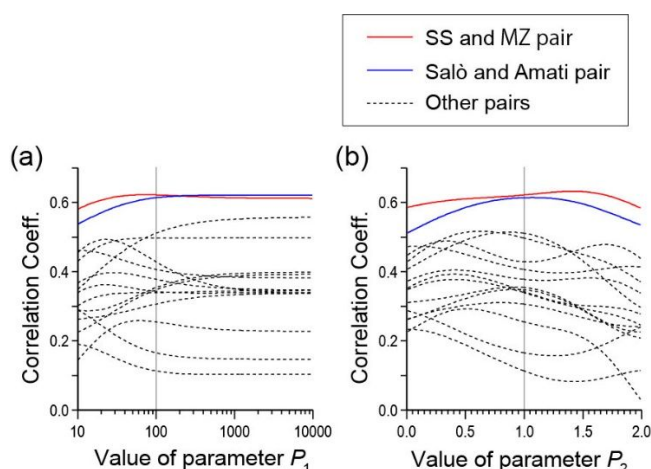


図 2 タップ音の重心周波数を計算する際に使用したパラメータの値とバイオリン間の相関係数との関係。オールドバイオリン同士、ならびにモダンバイオリン同士の相関係数が、他のバイオリンペア（例：オールドバイオリンとモダンバイオリンのペア）に比べてパラメータに関わらず有意に高くなった。

バイオリン表板の重心分布に関して、オールドバイオリン同士、モダンバイオリン同士、オールドバイオリンとモダンバイオリンの組み合わせで相関を調べた所、オールドバイオリン同士、ならびにモダンバイオリン同士では分布の相関が高く、オールドバイオリンとモダンバイオリンの組み合わせの相関はそれらよりも有意に低い結果となった。これは、両時代のバイオリン表板に音響構造上の違い、すなわち製法に違いがあることを示唆している。つまり、オールドバイオリンは、モダンバイオリンとは構造的に異なり、オールドバイオリンの同等品を制作するためには、単なるサイズではなく木材の動的ヤング率等を考慮した音響的な観点での板厚の調整が必要なことを示している。

(3) 音色の評価実験の結果、ヘッドホンを用いて音を呈示した場合にはストラディバリウスの評価が上位とならない場合があったものの、球形スピーカを用いて音を呈示した場合はストラディバリウスの評価が常に上位となった。ヘッドホンを用いた実験は、実験参加者を替えて 2 度行ったものの、評価結果は同様であった。よって、バイオリン音の評価自体は安定して行われたと考えられる。つまり、本結果は参加者の特性に起因する評価バイアスではないと考えられる。よって、ストラディバリウス固有の空間放射特性によりストラディバリウスの音色が他のバイ

オリンと比較して高く評価されたと本結果を捉えることができる。実際にバイオリンが演奏されるホールの残響時間は、本研究で使用了実験室の残響時間よりも長いたため、実際のホールでは空間放射特性がより有効に働き、さらにストラディバリウスの評価が上がる可能性が考えられる。ストラディバリウスは、その空間放射特性に固有の音響的特徴を有しており（科研費16K00255）、それが音色の好評価に繋がっていることを本実験で実証できたと考える。

<引用文献>

Column: Muse: “Science can tell us only so much about Stradivarius violins”,  
Nature, doi:10.1038/nature.2017.21954

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

|                                                                                 |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1. 著者名<br>Katuhiro Maki, Eriko Aiba, Satoshi Obata                              | 4. 巻<br>43          |
| 2. 論文標題<br>Characterizing violin top plate using sounds generated by local taps | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Acoustical Science and Technology                                     | 6. 最初と最後の頁<br>87～95 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1250/ast.43.87                                    | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）                                           | 国際共著<br>-           |

|                                                                                                        |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Katuhiro Maki, Kaho Yamada                                                                   | 4. 巻<br>43            |
| 2. 論文標題<br>Psychological evaluation of 42-channel spherical loudspeaker in low-reverberant environment | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>Acoustical Science and Technology                                                            | 6. 最初と最後の頁<br>113～116 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1250/ast.43.113                                                          | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）                                                                  | 国際共著<br>-             |

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>（ローマ字氏名）<br>（研究者番号）                    | 所属研究機関・部局・職<br>（機関番号）                         | 備考 |
|-------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 饗庭 絵里子<br><br>(Aiba Eriko)<br><br>(40569761) | 電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授<br><br><br><br>(12612) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

|         |         |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|