

スポーツ競技力向上のための Quiet Eye の計測と訓練手法に関する研究

A Study of Quiet Eye Measurement and Training System for Improving Sport Competitive Skill

今福翔太^{1*} 白山晋¹
Shota Imafuku¹ Susumu Shirayama¹

¹ 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1)

¹ School of Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8654

Abstract: The Quiet Eye, a kind of eye movement, has received attention in recent years. It is observed when people concentrate on the task. It is revealed that duration of experts tends to be longer than that of novices and training of the Quiet Eye makes people more tolerant to pressure. However it is difficult to measure QE and there are few studies to investigate the relationship between QE and pupil diameter. Therefore, we established a simple measurement system of QE and propose the method to analyze the relationship between QE and pupil diameter by taking putting golf balls as a case study. Also we compared three training methods for putting and show the efficient method for QE training.

1 序論

2020年の東京オリンピックの開催のような、世界的なスポーツイベントの自国開催により、日本においてはこれまで以上にスポーツへの関心が高まっている。また、本研究は、視線計測技術をスポーツの競技力の向上に応用することを目的として始められた。

視線運動には見たい対象に向かって素早く眼球を動かし視点を移動するサックードや瞬きを意味する瞬目、対象をじっと見る注視行動などが挙げられるが、本稿は特に Quiet Eye に焦点を当てる。Quiet Eye とは、スポーツ選手に特にみられる、プレイを行う際に適切なタイミングで適切な場所を見る能力である。1992年、Vickers が行ったゴルフのパターの研究においてこの能力は発見され、1996年に Vickers によるバスケットボールのフリースローの研究で Quiet Eye と名付けられた (Vickers, 2016)[1]。Vickers が定義した QE の定義は「運動中で、視野角が3以下かつ持続時間が100ms以上の特定の場所に対する注視行動」である (Vickers, 2016)[1]。

Quiet Eye(以下 QE と呼ぶ) は熟練者と非熟練者を明確に分ける視線行動としても知られている。例えば、Klostermann らによりゴルフのパターにおいては熟練者の方が非熟練者よりも QE の持続時間が長く、終了

時点が遅いことが報告されている (Klostermann et al., 2014)[2]。Causer らはショットガン競技に関する研究において、熟練者は非熟練者に比べて標的を目で捉えるのが早く、より長い間標的を見ていることを発見した (Causer et al., 2010)[3]。また、Vickers により、バスケットボールのフリースローにおいて熟練者の QE の持続時間は、成功時の方が失敗時よりも長いことが示されている (Vickers, 1996)[4]。これらの研究では、熟練者と非熟練者を分けている特徴を、身体動作、見ている場所、注視行動開始時点、注視行動終了時点、注視行動持続時間の5つとすることが多い。本研究でもこの5つの特徴に注目する。

QE を考慮した訓練に関する研究もある。Vine らはフリースローの課題について、被験者を QE を意識した指導を受ける組と技術的な指導のみの組に分け、8日間にわたって訓練を行った。その結果、QE の指導を受けた被験者の QE の持続時間は訓練前より長くなり、技術的な指導のみを受けた被験者と比較しても有意に長くなったことを示している。また、成功率についても技術的な指導のみを受けた被験者よりも高くなり、さらにはプレッシャーがかかり、緊張するような状況においてもより高い確率で成功することを見出している。この研究結果は、QE は訓練によって改善させることができ、より効率的な競技力の向上が見込めることおよびプレッシャーに対して耐性を得られることを示唆している (Vine and Wilson, 2011)[5]。一方、水崎らは非

*連絡先：東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻
〒113-8654 東京都文京区本郷7丁目3-1
E-main: shota.imafuku@gmail.com

熟練者に対して QE の訓練を行ったが QE による練習効率の向上は見られなかったことを報告している。彼らは、非熟練者に対しては、QE の訓練の前に動作の獲得に必要な訓練期間を設定する必要があると主張している(水崎他, 2013)[6]。これらのことから、QE を考慮した訓練が一般的になれば、競技力のより一層の向上が可能になると考えられる。このためには科学的な知見に基づく QE 訓練システムの構築が必要になる。

本研究の目的は、スポーツの競技力向上のための Quiet Eye(QE) 訓練システムを構築することである。

先述の通り、これまで QE についての研究は行われているが、著者が調べた限りでは、QE の計測手法についての研究は少ない。例えば、先述の研究においては計測手法の詳細が示されていない。

また、QE とはそもそも視線行動を指すが、議論されているのは主として視線の位置と注視行動についてのみである。瞳孔径の変化や瞬目の回数といった眼球運動を特徴付ける諸量についての議論はほとんどない。そこで、本研究では身体動作の自動検出による簡易な計測手法と瞳孔径を考慮した QE の考察、および QE を考慮した訓練システムを提案する。

2 提案手法

2.1 概要

本研究では QE の簡易な計測手法、および瞳孔径を含めた QE の分析手法を提案する。

はじめに図 1 に実験環境を俯瞰図で示す。被験者が装着している青い帽子は視線計測装置である EMR-9 であり、被験者にはゴルフのパッティングを行ってもらい、その最中の視線データを取得する。さらに提案手法では Microsoft 社の Kinect を外部カメラとして利用し、煩雑である動作の検出の自動化を行う。

続いて、計測して得られた視線データ、動作データを後述するモデルに適用し QE の抽出を行う。その後、データの分析として QE の持続時間と開始時刻の比較、および隠れマルコフモデルを利用した状態分割を行う。

また、被験者の競技力(パターの精度)の指標としてボールとカップの距離、およびボールがカップに近づく速さを新たな指標とすることを提案する。

2.2 Kinect による動作データの取得

Quiet Eye(QE) を計測するためには視線データと紐づく動作の検出が必要である。Microsoft 社の Kinect v2 は安価ながら深度カメラなどを内蔵しており人間の骨格を検出できることから、これを利用したジェスチャー認識の研究(Ding, 2015[7], Jiang, 2015[8])が行

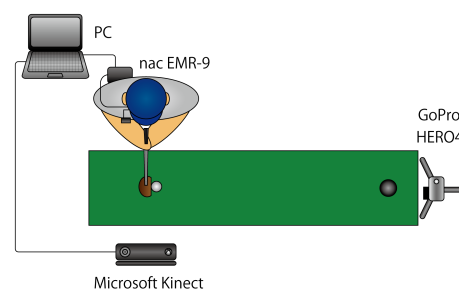


図 1: The experimental environment

われている。本研究でも Kinect v2 を利用して動作を検出することを提案する。Kinect v2 を活用した動作検出には、Microsoft 社が提供する SDK に含まれる Visual Gesture Builder というツールを用いる。ある動作について教師データを与えて学習を行うことで、リアルタイムで動作を検出できるようになる。処理の流れは、

1. 訓練データの収集
2. 機械学習による識別機の学習
3. 動作の検出

の 3 ステップで構成される。本研究では研究室の学生 8 名によるゴルフのパターの訓練データを集め、この Visual Gesture Builder を利用してゴルフのパターの動作に対する識別機を生成した。識別機を作成するにあたり、検出精度を上げるためにゴルフのパター動作を 1. 振り上げる動作 (take back) と 2. 振り下ろす動作 (down swing) の 2 つに分けて検出を行うこととした。得られた識別機によって図 2 のように動作検出が行えるようになった。動作が検出されている場合、左上に動作の種類とその信頼度が表示される。



図 2: Detecting putting gesture

2.3 Quiet Eye の取得

QE とは特定の動作のタイミングで起こる注視行動のことを指しており、その実は視線データである。よって

QE を抽出するためには視線データと動作データを対応付け、動作中の注視行動を発見すればよい。そこで、視線データと動作データを対応付けるために EMR-9 と Kinect を 1 つの PC に接続し、それぞれのカメラから得られる映像を 1 対 1 に対応付けて撮影を行う。

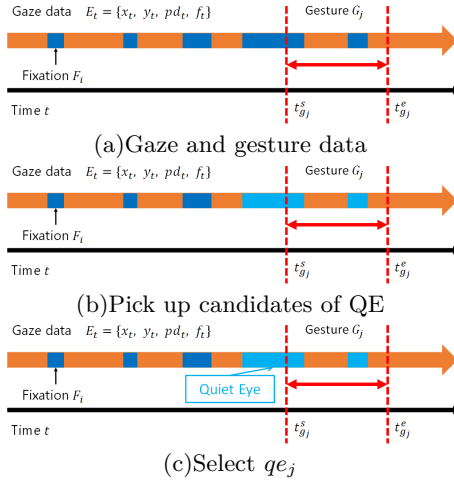


図 3: Quiet Eye model

ここで、時刻 t における視線データ E_t を

$$E_t = (x_t, y_t, pd_t, f_t) \quad (1)$$

と表す。 (x_t, y_t) は視野映像中の視線位置 (単位は px), pd_t は瞳孔径 (単位は mm), f_t は注視行動のことである。 f_t は 2 値データであり、1 の時に注視行動が起きているものとする。1 が連続している箇所を 1 回分の注視行動とし、計測が始まってから第 i 番目の注視行動を F_i とする ($i > 0$)。この時、注視行動 F_i が始まった時刻を $t_{F_i}^s$, 終わった時刻を $t_{F_i}^e$ とする。また、時刻 t における動作データ g_t は

$$g_t = \begin{cases} 1 & (\text{occurring gesture}) \\ 0 & (\text{not occurring gesture}) \end{cases} \quad (2)$$

のように表す。時系列の 2 値データ g の中で 1 が連続している部分が 1 回分の動作を表す。ここで、 j を正の整数とすると第 j 番目の動作を G_j とする。さらには動作 G_j が始まった時刻を $t_{G_j}^s$, 終わった時刻を $t_{G_j}^e$ のように表記する。図 3(a) がここまで説明したデータについての概念図である。オレンジ色の矢印が視線データ E_t , 矢印上の青いブロックが注視行動 F_i , そして赤い点線で挟まれた部分が動作 G_j である。ここから動作 G_j に対応する QE を抽出する。この QE を q_{e_j} で示す。まずは G_j 中に起こっている注視行動を見つけ、QE の候補とする。図 3(b) においては水色になっているブロックの注視行動が候補となる。ここで候補となった n

個の注視行動の集合を $\{F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jk}, \dots, F_{jn}\}$ とする。

$$d_{jk} = t_{F_{jk}}^e - t_{F_{jk}}^s \quad (3)$$

注視行動 F_{jk} の持続時間 d_{jk} を式 3 のように表したときに、持続時間が最大となるような注視行動を QE とする。すなわち、 $d_{jk'} = \max \{d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jk}, \dots, d_{jn}\}$ となるような注視行動 $F_{jk'}$ を動作 G_j に対する q_{e_j} とする。図 3(c) に抽出した q_{e_j} を示す。後述する実験ではここで定義した QE モデルに基づき QE を抽出し、分析を行う。

2.4 視線データ分析

視線データの分析は、抽出した QE の分析、瞳孔径を含めた視線データに対する隠れマルコフモデルによる分析および瞳孔径の分析の 3 つからなる。本稿では紙面の都合により QE の分析、隠れマルコフモデルによる分析を示す。

2.4.1 Quiet Eye の分析

本実験では注視行動持続時間及び開始時点と QE 毎に求め比較していく。 i 番目の動作 G_i (開始時刻 $t_{G_i}^s$), 終了時刻 $t_{G_i}^e$ における q_{e_i} (開始時刻 $t_{q_{e_i}}^s$, 終了時刻 $t_{q_{e_i}}^e$) の持続時間を式 3 で求める。また、開始時点については QE の開始時刻を用いると各パターンの試行での比較ができないため、式 4 のように q_{e_i} の開始時刻と G_i の開始時刻の差を求め、この開始時点 s_i で比較を行う。

$$s_i = t_{q_{e_i}}^s - t_{G_i}^s \quad (4)$$

式が示す通り、 s_i が小さいほど開始時点が早いことを示す。実験においては持続時間、開始時点という 2 つの特徴量について被験者間の比較、および被験者自身の時間が経過した際の変化を統計的に分析する。

2.4.2 隠れマルコフモデルによる分析

これまでの QE の研究には瞳孔径を特徴量として分析したものが少ない。そこで本研究では我々の先行研究 [9] を踏まえ、隠れマルコフモデルを利用した分析を行う。先行研究では観測変数としてディスプレイに表示される計算課題を解く際の被験者の 1 回あたりの生体情報を与え、隠れマルコフモデルを用いて状態の分割を行った。本研究では動作 4 秒前から動作後 1 秒後までの期間を 1 つの区切りとした視線データのセットを作り、得られた複数のデータセットを利用して隠れマルコフモデルで状態を分割する手法を提案する。この動作 4 秒前から動作 1 秒後というタイムスパンは予

備実験の結果から、QE が必ず含まれるように選んだ値である。分析する際の概念図を図 4 に示す。動作が n 回行われた場合、 n 個のデータセットが出来るのでこれらに対して隠れマルコフモデルを計算して遷移確率などのパラメータを求め、状態の分割を行う。

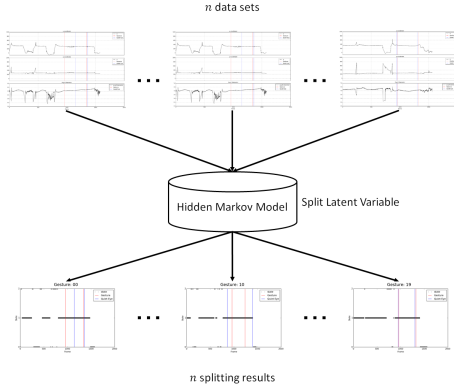


図 4: The conceptual diagram of applying Hidden Markov Model

状態の分割を行った後は各状態における視線データについて平均・標準偏差といった統計量を出し、比較することで分析を行う。

また、本研究では分割した状態の度数分布を用いて個人間だけでなくグループ間の比較を行うことを提案する。ある時刻 t における状態を s_t ，取りうる状態を $S_k (k = 0, 1, 2)$ とする。また、考慮する期間中の S_k の度数を sf_k とする。度数の正規化を行い、グループ間、テスト間での比較を行うようにする。度数 sf_k は式 5 のように正規化できる。

$$\hat{sf}_k = \frac{sf_k}{\sum_i sf_i} \quad (5)$$

このように正規化した度数 \hat{sf}_k を状態出現率と呼ぶ。これを用いてグループ間の比較を行う。

2.4.3 瞳孔径の分析

後述する予備実験 1 において、瞳孔径そのものに着目する必要性が生じた。そこで、本実験では瞳孔径に着目した分析も行う。Moran らは QE 中の瞳孔径とあらかじめ求めておいた被験者の瞳孔径の平均との差を利用して分析している。個人差がある瞳孔径を比較するためである [10]。本研究でも Moran の手法を用いて瞳孔径変化量について分析する。なお、彼らは計測開始から 1000ms 間の瞳孔径の平均を利用したが、本研究では計測で得られた全瞳孔径データの平均を用いることとする。 n フレーム分が得られた場合、瞳孔径の平均 \bar{pd} は次式で表される。

$$\bar{pd} = \frac{\sum_i^n pd_i}{n} \quad (6)$$

ある時刻 t における瞳孔径変化量を pd_{ct} とすると次式で表すことができる。

$$pd_{ct} = \frac{pd_t - \bar{pd}}{\bar{pd}} \times 100 \quad (7)$$

求めた瞳孔径変化量の例を図 5 に示す。本実験においては求めた瞳孔径変化量の平均などの統計量を用いて、分析を行う。

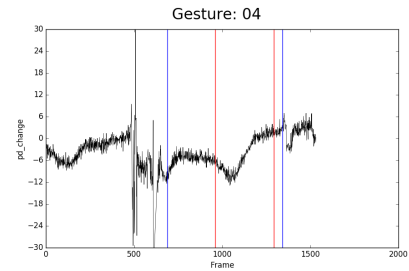


図 5: Example of pupil diameter rate

3 実験

紙面の都合により本稿ではパッティングと QE に関する 3 つの訓練方法の効果の比較を行った本実験 3 の結果の 1 部を示す。

3.1 実験概要

提案手法を用いて、訓練方法がゴルフのパターの熟練度の向上と Quiet Eye(QE) に与える影響を評価する実験を行った。本実験では被験者を 3 群に分け、それぞれの群について以下に示すような異なるゴルフのパターの訓練を行い、訓練方法の効果と比較した。

A 通常の訓練

B A+被験者に視野映像を見せ、QE についても教える訓練 (Vine et al., 2011)[11]

C A+スチレンボードで被験者の視野を制限する訓練 (Oudejans et al., 2012)[12]

なお、ここに示す通常の訓練とは、フォームや動作に関する助言のみを行い、視線行動については一切助言を与えないことを意味する。

実験のスケジュールを表 1，訓練の様子を図 6 に示す。計測では視線計測装置を装着した状態でパターを

20 本打ってもらい、その間のパターの成否、視線データ、動作データ、パターの精度を記録した。計測の流れは 1. 実験の説明, 2. 練習としてパッティング 10 本, 3. EMR-9 を装着してパッティング 5 本, 4. パッティング 20 本を計測, である。

表 1: Schedule

Day 1	Motion acquisition	Practice for getting standard form on putting
Day 2	Motion acquisition	Practice for getting standard form on putting
Day 3	Baseline Test	Measure QE
	Training 1	Different training for each group
Day 4	Training 2	Different training for each group
Day 5	Retention Test	Measure QE
Rest	More than a day	rest
Day 6	Competitive Test	Measure QE

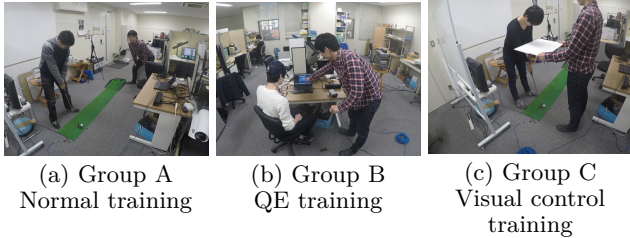


図 6: Group and Training

3.2 実験結果と考察

実験で得られた視線データと動作データから QE を抽出し、隠れマルコフモデルによる状態の分割、瞳孔径の分析を行った。得られた QE の持続時間、開始時点を図 7 に示す。また、分割結果から算出した状態出現率を図 8 に示す。なお、状態出現率の高さで分類して集計を行っており、図中の First, Second, Third の順に状態出現率が高い。ここで、隠れマルコフモデルの性質上、出現率 First の状態がすべてのグループに対して同じ内容を意味するとは限らないことに注意され

たい。それぞれの状態に対してどういった状態を意味するのかは発生時間や動作内容と照らし合わせて推定する必要がある。

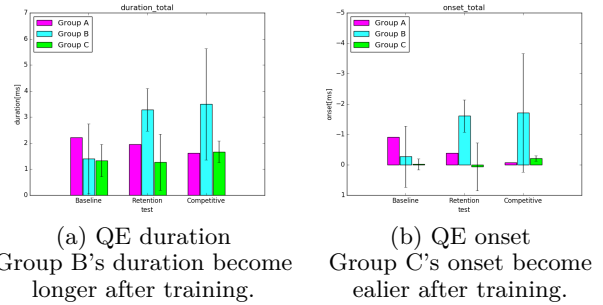


図 7: QE's result

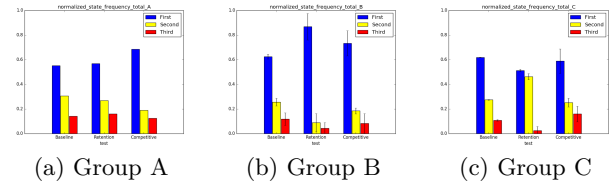


図 8: State appearance rate. First state appearance rate is dominant in Group B after training. In Group C, First rate appearance state is as high as second state appearance rate.

QE の持続時間に関しては B グループのみが長くなった。QE の開始時点に関しても B グループだけが早くなったが、QE の持続時間の長さ、開始時点の早さとパターの成否、熟練度に関係性は認められなかった。HMM で 3 状態に分割した際には A, B グループは 1 状態が支配的になり、特に B グループは 1 状態の出現率が高かった。C グループは Retention テストの際に 2 状態分割に近い状態になった。訓練によって B グループは 1 状態が支配的になり、ボールを集中して見ている期間が長くなったと考えられる。

B グループに対して行った訓練については QE の持続時間が長くなり、開始時点が早くなる効果がある程度見られた。一方で C グループについては QE や熟練度に対する効果も見られなかった。以上のことから QE を考慮した訓練としては、B グループに対して行った、選手に視野映像を見せて視線に関するフィードバックを与える方法が有効であると考えられる。提案手法を用いて QE のデータを取得し、持続時間などの指標を示すことで選手に対してより具体的なフィードバックを与えることができ、訓練の効果も高まることが期待される。

4 結論

そこで本研究では Kinect による動作計測と頭部装着型の視線計測装置による視線計測を利用して簡易に QE を計測する手法を提案した。QE を計測するためには選手の動作と視線データを紐づける必要があるが、動作検出を Kinect によるジェスチャー認識で行ったことで、従来手作業で行われ煩雑であった動作の検出が半自動化され、簡単に行えるようになった。また、QE を定量的に定義づけることができた。

また、従来の視線データに加えて瞳孔径を用い、隠れマルコフモデルによる状態分割を行う手法を提案した。これにより動作中の状態とその持続性を分析することができ、1 点を注視できているかどうかを数値化することができる。

実際にゴルフのパターにおいて QE の計測を行った結果、提案手法により簡易に QE を計測・分析を行うことができた。

予備実験 1 では、ゴルフ経験者と未経験者に対して QE を計測する実験を行った。Kinect による動作の検出の精度を確かめることができ、さらには隠れマルコフモデルによる状態分割によって被験者の視線の状態が明確に分けられることが確認できた。また、経験者と未経験者においては状態の分かれ方に差異があることも示された。

予備実験 2 では、パッティングの精度の指標としてボールとカップの距離を計測する実験を行った。動画からボールとカップを検出し、自動的に距離を計算できることが確認できた。

本実験では、被験者を分けて異なるパターの訓練を行い、それぞれの訓練が QE とパッティングの精度に与える影響を評価する実験を行った。その結果、従来の QE の訓練の研究と同様の分析にとどまらず、訓練同士の効果の比較という異なる観点からの分析も行うことができた。

以上の結果から、提案した QE の計測・分析手法の有効性を示すことができた。また、QE を考慮した訓練システムの構築のための議論も行うことができた。

本研究の行動計測の部分は、JSPS 科研費 26350207 の助成を受けたものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] J. N. Vickers: Origins and current issues in Quiet Eye research, *Current Issues in Sport Science*, Vol.1, pp.1-11, (2016)
- [2] A. Klostermann, R. Kredel, and E.-J. Hossner: On the interaction of attentional focus and gaze: the quiet eye inhibits focus-related performance decrements, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, Vol.36, pp.392-400, (2014)
- [3] J. Causer, S.-J. Bennett, P. S. Holmes, C. M. Janelle, and A. M. Williams: Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting, *Medicine and Science in Sports Exercise*, Vol.42, pp.1599-1608, (2010)
- [4] J. N. Vickers: Visual control when aiming at a far target. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, Vol.22, No.2, pp.342-354, (1996)
- [5] S. J. Vine, and M. R. Wilson: The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuomotor control, *Acta Psychologica*, Vol.136, pp.340-346, (2011)
- [6] 水崎佑毅, 中本浩揮, 森司朗: バスケットボール非熟練者を対象とした Quiet Eye トレーニング時の視覚遮蔽がフリースローの正確性に及ぼす影響, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 第 47 号, pp.21-28, (2013)
- [7] Ding, Ing-Jr, and Che-Wei Chang: An eigenspace-based method with a user adaptation scheme for human gesture recognition by using Kinect 3D data, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.39, No.19, 5769-5777, (2015)
- [8] F. Jiang, S. Zhang, S. Wu, Y. Gao, and D. Zhao: Multi-layered gesture recognition with kinect, *Journal of Machine Learning Research*, Vol.16, No.2 pp.227-254, (2015)
- [9] 白山晋, 並木正信, 今福翔太, 大澤理恵: オフィス業務改善のための心理状態評価に関する研究, 信学技報, Vol.116, No.117, AI2016-11, pp.55-50, (2016)
- [10] A. Moran, A. Quinn, M. Campbell, B. Rooney, N. Brady, and C. Burke: Using pupillometry to evaluate attentional effort in Quiet eye: A preliminary investigation. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, Vol.5, No.4, pp.365-376, (2016)
- [11] S. J. Vine, L. J. Moore, and M. R. Wilson: Quiet eye training facilitates competitive putting performance in elite golfers, *frontiers in Psychology*, Vol.2, No. 8, (2011)
- [12] R. R. D. Oudejans, S. Heubers, J. A. C. Ruitenbeek, and T. W. J. Janssen: Training visual control in wheelchair basketball shooting, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol.83, pp.464-469, (2012)

和太鼓のインパクト時の「脱力」技能の定量化

Quantification of the Datsuryoku skill in the impact for a Japanese drum

中塚智哉^{*1}

松田浩一^{*1}

Tomoya Nakatsuka,

Koichi Matsuda

^{*1} 岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科

Graduate School of Software and Information Science, IWATE Prefectural University

Abstract: In this study, we suggest Datsuryoku evaluation algorithm for the purpose of quantification of the Datsuryoku that is the important skill in the Japanese drum. By the suggestion technique, we measure angular velocity and the line electric potential of the Japanese drum player and evaluate the estimate of the element of the movement and the Datsuryoku. In the estimate of the element of the movement, we suggested algorithm using cross-correlation function and DTW(Dynamic Time Warping). In addition, in the evaluation of the Datsuryoku, we suggested technique with the maximum value of the line electric potential. As a result of experiment, we confirmed that an evaluation not to depend on the level of the player was possible using suggestion technique. In addition, we confirmed that we could quantify a part of the skill of the Datsuryoku using suggestion technique.

