

## 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

主査 後藤田 中\*<sup>1</sup>

委員 神田 亮\*<sup>2</sup>, 田中 凌太\*<sup>3</sup>, 鈴木 実緒\*<sup>4</sup>

建設業における諸問題解決のため、技能者の作業動画を蓄積・分析し技能をデータとして抽出することで、初・中・上級のような評価システムを目指し、適切な動作指示を段階的な習熟水準に応じて支援を行う視聴システムを構築することが必要である。本研究は映像にオノマトペを重畳表示する視聴システムの検討と試作を行った。左官初級者の成長上の支援対象と支援可能性を検討すべく、日報から体の動作指示支援の必要性、また職人と初級者の映像の比較から習熟としての作業安定性の分析を行った。これらに基づき視聴システムの試作を行い、視聴提示をオノマトペによって行い結果として学習者の技能動作への直感的な理解に寄与することが確認された。

キーワード：1) スポーツ科学, 2) 建築技能, 3) 可視化, 4) ICT, 5) 技能継承,  
6) 教材視聴システム, 7) 骨格推定, 8) トレーニング支援, 9) マルチメディア, 10) 直感的フィードバック

### RESEARCH ON VISUALIZATION OF ARCHITECTURAL SKILLS BY APPLYING SPORTS SCIENCES

Ch. Naka Gotoda

Mem. Ryo Kanda, Ryota Tanaka, Mio Suzuki

This study investigated and developed a prototype of a viewing system in which onomatopoeia is superimposed on video images. In order to investigate the support goals and support possibilities for development of novice plasterers, the need for support for body movement instructions was analyzed from daily reports, and work stability as skill was analyzed by comparing the video images of expert and novice plasterers. A prototype of a viewing system was developed, and it was confirmed that viewing instructions were presented using onomatopoeia and as a result contributed to the learner's intuitive understanding of the skill movement.

#### 1. 本研究の背景と目的

##### 1.1 技能継承を取り巻く環境

近年、我が国の建設業における就業者数は、1997年のピーク時を境に、減少の一途をたどっている。国土交通省の資料<sup>文1)</sup>によると、2022年には建設業就業者全体としては令和3年度時点で482万人とピーク時の685万人と比較して約30%減少、建設技能者に関してもピーク時の455万人と比較して約32%減少して309万人と同様に減少しており、就業者増加の兆しは見えない状態にある。また、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・育成が重要である。

ものづくり人材への技能継承の問題については経済

産業省・厚生労働省・文部科学省の3省が「2019年版モノづくり白書」<sup>文2)</sup>にて技能継承に問題のある事業を産業別に挙げており、製造業が86.5%と最も高く、本研究の対象とする建設業もまた79.9%と高値を示している。今後の技能継承の方向性として、熟練技能者が在職のうちに若手技能者へと技能継承を行うことは急務であるが、建築・建設業の技能については暗黙的側面が強く、技能習得には長い修業期間が必要となっている。しかし近年の入職者の傾向としては、従来の中学校・高校卒業後の入職形態だけでなく、大学卒業後や社会人から転職する入職形態が増加している。つまり、技能継承を取り巻く環境は熟練技能者の減少と入職形態の変化により、実働できる職人の確保が喫緊の課題となっている。

##### 1.2 従来の個人学習の機会とフィードバックの課題

前述の問題を解決するための手法として指導者不在時における個人での学習の機会について述べる。

\*<sup>1</sup>香川大学情報化推進等拠点 准教授 博士(工学) \*<sup>2</sup>香川大学地域人材共創センター 講師 修士(スポーツ健康科学)

\*<sup>3</sup>香川大学大学院創発科学研究科博士前期課程 \*<sup>4</sup>芝浦工業大学大学院理工学研究科博士前期課程

技能系における個人での学習においては、熟練技能者や一流職人の技能動作を盗み見て、それを真似るという所謂「技は見て盗め」という考え方がある。

個人で熟練技能者や一流職人の技能の測定・分析された技能を見ることのできる取り組みは数多く存在する。主査自身も国土交通省が作成したWEBでの視聴が可能なビデオコンテンツ『建設技能トレーニングプログラム(建トレDX)<sup>文3)</sup>』において、スポーツ科学の手法による解析を反映した。

しかし、個人学習の結果として自身の技能動作が改善されているかを把握するのは難しく、学習者自身の技能に対応したフィードバックは技能習得には不可欠である。本来であればそれを職長や先輩職人といった指導者による身振りや声掛けがその役割を担っていたが、前述した問題からその機会は減少しつつある。そこで指導者に代わり学習者自身の技能に対してフィードバックを行う存在が必要である。

### 1.3 個人の習熟度に応じた学習支援機会の検討

本研究では、より学習者の技能についてフォーカスすべく、熟練技能者や若手技能者などの作業動画を蓄積・分析することにより技能をデジタルデータとして抽出し、初級・中級・上級のような評価システムを構築する。これにより、構築したシステムで学習者の習熟度に応じた評価・フィードバックや、適切な動作支持がICTによる支援で直感的かつ個人の技能に対応した技能継承システムを構築ができると考える。そこで今回は、個人の技能に対応した技能継承システムを作成するために、まず初級の学習者における成長上の支援対象と支援の可能性を調査することに着手する。北海道札幌市で左官技能者の育成に取り組んでいる「中屋敷左官工業株式会社」の職業訓練校に委員自身が実際に入学し左官研修を受けると同時にその様子を撮影し、また作業日報をまとめた。次に、現在左官業に従事している職人と初級の学習者との間にある差を計測すべく、「斉藤興業株式会社」の若手職人と左官に関する一連の講習を受けた香川大学の学生を対象に塗り動作の撮影と動的時間短縮法(DTW)を用いた比較を行いその作業がどの程度安定しているかの分析を行った。これらの結果から得られた知見をもとに、学習者の作業動画に対し、オノマトペを重畳して指導情報を提示する視聴支援システムの試作を行った。また今回の提案するオノマトペの内容を変化させる指導情報の提示手法がどの程度UIとして有効かを調査するために研究室で行っている既存手法であるオノマトペのフォントや形を変化させる視聴支援手法と比較し、また両手法を組み合わせた手法ともアンケートで比較することにより各手法の特色を調査した。

## 2. 既往研究

### 2.1 知覚情報として符号化した情報のフィードバック

主査らによる知覚情報を符号化した情報をフィードバックするアイデアに関する既往研究の一つとして、ビデオ視聴上にウェアラブルセンサから得られた測定値を変換した知覚情報を付加し、スポーツ学習等を支援する試みがある。

蓮井らおよび石岡らの研究<sup>文4-5)</sup>より、声かけ指導をベースにした撮影映像に、コミックフォントを使用したオノマトペを重ねて表示し学習者に補正指導を行う手法について報告されている。

そこで、本研究はこれを拡張し、ウェアラブルセンサを用いないマーカーレスの骨格推定ソフトを用いることが既往研究と異なる点である。これにより、スマートフォン1台で動画の撮影および知覚情報を付加された動画の視聴まで行えるようになることが利点である。

### 2.2 マーカーレス手法による技能の可視化

主査による既往研究の一つとして、左官職人の技能動作においてマーカーレスな骨格検知技術を用いた内骨格の測定を行っている<sup>文6)</sup>。測定の結果から、マーカーを用いた外骨格の測定結果と同様に、内骨格の測定においても左官技能の数値化・可視化の可能性を検証した。

結果として、マーカーレスの手法を用いることで、映像上で腕などの一部分が体に隠れてしまうことや、左肩と右肩の検出結果が入れ替わることがあり、グラフ上では瞬間的に大きな変化が見られる箇所もあったが、大まかな波形の形としては従来のマーカーを用いた骨格検知技術と比較して遜色のない結果を得ることができた。

