

大工仕事における経験者と初心者の多角的比較

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

Comparison between Experts and Beginners in Carpentry

-Succession of traditional techniques with Human Computer Interaction-

○小島尚之^{*1}, 高崎将太郎^{*2}, 山田悟史^{*3}
 Naoyuki KOJIMA^{*1}, Shoutarou TAKASAKI^{*2}, Satoshi YAMADA^{*3}

- *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 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：宮大工；技術継承；筋変位；傾向変動；季節変動

Keywords: Miya Daiku; Succession of techniques; Muscle displacement; Trend Variation; Seasonal Variation.

1. はじめに

建築業界が抱える課題の1つに大工人口の減少が挙げられる。野村総合研究所の調査¹⁾によると、2010年には40万人ほどいた大工が2030年までに約21万人まで減少すると予想されている。とりわけ宮大工の人口減少・高齢化は顕著である。現状が続くと、将来的に寺社仏閣の保全や改修の際に深刻な人手不足に陥ることが予想される。以上から、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である。

「宮大工の人口減少」という課題の要因として、師弟関係と表される従来の技能継承手法が挙げられる。「動きを見て習う」「師匠から聞いて習う」といったOJTによる技能継承では習得するまでに膨大な時間を要する。中島らの調査²⁾では、宮大工の技能を全て習得し1人前になるまでに約8年かかることが示されている。この年数は一般的な町大工の約2倍に相当する。

現在、建設業で人の技能を機械化する試みが進行している。この試みは高品質な建造物を保全する上で必要である。しかし作業の複雑さ・繊細さを考えると、宮大工の技能を機械化することは困難である。したがって人から人への技能継承は今後も取り組むべき重要な課題となる。これは建設業に限らず、優れた職人の暗黙知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。

情報技術を介した人から人への技能継承について、参照可能な研究分野にHuman Computer Interaction (以降、HCI と表記する。)が挙げられる。HCI とは人とコンピュータの相互補助によって生活を豊かにする学際的な分野である。HCI の建設業への応用として、筆者らは宮大工の技能を力加減・動作姿勢・注視点の観点から分析している³⁾。このように宮大工の暗黙知を数値化・可視化し、新たな指標として示すことが後進育成に必要なだと考えている。

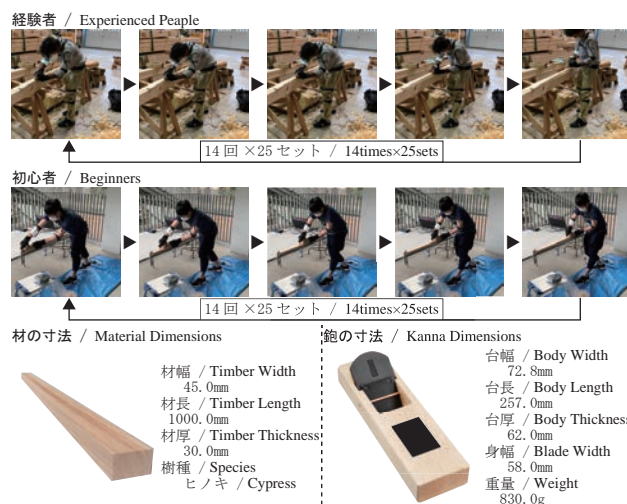


Figure 1. Experimental Overview

本研究では現役の宮大工（以降、経験者と表記する。）と大工作業初心者の動作を筋変位^{注1)}のデータを基に比較する。特に宮大工の技能で見られる繰り返しの動作について、力の大きさ・緩急の変化を確認する。経験者と初心者でこれらの変化の度合いを比較し、技能継承の新たな指標になり得る可能性を検討する。

2. 研究方法

本研究では鉋掛けの動作について経験者と初心者の比較を行う。鉋掛けを選定した理由は2点ある。1点目は木造建築の施工上重要な技能であるからである。2点目は機械での代替が依然として困難で、人の手による技能の保存が有効だと考えられるからである。図1に実験概要を示す。鉋を14回引く動作を1セットとし、1人当たり25セット実施する。疲労による動作の変化を抑えるため、10～15セットごとに休憩時間を設けている。

被験者は経験者4名と初心者13名である。経験者は37～50歳で宮大工歴が約8～30年である。初心者は19～22歳で2ヶ月程度の木造構造物の制作課題に取り組んだ経験をもつ建築系学生である。

