チェロ運弓動作の計測と習熟過程の解析

○荻原直道, 佐々木宣明, 山崎信寿 (慶大・理工)

Motion Measurement of Violoncello Bowing and Analysis of Skill-Acquisition

Naomichi Ogihara, Nobuaki Sasaki, Nobutoshi Yamazaki (Fac. of Sci. & Tech., Keio University)

1. はじめに

弦楽器の演奏など, 身体と操作対象との物理的相互作用がある動作の遂行には, 運動(位置, 速度)と力の同時制御という高度な技巧を必要とする¹⁾。このような技巧動作の獲得過程を調べることで, ヒトの身体構造の特徴である冗長な自由度の最適化メカニズムが明らかになれば, 技能修得の効率化など様々な応用が期待できる。本研究では, 非日常的動作で, 被験者の生活履歴の影響が少ないと考えられるチェロの運弓動作を例として動作計測を行い, その習熟過程の解析を試みた。

2. 方法

2-1. 計測システム

計測システムを図1に示す。本研究では, チェロの音色を決める弓圧, 弓速, サウンディングポイント²⁾を計測し, それらの情報をリアルタイムで視覚的にフィードバックすることができる計測用模擬チェロを製作した。これ

は複雑で評価が困難な音の要素を, 単純な力学量に置き換えることによって簡略化し, ヒトと楽器系の相互作用の包括的な解析を可能にする意義を持つ。弓圧は弦に相当する回転円筒の両端に取り付けられたひずみゲージ式片持ちはりセンサで求め, 弓速は円筒の回転をポテンシオメータで計測し, これを時間微分することにより求めた。弦に対する弓の接触位置であるサウンディングポイントは弦の左右にかかる力の比より算出した。得られたデータは図1のようにリアルタイムで画面に表示することで被験者にフィードバックした。弓の毛の部分³⁾はゴムとした。

上肢, 体幹, 弓, チェロ本体の3次元運動の計測には, 赤外線半導体カメラシステム(浜松ホトニクスC3570)を用いた。各体節にはそれぞれ3点の標点を装着し, 回旋角度を含む各節の関節角度を計測した。関節角度は3軸系オイラー角により定義した。

図1 計測システム

図2 未経験者と熟練者の運弓動作の比較 (タスク: 弓圧一定&Slow, それぞれ4試行目で比較)

2-2. 実験方法

計測用チェロを用い、熟練者 (チェロ演奏歴6年) と未経験者各2名について(1)弓圧一定 (100gf), (2)弓速一定 (200mm/s) の2つの条件で20sec間、各4試行弾かせた。弓圧一定をタスクとする時の運弓動作のリズムはメトロノームによって与え、運弓の周期を3段階 (Fast:1sec, Normal:2sec, Slow:4sec) に分けて弾かせた。

3. 実験結果および考察

3-1. 熟練者と未経験者の比較

図2に示すように、未経験者はどの関節角度も比較的小さく、三角波的に変化させているのに対し、熟練者は前腕回内角度と肩関節外転角度の変化が大きく、特に弓元での切り返し時に大きく動いていることがわかる。これは熟練者が力制御の容易な弓元では前腕の回内を利用して比較的速く運動制御を行い、力制御が困難な弓先の操作時は、前腕の回内を戻すことによって手関節を柔軟に動かせるようにして、ゆっくりと運弓を行うためであると考えられる。しかし未経験者は前腕の回旋と手関節を協調させて制御することができ

ず、弓を引きつけるにつれ弓圧が小さくなっている。運動周期の早いNormal, Fastにおいても、強くは表れないものの同様の傾向が観察された。

3-2. 運動の経時変化

図2(b)の未経験者の弓圧経時変化より、運弓動作は試行回数とともに習熟していることがわかる。しかし1試行目と4試行目では関節角度パターンにはほとんど変化が見られなかった。これは本研究では計測しなかった手関節および指の運動にも変化が表れているためと推察される。

4. おわりに

熟練者の関節運動は、前腕を回内するなど未経験者と大きく異なることがわかった。今後は筋骨格モデルを用いた生体内力推定を行い、さらに身体構造に注目した習熟の要因を探る予定である。

参考文献

- 1) 渋谷恒司, 菅野重樹, 加藤一郎: バイオリン右腕ボーイング動作におけるスキルの分析, 人間工学, 30(6), 395-403, 1994.