

# バイオリンの指向特性に関する研究

続 裕樹\* 西村 勇也\*\*

(熊本高等専門学校 \*電子情報システム工学専攻 \*\*制御情報システム工学科)

## 1 はじめに

バイオリン製作は、今日まで様々な技法・流派によって製作・調整がなされてきた。製作の大半は職人の試行錯誤や経験的な勘に頼って行われているのが現状であり、製作指導書や文献は極めて少なく、その多くは音響工学的に正しいか否かの判断が付かないことが多い。そこで本研究では、バイオリン製作・調整に対して音響工学的観点からの技術継承支援を行うことを目的とする。

バイオリンの音色を決定づける要素は多岐にわたり、それら全てについて評価するのは困難である。ゆえに、本研究では音色を決定付ける要素の中でも最も支配的な「表板」、「裏板」、「魂柱」、「駒」の内、「魂柱」、「駒」の二つに焦点を当て、それらの調整による位置関係と音響特性の相関関係を明らかにすることで、音響工学的観点から調整・製作に対する指標を提供する。他の研究では、「表板」、「裏板」について研究されているものが多いが<sup>[1]</sup>、これらの厚さや大きさなどを変えるには、バイオリン本体を分解する必要があり、組み直す際に他の様々な要素が変化する。ゆえに、再現性が乏しく、正確な測定が行えない。その点、「魂柱」、「駒」に関しては、バイオリン本体を分解せずに調整可能であり、再現性がよく、正確な測定が可能である。

## 2 原理

### 2.1 「魂柱」の位置測定

まず、バイオリンの断面図を図 1 に示す。魂柱はバイオリン内部にあり、バイオリン本体を分解せずに位置を測定するのは困難である。しかし、バイオリン本体を分解してしまうと「魂柱」以外のパラメータも変わってしまい、指向性の変化に及ぼす影響が「魂柱」によるものだと言えなくなる。

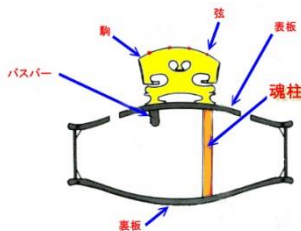


図 1: バイオリンの断面図

そこで、CT スキャンを用いることでバイオリンの本体を分解せずに魂柱の位置測定を可能にする。CT スキャンは熊本県産業技術センターに依頼する。実際に CT スキャンを用いて測定を行う様子を図 2 に示す。測定を行う魂柱の位置パラメータは、魂柱と直交する平面上における  $x, y$  方向と回転角  $\theta$  とする。測定は調整前のバイオリンと調整後のバイオリンに対して行う。調整を行う前の魂柱の位置を基準とし、調整後に魂柱の位置パラメータがどの程度変位したかを記録する。調整は「弦楽器工房北澤」の北澤氏に依頼する。



図 2: CT スキャンによる「魂柱」、「駒」の位置測定

### 2.2 「駒」の位置測定

図 1 に示すように、駒はバイオリンの筐体上部に位置する。したがって、CT スキャンを用いずに位置を測定することも可能である。しかし、CT スキャンを用いることで魂柱と同時に駒の位置も測定できるため、今回は CT スキャンを用いて駒の位置も測定する。測定を行う駒の位置パラメータは、 $x, y$  方向である。測定は、魂柱同様調整前後のバイオリンを対象とし、基準は  $f$  字孔の切り欠きのラインを  $x$  軸とし、バイオリンの中心線を  $y$  軸とする。位置パラメータは、この  $x, y$  軸を基準とした  $(x, y)$  成分で表し、それを記録する。

### 2.3 空間放射特性の測定方法

一般に良い楽器の特徴として、指向性が強いことが挙げられる。バイオリンの代表的な銘器「ストラディバリウス」も先行研究<sup>[2][3]</sup>によって、指向性が強いことが実証されている。ゆえに、バイオリンの空間放射特性を測定し、調整による指向性の変化を調べるのが重要だと考え、空間放射特性を測定することにした。本節ではその測定方法について具体的に述べていく。

まず、マイクロフォンの固定位置とチャンネル数である。マイクロフォンは、正二十面体の稜接球との交点 30 点と、各頂点から中心までの線分が稜接球と交わる点 12 点の合計 42 点配置する。この 42 点は、正二十面体の均等密度配置となり、精度の高い正確な空間放射特性を測定することが可能となる。このとき稜接球の半径、つまり中心からマイクロフォンの距離は 80cm とする。マイクロフォン 42 チャンネルの設置位置を図 5 に示す。赤い点がマイクロフォンの設置位置、青い線が稜接球の外周を表す。代表として稜接球との交点と、各頂点位置のマイクロフォンを図示した。稜接球の半径が 80cm に最も近くなる辺の長さは 1cm 単位で考えれば、99cm となるが、空間放射特性の測定の場合、あらゆる方向への音圧レベルのみを測定する為、周波数成分の解析が必要な音色の測定ほど厳密に距離を一定に保つ必要はない。従って、簡単のために辺の長さは 100cm とする。このときの稜接球の半径は約 81cm であり、中心から頂点までの距離は約 95cm となる。なお、正二十面体に用いる素材としては反りが発生しない  $\phi 6.0\text{mm}$  のアルミ丸パイプを使用し、稜接球との交点に超小型コンデンサマイクロフォンを 30 個直接固定する。さらに頂点位置はマイクロフォンスタ

