

修士論文

指導現場で生じるインタラクションに基づいた  
大規模言語モデルによる熟練者の知識構造化支援  
ー 社交ダンスを例として ー

石井 遼太郎

主指導教員 西村 拓一

北陸先端科学技術大学院大学  
先端科学技術研究科  
(知識科学)

令和 7 年 3 月

## Abstract

技能継承は高齢化社会の重要課題である。従来、技能継承は主に教科書やマニュアルを通じて行われてきた。しかし、これらの文書だけでは熟練技能者が長年の経験から獲得した暗黙知や微妙なコツを十分に伝えきれないという問題がある。この問題を解決するために熟練者の暗黙知を様々な角度から抽出可能な知識構造化という手法がある。本研究では、大規模言語モデル (LLM) を活用し、チャット履歴を自動解析して新たな技能要素を抽出し、知識構造化を支援するシステムを提案する。本システムは既存の動作モデルに対し、どの時点で手順やコツを追加・修正すべきかを提案する。これにより、熟練者の経験に基づく動作の技能を効率的に表出化し、学習者の技能習得を促進することが期待される。本研究では社交ダンスを例として大規模言語モデルの可能性を検証する。

# 目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	関連研究	6
2.1	知識創造と抽出に関する研究 . . . . .	6
2.2	指導現場で表出する知識 . . . . .	7
2.3	知識抽出における LLM の活用 . . . . .	7
第 3 章	提案手法	9
第 4 章	実験	11
第 5 章	結果	12
第 6 章	考察	13
第 7 章	まとめ	14
付録 A	資料	17

# 図目次

1.1	画像の説明キャプション . . . . .	4
-----	-----------------------	---

# 表目次

1.1	表のキャプション . . . . .	5
-----	--------------------	---

# 第1章 はじめに

## - 技能伝承の必要性 -

熟練技能者の高齢化や後継者不足が深刻化する中、長年培われてきた技能の存続が危ぶまれている。労働政策研究・研修機構の調査によれば、2020年の時点で調査対象の企業のうち技能継承を重要だと考えている企業が95%に達している。しかしながら、技能者の人材育成や能力開発の取り組みがうまくいっていると認識している企業は約55%にとどまっている[1]。このような状況から、技能伝承を実現するための取り組みが求められている。ここで技能について考えてみると、ある目的を達成するためには、それをどのように行うかを理解していること（わかる）と、実際に行えること（できる）の両方が必要となる。このことから本研究では、技能を、理解と、それを実行に移すための実践的能力から構成される実践的な能力として定義する。なお、実践的能力には身体的な動作制御から認知的な処理能力まで含まれる。このような技能を次世代に伝えていく営みが技能伝承である。

## - 技能伝承の全体像 -

技能伝承を実現するためには、熟練技能者の持つ理解を明確化し、それを体系的に整理した上で、育成対象の人材が実践を通じて習得し、さらにその経験を通じて新たな気づきを得るという循環的なプロセスが重要である。本研究では、このような技能の理解に関わる部分を「知識」と表現する。これには明示的に説明可能な作業手順から、経験に基づく暗黙的な判断基準まで含まれる。

## - 自律的な知識抽出の必要性 -

この循環的なプロセスの中でも、熟練技能者の持つ知識を明確化し体系的に整理する段階は、その後の技能伝承活動の基盤となる重要な要素である。この知識抽出の方法について、Tatianaらは研究者と熟練技能者の関係性に基づいて、研究者主導型、協働型、熟練技能者主導型の3つに分類している[2]。このうち熟練技能者主導型（Expert-leading）は、

技能伝承を必要とする現場に比べて研究者の数が限られている現状を考慮すると、持続可能性の観点で優位性を持つと考えられる。

- 知識発現 -

「Expert-leading」に分類される知識抽出手法として、西村らが提案した”知識発現”[3]がある。この手法ではまず、既存のマニュアルから手順を構造的に記述したプロセス知識を作成する。次に、作成したプロセス知識をベースとして現場の従業員が具体的な事例の紐付けと議論を行うことで、プロセス知識を改良しながら知識を抽出していく。この手法は従来の Expert-leading と同様に現場が自律的に知識を抽出できるため持続可能性が高く、また構造化された知識をベースとするため体系的な知識抽出が可能である。一方で以下のような課題も明らかになっている。

1. 未経験者の理解に関する課題

構造化されたプロセス知識の背景知識を持たない場合、その内容を読み解くことが困難である可能性がアンケート結果から示唆されている。

2. 記述できる知識の限界に関する課題

ワークショップ参加者間の議論のみで知識を抽出するため、参加者が意識的に想起できる知識の総量以上のものは記述できず、熟練技能者が無意識のうちに実践している暗黙的な知識を十分に引き出せない可能性がアンケート結果から示唆されている。

