

Title	身体動作の指導知識構造化方法の提案
Author(s)	佐藤, 航
Citation	
Issue Date	2024-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/18944
Rights	
Description	Supervisor: 西村 拓一, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

修士論文

身体動作の指導知識構造化方法の提案

佐藤 航

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6年3月

Abstract

For knowledge transmission, it is important to construct structured knowledge that clearly describes the knowledge. The purpose of this study is to propose a method of structuring instructional knowledge through the approach of conveying ideal body movements, and to clarify (I) whether it is possible to construct computer-readable instructional knowledge through interviews, and (II) whether new instructional knowledge can be added through actual teaching with the proposed method. To verify the proposed method, we structured the knowledge of ideal motions through interviews and constructed computer-readable instructional knowledge. Then, we created a transmission system to utilize the knowledge and instruct the motions, and a veteran instructor confirmed the feedback from the system. From the results, we found that knowledge structured by interviews can be computer readable and incorporated into the system. The results also showed that new knowledge can be extracted by using the proposed method. The results suggested that the proposed method can clarify the instructor's knowledge and share instructional techniques with others. In addition, it is thought that the performance of the instructor can be improved with the assistance of a system that incorporates structured knowledge.

目次

第1章 序論	1
第2章 関連研究	3
2.1 動画分析アプリ	3
2.2 知識・データ融合	3
2.3 技術伝承モデル	4
第3章 指導知識構造化方法の提案	5
3.1 理想動作知識構築	5
3.2 指導知識の付与	6
3.3 指導の実施	7
3.4 知識改良	8
第4章 提案手法の検証実験	10
4.1 理想動作知識構築	10
4.2 指導知識の付与	11
4.3 指導の実施	12
4.4 知識改良	14
第5章 結果	15
5.1 理想動作知識構築	15
5.2 指導知識の付与	17
5.3 指導の実施	20
5.4 知識改良	20
第6章 考察	23
第7章 結論	24

図目次

図 3.1：提案手法の概要図	5
図 3.2：理想動作の構造化記法	7
図 3.3：指導知識の構造化記法	8
図 4.1：指導者が実施する片足立位	11
図 4.2：体幹の左右方向の傾きに関する問題動作を実演した例	12
図 4.3：カメラとクライアントの位置関係	13
図 4.4：指導システムのインターフェース	13
図 5.1：理想の片足立位の構造化知識	16
図 5.2：ヒアリング時の指導者の軸のイメージ，頭部から踵部の軸が一直線 に結ばれている	17
図 5.3：右足を上げた際の頭部の変化，床面（xy 平面）投影，z 軸は身長方 向	17
図 5.4：正しく片足を上げ下げする方法を指導するための構造化知識	19
図 5.5：指導知識の因果関係	21
図 5.6：新たな指導の構造化知識	22

表目次

表 4.1：ヒアリングの回数, 日程, 所用時間, 対象知識	10
表 5.1：ヒアリングによる指導知識の抽出結果（一例として体幹の左右方向の傾き）	18
表 5.2：システムと指導者による指導	20

第1章 序論

急速な少子高齢化により、2053年には日本の人口が1億人を切り、65歳以上の高齢者の比率が40%を超えるとされる [1]。その為、健康の維持・増進のために運動を習慣化することが求められている。しかし、複雑な身体動作を必要とする運動も多く、習慣化は容易ではない。故に、身体動作を上達促進させ、かつ障害を予防する指導法の必要性が高まっている [2]。

先行研究において上達促進と障害予防を行うために、スポーツトレーナーや理学療法士、各種目のコーチなどの身体動作の指導者は、クライアントの姿勢、動作や運動イメージを含むコンディションを把握し、その課題を解決する声かけや身体の筋肉や筋膜への介入を行ってきている [3, 4]。これらの介入における身体動作の指導者は、複雑な身体動作ごとに感覚的に指導することも多く指導法を明確に記述できないことが多い。そのため、指導者の知識を伝承し指導者を育成することは困難である。

知識の伝承のために、知識を明確に記述する構造化知識の構築がこれまで行われてきている。その中で身体動作を伴う知識を構造化する方法として計算機可読性がある CHARM [5] と呼ばれる形式が挙げられる。計算機可読性とは計算機での文章の読み取りやすさである [6]。先行研究 [7] において理想的な介護動作の知識を構造化し、その知識内の行為に対するデータをリンクさせている。そして、それらから新たな知識を引き出し、知識を改良する手法が提案されている。しかし、この先行研究は理想的な動作の知識の構造化を目的としており、理想的な動作に近づけるための指導の知識の構築を目的としていない。

そこで、本研究では身体動作を理想に近づけるための指導知識の構造化方法を提案する。本提案手法では、まずヒアリングにより理想動作を知識構造化し、その知識に計算機可読性のある指導知識を付与する。その後、構築した知識を用いた指導と指導者による指導を行い、結果を比較して相違の原因分析をする。その中で指導者が見出した既存の構造化知識の不足や新たに見出した知識を追加する取り組みを導入することで、より高品質な指導につながる知識の獲得と活用の循環を実現する。

本論文では提案手法を検証するために、一例としてコンディショニングにおける身体基礎動作を取り上げる。具体的には身体動作の指導者がコンディショニングに用いる知識の構造化を実施し、言語を用いた指導知識に焦点を当てる。ここでコンディショニングとはある目的に向かって望ましい状態に身体を整えることと定義する。1名の身体動作の指導者の協力のもと、提案手法に基づき、身体基礎動作について理想動作と指導知識構造化を行う。それらを元にシステムを構築し、提案システムの現場での実用可能性について検討する。そして、本

論文では (I) ヒアリングにより計算機可読性のある指導知識を構築できるか、および、(II) 実際に指導を行うことで新たな指導知識が追加されるかを明らかにすることを目的とする。

以下、2章で関連研究について述べ、3章で新たな指導知識構造化方法を提案する。4章で本手法の有効性を検証するために身体基礎動作を取り上げた実験方法を示し、5章で結果、6章で考察、7章でまとめと今後の展望を述べる。

第2章 関連研究

本章では知識工学の分野における関連研究を概観し、本提案の位置付けを明確にする。本研究では身体動作を理想に近づけるための指導知識の構造化方法を提案する。そこで、2.1節では最新の動画分析アプリについて説明する。本研究ではデータを融合した知識の構造化方法を提案する。そのため、2.2節では知識とデータの融合に関する研究について述べる。また、本研究で目指す身体動作の指導者の知識の伝承に関する研究を2.3節で調査した。

2.1 動画分析アプリ

これまでのコンディション把握やパーソナルトレーニングは、指導者の勘と経験に基づくものが多かったため、経験・技術・知識による差があった [8]。検査や評価の質を均一にするため、機械的な支援によるコンディション把握やコーチングをするアプリが多数ある。

