

令和元年6月21日現在

機関番号：33921

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00255

研究課題名(和文) オールドバイオリンの音響的特徴の解明

研究課題名(英文) Analysis of acoustic characteristics 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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：42ch球状マイクロホンアレイを使用した音響計測により、ストラディバリウスに固有の音響的特徴は、放射方向の揺らぎや聴衆方向への放射の強さなどのバイオリン音の空間放射特性に現れることを明らかにした。また、多面体スピーカを利用した心理学的実験により、音の放射方向の時間的な揺らぎが演奏音の音色評価の向上に寄与することを示し、放射方向の時間的な揺らぎがストラディバリウスの特徴的な音色の一要因になり得る可能性を示した。さらに、奏者の熟練度がバイオリン音の空間放射特性へ与える影響を明らかにし、表板全域に渡るタップ音の周波数分析によりオールドバイオリン表板の特徴を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではバイオリン音源の空間放射特性が音色に強く影響することを実証した。つまり、楽器の音色に影響する重要な音響要因に光を当てることができた。同時にこの結果は、現在の楽器音の集音方法やスピーカによる再生方式に対して再考を促すものである。また、オールドバイオリンの空間放射特性と表板の音響的特徴を明らかにしたことから、今後、バイオリンの製作方法に対して新たな設計指針を示すことができるかもしれない。さらに、奏者の熟練度がバイオリン音の空間放射特性に顕著に現れることを明らかにしたことから、今後、奏者のポウイング技術の自動評価や音の3D可視化による演奏教育システムの開発に繋げていけると考える。

研究成果の概要(英文)：Acoustic measurements were conducted by employing a 42-channel spherical microphone array. Obtained results indicated that characteristic Stradivarius acoustic features appear in the spatial radiation characteristics of violin sounds, such as variation of the radiation direction and radiation intensity in the direction of the audience. Additionally, results obtained from psychological experiments conducted by employing a multichannel spherical loudspeaker demonstrated that variation of sound's radiation direction improves the timbre perception of violin sounds. In other words, the results corroborate that variation of the radiation direction can affect the characteristic timbre of Stradivarius. Furthermore, the effect of a violinist's skill level on the spatial radiation characteristics of violin sounds was revealed in this study. Characteristics of an old violin top plate are also demonstrated through the frequency analysis of sounds generated by local taps on the violin top plate.

研究分野：音響学

キーワード：空間放射特性 バイオリン ストラディバリウス 時間揺らぎ 熟練度 タップ音

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

「ストラディバリウス」とは、17世紀から18世紀にかけてイタリア・クレモナ地方で活躍した楽器製作者「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を指す。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、多くの楽器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いる。しかし、なぜストラディバリウスがそのような美しい音を発することができるのかは未だに解明されていない()。

一方で、ストラディバリウスを含むオールドバイオリンの音色に対して否定的な実験結果も報告されている()。しかし、音色の心理的評価は、好み等の様々なバイアスを含むため、ストラディバリウスの音色の良し悪しを議論するためには、先ず楽器音自体にどのような差があるのかを「音響的」に明らかにすることが最も重要である。

そこで、本研究では世界3大ストラディバリウスの一つである「ドルフィン」を含む状態の良いストラディバリウス3挺と複数のモダンバイオリンの演奏音を、球状マイクロホンアレイ(マイク数42個)を用いて収録し、それらの空間的な音響特性を調べた。その結果、ストラディバリウスはモダンバイオリンに比較して、放射指向性が鋭いという共通性があることを発見した()。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに、歴史的楽器とされるオールドバイオリン「ストラディバリウス」の空間音響解析により、ストラディバリウスは、モダンバイオリンに比較して放射指向性が鋭いことを発見した。ここで、放射指向性とは、ある特定の方位に音が偏って放射されることを意味する。本研究では、この鋭い放射指向性がストラディバリウスの特徴的な音色を決定づける主要な一要因であることを実証し、ストラディバリウスを含むオールドバイオリンのさらなる空間音響解析・時間的特徴解析を進めることでオールドバイオリンの音響的特徴を解明する。これにより、楽器の音色研究を主とする、楽器奏法の教育、楽器設計・製作、楽器音収録技術、スピーカ設計・製作技術等への学術的貢献を目指す。

