

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11969

研究課題名（和文）オールドヴァイオリンの非侵襲かつ定量的な音質評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of non-invasive and quantitative sound quality evaluation method for old violins

研究代表者

横山 真男（Yokoyama, Masao）

明星大学・情報学部・教授

研究者番号：30633044

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：文化財とも言われるアンティーク・ヴァイオリンの構造と音響について、マイクロCTスキャンによる3次元形状データの高精度な計測を行い、コンピュータ・シミュレーションによる振動モードと周辺音場の連成解析、実演奏の録音と放射音の分析を通して、非侵襲で定量的な音質評価手法の開発を行った。イタリアの名器といわれるストラディヴァリをはじめとするアンティーク・ヴァイオリン5本を0.1mmの精度でスキャンし、有限要素法により楽器本体の振動から周辺音場の放射の連成シミュレーションを行い、楽器の形状の違いによる振動モードの違い・放射特性の違い等が計算できるまでに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヴァイオリンの振動音響連成シミュレーションについては、マイクロCTスキャナを用いてイタリアのアンティーク・ヴァイオリンを0.1mmの精度でスキャンした。これは、世界的にもトップの精度で、名器といわれるA.ストラディヴァリをはじめとして、ガルネリ・デル・ジェズ、ニコロ・アマティなど5本のイタリアン・アンティークヴァイオリンのCTスキャンを行ったことも、世界的にも数少ない研究例である。数値シミュレーションにおいても上記のイタリアのアンティーク楽器の解析を振動と音場の両方を計算し比較した例は無く最先端の結果が残せた。今後の文化財クラスの楽器の音色の非侵襲的解析の指針となるとと思われる。

研究成果の概要（英文）：A coupled simulation of the vibration and sound radiation of antique violins such as Stradivari violins, scanned using a micro-computed tomography scanner, was conducted using the finite element method. The aim of this study was to clarify the relationship between the vibration of the violin body and acoustic radiation around the violin non-invasively and quantitatively.

The highly precise geometry of a violin was scanned using a micro-computed tomography scanner, and the material properties of the violin body (spruce and maple) were set as orthotropic properties in the numerical simulation (COMSOL Multiphysics). The numerical simulations coupling the vibration and sound radiation were conducted, we could analyze the difference of vibration mode and sound radiation of each violins.

研究分野：楽器音響

キーワード：バイオリン 放射音場 振動モード 数値シミュレーション 音色 ストラディヴァリ アンティーク楽器 有限要素法

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヴァイオリンといえばストラディヴァリやガルネリといった世界的に有名なイタリアの製作家のオールド楽器がよく話題になる。音色がとて良いとされ、その取引価格は数億円を超えメディアでも取り上げられることも多い。一方、ヴァイオリンの製作においては、300年も昔に作られたオールド・イタリアンのような音色がだせるような楽器の製法の発見が期待されている。これまでも、ストラディヴァリらが製作したオールド楽器の解剖的研究が行われ、形状測定や振動特性、木材の繊維構造、ニス化学組成などまで近代的な分析がなされてきたが、ある程度の成果はあったものの、いわゆる「ストラディヴァリの音色の謎」は相変わらず多く残ったままである。その一方で、近年ではアンティーク楽器の解剖的な解析手法の見直しが迫られている。その背景には、近年では300年もの前に作られたヴァイオリンの文化財的価値が高まり、博物館で大切に保管されるようになったことが挙げられる。そのため、かつてのように解剖学的な傷が付くような解析手法は不可能になり、楽器にダメージを与えない非侵襲で安全な解析方法で行わなければならないようになった。本研究の課題はどのように文化財であるアンティーク楽器の非侵襲な解析手法をどのように確立するかということである。

2. 研究の目的

貴重な文化財であるオールド楽器に対して非侵襲で安全な解析方法で実施するために、演奏者や聴衆が楽器から受ける感覚的な音の評価を、数値シミュレーションと音響計測実験の両面から非侵襲的かつ定量的に解析する手法を確立することである。高精度で取得できるマイクロCTスキャンを用いて詳細なデータを取得し、表面のアーチ形状だけでなく、厚みや本体内壁の形状も取得する必要がある。振動と音響に影響するアーチ形状の変化、パーツの位置、材質の物性値(弾性係数、比重等)といったパラメータの変化が、モード振動や放射音の方向と強さを与える定量的な関連を解明する。