筑波大学発のベンチャー企業が開発した SportipPro [9] は、姿勢と関節可動域をスマートフォンのカメラで撮影した映像を高精度で分析し、その結果をもとにトレーニングメニューを自動作成するとともに、ビフォーアフターのチェックも行う。また、SportipPro と共同開発されたパフォーマンス AI(アイ) [10] は、500 万件以上の運動データ、年間 2000 本以上の学術論文データの動作を分析し、あらゆる動作・姿勢を評価している。さらに、スポーツ教育を支援する目的で、スマートフォンのカメラで撮影した 10 秒程度の映像をアプリに登録すると、プロの指導知識がフィードバックされるアプリも開発されている [11]。

また知識工学の研究分野においては、モーションキャプチャを利用し指導者の知識構造化により身体動作の体得を支援するシステムの構築もあれば [12]、日本の伝統舞踊の練習を支援するために、骨格推定 AI として openpose を用いて練習者の動作と模範動作の差異をフィードバックするシステムも提案されている [13]。さらにドメインオントロジに基づいて、取得した身体データに応じて健康アドバイスを導出するシステムも提案されている [14]。しかし、複数の身体動作指導者の共通的な指導内容を収集したものであり、より形式化が困難な指導知識の構築を対象としていない。

2.2 知識・データ融合

指導者にヒアリングを行い、獲得した知識をどう表現するかが重要な問題となる。田村ら [15] は画像処理の専門家の持つノウハウを集約することで知識の表現を可能にするシステムを開発している。また、來村 [16] が提唱した機能

的な設計知識の記述と管理を支えることを目指した機能オントロジの構成に基づき、人間行動モデルの記述枠組みが提案されている [17]。この構造化記法は CHARM と呼ばれ、行為の目的を明示的に記述する。

この CHARM を利用し、伊集院ら [5] は、作業手順知識と目的指向知識をハイブリッドで構造化することで、介護現場で介護士が大事にしている、または、新人教育で伝えるべき重要な知識を表出し、暗黙知の網羅的な構築に成功している。さらに吉田ら [7] は、高齢者の自立支援介護における知識構造化にデータを提示することで、作業手順知識の精緻化に成功している。しかし、これらの先行研究は理想的な動作の構造化を目的としており、それらを伝えるための指導方法や手法についての提案は行っていない。

2.3 技術伝承モデル

武田ら [18] はモーションキャプチャを利用し、日本舞踊の実技授業を例に、教員からのフィードバックに基づいて動作を改善し、また次のフィードバックで動作を改善するというループが、学習者が理解する過程で生じていると述べている。また、野中 [19] が提唱した SECI モデルは、共同化、表出化、連結化、内面化というプロセスを通じて暗黙知を形式知にし、新たな発見を得るためのもので、ナレッジマネジメントのベースとなっている。そして SECI モデルは実際に深いレベルで循環させるためのノウハウが重要である。そこで本研究は、SECI モデルを具体的に支援するシステムとしても位置付けられ、ノウハウや経験が少なくても、効率的に循環させられると考える。

第3章 指導知識構造化方法の提案

本章では、身体動作の指導者の知識を構築するための方法を提案する。本提案手法は図 3.1 に示すように 4 つのステップで構成され、①ヒアリングにより理想動作の知識構造化をし、②その知識に計算機可読性がある指導知識を付与する。その後、③実際に指導を行い、④新たに見出した知識を追加する取り組みを導入することで、より高品質な指導につながる知識の獲得と活用の循環を実現する手法である。なお、提案手法における①は既存の研究で提案されている [6]。本手法はこの①だけでなく、新たに②指導知識構築、③指導の実施、④知識改良を追加した手法となる。

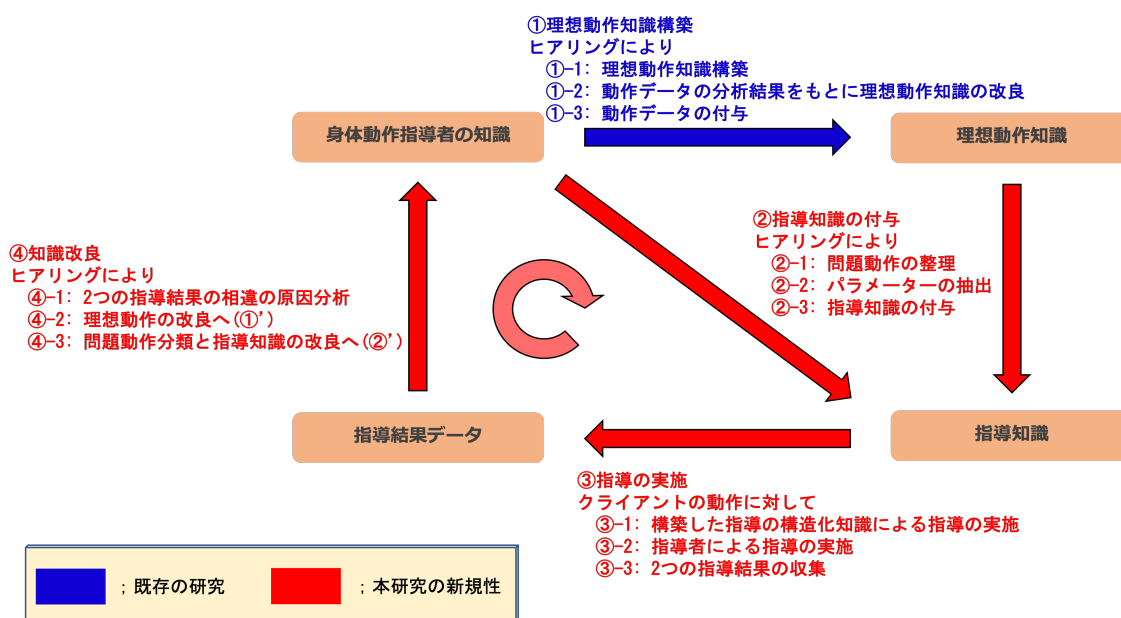


図 3.1 : 提案手法の概要図

3.1 理想動作知識構築

理想動作の知識を構築するために、従来研究 [6] と同様に次の 3 つのステップを進める。指導者へのヒアリングにより、対象とする身体動作に関して以下を行う。

- ①-1: 理想動作知識を構築する
- ①-2: 動作データを収集し分析結果をもとに理想動作知識を改良する
- ①-3: 動作データを付与する

①-1 では理想動作に関して、指導者に動作手順をヒアリングすることで理想動作知識を構築する。本研究では理想動作の知識を図 3.2 に示す構造化記法を用いて構造化し、マイクロソフト社のパワーポイントなどを用いて作製する。構造化手法は CHARM と呼ばれ、上位層のノードを達成するために、下位層のノードを実施するという記述をする。行為は基本的に名詞+動詞で記述し、動詞は1つのノードに1つしか含めない。図 3.2 において、最上位の行為 A を達成するためには、行為 B と行為 C を行う必要があり、行為 B を達成するためには行為 b1 と行為 b2 を順に行う必要がある。このように知識の記述方法に制約を設けることにより、本論文の目的に沿う知識が集約される。