以上の報告より、マーカーレスの手法を用いた骨格推定による技能の可視化・数値化が可能であると判明したため、本研究ではこの手法を応用し、職人技能の分析と習熟度判定に用いる。

### 2.3 ほか研究グループによる教材開発研究

高井らにより、京壁塗りの熟練職人における作業の特徴の形式知を取り入れた京壁塗り習熟eラーニング教材の開発とその評価が行われている<sup>文7)</sup>。報告の中では、京壁塗りの学習者にとってeラーニング教材の有無が学習者の姿勢及び疲労に及ぼす影響について検討されている。教材内で教示する内容の検討のため、京壁塗りの中途作業を対象に三次元動作解析や筋活動測定と眼球運動測定が行われ、熟練者と非熟練者間におけるそれぞれの測定結果の差が明らかにされた。

その結果をもとに作成されたeラーニング教材を使用することで、作業者の作業姿勢の改善および作業者の精神的疲労が減少することが明らかになり、これにより職人の形式知を取り入れたeラーニング教材は左官技能の

取得支援に有効であることが報告された。

本研究はこの研究に倣い、職人の形式知を取り入れた視聴型 e ラーニング教材の開発を行うとともに、こうした視聴型 e ラーニング教材開発とは異なり、学習者が実際に行った技能に対するフィードバックを行う。

## 2.4 本研究の位置づけ

技能継承を支援するにあたり、今後増加する個人学習の際に、若手職人や見習工といった学習者の実態に沿った支援が必要である。技能の習得においては技能動作自体と作業物の仕上がりとの二つを考慮する必要があるが、本研究では技能動作自体について着目する。学習者自身では把握が難しい技能動作の変化について現状と目標とする次の段階との間にある差を学習者に解釈可能な状態で示すことで、塗り方の習得を補助する手法を検討する。

知覚情報を符号化し、学習者に提示する手法として、マーカーレス手法を用いて実装を行う。また、職人技能の分析とその判定を行うために、骨格推定データを活用する。既往研究により報告された、職人の形式知を取り入れた学習の有用性を鑑み、本研究においても職人の形式知を取り入れるとともに、若手職人らによって撮影された実際の技能動画に対して、フィードバックを行う体験型の支援システムを開発する。

## 3. 本研究において必要なデータ・考慮すべき事柄

### 3.1 成長上の支援対象の調査

本研究が想定している学習者とは、即ち入職後間もない技能のつたない新人職人や、自身の技能のレベルアップを目指す若手職人のような、指導者に師事する職人らのことを指している。彼らの多くは、自身のスキルがどの程度の段階にあるかを単身では知ることができない。前述のとおり、従来は職長や先輩職人といった指導者らによって、身振りや声等を用いてフィードバックが行われてきたが、職人人口の減少に伴う指導者の減少により、対面指導の機会は減少している。

この問題を支援するためには、彼らの成長をシステム側で認識できる状態にする必要がある。よって対象とする若手職人相当の人物がどのように成長するかについて知る必要がある。

そこで本研究ではまず、対象とする入職して間もない若手職人の成長における支援対象と支援可能性を把握するため、若手職人相当の被験者を立て、北海道にて左官技能者の育成に取り組んでいる「中屋敷左官工業株式会社」様の研修施設にて、10日間のトレーニングに参加した。トレーニング期間を通じて作業動画の撮影を行い、1日ごとに指導内容や気を付けた点などをまとめたレポートにまとめることで、学習者の成長上において考慮すべき支援の対象と支援の可能性について検討した。

### 3.2 DTW を用いた分析

学習者が行う技能動作はその技能が高いレベルにあったとしても、その作業時間にはある程度のばらつきが発生する。こういった作業時間の異なる時系列データ同士を比較する手法として DTW を用いる。DTW とは、時系列データ同士の類似度を測る手法である。

特に時系列の変化量に着目する Derivative Dynamic Time Warping (DDTW) <sup>文10)</sup> を用いる。DDTW の式を下に示す(1)。これにより学習者の技能動作について、どの程度安定して行えるかをシステムで把握することが出来るようになる。と考える。

得られた安定度から、学習者の技能がどの程度の水準にあるかを推定することにより、その技能が次の段階の水準を満たしているかあるいは水準まで改善を促す必要があるかを判断することができる。そしてどのようなアドバイスを映像に付加する必要があるかが一定程度判断を行うことが可能になると考えられ、また学習者の過去の技能動作を比較することで学習者自身の成長の段階を補足することができると思われる。

$$D_x[q] = \frac{(q_i - q_{i-1})(q_{i+1} - q_{i-1})/2}{2} \quad (1)$$

### 3.3 指導情報を提示するタイミング

入職後の対面指導において、学習者は自身の技能動作について、技能向上のためにどのように動きを変化させればよいかを知る手段に困ることはない。これは、指導者が前述の身振り手振りやオノマトペを用いて学習者に対し、正しい動作であることや間違った動作についてどのように変化させるべきか、その動作についてどのような点に気を付けるべきか、またその強弱やタイミング等を伝達するからである。しかし、今後指導者が減少し、学習者の個人学習の機会が増加することを鑑みた際に、前述の指導者より与えられていたはずの情報が不足することは想像に難くない。

本研究では前述のような問題から個人学習の際に、学習者の動作について変化が必要である場面において、実際の学習者の作業動画に対してある程度修正の方向性や強弱の指導情報をオノマトペの重畳を用いて提示することにより、個人学習においては重畳動画の振り返りを通して学習者の試行錯誤を促す視聴システムの試作を行う。また、対面指導の場面においては視聴システムを通して個人学習の成果を確認できるような指導形態の構築が行えるのではないかと考えられる。

### 3.4 指導情報を決定する手法

学習者が学習を行う際に、そのほとんどの場合、基準となる動作に対してかける力が強すぎる、あるいはか

ける力が弱すぎるといった動作のばらつきが生じる。このばらつきを修正する手法として、前回の動作に対して現在の動作がどの程度ばらついているかを具体的な数値で提示する手法が考えられる。しかし、数値を用いた学習の場合、学習者は自身の技能動作の状態や基準となる動作との差を正確に理解することは難しく、システムによって基準動作から自身の技能動作がどの程度乖離しているかの情報が与えられたとして、それを正しく解釈できるとは限らず、学習者の混乱を招くこともあると考えられる。

このような問題を踏まえると数値による支援情報の提示にはない、学習者側で指導情報を解釈できる支援手法が必要である。そこで学習モデルと学習者の動画から骨格推定を行ったセンサデータを同期し、学習者の技能の段階について評価を行い、評価をもとに学習者の動画に対して、力が強すぎるや弱すぎるといった指導情報について比喩的表現をもって付与することで、学習者は技能動作をどのように変化させるべきかを感覚的に理解することができ、その理解をもとに試行錯誤を行うことによって、自身に適した塗り動作の習得に近づく。また、学習を補助するために、学習者の過去の技能動画や提示した内容を加味した情報の提示を行う。

### 3.5 重畳表示を用いた指導情報の提示

実際の技能に対してフィードバックを与える体験型の個人学習システムを作成するにあたり、学習者に与えるフィードバックの手法については検討を行う必要がある。今回は石岡らの既往研究より、オノマトペを動画に付加することにより、学習者に視覚的にフィードバックを与える手法を採用する。これまでの数値をグラフ化するなどして技能の見える化を行う手法<sup>8)</sup>は、計測によって動作自体を比較するには有用であり、一連の技能動作内における違いの大きな動作区間を示すのに秀でている。これに加えてオノマトペは、示された動作区間内において映像に付随したフィードバックを行う手法として、言語化の難しい技能動作を比喩的に示しつつ学習者が技能動作の解釈を行えるという点で有用である。また視覚的に提示することにより、若手技能者もちろんのこと、聴覚障害等の障害を持つ者も、自己で能動的にトレーニングができる環境の構築が期待される。

