

## スキル獲得におけるブレイクスルーに関する一考察

## A note on Breakthrough in Skill Acquisition

古川 康一<sup>\*1</sup> 升田 俊樹<sup>\*2</sup> 松原 正樹<sup>\*3</sup> 小林 郁夫<sup>\*4</sup> 西山 武繁<sup>\*1</sup>  
 Koichi Furukawa Toshiki Masuda Masaki Matsubara Ikuo Kobayashi Takeshige Nishiyama

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 <sup>\*2</sup> チェリスト  
 Graduate School of Media and Governance, Keio University Cellist

<sup>\*3</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科 <sup>\*4</sup> 慶應義塾大学 SFC 研究所  
 Faculty of Science and Engineering, Keio University SFC Research Institute, Keio University

In this paper, we take two knacks in playing the cello, a way of holding the bow to obtain quickness and preciseness in bowing and a way of giving force to the bow to increase the sound volume, which brought breakthrough. We compared inference schemata in achieving given tasks with these knacks to those without them. As a result, we found the easiness of modifying schemata from old ones to new ones. In the former case, the modification was only a small portion of the entire inference schema and in the latter case, it was a replacement of almost entire portion by a new inference branch.

## 1. はじめに

パース(Peirce) [Peirce58]は、ルールと結論から特定のケースを推論する合成的過程として、アブダクションを導入した。それは、既知の法則から驚くべき観測事実(結論)を説明する「仮説の仮の採用」である。我々は、アブダクションによって、スキルにおけるコツがなぜ与えられた課題をこなすのに力を発揮するのかについての説明を求めるのに成功した[古川 09]。しかしながら、その形式化における重要な側面を見過ぎていた。それは、「驚くべき観測事実」自身の重要性である。筆者らは、最近チェロの演奏に関する二つの「驚くべき観測事実」、すなわち、演奏上のコツに遭遇した。それらは、弓の持ち方に対する事実と、弓の動かし方に関する事実の二つである。本報告では、その二つの「驚くべき観測事実」がチェロの演奏技術にどのような変化をもたらしたかについて概説し、さらに、それらの新たな技術が元の技術体系にどのように取り込まれたか、すなわち「調整」(Accommodation)過程についての考察を行う。

## 2. コツ1: 親指の第1関節を曲げる

## 2.1 コツ1の有効性

第1のコツは、弓を保持する右手の親指の第1関節を曲げる、というものである。たまたま、筆頭著者(古川)は長年親指の第1関節を伸ばして演奏していたが、それを見た共著者の一人(升田)が、そこを曲げることの重要性を指摘した。もちろん、この事実は実はプロのチェロ奏者にとってはよく知られたことであることが、その後分かったが、それは筆頭著者にとっては「驚くべき事実」であった。正確に言えば、ここでの驚くべき事実は、そのコツによって今まで弾けなかった移弦と弓の返しを伴う高速のパッセージが容易に弾けるようになった、という事実である。この事実に遭遇する前までは、むしろ親指の関節は曲げない方が良いのではないかと、思っていた。その理由は、弓の保持の仕方、掴むよりも挟んだ方が腕の力を入れなくて済む、という事実に困っていた。実際、弓を掴んで保持すると、前腕に力が入

ってしまい、その結果弓の適切な制御ができなくなり、雑音を生む原因となる。また、親指を曲げると、弓を挟むよりも掴むようになりやすい。ところが、弓の保持の仕方には、「挟む」、「掴む」の他に、「掴まむ」という方法があるのが盲点であった。その「掴まむ」方法は、「挟む」よりさらに腕の力を必要としないので、制御はさらに正確で、雑音もより少ない。この「掴まむ」やり方は、「掴む」のと同様、親指の第1関節を曲げなければならない。このために、親指を曲げない方が良い、という判断が生まれたわけである。しかも、弓を掴まんで保持するやり方は指の力がないと中々うまくできず、ともすれば弓を掴む方法に陥ってしまうという落とし穴が待ち受けている。

一方、一度この方法を習得すると、その利点は計り知れない。第1は、より多くの柔軟性が確保できる、という点である。親指の第1関節を曲げて、弓を掴まむ方法を採用することにより、人差し指から小指に渡る第2関節が柔軟に動くようになる。この動きは、親指の第1関節を曲げ伸ばしすることによって実現される。ただし、弓を掴まんで保持した場合に出来るのであって、弓を掴むと親指の第1関節の曲げ伸ばし自身ができなくなる。弓を挟んで保持する場合、柔軟に動かせる箇所は、体幹から順に、股関節、脊椎、肩甲骨、肩、肘、手首の各関節であるが、その系列の最後に指関節が付け加わることになる。この変化は、些細なように思えるが、実はその効果は非常に大きい。実際に音を出す効果器である弓に近いので、その影響は大きいと考えられる。