被験者は複数のデバイスを装着した状態で動作を実施する。デバイスから得られる時系列データを基に経験者と初心者の動作の差異を明示する。以下に本研究で実施する比較の方法を記す。

2.1. 筋変位の比較

各動作における筋変位の差異を確認するために、8種の筋変位センサが内蔵されたデバイス^{注2)}を使用する。被験者はこのデバイスを自身の利き手の前腕に装着する。前腕の筋肉の収縮から、手指の動作（指の屈曲、手首の内転^{注3)}など）の筋変位を数値化することができる。

本研究では各センサの取得値を基に平均値プロット^{注4)}を作成する。これにより経験者と初心者での筋変位の差異の程度を把握し、その原因となる部位を特定する。

2.2. 動作の安定性の比較

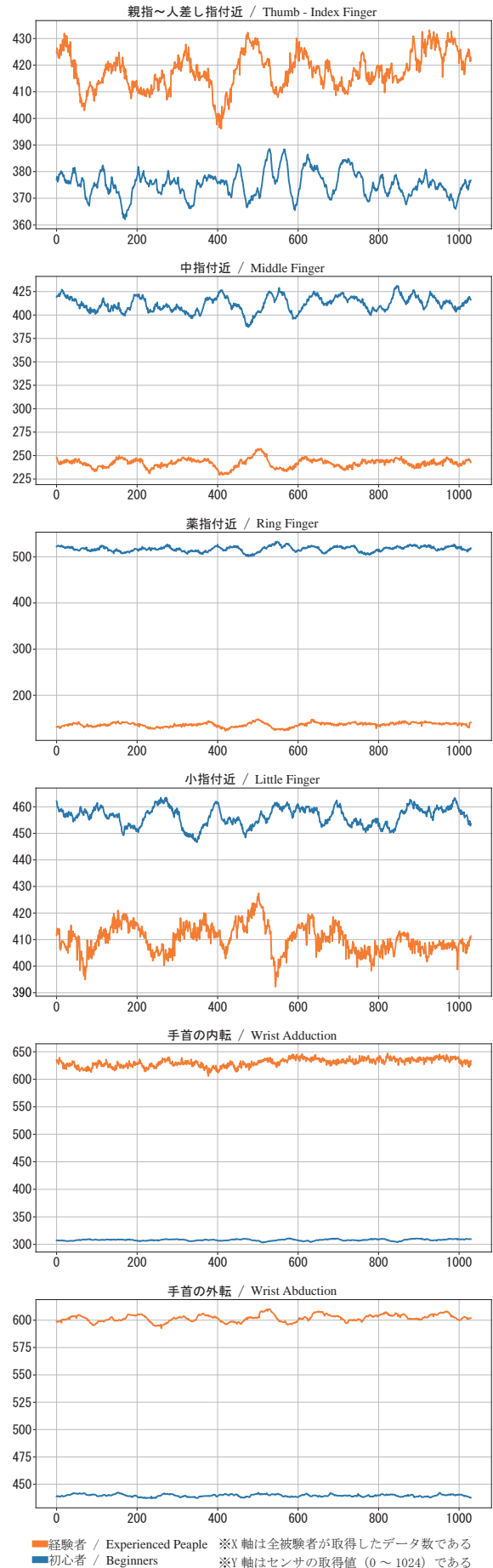
各被験者の1セット目から25セット目にかけての動作の安定性を比較する。各セットは被験者が鉋を14回引く動作としている。そのうち前後2回分を消去し、中央10回分のデータを1セットとして以下の分析を行う。

まず、各セットを正規化したデータの類似度をDTW^{注5)}によって算出する。DTWは2つの時系列データの距離（以下、DTW距離と表記する。）を算出する。2つの波形の類似度が高いほど、DTW距離は小さくなる。被験者ごとに各セットのDTW距離を総当たりで求める。結果は距離行列として得られる。その結果を基にヒートマップを作成する。ヒートマップにおけるカラーバーの範囲は0から全被験者におけるDTW距離の最大値としている。

次に、各セット（中央10回分）の傾向変動^{注6)}を比較する。傾向変動は時系列データの長期的な変動である。1セット目から25セット目にかけて傾向変動が一定に近いほど、セット間での筋変位の大きさの変化が小さいと言える。つまり各セットを同程度の力で実施していると考えられる。各被験者の傾向変動の期待値を各セット毎に求める。その期待値を基に経験者と初心者で各セット毎の平均値プロットを作成する。