石岡らの研究とは違い、学習者に提示するオノマトペの内容を変化させる手法を用いることで、学習者にどのような影響を与えるかを評価するとともに、石岡らの研究と比較と組み合わせることでの影響を評価する。重畳表示の有用性は、Coleman らの研究<sup>9)</sup>より、レジスタンス運動に対して重畳表示を行うことにより、重畳表示を用いなかったものと比較してより筋肉が増加し、運動継続性を向上させるとの報告からも明白である。

## 4. 成長上における支援対象と支援可能性の検討

### 4.1 中屋敷左官工業における研修

本章では、初級の学習者がどのように成長していくか、その成長に関しての分析を行う。初級者が成長していく過程においては技能の上達と動きのばらつきの収束には相関性があると仮定し、自然的言語と動作の結びつきに関して考察する。

北海道札幌市で左官技能者の育成に取り組んでいる「中屋敷左官工業株式会社」にご協力いただき、委員自身が実際に左官の新規入職者が入校する職業訓練校にて左官研修を受ける。職業訓練校は毎年4月から翌3月までにあるが、今回はそのうち、入校後初めに行う塗り壁トレーニングと呼ばれる一般的な壁塗り作業に焦点を当てて考察する。

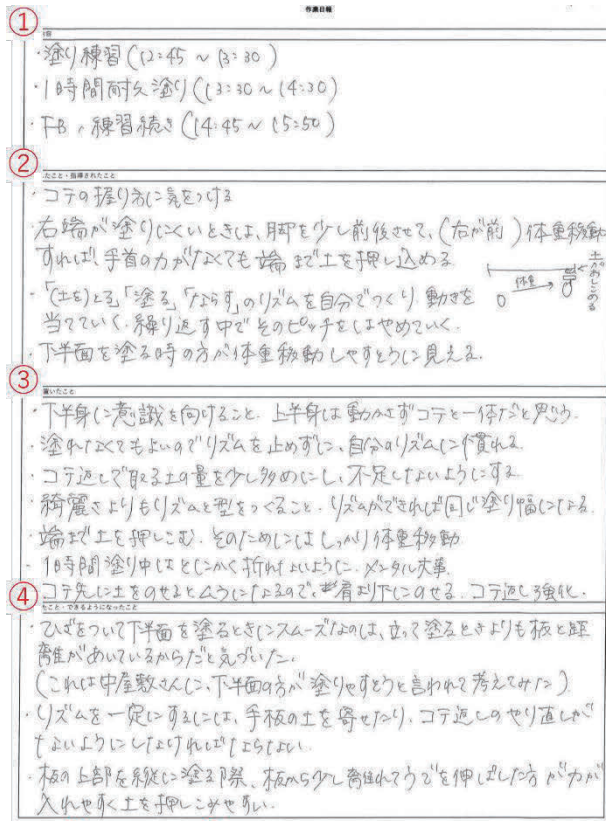
塗り壁トレーニングでは、「モデリング手法」と呼ばれる、塗りの動きの見本となる動画をコピーして体に覚えさせる教育法を採用している。これは、技能は見て盗むと同じ原理ではあるものの、手本となる動画が全員同じのため作業にばらつきが出ないのが特徴である。当該職業訓練校における塗り壁トレーニングの最終目標はコンクリート型枠用パネル1枚縦置きに土を塗りつけ、均すまでを1回3分以内で行い、1時間以内に20回を完了させることとしている。本章では、毎日の研修後に委員自身が記入した作業日報と、塗り壁トレーニング中の全身を映した映像データ、受講者間で毎日行われるフィードバックの音声データを用いて分析を行う。

#### [ 概要 ]

所在地	北海道札幌市
期間	10日間（座学を含む1日6時間）
参加人数	10人（うち委員を含む学生2人）
研修内容	午前：座学 午後：塗り壁トレーニング
カメラ	背面1台、上面1台、音声撮影用1台

### 4.2 レポートから読み取れること

図4-1に委員が実際に記入した作業日報の一例を示す。作業日報は「作業内容」「言われたこと・指導されたこと」「重点を置いたこと」「気付いたこと・できるようになったこと」に関して箇条書きで記述したのち、全10日間の日報をA（1～3日目）B（2～4日目）C（3～5日目）・・・H（8～10日目）と分割する。その後、各3日分の記述内容を項目ごとにテキスト化し、KH coder というテキストマイニングツールを用いて共起分析を実行する。KH coder はテキスト型のデータの内容分析に用いられ、「どのような言葉が」「どれくらいの頻度で」「どの単語とともに」頻出しているかを視覚的に表現することができるのが特徴である。については、作業日報のテキストデータをKH coder にインポートして検



- ①作業内容 ②言われたこと・指導されたこと
- ③重点を置いたこと
- ④気づいたこと・できるようになったこと

図 4-1 作業日報の一例

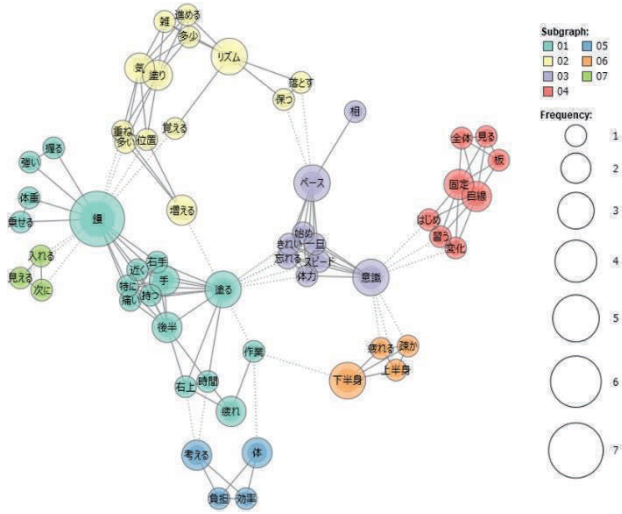


図 4-2 共起ネットワーク図 A

出されたネットワーク分析を基に考察する。日報のうち「重点を置いたこと」は、A(図 4-2)には「鍔」「上半身」「リズム」を含む 20 単語が 2 回以上記述され、その中でも「型」「幅」「意識」「曲げる」「固定」など、意識して注視している単語が多く出現していた。日報の作業内容に関する項目と比較すると、トレーニング初期では、上半身を固定して作業するよう指導を受けていることがわかる。

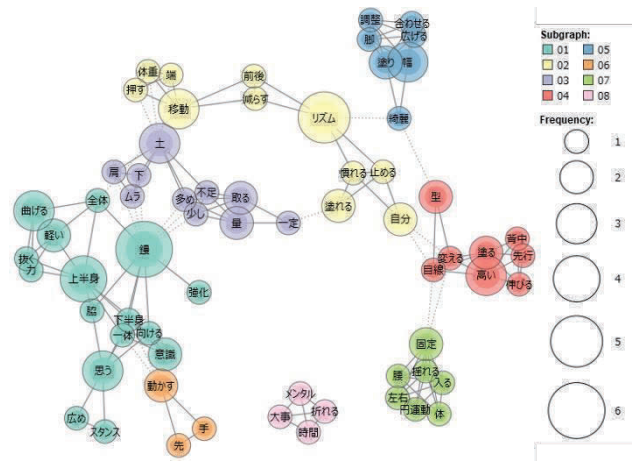


図 4-3 共起ネットワーク図 D

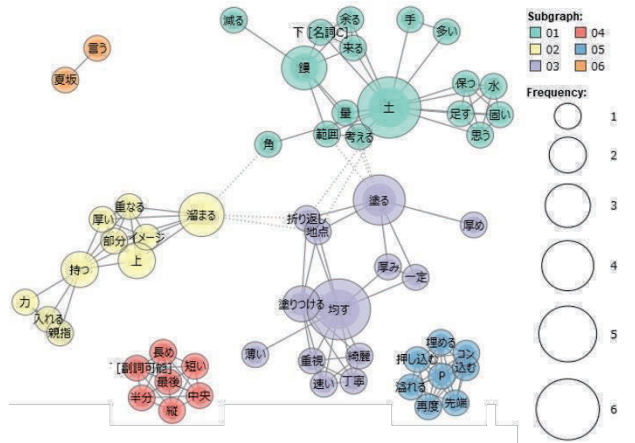


図 4-4 共起ネットワーク図 H

また、D(図 4-3)からは「下半身」「ベース」「目線」「手」など、A よりも体幹から離れた部位に意識が向いていることがわかる。また、「綺麗」や「メンタル」「時間」といったように、体勢や作業に直接関与しない単語も出てきており、それに加えてサブグラフが最も多いことを踏まえても、作業中により多くの事柄に対して意識を向けていることがわかる。

