

筋電図を用いた二胡演奏における初心者と熟練者の運弓の 違いの解析

Analysis of the difference of bowing between expert Erhu player and novice
player by using surface electromyogram

王少如¹ 藤波 努²

Shaoru Wang¹, Tsutomu Fujinami²

¹ 北陸先端科学技術大学院大学

¹ School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

² 北陸先端科学技術大学院大学

² School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: The goal of this paper is to find the difference of Erhu's bowing between expert players and novice players. Erhu is a two-stringed instrument created in China. It is much different from other string instruments such as the violin because Erhu's stick is located between two strings. In this experiment, I ask the subjects to play four songs that are very simple so that even the novice players can learn them quickly. These songs include some of the most basic actions in Erhu's bowing, such as up-bowing, down-bowing and string change. Electromyogram is attached on eight parts (M.thenar, M.felexor carpi radialis, M.biceps brachii, M.triceps brachii, M.deltoideus, M,supraspinatus.) of the subject's right arm.

I found the difference between expert players and novice players after analyzing the average amplitude and using FFT analysis method. The muscle activity is usually more stable in experts than experienced players, and the experienced players present better stability than novice players. The M.thenar ,M.felexor carpi radialis and M.deltoideus have the clearest difference between expert players and novice players.

Novice players always put unnecessary power in those muscles, so it can be said they are tense when bowing. But I could not find a clear influence of the M.flexor carpi radialis, M.biceps brachii, M.triceps brachii and M.deltoideus muscles in the bowing action and thus found no difference in between subjects. Then I found that both experienced and novice players usually put more power in M.thenar when they are up-bowing. And I also understood that expert players' muscles have activity pattern when they change the stick, they always use the M.thenar at the first, and then use the M.deltoideus and M.flexor carpi radialis sequentially but novice players do not do it. Even experts have their own customs to play Erhu, so it is difficult to decide the correct activity of muscles by only looking at 3 expert players in my experiment. It is necessary to increase the number of subjects and analyze their characteristics to know the correct activity of muscles.

1. はじめに

1.1 背景

ある技術の熟練者が持つ「スキル」「技」は、言葉で説明できない身体的かつ暗黙的な知識であるため、熟練者でさえも学習者に対して言葉で教示することが難しい。そのため、体育会系的な「練習を繰り返し、身体で覚えてしまう」という勉強法が一般的である。しかし、スキルの解明では、身体スキルの言葉による表現が本質的である。「身体で覚える」知識を解明するために、

身体知を言語化する研究が最近盛んである。スポーツの他に、舞踊や楽器の演奏などのスムーズな動きを求められている。この中、弦楽器のヴァイオリンとチェロの演奏動作がよく研究対象とされている。それらの楽器は運弓動作が必要である。運弓動作が弓の位置、速度、弓圧を制御し、体の姿勢にも関わっている。このため、演奏者の指、手首、上腕など身体的な協調が求められている。この協調動作を解釈することが身体知の解明につながっていると考えられる。

本稿では中国の伝統摩擦弦楽器の一つであり二胡をアプローチとして、一番基本的な運弓動作について分析を行った。筋電図の分析を行い、運弓時の各筋肉の役割分担や、各筋の活動度などのデータを得ることで、熟練者と初心者の違いを明らかにすることを目的とする。このことにより、初心者が目的意識や到達目標を持ちやすくなり、学習が効果的に進むと予期される。

1. 2 楽器

二胡は摩擦弦楽器の一つである。図1に示す。身体に近い弦は「内弦（ないげん）」と言い、離れている弦は「外弦（がいげん）」と呼ばれている。弓は2本の弦の間に挟まれているので、弓の毛の両面も使うことと弓を持っている右手は地面と垂直していることが特徴である。