1. はじめに

現在、日本では様々な和太鼓団体が学校での講演や式典などのオープニングセレモニーで演奏を行っている[1]。また、ワークショップという形で全国を回り、和太鼓の稽古を行っている団体もある[2]。

しかし、和太鼓指導者の減少によって直接指導の機会が減り、将来的に和太鼓の技能継承が困難になることが危惧されている。また、和太鼓の技能の中には習得が難しいものがある。これらのことから、現在、和太鼓の技能の学習支援が求められている。

習得が難しい和太鼓の技能の1つに、「脱力」と呼ばれるものがある。脱力とは、「バチを和太鼓の面に当てる（以下、インパクト）」までに腕の力を抜く技能である。この脱力をする事で、演奏の音が良くなることが経験的に分かっている。具体的には、脱力をする事でバチが太鼓に接する時間が短くなり、太鼓の振動を邪魔しないために、音に響きが生まれる（和太鼓において、音の響きは大事とされている）ということである。このため、和太鼓において脱力は重要な技能であるといえる。

しかし、前述した通り、脱力は習得が難しいとされている。その理由は二つある。一つ目は、力を入れて大きな音を出しつつ脱力をするのが難しいということが挙げられる。また二つ目は、脱力は技能の視認や言葉での表現が難しく、感覚的な要素が強いということが挙げられる。これらより、学習者は

手探りで技能の練習を行うことになってしまう。

近年、人間の動作に関する研究が多く行われており、動作に対する技術の有用性を調査するもの[3]、スキルを解明するもの[4][5]、動作の評価をするもの[6][7]などがある。その中で本研究では、先行研究として筆者ら[7]が行ったものに着目した。先行研究では、人間の筋活動を定量化できる筋電図法[8]を用いて、演奏中の筋電位を計測し、そのデータから脱力の可視化と評価を行っている。筋電位は被験者によって数値の出方が変わってしまうため、先行研究の脱力評価は筆者らの主観により行っていた。しかし、主観による評価は、評価者によって結果が変わってしまう可能性がある。

本研究では、脱力技能の定量化を目的とする。そのために、評価者に左右されない脱力評価アルゴリズムを提案する。

2. 和太鼓における脱力

2.1. 指導・評価の現状

共同研究先である岩手県洋野町の「種市海鳴太鼓保存会」の指導者へのヒアリング結果を以下に示す。

A) 和太鼓の演奏と評価

指導者は和太鼓の打撃技術を5段階の点数で評価していた。表1に打撃技術の評価内容を示す。指導者は、大きな音を出すことをまず学習者に意識させ、

3 点を目指させる。大きな音が出始めてから脱力の指導を行う。脱力ができることで4 点に到達し、そこから先は、腕のしなやかさといった熟練の技の到達域となる。

表 1：打撃技術の評価

点数	技術の内容
1	フォームができていない
2	フォームができています
3	大きな音が十分出ている
4	脱力ができている
5	しなやかさ、パチがしなるような動き

B) 脱力と音の良さ

脱力は、音の響きを生み出すための技能である。和太鼓の演奏は、手に持ったバチを振り下ろし太鼓の面に当てることで実現される。バチが太鼓の面に当たると、太鼓が振動して音を生み出す。このとき、腕に無駄な力が残っていると、バチが太鼓の面に接する時間が長くなり、振動を邪魔して音の響きが無くなってしまう。そのため、無駄な力を抜くために演奏者は脱力を行っている。

C) 脱力の流れと評価法

図 1 に、一打中の脱力の流れと評価法を示す。一打における動作要素（振り下ろし始め、肘の開き、インパクト）をもとに、脱力の流れを説明する。まず、「(1)振り下ろし始め～(2)肘の開き」は力を抜いた状態で腕を振り下ろす。次に、「(2)肘の開き」において小指でバチを握り込みながら手首を返し、バチを加速させる。最後に、バチが当たる「(3)インパクト」の直前で力を抜き、太鼓を叩く。

また、指導者は「(1)振り下ろし始め～(2)肘の開き」および「インパクト直前～(3)インパクト」の2 点で力が抜けているかを見て、脱力を評価していた。

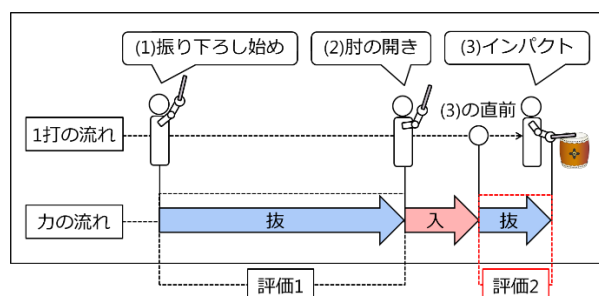


図 1：脱力の流れと評価法

本稿では「インパクト直前～(3)インパクト」を対象に、脱力の定量化を試みる。

2.2. 先行研究[7]

A) 筋電図法について

先行研究では、筋電図法を用いて演奏者の筋電位を計測し、脱力の可視化と評価を行っていた。筋電図法とは、皮膚上に電極を貼り付け、その電極を通して筋電位を導出し、それを筋電図として視覚化することで、筋肉がどの時点でどの程度活動しているかが分かる方法である。筋電位は、値が高いとその時点で大きな力を使っており、逆に低いと力を使っていないという意味となる。

B) 脱力の可視化と評価

先行研究では、和太鼓奏者の筋電位を計測し、「筋電位から分かる力の流れ」と「脱力の力の流れ」の対応を観察して脱力の可視化を行っていた。また、力の流れの対応から、筋電位を「脱力ができているパターン」と「脱力できていないパターン」に分け、それぞれのパターン数から脱力を評価していた。

C) 先行研究における課題

先行研究では、筋電位に動作要素を対応付けて脱力の評価を行っていた。対応付けは、筆者らの主観によるものだった。しかし、主観による動作要素の対応付けは、評価者によって対応位置が変わってしまい、評価結果が異なる可能性がある。そのため、評価者に左右されない、数値データを用いた脱力評価法が必要だと考えた。

アルゴリズムを検討するにあたって、脱力の評価には、一打の動作要素も関係していると考えた。そこで、和太鼓演奏者を対象に、モーションセンサを用いた予備実験を行った。

2.3. 予備実験

A) 実験環境

実験には、小型9 軸ワイヤレスモーションセンサ（スポーツセンシング社、小型9 軸ワイヤレスモーションセンサLP-WSD1101、振幅率500 倍）を用いる。図 2 のように、モーションセンサは利き手の手の甲及び手首に設置した。また、演奏者の利き手側に200fps のカメラを設置し、映像を撮影した。データの取得は、筆者らが開発した、映像とデータを同期して記録再生できるシステムを用いて行った。



図 2：センサ設置位置

B) 実験内容

- 被験者：和太鼓演奏者 3 名
- 打ち方：「基本打ち」を左右 8 打ずつ交互に打つ
 - 基本打ち：共同研究先において、演奏の基本として初めに学習する打ち方

C) 結果

演奏者から計測したデータに動作要素の特徴が表れていないか分析を行った。手順を以下に示す。

1. 演奏の映像から目視で動作要素の位置を確認し、データの時系列波形上にマーク
2. マークした位置と波形の対応を観察
3. 対応に規則性がないか網羅的に検証

分析の結果、手の甲の角速度に動作要素の特徴が見られた。角速度の軸の方向は、振り下ろしで負の値を示す。図 3 に、映像を基に演奏者の一打の角速度波形と動作要素の対応図を示す。

図 3 を見ると、動作要素である「(2)肘の開き」及び「(3)インパクト」の位置が角速度のゼロ交差の位置付近であることが分かる。この特徴が、全被験者の 8 打の角速度全てで確認された。これより、角速度のゼロ交差から「(2)肘の開き」及び「(3)インパクト」の位置を推定できたとと言える。また、8 打全体の角速度波形を確認すると、図 3 のような一打の波形が周期的に繰り返されている特徴も確認された。

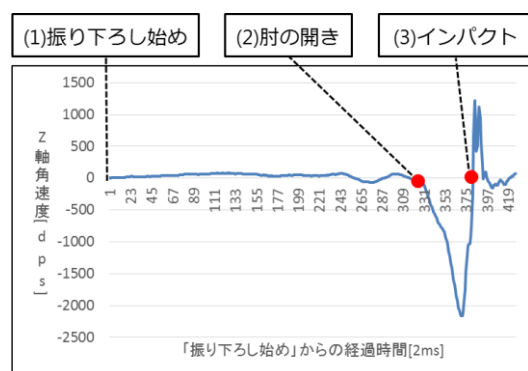


図 3：角速度と動作要素

D) 考察

予備実験から、演奏者の角速度を分析することで、三つの動作要素のうち二つを推定することができた。

図 4 に、一打の演奏の流れと実験における角速度の軸の方向を示す。和太鼓の演奏は、図 4 のように腕の回転運動によって実現される。手の甲は、バチの握り込みから大きく動くため、手の甲の角速度に動作要素の特徴が表れたのではないかと考えられる。

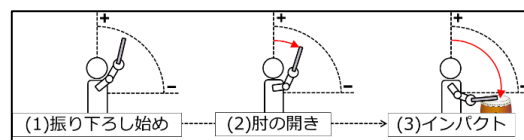


図 4：和太鼓演奏における腕の動き

3. 提案手法

指導者の脱力評価法を基にした脱力評価アルゴリズムについて述べる（図 5）。手順を以下に示す。

1. 一打中の動作要素である「(1)振り下ろし始め」「(2)肘の開き」「(3)インパクト」の時刻を角速度から推定
2. 1.で求めた時刻から筋電位の一打を抽出
3. 「(2)肘の開き～(3)インパクト」の範囲の筋電位から評価値を算出
4. 評価値を用いて脱力を評価

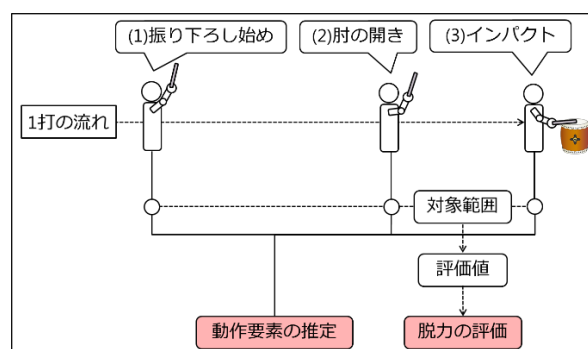


図 5：脱力評価アルゴリズム

アルゴリズムは、「動作要素の推定法」と「脱力の評価法」の二つにより構成されている。以下に、二つの手法の詳細を述べる。

3.1. 動作要素の推定法

予備実験の結果、角速度のゼロ交差から「(2)肘の開き」と「(3)インパクト」を推定できた。しかし、「(1)振り下ろし始め」の推定はできなかった。

角速度が周期的な変化をする特徴から、8 打全体の角速度データと角速度モデルデータを用いて相互相関関数をかけ、極大値により一打の始まり（すなわち「振り下ろし始め」）を推定する。また、相互相関関数の処理を後ろ方向から行ない、極大値により一打の終わり（すなわち「インパクト」）を推定する。角速度モデルデータとは、指導者から最も演奏が上手いと評価された被験者の一打の角速度である。

また、波形上のゼロ交差を確認すると、動作要素の位置とは異なる場所にもゼロ交差が存在していた。

ここでは、どのゼロ交差が動作要素に対応しているのか分からなる。そこで、二つの時系列データの類似度を求める DTW (Dynamic Time Warping) を用いる。角速度モデルデータを基準とし、DTW を用いて動作要素との対応点を求める。求めた対応点から最も近い位置のゼロ交差が動作要素の位置となる。

以上の手順で、動作要素の推定 (図 6) を行う。

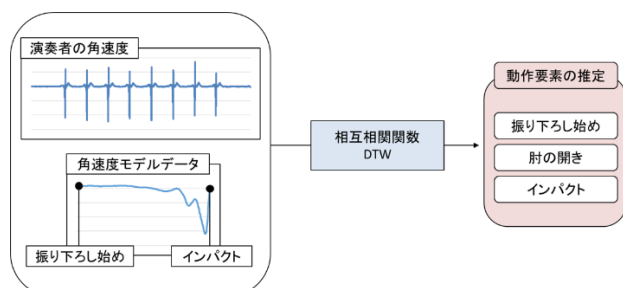


図 6: 角速度を用いた動作要素の推定

3.2. 脱力の評価法

脱力の評価は、演奏者の筋電位を全データ中の最大値で正規化したのち、評価値を算出し、その評価値を用いて行う (図 7)。これは、筋電位が個人差の影響を強く受けてしまい、絶対評価が難しいという特徴があるためである。

また、評価値は、「(3)インパクト」から 10ms 前までの筋電位の最大値とした。これは、脱力を習得している演奏者の筋電位を観察した結果、平均的に「(3)インパクト」の 10ms 前で力を抜いていた特徴から決定した。

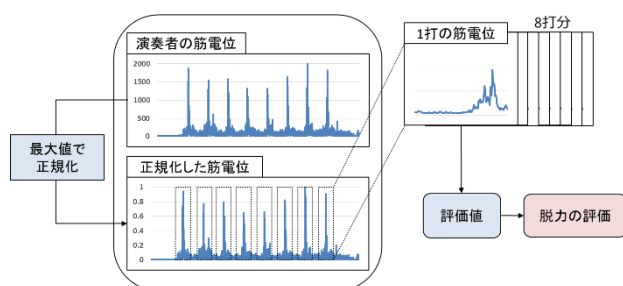


図 7: 筋電位を用いた脱力の評価

動作要素の推定法と脱力の評価法を結びつけることで、脱力評価アルゴリズムとする。そのために、二つの手法の有用性を調査する実験を行った。

4. 実験と結果

本実験では、予備実験と同様に、共同研究先の協力を得て、和太鼓演奏者の角速度、筋電位及び演奏

映像を取得した。計測した角速度から、動作要素の時刻の推定を行い、筋電位から脱力評価を試みる。

4.1. 実験環境

和太鼓奏者の角速度及び筋電位を計測するために、予備実験で用いた小型 9 軸ワイヤレスモーションセンサーとカメラに加えて、ワイヤレス筋電位センサー (スポーツセンシング社製、ワイヤレス筋電位センサー (湿式) SS-WS1223, 振幅率 500 倍) を用いる。図 8 のように、筋電位センサを尺側手根屈筋 (図 12) という筋肉の真上に設置した。尺側手根屈筋は、ハンマーや金槌を振り下ろす動作で働く筋肉[9]であり、和太鼓の演奏動作と酷似しているために選定した。モーションセンサとカメラの設置位置、データの計測方法は予備実験と同様である。



図 8: センサ設置位置

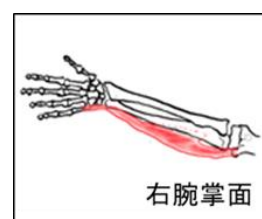


図 9: 尺側手根屈筋

4.2. 実験内容

- 被験者: 和太鼓演奏者 6 名 (A~F)
 - A: 女性, 和太鼓経験 2 年
 - B: 女性, 和太鼓経験 3 年
 - C: 男性, 和太鼓経験 4 年
 - D: 女性, 和太鼓経験 6 年
 - E: 男性, 和太鼓経験 17 年
 - F: 男性, 和太鼓経験 5 年
- 打ち方: 「基本打ち」を左右 8 打ずつ交互に打つ
- 備考: 被験者ごとに指導者が脱力評価を行う

4.3. 結果 (動作要素の推定)

A) 「振り下ろし始め」、「インパクト」の推定結果

相互相関関数による「(1)振り下ろし始め」と「(3)インパクト」の推定結果を図 10 (被験者 A の一打)、図 11 (被験者 A の全打) に示す。例として被験者 A の結果を示した。青色の波形が角速度波形、黄色の波形が相互相関関数、赤色の波形が処理を後ろ方向から計算を行った相互相関関数、波形上の赤色の丸が二つの相互相関関数の極大値である。本手法によって 8 打分すべての動作要素を推定できることを確認した。また、図示していない被験者も含め、全被験者において「(1)振り下ろし始め」と「(3)インパクト」の時刻を推定できた。

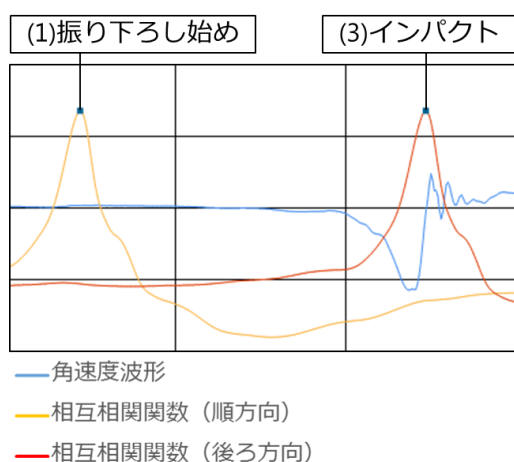


図 10: 相互相関の推定結果 (被験者 A の一打)

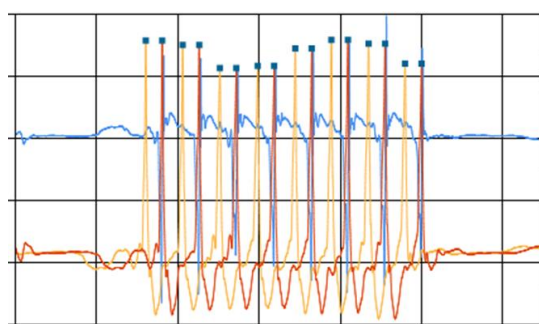


図 11: 相互相関の推定結果 (被験者 A の全打)

B) 「肘の開き」の推定結果

DTW による「(2)肘の開き」の推定結果を図 12 (被験者 A), 図 13 (被験者 F) に示す. 代表として 2 名の被験者の結果を示した. 赤色の波形が角速度モデルデータで, 赤波形上の黒点が「(2)肘の開き」の位置である. また, 黒色の波形が推定対象である一打の角速度で, 黒波形上の赤点がゼロ交差, 黒点がマッピング位置である. 結果, 図示していない被験者も含め, 全被験者において「(2)肘の開き」の時刻を推定できた.

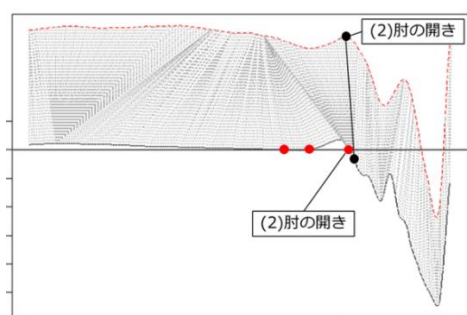


図 12: DTW の推定結果 (被験者 A)

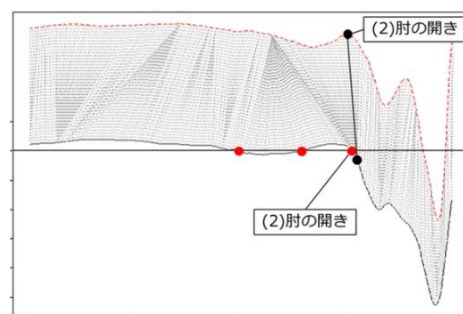


図 13: DTW の推定結果 (被験者 F)

4. 4. 結果 (脱力の評価)

A) 指導者の評価

筋電位から得られた評価値の結果と, 実験で得られた指導者の評価を対応させて観察する. 表 2 に, 各被験者における指導者の評価を示す. 脱力ができているという評価は○, できていないという評価は×としている.

表 2: 各被験者における指導者の評価

被験者	評価	指導者コメント
A (女性)	×	演奏の形は良い もっとスナップが欲しい
B (女性)	×	にぎりっぱなし 音が少し足りない
C (男性)	×	にぎりっぱなし 音は出ていた
D (女性)	×	にぎりっぱなし 小指の力が抜けている
E (男性)	○	脱力ではできている パチの倒れがもう少し欲しい
F (男性)	○	脱力ではできている 音も出ている

B) 評価結果と指導者評価の対応

表 2 の結果と, 筋電位から算出した評価値を対応付けてその結果を観察する. また, 評価値は, 値が低いほど”良い”と判定する.

図 14 に, 評価値を各被験者で 8 打計算し, それらの平均値と標準偏差を被験者ごとにまとめたものを示す. 評価が×であった被験者 A, B, C, D をみると, 4 名とも評価値が同程度に高く, 指導者の評価と評価値の結果が一致したと言える. また, 評価が○であった被験者 E, F をみると, 2 名とも被験者 A, B, C, D に比べて評価値が低く, こちらも指導者の評価と評価値の結果が一致したと言える. これより, 指導者の評価と評価値の結果が一致した.

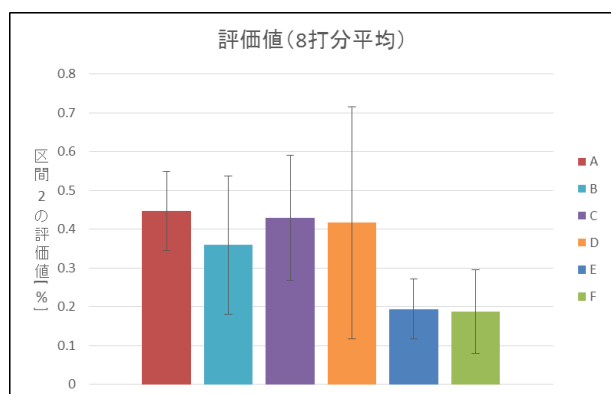


図 14: 区間 2 の評価値の平均と標準偏差

4.5. 考察

演奏者の角速度と相互相関関数を用いることで、動作要素の「(1)振り下ろし始め」と「(3)インパクト」の時刻を推定することができた。また、角速度と DTW を用いることで、動作要素の「(2)肘の開き」の時刻を推定できた。

演奏者の筋電位を用いて評価値を算出し、その結果と指導者の評価を比較した。その結果、全被験者で結果が一致し、評価値から脱力を評価できる可能性が示唆された。

5. おわりに

本研究では、脱力技能の定量化のために、和太鼓演奏者から計測したデータを用いて、評価者に左右されない脱力評価アルゴリズムの提案を試みた。

演奏者の角速度をパラメータとして、相互相関関数と DTW を用いることで、3つの動作要素の推定を行った。その結果、相互相関関数によって、動作要素のうち「(1)振り下ろし始め」と「(3)インパクト」の時刻を推定することができた。また、DTW を用いて、動作要素のうち「(2)肘の開き」の時刻を推定することができた。

指導者の評価と筋電位から算出した評価値を比較することで、脱力の評価法の提案を試みた。その結果、指導者の評価と評価値の結果が一致し、筋電位から脱力を評価できる可能性が示唆された。

今後の課題としては、今回検証できなかった「(1)振り下ろし始め～(2)肘の開き」の評価法の提案を検討する。

謝辞

本研究を行うにあたり、データ取得や和太鼓の知識の提供に対し、忙しい中時間を調整して多くのご協力をしていただいた岩手県洋野町種市の種市海鳴太鼓保存会の皆さまに深く感謝いたします。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 JP26350280 の助成による。

参考文献

- [1] 和太鼓グループ 彩 -sai-, <http://wadaiko-sai.com/>, (2016/12/27 アクセス)
- [2] 三宅太鼓, <http://www.miyaketaiko.com/ja/>, (2016/12/27 アクセス)
- [3] 竹田陽子, “基本を伝える: 韓国伝統芸能伝承におけるモーショントラッキングの利用”, *じんもんこん 2010 論文集 2010(15)*, 279-284, 2010-12-04.
- [4] 山口真紀, 藤原素子, “和太鼓の打動作におけるテンポ保持および変更時の左右上肢協応運動”, *奈良女子大学スポーツ科学研究 14*, 1-11, 2012-03-31.
- [5] 藤沢卓矢, 岩見直樹, 奇能雅文, 三浦雅展, “表面筋電位及び記録映像を用いたシングルストローク演奏時におけるドラムスティック制御動作の解析”, *情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 2008(78(2008-MUS-076))*, 161-166, 2008-07-30.
- [6] 中里直樹, 松田浩一, 中里利則, “和太鼓のパチさばきにおける技能の可視化”, *情報処理学会, 第 138 回グラフィクスと CAD 研究会, Vol.2010-CG-138, NO.8*, 2010.
- [7] 中塚智哉, 松田浩一, “筋電位センサを用いた和太鼓の「脱力」技能分析に関する一考察”, *人工知能学会全国大会論文集 29*, 1-4, 2015.
- [8] 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵, “バイオメカニズム・ライブラリー 表面筋電図”, 東京電気大学出版局, P ii, 2006
- [9] 左 明, 山口典孝, “カラー図鑑 筋肉のしくみ・はたらき事典”, 株式会社 西東社, P56, 2011

Characterization of tea whisking by Japanese Tea Ceremony performers

Rogelio Isaac Garza Villarreal, Tsutomu Fujinami

Japan Advanced Institute of Science and Technology, School of Knowledge Science

Abstract: We have been able to prove that subtle, small differences in the movements of practitioners of the Japanese Tea Ceremony are not trivial and thus are enough to characterize the whisking. This characterization showed that the practitioners follow a path that is where the motion converges to. In order to produce the movements over this track, the whole arm is needed. We have demonstrated that coordination is a key element of a good whisking action. By this effect, we have introduced the skills of the Japanese Tea Ceremony practitioners to the light of skill science.

Introduction

Human beings move all day, every day. It seems like a trivial subject to most due to the nature of it; it just happens. We have the ability to assess how difficult for us is the movements someone else is doing, to know within a matter of seconds if someone is better at dancing, for example, than other person. Nevertheless, putting this 'difference' into words is quite a hard task. Pinpointing the explanation behind a particular motion is not trivial.

Combinations of motions that produce a certain specific goal, motion skills, are of particular importance. Humans have created, developed, and shared physical skills for centuries. People strive to become better at them, whether it be playing musical instruments, performing a dance, or scoring a goal. For many years most of the secrets of these combinations of movements have been hidden in a dimension that is not easy to grasp by common means; they were simply too difficult to describe. But in the present day, thanks to computational techniques, more information can be obtained from the skills of the masters and be used for the advantage of new people that want to learn more effectively or even get to levels not achievable before. This is why the study of motion skills is relevant.

Japanese people have a particularly heavily tacit knowledge-dependent way of teaching their crafts to the next generations. As Kondo [1] mentions, the mentality is that the body learns by doing and that the techniques just stick to the body. This is especially true in the traditional

'ways' of arts that follow a Zen ideology in its foundations. Calligraphy, flower arrangement, and karate, among others, have in common the ideas of incorporating both body and mind into the practice of their craft. Out of these, Japanese traditional tea ceremony stands as an interesting example of tacit knowledge, even being mentioned as so by Nonaka [2] and Takeuchi [3], who helped introduced such term. The honing of the skills of performers of the way of the tea will be our main focus in this research.

Traditional Japanese Tea Ceremony has been around for centuries and its practices, along with the characteristic motions that are related to them, have not changed much since the age of *Sen no Rikyū*. It has been the subject of a wide variety of research, from anthropology to gender studies due to its morphing role in society through the years. Nevertheless, not much attention has been put on the way the practitioners move or learn these motions. In the present research we change that.

Motivation of the study

The present study serves to fulfill two purposes: shedding more light about the embedded information in the motion of the practitioners of *Chado* (The way of the tea) and to introduce a new activity to the attention of the skill science community. Japanese tea ceremony has, by its own will and nature, retained old teaching traditions that hide too much knowledge in the tacit domain. This has made recruiting new students harder as time goes by, because people nowadays, especially young people, do not have as much time and

patience as before. We hope that this research will contribute to making learning Chado easier for new people.

Motion skill is a field that has been growing in recent years due to the increase of computational power and the appearance of new techniques. Studies have been done in a wide variety of activities such as playing music instruments [4], dancing samba [5], and kneading clay [6]. Which this research, we wish to add Tea Ceremony to that list with the attention of attracting more people to research into this interesting activity from something different than the social sciences.

Objective of the study

Comprehend and characterize the physical actions of Japanese Tea Ceremony practitioners while whisking. And also to find the similarities and differences between Masters and Novices while whisking.

Experiment

For this research, a tool that could detect in to a fine precision the movement of the subjects that at the same time was not invasive and facilitated data analysis was necessary. In present day, motion capture systems that rely in markers and camera arrangements to identify their positions are reliable enough to be trusted with this task.

The camera arrangement consisted of eight optical cameras VICON Bonita B10 that were positioned in the corners and the middle of the sides of a square that was our area of interest. An additional VICON Bonita video camera was positioned in one of the corners that recorded normal images to compare to the data taken from the markers. This configuration allows for an accuracy of 0.5 mm that allowed us to look into fine detail about the whisking of the subjects. We used 9 mm markers provided with the system in the body parts of interest. In order to process the data of these markers we used the VICON Nexus 2.2 package.

With the motion capture arrangement in place, a model was needed to mark the body parts and collect data. The VICON Nexus 2.2 package has installed the Plug-In Gait model that provides

marker position and data analysis options. Although, as the name suggests, the model is mainly focused for the analysis of walking patterns, we found its upper body model satisfied our needs and decided to use it as is.

Experiment design

Our hypothesis proposes that Japanese Tea Ceremony practitioners develop a common behavior of motions as they progress to reach an ideal set by the grand master. In order to identify patterns in the actions, we decided to directly analyze the motions of performers of different skills and compare them in order to find similarities and differences. It was important to identify at least two groups, Novices and Masters, in order to find whether their actions match their practice time. This limits the amount of actions we can study, as novices do not have as much knowledge of chado as the more seasoned practitioners.

Whisking, or preparing the tea, had no problems with the time it was being observed. The motion is also simple and repetitive, which helps identify patterns. It is also a fundamental part of chado that cannot be found in other forms of arts or even of preparation of tea. It is an action learned since the beginning of the education of the practitioner as without it tea cannot be consumed. The preparation of a tea takes between 30 to 50 seconds to be finished, which provides enough time to collect data with the motion capture tool that can be further analyzed.

Another advantage of whisking is that it appeared to be a cyclical action. The hand of the subjects moved in what appeared to be a regular back and forth pattern above a well contained area defined by the tea bowl. With this considerations, whisking tea was chosen as the action of interest to compare masters and novices and test our hypothesis.

Experiment Objective

The objective of the experiment is to characterize the action of whisking of a group of practitioners. The defined characteristics will be used to compare the performances individually and by group of skill. Lastly, it searches to identify coordination in body parts and its

impact to the action itself.

Subjects

For this research, seven subjects collaborated with us. They are all practitioners of the Urasenke school. Five of them belong to the Tea Ceremony Club of the Japan Advanced Institute of Technology (JAIST) and the other two belong to a circle in the city of Kanazawa, Ishikawa. They are separated into three categories: masters, intermediates, and novices. Masters are all certified teachers and are allowed to pass on the teachings. We consider novices subjects with less than two years of practice. One subject does not fit into these categories and has been labeled an intermediate.