3. 研究の方法

(1) 42ch 球状マイクロホンアレイを用いて、プロ奏者によって演奏された世界3大ストラディバリウス「ドルフィン」を含むストラディバリウス4挺、ガルネリ・デル・ジェス2挺、イタリアンオールドバイオリン5挺、モダンバイオリン4挺、およびコンテポラリバイオリン複数挺の音響空間放射特性を計測・分析し、それらの空間放射特性の特徴を調べた。特に、分析周波数の関数として表した放射指向性の強さのパターンにおけるピーク・谷の周波数、周波数ごとの放射方向、および放射方向の時間的な揺らぎに着目して分析を行った。球状マイクロホンアレイは、無指向性の小型マイクが近等密度で42カ所に取り付けられており、奏者を囲むアレイの直径は1.6mであった。音響計測は無響室内で行った。

(2) バイオリン音の放射方向の時間的な揺らぎの特性が、音の聴感に与える影響を調べるために、42チャンネル球形スピーカを利用してバイオリン演奏音の聴取実験を行った。具体的には、42チャンネル球形スピーカの全スピーカユニット(42ch)を同じ音源で駆動し放射方向の時間揺らぎが生じないControl条件と、Control条件と同一の音源を利用するものの特定のチャンネルの音を大きく鳴らし、それを時間と共に移動させることで放射方向の時間揺らぎを人工的に作り出す条件を設け、それらの音に対する「リアル感」(音色の一種)への影響を調べた。各条件のバイオリン演奏音(10秒)の音圧レベルは聴取環境(講堂)の中央部で全て65dBとなるように調整し、心理評価法としてシェフェの対比較法(浦の変法)を用いた。揺らぎを加える条件では、音の移動速度や移動のランダム性の異なる3条件(Slow条件、Slow&Fast条件、Fast条件)を用意した。

(3) 空間放射特性における奏者の影響を調べるために、明確に熟練度の異なる3グループ、すなわち、アマチュア、国内で活動するプロ、および世界的に活躍する極めて熟練度の高いプロによるバイオリン演奏の音を42ch球状マイクロホンアレイにより記録し、3グループ間で空間放射特性の比較を行った。空間放射特性における楽器の要因を排除するために全ての奏者に同一のバイオリンを演奏してもらった条件を設けた。また、世界的なプロに対しては製作年代やランクの異なる様々な楽器を演奏してもらい、それらの比較も行った。演奏音の分析は、音階の演奏音を対象に行った。

(4) オールドバイオリンの構造的な特徴を見出すために、表板の全域を弱くタップすることにより生じる音の特徴を調べ、表板に渡るタップ音の特徴分布を調べた。オールドバイオリンとして、イタリア北部におけるバイオリン製作において重要な役割を果たした、ガスパロ・ダ・サロとニコロ・アマティを分析対象とした。モダン・コンテポラリバイオリンとして、イタリア北部で評価の高い2挺を分析対象とした。表板に対するタップ音から周波数スペクトルに類似した聴覚表現を計算し、表板におけるそれらの重心分布を調べた。表板に対するタップは、人差し指の第2関節、または、細い金属棒の縁で行った。

4. 研究成果

(1) ストラディバリウスのみが持つ3つの「音響的特徴」を新たに明らかにすることができた。第一に、周波数の関数として表した放射指向性の強さのパターンは、ストラディバリウス間で類似していることが明らかになった(図1)。ここで、放射指向性の強さとは、音がある特定の一方位に集中するほど高い値を示す空間放射特性の一指標である。第二に、ストラディバリウスは、1kHz 前後において正面方向(聴衆の方向)への音の放射が強いことが明らかになった。他のモダン、およびコンテポラリーバイオリンでは、この特性は見られなかった。これは、ストラディバリウスの持つ「遠くで音が大きく聞こえる(遠鳴りの)性質を説明するものかもしれない。第三に、ストラディバリウスは、750Hz 前後で、弦(G、D、A、E線)の種類や押弦の位置に依存して放射される音の方向が大きく変化することが明らかになった。この特徴により、曲の演奏中は、音の放射方向が「時々刻々」と変化するため、ホール内で独特の音色を形成する可能性が考えられる。