第2の利点は、反応速度の飛躍的な増加である。弓の往復運動は振り子によってモデル化できるが、剛体振り子の周期  $T$  は支点からの距離  $l$  の平方根に比例する。今、剛体の重心が振り子のアームの丁度真中にあるとすると、 $T$  は、以下で与えられる[古川 08]。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g}}$$

ここで、 $g$  は、重力加速度である。実際に計算して見ると、振り子長を 60cm, 30cm, 12cm, 4cm に変化させたとき、その周期は、1.27 秒, 0.90 秒, 0.57 秒, 0.33 秒となる。

これらは、肩、肘、手首、指の各関節を支点とした時の振り子長に当たる。すなわち、手首を中心とした時と比べて、人差し指から子指までの第2関節を中心とした時の振り子の周期は、ほ

連絡先: 古川 康一, 嘉悦大学大学院ビジネス創造研究科,  
 〒187-8578 東京都小平市花小金井南 2-8-4, TEL: 042-466-3711, furukawa@sfc.keio.ac.jp

ほぼ半減する。これは、反応速度がほぼ倍に上がることを意味する。

これらの二つの要因により、スキルのレベルが飛躍的に向上することが予想される。

## 2.2 コツ1の繰り返し高速移弦課題への応用

前章で述べた「親指の第1関節を曲げる」コツを2弦にまたがる繰り返し高速移弦の課題に適用した結果、従来にないパフォーマンスが得られた。課題の例としては、Figure 1 に示すブラームスのチェロソナタ第2番第1楽章の171~172小節がある。この例に対する従来の弾き方での推論図式は Figure 2 で与えられる。



Figure 1. An example of quickly traversing between strings with bow direction change.

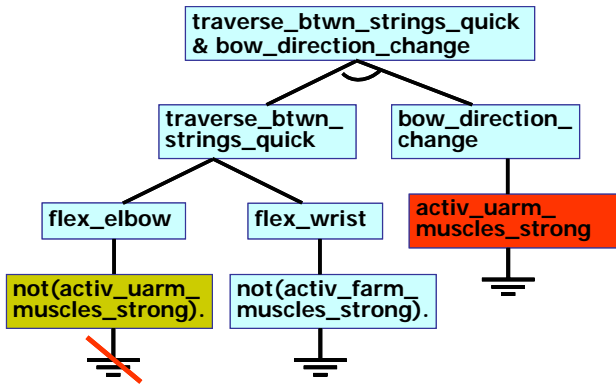


Figure 2. An inference diagram of the traverse\_btwn\_strings\_quick & bow\_direction\_change task without knuckle flexibility.

はじめに、コツ1を用いない場合の奏法についての推論図式を示す[古川 07]。この課題は、二つのサブゴールからなる。一つは弓の2弦間の高速移弦(traverse\_btwn\_strings\_quick)で、もう一つは弓の返し(bow\_direction\_change)である。前者のゴールを実現するには、肘を柔軟にする(flex\_elbow)か手首を柔軟にする(flex\_wrist)のどちらかの方法がある。そして、これらのサブゴールの達成のためには、肘の柔軟性確保のためには上腕の強活性化を避けなければならない、手首の柔軟性確保のためには前腕の強活性化を避けなければならない。一方、後者のゴールである弓の返し(bow\_direction\_change)を達成するためには、上腕の強い活性化(activ\_uarm\_strong)を必要とする。ところが、この条件は、肘の柔軟性維持のための条件と矛盾してしまう。この様子は、図中に示されている。図中の接地記号はその事実が成り立っていることを示している。また、接地記号に斜線が掛っているのは、その否定を表している。結局、この図式で残っている推論図式は、中央に位置する手首の柔軟性を選択した部分と右端のブランチである。削除された枝を取り払った推論図式を Figure 3 に示す。

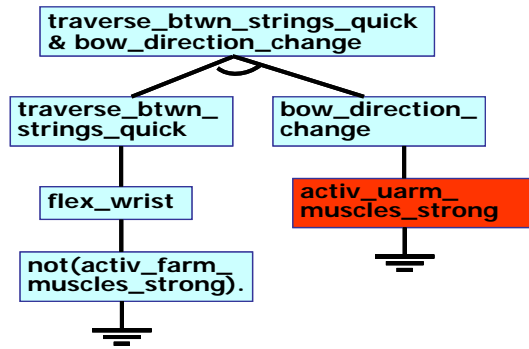


Figure 3. A simplified inference diagram of the same task as Figure 2.