Experiment Description

The experiment was conducted in four different sessions in between December 2016 and January 2017. Subjects were inquired about their time of practice and, in the case of the teachers, teaching the Japanese Tea Ceremony. After a brief explanation of the motion capture system, subjects were asked to change into the special suits provided to attach the markers in their correct positions. For the Plug-In Gait Model some bodily measures are needed, and were taken before introducing the subject in the system.

The calibration routine was divided in two different takes. The first involved the subjects standing for five seconds with their arms open in a T shape. The second take started like the first one but continued with 30 seconds of free movement, although subjects were encouraged to move their joints as much as possible. This calibration step is necessary to conduct the experiment. When the system recognized the markers automatically, the data collection started.

Subjects were asked to prepare a bowl of tea while being recorded by the motion capture system. Each subject was asked to produce bowls three times. In order to reproduce the action as close as possible, each time subjects were asked to perform the motion starting from taking the whisk from the floor and ending with presenting the tea bowl to the guest.

Results

To analyze an action it is essential to identify the body parts that are most relevant to the movements observed. In the case of whisking, it was clear from the beginning that the right arm was of importance, but whether other sections of the body of the subjects also moved when preparing tea. In order to identify the relevant time series to our research, we observed the positions of all the position markers in the upper body.

The right arm of all subjects was the body part with the bigger variation during the chosen time frames, with the standard deviation being bigger than 3 mm in most cases and sometimes even surpassing 10 mm for the RFIN marker. The other arm contrasted as most subjects had a standard deviation of under 1 mm on all the markers positions in all three coordinates. This is because it is used to hold the tea bowl so that whisking is easier to perform.

We had identified that the right arm moved and the left did not move without checking the data, but it was unclear if the back had any role in the action of whisking. The posture and balance of the column are important in Tea Ceremony, and for whisking they appear to be under control. All subjects present less than a millimeter of standard deviation on the markers on their column. The same can be said for the markers in their chest. With this result we arrived to the conclusion that they do not move enough to make an impact or characterize the whisking action in any particular manner.

The head markers are the only body part that has bigger variation in the three axes. Nevertheless, as the thorax does not move, it means that is a motion not related directly to the whisking but rather small adjustments to better perceive the contents of the tea bowl. The result of this analysis leads us to further look into the motions of the right arm as our area of interest.

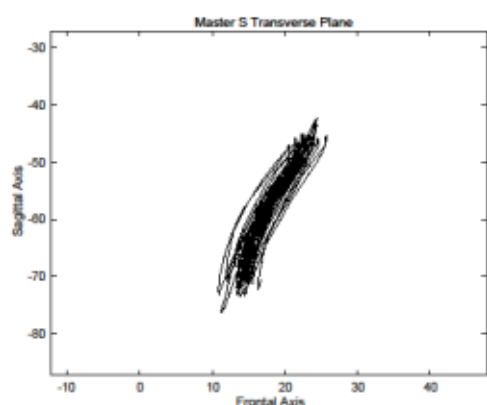


Figure 1 Position of the RFIN marker in the Transverse plane of a Master

The position of the RFIN marker is of particular importance to our research. It sits roughly on the top of the whisk and is can be considered the guidance point of it. It is also the point that practitioners see while whisking and the one they consciously control. For this reason, we will look at upper body positions in general and the changes in position of RFIN in particular to check differences between Masters and Novices.

The motion capture system provides data for the absolute positions of the markers in the reference frame of the room it is calibrated in. All data is in millimeters. In order to locate the most relevant data, we have selected time series of 500 frames of length in each case that represent the most stable action of whisking of each subject. To compare the actions of different subjects, we will analyze them by planes in the next subsections.

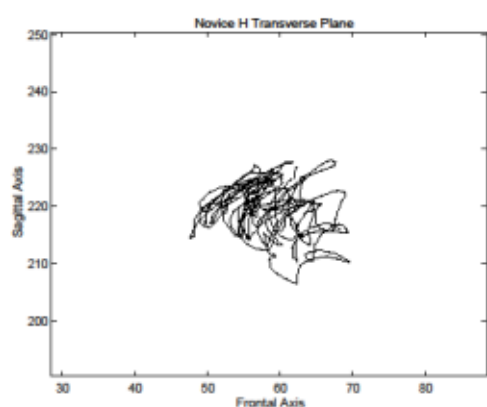


Figure 2 Position of the RFIN marker in the Transverse plane of a Novice

The transverse plane is defined as the plane

that divides the body in two that is parallel to the floor. In the coordinate system used by the VICON Nexus system, a graph in this plane is an X vs Y coordinate representation of position. They correspond to the Frontal Axis and the Sagittal Axis respectively. This is the plane that is perpendicular to the view of the practitioner when preparing tea. It is the only plane that gives them information about the tea present status and their progress in the preparation.

The Master group of subjects present similar characteristics in their plots. They are diagonal lines with a significant positive correlation. This indicates that the whisk is more likely to travel on the same line as seen from the top of the tea bowl. The Novices and the Intermediate on the other hand, have no path to follow. We can observe that in Figure 2 that shows an erratic, compact motion about the center.

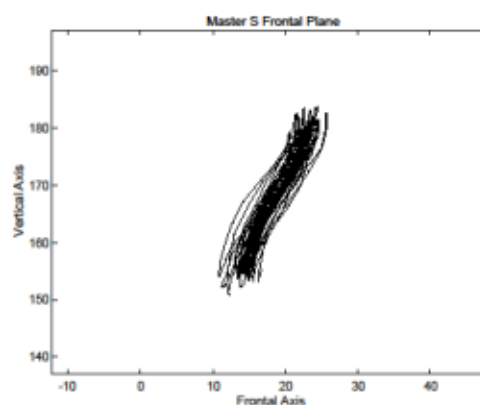


Figure 3 Position of the RFIN marker in the Frontal plane of a Master

The frontal plane is defined as the one that divides the body in anterior and posterior and is perpendicular to the floor. In the coordinate system used by the VICON Nexus system, a graph in this plane is an X vs Z coordinate representation of position. They correspond to the Frontal Axis and the Vertical Axis respectively. This is the plane one would see if standing in front of the person performing, as the plane name suggests.

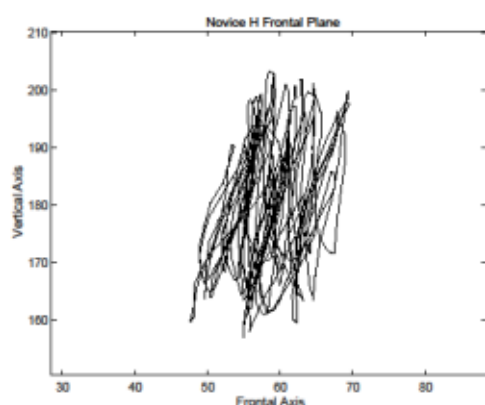


Figure 4 Position of the RFIN marker in the Frontal plane of a Novice

There are more similar plots in this plane, when compared to the one in the transverse plane. Novices H have predominant vertical paths that contrast with motions of the other subjects. However, they are not as dissimilar as the ones in the Transverse plane. The intermediate has a compact and regular pattern that is closer to the group of the Masters than to the Novices.

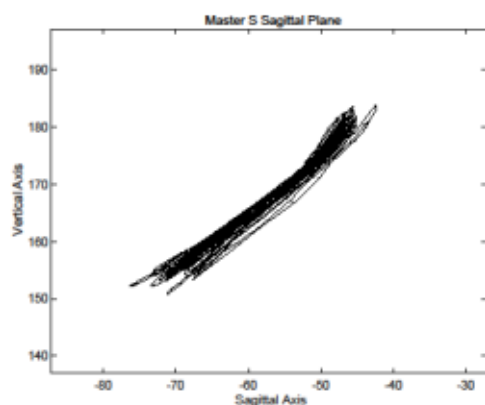


Figure 5 Position of the RFIN marker in the Sagittal plane of a Master

The sagittal plane is the imaginary line that crosses the body from back to front, dividing it in left and right and thus is perpendicular to the floor. In the coordinate system used by the VICON Nexus system, a graph in this plane is a Y vs Z coordinate representation of position. They correspond to the Sagittal Axis and the Vertical Axis respectively. When looking at the performer from the side, we are looking at this plane.

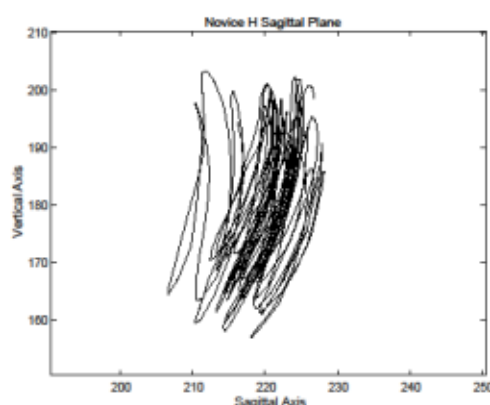


Figure 6 Position of the RFIN marker in the Sagittal plane of a Novice

Masters have a stable path in this plane. So far, the masters present the same characteristics and seem to have similar tendencies, in line with our hypothesis, which is a positive sign, although not definite to make conclusions. For this plane most subjects seem to have an identified path that they stick to in a regular basis. The back and forth action of whisking is responsible of this, as it dominates the influence on the position of the end of the whisk over the position of the hand itself.

Repetition in the action

Whisking is a seasonal action. The hand and therefore the whisk travel in a back and forth motion and are limited to the area of the tea bowl. After we identified that the Masters follow a path that is mostly a straight line in three dimensions, it was of interest to see how the time series behaved when compared to itself to better understand the action. We applied an auto correlation function to each data set with 300 lags to identify possible repetition in the time series.

All the time series are clearly non stationary, but this can be tolerated for the qualitative interpretation we are giving to the plots. They have a tendency to zero as the number of lags increases, indicating that the more time passes, all the subjects change their paths even if it is slightly. Nevertheless, there are considerable differences in the behavior of the plots for the Masters, the Intermediate, and the Novices.

As for Masters, the time series of all three coordinates are similar to themselves if the lag

is small. This correlation decreases with bigger lags. The result indicates that, although there exists a small drift, the phase remains more less the same as the amplitude of the sinusoidal shaped function decrease by the same rate of change. The maximums represent when the lagged signal is in phase with itself in n lags before, where n is the value in the horizontal axis. The minimums indicate antiphase. We can say that all Masters have a constant frequency along all the axes that result in similar plots.

Novices, on the other hand, do not present the same characteristics in their plots. Although the Vertical Axis time series presents a repetition in this group as well, it is not the same for the Frontal and Sagittal Axes. We cannot say that their motions repeat each other, with some of the subjects not having a stable action.

Masters seem to have a better control of their Frontal Axis than their students. The more experienced the practitioner, the more evident it is that their motions are cyclical. Nevertheless, all the subjects present a decline, whether it be slow or fast, to converge with zero. This can be attributed to the small differences in movement in the human body and is expected to some degree. It does not clash with our notion of a path that is followed, as not all movements are made with the same amplitude on the same exact spot. It is worth remembering we are measuring in a domain in millimeters, so small variation is expected.

Phase analysis of joint angles

So far we have looked into the position of the RFIN marker in the three dimensional space. The fact that different body parts seem to move little or nothing at all when compared to the right arm lead us to believe the whisking action is defined solely by the movement of the right arm. But marker positions are not the only data that can be obtained with the Plug-In Gait model. The angles in the different joints in the body can also be calculated with it. In this section we will look into three joints in particular: the shoulder, the elbow, and the wrist.

The shoulder angle has three degrees of freedom as does the wrist, but the elbow can only be flexed or extended, so it is considered to have only one. This result with seven angles to be analyzed. They

are all calculated relative to the plane in which the joint operates, so the position, body shape, or orientation have no impact in the analysis. This means we can directly compare behaviors of the joints between subjects.

Out of the seven angles that we were analyzing, shoulder flexion was identified to have no significant variation in the window of interest. This means that the arm does not travel back and forth, instead remaining at the same height for most of the action. The other six angles, however, present a sinusoidal pattern consistent to the whisking action. With this information, we will discard the shoulder flexion angle since it does not contribute to whisking

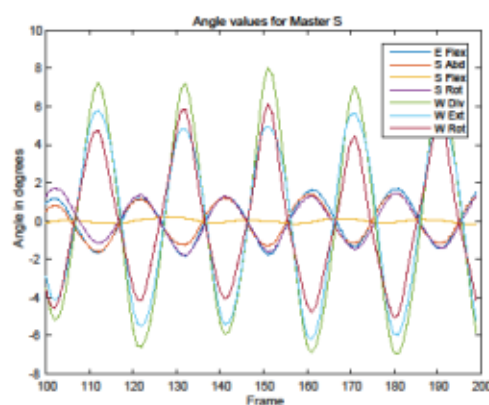


Figure 7 Angle values for a Master

The plots in Figure 7 and Figure 8 are examples of a 100 frame sample of the time series for all the angles. The lines are moved in the vertical axis in order to compare the behavior between them rather than the individual values. Wrist angles have a bigger amplitude than the angles of the shoulder and the elbow. This is the only characteristic we found that was consistent among all the subjects.

Masters have two different patterns of time series, with them being in antiphase. Master S in Figure 7 has the most consistent and stable motion. She has a period about 20 frames and not only the motion has a constant frequency but also a constant amplitude. Wrist angle amplitudes have similar values, as well as the shoulder rotation, abduction, and elbow flexion. Maximums of the wrist group align with minimums of the other three angles, indicating that all the angles have extremes at the same time. All her right arm moves at the same time.

A difference again can be seen in the Novices, between themselves and with the Masters. Novice H, for example, has a consistent motion in the wrist but lacks any significant movement in his shoulder and elbow as can be seen in Figure 8. This means that he controls the whisk with only his hand and not the whole arm. His wrist extension is also smaller compared to the other subjects, which is reflected in a small area of motion in the RFIN plots.

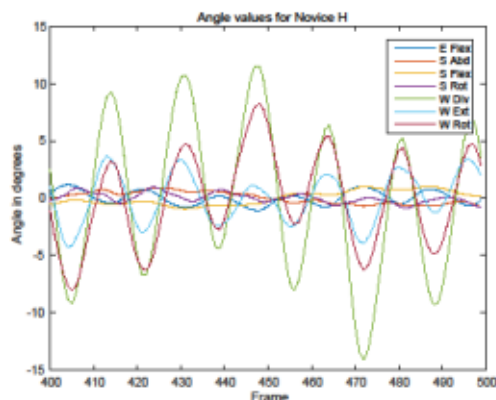


Figure 8 Angle values for a Novice

Hierarchical Clustering

In this section we analyze the coordination between the different motions in the arm while whisking. For this matter, we selected analyzing the phase of the motion of the angles considered in the last section. For each subject, we selected a sample of 1500 frames and recorded when the peaks of the motion of the seven angles occurred. This data would allow us to show groups of actions that are similar and differentiate them from others at the same time.

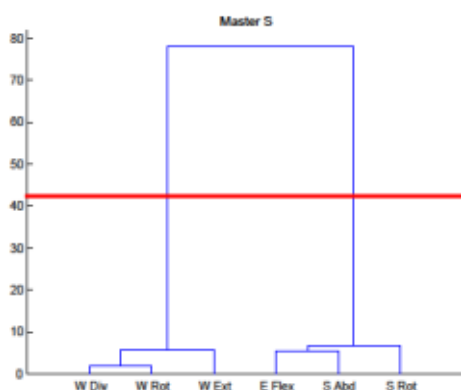


Figure 9 Dendrogram for linkage of a Master

For linkage we have used the hierarchical method using the average of the Euclidean distances between points. As for the number of clusters, have used an inconsistency coefficient cut off value of 0.9 for the identification of groupings. For representation, we have chosen the dendrograms to show the hierarchical binary cluster and have drawn a horizontal line where the clustering is optimal. All the calculations were conducted with the functions already included in the MATLAB package. The shoulder flexion angle has been discarded as it does not contribute to the motion as demonstrated in the last section, so the analysis was done only on two degrees of freedom for the shoulder, three for the wrist and the elbow flexion.

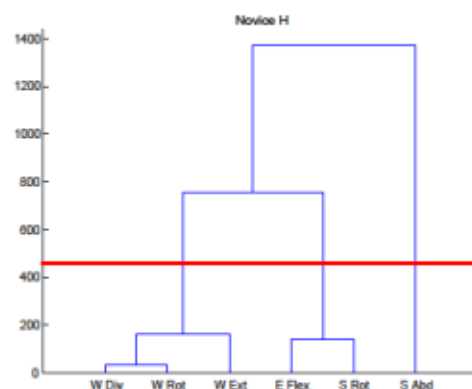


Figure 10 Dendrogram for linkage of a Novice

In Figure 9 we see an example of the clustering of the motions of Masters. All Masters and the Intermediate subject present a two cluster configuration with the same members in each group. The wrist angles are more likely to be in phase with each other and the combination of shoulder abduction, rotation, and elbow flexion are in a different phase. The pair of wrist deviation and wrist rotation have the least distance between them compared to other pairs most of the cases. This is in line with our findings in the 100 frame windows previously analyzed. This means the behavior is maintained throughout the whole action of whisking.

Novices, on the other hand, present three clusters and much bigger distances between links with at least one of the angles having a different cluster. In the case of Novice H in Figure 10 the uncoordinated angle is the shoulder abduction. Even though there are only three clusters for him,

the distances between points are much bigger when compared with the other subjects, thus indicating that the groupings are more stretched than other cases.

Conclusion

Masters and Novices have different overall behaviors while whisking tea. Although the action might look similar to the plain eye, the motion capture tool has helped identify the subtle differences. We have been able to identify that only the right arm has an impact on the action of preparing tea. The back has no significant deviation and thus has no contribution to the motion. We have identified a path that performers follow to produce tea. This track is an imaginary line that the practitioners develop through time. The Masters have developed the skill to remain in the same space going back and forth in a consistent, stable manner. We also identified that Masters sometimes move outside this track, but consistently return to it. We also believe the more the subject has practiced, the narrower this path gets. The Masters use the whole arm to produce the movement of the whisk in the bowl.

Novices on the other hand do not present the track and ramble around a point and have no back and forth motion. The intermediate presents characteristics similar to both groups. She has not developed a narrow, constant path in which the whisk moves, but has developed the consistency of using her whole arm at the same time as the Masters did. The main difference that the most seasoned practitioners have converge point and she does not.

Acknowledgements

We would like to offer gratitude to the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology for granting a scholarship to help fund this research and the study at the institute.

References

- [1] M. Abe, T. Yamamoto and T. Fujinami, "A dynamical analysis of kneading using a motion capture device," 2003.
- [2] K. Ueno, K. Furukawa and M. Bain, "Motor Skill

As Dynamic Constraint Satisfaction," *Linkoping Electronic Articles in Computer and Information Science*, 200.

- [3] K. Matsumura, A Study of Samba Dance Using Acceleration Sensors, Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2007.
- [4] I. Nonaka and D. J. Teece, Managing industrial knowledge: creation, transfer and utilization, Sage, 2001.
- [5] B. Durrance, "Some explicit thoughts on tacit learning," *Training & Development*, pp. 24-30, 1998.

少林寺拳法初心者の技習得に伴う身体表象形成過程

Body representation forming process in beginners of Shorinji-Kenpo acquiring a skill

鈴木和樹¹ 伊藤毅志²

Kazuki Suzuki¹, Takeshi Ito²

¹ 電気通信大学情報理工学部先端工学基礎課程

¹ Fundamental Programs for Advanced Engineering,
The University of Electro-Communications

² 電気通信大学大学院情報・ネットワーク工学専攻

² Graduate School of Engineering and Informatics,
The University of Electro-Communications

Abstract:

We had five beginners practice this skill for 4 week (until forming body representation) by using "Tenchi-ken Dai-ikkei" as a learning task. We executed an experiment by using "Tenchi-ken Dai-ikkei" as a learning task. We had five beginners practice this skill for 4 week (till forming body representation). We focused to analyze on the difference between early and slow learners. It was suggested that it is important not to set the achievement goal to be too high without sticking to the fine degree of completeness in order to form the representation of this technique quickly.

1 序論

人が新たな分野の学習をする場合、始めにその分野固有の基礎的な技能を覚えることなしに、その分野の高い達成目標（例：勝敗、完成度の高さ等）に注意を向けることは難しい[1]。このことは身体運動でも同様であり、例えば初心者にはゴルフであれば最低限のグリップの握り方や一通りのスイングができるようにならないと、スイングの良し悪しや状況に合わせた打ち分け方などの高いレベルの技能を議論することは難しい。

しかし、このような基礎的な技能の習得は初心者にとって時に単調に感じられ、それが困難であると感じると、その分野の習得に対する興味やモチベーションが失われることすらある。このような状況を回避するためには、初心者には基礎的な技術を迅速に習得させるための支援が必要だと考える。そこで本研究では、少林寺拳法を題材に、初心者が基本的な技の学習過程を分析することで、身体運動を習得するために必要な身体的表象の形成過程について検討を行う。

2 関連研究

2.1 熟達における表象の変化

身体運動において高度な思考をするためには基礎知識が自動処理される必要があり、この自動処理は、内的表象（頭の中のイメージ）を獲得することにより遂行されることが指摘されている[1]。また、「初心者」は基礎知識に対し、自動処理ができない状態であり、「初級者」は自動処理ができるようになった状態であるとされている。このことから、初心者は表象が未形成の段階だが、初級者は初期段階の表象が形成された段階だと考えられる。

このような身体運動における初心者から初級者への変化を扱った研究として内山らの研究がある[2]。内山らは、ジャグリングの3ボールカスケードを題材として、初心者が100キャッチできるようになるまでの思考過程の変化を分析した[2]。その結果、内山らはカスケードの身体表象の獲得には「的確な改善点の意識」「目的意識を持った練習」「問題の分解」が重要であると指摘した。

しかし、内山らの研究手法では、実験参加者に練習方法を事前に教示したのに加え、練習の大部分は実験者によって観察できない状態だったため、本研究で目的とする初心者から初級者への段階について詳細な分析ができないという問題がある。

2.2 熟達における生体反応の変化

熟達化を生体反応計測装置により測定することで明らかにしようとする研究は、古くから行われてきた。これらの研究では、初心者と熟達者の違いを調べる際に、生体反応計測装置を用いて客観的な指標でその違いを明らかにしようとしてきた。

そうした研究の一つとして長尾らは、舞踊を題材に実験を行った[3]。長尾らは舞踊作品鑑賞時と作品イメージ想起時の皮膚電気反応(以下 GSR)の波形と出現総数を踊り手本人、舞踊専攻生、一般学生の間で比較した。その結果、GSR の波形に違いが見られ、舞踊経験がある場合に出現総数が増えることを確認した。それに加えて熟達者の GSR の波形について、作品鑑賞時とイメージ想起時の GSR の波形が類似することも確認した。

もし、初心者が初級者に至る過程においても何らかの生体反応の変化が見られれば、GSR が熟達化の客観的な指標として利用できる可能性がある。本研究でも、GSR を計測し、変化が見られるかを確認した。

3 少林寺拳法

3.1 少林寺拳法とは

少林寺拳法とは、宗道臣が人づくりと平和で物心共に豊かな社会の実現を目的として 1947 年に香川県多度津町で創始した武道である[4]。宗道臣は、中国在住時に学んだ技術に創意工夫を加えて、多くの人が楽しみながら学べるような新しい技術体系をめざし整理、再編したものをを用いて、人間の心身の改造と平和的手段による社会変革を目指して少林寺拳法を創始した。そのため、少林寺拳法は単に腕力の強い人や技の上手な人を作るために創始されたわけではない。

少林寺拳法は、老若男女問わず対象としているため、舞踊のようにリズム感覚などの特別なスキルを必要としない。また、野球のピッチングのような誰もが一度は経験したことのある動作とは違い、突きや蹴りなどは日常では行わない動作であることから、

実験の統制が取りやすく実験題材として適していると考えられる。

3.2 天地拳第一系

本研究では少林寺拳法の型の中で最も基本的な型の一つである“天地拳第一系”を題材とした。天地拳第一系は、少林寺拳法を始めてから最初に受ける 6 級への昇級試験の課題であることから、初心者を対象とした本研究には適していると考えられる。

天地拳第一系は礼の後、9 種類の技を行い、礼によって終わる型である。各技の詳細な手順は以下の通りである[4]。なお、図 2.1 は実際に天地拳第一系を行っている様子を時間毎の動作の変化として示した図である(図の左が起点である)。

以降、簡単のため、天地拳第一系の各技を技の出現順番の番号で呼称する。例えば天地拳第一系の 2 番目の技“右足引足し、左中段構えとなる”は、“手順 2”と表す。

- 1 結手立、調息、八方目
- 2 右足引足(ひきあし)し、左中段構えとなる
- 3 左足前千鳥足に出て左拳上段直突、右拳胸前
- 4 右足やや寄足(よせあし)し右拳中段逆突、左拳胸前
- 5 平馬立になり右拳外受、左拳横鉤突を同時に行う
- 6 左足開退り右上受け、左拳胸前
- 7 右足やや後寄足、右手内受、左手下受を同時に行う
- 8 引身になりながら右手打払受、左拳外受を同時に行う
- 9 右足蹴上、直ちに復位
- 10 右足開退り左手下受し、左一字構
- 11 右足前寄足、結手立、調息、八方目

4 実験

4.1 目的

少林寺拳法の見習いから 6 級に至る最初の昇級試験の課題である“天地拳第一系”を題材に、初心者が 1 倍速の天地拳第一系を途中で詰まることなく行



図1 天地拳第一系のイメージ図

えるまでの学習過程を分析することで、初心者の変象形成過程と生体反応の変化を明らかにする。特に早く効率よく初級者レベルに至っている参加者とそうでない参加者の学習における違いに着目し、変象形成の違いを調べる。

4.2 実験参加者

少林寺拳法未経験の大学生男女 5 名が実験に参加した。その内 1 名のビデオデータに不備があったため、4 名(男性 2 名、平均年齢 21.0 歳、SD = 1.55)を分析対象とした。

4.3 手続き

以下の手順で実験は行われた。1 週間に 2 回のペースで 4 週間に亘り、合計 8 回この手順で学習が行われた。なお、2 回目以降は以下の②～④の手順のみ実施した。

① 事前説明：趣旨と手順の説明

実験の全体の流れと趣旨についての説明をした。その後参加者の運動経験を問うアンケートを実施。なお、実験時間を統制するために、自宅練習は禁止とした。

② 練習前計測 (GSR と視線)

練習前に少林寺拳法熟達者(五段)の天地拳第一系の動画を見せ、その際の GSR と視線の動きを計測した。次に、動画視聴後、閉眼させ、その動画を頭の中でイメージするように教示し、その時の GSR を計測した。

③ 練習

参加者に対して練習用動画(前後左右から撮った 4 種類×1/3 倍、2/3 倍、1 倍速の 3 種類=計 12 種類)と教示マニュアルを自由に見ることを許し、天地拳第一系を学習させた。練習は 1 回 30 分行い、気づいたことについて発話するよう指示した。そして発話と行動を記録するために練習の様子をビデオで撮影した。さらに練習終了後、意識したことや気づいたこと等について学習記録に記録させた。

④ 練習後計測 (GSR と視線)

練習後に、②と同様の手順で計測を行った。

4.4 教示マニュアル

本実験で用いた教示マニュアルは、少林寺拳法読本並びに教本の天地拳第一系とそれに含まれる技についての項を参考にして作成した[5]。この教示マニュアルは、読本や教本の教示のままでは初心者にとって分かり辛い単語が含まれていたため、それらの専門用語を文字から動作が分かるような表現に修正した。

また、本研究では初心者の熟達を対象としている

ため読本、教本に記載されている手順と動作の形についての教示のみに絞り、動作の意味や力の入れ方などの教示は除いて教示マニュアルに反映させた。

5 結果

5.1 各速度での達成までの練習回数

参加者毎の各速度で詰まらず通すことができた練習回と、練習時に観察していた動画の割合を図 2～5 に示す。なお、図中の○で囲われている数字はその回に通せた動画の最高速度を意味する。

これらから、A が最も早く 3 回目には 1 倍速を達成し、B が最も遅く 6 回目に達成していることがわかる。また、B が 2/3 倍速以上の動画を 3 回目まで全く観ていないこと、D は毎回すべての速度の動画を他の参加者と比較してバランス良く観ていることも見て取れる。