①-2 では、モーションキャプチャシステムなどの身体動作の計測機器を用いて動作データを収録し、分析結果をもとにヒアリングを行い理想動作知識の改良を行う。これは指導者が述べた言葉と実際の動きに差異が生じる場合があるためである。例えば、指導者が「左足の内側に体重を乗せる」と述べても、実際に計測機器で収録した動作を分析してみると、「左足の中央に体重を乗せる」と述べる方が正しい場合がある。このように、指導者が発した言葉と実際に測定したデータが異なる例は多い。そのため、①-1 のヒアリングだけでは得られない知識を本ステップで集め、改良が可能となる。ただ、指導者は理想動作を正しく実演できるものとする。

①-3 では理想動作知識に収録した動作データを付与する。図 3.2 の黄色の四角が示すようにノードの左上にパワーポイントなどのリンク機能を用いて画像データを付与する。

また、灰色の四角が示すようにノードの右下にモーションキャプチャデータの分析結果、および、関節角度などの数値データも付与する。これにより構造化した知識がより明確になる。

3.2 指導知識の付与

①で構築した理想動作の知識に指導知識を付与するために、以下の 3 つのステップを実施する。

②-1: 問題動作を整理する

②-2: 指導知識を抽出する

②-3: 理想動作の知識に指導知識を付与する

②-1 では理想的な動作から逸脱した典型的な問題動作をヒアリングし整理する。例えば「正しく立つ」という理想動作から逸脱する問題動作として、背が反れる、猫背になる、片側重心になるなどが考えられる。指導者にヒアリングをすることで、理想動作から逸脱した典型的な問題動作を抽出し整理する。

②-2 では、②-1 で整理したそれぞれの問題動作に対する指導知識をヒアリン

グにより抽出する。例えば前述の背が反れるという問題動作において、反り具合を数度ずつ変更した画像を複数枚用意し、それぞれに対する指導知識を抽出する。これにより、クライアントの背の反り具合に応じた指導が可能となる。

②-3 では①で構築した理想動作の知識に指導知識を付与する。指導知識の付与は図 3.2 に示した構造化記法に則って実施する。本記法は図 3.2 で説明した CHARM に基づいており、クライアントが実施する理想動作の下側に指導知識を付与し、知識は名詞+動詞で記述する。各ノードの左上の黄色の四角に動作の主体を、指導知識のノードの左上の緑色の四角に指導を行う具体的な条件を記述する。また、この条件は②-2 における指導知識と対応するように記述する。

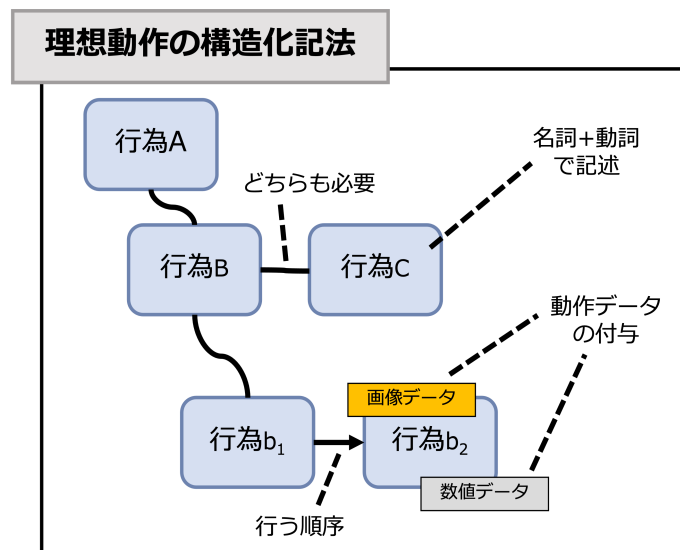


図 3.2：理想動作の構造化記法

3.3 指導の実施

指導は複数名のクライアントの動作に対して、以下のステップにより実施する。これにより、ヒアリングでは思い至らなかった新たなケースに対応するための知識を発見することができる。

- ③-1: 構築した指導の構造化知識による指導の実施
- ③-2: 指導者による指導の実施
- ③-3: 2つの指導結果の収集

③-1 では構築した指導の構造化知識を用いて指導を実施する。②で構造化した指導知識は計算機可読性があるため、知識を内蔵した指導のためのシステムを構築する。このシステムはクライアントの身体動作を計測するモーションキャプチャや画像による骨格検出などの機能を持ち、さらに、関節角度などを分析して②で付与した指導知識内の条件と比較し、その条件に合った指導知識を出

力する。このシステムと指導者が、同じ動作に対して指導を実施できるように、クライアントの動作を撮影する。この動画に対してシステムが指導を実施する。本システム開発は、初回のヒアリングで構造化した知識と実際の指導内容を客観的に比較するために行った。

③-2 では、③-1 で撮影したクライアントの動作に対して指導者が指導を実施する。

③-3 ではシステムによる指導内容と指導者による指導内容を収集する。それぞれの内容を比較し、相違点を見つける。

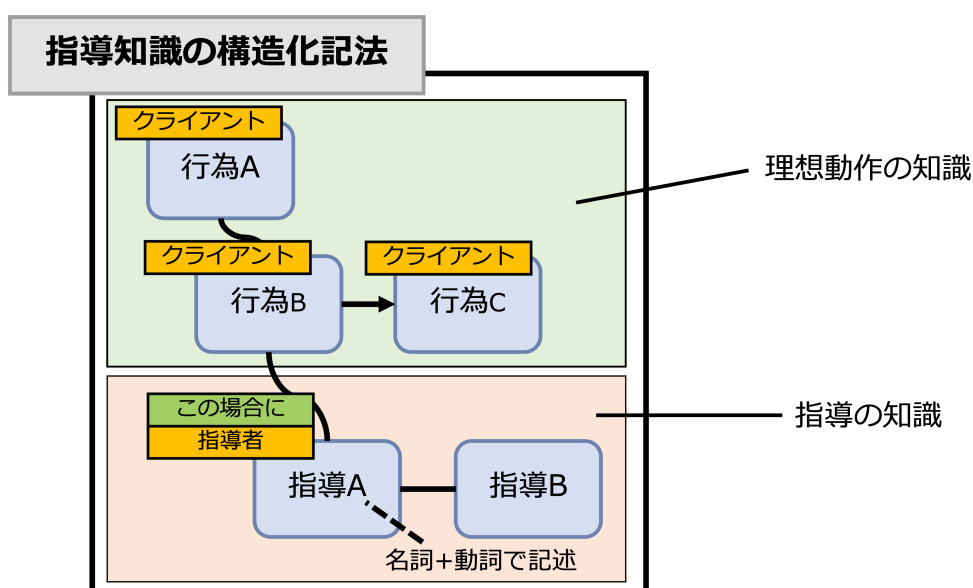


図 3.3 : 指導知識の構造化記法

3.4 知識改良

ヒアリングによる知識の改良のために、以下の3ステップを実施する。

- ④-1: 2つの指導結果の相違の原因分析
- ④-2: 理想動作の知識改良
- ④-3: 指導知識の改良

④-1 では③-3 で見つけた相違点について、指導者とのヒアリングによりその原因を分析する。システムと指導者の指導結果が異なるということは、ヒアリングでは語られなかった知識を抽出したこととなる。身体動作に対しての指導知識は様々な状況が考えられ、また、身体動作は非常に複雑である。そのため、初回のヒアリングでは、指導知識を網羅的に抽出することはできない。そこで様々なタイプのクライアントを診ることで、新たな指導知識が追加される。また、指導結果の相違の原因を分析することで指導者のメタ認知が進み、