3. 記述漏れに関する課題

系統立てた記述により自然言語の自由記述に比べて記述漏れに気づきやすいものの、完全な解決には至っていない。

4. ワークショップ形式に起因する課題

ワークショップという限られた時間と場所での議論では、実際の業務で直面する様々な状況を網羅的に想起することが難しく、また参加者の時間的負担も大きいいため、継続的な知識抽出活動の実施が困難である。

5. 情報システム化に向けた課題

知識抽出活動を効率的に実施し継続的に改善していくためには情報システムによる

支援が必要であるが、事例とプロセス知識との関連性を直感的に表現できる UI の実現や、より効果的な知識想起を促す知識モデルの設計など、実用化に向けた技術的な課題が残されている。

このように、知識発現には持続可能な知識抽出の実現に向けて解決すべき複数の課題が存在している。

#### - 提案手法の全体像 -

本研究の目的は熟練技能者が持つ知識を抽出し共有可能な形に構造化することである。本研究では、西村らの研究 [3] で使用されたプロセス知識をベースにしながら、技能伝承の現場における指導者と学習者の対話ログ、多量なオープンデータから構成された大規模言語モデル (LLM) を組み合わせることで、より実践的な知識の抽出手法を提案する。具体的には技能の指導現場に着目する。まず、技能継承の対象となる動作のベースとなる知識モデル (動作知識) を作成しておく。次に、指導現場における、熟練技能者、すなわち指導者と学習者のやりとりを収集する。次に指導現場で収集した情報を LLM が解析し既存の動作知識の改良点を生成し提案する。そして LLM による改良提案を受けた指導者が最終的に動作知識を改良する。

#### - 先行研究と提案手法の対応 -

これらの要素の組み合わせにより、先行研究で指摘された未経験者の理解に関する課題や知識記述の限界、記述漏れのリスクなどに対して、複合的なアプローチが可能となる。例えば、指導現場での対話収集により未経験者の視点を取り入れることができ、また LLM の活用により収集した対話から新たな知見を抽出することで、知識記述の幅を広げることができる。

#### - 具体的な検証内容 -

本研究では、社交ダンスの指導現場を対象として提案手法の有効性を検証した。具体的には、ダンススタジオの指導者 2 名と学習者 13 名の協力のもと、3 週間にわたってオンライン指導システムを用いた指導内容の収集を行った。また、収集したデータを LLM に解析させ、生成された改良点の提案について指導者から評価を得た。さらに、これらの結果を踏まえて指導者がプロセス知識を改良する過程についても検証を行った。



- 論文の構成 -

本稿は以下のように構成される。第 2 章では関連研究について述べ、本研究の立場を明らかにする。第 3 章では提案手法について、その理論的背景と具体的な実現方法を詳述する。第 4 章では実験システムの構築とそのための予備検証について説明する。第 5 章ではダンススタジオでの実証実験とその結果について述べる。第 6 章では考察を行い、最後に第 7 章でまとめと今後の展望を述べる。

図 1.1 が示すように...

表 1.1 が示すように...



図 1.1: 画像の説明キャプション

	a	b
1	0.25	0.33
2	0.75	0.66

表 1.1: 表のキャプション

## 第 2 章 関連研究

### 2.1 知識創造と抽出に関する研究

- 対象とする「知識」のスコーピング -

ポランニーは「我々は語れる以上のことを知っている (We know more than we can tell)」と述べ、本質的に言語化できない知識の存在を指摘した [4]。このような言語化できない知識は、技能伝承において特に重要な課題となる。

野中・竹内が提唱した SECI モデルでは、知識を暗黙知と形式知という 2 つの形態で捉え、それらの相互変換による知識創造のプロセスを説明している [5]。このモデルでは、暗黙知から形式知への変換（表出化）、形式知同士の組み合わせ（連結化）、形式知の実践を通じた暗黙知化（内面化）、そして経験の共有による暗黙知の伝達（共同化）という 4 つのフェーズを通じて知識が発展していくとされる。

本研究では、技能伝承を持続的に実現可能なものとするため、まず形式知化が可能な領域において知識抽出の手法を確立することを目指す。本質的に言語化できない知識は、定量的なデータ計測による分析や、直接的な経験の共有による伝達が必要となるが、形式知化が可能な知識は、言語や図表による表現を通じて時間や場所の制約を超えた伝達が可能となる。具体的には、熟練技能者の持つ暗黙知を形式知として明示化し（表出化）、それを体系的に整理する（連結化）プロセスに着目する。これらのプロセスは、その後の技能習得や新たな知識創造の土台となる。

