

バイオリン演奏における松脂の摩擦計測と可視化*

横山 真男[○](明星大学)

Visualization and measurement of friction of rosin in violin performance Masao YOKOYAMA

ABSTRACT

Kinetic mechanism between string and bow hair has been studied in long term based on Helmholtz's study. In this paper, as a study of friction force between bow hair and string, experimental observation of rosin on bow hair by SEM and visualization of friction force on violin using auto-bowing machine were performed.

Keywords: Violin, Rosin, Friction, Bow Hair, SEM

1. 序 論

弦楽器奏者は音色や発音を考えて松脂や弓毛の種類を慎重に選んでいる。どのどこ社の松脂は引っ掛かりが良いとか、さらっとした綺麗な音色がでるとか、楽器店や同業者の情報をもとに選んで購入して使っている。こだわる奏者ともなれば、どこどこ産の毛がよいとか、毛の太さをそろえてくれとか、左右どちら側の毛の量が多い方がよいとか等々、楽器屋で毛を張り替えるときに細かな注文をする奏者も少なくない。

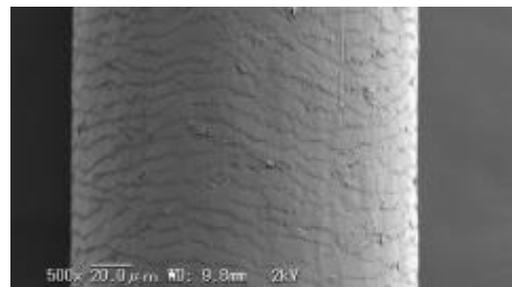
バイオリンなど擦弦楽器は、弓で弦を擦ることで断続的に入力を与え楽器本体を共鳴させて音を発する楽器である。よって、松脂や弓毛は直接的に音源に影響を与える重要な要素である¹⁾。

松脂や弓毛についての研究²⁻⁴⁾は弦の振動メカニズムや楽器本体の振動解析⁵⁻⁷⁾に比べればずっと少ない。そこで、筆者は弓毛や松脂の電子顕微鏡写真や運弓動作による摩擦抵抗の計測を行い、それらが音色に与える影響の分析を行っており、本論文ではその第一段階として弓毛および松脂の付着の観察と、ポーイング装置の開発について述べる。

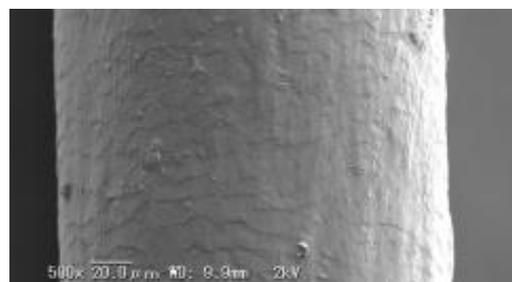
2. 弓毛について

Fig.1 に各産地の弓毛の電子顕微鏡写真 (SEM) を示す。モンゴル産は縞状の綺麗なキューティクルが並んでいる。イタリア産のそれはやや粗いがキューティクルは閉まっている。カナダ産は表面がさらになだらかである。なお、上質とされる弓毛は完全にキューティクルが閉じていて非常になめらかである。

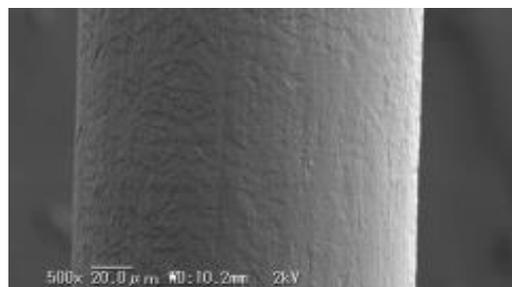
しかし、キューティクルがツルツルな毛が演奏者にとって最良かという、そう単純ではなく付ける松脂や楽器との相性による。バイオリンなどのように細い弦や細かい松脂を使う場合は、しまっているキューティクル