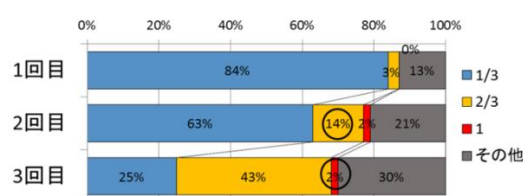


図2 参加者A

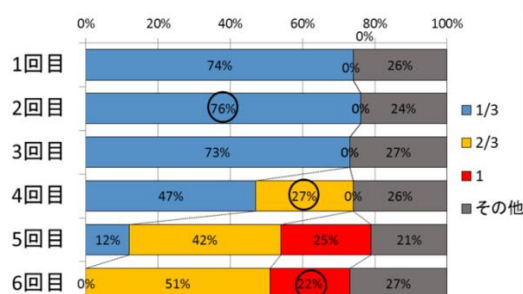


図3 参加者B

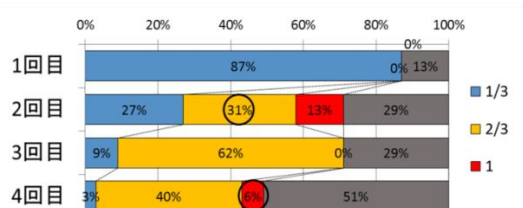


図4 参加者C

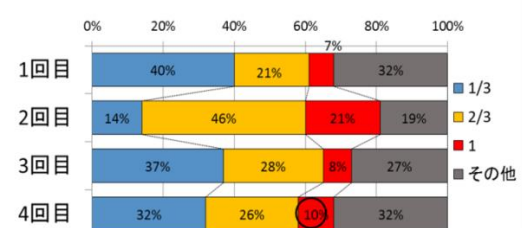


図5 参加者D

5.2 参加者毎の学習方法

参加者毎に、目標達成回までの学習順序や学習方法に違いが見られた。特に明らかな違いとしては、以下の2つの学習法が挙げられる。一つは、天地拳第一系を一連の流れとして詰まる所まで通して繰り返し練習する方法。もう一つは、教示マニュアルに示された天地拳第一系の礼も含めた10個の技に分解し、その一つ一つを個別に練習し、徐々に速度を上げていき、最終的に全体を通して練習するという方法であった。前者の方法は参加者A, B, Cが、後者の方法は参加者Dで観られた。

5.3 参加者毎のGSRの波形の相違

本実験では、天地拳第一系を詰まらず通して行えるようになった時に、GSRになんらかの変化が表れるという仮説のもと実験を行った。しかし、実験では図6～9に示すように各参加者の目標達成回でのGSR波形に明確な変化は見られなかった。

また、本実験の参加者とは別に長尾らの実験と同様、熟達者の動画観察時及びイメージ想起時のGSR波形も計測した。長尾らの実験では、熟達者は動画観察時に技術が必要とされる場面や場面の切り替わりでGSR上に大きな反応を示すとしていた。そして動画をイメージした時のGSR波形も動画観察時のGSR波形と類似した反応を示すとしていた。本実験でもそのような結果を期待し、熟達者のGSRを二つの条件下で計測したが、図10に示すように熟達者のGSR上に大きな反応は見られなかった。

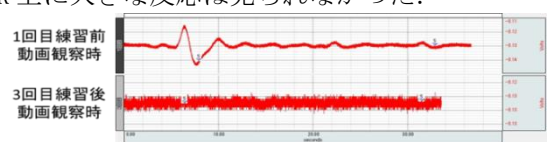


図6 参加者Aの1回目と達成回のGSR波形

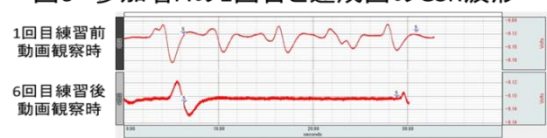


図7 参加者Bの1回目と達成回のGSR波形

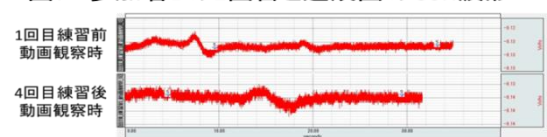


図8 参加者Cの1回目と達成回のGSR波形

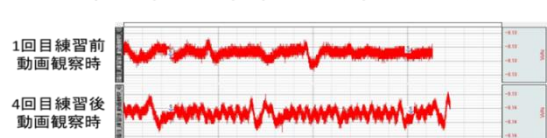


図9 参加者Dの1回目と達成回のGSR波形

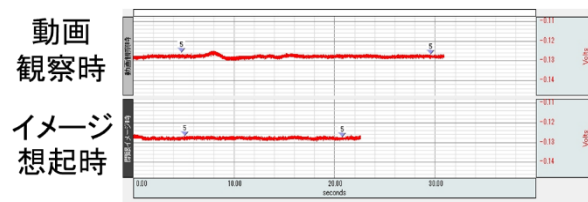


図10 熟達者のGSR波形

6 考察

6.1 達成の早さと視聴動画の速度の関係

4.1の結果に見るように、Aが最も早く目標を達成し、Bが最も遅い達成となった。最も早く達成したAは、2回目の練習の前半に1/3倍速を達成すると、直ぐに動画の速度を2/3倍速に上げ練習を行っていたそれに対して、Bは1/3倍速で通して行えるようになった2回目以降も1/3倍速の動画を見続けていた。Bの発話内容を見ると、体重の移動が上手く出来ていないことに固執して、1/3倍速で上手に出来るようになることに意識が向きすぎている傾向が見られた。つまりBは一部の目標に固執し、次の段階の動画を確認しなかったことで、適切な運動目標についての表象形成が遅れたことが、達成の遅れにつながったと考えられる。それに対してAは達成目標を適切に設定し、一つの技に固執せず、速やかに次の段階に進んだことが迅速な表象形成につながったと考えられる。

また内山らの研究では技を分解して練習することの重要性が主張されたが、本実験では5.1の結果にみるように分解して練習したDより、一つに固執せずに次の段階へ速やかに進んだAの方が達成は早かった。Dの練習内容を見ると、3回目の練習の際に1つの技に固執して練習をしていたことが確認できた。つまりB同様に、特定の動作に対する固執により、表象の形成が遅くなったことが、達成を遅らせた原因だと考えられる。

内山らはボールジャグリングのように1動作あたりの時間が比較的短時間の身体運動を繰り返し行う動作を課題にしたのに対し、本研究では天地拳第一系という一連の長い動作を課題としたという点で大きな違いがある。一連の動作を伴う身体運動における表象の形成という点においては、通して練習を行うことの方が表象形成を早めることにつながると考えられる。

6.2 GSRの波形について

本実験の結果は、長尾らの結果とは異なり、熟達者でもGSRに大きな反応がなかった。さらに、参加

者に天地拳第一系の表象が形成されたと考えられる時でも、必ずしも反応を示すわけではなく、逆に 1 回目の実験時に大きな反応を示す場合も見られた。

このことから、本実験では、長尾らの結果を再現することは出来なかった。長尾らの実験か本実験かどちらかの手続きに問題があった可能性が考えられるが、原因はわかっていない。いずれにしても現時点では、GSR が客観的な指標としては使えないことがわかった。

7 結論

本研究では、初心者が天地拳第一系を学習していく過程を表象に着目して分析を行った。本研究の結果より、少林寺拳法においては、特定の技に固執せずに達成目標を適正の範囲で設定することが迅速な表象形成には重要であることが確認された。

今後の課題として、これら二つの迅速な表象形成のための要素を検証したいと考えている。そのために学習の過程を統制する実験を行いたい。具体的には、達成目標を具体化することや特定の技に固執しているようであれば、次の動作に移行させるように教示をする。この条件下での学習が、身体表象の形成に与える影響について分析、考察していきたい。また、今回分析が間に合わなかった視線データについても分析を進めて、表象形成の前後で何らかの変化がないか明らかにしたい。

参考文献

- [1] 神宮英夫: スキルの認知科学ー行動のプログラムを考えるー, 川島書店, (1993)
- [2] 内山光大, 伊藤毅志: ジャグリングの熟達における思考過程の分析ー3 ボールカスケードの事例よりー, 身体知研究会, Vol.22, No.7, pp.35-41, (2015)
- [3] 長尾幸子, 森下はるみ: 舞踊作品鑑賞時における情動性自律反応ー皮膚電気反射を中心にー, バイオメカニクス学会誌, Vol.14, No.12, pp.141-147, (1998)
- [4] 一般社団法人 SHORINJI KEMPO UNITY: 少林寺拳法読本, 財団法人少林寺拳法連盟, (2010)
- [5] 財団法人少林寺拳法連盟: 図解コーチ 少林寺拳法, 成美堂出版, (2001)

リズムによる指タッピング課題トレーニングが 視覚空間ワーキングメモリに及ぼす影響

The influence that fingers tapping with different rhythm has in Visual-Spatial working memory

王 萌飛 藤波 努

Mengfei Wang, Tsutomu Fujinami

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科

Japan Advanced Institute of Science and Technology
School of Knowledge Science

Abstract: working memory, visual-Spatial working memory, finger tapping, rhythm

1. 背景と目的

ワーキングメモリという概念が 1950 年代に短期記憶から発展した。ワーキングメモリとは、一時的に情報を脳内に保ちながらその情報を操作・利用することを含む一連の記憶動作のことである [1]。Baddeley が 1970 年代にワーキングメモリ三つのマルチコンポーネントを想定した [2]。このモデルでは、ワーキングメモリは、中央実行系、視空間スケッチパッド（視空間的短期記憶）、音韻ループ（言語的短期記憶）の 3 つのコンポーネントから構成されるシステムとして捉えられる。その中に、視覚的ワーキングメモリは視覚情報の短期的保持と処理などの機能を持っている。また、近年では、ADHD などの発達障害との関連、認知症や高次脳機能障害との関連について研究が盛んでいる。ワーキングメモリ容量の不足が発達障害に深い関係があることが明らかになっている。高齢化とともにワーキングメモリも衰退してゆくことがわかった。ワーキングメモリ容量の減少や不足に伴って、物忘れや認知症などが発生すると認められていた。

ワーキングメモリを鍛えることによって容量を増加させられるという仮説に基づいた研究が近年行われた。最近の研究ではトレーニングによりワーキングメモリ容量が増加することが示唆されている [3]。

ワーキングメモリ容量を増やすいくつかのトレーニング方法が提唱されている。例えば、N back 課題によるトレーニング方法では、繰り返し記憶することによって、脳を刺激に与え、ワーキングメモリの機能を高める。また、定期的に専用ソフトウェアを使って行う訓練及び専門的な技師の指導の下行われるトレーニング方法がある。最近、インターネットが普及したことで、記憶トレーニングゲームやアプリも開発された。上に挙げたように多くのトレーニング方法があるが、各トレーニング方法の効果は明確ではない。

一方、指先の運動（指タップ）がワーキングメモリと密接に関係すると認められた。さらに、音楽演奏の研究から、両手で演奏すると記憶力が高まることが検証された [4]。先行研究では、音楽を聴いているときだけでなく、楽器を演奏しているときに、

全身運動しているときと同じように脳が活動するとされている。指タッピングは両側前頭・頭頂葉、両側補足前頭野、前帯状皮質に対する刺激を与える [7]。両手の演奏の指運動から来る刺激及び楽譜読みの視覚からの刺激が視覚空間ワーキングメモリに大きく影響する。一定のリズムのパターンで両手を合わせて演奏することなど視覚と空間両方に関わる複雑な課題が視覚ワーキングメモリに影響するので、指タッピング課題トレーニングも視覚空間性ワーキングメモリに好影響を与えると推測される。

本研究では、リズムによる両手指タッピング課題トレーニングにより、複数の課題によって脳が刺激を受け、短期記憶および視覚空間性ワーキングメモリに好影響があるという仮説を検証する。リズムには構造の違いにより多くの種類がある。その中でどのようなリズムがワーキングメモリに一番影響するのかを検証する。

近年、ワーキングメモリのトレーニングについて研究が進められているが、複数のトレーニング方法で構成されているため、各トレーニング方法がそれぞれどのような効果をもたらしているのか、またどの程度効果が持続するのか明らかになっていない。そこで日常生活でトレーニングを行う環境も検討する。

2. 方法

両手の指先を使いタッピング運動及び視覚刺激の課題により脳に刺激を受け、短期記憶および視覚空間性ワーキングメモリに対する影響を解明することを目的としている。

実験参加者 被験者は大学院生 12 名である。平均年齢は 27 歳である。すべての被験者の視力が 1.0-1.5 である。また、被験者は両手の指の運動が正常で健康である。

実験計画 3 つの実験 (ステップ) に分けられる。

実験① 視覚空間ワーキングメモリテスト (Visuo-Spatial Memory Task)

実験② 指タッピングトレーニング

実験③ 視覚空間ワーキングメモリテスト (Visuo-Spatial Memory Task)

その中、実験② 指タッピングトレーニングはさらにパターン刺激なし、リズムなし、2 対 1 リズム、3 対 1 リズムの 4 つに分けられた。

実験装置 実験①と実験③には、Windows 系のタッチパネルを使用し、実験②の指タッピングトレーニングでは Roland が販売していた電子ドラムの HPD-15 を使用した。

手続き まず実験①視覚空間ワーキングメモリテストを行った。タブレットの画面に現れる数字項目 (figure1) の場所位置、順番を記憶させた。(1 から順番に) 記憶した後、数字項目を順番に両手の指でクリックしてもらった。最初の数字 (1) がクリックされると、他の項目は数字が隠されるので (figure2),

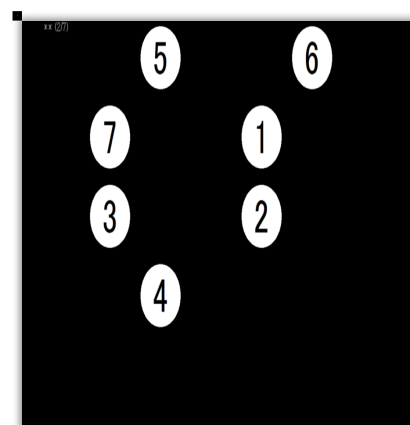


figure 1 ワーキングメモリのテスト [5]

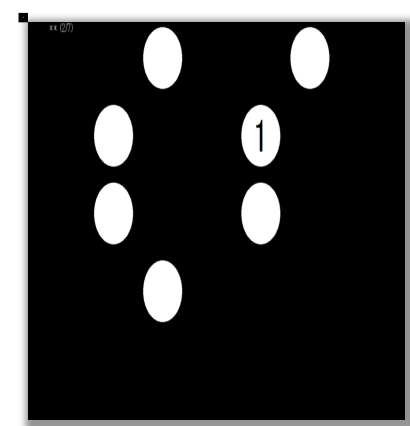


figure 2 ワーキングメモリテスト

被験者は記憶を頼りに残りの項目の数字を順番に指でクリックし課題を完成させた。また、記憶する時間が7秒である。一度も間違わずにすべての項目をクリックすることができたら、やるたびに項目数が増えていく。逆に、もし間違ってしまうと、次は刺激項目の数字が1つ減り、前試行より簡単になる。その次、再び正しければ、課題として表示される数字も増加してゆく。7試行が終了した後、結果が表示する。

被験者が上記の実験①は完了した後、実験②の指タッピングトレーニングを実施する。トレーニングは4回に分けて実施した。電子ドラムに視覚刺激を受けながら、指タッピングトレーニングをさせた。電子ドラムに1から5までの数字を書かれている紙を張り、呈示されるリズムの数字を見ながら、対応する電子ドラムのパッドを両手でタッピングする。例えば、「2」の数字が書いてあれば電子ドラムのパッド2をタッピングする。

視覚的な刺激は、リズムなし、2対1リズム[6]、3対1リズムに分けた。Figure3及びfigure4に示しているようである。

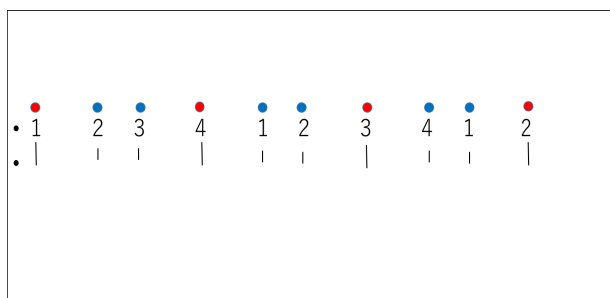


figure 3 2対1リズム

2 2 2
4 5 2
1 5 5
3 3 3 2 1 5
1 3 4
5 1 1
3 4 5

figure 4 2対1リズム刺激

例えば、figure4の「2 1 1 1」が一つの組であり、3対1リズムでタッピングする。途中でリズムあるいは、数字を間違えてもやり直さず、そのまま、次のリズム組をタッピングしてゆく。

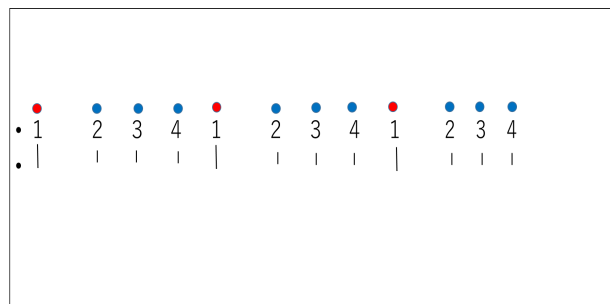


figure 5 3対1リズム

5 2 2 1
2 3 3 5
4 3 3 2
3 1 1 5 4 5 5 1
5 4 5 5
4 2 2 5 2 1 1 5

figure 6 3対1リズム刺激

指タッピングトレーニングが完了した後、再び視覚空間ワーキングメモリテストを実施し、容量を測定する。

実験③に使用した措置は実験①と同じくタブレットのタッチパネルを使った。実験の手順も同じく、被験者は視覚空間ワーキングメモリテストを3回受けた。

3. 結果

指タッピングリズムの錯誤率は、figure7のデータにより、計算した。錯誤率は2対1リズムで0.053、3対1リズムで0.046である。割合が大体同じであり、両方のパターンとも、ほぼ正確にタッピングされたとわかる。

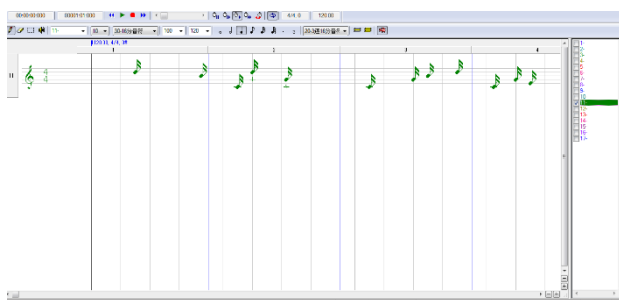


figure 7 タッピングによる MIDI データ

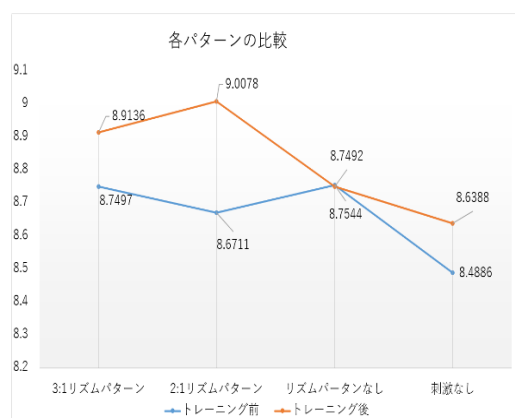


figure 8 視覚空間ワーキングメモリテストの平均値

figure8 に実験①(トレーニング前)、実験③(トレーニング後)の指タッピングの得点平均値を示す。刺激なし、リズムなし、2 対 1 リズムパターン及び 3 対 1 リズムパターンの得点平均値を比較している。四パターントレーニング前後ワーキングメモリ容量の変化は、それぞれ、刺激なし (0.1502)、リズムなし (-0.0052)、2 対 1 リズム (0.3367)、3 対 1 リズム (0.2236) である。リズムなしパターン以外のパターンはトレーニング後ワーキングメモリ容量が増加したとわかる。また、2 対 1 リズムによる指タッピングトレーニングが視覚空間ワーキングメモリ容量の増加に一番効果が高い。

さらに、トレーニングの順番をランダム化することで、各パターントレーニングの影響が次回に及ぶどうか、相関係数により、分析した。結果として、4 つのパターンそれぞれに対する有意確率が有意水準 ($P < 0.05$) 以下である。「刺激なし」：「リズムな

し」は 0.811 である。「刺激なし」：「2 対 1 リズム」は、0.179 である。「リズムなし」：「3 対 1 リズム」は 0.477 である。「リズムなし」：「2 対 1 リズム」は 0.398 である。「リズムなし」：「3 対 1 リズム」は 0.615 である。「2 対 1 リズム」：「3 対 1 リズム」は 0.893 である。

4. 考察

各平均値からみると、予想通り、2 対 1 リズム (0.3367) が刺激なし (0.1502) より、0.1865 が高く、2 対 1 リズムによる指タッピングトレーニングが視覚空間ワーキングメモリ容量の増加に一番効果が高い。時間間隔が 2 対 1 のリズムで両手の指先運動をすることが視覚空間ワーキングメモリ容量の向上に好影響があると考えられる。この結果から、2 対 1 時間間隔のリズムが一番覚えやすいと結論づける。

また、視覚呈示刺激及び指タッピングトレーニングどちらも受けていない刺激なしパターン (0.1502) が視覚空間ワーキングメモリ容量を増やした。視覚空間ワーキングメモリテスト自体にワーキングメモリをトレーニングする効果があると考えられる。実験中には、数字項目の位置や順番の記憶すること及び指にクリックすることで、脳を刺激し、海馬や前頭葉を活性化し、一定程度、視覚空間ワーキングメモリをトレーニングできた。また、テストするとき、最初のうちはテストに対する理解が十分でないため点数が低く、徐々に回数が増えると、テストに慣れ、上達したと考えられる。

一方、指タッピングトレーニングを受けていた 3 つのパターン：リズムなし (-0.0052) 2 対 1 リズム (0.3367) 3 対 1 リズム (0.2236) の中に、リズムなし (-0.0052) だけ、指タッピングのトレーニングを受けない刺激なし (0.1502) 方より、0.1552 点が低いとみられる。被験者へのインタビューから、4 つのパターン中、リズムなしの時間が一番長く、集中力が散漫になりやすく、疲れやすいとのコメントを得た。意識せずに、単にランダムに指タッピング

するとき、脳が情報収集する必要がなく、処理することなくなり、働かない状態になってしまう。指を運動しても、脳が指令を出してない、脳とワーキングメモリを活性化することができない。例えば、不規則な騒音を聞かされ、集中できない状況である。これが指トレーニングしても視覚空間ワーキングメモリ容量が下がった要因ではないかと考えられる。

最後に、4つのパターンの中で、3対1リズムのパターン（0.2236）が刺激なしパターン（0.1502）より、わずかに0.0734点高い。また、2対1リズムのパターン（0.3367）より、-0.1131点低い。3対1リズムにおいては、リズムの時間間隔は2対1リズムより複雑で、トレーニング効果が下がった。リズムと記憶の関係には、複雑なリズムが記憶しにくく、脳が自動でより簡単なリズムを優先的に記憶する。今回の結果はその知見を検証し、3対1リズムより2対1のリズムで一番脳が活性化することを明らかにした。また、刺激なしと比べると高いので、指タッピングトレーニングも一定の効果があると認められる。

5. 今後の課題

実験者数が少ないので、増やして実験する必要がある。また、20代若年者だけを対象をしていて、年齢層が偏っている。今後、年齢層を広げ、多人数の実験を実施すれば、信頼性の高い結果が得られると考える。また、今回の実験では、各被験者は各パターンについてトレーニングを一回しか実施しなかった。リズムによる指タッピングが視覚空間ワーキングメモリの増加に有効と認められたが、その効果の持続性が検証されていない。被験者が多くの回数を行ったら、持続性が検証できると考えられる。多数の実験を行い、他のトレーニング方法の効果の持続性との差異を明確にしたら、信頼性が高まるのではないかと。さらに厳密かつ系統的に研究する。

謝辞

この研究を進んで行き、多くの方々のご支援ご協

力を賜りまして、謹んで御礼申し上げます。特に実験を協力いただいた方々に心より感謝の意を述べます。

参考文献

- [1] Baddeley, A. D.: Working memory. New York: Oxford University Press, (1986).
- [2] Baddeley, A.D. Hitch, G.J.: Working Memory, In G.A. Bower (Ed.), Recent advances in learning and motivation (Vol. 8, p. 47-90), New York: Academic Press, (1974).
- [3] Klingberg.: Computerized Training of Working Memory in Children With ADHD—A Randomized, Controlled Trial, (2005)
- [4] 大澤知恵: 鍵盤楽器演奏技能の習得, 現代社会文化研究, No.38, (2007)
- [5] Maki, Y., Yoshida, H., Yamaguchi, H. Computerized visuo-spatial memory test as a supplementary screening test for dementia. Psychogeriatrics, 10, 77-82, (2010)
- [6] ボブ・スナイダー: 音楽と記憶, (2003)
- [7] 宮地: リズム制御の神経基盤の解明, リズムパターン学習による脳活動の変化, (2014)
- [8] Jäncke L: 音楽を演奏することは脳にどのような影響を与えるのか, (2009)
- [9] 渡邊, 船橋: 二重課題の神経生物学, 二重課題干渉効果と前頭連合野の役割, 霊長類研究 Vol.31, No. 2, pp. 87-100, (2015)

筋電図を用いた二胡演奏における初心者と熟練者の運弓の 違いの解析

Analysis of the difference of bowing between expert Erhu player and novice
player by using surface electromyogram

王少如¹ 藤波 努²

Shaoru Wang¹, Tsutomu Fujinami²

¹ 北陸先端科学技術大学院大学

¹ School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

² 北陸先端科学技術大学院大学

² School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: The goal of this paper is to find the difference of Erhu's bowing between expert players and novice players. Erhu is a two-stringed instrument created in China. It is much different from other string instruments such as the violin because Erhu's stick is located between two strings. In this experiment, I ask the subjects to play four songs that are very simple so that even the novice players can learn them quickly. These songs include some of the most basic actions in Erhu's bowing, such as up-bowing, down-bowing and string change. Electromyogram is attached on eight parts (M.thenar, M.flexor carpi radialis, M.biceps brachii, M.triceps brachii, M.deltoideus, M.supraspinatus.) of the subject's right arm.

I found the difference between expert players and novice players after analyzing the average amplitude and using FFT analysis method. The muscle activity is usually more stable in experts than experienced players, and the experienced players present better stability than novice players. The M.thenar, M.flexor carpi radialis and M.deltoideus have the clearest difference between expert players and novice players.

Novice players always put unnecessary power in those muscles, so it can be said they are tense when bowing. But I could not find a clear influence of the M.flexor carpi radialis, M.biceps brachii, M.triceps brachii and M.deltoideus muscles in the bowing action and thus found no difference in between subjects. Then I found that both experienced and novice players usually put more power in M.thenar when they are up-bowing. And I also understood that expert players' muscles have activity pattern when they change the stick, they always use the M.thenar at the first, and then use the M.deltoideus and M.flexor carpi radialis sequentially but novice players do not do it. Even experts have their own customs to play Erhu, so it is difficult to decide the correct activity of muscles by only looking at 3 expert players in my experiment. It is necessary to increase the number of subjects and analyze their characteristics to know the correct activity of muscles.

