

見えないもの（頭脳知）を見える化へWG

報告書

2024年9月30日

WG メンバーの紹介（敬称略）

岡田 義広（九州大学 データ駆動イノベーション推進本部 教授）

後藤田 中（香川大学 情報化推進統合拠点 教授）

和田 智仁（鹿屋体育大学 体育学部 教授）

松本 多恵（新潟大学 DX 推進機構情報基盤センター 教授）まとめ役

西村 浩二（広島大学 情報メディア教育研究センター 教授）担当幹事

※ 所属は 2024 年 9 月末時点のもの

目次

【第 1 章】はじめに	1
【第 2 章】見える化事例	3
【2-1】農業	3
【2-2】左官工における取り組み	6
【2-3】踊り（よさこい）における取り組み	11
【2-4】高齢者の動き	17
【2-5】集団スポーツにおける取り組み	19
【2-6】医・歯学系教育	25
【2-7】プロダクトデザイン	32
【第 3 章】見える化の可能性・問題点について	35
【第 4 章】今後の取り組みについて	38

【第1章】はじめに

知識には「見える世界（形式知）」と「見えない世界（暗黙知）」という2つの次元がある。「形式知」とは、文章、図表、数字などによって説明・表現・共有できる知識で言語化・数値化されている。対して「暗黙知」とは、言葉で直接表現できない知識で自分は気がついていなくとも、身体が知っている知識、語ることのできない知識である。初心者・未経験者が「技能」を身に付けるには、その前提として「技術」を学んでおかなければならない。「技術」は論理的、科学的な裏付けがあり習得できるもの「技能」は経験等により体得した個人がもつ技に関する能力と定義する。初期の段階においては、基礎/基本の定着は、手本の模倣とその反復を通してフォームや形の模倣とその反復による体得が重視される。模倣とその反復は、自分の身体を一定の形にこなしていく訓練・練習を行ない、その積み重ねによって身につく、つまり身体で覚えるものである。技能が実践的に機能するようになって「身に付いた」と言えるのであって、ここで「身に付く」というのは、文字通り身体知として身体が覚えることを意味している。つまり、身体が知っていること、身体で覚えていること「身体知」と呼ばれている。身体知された知識で技術、技能がどのようにして達成できたのか他者に言葉で表現、説明することが難しい。また、技能は人に内在するため、一度失われてしまうと容易に取り戻すことができない。例えば、熟練技術者に依存した高度なノウハウや技能には暗黙知が存在し、技術マニュアルが十分に機能せず、技術伝承・教育訓練に課題が生じている。さまざまな分野で暗黙知の解明が積極的に行われているが、その多くが「身体知」に関する研究である。暗黙知には「身体知」という視点以外に新しい切り口が必要ではないかと考える。例えば、ドライバーやくぎ打ちなどの技能/技術は「見て学ぶ」ことができるが熟練技術者等が作業中、頭の中で行われる判断は、情報入手作業は見えるが頭の中で行われた判断作業は見えない暗黙知がある。そこに暗黙知を解明する糸口があるのではないかと推察する。本WGでは、暗黙知を身体知（embodied knowledge）と頭脳知（brain knowledge）に整理する。前者は、経験や訓練で身体に染み付いた判断動作、見える動きの「見える世界」さらに見えない動き「見えない世界」で構成されている。後者を頭の中で行われる判断、情報入手作業は見えるが判断作業は見えない「見えない世界」と定義する（図1）。

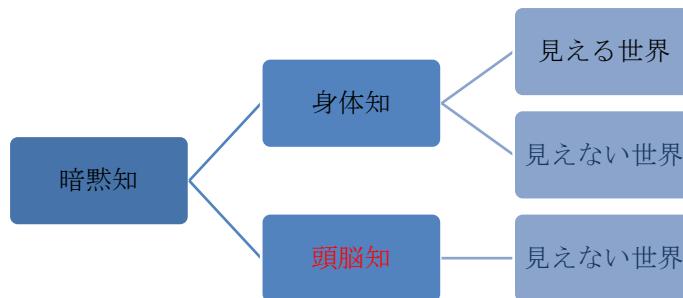


図1 暗黙知（身体知、頭脳知）

「見えない世界」には抽象度が低いものと高いものがある。抽象とは、目に見えるもの、直接触れるもの、絵に描け、写真に撮れること、五感で感じられるもの（具体）から目に見えないもの、直接触れないもの、絵に描けず写真に撮れないもの「見えない特徴」を抜き出したものである。抽象化とは、個別のすべて異なっている具体的なものから特徴を抜き出して、個別の具体を観察して共通点を抽出して、名前を付けることである。多数の人の経験から法則を導き出す「経験則・経験値」が、具体（個々の経験や事象）を抽象（知恵や教訓）に変えていく。つまり「見えない世界」を私たちの経験則や経験知を通して具体・抽象を行ったり来たり「抽象→具体→抽象→具体」繰り返すことで「見える世界」に変えていく。私たちの学習するプロセスの前半部分を多数の人の経験から法則を導き出された「ことわざ」をデータベース化することで、効率に学習を進めることができるようになる。抽象的に表現されたものを具体化し、具体に表現されたものは、私たちがそこに込められた抽象的なメッセージ（教訓）を導き出して自分事に応用する手続きを頭の中「見えない世界」で実行する。また、抽象化する際にコミュニケーションを活用する。その目的は、相手に何かを伝え、何らかのアクションにつなげてもらうことで、口で発せられる（耳で聞くことができる）言葉や文字で表現された（目で見られる）言葉ということになる。具体的な表現によって本当に伝えたい「メッセージ」あるいは真の意図や目的を持っている。抽象度の高いメッセージを具体的な表現によって本当に伝えたい「メッセージ」あるいは真の意図に置き換える。言葉には個々の事柄や行動（=具体）とそれが大きく意味するところ（=抽象）という2つのレベルがある。しかし、抽象度の高いメッセージを受け手の個々の経験値や価値観等で異なる。コミュニケーションを効果的に行うためには、伝えたいことを表現するための具体的な説明が必要不可欠である。逆にコミュニケーションの受け手になる場合でも、具体的に表現だけでなく、そこに込められたメッセージを可視化することが、コミュニケーションには必要不可欠である。残念ながら言葉で表現しても、私たちが伝えたいことなんどが伝わっていない。

本WGでは、人の頭の中の「見えない世界（暗黙知：頭脳知）」をICTやAI、言葉等で「見える世界（形式知化）」へ変化し、効率的・効果的な伝達方法言葉（コーチング）等を検討してきた、その報告を述べていく。

【第2章】見える化事例

【2-1-1】農業

現代の日本農業が抱える大きな課題としては「担い手不足」が挙げられる。今後の事業承継や農業の発展に大きな影響を与えると考えられている。これまで農業を担ってきた高齢農家がリタイアし、団塊の世代が75歳以上になることによって、今後も農業を担う人口の減少と高齢化が進むことが予想される。そこで、新規参入者と呼ばれる土地や資金を独自に調達して新しく農業経営に参入する人が、毎年3,000人以上いる。農業次世代人材投資資金は、新規就農者の準備費用と就農後の経営を支援する公的制度が準備されている。それぞれ就農前の研修をサポートするのが目的「準備型」と就農後の経営をサポートが目的な「経営開始型」がある。また、農林水産省は、「食料・農業・農村基本計画」に基づき、ローンやAI、IoT、ビッグデータ、自動走行農機などの先端技術を活用した作業代行やシェアリング・リースなどの次世代型の農業支援サービスなど、農業(Agriculture)と技術(Technology)を組み合わせて作られた造語「アグリテック(AgriTech)」で農業の活性化しよう取り組まれている。しかし、新規参入者の4分の1程度しか生計を立てられるほどの収入を得られていないのが実情である。その一方で、所得の50%以上が農業所得である「主業農家」と呼ばれる人の農業所得は、この10年で約6割増加している。儲からないことを理由に離農する人がいる一方、規模拡大や生産効率の向上を実現している農家もあり、農家の二極化が進んでいる。その背景がとして、農業をとりまく情勢変化等への対応農業をとりまく情勢変化として、政権交代等により農業に係わる政策の大きな変化がみらる。2011年前後、また、近年における世界的な感染症の拡大による農産物需要の減少や国際情勢の変化による資材高騰など先行研究における状況と全く異なる農業経営が求められる。

本節では、国立大学法人 北海道国立大学機構 帯広畜産大学 環境農学研究部門 農業経済学分野 河野洋一先生に本WGで説明していただいた、開発された「農業者育成に適応可能な現実再現性の高い農業経営ゲームの開発」の発表内容を踏まえて、農業経営育成について述べていく。

【2-1-2】現実再現性の高い農業経営ゲームの必要について

農業者育成に適応可能な現実再現性の高い農業経営ゲームの開発とは、農業者教育や経営者能力の育成などに活用することが可能な実際の農業経営のデータを活用した現実再現性の高い農業経営シミュレーションゲームである。

このゲームは、農林水産省等が公表するデータや農家調査による意思決定要因を把握により、地域農業の情勢や実際の経営状況を考慮した、現実再現性の高い経営ゲームの開発が可能で、より現実的な量的データをシミュレーションゲーム内で取り扱うことができる。農業経営は、他の分野と大きく異なる点として、畑作経営の意思決定要因（災害等）が考えられる。ゲームでは畑作経営の意思決定要因を考慮したものになっている畑作経営の意思決定は長年の経験知が多く反映するが、言語化が難しい暗黙知である。

河野先生は、下記のようにシミュレーションゲームゲームを活用して暗黙知の言語化し次世代育成を試みている。

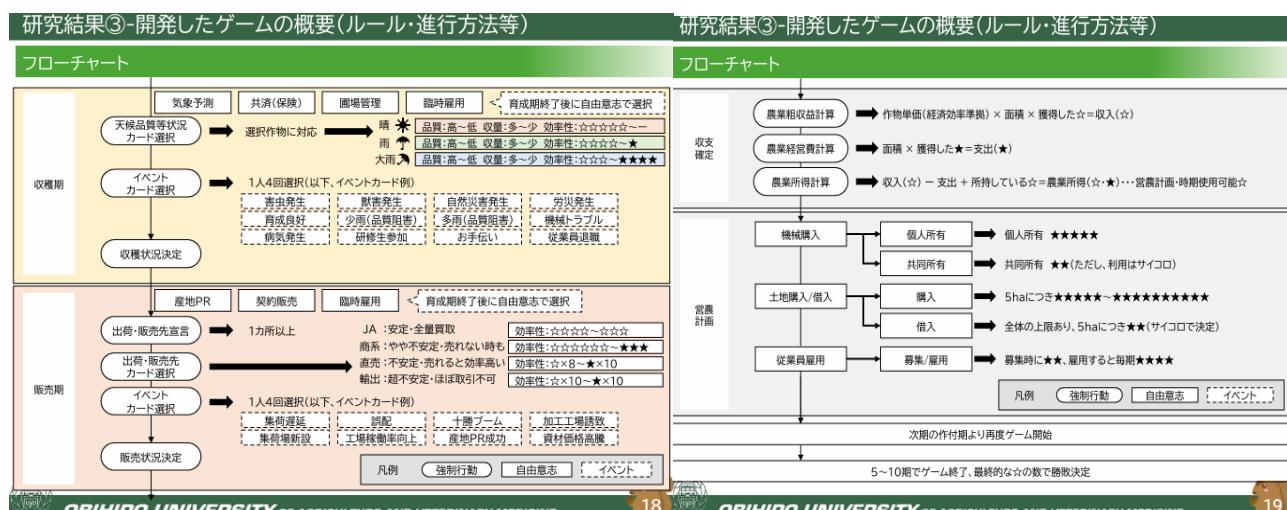
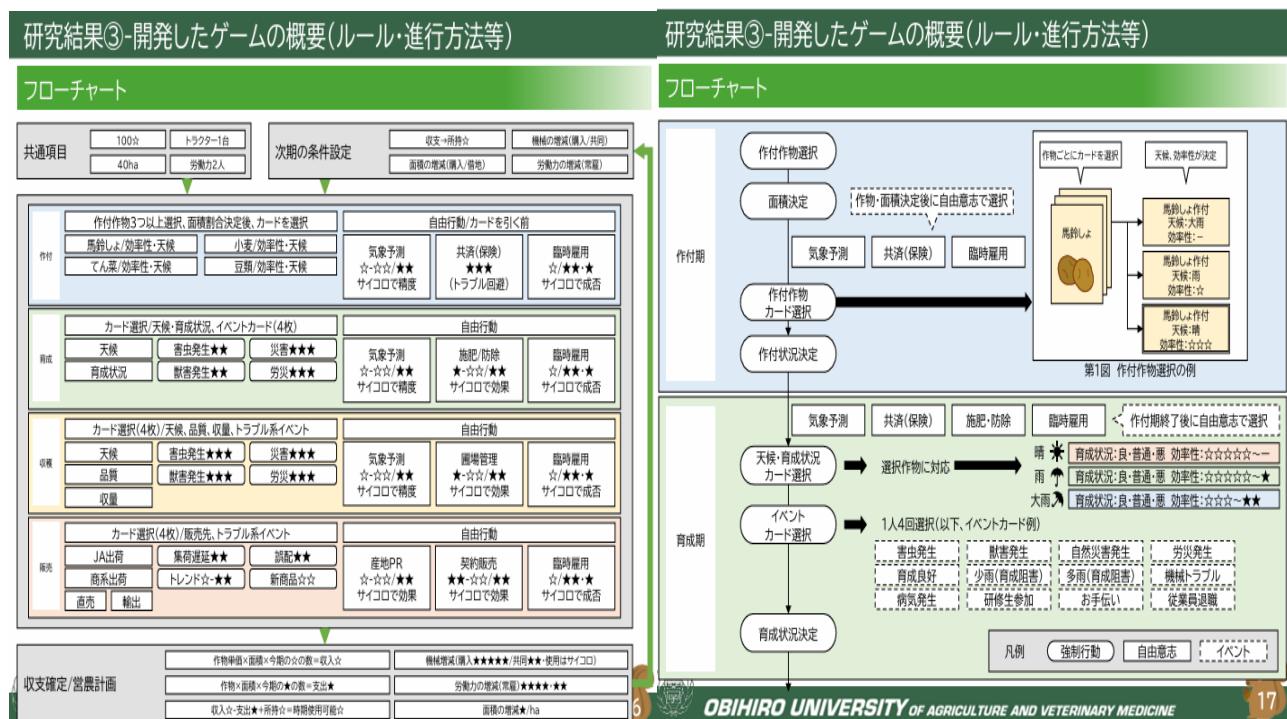