(a) モンゴル産 ×500



(b) イタリア産 ×500

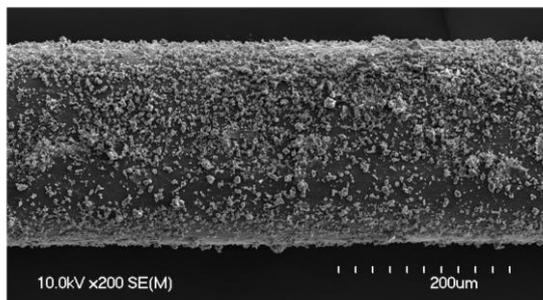


(c) カナダ産(並) ×500

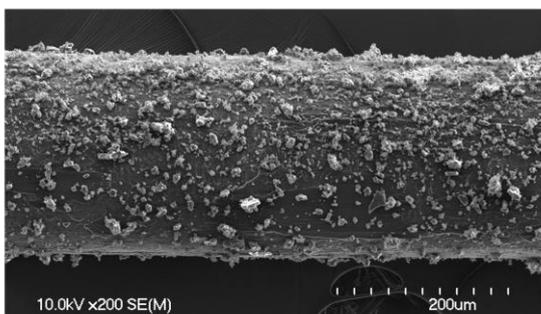
Fig.1 Difference of bow hairs taken by SEM.
(Bunkyo Co.)

が適当であるように思える。しかし、チェロやコントラバスのような太い弦や低音を出すための大きい楽器の場合は、逆に粒子の荒く粘度の高い松脂を使う場合はむしろ

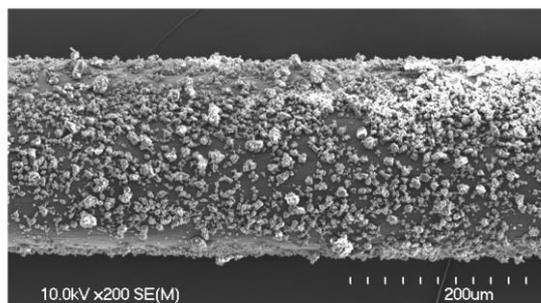
ろモンゴル産のほうが大きな粒子の松脂の乗りがよく、引っ掛かりがよいので好都合とも考えられる。いずれにせよ、このツルツルのままでは弦をこすり引っ掛けることはできないので松脂を塗って摩擦力を与える必要がある。



