

# チェロの省エネ奏法に関する論争とコラボレーション

著者名(日)	古川 康一, 升田 俊樹, 西山 武繁, 忽滑谷 春佳
雑誌名	嘉悦大学研究論集
巻	55
号	2
ページ	29-44
発行年	2013-03-20
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1269/00000300/">http://id.nii.ac.jp/1269/00000300/</a>

## 研究論文

# チェロの省エネ奏法に関する論争と コラボレーション

Dispute and Collaboration on Energy Efficient Bowing of Cello Playing

古川 康一

升田 俊樹

Koichi FURUKAWA

Toshiki MASUDA

西山 武繁

忽滑谷 春佳

Takeshige NISHIYAMA

Haruka NUKARIYA

### <要 約>

本論文では、チェロの奏法について、多くのプレーヤーに納得できるような奏法を、スキルサイエンスの立場とプロのチェリストの経験を融合させて追及した試みについて報告する。具体的には、スキルサイエンスの研究者である第1著者とプロのチェリストである第2著者の論争とコラボレーションを通して、如何にして余分なエネルギーを使わない、体に無理のない運弓法に関する新たな知見が得られたのかを見ていく。本論文で取り上げる論争のテーマは、すばやい動作を含む困難な課題をこなすために、「首を振る」動作を意図的に行うべきか否か、という問題である。このテーマについて、第1著者が生体力学的な視点からプラスの評価を与えているが、第2著者は経験知からマイナスの評価を与えている。その論争を解決するためのいくつかの試みについて述べる。第1に、インタラクティブ・インタビューと呼ばれる著者らが開発したインタビュー法により、議論の中から問題点を抽出する試みについて述べる。第2に、生体力学的な考察に欠落していた鞭動作の起動に関する考察と、その実現方法についての新たな知見を紹介し、それが論争の一部を解決できることを示す。

### <キーワード>

スキル創造、省エネ奏法、論争、コラボレーション、インタラクティブ・インタビュー、生体力学、鞭動作、経験知

## 1 はじめに

チェロの運弓動作は、最も基本的な動作であるが、同時にもっとも困難な動作でもある。

その困難さの原因は色々考えられるが、第1に弓を弦に対してほぼ直角に動かし、滑らかに方向転換すること自体が難しい。第2に、多くの場面に応じて、それぞれ最適な弓の使い方が異なり、その多様性は膨大である。弓の使い方を決定する要因を挙げてみると、曲の速さ、強さ、音の変化のさせ方、音質、弦に当てる弓の場所、弓が接触する弦の場所などが考えられる。これらの組み合わせは膨大である。

本論文では、とくに、余分なエネルギーを使わない、体に無理のない運弓法についての考察[1]を例にとり、スキルサイエンスの研究者とプロのチェリストとの間の論争とコラボレーションについて考察する。

どのような奏法が体に無理がなく、余分なエネルギーを使わずに済むのかを明らかにすること自身、困難な問題であるが、ここでは、できるだけ腕、あるいは手先の力を使わずに、体幹の力をうまく上肢に伝達することによって弓を操作する方法を考える。一方、課題が簡単であれば、どのような運弓法を採用しても、結果に大きな差は出ない。そのため、省エネ奏法を実感するためには、困難な課題を取り出す必要がある。ここでは、第1著者の経験から、4つの課題を取り上げた。第1は、弓の中央より上半分を使ったダウンボーイングでのアクセント課題である。弓の中央から先は力が入りにくいので、この課題は困難である。第2は、アップボーイングでのアクセント課題である。とくに、ダウンからアップに切り替わるときに弓の先でアクセントをつけるのは、大変困難である。第3は、弓の中央でのアップでのアクセント課題である。第4は、アップでの低弦から高弦への移弦課題である。この課題は急激な回転運動を伴う。本論文では、これらの課題をこなすための省エネ奏法の開発過程について考察する。とくに、アマチュアのチェロ奏者である第1著者のスキルサイエンスからの視点[2][3]とプロのチェロ奏者である第2著者の経験知からの視点を対比させ、その両者の論争とコラボレーションの過程を取り上げ、両者間の論争点が如何に解決されたかを示す。

## 2 なぜ省エネ奏法か

チェロの演奏にとって、省エネ奏法は、とくに重要である。チェロの演奏をバイオリンのそれと比較してみると、第1に、演奏中での肩からチェロの弓へ垂線を下ろしたときの距離  $I$  は、バイオリンの場合と比べて約 2 倍長い。弦を鳴らすのに必要な弓の力を  $F$  とすると、力のモーメントは  $F \times I$  であり、 $I$  に比例する。実際には、肩から弓を保持する指の部分の肩周りの回転力によって力  $F$  を発生させ、さらに前腕を軸とした回転により、弓が弦に接触しているところにその力を伝えなければならない。第2に、チェロの弦は、バイオリンの弦に比べて約 2 倍太いので、弦を鳴らすための力  $F$  自身が、バイオリンのそれに比べて格段に大きい。振動に要するエネルギーが弦の断面積に比例すると考えると、その比は 4 倍となる。第1の要因と第2の要因を掛け合わせると、その力のモーメントの比は 8 倍となり、ほぼ一桁の違いとなる。その結果、肩で必要となるトルクは一桁違ってくる。このことが、チェロ