図 2-1-1 ゲームの概要

近年の畑作における作物ごとの作業効率と所得の特徴を農林水産省等の公表データから分析ゲームへ活用することで、発生するイベントと意思決定・対策や意思決定・対策が不可能なイベントとしてウイルス、地域等との連携技術導入することができる。既存の農業経営ゲームと比べ、特定地域に特化している。本ゲームの特質すべき点は、農業経営（意思決定）経験が浅い・無い対象者による高評価、意思決定の重要性の認識についてはいずれの対象者も高い評価を得ている点である。災害など現実的かつ未経験者が作物の特徴や意思決定の重要性を理解しやすい。しかし、「農業に係わる知識」習得が今後の課題である。また、「現役経営者」の評価が相対的に低いその要因は、会計や簿記などのやや難しい作業を排除している点である。

【2-1-3】考察

本 WG で発表された内容は、農業経営に関するシミュレーションゲームを用いた知識の体得である。農業をとりまく情勢変化等への対応農業をとりまく情勢変化として、政権交代等により農業に係わる政策の大きな変化に即時に対応できる次世代育成として、特定地域に特化したゲームは興味深い。農業は自然を分析する必要があり長年の経験知が非常に強く影響する分野である。

次世代の農業育成は重要な課題であるが、人なかなか定着できていない。農林水産省もあらゆる助成金等を駆使して人材育成に注力しているが難しい。その大きな要因として、農業者がもつ暗黙知の共有が難しい点である。本シミュレーションゲームを通して暗黙知の体得が可能である点など非常に興味深い発表であった。さらに、農業分野は、特に日本の農業（Agriculture）と技術（Technology）の融合したアグリテック分野がまだまだ進んでいない。農業特有の暗黙知を解明することでよりアグリテックが推進への寄与を期待する。

【2-2】左官工における取り組み

【2-2-1】左官工の現状と課題

近年、左官工の人才育成を取り巻く状況は厳しく、国土交通省の資料[1]によると、建設業の就業者数は、1997年にピークを迎える、以降減少の一途をたどっている。2022年には建設業就業者は482万人と、ピーク時の685万人に対し、30%減少している。また、このうち左官工を含めた建設技能者に絞っても、ピーク時の455万人に対し、309万人と、同様に32%減少しており、さらに人材確保が厳しい状況である。就業者の高齢化も大きな問題であり、就業者全体の約3割以上が55歳以上となっている。建設技能者に関しては、55歳以上の技能者が109.6万人と全体の約3分の1を占めており、10年後にはその大半が引退することが見込まれている。今後の建設業を支える29歳以下の技能者については37.2万人と全体の12%程度であり、若年入職者の確保・育成が重要となっている。職業訓練の面からも建設技能における暗黙的な技能知が可視化されたデジタル教材が必要であり、近年では教材の開発の取り組みが、建設技能者を対象として見られる状況であり、本WGにおける「頭脳知」の捉え方も寄与すると考えられる。

【2-2-2】左官人材育成の見える化の取り組み

A:見える化の定義と意義

熟練技能者や一流工の見える化として、技能の測定・分析については様々な建築技能を対象に行われてきており、国土交通省から建設技能者一人一人の生産性向上を目的に、多様な技能・技術の取得の機会を提供する建設リカレント教育の一環として、業界団体、企業、大学、教育訓練施設等の監修・協力のもと、富士教育訓練センターを運営する職業訓練法人全国建設産業教育訓練協会が制作し、熟練度に応じた段階的な教材が示されている[2]。左官工においても、測定・分析、可視化された情報に基づく、動画を含むe-Learning教材が開発されている[3]。一方で、後藤田・蟹澤らが同省の委託事業である「建トレ・デジタル教材ライブラリー」において、左官工を含む複数の工種に対し、スポーツ科学の手法で用いられる複数の解析を行い、教材開発を行っている[4]。この教材では、工種ごとの「身体知」を取り扱うだけでなく、特定の工種に対する他工種との関連も含めて見える化を行うことにより、教材利用者に、技能映像を「見て学ぶ」だけにとどまらない「体験」また「発見」の期待を述べている。これら期待として、工種の壁を越えた類似の姿勢・動作を理解することによる新たな思考（試行）例には、

- 他工種を参考に、教材を「見よう見まね」をするのではなく、自身で必要な情報の取捨選択すること
- 補助運動やイメージトレーニング等、他工種との共通的な訓練方法の探索すること

が挙げられる。こうした観点からの「体験」また「発見」は、より効率的かつ安全性の高い姿勢・動作を実現するために、技能者における施行時の作業だけでなく、その学びと成長の段階で、自身が意識すべき体の使い方の「判断」に関わる「頭脳知」の一端の獲得につながる可能性がある。

B:具体的な見える化の手法

左官工に限らず、体の部位のうち、姿勢、動きとして、どの部位が重要箇所であるか調べ、その姿勢や動きを見える化する必要がある。左官工の塗り動作について、基本的には反復的な塗装動作を時空間の変化とみなすことができる。例えば、マーカーによるモーションキャプチャを用いて、図 2-2-1、図 2-2-2 に示す測定環境でその変化のパターンをとらえることができる。図 2-2-3 からは、身体の各部位の波

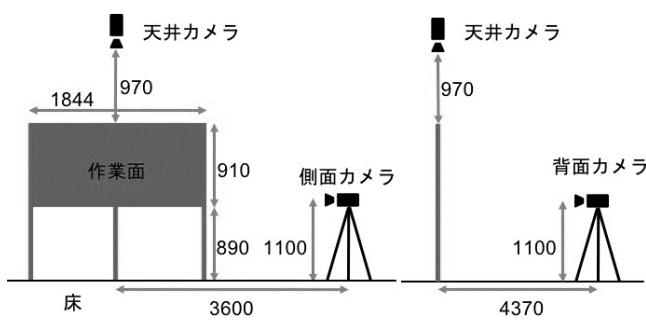


図 2-2-1 塗装作業環境立面図 二方向

(文献[5]より引用)



図 2-2-2 解析風景 左:側面カメラ

右:天井面カメラ (文献[5]より引用)

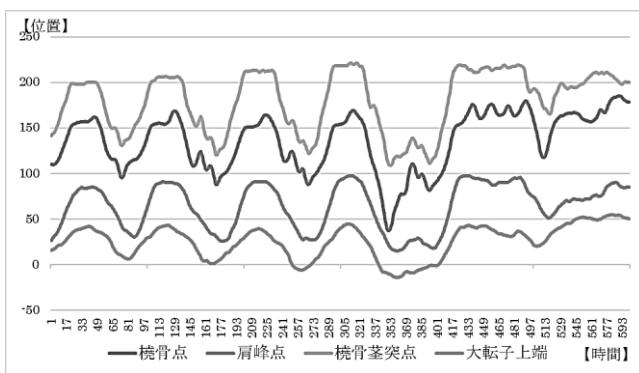


図 2-2-3 左官塗装熟練技能者の下半身の動き

(文献[5]より引用)



図 2-2-4 熟練技能者の基本姿勢

(左:左官工 / 右:塗装工)

(文献[5]より引用)

横軸の時間変化とともに、作業面垂直方向の前後移動の中で、各部位の座標変化(山/谷)が、明確に現れていることが分かる。なお、各部位の連動については、主に下半身の動きとして大転子上端(両脚の骨のうち骨盤と接する部位で皮膚の表面から近い箇所)のマーカーに対し、上半身の各マーカーの動きが追

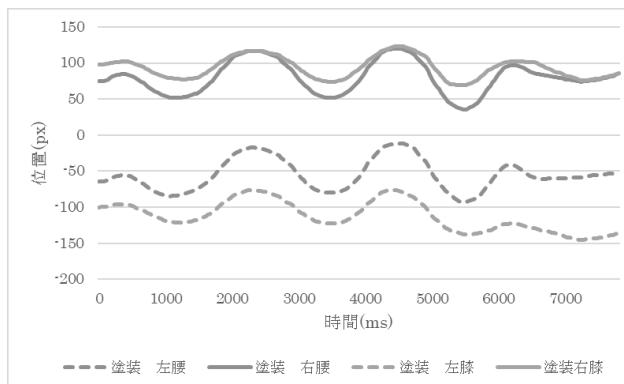


図 2-2-5 塗装工の熟練技能者の下半身の動き
き

文献[1]より引用

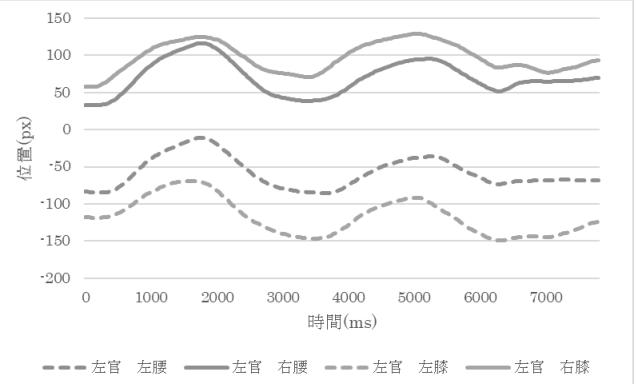


図 2-2-6 左官工の熟練技能者の下半身の動
き

文献[1]より引用

従していることを示している。つまり、塗りの動作は、上半身は作業を行いながらも、一定の姿勢がよく保たれ、下半身の動作による座標変化が、上半身の位置変化にもそのまま表れている。

また A : 見える化の定義と意義に示した、塗装工と左官工を比較した場合(図 2-2-4)、それぞれの熟練技能者の動きには、動作の速度(周期)等は異なるものの、下半身の部位(膝等)の動きと安定性において、左官工と共に傾向が明らかになった。図 2-2-5 および図 2-2-6 のように実線(左/右の腰)、破線(左右の膝)の時間変化が共に連動している。両職人とも上半身は、常に道具をもって作業を行っているにもかかわらず、同じ部位であれば、それぞれ左右が協調している。また異なる部位間であっても時系列上の位置変化の特徴(山/谷)が明確に現れ、共に下半身は常に安定している共通性を見出すことが分かる。

【2-2-3】今後の展望

これまで、マーカーを用いるモーションキャプチャは AI による骨格推定を用いた手法[7][8]等を用いることでおおよその骨格座標が取得可能となり、専用の測定環境を必要とせず、動作映像があれば容易に分析が可能となっている。



図 2-2-7 (左 : 入力静止画, 中央 : 入力時系列動作データ, 右 : 出力された AI による生成動画)
 ([9]の映像より一部を切り出し)

なお, A : 見える化の定義と意義に示すように, 熟練者の動画を視聴するのが一般的であるが, 熟練者のコンテンツを視聴するだけでは, 一度の訓練で目標となる動作と初学者の現状動作との差異が大きすぎる場合, その動作の理解が十分及ばない可能性がある. そこで, オリジナルの教材動画上の熟練者と初学者の骨格動作を検出後, 初学者の熟練度を加味し, 目標とする動作軌跡を調整する試みが提案されている[9]. 図 2-2-7 のように, 容姿は静止画から生成 AI により初学者を模した教材動画を生成することにより, 初学者の理解を促進すると同時に, 自身の姿で教材が生成されるため, 自己効力感が向上することも期待できる. この取り組みは, コンソーシアムで賞される等, 産業界からも人材育成の観点で着目されている[10].