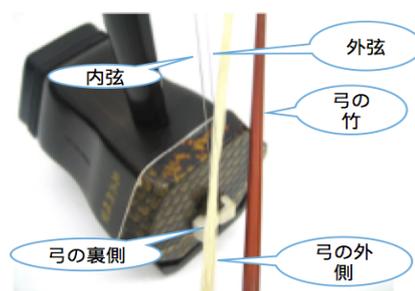


図1

以上の特徴があるので、二胡の運弓の難しさがある。1つ目は弓返し動作である。

ラーコン（左から右へ弾く）する時手首が右に弾き、ツイコン（右から左へ押）する時に手首が左に押し、弓返し動作右手首は柔らかく使うことが一つの難しさである。

2つ目は移弦動作である。外弦を弾くときに右手の指は力を入れないことに対し、内弦を引くときに、中指と薬指に力を入れ、弓の毛と竹の距離を作って、内弦と摩擦して演奏する。距離を作らないと、竹の部分は外弦と当たってしまうことになるからである。

石原（2010）は「初心者の二胡演奏スキルの分析～二胡演奏学習支援環境の構築に向けて～」という研究を行った。この研究は特に指先の圧力に着目している。被験者の弓を持つ指先の圧力の測定結果では、初心者が「内弦であっても、外弦であっても親指と人差し指は、軽く弓に沿える程度に置き、強い指先圧力は生じない」という理想状態にならず、常に薬指か中指に大きな圧力を生じたので、ノイズが頻繁に出ていたことが分かった。

また、菊川ら（2001）は、磁気式位置センサを用いて二胡演奏中の弓の位置と

角度を計測し、リアルタイムで弓の動きの診断を行うシステムを開発した。

しかし、先行研究には以下の問題点がある。1 運弓などの動作では、指先に圧力をかけることだけでなく、右腕の各筋肉の動きも関わっている。2 弓と弦の間の摩擦力が音の発生する原因となっているので、弓の角度と位置が正しいとしても、必ずきれいな音が演奏できると限らない。1、2の問題点があるため、運弓動作を行う各筋の活動度などの計測も必要であると考えられる。本稿では、自作の練習曲を演奏した際の右腕の各筋肉の筋活動を記録し、運弓動作における初心者と熟練者の間の差異を明らかにする。

2. 実験

2.1 実験内容

本実験では、多チャンネルテレメータシステム WEB1000（日本光電）を用いて実験を行った。送信機（図6）ZB-150H（EMG）：内部感度×200、測定範囲±5 mV、パネルFS5mV、パネル表示感度 1mV/div、Hi cut、500Hz、Lo cut、30Hz を用いて記録した。二胡の運弓動作を左右すると考えられる筋

としては：拇指球筋(A1)、橈側手根屈筋上(A2)、上腕二頭筋(A3)、上腕三頭筋(A4)、三角筋前部(A5)、三角筋後部(A6)、棘上筋(A7)、橈側手根屈筋下(A8)以上8箇所が考えられる。以上の各筋に、表面電極を取り付け、筋電図で記録した。電極装着位置の概略は図2、3に示す。



図2



図3

被験者に二胡の内弦と外弦二つの弦とも使えるような練習曲を4曲演奏するように指示する。開放弦の基礎としている長弓（弓本から弓先まで全部使える運弓方法）と中弓（弓の真ん中を使う運弓方法）を含めている。内弦と外弦の移弦、また、弓の返し動作、ツイコン動作とラーコン動作も含まれている。メトロノームでテンポ58 bpmを基準として演奏する。なお、楽器の違いによって動作の違いを出ることを防ぐために、被験者全員も同じ楽器を使用させた。

熟練者3人（6年間～23年間二胡勉強経験あり）、経験者3人（1年間～2年間二胡勉強経験あり）初心者3人（楽器の勉強する経験ない）被験者合計9人がいる。

2.2 分析方法

1、原波形を眺め、動作のタイミングと筋活動を確認することが定性的分析法と呼ばれる。本研究では、表面筋電図計測で得られた各被験筋の波形を眺めることで、定性的分析法を用いて、被験者それぞれの特徴また動作パターンを分析する。

2、筋電図が持っている特徴量の平均振幅を計算し、被験者間の比較をする。

3、パワースペクトルを解析し、被験者間の比較をする。

2.2 分析結果

中弓の移弦動作の8秒間の例として、図4に示す。母指球筋では、初心者の筋活動が経験者と熟練者より急収縮が多い、規則性がないことがわかった。三角筋前部では、初心者は熟練者より筋活動多いが、移弦ごとには収縮している。それに対して、経験者は大きな動きが見えてない。また、橈側手根屈筋（下）では、初心者も経験者も熟