- 抽出手法の分類 -

Tatiana らは、SECI モデルのような知識の循環的プロセスにおける「知識を明確化し、体系的に整理する」段階に着目し、知識抽出手法を研究者と熟練技能者の関係性に基づいて 3 つに分類している [2]。「Analyst-leading」は、研究者が主体となって熟練技能者から知識を引き出す手法である。具体的には、研究者が熟練技能者にインタビューやアン

ケートを行うことで知識を抽出する。この手法は熟練技能者の明示的な知識を効率よく引き出せる一方で、抽出できる知識が表層的であったり、効果的なインタビューのためには長年の訓練と経験が必要であるといった課題がある。「Expert-Analyst Collaborating」は、研究者と熟練技能者が協働して知識を抽出する手法である。具体的には、ロールプレイングゲームやバーバルプロトコルなどを通じて両者が体験を共有しながら知識を抽出する。この手法は熟練技能者が持つ本質的な知識を抽出できる一方で、体験共有の場の準備や、研究者が現場の専門知識を理解する必要があるなど、多大な労力を必要とする。「Expert-leading」は、熟練技能者が主体となって自ら知識を抽出する手法である。具体的には、ストーリーテリングやブレインストーミングなどを通じて知識を抽出する。この手法は研究者の介入コストが低い一方で、抽出された知識が体系的にまとまりづらく、また熟練技能者自身が知識の言語化に苦勞するという課題がある。

#### - 抽出の場の観点での分類 -

また、知識を抽出するための場という観点に着目すると、ワークショップ形式の手法がある [3, 6–8]。この手法では基本的に、まず、普段の業務を動画や音声等で記録する。次に定期的に行われるワークショップの中で、普段から記録していた動画や音声を基に当時の状況を想起し、知識を体系化する必要がある。しかし、現場の意思決定プロセスは非常に複雑であり、経験に基づいたパターン認識や直感的判断を用いて迅速に状況を評価し行動を選択している [9]。こうした当時の複雑な意思決定を想起させるための十分な情報が動画や音声に含まれているとは限らない。そのため、ワークショップ形式には動画や音声に記録されない情報を忘却してしまった場合、当時の状況を想起することが難しくなるといった課題がある。こうした課題に対し、本研究では指導者と学習者、そして LLM が常に知識モデルを共有し、さらにそれらが相互作用可能なシステムを構築するため、その場で知識発現が可能な点で新規性がある。

## 2.2 指導現場で表出する知識

## 2.3 知識抽出における LLM の活用

また近年、LLM を創造性支援ツール (CST) として活用するための研究が数多く行われている。例えば、アイディエーション支援に使用している例がある [10]。こうした研究ではマルチエージェントの LLM に多様なアイデアを提案させ、人の発散的思考を助ける狙いがある。また、LLM に反論文を生成させることで、議論における批判的思考を補おう

とする研究もある [11]. これらの研究から分かるように, LLM を適切に使用することで発散/収束思考の支援や認知バイアスの軽減などの効果が期待できる. 一方で LLM が生成するコンテンツの事実性向上のために外部知識ベースを活用する研究がある [12, 13]. より発展したものとして, LLM を使用して知識ベースそのものを構築する取り組みもある [14] が, 現在の LLM の性能では知識ベースをゼロから生成することはできていない. また, 多くの研究が汎用的な知識ベースの構築を目指している. こうした研究に対し, 本研究は人間と LLM が補い合って知識ベースを構築する点, さらに熟練技能者特有の知識ベースを構築するという点で新規性がある.

[15]

## 第3章 提案手法

### - 提案手法の全体像 -

本研究の目的は熟練技能者が持つ知識を抽出し共有可能な形に構造化することである。本研究では、西村らの研究 [3] で使用されたプロセス知識をベースにしながら、技能伝承の現場における指導者と学習者の対話ログ、多量なオープンデータから構成された大規模言語モデル (LLM) を組み合わせることで、より実践的な知識の抽出手法を提案する。具体的には技能の指導現場に着目する。まず、技能継承の対象となる動作のベースとなる知識モデル (動作知識) を作成しておく。次に、指導現場における、熟練技能者、すなわち指導者と学習者のやりとりを収集する。次に指導現場で収集した情報を LLM が解析し既存の動作知識の改良点を生成し提案する。そして LLM による改良提案を受けた指導者が最終的に動作知識を改良する。