さらにH(図 4-4)では「均す」「溜まる」など、体を示す名詞は 2 回以上出てこず、自身の体外に関する単語が頻出していることで、作業者の意識が出来栄や工程に広く向いていることが分かった。

A, D, H の共起分析より、作業者自身の意識のポイントが、上半身から下半身へ、そして手先や目線へと推移し、最終的には仕上がりや塗り後の見た目へと変わっていくことが明らかになった。さらに、10 日間のトレーニング中は指導者からリアルタイムで指摘を受けていたことも鑑みると、「言われたこと・指導されたこと」「気づいたこと・できるようになったこと」の項目にもこれに似た推移がみられるのではないかと考える。

### 4.3 レポートと動画の比較

A(1～3日目)とH(8～10日目)の作業日報における、「言われたこと・指導されたこと」に関する共起ネットワーク図を以下に示す(図 4-5)(図 4-6)。

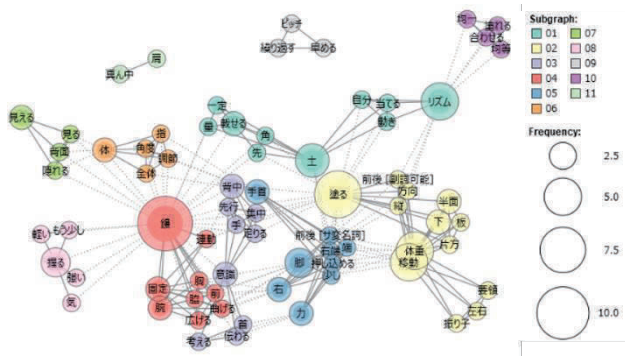


図 4-5 共起ネットワーク図 A-α

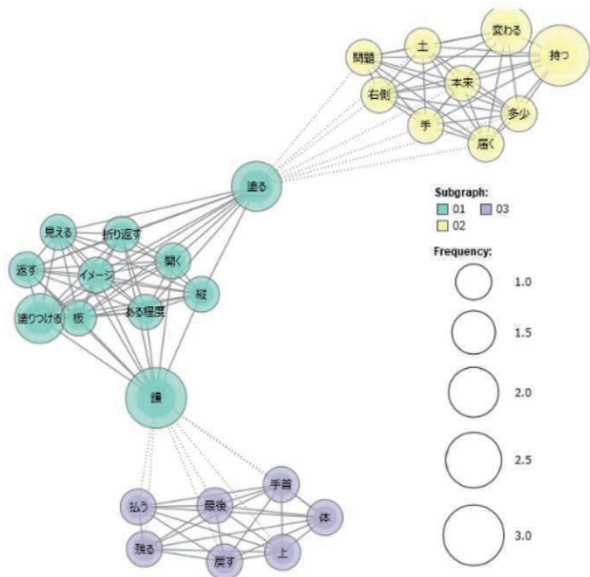


図 4-6 共起ネットワーク図 H-α

これらの図より、トレーニング開始直後はより多くの指摘を受け、体を示す単語や体の動かし方に関する単語も頻出している。前述のとおり、トレーニングが進んでいくにつれて、作業者の意識が体幹から外側へ、仕上げへと推移しているため、それまで意識していた部分を無意識で行うことができ、それに合わせて指導内容も変化していると考えられる。ここで、A-αとH-αの両図を比較すると「鍔」という単語は記述内でも高い中心性を示しており、共通点であるように考えられた。しかしながら、A-αでは「固定」「連動」「腕」のように鍔自体ではなく鍔を固定させ体と連動させるような指導を受けているのに対して、H-αでは「塗りつける」「イメージ」といったように、鍔自体に焦点を当てた指導を行っていることがわかる。したがって、作業者の意識のポイントが体幹から枝葉に推移しているように、指導自体

も中心から外側へ、体幹から手先へと移っていることが明らかとなった。

続いてトレーニング中に背面から撮影した動画から作業中の体勢と身体操作を抽出し作業日報と照合する。

初日と最終日の骨格検出後の動画を比較し、大きく変化した点は、1動作の塗り時間、上半身のブレ、リズム、体重移動であった。そこから、2～9日目の動画も同様に骨格を検出する。最終日を動作の帰結点とし、各日の骨格検出動画を比較すると、上半身に意識が向いていたトレーニング序盤、上半身から下半身へと意識が移っていった中盤、手先や仕上がりに重点を置いていた終盤の三つに分類でき、順に最終日の帰結動作に近づいていった。これは4.2で明らかになった意識の推移と同様である。

したがって、指導の内容と作業者の意識、作業者の動作には、指導されたことを意識して動作を体に覚えさせ、無意識的にそれが行えるようになること次のステップに進むということを繰り返して、帰結点である最終日に近づいていくといったステップを踏むことが明らかとなった。

### 4.4 モデリング手法と学習者間フィードバック

職業訓練校での塗り壁トレーニングにおいては、同じ人物をモデルに動きをコピーし、自身の塗り作業を撮影し比較、その後受講者全員でフィードバックを行うことで、自身の認識と他者からの指摘を受講者自身が考察することができる。それは、作業者自身が意識して重点を置いていたところがどのように動作に反映され、それが手本とどう異なるのかを客観的に見ることができる。

したがって、モデリング手法では、鍔の持ち方、鍔数、リズム、塗り幅、立ち位置、目線など、手本の動画を徹底的にコピーし、学習者間でフィードバックを行うことで、自身の気づきにはない部分をも認識することができる。また、学習者が自身の言葉で他者にフィードバックを行うことによって、動画やトレーニングの内容、視覚的な情報を深く掘み、より細かな部分への気づきを促していると考えられる。

## 5. 習熟としての作業安定性の評価

### 5.1 左官の下塗り公邸の実験映像の収集

前章より、成長上における支援の対象と支援の可能性について検討を行った。しかしながら、映像に映る作業者のスキルの指標の一つとして、作業の動作が”どの程度安定しているか”の状況をシステムが把握する必要がある。

そこで、動作の分析を通じて得ることが可能な、スキルの基本分析指標を文献調査しながら、香川大学に倫理申請を行った上で、香川大学創造工学部の学生および

左官工事会社である斎藤興業株式会社に実験の協力を依頼し、左官職人の方で、左官作業の動画撮影を行った。この際、左官工事における塗りの作業工程の一つである下塗り動作を対象として、下塗り動作の際にどのような身体動作の変化があるかを調査するためにマーカーレスな骨格推定を用いた実験を行い、実験映像を取得した。また、一部加速度・各速度・地磁気センサおよび筋電センサの情報についても取得した。

## 5.2 実験の内容・条件

学生のグループを初級者グループ、職人のグループを職人グループと定義し、撮影を行った順にアルファベットによってナンバリングを行った。各グループにおけるナンバリング・性別・身長・利き手利き足をまとめたものを表 5-1 と表 5-2 に示す。学生グループは、左官作業の経験がないことを事前に確認しており、実験前に職人グループによる講習を行うことにより左官に関する知識や経験が同一な状態になるようにした。

