

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：32801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500183

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文)Supporting Skill Development by Rule Abduction and Analogy

研究代表者

古川 康一(FURUKAWA, Koichi)

嘉悦大学・ビジネス創造学部・教授

研究者番号：10245615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、アブダクションによって発見された推論パス上の欠落部分の意味を同定するために、アナロジーを用いる、というものである。その実現の主要な点は、ルールアブダクションを行うための推論パスのメタレベル表現によるアトム化の方法と、アナロジーを述語論理の推論に組み込むメタプログラミングの方法との組み合わせであり、後者の機能実現のため、アナロジーによる推論を表すメタ述語を導入した。

本システムを用いて、チェロ演奏での、スピッカート、高速移弦と弓の返しなどのいくつかの困難な課題についてのアナロジーによる奏法の説明を生成することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we aimed at developing an analogical abduction scheme as an extension to our previous work on meta level abductive reasoning for rule abduction. Previously, we gave a set of axioms for stating the object level causalities in terms of first-order-logic (FOL) clauses, which represent direct and indirect causalities with transitive rules. Here we have extended our formalism of the meta level abductive reasoning by adding rules to conduct analogical inference, and have succeeded in obtaining hypotheses of analogical explanations.

We have applied our analogical abduction method to problems of explaining difficult cello playing techniques such as spiccato and rapid cross strings of the bow movement. Our method has constructed persuasive analogical explanations about how to play them. We also applied analogical abduction to show the effectiveness of a metaphorical expression and successfully created an analogical explanation of how it works.

研究分野：総合領域、情報学、知能情報学、人工知能、述語論理

 キーワード：人工知能 知識情報処理 スキルサイエンス アブダクション アナロジー 述語論理 コツの説明
 比喩表現

1. 研究開始当初の背景

(1) ロボット工学の分野では、ATR の川入等のグループで、剣玉やエアホッケーを行うロボットを開発している。スポーツ科学の分野では、R. A. Schmidt のスキーマ理論と呼ばれる脳神経系のモデル化と、それに基づくトレーニング法の提案の研究などが知られている。それらの研究は運動制御のための脳神経系のモデル化を提案しているが、課題に応じたコツについての考察はなされていない。

(2) コツに関連した着眼点の言語化に関しては、諏訪らによるメタ認知の手法がよく知られている。そこでは、ここでの手法と同様、言語化を介してスキル獲得を推進するアプローチを取っている。諏訪らはスキル獲得での認知行為に焦点を当てて、スキル獲得時の意識状態の記述から適切な着眼点の抽出を目指しているが、本研究ではより論理的な側面に着目して、アブダクションとアナロジーから、妥当な説明を創出することを目指している。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、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す。

(2) アブダクションによるスキル獲得支援では、これまではコツの構成要素となる身体の巧妙な使い方の候補集合をあらかじめ与えておいて、その中から妥当な仮説を選択していた。一方、本研究では、課題達成のコツの有用性を説明する過程での欠落部分をアブダクションにより特定し、アナロジーによってその部分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る。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、つぎの 6 つの研究テーマに分けて実施する。コツの収集、分類、および、論理構造の抽出、対象動作からの生体力学的アナロジーパターンの抽出、日常動作か

らの動作学的アナロジーパターンの抽出、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、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、得られたコツの有効性を示す練習方法の提案。

(2) 研究の進め方としては、はじめに、本研究の妥当性を検証するために、いくつかの既知の例（スピッカート奏法の例など）を用いて、厳密な形式化を図り、実際に既存のアブダクションエンジンにより発想推論を行い、アナロジーのモデル化を行う。その過程を通じて、研究課題全体の問題点を把握して、研究方向の修正・発展を目指す。