一方、これに対してここでの新たなコツを用いた奏法の推論図式を Figure 4 に示す。実際に、この推論図式は、Figure 3 の手首の柔軟性による奏法も含んでいる。すなわち、この図式は、両奏法のいずれを用いてもよいことを表している。これらの二つの奏法は、場合に応じて選ぶことができる。もし楽曲があるテンポよりも遅ければ、手首の柔軟性による奏法も可能である。一方、速いテンポでは、左端の指の柔軟性による奏法しか採用できない。

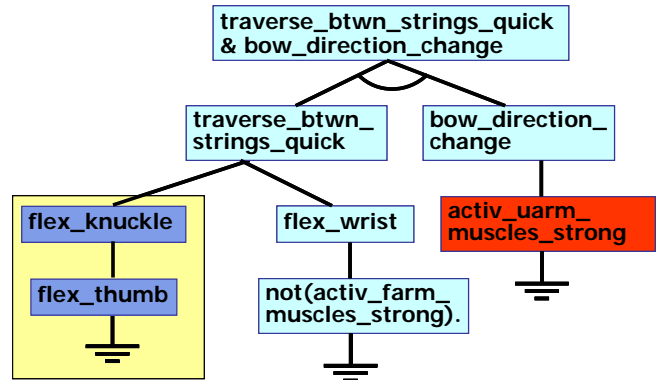


Figure 4. An inference diagram of the traverse\_btwn\_strings\_quick & bow\_direction\_change task with knuckle flexibility.

## 2.3 コツ1の accommodation

本章では、コツ1による新たな技術の既存の技術体系への取り込みの問題を考える。新しい知識や技術の元の知識体系あるいは技術体系への取り込みは、ピアジェ(Piaget)の発達心理学における accommodation(調整)に相当している。すなわち、すでに作り上げた従来のスキーマを新たな知識あるいは技術が取り込めるように調整する、という意味である。推論図式をスキーマと捉えて、調整の問題を考えると、その調整は推論図式の更新問題と定義することができる。もしこの更新が容易であれば、調整は容易であると考えてよい。ここで Figure 3 と Figure 4 を比べてみると、その差異がわずかであることが見て取れる。すなわち、ここでの調整は、容易に実現できると考えてよい。

### 3. コツ2: 弓の毛のエッジで弾く

#### 3.1 コツ2の有効性

「弓の毛のエッジで弾く」奏法をエッジ奏法と名付けよう。エッジ奏法の有効性は、経験的に知られているが、その科学的な裏付けは、未だ取れていない。従来、エッジ奏法は弱い音を弾くための奏法として知られていた。ところが、強い音を弾く場合にも、適していることが分かった。感覚としては、「腕の重さで弾く」、というのが当たっている。実際、チェロのレッスンでは、そのように教えられているようである。しかし、その場合でも、エッジで弾くことは特に推奨されていない。むしろ通常の、弓の毛を全部使って弓を弦に垂直に押しつける弾き方で、力を入れ具合を「腕の重さ」という言葉で表現していると考えられる。

ここで主張している「エッジ奏法」は、強い音でも弓の毛のエッジを使うが、さらに、力を入れ具合が従来の弾き方と異なる。従来の方法では、肩を中心として腕全体を手前に引きつけなければならない。そのために必要とするトルク(力のモーメント)は弓が弦を押さえつける力のベクトルと肩から弓までのベクトルのベクトル積で与えられる。チェロの場合、腕をほぼ伸ばしているのので、肩から弓までのベクトル長は、ほぼ腕の長さと同じと考えられる。また、この両ベクトルはほぼ直角と考えてよいので、トルクの絶対値は、弓を押さえつける力と腕の長さの積と考えてよい。このように大きなトルクを得るために、膨大な背筋力を必要とする。不必要に大きな力を出すと、その影響が周りに及び、柔軟な動きを阻害する要因となる。