参考文献

-
- [1] 国土交通省, 最近の建設業を巡る状況について,
https://www.mlit.go.jp/tochi_fudousan_kensetsugyo/const/content/001493958.pdf
 (参照日 : 2024-7-18)
 - [2] 国土交通省, 建設技能トレーニングプログラム（建トレ）, <https://kensetsu-shokunin.jp/>
 (参照日 : 2024-7-18)
 - [3] 国土交通省, 建トレ・デジタル教材ライブラリー, <https://dx.kentore.jp/>(参照日 : 2024-7-18)

- [4] 高井 由佳, 後藤 彰彦, 佐藤 ひろゆき, 濱田 泰以, 熟練職人の形式知を取り入れた京壁塗り習熟 e ラーニング教材の構築, 教育システム情報学会誌, Vol.33, No.2, pp.84-93, 2016.
- [5] 後藤田 中, 蟹澤 宏剛, スポーツ科学を応用した建築技能の見える化に関する研究－その1 モーションキャプチャの適用可能性に関する検討－, 第36回建築生産シンポジウム論文集, pp.71-76, 2021
- [6] 後藤田 中, 蟹澤 宏剛, スポーツ科学を応用した建築技能の見える化に関する研究－その1 モーションキャプチャの適用可能性に関する検討－, 第36回建築生産シンポジウム論文集, pp.71-76, 2021
- [7] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh, OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.43, No.1, pp.172-186, 2021.
- [8] ネクストシステム, VisionPose, <https://www.next-system.com/visionpose>
(参照日: 2024-7-18)
- [9] 小林 春一, 田中 凌太, 後藤田 中, LIGP2024 「動画生成AIを用いたスキル習得支援法」,
<https://youtu.be/nGlgOicyzG0> (参照日: 2024-7-18)
- [10] ラーニングイノベーションコンソシアム, ラーニングイノベーションランプリ 2024,
<https://ligp.gingerapp.co.jp/> (参照日: 2024-7-18)

【2-3】踊り（よさこい）における取り組み

【2-3-1】ダンス全般の指導の現状と教育支援の状況

平成 20 年度の新学習指導要領により、中学校でのダンスの授業が必須となっている[1]。教育機関でのダンス指導者の育成を目的とした団体である一般社団法人ダンス教育新興連盟 JDAC が活動している[2]。この団体は、スポーツ庁・厚生労働省・各教育委員会後援のもと、全国各地でダンス指導の研究会を主催している。文部科学省の学習指導要領に基づいた研修内容で、ダンス教育指導者のメイン資格である「Basic」の養成講座を提供している。この資格は、ダンスと教育、両面での指導力を併せ持つメイン資格で、教員、学生、教育機関で指導者に適したものである。

一方で、指導者からの指導ではなく自己練習中心とした機会の取り組みも見られる。システムからの評価に基づいた「振り返り」として利用可能なサービスも提供されている。ダンス技能の定量的な評価としては、エイベックス・マネジメント株式会社がスキルチェックアプリ「Dance COMMUNE」を開発し、リリースしている[3][4]。このアプリケーションは、姿勢推定 AI エンジンを活用した骨格検出システムでダンスの動きを座標データ化して、独自の育成ノウハウをもとにスキル評価をしている。また、周ら[5]は、カリキュラムや育成スキルと学習者の比較からスキルチェックをするのとは異なり、姿勢推定を用いて学習者と複数のダンサーを比較することでダンススキルの向上を狙った練習の支援方法である SyncUp を提案している。このシステムでは、ダンス動画から複数のダンサーのポーズを抽出し、体の各部位でのユークリッド距離を計算し、人間が感じる同期度の高さを機械学習によって推定することで、どの場面にダンスのズレが生じているのかをユーザーに提示している。このように、身体動作映像を解析しそこからダンスのズレを判断し、修正を促す研究も行われている。

本 WG では、ダンスにおける前者の対面的な教育現場、指導現場で、指導者から提供される定性的な情報と、姿勢推定 AI を活用した姿勢推定データからの、姿勢・動作の矯正に向けた定量的な情報の相互活用を検討する。これにより、同分野における「頭脳知」の捉え方・育成方法にも寄与すると考えられる。

【2-3-2】よさこい指導の見える化の取り組み

A:見える化の定義と意義

身体動作においては、スポーツオノマトペと呼ばれる情報を利用することにより、指導者の意図に伝達つながることが吉川[6] や藤野ら[7] [8] の研究で示唆されており、ダンス指導においても有用な効果をもたらすことが期待される。なお、ダンスには、様々なジャンルおよびその文化が存在するが、本 WG では、日本・海外からも人気を得ている「よさこい」の振り付けの練習を対象と

する。国内のよさこいの対面的な団体練習では、指導者が、しばしば「スポーツオノマトペ」を用いており、直感的に理解しやすい指導を実現している。一方で、個人練習は、指導者の身体動作を録画した映像を用いて団体練習の際に教授された映像を、踊り子が確認し、自分で反復して覚える作業や応用技術を身につける機会となっている。このような環境下では、通常、踊り子は動作映像を見るだけでは、自己の動作との違いから踊りのポイントに気づいた上で、すぐに正しく踊ることが難しいと考えられる。このため、自己練習での振り返りの機会に、指導者が提供するようなオノマトペを映像上のアノテーションとして、動作のイメージとなる情報を伝えること[9]への援用が期待される。よさこいの場合は、少数の指導者に対して、多くの踊り子が存在すること、個人練習と機会が非常に限られる集団練習を繰り返すため、2つの練習機会をうまくつなぐことが求められる。このため、ここでの見える化の定義は、以下の通りである。

- 身体動作を定量的に分析し、指導者と踊り子における動作の差異を確認し、指導の対象箇所を抽出
- 同指導箇所に対し、スポーツオノマトペを当てた場合に、オノマトペがどのように表現されるか

この見える化に伴う意義としては、将来的に、身体動作の定量的なデータから、対面指導に用いられるスポーツオノマトペに自動的に対応させ、動画に重畠することにより、集団練習と個人練習のシームレスな学習機会の実現が可能となることが期待される。つまり、指導者の指導に関する「頭脳知」（改善のタイミング・身体部位について、指導者による手本との違いとしてどのように指導上、感覚的に伝えたいか）を踊り子の「頭脳知」に継承できる可能性がある。先輩「踊り子」から後輩の「踊り子」へ継承の一助となることが期待される。

B:具体的な見える化の手法

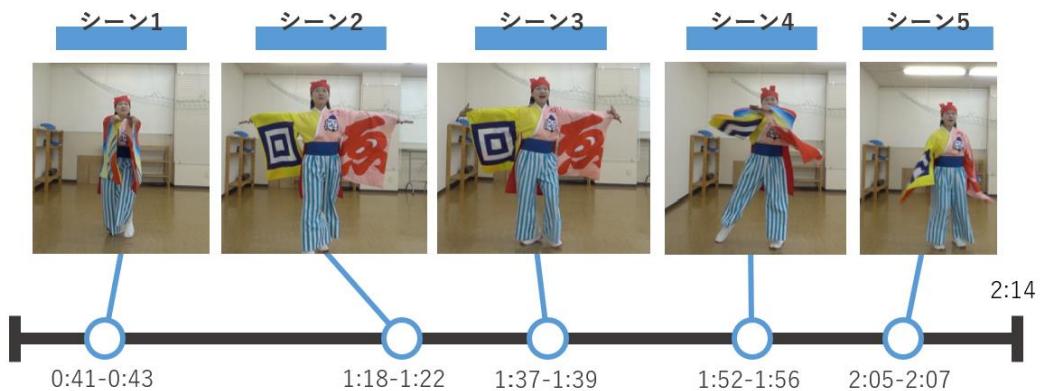


図 2-3-1 対象となる振付シーンの候補

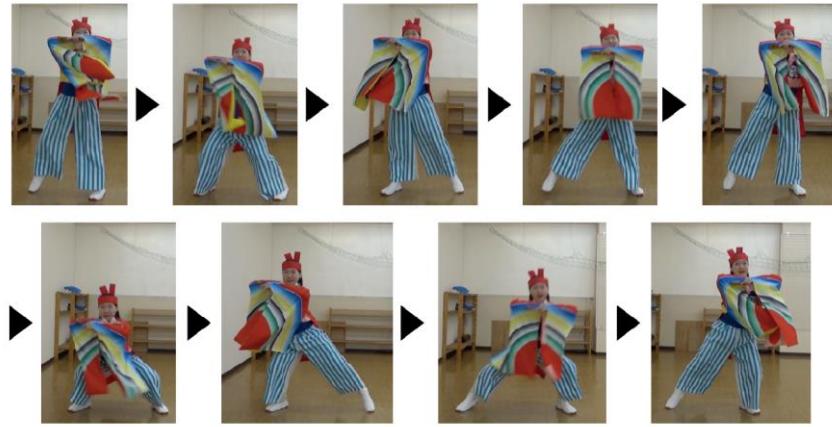


図 2-3-2 シーン 4 における指導者の時系列な動きの様子

まず、図 2-3-1 に示す 2 分 14 秒程度の振り付けに対し、主に衣装の動きに着目し、指導機会の対象とするシーンについて、指導者を含むよさこい経験者 3 名の意見により決定した。印象残ったシーンと理由を回答では、複数のシーンが回答されたが、シーン 4 は、図 2-3-2（下段/左から 3 つ目）のように、衣装の柄を合わせるという動作が含まれており、より学習者間で動作を合わせる繊細さが要求されるシーンとなっている。続いて、実際に、このシーンにおいて、経験に基づき、体の各部位にどのような差異が生じているか調査した。

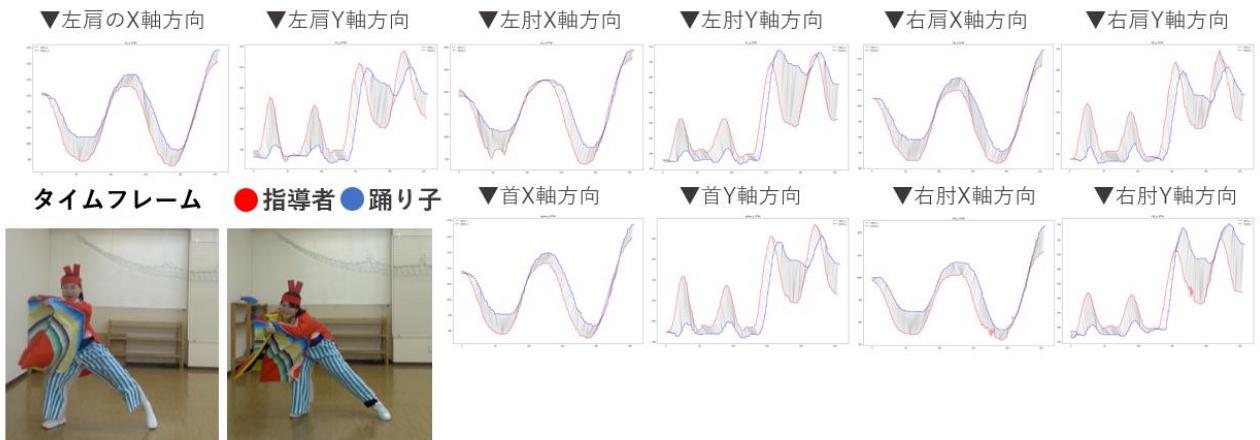


図 2-3-3 指導者と踊り子の各部位の時系列変化 (X 軸: 画像左右方向, Y 軸: 画像上下方向)

このシーンに対し、指導者と踊り子の動作を撮影し、それぞれ姿勢推定 AI (VisionPose) を用いて、体の複数の部位に対して、動的時間伸縮法 (Dynamic Time Warping, 以下: DTW) による時空間の差 (同様の姿勢と思われる時間の差、空間の差) の両方を考慮して類似性の確認をおこなった。「指導者」と指導を受ける「踊り子」で、図 2-3-3 に示されるように、空間的・時系列的

に定量的な差異が生じていることを確認した。さらに、シーン4に対し、分析した差異を示さず映像のみを見てもらう形で、36名（うちよさこい経験者13名、未経験者・未回答など23名）にアンケート調査し、図2-3-4のようなオノマトペの回答が得られた。