4. 研究成果

(1) 我々の従来研究で得られた、コツを説明するためのルールを発送推論によって求めるルールアブダクションエンジンにアナロジーを組み込んだシステムを構築した。本システムは、高度な知的機能を有するにも関わらず、そのシステムの仕組みは大変簡潔で、しかも従来から求められていた、生成された仮説の意味付けを、アナロジーを活用して行うことができる画期的なものである。本研究成果は、帰納論理プログラミングにおいて、述語発見をもたらす新たなアプローチの引き金ともなった。また、工学的アプローチによる、スキルの解明、コツの説明という、新たなドメインの展開をもたらした。その機能は、コツの説明に留まらず、比喩表現の有効性の理由付けにも活用された。

(2) チェロのスピッカート奏法の習得実験を行い、短期間で、大変困難であると言われてきた技術の習得への新たな道を切り開いた。その方法は、強制振動という力学モデルとのアナロジーを使う方法で、その例であるブランコ漕ぎおよび、鞠突き考察から、振動の減衰を防ぐための 2 つの方策、すなわち、外部からのエネルギー注入のタイミングと、その時のショックの吸収を考慮した動作により、スピッカートが可能であることを示した。具体的には、手首を回すことによってエネルギー注入のタイミングを取り、薬指による弓の保持によってショックの吸収を図ることによ

り、短期間にスピカートが習得可能であることを示した。このアプローチは、プロのチェリストにも納得のいくものであるとの評価を得た。本例題は、アナログカルアブダクションによるコツの説明の例として用いられた。楽器演奏スキルの習得は、一般には困難な課題であることが知られているが、我々のこのようなアプローチは、練習を加速するのに多大な貢献をすることを示している。

(3) 我々は、合奏指導における比喩表現がアンサンブルの向上に著しく貢献することに注目して、その効果を調べてきた。そのために、比喩表現の収集から始め、それが技術的な指導を目指しているものと、音楽表現の向上を目指しているものの二通りがあることを明らかにした。比喩表現が効果がある理由として、グループでの指導の際に、全員に同じイメージを抱かせることが可能であること、楽譜に書いてある以上の情報の伝達が可能であること、の2つの利点があることが示された。さらに、比喩表現の解釈として、アナロジーの枠組みが使えることを示し、アナログカルアブダクションの例として、その背景の説明が自動的に抽出できることを示した。

(4) リズム運動の力学的位相構造の研究では、サンバを演奏する動作をモーションキャプチャして得たデータを分析し、身体各部位が協調しあって動く度合いを調べた。分析により、熟練者は演奏に必要な部位だけ動かして関係させていることがわかった。つまり演奏に関係しない部位は不活性状態となっている。フラクタル次元を分析すると、演奏に関与する部位の運動が他より低い次元を示していた。運動がよく制御されていると次元が低くなると予想される。この仮説を別の事例で検証すべく、パーキンソン病の姿勢バランスを測定し分析している。仮説を支持する成果が得られ始めており、開発手法が病気診断に応用できる可能性を見出した。

(5) 身体動作のスキルの研究では、(対人競技における身体運動のスキル獲得過程として、空手の組手競技に着目し、一人の競技者が身体スキルを獲得する過程を長期間に渡って観

察するフィールドワークを実施した。観察期間中に撮影した練習試合の映像を"技を仕掛ける間合い"という観点で分析し、競技者の試合中の振る舞いの変遷を記述するための変数を明らかにした。身体運動のスキル獲得過程が記述可能になることで、スキル獲得を促したのはどのような指導であったかを分析することが可能となる。上記のフィールドワークにおいても、パフォーマンスが好転した時期に観察対象の競技者に行われていた指導内容が確認されており、スキル獲得支援研究の一助となることが期待される。

