

# 宮大工の技術的暗黙知の多角的保存と可視化

## — Human Computer Interaction 技術を用いた伝統技術の継承 —

### Preservation and visualization of carpenter's technical tacit knowledge

#### -Succession of traditional techniques with Human Computer Interaction-

○小島尚之<sup>\*1</sup>, 高崎将太郎<sup>\*2</sup>, 原田真衣<sup>\*3</sup>, 谷口千明<sup>\*3</sup>, 山田悟史<sup>\*4</sup>  
 Naoyuki KOJIMA<sup>\*1</sup>, Shoutarou TAKASAKI<sup>\*2</sup>, Mai HARADA<sup>\*3</sup>, Chiaki TANIGUCHI<sup>\*3</sup>, Satoshi YAMADA<sup>\*4</sup>

\*1 立命館大学 大学院 理工学研究科 博士課程前期課程  
 Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.

\*2 有限会社 白鳳社寺  
 Hakuhou Shaji.

\*3 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科  
 Undergraduate, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan Univ.

\*4 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 任期制講師・博士 (工学)  
 Lecturer, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan Univ., Dr.Eng.

キーワード：大工仕事；暗黙知；伝統技術；筋変位；モーションキャプチャ；注視点

Keywords: Carpentry; Tacit knowledge; Traditional techniques; Muscle displacement; Motion capture; Gaze point.

## 1. はじめに

現在、日本の建築業界が抱える問題の1つに大工人口の減少が挙げられる。住環境価値向上事業協同組合による調査<sup>1)</sup>では、大工人口が2020年には2010年の53%ほどになると予測されている。また、2020年における大工の需要予測では30万人程度が必要とされているが、このままでは9万人程度の大工不足となる。とりわけ宮大工の人口減少・高齢化は顕著であり、将来的には寺社仏閣の保全や改修の際に深刻な人手不足に陥るといった問題が表れる。このことから、宮大工の育成に対してより効率的な新しい取り組みが必要だと考えられる。

この「宮大工の人口減少」という問題の要因として、師弟関係と表される伝統的な技術継承の形式に課題が挙げられる。この形式についても様々な工夫がなされているが、「見て習う」「聞いて習う」といった現在の形式では習得するまでに膨大な時間を要する。中島らの研究<sup>2)</sup>では、大工の中でも専門性の高い宮大工について、技術を全て習得し1人前になるまで一般的な大工の2倍にあたる約8年を要することが明らかとなっている。

現在、人の技術を機械化する試みが多数行われている。高品質な建造物を後世まで残す上で必要な試みだが、人が柔軟な関節・筋肉、繊細な感覚器官、自然知能を有していることや、宮大工の動作の複雑さ・繊細さを考えると、人から人への技術継承は今後も取り組むべき重要な課題となる。これは建造という意味のみならず、ある時代に存在した優れた職人の感覚を後世に伝えるという歴史・文化保存の意味でも重要である。

