

# 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 プロジェクトの概要

## Summary of the Research Project on Skill Acquisition Support by Analogical Rule Abduction

古川康一<sup>\*1</sup> 原口誠<sup>\*2</sup> 藤波努<sup>\*3</sup> 金城敬太<sup>\*4</sup> 升田俊樹<sup>\*5</sup> 小林郁夫<sup>\*6</sup> 西山武繁<sup>\*7</sup> 尾崎知伸<sup>\*8</sup>  
Koichi Furukawa, Makoto Haraguchi, Tsutomu Fujinami, Keita Kinjo, Toshiki Masuda, Ikuo Kobayashi, Takeshige Nishiyama, Tomonobu Ozaki

<sup>1</sup>嘉悦大学大学院ビジネス創造研究科 <sup>2</sup>北海道大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Business Innovation, Kaetsu Univ. Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido Univ.

<sup>3</sup>北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科 <sup>4</sup>沖縄国際大学経済学部

School of Knowledge Science, Japan Advanced Inst. of Science and Technology Department of Economics, Okinawa International Univ.

<sup>5</sup>チェリスト <sup>6</sup>慶應義塾大学 SFC 研究所

Cellist SFC Research Institute, Keio University

<sup>7</sup>慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 <sup>8</sup>日本大学文理学部情報科学科

Graduate School of Media and Governance, Keio University College of Humanities and Sciences, Nihon University

In this paper, we give concept behind the research project on “Skill Acquisition Support by Analogical Rule Abduction” funded by Grant-in-Aid for Scientific Research. This project aims to build an analogical abduction engine for generating missing rules to achieve a given goal of performing a difficult task of, for example, cello playing. We emphasize the importance of analogical inference to provide the meaning of the derived hypothetical rules by abduction. Promising candidates of a base world are various physical models, a musculoskeletal system of the human body, daily performance and so on. We also investigate how metaphor expressions work as important media establishing firm communication channel between trainers and learners. Metaphor expressions are thought to be possible candidates of a base world in analogy.

### 1. はじめに

スキルサイエンスは、本論文の第 1 著者の提唱により、1990 年代中ごろから開始された。その目標は、人間がこなすことのできる高度な技の解明である。その過程で、さまざまな知見を得てきたが、本論文では、その中での演技(演奏)者の発揮する創造的な活動の支援に焦点を当てて発足した科研費プロジェクト「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」を素材にして、なぜスキル創造支援が必要なのか、どのようなアプローチがあり得るのかについて、論じる。

### 2. プロジェクトの研究目的

はじめに、本プロジェクトの研究目的を提示する。本プロジェクトでは、楽器の演奏、スポーツ、工芸などの身体を使う高度なスキルの獲得支援を目的として、発想推論(アブダクション)とアナロジーによる、コツの創造支援システムの構築を目指している。

アブダクションは、論理的推論過程での欠落部分を特定して、ゴールを導くのに必要とされる仮説を生成するのに使われる。アブダクションのスキル創造過程での利用は、コツの理解と直結している。コツは、課題固有性を有し、「課題 A をこなすためには工夫 B が必要である」のように表わされる。この時に、もし工夫 B を事実として登録し、推論規則「工夫 B を仮定すれば課題 A が達成できる」を仮定すれば、課題 A の達成のための推論は、直ちに成功する。一方、コツの性質上、なぜ工夫 B をすれば課題 A が達成できるのかが容易には分からないのが普通である。なぜならば、もしそのような推論規則が直ちに理解可能

であれば、そのようなコツはおそらく誰にでも想起できると思われ、コツと呼ぶのに値しないと考えられるからである。そのため、スキル創造にはアブダクションが有効で、とくに B を仮定して A の達成を試みる、という形式でアブダクションを実行することになる。そのため欠落部分は B から A に至る推論パス上に出現することになるので、ルールアブダクションが必要である。

ところで、アブダクションによる仮説生成は、推論図式上での欠落部分の特定を行うだけである。我々が開発してきた SOLAR[Nabeshima 03]上のメタレベル推論によるルールアブダクション[古川 09] [Inoue 09]では、得られる仮説ルールは命題間の因果関係を表すが、SOLAR の一階述語論理上の推論能力を利用して、存在限量された変数を含む仮説も生成できる。その変数は、オブジェクトレベルでは未知の命題を表す。すなわち、SOLAR によるメタレベルアブダクションでは、オブジェクトレベルでの未知の命題を含む因果関係を仮説として生成できる。この機能は画期的で、コツの有効性を示すのに必要とされる隠された秘訣の存在を特定することが可能である。