これらオノマトペの分類を藤野ら[7][8]のスポーツオノマトペの内容表現を参考に分類した。指導者と学習者の身体動作について、DTWの分析結果から、指導者と踊り子の際が生じている部分について、図2-3-5のように腕をそろえながら、左右上下に全身が「揺れる動作」に差異が生じた上で、差異がオノマトペとしても異なる形で表れていることが分かった。また、シーン4の場合、図2-3-6に示すように、「power」、「speed」、「rhythm」として、特に顕著に表れていることが分かった。

回答者	踊り子A	踊り子B	回答者	踊り子A	踊り子B
A	よいしょつ	えっさほいさつ	S	シュッシュツ	ズンッズン
B	ぐわんぐわん	ゆらゆら	T	シュー	ドンッ
C	によきによき	によきによき	U	ツトン	ツトン
D	どどんつ	どどん	V	ユーラユラ	トン
E	ドンバ、ドンバ	ンバンバ	W	ユーラユラ	ユラユラ
F	スー	ハツ	X	うんしょっうんしょつ	すんっすんつ
G	ひゅーひゅー	すーいすーい	Y	スー	トン
H	どんぶらこ～どんぶらこ～	ゆらゆら	Z	ビヨーン	グッ
I	ズンズン	ズンズン	AA	ワーン	ビヨ ビヨ
J	グン、シュツ	ユラ、ユラ	AB	ぐっぐっ	ちょん
K	ホイ	ホイ	AC	シュッシュツ	ソッソツ
L	ぱつ	ヨツ ヨツ	AD	グワーッ	スイーツ
M	シャキッ	チヨツ	AE	ズンッ	ズン
N	えっさほいさ	ゆらゆら	AF	ウーワウーワ グゥーラグゥーラ	ウーワウーワグーグーグ
O	シュー	すー	AG	スー	ふわっ
P	ヨーコツ	トントンツ	AH	スイスイ	すーっすーっ
Q	スル	ハイハイ	AI	ホイツ	タンタン
R	フワー	タンタン	AJ	ぶーらん！	ゆーらんゆーらん

図2-3-4 シーン4に登場する動作の印象をオノマトペに紐づけた回答(18名：A～AJ)

※踊り子Aの列が指導者に対応

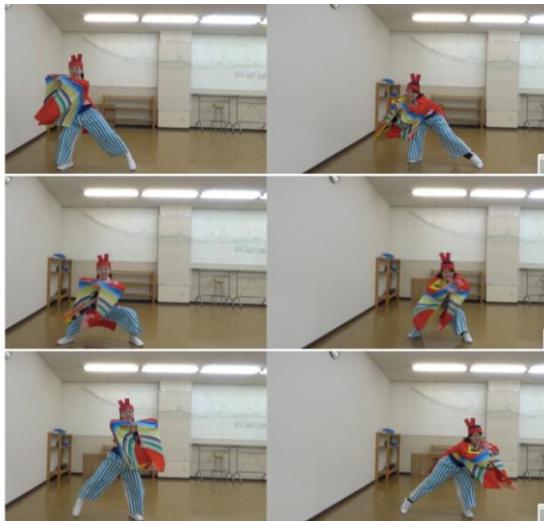


図 2-3-5 指導者と踊り子の姿勢の違い

	表現内容	踊り子 (イ)	踊り子 (ロ)
power	強さ・力	22	38
speed	速さ 動作の流れ	27	11
rhythm	動作の間隔 テンポ	22	30
timing	動作の効果を 最大にする	8	11
その他	感情・掛け声 集中力	19	8 (%) (小数点以下切り捨て)

図 2-3-6 シーン 4 に対し表現されたオノマトペの分類

【2-3-3】 考察

今回の調査では、対象の動作はスピード（時系列）の変化よりも姿勢（空間）が重視される動作であった。このため、仮にスピードをより考慮しなければならないシーンや動作が対象となると、時系列なズレに影響し、図 2-3-3 のグラフの左右方向の差異が大きくなり、それがオノマトペとして表出する可能性がある。ダンスであれば、ヒップホップなどのスピードの強弱の変化が激しい場合、この傾向がみられる可能性もある。なお、衣装を身に纏って舞踊する身体運動は、オノマトペとしての表現が多様であるため、分類しきれなかったものもあり、図 2-3-6 での「その他」に含まれている。このことは、衣装も含めたダンスは、衣装の動きも含めた見栄えが求められるため、衣装の動きも想定した「頭脳知」が存在している可能性を示唆している。

なお、スポーツオノマトペ自体は、対象とする身体動作の種類に図 2-3-4 に示されるように、視覚的に同じ動作であっても、異なる印象でとられていることが分かる。オノマトペ自体は、頭脳知を部分的に言語表現しているとも捉えられるが、異なる二者間では、同じ言語・感覚を共有することは難しい。個々人の身体動作の定量的なデータから、対面指導に用いられるスポーツオノマトペに自動的に対応させる意義はまさにそこにあり、今後は、特定の個人が、異なる身体運動を対象とした際に、同様の動作において、同じオノマトペを使いたくなるか等、調査を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 文部科学省, 中学校学習指導要領解説保健体育編,
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/01/21/1234912_009.pdf (参照日 : 2024-7-18)
- [2] 一般社団法人ダンス教育新興連盟 JDAC (ジェイダック) , <https://www.jdac.jp/>
(参照日 : 2024-7-18)
- [3] Dance COMMUNE, <https://dancecommune.com> (参照日 : 2024-7-18)
- [4] 姿勢推定 AI エンジン「VisionPose (ビジョンポーズ)」: エイベックス・マネジメント株式会社, <https://www.next-system.com/visionpose/recent-case/dance-commune> (参照 2024-7-18).
- [5] 周中一, 矢谷浩司, 人体ポーズ分析を応用したシンクロダンス練習支援システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2020-HCI-190, No.7, pp.1-8, 2020.
- [6] 吉川政夫, 運動のコツを伝えるスポーツオノマトペ, バイオメカニズム学会誌, Vol.37, No.4, pp.215-220, 2016.
- [7] 藤野良孝, 吉川政夫, スポーツ領域で使用されているオノマトペの実態とその使用意識ー, 日本スポーツ心理学会第 28 回大会研究発表抄録集, 88-89, 2001.
- [8] 藤野良孝, 井上康生, 吉川政夫, 仁科エミ, 山田恒夫, 運動学習のためのスポーツオノマトペデータベース, 日本教育工学会論文, Vol.29, Suppl pp.5-8, 2006.
- [9] Takuya Ishioka, Naka Gotoda, Christian Alo, Takayuki Kunieda, Rihito Yaegashi, Toshihiro Hayashi, Suitable Judgement Assistance of Visualization Method for Sensor Log Overlapping on Daily Video, Proc. of CELDA2018, pp.168–176.

【2-4】高齢者の動き

様々な分野・産業において団塊世代（1947～1949年生まれ）の熟練技術者の存在はかけがえのないもので、その貢献度は非常に高い。団塊世代の熟練技術者や技術者が次々と60歳の定年を迎える、2007年に企業にとって不可欠な知識、経験や技能をもつ熟練技術者が現場から大量にいなくなる多大な影響が起こることが懸念される。従来、職人を育てる方法と弟子入り（徒弟制度）し、技能を習得する手法で行われていた。弟子が匠と寝食をともにし、技や知恵や勘、仕事に対する心構えなどを身につけるというものであった。しかし、若手にとっては将来の見通しが立ちづらく、待遇が不安定な場合もある。様々な分野のなり手不足が深刻化する一因となっている。これらの解消の一助として、ICTやAI等を用いて職人育成が取り入れられているが、熟練技術者の多くが高齢であり、身体知（個人が実際に身体を使って習得した知識）は運動機能の脆弱化や加齢は脳の動きとどのような連携しているのか、理化学研究所の野田氏に登壇していただき、知見を広めていく。

ここからは野田氏の講演をまとめていく。

野田氏の講演は、運動機能の脆弱化を予知は、日常の動作の計測で予兆検知を可能であり、予兆検知できれば予防方針立案も可能になる。歩行動作のような日常動作を測定することで、運動機能や反射能力などを評価するシステムを開発し、脆弱化の予知技術や予防技術の確立を目指している。

65～74歳と75歳以上の被保険者、それぞれ要支援、要介護の認定を受けた人の割合を見ると、65～74歳では1.4%、2.9%であるのに対して、75歳以上では8.8%、23.1%となっており、75歳以上になると要介護の認定を受ける人の割合が大きく上昇する。要介護者等と同居している主な介護者の年齢は、男性では72.4%、女性では73.8%が60歳以上であり、いわゆる「老老介護」のケースも相当数存在している。介護や支援が必要となった主な原因としては、「認知症」が最も多く16.6%となっている。次いで「脳血管疾患（脳卒中）」16.1%、「骨折・転倒」13.9%、「高齢による衰弱」13.2%、「関節疾患」10.2%である。骨折転倒や脆弱化関節疾患が約2割を占めている。

歩行動作のような日常動作を測定、さらに、通常歩行だけでなく、段差や敷居などの障害物が存在する状況での回避動作を測定するために、ビデオスルー型MR装置、HMD型VR装置であるOculus RiftにHMD用ステレオカメラであるOvrvision Proを着装したものを用いた。これに身体動作計測のための光学式モーションキャプチャシステムを組合せ、映像提示の有無による歩行様態を計測できるシステムを用いた測定環境を構築した。

歩行様態を計測できるシステムとは、図（2-4-1）中央付近の床面にある黒色の矩形領域にはフォースプレートを配置し、歩行者から受ける力をベクトル量として計測できる。40cm四方のプレー

トを8枚並べた40cm×3m20cmの領域が計測対象であり、実験協力者にはこの上を歩行させる。それを囲むように並んでいる三脚にはモーションキャプチャ用の光学センサがマウントされており、歩行領域全周をカバーできるよう計16台を配置した。

実験協力者はMR装置を装着し、モーションキャプチャ用のマーカを着けて歩行する。両足6点における最高地点の平均値はMR装置を装着しない場合と比較して、装着した方がほぼ全ての実験協力者において低くなることがわかった。つまり、MR装置装着時には平常時よりも足が高く上がらなかつことになる。MR装置を装着したときに歩行の様態が変化することが示唆された。

MR装置を装着した景色を見たとき、視野の狭さなど違和感があり、少し恐れがある歩き方が小さくなってしまうことがあるのかと推測する。



Measurement Environment for Motion Measurement using Mixed Reality

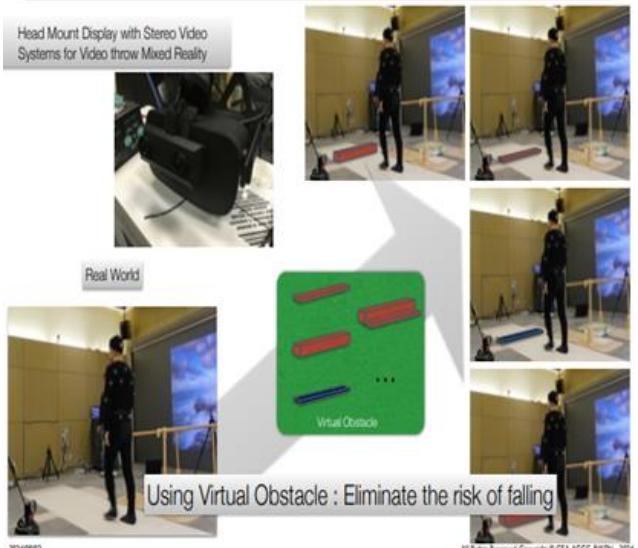


図 2-4-1

【2-4-2】考察

野田氏の講演から暗黙知、特に匠や熟練工の身体知で体得した暗黙知を次世代への伝承、伝達を考慮した場合、熟練工の加齢や運動機能の脆弱化などを考慮し、MR装置を装着した景色を見たとき、視野の狭さなど違和感があり、少し恐れがある歩き方が小さくなってしまうなど、人は少しの違和感が被験者や受講者の不安を恐れを感じやすい点などを含めて、MR装置などのICT機器を用いた授業転換などの場合は分かりやすさなどの利点もあるが、熟練工や匠が持っている本来の知識や技術が映像に反映されるように、心理的な側面を考慮する必要があると言及できる。

【2-5】集団スポーツにおける取り組み

【2-5-1】集団スポーツ（ボール競技）の現状と課題

近年、スポーツデータ解析の分野では、IoT や映像解析技術の発展によってさまざまなトラッキングデータが取得可能となっている。サッカー・フットサル等のゴール型集団スポーツにおいても同様であり、走行距離・位置・速度のデータなどが戦術に活用されている。このトラッキングデータの活用はアマチュアスポーツにも広まっており、戦術理解や試合映像の振り返りへの活用が期待できる。