最後に、各セット（中央10回分）の季節変動^{注7)}を比較する。季節変動は時系列データの中で定期的に繰り返される変動である。季節変動の範囲が一定に近いほど、各セットで力の緩急が同程度だと考えられる。各被験者で季節変動の範囲を各セット毎に算出し図示する。また、範囲を基に経験者と初心者で各セット毎の平均値プロットを作成し、併せて図示する。

以上の手法により、各被験者の1セット目から25セット目までの動作における安定性を比較する。その上で、経験者と初心者の動作の傾向を把握する。



3. 分析結果

2章に記した手法で得られたデータを基に各図を作成した。以下にそれぞれの比較結果を記す。

3.1. 筋変位の比較

指の屈曲、手首の内転における筋変位の平均値プロットを図2に示す。特に薬指付近の屈曲と、手首の内転において経験者と初心者の筋変位の差が大きい。次節ではこの2部位について分析を行う。

3.3. 動作の安定性の比較

各セット毎に正規化したデータを基に作成したヒートマップを図3に示す。ある経験者1名と初心者1名による結果である。薬指付近について経験者はDTW距離が最大で約1400とかなり大きな値を示している。また、全体的に500～1000前後の値が多い。初心者はほとんどが300以下である。手首の内転においても同様の傾向が見られる。経験者は500～1600前後の値が多い。初心者は300以下である。したがって、経験者は各セット間における波形の類似度が低いことが示されている。

原因として材表面の状態が影響していると考えられる。鉋を掛ける度に材の表面が変化する。経験者はその変化に合わせて動作スピード、力加減などを調節する。その結果、各セットごとに波形が変化したと考えられる。一方、初心者は変化を意識せず、毎回ほぼ一定の周期で動作を実施していたと考えられる。

傾向変動における経験者と初心者の平均値プロットを図4に示す。薬指付近について経験者は100～200付近でほぼ一定である。初心者は500～600付近でほぼ一定である。したがって、両者において大きな傾向の変化はなく、経験者は初心者よりも約0.2倍の筋変位量で各セットを実施していたことが見て取れる。

手首の内転について経験者は2～10セット目まで600～700付近でほぼ一定である。以降は400～600付近でばらつきが見られる。初心者は300付近でほぼ一定である。

季節変動の範囲における被験者ごとのプロット及び、経験者、初心者の平均値プロットを図5に示す。薬指付近について経験者は4名とも0～200の範囲でほぼ一定であり、4名の平均値も50付近で一定である。初心者は一定である人と変化が大きい人で差が顕著である。平均値は100～200付近で一定となっている。

手首の内転について経験者は個人差がある。0～50程度で一定の人もいれば50～250付近までばらつきのある人も見られる。初心者は多少のばらつきはあるものの、概ね0～100程度で一定となっている。

薬指付近の筋変位について、傾向変動と季節変動の結果を併せて考える。経験者は傾向変動が初心者よりも低く、季節変動は各者とも同程度で一定である。したがって、各セット間で力の大きさ・緩急を大きく変化させずに各セットの動作を実施していたと考えられる。

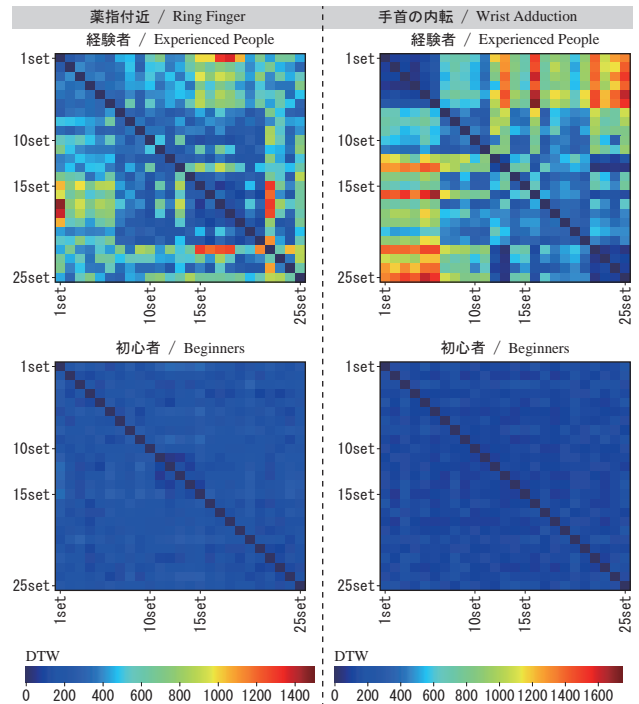


Figure 3. Heat Map(Distance Matrix of DTW)