### - 先行研究と提案手法の対応 -

これらの要素を組み合わせることで、先行研究の課題に対して複合的なアプローチが可能となる。まず、指導現場での対話収集により、未経験者の理解に関する課題に直接的にアプローチできる。具体的には、学習者からの質問や意見を通じて未経験者の視点をプロセス知識に反映できる。また、学習者との対話の中で生まれる予期せぬ質問が、熟練技能者が意識していなかった暗黙的な知識の抽出を促すきっかけとなり、これは知識記述の限界や記述漏れの課題の解決にもつながる。さらに、LLM の活用により、収集した対話から新たな知見を抽出し、それを基に改良案を提示することで、熟練技能者の新たな事例想起を促すことができる。これは記述漏れの抑制や知識記述の幅の拡大にも寄与する。加えて、指導現場という日常的な文脈の中で継続的に対話を収集することで、ワークショップ形式特有の時間的制約や事例想起の偏りといった課題も自然に解消される。このように、提案手法は先行研究の個々の課題に対して、複数の要素が相互に作用しながら解決を図るアプローチを取る。

- 提案手法の具体的なイメージ -

本研究で提案する手法は以下の手順で実施される。まず、先行研究と同様にベースとなるプロセス知識を作成する。次に、指導現場における指導者と学習者のやりとりを収集する。そして、収集した情報を LLM が解析し、既存のプロセス知識の改良点を生成・提案する。最後に、LLM による改良提案を受けて指導者がプロセス知識を改良する。

## 第 4 章 実験

XXXXXXXXXXXXXXXXXX



## 第 5 章 結果

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

## 第6章 考察

・暗黙知を暗黙知のまま伝えること．形式知化する必要性．・手続き知識の問題点．・オンライン指導の文化の醸成

## 第7章 まとめ

## 参考文献

- [1] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構. ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査. <https://www.jil.go.jp/institute/research/2020/194.html>, 2020. (最終閲覧日:2024 年 10 月 25 日).
- [2] Tatiana Gavrilova, Tatiana Andreeva. Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context. *Journal of Knowledge Management*, 16(4):523–537, 2012.
- [3] 西村 悟史, 大谷 博, 畠山 直人ら. 現場主体の知識発現方法の提案. 人工知能学会論文誌, 32(4):C–G95–1–15, 2017.
- [4] Michael Polanyi. *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press, Chicago, 1966.
- [5] 野中 郁次郎, 竹内 弘高. 知識創造企業. 東洋経済新報社, 1996. 梅本勝博 訳.
- [6] 吉田 康行, 飯野 なみ, 西野 貴志ら. 高齢者の自立支援差介護における遠隔技術を用いた知識・データ融合の実践と分析. 情報処理学会論文誌, 63(1):116–128, 2022.
- [7] 伊集院 幸輝, 小早川 真衣子, 飯野 なみら. 作業手順内の目的を表出し構造化する方法の提案—介護現場での目的指向知識構造化. 情報処理学会論文誌, 63(1):104–115, 2022.
- [8] 内平 直志, 西村 拓一. 現場で表出する人間の気づきや潜在知識のデジタル化: Human centric デジタルツインへの提言. <http://hdl.handle.net/10119/18532>, 2022. (最終閲覧日:2024 年 10 月 25 日).
- [9] Gary Klein. Naturalistic decision making. *Human Factors*, 50(3):456–460, 2008.
- [10] 田中 孝明, 大坪 舜, 伊藤 孝太郎ら. LLM マルチエージェントを用いたアイディエーション応用とアイデア評価手法に関する研究. 人工知能学会全国大会論文集, JSAI2024(38):4G3GS205, 2024.
- [11] 尾崎大晟, 中川智皓, 内藤昭一ら. LLM による前提生成ステップを用いた反論の攻撃

- 力向上手法. 人工知能学会全国大会論文集, SAI2024(38):3F1GS1004, 2024.
- [12] L. Welz, C. Lanquillon. Enhancing large language models through external domain knowledge. *Artificial Intelligence in HCI*, 14736:125–146, 2024.
- [13] Patrick Lewis, Ethan Perez, Aleksandra Piktus et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 2020.
- [14] 鵜飼孝典. LLM を利用したイベント中心ナレッジグラフにおけるイベント予測. 人工知能学会第二種研究会資料, 2023(SWO-061):08–, 2023.
- [15] Satoshi Nishimura, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima et al. Charm knowledge and its application to nursing guidelinesintegration. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 27(4):697–701, 2008.

## 付録 A 資料

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX