

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

Skills of whole-body coordination balance sport “slackline”: Generating hypotheses based on empirical knowledge and testing it

児玉謙太郎¹ 菊池雄介² 山際英男³

Kentaro KODAMA¹, Yusuke KIKUCHI², and Hideo YAMAGIWA³

¹ 神奈川大学 Kanagawa University ² はこだて未来大学 Future University Hakodate

³ 東京都立東部療育センター Tokyo Metropolitan Tobu Medical Center

Abstract: In the practical field of slacklining, a balance sport, instructors tell their empirical knowledge based on their personal embodied experience to beginners. The present study tries generating hypotheses from their empirical knowledge and testing it quantitatively. We conducted a preliminary experiment to examine the hypothesis. We report the results and discuss the current approach to skill science.

スラックラインの身体技能

スラックラインは、ベルト状の綱（ライン）の上でバランスをとるスポーツである（図 1）。ナイロン／ポリエステル製のラインの上に乗ると、ラインが弛み、上下・左右方向の揺れや、前頭面での回転が発生するため、支持面は不安定となる。この不安定なラインの上で、バランスをとるためには、手足を含む全身の協調が必要となる。図 1 のように片脚で立位姿勢を保持するにも、常に揺らぎながら全身を協調させ、動的にバランスを保つ必要がある。競技としてのスラックラインでは、ラインの上で立ったり、歩いたりするだけでなく、ジャンプや宙返りといったアクロバティックな技を競うこともある。



図 1 Slacklining (Granacher, Iten, Roth, & Gollhofer, 2010)

スラックラインがスポーツ競技として確立されたのは、2007 年頃であり、スラックラインに関する学術的な研究は限られている。その多くは、スラックラインがバランス能力に及ぼす効果を検証するものである (e.g., [1])。スラックラインは、不安定なライン上でバランスをとる必要があるため、バランス能力の向上が期待されている。一方、その身体技能に関する先行研究は、著者らが調べた限り、ラインへ外乱を与えた後の回復運動を分析した事例研究しか存在しない [2]。この先行研究では、外乱後のバランスの回復という限定的な状況を調べており、スラックラインの基本的な身体技能に関しては検討されていない。

他方、スラックラインの実践の現場では、熟達者・指導者の経験に基づいて、スラックラインの基本的な身体技能、コツについて、初心者へ指導が行われている。スラックラインの身体技能の学習過程では、初めに片脚立ち（図 1）からスタートする。そして、その状態で一定時間バランスを保てるようになると、続いて、歩行、ターン…と、より難易度の高い課題へと進む (e.g., [3])。そのため、最初の片脚立ち課題をマスターすることがスラックラインの基本的な身体技能であり、片脚立ちの状態を保持できる能力が、他の課題の基礎にあると考えられる。片脚立ち課題は、例えば 30 秒間その状態を補助なしで保持できるようになるまでもそれなりの時間を要する。また、単に 30 秒間ラインの上に乗ることができれば良いのではなく、適切な身体の状態に達し、その状態でバランスを保持することが求められる。

ここでいう適切な身体の状態とは、指導者の経験知に基づいて記述すると次のようになる。すなわち、筋レベルでは、適度に筋の緊張を緩め、表層筋というより深層筋を使い、ラインと自己身体の動揺に対して、動的に、持続的に微調整ができるような状態であり、関節レベルでは、関節を固定せずに可動性（あそび）をある程度残し、ラインの動揺を全身で吸収・補償できるよう手足、体幹を協調させた状態である。スラックラインでは、自己身体の動きがラインの動揺を大きく増幅させる要因となりうるため、ラインという環境との動的で緩やかなカップリングが求められる。

ここでは、熟達者や指導者の身体的な経験に基づく知識を経験知と呼ぶ。スラックラインでは、そのバランス制御において、ラインの傾きや動揺、自己身体の重心や手足の位置・動きを、とくに触覚的な知覚を通じて知ることが重要と考えられるが、この経験知を言語化し、客観的に説明することは難しい。しかし、それを客観的に記述し、定量的に示すことができれば、彼ら／彼女らの経験知を科学的に裏付けるエビデンスを提供し、より説得力のあるかたちで指導を実施することができるようになるであろう。また、例えば、熟達者と初心者のパフォーマンスを比較することで、当事者も自覚できていないような熟達者の特徴を抽出することができれば、より効果的で安全な指導法の提案にもつながると考えられる。

そこで、本研究では、スラックラインの身体技能を明らかにするにあたり、熟達者・指導者の経験知や研究者自身の体験も重視し、それらと既存の身体運動科学や認知科学の知見を照らし合わせ、仮説の生成を試みる。また、生成された仮説については、センサなどの機器による計測、および、そのデータの定量的な解析を通じた検証を試みる。このような仮説生成と仮説検証の循環的プロセスを通じ、身体知への理解を深めたい。以下、その具体的な方法と、現時点で得られている予備実験のデータを報告し、今後の展望について議論する。

経験知に基づく仮説生成

本発表では、現時点で得られている情報に基づき生成した仮説について述べる。具体的には、リハビリテーションの現場でスラックラインを介入の一環として実践している指導者の経験知と、著者が参加しているスラックライン教室で指導者から教わった内容、および、著者ら自身の経験知に基づき、以下の暫定的な仮説を生成した。

まず、スラックラインという不安定な環境に身体を定位させ続けるためには、重心をラインと支持脚

の接触面に投影させ続けなければならない。しかし、スラックラインは、その性質上、振れによる傾きが生じやすいため、この課題を遂行することは容易でない。また、行為者自身の動きや、身体に内在する揺らぎにより、ラインの動揺が増幅することもある。そのため、片脚立ち課題では、重心の接触面への投影という課題達成のために、全身を持続的に動かしながら、動的にバランスを保ち続ける必要がある。

そこで、スラックラインの指導現場では、上記の重心の接触面への投影という課題を達成させるために、次のように指導される：両手を挙げ、左右に並行に動かすこと、軽く腰を落とし、支持脚の膝の力を抜くこと、背筋を伸ばし、視線は前方へと向けること。これらの指導を、質量中心位置の調整という観点から捉え直すと次のように換言できよう(図 2)。

- 1) 水平方向：両手を挙げ、左右方向に並行に協調させて動かし、質量中心の位置を調整する。
- 2) 垂直方向：下肢の筋の緊張を適度に緩め、膝関節を柔軟に曲げ、ラインの動揺を吸収する。
- 3) 前後方向：上体を起こし、重心をラインと支持脚の足底との接触面に投影するよう保つ。

定量的な仮説検証

これらの仮説を定量的に検証するため、現在、次のように行動変数のあたりをつけている。

- 1) 両手の協調性、その安定性、また、両手協調と質量中心、および、ラインの位置関係。
- 2) 支持脚の膝関節の柔軟性、膝とラインの協調関係。
- 3) 重心と接触面の位置関係。

いずれの変数も、最終的には身体と環境(ライン)の関係の定量化を視野に入れ、計測・解析を行っていきたい。本発表では、その予備実験として、仮説 1)の両手の協調性について定量的に検証した結果を報告する。

予備実験

実験デザイン

スラックラインの基本的な身体技能を明らかにするため、実験課題として片脚立ち課題を採用する。独立変数として身体技能レベルを想定し、技能レベルの異なる実験参加者をリクルートする。従属変数として、仮説 1)の両手の協調性を定量化するため、両手の水平方向の位置変化の時系列データに対し、体肢間協調研究で広く採用されている相互再帰定量化分析(Cross recurrence quantification analysis; e.g., [4])を実行し、両手の協調の安定性を再帰率、結合強度を最大線長という指標で評価する [4]。

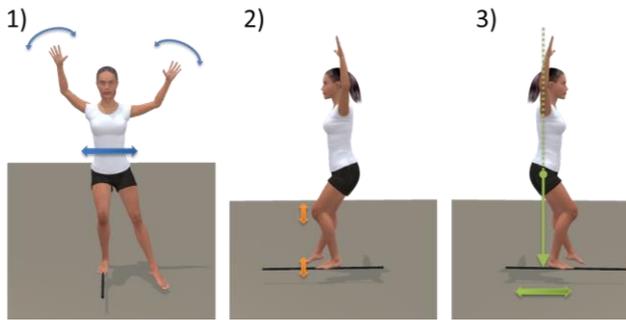


図 2 本研究の仮説：

- 1) 水平方向, 2) 垂直方向, 3) 前後方向

実験参加者

3年以上のスラックライン経験と指導者としての経験も有する経験者1名(40歳, 男性, 身長175cm)と, スラックラインを始めたばかりの初心者1名(30歳, 男性, 身長174.5cm)の2名が参加した。実験手続きは, 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, 実験参加者には, 同意のもと実験に参加してもらった。

装置

実験は, スラックライン専用の装置 SLACKRACK300 (GIBBON SLACKLINES, 長さ3m, 高さ30cm)を使用して実施された。身体動作の計測には, 光学式3次元モーションキャプチャ装置 (OptiTrack V120: Trio, NaturalPoint, Inc.) が使用され, データは120Hzでサンプリングされた。反射マーカーは, 両手の人差し指の先に取り付けられた。

手続き

実験参加者には, できるだけ長く片脚立ち課題を続けてもらった。疲労の影響を最小限に抑えるため1セッションは3分とし, 適宜, 休憩を挟みながら, 5セッション繰り返してもらった。

データ分析

本発表では, スラックラインの身体技能レベルを評価する指標として, 連続して片脚立ちを持続できた時間(持続時間)を求めた。具体的には, 5秒以上持続できた試行をカウントし, 各試行の持続時間を求め, 平均値を求めた。

仮説1) 両手の協調性を定量化し, 検証するため, 両手の水平方向の位置データに対して, 次のような分析を行った。まず, 片脚立ち課題を15秒以上持続できた試行のみを抽出し, 試行開始直後の5秒間と終了直前の5秒間は定常的な状態でない場合が多いため分析対象から除外した。残された区間を5秒ずつに分割し, 5秒間の分析区間を抽出した。以上の手順で抽出された両手の時系列データは, 平滑化後, 以下に示す相互再帰定量化分析により定量化された。

本研究では, 両手の協調性を相互再帰定量化分析によって算出される再帰率, 最大線長という指標で評価した。再帰率は体肢間協調の安定性(確率的なノイズの程度), 最大線長は体肢間協調の結合強度(外乱に対するアトラクター強度)として解釈されている[4]。これらを上記の5秒間の分析区間ごとに求め, 実験参加者ごとに平均し比較した。分析には, R “crqa” package (version 1.0.6)[5]を用いた(遅延時間200, 埋込み次元3, 半径25)。

結果・考察

図3は, 左右の手の水平方向の位置変化(20秒間)を示した時系列である(上: 経験者, 下: 初心者)。時系列からも両手の協調関係について, 経験者では一定の協調関係を保ち協調していること, 初心者では両手が別々に動き, ときに交差していること, が見てとれる(図3)。

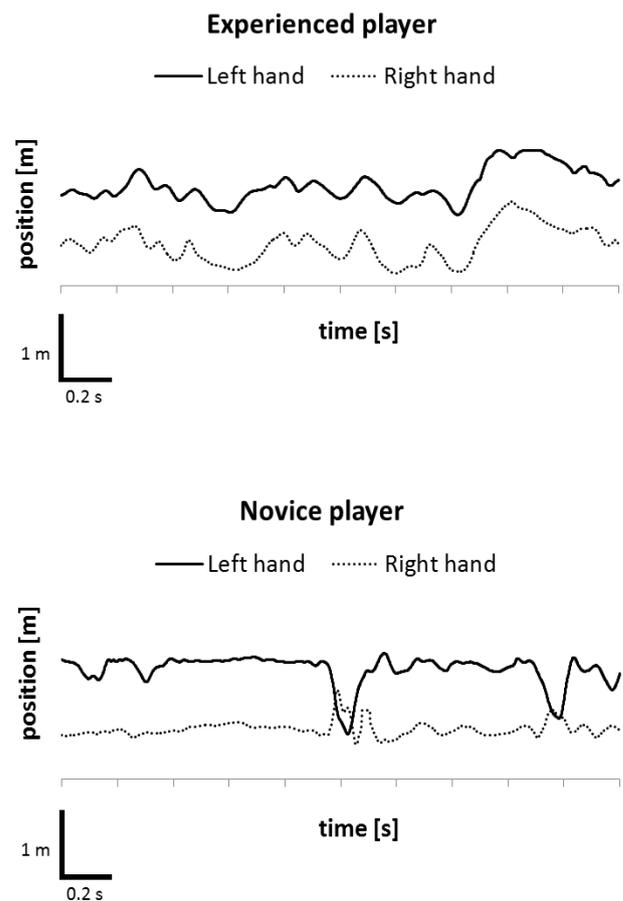


図 3 両手の水平方向の位置の変化：
上) 経験者, 下) 初心者

図 4 は、片脚立ち課題の持続時間を実験参加者ごとに平均した値を示している。経験者は平均 107.25 秒、初心者は平均 20.39 秒、と経験者のほうが 5 倍以上長く片脚立ちを持続できていた。この結果より、片脚立ち課題における技能レベルが 2 名の実験参加者で大きく異なることが明らかとなった。

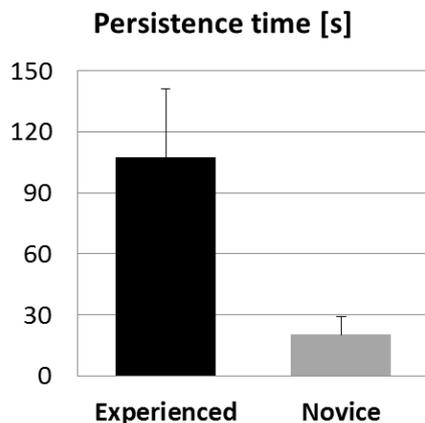


図 4 片脚立ち持続時間 (エラーバー: 標準偏差)

図 5 は、両手協調の安定性を指標する再帰率を実験参加者ごとに平均した値を示している。経験者は平均 22.95%，初心者は平均 17.01%，と経験者のほうが、再帰率が高かった。この結果より、片脚立ち課題で、経験者のほうが両手の協調が安定していることが示唆された。

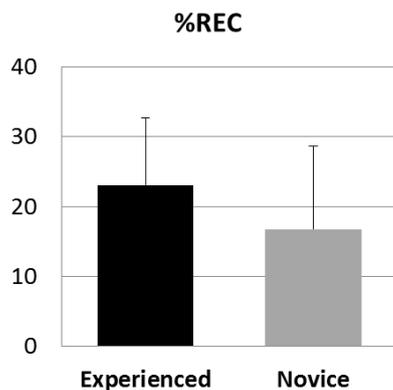


図 5 再帰率 (エラーバー: 標準偏差)

図 6 は、両手協調の結合強度を指標する最大線長を実験参加者ごとに平均した値を示している。経験者は平均 126.37、初心者は平均 70.67、と経験者のほうが、最大線長が長かった。この結果より、片脚立ち課題で、経験者のほうが両手の協調の結合が強いことが示唆された。

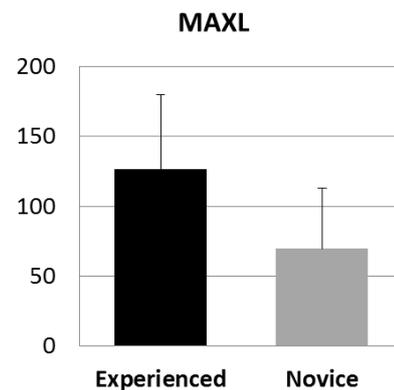


図 6 最大線長 (エラーバー: 標準偏差)

以上の予備実験の結果より、スラックラインの身体技能レベルと両手の協調性に関連性があることが示唆された。このことは仮説 1) の通り、スラックラインの片脚立ち課題においては、経験者は両手を左右に協調させることで、質量中心の水平方向の位置を調整し、動的にバランスを保っている可能性を示唆している [6]。

今後の課題

本発表では、スラックラインの基本的な身体技能を明らかにするため、経験知に基づいて仮説を生成し、その一部を予備実験のデータから検証した結果について報告した。予備実験の結果、部分的に仮説を支持する結果が得られ、技能レベルが高い経験者のほうが両手の協調性が高いことが示唆された。今後、この可能性を量的に検討するため、サンプル数を増やした本実験を行う予定である。

本発表で検討した仮説は暫定的なものであった。そのため、今後、この仮説自体についても再考し、アップデートをしていく予定である。具体的には、スラックライン熟達者やプロ選手へのインタビューといった方法によるアプローチも視野に入れている。

このように、本研究では、実践と学術を循環させながら身体知へとアプローチしていく方法論を重視している。つまり、当事者らが実践の現場で培ってきた経験知や現場で抱えている課題を学術的な研究の俎上に乗せ、エビデンスを蓄積し、課題を解決し、再び実践へとフィードバックしていく…という循環である。さらに、実践へのフィードバックの結果、新たに生じる仮説や問題を、再び学術的研究の中で検討していくことで、現象の理解は深まると考える。このような方法論自体を洗練させていくことも今後の長期的な目標である。

参考文献

- [1] Granacher U., Iten N., Roth R., and Gollhofer A.: Slackline training for balance and strength promotion. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 717–723, (2010)
- [2] Huber P., and Kleindl R.: A case study on balance recovery in slacklining. *ISBS-Conference Proceedings Archive*, (1990), 1–4, (2010)
- [3] Keller M., Pfusterschmied J., Buchecker M., Müller E., and Taube W.: Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22(4), 471–477, (2012)
- [4] Pellecchia G. L., Shockley K. D., and Turvey M. T.: Concurrent cognitive task modulates coordination dynamics. *Cognitive Science*, 29(4), 531–57, (2005)
- [5] Coco M. I., and Dale R.: Cross-recurrence quantification analysis of categorical and continuous time series: an R package. *Frontiers in Psychology*, 5, 510, (2014)
- [6] Kodama K., Kikuchi Y., and Yamagiwa H.: Whole-body coordination skill for dynamic balancing on a slackline, *Proceedings of Second International Workshop on Skill Science*, pp.47,(2015)

スキルとしての日本酒の味覚言語化

福島宙輝¹

Hiroki Fukushima¹

¹慶應義塾大学

¹Keio University

はじめに

本稿では、日本酒を例題に、スキルとしての味覚の言語化を検討する。

スキルとしての味覚言語化を考える上でも大きな問いのひとつは、「味わいを言語化するには、何を語らなければならないか」とものになるだろう。本研究ではこの問いに対して、「味覚言語化の熟達者は何を語っているか」、「味覚言語化の初心者にはどのように言語化を支援できるか」というふたつの観点からアプローチする。具体的には、言語記号を用いた事態構成のなかでも重要な役割を果たす名詞と動詞、副詞の3つの品詞を対象に、名詞・動詞は言語化支援方略を、副詞については熟達者による音象徴語（オノマトペ）の使用を分析する。

感覚と言語記号の関係、すなわち記号接地問題 [Harnad 1990] は近年、言語獲得に応用され、[今井ら 2015]、あるいは機械学習の文脈ではマルチモーダルな入力情報による創発的な記号過程が検討されており [長井&中村 12]、旧来記号論、言語学で理論化されてきた「二重分節」の概念などが実装的に応用されている [谷口&榎木 15]。しかしマルチモーダルとは言え、味覚と嗅覚については実装されていないのが現状である。

たしかに、直観的には味覚や嗅覚が言語記号、あるいは記号的な環境の認知に特に役立っているようには思えず、視聴覚の優位性は確かなものである。しかし、人間の記号系において味覚、嗅覚が視覚や聴覚の概念形成にも寄与することは明らかであり（例えば、[Lakoff & Johnson 80, Lakoff 87]）、人間の感覚情報を基盤にしたマルチモーダルな記号過程を考える上では味覚、嗅覚を含めることは必須である。

味覚記号接地の困難さ

機械学習の分野において味覚、嗅覚の研究が進行しない原因の一つには、センシングの困難さが考えられる。味覚、嗅覚は化学感覚であり、実装にはハード面での困

難さがある。しかしセンサの問題を解決しても、視覚や聴覚のように記号過程を解明できないものと思われる。

その要因は弁別閾、閾値、経験と学習の問題など生理学的な要因を含んで検討すれば多岐に渡るが、本研究ではとくに言語記号との関連を論じたい。筆者らが味覚及び嗅覚の言語的な記号過程に関してその阻害要因として考えるものは以下の二点である。

- 味覚、嗅覚の記号過程は、視覚や聴覚に比べてトップダウン情報が優位であること
- 感覚情報をカテゴリ化し記号対象を同定できたとしても、それに対応する記号（表意体）が自然言語には十分に存在しないこと

この問題群に関して、本稿では味覚を中心に議論する。まず以下でこの二点を概説し、次項以降でその解決に向けた理論的枠組みを示す。

(1) 第一の要因

人の味認知が単なるセンサ情報の分類では済まされない背景には、味覚認知におけるトップダウン情報の優位性がある。

ここでのトップダウン情報は多岐にわたるものであるが、比較的低次なものとしては、食物嫌悪学習 (taste aversion learning/ conditioned taste aversion) や味覚嗜好学習 (conditioned taste preference) などの、味覚と内臓感覚との連合学習が挙げられる [山本 08]。また味覚と嗅覚、味覚と視覚の間にも連合学習が成立することも明らかになっており、味覚認知は対象の見た目（果物の色など）や、パッケージのデザインなど対象への先入観によっても容易に変容するという特徴を持つ [日下部 & 和田 11]。

このように、基本的な味認知のレベルから、味覚以外の情報や先入観、知識などの認知的要因が、味覚認知に対してトップダウン的に影響を与えることは現在では広く知られている [Rolles 09]。

従って、味覚の記号表象過程（味覚を記号的にどう表現するか）、記号接地（味覚と言語記号をどうつなげるか）を考える上では、ボトムアップ的なセンサ情報処理のみでは味覚の特性を反映できないこととなる。

(2) 第二の要因

第二の要因は、言語とカテゴリに関するものであり、端的に言うならば言語記号に対する指示対象の不在あるいはカテゴリ化された感覚に対する言語記号の不在という問題である。すなわち知覚情報をカテゴリ化することで指示対象を切り出すことができたとしても、我々の使用する言語（少なくとも日本語）の中には味覚のカテゴリに適する言語記号がごく少数しか存在しないということである。

自然言語は、概して、視覚的な対象（シニフィエ）に対して、聴覚的な音声（シニフィアン）を対応させるといふ、いわば視聴覚優位の記号系であり、味覚を直接表象する語（シニフィアン）は極めて限定的である。瀬戸らの一連の研究[瀬戸 03; 瀬戸ら 06]は、日本語で味を表現することば（「味ことば」）を網羅的に収集し分析した嚆矢といえるものであるが、そこで示された分類図（p.29）を見ても、直接的に味覚を表現することばがいかに限定的かを知ることができる。

言語が異なればカテゴリ化のしかたが異なる[Taylor 89]ように、モダリティ（五感）が異なればカテゴリも異なる。例えば、味覚世界と視覚世界を比較すれば、そのカテゴリ化の粒度に大きな差があることは容易に創造できる。視覚・聴覚の言語表象と味覚・嗅覚の言語表象は、異なる記号システムによるものと考えべきである。

人が自らの環境世界に生起する事象を把握し、主体的に事態構成をしていく第一のプロセスは、「モノ」的世界の表現、すなわち名詞世界を表現することによる世界の分節化の実現である。

世界の分節化について深谷ら [深谷&田中, 1996; 1998]は「差異化」「一般化」「典型化」の相互作用による概念形成論を提唱するが、味覚においてもこの原理は共通している。味覚の表現においても、まずは味の要素として何が感じられるかを表現することが目標となる。これは味覚の知覚対象を把握し、差異の体系を自らのうちに構築するというプロセスである。味覚を表現しようとするならば、味Aと非・味Aを差異化し、同時に一般化と典型化を図る相互連関を起こすことが求められる。

味覚の名詞表現支援

味覚の名詞表現支援を考える際に、まずもつて必要なのは名詞であろう。味わいを表すことばとして典型的なものは、ワインのテイスティング・ワードである。ワインはその歴史的背景から、テイスティング・ワードの体系化がなされ、他に類を見ない表現技法が確立されている。テイスティングとサービングのプロであるソムリエは、100を超すテイスティングと、それに紐づくべき香りの対応を記憶し、ワインの複雑な香りの中からその構成要素としてのテイスティング・ワードを的確に検出する。

米のワインと称される日本酒には、これまでテイスティング・ワードのような表現は存在しなかった。日本酒の醸造において重視されたのは品質管理のための異臭検知であり、「老香(ひねか)」や「日光臭」といった管理用語が発達した一方で、魅力的な味わいを表現することばはなく、「甘い・辛い・フルーティ」などといった貧弱なことばで表現されているのが現状である。

このように、そもそもの表現手段、駒としての表現語彙がないという状況において、味わいを表現するのは土台無理な話である。しかし裏を返せば、記号表現の確立していない知覚対象に対してどのような支援を行えば表現が可能になるか、という問いをたてることができる。

本稿では詳細は割愛するが、筆者はこれまでに名詞表現の支援方略として事典形式の支援を試みた。味わいに限らず、からだを用いた学びを起こすには、新たな変数としてのことばが重要である[諏訪, 2015]。ことばの獲得により世界を観る眼、からだが変わり、新しいからだは新しいことばを産むからである。こうしたサイクルの入り口として、筆者は事典を通じた学びを提案する。

ただしこの際用いるのは、通常の事典や辞書では不十分である。辞書は、ある事柄に普遍的な“意味”を記述したものであり、編集者個人の意味づけはできるだけ排除される。しかし身体知の学びにおいては、他者の意味づけを追体験できることのほうが重要である。

関係性を表現する動詞の世界

我々の用いる自然言語は、視覚情報によるカテゴリに対して聴覚情報としての音素の組み合わせを対応させたものが主要である。わけてもこれはモノ的世界を表す名詞表現において顕著である。本章までに我々は、味覚表現におけるモノ的世界を検討した。しかし留意しておかなければならないのは、例えば「リンゴの味」といったとき、そこでは味覚による世界の分節化は行われていないということである。味覚での世界の分節化が行われている部分があるとするならば、それはいわゆる五味や、

その複合体としての「コク」程度である。この点を瀬戸 [2003; 2005] はメタファ研究の観点から「甘い／辛い／酸っぱい／苦い／塩辛い／旨い」といった基本の表現以外は、味わいの表現がすべて比喩であることを指摘する。

このように味覚と世界の分節化を考えると、他のモノ的世界と同様に味覚も独自に差異化・一般化・典型化の体系を持つか、あるいは階層的カテゴリ体系を持つかは疑問である。この点については味覚を含む近感覚が、階層的処理体系を持たないために言語表現に馴染まないとする指摘もある [例えば、浅野 & 渡邊, 2014]。

関係性を語る

味わいの表現は、味わいの構成要素と、その関係性の記述から成る。味わいの構成要素とは、「旨み」や「コク」といった名詞や形容詞で語られる領域である。

一方、その要素がどのように関係しあっているかは動詞で表現されうる領域である。動詞世界は、モノではなくモノの動きや働き、そして概念を指示対象とするという特徴があるために、曖昧で多義的である。ひっしや、そうした動詞というものが根源的に抱える曖昧性と多義性を前提とし、適切な動詞表現を産出するためのツールとして、「日本酒味わい図式」を提案した (原稿末図) [福島2013]。

動詞は、コト世界の表現を支える存在である。動詞の機能とは、端的に言えば図式構成機能である (田中 & 深谷, 1998)。図式構成機能 (schema-forming function) とは、事態を構成するために必要な要素 (項) の配列を構成し、個々の項に意味役割を割り振る動詞の働きである。図式構成機能によって、状況記述のスクリプトが提供される。ここでは動詞自体に確たる“意味”があるのではない。文中の名詞句などの要素を変数とした時に、動詞は単純で曖昧な関数としての意味構成機能を持つことに注意したい。動詞の意味づけプロセスは、強く個に依存する。動詞は無限の状況に対して変数に構成図式という関係性を与え、我々の動的な認知を可能とする。

副詞世界の味覚表現

味わいを表すオノマトペ

ここでは副詞世界の中でも音象徴語に注目する。音象徴語は認知的な際立ちの小さい味覚感覚に対して参照点構造を与えると考えられるが、これまで何のために、何を表現するために音象徴語が用いられているかという点

は明らかにされてこなかった。

筆者は、味覚の言語化の熟達者がどのように音象徴語を用いているかを、ワインと日本酒の味覚表現コーパスの分析から分析した。結果として音象徴語の使用原理に関して以下の知見を得た [福島2016]。

まずワインのコーパスからは、味ことば分類における場所や作り手、製造プロセスなどの「状況表現」に含まれるようなもの、または価格などの定量的な要素は、音象徴語によって表現される頻度が低いことが示された。この傾向は、語は少ないものの日本酒においても確認された。

一方、日本酒、ワインに共通して音象徴語を含む文に頻度が高かったのは、味ことば分類表における「食味表現」であった。この点に関して、ワインコーパスからは、個別具体的な味の要素ではなく複合的な食味表現が共起しやすいことが示された。日本酒コーパスの分析からは、食味表現の中でも口に入ってから時の系列で言うならば「最初と最後」、すなわち味が感じられる瞬間や現れる様子、そして喉を通るさまやその後の口中の感覚を表現するために音象徴語がより重点的に用いられることが示された。

音象徴語の中間的参照枠としての機能

筆者は、ワインと日本酒の味覚表現において、音象徴語が参照枠として働くということを明らかにした。特に、日本酒では、味わいの中でも香りの「現れ方」や「消え方」により強い共起が示された。日本酒の基本味である甘味、旨味、酸味、苦味、渋味、あるいは基本的な香りとしてのリンゴやバナナ、メロンといった語はどれも有意差が検出されなかったことは、実際に際立って感じられる味の要素には音象徴語は必要とされない、すなわち参照枠を経由せずとも記号接地 (感覚と言語を繋ぐこと) が可能であることを示している。「そこにある味」に対して「出てくる味」や「消えていく味、その消え方」の暗黙性が高いことは明らかであり、その暗黙的であいまいな感覚を表現するために、参照枠として音象徴語が用いられたものと考えられる。

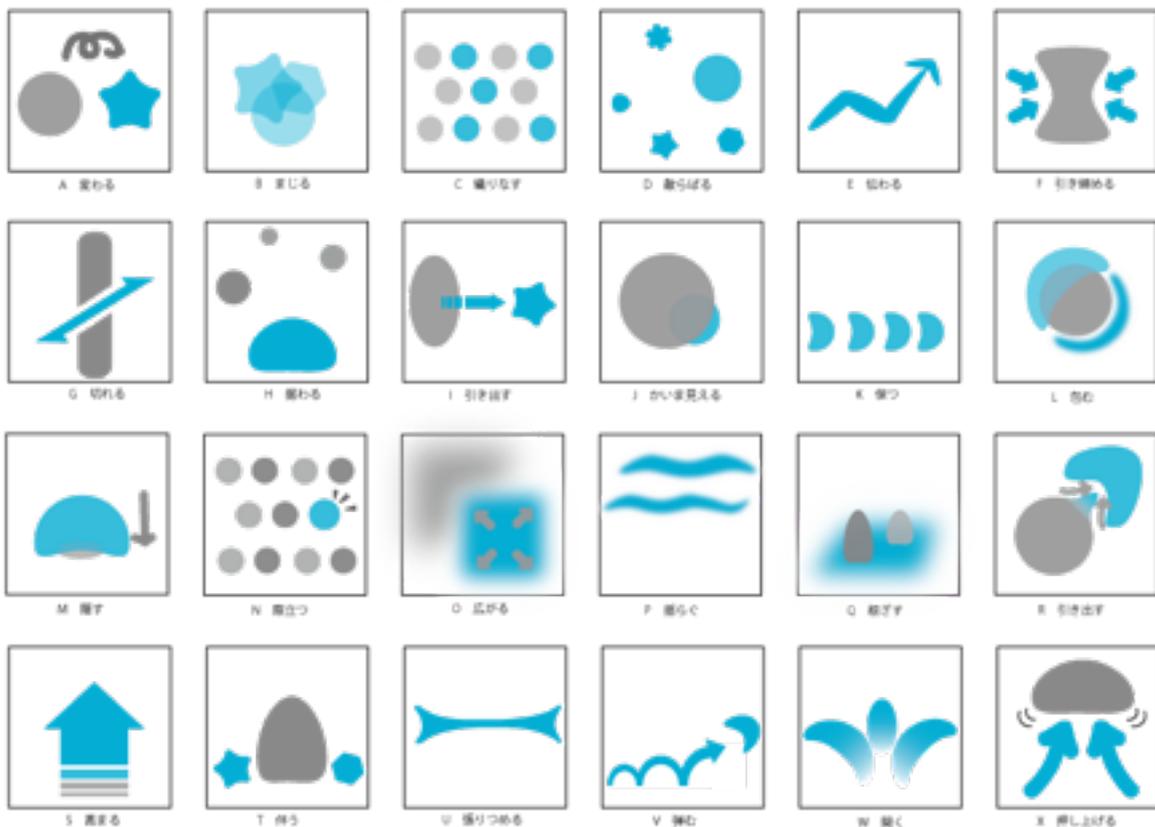
参考文献

- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 42(1), 335-346.
- Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind* Cambridge Univ Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by* University of Chicago press.
- Rolles, E. T. (2009). From reward value to decision-making: Neuronal and computational principles. In J. Dreher, & L. Tremblay (Eds.), *Handbook of reward and decision making*

() Academic Press.
 Taylor, J. R. (2003). Linguistic categorization Oxford University Press.
 今井, む., & 佐治, 伸. (2014). 言語と身体性. 東京: 岩波書店, 2014.7.
 山本隆. (2008). 味覚の神経生理学. In 近江政雄 (Ed.), 講座〈感覚・知覚の科学〉(4) 味覚・嗅覚 (pp. 20-37). 東京: 朝倉書店.
 日下部裕子, & 和田有史. (2011). 味わいの認知科学: 舌の先から脳の向こうまで 勁草書房.
 深谷昌弘, & 田中茂範. (1996). コトバの〈意味づけ〉論 紀伊國屋書店.
 瀬戸賢一. (2003). ことばは味を超える : 美味しい表現の探究. 東京: 海鳴社.
 瀬戸賢一編著, 山本隆, 楠見孝, 澤井繁男, 辻本智子, 山口治彦, 小山俊輔. (2005). 味ことばの世界 海鳴社.
 田中茂範, & 深谷昌弘. (1998). 〈意味づけ論〉の展開 紀伊國屋書店.
 諏訪正樹, & 藤井晴行. (2015). 知のデザイン-自分ごととして考えよう. 知のデザイン-自分ごととして考えよう,
 谷口忠大, & 榎木哲夫. (2005). 身体と環境の相互作用を通じた記号創発 : 表象生成の身体依存性についての構成論. システム制御情報学会論文誌, 18(12), 440-449.
 長井隆行, & 中村友昭. (2012). マルチモーダルカテゴリゼーション : 経験を通して概念を形成し言葉の意味を理解する口

ボットの実現に向けて(記号創発ロボティクス). 人工知能学会誌, 27(6), 555-562.

日本酒味わい図式 Nihonshu Ajiwai Chart



身体知の言語化とその段階モデル 間身体性に注目して

The Stage Model to Verbalization of Embodied Knowledge Focusing on the Intercorporéité

山田雅敏^{1,3*} 里大輔² 坂本勝信¹ 小山ゆう² 松村剛志¹ 砂子岳彦¹ 竹内勇剛³
Masastoshi YAMADA^{1,3} Daisuke SATO² Masanobu SAKAMOTO¹ Yu KOYAMA²
Takeshi MATSUMURA¹ Takehiko SUNAKO¹ Yugo TAKEUCHI³

¹ 常葉大学

¹ Tokoha University

² 浜松大学

² Hamamatsu University

³ 静岡大学創造科学技術大学院

³ Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

Abstract: Several studies have reported that the meta-cognitive verbalization is effective to acquire the embodied knowledge as Tacit Knowledge in sports. On the other hand, Research issue that is left are as follows. Few studies have focused on the interaction between learner and teacher. Therefore, it is important that the interaction about the effectiveness of meta-cognitive verbalization to acquire the embodied knowledge in sports must be discussed. Purpose of this study is to build the stage model (X, Y, f, g) of the mathematical coaching process between learner and teacher by functional. Thereby, it is possible to describe the coaching process of embodied knowledge that is very difficult or impossible to explain by verbalization.

1 はじめに

1.1 研究の背景と身体知の定義

スポーツは、生涯にわたり心身ともに健康で文化的な生活を営む上で、不可欠のものとなっている（文部科学省：スポーツ基本法平成 23 年法律第 78 号）。スポーツの持つ重要性は、幼児の発育から青少年の健全な育成、また、高齢者対象の生涯スポーツによる健康増進、そして、経済発展への寄与から国際友好への貢献など多岐にわたる [1]。加えて、東京五輪開催も決定しており、国民のスポーツに対する関心が、今後ますます高まると予想される。

このような社会的背景のもと、スポーツ活動を通して、身体が学び知る「身体知」は、多くの研究領域で注目されており、学術的重要性も高まっている。身体知は、ことばによる表現が難しい、もしくは、不可能な暗黙知に位置づけられる [2][3]。そのため、身体知の意味するところは、学問領域により、多少の異なりを見せるが、本研究では、古川らに倣い、「訓練によって身体が覚えた高度な技」と定義する [4]。

1.2 身体知の熟達と意識

高度な技を身体に覚えさせるためには、訓練の動作によって生じる身体感覚を、強く意識することが重要となる [3]。

たとえば、研究代表者が、長年コーチを務めるバスケットボールのフリースローを例に挙げてみよう。シューターの前に立ちただかるディフェンスはおらず、ゴールまでの距離は、一定である。この条件下で、シュートがすべて決まるかと言えば、入る場合もあれば、落ちる場合もある。時には、リングにすら当たらないときもあるだろう。もし選手が何も考えずに、ただ闇雲にシュートを打っていたならば、熟達は期待できない。フリースローを何度も繰り返す再現期間の中で、強い意識により身体がシュートが入るという感覚を覚え、確率良くシュートを決めることが可能になる。

藤波は、身体知の獲得のためには、意識的な練習が必要であるとした上で、(1) 学習者が気づきにくい点をデータで示す、(2) 用具を変えて異なった感覚を体験させる、(3) 動作の原理を考えさせる、などの点に配慮する必要があることを指摘している [5]。また、市川らのボールジャグリングの身体スキル獲得過程に注目した研究によると、高くパフォーマンスが向上した参加者の時間間隔の安定性と、意識的に着目していた点には、特徴的な差異があるものの、それらの相互対応の可能性を示唆している [6]。

*連絡先：常葉大学健康プロデュース学部健康柔道整復学科
〒 431-2102 静岡県浜松市北区都田町 1230 番地
E-mail: yamada@hm.tokoha-u.ac.jp

1.3 身体知の熟達と言語化

一方、ただ身体感覚に意識を向けるだけではなく、積極的に身体の動きや体感について、言語化する試行が、身体知の熟達に関係するとの報告がされている。諏訪は、「身体知とは身体に覚え込ませることが重要な“知”であり、それを必ずしも言語化する必要はない。もしくは、言語化の試みは身体に覚え込ませることへの障害になるかもしれない」という多くの考え方があることを重重に理解した上で、次の仮説を立てている [7].

本来言語化を行うことが難しい“身体知”を敢えて言語化しようとする試みが、身体知の獲得を促進するという仮説を有している。つまり、言語化は身体知獲得のための有効なツールであるという主張である。『身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化 (2015)』

諏訪らは、ボウリングに関して、学習者の身体部位の単語数・概念間関係の増加、詳細な意識から全体的な意識への変化が、パフォーマンス向上に関連していたことを明らかにしている [8]。また、ダーツ投げについて、多くの概念の関係を定常的にことばにできるようになることと、パフォーマンスの急上昇に深い関係があることを示唆している [9][10]。その他、スポーツに関しては、スノーボーディング [7] やスポーツフィッシング [11] についても、同様の研究成果を報告している。加えて、研究代表者のこれまでの研究成果においても、疾走上達に関する言語化の変化と、パフォーマンス向上には強い関係があることが、実験的検証により明らかにされた [12]。

以上、身体知の熟達に対する言語化の研究については、多くの知見が蓄積されており、認知科学・人工知能学の研究領域の発展に寄与する成果をあげていると言えよう。

2 問題提起

2.1 身体性の枠組み

従来の特長は、主に学習者の身体性に焦点が当てられていることにある。本研究における身体性とは、認知科学事典に倣い、「知的な行動の多くが、身体と環境の自律的な相互作用から生じる」という考えを意味している [13][14]。

また、身体性については、哲学においても研究対象とされることが多く、たとえば、フッサール現象学により、身体性を徹底的に追求し、現象学的還元を行ったメルロ＝ポンティ (1959) が代表として挙げられる [15][16]。近年、この身体性の概念は、ロボットの開発・設計でも応用されており、環境の中でアフォーダンスを知覚しながら、様々な行動パターンを生み出すことが可能となっている [13]。

もちろん、当該研究領域においても、身体性は重要な概念となる。藤波は、認知科学・人工知能学の歴史を紐解いた上で、人間は何かしらの「環境」に埋め込

まれ、周囲から情報を取り出し、生きている以上、環境や状況の影響を考慮することが、必要不可欠な条件であると指摘している [5]。また、諏訪は、未だ知覚できていない環境要因が常に存在するとした上で、「(身体知の熟達とは) 身体と環境の関係を常に再構築し続ける漸進的プロセス」と主張している [7]。

これらの意見を鑑みると、従来の諸研究における身体知の研究では、主に学習者の身体と環境との二項関係に焦点が当てられていたと言えよう。

2.2 残された課題

残された課題は、先行研究では、学習者の身体性のみが、その対象となり、教授者は、特に議論されてこなかったことにある。しかし、本来のスポーツ現場に照らし合わせるならば、学習者が具体的経験をする環境には、身体知に精通した教授者がいることが一般的である。特に、学習者自身が動作を確認できない場合、教授者からの言葉によるフィードバックが非常に重要となる [3]。たとえ教授者が存在しない場合であっても、対象となる身体知に関する教材や資料・映像など、何かしらの媒体を通して、教示されているだろう。

たとえば、市川らは、実験参加者に対して、ジャグリング用のボールの投げ方について、図解された解説シートを配布し、エキスパートの実践映像を視聴させている [6]。また、諏訪らの報告には、ボウリングに関する教示について詳しい記載はないが [8]、ボウリングは、日本において、一般的に広く普及されているスポーツであり、約9か月間 (204日) ボウリング場に通ったと報告されていることから、スコアの高い競技者の動作を観察する機会が多々あったと推測される。ダーツ投げも同様に、8ヶ月間56日の期間に、413ゲームを友人と競いながら行っていると報告されており、学習者は、他者のパフォーマンスを身近で観察していたことだろう [9][10]。さらに、山田らのスポーツフィッシングに関する文献では、元プロアングラーの熟達者に帯同し、ポイント移動を行っており、熟達者のことばが、学習者のメタ認知記述の言語化に対して、影響を与えたと考えられる [11]。

次に、学習者の有限なる時間 (特に、競技スポーツの場合) をいかに効率良く使い、パフォーマンス向上に結びつけるかは、スポーツのコーチングにおいて、無視することができない。たとえば、大武らは、投球動作のパフォーマンス向上に効果があるとされる言語化されたスキルを伝達する介入群と、伝達しない統制群に分け、投球の球速変化について、検討を行った。その結果、球速の変化に有意な差はなかったものの、両群ともに球速が向上した。一方、個人における球速変化の人数は介入群が多いことから、言語化された身体技能の伝達が、パフォーマンスの向上を短時間で引き起こす場合があることを報告している [17]。

ここで、もし仮に、学習者のみの言語化によって、対象となる身体知がある程度上達したとしても、その道を専門とする教授者が評価した場合に、正しい方向に向かっていないケースも考えられる。また、教授者から見て、間違った言語化が修正されず、続けられた場合、学習者の身体知の熟達を妨げる場合も十分あり得

る。さらに、良い身体感覚を生み出した言語化が、次の段階で必要であるとは限らない [18]。この場合、その言語化自体が、常に変化し続ける身体と環境との関係を再構築することへの足枷となる可能性も考えられる。

以上のように、身体知の熟達に対する言語化を探究するにあたり、教授者と学習者の間（あいだ）に生じるインタラクションを考慮することが、当該領域における残された課題であると考えられる。

2.3 間身体性への端緒

身体の学びにおいて、教授者と学習者の身体の間（あいだ）に生じるインタラクションは、身体を視覚的に捉えることができる物理的な身体の形状だけで起こるものではなく、両者の体表を超えて広がる身体空間を含む [13]。この両者の体表を超えて、間（あいだ）に広がる身体空間に生み出される身体性こそ、メルロ＝ポンティが伝えた「間身体性¹」である [16][19]。阪田は、認知科学の視座から、身体の学びを論ずる中で、「我々の身体は他者からの影響を受けつつ、その一方で、他者に主体的に働きかけながら、相互に含み合う関係にある」と述べた上で、教授者と学習者のそれぞれの拡張する身体が、相互に含み合い、交錯する地点に、（身体の）学びは位置していると強調している [13]。

ここで、教授者と学習者のインタラクションを取り上げることによって、メルロ＝ポンティが伝えようとした間身体性について、すべてを語るができないことは重重に理解しているが、本研究の試みが、当該領域における間身体性への端緒となればと考える。

本研究では、より認知科学的・人工知能学的なアプローチを目指して、両者のインタラクションを考慮した上で、身体知の熟達に対する言語化の数理モデルを構築し、モデルの妥当性について実践的検証を行うことを目的とする。期待される研究成果として、伝えることが難しいとされる身体知のコーチングを、数理モデルの構築によって段階的に分析できるため、身体知の熟達に関する解明の一助を担い、新しい知見が得られることが予想される。

3 段階モデルの構築

3.1 初歩的な歩行の指導の例

歩行を例にとって、初歩から高度へと熟達する過程から、モデルを模索する。たとえば、教授者から初歩的な歩行を学びたい学習者がいると仮定する（図 1 参照）。教授者の言葉がけによって、学習者にまず一歩目の歩行が可能になるように導くことを想定する。

教授者と学習者は、言葉のキャッチボールをしながら、段階的な歩行の熟達を目指す。はじめに、教授者が、「50cm 右足を出す。右足に体重を移し、左足を 50cm 出

して、左足に体重を移す」と指示する。その指示に対して、学習者はその通りに実行する場合もあれば、できない場合もある。ともかく、そのときの感覚を言語化してもらおうと、「左右にぐらぐらする」と言うかもしれない。それを聞いて、教授者は、次の指示「その左右のぐらぐらを大事にしながら、歩いてみよう」と指導し、学習者は再びそれを実行に移す。このときも、上手くいくこともいかないこともあり得るが、上記の過程を見てもわかるように、教授者は、学習者に対して、最初の具体的な数値を用いた指示から、学習者が歩行のときに感じた左右の振り子感覚を、伝えるようになる。なぜならば、その振り子感覚が、教授者の求める歩行を可能にする身体感覚だからである。

そこで、この歩行訓練の例をもとにして、モデルを構築を試みる。まず、教授者による指示「50cm 右足を出す」を、指示 x とする。おそらく 50cm でなくともよいはずで、48cm だろうが、51cm だろうが、大きな違いはさほどない可能性が高い。しかし、50cm が学習者にとって、最適な目安だったとすると、 x は極値を持つことが要請される。そして、 x に対して、実数に値をとる $f(x)$ を評価関数とする。この評価関数は、教授者の指示にいかにか近づけているかを評価するものであり、 $dx(t)/dt$ によって、評価の最も高い状態 x が決められる。すなわち、この評価関数の極値によって教授者の指示が表される。

$$\frac{df(x)}{dx} = 0 \quad (1)$$

これは、任意の微量だけ動いたとしても、関数の値が変化しない極値（定常）であることを意味する。

次に、教授者の指導を実行した学習者に、自らの身体感覚を言語化してもらおう。その学習者の言語化が、教授者が求める歩行の身体感覚に沿わないとき、さらなる言葉がけがなされる。一方、この身体感覚が簡単に学習者に伝わればよいが、往々にして困難な場合が多いのではないだろうか。なぜならば、この感覚こそが、言語化が難しい、もしくは、言語化が不可能な暗黙知に位置づけられる身体知のためである。

それゆえ、教授者は、その学習者に適した段階的な指導法を考案して、自らの身体感覚のいわば、コピー



図 1: 初歩的な歩行の指導の例

¹私の二本の手が「共に現前」し「共存」しているのは、それがただ一つの身体の手だからである。他人もこの共現前 (compréence) の延長によって現れてくるのであり、彼と私とは、言わば同じ一つの間身体性 (intercorporité) の器官なのだ / Maurice Merleau-Ponty : 哲学者とその影 (1985)

を試みる。コピーしたい技術は、具体的な指示「50cm 右足を出す。右足に体重を移し、左足を 50cm 出して、左足に体重を移す」ではなく、ことばによって伝え難い歩行に伴う抽象的な身体感覚である。この際、教授者の停留値と、学習者の曲線が異なるときは、齟齬となるので、教授者は学習者の認識に沿って、指導をする。この様子は、図2のように、汎関数の停留値を求める変分原理によって表現できる。ここでは、停留曲線が一点に収束する場合を停留値とする。たとえば、時間などのパラメータを取らない場合がこれに該当する。なお、この停留値は、「自然の運動は、常に最も簡単で最短のルートを通る」という最少作用の原理²に従う[20]。

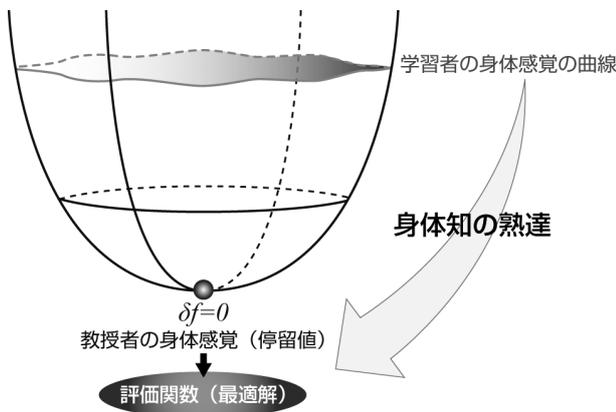


図 2: 身体知の熟達を表現した汎関数の模式図

3.2 教授者と学習者のインタラクション

次に、初歩的な歩行から、高度な歩行を目指して、教授者と学習者が言語的インタラクションによって、互いに身体感覚を共有していく様を表現する。はじめに、変数空間を設定し、教授者が要請する方向性を評価関数 f で示す。また、教授者の言葉による指導を x で表し、それを実行した学習者の言葉による感想の表現を y とする。指導表現 x と感想表現 y は、交互に交わされていき、次第に指導者の期待する目標に近づいていく。指導表現と感想表現は、何回か繰り返されるので、 $k = 1, 2, \dots, N$ に対して、 x^k, y^k とする。指導表現はいくつかの要素で構成されているとすると、

$$x^k = (x^k_1, x^k_2, \dots, x^k_{n_k}) \quad (2)$$

となる。ただし、 n_k は k 番目の指導の次元（指導の数）である。 y についても同様であるが、次元は異なる。 x^k_l は、 k 回目の指導の l 番目の指導である。さらに、 x^k_l が時系列に変化する場合は、 t の関数 $x^k_l(t)$ となる。たとえば、第 1 回目の第 1 番目の「まず右足を、50cm 前に出す」という指導は、時間によって、その動作が実現されていくので、時間の関数 $x^1_1(t)$ によって

²最少作用の原理: Principle of Least Action / 物事は常に最小の労力で起こることを意味する原理。この原理の発見が、力と運動の関係を表す方程式の定式化につながり、ポテンシャルエネルギーや運動エネルギーといった重要な概念を生み出した

表される。実は、パラメータ t は時間である必要はない。その事例に対して適切なパラメータを選んでよいものとする。指導者のアドバイスに対して、学習者がそれを実行に移した結果、どのように実現したかを同じ変数 x で表すものとする。その学習者の実行結果に対して、教授者の指導からどのぐらい隔りがあるのかを数値化できたならば、それは評価関数を設定したことにほかならない。 k 回目の指導への学習者の実行結果 $x^k(t)$ に対する評価を、関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ で表すならば、これが評価関数となる。この評価関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ に対して、作用積分 $I^k[x^k]$ を、次のように定めることができる。

$$I^k[x^k] = \int_{t_0}^{t_1} f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt) dt \quad (3)$$

この作用積分の停留値は、次のオイラー方程式、

$$\frac{df^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)}{dt} - \frac{df^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)}{d(dx^k(t)/dt)} = 0 \quad (4)$$

によって、導かれる。停留値は、教授者が要請する選手の動きである。それは単に指導 $x^k(t)$ を実行すればいいというわけではない。言葉による指導 $x^k(t)$ は、学習者が理解しやすい形に表した具体的な指示であって、教授者の伝えたい身体感覚は、その指示を忠実に実行した後、学習者によって、気づかれることが期待されている。学習者の気づきが不十分で、それが学習者の感想 $y^k(s)$ に表われると仮定する（ここで、 s は適当なパラメータとする）。そして、次に学習者の感想 y^k について、教授者は次の指示 $x^{k+1}(t)$ を与えることになる。そのためには、学習者の感想 y^k について、評価する必要がある。学習者の感想 y^k に対する教授者の評価関数を $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ とすると、

$$J^k[y^k] = \int_{s_0}^{s_1} g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds) ds. \quad (5)$$

となる。この作用積分（汎関数）の変分が、指導者の期待する動作を表すように、評価関数 $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ を設定する。教授者の指導 x^k と学習者の感想 y^k の間には、強い相関関係にあるが、個人差があるものと予想される。また、教授者の指導 x^k のもとの、学習者がそれを実行した感想 y^k に、次の教授者の指導 x^{k+1} が与えられて、それに対する学習者の感想 y^{k+1} がもたらされるという、 k による段階ができる。この段階は、教授者が学習者の熟達状況を観て、熟達がなされたらと評価するまで続けられる。モデルは、変数 x^k, t と評価関数 $f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$ および、変数 y^k, t と評価関数 $g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$ によるものなので、構築した段階モデルを (X, Y, f, g) と記すことにする [21]。ただし、 $X = (x^k(t), dx^k(t)/dt)$, $f = f^k(x^k(t), dx^k(t)/dt)$, $Y = (y^k(s), dy^k(s)/ds)$, $g = g^k(y^k(s), dy^k(s)/ds)$, $k = 1, 2, \dots, N$ とする。図 3 は、この段階モデルを表現したものである。学習者の言語化が、時間の経過とともに、教授者の停留値に、近づいていく様子が表

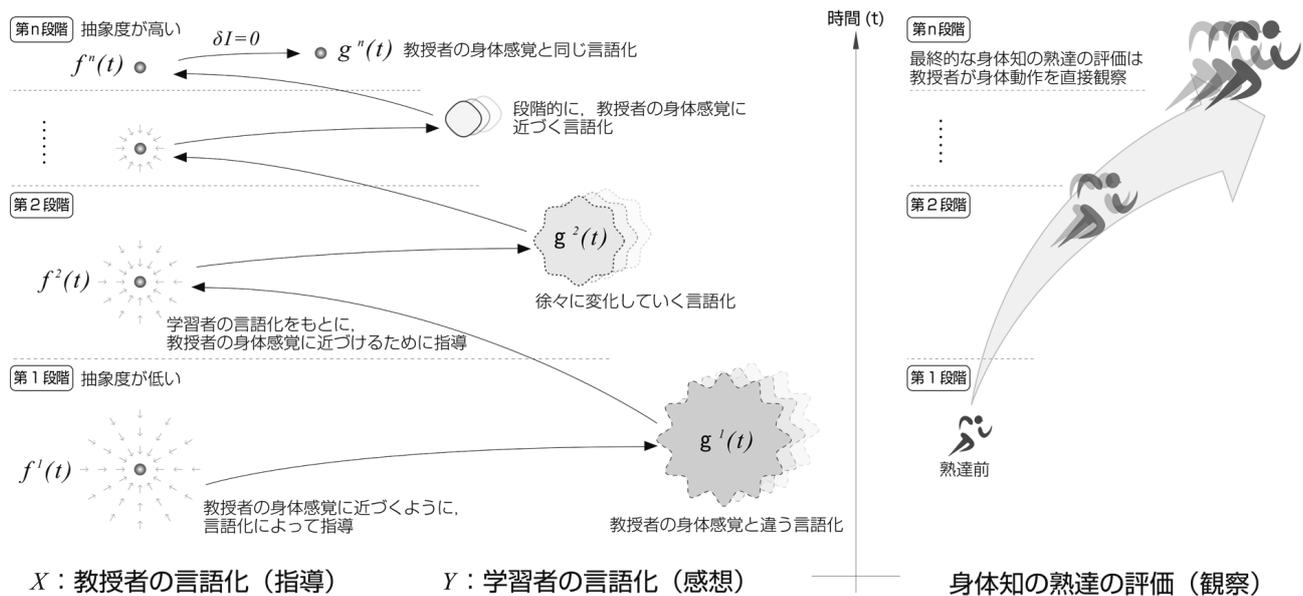


図 3: 指導の段階モデル (X, Y, f, g) と、身体知の熟達の評価 (観察)

現されている。

ここで、最終的に、学習者の身体知の熟達を評価できるのは、学習者の言語化ではなく、教授者が学習者の身体動作を観察することにある。なぜならば、教授者の期待と、学習者の身体知のズレが認識できる最終手段が観察だからである。よって、言語的インタラクションに限っても、モデルに資することが可能であることを確認したい。

3.3 関数化の工夫

教授者と学習者の言語的インタラクションにおけるポイントは、評価関数にある。これは、教授者の伝えたい身体感覚を陽に与える（明示的にパラメータを指定する）ことを意味するため、評価関数を有効に決めることが重要な課題となる。教授者の指導 X や学習者の感想 Y が、定量的な場合は関数化しやすい。しかし、インタラクティブなコミュニケーションは、時間の経過とともに、次第に抽象度が増していき、最終的に、熟達者でなければ、うかがい知れないような抽象度の高い感覚的表現になると予想される。特に、「鳩尾をはめる」「身体を一本に」など抽象度のとても高いわざ言語のような身体感覚の表現は、パラメータによる関数化に工夫が必要となる。その工夫には、次の2つの方法が考えられる。

一つは、感覚的表現に対して、あくまで定量的表現にこだわれば、身体動作の解析ポイントを押さえて、厳密に行う方法である。そのためには、複合的な水準による変数を決定する必要がある。その複数ある水準の合成的関数とは、テンソル関数である。 A_i という水準と B_j という水準によって、その合成的に得られる身体感覚をテンソル関数 C_{ij} とする。テンソル関数に対

して評価関数を与えることができる。しかし、理論上の記述はできるが、実践研究の段階においては、重心・加速度など複雑な計算が含まれる。

もう一つは、学習者の身体感覚の表現に対して、それを言語的な意味空間（以下、言語の意味空間）と捉えて、教授者が期待する身体感覚に近い言葉と遠い言葉のトポロジーを決める方法である。これは、いくつかのパラメータに整理された身体感覚を表現した空間となる。言語的意味空間の設定は、そのまま評価関数に反映するので、教授者と学習者双方にとって、参考になる空間モデルとなると予想される。

4 モデルの妥当性の実践的検証

ここで、身体知の熟達に関する数理モデル (X, Y, f, g) を理論的に構築できる見通しがついたことを確認した上で、実践的検証に移る。数理モデルは、数学の性質上、明晰性・論理性を有しており、信頼性は担保されている。一方、どのような数理モデルであれ、抽象化と本質的要素の抽出作業を通して、いったんは実践の世界を離れるが、それは再び、実践の世界と結び付けられることで、妥当性が確認されなければならない [22]。また、構築した数理モデルがより有意義のものであるためには、実践から何かしら新しい知見が得られることが求められる。そこで、本研究では、モデルの妥当性を検証するために、以下の実践を行った。

4.1 実践課題

実践課題は、立位姿勢（以下、立位）および、歩行動作（以下、歩行）である。この立位と歩行は、人が生

まれてから、生きていく中で自然に身につけた身体知である。そのため、これらの身体感覚を意識することはほとんどない。なぜならば、実際に、人は立つことができ、歩くことができるからである。それでは、熟達の伸び代がないのかということ、そうとばかりは言えない。実は、立位や歩行は、非常に複雑な姿勢・動作であり、身体が最適な筋運動の協調性と骨格の支持性を理解し、バランスを取りながら立ち、歩いている [23]。

一方、立位と歩行は、人間の基本的な身体動作であるが故に、スポーツの競技特性ごとに、理想とする形に違いがあることが分かっている [23][24]。そこで、本研究では、ラグビーやサッカー、バスケットボールといった、ミドル・パワーが必要とされるスポーツ種目に適した立位と歩行を対象とする。なお、ミドル・パワーとは、ハイ・パワー（一瞬にして大きなパワーを発揮する運動）と、ロー・パワー（運動時間が長くパワーが低い運動）の中間に位置し、運動時間が30秒～3分間持続するような力を意味する [1]。

4.2 教授者

教授者は、上記の立位と歩行に熟達し、学習者を正しく評価できることが求められる。そこで、本実践では、スポーツ教育学が専門の研究分担者（第2筆者）を教授者（以下、教授者）とした。教授者の略歴は、次の通りである。競技実績として、中学時代の100m全国チャンピオンをはじめ、高校・大学時代には、全国レベルで活躍した。現在は、大学および、実業団の陸上競技部監督に従事する傍ら、ドイツ・ブンデスリーガ所属のプロサッカー選手をはじめ、国内外のスポーツ選手を対象に指導をしている。速く走るための、身体の軸を作る立ち方³や、効率的な歩き方の向上を重視した指導により、静岡市内の高校を全国高校ラグビー大会初出場に導き、強化に貢献した。立位と歩行を熟達させる独自の指導方法が評価され、2015年日本ラグビーU-18・U-17日本代表コーチに就任し、現在に至る。

4.3 学習者

実験協力者（以下、学習者）は、本学女子バスケットボール部に所属する大学生（女子20.8歳±4.2）8名である。このうち、教育実習による不参加（2名）と、練習中による怪我（1名）の3名を除いた、計5名を対象に分析を行った。すべての学習者は、本実践を受けるまでは、本格的な陸上指導を受けた経験はなかった。なお、熟達者の指標として、学習者が全員女子であることを考慮して、教授者が指導する陸上競技部所属の大学生（女子20歳、以下、熟達者X）1名に協力を仰いだ。熟達者Xは、約20か月間の指導を受け、教授者の身体感覚と同じ立位と歩行であると評価されている。なお、熟達者Xは、県陸上競技選手権大会400mリレーで優勝し、東海選手権出場資格を獲得するなどの競技実績を有している。

³教授者は、この立位の状態を「ゼロポジション」と命名し、スプリント理論を構築している

4.4 教授方法

第1段階（2015/11/6）として、教授者が考案した立位と歩行のプログラムを学習者に課した。言語的インタラクション以外の要因があることを反駁するために、教授者の実演は行わず、言葉がけのみの指導とした（図4参照）。なお、第1段階の指導は、「踵で立って、10度体を傾ける」「その状態で、お尻を10cm手前に出す」など、なるべく具体的な数値を用いて、指導を行った。その後、トレーナー指示のもと、同じプログラムを継続し、自らの身体の動かし方や体感、気付きや感想、環境への知覚などをできる限りノートに記録した。教授者は、ノートを定期的に確認し、なるべく学習者が使用した言葉を使って、ノートへの記述による指導（2015/11/12の第2段階と、2015/11/26の第3段階の2回）を行った。



図4: 立位と歩行の指導風景（第1段階）

4.5 倫理的配慮

学習者の同意のもと、言語化促進前（以下、促進前）と言語化促進後（以下、促進後）に、スポーツ栄養士・管理栄養士の研究分担者（第4筆者）による身体組成計測（体成分分析装置 InBody720 使用）を行い、コンディションチェックを行った。また、スポーツトレーナーが全ての実践に帯同・指示し、安全に細心の注意を払い実施した⁴。なお、熟達者Xの身体組成計測は行わなかった。

4.6 実践期間と場所

実践期間は、2015年11月6日から12月5日であった。場所は、本学の屋外陸上競技場と屋内体育館で実施した。

5 身体知の熟達に対する評価

学習者の立位と歩行を評価するに際し、いかに優れた機器によって、動作解析を行ったとしても、長年その道を専門とした教授者の直接的な観察に勝る手法はない。しかし、教授者の大局的な観察は、主観的な評価

⁴本研究は、研究代表者の所属機関の平成27年度第2回研究倫理審査において承認されている

であるだけに、評価方法は多様化され、信頼性と妥当性を担保するには限界があるのも事実である [25]。そこで、信頼性について、それぞれ同日に 2 回ずつ撮影された立位と歩行のデータのひとつを評価し、一定期間をあけて、もう片方のデータを再度評価する平行検査法を用いて検討した。一方、教授者の評価に対する妥当性を検証するために、促進前後の立位と歩行の測定を実施し、臨床的見地から局在的な解析を行った。

5.1 立位と歩行の解析

5.1.1 測定方法

測定機器は、デジタルカメラ Panasonic DMC-FZ200 LUMIX を使用した。立位の測定方法は、前面、側面（左右）、後面の四方向から、全身が写る距離を保ち、それぞれ 2 回ずつ撮影（インテリジェントオートモード）した（図 5 参照）。歩行の測定方法は、無風状態のアリーナにおいて、1m 間隔にミニバーを設置し、20m の自由歩行（速さを一定に保つことを教示する以外は、自由に行う歩行）を実施した。定常の歩行を評価するのに適切な加速歩行路の距離を考慮し、デジタルカメラを中間地点（10m）に設置し、2 回の撮影を行った。デジタルカメラは、動画機能ハイスピードモード（120fpsHD）に設定し、右側面から撮影した。さらに、20m 歩行タイムを記録した（図 6 参照）。

5.1.2 解析方法

理学療法士の研究分担者（第 5 筆者）と相談の上、臨床評価の基準に則り、以下の解析を行った（図 7 参照）。

立位では、四方向の画像のうち、歩行と同方向である右側面に注目した。全身の傾斜は、外果を通る床への垂直線と耳垂の角度 $\angle\alpha_1$ と肩峰の角度 $\angle\alpha_2$ に、上肢の傾斜は、大転子を通る床への垂直線と耳垂の角度 $\angle\beta_1$ と肩峰の角度 $\angle\beta_2$ に、下肢の傾斜は、外果を通る床への垂直線と大転子の角度 $\angle\gamma_1$ にそれぞれ注目し、画像解析ソフト Image J を用いて、解析を行った。

歩行では、一歩行周期に注目した。一歩行周期とは、片側の踵が接地（踵接地）し、両足で体を支えながら（両下肢支持期）、次第に逆側の踵が地面から離れ（踵離地）、片足で体を支える（単下肢支持期）状態から、再び両下肢支持期を経て、もう一度、単下肢支持期の状態となり、同側の踵が、再び踵接地するまでの動作（以下、重複歩）である。この重複歩が撮影された動画データを、動画編集ソフト Adobe Premiere に取り込む。その後、開始肢位と最大可動域到達時のフレームを視認にて抽出し、画像編集ソフト Adobe Photoshop に取り込み、画像化した。この画像をもとに、それぞれ大転子と肩峰を結んだ直線と肘関節との角度の肩関節屈曲 $\angle\theta_1$ と肩関節伸展 $\angle\theta_2$ 、歩幅 W と身長 H との比率を、画像解析ソフト Image J を用いて解析した。

5.1.3 学習者全体の解析結果

表 1 に、立位および歩行の促進前後の解析結果を示す。学習者全体で、実践による立位と歩行が、どの程度変化したかを確認するために、促進前後の各項目について、 t 検定（対応あり）により検証した。

立位については、有意水準 5% で t 検定（両側）に

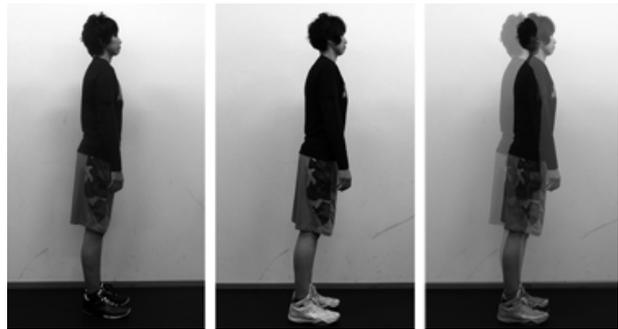


図 5: 促進前の立位（左）と促進後（中）と比較（右）



図 6: 20m 歩行の測定風景

より検証した。全体の傾斜を確認する $\angle\alpha_1$ ($t(4)=2.88$, $p<.05$) と $\angle\alpha_2$ ($t(4)=2.97$, $p<.05$)、下肢の傾斜を確認する $\angle\gamma_1$ ($t(4)=2.97$, $p<.05$) は、促進前後で、有意な差があることが分かった。一方、上肢の傾斜を確認する $\angle\beta_1$ ($t(4)=1.44$, $n.s.$) と、 $\angle\beta_2$ ($t(4)=1.82$, $n.s.$) は、有意な差が認められなかった。

次に、歩行については、立位と同じく有意水準 5% で t 検定（両側）により検証した。肩関節屈曲 $\angle\theta_1$ ($t(4)=2.84$, $p<.05$) と 20m 歩行のタイム ($t(4)=4.70$, $p<.05$) には、促進前後で有意な差があることが分かった。一方、肩関節伸展 $\angle\theta_2$ ($t(4)=0.70$, $n.s.$)、歩幅 W と身長 H との比率 ($t(4)=1.27$, $n.s.$) は、有意な差が認められなかった。

そこで、有意な差があった計測項目に対して、熟達者 X の値に近づいたかどうかを検証した。帰無仮説 H_0 を熟達者 X の計測値に設定し、有意水準 5% で t 検定（対応なし）により検証したところ、促進前に有意な差があったすべての項目が、促進後は、 $\angle\alpha_1$ ($t(4)=0.17$, $n.s.$)、 $\angle\alpha_2$ ($t(4)=0.69$, $n.s.$)、 $\angle\gamma_1$ ($t(4)=1.09$, $n.s.$)、 $\angle\theta_1$ ($t(4)=1.80$, $n.s.$)、20m 歩行のタイム ($t(4)=2.55$, $n.s.$) と有意な差が認められなかった。

以上の結果から、促進前に有意差があった計測項目に関して、促進後で、学習者全体として熟達者 X の数値に近づいたことが確認された。

表 1: 立位と歩行の解析結果および、教授者の評価

学習者	身長 cm	骨格筋量 (kg)		体脂肪率 (%)		$\angle\alpha_1$		$\angle\alpha_2$		$\angle\beta_1$		$\angle\beta_2$		$\angle\gamma_1$	
		前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
学習者 A	177.5	30.5	29.8	15.5	17.6	2.7	7.2	4.0	7.4	0.8	5.7	3.5	6.2	4.8	8.1
学習者 B	161.9	23.5	24.2	19.4	17.8	3.8	3.8	5.1	4.6	1.5	1.6	2.2	2.9	8.1	7.6
学習者 C	168.0	24.6	24.5	20.9	18.1	2.1	5.5	2.5	5.7	0.8	3.6	0.6	2.8	4.5	8.4
学習者 D	158.0	23.0	23.6	23.1	21.0	4.3	5.2	3.6	5.3	3.4	1.9	2.0	1.1	4.9	8.6
学習者 E	166.0	24.1	24.6	28.8	26.5	1.5	5.3	1.2	4.8	-0.4	1.3	-0.8	0.3	3.2	9.9
熟達者 X	169.0	-	-	-	-	-	5.3	-	5.2	-	1.9	-	1.6	-	9.0

学習者	$\angle\theta_1$		$\angle\theta_2$		歩幅/身長		20m 歩行		教授者の採点 ¹	立位の採点		歩行の採点	
	前	後	前	後	前	後	前	後		前	後	前	後
学習者 A	21.2	31.4	16.3	29.7	0.54	0.61	7"72	10"14	⇔	3, 3	3, 3	3, 3	3, 3
学習者 B	22.2	22.1	33.9	25.7	0.68	0.58	8"68	10"33	⇔	1, 1	2, 1	1, 1	1, 1
学習者 C	24.8	28.8	42.4	43.0	0.62	0.59	8"73	9"51	⇔	2, 3	1, 1	3, 3	1, 1
学習者 D	22.7	32.2	18.3	29.2	0.58	0.53	9"13	11"40	⇔	3, 3	2, 2	3, 3	3, 2
学習者 E	41.7	45.5	49.0	46.5	0.62	0.55	8"72	12"24	⇔	3, 3	2, 2	3, 3	3, 2
熟達者 X	-	38.9	-	23.1	-	0.56	-	11"96	⇔	-	0	-	0

¹ 教授者の採点に関しては、最少作用の原理に則り、教授者の身体感覚と近い立位および歩行ほど、低い得点 (0 点~3 点の 4 件法) を与えた。

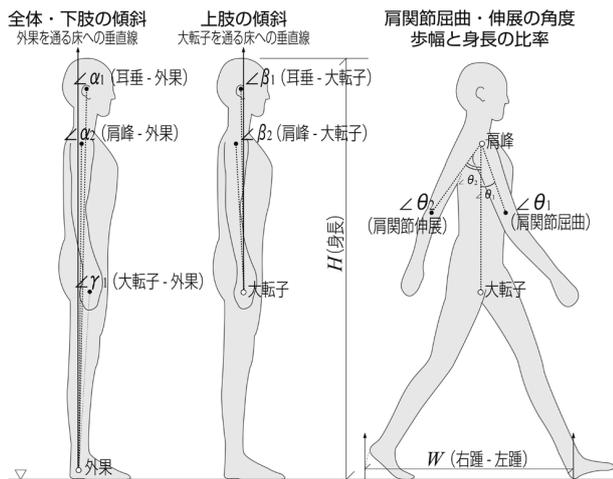


図 7: 立位と歩行の解析項目

5.2 学習者の立位・歩行に対する教授者の評価結果

統計的に学習者全体として、促進後に熟達者 X に近づいたことを確認したところで、次に教授者の身体知の評価に移る。教授者は、学習者の立位と歩行が撮影された画像・映像データを視認し、平行検査法によって、2 回ずつ採点した。採点に関しては、最少作用の原理に則り、教授者の身体感覚と同じ動作である場合は 0 点、近い場合は 1 点、遠い場合は 2 点、全く違う動作である場合は 3 点と、教授者に近い動作ほど低い得点 (0 点~3 点の 4 件法) を与えた。採点結果は、表 1 (下段右側) に示す通りである。採点の信頼性を検証するために、得られた 2 回の評価について、Cronbach

のアルファ係数 (IBM SPSSC Statistics22 使用) を算出したところ、アルファ係数=.93 (>.80) と十分な値が得られた。この採点結果より、学習者の立位・歩行に対する教授者の評価は、表 2 に示す通りとなった。

表 2: 身体知の熟達に対する教授者の評価結果

学習者	教授者の評価結果
学習者 A	促進前後ともに評価が低かった
学習者 B	促進前後ともに評価が高かった
学習者 C	促進後に評価がとても高くなった
学習者 D	促進後に評価が高くなった
学習者 E	促進後に評価が高くなった

5.3 教授者の評価に関する妥当性の検証

ここで、促進前後ともに評価が低かった学習者 A と、促進前後ともに評価が高かった学習者 B、そして、促進後に評価がとても高くなった学習者 C に注目する。教授者の評価の妥当性を検証するために、3 名の学習者に加え、熟達の指標として熟達者 X を加えた計 4 名について、理学療法士の研究分担者 (第 5 筆者) が、臨床的見地から視認による分析を行った。

はじめに、熟達者 X の立位については、骨盤がやや前方に移動し、体幹部を重力に対抗して垂直に伸展 (以下、抗重力伸展) させていた。歩行については、立位と同様に、体幹部が固定された抗重力伸展の歩行であり、手の振り出しが振り子様に前後へと送り出されていた。

次に、学習者 A の立位については、促進前は、上部胸椎が後弯しており、重心性が少し後方に位置している。一方、促進後は、上部胸椎の後弯は改善されたも

の、肩峰と大転子を結ぶ角度 ($\angle\beta_2=6.2$) が大きいため、体幹が傾斜し、前のめりの状態であった。歩行については、促進前は、体幹部が上部胸椎の後弯が強く、前傾姿勢となっている。一方、促進後は、上部胸椎の後弯を減少させた前傾姿勢であるが、上部体幹の前傾角度が大きく、立位と同じく前のめりの状態であった。以上、促進前後ともに、立位と歩行に変化は確認されたものの、教授者が求める変化ではないと考えられる。

次に、学習者 B の立位については、促進前は、骨盤をやや前方に移動して、抗重力伸展の姿勢で、比較的、熟達者 X に近い立位であった。一方、促進後は、骨盤が若干後方移動しており ($\angle\gamma_1=8.1 \rightarrow 7.6$)、肩峰と大転子の角度もやや減少していた ($\angle\alpha_2=5.1 \rightarrow 4.6$)。そのため、重心線が支持面の後方に若干移動している結果であったが、促進前と同じく熟達者 X とほぼ変わらない立位であった。歩行については、促進前後で、大転子と肩峰を結んだ線がほぼ垂直であり、視認による変化は確認できなかった。体幹部が固定された抗重力伸展の歩行であり、促進前後ともに、熟達者に近い歩行であった。

そして、学習者 C の立位については、促進前は、骨盤が前方に位置しているが、首が屈曲しているため、肩峰の位置がより後方に位置していた。これは、バランスを取るためと推測される。一方、促進後は、骨盤をさらに前方に移動しているが、体幹を重力に対抗して、垂直に伸展 (抗重力伸展) させている立位であり、熟達者 X に近い立位へと変化した。歩行については、促進前は、進行方向に対して、大転子の位置よりも肩峰の位置が後方にあるため、のけ反ったような歩行であったが、促進後は、逆に、進行方向に対して、肩峰の位置が、大転子の位置よりも前方に位置するようになり、熟達者 X に近い歩行へと変化したことが確認された。

以上、学習者 A、学習者 B、学習者 C の身体知の熟達に対する教授者の評価について、信頼性と妥当性ともに担保されたことが確認された。

6 学習者の言語化に対する評価

次に、学習者が記入したそれぞれの言語化に対して、教授者が評価を行った。評価方法に関しては、教授者の身体感覚に近い言葉と遠い言葉のトポロジーを決める方法で採点した。教授者の身体感覚と同じ言語化である場合は 0 点、近い場合は 1 点、遠い場合は 2 点、全く違う言語化である場合は 3 点と、教授者に近い動作ほど、低い得点 (0 点～3 点の 4 件法) とした。なお、教授者が評価できない言語化や、気持ちの表現 (「皆も同じように、難しく感じているんだと共感できて、今日は良かった (2015/12/4)」) などの言語化については、採点から除外した。

言語化に対する評価の信頼性について、学習者の言語化を評価し、一定期間をあけて、再度同じ言語データを評価する再検査法を用いて検討した。その結果、Cronbach のアルファ係数 (IBM SPSSC Statistics 22 使用) を算出したところ、アルファ係数=.87 (>.80) の値が得られた。2 回の評価に差異があった場合は、教

授者が学習者の言語化を再度確認し、最終的に採点を行った。

6.1 パラメータの設定

段階ごとに、採点された学習者の言語化を、(1) 身体パラメータ (知覚や行為に関する言語化) と、(2) 思考パラメータ (意識・推測・不安・疑問に関する言語化) の 2 つに区分した。たとえば、身体パラメータの要素では、「腸腰筋が伸びる感じで歩けた (2015/11/13)」「ふわふわ感は、あまりなくなってきた (2015/11/14)」など、思考パラメータの要素では、「膝をスムーズに動かすって何だろう (2015/11/6)」「股関節伸展ができているか、まだ不安 (2015/11/10)」などが挙げられる。

6.2 言語的意味空間の結果

身体パラメータと思考パラメータについて、それぞれ評価の高い要素順に並び替えて関数化し、言語的意味空間を作成した結果が図 8 である。言語的意味空間は、学習者の言語化が、教授者の身体感覚に近づくほど、原点 (停留値) に収束していく様子が表現される。また、学習者の各段階における言語的意味空間の面積の推移を図 9 に、各段階ごとの身体パラメータと思考パラメータのそれぞれの要素数を図 10 に示す。

6.2.1 第 1 段階

第 1 段階では、それぞれの学習者が、教授者からの具体的な指導を受け、その言葉がけを自分なりに理解し、身体感覚の気づきや体感、思考などを言語化していることが示された。学習者 A は、身体パラメータの要素数に比べて、思考パラメータの要素数が多く、「膝をスムーズに動かすって何だろう (2015/11/10)」「難しいけど、まずはやっぱり股関節の伸びと重心を意識しよう (2015/11/11)」などの言語化が確認された。それに対して、学習者 B と学習者 C は、身体パラメータの要素数が多く、思考パラメータの要素数が少なかった。たとえば、学習者 B は「お尻の位置を少し変えただけで、重心が変わることが分かった (2015/11/6)」、学習者 C は「腰を前に出す時、お尻がキュッとなった (2015/11/11)」などの言語化が確認された。

6.2.2 第 2 段階

第 2 段階では、教授者の指導が、具体的であれ、抽象的であれ、その言葉がけを自分なりに理解しながら実行し、その行為を通して、体感した身体感覚を言語化していることが確認された。たとえば、教授者からの指導「すべての動作を三角定規の 45 度を意識する」に対して、学習者 A は「頭の中で三角定規を浮かべて歩けた (2015/11/14)」、教授者からの指導「フワフワしているのは、力が逃げているから」に対して、学習者 B は「ふわふわしないように意識したら、足の動きが悪くなった (2015/11/13)」、教授者からの指導「前に押し出す感覚で、お尻をキュッとする」に対して、学習者 C は「お尻とハムの間を意識して行った。前に出す感じでやった」など、指導に応えるような言語化が確認された。また、すべての学習者で、思考パラメータの要素数に比べて、身体パラメータの要素数が多く、

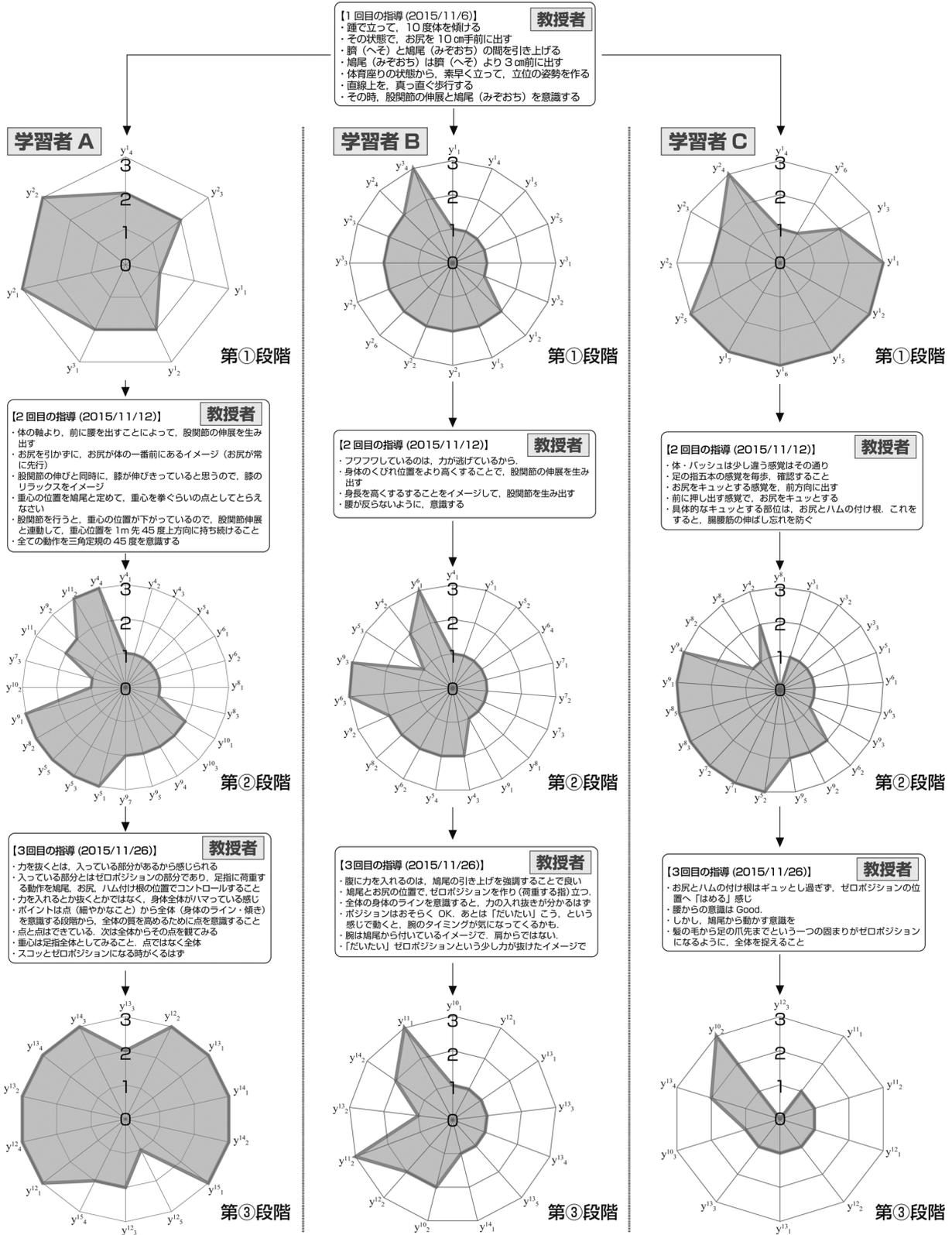


図 8: 学習者の言語的意味空間の推移

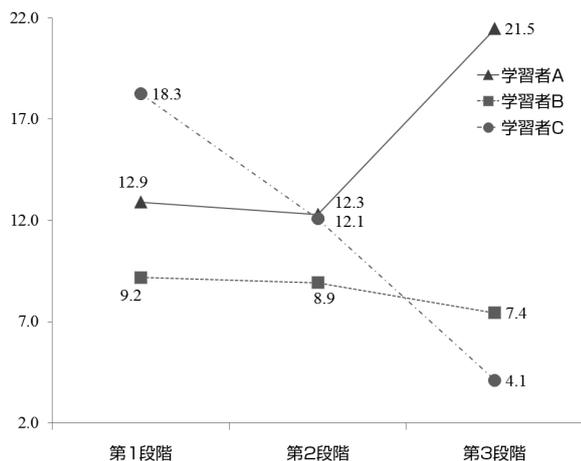


図 9: 言語的意味空間の面積の推移

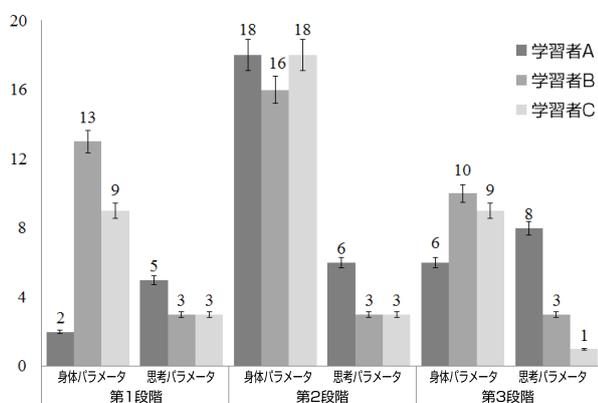


図 10: 各段階のパラメータの要素数

さらに、言語的意味空間が、教授者の身体感覚に近づいていることが示された。

6.2.3 第3段階

第3段階の結果、次の通りである。学習者Aについて「今日は足をいつもより大きく前に出してみた(2015/11/27)」の言語化が確認された。しかし、教授者から見て、歩幅を大きくするオーバースライドは、パフォーマンスを低下させるため、評価は3点と低かった。なお、歩幅と身長比率の結果を見ると、学習者Aのみが、促進後に増加(0.54→0.61)している。また、第1段階から第2段階で収束していた言語的意味空間が、第3段階では大きな広がりを見せた。これは、学習者Aの言語化が、教授者の身体感覚から遠ざかったことを意味する。さらに、他の学習者と比べて、身体パラメータの要素が少なく、思考パラメータの要素が多かった。次に、学習者Bは、「この前の計測で、モデル歩きっぽいって言われた(2015/12/1)」の言語化が確認された。この理由として、一般的にファッションモデルの歩き方は、股関節の伸展を使って上丹田や鳩尾を意識する歩行であり、教授者の身体感覚に近いと推測される。しかし、ファッションモデルの歩き

は、両踵を一直線上に着地しながら過度に腰を捻るような動作であり、継続して言語化すると、目標とするパフォーマンスに影響する可能性が高いため、教授者の評価は3点と低かった。さらに、学習者Cについても、「腰を振る(捻る)ようなイメージですと、腸腰筋が伸びていたと思う(2015/11/20)」の言語化が確認されたが、この表現についても、学習者Bと同じくファッションモデルの歩行に近いと、教授者の評価は低かった。

7 考察

本研究では、教授者と学習者のインタラクションを考慮した上で、身体知の熟達に対する言語化の数理モデルを構築し、その妥当性について、実践的検証を行うことを目的とした。その結果、数理モデル(X, Y, f, g)を理論的に記述できる見通しがつき、言語的意味空間により、実践の世界へ結びつけることができた。

一方、構築した数理モデルがより有意義なものであるためには、実践から何かしら新しい知見が得られることが求められる[22]。そこで、本研究の目的に鑑み、(1)教授者と学習者のインタラクションを考慮する必要性、(2)言語化に注目して、身体知の熟達をモデル化する意義、の視点から考察する。

ここで、留意すべきことは、実践課題の立位と歩行は、人間が生まれてから自然と身につけた基本的な身体動作であり、学習者の生活に密接に結びついている点にある。たとえば、「立つことを意識し続けるのは難しいけど、普段から心がけたい(2015/11/6)」「歩き方が体に染みついてきて、本当にいつも通り歩いている感じ(2015/12/5)」「これだけ歩行練習やってきて、みんな同じことを意識してやってるはずなのに、ちよとずつ歩き方が違う(2015/12/5)」などの言語化が確認されている。一方、学習者に対して、日常生活における立位と歩行の実行や、他者の観察を統制・管理することは、研究の遂行上、不可能である。以上を留意し、考察を始める。

7.1 教授者と学習者のインタラクションを考慮する必要性

先行研究の多くは、身体知の熟達に対する言語化に関して、多くの知見を蓄積してきた。本実践の教授者と学習者とのインタラクションを考慮した場合でも、先行研究を支持する結果が示され、諏訪らの主張と同様の傾向を示した。一方、学習者全体として統計的に熟達したものの、教授者が求める立位と歩行には変化せず、熟達しなかった学習者Aも確認された。

7.1.1 学習者の主体的な言語化

阪田によれば、身体の学びの中で、学習者は、教授者からことば以上の何かを主体的に読み取る必要があると述べる。たとえば、本実践の「腕は鳩尾から付いているイメージ(2015/11/26)」の指導を見ても、当然のことながら、物理的に腕は鳩尾から付いていない。しかし、学習者は「どうすれば、腕が鳩尾から付いて

いる感覚が得られるのだろうか?」と主体的に考え、実行することが重要となる。

しかし、学習者の主体的な言語化は、必ずしも教授者の指導した内容や、求める身体感覚と一致するとは限らない。たとえば、6.2.3で述べたように、学習者Aが、主体的に歩幅を広げるような言語化を例にとっても、教授者からは身体感覚と全く違うものとして低く評価される。

もし、仮に教授者がいないとすると、間違っただけの言語化は修正されないため、身体知の熟達を妨げる可能性は十分に考えられる。もちろん学習者のみでも、時間が経過すれば、いつかは歩幅を広げたことが、間違いであることに気づくことはあり得る。しかし、問題提起でも、主張したように、スポーツのコーチングにおいて、学習者の持つ時間には限りがある。熟達の妨げになるような言語化を修正し、熟達に導くのは、その道を専門とする教授者にほかならないだろう。

7.1.2 良い身体感覚を生み出した言語化

鈴木らは、学習者の身体を取り巻く環境は、常に変化しているため、ある段階でスキル行使に必要な環境の情報が、次の段階で必要であるとも限らないと述べている [18]。諏訪も、身体知の熟達の過程を、身体と環境の関係を常に再構築し続ける漸進的プロセスであると主張しているように [7]、身体が環境から取り出す情報は、常に変化しているわけである。ここで、学習者だけで、情報の変化に対応できれば問題ないのだが、身体感覚は人それぞれ差異があるため、往々にして難しいケースが多い。このような場合に、第三者からの客観的な視点が重要となる。たとえば、本実践で良い身体感覚を生み出した「ファッションモデル」「腰を捻る」の言語化を見ても、教授者は、それらの言語化が次の段階で必要なくなり、将来的に、言語化自体が身体知の熟達を妨げる可能性があることを予測し、低い評価を与えている。

仮に、教授者が存在しなかったとしたら、学習者は、良い身体感覚を生み出した言語化を持ち続け、歩行を実行する可能性が高いと予想される。特に、良い身体感覚を生み出した言語化は、学習者にとって手放し難いものである。ある段階で必要であった言語化が、次の段階で不要となったにもかかわらず、その言語化を手放すことができない学習者に対して、データ提示や用具を変えたり、動作の原理を再度考えさせ [5]、新たな気づきや視点を持たせることができる一番近い存在こそ、対象の身体知に熟達した教授者なのである。

7.2 言語化に注目して身体知の熟達をモデル化する意義

一般的に、モデル化のメリットは、抽象化と本質的要素の抽出作業によって、現象の性質をより深く考察できることにある。本実践においても、表現が難しいとされる身体知の熟達過程を、段階的に分析した結果、身体知の熟達に対応するような、特徴的な言語的意味空間の変化が見出された。たとえば、熟達しなかった学習者Aは、身体パラメータの要素数に比べて、思考パラメータの要素数が多く、最終的に言語的意味空間

が広がった。今後パラメータの再検討は必要であるが、数理モデルに関する評価関数の蓄積によって、身体知の熟達現象が予測できる可能性が示された。

また、数理モデル (X, Y, f, g) に基づく言語的意味空間は、学習者が持つ無駄な身体感覚の言語化から離れ、教授者の身体感覚に近くなるにつれて、停留点に収束していく除算的な評価である。これは、従来のパフォーマンスを到達目標ごとに数段階に分けて記述し、熟達度合を加算的に示すループリックとは違った、新たな評価へと発展する可能性を有すると考えられる。

一方、本実践では、教授者の実演は行わなかったが、教授者と学習者との言語化のみのインタラクションの限界も見受けられた。さらに、言語の曖昧性、多義性、類似性などの性格から、定量的な評価が困難となるとともに、予想に反して、学習者の言語化自体が、教授者から評価して、身体知の熟達を妨げる可能性も示唆された。

しかし、ことばに注目して、身体知の熟達をモデル化することに意味がないかという点、そうとは限らない。言語化は、自他を結ぶコミュニケーションの手段であり、意識の表現としては（曖昧性、多義性、類似性があるといえども）、最も信頼できる手段のひとつである。ことばによって、我々は目に見える形で、教授者と学習者のインタラクションが垣間見られるのである。

8 まとめと今後の課題

本研究では、間身体性の視座から、教授者と学習者のインタラクションを考慮した上で、身体知の熟達に対する言語化の数理モデルを構築し、実践において、妥当性を検証することを目的とした。その結果として、数理モデル (X, Y, f, g) を理論的に記述できる見通しがついた。また、モデルの妥当性を実践的検証により、確認し、その結果、新しい知見が得られた。

今後の課題は、次の通りである。一つは、本研究の立位と歩行から発展した形として、疾走について実践的検証を行う計画である。ここで、ただ直線方向に速く走ることに注目するのではなく、疾走から止まる動作や、緩急ある走り方、サイドステップ・バックランなど、スポーツの競技特性に応じた疾走について、検証することも視野に入れている。

もう一つの課題として、教授者の変容である。本研究では、間身体性の端緒として、教授者と学習者のインタラクションを考慮することの重要性を主張した。しかし、これは学習者だけの熟達だけでなく、教授者も新たな視点を獲得し、学習者と共に変わっていくことを意味する。間身体性において、身体を経験の変容をめぐるとの未完結性 [27] を引き受けることは、教授者も同じなのである。よって、この検証は、この知見を確かなものにするために必須であると考えられる。

以上が今後の課題として挙げられるが、まずは、身体知の熟達に対する言語化の数理モデル (X, Y, f, g) について、理論的に記述できる見通しがつき、モデルの妥当性について、実践的検証を行ったことを再度確認し、稿を閉じることとする。

参考文献

- [1] 公益財団法人日本体育協会：公認スポーツ指導者養成テキスト共通科目 I 第 3 章トレーニング論 I (2012)
- [2] Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*, Peter Smith, Gloucester, Mass (1983)
- [3] 日本認知心理学会監修, 三浦佳世編：知覚と感性, 北大路書房 (2010)
- [4] 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：身体知探究の潮流 -身体知の解明に向けて-, 人工知能学会論文誌 20 巻 2 号 SP-A, pp.117-128 (2005)
- [5] 藤波努：リズムで超える時間の壁 身体知へのアプローチ, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.30 No.68, pp.71-76 (2006)
- [6] 市川淳, 三輪和久, 寺井仁：ノービスによる身体スキル獲得過程 身体動作と着眼点の検討, 第 29 回人工知能学会全国大会 (2015)
- [7] 諏訪正樹：身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, Vol.20, pp.525-532 (2005)
- [8] 諏訪正樹, 伊東大輔：身体スキル獲得プロセスにおける身体部位への意識の変遷, 第 20 回人工知能学会全国大会 (2006)
- [9] 諏訪正樹, 高尾恭平：パフォーマンスは言葉に表れる -メタ認知的言語化によるダーツの熟達プロセス, 第 21 回人工知能学会全国大会 (2007)
- [10] 諏訪正樹：スポーツの技の習得のためのメタ認知的言語化：学習方法論 (how) を探究する実践, 情報処理学会 (2007)
- [11] 山田雅之, 栗林賢, 諏訪正樹：スポーツフィッシングにおける身体知獲得支援ツールのデザイン, 第 26 回人工知能学会全国大会 (2012)
- [12] 山田雅敏, 里大輔, 坂本勝信, 小山ゆう, 砂子岳彦, 竹内勇剛：疾走上達とメタ認知的言語化に関する情報学的研究, 常葉大学健康プロデュース学部第 10 巻第 1 号 (2016)
- [13] 佐伯胖監修, 渡部信一編, 阪田真己子, 小島秀樹：「学び」の認知科学事典, VI びとテクノロジー 2. 学びと身体空間 -メディアとしての身体から感性を読み解く, 3. 認知ロボティクスにおける「学び」, 大修館書店 (2011)
- [14] 日本認知科学会 編：認知科学事典, 共立出版 (2002)
- [15] 竹田青嗣：現象学入門, 日本宝生出版協会 (1989)
- [16] Maurice Merleau-Ponty (著), 竹内芳郎, 木田元, 滝浦静雄, 佐々木宗雄, 二宮敬, 朝比奈誼, 海老坂武 (訳)：シーニュ 2, みすず書房 (1985)
- [17] 大武美保子, 荻原陽介, 豊田涼, 阿部健祐, 太田順：言語化された身体技能の伝達に関する研究：投球動作スキル伝達による球速変化の解析, 人工知能学会第 10 回身体知研究会予稿集, SKL-10-02 (2011)
- [18] 鈴木宏昭, 大西仁, 竹葉千恵：スキル学習におけるスランプ発生に対する事例分析的アプローチ, 人工知能学会誌 23 巻 3 号, SP-A (2008)
- [19] 砂子岳彦：間身体性のモデル, 常葉大学経営学部第 2 巻第 2 号, pp15-20 (2015)
- [20] Payk Parsons 編, Martin Rees 序言：30 秒で学ぶ科学理論 示唆に富んだ 50 の科学理論, STUDIO TAC CREATIVE (2013)
- [21] 山田雅敏, 里大輔, 坂本勝信, 小山ゆう, 砂子岳彦, 竹内勇剛：身体知の言語化とその階層モデル, 電子情報通信学会言語と思考研究会, pp.41-46 (2016)
- [22] 長谷川計二：「数理モデルと実証」によせて, 理論と方法, Vol.20, No.2:pp.135-136 (2005)
- [23] ジェームズ・アマディオ著, 橋本辰幸監訳：フェルデンクライス・メソッド WALKING 簡単な動きをとおした神経回路のチューニング, スキージャーナル株式会社 (2006)
- [24] 木寺英史：本当のナンバ常歩, スキージャーナル株式会社 (2004)
- [25] 対馬栄輝：変形性股関節症患者における歩行分析について. 理学療法研究 22 号, (2005)
- [26] 市橋則明 (編)：運動療法学 障害別アプローチの理論と実践第 2 版 (2014)
- [27] 奥井遼：メルロ＝ポンティにおける「間身体性」の教育学的意義：「身体教育」再考, 京都大学大学院教育学研究科紀要, pp.111-124 (2011)

加速度センサーを用いた回転物体の運動解析

Motion analysis of the rotated object using the acceleration sensor.

野田茂穂¹ 姫野龍太郎^{1,2} 奥野敬丞¹

Shigeho NODA¹, Ryutaro HIMENO^{1,2}, and Keisuke OKUNO²

¹理化学研究所 情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

¹CEA, ACCC, RIKEN

²理化学研究所 情報基盤センター

² ACCC, RIKEN

Abstract: Movement of a flying object is determined by the angular velocity in addition to the initial velocity. The flying speed can measure immediately, but it is not easy to measure the angular velocity immediately. In this report, we are discuss about the measurement device and the processing method for the obtaining the angular velocity immediately.

はじめに

これまで我々は球技において流体力が軌跡に及ぼす影響を実験とシミュレーション (Fig 1) で明らかにしてきた。その中でも特に、回転する野球ボールが空気力を受け、軌跡が変化することを詳細に研究してきた。[1] その結果、回転するボールでは回転軸の方向と回転数がわかれば軌跡を予測ができる事がわかっている。

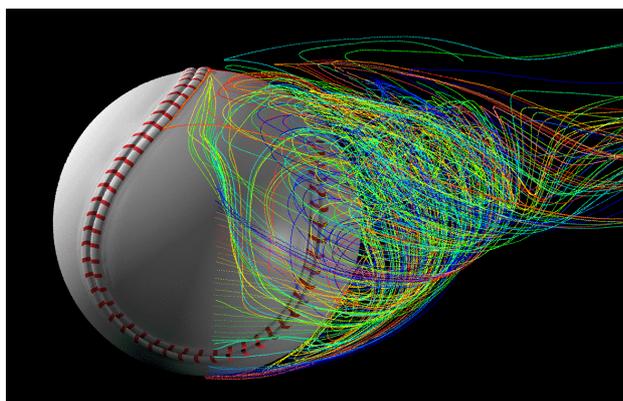


Fig 1 Stream Line around the ball

同様な現象は他の球技でも適用でき、卓球やテニスといったものにも適用できる。

我々は、実験結果やシミュレーションの結果をわかりやすく説明する事にも取り組んでおり、バーチャルリアリティなどを利用したシステムも開発してきた。[2] ビデオ画像からボールの回転数や回転軸の情報を推察し、ボールの軌跡をシミュレーション

し、バーチャルリアリティを用いた説明は、軌跡の変化と回転の情報の違いを体感的に示すことができ、理解を深めることができる。しかしながら、画像処理技術や様々な制約から、即時に競技者にこのような情報をフィードバックすることはできていない。競技者のパフォーマンス向上という視点では、即時に情報を提供することが手技の修正などに活かせる。そこで我々は、リアルタイムなセンシングシステムの構築を目指している。

まずは市販のセンサーを用いてアメフトボールのシミュレータの構築を試みた。結果、市販のセンサーでは様々なセンサーが含まれており、重く電源も長持ちしない。また、測定データのノイズなどでそのままの使用は難しいものがある。そのため我々は飛翔中の物体の回転軸と回転数を計測するセンサーシステムを開発した。

システムの概要

本センサーシステムはセンサー部、通信部、処理部で構成されている。センサー部は複数の三軸加速度センサーで構成されており、加速度センサーの出力値を処理することで回転情報を得ることができる。(Fig 2, Table 1) また、内部のメモリーに記録することができる。通信部はUSB通信と無線通信で構成されており、計測中のデータのモニタリングやメモリーに格納されたデータを取り出すために用いられる。処理部は加速度センサーで取得したデータを処理するソフトウェアであり、通信部を通じて得られたデータをパーソナルコンピュータなどで処理を行う。

処理の結果として回転数、回転軸を得ることができる。

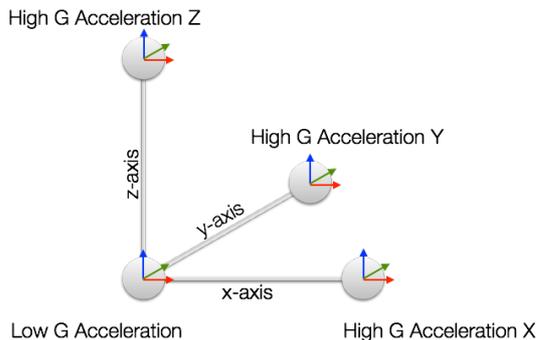


Fig 2 Layout of the sensors

Type	Measuring range
Low G Acceleration Sensor	±5G, ~100Hz
High G Acceleration Sensor	±200G, ~100Hz

Table 1: Type of the sensors

無線通信を用いてセンサー部と処理部を接続することによりタイムラグなく計測結果を競技者に示すことが可能になる。

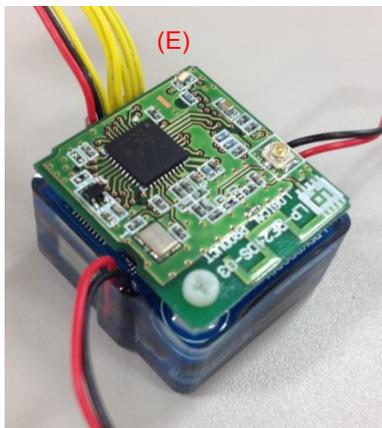


Fig 3: Picture of the sensor with WiFi system.

センサー部は複数の三軸加速度センサーを組み合わせ樹脂で固めることで構成されている。(Fig 3) 加速度センサーは、軽量(Table 2)であり、消費電力も小さいため、長時間の測定が可能となる。加速度センサーで角速度ベクトルを測定するために、設置位置をずらした複数の加速度センサーで同時に計測できるものとした。(Fig 2)

コンポーネント名称	質量
下基板	2.26g
中基板	2.25g
上基板(RF モジュール)	1.70g
電池	2.13g
有線ケーブル	0.74g
樹脂包埋後の重量 (電池 1 個含む)	16.7g

Table 2:Waight of sensor

回転しながら飛翔する物体の運動では、空気力は進行方向逆向きの空気抵抗と回転により生じるマグナス力に分けることができる。

式 1 に回転半径 r の位置にあるセンサーの加速度の式を示す。

$$\ddot{r} = -M_{\omega} a_d + \omega^2 r - \omega^2 (l \cdot r) l \quad (1)$$

\ddot{r} : Acceleration

M_{ω} : Rotation_Matrix

a_d : Force_from_Air

ω : Anguler_Velocity

r : Rotation_Radius

l : Axis_of_rotation

回転マトリクス M は回転軸と角速度すなわち角速度ベクトルから求めることができる。

右手系の各座標軸の dL の位置に加速度センサーを配置し、その座標中心にも加速度センサーを配置し、合計四つの加速度センサーを用いている。

加速度センサーの値から角速度は 2 式で求められる。

$$\omega^2 = \frac{(\ddot{r}_X - \ddot{r}_B)_x + (\ddot{r}_Y - \ddot{r}_B)_y + (\ddot{r}_Z - \ddot{r}_B)_z}{2dL} \quad (2)$$

センサーは Fig 4 に示すように 3D プリンターで作成した球体の殻に格納され、表面は硬式野球の革を貼り付けて実際の硬式球と同じ重量になるように調整されている。



Fig 4: The ball with sensor

テスト結果

テスト投球での計測結果を Fig 5 に示す。投手がモーションを開始し、指からボールがリリースされるときに大きな加速度を検出し、捕球時にはさらに大きな加速度を検出する。Fig 6 Left は飛翔中の各加速度センサーの値をプロットしたものである。回転による周期的な値を示している。1 式を時間平均した処理を行うため、2 次の最小二乗法を用いてデータを平滑化し、処理を行っている。(Fig 6 Right)

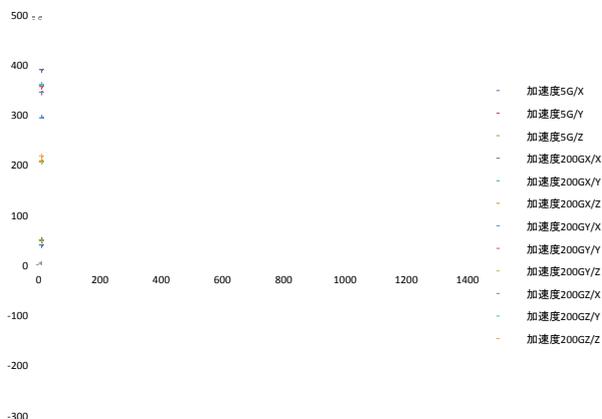


Fig 5 Results of test case.

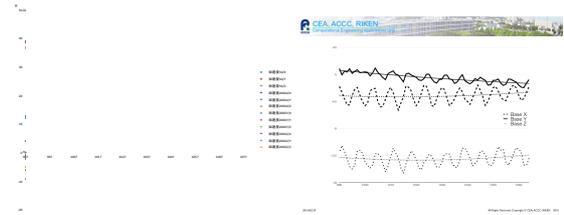


Fig 6 Left : Close up for flying section., Right : The graph of smoothed data.

本テスト結果では回転数が 12[rpm]程度であり、別途開発している高速度ビデオを用いた計測システムと同等な値を示している。

まとめ

タイムリーにボールの回転情報が得られるセンサーシステムの開発を行っている。高速度ビデオを用いたシステムとの計測結果の評価を行っているところであるが、概ね良好な結果を得ており、今後検証を進めていく。

本システムは比較的安価に作成することもでき、計測結果をタイムリーに競技者にフィードバックすることができ、パフォーマンスの向上に寄与できるシステムとして開発を進めていく。

参考文献

- [1] 高見圭太,宮寄武,姫野龍太郎,:バックスピンする球体に働く負のマグナス力 ~飛翔実験による測定~,ながれ, Vol. 28, pp. 347-356, (2009)
- [2] 重谷隆之,黒川原佳,吉川広幸,野田茂徳,姫野龍太郎,:4D Visualizer を用いたグラフィックス・クラスタの開発,可視化情, Vol. 24, Suppl. No. 1(2004年)

重心運動を指標としたパーキンソン病の潜在リスクの推定

Estimating the Potential Risk of Parkinson's Disease using Center-of-Pressure Trajectories

日高 昇平¹ ブアテッド ワニパット¹ 藤波 努¹

Shohei Hidaka¹, Wannipat Buated¹, Tsutomu Fujinami¹

¹北陸先端科学技術大学院大学

¹Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: Patients of the Parkinson's disease typically show motor disorders such as involuntary limb shakings, slow walking, and so on. These symptoms have been used in the medical diagnosis of the Parkinson's disease. This study explores the possibility of an easy and practical way to assess the potential risk of the Parkinson's disease based on the postural control reflected on the center-of-pressure (CoP) trajectories. We report our early attempts describing the basic CoP statistics common and difference across healthy subjects and patients.

はじめに

パーキンソン病は根本的な治療法が発見されていない進行性の神経性疾患のひとつである。中年以降に発症が増加し、典型的な症状として、安静時に不随意的な手足の震えがおこるなど、運動制御に関して障害が発生する。発症後も、長期にわたって緩やかに症状が進行し、リハビリによる生活改善などを行うことが多い。

こうした背景を踏まえ、本研究では、発症前の段階で潜在的な運動障害を検出し、予防的な措置をとる可能性を高めるために、重心運動から簡便に運動障害のリスクの推定方法を開発を目的とする。この方法は、予防的な目的のみならず、発症後もリハビリの効果測定に用いるなど、長期にわたるパーキンソン病の各ステージで有効に働くと考えられる。これまで、医療現場では医療従事者による質問紙 (Hoehn & Yahr scale, [3]) を用いた定性的な診断が行われてきた。こうした診断方法は、専門家による判断が必要な上、定量的にリハビリの効果等を計測するのには不向きである。

こうした実務的な要請を踏まえ、本研究では最も基本的で労力を要求しない動作の一つと考えられる静止時の重心運動に着目した。ヒトは“静止”しているときにも、その重心は常にゆらいでいる。大自由度系である身体を静止させるには、多数の筋を協調的に働かせる必要があり、こうした均衡は動的に維持されている。先行研究では、こうした動的な均衡状態を非線形系として分析し、そこから身体的、

心理学的な情報を得ようとする試みが報告されている (Riley & Orden, [4])。こうした研究では、身体運動のゆらぎを確率的なノイズとみなさず、むしろそのゆらぎを情報とみなし分析する。こうした分析は、単に身体運動の物理的なメカニズムのみならず、対象者の運動制御の特性を知る手段として可能性を秘めている。しかし、身体は複雑な相互作用を行う大自由度系であり、データとして与えられる状態空間の軌道を、意味のある要素に分節化する方法論が確立されていない点が一つの問題として挙げられる。

これに対し本研究では、フラクタル次元(点次元)に基づき状態空間上の軌道を自動的に分節化するクラスタリングを提案する。力学系のある種の“同一性”はフラクタル次元で特性づけられる (Grassberger & Procaccia, 1983, [1])。つまり、同一の次元をもつ2つの力学系に対し、それらを1対1に対応付ける滑らかな写像が存在する。この性質を定量化する手法として、Hidaka & Kashyap [2]は点次元の推定法(次元クラスタリング)を提案している。この点次元は各データ点に推定され、時系列の各時点での次元の変化を定量化できる。また、点次元でクラスタ化された点の集合は、同一の力学的性質を反映するものとみなせる。

提案分析法の検証

運動データ解析の中核である次元クラスタリング法の性能を検証するため、重心が1次元/2次元の切り替えながらランダムに生成される時系列(ウィー

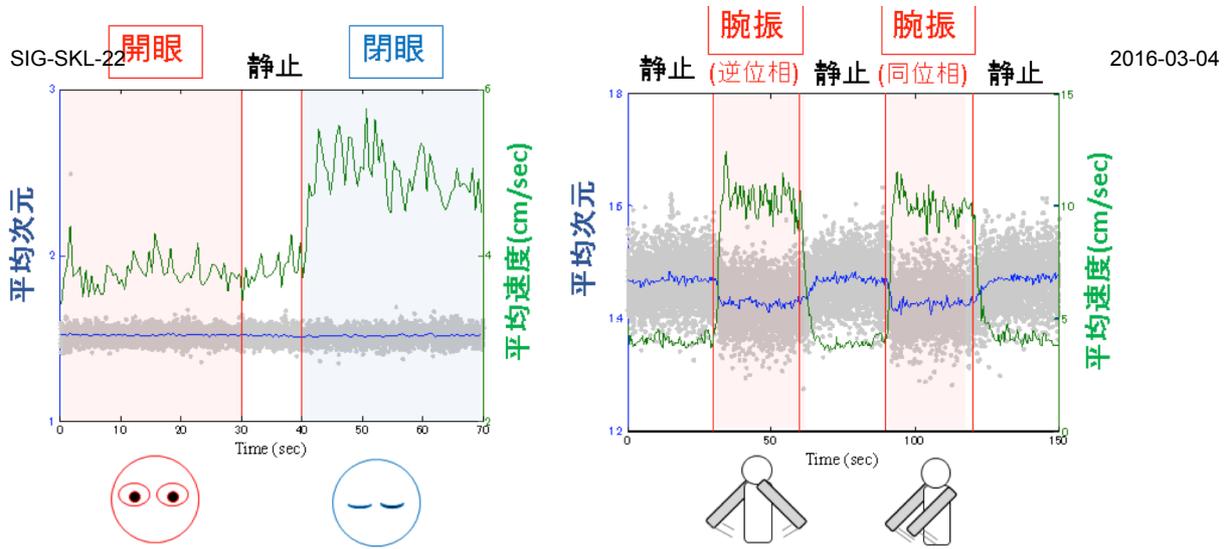


図 2 : (左) 開眼時および閉眼時の重心運動の平均次元および平均速度 (右) 立位静止時と腕振り動作時の重心運動の平均次元および平均速度

ナー過程)であると想定した人工データを分析した。生成した 10,000 点のデータのうち、1-2500 点は X 軸のみ、2501-5000 点は 2 次元上、5001-7500 点は Y 軸のみ、4 番目の 7501-10,000 点は再度 2 次元上のランダムウォークである。図 1(a)はそのデータの Y 軸上の時系列、図 1(b)は(X, Y)平面を示す。この 2 次元系列(X, Y)に対し、次元クラスタリングを適用した次元推定の結果を、各点の赤/青色で示している。この結果から、次元クラスタリング法により潜在的次元の違いを正しく推定できることが示された。