練者より筋活動が多いし、規則性が見えず、続的に活動している。これは、熟練者は母指球筋を主に使って移弦動作を行うことに対して、初心者は母指球筋、三角筋前部と橈側手根屈筋（下）で弓をコントロールしているからと考えられる。

また、初心者の橈側手根屈筋（上）も三角筋後部も移弦するたびに大きな筋活動をしている。経験者は移弦ごとに上腕に頭筋の筋活動が行っている。それは初心者と経験者も熟練者より、移弦する時に余計なところに力を入れていることがわかった。

移弦動作を行うときに、熟練者は動作の変化に従って、筋肉の活動量も変わってくる。母指球筋→三角筋前部→橈側手根屈筋（下）になっているという規則性が見えるが、初心者は運弓動作に認知不足ため、規則性が見えない。

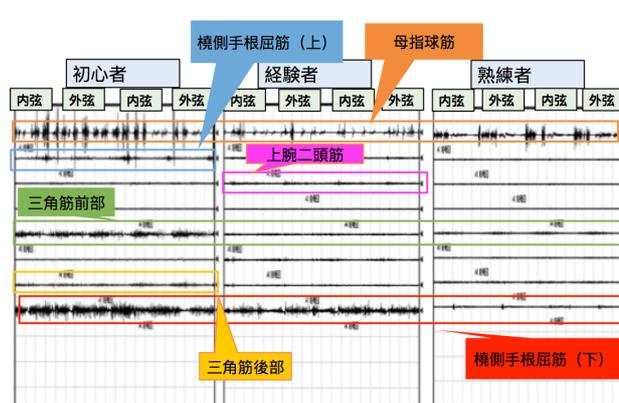


図4

図5は母指球筋の筋活動を一つの例として挙げているパワースペクトルレポートである。熟練者がほとんど母指球筋の筋活動がないことに対して、初心者の母指球筋の筋活動が多く見える。また、初心者は経験者と熟練者に比べると、母指球筋の筋活動の急収縮が多く見える。経験者は両者の中間になっている。熟練者の筋活動規則的に見えることに対して、初心者は規則性が見えない。

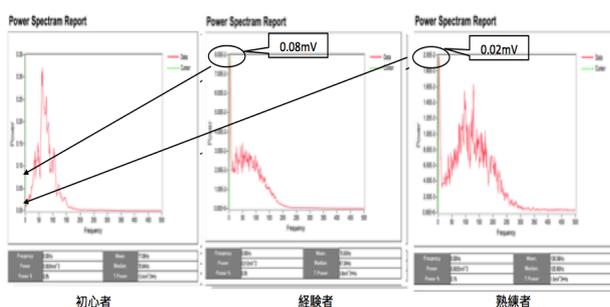


図5

熟練者3人、経験者3人、初心者3人の平均値を取ると、表1のようになっている。

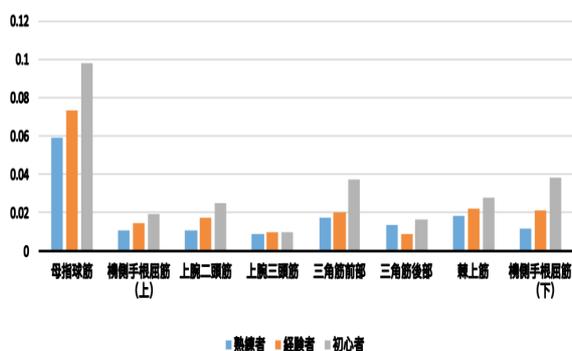


表1

3組の被験者も母指球筋に一番大きな筋活動が行うことがわかった。移弦をするときに親指を使って、弓毛と竹の間の距離を作って、演奏している考えられる。初心者の各筋肉の平均振幅は熟練者より大きい。熟練者は初心者より安定していることが分かった。初心者は熟練者より：母指球筋活動の平均振幅が1.6倍ぐらい、橈側手根屈筋（下）は3.2倍ぐらい、三角筋前部は2.3倍ぐらいとなっている。これは、初心者が中弓を運弓するときに、移弦をするために、腕を緊張させ、肩の動きで弓をコントロールしたかったと考えられる。

3. まとめ

3.1 本稿の結果

1、熟練者が経験者と初心者より、各種の運弓動作が安定していることが分かった。また、経験者も初心者より安定している。学習と練習を加え、運弓が安定していくことが分かった。

2、母指球筋、三角筋前部の、橈側手根屈筋（下）の筋活動が初心者と熟練者の主な違いだと分かった。初心者は以上の筋肉に

余計な力を入れやすいことが分かった。また、橈側手根屈筋（上）、上腕二頭筋、上腕三頭筋が大きな差が出なかった。三角筋後部と棘上筋は運弓するときに肩が前後動く習慣のある人が変化出た。

3、弓返しをするときに、指球筋の筋活動は持続的に活動し、熟練者は弓先と弓元のところ、すなわち弓を返す瞬間にしか大きな筋活動が行わない。

4、熟練者の移弦動作に順番パターンが見える：母指球筋→三角筋前部→橈側手根屈筋（下）になっているが、経験者と初心者が筋肉の活動パターンが見えない。

3.2 今後の課題・展望

課題：熟練者でも各自の演奏する習慣があり、今回被験者の熟練者だけでは基準にならない。より人数を増やした調査が必要である。また、被験筋の筋活動が明確ではない場合もあるので、より精密性の高いデータを収集する必要もある。今回の実験で得られた結果が初心者の勉強にいい影響があるかの考査も必要である。

展望：二胡の開放弦だけではなく、多くの運弓手法に応じて、それぞれの運弓方法

を明確化する。また、左手も加え、二胡の練習支援システムが期待されている

謝辞

まず、主指導員である北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科藤波努教授の終始熱心なご指導をはじめ、日頃からのご配慮に対して、深く感謝の意と敬意を表します。審査員の西本一志教授、由井菌隆也准教授、金井秀明准教授には研究にあたっての御指導と助言を頂くことができ、深く感謝をいたします。

また、日本二胡振興会会員店である「Niko Music Labo」の孟菲先生と生徒の方々から実験の協力をいただきました。心より感謝いたします。

さらに、北陸先端科学技術大学院大学の同期の皆様からも実験の協力をいただきました。心より感謝いたします。

参考文献

文献リストはスタイル「参考文献」)

- [1] 阿部 真美子,山本 知幸,藤波 努,技能修得における身体動作のモーションキャプチャを用いた解析,情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集,2003
- [2] 植野 研,五十嵐 創,古川 康一,チェロにおけるスケール演奏時の動作分析,第 21 回バイオメカニズム

学術講演会 (SOBIM2000),pp.113-114, 講演予稿集,2000.

- [3] 木塚 朝博,増田 正,木竜 徹,佐渡山 亜兵,表面筋電図,バイオメカニズム学会,東京電気大学出版局,2006年3月10日
- [4] 渋谷 恒司,菅野 重樹,バイオリン演奏の弓圧調節における上肢各関節の役割分担,人間工学,vol.31,No.5,1995
- [5] 古川康一,身体知のデジタル化,
- [6] <http://www.coe.keio.ac.jp/report/html98/FURUKAWA/furuakwa.html>,1-15,1998
- [7] 古川 康一,植野 研,尾崎 知伸,神里 志穂子,川本 竜史,渋谷 恒司,白鳥 成彦,諏訪 正樹,曾我 真人,瀧 寛和,藤波 努,堀 聡,本村 陽一,森田 想平:体知研究の潮流 --身体知の解明に向けて--,人工知能学会論文誌, Vol.20(2005)No.2P117-128
- [8] 古川 康一,金城 敬太,澤井 啓吾,清水 聡史,吉永 早織,チェロ演奏の運弓動作の定性的解析について,第18回人工知能学会全国大会,2004
- [9] 山本 宏子,劉飛,日本における二胡の初心者教授法,岡山大学教育学部研究集録,2008