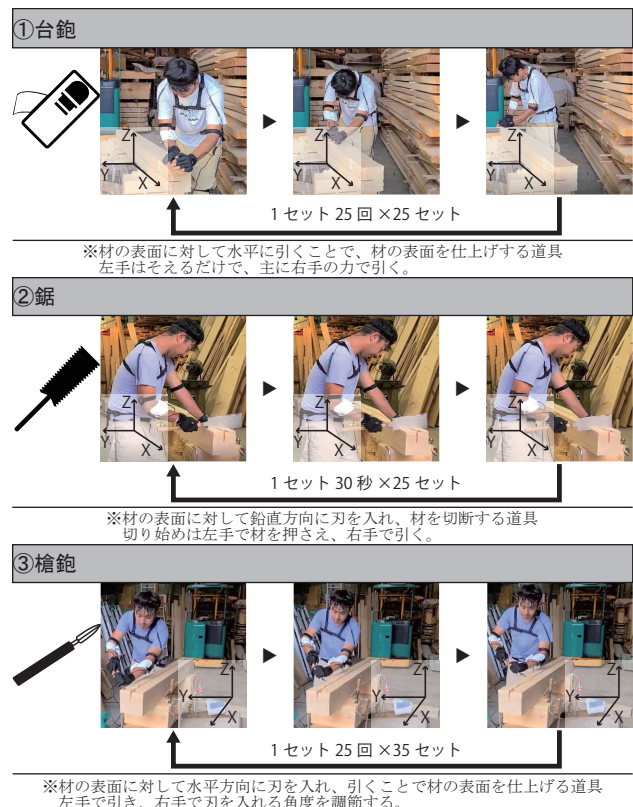


Figure 1. Target Motions & 3D Coordinates (Motion Analysis)

人から人への技術継承を実施する上で、参照可能となる研究が Human Computer Interaction 分野にある。この分野は、人とコンピュータの相互利用に関するものである。本研究はこの分野の応用として、コンピュータを介した人から人への技術継承を目標としている。

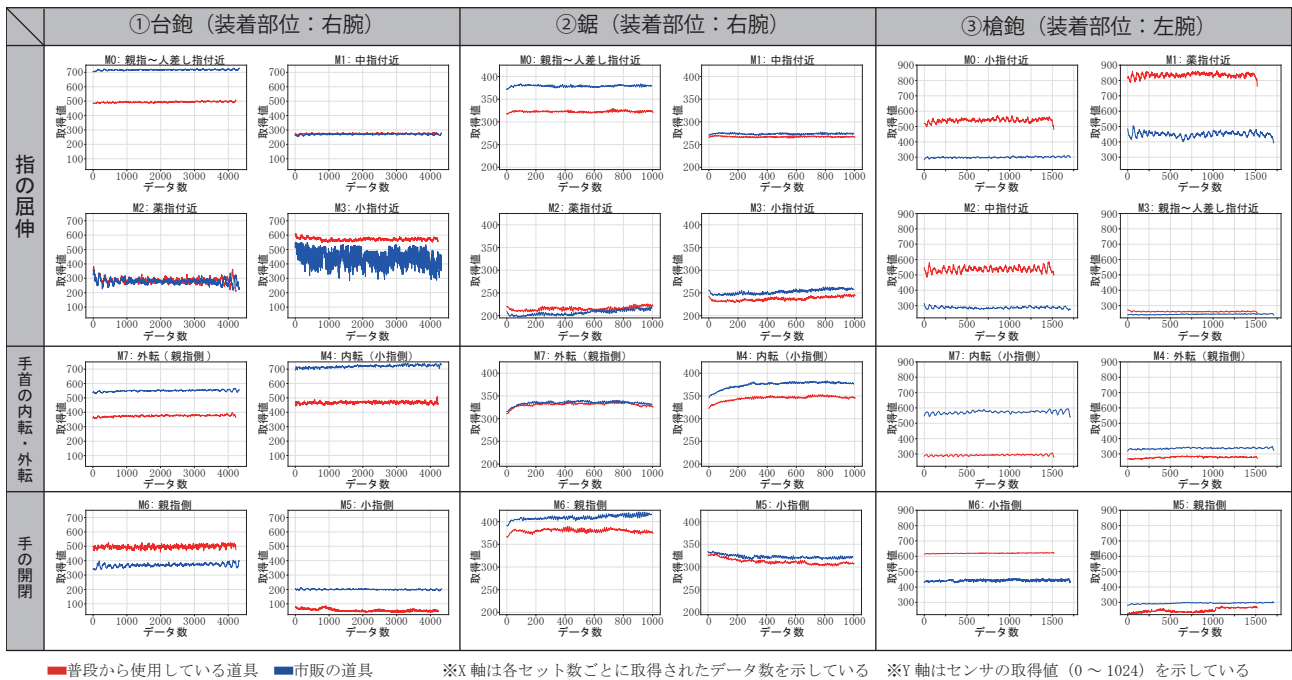


Figure 2. Average Plot(Power of Each Motion)