において省エネ奏法が如何に大切かを示している。

### 3 運弓動作の生体力学的考察

本章では、運弓動作に関連して、必要とする肩回りのトルクの生成に関わる 3 つの生体力学モデルを取り上げて考察する。それらは、鞭運動、作用反作用の法則、および共振現象である。

#### 3.1 鞭運動

鞭運動は、その起動、および、波動の伝播によって定義される。起動は、鞭の元で鞭を強く振ることによってなされる。そのようにして起動された鞭運動の主運動は、鞭を伝わる波動である。波動の伝播は、鞭を輪切りにした各部分の併進運動と回転運動の組み合わせよりなる運動方程式によって与えられる。その結果、鞭の波動は材質中の音速で伝わる事が知られている[4]。そして、その音速自身は鞭の材質のヤング率の平方根に比例する。すなわち、ヤング率が 4 倍大きくなると、その波動の伝達速度は 2 倍になる。

運弓動作において、鞭は足および腰が鞭の元に相当し、脊椎、鎖骨あるいは肩甲骨、肩、肘、手首、指の諸関節を経由して、指先が鞭の先になる[5][6]。体の場合、バネの強さを表すヤング率は、動きに対する抵抗であるインピーダンス、あるいは体の強靭さを表す剛性（スティッフネス）と考えてよい。鞭の起動は、大腿筋および腰筋を緊張させて、体を主に左右に揺り動かすことによってなされる。骨盤が椅子に接触している点を根元として、その先にある体の重心を振る感じである。鞭の波動が体を伝わるためには、各関節において、ある程度のインピーダンスを必要とする。そのため、各関節で完全に脱力してしまうと、鞭の波動は伝わらない。また、鞭は先に行くにしたがって先細りしているが、そのような質量分布も鞭の伝播速度を決めるパラメータとなっている。実際、鞭運動は、弓の返しを行う際の体の動きによく似ており、鞭モデルは弓の返し動作を分析する際に適切なヒントを与える。弓の返しは、手先の加速度的なスピードによってなされるが、そのようなスピードを得るための動作として、鞭運動を考えればよい。

#### 3.2 作用反作用の法則

運弓動作を記述する第 2 の力学モデルは、作用反作用の法則である。とくに、アクセントを伴う運弓動作において、作用反作用の法則は重要な役割を果たす。たとえば、アクセントを伴う、ダウンからアップの弓の返しでは急激なアップボーへの変化が必要になるが、その動きを引き起こすためには、肩の反対方向への強い力を加えればよい。その結果、反作用によってアップボーへの力が生じる。この結果は、作用反作用の法則を満たしている。実際、左手で鎖骨を押さえながら首を右に振ることによって、この力を作り出すと、高速のアップボーが可能になる。作用反作用の法則と等価な法則は運動量保存則である。さらに、回転運

動に対しては、角運動量保存則がその役割を果たす。次章で述べる課題(4)のような移弦を伴う運動では、とくに角運動量保存則は重要になる。それは、体の一部を回転させるとき、外力がない場合には必ず体のほかの部分に逆回転させる必要があることを主張している。

### 3.3 固定端—自由端での共振

体を使った運弓法の理解を深めるために、第1著者は図1のようなボディブレードと呼ばれる運動器具を購入し、その動きを体感した。実際、その器具の中心を握って上下を揺らした場合と、下端を保持して揺らした場合の周期の違いを調べてみた。その結果、前者の方が振動数が格段に大きいことを確認した。そのような振動現象を説明するモデルとして、共振現象が知られているが、定常波の振動現象には、両端の固定状態により、いくつかの振動系が存在する。ここでは、固定端—自由端での共振を考える。固定端は骨盤の下端に相当し、自由端は頭の天辺に相当する。ここで問題になるのは、振動モードである。振動は、固定端は振動の節になり、自由端は腹になる。図2に示すように、1次モードでは、両端の間に節が存在しない。一方、2次モードでは、振動系の上2/3のところに節ができる。体の部分で考えれば、2次モードでの節は、首に相当すると考えてよい。このときの振動周波数を比較すると、後者の方が前者に比べて3倍高いことが分かる。実際、計測してみると、1次モードでの振動数は1/3~1/2ヘルツ程度であるが、2次モードでは1~1.5ヘルツ程度になることが分かる。運弓動作で言えば、首を節にした振動形を採用すると、そこに節がない場合に比べて、3倍速い振動が得られる。このことは、その振動モードを作ることによって、速い弓の返し、あるいはアクセントなどの困難な課題に対処できることを示唆している。



図1. 振動を体感できるボディブレード

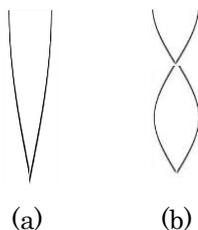


図2. 固定端—自由端振動系での定常波  
(a)は1次モード、(b)は2次モード

#### 4 困難な課題

本論文で対象にしている課題は、弓の操作が大変困難な課題である。ありきたりの課題なら、ここで論じるような技巧を要しない。そのような困難な課題にはいくつかの特徴がある。その1つは、弓が弦に接触して実際に音を生成する位置が、弓の中ほど、あるいは弓先の場合である。弓元の操作は比較的楽なので、ここでの考察の対象に含める必要はない。第2に、弓の速度、あるいは加速度がある程度以上大きい課題である。それは、アクセント課題の特徴でもある。アクセントのある音を出すためには、弓を急に高速に動かさなければならないからである。第3に、弓がほかの弦に移動する動作（移弦）が伴う課題である。我々が選んだ課題は、以下の4つである。