ところが、アブダクションで出来るのは、隠れ変数の存在を示すことだけであり、その意味を明らかにすることはできない。これまでの研究では、見出された変数の意味付けは、人によってなされていた。本プロジェクトでの狙いは、発見された変数の意味付けを、アナロジーを使って行う、というものである。すなわち、アナロジーによってその変数の意味付けを行うことにより、コツに隠された、課題を達成するための真の秘訣を自動的あるいは半自動的に見つけ出す手法の開発を試みている。

### 3. 研究テーマ

本研究は、つぎの 6 つの研究テーマに分けて実施する。  
(1) コツの収集、分類、および、論理構造の抽出、

連絡先: 古川康一, 嘉悦大学大学院ビジネス創造研究科,  
Tel. 042-466-3711, kfurukawa@kaetsu.ac.jp

- (2)対象動作からの生体力学的アナロジーパターンの抽出,
- (3) 日常動作からの動作学的アナロジーパターンの抽出,
- (4)アナロジーを組み込んだルールアブダクションエンジンの試作,
- (5)具体例への本アブダクションエンジンの適用とその評価,
- (6)得られたコツの有効性を示す練習方法の提案.

本プロジェクトが目指しているスキル創造支援システムの開発にとって、コツについての考察は不可欠である。それは、アナログアブダクションの対象が、コツそのものだからである。そのため、ボトムアップ的にコツを収集し、それらを分析するのが第1のテーマである。前章でも述べたようにコツは課題固有なので、コツの収集は弦楽器の演奏、野球のバッティングなどの個別の課題ごとに調べて、収集する必要があるが、それらの間の類似性が、実は本プロジェクトにとって重要である。その類似性は、アナロジーの1つの発生源になり得るからである。

コツの分析と並んで、我々は比喻やイメージなどの言語表現にも焦点を当てている。この点については、その意図を次章でより詳しく展開する。

第2, 第3のテーマは、アナロジーの発生源に関する調査研究である。生体力学的な考察は、動きに関する直観的な理解を促すのに特に有効である。また、力学モデルを成立させる条件を吟味することが、特定の課題をこなすための身体動作の制約条件を与えるので、それ自身がコツに直結する。我々が取り上げた、スピカートのような困難な課題では、力学モデルの考察は特に威力を発揮する。それによって、「薬指で弓を保持する」といった、今まで気が付かなかった着眼点の発見、理解につながることになる。日常動作からのアナロジーは、動作のコツを掴む上で効果があると思われる。スキルを要する動きの場合、その課題をこなすのに捉われすぎて、不自然な姿勢や動きになってしまう場合が多いが、日常動作は、それらの捉われから解放してくれるのに役立つかもしれない。

第4, 第5のテーマは、前章で述べた本プロジェクトの中心テーマである。アナログアブダクションシステムの試作、およびその応用がここでの狙いとなる。とくに、応用に関しては、上に述べたアナロジーの発生源の調査研究と関連させて、応用領域を拡大していくことが重要である。

第6のテーマは、コツの収集およびアナロジーの検討結果を基に、技の習得に必要な体の動かし方を学習者に伝達する方法として、より理解のしやすい、イメージなどを取り込んだ表現方法を開発していくことを目指す。

#### 4. スキル獲得での比喻表現の役割

スキル獲得過程で指導者が教示する場合、比喻表現の有効性が主張されることが多い。本プロジェクトにおいても、コツの収集、あるいはコツの有効性を示す練習方法の提案に関連して、比喻表現を重視している。比喻表現には、言語表現のほかに、オノマトペ、あるいは、身体動作による表現なども含まれる。ここでは、とくにオーケストラの演奏を例に取り、言葉による比喻表現、すなわちイメージを取り上げる。

作曲家は、音譜と表情記号を用いて、楽譜の形で自分の作り出した音楽を表し、その再現を演奏者に求める。オーケストラの場合、指揮者がスコアを解釈して、作曲者の意図をくみ取り、演奏を行う。たとえば、チャイコフスキーの交響曲第5番の第1楽章の冒頭で、低音部が歩行速度程度の間隔で四分音符が連続して現れるが、この音をどのように弾けばよいのかは、指揮者にその判断がまかされる。その時に、「ロシアの暗い冬に雪道を足を引きずって歩いていくイメージで演奏しよう」と言われると、

オーケストラのプレイヤーは全員その雰囲気を作り出すことができる。これはとても興味深い現象であるが、そのような描写が演奏者に腑に落ちると言えるであろう。作曲家が表現手段に使う楽譜は、いわばデジタルな情報であり、作曲家は必ずしも自分の意図を正確に表現できるわけではない。指揮者が楽譜を読み込んで作曲者の意図を推察し、それをオーケストラのメンバーに伝えることになるが、その時にも、音の長さ、強弱の変化などの情報のみでそれらを伝達することは困難である。その時に威力を発揮するのが、イメージによる比喻表現である。