知識の改良につなげる。ヒアリングでは、想定していなかったクライアントの動作を見ることで、新たな指導知識が抽出される例を述べよう。例えば、②では膝が曲がっている場合に「膝を伸ばしましょう」という指導知識だったものの、③では同じように膝が曲がっている場合に指導者が「体幹を引き上げましょう」と指導する場合があります。この理由を指導者に聞くと、膝が曲がっていて、かつ、体幹が傾いている場合には「体幹を引き上げましょう」と指導すると回答する。つまり、ヒアリングでは得られなかった詳細条件が新たなクライアントを指導することで、発見される例である。

④-2では、④-1で分析した結果をもとに、理想動作の知識を改良する。これは①を再度実施するものである。例えば、新たにクライアントを診て、正しく立つという理想の動作に、新たに体幹を上下に伸ばすという知識が追加されるなどである。

また、④-3においても、④-1で分析した結果をもとに、指導知識も改良する。これは②を再度実施するものである。例えば、④-1の例の場合には、新たに体幹が傾いていない場合と傾いている場合の条件を追加するなどである。

第4章 提案手法の検証実験

本章では、3章で提案した指導知識構造化方法を検証する実験について説明する。実験では一例としてコンディショニングにおける身体基礎動作を取り上げた。身体動作の指導者である著者の山本は、クライアントが3種類の身体基礎動作を実施した際の身体のふらつきや傾き、筋肉の張り具合などの情報を元に、左右の筋肉のバランスやそのクライアントの特性を抽出している [3]。具体的には片足を上げる「片足立位」、直立した状態から膝の屈曲・伸展を繰り返す「スクワット」、足を大きく前後に開く「ランジ」の3種類である。そして把握したコンディションをもとに的確な指導を行うことで障害予防・上達促進につなげている。このような身体動作の指導者の知識を対象として提案手法の検証をした。具体的には3種類の身体基礎動作のうち特に軸を見極める片足立位を取り上げた。理想動作と指導の知識を構造化するため、指導者へヒアリングを実施した。表 4.1 にヒアリングの回数、日程、所要時間、対象知識を示した。ヒアリングは2022年9月から始まり、2023年3月まで5回実施した。

表 4.1：ヒアリングの回数、日程、所要時間、対象知識

回	日程	所要時間	実施形態	対象知識
1	2022年9月30日	1時間0分	オンライン	理想動作
2	2023年1月19日	0時間50分	オンライン	理想動作
3	2023年3月27日	1時間0分	対面	指導
4	2023年3月28日	1時間0分	対面	指導
5	2023年3月29日	0時間40分	オンライン	指導

4.1 理想動作知識構築

①-1 では、指導者へのヒアリングをもとにクライアントが正しく片足立位を行う上での手順とそれぞれの注意事項をもとに理想動作の知識構築を実施した。構造化にはパワーポイントを用いた。

①-2 では、モーションキャプチャを用いて片足立位を収録した。本収録には指導者である成人男性1名が参加し、慣性センサ式のモーションキャプチャシステム1台を240Hzで使用した。17個のセンサーは頭部、胸郭、上腕部、前腕

部、手部、骨盤、大腿部、下腿部、足部にあり、専用のスーツを着用して取り付けた。図 4.1 は指導者が実施する片足立位の様子である。そして専用の剛体リンクモデルを形成するために、指定のポーズを取り、15 秒間の歩行によりキャリブレーションを行った。実験の様子を収録するために、外付け Web カメラで前方から、スマートフォンのカメラで側面から撮影を行った。動作のアニメーション作製には付属のソフトウェアを使用した。また、構築した構造化知識の一部に着目してデータ分析を行った。これにより、指導者の発言と実際の収録データとの間での差を発見し、理想動作の知識を改良した。

①-3 では、動作分析により一部が改良された構造化知識に、パワーポイントのリンク機能を用いてデータを付与した。本実験では角度情報などの条件を示す数値データと画像データの 2 種類を理想動作知識に付与した。

4.2 指導知識の付与

②-1 では、指導者へヒアリングを実施し、片足立位における典型的な問題動作の抽出と整理を行った。

②-2 では、指導知識を抽出するために典型的な問題動作を実演した画像を提示し、その状況の説明とそれを改善するための指導知識のヒアリングを実施した。具体的には、体幹の左右方向の傾き、体幹の前後方向の傾き、支持脚の膝関節の屈曲の 3 種類を典型的な問題動作の対象とした。図 4.2 は体幹の左右方向の傾きに関する問題動作を実演した例である。