予備実験：立位重心運動の計測

パーキンソン病患者からのデータ収集に先立って、少数の健常者を対象とした予備実験を行った。この予備実験では、静止時の重心のゆらぎにおける開

眼・閉眼の影響、および外的な摂動による揺らぎを検討した。こうした基礎的な条件において、次元クラスタリングによる特徴づけにより検出できる揺らぎの性質を確認する。

データ収集

5 名(男性 3 名, 女性 2 名)の被験者から、立位および座位時の重心軌跡を足下または座面に置いた圧センサー(Nintendo WiiFit)によって計測し、特定条件下の重心軌道を取得した。課題として、開眼および閉眼しての立位静止、立位して静止時に外的な力で攪乱、また被験者が自ら腕振り動作を行う条件を設定した。計測時間は各条件 30 秒または 1 分間で、100Hz のサンプリングレートで、各試行およそ 3000 または 6000 点の時系列データが得られた。

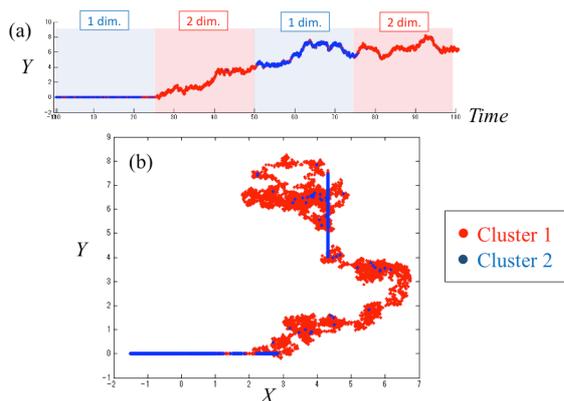


図 1: 1次元/2次元ランダムウォークの混合データに対する次元クラスタリングの結果例。

結果・考察

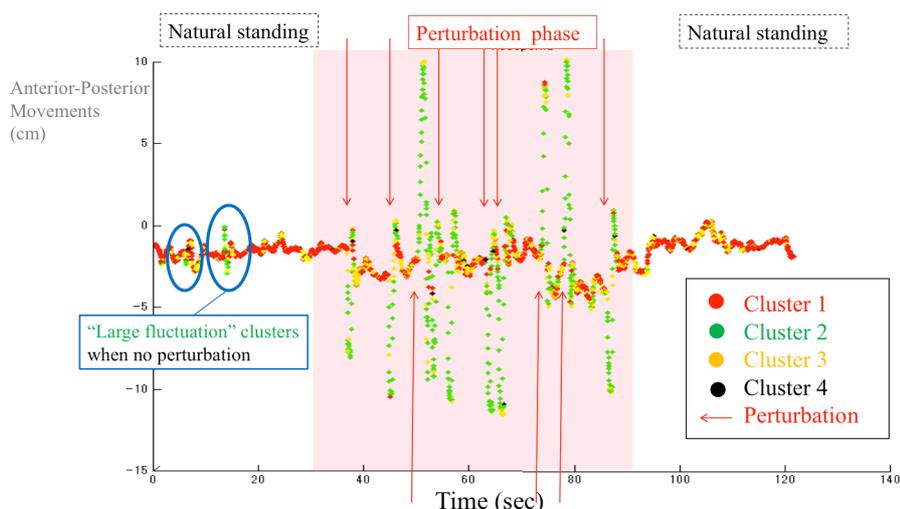


図3：外乱条件で得られた重心軌跡(前後方向)の分析結果の例．4つのクラスが推定され、外乱のある場合にクラス2(緑)のみが顕著に同定された．

開眼および閉眼しての立位静止した場合の重心の平均次元を分析した(図2(左))．平均的なゆらぎの速度においては、開眼時と閉眼時には大きな差が見られたものの、平均的な次元としては大きな差は見られなかった．一方、個別の被験者の次元分析の結果では、特に姿勢が大きくゆらぐ場合に、他の時点とは顕著に異なる次元が被験者に共通して同定された．この結果と一貫して、被験者が自発的に腕振りをして場合に、重心の運動の性質は顕著に変化した(図2(右))．これは腕振りのように全身の協調が求められる特定の動きをする場合、重心運動の次元は全身のバランス制御の性質を反映しているのではないかと考えられる．

この点をさらに確認すべく、立位して静止している被験者を、実験者が物理的に引っ張る実験を行った(図3)．この実験では30秒の自然立位の後、1分間の外乱フェーズ(図3赤い区間)においてランダムなタイミングで被験者に外的な力を加え、その後再度30秒間の自然立位を行った．この分析から、外乱の瞬間に特徴的な次元(緑)が同定された．興味深い点は、外乱なしでも、姿勢が大きくゆらぐ際には類似の次元を示すこと(青の囲い)である．これは、外乱でも内的なゆらぎがあっても、重心が大きくゆらぐ場合には、通常(赤いデータ点)とは異なり、類似のメカニズム(緑のデータ点)により姿勢を修正している事が示唆される．

以上の結果から、(1)さまざまな身体的な条件下で類似の次元分布が見られ、(2)外乱や自発的な腕振り運動などとあわせることで、特定の次元を持つ成

分の特徴づけが可能である事が示唆された．

立位安静・腕振り運動時の重心運動：パーキンソン病患者と健常者

予備実験で行った外乱条件は、パーキンソン病患者の姿勢制御の困難性を鑑みれば、手続きとして現実的ではない．そこで、パーキンソン病患者が自身で安全な範囲で類似の状況を作り出す動作として、腕振り運動時の重心運動を検討することにした．

データ収集

小松市やわた健康スタジオでリハビリを受けているパーキンソン病患者8名(69歳-80歳,平均73.8歳,女性6名,男性2名)に、担当医師の協力の下で実験参加をお願いした．各参加者は、圧力センター(Nintendo WiiFit)の上に乗った上で、立位安静、立位腕振りの運動を行い、そのときの重心運動を計測した．また、対照群として、タイ王国スリバレノリ病院(Srivarenoi primary hospital, Samutprakan, Thailand)の健常若年者10名(60歳未満,7-57歳,平均36.8歳,男性7名,女性3名)をおよび、パーキンソン病でない高齢者11名(60歳以上,60-80歳,平均70.54歳,男性4名,女性7名)から、同様の実験手続きで重心運動を

計測した。

(1983).

[2] Hidaka, S. & Kashyap, N.: On the Estimation of

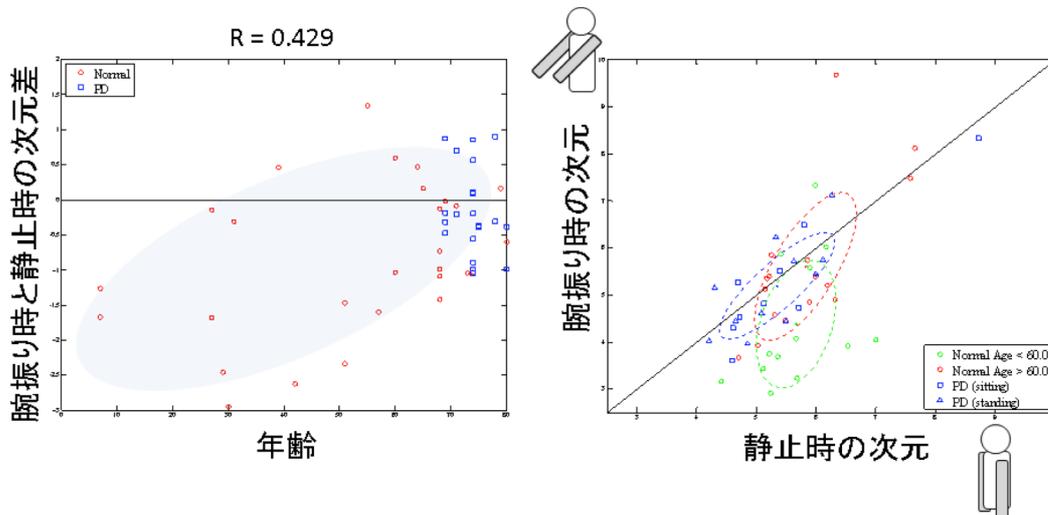


図 4 : (左) 健常者(赤)とパーキンソン病患者(青)の年齢(x 軸)と、腕振り/静止時の次元差 (右) 腕振りと静止時の次元の散布図

結果・考察

図 4 はパーキンソン病患者および健常者の立位安静時と腕振り運動時の次元差およびその散布図を表す。図 4(左)は健常な若年者ほど、腕振り時の次元が小さく、高齢者およびパーキンソン病の患者ではその差が小さいもしくは腕振り時の次元のほうが大きいことを示している。図 4(右)に示す散布図では、健常若年者(60 歳未満)、健常高齢者(60 歳以上)、およびパーキンソン病患者が、重複をもちながらも異なる分布を持つことがわかる。これらの 3 群のなかでは、パーキンソン病患者において 2 つの運動条件での差が最も小さくなる傾向があった。

この結果は、安静・腕振り運動条件の重心軌道の次元解析によって得られた統計量を用いることで、3 つの群を分類することが可能であることを示唆している。今後、適切な機械学習の分類アルゴリズムを利用することで、簡便に計測できる運動から、パーキンソン病患者に固有の特徴量を検出し、潜在的なリスクや症状の進行度合いを定量化することができると期待できる。

参考文献

[1] Grassberger, P., & Procaccia, I.: Characterization of strange attractors.*Physical review letters*, 50(5), 346-349,

Pointwise Dimension., eprint arXiv:1312.2298, (2013).

[3] Hoehn, M., Yahr, M.: Parkinsonism: onset, progression and mortality." *Neurology* 17 (5): 427-42, (1967).

[4] Riley, M. A., Van Orden, G. C.: Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences. National Science Foundation, (2005).

チェロ演奏動画の目視によるデータ獲得と演奏スタイルの分類

On Clustering Cellists using Acquired Data through Performance Movies Observation

古川康一^{*1}
Koichi Furukawa

升田俊樹^{*2}
Toshiki Masuda

西山武繁^{*3}
Takehige Nishiyama

^{*1} 慶應義塾大学
Keio University

^{*2} チェリスト
Cellist

^{*3} フリー
Free

By specifying a set of more than ten characteristic attributes related to cello playing such as “right elbow height”, “vertical movement of the wrist on bow reverse action” and “the degree of left-right body trunk motion”, we collect a set of data from observation of 46 cellists movies on YouTube and conduct clustering and decision tree analyses to identify a set of clusters. As a result, we succeeded in obtaining five clusters which may be useful in finding a cello playing style suited for each player.

1. はじめに

スキルの獲得において、個人差への対処は、大きな問題である。たとえ演技者の厳密な計測に基づく一見客観的と思えるスキルの解明研究においても、演技者個人のもつ個人差により、得られた結論は一般性を持つとは言い難い。また、スキルの習得においても、トレーナーの教示は自身の経験に基づく面が多いので、トレーナーの持つ固有性に囚われてしまい、学習者とトレーナーの相性が悪いと指導が困難になることも多い。

本研究では、このような個人差の問題を解決する手掛かりとして、チェロの演奏を題材として、チェリストの分類を行った。より具体的には、インターネットの YouTube にアップロードされた国内外のチェリスト46名に対して、著者が目視により様々な属性についてのデータを獲得し、クラスタリング、決定木分析などのデータ分析の手法により、チェリストの分類を試みた。本論文は、その研究についての報告である。

本論文の構成は、以下のとおりである。2章では、関連研究をサーベイする。3章では、どのようにして属性選択を行ったのかを述べる。4章では、演奏動画の目視によるデータ獲得方法とそこでの問題点について議論する。5章、6章では、それぞれ得られたデータのクラスタリングおよび決定木分析について述べる。7章では、データ分析の結果についての考察を行う。8章では、本論文のまとめと、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

スキル獲得の過程において、学習者が目指すべき身体操作の方法は 1 つの解に収束するとは限らない。身体操作の方法を分類することは、スキル獲得の過程を促進する上で不可欠な課題である。例えば、スポーツの現場において 4 スタンス理論と呼ばれる実践的理論が知られている[1]。4 スタンス理論では、アスリートの身体的特徴を 4 種類のタイプに分け、それぞれ理想的な身体の使い方が存在するとされている。

スキルの獲得支援を目指す研究においても、学習者の特性に合わせた支援を実現するために、身体操作の方法を分類する試みが為されている(例えば[2][3]など)。これらの先行研究では、演技者の身体操作をビデオカメラで撮影、あるいはモーションキャプチャシステムなどのセンサを用いて計測し、そのデータを処理して身体操作方法の分類を行う。身体操作方法の分類に際しては、スキルに関する知識を用いて分類のための着眼点を絞り込む場合と、スキルに関する知識を用いずに分類を行う場合がある。

本研究では、一流のスキルを有する演技者のデータを多量に収集可能であることから YouTube にアップロードされた動画

を分析対象とした。また、分類に際しては演技者にとって有意義な知見を獲得することを企図して、スキルに関する知識をもって着眼点を絞り込むこととした。

3. 属性選択

3.1 事前の知見に基づく属性選択

属性選択は、チェリスト分類の成否を分ける問題である。重要な属性を網羅していれば、分類はうまくいくであろう。しかしながら、不必要に多くの属性を選んでも、それらが重複している可能性もあり、データ獲得の手間が掛かり、実際にはうまくいかない。本実験では、初めは著者間の議論を通じて17項目を選び、測定を開始した。それらの項目は、国籍、男女別、体格、手の大きさなどの一般的な事柄、チェロの演奏に関わる、弓のアップ動作での力の入れ方(肘で押すか手首で引っ張るか)、弓を返す時に手首を前後方向に曲げるか否か、あるいは、体を大きく揺らすか、チェロを寝かせるか立たせるか、などである。

3.2 属性選択の見直し

これらの17項目に対してデータ獲得を行い、予備的にクラスタリングを行った。それらの予備実験を通じて属性の過不足を発見し、その見直しを行った。それらの見直しの理由は、(1)属性の重複による不要属性の除去、(2)計測の困難性による属性の除去、(3)計測中の新たな発見による属性の追加、の3つである。以下にそれらについて具体例を取り上げながら紹介する。

(1) 属性の重複

当初取り上げた属性には、「体格」の他に「腕の長さ」、「手の大きさ」の2属性が含まれていたが、これらについては、測定を通して、それらの項目間の相関が高く、別の属性として取り上げる必要がないことが判明した。

(2) 計測の困難性による属性の除去

属性「弓のアップ動作での力の入れ方:肘で押すか手首で引っ張るか」、「姿勢の違い:前屈みか、垂直か、後傾か」、「左腕のポジションチェンジの仕方:肘が先か、同時か、手が先か」などは、判定が微妙であり、データ獲得が困難であることが判明し、測定項目から除去することとした。たとえば、姿勢の違いでは横方向からの姿勢を観察する必要があるが、ビデオではそのような画面はほとんど得られなかった。

(3) 計測中の新たな発見による属性の追加

複数の演奏動画を観察中に、それまで気がつかなかった、以下のようないくつかの特徴的な体の動きを発見した。

- i. 弓先での手首の落ち込み:あり、なし
- ii. 第1ポジションでの左手の角度:肘下がり、中間、水平

- iii. 弓の持ち方:指閉じ、中間、指拡張
- iv. (C線での)右掌の形:捻らない、捻る

これらの4属性のうち i,ii,iv の3属性は、実際、後のデータ分析において、重要な働きをなしていることが判明した。すなわち、これらの3属性とも分類を左右する属性であった。これらの属性の気づきがどのようにしてなされたかは、メタ認知などの注意深い実験を行っていなかったため、詳しく述べることはできないが、同時にタイプの異なる演奏者の動画を見続ける過程で、それらの相違に気がついたものと思われる。

結果として選択された12項目は、以下のとおりである。

1. 男女別
2. 体格
3. 高弦での右肘の高さ
4. 弓返し時における手首の前後屈伸の有無
5. 弓先での手首の落ち込みの有無
6. 首の動きの大きさ
7. 頭とチェロ間の距離
8. チェロの角度
9. 体幹の左右の動きの置きさ
10. 第1ポジションでの左手の角度:肘下がり、中間、水平
11. 弓の持ち方:指閉じ、中間、指拡張
12. (C線での)右掌の形:捻らない、捻る

4. 目視によるデータ獲得

各チェリストについて、演奏動画を観察し、選ばれた属性の値を目視により決めた。各属性の値は、0-1 の数値とし、ほとんどの属性は、0,1 の2値、あるいは 0,0.5,1 の3値とした。例外として、「肘の高さ」、「頭とチェロの距離」の2属性は、連続値とした。このような属性値のレンジの選択は、クラスタリングにおいて、属性間に優劣がつかないようにするためである。

4.1 チェリストの選択

分類データを収集するためのチェリストは、YouTube サイトから選んだ。選択に当たり、小中学生は除外した。それは、ほかのチェリストと比べて体格が違いすぎることと、チェロのスキルが発展途上であると思われたからである。

4.2 実験者の目視によるデータ獲得

チェリストごとに、属性を意識しながら動画を観察して、適切と思われる属性値を決定した。その際に重要なのは、計測精度を上げることである。この問題を回避するために、測定属性の厳密化と測定基準の揺れの防止を図った。

測定属性の厳密化の例としては、「頭とチェロ間の距離」がある。その測定値を得るために、当初は2値とし、頭とチェロの距離を見た目で判断していたが、動きを伴うので正確性を欠いた。より正確性を期すために、初めに頭とチェロの距離の定義を明確にした。すなわち、頭(より厳密には首)とチェロのネックの空間的な隔たりを測定することとした。また、動きを伴うので、継続的に離れている度合いも考慮に入れて、測定値を得た。

測定基準の揺れの問題を回避するために、一度目の測定ではチェリストごとにすべての項目を測定したが、二度目は属性ごとにチェリストを横断して、短時間の間に測定値を比較しながら測定を続けた。また、何人かのチェリストについては、2回測定し、それらの差異を調べた。その結果、違いがあった項目については、再度見直して、測定値の修正を行った。得られた測定値を図1に示す。

チェリスト名	Sex	Bod ySiz e	Elbo wHgt	Wrist Bend	Wris t	Neck	Head Move	Cello Angle	Body Move	Left Arm Angl e	Gras pFing erWid th	Right Palm Shap e
Ofra Harony	Female	S	0.5	No	Yes	Big	1	0.5	1	0	0.5	Flat
法上 剛	Female	S	0.3	Yes	Mid	Small	0.3	0	0.5	0	0.5	Flat
浦川 うらら	Female	S	0.6	Yes	Yes	Small	0	0.5	1	0.5	0	Flat
Tanya Anisimova	Female	S	0.5	Yes	Yes	Big	0	0.5	0.5	0	1	Flat
Mari Endoh	Female	S	1	Yes	Mid	Big	0.6	0.5	1	1	1	Flat
河村 治	Male	S	0.5	Yes	Mid	Big	0.7	0	1	0	1	Twist
Marie-Elisabeth Hecker	Female	S	0	Yes	Yes	Big	0.9	0	1	0	1	Twist
Yoko Hasegawa	Female	S	0.5	Yes	Yes	Big	0.5	0.5	0.5	0	0.5	Twist
Sol Gabetta	Female	L	0.5	Yes	Yes	Big	0.7	0.5	1	0	1	Twist
Tatiana Vassilieva	Female	L	1	Yes	Yes	Big	1	0.5	1	0	0.5	Twist
新倉 誠	Female	S	0.5	Yes	No	Small	0.2	0.5	1	0	0.5	Twist
三宅依子	Female	S	0.7	Yes	Mid	Small	0.3	0.5	1	0.5	0.5	Twist
デュブレ	Female	S	0.5	Yes	Yes	Big	0	0.5	1	1	0.5	Twist
Kateryna Bragina	Female	S	0.7	Yes	Yes	Big	0.5	0.5	1	1	0.5	Twist
矢口里菜子	Female	S	0.5	Yes	Yes	Big	0.2	0.5	1	1	1	Twist
F.Guye	Male	L	0.7	Yes	Mid	Small	0	0	0.5	1	0.5	Flat
Jian Wang	Male	S	0.8	Yes	Mid	Small	0.5	0.5	0	0	0	Flat
Lynn Harrell	Male	L	0.6	No	Mid	Small	0.2	1	0	0	0.5	Flat
Janos Starker	Male	L	0.7	No	No	Small	0.2	0.5	0	0	0	Flat
Piatigorsky	Male	S	0.2	No	Mid	Small	0.5	0	0.5	0	0	Twist
Rostropovich	Male	L	0.5	No	Yes	Small	0	0	0.5	0	0.5	Twist
Paul Tortelier	Male	L	0.7	No	Mid	Small	0.3	0	0	0	0.5	Flat
Michaela Fukačová	Female	L	0.6	No	Yes	Small	0	0	0	0	0.5	Flat
Amit Peled	Male	L	0.7	Yes	Yes	Big	0.3	0	0	1	0	Flat
Mario Brunello	Male	S	1	No	No	Big	1	1	0.5	0	0.5	Flat
柏木広樹	Male	S	0.2	No	No	Big	0	0.5	1	0	1	Flat
Davide Amadio	Male	S	0	Yes	No	Big	1	1	1	0	0.5	Flat
長谷川 彰子	Female	S	0	No	No	Small	0.2	0	1	0	0	Flat
Rintaro Kaneko	Male	S	0.5	No	No	Big	0.8	1	1	0.5	0	Flat
Miklós PERÉNYI	Male	S	1	No	No	Big	1	1	1	0.5	0.5	Twist
Mischa Maisky	Male	S	0.5	No	No	Big	0	0.5	1	0	0.5	Flat
Stéphane Tétreault	Male	S	0.7	No	Mid	Big	0.5	0.5	1	1	0.5	Flat
Pierre Fournier	Male	S	0.5	No	No	Big	0.5	0	0	0.5	0.5	Flat
岡本 衛也	Male	S	0.5	Yes	No	Big	0.5	0.5	0	0	0.5	Flat
長谷川 康弘	Male	S	0	No	No	Small	0.2	0.5	0	0	0	Flat
Rabro Casals	Male	S	0.5	No	Yes	Small	0	0.5	0.5	0	0.5	Flat
上野 通明	Male	S	0.7	No	No	Small	0.2	0	0.5	0	0	Flat
Dai MIYATA	Male	S	0.5	No	Yes	Big	0	0	0	0	0.5	Flat
Benedict Kloeckner	Male	S	0.5	No	Mid	Small	0.3	0.5	0.5	1	0.5	Twist
Leonard Rose	Male	L	0.5	No	Mid	Small	0.2	0	1	0.5	0	Twist
Truls Mørk	Male	L	0.8	No	Yes	Small	0	0	1	0.5	0.5	Twist
Yo-Yo Ma	Male	L	0.5	No	No	Big	0.7	0	1	1	1	Flat
Michael Schonwandt	Male	L	0.5	No	No	Big	0	0	1	1	0.5	Flat
Luka Sulic	Male	L	0.8	No	No	Small	0.2	0	1	1	1	Twist
Tsuyoshi Tsutsumi	Male	L	0.7	Yes	No	Small	0	0	0.5	1	0.5	Flat
Xavier Phillips	Male	L	0.7	No	No	Big	0	0.5	0	0	1	Twist