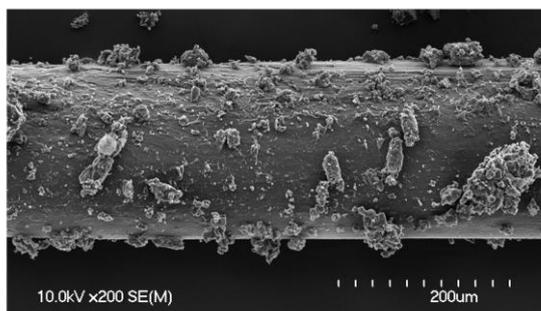
(a) 粒子極小：サラサラ感（バイオリン向け）



(b) 粒子小：(a)と(c)の間



(c) 粒子中：粘度高め（チェロ向け）

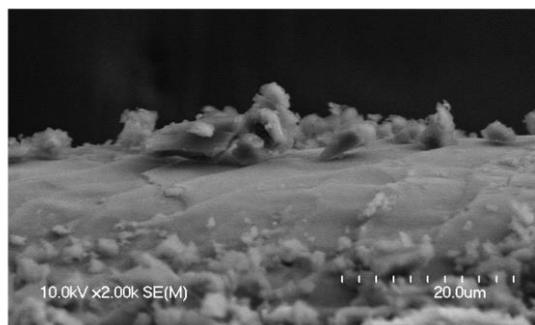


(d) 粒子大：粘度高（コントラバス向け）

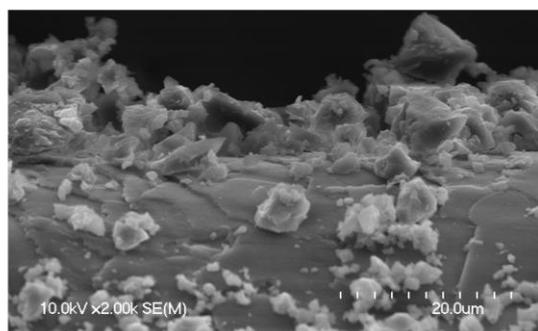
Fig.2 Variations of rosin powder on bow hair. (SEM, ×200, Rosins : Archet Co. Ltd.)

3. 松脂の電子顕微鏡による観察

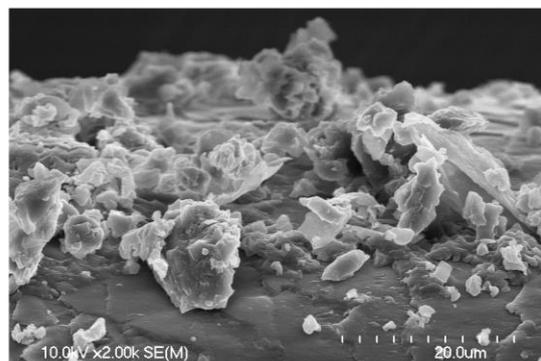
松脂を塗布した弓毛の電子顕微鏡写真を Fig.2 および Fig.3 に示す。松脂メーカーの製品ラインナップを細か



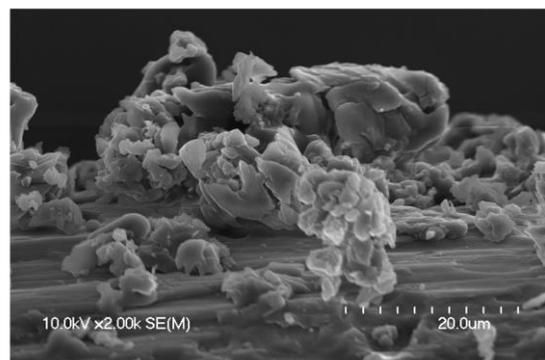
(a) 粒子極小：サラサラ感（バイオリン向け）



(b) 粒子小：(a)と(c)の間



(c) 粒子中：粘度高め（チェロ向け）



(d) 粒子大：粘度高（コントラバス向け）

Fig.3 Variations of rosin powder on bow hair. (SEM, ×2k, Rosins : Archet Co. Ltd.)

い粒子上のものから順に撮影したものである。(a)から順に粒度が大きくなっており、(a)は非常に細かく均質についているためバイオリンなどに向いていて繊細な表現を求める奏者に向いている。いわゆる奏者は「さらさら」した松脂といったような言葉で表現している。一般的な傾向として、ボーイングの引っ掛かり具合の観点から、楽器が小さくて弦の細いバイオリンは粒子の細かいさらさらした松脂が使用される。大きな楽器のチェロは粒子がもう少し粗く引っ掛かりがしっかりしている製品(c)が好まれる。さらに(d)のように粒子が大きく粘度の高いものは引っ掛かりが良いのでコントラバス用に製造されている。

Fig.3 より、塊や断片があり多少のばらつきはあるもののバイオリン用の粒子が細かくさらさらしている(a)の大きさは $2\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ であった。(b)は $4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ 。また、チェロ用の(c)は $4\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ 、コントラバス用の(d)では $10\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ であった。

ただし、この写真は塗った直後で弾く前の状態である。演奏の仕方にもよるが弦と擦れた時は熱による変化が起こる^{3,4)}。

これらの粒子の大きさの違いは弾いた時の弓のグリップ感である引っ掛かり具合のバリエーションにつながる。

4. 演奏における松脂の摩擦測定

4.1 松脂の摩擦抵抗と奏者の使用感

メーカーにおける松脂開発現場では、奏者や製作者の経験と感覚に頼った開発となっているようである。先ほどの Fig.2 の製品に関して、松脂の物理的特性と奏者の感覚の関連を調査した結果を Fig.4 に示す(資料提供：(株)文京楽器)。横軸は粘性で縦軸は粉性である。粘性は弓の引っ掛かりで音量に関係し、粉性は粒子の細かさで音色と関連させている。この評価については材料の配合や