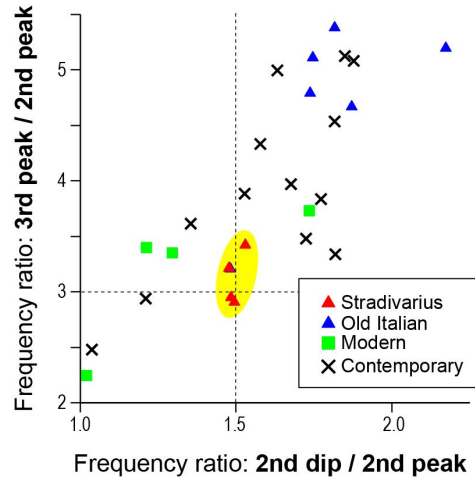


図1 ストラディバリウスの特徴的な音の放射指向性。指向性の強い周波数と弱い周波数等の比をとったものを表示。

(2) ストラディバリウスは、楽曲演奏中に他のバイオリンとは異なる固有の放射方向の揺らぎの特徴を有していたため(上記(1)を参照) この放射方向の時間的揺らぎの特性が、音の聴感に与える影響を調べた。42ch 球形スピーカの放射音に人工的な時間揺らぎを付加してその影響を調べた結果、単一音源が基であっても、放射音に放射方向の時間的な揺らぎを付加することで、放射音の「リアル感」が向上することが明らかになった(図2)。この結果は、ストラディバリウスの音響的特徴の一つである放射方向の時間的揺らぎが、その音色に影響を与えることを示している。また、この結果は将来的に、マルチチャンネル球形スピーカを用いて、CD 音源を含む様々な音源をリアルに再生できる可能性も同時に示している。

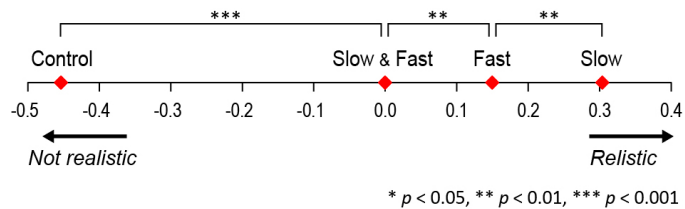


図2 42ch 球形スピーカから再生したバイオリン演奏音に対する音色(「リアル感」)の評価結果。Control は、放射方向の時間的な揺らぎがない条件。他は、放射方向の時間的な揺らぎがある条件。

(3) (1)で明らかにしたストラディバリウスと他のバイオリンの音響的特徴の違いは、全て極めて高い熟練度を有する奏者により演奏された際のデータに基づいたものであった。しかし、人が演奏しているために演奏者の要因を排除することができなかった。そこで、バイオリン音の空間放射特性における演奏者の要因について調べた。その結果、熟練度の極めて高い奏者は、バイオリンのランクや製作年代に関わらず、互いに似た放射特性を有する形で演奏可能であることが明らかになった。逆に熟練度がそこまで達していないと考えられる(国内のみで活動する)通常のプロ奏者やアマチュアの奏者では、特に1kHz以下の放射指向性が世界的プロと顕著に異なり、練度が下がるにつれて1kHzの指向性が小さくなることが明らかになった(図3)。よって、(1)に示した音響計測の実験結果には奏者の要因は含まれるものの、そこで現れたストラディバリウスの音響的特徴は楽器に起因する可能性が高いと考えられる。

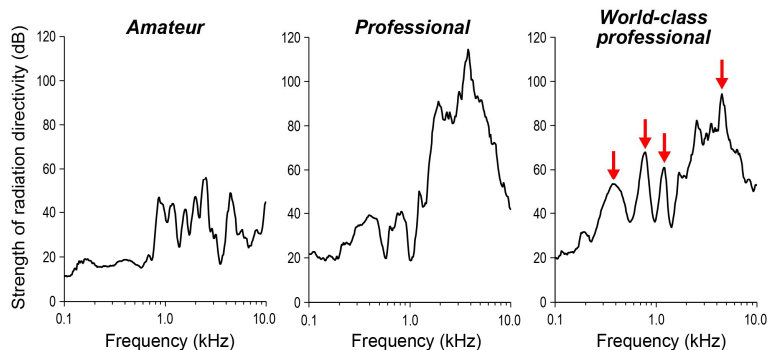


図3 同じバイオリンを異なる熟練度の奏者が演奏した場合のバイオリン音の空間放射特性。練度の高い右の奏者は指向性のピークが明確であるのに対し(赤い矢印)、練度の低い左の奏者はピークの存在が曖昧である。

