

ベイジアンネットワークを用いたチェロ演奏スキルのモデル化の試み

Approach to Skill Modeling in Cello Playing by Bayesian Networks

五十嵐創^{*1} 植野研^{*2} 森田想平^{*1} 尾崎知伸^{*1} 古川康一^{*1}
 Soh IGARASHI Ken UENO Souhei MORITA Tomonobu OZAKI Koichi FURUKAWA

^{*1}慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 ^{*2}慶應義塾大学 SFC 研究所
 Keio University Graduate School of Media and Governance Keio Research Institute at SFC

In this paper, we discuss the problem of modeling human skill in Bayesian networks. The purpose of skill modeling is to use the model to improve performance in such activities as playing instruments, dancing, and playing various kinds of sports. The difficulty of human skill analysis comes from its tacitness: even professional violinists or cellists do not know how they are playing. This paper provides a basic framework of the research by formalizing human skill modeling using probabilistic reasoning by Bayesian networks. We furthermore discuss how to assign conditional probability tables in each node of the proposed Bayesian networks by accumulating observational data by a motion capturing system as well as by a surface electromyogram.

1. はじめに

人間は継続的な訓練により、楽器演奏やスポーツにおいて特徴的に見られるように、極めて巧緻な驚くべき身体スキルを獲得することができる。しかし、未だにその獲得の科学的なメカニズムは明らかにされておらず、音楽や体育を始めとするあらゆる身体技能教育の場では、専ら先人の経験のみに基づく方法論が採用されている。このような現状を鑑みると、身体スキルの習熟度を客観的に、科学的に把握し、その改善方法を明示的に提供できるような枠組みを確立できれば、それは人類全体にとって極めて大きな貢献である。本論文ではチェロの演奏スキルを例にとり、ベイジアンネットワークを用いた確率推定問題として身体スキルの解明問題を定式化する試みを紹介する。

ヴァイオリンやチェロなどの弦楽器の演奏スキルのモデル化の試みは、これまで渋谷 [5]、植野 [6] らの研究が報告されているが、それらはいずれも部分的なモデル化に止まっている。本研究では、体全体の姿勢、動き、および筋の使い方に着目して、運動学、および運動力学的に妥当なモデル化を提案することを目指している。

身体スキルの明確化、モデル化を考える際に大きな問題となることの一つは、熟練者と初心者とのスキルレベルの差は明らかであるにも関わらず、見た目にはそれほど大きな違いが見受けられない場合が少なくないことである。つまり、熟練者も初心者も一見すると同じような動きをしているにも関わらず、発現されるスキルには歴然たる差があるということだ。このような現象の理由として、熟練者と初心者では、ほぼ同じような動きを実現するために使っている筋の組み合わせが違うからだということが考えられる。人間の身体を構成する筋骨格系は極めて大きな自由度を持ち、そのことがスキルの習熟を困難にするということが知られている。つまり、ある動きを実現するのにどのような筋の組み合わせを選択するかという、見た目には分からない部分にこそ、スキルの本質的な要素があると考えられる。このことは、スキルのもう一つの特徴である暗黙性の説明にもなっている。高度なスキルを持つ熟練者であっても、その発現方法を明確に説明することは難しい場合が多いが、それは使用する筋の組み合わせという、通常は意識されることのない

い要素が重要な役目を果たしているからだと考えられる。

本論文では、主としてチェロ演奏における右手の動きに焦点を当てて、以上のような問題点を考慮にいたした上でのスキルのモデル化について考察する。モデル化の要素としては、筋骨格系、筋力、重力、姿勢などを考える。