例えば、サッカー・フットサル等のゴール型集団スポーツにおいて、ボールを触れていない時間である、オフザボールが重要とされている[1]。フットサルにおいて、オフザボールの時間は 1 試合(40 分)あたり、38~39 分と言われている[2]。オフザボールの動きの質を向上させることができると、ボールを受けた時のプレーに余裕が生まれ、次のプレーの幅や質に関わる。オフェンス時にオフザボールに求められる動きは主に二つ存在する。一つ目が「自分自身のスペースを広げること」、二つ目が「味方選手のスペースを広げること」である。

本 WG では、身体知・頭脳知に着目していることから、身体性を考慮した上で、集団スポーツにおけるオフザボールに関する研究[3]を参考に検討を行った。選手の抽出姿勢を反映し、段階的な領域を有した離散ボロノイ図を用いてオフザボール評価は、本 WG における「頭脳知」の捉え方も寄与すると考えられる。

【2-5-2】手段スポーツ（オフザボール）の見える化の取り組み

A:見える化の定義と意義

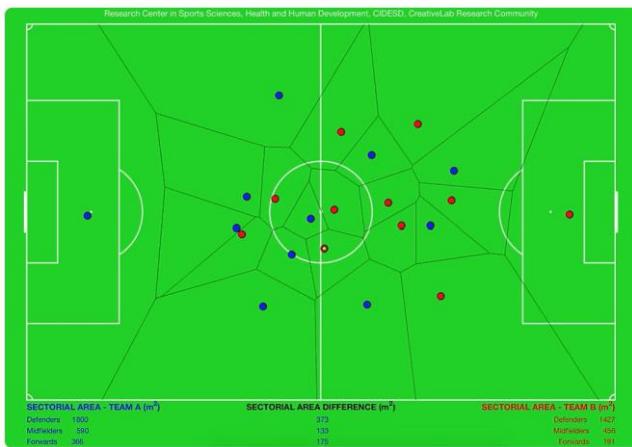


図 2-5-1 サンパイオ氏の分析映像の一部 ([4])

スペースを可視化するツールの一つにボロノイ図がある[5][6]。ボロノイ図とは平面上に配置された複数の母点に対して、どの点に一番近いかによって平面を分割した図形である。しばしば、ボロノイ図は地理情報処理の分野で施設の利用権を求める際に用いられてきた。この施設を選手に置き換えることで、その選手の持つパーソナルスペースを表すことができる。同様に、ボロノイ図を用いることで、選手の持つパーソナルスペースの推移から、オフザボールの評価を行うことが可能であると予想される。

しかし、ボロノイ図をゴール型集団スポーツに当てはめた際には課題がある。従来のボロノイ図では、コート内の全ての領域が誰かの占有領域であり、選手同士が影響を及ぼし合い、動的に状況が移り変わるゴール型集団スポーツにおいて、誰のパーソナルスペースでもない共有スペースがない点が課題である。またボロノイ図の性質上、母点同士の距離によって図形が決まるため、選手の体の向きや速度が反映されない点が課題である。このため、現実と異なった部分が存在し、「頭脳知」における判断に相当する部分に活用しづらくなっていた。そこで、以下の見える化の定義を行う。

- フットサルにおける抽出姿勢を考慮したボロノイ図を生成する
- フットサルにおけるオフザボール動きによる相互チームへの影響を定量化する

このような可視化により、ボール周辺の選手の動きに注目しがちな、集団スポーツの戦略において、ボールをもたない選手の動きを考慮したプレーの判断は「頭脳知」の一端の獲得につながる可能性がある。

B:具体的な見える化の手法

図 2-5-2 のように、体育館のギャラリーより香川大学フットサル部によって撮影・提供される映像の中から、ゴール前まで迫った場面の動画を用いて分析をおこなった。各選手のパーソナルスペースの推移を調査するため、動画の条件として、映像内の人物が映像時間内に増減しない区間とて いる。被験者は 18 から 21 歳の間であり、画面内に 8 人である。なお、図 2-5-3 に示される姿勢推定 AI として OpenPose が選手の服の色により認識ができないなどの現象は起きなかった。実験に使用する試合映像は、約 1 秒で 25 フレームとしている。撮影画質はフル HD、フレームレートは 29.97fps であった。

フットサルにおいて、試合映像から選手の骨格を推定し平面視点映像へ変換する方法を検討する。OpenPose によって取得できる身体の部位は、図 2-5-3 示されるように、目、鼻、方、腰、足首など合計 25箇所である。次に OpenPose によって取得した足首の座標を、コートを用いて射影変換することで、平面視点へ変換を行う。射影変換とは、平面から平面へ写像する次式で表される画像状の変換である[7]。射影変換前の試合画像を図 2-5-4 に、射影変換後の画像を図 2-5-5 に示す。

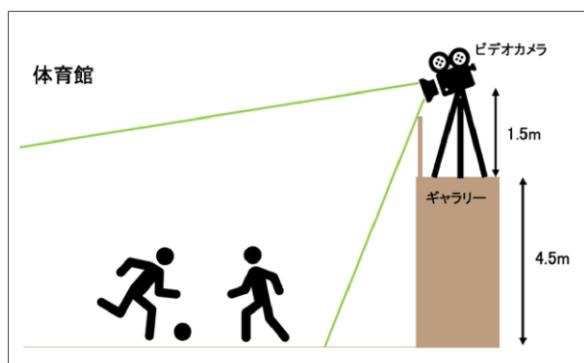


図 2-5-2 試合の撮影時の配置図

(文献[3]より引用)

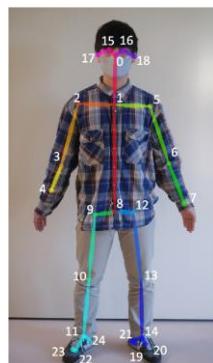


図 2-5-3 OpenPose の骨格位置

(文献[3]より引用)



図 2-5-4 射影変換前の試合画像



図 2-5-5 射影変換後の試合画像

(文献[3]より引用)

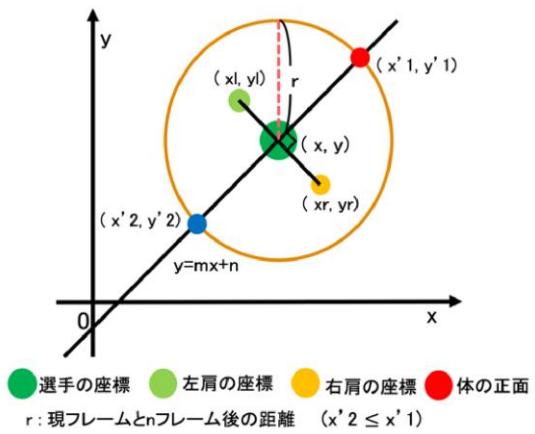


図 2-5-6 体の向きの推定例

(文献[3]より引用)

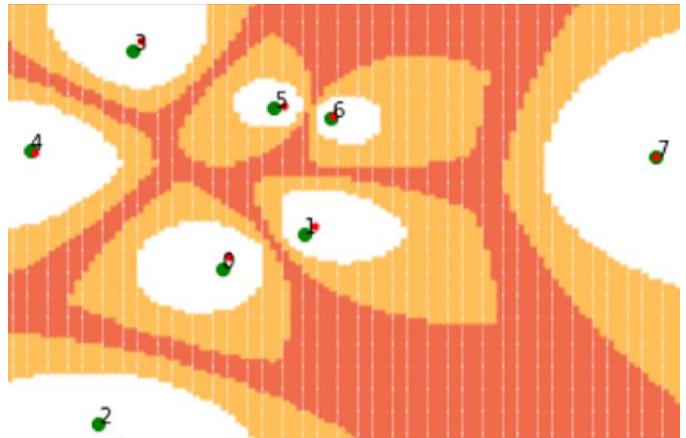


図 2-5-7 体の向きを考慮し母点を移動させたボロノイ図

(文献[3]より引用)

(文献[3]より引用)

ボロノイ図に体の向きを反映し、母点を移動させる手法を検討する。体の向きの推定は Adrià らの提案した手法を用いる[8]。Adrià らは、OpenPose で取得した骨格やフィールド状の位置から推定される視野、ボールの位置を活用し、各要素を重み付けすることで選手の体の向きを識別した。本研究では、OpenPoseにおいて肩に当たる座標（図 2-5-3 の 2 と 5）を用いる。射影変換行列を用いて変換した選手の右肩と左肩の座標から、両肩の座標を結ぶ線分の垂直二等分線を求め、図 2-5-6 のように、体の向きの推定を行なっている。

本研究では、共有スペースとパーソナルスペースを表現するために、段階的な領域を有する離散ボロノイ図を用いる[9]。離散ボロノイ図の特徴として、段階的に領域を分けることにより、選手の周囲にあるボロノイ領域のみをとし、面積を計算することが可能である。本研究では、境界領域とみなす母点から定義した相対距離差で表現したボロノイ図を示す（図 2-5-7）。頭脳からの観点からは、ボロノイ領域を 3 段階に分け共有スペースを明らかにすることにより、選手が試合映像を振り返る上で、選手目線で共有スペースが広い場所へのオフザボールの動きやドリブルなどの反省を促せる可能性がある。選手は広い共有スペースへ移動することで、試合状況を優位に運ぶことの検討を促せる可能性がある。

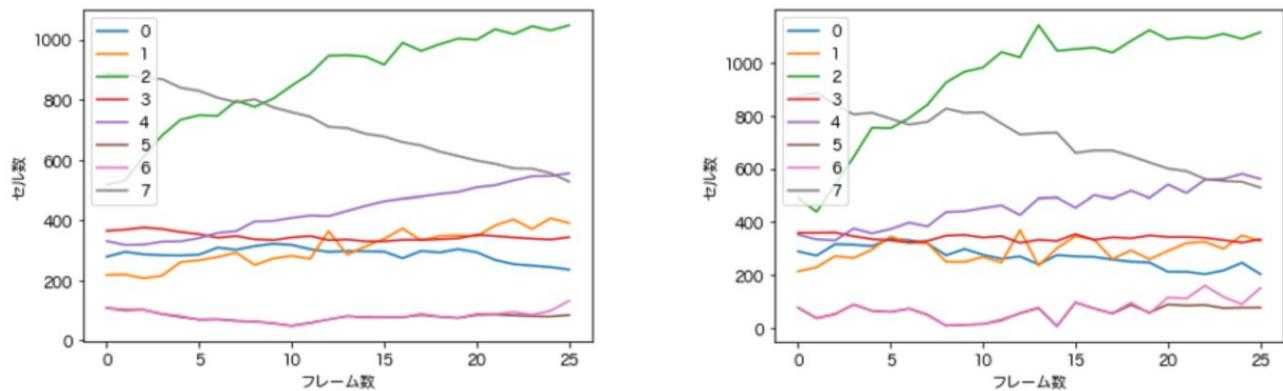


図 2-5-8 体の向きの考慮無し(左)考慮有り(右)のパーソナルスペース推移
(文献[3]より引用)

	選手0	選手1	選手2	選手3	選手4	選手5	選手6	選手7
体の向き考慮無し	-15%	79%	103%	-6%	68%	-21%	22%	-41%
体の向き考慮有り	-30%	53%	127%	-7%	59%	0%	97%	-39%

図 2-5-9 体の向きの有無の違いによるセル数の変化率の比較
(文献[3]より引用)

実験で使用した映像から、選手らのパーソナルスペースとチーム全体のスペースの面積推移を示す。初めに、本実験で対象とした映像における、パーソナルスペースの体の向きの考慮有りの面積推移と考慮無しの面積推移の図をそれぞれ図 2-5-8 に示す。なお、選手 0, 2, 4, 5 がオフェンスチームである（選手 5 がボール保持者）。体の向きの考慮の有無を比較すると、体の向きの考慮の有りの方が、選手 2 の 2 フレーム目から 10 フレーム目までのセル数の上昇幅が大きい点や、選手 1 のセル数の上昇幅が小さい点が挙げられる。続いて、図 2-5-8 における体の向きの考慮の有無によるパーソナルスペースの面積推移から、このフレーム間における各選手のセル数の変化率を図 2-5-9 に示す。考慮の有無によって変化率が大きく異なる選手がいることが分かる。

【2-5-3】今後の展望

集団スポーツ（ボール競技）における映像は、戦略の検討のための練習・試合映像は膨大な量となり、人による視聴を通じて精査を行う箇所を絞ることなどが期待される点である。ボールの動きにのみ着眼すると、ゴール直前、カウンターなど、人の動きが大きなところに着目されがちであるが、このようにオフザボールの観点から、その共有スペースの変化などに着目すると、従来では見えてこない重要なシーンを抽出することが可能となり、集団スポーツにおける頭脳知の検討につながる可能性がある。