筆者ら<sup>3)</sup>は大工動作における力加減の差異に着目し、6種の動作を対象に、筋変位センサと3軸加速度センサによる数値化・可視化、経験者・未経験者の動作分類を実施することで、伝統技術の保存可能性を検証した。しかし、宮大工の動作は単一の動作ではなく、材の特性や周辺環境に応じて使用する道具や動作を決定しているということをもふまえると、動作のデータを保存する上で、力加減以外にも様々な要素を考慮しなければならない。

そこで本研究では、動作とともに、使用している宮大工の道具にも着目し、3種の道具について、普段から使い慣れている道具と、そうでない市販の道具でそれぞれ動作を実施してもらう。その際、3種のデバイスを装着した状態で動作を実施し、データを取得する。そのデータを基に3種の観点から数値化・可視化を実行する。

## 2. 研究目的・方法

現役の宮大工との相談のもと決定した3種類の大工道具の主な用途と動作の概要、それぞれの動作におけるデータ取得の様子およびセット数、加えて動作姿勢における座標軸の方向を図1に示す。本研究における各動作のセット数については、宮大工の疲労や集中力を考慮した上で分析に必要な十分なデータ数として設定している。

本研究では、宮大工に3種類のデバイスを装着した状態で各動作を実施してもらい、それぞれの動作での時系列データを取得する。これらのデータセットを基に、使い慣れた道具と市販の道具での動作の差異の可視化を実施することで、宮大工が無意識に実行している技術を特定することが本研究の目的である。以下に使用したデバイスの特性および本研究での分析対象について記す。

### 2.1. 力加減による分析

各動作における力加減の差異を確認するために、筋変位センサが内蔵されたデバイス<sup>注1)</sup>を使用した。このデバイスを各動作で主体となる側の前腕(台鉋:右腕、鋸:右腕、槍鉋:左腕)に装着することで、装着した側の指の屈伸や手首の内転・外転、手の開閉といった動作を認識し、数値化することができる。

本研究では各センサの取得値から平均値プロットを作成し、道具を持ち替えたことによる力加減の変化を視覚化する。これにより、各道具において宮大工が感覚的に力を入れている部位をそれぞれ特定し、暗黙的に継承されてきた動作の特性を明らかにする。

### 2.2. 動作姿勢による分析

本研究では各動作での上半身の姿勢や足の運びを可視化し、宮大工が道具を持ち替えた際、動作姿勢に差異が表れるかを確認することで、それぞれの道具で動作に影響を与える要素についての分析を実施する。

本研究で使用したものは機械式のモーションキャプチャ<sup>注2)</sup>であり、身体の17ヶ所に専用のセンサを着けることで身体の各部位(59ヶ所)の位置座標(x, y, z)を時系列データとしてそれぞれ出力することができる。

このセンサには3軸加速度センサ・ジャイロセンサ・磁気センサがそれぞれ内蔵されており、3軸加速度センサから各部位における各時点での位置座標を取得する。その座標を基に各動作における各部位の動作の推移を分析する。図1に示した座標軸は磁気センサによって定められ、x座標は北方向、y座標は東方向が正となる。したがって本研究では、方位磁針を用いて材の方向を南北方向に揃え、その材を各道具でそれぞれ加工した。

### 2.3. 注視点計測による分析

使い慣れている道具ほど、道具が身体の一部のように扱え、道具そのものではなく、材の加工部分などを注視することが考えられる。一方、使い慣れていない道具であれば、その道具の特性を把握しきれず、道具本体を確認しつつ作業するのではないかと考えた。したがって、注視点にも差異が生まれることが予想される。

本研究で使用したデバイス<sup>注3)</sup>は眼鏡のように装着し、外付けのカメラで撮影された動画内での視点の位置座標変位を時系列データとして取得することができる。

### 3. 分析結果

2章で記したそれぞれのデバイスで得られたデータから各図を作成した。それらの図を基に宮大工とのヒアリングを実施し、実際の動作と分析結果の整合性を確認した。以下に各デバイスにおけるデータ分析の結果を記す。