2. ベイジアンネットワークによる確率推定問題としてのスキルモデリングの定式化

ベイジアンネットワーク [2] は条件付独立性を利用した結合確率分布の有向非循環グラフ表現であり、確率的不確実性を含んだ事象および因果的事象の自然な表現に適しており、各種診断問題やユーザモデリングなどへの応用例が多数報告されている。我々はこのベイジアンネットワークを、楽器演奏などの身体スキルのモデル化手法として用いることを提案している [1]。先に述べたように、人間の筋骨格系は極めて大きな自由度を持ち、スキルの現れとしての動作は非決定的かつ確率的に変動する事象として観測されるという特徴がある。また、身体の各節は関節によって相互に連結していることから、身体動作には複雑な因果関係が存在する。以上のことから、ベイジアンネットワークを本問題に適用する意義があると思われる。本論文における基本的なアイデアは、筋の活動によってすべての人間の動作は実現されるという事実を逆に捉え、観察された動作から、逆に使用された筋の活動状態を推定するというものである。つまり、観察可能な“結果”である動きから、その“原因”である筋の活動状態を推定するというので、これにより、身体スキルのモデル化という問題を、ベイジアンネットワークが得意とする通常の診断問題、確率推定問題として定式化することができると考えられる。以下では弓の返し動作を例にとり、一つのスキルモデルとして想定されるネットワーク構造を示しつつ、具体的な方法論と、克服すべき問題点について論じる。

本研究が対象とする、スキルのモデルとしてのベイジアンネットワークとは、ある動作の原因としての筋の活動状態を推定するモデルだと言える。図 1 に、弓の返し動作を例とした場合のそのようなネットワークを示す。ネットワーク中のノードが表現するものは、関節の角速度、角加速度の状態、およびそれらの関節に作用する筋の活動状態である。そして一種のゴールとして、動作の成功と失敗（しなやかな返しが行えたか否か）を表すノードを用意する。このモデル中での筋

連絡先: 五十嵐創, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科,
 神奈川県藤沢市遠藤 5322 慶應義塾大学イオタ 301, 0466-47-5000 ext. 53231, 0466-47-5350, soh@sfc.keio.ac.jp

ノードから関節角ノードへのリンクは、返し動作に際し、各筋がそれぞれの関節角に作用したかという関係を表す。つまりこのモデルにより、先に述べたような、見た目はほぼ同じ動作であっても、筋群の使われ方が異なるためにスキルレベルの違いが生じるという現象が表現できる。

我々は、しなやかな弓の返しのためには、各関節が通常の主動筋よりも体幹方向に一つ以上前の筋群によって動かされる必要がある、という仮説を想定している。例えば手首の関節は、通常の人間の動作においては尺側手根伸筋、橈側手根伸筋、長掌筋などの、主として前腕部の筋群によって制御されている。つまりこれらの筋が手首関節にとっての通常の主動筋である。それに対し、しなやかな弓の返し動作においては、体幹方向に一つ以上前の筋群、すなわちより体幹に近い上腕二頭筋、上腕三頭筋などによって手首関節の返し動作が行われているというのが我々の仮説である。その理由としては、各関節の柔軟性の問題を挙げることができる。しなやかな弓の返し動作を行うためには、各関節を、細かなコントロールのできる、いわゆる柔らかい状態にしておくことが必要であると考えられるが、例えば手首関節の場合、通常の主動筋である前腕部の筋を使った場合、どうしても手首が固くなり、細かなコントロールができなくなってしまう。熟練者は恐らく、このような現象を回避し、手首の柔軟性を保つために、あえて通常とは異なる筋群の使い方をしていられる。計測データに基づいてこのようなベイジアンネットワークを構築し、実際に条件確率表を計算することにより、以上の仮説の検証を行うことができる。