一方、新しい弾き方では、弦を弦方向と楽器方向の中間の方向に押し出すようにする。そのためには、腕を突っ張る方向に伸ばせばよい。この力は、肩周りの回転力(トルク)をほとんど必要とせず、その力の生成には、背筋だけでなく上腕筋、前腕筋も使えるので、無理なく力を出せる。さらに、この力の入れ方の違いは演奏全体に大きな影響を及ぼすと考えられる。その一つは、音量の制御が容易になる、という点である。すなわち、弱音も強音も弓の構えが同じで、力だけを加減すればよい。また、フォルテ時の力みも防げる。

力を入れ方とともに、その方向が重要である。弓の毛のエッジで弾く場合、コマに近づく力が働く。一方、コマに近づきすぎると音を出すためのエネルギーが膨大になるので、反発力が働く。そのバランスが取れた所で、安定して弾ける。事実、このバランスは演奏にとって非常に重要で、力学的に最適なポイントでの演奏になっていると考えられる。その結果、出される音の音質が大きく向上しているのではないかとと思われる。

#### 3.2 音量を上げる課題の推論図式

音量を上げる課題の解としては、ここでのコツを採用する前は、「脇を閉める」(keep\_arm\_close)ことによって得られることを示した[古川 09]。その推論図式を Figure 5 に示す。さらに、ここで導入した新たなコツである「弓の毛のエッジで弾く」を採用したときの奏法を従来の推論図式に加えたものを Figure 6 に示す。ここでの例では、前の例と異なり、新しい奏法の分岐は、推論図式の上部で枝分かれしており、それが従来の奏法と技術的な共通部分をほとんど含まないことを意味している。さらに、Figure 7 で示したように、新しい奏法だけの推論図式は、従来の推論図式に対して非常に単純になっていることにも注意を払う必要がある。

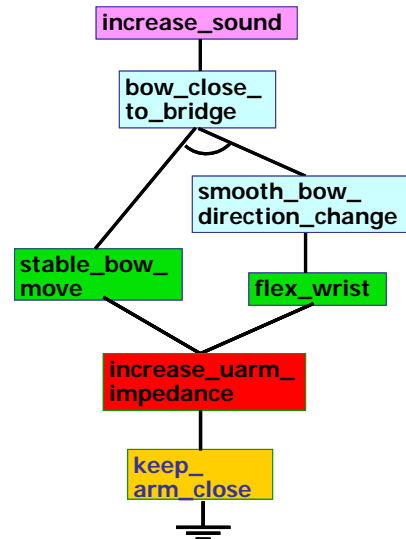


Figure 5. An Inference diagram of “Increase sound” task without bow edging.

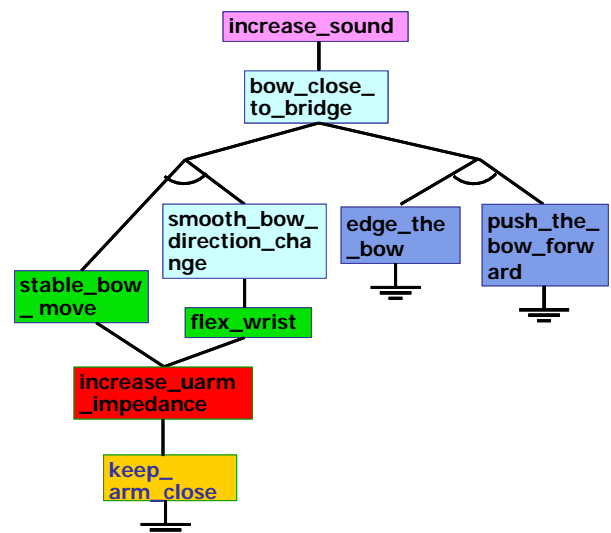


Figure 6. An augmented inference diagram of “Increase sound” task with bow edging.

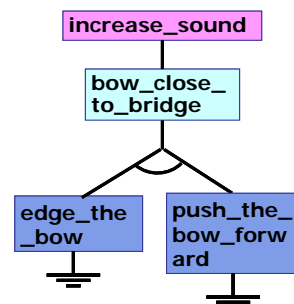


Figure 7. A modified inference diagram of “Increase sound” task with bow edging only.