図1 46名のチェリストの測定結果

5. クラスタリング

チェリストのクラスタを発見するために、k-means 法によるクラスタリングを実施した。利用したソフトウェアは、Weka-jp に含まれているプログラムである。Weka-jp は日本語対応の Weka であるが、クラスの属性ごとの出力に標準偏差が付加されており、元の Weka より優れているので、こちらを採用した。k-means 法のパラメータには、クラスタ数がある。本実験ではクラスタ数を3~6に変化させて実施した。その中から最適なクラスタ数を割り出した。最適性の判定は自明ではないが、そのひとつの目安は、クラスタ内での二乗誤差の合計である。その数の変化を図2に示す。このグラフから、クラスタ数5が妥当であることが読み取れる。その第1の理由は、クラスタ数が3から5に変化するにつれて、2乗誤差の合計が急激に減少しているが、クラスタ数が6になるとその減少が止まり、わずかながら上昇に転じているが、このことからクラスタ内の散らばりがクラスタ数5で最も低くなっていることが分かる。また、クラスタ数が増すと、必然的により近いクラスタが出現することが予想されるので、その理由によってクラスタ内の2乗誤差の合計が減少するので、クラスタ数6の2乗誤差の合計は、その分減少していると考えられ、クラスタ数5の方がより優れていることが分かる。もうひとつの目安は、得られたクラスタへのデータの分布状況である。クラスタを多くしすぎると、2とか3などの極端に少ない数の要素しか含まないクラスタが現れることがあるが、今回の実験を通して、クラスタ5の場合のデータの分布は、そのような結果に陥っていない。

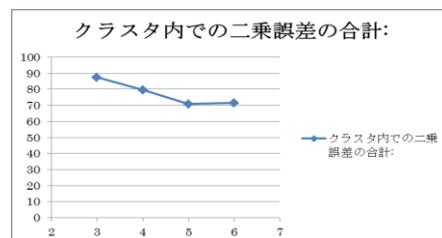


図2 クラスタ数による2乗誤差の合計の変化

クラスタ数を5としたときの各クラスタに分けられたチェリストのグループを図3に示す。

クラスタ0		
浦川 うらら	Soi Gabetta	Yoko Hasegawa
Tanya Anisimova	Tatiana Vassilieva	Kateryna Bragina
Mari Endoh	du Pre	矢口里菜子
Marie-E. Hecker		
クラスタ1		
Ofla Harnoy	Stéphane Tétreault	金子鈴木郎
Mario Brunello	Pierre Fournier	Miklós PERÉNYI
柏木広樹	岡本侑也	Mischa Maisky
Davide Amadio	長谷川 康弘	宮田大
長谷川 彰子	上野 通明	Xavier Phillips
クラスタ2		
F.Guye	Michael Schonwandt	Yo-Yo Ma
Amit Peled	Luka Sulic	堤剛
クラスタ3		
法上 閑	Jian Wang	三宅依子
河村 治	Piatigorsky	Leonard Rose
新倉 瞳	Benedict Kloeckner	
クラスタ4		
Lynn Harrell	Michaela Fucačová	Paul Tortelier
Janos Starker	Pablo Casals	Truls Mørk
Rostropovich		

図3 k-meansによるチェリストのクラスタリングの結果

6. 決定木分析によるクラスタの特徴付け

5章で得られた各チェリストのクラスタ番号をクラスとして、決定木分析を行った。使用したソフトウェアはクラスタリングと同様、Wekaである。ただし、Weka-jpは決定木のグラフ化の機能が欠落していたので、元のWekaを利用した。決定木プログラムのパラメータとしてはminNumObjを3に設定した。またTest optionsとしては、Use training setとした。その理由としては、データ数が十分でないので、training setとtest setに分けたり、cross validationを行うなどの方法を探ると興味深い決定木が得られないことが分かったからである。得られた決定木を図4に示す。

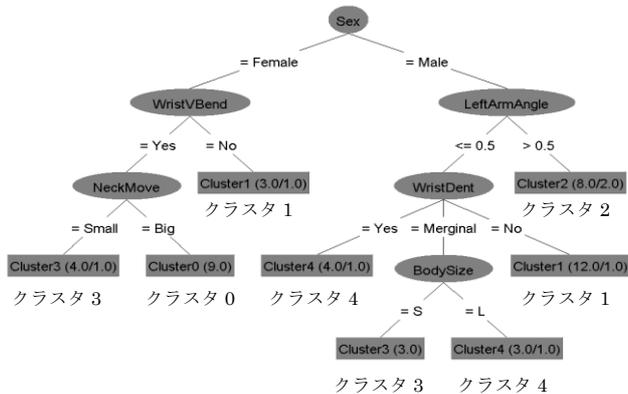


図4 チェリストクラスタの決定木

図4の決定木において、楕円ノードは判定に選ばれた属性を表し、そこから出るアーク上の値は、その枝の属性値を表す。長方形ノードは末端ノードであり、決定されたクラスタを表す。長方形に含まれる情報は、「クラスタ名(分類されたレコード数/誤分類数)」を表す。決定木の「良さ」の尺度の一つは、正解率である。図4の決定木の正解率は、84.8%である。図4の決定木から読み取れるのは、第1にトップノードが性別になっている点と、クラスタ1およびクラスタ3が男性、女性の両グループに分離している点である。この分離現象を解消するために、我々はつぎに性別属性を除いて決定木を作成してみた。その結果を図5に示す。図5に示す性別属性を除いた決定木の正解率は、

87.0%で、性別属性を含む場合よりも、むしろ正解率は上がっている。その代わりに、末端ノードの数は、8ノードから10ノードに増えている。興味深いのは、この決定木に現れる分類属性である。本決定木に新たに現れた分類属性には、「頭とチェロ間の距離」、「チェロの角度」、「右掌の形」の3つである。この中には、予備実験の後に加えられた4属性のうち1属性が含まれている。最初の決定木に2つの新属性(i および ii)が含まれているので、全体で4属性のうち3属性が含まれていることになる。

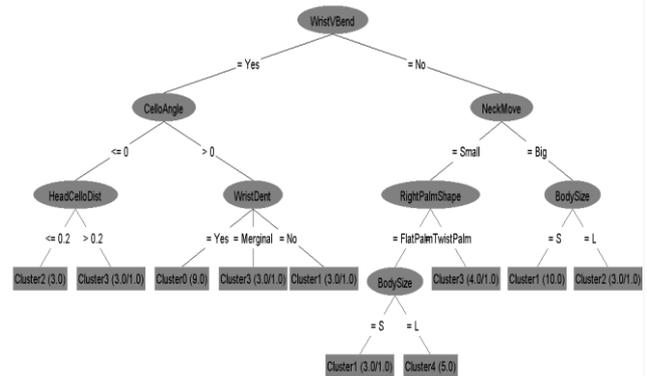


図5 性別属性を除いた決定木

図4、図5から分かるように、依然としていくつかのクラスタが2箇所以上の枝に分かれている。これらの分離を回避するために、いくつかのクラスタを選択して、それらのチェリストを再クラスタ化することを考えた。再クラスタ化するクラスタを選ぶために、クラスタ間距離の計算を行なった。クラスタ間距離は両クラスタに属しているすべてのレコード対の2乗距離を求め、その最小値、最大値、平均値を求めた。それらの結果を図6に示す。

クラスタ対	最小距離	最大距離	平均距離
2-4	2.34	6.33	4.4
3-4	1.38	7.75	4.51
1-4	1.49	8.41	4.59
0-3	2.18	7.79	4.69
1-3	2.33	7.48	4.82
1-2	2.34	8.29	5.15
2-3	2.83	7.55	5.19
0-1	2.35	8.89	5.28
0-2	4.01	7.88	5.68

図6 クラスタ間2乗距離を平均距離でソートした結果

この結果から、クラスタ1, 3, 4が相互に近いことが分かる。この結果は図4での分離クラスタと一致するので、つぎにこの3クラスタに属しているチェリスト群を再度クラスタリングして、決定木を求めた。その決定木を図7に示す。また、この再クラスタリングによって、図3のグレーで示した3名のチェリストがクラスタ1からクラスタ4に移動した。

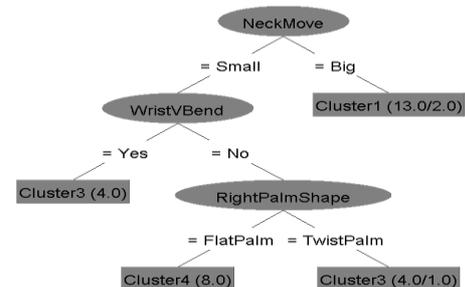


図7 クラスタ1,3,4の再クラスタリングによる決定木

図 4.5,7 から、各クラスタの特徴を抽出することが可能である。それらを以下に示す。

i. クラスタ0

クラスタ0は、女性チェリストのクラスタで、手首の前後屈伸および首の動きがともに大である。代表的なチェリストは **du Pré** で、小さな体を有効に使うために、首や体を大きく使っていると考えられる。

ii. クラスタ1

クラスタ1のチェリストの特徴は、小柄で、首を大きく動かし、かつ、手首の前後屈伸をしない点である。とくに、手首の前後屈伸を行わない点が、クラスタ0と異なる。男性、女性がともに含まれ、代表例は男性は **Mischa Maisky**、女性は **Ofla Harnoy** である。

iii. クラスタ2

クラスタ2のチェリストは、大柄の男性チェリストであり、その特徴は第1ポジションで左肘を上げる点である。さらにチェロを寝かせて構えている。**Yo-Yo Ma** が代表的奏者である。

iv. クラスタ3

クラスタ3のチェリストは、首の動きが小さく小柄であり、頭とチェロの間の距離が大きめである。手首の前後屈伸を利用しているか、利用していない場合は右掌を捻っている。代表的奏者は **Leonard Rose** である。また、3名の日本人女性チェリストが含まれている。

v. クラスタ4

Rostropovich、**Pabro Casals** に代表される男性チェリストのクラスタで、首の動きが小さく、第1ポジションで左肘を下げ、頭チェロ間の距離が小さく、右掌の捻りが無いのが特徴である。クラスタ2と近いが、違いは第1ポジションでの左肘の高さである。

クラスタを分ける属性は、チェリストのタイプを考える上で、重要である。クラスタ0とクラスタ1を分ける「手首の前後屈伸の有無」は、弓を返す時に必要な腕の柔軟性をどのようにして確保するのかに関わっている。クラスタ0に見られるように手首の前後屈伸を利用すると、とくに手首を柔軟性の主としていることが読み取れる。また、そのほかにも首や体幹の動きを活用して、体全体で柔軟性を確保している。クラスタ1は手首の前後屈伸を利用していないが、その場合には手首の左右方向の動きあるいは指の柔軟性などを利用していると思われる。手首の前後屈伸の利点は屈伸幅を大きく取れる点であるが、欠点としては、手首の屈伸方向と弓の動きの方向が一致していないので、弓の返し時に常に掌を捻る必要がある。このため、腕全体の動きに伴う力（動作依存トルク）が弓に効率良く伝わらないと思われる。体全体の動きがより激しくなるのもその理由かも知れない。

クラスタ2の特徴である、左肘の角度を水平に保つ特徴も注目する。左肘を水平に保つためには、腕力を必要とするので、全員が大柄の男性チェリストである。この姿勢は、弓のダウン方向の動きに対して反力を生成すると考えられ、弓の力強い速い動きが可能になる。一方、クラスタ1, 3, 4に見られる左肘を下ろす奏法は、弾き方としてはより自然である。姿勢に無理がないので、柔らかな音楽が期待できる。

7. 考察

正確なクラスタリング結果を得るためには、データ数が少なすぎるが、得られた結果はこれまで知られてなく、著者にとっても驚きであった。クラスタリング過程で妥当なクラスタ数が決まったことも興味深い。これまで、いろいろのタイプのチェリストが存在

することは経験的にも知られていたが、動画の目視とデータ分析の手法によりこのような結果が得られたことは興味深い。

我々は、各クラスタの特徴付けのために、さらに各チェリストの演奏の印象を記録し、それらの印象とクラスタの関連づけを行った。この作業は、著者のうち、プロのチェリストが担当した。さらに、各演奏者がどのクラスタに属しているを知ることも影響を排除するために、分類結果が未知の状況で行った。そして、最後にクラスタリングの結果に従って、評価結果自身を分類した。評価結果の詳細は述べないが、以下にその概要について述べる。

クラスタ0の奏者は、「軽い音楽」、「響きが軽い」という、ほかにはない感想が見られた。このクラスタが女性のみからなることと照らし合わせると、納得がいく。

クラスタ1の奏者は、「スケールが大きい」、「暖かい音」、「音が豊か」などのポジティブな評価と合わせて、「面白くない」、「メリハリが効いていない」などのマイナスの評価も見られた。このクラスタの特徴である「手首の前後屈伸をしない」点との関連が考えられるかもしれない。

クラスタ2の奏者は、「音量がある」、「音が響いている」などのプラスの評価がある一方、「硬い響き」、「自然の流れがない」などのマイナスの評価も見られる。大柄の男性チェリストで、左肘を上げて、音量を確保していると考えられる。その反面、頑張りすぎて、硬い響きを生じてしまうのかもしれない。

クラスタ3の奏者は、概して評価が低い。「音楽に伸びがない」、「音が固い」などの評価が見られる。このクラスタは、奏法の特徴も定まっていない。頭とチェロの間の距離が大きいなど、問題のある特徴もあり、あまり推奨したくないグループかも知れない。

クラスタ4の奏者は、「音が豊か」、「響きが良い」などのプラスの評価が多い。大柄の男性チェリストが多いので、クラスタ2に似ている。ただし、左肘を上げないなど、より自然な奏法になっている。全般的に評価が高い。

8. おわりに

本論文では、YouTube にアップロードされたチェリストの演奏動画から、12の属性について目視によるデータの収集を行い、クラスタリング、決定木分析により、5つのグループに分類した。並行して、演奏の印象を収集し、それら2つのデータを突き合わせて、各クラスタの音楽的な特徴の抽出を行った。

本研究は、データ数、観測精度など、不十分なところもあり、さらなる精緻化が必要であると考えられるが、今後、何人かのアマチュアチェリストに結果を配布して、結果の有用性の検証を行っていきたい。

謝辞

論文中のデータ分析について、沖縄国際大学の金城敬太氏と日本大学の尾崎知伸氏のご協力をいただいた。深謝する。

参考文献

- [1] 廣戸聡一:4 スタンス理論-正しい身体の動かし方は4つある-, 池田書店, (2007).
- [2] 松本鮎美, 三上弾, 川村春美, 小島明:動作学習支援のためのフォーム分類手法の検討-小学生の逆上がりを題材とした分類に有効な画像特徴量の検討-, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.51, pp.9-12, (2014).
- [3] 久保有也, 橋本雄太, 石田博基, 小方博之, 松村大吾:パターニングのフォーム分類, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08, 1A1-I03, (2008).

ジャグリングの熟達における思考過程の分析

- 3ボールカスケードの事例より -

Analysis of Thought Process in Learning Juggling

-In Case of 3-ball Cascade-

内山光太¹ 伊藤毅志¹

Kota Uchiyama¹, Takeshi Ito¹

¹ 電気通信大学情報理工学部情報・通信工学科

¹ Department of Communication Engineering and Informatics,
The University of Electro-Communications

Abstract:

The aim of this research is to analyze the thought process in embodied knowledge acquisition on juggling. We planned an experiment on learning 3-ball cascade. We instructed seven beginner subjects to practice 3-ball cascade of juggling over 2 weeks. We investigated the acquisition process of embodied knowledge by awareness of issue in detail using analysis of verbal reports and video data. As the result, in order to acquire embodied knowledge, it was suggested that it is important to decompose the problem and to clarify the issue they should be conscious of.

1 はじめに

我々はスポーツやダンスなどの運動技能を習得する際、様々な動作スキルを会得する。それらの動作スキルの多くは日常生活では使用しない複雑で難解なものが多い。その複雑で難解な動作をただやみくもに練習して習得することは大変困難である。

スポーツ科学の分野では、このような動作スキルを効率よく獲得するため、身体知の習得過程に関する研究が行われてきた。身体知とは、身体が覚えこみ獲得した知識のことである。例えば、スポーツやダンスといった身体運動では、熟達によってどのように身体を動かすべきなのかを頭で考えずとも身体が動くようになる。このように経験や訓練によって身体が覚えこむ技やコツなどの知識は身体知と呼ばれ、近年多くの研究がなされている。

身体知を獲得するためには、外部から身体の動かし方や、やり方のコツを教示されるだけでなく、学習者自身が重要な要素に関する気づきを得ることが重要である。学習者本人の中で何かコツや動作の

やり方を頭ではなく身体で理解したとき、すなわち“体得した時”，身体知は獲得される。そのため、特に意識せずに練習をしていても、あるタイミングで身体がその動作を覚え、身体知を獲得することは起こりうる。しかし、諏訪は、自身の動きや体感をどのように認知しているかを言語化することは、身体知獲得において有効であるという“メタ認知的言語化理論”を提唱している[1]。この理論によると、学習者自身が自身の体感を認知することを認知する、すなわち、“メタ認知”することで身体知獲得が促されることを指摘している。

身体知獲得の研究題材として、本研究ではジャグリングを例に挙げた。ジャグリングは、技の習得が明確な目標として設定しやすく、熟達度を測りやすいという利点がある。更に、ジャグリングは技能の習得に際し、筋力や持久力といった個々の体力差による優劣もつきにくい。また、特定の運動経験や知識を持たない者でも習得できる可能性が開かれている。これらの理由から、身体知における学習実験題材として適していると考えられる。

本研究では、ジャグリングのもっとも基本的な技の一つである“3ボールカスケード（以下、カスケード）”を題材に、身体知獲得までの学習過程における思考過程を分析し、カスケードの習熟に重要な要素を明らかにしていく。

2 ジャグリング

ジャグリングとは手に保持できる程度の道具を使った特殊な技能や芸のことであり、日本では昔からお手玉として親しまれてきた。近年、ジャグリングを取り入れた大道芸、サーカスや様々な形のステージ上でのパフォーマンス、メディアの露出などにより目にする機会も多くなり、一般にも広まりを見せている。

ジャグリングはボールやクラブなどの道具を複数個空中へ投げあげたりキャッチしたりするトスジャグリングが最も有名である。この他にも一般的にジャグリングとみなされる技術には、お椀を2個繋げたようなコマを2本のスティックに紐を通したハンドスティックで回すことにより操るディアボロ、2本の短い棒でセンタースティックという長い棒を浮かせる、回すなどして操るデビルスティックなどの道具で道具を操るものや、水晶やボールなどを体から離さずにまるで浮いているように見せたり、身体や手の上を転がしたりするコンタクトジャグリング、ボールを投げ上げるのではなく地面に叩き付けて跳ね返ったものをキャッチするバウンスジャグリングなど様々な種類がある。

本研究ではトスジャグリングの中で最も基本的な技とされているボールを使った“カスケード”という技を題材とする。カスケードとは一般的に3つ以上の奇数個のボールを用い、左右の手で交互に逆側の手へトスを行いキャッチする前に次のトスを繰り返す技である。

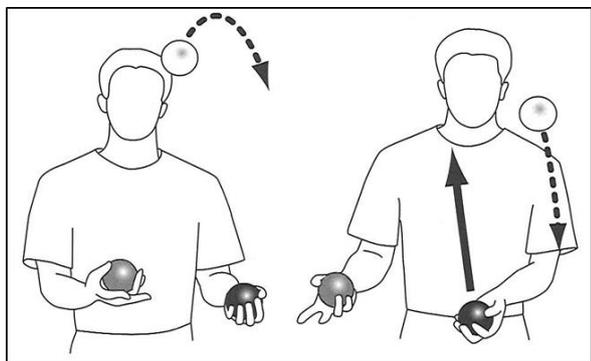


図1：カスケードのイメージ図（[4]，p8より）

3 関連研究

カスケードに関する研究の例として以下の2つが挙げられる。

ひとつ目は、田中らによるカスケードを用いた身体知の研究である。田中らは身体知研究としてカスケードにおける習熟過程を取り上げ、ジャグリング未経験合計8名の実験参加者に対してカスケードを平均100回できる状態を学習目標にし、練習を継続させる実験を行った[2]。練習時間は特に指定せず、各自自由に練習を行って良いこととし練習を行った日には「その日テスト」という5回のトライアルを実施し、カメラで記録した。練習実施後には参加者の主観的報告を質問紙によって記録させた。また、ジャグリングの動作を身に付けるうえでのコツは何か、参加者本人が「できない」状態と「できる」状態の差異をどのように感じているか調べるため、実験期間中一週間に一回の頻度で一時間程度の聞き取り調査を実施した。

その結果、聞き取り調査からカスケードを身体化するコツとして次の三点をあげている。

- ・視点を定めることによる身体空間の拡張
 - ・考えないようにすることで心身の二元性を解消
 - ・リズムを理解することによる動作の周期性の調節
- また、カスケードが「できないこと」から「できること」に変化するのには、意図的な調節によって徐々にできるようになっていくという連続的な運動学習モデルは当てはまらず、動作の只中で心身の二元性が解消される瞬間、偶然の一致によってなされるとしている。

二つ目は、市川らによるカスケードにおける身体スキル獲得に関する研究である。市川らは「カスケードの体幹と上肢の動きの安定性がどの熟達段階で確立されるのか」と「身体スキル獲得に向けての意識に関する言語報告」の二点について調べた[3]。参加者11名に7日間カスケードを練習させ、先行研究にもとづいて参加者の熟達段階を三段階に分類した。そして、異なる学習段階の参加者間で身体動作の安定性、及び言語報告の比較を行った。その結果、「体幹と上肢の安定性が確立される熟達段階が異なること」、「上肢の動きの安定性の確立が受動運動で現れたこと」、「学習曲線が停滞している実験参加者は特に、個々の身体部位に着目して練習を行っていたこと」が明らかになった。

田中らはコツに関するインタビューを行っているが、何に意識をして練習をしていたのかについては触れていない。また、市川らは練習中に関する意識についてインタビューしているが、それぞれの熟達段階の参加者の状態について分析を行っており、ど

うすれば熟達が進むのかという観点で分析が行われていない。また、具体的にどの身体部位に着目しているのかについては述べられていない。具体的な着目点を調べることで、初心者熟達を妨げる要因を把握することが出来ると考えられる。