(4) ストラディバリウスの音響的特徴は、同時代に製作された他のオールドバイオリンとは異なっており、また、オールドバイオリンの音響的特徴は、それよりも新しいモダンバイオリンの音響的特徴とは異なっていた((1)を参照)。これらのバイオリンの音響的特徴の違いが、楽器の構造的な違いに由来する可能性を探るために、バイオリンの表板に対する局所的なタップにより生じる音を用いて、表板の特徴分析を行った。その結果、19世紀以降に製作されたバイオリンの表板では、f字孔間周辺のタップ音の周波数スペクトルの重心周波数が高く、かつ、左右非対称であった。一方、18世紀以前に製作されたオールドイタリアンバイオリンの表板では、場所によらずタップ音の重心周波数が類似していることが示された。この結果は、18世紀以前のイタリア北部では、タップ音によるバイオリン板の調整が行われていた可能性を示している。この分析はストラディバリウスを対象に行うことができなかったが、ストラディバリウスは、これらのオールドバイオリンの製作方法を維持しつつ独自の改良を施した可能性が高いと考える。

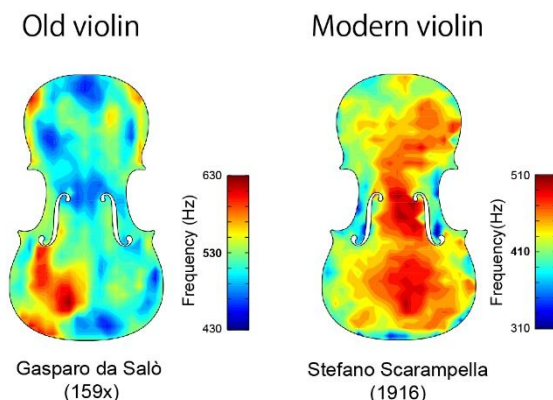


図 4 表板を弱い力で叩くことにより生じる「音」の特徴分布。時代による差が顕著に表れている。

<引用文献>

- Hutchins, C.M. Ed. "Reserch papers in violin acoustics, 1975-1993." Volume 1, Volume 2, Acoustical society of America, 1996.
- Fritz C, Curtin J, Poitevineau J, Borsarello H, Wollman I, Tao FC, Ghasarossian T. "Soloist evaluations of six Old Italian and six new violins," Proc Natl Acad Sci USA., 111(20), 7224-7229, 2014.
- 牧 勝弘 "至高のバイオリン ストラディヴァリウスの謎," NHK 総合 NHK スペシャル出演 (ストラディバリウスの音響測定・分析を担当), 2013年11月7日放送.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

- 牧原 航希, 中川 蒔望, 牧 勝弘, "不快映像と不快音によるストレス状態誘導後の音楽効果の比較," 日本音響学会音楽音響研究会資料, 査読無, 37(8), pp.15-20, 2019.
- Maki, K. and Ariyama, M., "Acoustic spatial radiation characteristics of a violin made of Japanese cedar wood produced in Nara Prefecture," Acoustical Science and Technology, 査読有, 40(3), pp.217-220, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1250/ast.40.217>
- Maki, K. and Isaji, S., "Impact of temporal fluctuation on realism in sound radiation from a multichannel spherical loudspeaker," Acoustical Science and Technology, 査読有, 40(2), pp.138-141, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1250/ast.40.138>
- 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, 牧 勝弘, "バイオリン演奏音における右手ボウイングの筋活動 - アマチュア奏者とトッププロ奏者の比較 -," 日本音響学会音楽音響研究会資料, 査読無, 36(4), pp.23-26, 2017.
- 牧 勝弘, 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, "バイオリン演奏音の空間放射特性に基づく熟練度評価," 日本音響学会音楽音響研究会資料, 査読無, 36(4), pp.17-22, 2017.
- 牧 勝弘, 津崎 実, "聴覚神経系の計算機シミュレーションによるピッチ情報の符号化に関する検討," 日本音響学会聴覚研究会資料, 査読無, 47(2), pp.83-88, 2017.
- 田治見 唯, 牧 勝弘, "音楽の想起による感情喚起の効果," 日本音響学会聴覚研究会資料, 46(8), pp.537-541, 2016.
- 牧 勝弘, 古川 茂人, "中脳ニューロンの空間表現における地面からの反射音の影響: 聴覚モデルによる分析," 日本音響学会聴覚研究会資料, 査読無, 46(8), pp.543-548, 2016.
- 牧 勝弘, "音の空間放射特性と音色~楽器音解析とスピーカ設計を通して~, " 情報処理学会研究報告音楽情報科学, 査読無, 2016-MUS-111(13), pp.1-6, 2016. URL: <http://id.nii.ac.jp/1001/00160366/>

[学会発表](計23件)

- 小島 沙恵, 栗原 えりか, 牧 勝弘, "自律神経系指標を用いた音楽想起による感情喚起効果の評価," 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.729-732, 2019.
- 牧 勝弘, 有山 麻衣子, "奈良県産スギ材を使用したバイオリンの音響空間放射特性," 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1364-1366, 2018.