(6) スキル創造におけるコラボレーションの研究では、チェロの奏法のスキル開発を例に、スキルサイエンス研究者とプロの演奏家のコラボレーションによって、新しい奏法の提案とその説得性の吟味を行ってきた。奏法開発の問題は、開発されたスキルの普遍性、客観性である。それらの問題を解決する鍵は、スキルの説得性であると考えられる。開発されたスキルが他者にとって十分納得の行くものであれば、その正当性は認められるであろう。これらの問題を解決するために、コラボレーションが果たす役割を追求した。スキルサイエンス研究者は理論的な帰結として新しい奏法の開発を提案し、プロの演奏家は提案された新たな奏法の問題点を経験から吟味し、問題点を指摘する、という過程を繰り返した。その過程で、問題点を解消して、より良い奏法を開発することが可能となった。このようなコラボレーションは、芸術分野に工学を応用する際になくてはならないアプローチであり、領域を超えた研究・創造活動の有効な例を示した。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(計5件)

金城敬太, 尾崎知伸, 原口誠, 古川康一, 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, 人工知能学会論文誌, 査読有, 29巻1号SP3-C, 2014, pp. 188-193.

古川康一, 金城敬太, 尾崎知伸, 原口誠, On Skill Acquisition Support by Analogical Rule Abduction, 査読有,

Springer CCIS 421, 2014, pp.1-13.
大久保好章, 松平将宜, 原口、Detecting
Maximum k-Plex with Iterative Proper
l-Plex Search、Proceedings of the 17th
International Conference on Discovery
Science、DS'14、査読有、Springer LNAI
8777, 2014, pp. 240 - 251.

古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, 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、査読有、53 巻 2
号, 2013, pp.165-180.

日高昇平、藤波努、Topological Similarity
of Motor Coordination in Rhythmic
Movements、Proceedings of The 35th
Annual Meeting of Cognitive Science
Society、査読有、2013, pp. 2548-2553.

【学会発表】(計 11 件)

古川康一、原口誠、升田俊樹、金城敬太、
尾崎知伸、アナログカルアブダクション
における仮説の選択について、人工知能
学会 2015 年度全国大会、査読有、2015。
日高昇平, Kashyap, N., Buated, W., 藤
波努, 次元クラスタリング: 身体情報の
フラクタル次元に基づく認知過程の分析,
日本認知科学会第 31 回大会, 査読有、
2014.

古川康一, 升田俊樹, 西山武繁、合奏指
導における比喻表現の役割、人工知能学
会 2014 年度全国大会、査読有、2014
日高昇平, KASHYAP Neeraj, 藤波 努,
点次元推定法によるリズム運動の分析,
人工知能学会 2014 年度全国大会、査読有、
2014.

西山武繁、諏訪正樹、空手における組手
の間の変遷、人工知能学会 2014 年度全国
大会、査読有、2014.

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、査読
なし、第 13 回、2013.

古川康一, 原口誠ほか 6 名、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、人工知能
学会 2013 年度全国大会、2013.

日高昇平, 藤波努, サンバ運動の力学的位

相構造による不変的表現, 人工知能学会
2013 年度全国大会, 査読有、2013.

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、査読有、2012.
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、査読有、2012.

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、査読有、2012.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

古川 康一 (FURUKAWA, Koichi)
嘉悦大学・ビジネス創造学部・教授
研究者番号: 10245615

(2)研究分担者

金城 敬太 (KINJO, Keita)
沖縄国際大学・経済学部経済学科・講師
研究者番号: 20611750

原口 誠 (HARAGUCHI, Makoto)
北海道大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 40128450

藤波 努 (FUJINAMI, Tsutomu)
北陸先端科学技術大学院大学・ライフデザイ
ン研究センター・教授
研究者番号: 70303344

(3)連携研究者

井上 克巳 (INOUE, Katsumi)
国立情報学研究所・教授
研究者番号: 10252321

諏訪 正樹 (SUWA, Masaki)
慶應義塾大学・環境情報学部・教授
研究者番号: 50329661

(4)研究協力者

升田 俊樹 (MASUDA, Toshiki)
チェリスト

小林 郁夫 (KOBAYASHI, Ikuo)
尾崎 知伸 (OZAKI, Tomonobu)
日本大学文理学部情報科学科・准教授
研究者番号: 40365458

西山 武繁 (NISHIYAMA, Takeshige)
慶応大学 SFC 研究所上席研究所員 (訪問)