##### (1) 弓の中ほどのダウン動作でのアクセント

図3の楽譜での枠で囲んだ2つの音がその例である。これらの音は、ダウンで演奏されるが、そのときに、3つ前の音を伸ばす関係で、弓の位置が中央付近になってしまい、そこでは弓の棹の部分の振幅が最大になるので、弓がはねやすく、その制御が利きにくくなる。



図3. ダウン時の弓の中央でのアクセント

##### (2) 弓先でのダウンからアップへの弓の返しでのアクセント

図4の楽譜での枠で囲んだ音とその例である。直前の2分音符+8分音符の長いDの音を弾くために、弓が先端に行ってしまう。弦との接点が弓の先に行くにしたがって、同じ力で弦を抑えるのに必要とされる力のモーメントがアームの長さに比例して大きくなるので、音が出しづらい。さらに、弓の急加速も難しく、そのため弓先でのアクセントは大変困難である。

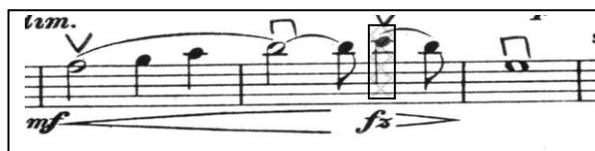


図4. ダウンからアップへの弓の返しでのアクセント

##### (3) 弓の中央でのアップでのアクセント

アップ弓の途中で弓元まで弾ききるときにアクセントがある場合、弓の勢いを付けなけれ

ばならない。そのような弓の動きを腕だけで行うと、雑音が出てしまいがちになる。それを防ぐのがここでの問題である。例として、図5の枠線の音を挙げておく。



図5. アップの途中でのアクセント

#### (4) アップでの低弦から高弦への移弦

本課題は、移弦による回転運動に対する補正を必要とする。とくに、低弦から高弦への移弦は重力に逆らった動きなので、アップボデーで行う場合、弓を持ち上げる動きと左に巻き込む運動の両者を行う必要がある。そのため、脊椎を軸とする回転運動が発生し、その補正のために、首などでの逆回転を必要とする。楽譜例は、図6の枠で示した音列である。



図6. アップでの低弦から高弦への移弦の例

### 5 理論と経験知の相違 —論争—

本章では、生体力学モデルから導かれる理論的な帰結と、プロの奏者の経験知の相違について論じる。初めに、生体力学モデルからの帰結を示し、ついで、プロ奏者の経験知との相違について論じる。

#### 5.1 生体力学モデルからの論理的帰結

##### 5.1.1 鞭運動からのヒント

3章で与えた生体力学モデルは、このような困難な課題を達成するためのヒントを与える。鞭モデルは、弓のしなやかな動きを実現するための基本的な制約条件を与える。それは、鞭の経路に沿ったインピーダンスの確保である。これを言い換えると、筋肉の不必要な緩みを作らない、ということである[7]。鞭の経路上の筋肉の緩みはインピーダンスを失わせ、その

箇所では鞭の波動が途切れてしまう。すなわち、腰筋で作られた筋力を手先にまで伝えることができなくなる。それは、操り人形の糸が途中でたるむと、手足が動かなくなるのに似ている。

鞭運動からの第2のヒントは、インピーダンスの強化による波動伝播速度の向上である。鞭運動の方程式によれば、2倍速い動きを得るためには、体のインピーダンスは4倍にしなければならない。たとえば、背筋のインピーダンスの強化のためには、背筋を伸ばす方向に力を入れればよい。また、脊柱を左に倒す筋肉と右に倒す筋肉の両方（拮抗筋）を同時に活性化させることによって、インピーダンスが上がる。腕の場合も同様に、伸ばす方向に力を入れる分には、弓の制御を妨害する余分な力にはならず、インピーダンスの増強に役立つ。しかしながら、主動筋と拮抗筋の両者を過度に緊張させることは、避けなければならない。それは、インピーダンスを上げる一方、柔軟な動きを阻害することにもつながるからである。

脊柱のインピーダンスを上げる方法として、著者らが注目しているのは、下肢の特定の姿勢によって仙骨を締める方法である[8]。より具体的には、膝下を内旋させつつ太股を外旋させる姿勢を取る。これによって、筋肉の過度な緊張なしに、脊柱を起立させることが可能になる。実際、この方法を採用することによって、無理なく脊柱のインピーダンスを格段に上げることができ、その結果、チェロの運弓動作を著しく改善させることができた。

### 5.1.2 作用反作用の法則からのヒント

作用反作用の法則から得られるヒントは、4章で与えたすべての課題に適用できるが、主効果の動きを引き出すような逆向きの運動を行う、というものである。それらの運動自身は、課題ごとに若干異なる。課題(1)では、ダウンのアクセントを必要とするが、その主効果に対する逆向きの運動は、首を左に残す運動になる。同時に、背筋のインピーダンスを瞬間的に強化することも必要になると思われる。