1. はじめに

身体知を言語化する研究が最近盛んである。

1.1 背景

スポーツの他に、舞踊や楽器の演奏などの

ある技術の熟練者が持つ「スキル」「技」は、言葉で説明できない身体的かつ暗黙的な知識であるため、熟練者でさえも学習者に対して言葉で教示することが難しい。そのため、体育会系的な「練習を繰り返し、身体で覚えてしまう」という勉強法が一般的である。しかし、スキルの解明では、身体スキルの言葉による表現が本質的である。「身体で覚える」知識を解明するために、

スムーズな動きを求められている。この中、弦楽器のヴァイオリンとチェロの演奏動作がよく研究対象とされている。それらの楽器は運弓動作が必要である。運弓動作が弓の位置、速度、弓圧を制御し、体の姿勢にも関わっている。このため、演奏者の指、手首、上腕など身体的な協調が求められている。この協調動作を解釈することが身体知の解明につながっていると考えられる。

本稿では中国の伝統摩擦弦楽器の一つであり二胡をアプローチとして、一番基本的な運弓動作について分析を行った。筋電図の分析を行い、運弓時の各筋肉の役割分担や、各筋の活動度などのデータを得ることで、熟練者と初心者の違いを明らかにすることを目的とする。このことにより、初心者が目的意識や到達目標を持ちやすくなり、学習が効果的に進むと予期される。

1. 2 楽器

二胡は摩擦弦楽器の一つである。図1に示す。身体に近い弦は「内弦（ないげん）」と言い、離れている弦は「外弦（がいげん）」と呼ばれている。弓は2本の弦の間に挟まれているので、弓の毛の両面も使うことと弓を持っている右手は地面と垂直していることが特徴である。

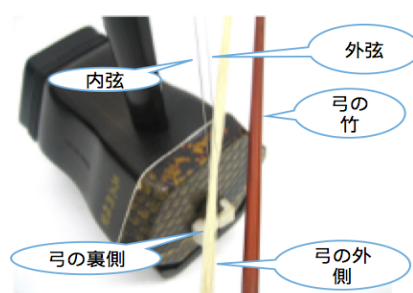


図1

以上の特徴があるので、二胡の運弓の難しさがある。1つ目は弓返し動作である。

ラーコン（左から右へ弾く）する時手首が右に弾き、ツイコン（右から左へ押）する時に手首が左に押し、弓返し動作右手首は柔らかく使うことが一つの難しさである。

2つ目は移弦動作である。外弦を弾くときに右手の指は力を入れないことに対し、内弦を引くときに、中指と薬指に力を入れ、弓の毛と竹の距離を作って、内弦と摩擦して演奏する。距離を作らないと、竹の部分は外弦と当たってしまうことになるからである。

石原（2010）は「初心者の二胡演奏スキルの分析～二胡演奏学習支援環境の構築に向けて～」という研究を行った。この研究は特に指先の圧力に着目している。被験者の弓を持つ指先の圧力の測定結果では、初心者が「内弦であっても、外弦であっても親指と人差し指は、軽く弓に沿える程度に置き、強い指先圧力は生じない」という理想状態にならず、常に薬指か中指に大きな圧力を生じたので、ノイズが頻繁に出ていたことが分かった。

また、菊川ら（2001）は、磁気式位置センサを用いて二胡演奏中の弓の位置と

角度を計測し、リアルタイムで弓の動きの診断を行うシステムを開発した。

しかし、先行研究には以下の問題点がある。1 運弓などの動作では、指先に圧力をかけることだけでなく、右腕の各筋肉の動きも関わっている。2 弓と弦の間の摩擦力が音の発生する原因となっているので、弓の角度と位置が正しいとしても、必ずきれいな音が演奏できると限らない。1、2の問題点があるため、運弓動作を行う各筋の活動度などの計測も必要であると考えられる。本稿では、自作の練習曲を演奏した際の右腕の各筋肉の筋活動を記録し、運弓動作における初心者と熟練者の間の差異を明らかにする。

2. 実験

2.1 実験内容

本実験では、多チャンネルテレメータシステム WEB1000（日本光電）を用いて実験を行った。送信機（図6）ZB-150H（EMG）：内部感度×200、測定範囲±5 mV、パネルFS5mV、パネル表示感度 1mV/div、Hi cut、500Hz、Lo cut、30Hz を用いて記録した。二胡の運弓動作を左右すると考えられる筋

としては：拇指球筋(A1)、橈側手根屈筋上(A2)、上腕二頭筋(A3)、上腕三頭筋(A4)、三角筋前部(A5)、三角筋後部(A6)、棘上筋(A7)、橈側手根屈筋下(A8)以上8箇所が考えられる。以上の各筋に、表面電極を取り付け、筋電図で記録した。電極装着位置の概略は図2、3に示す。



図 2



図 3

被験者に二胡の内弦と外弦二つの弦とも使えるような練習曲を4曲演奏するように指示する。開放弦の基礎としている長弓（弓本から弓先まで全部使える運弓方法）と中弓（弓の真ん中を使う運弓方法）を含めている。内弦と外弦の移弦、また、弓の返し動作、ツイコン動作とラーコン動作も含まれている。メトロノームでテンポ58 bpmを基準として演奏する。なお、楽器の違いによって動作の違いを出ることを防ぐために、被験者全員も同じ楽器を使用させた。

熟練者 3 人（6 年間～23 年間二胡勉強経験あり）、経験者 3 人（1 年間～2 年間二胡勉強経験あり）初心者 3 人（楽器の勉強する経験ない）被験者合計 9 人がいる。

2. 2 分析方法

1、原波形を眺め、動作のタイミングと筋活動を確認することが定性的分析法と呼ばれる。本研究では、表面筋電図計測で得られた各被験筋の波形を眺めることで、定性的分析法を用いて、被験者それぞれの特徴また動作パターンを分析する。

2、筋電図が持っている特徴量の平均振幅を計算し、被験者間の比較をする。

3、パワースペクトルを解析し、被験者の間の比較をする。

2. 2 分析結果

中弓の移弦動作の 8 秒間の例として、図 4 に示す。母指球筋では、初心者の筋活動が経験者と熟練者より急収縮が多い、規則性がないことがわかった。三角筋前部では、初心者は熟練者より筋活動多いが、移弦ごとには収縮している。それに対して、経験者は大きな動きが見えてない。また、橈側手根屈筋（下）では、初心者も経験者も熟

練者より筋活動が多いし、規則性が見えず、続的に活動している。これは、熟練者は母指球筋を主に使って移弦動作を行うことに對して、初心者は母指球筋、三角筋前部と橈側手根屈筋（下）で弓をコントロールしているからと考えられる。

また、初心者の橈側手根屈筋（上）も三角筋後部も移弦するたびに大きな筋活動をしている。経験者は移弦ごとに上腕に頭筋の筋活動が行っている。それは初心者と経験者も熟練者より、移弦する時に余計なところに力を入れていることがわかった。

移弦動作を行うときに、熟練者は動作の変化に従って、筋肉の活動量も変わってくる。母指球筋→三角筋前部→橈側手根屈筋（下）になっているという規則性が見えるが、初心者は運弓動作に認知不足ため、規則性が見えない。

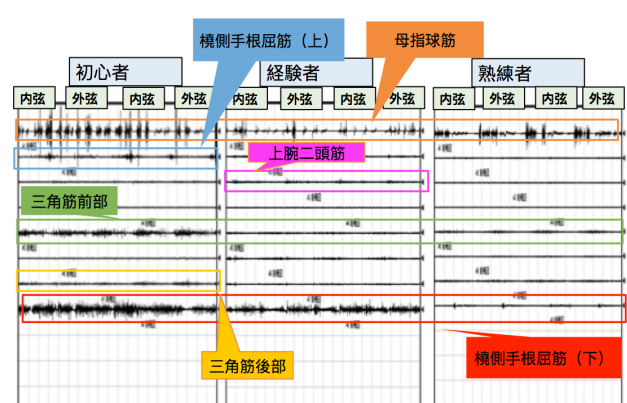


図 4

図5は母指球筋の筋活動を一つの例として挙げているパワースペクトルレポートである。熟練者がほとんど母指球筋の筋活動がないことに対して、初心者の母指球筋の筋活動が多く見える。また、初心者は経験者と熟練者に比べると、母指球筋の筋活動の急収縮が多く見える。経験者は両者の中間になっている。熟練者の筋活動規則的に見えることに対して、初心者は規則性が見えない。

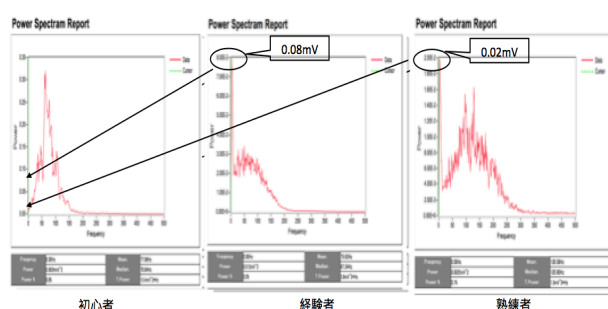


図5

熟練者3人、経験者3人、初心者3人の平均値を取ると、表1のようになっている。

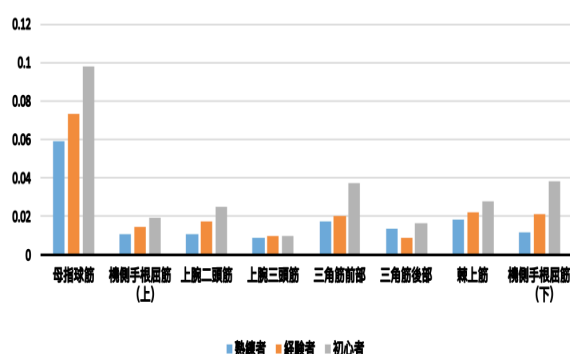


表1

3組の被験者も母指球筋に一番大きな筋活動が行うことがわかった。移弦をするときに親指を使って、弓毛と竹の間の距離を作って、演奏している考えられる。初心者の各筋肉の平均振幅は熟練者より大きい。熟練者は初心者より安定していることが分かった。初心者は熟練者より：母指球筋活動の平均振幅が1.6倍ぐらい、橈側手根屈筋（下）は3.2倍ぐらい、三角筋前部は2.3倍ぐらいとなっている。これは、初心者が中弓を運弓するときに、移弦をするために、腕を緊張させ、肩の動きで弓をコントロールしたかったと考えられる。

3. まとめ

3.1 本稿の結果

1、熟練者が経験者と初心者より、各種の運弓動作が安定していることが分かった。また、経験者も初心者より安定している。学習と練習を加え、運弓が安定していくことが分かった。

2、母指球筋、三角筋前部の、橈側手根屈筋（下）の筋活動が初心者と熟練者の主な違いだと分かった。初心者は以上の筋肉に

余計な力を入れやすいことが分かった。また、橈側手根屈筋（上）、上腕二頭筋、上腕三頭筋が大きな差が出なかった。三角筋後部と棘上筋は運弓するときに肩が前後動く習慣のある人が変化出た。

3、弓返しをするときに、指球筋の筋活動は持続的に活動し、熟練者は弓先と弓元のところ、すなわち弓を返す瞬間にしか大きな筋活動が行わない。

4、熟練者の移弦動作に順番パターンが見える：母指球筋→三角筋前部→橈側手根屈筋（下）になっているが、経験者と初心者が筋肉の活動パターンが見えない。

3.2 今後の課題・展望

課題：熟練者でも各自の演奏する習慣があり、今回被験者の熟練者だけでは基準にならない。より人数を増やした調査が必要である。また、被験筋の筋活動が明確ではない場合もあるので、より精密性の高いデータを収集する必要もある。今回の実験で得られた結果が初心者の勉強にいい影響があるかの考査も必要である。

展望：二胡の開放弦だけではなく、多くの運弓手法に応じて、それぞれの運弓方法

を明確化する。また、左手も加え、二胡の練習支援システムが期待されている

謝辞

まず、主指導員である北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科藤波努教授の終始熱心なご指導をはじめ、日頃からのご配慮に対して、深く感謝の意と敬意を表します。審査員の西本一志教授、由井蘭隆也准教授、金井秀明准教授には研究にあたっての御指導と助言を頂くことができ、深く感謝をいたします。

また、日本二胡振興会会員店である「Niko Music Labo」の孟菲先生と生徒の方々から実験の協力をいただきました。心より感謝いたします。

さらに、北陸先端科学技術大学院大学の同期の皆様からも実験の協力をいただきました。心より感謝いたします。

参考文献

文献リストはスタイル「参考文献」)

- [1] 阿部 真美子,山本 知幸,藤波 努,技能修得における身体動作のモーションキャプチャを用いた解析,情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集,2003
- [2] 植野 研,五十嵐 創,古川 康一,チェロにおけるスケール演奏時の動作分析,第 21 回バイオメカニズム

学術講演会 (SOBIM2000),pp.113-114,講演予稿集,2000.

- [3] 木塚 朝博,増田 正,木竜 徹,佐渡山 亜兵,表面筋電図,バイオメカニズム学会,東京電気大学出版局,2006年3月10日
- [4] 渋谷 恒司,菅野 重樹,バイオリン演奏の弓圧調節における上肢各関節の役割分担,人間工学,vol.31,No.5,1995
- [5] 古川康一,身体知のデジタル化,
- [6] <http://www.coe.keio.ac.jp/report/html98/FURUKAWA/furuakwa.html>,1-15,1998
- [7] 古川 康一,植野 研,尾崎 知伸,神里 志穂子,川本 竜史,渋谷 恒司,白鳥 成彦,諏訪 正樹,曾我 真人,瀧 寛和,藤波 努,堀 聡,本村 陽一,森田 想平:体知研究の潮流 --身体知の解明に向けて--,人工知能学会論文誌, Vol.20(2005)No.2P117-128
- [8] 古川 康一,金城 敬太,澤井 啓吾,清水 聡史,吉永 早織,チェロ演奏の運弓動作の定性的解析について,第18回人工知能学会全国大会,2004
- [9] 山本 宏子,劉飛,日本における二胡の初心者教授法,岡山大学教育学部研究集録,2008

身体スキルと向き合い続ける

－拡張される身体意識－

Going with Embodied Skills

-Extending Body and Mind-

堀内隆仁¹ 諏訪正樹²

Takahito Horiuchi¹, Masaki Suwa²

¹ 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

¹ Graduate School of Media and Governance, Keio University

² 慶應義塾大学環境情報学部

² Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: Embodied meta-cognition, which is a cognitive method to verbalize one's body feeling and thinking, augments learning embodied-skills. The first author is a track and field athlete specializing in decathlon. Through embodied meta-cognition, the first author has been training for about 1.5 years. Consequently, the first author has become sensitive to motion and evoked body feeling in daily lives. We conclude that learning embodies skills with embodied meta-cognition extends even the outlook on skills.

1. はじめに

身体スキル学習において、実践者(学習者)は、どのようなことを感じ・考えるのであろうか。第二著者・諏訪の提唱するからだメタ認知[1]は、スキル実践者が相対するモノゴト(思考や体感)を、積極的に言葉にすることで、自身の認知を進化させ、スキル学習を促進するメソッドである。

第一著者・堀内は、現役デカスリート¹として、からだメタ認知を駆使しながら、十種競技のスキルアップを果たしてきた[2][3]。そのプロセスにおいて、意識を向けるモノゴトが変化したのみならず、スキルとの向き合い方自体が進化したと感じられる。

スキル学習において、スキルと向き合うとは、どういうことなのか。からだメタ認知は、その点において実践者をどのように進化させるのか。それを示すことが、本論文の目的である。

2. 第一著者堀内の進化エピソード

本章では、堀内がアスリートとして進化を遂げてきたエピソードを概説する。

2.1 高校～大学2年まで：目先の技術重視

堀内は高校時代、陸上競技の円盤投の選手であった。円盤投特有の、回転動作(「ターン」と呼ぶ、図1参照)に魅了され、スキルを習得・洗練することに夢中であった。投てき種目選手が通常行う、フィジカル強化を目的とした練習(ウエイトトレーニング等)は殆ど行わず、ひたすらターンの動作を磨くことに没頭した。結果、高校3年間で記録は右肩上がりにより向上した。「高いターン技術で、自分より身体の高い選手より円盤を遠くに投げる」というプライドすら醸成されていた。

¹ 陸上競技の十種競技(Decathlon)選手のこと。十種競技とは、走・跳・投の計10種目の総合力を競う

種目である。二日間にわたって行われ、本競技の勝者は“キング・オブ・アスリート”とも呼ばれる。



図 1: 円盤投のターン

大学入学後、十種競技に取り組み始めた。円盤投のみならず、陸上競技自体への興味がとどまらなかったからである。大学1年での練習スタイルは、専ら、それぞれの種目に特化した技術練習であった。一方で、走ることに特化した練習や、十種目全体を底上げするような練習を行っていなかった。高校時代の経験から、技術だけを考えながら磨くことに、ある種のスマートさを感じてしまっていたことがその原因である。残念ながら、十種競技は当時の堀内が思っているほど甘い競技ではなく、想定していたよりも遥かに下回るパフォーマンスとなった(自己ベスト 4309 点)。

大学2年では、大学1年～2年の間の冬季練習²の間に、体重の余計な脂肪分の 5kg ほど減量する等の工夫をし、シーズンに挑んだ。しかし、練習スタイル自体は変わらず、ベストは大きく更新するも、自らが思い描いていたパフォーマンスとはほど遠いままシーズンを終える(自己ベスト 5257 点)。

ここまでの堀内は、自らの「感じる」身体を無視し、理想の動きと、自らの動きの見た目が似ているかどうかばかり気にしていた。目先の技術に捉われ、十種競技をひとつの「十種競技」としてではなく、「十種目の単純和」としか捉えていなかったのである。

2.2 大学3年シーズン：泥臭く取り組む

自らの期待を、記録に裏切られ続けた堀内は、競技レベルに対して高すぎるプライドを捨て去った。大学2年～3年にかけての冬季練習において、飛躍を遂げたいという願望から、「つべこべ考えるだけでなく、まず練習量多く泥臭く取り組もう」と決心する。着眼して考えても全く思うように成長できなかったのは、これまでの練習ではカバーできない「基礎的なレベルの何か」が身体に欠如していると判断

² 陸上競技のシーズンは、3月下旬～11月上旬である。これ以外が冬季期間にあたり、試合のない中、

したからでもある。それまで怠ってきた走り込みやウエイトトレーニングも行い、取り組みは大きく変わった。筋肉量も圧倒的に増大し(図2参照)、心肺機能も強化された実感があつた。何より、厳しい練習を積んできたという自信が身に付いた。



図 2：圧倒的に筋肉量が増大した堀内
(左：2年時11月，右：3年時5月)

結果、3年生のシーズンは、高校以来ベストタイムが出ていなかった 100m において 0.2 秒もベストを更新し(11 秒 63)、400m に至っては 3.5 秒もベストを更新した(52 秒 29)。十種競技の走る 4 種目すべてで大きくベストを更新したのである。5 月に左足首の捻挫、9 月に左脚ハムストリングスの肉離れ(これにより早々にシーズンアウトを余儀なくされた)と怪我もしたが、自らを十種競技選手として認められるレベルに到達した(自己ベスト 5863 点)。シーズンを通して堀内は、「スマートなだけではなく、泥臭く取り組むことも重要だ」と身に染みて理解したのであった。

2.3 大学4年シーズン：からだメタ認知開始

4 年生に向けてまた冬季が到来した。堀内は前冬季シーズンの経験から、この冬季も「泥臭くやること」に重点を置き、前年と同様に過ごした。ウエイトトレーニングで扱える MAX 重量も過去最高の値となり、その筋量の分、体重も過去最重量を記録した(図3)。

次シーズンに向け練習に取り組む準備期間である。



図 3：ウエイトトレーニングをする堀内
(4 年シーズン直前, 2015 年 3 月)

しかし、練習を積み続けた結果、身体に慢性的疲労が蓄積していた。同時に、当時は気付かなかったが、ウエイトトレーニングのような「重いものを挙げる」動きに順応しすぎたがゆえ、競技パフォーマンスにとってのマイナス要素が動きにおいて強調されてしまっていた。シーズンが近づくにつれ、練習における競技パフォーマンスは低下した。迎えた 4 年シーズン初戦、悲劇が起こる。悪い動きが影響し、右足首に大きな怪我³を負ってしまったのだ。右脚に体重をかけることすらままならず、シーズン最大のターゲットであった 5 月の「関東インカレ」への出場が叶わなくなった。

堀内は、すぐに自らを新たな目標へと駆り立てた。「部歴代一位の記録(6516 点)の更新」と「全日本インカレ出場(6820 点)」である。当時の堀内の自己ベスト(5863 点)からすれば、これらの記録に 1 シーズン内で到達することは、困難に思われた。堀内が見出したたった 1 つの方法は、「走りの動きを根本から革新する⁴」ということであった。それはすなわち、限られた時間の中では、多く走り込むことで自然に速くなるという「めくら減法なスタイル」から脱却し、確実な一発を狙いに準備するということを意味するのであった。

そこから、堀内は本格的にからだメタ認知記述を開始する。当時の堀内の走りは、「接地した瞬間、接地位置に対して重心が乗り込めていない」という大きな欠点を抱えていた。シーズンを通して、パフォーマンスの微細な差異を感じ取りながら試行錯誤を重ね、走りを変化させることができた(図 4 は概要を示したものである)。そのプロセスにおいて実に様々な着眼点を得た。なお、[2][3]ではその様相を詳細に

記している。



図 4：からだメタ認知実践の概要(大学 4 年シーズン)

6 月に右膝(膝蓋靭帯炎)、9 月に腰の怪我也負ったこともあり、重点をおいて取り組んだ 100m・400m のベスト更新はならず、設定した目標にも及ばずにシーズンを終了した(自己ベスト 6036 点)。

本論文執筆中の堀内からすれば、大学 4 年シーズンの実践において、まだ身体に対する姿勢が甘かったと思える。学部 4 年時に執筆した卒業論文[3]“走りを追及するアスリートの物語—身体で実践し、気づき、考え、解り、実践する—”というタイトルにそれが表れている。本稿執筆中の現在の堀内からすれば、「実践し、」と「気づき、」の間には「感じ」というような表現を挿入すべきであると感じる。

2.4 修士 1 年シーズン：身体のコンドィショニングに気付く

10 月末に大学 4 年のシーズンを終えた後、卒業論文執筆によって練習時間が確保できず、本格的な練習を再開したのは 2 月に入ってからであった。シーズンインが近く、長い冬季練習を積むことができないという状況から、前シーズンと同様に、走りの動きを根本から変えるアプローチで取り組み続けた。

本シーズンにおいて堀内が目指していた動きを具体的に述べよう。堀内には関節が硬いという欠点がある。走りにおいても、身体の中心部はあまり大きく動かないのに対して、末端部位が過剰に動いてしまい、つま先でブレーキするような接地を生み出しやすいのだ。それが原因で、4 年時の右膝の怪我を引きずってしまっている。前面の大腿四頭筋や下腿の

³ 十種競技第 6 種目 110m ハードルにおいて、着地に失敗し、距骨の骨挫傷と短腓骨筋付着部炎を負った。

⁴ 十種競技に走種目が 4 つあり、助走を含めれば 7 種目に走りの要素が含まれる。

筋を優位にってしまう「つま先接地」をせずに、後面の臀筋を使える「フラットな接地」を目指していた。すなわち、根本から大きく動く走りである。特に、肩甲骨を大きく使うことがその鍵となると考え、肩甲骨の使い方にこだわった。5月の関東インカレでは、膝の怪我を抱えながらも、100mで自己ベストを更新し(11秒57)、多くの種目で失敗したが、全体では自己ベストを更新(6220点)することができた。

右膝の痛みは、なおも続く。当時は気付かなかったのだが、肩甲骨の大きな動きにこだわるあまり、本来の目的である接地の改善がなされず、いわば「手段の目的化」状態に陥ってしまっていたのだ。膝の痛みを軽減するために、トレーナーからのアドバイスもあり、足首の筋に刺激を入れ⁵てから運動すると、足首が「カチッとほまる」感覚を得た。結果的に接地が安定し、膝の痛みも軽減された。具体的に身体をどう動かすかという以前の身体状態が走りを改善したのである。

上記した足首のエピソードと同様にして、運動の開始前に、体幹トレーニング(図5)を行うようになった。



図5：体幹トレーニングをする堀内

以前は、早く走り始めたい気持ちを抑えられず、体幹トレーニングは練習の最後に行っていたところを、ウォーミングアップに1時間強の体幹トレーニングを盛り込み、体幹部の筋肉に刺激を入れるようになった。体幹部に刺激が入っていない状態だと、動きにどこか「浮いた感覚」や「緩急が生まれぬ感覚」があるのに対し、体幹部にバランスよく刺激が入れば、「力を抜いても軸が正しく通っていると感じる状態」となる。これが動きを革新するための必要条件の状態であると考えた。

以上、足首や体幹部のエピソードのように、堀内は「運動をする以前に身体の状態がまずどうなっているか(内的・接触的な感覚)を感じ、より良いと感じ

る状態をつくること」の重要性を認識するに至った。これこそが堀内にとっての「コンディショニング」である。

その結果もあり、全日本インカレ出場を狙った夏の大会において、5種目でベスト更新、2種目でベストタイ記録となり、大学歴代一位の記録を更新し得る、過去最高のペースであった。しかし、8種目目棒高跳が記録なし(0点)に終わり、総合点としては自己3番目の記録となった(6003点)。

秋には、上記「軸」という身体感覚が、全身の連動を生むための束縛条件として作用していること、そうだとすれば、肩甲骨の動かし方は、ただ大きくればよいというわけではないことを悟ったのだ。該当する堀内の日誌の一部を掲載する。

やはり「軸」が大事なのだと。いまさらすぎるが、肩甲骨まわりが大きく動き、いつぞやに流行った「うねうね」感も大事なのだが、やはり完全にバラバラになってしまっているといけないのだ。体軸は保たれたまま、その上でうねうねしていることが重要。それができていないと、なんだか力が分散してしまっている感じがするのだきと。質感のある掘りができているときも、ぐいっぐいっと一歩ずつ確実に加速できているときは、たぶん肩のラインも必要以上に動いていない。自分から軸を形成するもの(骨か?)を動かしていいとはいけない。あくまで連動。連動するためには、自由度があまりに高すぎる状態ではだめで、それなりの束縛条件をつくっておく必要があるのだ。そのひとつが軸。変に体幹部を力むとだめなのがその難しいところだが、少なくとも、最近ホットな腹横筋腹斜筋は、きょうは軸を意識したときにちょっと使われる感覚があった。いい意味で硬い走りはそういうものなのだろう。またちょっとアプローチが変わってきそうな気はする。

(2016年9月17日の記述より引用)

「軸」の意味が腑に落ちた堀内の走りは、変化した。以下に、実際の堀内の走りの画像を掲載する。

⁵ ゴムチューブを用い抵抗をかけた状態で、足首を

動かすりハビリである。

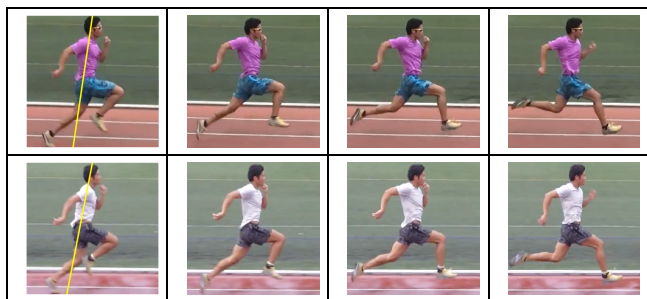


図 6：身体感覚「軸」がわかる前(上段)と後(下段)

なお、図 6 は、上段は 2016 年 7 月 31 日、下段は 2016 年 9 月 18 日の堀内の 100m 走りである。ともに 60m 付近、左足離地最終局面から 1 フレームごとの連続写真である(毎秒 30 フレーム)。下段の方が、全体的に体軸がやや前傾気味であることが確認できる(最初の局面に黄色線で体軸を示す)。上段の走りは、「肩甲骨を大きく動かす」ことを意識している。図 6 中では動きの違いは表れにくい、堀内の身に沸き起こる体感は全く異なるものであった。

足首のリハビリは、負傷している膝の根本的な治療にはならず、走りは変わりながらも痛みは消えなかった。シーズンアウトの試合では、膝の痛みが悪化しながらも自己ベスト(6283 点)で終える。

2.5 修士 1 年シーズン終了後：日常生活での意識

シーズンを終え、冬季練習に入る移行期間で、右膝の怪我をごまかして競技を続けることに限界を感じる。運動するたびに膝と足首に入念なテーピングをし、痛みを耐えながら練習をしても、結局目指すレベルの飛躍はないのではないかと痛感した。約一ヶ月、本格的な練習から離れて、トレーナーに膝の治療をしてもらいながらじっくりリハビリをした。移行期間は、「痛み」という感覚と向き合いながら、膝が痛くない動きについて模索した。

そして遂に堀内は、「立つ・歩く」という日常生活の動きにも敏感になり始めたのである。歩きに関する記述が登場する日誌の一部を掲載する。

日曜日は、一日中歩き回ったが、正しく歩くことを意識したら、案外疲れが少なく、膝に痛みがこなかったのである。骨で立つ状態をつくってからは、あとは一步一步、下腿を前傾させた状態をつくってから離地するということを繰り返すだけ。これが正しい歩き方なのではないか。K さんの歩き方を想起した。この歩き方ができると、一步一步ごとに、やや上から吊られているように見える感じ。吊られてい

るようなというのは、結果なのだやはり。T ちゃんの歩き方もこんな感じ。思えば W の歩き方もこんな感じ。正しく歩くというのが、やはり正しい走りをするための重要な道なのだ。そのためにはもちろん正しく立つ必要があるのだが。