- 牧 勝弘, 有山 麻衣子, “楽器用材への利用に向けた奈良県産スギ材の振動特性の解析,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1359-1362, 2018.
- 牧 勝弘, 伊佐地 草汰, “マルチチャンネル球形スピーカによるリアルな音の再現～放射方向の時間揺らぎの効果～,” 第13回日本感性工学会春季大会, TD3-7, pp.1-3, 2018.
- 津崎 実, 牧 勝弘, “自励発振との共起分析に基づくピッチ知覚モデルの構築: 発振揺らぎと時定数の影響,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.1323-1326, 2018.
- 牧 勝弘, 饗庭 絵里子, 小幡 哲史, “ストラディバリウス・バイオリンの音響放射方向の揺らぎの特徴,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.1405-1408, 2018.
- 津崎 実, 牧 勝弘, 入野 俊夫, “加齢によるピッチ・シフト現象とピッチ・モデル: モデルで見落とされてきた側面,” 日本基礎心理学会第36回大会, 2018.
- 牧 勝弘, “楽器演奏音の空間放射特性の計測: 奏者の熟練度と名器の特徴,” 第60回自動制御連合講演会, 2017. [招待講演]
- 牧 勝弘, “42チャンネル球形スピーカによる楽器の生演奏音の再現～なぜスピーカの音はリアルに聞こえないのか?～,” 第四回非線形現象の捉え方研究会, 2017. [招待講演]
- 牧 勝弘, “至高のバイオリン“ストラディバリウス”の音響的特徴,” 第四回非線形現象の捉え方研究会, 2017. [招待講演]
- 毛利 慧一郎, 饗庭 絵里子, 佐藤 好幸, 牧 勝弘, “12ch球形スピーカ出力によるステレオ音源の臨場感の向上～最適な信号処理手法の開発～,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1367-1368, 2017.
- 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, 牧 勝弘, “バイオリン演奏における右手の筋活動 - プロとアマチュアの比較から -,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1363-1366, 2017.
- 牧 勝弘, 饗庭 絵里子, 小幡 哲史, “バイオリン「ストラディバリウス」の放射指向性,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1359-1362, 2017.
- 牧 勝弘, 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, “打診音によるオールドバイオリンの構造調査～製作方法に関する検討～,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1355-1358, 2017.
- Obata, S., Aiba, E., Maki, K., “Effects of different violins on muscle activity of the right hand during performance,” Abstracts of the International Symposium on Performance Science 2017, p.132, 2017.
- Maki, K., Obata, S., Aiba, E., “Effects of violinists' skill on the spatial-radiation characteristics of violin sound,” Abstracts of the International Symposium on Performance Science 2017, pp.63-64, 2017.
- 牧 勝弘, “バイオリン演奏音の評価～楽器のランクと奏者の熟練度～,” 産総研コンソーシアム第37回持続性木質資源工業技術研究会, 2017. [招待講演]
- 田治見 唯, 牧 勝弘, “音楽の聴取と想起による感情喚起効果の比較,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.409-412, 2017.
- 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, 牧 勝弘, “バイオリンの違いが演奏時の筋活動に及ぼす影響,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.1333-1336, 2017.
- 牧 勝弘, 小幡 哲史, 饗庭 絵里子, “バイオリンの熟練度が演奏音の空間放射特性に及ぼす影響,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp.1327-1330, 2017.
- 21 Tsuzaki, M., Maki, K., “A new pitch extraction model: Coincidence detectors with an array of self-oscillatory units,” 第3回生物音響学会年次研究発表会, 2016.
- 22 Maki, K. “Spatial acoustic-radiation characteristic of a violin captured in the vicinity of a violinist,” The Journal of the Acoustical Society of America, 140, p.3429, 2016.
- 23 Maki, K. “Spatial-radiation characteristics of musical instruments and their reproduction with a spherical loudspeaker array,” The IRAGO (Interdisciplinary Research and Global Outlook) Conference, 2016. [招待講演]

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 石川 智治

ローマ字氏名: (ISHIKAWA, Tomoharu)

所属研究機関名：宇都宮大学
部局名：工学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：90343186

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。