一方、課題(2)は同一の弦でのダウンからアップへの弓の返しであるが、その場合は、逆に首を右に振る運動になる。同時に体幹を弓なりにして左方向に反らせるのも効果がある。弓自身はアップの動作では左の方向に弓が進むので、体幹の反りによって肩が左方向に進行するのは妥当な動きである。課題(3)もほぼ同様であるが、体を傾ける（引っ張る）方向がやや違っており、右斜め後ろとなる。それは、弓の方向が左斜め前だからである。こうすると、前節で述べた、筋肉の緩みの発生を防ぐ効果もある。

課題(4)は、回転運動の課題であるが、その主効果に対する逆向きの運動は、逆回転である。これは、角運動量保存則に相当する。主効果の回転運動を生成するためには、肘を上げて左に回す必要があるが、逆回転のために肩を残し、首から上を逆に回転する。体幹の動きは、弓の動きが課題(3)と同様左斜め前なので、右斜め後ろが望ましい。

### 5.1.3 固定端－自由端での共振モデルからのヒント

共振モデルでのモードの選択は、鞭モデルにおいてインピーダンスを上げることによって波動の伝播速度を加速するのと同様の効果をもたらす。すなわち、1 次のモードから 2 次のモードに変化させることによって、その振動数は 3 倍になり、結果として振動の速さが 3 倍になる。これを運弓動作に当てはめると、2 次のモードでは首を節にした振動モードを採用することに相当するが、このような振動を生成するためには、上の節となる首を固定させて頭を振る運動が効果的であると考えられる。このモードは、とくに高速での弓のダウン、アップの繰り返し操作の実現に効果が期待できる。

## 5.2 プロ奏者との議論による気付き

5.1 節では、生体力学が与えるヒントと、それによる必要な体の動きを求めたが、第 2 著者であるプロのチェロ奏者は、その結果の妥当性をより吟味する必要性を指摘した。とくに、4.2 節、4.3 節で述べた、首ないし頭を振る運動であるが、その妥当性に疑問を呈した。第 1 著者は、生体力学からの帰結をより尊重する立場を取っているが、一方、第 2 著者は、経験主義の立場からの疑問を呈している。実際、第 1 著者も、首を振ることに欠陥があることを認識している。それは、視点が定まらず、楽譜の読みに問題を生じるからである。楽器が揺れてしまうことも問題である。また、解剖学的にも、首をやたらに振ることが体のほかの部分の制御に少なからず影響を与えてしまうと思われる。首を振りすぎるのは、見た目にも格好が悪い、という欠点もある。また、その動きが直感に合わないというのも、見過ごせない意見かもしれない。首を振ること自身、解の 1 つであり、真の目的は、作用反作用の法則を満たすように、主運動に対して逆方向の運動を生成すればよい。首を振るのは、その目的に対するひとつの解に過ぎない。よりよい解があり、しかも、副作用がより少ない場合、そのような解の方がよりすぐれていると考えられる。

このような着眼点は、プロ奏者の経験から得られたものと考えられるが、次章では、このような着眼点を含む、プロ奏者が教示をする際に採用している比喻やイメージなどの表現の問題を考えよう。

## 6 論争解決のアプローチ

### 6.1 コラボレーションのためのインタラクティブ・インタビュー

プロの奏者からボーイングに関連する教示上の言葉、表現を抽出することを目的として、2 回のインタラクティブ・インタビュー実験[9]を行った。参加者は、2 回とも、二人の被験者、すなわち、第 1 著者と第 2 著者、インタビュアー（第 3 著者）、および書記（第 4 著者）の 4 名である。1 回目の実験では、第 1 著者が中心となってインタビューを受け、運弓課題での諸問題に対する自由討論を行った。そこで採られた手法は、忽滑谷[9]に基づく、hex[10]

を利用したインタビュー実験である。ここで、hex は一辺 45mm の六角形のメモ帳であり、書いたメモを並べることで使用者のメタ認知的な思考を促すことを意図して開発されている。1 回目のインタビュー実験では、約 50 枚の hex メモが作られ、その内の 30 枚が運弓動作に関連付けられた。そのメモ群をグループ化して、相互の関係を明らかにした。そのときに得られたグループは、(1) 身体の構造と機能に関する部分（ハードウェア）、(2) 動きを振動系として捉え、多様な振る舞いを記述したグループ、(3) ターゲットとなる運弓動作を実現するための首や頭などの体の各部分の瞬間的な動きに関する記述、(4) その動きを「首を残す」という表現に変えることに関する主張、の 4 つである。とくに、第 4 のグループは、第 2 著者のプロ奏者による意見が反映されたグループであり、(3) の主張と対立している。

2 回目の実験では、第 2 著者（プロ奏者）が中心となってインタビューを受け、同様のメタ認知実験を行った。ここでは、46 枚の hex メモが作成され、それらは (1) 第 1 著者が関与する生体力学的側面、(2) 課題をこなすための体の動かし方、弓の操作、(3) 課題の困難性についての記述、(4) 第 2 著者の発言の主要部分である、奏法のヒントを与える比喩的表現、の 4 グループに整理された。

ここでは、これらの実験の中で論じられた 3 つの点についての考察を行いたい。それらは、(1) 課題達成のために首を振ることの是非、(2) 第 2 著者による準備動作としての、「弾みをつける」動きに関する示唆、(3) 第 2 著者による奏法のヒントとなる比喩的表現、についてである。