(2016 年 11 月 22 日の記述より引用)

記述中にある、「骨で立つ」とは、立つために不必要な筋肉の緊張を解いた状態で立つという意味であり[4][5]、歩きにおいても下腿が振り出された接地によって、大腿四頭筋が過剰に収縮し、負傷している膝の靱帯に負担がかかるということがわかってきた。日常生活の歩きでも、接地時に同様の動きをしてしまっていた。さらに、立っている状態でも、リラックスが足りず、それらの筋肉が無駄に緊張していることがわかると、立ち・歩きにおける筋肉の緊張状態にアンテナを張らざるを得なくなった(図 7 参照)。同時に、それが走りにおいても無駄な動きであり、接地中に膝関節の角度が変化しないようにすること[6]が、走りを根本から改変すると確信したのだ。

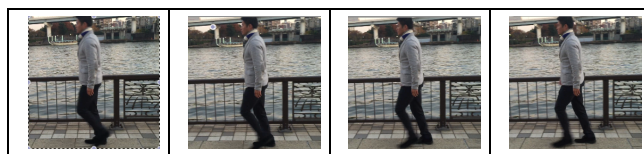


図 7：隅田川沿いを良い感覚で歩く堀内
(2016 年 11 月 25 日。左から、30fps の連続写真)

こうして、デカスリート堀内は、「目先」にあるそれぞれのスキルの動作のみを考えるという状態から、身体コンディションの在り様にも耳を傾ける状態へと質的進化を遂げ、その意識は日常生活にまで及ぶようになったのである。自己記録は、この過程で向上してきた(図 8)。

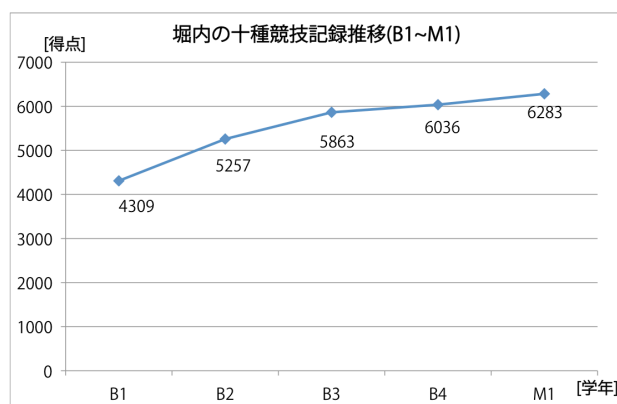


図 8：堀内の十種競技記録変遷(シーズンごと)

3. 堀内はどう進化したのか

前章では、堀内が十種競技のスキルを学習する過程で、スキルとの向き合い方が変化したことを述べた。本章では、堀内の進化を整理・考察し、最後に身体スキル学習プロセスについての仮説を述べる。

3.1 着眼・傾聴・融合という状態

堀内が自らの体感にも耳を傾けるようになった変化について、本節では我々の知覚がもつ性質をヒントに、「着眼・傾聴(・融合)」という表現を用いてそれを整理する。

ここで、[7]によれば、我々人間の諸知覚は、それらが統合された「共通感覚」として成立している。諸知覚の統合にはそれぞれの配分が存在し、視覚を基体とした統合は、明晰さを求める意識と結びつき、世界(対象)を客体化する。体性感覚⁶を基体とした統合は、無意識のまとまりと結びつき、世界と一体化する性質をもつという。さらに聴覚的統合がそれらの中間の性質をもつとすれば、主体-客体の軸が想定できる。これに倣い、本論文では着眼は身体を客体化し、融合は身体と一体化し、傾聴はその中間として、それぞれスキル実践者が自らの身体に対する姿勢を表す。以下に、これらの3状態について、言語表現との関係性ととともに述べる。

- ・ 着眼：「着眼」は、自分の身体・スキルを何らかの明確な視点で、分析的に思考する状態である。数値を用いた記述・思考は、分析的であり、完全に着眼の状態にあてはまる。厳密な数学的記述でなくても、物理的な身体部位の因果関係を推論することによってのみ、動かし方を模索する表現は、本状態にあたる。バイオメカニク的な視点は、間違いなくこれにあてはまる。
- ・ 傾聴：自分の身体の声に耳を傾ける状態である。自らのリアルな体感に意識を向ける状態ともいえる。からだメタ認知の肝は、本状態である。「原初音韻論遊び[4]」や、「創作オノマトペ[5]」は、その音素と結びついた体感を言語として表出するものであるため、傾聴の状態にあてはまる。堀内の実践における記述から、本状態にあてはまる言語表現を引用すれば、「全身が吊られているように見える感じ」や、「足裏が『はがれる』感覚」「勝手に脚が回っていく」等が存在する。
- ・ 融合：「融合」とは、自分の身体と意識が「どろどろ」に一体化した状態である。融合状態ではスキルを実践しているという自覚すら、もはや存在しない。[8]において挙げられている例はこれにあ

てはまる。また、野口三千三が説く「原初生命体としての能力[4]」もこれにあてはまる。この状態において、実践者による言語化は、実時間軸上で不可能である。身体と意識が一体化しているからである。

3.2 堀内の進化の仕方

前節の議論を踏まえ、堀内が辿った「スキルと向き合う姿勢」の進化プロセスは、以下のように図示できる(図9)。

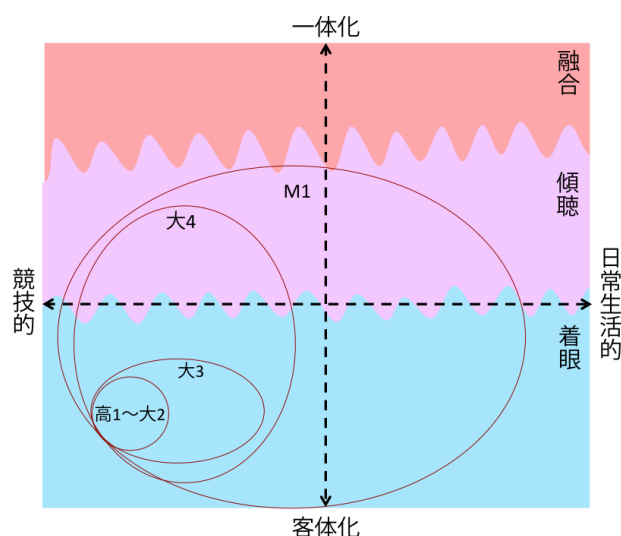


図9：堀内の「スキルと向き合う姿勢」の進化

堀内の「スキルと向き合う姿勢」の変化を、2軸によって表現した。一体化-客体化と、競技的-日常的の2軸である。茶色い丸は、そのシーズンの、相対の仕方の範囲を示している。なお、着眼・傾聴・融合の明確な境界は決めることができないため、曖昧な境界を波状に表現した。以下、シーズンごとに解説する。

- ・ 高1〜大2シーズン：自らの身体を、物理的な身体として扱った上で動かし方を考えている。思考の範疇も、目先の身体運動自体にとどまる。自らの身体と向き合う姿勢は、競技的かつ客体化に偏っているといえる。
- ・ 大3シーズン：「考えるだけではカバー出来ない『基礎的な何か』が身体に欠如している」と認識したことによる取り組みは、目先のスキルよりも基礎的なレベルに位置するということから、日常的-競技的の軸において、やや日常方向に拡がりをもったといえる。
- ・ 大4シーズン：からだメタ認知によって、自らの

⁶ 体性感覚は、触覚を含む皮膚感覚と、筋肉感覚を

含む運動感覚とから成る[7]。

体感にも意識を向けられるようになった。これは傾聴である。一体化-客体化の軸において、一体化方向に拡がりをもったといえる。

- ・ M1 シーズン：からだメタ認知の継続によって、ついに日常生活の身体感覚・使い方にまで意識を向けるようになった。これは、日常生活的-競技的の軸において、大きく拡張されたといえる。なお、日常生活的かつ客体的の例は、2.5 節の堀内の記述に登場する、「歩きの接地局面において、下腿が前傾してから離地する」等が挙げられる。

拡がり方は興味深い。着眼にこだわる姿勢から、傾聴(体感を大事にする)するようになったのちに、日常生活へと意識は拡がったのだ。アスリートによって、拡がり方は全く異なるであろう。堀内においては、2 章で示したように、傾聴の姿勢をとり続けたことが身体コンディション・怪我に向き合うことにつながり、日常生活の動き・感覚から見直すまでに至ったのであった(からだメタ認知開始から約 1 年半を要した)。本現象について考察する。

かつて諏訪研究室の学生であった赤石は、からだメタ認知によって 2 年間剣の道を追究した。学部 4 年の部引退試合を終えた頃には、「生きることとはどういうことか」という哲学的思惟すら去来した[8]。堀内がからだメタ認知開始から約 1 年半で、「日常生活」を考えるようになったことは、本現象にあてはまる新たなケーススタディといえよう。武道のように求「道」を一般的な目的としない、スポーツである陸上競技においてすら観測された本現象は、身体スキル一般に成り立つことが予期される。諏訪は本現象を「身体知研究は生活を『問う』ことに至る」と称する。

同時に、赤石と堀内の例から、積極的なからだメタ認知の実践によって、ドメインを超えて生活を意識するレベルに達するまでの時間スケールが数年である可能性が示唆される。

4.おわりに

第一著者の堀内は、ひとりのデカスリートとして、スキルと向き合う姿勢をも進化させながら、パフォーマンスを向上させていたのであった。からだメタ認知によって、傾聴する姿勢を養った結果、目先の技術に捉われていた状態から、遂に「日常生活もスキル追究の場である」と信じる状態まで到達した。それこそ、身体スキルを「追究[2][3]」することなのである。「スポーツによって人間的成長を遂げる」ということとも無関係ではないと考える。これから堀内の意識はどこへ向かうのだろうか。訪れるシーズンで自らのパフォーマンスがどう発揮されるのかと

合わせて、期待したい。

謝辞

本研究の一部は 2016 年度森泰吉郎記念研究振興基金の助成による。

参考文献

- [1] 諏訪正樹:「こつ」と「スランプ」の研究-身体知の認知科学-, 講談社選書メチエ, (2016)
- [2] 堀内隆仁, 諏訪正樹:「走り」を追究するアスリートの物語-身体で実践し, 気づき, 考え, 解り, 実践する-, 第 30 回人工知能学会論文集, 1M4-OS-14a-5, (2016)
- [3] 堀内隆仁:「走り」を追究するアスリートの物語-身体で実践し, 気づき, 考え, 解り, 実践する-, 慶應義塾大学環境情報学部 2015 年度卒業論文, (2016)
- [4] 野口三千三: 原初生命体としての人間-野口体操の理論, 岩波現代文庫, (2003)
- [5] 高岡英夫: 究極の身体, 講談社+α 文庫, (2009)
- [6] 伊藤卓, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道: 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係, 体育学研究, Vol. 43, pp. 260-273, (1998)
- [7] 中村雄二郎: 共通感覚論, 岩波書店, (2000)
- [8] 諏訪正樹:「一体となる」ことと間合い, 日本認知科学会分科会「間合い-時空間インタラクション」第二回研究会, JCSS SIG Maai, Vol. 2015, No. 1, pp. 20-25, (2015)

全身協調バランス・トレーニング“スラックライン”の 課題特定の効果

Task-specific effects of whole-body coordination balance training “slackline”

児玉 謙太郎¹ 山際 英男²

Kentaro Kodama¹ and Hideo Yamagiwa²

¹ 神奈川大学

¹ Kanagawa University

² 東京都立東部療育センター

² Tokyo Metropolitan Tobu Medical Center

Abstract: The purpose of this study is to reveal whether a whole-body coordination balance training “slackline” has task-specific effects or generalizability/transferability of adaptations to other tasks. As a first step, the current pilot study investigated its task-specific effect with a few data. Once-a-week training partially improved a task-specific balance ability of participants. We discuss its limited effects and individual differences on the improvement of balance ability and slacklining performance.

1. 序論

1.1 スラックラインとは

スラックラインとは、ベルト状の綱（ライン）の上で、全身を協調させてバランスをとるスポーツの一種である（図1：[1]）。2007年頃、ヨーロッパを中心にスポーツとして確立され、現在ではその技能を競う世界大会も開かれている[2]。競技として実施される場合には、屋外の広いスペースで行われることが多い（図1）。一方、屋内で楽しめる器具も市販されており、幅5cmほどのラインを高さ30cm、長さ3mほどの状態で設置し、気軽に楽しめる仕様となっている。



図1 スラックライン

そのため、近年では、スポーツとしてだけでなく、体幹やバランス能力のトレーニング、運動協調性や身体の柔軟性の向上のためのリハビリテーション、身体教育やレクリエーションなどの用途としても注目され、スポーツ選手のトレーニングから、高齢者のリハビリテーションまで幅広く応用されている[3]。

1.2 先行研究

スラックラインのバランス・トレーニングとしての効果を検証した研究は近年増えてきている（[4]–[6]など）。それらをレビューした Donath らの論文によると、スラックライン・トレーニングは課題特定の効果は大きいですが、他の静的・動的バランス課題には小さく限定的効果しか得られないという[7]。つまり、スラックライン・トレーニングを継続的に行うと、スラックラインの上で持続的に立つという課題自体は熟達するが、その他の安定支持面での立位を行うなどの静的バランス課題や、不安定支持面での立位を行うなどの動的バランス課題に対しては、小さく限定的な効果しか得られないということである。

一方、リハビリテーションにスラックライン・トレーニングを応用した事例研究もある[3]。Gabel らは、脳卒中患者の高齢女性の下肢の補助的なリハビリテーションにスラックラインを応用している。対象となった左半球の脳卒中を発症した87歳の女性のケースでは、バランス能力や下肢の筋の活性化の低下などがみられた。そこで、スラックラインとい

う全身を使った複雑なバランス課題をリハビリテーションに応用することで、バランス保持、下肢や体幹の筋活動の活性化、姿勢の安定化を促進させようとした。18ヶ月のリハビリテーションの最後の6ヶ月間スラックライン・トレーニングを行った結果、機能回復がみられたという[3]。

1.3 本研究の位置づけ

発表者らは、全身を協調してバランスをとるスラックラインという課題が、全身の協調や、姿勢のバランス、全身の筋骨格系にどのような影響を及ぼすかに関心がある。不安定な環境で全身で動的に姿勢を保つという複雑な課題を達成するには、筋や関節を緊張・固定しすぎではなく、適度な柔軟性を求められると同時に、身体と環境との関係を素早く知覚し、身体全体を調整し続ける必要がある。先行研究によると、スラックライン・トレーニングは、課題特定の効果（トレーニングを続けることによるスラックラインという課題自体は熟達）は大きい、その他の課題への一般化／転移は限定的だという[7]。一方、リハビリテーションに応用した事例研究では、その補助的な効果が報告されている[3]。そこには、どういった個体に（個人差）、どのようなトレーニングを（内容）、どれくらい行うか（量・頻度）も当然大きく関わっていると考えられる[3]。

また、先行研究では、スラックラインの様々なパフォーマンスのうち、どのようなトレーニング要素が、その課題特定の効果に関与するかについて議論されていない。発表者らは、スラックラインの熟達者、指導者の経験的な知見から「片脚立ち」が他のパフォーマンスの基礎にあると考えている[8][9]。

本研究では、スラックラインが身体機能のどのような側面に効果があるのか、トレーニングのどのような要素が他の課題やパフォーマンスに影響するかを検討することを目的とし、本発表ではその予備的な実験の報告と考察を行う。

2. 方法

2.1 実験参加者

実験には、大学生4名（男性、平均年齢20.5歳（SD=0.58）、右利き）が参加した。手続きは、神奈川大学における人を対象とする研究に関する倫理審査委員会にて承認されており、参加者には同意のもと実験に参加してもらった。

2.2 実験装置

実験は、屋内用スラックライン SLACKRACK300 (GIBBON SLACKLINES, 長さ3m, 高さ30cm)を使

用して実施された。実験の様子は、ビデオカメラ (Handycam, Sony, PJ340) で記録された。

2.3 実験デザイン

実験は、スラックラインによるバランス・トレーニングと、その前後でのバランステストからなり、週に1回のペースで計4回実施された（図2左上）。毎回トレーニングでは、以下のステップ1から順々に繰り返し行ってもらった。

トレーニング内容は、先行研究([4]–[6])を参考に、図2右下の11段階のステップで難易度が高くなるパフォーマンスを、ステップ1からクリアしたら次に進むように行われた。ステップ1（片脚立ち）では、左右いずれかの脚でラインの上に乗る、30秒間ずっと持続できた場合をクリアとした。ステップ2（両脚立ち）では、タンデム（片方の脚の踵にもう片方の爪先が接するような姿勢：図2右上）の姿勢で、左右それぞれの脚が前、後ろとなる状態で、15秒間ずっと持続できた場合をクリアとした。さらに、片脚立ち、両脚立ちでは、実験者による補助の有無で段階を分けた（ステップ1～2, 3～4）。ステップ5～6では、SLACKRACKの端から端までの3mを前歩き、後ろ歩きで渡れた場合をクリアとした。ステップ7～8では、前歩き、後ろ歩きそれぞれ3m渡り切ったところでターンし、往復できた場合をクリアとした。ステップ9（両脚屈伸）では、両脚立ちの状態からしゃがんで地面に指先でタッチし、そのまま立ち上がり両脚立ちの状態を5秒間持続できたら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。但し、1回「成功」したらラインから地面に降りても良しとし、左右それぞれ連続3回でクリアとした。ステップ10では、参加者はラインの上で片脚立ちをした状態で、左前方2m、右前方2mそれぞれの位置からゴムボール（直径15cm）を実験者から投げられ、それを受け取って投げ返すことができたなら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。ステップ11では、同様に参加者はラインの上で片脚立ちをした状態で、実験者から投げられたゴムボールを左前方2m、右前方2mそれぞれの位置にあるゴミ箱（直径20cm, 高さ30cm）の中に入れることができたなら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。

トレーニング前後のバランステストでは、片脚立ち（左脚軸）条件、片脚立ち（右脚軸）条件、両脚立ち（左脚前）条件、両脚立ち（右脚前）条件の4条件をランダム化し、2回ずつ反復して行った。尚、これらの条件でのバランステストは、安定した支持面（フォースプレート）の上で50秒間と、スラックラインの上とで行われた。

2.4 分析

本発表では、スラックラインの上でのバランステストの4条件での「持続時間」をバランス能力の指標とした。具体的には、毎回トレーニングの前後で4条件を2回ずつテストしているが、そのうちの最大値を参加者ごとに求め、各回の代表値とした。持続時間は、動画データ(30FPS)から視認で求めた。

また、各参加者が毎回のトレーニングで達成することができたパフォーマンスのステップを求め、スラックラインのパフォーマンスの熟達を調べた。

さらに、実験後に毎回インタビューを行い、実験、トレーニングを通して気付いたことや、コツ、運動・スポーツ経験などに関して質問をした。本発表でも、その結果の一部に基づき考察を行う。

3. 結果・考察

3.1 スラックラインの持続時間

図3は、参加者4名の持続時間の平均と標準偏差を条件ごとにトレーニングの1~4回目で比較したものである。1回目のトレーニングでは、片脚立ち(左)条件では、平均55.16(SD=30.48)秒、片脚立ち(右)条件では、平均66.60(SD=50.54)秒、両脚立ち(左)条件では、平均10.36(SD=5.02)秒、両脚立ち(右)条件では、平均11.08(SD=7.59)秒であった。2回目では、片脚立ち(左)条件では、平均79.66(SD=53.73)秒、片脚立ち(右)条件では、平均59.56(SD=31.80)秒、両脚立ち(左)条件では、平均20.23(SD=11.80)秒、両脚立ち(右)条件では、平均24.98(SD=14.87)秒であった。3回目では、片脚立ち(左)条件では、平均131.71(SD=116.17)秒、片脚立ち(右)条件では、平均86.68(SD=48.37)秒、両脚立ち(左)

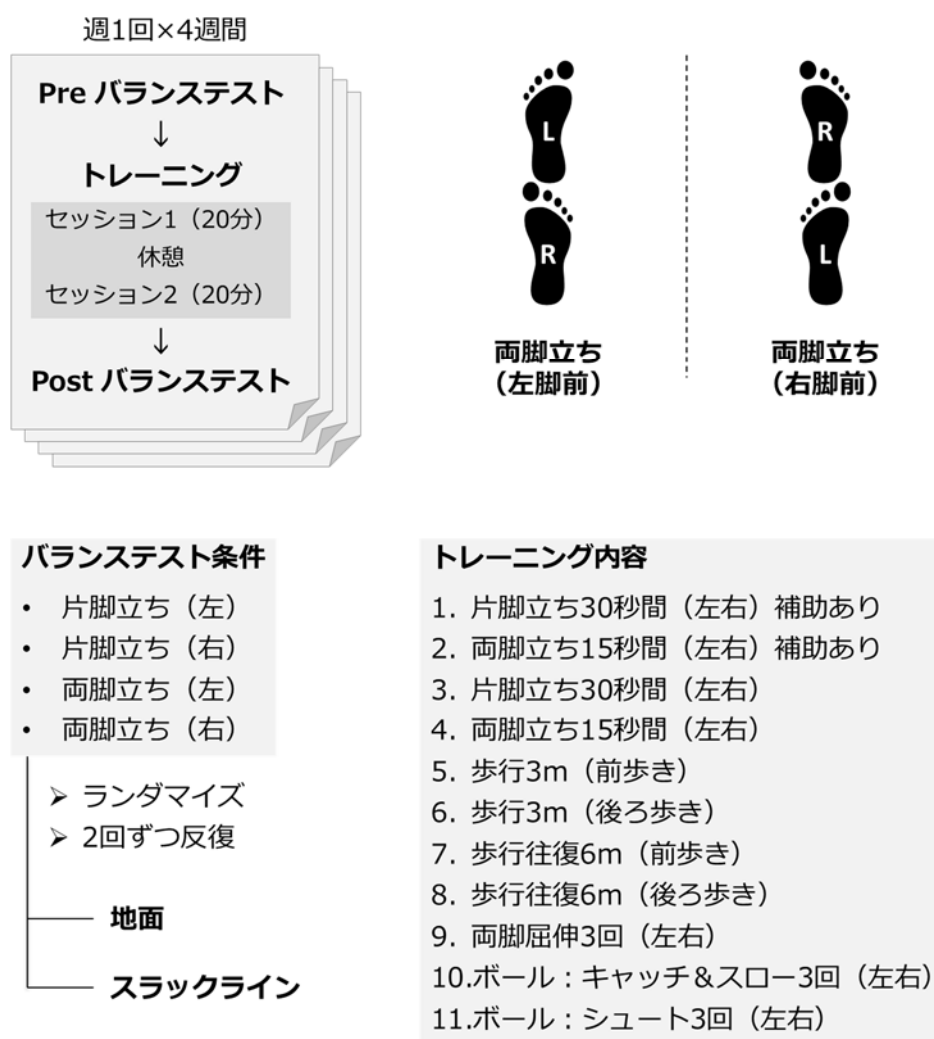


図2 実験デザイン

条件では、平均 14.53 (SD=8.24) 秒、両脚立ち (右) 条件では、平均 21.69 (SD=16.08) 秒であった。4 回目では、片脚立ち (左) 条件では、平均 87.51 (SD=31.50) 秒、片脚立ち (右) 条件では、平均 56.36 (SD=9.37) 秒、両脚立ち (左) 条件では、平均 15.09 (SD=6.78) 秒、両脚立ち (右) 条件では、平均 37.13 (SD=24.20) 秒であった。

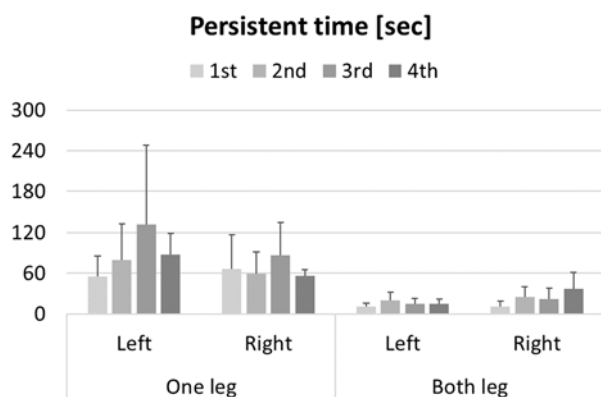


図 4 スラックラインの持続時間の変化 (参加者平均)

標準偏差が大きかったことから、参加者 4 名それぞれの持続時間の 1~4 回目の変化を調べた (図 4)。参加者 1 や参加者 4 は、必ずしも 1~4 回目にかけて段階的に持続時間が増加していない。参加者 2 は、比較的 1~4 回目にかけて持続時間が増加している傾向がみられる。

3.2 パフォーマンスの熟達

図 5 は、1~4 回目それぞれのトレーニングにおいて、参加者 4 名が達成できたパフォーマンスをステップの番号 (図 2 右下) ごとに示したものである。参加者 1 の 4 回目の 10.5、参加者 2 の 3 回目の 3.5、参加者 4 の 3 回目の 9.5 は、次のステップの左右のいずれかが達成できた場合に 0.5 を付加したことを意味する。

参加者 3 の 3~4 回目を除き、いずれのトレーニングにおいても、前回と同じ、または前回よりも難易度の高いパフォーマンスを達成できていた。これらの結果は、難易度という観点からは、トレーニングによってスラックラインのパフォーマンスの熟達、すなわち、次第に難易度の高いパフォーマンスまで達成できたと言えよう。尚、参加者 3 については、

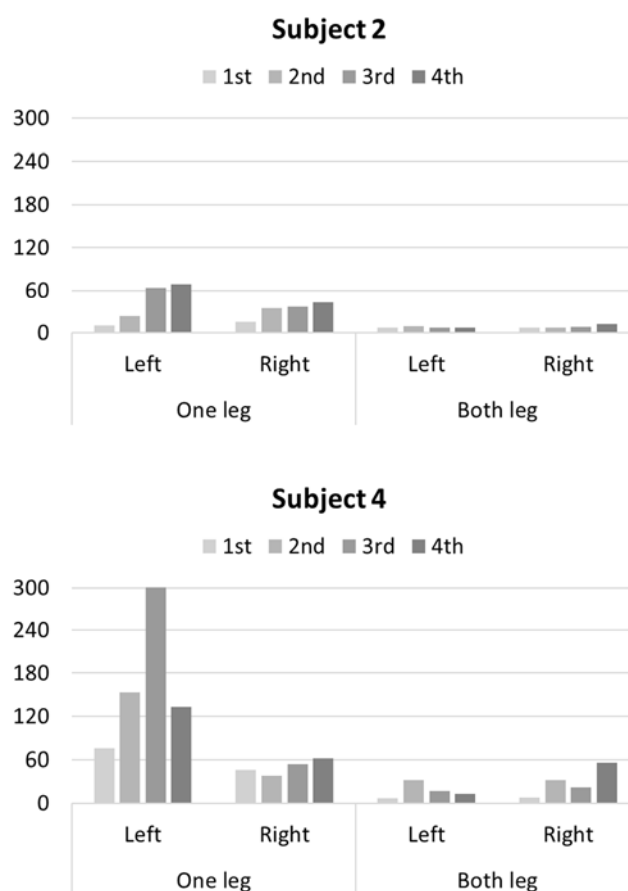
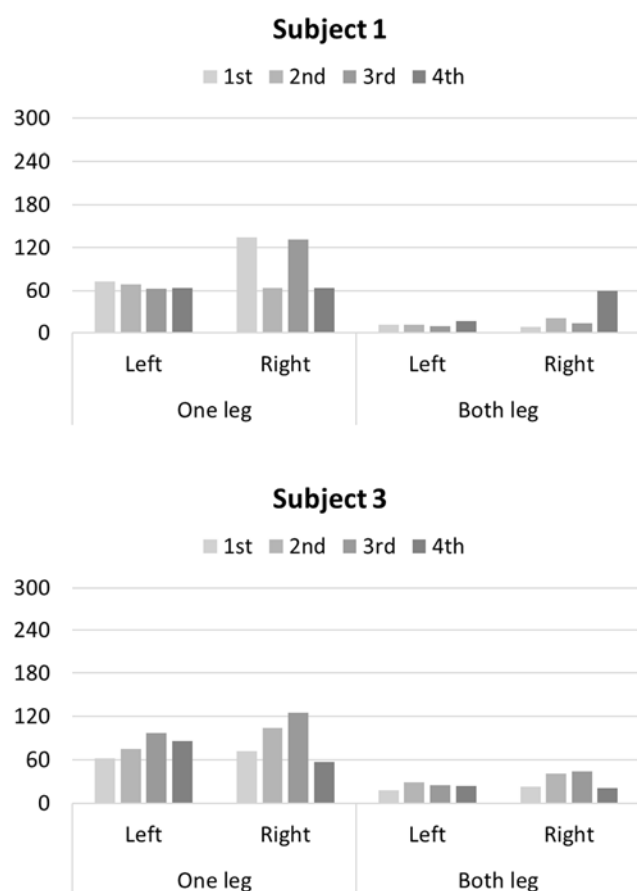