今回の取り組みでは、体の向き（正面）を推定した上で、その向きを考慮し、母点を移動させたボロノイ図とした。また、共有スペースとパーソナルスペースを表現するために、段階的な領域を有する離散ボロノイ図とした。このような拡張表現に相当する情報変換を脳内で人が行っている可能性は確認できていないが、多くの人がこのような試合の観戦やそれを撮影した実映像から情報変換することは困難と思われる。熟達したコーチや選手がこのような情報を活用している場合、感覚的なスペースの捉え方代替表現している可能性があり、こうしたツールを利用した詳細な調査を行うことで、その頭脳知の解明につながることが期待される。

参考文献

- [1] 久保島康裕, 星名卓郎, 池上敦子, 大倉光宏, 鈴木滋, サッカーにおけるオフザボールの動きの重要性, ジョイント・シンポジウム講演論文集, B22, pp.297-300, 2004.
- [2] 村松尚登, 最速上達サッカーオフ・ザ・ボール, 成美堂出版, 2014.
- [3] 梶原大輔, 後藤田中, 大江孝明, 八重樫理人, 米谷雄介, 林敏浩, フットサルにおける抽出姿勢を考慮したボロノイ図の可視化によるオフザボール評価の提案, 電子情報通信学会 教育工学研究会 信学技報, Vol. 120, No. 424, ET2020-73, pp.121-126, 2021.
- [4] Geometry of football (Voronoi), <https://www.youtube.com/watch?v=ZAz9mDlsWgQ>
- [5] 藤村光, 杉原厚吉, 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価, 電子情報通信学会誌. D-II, J87-D-II, pp.818-828, 2004.
- [6] 青木優, “サッカーの試合に於ける占有面積と得点差の関係”, スポーツと人間静岡産業大学論集, Vol.4, pp.1-7, 2020 年.
- [7] 高橋正樹, 中村俊之, 三科智之, 機械学習を利用した複数視点映像からのサッカーボール追跡, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.38.51, ME2014-105, pp.5-8, 2014.
- [8] Adrià Arbués-Sangüesa, Gloria Haro, Coloma Ballester, Adrián Martín, Head, Shoulders, Hip and Ball... Hip and Ball! Using Pose Data to Leverage Football Player Orientation, BARÇA SPORTS ANALYTICS SUMMIT 2019, 2019.
- [9] 奥俊信, 曖昧な境界を有する離散ボロノイ図の特徴, 都市計画論文集, vol42-3, pp.463-648, 2007.

【2-6】医・歯学系教育

【2-6-1】医・歯学系教育の現状と課題

高等教育における医・歯学系科目には、医療機器を用いた実習科目がある。実習科目はより現場に近い環境で行う必要がある。しかし、例えば、放射線装置操作実習では、放射線治療装置が非常に高額なため利用回数が制限される・被曝等の危険を伴う・実際の患者を対象にできない等の課題があり、その解として XR:eXtended Reality(VR: Virtual Reality/AR: Augmented Reality/MR: Mixed Reality の総称)を使った教材は有用と考えられる。XR 教材の提供は、何時でも何処でも実習を含む学習が行える環境の提供であり、パンデミックや障害学生支援等のオンライン授業必須の状況やアクティブラナーの育成、リスキリングやリカレント教育にとっても重要と考えられる。また、ここ数年の AI 技術の進展と活用には目覚ましいものがあり、教材開発や学習支援においても、AI 技術を積極的に活用すべきである。AI 技術を活用して XR 教材を使用した実習者の実習行動を見える化・分析し、その結果を実習者に提供することは実習者の予習や復習にとって有用である。

【2-6-2】医・歯学系教育における見える化の取り組み

A:見える化の定義と意義

医・歯学系では、手術や歯科治療の様子を撮影して動画教材として利用することが一般に行われている。その動画教材から AI 技術を活用して施術者の動きを見える化・分析することは可能と考えられる。一方で、実習者は、現場で使用するものと同じ機材を使用できても、実際の患者を対象にした手術や歯科治療を行うことはできないため、実習者自身の施術動画を作成できない。実習者の上達状況を見える化することができない。そこで、実習者が XR 教材を使用した際に、どのように XR 教材を操作したかの操作履歴を XR 教材側で取得し、それを見える化・分析することが考えられる。また、XR 教材を使用した実習者の実習行動を動画として撮影し、それを見える化・分析することが考えられる。

B:具体的な見える化の手法

まず、放射線治療装置セットアップ実習の XR 教材を紹介する。放射線治療では、患者の腫瘍等へ正確に放射線を照射する必要がある。そのため、放射線治療装置と患者の位置合わせ作業が重要なとなる。図 2.6.1 は、TrueBeam と呼ばれる放射線治療装置における患者の位置合わせ作業の様子である。この実習を、放射線治療装置セットアップ実習と呼ぶ。図に示されるように、放射線治療

装置セットアップ実習は、ペンダントと呼ばれるコントローラを操作して放射線治療装置の寝台の位置合わせを行う人と、患者の体に触れて患者の体の位置合わせを行う人の二人組で行う。患者に触れる回数を少なくし、短い時間にセットアップが行えるように訓練する。図 2.6.2 は、この実習を行うための XR 教材である。二人の実習者は、VR ゴーグル（Meta Quest 2）を装着し、VR ゴーグルのジェスチャ入力機能による実習者の手指動作によって TrueBeam コントローラ操作と患者位置合わせをそれぞれ行う。図の左は、システム構成を示しており、図の右は、VR ゴーグルに表示される初期画面を示している。この初期画面で、二人の実習者は、コントローラ操作者と患者位置合わせ者のいずれかを選択する。図 2.6.3 は、コントローラ操作者の VR ゴーグル表示画面(左)と患者位置合わせ者の VR ゴーグル表示画面(右)である。

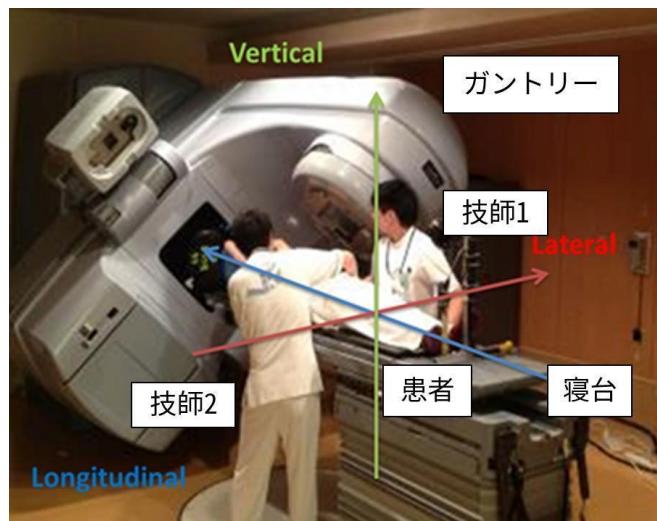


図 2.6.1 TrueBeam を使用する様子(参考文献[1])

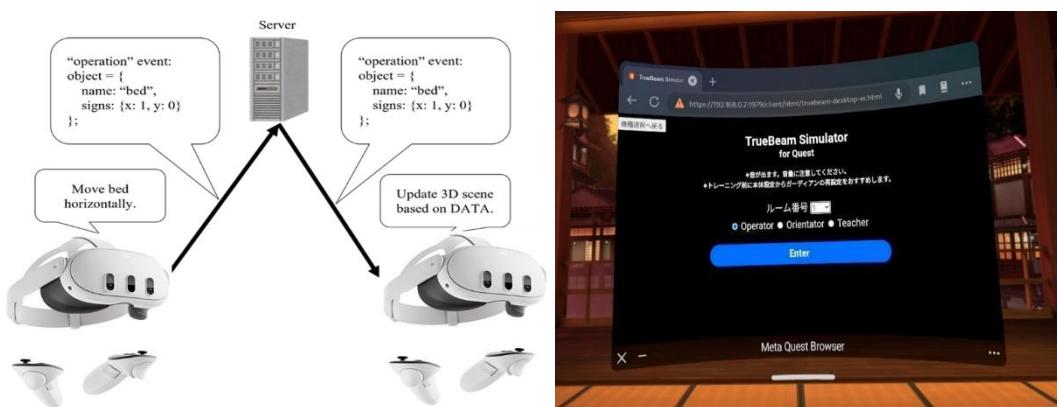


図 2.6.2 放射線治療装置セットアップ実習 XR 教材(参考文献[1])

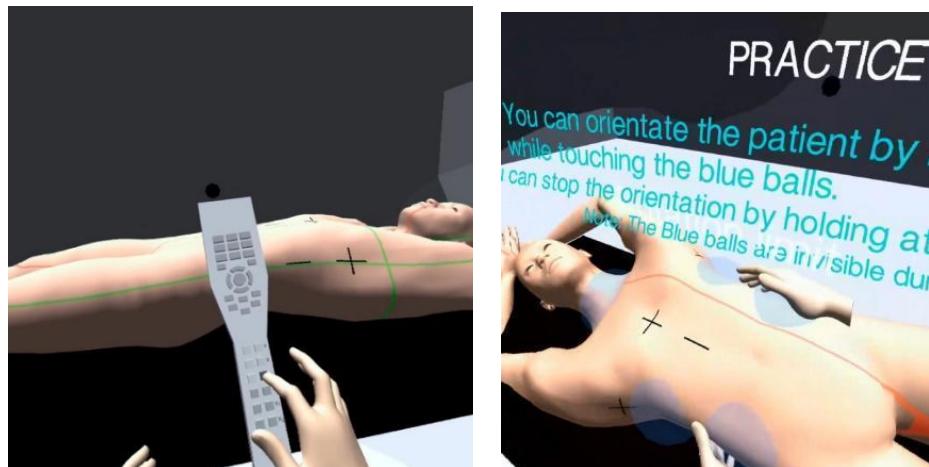


図 2.6.3 TrueBeam 専用コントローラの 3D モデル(左)と患者の 3D モデル(右) (参考文献[1])

二人の実習者がこの XR 教材を使用した際に、どのように XR 教材を操作したかの操作履歴を XR 教材側で取得し、それを見える化する機能を実装している。この XR 教材では、最大 5 組まで同時に実習が行える。図 2.6.4 に示すように、二人組の各グループはまず実習するルームを 5 つから選択し、実習後に同じルームを再度選択し、保存された操作履歴データを選択することにより、自分たちの操作した様子を再生表示して確認することができる。

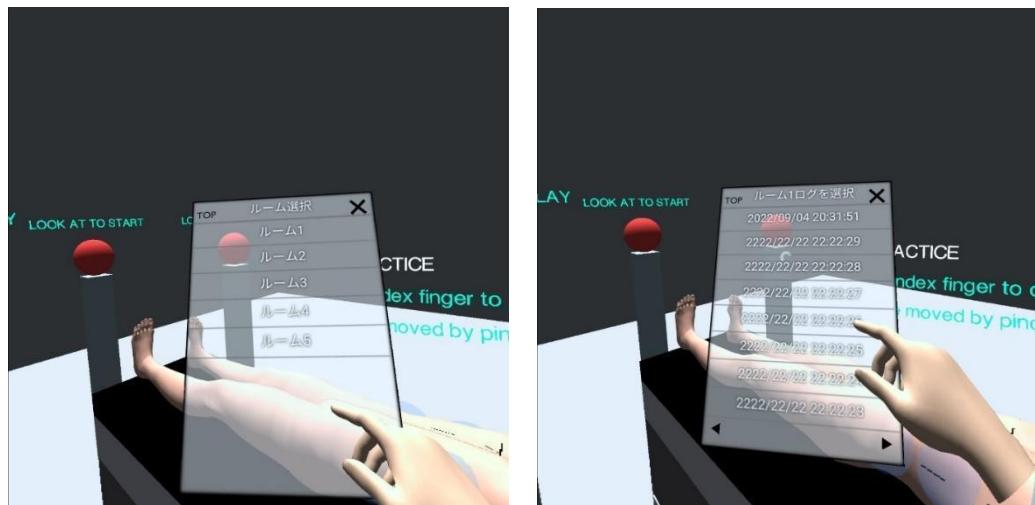


図 2.6.4 ルーム選択(左)と操作履歴データ選択(右) (参考文献[1])

次に、歯科治療実習の XR 教材を紹介する。図 2.6.5 は、歯科治療実習教材の初期版（左）と詳細版（右）である。触力覚フィードバックのある Phantom と呼ばれるデバイスを歯科ドリルとして歯を削る実習が行えるものである。初期版は、歯毎に単一のポリゴンモデルではなかったために、冠を被せるために歯の周りを削るといったことができなかった。また、削りの精度が良くなかった。これらを解決したものが詳細版である。歯毎に単一のポリゴンモデルとし、歯科ドリルの形