#### 3.1. 力加減による分析

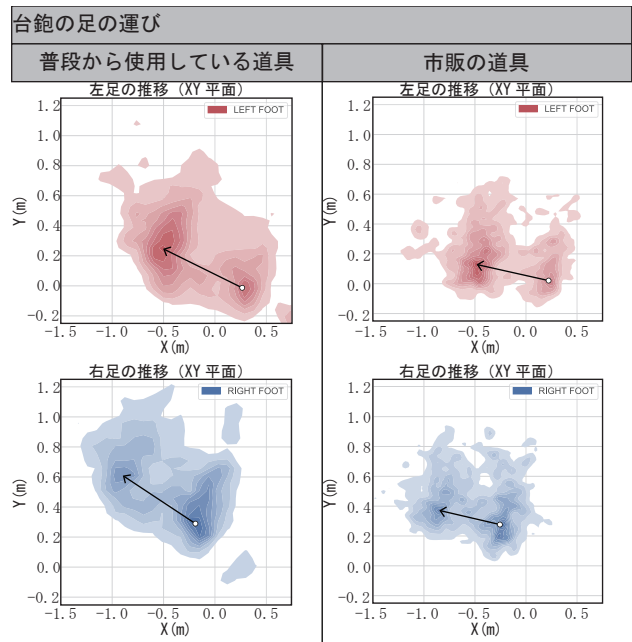
各動作の力加減における平均値プロットを図2に示す。台鉋の動作について、M3とM6では普段から使用している道具の方が高く、M0とM5では市販の道具の方が高い。また、M4とM7ではともに市販の道具の方が高い。市販の道具の方が刃の切れ味が悪く、台鉋を掴む力が大きくなる。また、切れ味を補うために材に対して押しつけるように体重をかけて引くため、手首にも負担がかかる。その結果がプロットに表れているのだと考えられる。

鋸については、ほとんどのセンサで差異が見られなかったが、普段から使用している道具に比べ、M0、M4、M7で市販の道具の方がやや大きな値となっている。台鉋と同様、鋸も市販の道具の方が切れ味が悪く、鋸を強く引くために握りこんでいたことが見て取れる。

槍鉋については、普段から使用している道具の方で指に力が入っている。これは、普段から使用している道具の方が刃に厚みがあり、削る量が多くなるため、その抵抗として力が加わった結果となっている。また、M7で市販の道具の方が大きな値を示していることについては、普段から使用している道具と柄の断面形状が異なり<sup>注4)</sup>、材に対して水平方向からやや角度をつけて動作を実施したため、手首の尺骨側に負担がかかったと考えられる。