②-3 では、①で構築した理想動作の知識に②-2 で抽出した指導知識を付与した。

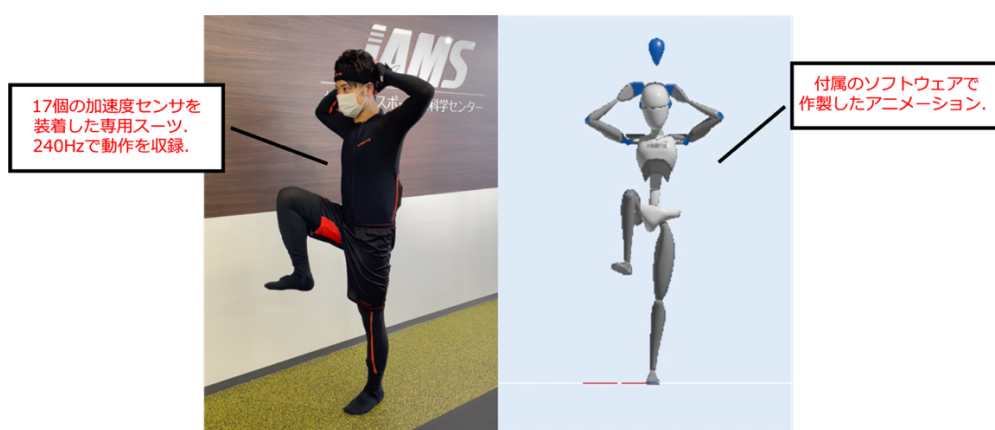


図 4.1：指導者が実施する片足立位

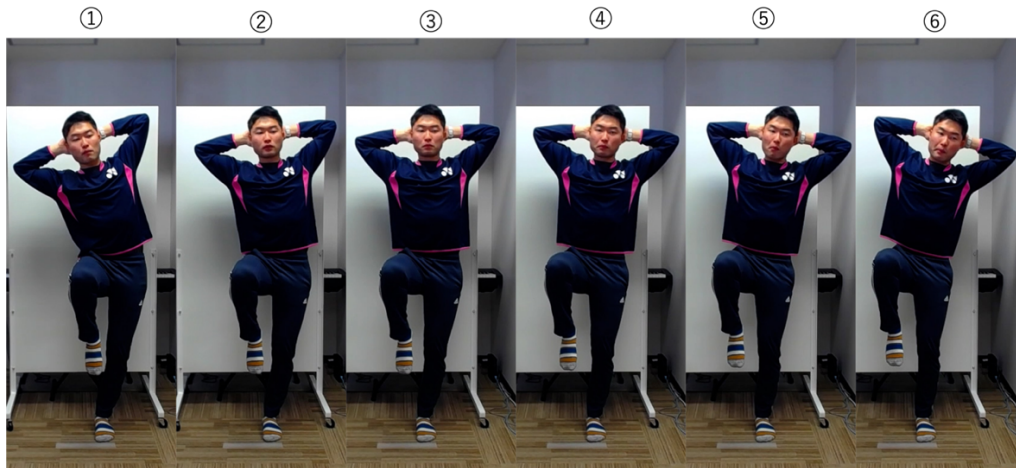


図 4.2：体幹の左右方向の傾きに関する問題動作を実演した例

4.3 指導の実施

指導を実施するため、実験協力者として 20 代男子大学生 3 名が片足立位を実施した。図 4.3 に示した位置関係にて正面を向いた状態で 3 回、側面を向いた状態で 3 回それぞれ片足立位を実施した。この様子を外付け Web カメラ 1 台にて 1280p, 30fps の動画として保存した。

③-1 では指導知識を内蔵したシステムにて指導を実施した。本システムは外付け Web カメラによりクライアントの動作を撮影し、骨格検出・分析を行い、指導の構造化知識と照合することで、指導者の知識をリアルタイムで出力する。骨格検出には KAPAO [20] を使用した。KAPAO は人間のポーズオブジェクトとキーポイントオブジェクトを同時に検出し、融合させることにより姿勢推定を行う。

本システムを使用する際は、図 4.3 に示すようにカメラをクライアントから 220cm、地面から 120cm 離れた地点に設置する。これは KAPAO が 2 次元上の骨格検出を行うため、カメラとクライアントの位置関係を固定する必要があるためである。実際にカメラの位置や角度が少し変わるだけで、骨格検出結果が数度～数十度異なる場合がある。

また、図 4.4 に開発した指導システムのインターフェースを示す。画面左側は理想動作の動画であり、右側はクライアントが行った動作の動画である。理想動作側は実際の関節角度（度）、クライアント側は理想動作との関節角度差（度）を表示している。この関節角度差は「理想動作の関節角度－クライアントの関節角度」として取得している。指導者の知識をもとに、関節角度差が特定の値を超えた場合動作指導を行うという閾値を設定している。閾値を超えた場合、クライアント側の関節角度差が赤色に変化する。

例として図 4.4 ではクライアントの右膝関節の角度が赤く表示されているが、クライアントの姿勢が設定した閾値を超えたことを意味している。本システムにあらかじめ撮影した実験協力者 3 名の動画を入力し、指導を実施した。なお実験開始前にはインフォームド・コンセントを行なった。また本実験は、JAIST 倫理審査（承認番号：人 04-050）の承認を受けて実施したものである。

③-2 では、指導者による指導を実施した。③-1 で撮影した動画を指導者に送付し、3 名の実験協力者が行った片足立位動作に対する状況の説明とその状況を改善するための指導内容を収集した。

③-3 では、システムによる指導結果と指導者による指導結果を収集し、比較した。

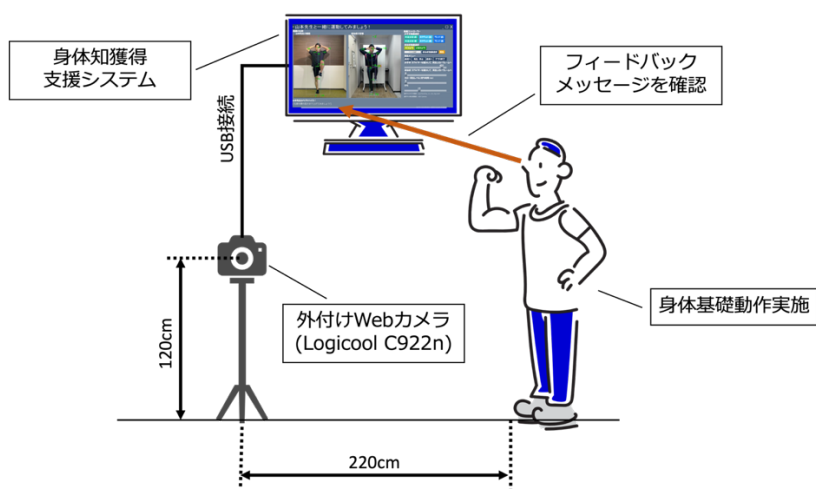


図 4.3：カメラとクライアントの位置関係



図 4.4：指導システムのインターフェース

4.4 知識改良

④-1 ではシステムと指導者の指導結果の相違の原因を分析した。③-3 で収集した指導結果を比較すると、システムと指導者の指導が大きく異なっていた。そこで指導者に1時間40分間のヒアリングを2回に分けて実施し、相違の原因分析を行った。

④-2 では、④-1 で分析した結果をもとに、理想動作の知識と指導知識の改良を実施した。

第5章 結果

本章では、4章で実施した指導知識構造化方法の検証実験の結果を述べる。

5.1 理想動作知識構築

①-1 では、指導者にヒアリングを実施し、理想の片足立位の知識構造化を実施した。理想動作の構造化知識は全体で16ノードとなり、結果を図5.1に示す。

①-2 では、モーションキャプチャにより収録したデータを分析した結果をもとに理想動作の知識を改良した。その結果、1ノードが改良された。事前のヒアリングによる知識構造化では、片足立位の動作が決まった瞬間には、図5.2の赤線が示すように「頭部から踵部の軸が直線に結ばれていることが重要である」と指導者は述べた。ところが実際にデータ分析を行うと完全には結ばれていないことがわかった。図5.3に右足を上げた際の頭部の変化を示す。この図は床面(x-y平面)投影であり、z軸は試技者の身長方向を表す。事前のヒアリングによる構造化知識によれば、頭部の位置を表す緑線と左足の位置を示す赤線が交わるはずだが、x軸方向において約4cmの差があることが確認できた。この結果から図5.1の淡黄色の吹き出しで示した「頭部から踵部の軸が直線に結ばれている」という知識は、緑丸で示したような「頭部を踵部の軸の延長線上に近づける」という知識に改良された。