## 6.2 課題達成のために首を振ることの是非

生体力学からの考察によれば、作用反作用の法則から見ても、腕の急激な運動に対して、その運動を補償するような逆向きの運動はなくてはならない。その点から、第 1 著者は、とくに 3 章で述べた課題(1)のような、ダウンからアップへの腕の運動方向の急激な変化に対応して、首を逆方向に振る補償運動を提案した。一方、第 2 著者は、経験的に、そのような動作の不適切性を感じ取った。メタ認知実験を通して明らかになった理由としては、首の動きにより視線が定まらなくなる点、および、首を振ることにより楽器が揺れてしまう点の 2 点が上げられた。もう一点挙げるとすると、首を極端に振ると、脊柱から頭の天辺までの体の軸が折れ曲がってしまうのも、問題であろうと考えられる。

一方、この問題の解決策として考えられたのは、「首を振る」のではなく、「首（頭）を残す」と言う表現である。第 2 著者は、この表現に大いに納得した。実際、ゴルフなどでも、スイング時に頭を残すことの重要性が指摘されている。

## 6.3 「弾みをつける」動き

ボーイングにおけるアクセント課題を考えると、生体力学的考察では当然ターゲットとなるアクセントのついた音の処理を考察の対象としたが、第 2 著者の助言は、「その前で弾

みをつける」と言うものであった。より具体的には、たとえば、図3の2つ目のDの音を弾くときに、弦に弓をぶつけて弾ませる、という動作を行う。この方法は、4章で与えた課題(1)および課題(4)の実現にとって、大変有効であることが確認された。直前での弾み動作は、アクセント動作の起動の問題と密接に関連している。実際、3.1節の鞭運動の項で述べたように、鞭で重要になるのは、鞭動作の起動と鞭波動の伝播の2つである。その起動をどのように行うのかについての考察は欠落していたが、直前での弾み動作は、鞭の起動のきっかけを与えるものと考えられる。このような、一見思いつかないところに重要なヒントが隠されていることはよくあるが、これもその例のひとつである。実際、この方法で鞭を起動すると、作用反作用の法則での反発力を作ること自身、自然に行うことができ、意識して首を振る動作を行わなくてよくなる。このことは、第2著者が首を振る動作に異を唱えた理由のひとつかもしれない。

#### 6.4 奏法のヒントとなる比喩的表現

ここでの課題に関連した第2著者による表現は、大変興味深い。それらを列挙しよう。前節で述べた、弾みの例では、「弾みがほしい」という表現が見られた。一方、ターゲットとなるアクセントを伴う音に関しては、「弓と弦の出会いがしら」、「出会いがしらの力をうまく使う」などの表現が見られた。この表現は、3.2節で述べた作用反作用の法則をうまく言い当てている。「作用反作用の法則を満たすように」と言うより、「出会いがしら」の方が腑に落ちる表現と言えるであろう。そのほか、「音の長さが変わったときには、新しいエネルギーが要る」といったより一般的な経験則も見られた。そのほか、「豹の動き」、「スネークテクニク」などの、体全般の動きを形容する言葉も紹介された。また、本課題に関係なく、より一般的に、「音楽に血を流したり、体温を持たせる」などの表現も使うことが示された。また、プロ奏者は、「揺らして大きな楽器にする」、「音楽だけでなく、体の動きに関するイメージを持つ」、「芯をつかまえるイメージを持つ」、「肘より先を木の枝とイメージする」など、豊富なイメージを持ち合わせていることを確認した。

#### 6.5 「身体知研究会」発表における質疑応答

我々は、運弓動作に関連して、「身体知研究会」において、体の縮みが及ぼす影響についての発表を行った[7]が、そのときの質疑応答が本研究に重要なヒントをもたらした。それは、鞭モデルに関して、下半身の影響を考察に含めるべきである、との指摘である。その質疑応答は、単に下半身の使い方への示唆に止まらず、鞭モデルにおける、鞭の起動の問題を考えるきっかけを与えた。3.1節で述べた鞭モデルでは、鞭の波動の伝達速度に焦点が置かれていたが、鞭運動を開始させるための体の動きに関する考察が欠落していた。下半身で壁を作る構えは、ゴルフや野球のバッティングなどのスイング系の競技で論じられているが、その目的は、実は鞭の起動に置かれていると考えられる。鞭動作の起動は、鞭を強く振り出し、

鞭が進行方向に達したときに急激に振りを止めることによってなされるが、その振りの停止に大きな負の加速度が必要になる。その時に、下半身の壁が重要な役割を演じる。下半身の壁によって鞭の振りが止められ、その結果として鞭運動が発生する。このことは、たとえば、体を右にやや傾けた状態から左に振って体幹から頭までを鞭のようにしならせる運動を試みれば分かる。その時、下半身の壁がないと、上部が左に流れてしまい、鞭の動きにならない。一方、下半身の壁を作ると、頭が丁度真上に来たときに止まるような鞭動作を実現できる。

これまで、下半身の役割は、その重要性は認識されていたが、その理由が明らかにされないうままであった。それが、上で述べたように、研究会での質疑応答をきっかけに考察が進み、鞭の起動との関係が明らかになった。