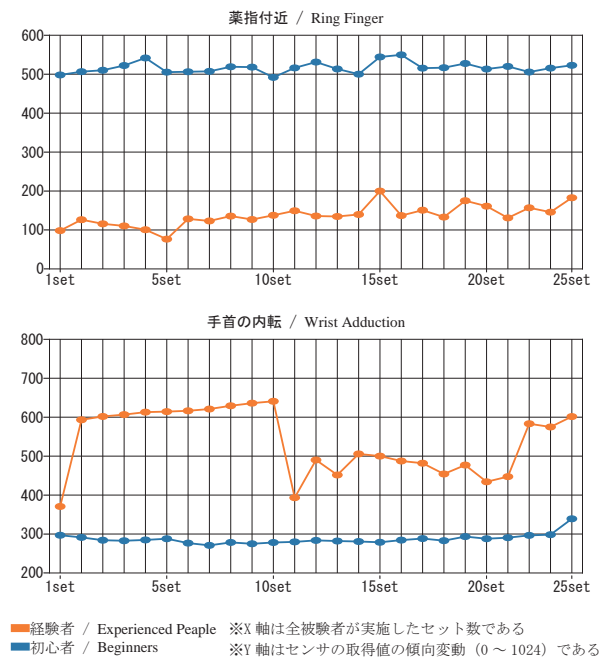


Figure 4. Average Plot(Trend Variation)

初心者は傾向変動が一定だが、季節変動に個人差が見られる。したがって、力の大きさは一定だが、力の緩急がセット毎に不安定だと考えられる。

手首の内転について傾向変動と季節変動の結果を併せて考える。経験者は傾向変動が前半と後半で大きく異なる。また、季節変動は個人差が見られる。前半に比べ後半は材表面が滑らかになるため、摩擦抵抗が小さくなる。したがって手首の負荷が小さくなり、後半の筋変位量が低下したと考えられる。その際の力の緩急については個人の裁量によって決定していると考えられる。