表 5-1 初級者グループの内訳

初級者グループ	性別	身長	利き手利き足
初級者A	女性	168cm	右手右足
初級者B	男性	165cm	右手右足
初級者C	男性	168cm	右手右足
初級者D	男性	173cm	右手右足
初級者E	女性	145cm	右手右足
初級者F	女性	171cm	右手右足
初級者G	女性	160cm	左手左足

表 5-2 職人グループの内訳

職人グループ	性別	身長	利き手利き足	経験年数
職人A	女性	160cm	右手右足	3年2級技能工
職人B	女性	155cm	右手右足	半年職人育成塾出身

今回、VisionPose という、マーカーレスで人の骨格・姿勢情報を解析可能な姿勢推定 AI エンジンを使用し、2次元の空間情報(x, y)を取得した。既往研究の手法では対象者の身体にマーカーを装着したり、特殊なウェアラブルデバイスを装着したりしなければならなかったこの手法を用いることで、カメラが1台の状態であっても骨格座標を検出することが可能であるため、特殊な器具を要しないことから個人学習の支援に最適であると考え採用した。

収集した撮影データから塗りの動作を4場面切り出し、時系列に着目する DDTW を用いて各部位に対し、1～4回目間の塗り公邸に終える指向動作のそれぞれの類似度を算出した。今回、類似度に関してはこの平均値の数値が大きくなるほど、作業時の動作試行間が異なっ

ていることを表す。最初に同一人物の塗り動作同士を比較し、その安定性を DTW の測定値より判定した。次に学生と職人の動作について比較することによりその差を明らかにした。

### [ 概要 ]

所在地 香川大学後藤田研究室スペース  
 期間 10日間（講習含め2時間程度）  
 参加人数 9人（職人2人、学生7人）  
 作業内容 10月31日講習：1時間 撮影：1時間  
 カメラ 背面1台、左側面1台  
 その他の条件 図 実験設備等配置図に記載

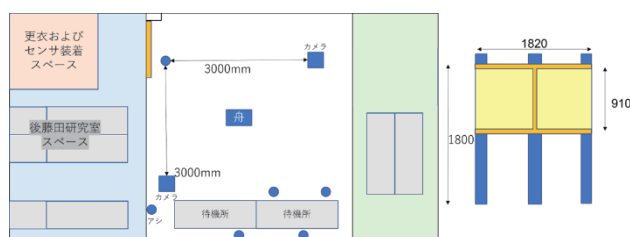


図 5-1 実験設備等配置図

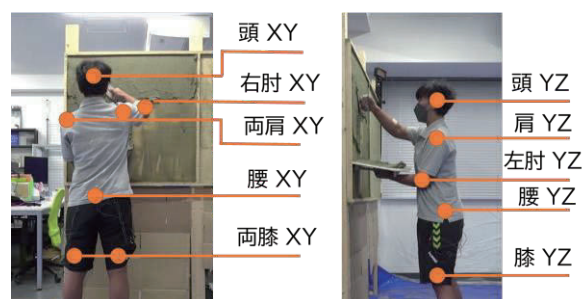


図 5-2 背面・側面における骨格推定の対象部位

## 5.3 DTW を用いた評価

複数回の作業動画から塗り動作を行っている場面を切り出して DTW を用いて比較する。これにより、各作業者の動作における安定性を評価できるのではないかと考えた。そこで背面および側面から撮影した塗り動作について、4回の動作を切り出し、それらについて DDTW を用いて類似度を算出し、各試行間の骨格座標のすべての DTW 距離の平均を求めた(図 5-3~5-5)。図中では、縦の列が計測した部位を、横の列が何回目と何回目の塗り動作の類似度であるかを表している。また、今回は経験年数が初級者 B と比べて長く、技能的に習熟していると思われる職人 A と初級者グループにおいて、もっとも類似度の低かった初級者 B と類似度の高かった初級者 F を例として扱う。

職人 A における技能動作の特徴として、職人 A は全体的に見て平均値が少ない値に推移している。特に両ひざの値は部位平均値が 2 を下回っており、このことから試

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	19.50	19.00	23.00	7.75	7.75	4.00	13.50(7.22)
頭_Y	11.50	6.50	11.00	7.50	5.50	6.00	8.00(2.38)
左肩_X	8.00	4.25	5.00	6.50	7.00	2.00	5.46(1.98)
左肩_Y	1.50	4.00	3.00	2.50	1.50	1.00	2.25(1.03)
右肩_X	19.00	21.00	18.00	20.00	17.00	5.00	16.67(5.37)
右肩_Y	12.25	6.75	5.75	8.00	11.00	2.00	7.63(3.39)
腰_X	6.00	8.00	3.00	7.25	6.00	4.50	5.79(1.66)
腰_Y	11.00	20.50	11.00	11.50	10.75	14.50	13.21(3.50)
左膝_X	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50(0.50)
左膝_Y	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50(0.50)
右膝_X	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00(0.58)
右膝_Y	2.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.67(0.75)
右肘_X	30.00	28.50	31.00	25.75	39.50	24.00	29.79(4.95)
右肘_Y	50.25	32.00	33.50	30.50	39.25	37.75	37.21(6.59)

図 5-3 職人 A における技能動作の各部位の類似度 (背面)

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	37.50	46.00	66.75	44.75	76.50	52.25	53.96(13.50)
頭_Y	29.50	33.00	45.75	333.50	52.50	55.50	91.63(108.58)
左肩_X	32.75	50.75	63.50	52.50	93.25	56.25	58.17(18.24)
左肩_Y	20.50	19.50	24.75	24.25	42.75	28.75	26.75(7.77)
右肩_X	23.50	42.25	54.50	46.25	53.00	47.75	44.54(10.26)
右肩_Y	9.00	30.50	25.00	34.75	24.75	32.50	26.08(8.47)
腰_X	14.75	38.00	45.50	37.75	59.25	41.75	39.50(13.22)
腰_Y	21.25	77.75	53.75	76.75	59.50	90.50	63.25(22.37)
左膝_X	9.00	19.25	29.75	24.50	32.00	31.75	24.38(8.21)
左膝_Y	6.00	15.50	23.75	21.25	25.75	22.25	19.08(6.65)
右膝_X	10.25	19.50	20.25	22.50	18.00	23.00	18.92(4.23)
右膝_Y	7.00	14.75	10.00	18.00	11.00	16.75	12.92(3.90)
右肘_X	79.25	100.00	106.80	100.50	83.25	123.50	98.88(14.73)
右肘_Y	88.00	125.00	90.25	130.30	113.80	128.00	112.56(17.37)

図 5-4 初級者 B における技能動作の各部位の類似度 (背面)

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	71.75	77.25	35.75	18.50	18.50	30.50	42.04(23.82)
頭_Y	16.25	21.00	16.75	10.75	11.25	18.00	15.67(3.63)
左肩_X	91.25	97.00	47.75	11.50	17.75	31.00	49.38(33.66)
左肩_Y	11.00	15.00	13.50	8.50	4.00	8.00	10.00(3.66)
右肩_X	78.25	92.75	43.00	16.00	12.50	27.00	44.92(30.58)
右肩_Y	21.25	16.00	16.25	4.00	4.00	3.75	10.88(7.17)
腰_X	75.75	61.50	54.50	7.75	12.00	22.50	39.00(26.06)
腰_Y	36.75	45.75	46.25	19.75	26.00	35.75	35.04(9.65)
左膝_X	46.75	34.00	32.75	2.00	6.00	4.00	20.92(17.54)
左膝_Y	13.25	14.50	11.25	2.00	4.00	4.00	8.17(4.97)
右膝_X	52.00	52.00	27.00	2.00	10.00	12.00	25.83(19.92)
右膝_Y	16.25	14.25	12.50	2.00	10.00	12.00	11.17(4.53)
右肘_X	34.50	30.75	37.25	27.50	25.50	31.25	31.13(3.95)
右肘_Y	31.75	25.00	23.75	18.50	31.00	22.50	25.42(4.67)