## 6.6 『仙骨姿勢講座』からの知見

『仙骨姿勢講座』[8]は、立位、座位において、脊柱を起立させるのに仙骨が重要な働きをしていることを論じた著書である。我々は、5.1.1でも述べたように、その本から、とくにチェロを演奏する際に、背筋の力を無理に使わずに、足の構えとひねりによって、脊柱を起立させることができることを学んだ。同書の主張は、仙骨を締めることによって、脊柱が起立し、同時に太股の外旋と膝下の内旋が生じることを述べているが、我々は逆に、下半身の構え（太股の外旋と膝下の内旋）によって脊柱が起立することを確かめ、それをチェロの演奏に応用した。その効果は、とくに第1著者にとっては顕著で、これまで首を振るなどの工夫が必要であった課題のいくつかは、首を意識せずに演奏することができた。

この奏法上の改善点は、鞭モデルで解釈することができる。鞭モデルでは、身体上の鞭の経路沿いでのインピーダンス（スティッフネス）を上げることによって、鞭波動の伝達速度を上げることができることはすでに述べたが、上記の下半身の構えは背筋を過度に使わずに脊柱のスティッフネスを上げることを可能にするので、鞭運動の実現に最適である。実際、第1著者は左足の踵を外側に押し出すことによって、弓先でのダウンからアップへの切り替えが楽にできることを経験的に学んでいた[11]が、その理由が明確になったといえる。論文[11]では、その理由として、振り子モデルの前提条件である、振り子の支点となる肩を固定できることを挙げているが、ここでは、より積極的に脊柱のスティッフネスを高めて、鞭波動の伝達速度を上げる、というより明確な理由を導くことができた。実際、この新たな構えは、第1著者のチェロの演奏スキル全般の著しい向上をもたらした。

## 7 さらに飛躍へのステップ —理論と実践の融合—

運弓動作時に「首を振る」ことの是非の論争をしてきて、鞭の起動にまで検討が及んだが、これまでの議論を整理することを目的として、再度インタラクティブ・インタビュー実験を試みた。実験の枠組みは、6.1の1回目の実験と同じである。その結果、3つのhex群が得られた。第1は、図7に示すように、「首振り」の新しい解釈を示すhex群である。その中

心は、「首振りには、鞭の起動のための反力を与える」というものである。この解釈は、今までになかったもので、その後、さらに検討を加えた結果、「首振りには、鞭運動を加速する」という表現が妥当である、との結論に達した。この結論に従って、実際にチェロ演奏を行い、現在、実証研究を行っている。

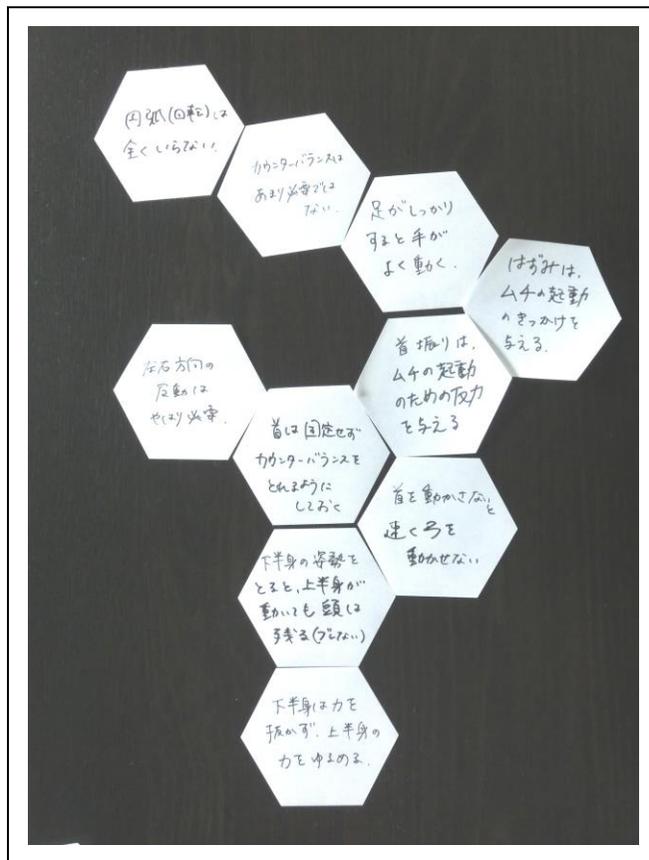


図7. 首振りの新しい解釈を示す hex 群

第2は、図8に示す鞭の起動を可能にする足の構えに関連した hex 群である。鞭の起動は、腰筋、脊柱起立筋によって重心を左右に揺り動かす動作を突然止めることによって引き起こされるが、その突然の停止のためには、下半身を固定させなければならない。その下半身の固定は、膝下の内旋と太股の外旋によってもたらされることは、前に述べたとおりである。図の中に、「下半身がガタガタしていると鞭が振れない」という記述があるが、このことは下半身の固定が鞭の起動に欠かせないことを示している。

