

# チェロ演奏の運弓動作の定性的解析について

## Study on Qualitative Analysis of the Cello Bowing

古川康一<sup>\*1</sup> 金城敬太<sup>\*2</sup> 澤井啓吾<sup>\*2</sup> 清水聡史<sup>\*2</sup> 吉永早織<sup>\*2</sup>  
 Koichi Furukawa Keita Kinjo Keigo Sawai Satoshi Shimizu Saori Yoshinaga

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 Graduate School of Media and Governance, Keio University  
<sup>\*2</sup> 慶應義塾大学環境情報学部 Faculty of Environmental Information, Keio University

In this study, we investigated arm muscles usage patterns in playing different strings of the cello. We first measured maximum arm stretch forces in different directions by a spring scale. We found almost linear increase of the arm force in terms of the angle between frontal plane and the stretch direction. This fact provides some interesting hints in playing the cello, especially the middle two strings which suffers from the weak arm force. Then, we performed a set of experiments to find some evidence of the above force differences. The experimental results supported our hypothesis of the weakness of arm force. Furthermore we found that by naturally moving the body such weakness was completely compensated.

### 1. はじめに

我々は、これまで、チェロの運弓動作の中で、とくに弓の返しに焦点を当てて研究を行ってきた。そして、鞭運動、振り子運動、および回転運動の重要性を指摘してきた[古川 04]。

本論文では、それに加えて、体の中心からの押し、および体の中心への引っ張り運動による運弓運動のモデル化を試みる。

そのために、いくつかの実験を行った。第 1は、前額面と右腕の運動方向の変化による最大筋力の違いの測定である。第 2は、図 3のような課題の演奏時の筋電図の測定である。また、これら 2つの測定の比較検討も、研究目的に含まれる。本研究では、これらの実験を通して、簡単な全弓運動での弦の違いによる力学モデルの違いを抽出することを目指した。

### 2. 運動方向による腕の引っ張り力の変化

弓は、腕の力によって引っ張られるが、その力は引っ張る方向によって違ふことが予想される。我々は、引っ張る方向ごとに最大筋力を測定して、この予想を確かめることにした。そのために、バネ秤を利用した簡単な実験装置を作り、測定を行った。測定は、前額面に平行な方向を 0 度とし、弓の先がその面より体側に近づく方向をマイナス、弓の元が体に近づく方向をプラスとして、-60 度から+90度まで 15 度間隔に測定した。被験者は、プラス方向は 5名、マイナス方向は 4名である。図 1のドットで、各点での平均値を示す。この図から分かるように、0度を中心として、プラス方向、マイナス方向とも線形に近い増加を示している。

この最大筋力の生成モデルとして、図 2に示すような二つの力を合成するモデルを立て、その妥当性を検討した。本図に示すように、弓を引く力を回旋運動の接線方向の力  $f_1$  と肩方向への力  $f_2$  の引っ張り方向成分の和としてモデル化できる。ここで、 $f_1$  は角度  $\theta$  によらずに一定とし、 $f_2$  は  $\theta$  に対して線形に変化するものと仮定した。そのモデルによる引っ張り力のグラフを図 1の実線で示す。

この結果が示している重要なポイントは、前額面に平行な運動での最大筋力が肩方向への引っ張り力の約 65% しかない、という事実である。この事実は次の実験結果にも反映されている。

連絡先: 古川康一, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科,  
 〒 252-8520, Tel.0466-49-3505, Fax0466-47-5350,  
 email:furukawa@sfc.keio.ac.jp

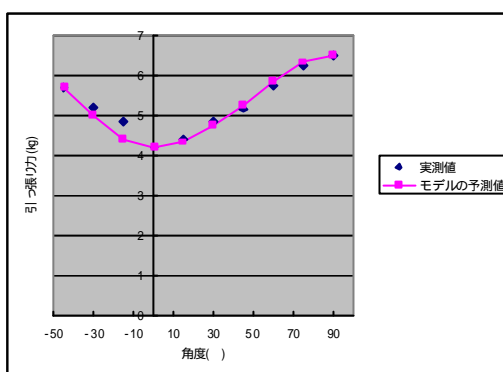


図 1 バネ秤による筋力の測定値とモデルによる予測値

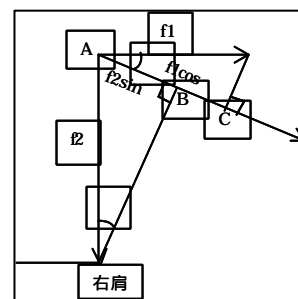


図 2 腕の引っ張り力のモデル

### 3. 弦による筋電パターンの変化

演奏する弦の違いは、弓の方向の違いを伴うので、2 節の実験結果を反映して、筋電パターンの変化が期待される。この節では、図 3のような課題に対する筋電図の測定結果を示し、その予想を裏付ける。本実験において、二人の被験者のデータを獲得した。実験は、図 4の課題をいくつかの異なる条件の下で実施された。それらの条件は、(1)フォルティッシモ演奏、(2)体を自由に動かしてもらったときのフォルティッシモ演奏、(3)肘関節および腰を固定したときのフォルティッシモ演奏、および(4)ピアノッシモ演奏の 4つである。また、各条件ごとに、5回の実験を行い、各データは適当なフィルタリング処理のあとに、平均化された。本稿では、そのうちの一人についてのデータの解析結果を与える。



図 3 実験に用いた課題

### 3.1 フォルティッシモでの上腕筋の活動パターン

図4は、フォルティッシモでの各筋肉の活動パターンを示している。この図で、上腕二頭筋は青、三頭筋はオレンジで示されている。また、全体でピークが6つあるが、それらはすべて弓の先端での返し動作時のものである。そして、左の二つは下2弦、その次の二つは中2弦、最後の二つは上2弦を弾いているときのものである。上腕二頭筋の活動パターンをみると、中2弦での活動度が減少している。この場合は、前節での前額面と引っ張り方向が一致したとき、すなわち  $\theta = 0$  のときとみなせる。そのため、最大引っ張り力が小さくなり、このような結果につながっていると思われる。