図 5-5 初級者 F における技能動作の各部位の類似度 (背面)

行間の類似性が高く、塗り動作中における下半身の動作が安定していることを示している。対して、初級者 B, F の技能動作の特徴としては、職人 A とは異なりおおむね平均値が高く推移している。これは初級者グループが安定して塗り動作を行っていないことを示していると考えられる。特に初級者 B の頭部の値は顕著であり、職人 A に

比べて X 軸方向では約 3 倍、Y 軸方向では約 11 倍の値を示している。これは、初級者 B の塗り動作中の視座が固定されていないからであると考えられる。

次に側面から撮影した塗り動作について、4 回の動作を切り出し、それらの動作の骨格座標について DTW を用いて類似度を算出し、骨格座標の DTW 距離の平均を求めた (図 5-6~5-8)。図中の表記および対象者は背面のものと同様である。

職人 A における技能動作の特徴として、背面と同じく全体的に見て低い平均値内におさまっている。すべての部位において、計測された値がほぼ 10 以下と試行間における類似度が極めて高く、安定して塗り動作を行っていることが分かる。

対して、初級者 B, F の技能動作の特徴としては、パターンが分かれる結果となった。特に初級者 B においては

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	12.75	17.00	7.50	6.50	6.50	9.25	9.92(3.83)
頭_Y	5.75	11.00	6.00	7.25	2.00	9.50	6.92(2.88)
左肩_X	11.00	13.75	1.00	25.00	10.00	15.00	12.63(7.13)
左肩_Y	5.00	6.00	1.00	4.25	4.00	5.00	4.21(1.57)
腰_X	4.00	7.50	7.00	11.00	7.25	11.00	7.96(2.44)
腰_Y	8.50	8.00	9.50	9.00	7.00	2.00	7.33(2.51)
左膝_X	7.75	5.75	7.75	6.25	3.75	4.00	5.88(1.59)
左膝_Y	8.25	4.75	4.75	5.50	5.50	0.00	4.79(2.45)
左肘_X	7.00	1.00	5.00	8.00	2.00	6.00	4.83(2.54)
左肘_Y	4.00	5.75	3.00	9.75	1.00	9.00	5.42(3.14)

図 5-6 職人 A における技能動作の各部位の類似度 (側面)

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	38.75	46.75	67.75	58.75	78.25	67.50	59.63(13.40)
頭_Y	30.25	36.00	38.25	41.75	48.25	44.75	39.88(5.88)
左肩_X	39.50	38.75	60.00	56.00	62.00	60.00	52.71(9.77)
左肩_Y	17.75	17.75	28.50	16.75	31.25	27.25	23.21(5.92)
腰_X	24.75	35.25	62.75	46.00	74.25	61.50	50.75(17.08)
腰_Y	27.00	69.25	53.00	62.75	56.25	64.00	55.38(13.74)
左膝_X	28.25	38.25	36.75	38.00	47.00	43.75	38.67(5.89)
左膝_Y	15.50	33.50	32.75	32.50	28.25	35.25	29.63(6.66)
左肘_X	150.50	210.75	178.75	173.75	137.00	181.00	171.96(23.52)
左肘_Y	250.50	321.25	213.75	236.75	186.75	247.00	242.67(41.34)

図 5-7 初級者 B における技能動作の各部位の類似度 (側面)

	1×2	1×3	1×4	2×3	2×4	3×4	部位平均 (標準偏差)
頭_X	12.75	6.50	11.00	6.00	15.50	13.00	10.79(3.47)
頭_Y	8.75	7.25	5.00	6.25	7.25	5.50	6.67(1.25)
左肩_X	19.50	14.50	12.25	5.00	11.00	6.00	11.38(4.94)
左肩_Y	4.50	3.50	7.00	3.00	6.00	5.00	4.83(1.37)
腰_X	20.50	22.25	11.00	4.25	8.25	9.25	12.58(6.56)
腰_Y	14.00	8.00	3.25	9.25	9.00	5.75	8.21(3.31)
左膝_X	17.00	11.50	14.00	2.75	7.25	10.00	10.42(4.59)
左膝_Y	34.75	28.25	27.50	6.50	6.50	3.50	17.83(12.59)
左肘_X	30.75	24.25	19.75	8.00	13.00	12.00	17.96(7.81)
左肘_Y	8.50	4.75	6.75	5.00	8.00	8.00	6.83(1.48)

図 5-8 初級者 F における技能動作の各部位の類似度 (側面)



平均値が非常に高い状態となっており、これは塗り動作の際に壁面に対する自身のポジションが上手く吐かれていない状態にあると考えられ、このような学習者は塗りの際に力がかかりすぎるあるいは弱すぎる、また土を多く落としてしまう状態にあると推定することができる。

#### 5.4 得られた知見

前節より、学習者には2通りのパターンがあることが分かった。一つ目のパターンが安定して塗り動作を行っていない学習者である。このような学習者に対しては塗り動作事態の安定性を高めていく学習が必要になると考えられる。よって、塗り動作の安定性が向上するまで反復的に塗り動作を学習させるような支援を行うべきである。二つ目のパターンがある程度安定して塗り動作を行える学習者である。こういった学習者には、試行ごとに達成すべき学習目標を提示する支援を行うべきである。この時、指導者を介さない学習を多く行っている学習者の試行は理想的でない動作に収束している場合がある。その場合、お手本となる動作と比較することにより、動作が理想的かどうかを判定できる可能性がある。そこで、職人Aの1動作を理想的な動作と仮定し、初級者Fの各動作と比較することで、判定を行った。結果として、職人Aと初級者FとのDTW距離の平均値を示すことができた。これにより、得られた試行平均値を次に目指すべき段階における技能の水準とし、これより平均値の高かった動作に対してオノマトペの重畳を行うことで、学習者に指導情報を提示するタイミングとできるのではないかと考えられる。

### 6. 視聴システムを使用した実験

#### 6.1 視聴システムの試作

前章から、お手本の動作と学習者の動作についてDDTWを用いて比較することにより、オノマトペをいかに重畳すべきかどうかを判定するための目的水準となる数値を得ることができた。次に学習者の技能の水準を、目的水準に到達させるために、オノマトペを設定し、このオノマトペを学習者に伝達するための重畳表示視聴システムの試作を行った。図6-1はそのシステムの表示画面と骨格情報との対応を表した図である。

試作システムはP5.jsを用いて作成した。a)学習者の試行動画相当の動画(北海道における研修において取得した動画データを使用)から1回の塗り動作を切り取った動画にオノマトペを重畳した。b)オノマトペは骨格座標をもとに学習者の動作に追従するように表示している。また、c)試作システムは画面上のstartボタンにより動画の再生・一時停止が行える。今回は事前に用意した動画を使用した。以後は学習者による動画のインポートも行えるようにアップデートを行うものである。



図 6-1 試作システムの表示画面と骨格情報との対応

#### 6.2 重畳するオノマトペ

次に、重畳するオノマトペについて考える必要がある。この時、重畳するオノマトペは2通りあると考えられる。一つ目がお手本の動作に比べて動きがオーバーになっていることを学習者に伝達するオノマトペである。二つ目がお手本の動作に比べて動きが固くなっていることを学習者に伝達するオノマトペである。前者の場合は、「スッ…」というオノマトペを伝達することにより余計な力みをなくすように誘導する。後者の場合は「グッ!」というオノマトペを伝達することにより大胆な動作変化を起こすように誘導する必要がある。