3. 研究の方法

ヴァイオリンの振動音響連成シミュレーションについては、マイクロCTスキャンを用いてイタリアのヴァイオリンの名匠 A.Stradivari 作のヴァイオリンを 0.1mm の精度でスキャンした。スキャンしたデータは、表板、裏板、駒、魂柱といった各パーツに分割して CAD データ化(STEP 形式)した。計算ソフトウェアについては商用ソフトウェアの COMSOL Multiphysics で振動と音場の連成解析を行い楽器ごとの振動特性および音場の違いを解析した。また大規模かつ高速な解析のために楽器本体の振動解析については商用ソフトウェア ADVENTURE_Cluster を、また楽器周辺の音場の計算について ADVENTURE_Sound を用いて有限要素法で解析を行っている。

また、コンサートホールとスタジオ(反響の少ない部屋)でマイクロフォンアレイによる演奏音の録音を行う。演奏については、プロの奏者に依頼し、開放弦や音階のほか、指定楽曲で音楽的な表現を付けた演奏をしてもらった音を録音する。この結果は数値シミュレーションの妥当性の検証に用いる。

4. 研究成果

マイクロCTスキャンを用いてイタリアのアンティーク・ヴァイオリンを 0.1mm の精度でスキャンできた(Fig.1)。これは、世界的にもトップのスキャン精度で、かつ名器といわれる A.ストラディヴァリをはじめとして、ガルネリ・デル・ジェズ、ニコロ・アマティなど5本のイタリアン・アンティークヴァイオリンの三次元ジオメトリを取得できた。また、スキャンしたデータは、表板、裏板、駒、魂柱といった各パーツに分割して CAD データ化(STEP 形式)した。解析には商用ソフトウェアの COMSOL Multiphysics を用いて、楽器本体の振動から周辺音場の放射の連成シミュレーションを行い、楽器の形状の違いによる振動モードの違いや放射特性の違いが計算できた(Fig.2 および Fig.3)。これまでのインパクトハンマや分解による振動解析に頼らないモード解析ができることを確認した。さらに、弦の振動からすべての楽器のパーツまで含めた振動解析およびコンサートホールでの放射音の解析のために、スーパーコンピュータによる大規模数値計算による解析を開始した。現段階ではまだ基礎的な振動モードや音場の非定常計算までしか行えていないが、今後も継続してコンサートホールでの楽器の放射がシミュレーションできることを目指している。実演奏の録音とシミュレーション結果の比較も今後継続していく。

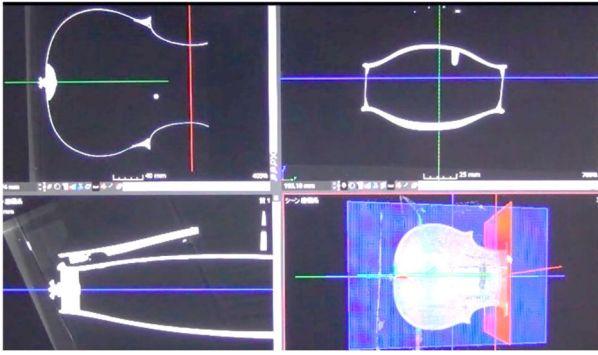


Fig.1 Visualization of cross section of violin body by CT-scan

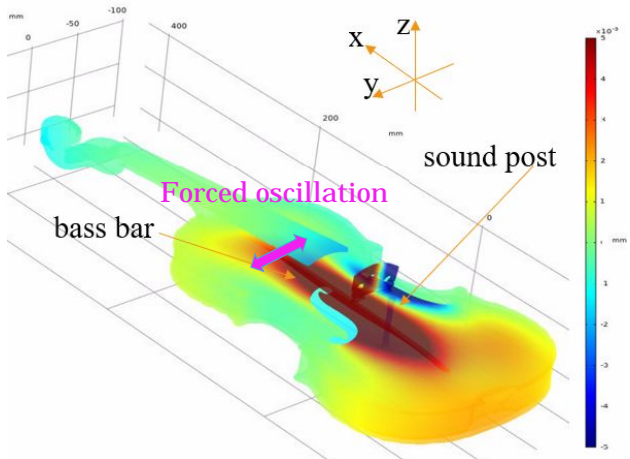


Fig.2 Displacement of violin by forced vibration on bridge where G string puts (196Hz). Bass bar side vibrates largely. Scroll and finger board also vibrates.