図 3 スラックラインの持続時間の変化 (参加者ごと)

実験後のインタビューから、4 回目のトレーニング時は調子が悪かった（前日の疲労が残っていた）と述べていたことから、3 回目より達成できたパフォーマンスのステップが低かったと考えられる。

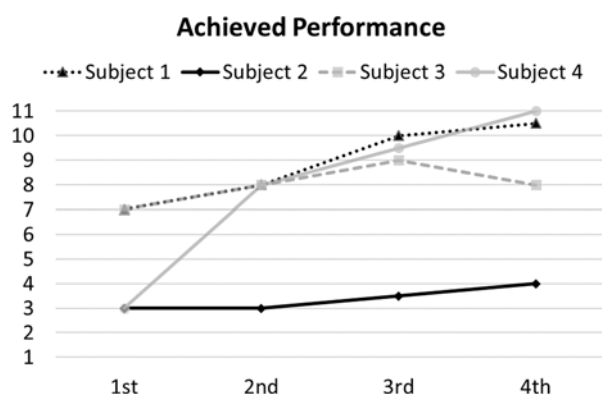


図 5 達成したパフォーマンスのレベル

3.3 トレーニングの課題特定の効果

図 4 より、片脚立ち・両脚立ちの持続時間の変化は一定ではなく個人差もあることが示唆された。また、これらの行為自体、持続するには筋力も必要であるため、持続できる時間には個人で上限があることも考えられる。但し、今回は 4 名のみデータであり、データ数を増やせば、先行研究と同様に課題特定の効果、すなわち、スラックラインの課題（片脚立ち）の熟達平均的に出てくる可能性もある。

今回のデータからは、片脚立ち（ないし両脚立ち）の技能とその他のパフォーマンスの熟達の関係は明らかにできない。しかし、4 回目のトレーニング後に行ったインタビューで、「全 4 回のトレーニングの中で、自身のパフォーマンスの熟達過程における転換点はいつだったか」を質問したところ、「片脚立ちをマスターしたとき／こと」だったと述べる参加者が多かった。このことから、片脚立ちの技能が一定のレベルに達することが、歩行やターンなどのその他のパフォーマンスの実現にもつながっている可能性が考えられる。

但し、片脚立ちという課題についても、個人差、とくに左右差（非対称性）がみられた。今回の参加者は全員右利きであったが、いずれの脚を軸にしたほうがより長く片脚立ちを持続できるかは、単純ではなかった（図 4）。例えば、野球経験のある参加者 1 の場合、投球や打球時に軸足となる右脚での片脚立ちのほうが持続時間が長い傾向がみられた。一方、サッカー経験のある参加者 3 の場合、右利きであっ

ても、ボールをキックする際に軸足となる左脚での片脚立ちのほうが持続時間が長い傾向がみられた。これら運動・スポーツの経験とスラックラインでのバランス課題のパフォーマンスの関係は明らかではないが、個人差に影響する要因として興味深い。

3.4 今後の課題

今回は、本実験に向けての予備的な実験として、4 名のデータについて検討した。そのため、今後、データ数を増やして量的な検討を行う必要がある。また、実験デザインとしても、スラックラインによるトレーニングを行う群だけでなく、統制群も設ける必要があろう。

また、本発表では報告できなかったバランステストの結果として、地面（フォースプレート）の上での重心の安定性の評価も今後の課題である。つまり、スラックラインによるトレーニングが一般的な姿勢バランスの安定性にも影響するのか、その効果が他の課題にも転移するのかを検討する必要がある。

さらに、今後、片脚立ちが持続しやすい軸足と、両脚立ちの関係（どちらを軸にするのか）、及び、それらと他のパフォーマンスの技能獲得の関係も検討していきたい。

4. まとめ

本研究では、全身協調バランス・トレーニングのスラックラインが身体機能に及ぼす効果、他の課題やパフォーマンスに影響を及ぼすトレーニング要素を検討することを目的とし、本発表ではその予備的な実験の結果として、スラックラインの課題特定の効果を少数事例データで調べた。その結果、部分的に課題特定の効果はみられたものの、バランステスト条件による違い、個人差もみられた。今後、それらの違いやトレーニング内容を考慮しながらデータ数を増やした本実験を行っていきたい。

謝辞

本研究の一部は神奈川大学経済学部科研費申請奨励費の助成による。

参考文献

- [1] “Slacklining,” Wikipedia, 2017. [online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Slacklining>. [Accessed: 24-Feb-2017].
- [2] H. Ashburn, How to Slackline!: A Comprehensive Guide to Rigging and Walking Techniques for Tricklines, Longlines, and Highlines. Falcon Pr Pub Co, 2013.
- [3] C. P. Gabel, N. Rando, M. Melloh, C. P. Gabel, C.

Physiotherapy, and S. Coast, “Slacklining and stroke : A rehabilitation case study considering balance and lower limb weakness,” vol. 7, no. 8, pp. 513–518, 2016.

- [4] J. Pfusterschmied, M. Buchecker, M. Keller, H. Wagner, W. Taube, and E. Müller, “Supervised slackline training improves postural stability,” *Eur. J. Sport Sci.*, no. November 2014, pp. 1–9, 2011.
- [5] U. Granacher, N. Iten, R. Roth, and a. Gollhofer, “Slackline training for balance and strength promotion,” *Int. J. Sports Med.*, vol. 31, no. 10, pp. 717–723, 2010.
- [6] M. Keller, J. Pfusterschmied, M. Buchecker, E. Müller, and W. Taube, “Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes,” *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, vol. 22, no. 4, pp. 471–477, 2012.
- [7] L. Donath, R. Roth, L. Zahner, and O. Faude, “Slackline Training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and Balance Performance: A Meta-Analytical Review,” *Sport. Med.*, pp. 1–12, Oct. 2016.
- [8] K. Kodama, Y. Kikuchi, and H. Yamagiwa, “Whole-body coordination skill for dynamic balancing on a slackline,” in *Post-proceedings of Second International Workshop on Skill Science, New Frontiers in Artificial Intelligence*, 2015.
- [9] 児玉謙太郎, 菊池雄介, and 山際英男, “全身協調バランス・スポーツ ‘スラックライン’ の身体技能：経験知に基づく仮説生成とその検証,” in *第 22 回身体知研究会予稿集*, 2015, pp. 1–5.

身体運動の模倣メカニズム解明に向けた力学系同定の試み

Attempts to identify dynamical systems behind physical movements

鳥居拓馬^{1*} 日高昇平¹
Takuma Torii¹ Shohei Hidaka¹

¹ 北陸先端科学技術大学院大学

¹ Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: For learning actions from observation of others' physical movements, often one need to identify how the movements would be generated by the others. By seeing a physical body as a dynamical system, we set our problem to identify the dynamical system from observation of movements. In our attempts for this problem, similarity of movements are measured in relation to a fractal dimension of movements — an invariant under some types of transformation.

1 行為の模倣

人間の子供は大人の行為を模倣できる [3]。本稿では、行為とはある目的に向けた運動をいい、目的に向けた運動の計画を意図という。したがって、観察からの行為の模倣とは、他者の行為をその目的まで含めて、自分の行為として再現することを意味する。この意味での模倣に向けた第1段階は、目的や意図を所与とせず、観測された運動のみから、その運動を生成しうる身体運動系（身体と意図を含む）を同定する問題である。本論文では、我々は身体運動系を力学系とみなす立場をとる。この立場では、身体運動系の同定とは仮説的な力学系を同定する問題に言い換えられる。

2 力学系同定

観測された部分的な軌道（運動）から、その軌道を生成する力学系を同定する問題を本論文では考える。運動を生成する身体運動系は一般に観測データ（観測された運動）よりも高い自由度をもつと考えられる。そのため、不完全な観測データから、より高自由度な対象を推定する問題は一般に不良設定問題となる。しかし、力学系の理論では、十分長期的な軌道（運動）が十分高い時間解像度で観測されるなど、観測がいくつかの条件をみたす場合には、部分的な観測データを高次元に埋め込む（アトラクタ再構成）ことによって、本来の力学系の特性が一部は失われないことが知られている。ある種の変換に対して不変な特性を不変量と呼ぶ。力学系の不変量のひとつに「点次元」[1, 2]がある。点

次元はアトラクタ（点の集合）の各点ごとにその周辺の局所的な自由度を特徴づける量である。したがって、運動から推定された点次元の類似性に基づいて、力学系の類似性を測ることが考えられる。

本稿では、点次元に基づく類似性の尺度を用い、理論的な力学系を同定する問題を検討する。本稿では予備実験のため、真なる力学系のモデル（運動方程式）を所与とした場合に、観測された運動データから、その運動を生成する際に用いられた力学系の未知なるパラメータを推定する問題を考える。点次元の推定法は [2] で提案されている。

3 点次元に基づく類似性

運動のような時系列データではひとつの運動の中での次元の時間的な変化がみられる。こうした次元の時間的な変化は力学系の運動全体での特性を記述すると考えられる。そこで、本稿では、運動の中での次元の時間的な変化に基づいた類似性を用いる。

観測された運動データを $X = \{x_i\}_{1 \leq i \leq T} \in \mathbb{R}^{T \times N}$ (N 変数, 長さ T) とする。点次元推定 [2] では、各データ点 $x_i \in \mathbb{R}^N$ の X 内での最近傍距離 r_i^X を混合 Weibull-Gamma モデルに当てはめて各点 i の次元を求める。観測データ X に対して推定された m 番目の Weibull-Gamma 分布 P のパラメータを $\Omega_m^X = (d_m^X, \lambda_m^X)$, 混合確率を θ_m と記すとき、ある点の尤度は以下である。

$$L(r_i^X) = \sum_m \theta_m^X P(r_i^X | \Omega_m^X) \quad (1)$$

運動データ X での次元の時間変化を記述するため、運

*連絡先： 北陸先端科学技術大学院大学
石川県能美市旭台 1-1
E-mail: {tak.torii,shhidaka}@jaist.ac.jp

動データの各点 x_i をその点の次元を最も表す

$$f(r_i | \Omega^X, \theta^X) \quad (2)$$

$$= \arg \max_m \theta_m^X P(r_i^X | \Omega_m^X) \quad (3)$$

で記号化する．観測データ $\{x_i\}_{1 \leq i \leq T}$ は記号系列 $S^{X|X} = \{f(r_i^X | \Omega^X, \theta^X)\}_{1 \leq i \leq T}$ に変換される．

一方で，ある仮説となる力学系から生成された別の運動データ Y をえたとする．観測データ X と区別するため， Y を生成データと呼ぶ．この生成データを，各データ点 y_i の Y 内での最近傍距離 r_i^Y に対して， $S^{Y|X} = \{f(r_i^Y | \Omega^X, \theta^X)\}_i$ により記号化する．

これらの記号列 $S^{X|X}$ と $S^{Y|X}$ により， X と Y の類似性を定義する．本稿では，運動の中での次元の時間的変化を取り入れるため，記号系列の 1 次の状態遷移頻度を用いる． $H_{ab}^{Y|X}$ を $(a = s_i^{Y|X}, b = s_{i+1}^{Y|X})$ の頻度とする．本稿では， X と Y の類似性を， $H_{ab}^{X|X} / \sum_{ab} H_{ab}^{X|X}$ を遷移 (a, b) の真の生起確率としたときに， $H_{ab}^{Y|X}$ を観測する確率（多項分布）により定義する．

4 実験結果

本稿では，理論的な力学系のひとつであるレスラー系を用い，レスラー系の運動方程式を所与とした場合に，運動の観測データからその運動の生成するのに用いられたパラメータを推定できるか検討した．レスラー系は 3 変数 3 パラメータの連続力学系であり，カオス的な振る舞いを示す．以下の実験では，真のパラメータを $a = 0.1, b = 0.1, c = 18.0$ として，観測データ X を生成した．

実験 1 では，レスラー系の運動を 3 変数ともすべて観測できたとした場合に（完全観測），未知なるパラメータ c を推定できるか検討した．以下の図 1 は未知なるパラメータ c をさまざまに変化させた複数の生成データ Y に対して，観測データ X との類似性を示している．図から，真の値 $c = 18.0$ 付近では類似性が高い．他方で，別の値においても類似性が高い．

実験 2 では，レスラー系の運動を 1 変数のみ観測できたとした場合に（不完全観測），アトラクタ再構成により，未知なるパラメータ c を推定できるか検討した．以下の図 2 は未知なるパラメータ c をさまざまに変化させた複数の生成データ Y に対して，観測データ X との類似性を示している．図から，実験 1 と同様に，真の値 $c = 18.0$ 付近では類似性が高いが，別の値においても類似性が高い．

5 考察

実験 1 および実験 2 から，本論文の類似性の尺度は，真なる力学系を一意的に推定できないものの，真の値に

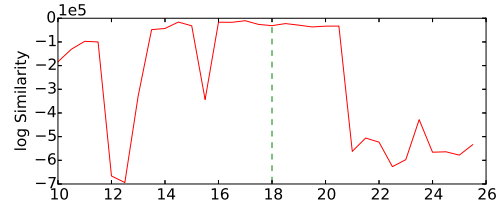


図 1: 3 変数すべてを観測できた場合（横軸は c ）

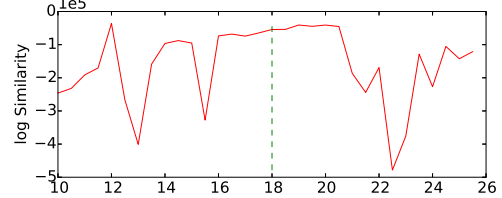


図 2: 1 変数のみを観測できた場合（横軸は c ）

より生成される運動を含めて，観測データと類似した運動を生み出す力学系（パラメータ値）を推定できることが示唆される．また本論文の尺度では，一部の変数しか観測できない場合でも，アトラクタ再構成によって，全変数を観測した場合と定性的に近い類似性の評価がえられた．このことは，力学系の次元というある種の変換に対する不変量に着目することで，部分的な観測からその背後にある真なる力学系を推定できる可能性を示唆する．しかし，本稿では予備実験のため，真なる力学系のモデル（運動方程式）を所与とした場合を考えたが，真なる力学系を既知とするのは現実的ではなく，今後はモデルの探索も含めて検討する必要がある．また，理論的な力学系では運動の目的が定まっていらない．このため，行為の模倣に関して，今後は目的のある運動において検討する必要がある．

謝辞

本研究は科学研究費補助金 若手研究 A 16H05860 の助成を受けて行われた．

参考文献

- [1] Colleen D. Cutler. *A review of the theory and estimation of fractal dimension*, volume 1, pages 1–107. World Scientific, 1993.
- [2] Shohei Hidaka and Neeraj Kashyap. On the estimation of pointwise dimension. *ArXiv:1312.2298*, 2013.
- [3] Felix Warneken and Michael Tomasello. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science*, 311:1301–1303, 2006.

美術入門者に対するドローイングプロセスモデルによる 学習支援ツールの検討

A Study of Learning Support Tool for Novice Learner using the Drawing Process Model

永井 孝¹ 崎本 貴之² 香山 瑞恵³

Takashi NAGAI¹, Takayuki SAKIMOTO², and Mizue KAYAMA³

¹ 信州大学大学院総合工学系研究科

¹ Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

² 信州大学大学院理工学系研究科

² Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

³ 信州大学工学部

³ Faculty of Engineering, Shinshu University

Abstract: Drawing is one of the basic skills in learning art, it is a necessary skill for beginners to master. The acquisition of skills by individuals is difficult and is acquired by correct repetition. The purpose of this study is to build a drawing learning support system for beginners in a network environment. The student can obtain evaluation and advice from the tutor without being restricted by time and place. In this paper, from the geometrically specificity of experts' drawing process data acquired with the digital pen, we examine the drawing process model and describe the drawing learning support system.

はじめに

ドローイングは、美術教育における基本的な技法と位置づけられ[1]、入門者が最初に学ぶべき内容とされる[2]。ドローイングの学習は、描いては誤りを修正し、再び描くことを何度も繰り返しながら正しい手法を身につけていくスキル学習である[3-6]。個人で学習を進める場合、自分の癖や弱点に自ら気付くのは困難である。ドローイングのスキル獲得は、誤りの時点での指導に効果がある。そのため、美術スクールや専門校等に通い、指導者から直接指導を受ける形態で学習が進められることが多い。美術スクール等に通い、学習を進めることは時間と場所とに制約を受ける。これら制約を受けない形の学習方法として、通信による教育がある。しかし、通信教育の場合、描き終えたドローイングを郵送や描画写真をLMSへの登録することにより指導者から評価・指導を受ける。そのため、指導者は学習者の描くプロセスを予測しながら評価・指導を行う。学習者は評価・指導を読み解くのだが、このとき、描画プロ

セスの共有がされていないため、理解することが難しい。なお、これは美術スクールでも同様のことがある。一人の指導者に対して複数の学習者が指導を受けることが多く、一人の指導者が個々の学習者のドローイングに対してすべてを把握し指導することは困難である。

本研究の目的は、美術入門者に対するドローイング学習支援環境を構築することである。学習支援環境をネットワーク環境に置くことで、学習者は場所と時間に制約を受けることなく指導者からアドバイスや評価が得られる。我々は本システムを、2011年度から海外美術大学への留学を目指す専門校に導入している。運用をしていく中、問題点も出てきた。

本稿では、ドローイング学習支援システムについて概観し、経験者のドローイングデータの幾何的特徴からドローイングプロセスモデルの検討を行い、本支援システムでの適用について述べる。

ドローイング学習支援システム

オンラインによるドローイング学習支援

オフラインアートクラスとオンラインアートクラスとの学習の違いは、描画途中に行われる指導と学習者間のドローイングプロセスの共有である。オフラインクラスでは、指導者は学習者がドローイングをしている最中に必要な時に都度指導を行う。これにより、学習者はいつ誤りをしたのかを早期に気づくことができ、修正を行うことができる。さらに、オフラインアートクラスでは、他学習者が同じ時と場所とで描いている。そのため、学習者は描くのを止め、他学習者のドローイングプロセスを見ることで新たな描き方の発見や、自身のドローイングとの比較により誤りに気づき修正ができる。

本研究におけるドローイング学習支援環境は、筆記具としてデジタルペンを、プラットフォームとして LMS (Learning Management System) を利用する。デジタルペンが記録したドローイングプロセスデータを LMS に蓄積し、学習者および指導者らがドローイングプロセスを閲覧できるようにする[7]。これにより、オンラインでもオフラインの学習に近い体験が得られ、ドローイングプロセスを時間と場所とに制約を受けず再生が可能となり、オフラインクラスでは難しかった、指導者が全ての学習者のドローイングの指導が可能となる。また、指導者は、学習者のドローイングの習得度合いをより細かく把握することができる。学習者は、他学習者のドローイングプロセスを再生が可能となり、気になる学習者のプロセスが閲覧できる。

ドローイング学習の流れ

図 1 に本システムによるドローイング学習の流れを示す。

- 1) 学習者は与えられた課題に対するモチーフを構成しデジタルペンでドローイングを行う。
- 2) 学習者はドローイングプロセスデータを LMS に登録する。
- 3) 学習者は自身のドローイングプロセスを再生しセルフレビューを行う。
- 4) 指導者は学習者のドローイングプロセスを再生し、学習者のドローイングプロセスに指導コメントと評価を行う。
- 5) 学習者は指導者からの指導および評価のチェック、他学習者のドローイングプロセスを再生して振り返りを行う。

ドローイングプロセスの再生には、ドローイングプロセスビューワ[8]を用いて行う。ドローイングプロセスビューワは、プロセスの再生のほかに、学習者のドローイングプロセスデータから、描画時間、総ストローク数、単位時間における幾何的特徴(線の種類や筆圧、ストローク数など)を示すことが可能である。

ドローイング学習内容

ドローイング学習内容として、指定したモチーフを机の上に構成し、A3 サイズの用紙に 20 分間でドローイングをする。モチーフには、“紙箱”と“紙袋”を選択した。選択理由は、ドローイング学習に適した基礎的な形状をしており、初心者にとって描きやすいこと、入手しやすいからである。用紙のサイズは、直線を描く際、腕や肩を使って描くことが必要なサイズとして A3 を選択した。時間制限は、時間内に描ききることの意識づけおよび、過去・他学習者とのドローイングプロセスを比較しやすくするた

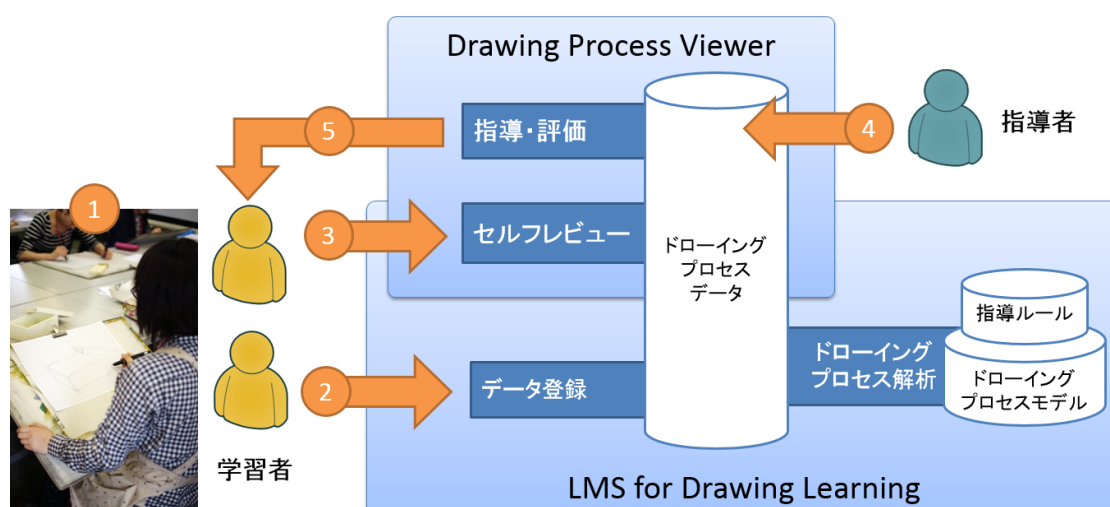


図 1 ドローイング学習の流れ

表1 ドローイングプロセスの段階と内容

段階	内容
1	モチーフをよくみる
2	モチーフがどんな位置に置かれているかに注目する
3	画面に対してのバランスを考えながら構図を決める
4	ごく単純な形態の構成としてとらえる
5	モチーフの構造を分解的にみながら形をとらえる
6	モチーフのトーン・質感を描く
7	モチーフとそれ以外との関係を描く
8	ディテールを描く

めに設定した。なお、20分間は、初心者にあまり負担をかけない時間であり、ある程度のボリューム感のある絵を描くことのできる時間として設定した。モチーフの描画順序として、より紙箱の方が単純な形態をしていることから紙箱を描き、次に紙袋を描く。

美術専門校への試験導入と課題

本システムを2011年から美術専門校へ導入しており、2012年度から、入学から約3ヶ月間、2週間に1回のペースで実施している。課題のモチーフは、紙箱を3回、紙袋を3回描き、2.2.で述べたドローイング学習の流れの内1), 2)を授業中に、それ以外を授業時間外に実施している。

本システムの導入を行い、利用状況や学習者へのアンケートから課題が見えてきた。指導者からの指導待ちである。ドローイングを振り返る際に、学習者は、プロセスを再生するのみでは、気づくことが困難であり、それを補うために、指導者からのアドバイス・評価を求めているのである。我々は、ドローイングのプロセスのアドバイスに関して、指導者による評価・アドバイスでなくても可能であると考え、個人学習支援ツールによるプロセス評価を行い、システムによる自動評価・アドバイスを行う。これ

は、経験者のドローイングプロセスに基づいたドローイングプロセスモデルをベースに構築される。

ドローイングプロセスの整理

本研究において、学習者のドローイングプロセスは2種の場合面で再利用される。1つ目は指導者によるプロセス評価であり、2つ目は個人学習支援ツールによるプロセス評価である。特に、個人学習支援においては、ドローイングプロセスに対する自動評価が重要な機能となる。

ドローイングプロセスの段階と内容

美術熟練者および美術指導の専門家5名に対して、ドローイング行為についてのヒアリング調査を行った。その結果から得られたドローイング行為の段階とそれらの内容を表1に示す。

ドローイングプロセスの定量的データと描

画結果との対応

美術熟練者2名に学習者と同様の課題で取得したドローイングプロセスデータをドローイングプロセスビューワで再生し、その定量的データの特徴をまとめた。定量的データのうち、描画時間、描画領域にて検討した結果、描画プロセスは3つの領域に分割できることを見出した。各領域をそれぞれフェーズA/B/Cとして区別する。3フェーズへの分割は、最初にフェーズAへ分割し、次にフェーズB/Cと分割する。

各フェーズの終了時点での描画結果を図2に示す。フェーズAは、構図をとったり、ごく単純な形状を決めたり、パースを描いたりしている様子が見える。幾何的特徴として、筆圧を抑えたストロークで補助線やアウトラインを描いている。筆圧を抑え

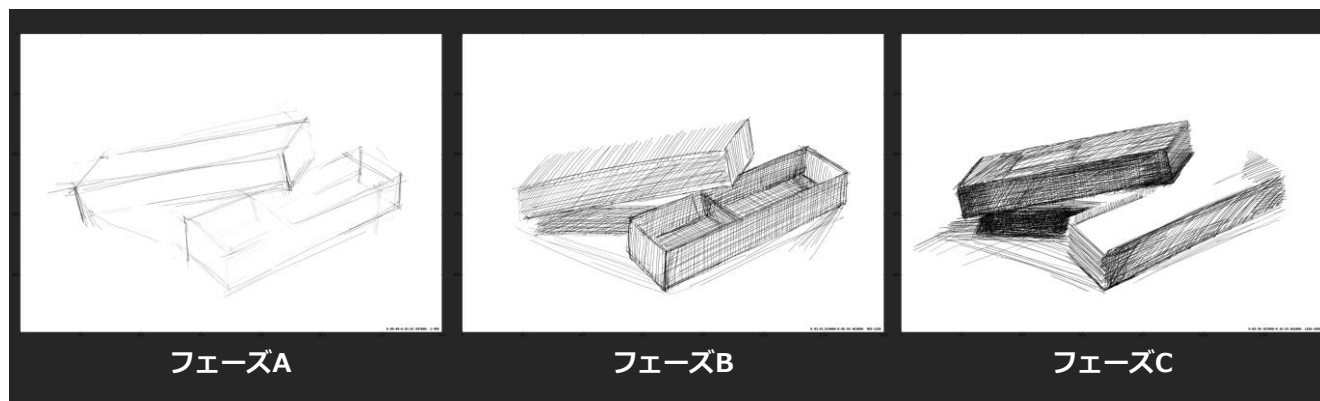


図2 各フェーズにおけるドローイング結果

るのは、補正が行えること、描画結果に影響を与えないようにするためである。フェーズ B では全体を均一的に描画していき、トーンを整えている。フェーズ A で描いたアウトラインからはみ出さずに描いている。フェーズ C では、さらにモチーフの質感を描き、ディテールをつめ、本人が作品として納得できる状態まで描画内容を高めている。

フェーズの移行が特定の時間間隔で描いているのではないかと仮定をし、フェーズ A から B、B から C へ移行する際の時間を求めたところ、フェーズ A から B への移行時間が、平均 3 分 12 秒(最小 2 分 50 秒, 最大 3 分 20 秒)であった。フェーズ B から C への移行時間が、平均 8 分 45 秒(最小 5 分 20 秒, 最大 9 分 10 秒)であった。熟練者にこの結果についてヒアリングをしたところ、最初の数分で配置・構図・形を決め、描画時間の半分ぐらいで一通りの作品として見える状況までもって行き、残りの時間でディテール等を詰めていき作品の完成度を高めているとの回答を得た。