同じ曲の第4楽章の冒頭も特徴的である。その音形は付点四分音符+16分音符2つであるが、それを多くの指揮者は、ラーラと歌うが、ロシアの指揮者はロシア語に濁音や摩擦音が多いので、ダーダダと歌うのでロシアの重い響きがする。これは、音楽と言語の関係を示していて、とても興味深い。チャイコフスキーの作曲の意図にこのことは含まれていないと思われるが、無意識のうちにそのような表現を要求しているのであろう。

音楽演奏では、連続的な音の変化を作り出していくが、そのため、水の流れのような連続的な現象は、喩として機能することが多い。たとえば、スメタナの「モルダウ」の冒頭では、第1バイオリンが奏でるメロディーが朗々と流れる川の表面の流れを表現し、チェロは川の中のウネリを表現していると考えられる。モルダウ自身、ブラハを貫流する川の名称なので、このイメージは容易に想像できる。この時に、演奏のヒントとして、「風呂のお湯をかきまわす時にお湯の抵抗を手に感じるように、弦と弓との間に抵抗を感じながら演奏する」と指示されると、なるほど、と納得がいくのである。このような指示が、イメージを媒介とした意図の伝達手段と言えるであろう。また、イメージを媒介とすることによって、意図が容易に共有できることも、オーケストラにとっては重要である。

音楽演奏における指導者が発するイメージは驚くほど豊かである。そのようなイメージを如何にして蓄積してきたかは、調査に値する。その解明自身が、アナログアブダクションにおける重要なテーマである。我々は、省エネ奏法の追求過程[古川12]において、インタラクティブ・インタビューの手法[忽滑谷11]を用いて、職業演奏家である第5著者が持っているイメージの収集を行った。今後は、同じ手法を用いて、どのようにしてそのようなイメージを獲得してきたかについて、調査を進めていきたい。その解明は、アナログアブダクションの枠組みの中で、イメージ自身を自動的あるいは半自動的に構築するのに、役立つであろう。

#### 5. これまでの研究活動と今後の予定

##### 5.1 どのような研究活動を実施したか

研究を実施するために、スキルグループ、アブダクショングループに分けてミーティングを月一度の割合で行った。

(1)スキルグループで取り上げたテーマは、以下の通りである。

1. 音楽家のためのアレクサンダー・テクニーク入門[アルカンタラ11]
2. 仙骨姿勢講座[吉田06]
3. わざ言語[生田11]
4. 多関節筋

同時に、全体計画の(1)に関連して、身体知研究者とプロのチェリストとの間で、主として運弓動作における体の使い方に関して、論争・協調の研究活動を継続して実施した。その手法として、メタ認知をベースにしたインタラクティブインタビュー法を採用し、数回にわたる実験を実施した。その成果は、[1][2][3]にま

とめた。また、同じく全体計画の(1)に関連して、わざと言語の関係の教えの場において考察した結果を[4][7]にまとめた。

そのほか、和太鼓演奏、ダンスやジェスチャー、サンバ演奏、空手などの動きの分析、意味あるいは間の考察などを行い、その成果を[5][6][8][9][10]に発表した。

(2) アブダクショングループでは、アブダクションエンジン SOLAR にアナロジーを取り入れる方法を検討した。SOLAR にアナロジーを組み込む方法として、ルールアブダクションを実現するためのメタレベルオブジェクトレベル推論を結びつける因果関係述語(caused, connected)を拡張して実装する着想を得た。因果関係述語にアナロジー公理を付け加え、そこでアナロジーのベース、ターゲット、その間を結びつける類比を表現し、アナロジーを組み込んだアブダクションエンジンの構築に成功した。実際の応用問題として、スピッカートを習得するために有用な強制振動系とのアナロジーをこれらの述語を用いて表現し、アナロジーを使って欠落したルールを補うルールアブダクションに成功した。同じ枠組みを用いて、類比自身の仮説を生成し、あるいは、アナロジー推論を含む推論図式の中で新たな述語を提案する述語発見にも成功した。これらにより、従来のアブダクションによるルール仮説の導入に対して、その意味をアナロジーによって解釈し、強化するような推論方式を実現することができた。本研究成果は、[11]で発表予定である。

## 5.2 今後の研究計画

研究テーマ(1)「コツの収集、分類、および、論理構造の抽出」については、コツを分類する際の分類軸を決める。さらに、わざの習得における「イメージ」の果たす役割に焦点を当てて議論を深める。