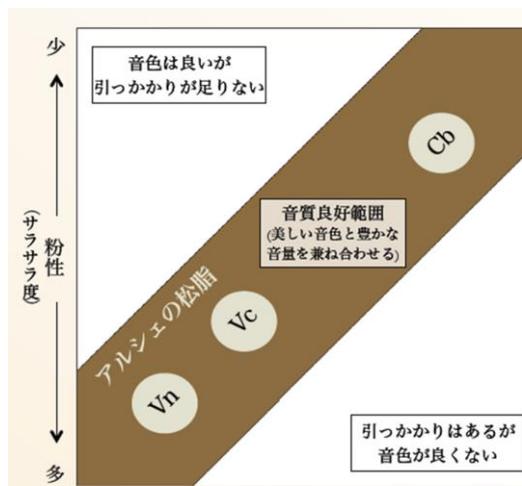


Fig.4 Correlation of friction and powder size by questionnaire. (Archet co. Ltd.)

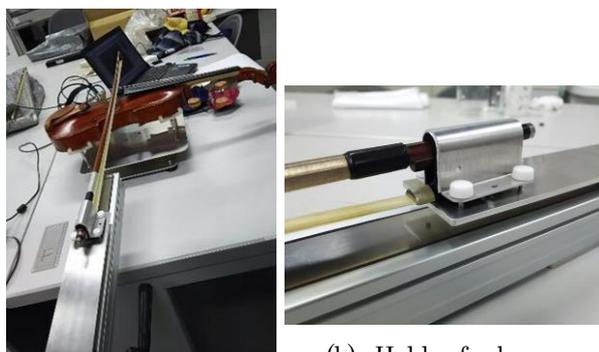
熱の加え方を変えて粘性 25×粉性 25 に段階分けをして総当たりで奏者に好みのアンケートをとった結果である。この結果より、やはりバイオリン奏者の好みは粘性が小さく粉性の小さいほうが好みにある傾向があり、チェロやコントラバスについてはその逆の好みの結果が現れ、そのように粘性と粉性のバランスのよい配合で製品を作っている。

ここで、バイオリンの寸法⁸⁾についてであるが、ボディの長さは約 35.5cm、チェロでは 75cm と約 2 倍である。弦の太さもバイオリンは一番細い弦の E 線が約 0.26mm であるが、コントラバスの一番太い弦は約 3mm もある。これだけ寸法の差があるため奏者が弓にかける力も楽器それぞれで違ってくる。弓で擦る摩擦力が適切でないと良い音はしないのだが、経験的には摩擦力が小さいと弦を引っかける前にスリップを起こして音にならないし、摩擦力が強すぎるとギギギといわゆるノコギリで弾いたような軋んだ音になってしまう。

4.2 ボーイング装置による摩擦計測

上述のように松脂の摩擦抵抗の分析についてはまだ奏者の感覚による直感的な印象であり、おおよその傾向が分かっているに過ぎない。そこで、弓毛に付着した松脂の粒子の大きさとバイオリン演奏時の抵抗の計測を行った。本研究では定量的にボーイング運動により楽器が受ける摩擦抵抗と演奏音を測定・分析する装置を開発した。Fig.5 に装置の概観を示すが、バイオリンを固定する台座を作り 6 軸力覚センサー (Leptrino, 1.2kHz, 0.001N まで測定可) を取り付け、また弓を固定して速度と位置をサーボモータ (ST-Servo CMD) で制御できる。スライダは約 300mm の長さがあり 200mm/s の速度までプログラミングによる制御が可能である。

Fig.6 に計測結果の一例を示す。バイオリンを装置上に固定し A 線上に弓を置き、ダウンボウで根元から先に向け 100mm の距離を 3cm/sec で徐々に圧力を減じながら動かした例である。弓を根元から徐々に圧力を減らしながらダウンボウで発音したときの、ボーイング方向 F_y



(a) Overview of system

Fig.5 Bowing machine controlled with software.

