

## バイオリン指導における弓動作と音の関係の考察

Relationship between bow motion and sound in violin instruction

宮里 洸司      野口 健太郎      神里 志穂子  
Koji Miyazato      Kentaro Noguchi      Shihoko Kamisato

沖縄工業高等専門学校  
Okinawa National College of Technology

In this paper, we examine the relationships between the bow motion and sound in violin performance to consider the violin instruction from viewpoint of skill education. We focus the bow speed and the angle between the bow and the string as features which represent bow motion. Additionally, we evaluate the sound using harmonicity which is defined in this paper as the index of tone quality.

## 1. はじめに

近年、製造業や伝統芸能の分野において、後進への技能教育ができる指導者が少なく、技能の効率的な指導法の確立が急務となっている。これらの技能の中には、身体動作のコツに代表される言葉による伝承が難しい技能が多くあり、マニュアルのみでは、技能伝承の方法として不十分である。この問題に対して、技能を映像として記録し教材に用いる試み行われてきた。そして、これを発展させた方法として、熟練者の身体動作を撮影した動画をeラーニング教材として企業内研修で用いる取り組みが行われている[高橋 05]。また、映像のような非言語的な表現でなく、技能を言葉で表現する方法を発見するために、身体動作の計測データに対するデータマイニング手法を開発する研究が行われている[古川 09]。

我々はその中で音楽教育について着目し、音と動作の解析に基づくバイオリン演奏の指導法について検討している。これまでに、指導者と初心者の演奏動作を計測し比較する研究[野口 04]や、被験者間の比較による動作と音の関係の研究[宮里 09]を行っている。本稿では、演奏動作としてバイオリンの弓動作(弓の速度、弓と弦のなす角度)、音のパラメータとして音量と音の良さを取り上げ、その関係を定量的に示す。

## 2. バイオリン演奏動作と音の計測実験

## 2.1 計測項目

弓動作として、バイオリンの弓の速度、弓と弦のなす角に着目し、同時に音も計測しそれらの関係を解析する。被験者に対して、以下に示す演奏を行ってもらい、動作と音の計測を行う。

1. 同一のバイオリンを用いる
2. A線を開放弦で弾く
3. 音を連続的に鳴らせ続ける
4. 音の長さは全弓を使ったアップ-ダウンを数回繰り返す程度

計測実験の被験者は指導歴7年のバイオリン指導者とする。表1に、本稿で行う計測実験時の被験者への指示を示す。実験では、図1に示すように、弓動作の計測と音の計測は、それぞれ光学式モーションキャプチャとマイクを用いる、図1に計測環境を示す。また、図2は、光学式モーションキャプチャで弓の

動作を追跡するためのマーカー位置である。計測したマーカーの座標から、弓動作のパラメータである弓速度および弓と弦のなす角度を求める方法を述べる。マーカーの座標をそれぞれ弓の先端が $P_1$ 、弓と弦の接する点が $P_2$ 、棹の先端が $P_3$ であるとおく。このとき、弓速度を $P_1$ と $P_2$ の間の距離 $|P_1P_2|$ の時間微分の絶対値とし、弓と弦のなす角度は $\angle P_1P_2P_3$ とした。

表 1: 被験者に対する指示

実験番号	指示
1	弱く弾くよう指示
2	強く弾くよう指示
3	弱く弾き、かつ弓と弦のなす角度が90度でない演奏を指示

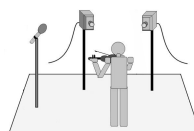


図 1: 本稿で行う実験の計測環境

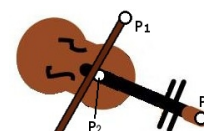


図 2: 光学式モーションキャプチャのマーカー設置位置

## 2.2 音の良さの評価法

本稿では、音の理想的な楽音への近さを、図3に示す調和度で定義する。調和度は音が楽音にどれだけ近いかを示す指標である。初心者がよく陥りがちである演奏法である弓が弦に対して直角になっていないといった状態での演奏を行った時、本来の基本周波数とその倍音周波数以外に発生する周波数成分や、ノイズのような音が含まれる音が生じることから、バイオリン演奏の学習の初歩的な段階における音の良さを指標として、調和度を用いることができると考える。

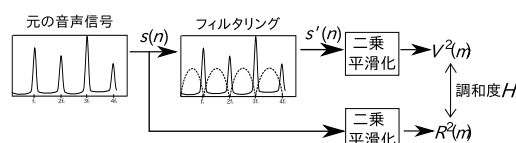


図 3: 調和度の定義

連絡先: 宮里洸司, ac104609@edu.okinawa-ct.ac.jp

### 3. 弓動作と音の関係の解析結果

表1の計測1における弓の速度と音量との関係を図4に示す。図4の2つの系列は、系列全体の二乗和の平方根で正規化した弓速度および音量である。このとき、音量の時系列のサンプリング周波数  $f_E$  は、弓速度のサンプリング周波数と同じ値である  $f_E = 30[\text{Hz}]$  とした。両者を比較すると、弓速度と音量の間に高い類似性が見られる。図5に、表1の計測1および計測2における弓速度と音量の関係を示す。ただし、実験において測定に用いた光学式モーションキャプチャとマイクの間で同期が取られていないため、「仮の同期」として、弓速度と音量の間の相関係数を最大化するように一方の時系列を時間シフトし、データの各点をプロットした。図5において、個々の計測内で音量は弓速度に従い増加する傾向が見られるが、演奏者の意図する音の強さが異なる2つの演奏全体では、音量と弓速度の関係は1つの曲線上に乗らないことがわかる。このことから、演奏者は1音の中で音量変化を弓速度で制御し、長期的な音量変化はサウンディングポイント [Fletcher 02] など別の方法で制御することが予想される。