①-3 では、データ分析により得られた理想動作の関節情報を4つのノードに付与した(図5.1における灰色の四角)。さらに、4つのノードそれぞれに、パワーポイントのリンク機能を用いて画像データを付与した。黄色のボタンをクリックすると模範の画像が表示されるようになっている。

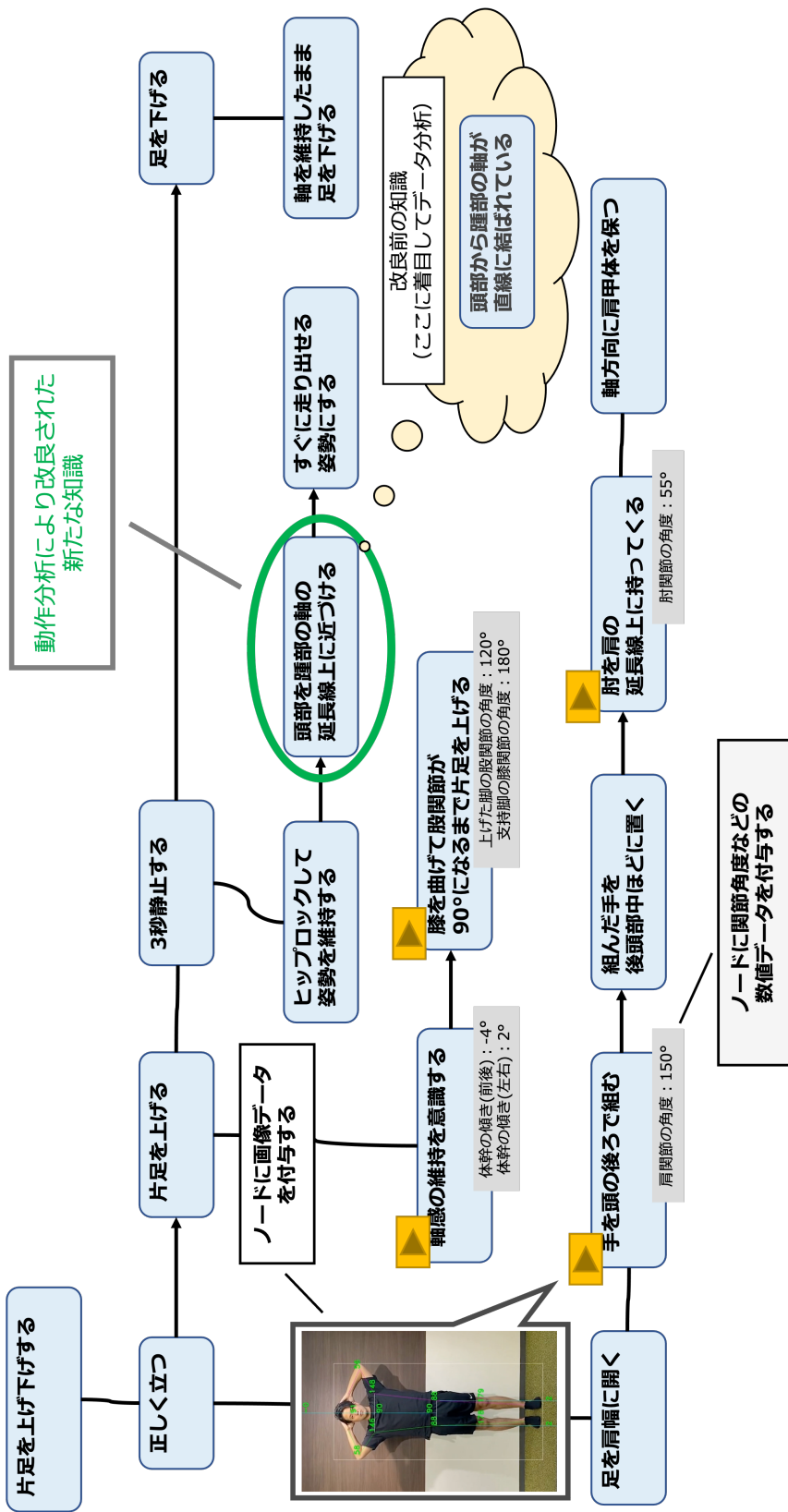


図 5.1 : 理想の片足立位の構造化知識



図 5.2：ヒアリング時の指導者の軸のイメージ，頭部から踵部の軸が一直線に結ばれている

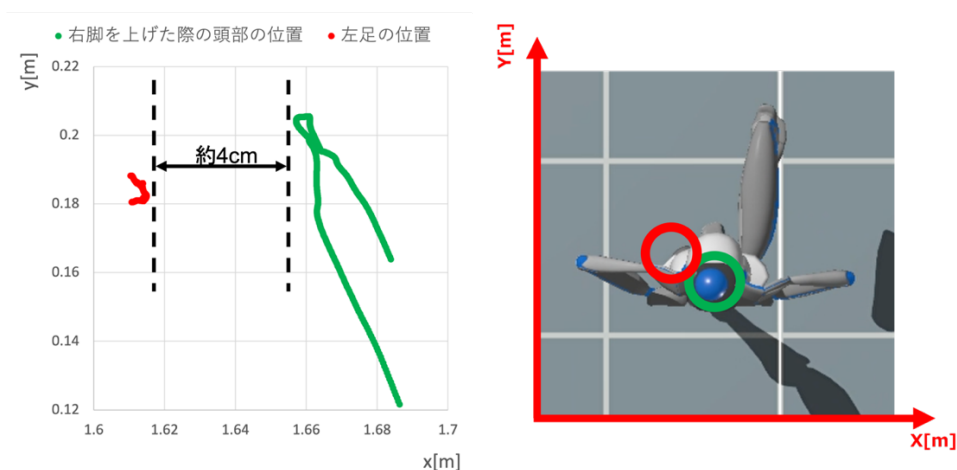


図 5.3：右足を上げた際の頭部の変化，床面(xy 平面)投影，z 軸は身長方向

5.2 指導知識の付与

②-1 では，片足立位における典型的な問題動作を整理した．その結果，片足立位の際に体幹が左右に傾く，背が反れる，支持脚の膝が屈曲するという 3 種類があることがわかった．

②-2 では，②-1 で得られた 3 種類の問題動作について指導者へのヒアリングから指導知識の抽出を行った．表 5.1 は，図 4.2 で示した体幹の左右方向の傾きを少しずつ変化させた写真に対する状況の説明とそれを改善するための指導知識である．各番号は図 4.2 の連写画像と対応しており，2 列目はその画像における状況，3 列目は体幹の傾き（度），4 列目はその問題を解決するための知識を

意味する。

②-3 では、②-2 ヒアリングの結果をもとに、正しく片足を上げ下げする方法を指導するための知識を理想動作の知識に付与し、結果を図 5.4 に示す。3 種類の問題動作を条件とし、それに応じた指導知識を付与した。本実験では新たに 14 ノードの指導知識を付与した。