と楽器鉛直方向 F_z の力の推移を示している。横軸は時刻で縦軸は荷重である。4.1 で述べた圧力と速度が適切でない時に発せられるギギギというノイズ音と(0 ~ 1.5 sec), それらのバランスが満たされている時に鳴る綺麗な音(1.5 ~ 3.5 sec)の圧力変化を示している。

ノイズが大きい時は F_z の変動が大きくなり、ノイズ音のギッと引かかった1音がその波線の山1つに相当していた。その後、圧力が適度に下がった時点 0.5N 付近で綺麗な音に変化すると F_z の変動も落ち着いていた。この場合の摩擦係数(F_y/F_z)はノイズ時で 0.73, 綺麗な音の時で 0.65 となり減少がみられた。このノイズと綺麗な音の境界値は弓の速度や松脂の違いで異なるので更なる調査が必要であり現在分析を進めている。

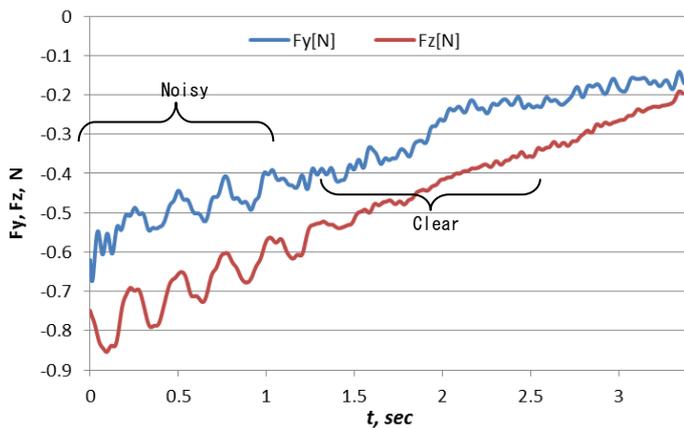


Fig.6 Forces acting on violin by bowing. F_z : Pressure in vertical direction, F_y : Friction in horizontal direction to strings.

5. おわりに

これまで弓毛と松脂は音色を決める大きなファクターにもかかわらず、演奏家や製造者の感覚で語られることが多かった。本研究では、電子顕微鏡による松脂の付着とボーイングマシンの開発およびボーイング動作における摩擦力の可視化について述べた。現段階では一部のボーイング計測でとどまっているが今後は音響特徴との関連まで含めたい。

参考文献

- 1) A. Askenfelt: Observations on the violin bow and the interaction with the string, STL-QPSR 36.2-3 (1995) 107.
- 2) 吉川: ヴァイオリンの演奏と松脂がもたらす摩擦・潤滑作用(III.摩擦制御の利用,<特集>摩擦制御利用の技術), 日本機械学会誌, 108 (2005) 299.
- 3) Matsutani: Study of Rosin Particles on Bow Hair in Violin Performance, The Japan Society of Applied Physics, 41, 1 (2002) 1618.
- 4) Yamamoto and Sugiyama: Structural Changes in Cuticles on Violin Bow Hair Caused by Wear, Bioscience, biotechnology and biochemistry, 74, 2 (2010) 408.
- 5) C.M. Hutchins et al.: Research papers in violin acoustics, 1975-1993, The Acoustical Society of America, 1 & 2 (1997).
- 6) Fletcher, NH, 岸憲史他訳:楽器の物理学,丸善(1988).
- 7) H. Helmholtz: On the sensations of tone as a physical basis for the theory of music, Longmans (1877)
- 8) H. Strobel: Useful Measurements for Violin makers, Henry a Strobel 5th edition (1989).