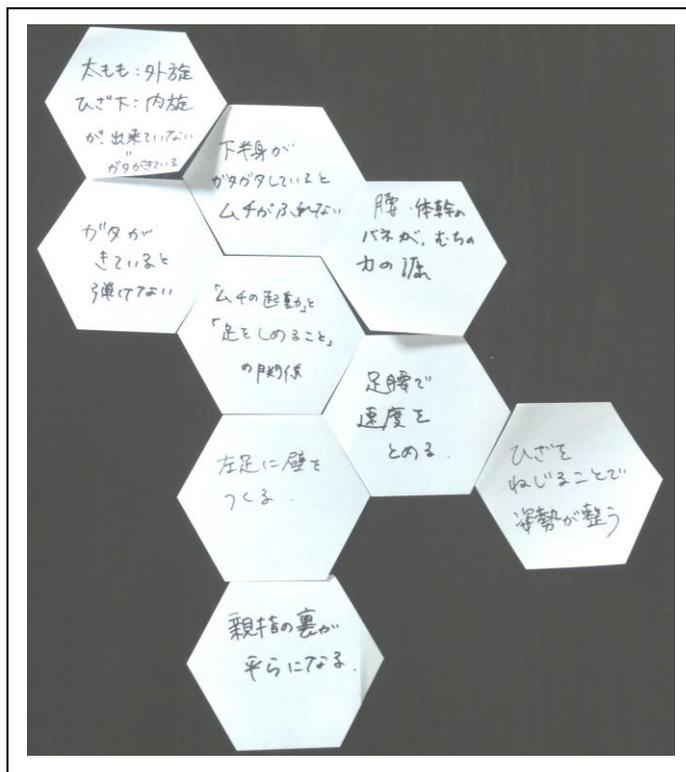


図 8. 足の構えによる鞭の起動の準備を示す hex 群。

図 9 に示す最後の hex 群は、第 1 著者が足の構えを変えて課題(1)を演奏したときの様子を観察した実験参加者による発言のメモである。興味深いのは、足の構えの変化が姿勢を良くし、それが観察者に容易に判断できた点である。「カッコよく見えるのは姿勢が良い証拠」、「服のしわが良い動きを担保している」などの hex メモが、そのことを示している。それと同時に、「発音がはっきりしている」、「表情が出しやすい音になった」などの、音自身の改善の指摘も見て取れる。とくに、姿勢や服のしわへの言及は、通常なされる音による評価とは異なり、視覚的な側面から演奏評価を行っていることが、注目に値する。

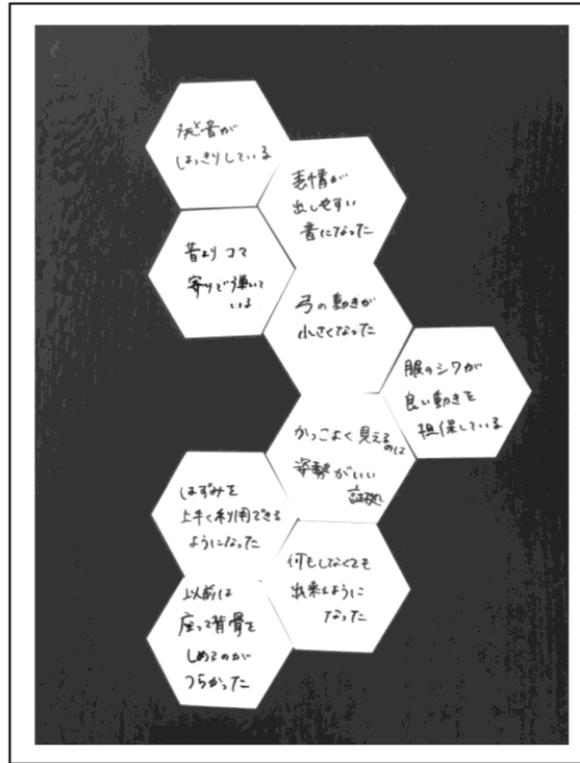


図 9. 足の構えがもたらす姿勢の変化を示す hex 群。

## 8 スキル発見過程での論争の根源

スキル発見過程でなぜ論争が起るのか、という問題は、議論するに値する。生体力学に基づく理論的要請は、当然考慮に入れなければならない。とくに、作用反作用の法則のような、普遍的な制約は、常に満たされるはずである。本論文で議論した、素早い弓の返しに対抗する逆方向の動き（カウンターバランス）は、併進運動での例である。また、4章の課題(4)のような高速移弦では弓が円弧を描くので、その動きに対抗する逆向きの回転が必要になるが、それは回転運動の例である。第1著者は、この問題を回避するために、首を利用した逆向きの動き、すなわち、首を回す動きを提案した。これに対して、第2著者は経験からそのような動きを意図的に行うことに異を唱えた。

これらの相反する意見が出される背景を考えてみたい。第1の、理論的な考察の誤りは、どこが問題なのであろうか。それは、生体力学モデルを成り立たせるための条件が不足しているために起こる。実際、第1著者は首を振ることによって上記の問題を解決したが、それは必ずしもベストな解ではないことが、後に明らかになった。その欠落していた条件は、鞭モデルでの起動であり、そのための下半身の利用である。仙骨姿勢講座が示唆している、太股の外旋・膝下の内旋による下半身の構えが、脊柱を無理なく起立させ、それが脊柱のステイフネスの強化に役立つことが判明した。その姿勢を取ると、本論文で提示した課題の内

のいくつかは、自然に解決することが判明した。とくに、回転運動に伴う作用反作用の法則の制約は、意図的なカウンターバランス動作を必要としないことが分かった。このことは、回転動作での力がそれほど大きくなく、脊柱をしっかりと起立させるだけで、その反力が背中自身で作れるからである。