表 5.1：ヒアリングによる指導知識の抽出結果（一例として体幹の左右方向の傾き）

画像 入力 番号	状況	体幹の傾き	指導内容
①	左側の腸腰筋・股関節と からみのある筋肉の出力がなさそう。 肩甲骨周りは安定してそう	-10	身体をまっすぐにしましょう
②	左側の腸腰筋・股関節と からみのある筋肉の出力がなさそう。 肩甲骨周りは安定してそう 重心が外にのっている	-3	右の肩甲骨を上 に伸ばすようにしましょう
③	いい感じですが 右足が外旋している感じがあります	0	股関節の根本から持ち上げる イメージを持ちましょう。 また、右の体幹が潰れないようにしましょう
④	外足重心で 左側の体幹が潰れている。 股関節伸展のときに、体幹が抜けています	2	上体を伸ばすように意識しましょう
⑤	右の肩甲骨に問題ありそう	4	足を上げた時に 体幹が潰れないようにしましょう。 また、肩甲骨を引き上げましょう
⑥	骨盤から下の支えは良さそうで、 右側の関係性は綺麗です	12	左の肩甲骨を伸ばすように 意識しましょう

5.3 指導の実施

③-1 では、指導の構造化知識を内蔵したシステムによって、3名のクライアントの片足立位に対して指導を実施した。システムから出力された指導知識と、実際の指導者による指導知識を表 5.3 に示す。なお、実験協力者3名を a, b, c とした。出力する知識は、クライアントの動作を評価するために記述する状況と、それを改善するための指導知識の2種類である。例えば、aが実施した片足立位について、状況として「骨盤から下の支えは良さそうです」という姿勢評価がされ、その問題を改善するために「左の肩甲骨を伸ばすように意識しましょう」という指導知識を出力した。

③-2 では、指導者が3人の片足立位に対する状況の記述とそれを改善するための指導を行った。動画は正面と側面から撮影し、関節角度情報を付与せずを送付した。

表 5.2：システムと指導者による指導

対象者	システム		指導者	
	状況	指導内容	状況	指導内容
a	骨盤から下の支えは良さそうで、 右側の関係性は綺麗です	左の肩甲骨を伸ばすように 意識しましょう	外側、後方重心で股関節伸展で 支えておらず、体幹が潰れています	立つ時に股関節を 真上に伸ばすイメージを持ちましょう
b	右の肩甲骨に問題ありそうです	足を上げた時に、 体幹が潰れないようにしましょう。 また、肩甲骨を引き上げましょう	やや外側重心で、膝が曲がっています	膝をもう少し伸ばしましょう
c	外足重心で 左側の体幹が潰れています。 股関節進展の時に、体幹が抜けています	上体を伸ばすように意識しましょう	左右ともに後方重心で、 背中で支えています	体幹を真上に伸ばす イメージを持ちましょう

コメントが一致

5.4 知識改良

④-1 では、システムと指導者による指導の相違を分析した結果、ヒアリングでは、想定していなかったクライアントの動作を見ることで、新たな指導知識が抽出された。システムを用いると体幹が外側に4°傾き、外側重心の場合に「体幹を伸ばしましょう」という指導知識を出力したものの、実際に指導者は「膝をもう少し伸ばしましょう」と指導した。システムと指導者の指導内容に相違があった原因をヒアリングしたところ、指導者は体幹が外側に4°～7°傾き、かつ、膝が17°以上曲がった場合に「膝をもう少し伸ばしましょう」と指導することがわかった。また、図 5.5 のように、指導者は複数の視点から状況を分析し、それに応じて指導を実施していることがわかった。例えば体幹が外側に傾くという外部特性から「外側重心」と「やや外側重心」という内部特性を見極めていく。また、これらの内部特性の閾値をヒアリングにより決定し

た。「外側重心」は体幹が外側に 8° 以上、「やや外側重心」は体幹が外側に $4\sim 7^{\circ}$ 傾いた状態である。さらに、「体幹を真上に伸ばすイメージを持ちましょう」という指導内容は、「外側重心」と「後方重心」という2つの内部特性を組み合わせて出力することがわかった。

④-2では、④-1で分析した結果をもとに、理想動作の知識が改良されることを想定していたが、本実験では理想動作の改良は見られなかった。

④-3においては、④-1で分析した結果をもとに、指導知識を改良した。図5.6に分析結果をもとに改良された新たな指導知識を示す。図中のオレンジ色で示した6つの指導知識が改良／追加された。本構造化知識は33ノードとなり、指導知識は17ノードとなった。改良前の知識に比べて指導知識が3ノード増加した。

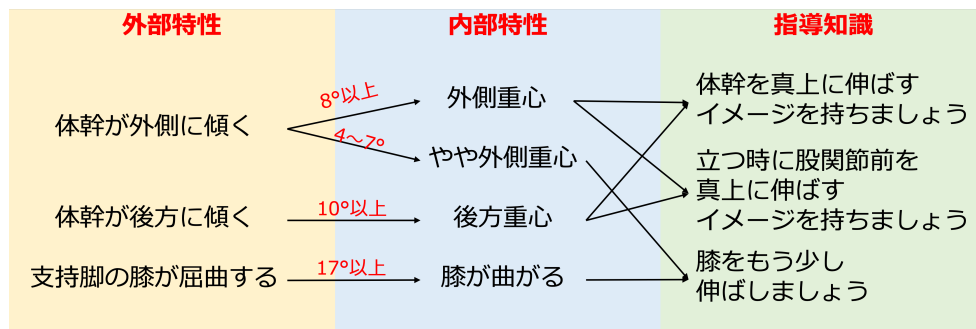


図 5.5：指導知識の因果関係

第6章 考察

検証実験の結果から、(I)ヒアリングにより計算機可読性のある指導知識を構築できるか、(II)実際に指導を行うことで新たな指導知識が追加されるか、についてそれぞれの考察を行う。

まず、指導の知識に関して計算機可読性のある知識構造化方法を検証した。5.3節の結果により実際にシステムに指導知識を内蔵することができ、クライアントの片足立位に対して指導を実施した。本結果から(I)は、汎用的な計算機可読性については検討の余地があるものの、特定条件でのシステム運用を実現することができた。

また、システムと指導者の指導結果を比較したことで新たな知識を抽出することができ、6つの指導知識が改良/追加された。この結果から、(II)を肯定する可能性を示すことができたと考える。検証実験で行った知識の獲得と活用の循環を進めることで、指導者が持つ知識をさらに構造化し、計算機可読性の高い形で追加していくことが可能であるか、今後も検証を続ける。