状を現実のものと同形状とした。ドリルヘッド形状も現実のものと同形状のものを数種類用意した。さらに、削っている間に削り音声が流れるようにしたことで臨場感が増した。

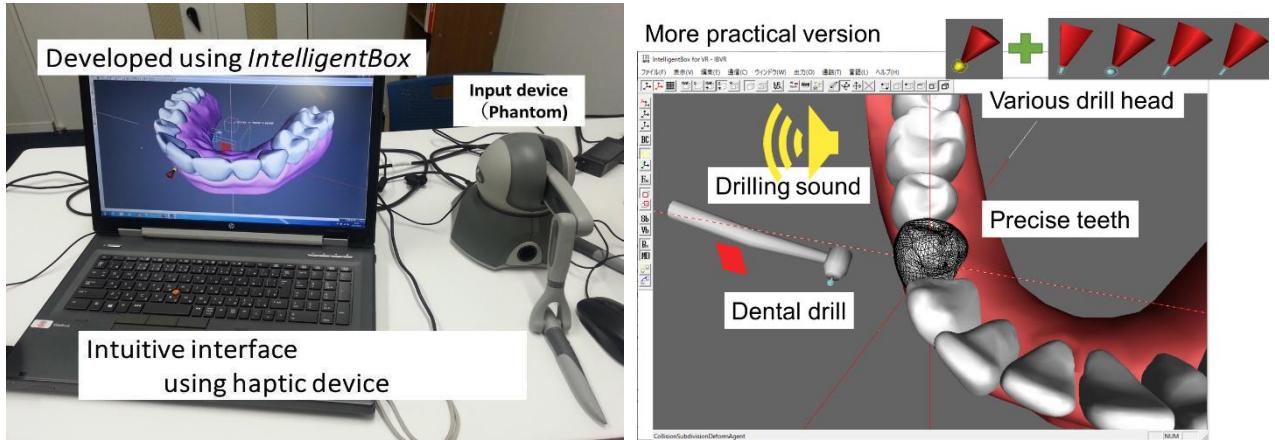


図 2.6.5 歯科治療実習教材の初期版(左)と詳細版(右) (参考文献[2])

また、さらに没入感を向上させるために、VRゴーグルを使用できるように改修した。図2.6.6は、VRゴーグル対応版（左）とQRマーカーによるヘッドトラッキング版の機能部品構成とデータフロー（右）である。本歯科治療実習教材は、IntelligentBox[3]と呼ばれる3次元CGディスクトップアプリケーション開発システムを利用して構築されており、Meta Quest 2等VRゴーグルのネイティブアプリケーションとすることが困難であり、VRゴーグルのヘッドトラッキング機能を利用できなかった。そのため、3軸ジャイロセンサーを頭に付けてヘッドトラッキングするものと、QRマーカーをVRゴーグルに付けてヘッドトラッキングするものを開発した。現在のところ、本歯科治療実習教材では、実習者の操作履歴を記録保存する機能とそれを再生表示する機能は未実装である。実習者の学習過程を見る化するためには、これらの機能を早急に実装する必要がある。

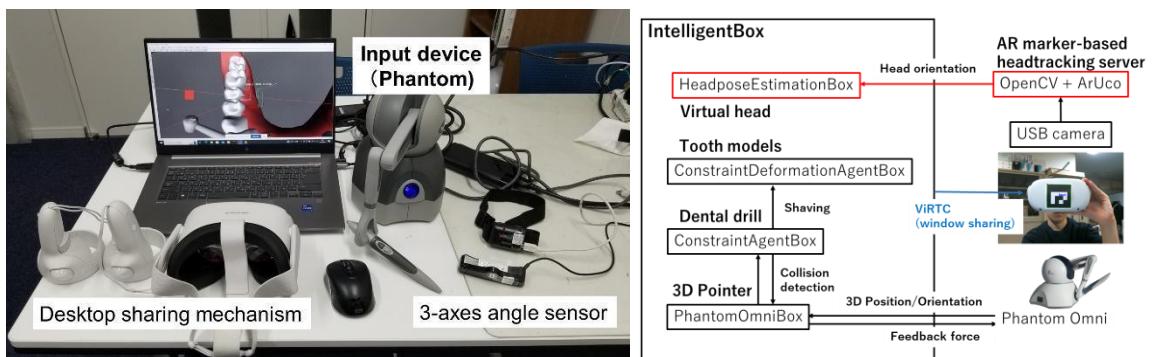


図 2.6.6 歯科治療実習教材のVRゴーグル版(左)とQRマーカーによるヘッドトラッキン版の機能部品構成とデータフロー(右) (参考文献[4])

【2-6-3】今後の展望

放射線治療装置セットアップ実習教材については、すでに実習者の実習過程における操作履歴情報を記録保存し、再生表示して確認する機能の実装はできている。今後は、操作履歴情報を分析し助言を与える等の機能を実現する予定がある。また、歯科治療実習教材については、実習者の実習過程における操作履歴情報を記録保存し、再生表示して確認する機能は未実装である。今後は、操作履歴情報を記録保存し再生表示する機能および操作履歴情報を分析し助言を与える等の機能を実現する予定である。さらに、実習者の実習過程を動画撮影し、動画内容を分析し助言を与える等の機能をもつ教材を開発する予定である。例えば、CT 装置で患者を X 線撮影する際の実習者（CT 装置の操作者）と患者の動きを動画撮影し、その動画から OpenPose[5]を使用して二人の体の骨格情報を抽出し分析することが考えられる。この場合、動く範囲が広く・実習者と患者の重なりが生ずるため、単一のビデオカメラでは不十分である。複数のビデオカメラを異なる場所に設置して撮影する必要がある。この際、ビデオカメラをどの位置にどの向きで設置すれば最適かが問題となる。この問題を解決するために、複数の 360 度 VR カメラを異なる場所に設置して撮影[6]することができる。図 2.6.7 上部は、CT 装置で患者を X 線撮影する演習風景であり、CT 装置を囲むように異なる 5 カ所に 360 度 VR カメラを配置し同期撮影している。演習後、5 カ所で撮影された 360 度 VR 動画を切り替えながら閲覧復習できる。図 2.6.7 下部は、上部と同じ場所で撮影された 360 度 VR 動画から OpenPose により、二人の人物の骨格情報を抽出し表示した例である。このように、OpenPose により抽出された人物の骨格情報を分析し、効率よく CT 装置の X 線撮影が行っている組とそうでない組とを比較し違いを明らかにすることで、効率よく CT 装置の X 線撮影が行えるための知識を明らかにできる可能性がある。

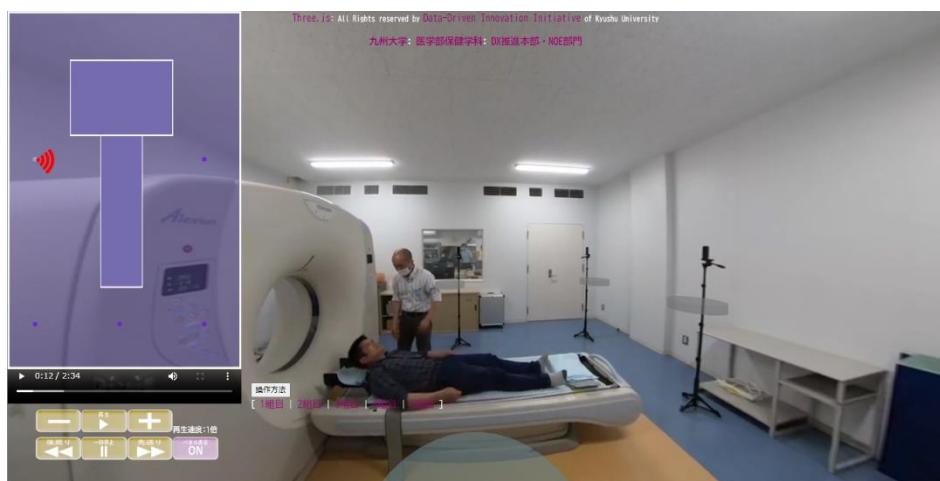




図 2.6.7 複数の異なる場所で撮影された 360 度 VR 動画のウェブ閲覧システム（上部）と
OpenPose による骨格情報抽出画面（下部）

歯科治療においても、治療台を囲むように 360 度 VR カメラを配置すれば、様々な視点・角度から治療の様子を見ることがきる。OpenPose を使用して施術者の骨格情報を抽出し分析・比較検討することにより熟練者の暗黙知を明らかにできる可能性がある。

参考文献

-
- [1] Miyahara, Y., Kaneko, K., Fujibuchi, T., & Okada, Y. (2023): Web-Based Collaborative VR System Supporting VR Goggles for Radiation Therapy Setup Training. Proc. of 11th Int. Conf. on Emerging Internet, Data & Web Technologies (EIDWT 2023), pp. 386-400. (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies; Vol. 161, Springer),
https://doi.org/10.1007/978-3-031-26281-4_41
 - [2] Nomi, M., Okada, Y. (2022): Dental Treatment Training System Using Haptic Device and Its User Evaluations, Proc. of the 16th Int. Conf. on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2022), pp. 569-580. (Lecture Notes in Networks and Systems; vol. 497, Springer), https://doi.org/10.1007/978-3-031-08812-4_55
 - [3] Okada, Y. and Tanaka, Y. (1995): IntelligentBox: A Constructive Visual Software Development System for Interactive 3D Graphic Applications, Proc. of Computer Animation '95, IEEE CS Press, pp.114-125.

- [4] Yoshinobu, T., Okada, Y. (2024): Headtracking Functions of IntelligentBox for Dental Treatment Training System, to appear in Proc. of the 18th Int. Conf. on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2024).
- [5] Z. Cao et al., (2019): OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- [6] Xu, T., Shi, W., Kaneko, K., Okada, Y. (2024): Development Framework for Web-based Multi-Location 360VR Videos Supporting VR Goggles, to appear in Proc. of IEEE Int. Sym. of Consumer Technology (IEEE-ISCT 2024).

【2-7】プロダクトデザイン

本節では、プロダクトデザイナーの言語化について論じていく。株式会社ワイスデザインの野口聰氏の登壇、発表していただいた内容をまとめていく。

デザイナーとは「見えない世界」を絵の描写、言語化でクライアント、ユーザにデザインのコンセプトやクライアントの意図や思いを読み解く必要がある。また、提案したデザインの意図や理由を言葉でクライアントに伝え説明する必要がある。クライアントの思いや意図がデザイナーに伝えられたのか双方が確認する必要がある。クライアントが理解しやすい言葉を選択し、伝える必要がある。口で発せられる（耳で聞くことができる）言葉や文字、絵、デザインで表現された（目で見られる）言葉ということになる。抽象度の高いメッセージを具体的な表現によって本当に伝えたい「メッセージ」あるいは真の意図に置き換える。しかし、抽象度の高いメッセージを受け手の個々の経験値や価値観等で異なる。

具体的に表現だけでなく、そこに込められたメッセージを可視化することがデザインには必要不可欠である。絵の捕捉を言葉で表現しても、私たちが伝えたいがすべてクライアントに伝えらえるかわからない。

次に、デザイナーはどのように作品等を作り上げるのかというデザイナーは頭の中でデザイン画ができているわけではなく、具体と抽象を行ったり来たり「抽象→具体→抽象→具体」繰り返すこと作品を作り出す。デザイナーの頭の中「見えない世界」を「抽象→具体→抽象→具体」を繰り返し「見える化していく」のである。

クライアントの意図や思いを聞き取りし、その思い新しく創り出す。

抽象化の代表が *Why* という手段と目的や理由（何のために必要なのか）を問い合わせるもので、具体化の代表例 *How* という実現手段（どうやって実現するのか）を結びつけることである。手段と目的の関係は「見えやすいものと見えにくいもの」「一つの目的に対して手段は複数あるという関係性」を結びつける。目的（抽象）→*How*→手段（具体） 手段（具体）→*Why*→目的（抽象）。

プロダクトデザインの評価基準について野口氏が解説された点をまとめて報告していく。

実際の作業風景の写真（図 2-7-1）これまで開発された作品の制作過程などからどのように作品を作り上げたのかを解説された。デザインは、作家が作り出す作品ではなく、コストや成型方法等の制約条件を無視せず、それをすべて受け入れるのではなく、制約条件を一旦棚上げにして、未来のあるべき姿を描き、そこからバックキャストで現状で表現できるデザインを目指す（図 2-7-2）（図 2-7-3）。