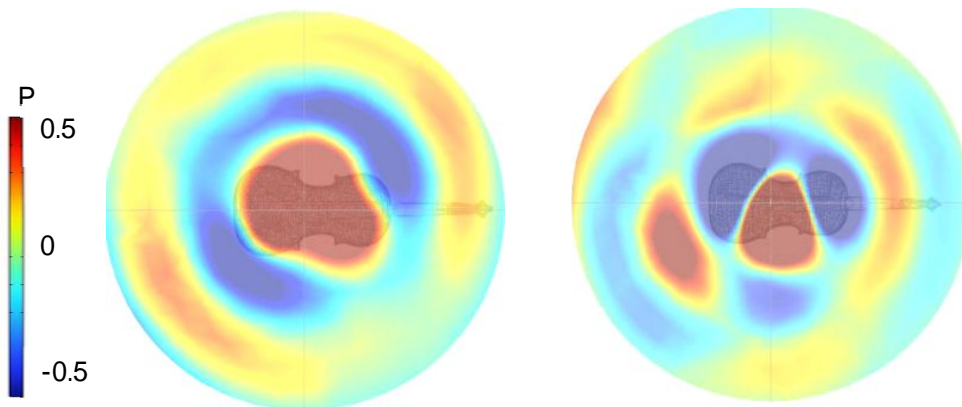


Fig.3 Directivity of sound radiation of Stradivari(Left side) and Guarneri(Right side).(1320Hz(E6), E string side)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yokoyama Masao	4. 巻 150
2. 論文標題 Coupled numerical simulations of the structure and acoustics of a violin body	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Acoustical Society of America	6. 最初と最後の頁 2058 ~ 2064
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1121/10.0006387	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 3件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 2.Masao YOKOYAMA, Yuya IHIGAKI Amane TAKEI and Genki YAGAWA
2. 発表標題 Numerical simulation of the acoustic field around a violin
3. 学会等名 Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 4.Masao Yokoyama, Amane Takei, Ryo Yoshidome and Genki Yagawa
2. 発表標題 Coupled simulation of vibrations of violin and sound radiation in concert hall
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山真男
2. 発表標題 アンティーク・ヴァイオリンの振動と音場に関する数値解析
3. 学会等名 日本学術会議公開シンポジウム「計算音響学の目指すもの」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷翔太, 工藤彰洋, 武居周, 横山真男, 矢川元基
2. 発表標題 領域分割法に基づくバイオリンの大規模音響解析の基礎検討
3. 学会等名 第35回日本機械学会計算力学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山真男
2. 発表標題 CTスキャンを用いたヴァイオリン内部形状の計測
3. 学会等名 可視化情報処理学会 可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山 真男, 吉田小百合, 堀西基
2. 発表標題 ストラディヴァリのヴァイオリンの周辺音場の数値シミュレーション
3. 学会等名 日本音響学会 音楽音響研究会2021年1月研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山 真男, 吉田小百合, 堀西基
2. 発表標題 ストラディヴァリの構造と音響に関する連成数値解析の取り組み
3. 学会等名 電子情報通信学会 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masao Yokoyama, Amane Takei, Ryuji Shioya, Genki Yagawa
2. 発表標題 Coupled simulation of vibration and sound field of Stradivari violin
3. 学会等名 184th meeting of J Acoust Soc of America (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masao Yokoyama, Yuki Hori, Amane Takei, Shouta Tani, Genki Yagawa
2. 発表標題 Sound Analysis of Violin via Neural Network and Numerical Simulation
3. 学会等名 Proceedings of SMAC 2023 (Stockholm Music Acoustics Conference) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山真男
2. 発表標題 アンティーク・ヴァイオリンの振動と音場に関する数値解析
3. 学会等名 日本学術会議公開シンポジウム「計算音響学の目指すもの」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentaro Koga, Amane Takei
2. 発表標題 Basic Study on Parallel Finite Element Method for Non-Liner Sound Field Analysis
3. 学会等名 The 42nd JSST Annual International Conference on Simulation Technology
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷翔太, 工藤彰洋, 塩谷隆二, 武居周, 横山真男, 矢川元基
2. 発表標題 領域分割法に基づく非定常バイオリン音響解析
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	矢川 元基 (Yagawa Genki) (40011100)	東洋大学・計算力学研究センター・客員研究員 (32663)	
研究分担者	武居 周 (Amane Takei) (40598348)	宮崎大学・工学部・准教授 (17601)	

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
---------	---------