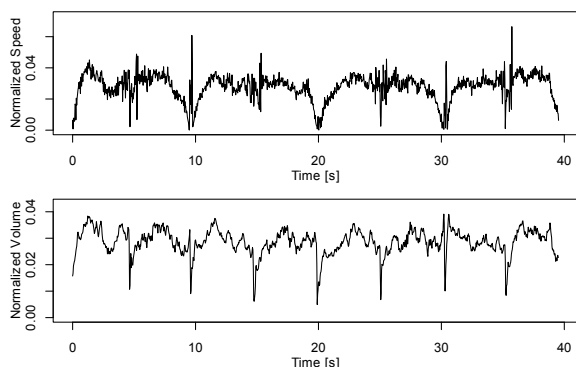


図4: 計測1における弓速度および音量

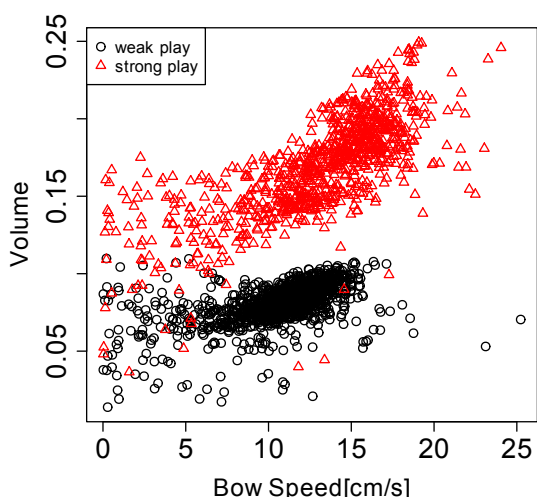


図5: 計測1(weak play) および計測2(strong play) における弓速度と音量の関係

表1の計測3は、調和度と弓角度の関係について調べるため、バイオリンの指導者を被験者として、意図的に弓と弦のなす角度を90度から変化させている。図6は、この計測3について、前小節で述べた仮の同期を行い、弓と弦のなす角度と調

和度をプロットしたものである。図6は、角度が90度に近いほど調和度が大きくなる傾向を示している。これは、これまでに知られている「角度が90度でないとい音が出ない」という指導法と一致し、調和度という音のパラメータが、初歩的段階における音のよさを示している。

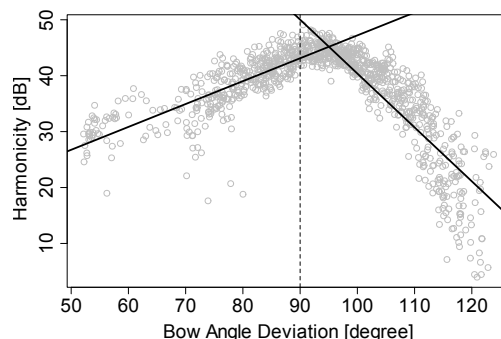


図6: 計測3における弓と弦のなす角度と調和度の関係

### 4. まとめ

本稿では、バイオリン演奏における弓動作と音の関係として、弓速度と音量、弓と弦のなす角度と調和度のそれぞれを、測定結果の解析により調査した。その結果、弓速度と音量に相関関係があること、弓と弦のなす角度と調和度に、弓と弦のなす角度が90度から離れるにつれ調和度が低下するという関係があることを明らかにした。今後は、弓動作や音を表現する各パラメータ間の多変量関係を明らかにするとともに、得られた関係を実際のバイオリン学習者の演奏の解析に適用し、バイオリン指導に活用する方法について検討する。

### 謝辞

本研究の実施にあたり研究データの提供および助言等を頂いたバイオリン講師吉川絵里菜先生に感謝する。また、本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B), 207006556)の助成により行われた。

### 参考文献

- [Fletcher 02] Fletcher, N. H. and Rossing, T. D.: 楽器の物理学, シュプリンガー・ジャパン (2002). 岸憲史, 久保田秀美, 吉川茂訳
- [宮里 09] 宮里 洗司, 野口 健太郎, 神里 志穂子: バイオリン指導における弓の速度と音の関係, 第8回情報科学技術フォーラム FIT2009, pp.657-658 (2009)
- [古川 09] 古川 康一(編): スキルサイエンス入門, オーム社 (2009)
- [高橋 05] 高橋 秀俊, 小尾 昭裕, 板本 悠一, スックサワットバンディット, 平岡 弘之, 井原 透: 技能教育を支援する New OJT システムの開発, 精密工学会誌論文集, vol. 72, no. 11, pp. 1429-1433 (2006)
- [野口 04] 野口 健太郎, 我那覇 元規, 神里 志穂子, 水野 正志, 田所 嘉昭: 腕の動作計測と音の解析による初期のバイオリン指導の検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol. 2009, no. 1, p. 218 (2009)