一方、経験知からの結論、すなわち、経験則の問題は、新たな奏法を生み出す芽を摘んでしまうかもしれない点である。「首を振る」奏法は、多くの演奏家が意識せず、そのため、考慮すべき奏法とは見做されない、ということになってしまう。ところが、少なくとも併進運動の場合、すなわち、4章の課題(2)では、首の動きは、プロの演奏家にも見られる。もちろん、その動きが意図的であるか否かは、問題とすべきであるが、現象としては、はっきりと観測できる。この問題に関しては、7章の図7で示したように、第1著者は「頭の天辺を支点とした振り子運動による鞭運動の加速」という新たな解釈を提案中であるが、第2著者はその検証に取り掛かっている。この別の解釈は、より説得力があり、本論争に終止符が打たれる可能性を残している。

スキル発見過程が論争を生むもう1つの理由は、スキル発見が演奏者の個人的な経験であり、そのため、発見自身が客観的真理とは言えない点である。たまたまその奏法を発見した個人には有効であったかもしれないが、それが万人にとっての処方箋になっているとは限らない。ここで議論した、「首を振る」ことによる、カウンターバランス動作にしても、たまたま腰が強い人にとっては、その必要がないかもしれない。しかしながら、チェロの演奏だけでなく、ゴルフや野球のバッティング、あるいはテニスなどでも、カウンターバランス動作の重要性は、指摘されており、それがさまざまな形で表現されていることを考えると、少数の例外とも言い切れない、と思われる。

## 9 おわりに

本論文では、運弓動作における省エネ奏法の開発過程について述べてきたが、中でも、第1著者と第2著者間の論争と、コラボレーションによる解決のプロセスを明らかにした。本論文で取り上げた論争のテーマは、すばやい動作を含む困難な課題をこなすために、「首を振る」動作を意図的に行うべきか否か、という問題である。このテーマについて、第1著者が生体力学的な視点から、プラスの評価を与えたが、第2著者は経験知からマイナスの評価を与えた。その論争を解決するために、いくつかの試みがなされた。本論文中には記載しなかったが、プロの演奏家によるビデオ観察も行い、現象として上記の動きがなされていることの確認を得た[12]。一方、生体力学的な考察に欠落していた鞭動作の起動に関する考察と、その実現方法についての『仙骨姿勢講座』による示唆によって、姿勢を改善し、それが論争の一部を解決した。さらに、最近の首の動きに関する考察により、その動きの新たな解釈を得たが、その新解釈は動きを説明する上でより説得力があり、本論争に終止符を打つ可能性がある。

ここでの論争は、立場の異なる2者の論争およびコラボレーションの例として、興味深い。一方(第1著者)はスキルサイエンスの専門家であり、他方(第2著者)は経験豊かなチェロ奏者である。第1著者はアマチュアのチェリストであり、チェロ演奏についての検証が自身で可能であることも、ここでの論争およびコラボレーションを可能にしている。さらに、第2著者は、スキルサイエンスの知識を習得し、生体力学の言葉が理解可能な状態となっている。適切な論争・コラボレーションを実現するためには、このような相互理解が前提条件である。本コラボレーションは、文系・理系の枠組みをさらに超えて、芸術系・学問系の融合を意図している点でも、チャレンジングである。

### 謝辞

本研究は、平成24年度~26年度にわたる科研費「ルールアブダクションとアナロジーによるスキル創造支援」(課題番号24500183)によってサポートされた。ここに深謝する。

### 参考文献

- [1] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁: 「弦楽器の運弓動作の省エネ奏法について」, 人工知能学会2012年度全国大会, 2012.
- [2] 古川康一: 「スキルサイエンス」, 人工知能学会誌, Vol.19, No.3, 355-364, 2004.
- [3] 古川康一他: 『スキルサイエンス入門』, オーム社, 2008.
- [4] McMillen, T., and Goriely, A.: “Whip Wave, Physica D Nonlinear Phenomena,” Vol.184, Issues 1-4, 192-225, 2003.
- [5] Furukawa, K., Kinjo, K., Shimizu, S., Sawai, K., and Yoshinaga, S.: “On Modeling Bow Arm Movement in Cello Playing by Whip Motion,” Proc. of the 3rd European Medical and Biological Engineering Conference, Prague, 2005.
- [6] 古川康一, 清水聡史, 金城敬太, 澤井啓吾: 「鞭力学による協調動作のモデル化」, 第27回バイオメカニズム学術講演会, 神戸学院大学, 2006.
- [7] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, 忽滑谷春桂: 「体の縮みが可制御性に及ぼす影響について」, 人工知能学会身体知研究会, 第13回, 2012.
- [8] 吉田始史著, 高松和夫監修: 『仙骨姿勢講座』, BABジャパン, 2006.
- [9] 忽滑谷春佳, 諏訪正樹: 「ナラティブ生成を目的としたインタラクティブなインタビュー手法の提案——建築学科の設計課題を例にして」, 人工知能学会身体知研究会, SKL-11-01, 2011.
- [10] 西山武繁, 諏訪正樹, 佐山由佳, 浦上咲恵, 泉二肇: 「身体と意識の開拓を促す文房具のデザイン: 2つのメモツールに関する考察」, 人工知能学会身体知研究会, SIG-SKL-09-04, 27-35, 2011.
- [11] 古川康一: 「身体知獲得のための脳情報処理と言語指示」, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.24, No.1, 2012.
- [12] Mari Endo Dvorak Cello Concerto (2/2), youtube, <http://www.youtube.com/watch?v=KebklqkM-Lw&feature=relmfu>