本提案手法の検証実験では、①の理想の動作知識に関して、従来研究[7]には含まれていなかった具体的な角度情報も付与した。しかし、クライアントがアスリートで上昇志向が強いか、高年齢で障害予防を目指しているかなどのクライアントの状況、目標や既往歴によっても理想の基準が異なる可能性がある。また、指導知識に関しても、このようなクライアントの状況だけでなく、どのような言葉がけをどのように受け取る傾向にあるかなどを配慮して言葉がけをしている可能性もある。本提案手法により、繰り返し①~④を実施することで、このような詳細状況への対応知識も構築されていくと考える。

また指導者は、図 5.4 の左側の外部特性に示したように「体幹が外側に傾く」と「外側重心」になるなど、望ましくない事象に対しその要因を探るトップダウンの解析手法であるフォルトツリー解析(FTA)[21]と同様に指導を行っている。また、その原因を取り除くように指導している。失敗する因果関係の知識を構築することも知識の明確化に役立つと考えられる。

第7章 結論

本論文では指導知識構造化法を提案した。具体的にコンディショニングの身体基礎動作を取り上げ、本手法により理想動作の知識に対して指導知識を付与し、さらに改良できることを実証した。構造化した指導知識は計算機可読性がり、提案システムに内蔵することで指導を実施できた。また、3名のクライアントがシステムを使用して指導結果を精査したところ、指導知識に追加と改良が見られた。

本手法を利用することで指導者の知識を明確にするだけでなく、指導技術を他者に伝承・共有することも可能となると考える。また、指導者から得られた知識を内蔵したシステムが指導者の補佐をすることにより、指導者のパフォーマンスを上げることができると考えられる。

今回は一例としてコンディショニングにおける身体基礎動作を取り上げたが、今後は他のスポーツの運動動作、食事や入浴などの日常生活動作、製造現場等の作業動作、伝統工芸等の製作動作等に関しても提案システムが適応可能か、調査していきたい。また、今後は個々の指導者ではなく複数の指導者を対象として提案システムの効果を検証したい。

謝辞

本研究は北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 西村拓一教授、伊集院幸輝特任助教、押山千秋特任助教のご指導のもとに行われたものであります。本研究を遂行するのにあたり身体動作の指導知識構造化方法の提案といった大変興味深いテーマを与えてくださると共に、終始懇切なるご指導を賜った研究室の先生方に深く御礼申し上げます。また身体動作指導者として知識構造化にご協力いただいたカラダのメンテの山本葵氏、身体動作に関するフィードバックシステムを開発してくださった産業技術総合研究所の熊谷小百合氏、動作分析に関してバイメカの観点から親切にご協力くださった産業技術総合研究所の吉田康行氏、モーションキャプチャの使用方法について丁寧にご教示いただいた産業技術総合研究所の小山直樹氏に深く御礼申し上げます。

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) JPNP18002 の結果得られたものです。また、本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2237_5 の支援を受けたものです。

本研究を進めるのにあたり、北陸先端科学技術大学院大学の黒川瞬助教、会津

大学の岡隆一名誉教授には大変お世話になりました。また予備計測を実施するのにあたり 3 名の大学院生のみなさまもご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 宇野正哲, 人口減少とインフラの課題から環境リスクを考える 保健医療科学論文誌, vol.67, no.3, pp.306-312(2018)
- [2] 吉田康行, 梁滋路, 西村悟史, 鴻巣久枝, 長尾知香, 西村拓一 運動指導のための簡易評価技術の開発—携帯端末による体幹捻り運動評価 情報処理学会論文誌, vol.59, no.2, pp.591-601(2018)
- [3] 村上成道, 児玉雄二, 青木啓成, 積極的保存療法-スポーツ障害の評価と治療-, 文光堂(2012)
- [4] 丸山仁司, 高齢者リハビリテーションの動向 理学療法科学会論文誌, vol.19, no.3, pp.163-167(2004)
- [5] 伊集院幸輝, 小早川真衣子, 飯野なみ, 西村拓一, 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, vol.63, no.1, pp.104-115(2022)
- [6] 中西秀彦, 人間可読性から機械可読性の時代へ XML 組版への制作現場からの提案 情報管理学会論文誌, vol.57, no.3, pp.149-156(2014)
- [7] 吉田康行, 飯野なみ, 西野貴志, 齋藤貴也, 西村拓一, 高齢者の自立支援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, vol.63, no.1, pp.116-128(2022)
- [8] あなたの身体を「見える化」する AI X パーソナルトレーニングジム『パフォーマンス AI (アイ)』がオープン！！, URL <<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000022.000035944.html>> (参照 2023-3-20)
- [9] 筑波大発 AI 姿勢分析・動作分析アプリ-SportipPro|身体や動作の問題点をスマホ・タブレット 1 つで発見し、エビデンスに基づいた運動処方が可能！, URL <<https://lp.sportip.ai/>> (参照 2023-3-20)
- [10] パフォーマンス AI | AI ジム×パーソナルトレーニング, URL <<https://lp1.performance-ai.com/a>> (参照 2023-3-20)
- [11] SpoGasha - スポーツ教育をサポート, URL <<https://spogasha.com/>> (参照 2023-3-20)
- [12] 神田賢一, 山形圭佑, 大本義正, 西田豊明, 熟練者の知識構造の構築と可視化による動作習得支援システムの構築 人工知能学会全国大会論文集, 第26回全国大会(2012)

- [13] 近藤勝伍, 塚田浩二, 鬼剣舞の練習を支援するシステムの提案 情報処理学会インタラクショナルシンポジウム(2022)
- [14] 和泉諭, 加藤靖, 高橋薫, 菅沼拓夫, 白鳥則郎, オントロジを利用した健康支援システムの提案とその評価 情報処理学会論文誌, vol.49, no.2, pp.822-837(2008)
- [15] 田村秀行, 佐藤宏明, 坂上勝彦, 久保文雄, DIA-Expert システムとその知識表現方法 情報処理学会論文誌, vol.29, no.2, pp.199-208(1988)
- [16] 來村徳信, 溝口理一郎, オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み 人工知能学会論文誌, vol.17, no.1, pp.61-72(2002)
- [17] 西村悟史, 來村徳信, 笹嶋宗彦, ウィリアムソン彰子, 木下智香子, 服部兼敏, 溝口理一郎, 行動根拠の納得と実行を促進する人間行動モデル CHARM 人工知能学会全国大会論文集, 第 25 回全国大会(2011)
- [18] 武田陽子, 丸茂美恵子, 情報技術支援によるフィードバック・ループの効果 情報処理学会研究会報告, vol.2010-CH-87, no.4, pp.1-8(2010)
- [19] 野中郁次郎, 竹内弘高, 知識創造企業, 東洋経済新報社(2020)
- [20] William McNally, Kanav Vats, Alexander Wong, John McPhee, Rethinking Keypoint Representations Modeling Keypoints and Poses as Objects for Multi-Person Human Pose Estimation arXiv 2111.08557v4, pp.1-18(2022)
- [21] 鈴木順二郎, FMEA・FTA 実施法—信頼性・安全性解析と評価, 日科技連出版社(1998)