### 3.3 コツ2の accommodation

コツ2, すなわち「弓の毛のエッジで弾く」エッジ奏法は, 従来の「脇を閉める」奏法に完全に取って代わり得るものである。この場合の accommodation (調整) は, ゴールの直下のサブゴールである「コマの近くで弾く」以下の運弓技術の完全な置き換えになる。実際には, このサブゴールの実現手段を考えなければならない。それは, 弓に対する力の入れ方である。弓の毛のエッジで弾いて, しかも弓をコマに近づけるためには, 弓を鉛直方向に押し出せばよい。この力は, 弓に対して弦を垂直に押す力とコマに近づける弦に沿った力に分解され, 後者の力が弓をコマに近づける働きをする。この方法は, 前節でも述べたようにヒトの筋骨格系に適合しており, 容易に力を出しやすというメリットがある。すなわち, 技術的に容易で, しかも効率のよい方法になっている。

このように, 大変優れた方法であるのに, なぜこの奏法がはじめから筆者に思いつかなかったのか, という問題が残る。その最大の理由は, 弓が弦を振動させる仕組みについての思い込みから, 弓が弦を垂直に抑えなければならない, と考えてしまった点にある。さらに, もう一つの理由がある。それは, 大きな音を出すためには, 弓の毛が弦に接触する部分の面積を出来るだけ大きくした方が良く, と単純に思ってしまったこともその理由である。この第2の理由は, 弦楽器奏者に広く信じられている考えで, そのため, 弓のエッジを使う奏法は p (ピアノ)あるいは pp (ピアニッシモ)のような弱音を出すための技法と信じられてきた。エッジ奏法は, この二つの常識から外れているので, 仮説としてもほとんど採用されなかったと思われる。このように, 一旦間違ったモデルを構築してしまうと, そこから抜け出るのは容易ではない。ここでの間違ったモデルは, 単に個人的な思い違いということに止まらず, ほとんどすべてのチェリストが誤解していると疑われるほどなので, その修正はなおさら困難である。誤解が解きたい最大の原因は, なぜエッジ奏法が優れているのかに対する決定的な説明がまだ得られていない, という点があげられる。これは, 今後解明されるべき, 最大の問題の一つだと思われる。

## 4. Accommodation (調整) 過程の容易性

2.3 および 3.3 で述べたように, 新しい技術体系を従来の技術体系に導入するためには, 従来の技術体系の推論図式の変更が必要である。二つの例から一般化して論じることは困難であるが, 調整がうまくいくのは, 前者の例から推察すれば, 従来の推論図式に対して, 単に一部分を加えることによって新しい推論図式が得られる場合, および, 後者の例から推察して, 従来の推論図式をほとんど全面的に改変してしまう場合のいずれかと考えられる。また, 技術の斬新性の観点からいえば, 後者のように推論図式の根に近い点で分岐している場合の方がより斬新な技術体系であると考えられる。そのような技術の場合, これまでの技術はほとんど使えないことになるからである。

技術の調整の問題に対して, ここでは推論図式を使って論じてきたが, 上の議論はこの道具立ての有効性を示している。

## 5. おわりに

本論文では, 二つの例を用いて新たなコツを習得するときの accommodation (調整) の問題を論じてきた。調整過程は, 人工知能基礎論における「信念の翻意」(belief revision)あるいは「理論の改変」(theory revision)に相当する。今後, この方向から

の形式化を行っていきたい。また, エッジ奏法がなぜ優れているのかを, 科学的に検証する必要がある。これも今後の課題である。

本論文の共著者の一人は, さらに, 弓の進行方向とは逆方向の重心の移動の重要性を指摘している。この動きは, 立って演奏するバイオリニストに顕著にみられる動きであり, 下半身の力を利用する合理的な弾き方と考えられる。この弾き方と親指の第1関節を曲げる奏法あるいはエッジ奏法との関係も興味のあるテーマである。とくに, エッジ奏法との組み合わせにより, さらなる効果が期待できる。この新たな奏法についての考察も今後進めていきたい。

コツの有効性の検証のために, 従来方法とここで紹介した2つのコツを取り入れた方法をモーションキャプチャシステムで計測し, その比較を行っている。その詳細については, 別の機会に報告したい。

## 参考文献

- [古川 07] 古川 康一, 小林 郁夫: 身体スキル発想支援の非単調推論によるモデル化について, 人工知能学会基本問題研究会, 札幌, 2007.
- [古川 08] 古川康一他: スキルサイエンス入門, オーム社, 2008.
- [古川 09] 古川康一, 井上克巳, 小林郁夫, 諏訪正樹: 発想推論に基づく着眼点の発見, 人工知能学会 2009 年度全国大会, 2009.
- [Peirce58] Peirce, C.S. Collected papers of Charles Sanders Peirce. Vol.2, 1931--1958, Hartshorn et al. eds., Harvard University Press.