ドローイングプロセスと各フェーズとの対応

ドローイングプロセスデータから前節に示した 3 フェーズを同定させるために、各領域の特徴をまとめた。各フェーズについて、外包領域の増加、新規描画領域、筆圧を表 2 に示す。外包領域の増加は「多い／少ない」の 2 段階で区別する。外包領域とは、描画を進めていく中で描画部分の外包面積を求めたものである。新規描画領域は「多い／少ない」の 2 段階で区別する。新規描画領域を測定するために、A3 用紙を 140x99 グリッドに分割し、ストロークが初めてグリッドにかかった数である。筆圧は、「低／

中／高」の 3 段階で区別する。この表に示した幾何的な特徴と表 2 の 8 段階のプロセスの説明およびフェーズの出現時間を対応付けた結果がドローイングプロセスモデルである。対応付けを行ったプロセ

表 2 フェーズ A,B,C の特徴

フェーズ	外包領域の増加		新規描画領域	筆圧
	A	多い	多い	低
	B	少ない	多い	低・中
	C	少ない	少ない	低・中・高

スモデルを表 3 に示す。フェーズは A,B,C が各 1 つずつに分割される。フェーズ A は 1 から 5 段階に対応し、フェーズ B は 1 段階と 6 段階とに対応し、フェーズ C は 1 段階と 7 段階と 8 段階とに対応する。各フェーズの描画全体での出現するタイミングは、フェーズ A が 0-4 分、フェーズ B が 4-9 分、フェーズ C が 9-20 分となる。

ドローイングプロセスに基づく学習支援ツール

学習者のドローイングプロセスを表 2 の幾何的特徴に基づき分割した領域を出現するタイミング／頻度／順序と前章で示したプロセスモデルとの比較を行うことで個人学習支援ツール及び指導者サポートツールの作成が可能となる。

図 3 は、入門者の描画途中の結果である。このような机の上に置かれた紙箱を描くドローイングの課題の場合、多くの入門者の描画初期の行為は、筆圧の高いストロークでアウトラインを描く。これでは、プロポーションや構図を正確に描くことができない。学習者自身、間違いに気づいても描画結果が残る線のため補正ができず誤った描画を続けることになってしまう。指導者は、まず筆圧を抑えた線で描くように指導する。筆圧を抑えることにより描画結果に影響を与えないようにするためである。これにより、

表 3 ドローイングプロセスモデル

フェーズ	外包領域の増加		新規描画領域	筆圧	ドローイングプロセスの段階	タイミング
	A	多い	多い	低	1,2,3,4,5	0-4 分
	B	少ない	多い	低・中	1,6,7	4-9 分
	C	少ない	少ない	低・中・高	1,6,7,8	9-20 分

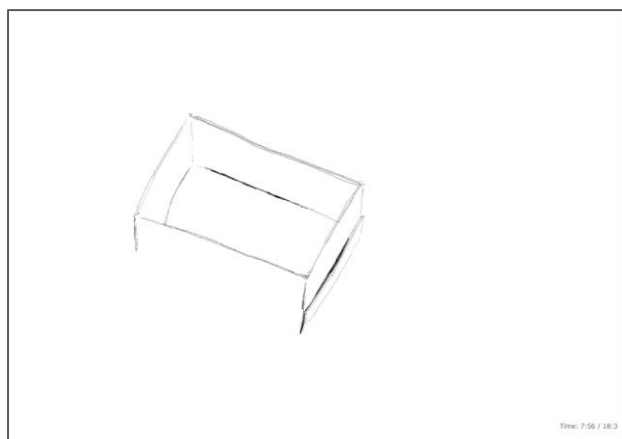


図3 入門者のドローイング過程

形を正確に描くための単純な形状線や補助線を使ってアウトラインを描くことができる。

入門者のドローイングプロセスを幾何学的特徴で見た時、ストロークの筆圧が高い。この特徴は、フェーズAではないことが解る。学習支援ツールは、モチーフをよく見ること、単純な形態にとらえて描き始めること、筆圧を低く抑え、点、直線、単純な曲線で描くことのアノテーションの追加をする。描画中期では、多くの入門者がモチーフの模様やマークを描こうとしてしまう。またトーンを描くときも全体を意識せず、局所に意識が行ってしまいトーンを整えることができない。指導者は、全体を意識しながらトーンを描くように指導する。学習支援ツールは新規描画領域が少ないために、全体を描くようにアノテーションの追加をする。

フェーズA、Bのタイミングを意識させるためにドローイングプロセスビューワ内にグラフ表示をおこない、時間意識の定着を図る。

指導者側への支援ツールとして、指導対象者の早期発見ができるようにする。本学習支援システム内のクラスポートフォリオで指導すべき対象者を絞り込み表示機能を追加する。

おわりに

本稿では、ドローイング学習支援システムについて概観し、経験者のドローイングデータの幾何学的特徴からドローイングプロセスモデルの検討を行い、本支援システムで学習支援ツールの適用について述べた。

今後は、これまでの入門者のドローイングプロセ

スデータを用いて、ドローイングプロセスモデルの検証をおこない、ツールの構築、本ツールを併用したドローイング指導の方法論の具体化を図る。

参考文献

- [1] 佐藤聖徳：美術・デザイン系大学におけるデッサン指導の発展的試み, 静岡文化芸術大学研究紀要, Vol.4, pp.153-162 (2004).
- [2] 関根英二：美術体系の試み, 美術教育学会大学美術教科教育研究会報告, No.6, pp.89-100 (1984).
- [3] Bernstein, N. : The Co-ordination and Regulation of Movements, Pergamon Press, New York (1967).
- [4] Latash, M. L. : Progress in Motor Control, Vol.1, Bernstein's Traditions in Movement Studies, Human Kinetics: Urbana, IL (1998).
- [5] Latash, M.L. : Progress in Motor Control, Vol.2, Structure-Function Relation in Voluntary Movement, Human Kinetics: Urbana, IL (2002).
- [6] 古川康一：スキルサイエンス, 人工知能学会誌, Vol.19, No.3, pp.355-364 (2004).
- [7] 永井孝・香山瑞恵・伊東一典：遠隔ドローイング学習支援の可能性とドローイングプロセスの再利用に関する検討, 教育システム情報学会研究報告, 23(4), pp.54-61 (2008).
- [8] 永井孝・香山瑞恵・伊東一典：美術入門者がドローイングスキル獲得のための意識向上を促すドローイングプロセスビューワ, 教育システム情報学会 第38回全国大会, pp.311-312(2013).

古民家再生における建築のデザイン創造に関する研究 —金沢市での町家建築の事例から—

Research on design creation of architecture in renovation of old traditional house

- A case study of old traditional town house in Kanazawa City -

由田 徹^{1,2} 永井 由佳里¹

Toru Yoshida^{1,2}, Yukari Nagai¹

¹ 北陸先端科学技術大学 知識科学研究科

¹ Japan Advanced Institute of Science and Technology, School of Knowledge Science

² 株式会社ユウプラス

² U+ Co., Ltd.

Abstract: In the realization of a sustainable society, the use of old wooden architecture has been focused on. This research focuses on case study by one researcher based on practical work on architectural design and design, from an internal viewpoint reflection analysis was conducted. We report design issues and design view in wooden architecture.

1. 研究の背景

デザインの研究において、デザインがどの視点からとらえるべきかが議論されている[1]。外部から見るか、内部から見るか、その視点の違いはデザインにおける研究のあり方そのものを問う[2]。内部からデザインを見ることができるのは、そのデザインを実践する者（あるいは直接関与した者）に限定される。デザイン学が今後、ディシプリンとしての形成を果たすためには、客観性や普遍性のみを求めるのではなく、デザインならではの内部から見た報告や証言を蓄積していくこと、及び、その証言についての議論を重ねていくことが欠かせないのではないだろうか。

2. 研究の目的と方法

本研究は、その一つの証言として、貴重な事例となりうる実践を、建築設計やデザインの実務を基盤とする研究者（デザイナー）自身が振り返り、自らが実践したデザイン事例についてデザインを内部から捉えた自己分析と評価を通じ、建築デザインの新たな課題やデザイン観（気づき）を見出すことを第一の目的とする。

さらに、再検討することで得られるデザイン観を、デザインの内側からのメッセージとして示し、未来のデザインへ寄与することを目指している。具体的には、金沢

市での町家建築のデザインの実践を事例として取り上げ、デザイナーとして直接その思考や行為を起動し、進めていった者、建築デザイナー（由田）（以下、建築家 Y）が中心となり分析する。本研究は、建築デザインにおける事例研究から、未来の建築デザインのあり方を問う、デザイナー自身の試みでもある。

果たしてデザインとは何を生み出すものなのか。デザインにおいてそれが適切なデザインの思考であるかどうかは重要な意味合いを持っている。デザイナーによる成果を考える場合、デザインされたプロダクトのみならずデザインの思考そのものを成果としてとらえるべきであり、行われたデザインの思考こそがより本質的な成果といっても過言ではないだろう。特に、建築デザインや環境デザインでは、「問題の発端を社会の側に置かれている対象物のデザイン、さらに、大衆をマーケットとする現代の多くのプロダクトのデザインは、そのデザインの思考そのものが大きな情報価値を持つ」というソーシャルデザインへの展開が指摘されている[3]。

では、デザインはどのように研究することができるだろうか。研究者自身がデザイナーである場合、デザインの実践中はその行為に夢中になっている[1]。そのため、実践と同時に研究することはおそらく不可能である。しかし、デザインを実践した時点から時間が経過したところに視点を置き、再現的に思い出すことは可能である。例えば、専門的技能を有する実践者が自己の行為を振り

返ることでより深く自己の行為を理解し、次の実践や教育に反映するリフレクション（内省的探究法）が注目されてきた[4]。リフレクションにより、内部視点で見たデザインの思考について、時間を遡って捉えることで、当時は見えなかった複雑なデザインの思考が整理できる可能性もある。数年後の視点を有するデザイナーがリフレクションにより課題を抽出することは、デザイナー自身による自己評価につながるばかりでなく、未来のデザインへの貴重な情報となる。さらに、評価の議論と蓄積は他のデザイナーと共有できる情報であり、デザイナーとクライアント双方にとってデザインを行っていく場合、「どのようなデザインの思考でデザインを企画したらよいか」を考えるうえで、参照できる情報となるだろう。

以上の理由から、本研究では対象とする事例に、著者の一人 建築家 Y がデザイナーとして実践した 2014 年の建築のデザイン事例「笠市町の古民家再生プロジェクト」（以下、本事例）を選択し、内部視点によりデザインの思考を現時点（2017 年）でリフレクションする。建築家 Y のデザイナーとしての経歴は、当時、27 年の実務歴を有していた。



写真 1: 再生前の町家



写真 2: 再生後の町家建築

4. 建築におけるデザイン創造

建築におけるデザイン創造とは何か。本事例で扱われる町家建築は住宅である。住宅はクライアントにとっては、個人資産としてのプロダクトであり、地域コミュニティや社会にとっても地域資産として、景観や地域産業に貢献するプロダクトと言える。つまり建築におけるデザイン創造は、プロダクトのデ

ザイン創造と言える。また、クライアントにとってデザイン創造の過程においては、デザイナーとのコミュニケーションが生じること、コミュニケーションそのものの満足と、建築家により提案されるデザインでクライアントは満足を得ることが、プロジェクトには必要となるため、建築の創造はサービスのデザインとも言える。

本研究では、建築のプロダクトとしてのデザイン創造を研究の対象に絞り込み、建築家 Y のデザインの思考について内省分析（リフレクション）を行う。

5. デザインの思考と内省分析

本事例について、建築家 Y が自らのデザインの思考を以下のように整理し、デザインの思考について内省分析を実施した。

- 1) 建築デザインの動向を取り入れる
- 2) 現代における木造建築の意味付け
- 3) 建築の機能と性能のデザイン
- 4) 伝統的な木造建築のデザイン継承
- 5) 感性的意味の継承と再生
- 6) 体験による意味の価値化

5-1. 建築デザインの動向を取り入れる

生活環境を取り巻く事物がデザインされるようになり、デザインは様々な課題の解決に役立つ技術として定着してきている。デザインの動機と課題の基点が個から社会に置かれるようになってきているだけでなく、デザインを表面的な形をつくる技術とする従来の視点に加え、未来の価値創造に寄与する技術とする視点で捉えられるようになった。建築デザインも例にもれず、デザインで社会の課題を解決していく技術として活用され、建築家は社会に課題を見出し、その課題解決にむけてデザインを実践する動向が見られることに注視した。

建築家 Y は、建築デザインの動向に向き合い自身のデザインに取り入れることで、建築を未来に意味のあるものとして、価値を持たせようと試みている。

5-2. 現代における木造建築の意味付け

木造建築は木材でつくられている。未来の実現において、再生可能で非枯渇性資源としての木質資源の活用が、社会にとって、今後大きな役割を担うことが期待され、持続可能な社会の実現に期待が寄せられている[5]。デザインの面でも、単純な消費主義的な単に目新しさや経済性の論理で成り立つものではないという美学的な見地での意味がある[6]。

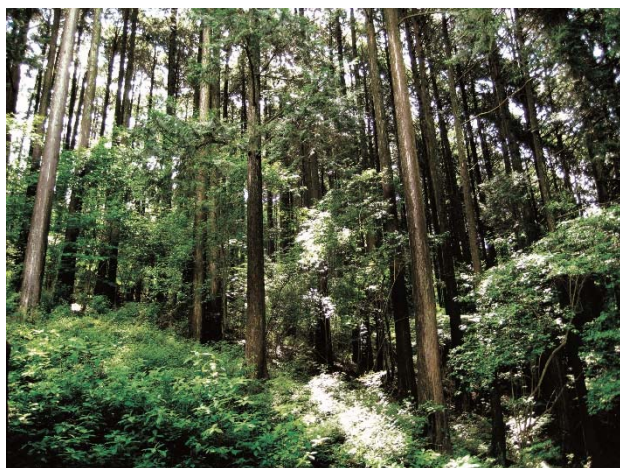


写真 3：植林された杉の林



図 1：木の命の循環 [7]

木造建築物は地域の文化風土から生み出された地域固有の景観形成に寄与するものとしての意味もある。金沢市で最も観光誘客の多い場所の景観も木造建築物で構成されており、木造建築物の保存と活用が期待されており、「重要伝統的建造物群保存地区」や「こまちなみ保存区域」を指定し保全と改修に補助金の制度を設けている。



写真 4：金沢市東山地区の街並

建築家 Y は建築デザインが社会の課題に基点を置いて価値を創造していくための技術として捉えられていることを背景に、現代における木造建築の意味付けを行った。

5-3. 建築の機能と性能のデザイン

我が国で建築は、建築基準法に従って建設される。したがって、法の基準に従い機能と性能を備えた建築をデザインしなければならない。

クライアントの要望に従いデザインが進められ、要望に沿った機能や性能をデザインの技術的な側面から実現していくことが建築のデザインにおいては、必要不可欠なものである。

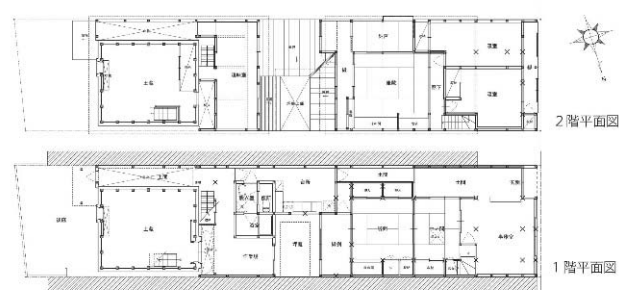


図 2：再生前の現況 平面図

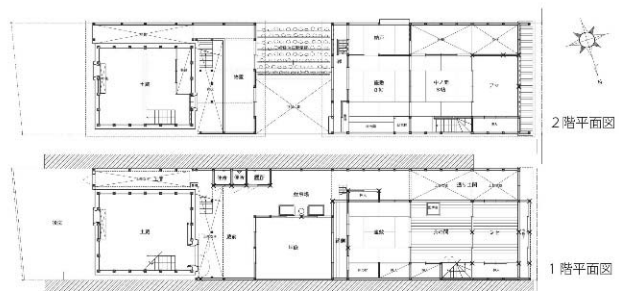


図 3：復元 平面図

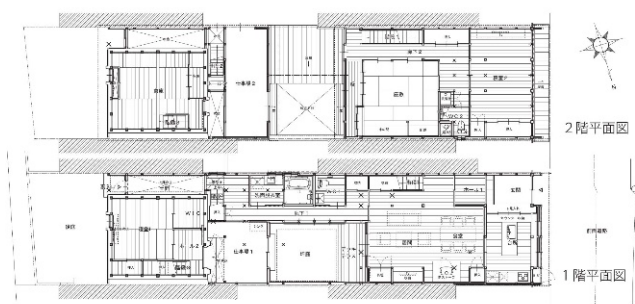


図 4：再生後 平面図

建築家 Y は、古くなることによる機能と性能の劣化と新しい基準が整備されるなど、その変化により必要となる機能と性能を与えるデザインに取り組んでいる。性能は建築の必要不可欠な条件として法で定められていることから、機能と性能のデザインに必然的に取り組んでいる。

5-4. 伝統的な木造建築のデザイン継承

持続可能な社会の実現において、木造建築が着目されている。また、風土に根ざし職人により継承されてきた木造建築のデザインは、伝統の上に成り立つ技術と表裏一体の意匠によって成立しているといわれている。

本建築は、調査により江戸時代にまで遡る材料で、明治初期に創建されたことが分かった。伝統的な町家建築が時代を経て幾度となく改変が加えられ、創建当初とは全く異なる外観となっていた。

再生にあたり金沢市の補助事業を活用するため、伝統的意匠デザインと伝統的な木造建築の構造デザインの継承を条件としてデザインを行った。残された建物を部分的に解体調査し、建物に残された痕跡から、過去の建築の姿の復元が行われた。

平面だけでなく、断面や外観もこの復元された姿から歴史資料に残る建物の類例に倣い復元的に外観意匠がデザインされている。

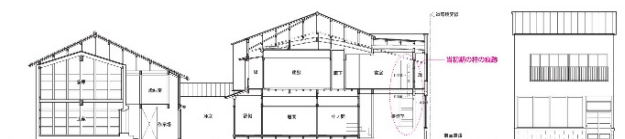


図 7: 再生前の現況 断面図・立面図

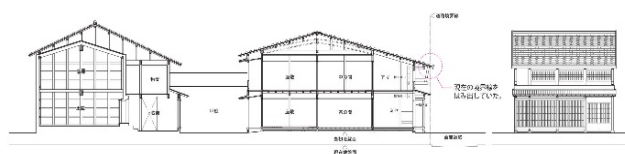


図 8: 復元 断面図・立面図

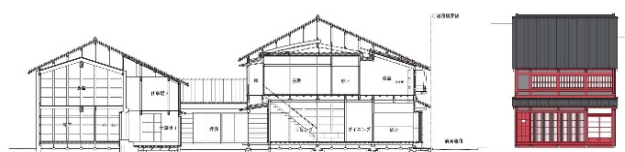


図 9: 再生後 断面図・立面図

建築家 Y は金沢市の歴史的建造物修復士の資格を有し、その教育過程で得た知見を背景として本事例のデザインを行っている。また、建築家 Y は伝統的な木造建築のデザインは、風土や建築づくりの伝統の上に成り立つ技術と表裏一体の意匠によって成立していると認識しており、表裏一体の技術と意匠でデザインを思考している。

5-5. 感性的意味の維持と再生

近年プロダクトのデザインでは、人間中心のデザインが着目され、現在、多くのプロダクトのデザインに取り入れられている。建築のデザイン分野でも同様に、性能や機能の面で、建築によりつくられる環境で過ごす人間が安心安全な環境を得るという意味を包括して、快適に生活する環境を実現するために、人間の感性を大切に、理解しデザインに取り入れられるようになった[8]。

古い木造建築は、新しい建築では直ぐに実現することが難しい、時間が経過し古くなることで生まれる「風合い」、「愛着心」などという感性的意味を備えていると考えられている。

建築家 Y は古い建築の「風合い」、「愛着心」などの感性的意味の維持だけではなく、新しくデザインするときにも感性的意味が失われないようにデザインしている。また、機能や性能では捉えられない、「気配」や「視覚的效果」など、伝統的なデザインが創造してきた感性的意味を維持し、改変や改修により失われた感性的意味の再生を行っている。

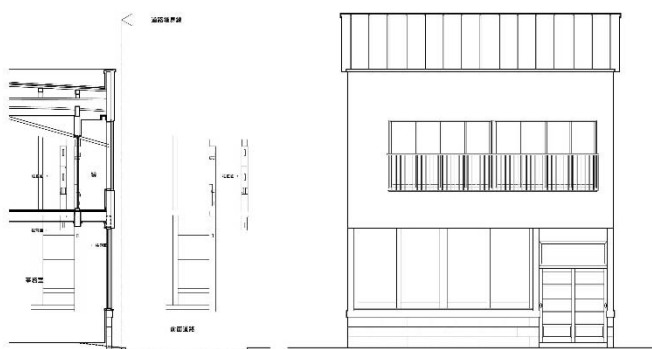


図 5: 建物の主要な痕跡と現況立面

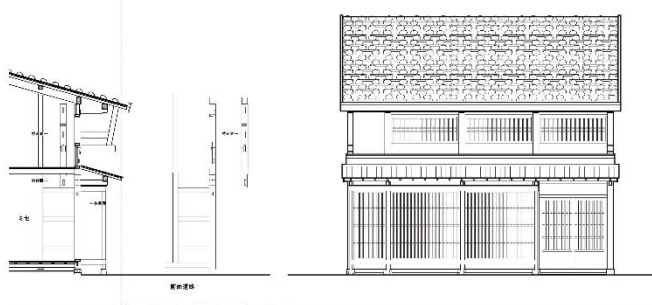


図 6: 建物の主要な痕跡と復元立面

5-6. 体験による意味の価値化

建築の設計と建設に不動産の企業で構成し、実践として取り組むことを主眼において、有限事業組合古民家再生の会を結成している。

設計（デザイン）と建設の技術向上を目指す取り組みが中心であるが、全国的な課題の空き家問題などとも連動させ、古民家の利活用を促進させるために情報収集と発信を行っている。また、会員に対してだけではなく、ユーザーとの古民家再生の価値観が共有されることを重視して「まなんで民家！すまい塾」と呼ぶ再生現場を活用した勉強会、再生した建築での見学会に加え、現地で行政を巻き込んで、セミナーなどを行っている。ユーザーに古民家の魅力と再生の実践から、その価値と魅力を伝える活動を展開している。



写真5：古い風合いのある柱

建築家Yは、ユーザーを引き入れ、個と社会の価値観の共鳴をつくりながら、個と社会の課題解決につながる建築づくりに努めている。北陸の良質な古民家を素直に活用する建築デザインの取り組みを開始した。古民家は、古く地域の木材を主原料にして構成されている建築である。また、地域の文化風土が色濃く現れた建築のデザインに努めている。



写真6：まなんで民家！すまい塾の様子

6. 事例の外部的評価

これらの取り組みより、2014年に金沢市内に町家建築が再生された。調査、設計、建設と会員により実施された。また、現場を活用して「まなんで民家！すまい塾」も開催された。私たちの目指す古民家再生の方法で完成させることが出来た。同時に、文化風土に根差した建築が環境装置としての建築であることが同時に発見された。この建築は、いしかわエコリビング賞と石川県デザイン展で入賞した。



写真7：再生後の町家建築の室内

7. 建築デザインのデザイン観と課題

事例を通して建築家Yの建築におけるデザインの思考について内省分析を行った。事例を通して、建築家Yの建築デザインの思考を振り返り、建築のデザインがデザインによりどの様に実践されたかを内省分析し情報として記録することができた。この記録に基づいてデザイン観を報告する。

建築家は、つくられる建築が、未来に価値が持続するように思考している。

建築のデザインでは、社会の課題に基点をおいて価値を創造していくための技術として捉えられていることを背景に、現代における木造建築の意味付けのもとデザインを行っている。

現在の法制度下では、建築は機能と性能の充足が建築成立の最小必要の条件となっており、本事例のように建築物がつくられてから一定時間経過している建築は、時間が経過することにより、プロダクトその物の機能や性能が劣化すること、人の価値観の変化により機能や性能の価値の変化が生じている。古民家再生のデザインでは、機能と性能を充足するためのデザインが行われている。

伝統的な木造建築のデザインは、風土や建築づくりの伝統の上に成り立つ技術と表裏一体の意匠によって成立していると認識されている。建築家は、表裏一体の技術と意匠でデザインが思考される傾向が

あり伝統的なデザインは継承されやすい。

古い建築の「風合い」、「愛着心」などの感性的意味の維持だけではなく、新しくデザインするときにも感性的意味が失われないようにデザインしている。また、機能や性能では捉えられない、「気配」や「視覚的効果」など、伝統的なデザインが創造してきた感性的意味を維持し、改変や改修により失われた感性的意味の再生が行われている。

ユーザー体験を通して、個と社会の価値観の共鳴をつくりながら、建築家や建設の立場の会員が個と社会の課題解決につながる建築づくりに努めている。北陸の良質な古民家を活用する建築デザインの取り組みを開始した。古民家は、古く地域の木材を主原料にして構成されている建築である。また、地域の風土が色濃く現れる建築のデザインに努めている。

事例の外部評価からもわかるように、建築家によってデザインの思考が整理されデザインが実施され十分に外部にも建築家のメッセージが伝わることで、外部的評価も高くなるということが解る。古民家は、木材資源を活用した建築であると同時に、時間が経過すること得られる独特の風合いを有し、現代に人を引付ける感性的意味を備えている。また、高い環境性能を保有し、快適に人々が暮らす建築として活用できることが判ってきた、木造建築を活用して未来の社会に、今後価値のある意味をデザインすることの可能性が広がった。

古民家などの伝統的な木造建築は、時間が経過することで、古くなり「風合い」や「愛着心」などの感性的意味の価値観が増していくが、同時に時間が経過し機能と性能が低下すること、時代の変化に従って人の価値観が変化することで、建築の存在に価値を見出せなくなるため、不要になれば簡単に壊されていくことが課題である。

また、古民家の活用は、在るものを活かすという取り組みであり、古民家は取り壊されれば活用することが出来ないことから、古民家を活用する建築デザインには限界がある。特に「風合い」、「愛着心」、「気配」など感性的意味を新築の建築のデザインにどのように創造していくのか、同時に人が建築にどのような感性的価値を見出しているのかも、建築のデザインの課題である。

8. 研究の課題と展望

建築のデザイン創造に関して、建築家のデザインの思考を内部的に捉え内省分析を行ってきた、建築のデザイン創造において、建築家は、性能や機能のデザインだけでなく、人の感性に働きかける感性的意味のデザインを思考していることが解ってきた。

今後、建築のデザイン創造に関する研究を進めていく場合、デザイナーが何を思考しデザインの行為を行っているのかについて、さらに情報を集積させ研究を深めて行きたい。建築に対する人間の感性的要求がどのようなものか、建築からどのような人間の感性への働きかけがあるのかなど、デザイン創造におけるユーザーの認知に関する研究の必要性が広がった。

参考文献

- [1] 永井 由佳里・田浦 俊春・佐野 宏太郎・保井 亜弓, 制作学と自己省察の拡張によるデザインの内部観測方法論,『認知科学』, (特集:デザイン学) 17, 506-524, (2010)
- [2] 田浦俊春. オーガナイズドセッションの開催主旨, 特集「デザイン学: メタデザインへの挑戦」, 『デザイン学研究』, 18(1) 69, (2011)
- [3] 原研哉,『デザインのデザイン Special Edition』, p24, 岩波書店, (2007)
- [4] Schon, D. A., 『The Reflective practitioner -How professionals think in action.』 NY: basic books, (1983) (柳沢 昌一・三輪 健二 監訳. 『省察的实践とは何か: プロフェッショナルの行為と考察』. 鳳書房, (2007)
- [5] 鬼頭秀一, 福永真弓編,『環境論理学』, 東京大学出版会, (2009)
- [6] Erwin Viray, 『The Beauty of Materials (素材の美学)』, p138, (2002),
- [7] いしかわの森の木の家プロジェクト編 (赤坂攻, 山口哲夫, 由田徹他) 『いしかわの森の木の家』, 石川県森林組合連合会, p14, (2010)
- [8] 日本建築学会編,『都市・建築の感性デザイン』, 朝倉出版, (2008)
- [9] 宮川英二,『風土と建築』, 彰国社, (1979)
- [10] 和辻哲郎,『風土』, 岩波書店, (1991)