#### 6.3 実験の内容・条件

前述のオノマトペの内容を変化させて学習者に伝達する手法の有効性を検討するために、本研究で新たに提案するオノマトペの内容を変化させて伝達する手法(パターン A)と既往研究の手法であるオノマトペの形を変化させる伝達手法(パターン B)、そしてその双方を組み合わせる手法(パターン C)の三つについてアンケートを用いて評価を行う。

本研究が提案するオノマトペの内容を変化させて学習者に提示する手法は、オノマトペの性質上、その動作をどの程度の速度や力加減で行うべきかを様々な解釈の余地を持たせた状態で提示するのに優れていると考える。他方で、既往研究の手法であるオノマトペのフォントや形を変化させて学習者に提示する手法に対して、その動きのダイナミックさや繊細さを視覚的に表現することについては弱いと考えられる。よって、この二つの手法を組み合わせることで、より学習者の感覚に寄り添った表現ができるのではないかと考える。

学習者には事前に条件①に従って回答をいただいた。また、動画の内容は図6-2~6-4にその流れを例示する。動画に対して学習者が前述の2通りの状態にあると仮定して、「グッ」と「スッ」というオノマトペを重畳している。また、アンケートの項目として上述の手法に関する仮説をもとに「身体の動き」、「力の入れ方」、「動きの早さ」の三つを挙げている。



図 6-2 パターン A の例示

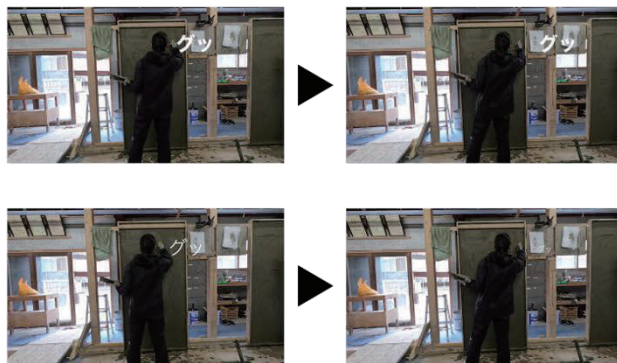


図 6-3 パターン B の例示



図 6-4 パターン C の例示

[ 概要 ]

所在地 オンラインで実施  
 期間 5日間  
 参加人数 54人(香川大学及び芝浦工業大学の学生)  
 作業内容 三つの手法に関する動画を視聴し、これについてアンケートを行う

[ 条件① ]

以下の質問では、それぞれ動画を視聴した上での回答をお願いいたします。

動画には三つのパターンがあり、各パターンで一連の動きが二度再生されます。それぞれ一度目と二度目で差異があり、詳細は以下のようになっています。

パターン A: オノマトペが異なる  
 パターン B: フォントと演出が異なる  
 パターン C: パターン A と B の複合

各動画について、三つの項目を 5 段階で評価して回答してください。

項目は「身体の動き」「力の入れ方」「動きの早さ」です。各項目がわかりやすくなったかどうかをパターンごとに評価してください。

その際、自分が左官業初級者であるとして、動画内のオノマトペからイメージがしやすいかという観点から評価、回答していただきますようお願いいたします。なお、いずれの動画も複数回の視聴が可能です。

#### 6.4 実験の結果

アンケートを香川大学および芝浦工業大学で実施したところ、54名の回答を得ることができた。この結果について、アンケートの回答項目である「身体の動き」「力の入れ方」「動きの早さ」の三つについて記す。

##### 1) 「身体の動き」についてのアンケート結果

図 6-5 はアンケートから「身体の動き」に関する 5 段階評価を 100% 積み上げ横棒により比較表示したものである。

図 6-5 より、パターン A は 12 人の方が最も良い評価である 5、次いで 10 人の方が 4 と回答しているのに対し、パターン B においては、20 人の方が最も良い評価である 5、次いで 13 人の方が 4 と回答している。また、パターン A においては 3 と回答した方が 20 人、2 や 1 と答えた方が計 12 人いたことから、前述のとおり提案手法の懸念点である身体の動きのダイナミックさや繊細さを視覚的に表現することについて、やはりパターン A が不得手とするものであることが示された。それと同時にオノマトペの形を変化させる既往研究手法の方が、これに関して優れていることが分かった。そして、これらの複合手法であるパターン C については、5 と回答した方が 13 人、4 と回答した方が 16 人と、パターン A の不得手とする点をパターン B と組み合わせることで、ある程度克服したと考えることができる。

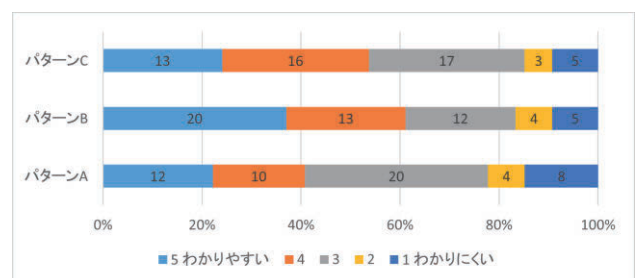


図 6-5 「身体の動き」についてのアンケート結果

2) 「力の入れ方」についてのアンケート結果

図 6-6 はアンケートから「力の入れ方」に関する 5 段階評価を 100%積み上げ横棒により比較表示したものである。

図 6-6 より、パターン A は 22 人の方が最も良い評価である 5、次いで 13 人の方が 4 と回答しているのに対し、パターン B においては、18 人の方が最も良い評価である 5、次いで 13 人の方が 4 と回答している。

このことから、提案手法と既往研究手法の間においてそれほど差がないことが分かった。しかし、これらの手法の複合手法であるパターン C においては、最も良い評価である 5 と回答した方が 11 人と上述の 2 手法から大きく減少してしまっている。これは二つの手法を組み合わせることで力の入れ方について混乱を招いてしまったのではないかと考える。

3) 「動きの早さ」についてのアンケート結果

図 6-7 はアンケートから「動きの早さ」に関する 5 段階評価を 100%積み上げ横棒により比較表示したものである。

図 6-7 より、パターン A は 15 人の方が最も良い評価である 5、次いで 24 人の方が 4 と回答しているのに対し、パターン B においては、8 人の方が最も良い評価である 5、次いで 23 人の方が 4 と回答している。

このことから、オノマトペの内容を変化させる手法であるパターン A は、学習者にその塗り動作の早さを伝達するのに適していると考えられる。パターン A と B の複合手法であるパターン C においては、5 と回答した方は 10 人とパターン B より増加している。また、3 と回答した方はパターン B においては 20 人存在したが、パ

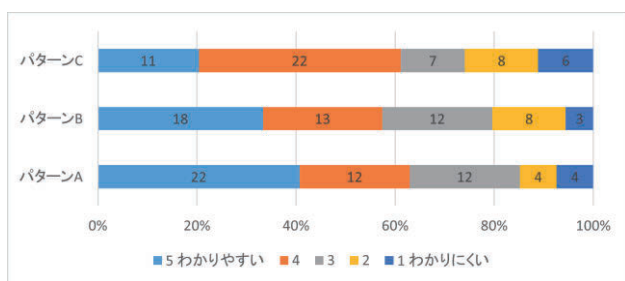


図 6-6 「力の入れ方」についてのアンケート結果

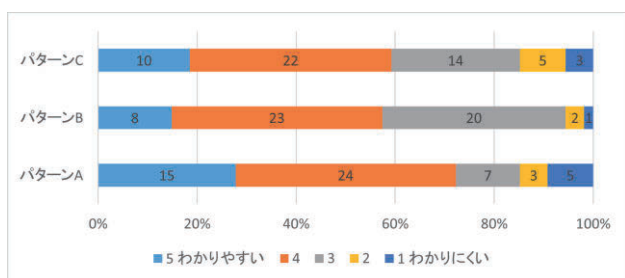


図 6-7 「動きの早さ」についてのアンケート結果

ターン C においては 14 人と減少している。しかし、2 や 1 と回答した方は、パターン B においては計 3 人だったのに対しパターン C では 8 人と増えている。パターン A においても同様に 2 や 1 と回答した方が 8 人存在する。これらの事柄から、オノマトペの形を変化させる既往手法に対し、オノマトペの内容を変化させる提案手法においては、理解が促進される人がいる他方で、オノマトペの内容が変化することにより理解ができなくなる人がいるのではないかと考えられる。