図5は、おなじフォルティッシモの条件で、体を自然に少しオーバーに動かしてもらったときのデータである。このデータでは、図4に見られたような中2弦での落ち込みは見られない。体をうまく使うことによって、そのような力の落ち込みを防いだのであろうと思われる。

図6は、肘と腰を拘束したときの、おなじくフォルティッシモでのデータである。この図からは読み取れないが、図8に示すように、上腕三頭筋の活動レベルが、他のフォルティッシモ演奏に比べて上がっていることが分かる。同様に、三角筋中部、および腰の活動レベルも上がっている。これらの事実は、拘束により値から力が発揮されない分だけ、余分な力を出しているものと思われる。

フォルティッシモ演奏に共通に言えることは、波形の谷に相当する弓元において2種類の筋電パターンが見られる点である。それは、三角筋前部と上腕二頭筋のグループとそれ以外である。前者では谷がV字形をしており後者ではU字形をしている。V字形は、筋肉の急激な開放と緊張を示しておりU字形は、その逆である。このことは、弓元での弓の返しを前者の筋肉群で行っていることを示している。一方、弓先では、すべての筋肉を総動員して、弓の返しを行っている。

### 3.2 ピアニッシモでの筋活動パターン

ピアニッシモの筋電図を図7に示す。この場合は、他の条件での筋電図と大きく異なる。第1に、フォルティッシモで見られた弓元でのV字形の波形が見られない。第2に、高弦の方が筋の活動レベルが高い。とくに、上腕三頭筋の活動レベルが上昇している。また、図8、図9を見れば分かるように、上腕三頭筋および拇指球筋で、弓元での力が大きくなっている。

### 3.3 低弦と高弦での利用筋肉の相違

図4~図7から、フォルティッシモ、ピアニッシモに関わらず、低弦から高弦に移動するに従って、上腕三頭筋の活動レベルが上がっているのが見て取れる。これは、前額面と弓の成す角度がマイナスになったときであり、そのときは、体から押し出す動作で下げ弓動作を行うが、それは上腕三頭筋を主働筋とするからである。一方、低弦では、 $\theta$  がプラスになり下げ弓は引き付け動作になるので、上腕二頭筋のレベルが高くなる。ただし、図5から分かるように、自然な体の動きを伴う場合、この差はほとんど見られなくなる。

## 4. おわりに

本論文では、単純な運弓動作における、弦の違い、および演奏条件の違いによる筋電パターンの相違を調べた。そして、低弦と高弦で、筋肉によって活動レベルが異なることを明らかにした。

また、自然な体の動きがこれらの相違を取り除くことが分かった。

### 参考文献

[古川 04] 古川康一: スキルサイエンス(解説論文), 人工知能学会誌, Vol.19, No.3, 2004 (to appear).

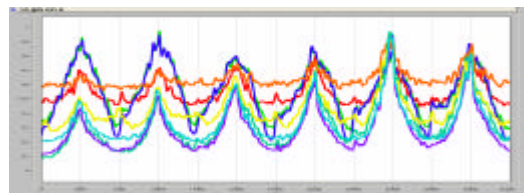


図4 ffのときの筋電図 .

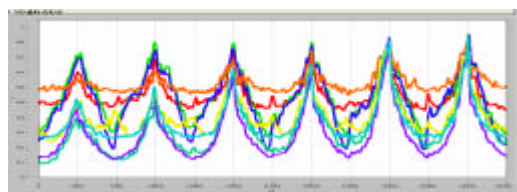


図5 自然に体を動かしたときのff演奏

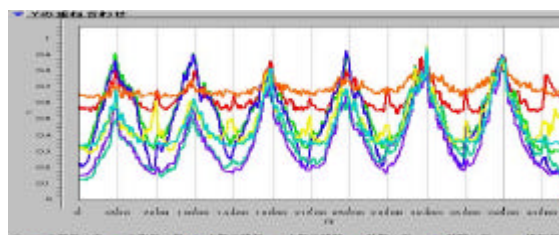


図6 肘と腰を拘束したときのff演奏

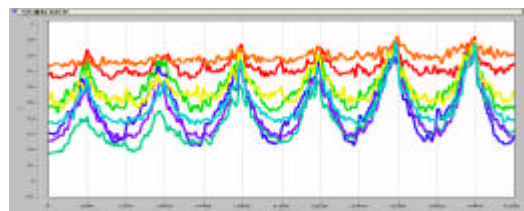


図7 ppのときの筋電図 .

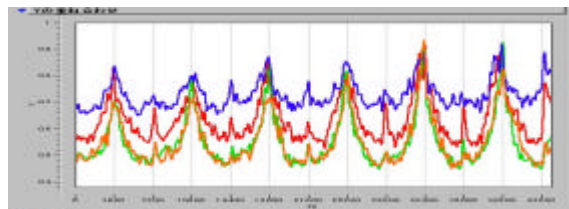


図8 条件による上腕三頭筋の活動パターンの違い

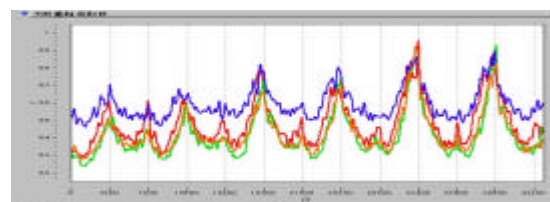


図9 条件による拇指球筋の活動パターンの違い