ンドを用いずに配置する。これはマイクロフォンスタンドによる放射音の反射を防ぐためである。演奏者の位置はバイオリンの駒が正二十面体の中心となるように構える。演奏音は表1に従い、バイオリンの最低音 G<sub>3</sub> (196Hz)からハ長調音階で演奏し、C<sub>6</sub> (1051Hz)までとする。

表 1：バイオリンの演奏音

音名	G3	A3	B3	C4	D4	E4	F4
周波数[Hz]	196	221	248	262	294	331	350
音名	G4	A4	B4	C5	D5	E5	F5
周波数[Hz]	393	442	496	525	589	662	701
音名	G5	A5	B5	C6			
周波数[Hz]	787	884	992	1051			

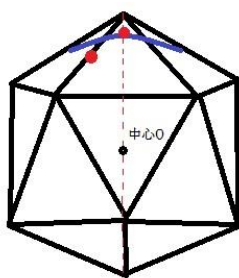


図 3：マイクロフォンの設置位置

### 3 実験

#### 3.1 バイオリンの空間放射特性の測定

図 4, 5 はバイオリン実演奏音の音圧レベルを MATLAB を用いてマイクロフォン各チャンネル毎にプロットしたものである。演奏音は図 4 が G<sub>3</sub> (196 [Hz]), 図 5 が E<sub>5</sub> (662 [Hz]) である。他の音階を演奏したデータもあるが、とくに違いがみられた 2 音に関するデータを記載している。xz 平面に向かい合う面が演奏者の正面となる。まず、図 4 の指向性について述べる。演奏者正面から見て右上方の点に対して高いレベルの音圧が確認できる。この点は演奏者の持つバイオリンの上面に向かい合う点である。さらに、その反対側の点においても高いレベルの音圧が確認できる。それ以外の点に関しては大したレベルの音圧は確認できず、演奏者の右斜め後方に関しては低い音圧レベルとなった。このことから、バイオリンの面に対する法線に強い指向性があると考えられる。次に、図 5 の指向性について述べる。こちらに関しても、図 4 と同じ点付近に高いレベルの音圧が見られ、指向性は G<sub>3</sub> 音を鳴らしたときとほぼ等しいといえる。しかし、図 4 のものと違う点は、全体的に音圧の差があまりなく、全体的に音圧のレベルが低いということである。その原因は弦の違いにあると考えられる。それぞれの弦は材質が違い、G<sub>3</sub> の開放弦は金属製であるのに対し、E<sub>5</sub> の開放弦はナイロン製である。それにより、音圧のレベルに差が生じたと考えられる。今回測定を行ったのは、調整前のバイオリンのみであるため、調整がバイオリンの空間放射特性の変化にどのように影響するかについては考察できなかったが、バイオリンそのものが持つ指向性については考察できたため、十分な成果は得られた。

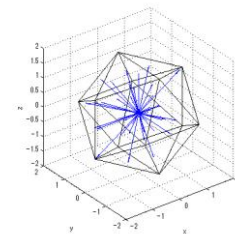


図 4：G<sub>3</sub>(196[Hz])の指向特性

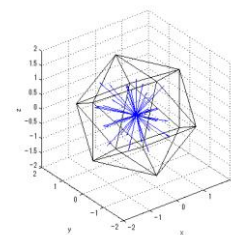


図 5：E<sub>5</sub>(662[Hz])の指向特性

### 4 まとめ

バイオリンの空間放射特性をあらゆる周波数において解析・評価することで、バイオリン実演奏音がどのような指向性を示すか、また、音高や弦の材質がどのように音圧に影響するかが分かった。本実験では調整前に関する空間放射特性の測定のみであったため、今後は、「魂柱」や「駒」を調整することで、これらがどのように空間放射特性に影響を与えるのかを調べていきたい。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験手法や結果の解析、論文作成などについて、丁寧かつ熱心にご指導賜りました西村 勇也准教授に感謝の意を表します。

また、バイオリンの調整にご協力くださった弦楽器工房 北澤の北澤様、駒と魂柱の位置測定に際して、ご協力くださった熊本県産業技術センターの皆様にも心から感謝いたします。

### 参考文献

- [1] Carleen M. Hutchins 著:「Violin acoustics」, 日本音響学会誌 39 巻 3 号, pp.204-212 (1983)
- [2] N.H.フレッチャー/T.D.ロッシング 著:「楽器の物理学」, 丸善出版, pp.269-323 (2012).
- [3] 牧勝弘 著:「バイオリン実演奏音の空間放射特性」, 電子情報通信学会 IEICE Technical Report EA2011-42, pp.71-76(2011)