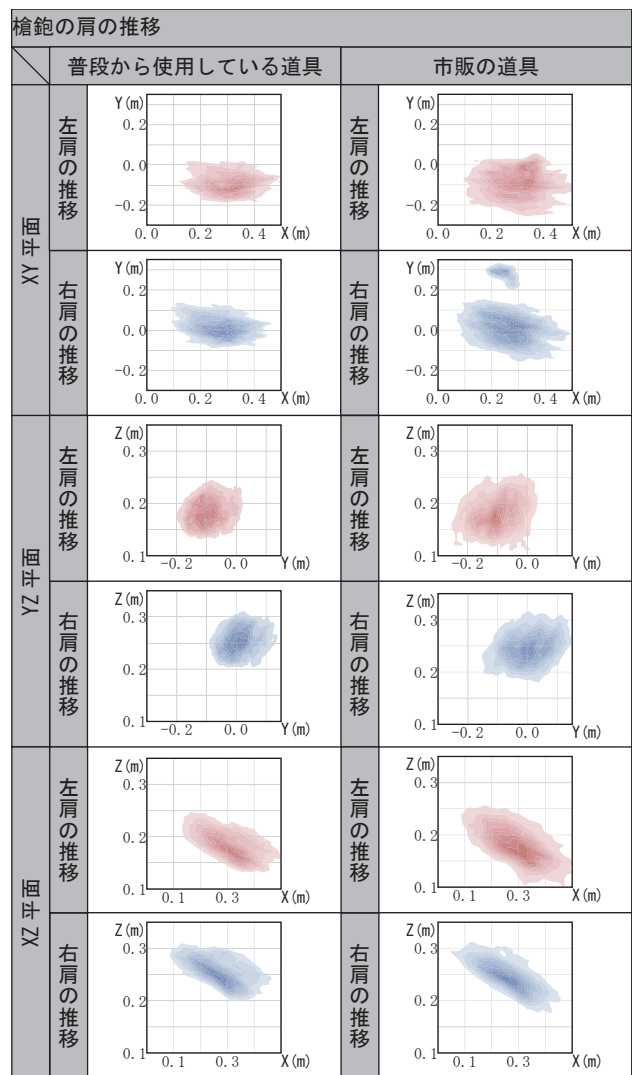
#### 3.2. 動作姿勢による分析

台鉋の足の運びのデータを取得し、そのXY座標の時系列データから座標分布の密度を推定し、図3を作成した。普段から使用している道具は、切り始めから切り終わりまで足を運ぶ際、市販の道具を使用したときよりも斜め方向に進んでいることが見て取れる。本来、材に対して真っ直ぐ台鉋を引く形式が最も力を加えやすいが、普段から手入れされている道具では切れ味が十分であることから、真っ直ぐに引かなくても材に十分な力を伝えられる。そのため、足の運びに差異が表れたのだと考えられる。



※材はX軸に平行な方向に配置されており、X軸正の方向から負の方向に向かって台鉋を引いている。図中の矢印は切り始めの足の位置から切り終わりの足の位置を指している。軸方向については図1を参照とする。

Figure 3. Foot Motion's Change(DaiGanna)



※材はX軸に平行な方向に配置されており、X軸正の方向から負の方向に向かって槍鉋を引いている。軸方向については図1を参照とする。

Figure 4. Shoulders Motion's Change(YariGanna)

槍鉋は主に上半身で引くような動作になるため、肩の姿勢から比較した(図4)。全体的に、使い慣れている道具は肩の位置が一定であるのに対し、市販の道具は位置のブレが大きいように見て取れる。普段から使用している道具については材に対する刃の入れ方を把握していることから一定の動作を実施できる。一方、刃や柄の断面形状が異なる市販の道具では材に対する角度を決定できず、1回ごとに模索しながら動作を実施することとなる。その結果、道具を持つ角度が1回ごとに変化し、肩の位置のブレに表れたのではないかと考えられる。

### 3.3. 注視点計測による分析

鋸の注視領域を図5に示す。普段使用している道具と市販の道具とで、図中で濃く示されている部分がほとんど同じ位置にあることから、道具を持ち替えたときでも注視領域に差異が表れないことが明らかとなった。

本研究では、各道具でそれぞれほぼ同サイズのものを使用している。したがって、刃の切れ味や柄の断面形状に影響される力加減や姿勢は変化するが、注視領域には差異が表れなかったと考えられる。

## 4. おわりに

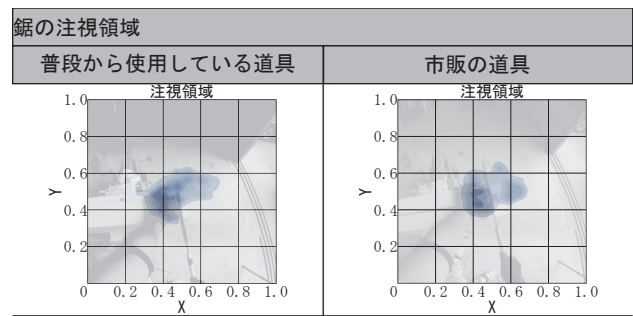
以上のように、今まで無意識下で実施されてきた宮大工の繊細な動作を、力加減・動作姿勢・注視点という3点から保存し、可視化することができた。その上で、宮大工が普段から使用している道具とそうでない市販の道具を使用した際の動作における差異を把握した。