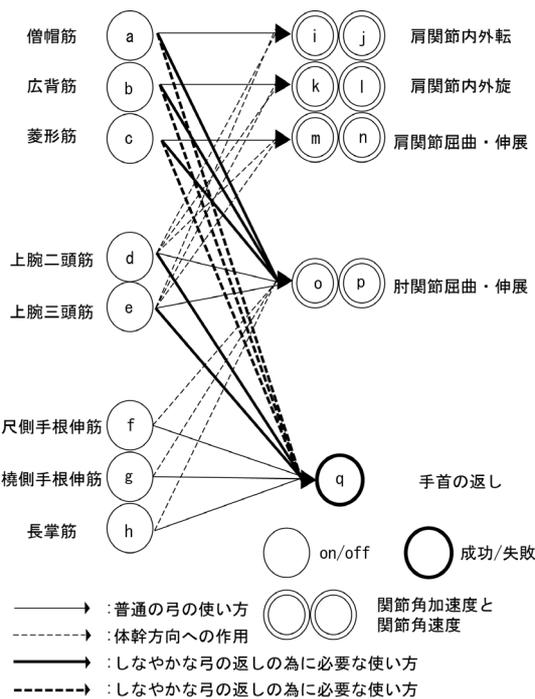


図 1: スキルモデルとしてのベイジアンネットワークの例

3. 計測データからの条件確率計算

計測データとしては、モーションキャプチャリングデータ、筋電図データなどがある。この中で、モーションキャプチャリングデータから身体の各関節の位置、角速度、角加速度などの情報が得られる。実際には時系列データに対して適当な前処理

を施して、セグメント化をしなければならない。このセグメント化の手法や妥当性が、モデル自体の精度に大きな影響を及ぼすと考えられるため、適切なセグメント化の手法を確立することは、重要な今後の課題の一つである。これらの観測データから、各状態間の遷移確率を推定できる。これらの遷移確率は、ベイジアンネットワークの関節ノードの条件確率を推定するのに利用できる。すなわち、関節ノードの各条件ごとに、その遷移の発生する頻度を集計すればよい。

厄介なのは、筋電図の扱いである。一般的に利用できるのは表面筋電図であるが、それは個別の筋の活動のみを計測できるわけではなく、周りの筋群の活動も加わった、誤差の多いデータしか得られない。この問題を解決する一つの方法は、センサー毎に、関連する筋群を含めてモデル化し、各筋の成分を、たとえば別のベイジアンネットワークにより推定する方法である。もし各筋を独立に動かしたときの動きが分かれば、このような手法も有効であろう。もう一つの問題は、筋電図が力の絶対値を測定出来ない点である。また、それに伴い、各測定値間の力の比も調べることが出来ない。できるのは測定値ごとの変化の観測のみである。本研究では、そのため、筋については、オン、オフの2値、あるいは中間的な力を含めた数段階の多値による離散化を考えることとする。

4. 今後の課題と展望

本論文では、ベイジアンネットワークによる確率推定問題として、身体スキルのモデル化を定式化する構想を紹介した。今後まず第一に行われるべきことは、現実の計測データから、実際に上に示したようなモデルを構築し、本構想の妥当性を検証することである。また将来的には、身体スキルという問題の性質上、時間の扱いが重要になると考えられる。その際はPRISM[4]やSLP[3]などの、より豊かな表現力を持つ確率論理プログラミングの導入も検討されるべきだろう。

参考文献

- [1] 五十嵐創, 植野研, 尾崎知伸, 森田想平, 古川康一, “ベイジアンネットワークによるチェロ演奏スキルモデリング,” 電子情報通信学会人工知能と知識処理研究会, 情報処理学会知能と複雑系研究会, 人工知能学会人工知能基礎論ならびに知識ベースシステム研究会「アクティブマインニング」合同研究会資料, pp.1-6, 2003.
- [2] F. Jensen, “Bayesian Networks and Decision Graphs,” Springer-Verlag, 2001.
- [3] S. Muggleton, “Stochastic logic programs,” In L. de Raedt, editor, Advances in Inductive Logic Programming, pp.254-264, IOS Press, 1996.
- [4] T. Sato, and Y. Kameya, “PRISM: a language for symbolic-statistical modeling,” Proc. IJCAI'97, pp.1330-1335, 1997.
- [5] 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, vol.30, no.6, pp.395-403, 1994.
- [6] 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回日本バイオメカニクス学会学術講演会予稿集, pp.113-114, 2000.