6.5 考察

上述の三項目から得られた結果を考察する。オノマトペの内容を変化させる手法であるパターン A について、塗り動作の早さを深く伝達することに長けていることが明らかになった。他方で身体の動きを伝達するのは既往手法に比較して劣ることが分かった。また、オノマトペの内容が変化することにより、理解が促される人がいる一方で、理解を妨げてしまう場合があることも分かった。このことから、使用するオノマトペについて、より学習者にわかりやすい物を提示するために二通りの手法が取れると考えられる。一つ目の手法が、より多くの人々が共通した認識を持つオノマトペを使用する手法で、もう一つの手法がシステムを使用する学習者の認識とシステムの伝達する情報のすり合わせを行う手法である。前者は多くの人々に適応できる反面、個々の認識のずれから前述のような技能の習得への妨げが発生すると考えられる。後者は学習者とシステム間で認識を共有することで、前者のような妨げは起こりにくくなると考えられるが、オノマトペのもつ曖昧性が失われることにより学習者の試行錯誤を妨げる可能性がある。そこでこの二つの手法の双方からアプローチを行うことにより、ある程度までは広範の学習者が理解しやすいオノマトペを用い、ある程度を超えた時点から学習者個人への対応を行いその学習を支援することが必要であると考えられる。

また、パターン A と B の複合手法であるパターン C については、どの評価においても二つの手法の中間程度の値となった。パターン A とパターン B 双方の手法におけるおのおのの短所をうまく補っているとも考えられるが、同時にその短所の影響から 1 番よい評価が得られなかったとも考えられる。これについても上述のとおり、多くの学習者にとってわかりやすい表現を使用する手法と個人への適応を進める手法の 2 手法から適した状態を探っていく必要があると考える。

よって以降は、このアンケート調査から得られた結果をもとに、オノマトペの再選定と重畳表示の最適化を行う必要がある。また、各パターンへの自由回答が 34 人の方から得られているので、こちらに関しても今後分析を行っていく必要があると考えられる。

また、三つの手法とも概ね3以上の評価をいただいたことは、学習者に現状の試行錯誤を如何に変化させれば次の段階との差を埋められるかについて理解しやすい形で示すことができたのではないかと考える。

今後この支援システムは指導者の不在時においては、学習者の試行錯誤についてオノマトペを通じて技能動作の変化を促す役割を果たし、対面指導下においてはその結果をもとに指導者が学習者の技能動作を調整するとともに、さらに詳細な指導の機会を増加させることができると考えられる。

## 7. 総括

### 7.1 まとめ

本研究は、建設業において職人の高齢化や減少といった問題が発生している背景から、技能継承支援の手法として視聴支援システムを作成することが必要であると考へ、映像にオノマトペを重畳表示する視聴システムの検討と試作を行った。現状増加傾向にある指導者を介さない個人学習の支援システムのために、初級学習者の成長における支援対象と支援可能性を北海道における左官研修にて調べた。職人と初級学習者との間にどのような差があるかを骨格推定とDTWを用いて調査したことにより、その作業の安定性を明らかにし、現状における学習者の技能水準と次の段階の水準との差を埋めるための指導情報の提示手法について検討を行った。

検討をもとにどのようにオノマトペを重畳するかについて、本研究ではオノマトペの内容を変化させる手法を提案するとともに、過去の主査による研究において提案したオノマトペの形を変化させる手法との比較を行い、同時に提案手法と既往手法の2手法を組み合わせた手法についても比較・評価を行い、これらの手法のUI設計としての有用性について明らかにした。

今後の展望として、研修の中で得られたデータについては分析・研究を重ねることにより、左官における初期段階の学習者の成長にフォーカスした視聴支援システムの作成におおいに寄与することが期待できる。また、上級者に相当する職人の作業についても、今後調査を行うことによりさらなる技能継承手法の開発・検討を行っていく。また提案手法について以後は学生被験者のみならず、左官業に従事する新人職人の方にも実際に評価していただくことで、この手法が与える影響について調査を行うとともに使用するオノマトペについてさらなる検討を行う予定である。

### <謝辞>

本研究における初学者のモデル測定に際し、人材育成のための訓練への参加および撮影機材の設置を快諾いただきました中屋敷左官工業株式会社様に感謝申し上げます。また、香川大学における実験について、材料の用意や左官初心者である学生

へのレクチャー並びにデータの測定にご協力いただきました斎藤興業株式会社様に感謝申し上げます。並びにこの実験に際し、機材の貸与および測定部位に関するご助言をいただきました大阪産業大学講師 高井由佳様にも感謝申し上げます。同じくご助言いただきました香川大学医学部助教 神田かなえ様にも感謝申し上げます。

### <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\\_kensetsugyogo/const/content/001493958.pdf](https://www.mlit.go.jp/tochi_fudousan_kensetsugyogo/const/content/001493958.pdf) (参照 2023-9-11).
- 2) 経済産業省, 厚生労働省, 文部科学省, 2019年版ものづくり白書, [https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun\\_pdf](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/honbun_pdf) (参照 2023-9-11).
- 3) 建設技能トレーニングプログラム, <https://kensetsu-shokunin.jp/> (参照 2023-9-11)
- 4) 蓮井宏輔, 中原輝, 後藤田中, 國枝孝之, 松浦健二, カルンガル ギディンシ ステファン, 米谷雄介, 林敏浩, 八重樫理人, スポーツオノマトペの直感的な意図を表現するコミックフォントを用いた運動学習支援, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No. 469, pp. 77-82, 2018
- 5) 石岡匠也, 後藤田中, 赤木亮太, 平沢友貴, 松浦健二, 谷岡広樹, カルンガル ギディンシ ステファン, 和田智仁, 米谷雄介, 國枝孝之, 八重樫理人, 林敏浩, 動作習得を対象としたシンボルの重畳表現による映像システムの評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 118, No. 510, pp. 135-140, 2019
- 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) 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
- 8) 川井翼, 蟹澤宏剛, 後藤田中, 建設技能労働者の技術習得に関する研究, 2019年度日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集, pp. 171-172, 2019
- 9) Max Coleman, Ryan Burke, Cristina Benavente, Alec Piñero, Francesca Augustin, Jaime Maldonado, James P. Fisher, Douglas Oberlin, Andrew D. Vigotsky, Brad J. Schoenfeld, Supervision during resistance training positively influences muscular adaptations in resistance-trained individuals, Journal of Sports Sciences, pp. 1-11, 2023
- 10) Eamonn J. Keogh, Michael J. Pazzani, Derivative Dynamic Time Warping, Proceedings of the 2001 SIAM International Conference on Data Mining (SDM), pp. 1-11, 2001

### <研究協力者>

中屋敷 剛 中屋敷左官工業株式会社 社長  
斎藤 誠治 斎藤興業株式会社 社長  
馬門 知弘 斎藤興業株式会社 職人  
山岡 真由美 斎藤興業株式会社 職人  
高井 由佳 大阪産業大学デザイン工学部 講師  
神田 かなえ 香川大学医学部 助教  
船曳 彩香 芝浦工業大学 学生  
香川大学の学生諸氏  
芝浦工業大学の学生諸氏