図 2-7-1 デッサン風景

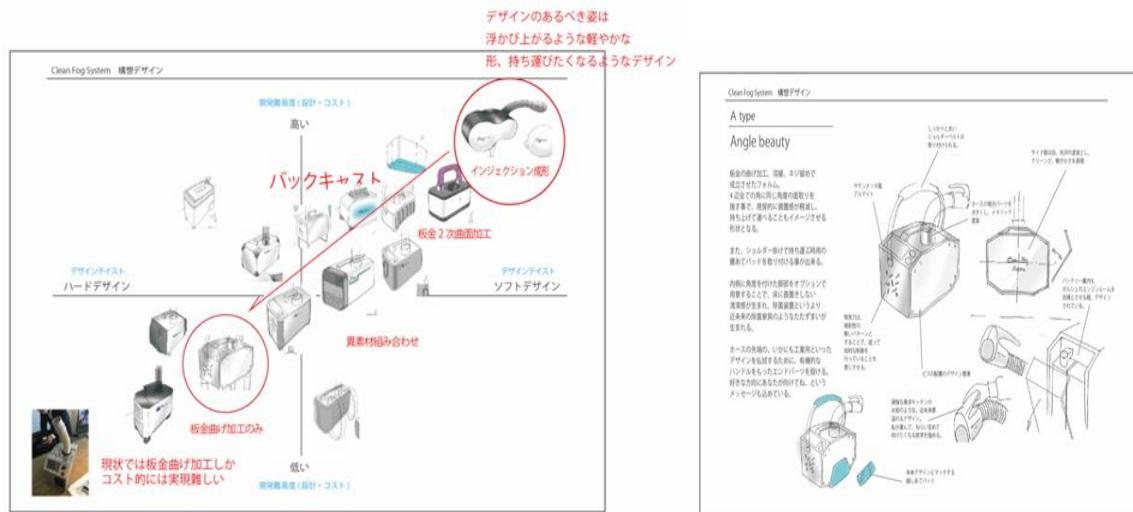


図 2-7-2

■表現、実現できるスキルのレベルを考慮し、そこに依存しないことで評価することが大切。

(人間も AI も現状のスキルに依存しない)

■リアルに表現できなくても、あるべきデザインがイメージ出来ていれば、それを優先して評価することが大切。

■そのデザインで何を感じさせたいかを、アナロジカルな表現(何々のような)で共有して評価することが大切。

(製品意味論、プロダクトセマンティクスというゼロイチでは評価できない切り口が大切)

■一旦余計なノイズをしっかり削ぎ落してから、伝えるべき機能と美しさを足していることを確認して評価することが大切。

■制約条件を鵜呑みにしてあきらめた部分に、気付かれないデザインになっていることを評価することが大切。

(制約条件を逆手にとる)

■立体的な道具のデザインは、必ず、ラフでも良いので、立体モデルを作り、触って評価することが大切。

■デザインの美しさ(黄金比率等)はデジタルに設計できるが、その製品の意味、機能から生まれるデザインの

美しさ、完成度は、個別解なので、本質的な問題をユニークに解決出来ているデザインを評価することが大切。

図 2-7-3 プロダクトデザインの評価基準について

【2-7-2】考察

デザイナーの頭の中を見るには「抽象→具体→抽象→具体」を繰り返し行って、クライアントが求める意図（抽象）を具現化していくことが今回の発表で分かってきた。

すでにある知識や情報量の世界では A I が圧倒的な力を發揮する。W h y / H o w の疑問詞を使って具体化と抽象化を「抽象→具体→抽象→具体」を繰り返し行っていく作業が圧倒的である。しかし、既知知識と知識の組み合わせは人を感動させるという評価を導き出すことが難しい。

【第3章】見える化の可能性・問題点について

第2章で話題に提供していただいたプロダクトデザインと生成AIの頭脳知について論じていく。事例紹介として、未来の災害時飛行船を企画するプロジェクトに生成AIを用いて、下記のような未来の飛行船をデザインしていた。

あなたはこれを見てどのようなイメージを思いますか？



従来の飛行船をメタリック調にする



デストピア的SF映画のイメージを借りてくる



ロケットのイメージを借りてくる



アニメ的なファンタジーなイメージを



UFOのイメージを借りてくる

生成系AIにデザインさせた
スケッチ群

どこかで見た既知のデザインやイメージしか出てこない。しかし、描写的にはリアルなため自分で新しいイメージが浮かんでおらず、生成系AIにデザインさせ続けた結果、プロジェクトが前に進まなくなってしまった。わかりやすい特徴をそのままシンプルにデザインコンセプトに落とし込むのは王道の手法であるが、クライアントのイメージや思いを読み解けているとは言えない。

デザイナーは、クライアントの思いを読み解くことが重要であり、デザインを言葉で説明する言語化する力が必要である。クライアントの潜在に迫る「生きたペルソナ」を作るには定量データ（数値化できる情報）と定性データ（数値化できない情報）の両方が必要で、定性データをもとにペルソナに命を吹き込むのが「ストーリー（物語）」である。クライアントの抽象的なテーマやニーズを具体的に翻訳していく。新しいアイデアは、自分が知っていることをやったことがない方法でつながることであるとアメリカの実業家ジェームス・W・ヤングが述べている。同じ業者ずっとデ

ザインしていると、経験値とともにデザインが先練されていくが、自分の得意なパターンに頼ってしまう。

生成 AI はこれまで蓄積されたデータをキーワードで導き出しデザインするため、意外性が少ない。誰かに言いたくなる意外性のある物語は、共感を生みやすい。

意外性とは、既知の中に無知を見つけ出す。 プロダクトデザインも時として、最初からデザイン画を描きだすのではなく、発想段階からデザインを言語化している場合もある。言葉でしっかり考えられたデザインには、人を引き付ける力がある。

生成 AI が決して悪いわけではない、人を引き付ける意外性を生み出すことが少ない。

ここまで、デザインの言語化について述べてきた。

プロダクトデザインはこの課題をどのように解決してきたかを解説する生成 AI に未来の災害時用飛行船を企画する際に生成 AI に質問する内容が異なることが分かった。

例えば、左右に浮袋を持った海洋生物のような、柔らかな石鹼のような、垂直尾翼がマンボウのような、ひれのようなという、アナラジカルなイメージを強く持つことで、受け手側に様々な違った印象、意外性、イメージをあたることができるようにキーワード入力から異なることがわかった。

デザイン評価ポイントは既物的な飛行船のイメージではなく何か他の物に似ていて、親近感がわくデザインが評価されやすい。製品の意味を言語化、見える化する。プロダクトセマンティクス（製品意味論）という正解が一つではない出口を探す旅である。プロダクトデザイナーの未来の災害時用飛行船を下記に示す（図 3-1-1）。

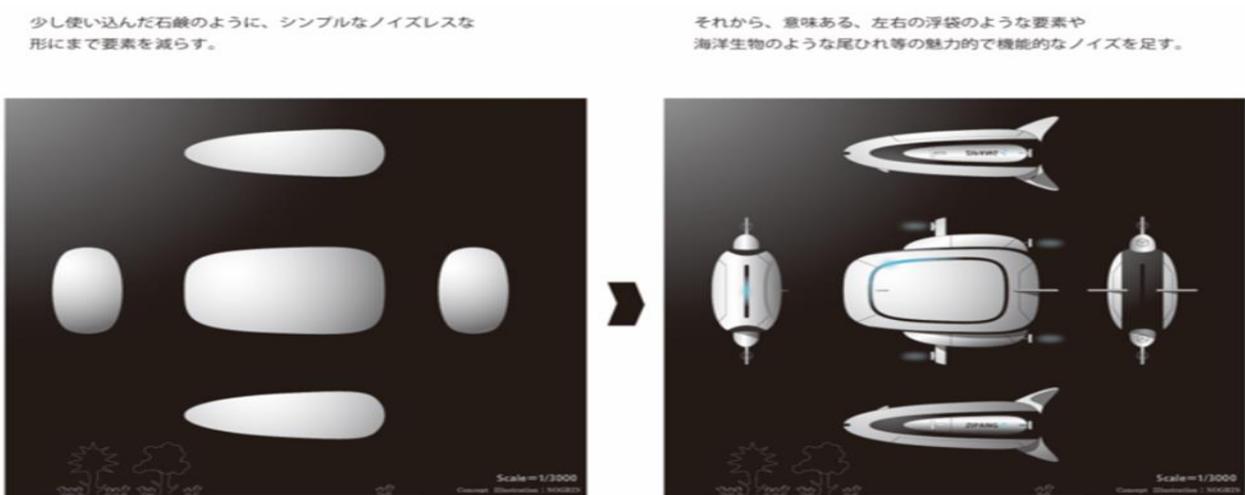


図 3-1-1

最初からデザイン画を描くのではなく、頭の中で具体→抽象→具体→抽象を繰り返し、クライアントの抽象なニーズや要望を形に落とし込んでいくことである。つまり、具体→抽象→具体→抽象を行い、見えない世界を見る世界に変化することであると言える。

続いて、画像[動画]生成 AI におけるいくつかの課題について概略する。一時的な技術的課題であり、将来、解消する可能性もあるが、現時点で教材として活用する場合、下記の図のように入力画像によっては、生成に失敗する例もみられる。

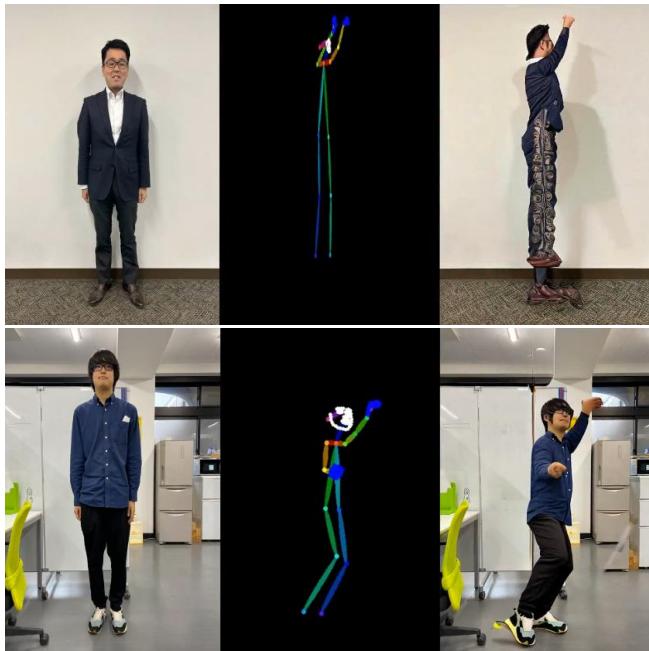


図 3-2 入力骨格の異常な縦横比による失敗生成例

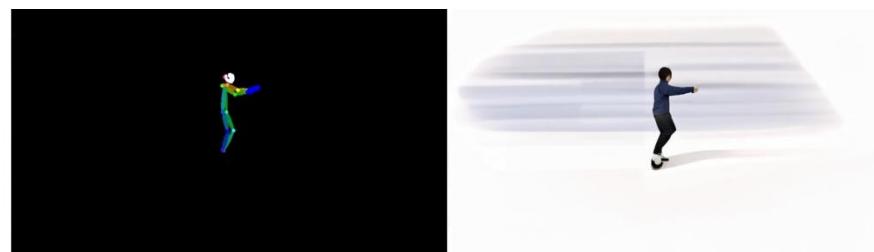


図 3-3 骨格データの解像度が低いため、生成画像（特に背景）に異常が生じている例

【第4章】今後の取り組みについて

本WGは、暗黙知を身体で覚えていること「身体知」と熟練者が作業中、頭の中で行われる判断は、情報入手作業は見えるが頭の中で行われた判断作業は見えない「頭脳知」に整理して、頭脳知の可視化、言語化について、シュミレーションゲームを用いた農業経営の暗黙知の可視化事例、放射線治療装置セットアップ実習教材・歯科治療実習教材、ダンス、左官集団スポーツ（ボール競技）における膨大な映像の抽出方法、生成AIにより初学者を模した教材動画を生成手法の提案（自身の姿で教材が生成されるため、自己効力感が向上することも期待）、高齢者の動作分析、生成AIを活用したデザイン画との差異分析などさまざまな分野の暗黙知の可視化について検証してきた。

頭脳知を可視化「見える世界」に表現するには、ゲームやOpenPoseを用いた可視化、デザイナーの頭の中「見えない世界」を「抽象→具体→抽象→具体」を繰り返し「見える化していく」作業などさまざまな分野を横断的に分析・検証してきた。

今後は、OpenPoseを用いた実習者、受講者の実習や動き過程を動画撮影し、動画内容を分析、熟練者と初学者の骨格動作を検出後、初学者の熟練度を加味し、目標とする動作軌跡を調整する試みなど自身の姿で教材が生成されることによる理解度を高め、自己効力感の向上が期待される。また、放射線治療装置セットアップ実習教材では操作履歴情報を分析し助言を与える等の機能を実現、歯科治療実習教材も操作履歴情報を記録保存し再生表示する機能および操作履歴情報を分析し助言を与える等の機能を実現など映像分析とコーチングの機能を併用することでより受講者、実習者の理解度を高める取り組みなどを引き続き検証していきたい。