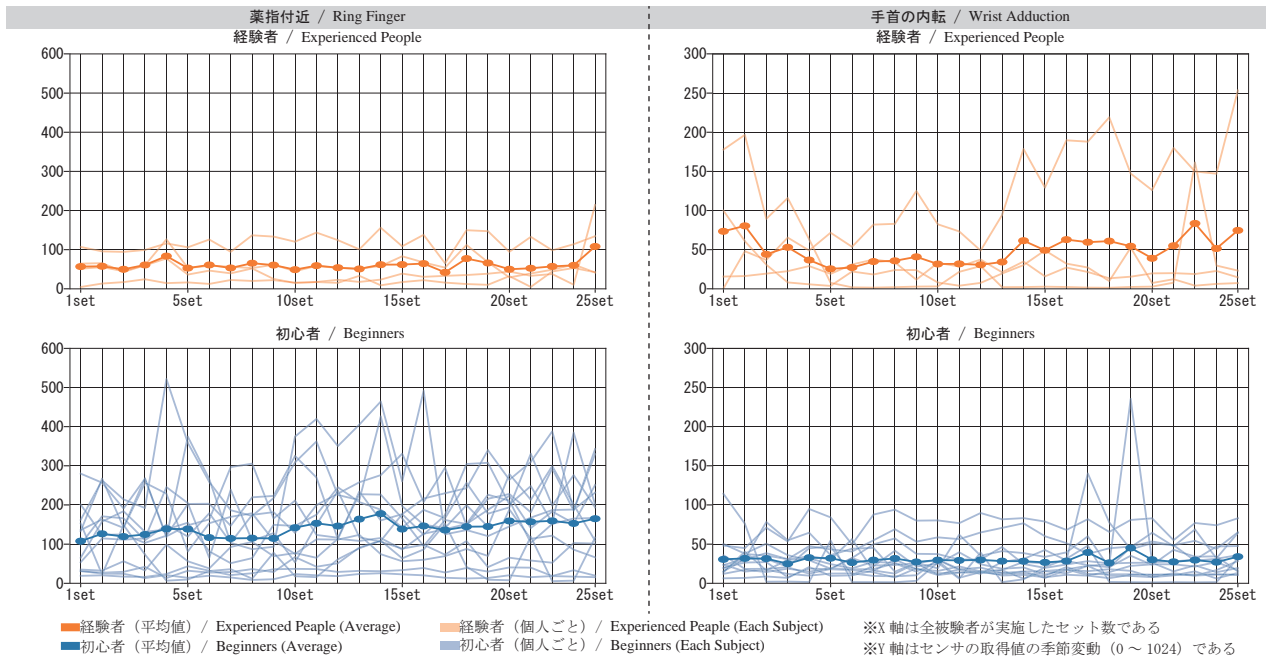


Figure 5. Plot of the Each Subject and Average Plot(Seasonal Variation Range)

初心者は傾向変動、季節変動ともにほぼ一定である。材の表面状態に関わらず手首に一定の負荷・緩急で各セットを実施していたと考えられる。

4. おわりに

本研究では経験者と初心者を筋変位及び動作の安定性の観点から比較した。動作の安定性については周期性、傾向変動、季節変動の3点を確認した。結果を後述する。

はじめに筋変位の平均値プロットから全体の傾向を把握した。特に薬指付近と手首の内転において経験者と初心者の差異が顕著であった。動作の安定性ではこの2部位について検証した。

周期性については、ヒートマップの結果から経験者に各セット間のばらつきが見られた。これは経験者が材表面の状態に応じて動作を微細に変化させていることが原因だと考えられる。傾向変動及び季節変動から、各セット間における力の大きさ・緩急について傾向が見られた。経験者は薬指に一定の負荷をかけた状態で、手首の力の大きさを変化させている。その際の力の緩急は個人によって異なる。これらの傾向はセット数を重ねる毎に変化する材表面の状態に対応したためだと考えられる。

以上の結果は技能継承の新たな指標として有意義だと考えている。意義の一例として、初心者は経験者との差異の程度を認識した状態で訓練が可能となる。

本研究は経験者と初心者という2群間での比較を実施した。今後の展望として、経験年数によってより詳細に類別化した群同士の比較が考えられる。また材の種類や気温・湿度による動作の傾向把握なども挙げられる。依然として技能継承に関わる暗黙知は残るが、本研究での成果はその一端を視覚的に示したと考えている。

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下さった有限会社白鳳社寺の皆様へ書面にて改めて感謝の意を示す。

[注釈]

- 1) 前腕の皮膚に特殊な光を当てることで測定される反射率を基に取得できる、筋肉の収縮による変位量のことである。
- 2) 注釈1)に記載した筋変位を時系列データとして取得できるセンサが8種内蔵されたデバイスを使用している。PCとUSB接続することで即時的にデータを取得できる。
- 3) 手首の内転とは手首を尺骨側（小指側）に倒す動作である。手首の外転とは手首を橈骨側（親指側）に倒す動作である。
- 4) 時点数が各被験者で異なるので、全データのうち最小の時点数に揃えた。経験者4名と初心者13名で各時点毎の平均値を算出し、図示している。
- 5) 2つの時系列データの類似度を算出するアルゴリズムである。異なる時点数のデータ同士でも実行できる利点がある。
- 6) 時系列データの構成要素の1つであり、増加や減少を持続するような長期的な変動を示す。本研究では各セット(中央10回分)から傾向変動を抽出している。
- 7) 時系列データの構成要素の1つであり、ある周期を基に規則的に繰り返される変動である。本研究では各セット(中央10回分)から季節変動を抽出している。その差異の周期は各セットの時点数を10等分した値(整数値)としている。

[参考文献]

- 1) 株式会社野村総合研究所コーポレートコミュニケーション部：2030年度の新設住宅着工戸数は60万戸、大工の人数は21万人に減少、NRI 野村総合研究所, 2018-6-13, <https://www.nri.com/jp/news/newsrelease/1st/2018/cc/0613>, (参照2021-4-15)。
- 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：宮大工の技術的暗黙知の多角的保存と可視化－Human Computer Interacton 技術を用いた伝統技術の継承－, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 建築社会システム, 2021. 7