研究テーマ(2)「対象動作からの生体力学的アナロジーパターンの抽出」については、対象動作を「高速移弦と弓の返しの同時実行」、「装飾音符」として、その検討を進める。

研究テーマ(3)「日常動作からの動作学的アナロジーパターンの抽出」については、多関節筋の作用を組み込んだモーションプランニングシステムを設計・実装し、規範動作と類似した「しなやかな動作」を合成可能なことを示す。同時に、サンバリズムの奏法に関して、トポロジカルな視点での記号化によって奏法間の類似性を測る手法を開発する。

研究テーマ(4)「アナロジーを組み込んだルールアブダクションエンジンの試作」に関しては、アナロジーの公理系を整備するとともに、仮説の選好のより肌理の細かい評価基準の導入と実験を行う。非単調論理による仮説の選好制御の可能性も探る。

研究テーマ(5)「具体例への本アブダクションエンジンの適用とその評価」に関しては、研究テーマ(4)の試作の完了を待って、「高速移弦と弓の返しの同時実行」、「装飾音符」の両課題に対して予備実験を行う。

研究テーマ(6)「得られたコツの有効性を示す練習方法の提案」に関しては、アナロジーから得られたヒントを参考に、動きを喚起する「イメージ」を構築する。

また、並行して、アブダクションによる練習計画の自動生成アルゴリズムの検討を行う。

## 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。

## 研究成果一覧

[1] 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)

[2] 古川 康一, 升田 俊樹, 西山 武繁, 忽滑谷 春桂: チェロの省エネ奏法に関する論争とコラボレーション, 嘉悦大学研究論集, 55 巻 2 号(2013)

[3] 古川 康一, 升田 俊樹: コラボレーションによるスキル開発と説得性の追及, 信学技報, Vol. 112, No. 479, pp.115-120(2013)

[4] 升田 俊樹, 古川 康一: 音楽の練習指導とコラボレーション, 人工知能学会身体知研究会, 第 14 回(2012)

[5] 藤波 努, 横田 将樹, 辻野 正訓: モーションキャプチャ装置を用いた和太鼓演奏技法の分析, 人工知能学会 2012 年度全国大会, オーガナイズドセッション, OS-6 身体知の表現と獲得, 101-OS-6-2(2012)

[6] 藤波 努: ジェスチャーやダンスの意味, 人工知能学会身体知研究会, 第 13 回, SKL-13-01, pp.1-4(2012)

[7] 藤田 尚, 藤波 努: ピアノ演奏指導における諸問題, 人工知能学会身体知研究会, 第 14 回(2012)

[8] 藤波 努: サンバ演奏の分析, 人工知能学会身体知研究会, 第 15 回(2013)

[9] 西山 武繁, 諏訪 正樹: 空手の組手競技における駆け引きの身体性, 人工知能学会 2012 年度全国大会(2012)

[10] 西山 武繁, 諏訪 正樹: スポーツにおける身体スキル探究のための姿勢表現, 2012 年度認知科学学会第 29 回大会(2012)

[11] 金城 敬太, 尾崎 知伸, 小林 郁夫, 原口 誠, 藤波 努, 古川 康一, 升田 俊樹: アナロジーを組み込んだルール発想推論によるスキル獲得支援, 人工知能学会 2012 年度全国大会, オーガナイズドセッション, OS-02 身体知の表現と獲得, 1H3-OS-02a-6 (2013)

## 参考文献

[Nabeshima 03] Nabeshima, H., Iwanuma, K., Inoue, K.: SOLAR: A Consequence Finding System for Advanced Reasoning, Proc. TABLEAUX 2003, LNCS, Springer, Vol.2796, pp.257-263(2003)

[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, 第 23 回人工知能学会全国大会, 1K1-OS8-5(2009)

[Inoue 09] Inoue, K., Furukawa, K., Kobayashi, I., Nabeshima, H.: Discovering Rules by Meta-level Abduction, Proc. 19th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2009), Leuven, Belgium(2009)

[古川 12] 古川 康一, 升田 俊樹, 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)

[忽滑谷 11] 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)

[アルカンタラ 11] ペドロ・デ・アルカンタラ著, 小野ひとみ監訳, 今田匡彦訳: 音楽家のためのアレクサンダー・テクニーク入門, 春秋社, (2011)

[吉田 06] 吉田 始史著, 高松 和夫監修: 仙骨姿勢講座, BAB ジャパン, (2006)

[生田 11] 生田 久美子 編著, 北村 勝朗 編著, わざ言語 —— 感覚の共有を通しての「学び」へ, 慶應義塾大学出版会, (2011)