まず、力加減については、刃の切れ味と柄の断面形状が影響する。市販の道具の方が普段から使用している道具に比べて切れ味が悪く、材と道具の間での摩擦係数が大きくなることから、必要以上に力をかけないと材を十分に加工できない。また、柄の形状によって道具を握る際の力のかけかたに変化が表れることも明らかとなった。

動作姿勢についても、刃の切れ味と柄の断面形状が影響する。鉋の動作については材に対して真っ直ぐに引かなかつたとしても、切れ味が良いため十分に加工できる。槍鉋の動作については市販の道具の柄の形状が普段の道具と異なることから、上半身の姿勢にブレが表れた。

注視点については、それぞれの動作において普段から使用している道具と市販の道具とで有効な差異が得られなかった。以上のことから、各道具の刃の切れ味や柄の断面形状によって力の入れ方や動作姿勢が決定され、特に普段から使用している道具は一定の姿勢で動作を実施できていることに対して、市販の道具では余計な力や動作姿勢のブレが表れることが明示された。

本研究の目的である宮大工の無意識下での技術の特定については、道具の特性から決定されていることが明らかとなった。宮大工技術の将来への保存・継承として解釈すれば、若手の宮大工は動作そのものを理解すると



※各5セットずつ取得したデータを基に作成している。  
得られた座標データは正規化画像座標で表されている。

Figure 5. Gaze Area(Nokogiri)

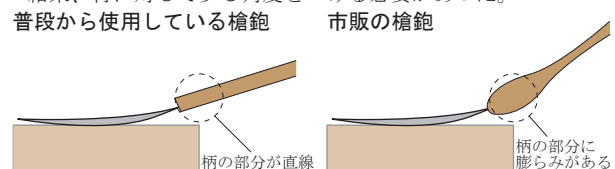
もに、道具の特性についても見識を深めなければならない。その上で本研究で得られた新たな指標は効果的である。今後は素人の被験者で同様のデータセットを作成し、本研究で得られたデータと比較・分析をすることで、宮大工と素人のそれぞれの動作における力加減・姿勢・注視点の差異を明らかにする。

## 謝辞

本研究において、ご多忙にも関わらず快く実験場所を長時間お貸しくださった有限会社白鳳社寺の皆様にご書面にて改めて感謝の意を示す。

## [注釈]

- 1) 本研究で使用したデバイスでの前腕部との接地面には、合計で8個の筋変位センサがV字型で左右対称に搭載されている。筋変位センサは一般的な筋電位センサとは異なり、前腕部に特殊な光を当てることで筋肉の収縮を検知し、手・指の動作を推定する。このデバイスはArduinoで操作され、シリアル通信を実施することでデータを取得することができる。
- 2) 身体の主要な関節や部位に専用のセンサを直接取り付けるものを「機械式」と呼ぶ。本研究ではPCとUSB接続した状態で動作を実行し、データを取得した。
- 3) 眼鏡のように装着し、キャリブレーションしてから実行することで視点の位置座標の変位を時系列データとして取得できる。取得されたデータは専用のクラウド上に保存される。
- 4) 本研究で使用した槍鉋について、宮大工が普段から使用しているものと市販のもので全長はほぼ同じものとしたが、柄の形状が以下の図のように異なっていた。普段の道具は柄の部分が直線であり、材に対して水平に引けるのに対し、市販の道具は刃と柄の間の膨らみが材に当たらないように動作を実施した結果、材に対して少し角度をつける必要があった。



## [参考文献]

- 1) 住環境価値向上事業共同組合：工務店経営者のための大工の育成と雇用形態，国土交通省補助事業「住宅市場整備推進事業」，2013
- 2) 中島正夫，神山幸弘：宮大工の技能習得過程の分析－宮大工の技能に関する調査研究 その1－，日本建築学会計画系論文集，第476号，pp. 91-100, 1995. 10
- 3) 小島尚之，山田悟史：大工仕事の感覚の可視化－Human Computer Interacton 技術を用いた伝統技術の保存継承－，日本建築学会大会学術講演梗概集，情報システム技術，2020. 7