以上のようにカスケードの習熟を題材に、人間の熟達化についての検討は行われているが、多くの研究では参加者に目標を与えるのみで、具体的な練習方法の統制をとらなかったため、スキルの獲得が出来なかった参加者も多く、また獲得できたとしても、単にその参加者の本来的な身体性能や思考傾向、知識の違いが影響している可能性が検討されていない。また、どの熟達段階で何に気が付いていたか、という点については詳しく調べられていない。

そこで本研究では、参加者に一律に一般的な練習方法について教示を与え、知識面での統制を行う。その上で、参加者がカスケードを練習する際に何に意識しているのかを分析し、参加者の意識の違いが、身体知の獲得過程においてどのように影響するのかを明らかにしていく。

4 予備実験

4.1 目的

ジャグリング初心者にカスケードを練習させることで、カスケードを習熟していく過程で、どんな点にどのような気づきを得るのか、その思考内容を明らかにする。

4.2 方法

4.2.1 実験参加者

学生2名(20歳女性, 27歳男性)がボランティアとして実験に参加した。なお、両名ともジャグリング未経験、右利きであった。

4.2.2 手続き

トスジャグリングの最も基本的な技である「カスケード」を題材とした。三回の練習の撮影、及び自宅練習をおよそ二週間に渡って行わせ、そこで得られた発話データと学習記録フォームから意識の違いを分析した。実験は謝金を支払わず、ボランティアとして実施した。

なおボールはジャグリングショップナランハの「ビーンバッグノーマル(直径66mm, 重さ130g)」を用いた。

具体的に、以下のような流れで学習実験を行った。

① 実験開始日：練習方法の教示+撮影一回目

参加者に対して実験者が、「ボールジャグリング入門第二版」[4](以後、教本)に基づいたカスケードの練習方法を教示した。教本ではカスケードの練習をボール1つのみ使用、ボール2つを使用、ボール3つを使用、の三段階に分けている。本研究ではそれぞれを「ステップ1」、「ステップ2」、「ステップ3」と呼ぶ。

参加者には教本を参考に自由に練習をさせ、最後にキャッチ回数テストをさせた。この間、参加者にはマイクを付けさせ考えている内容を発話するよう教示し、その様子をビデオカメラにて撮影した。練習終了後、キャッチ回数テストの結果や、その日特に意識した点や気が付いた点を“学習記録フォーム”につけさせた。

② 開始翌日から約一週間：自宅での練習

1日最低10分以上は自宅にて練習を行うように教示した。毎回の練習後にはキャッチ回数テストをさせ、その結果と「気づき」等を学習記録フォームに記録させその都度すぐにメールにて提出させた。

③ 開始約一週間後：撮影二回目

練習方法の教示をしないこと以外は、①の撮影一回目と同様に練習とキャッチ回数テストの様子を撮影し、練習終了後、学習記録をつけさせた。

④ 撮影二回目翌日から三日目の前日：自宅での練習

②と同様の方法で、自宅練習をさせた。

⑤ 開始約二週間後：撮影三回目

③と同様の手続きで実施した。

4.2.3 教示内容

参加者には100キャッチを目標に実験を進めるように教示を与えた。また、気づいたことを言語化することが学習に効果的であること、自身が気づいたことを他者が理解出来ないような表現でも、感覚的表現でも構わないので言語化し記録することが有用であることを強調して説明し、出来るだけたくさん“学習記録”として記述するように教示した。

カスケードのやり方については教本に沿って教示した。

4.2.4 学習の記録方法

学習の記録方法は大きく分けて2つある。一つは、参加者が一人で学習している時に学習について記録させる学習記録であり、もう一つは、実験開始日、一週間後、二週間後に行う3回の撮影である。それぞれの記録方法について、以下に説明する。

1) 学習記録フォームによる報告

実験参加者には、カスケードの練習をした直後に、気づいたことを学習記録フォームにできるだけ詳細に記録させ報告させた。参加者には、事前に学習に

において自身で気がついたことを反芻して、記録を取ることの重要性について強く教示して、できるだけ詳細に気づいたことなどを記録させるように指導しておいた。学習記録フォームは、記述後速やかにメールで実験者に報告するように教示し、記述内容が不十分であれば、次回以降の記述を精緻にするように教示した。

2) ビデオカメラによる記録

実験参加者には、初回、一週間後、二週間後に実際に対面して、カスケードの練習をさせた。その際には、いつもと同じように練習をさせ、意識していることや気づいたことを発話するように教示した。その様子は、すべてビデオカメラで録画して、どのような行動でどんな発話を行っているのかをすべて記録した。

4.3 実験結果

参加者二人のキャッチ回数と累積練習時間の関係を以下の図に示す。

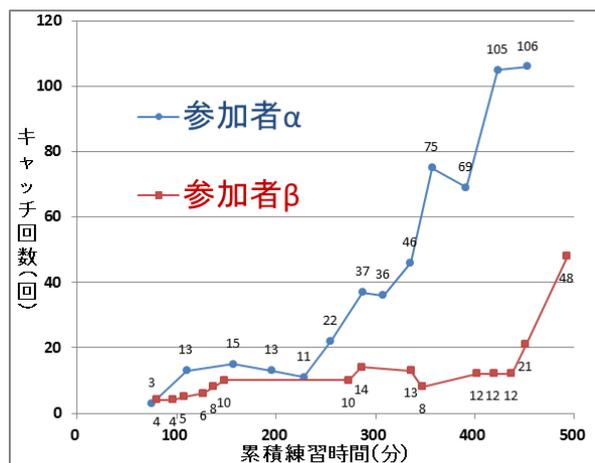


図 2：キャッチ回数と累積練習時間の関係

参加者αは目標回数 100 回を達成し、参加者βは目標達成出来なかった。二名の累積練習時間は大差が無いにもかかわらず参加者αの方が参加者βよりも急激にキャッチ回数が増えていた。以後参加者αを達成者α、参加者βを未達成者βと呼ぶ。

各参加者のステップごとの累積練習時間の増加を調べると、達成者αは各ステップをバランス良く練習しており、特にステップ2に一番練習時間を割いていた。一方で未達成者βはステップ1とステップ2はあまり練習せずに、ほとんどの時間をステップ3に割いていた。

次に、達成者αと未達成者βの学習記録から双方の意識の違いについて分析したところ、以下のような違いが見られた。

- ・達成者αは練習 6 回目までしか身体の動かし方に関する意識が見られなかった。一方で未達成者βは全ての練習で具体的な身体の動かし方を意識していた。

- ・達成者αは初回からコンスタントに「リズム」や「タイミング」について意識していた。一方で未達成者βは「リズム」や「タイミング」に関する意識が 12 回目の練習まで一度も確認されなかった。

4.4 考察

達成者と未達成者のステップの練習時間の違いから、ステップ3のみを練習するよりもステップ1やステップ2の練習を行うことがカスケード習得に効率的であることが示唆される。これは、ステップ1やステップ2の練習で、熟達に必要な何らかの気づきを得たと考えられる。達成者αの学習記録にも「2 ボールで動きが安定するまで、3 ボールの練習を少なくするべき」という記述が見られた。

結果にある学習記録からの以下の二点の参加者の意識の違いがあったと考えられる

- ・達成者は身体部位への意識が途中から見られなくなった

- ・達成者はリズムやタイミングに関して未達成者よりもより多く意識していた

この内容は関連研究において述べた田中らの考察である“カスケードのコツの一つはリズムを理解することによる周期性の調節”，市川らの考察である“学習曲線が停滞している実験参加者は特に、個々の身体部位に着目して練習を行っており、時間的要素や、空間的要素に関する新たな着眼点の発見は高いパフォーマンスとの関係を示唆した”とも一致している。これらのことから、カスケードにおいて「個々の身体部位への意識に固執せずに、リズムやタイミングといった時間的観点へと意識を変えていくこと」が熟達化にとって重要であると考えられる。ただし、どの段階で何に気づいているのかについてより詳細に分析を行う必要がある。

5 本実験

5.1 目的

予備実験の結果及び関連研究から、カスケードの学習においては、「リズムやタイミング」を認識することが重要であると考えられた。そこで、本実験ではより参加者人数を増やし、予備実験の内容に明示的にリズムやタイミングの教示を含んだ指導法を与えた場合、本当に学習が進むのか、もし学習が進んだとしたら、具体的にどのような気づきが促された

ために学習が進んだと考えられるのかを明らかにしていく。

5.2 方法

5.2.1 実験参加者

学生男女 8 名が実験に参加した。しかし、そのうち 1 名は小学 4 年生から中学 3 年生にかけてのおよそ五年間、新体操を経験していた。新体操ではボールやクラブなどの道具を投げてキャッチするといったジャグリングに非常に関連のある動作スキルが必要になる。そのため、他参加者と事前に身に付けていた身体スキルに差が出てしまい実験統制が取れないことが考えられるため残り 7 名（男性 5 名、女性 2 名、平均 22.0 歳、SD=1.85）を分析対象とした。なお参加者は全員ジャグリング未経験者で右利きであった。

5.2.2 手続き

本実験ではモチベーション維持のため参加者には謝金を支払う形で行った。また、撮影日の練習時間を 1 時間に固定、自宅練習の際は最低 30 分練習するように指示した。

その他の点は予備実験と同様の手続きで 2 週間に渡って実験を行った。

5.2.3 教示内容

予備実験の教示内容に、「カスケードにおいて、リズムやタイミングが重要であるため、それらを意識しながら練習してください」という内容を追加して教示を行った。

学習記録にタイミングやリズムに関する記述が見られない場合は、その都度、メールにて再度こちらから意識するように促した。

5.2.4 学習の記録方法

予備実験と同様の方法で学習の記録を行った。

5.2.5 謝金について

本実験は、二週間の間、学習記録フォームの記述を継続し、カスケードの上達を目指さなくてはならないため、参加者には高いモチベーションを継続させる必要があると考える。事実、予備実験を実施した際は目標を達成できなかった参加者は実験後半には練習中に座り込む時間が長くなり、“練習が楽しくない”などの発言がみられるなど著しいモチベーションの低下が見られた。

モチベーション維持のために、本実験では参加者に謝金を支払う形として行った。拘束時間に対し支

払う謝金について、時給（1,000 円／時間（電気通信大学研究補助等謝金単価規定による））に加え、自宅練習については 1 日最低 30 分の練習をさせ、日数×0.5 時間（それ以上 1 日に練習しても謝金は変わらず、学習記録を提出しなかった日はカウントしない）を加算し、更に参加者のモチベーションを維持するために、最終日のキャッチ回数に応じて以下のように謝金が増える旨を伝えた。

表 1：キャッチ回数と追加謝金

最終日連続キャッチ回数	追加謝金
20 キャッチ未満	0 時間
20～49 キャッチ	1 時間（1,000 円）
50～99 キャッチ	3 時間（3,000 円）
100 キャッチ以上	10 時間（10,000 円）

カスケードにおいて、100 回連続でキャッチ出来るようになることは、初心者にとっての一つの大きな目標であるとされており、それを目安にした。また、20 回、50 回という段階は、本実験に先立って行った予備実験の結果をもとに、学習がうまくいかない実験参加者にとっての中程度の目標になると考え設定した。段階的な謝金の設定にしたのは、あまり上達できなかった実験参加者にとっては、実験後半になるとモチベーションの著しい低下が予想される。実験後半でも次の段階のキャッチ回数を目指すことで一定のモチベーションを維持できるように、段階的な謝金の設定にした。具体的には、成功者には上記の時間簡単な追加インタビューを行うという形で、謝金を支払った。

5.3 実験結果

5.3.1 キャッチ回数と練習時間

参加者 7 名のキャッチ回数と累計練習時間について、目標回数 100 回達成者を図 3 に未達成者を図 4 に示す。なお参加者 A については一週間後の撮影二回目の時点で目標回数である 100 回を大きく超える結果だったため、そこで実験を終了した。分析対象とした実験参加者 7 名のうち 4 名が実験期間内に目標キャッチ回数である 100 回に到達した。一方で残り 3 名については目標回数に到達した 4 名と練習時間に大きな差はないが、目標回数には到達しなかった。以後目標キャッチ回数に到達した参加者を“達成者”、到達しなかったものを“未達成者”と呼ぶ。

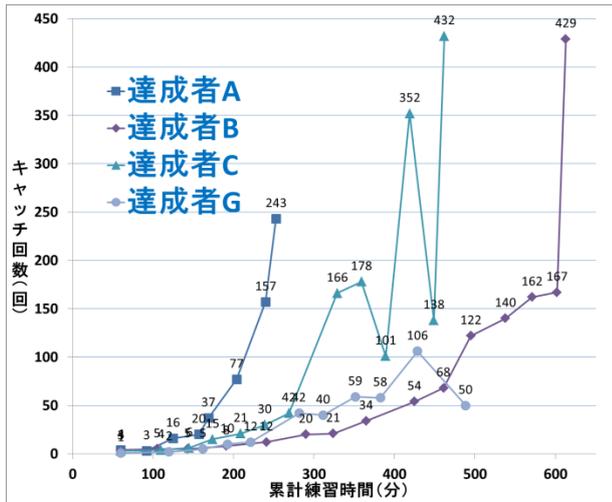


図3: キャッチ回数と累積練習時間の関係(達成者)

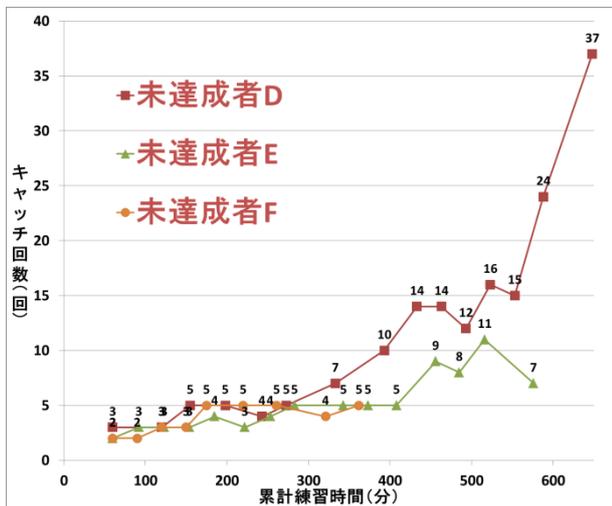


図4: キャッチ回数と累積練習時間の関係(未達成者)

また、各参加者のステップごとの練習時間の割合を調べた。達成者と未達成者で特に大きな特徴の違いは見られなかった。以下の図は結果の一例である。

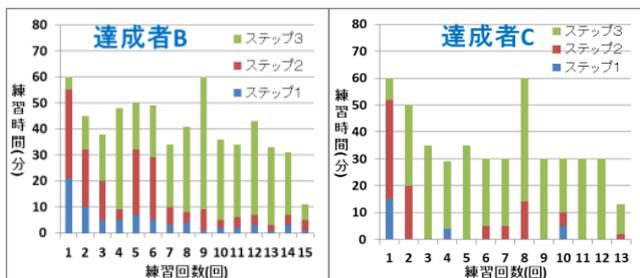


図5: ステップごとの練習時間の割合(達成者 B, C)

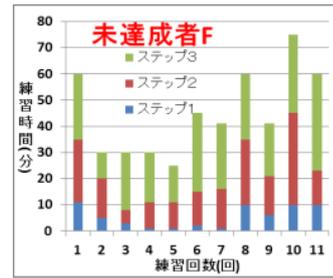


図6: ステップごとの練習時間の割合(未達成者 F)

5.3.2 投げる速度について

各参加者の実際の投げる速度を調べるために、各撮影日のテストで最もキャッチ回数が多い試行を対象とし、動画データから以下のような5つの分類に細かく分けて時間を計測した。なお計測の際はWindows media Playerのコマ送り機能(60フレーム)を用いた。

- ・ボールを投げてから次のボールを投げるまでの時間
- ・ボールを取ってから次のボールを取るまでの時間
- ・ボールを投げてからボールをキャッチするまでの時間
- ・ボールをキャッチしてから手を下げきるまでの時間
- ・手を下げきってからボールを投げるまでの時間

結果から、上記5つの分類全てにおいて、達成者と未達成者の間で特徴の違いは見られなかったが、ボールを投げる間隔、ボールを取る間隔について、撮影二回目と撮影最終日を比較すると、参加者全員が撮影最終日の方が、時間が短かった。

5.3.3 学習記録内容

学習記録の記述内容を“キャッチ位置”, “リリース位置”, “ボールの軌道”, “ボールの高さ”, “身体の動かし方”, “リズム”, “視線”, “その他”の8要素に分類分けを行った。

その上で、特に各参加者がどの程度リズムを意識していたのかを調べた。リズムに関する記述は例えば次のようなものである。

「ボールを投げるリズムが走らないようにする。」
(達成者B 練習9回目)

「いつもよりもゆっくり投げてペースを一定に保てるようにボールの最高点を見てから投げる」
(達成者C 練習9回目)

以上のような、“リズム”, “ペース”, “テンポ”などの記述を同一の分類とした。その結果、練習期間二週間の学習記録の中で最低4回、最高12回、平均8回以上と参加者全員からリズムに関する記述が多

く見られた。

5.4 考察

5.4.1 意識することによる変化

関連研究の田中らはカスケードを習得するには心身の二元性の解消が重要であり、運動を意図的に調節することで可能になっているわけではないと結論付けている。しかし、この結論には疑問点が残る。田中らは実験中のインタビューで「考えない」ことの重要性を多くの参加者が指摘し、インタビュー中「試行中このように考えて動作を修正したらうまくいった」といった発言がなかったとあるが、田中らの実験ではインタビューを一週間に一度しか行っていないため重要な気づきがあったタイミングを見逃している可能性がある。また、田中らの実験では教材内容が不十分であるために、カスケードに対する知識が不足し、参加者の目標設定が困難であったことが理由として考えられる、実際に本実験では達成者の学習記録から以下のような記述が見られた。

・「ボールが前に行かないように意識したところ、前回よりもかなり続けることができました。」(達成者A 練習3回目)

・「カスケードのリズムを遅くしたことで、浮いているボールを見られる時間が増え、キャッチミスすることが格段に減った。」(達成者C 練習4回目)

このことから、運動を意図的に調節することは習熟を妨げる要因ではなく、むしろ運動の調整に関する的確な改善点を意識することができれば熟達が促進されるのではないかと考える。

5.4.2 各ステップの練習時間

予備実験時に、目標達成者がステップ1、ステップ2の練習を目標未達成者に比べて多くやっていることから、ステップ1やステップ2の練習が熟達において重要だと考えていた。しかし、本実験の結果から、単純に目標達成者の方がステップ1やステップ2を多く練習しているというわけではないことが分かる。特に未達成者Fについては練習終盤までステップ1やステップ2の練習を継続して行っていた。このことから、ただやみくもにステップ1やステップ2を練習すれば良いわけではなく、何を目的としてステップ1やステップ2を練習するのか意識することが重要だと考えられる。

そこで、各ステップの練習時間について達成者Bと達成者Cに注目した。結果から達成者Bのグラフを見ると練習4回目ではステップ3に多く練習時間を割いているのに対して、練習5回目と6回目ではステップ2に多く練習時間を割いている。また達成

者Cも同様に練習3回目～5回目ではステップ2を全く練習していないが、練習6回目～練習8回目ではステップ2の練習に時間を割いている。この2人は学習記録に以下のようなステップ2の練習をする目的について記述をしていた。

・「横に投げることを意識するためにステップ2を重点的に行う。」(達成者B 練習5回目)

・「ステップ2の練習時に投げている手はきちんと同じ線上にあるかを確認するため首を下げて手を見ながら確認した。その後のステップ3ではステップ2で確認した手の動き(肘から先が回るように上下しているか)をイメージした。」(達成者C 練習7回目)

目標達成者全員が、上記のようなステップ2の練習についての記述や、ステップ2が重要であるなどの記述が書かれていた。一方で、未達成者Fは確かにステップ1やステップ2に練習時間を多く割いているが、上記のような記述は一回も見られなかった。また、他の参加者はステップ2が出来るようになったらステップ3をやる。又は飽きてきたら他のステップに移るといったような練習方法だったが、未達成者Fはステップ2を何分間したらステップ3をやる、というような練習をしていた。このことから、未達成者Fはあまり各ステップの違いの意味を意識していなかったのではないかと推測される。

このことからステップ2で何を習得するか目的を意識した上でステップ2の練習を多く行うことがカスケード習得に効果的であることが示唆される。

5.4.3 リズムに関する学習記録報告

予備実験の際は目標達成者がリズムやタイミングに関する学習記録の記述が多く、未達成者がほとんどなかったが、本実験では「リズムやタイミングが重要であるためそれらを意識して練習を行うように」と強く教示を与えて実験を行ったため、参加者全員の学習記録からリズムやタイミングに関する記述が多く得られた。しかし、それでも目標達成出来ない参加者は3名いた。このことから、ただリズムやタイミングが重要だと意識するだけでなく、リズムやタイミングがどう重要なのか、どういう風に意識すべきなのか更に具体的に意識することが重要であると考えられる。

そこで、目標達成者のリズムに関する学習記録の具体的な記述内容について着目したところ、達成者全員から“テンポを遅めにキープする”，“リズムが走らないようにする”，“全体的に一拍遅くする”など表現の仕方はさまざまだが、リズムを遅くするといった内容の記述が平均5回と多く書かれていた。また、その中で達成者Aについては最終日の一回のみそういった内容の記述が見られたが、実験終了後

「最初からもっとゆっくりするべきだった」という発言をしていた。一方で目標未達成者の学習記録にはそういった内容の記述をしたものは3名中2名であったが、記述回数も達成者が平均5回だったのに比べ、未達成者は平均1.5回しか書かれていなかった。また、実験期間中二回記述していた未達成者Fは練習の初日と最終日に記述をしており、未達成者はどちらも継続的にそれらを意識はしていなかった。

そこで更に、実際に熟達するほどリズムが遅くなっているかを調べたが、達成者と未達成者で大きな特徴の違いは見られなかった。また、ボールトス間隔、ボールキャッチ間隔ともに、撮影2回目の時と比べて撮影最終日の方がより時間が短くなっていた参加者は一人もいなかった。逆に学習が進むにつれてリズムが速くなっていたということである。

このことは次のように考えられる。達成者は意識したことにより実際にリズムが遅くなった時期もあったが、その後熟達が進むにつれてまたリズムが早くなっていった。熟達が進んだことにより、身体知を獲得し、リズムを遅くせずとも続けられるようになったためリズムがまた早くなっていったと考えられる。本実験では撮影を行うのは二週間の実験期間のうち一週間に1度、合計3回のみでありそれ以外の期間は学習記録の提出のみの自宅学習であった。また、撮影初日についてはキャッチ回数が極端に少ないため、時間を計測するのに十分な回数が確保できていなかった。自宅学習の動画データが無いため本実験ではその期間のリズムの速さについて確認することは不可能である。今後、実験期間全てを動画に記録するなどして、更に詳細な分析を行うことで、実際にリズムを遅くすることがカスケードの身体知獲得に有効であるのか検証する必要がある。

5.4.4 問題点の分解

カスケードは日常生活では行わない、取る、投げるといった複雑で多様なスキルを要する課題である。初心者がこの多様なスキル全てを同時並行的に獲得することは困難である。そのため、必要なスキルを分解し、理解していくことで一つ一つ順を追って獲得する必要がある。

達成者4人中3人から「意識することを一つに絞った方が良い」という内容の記述が見られた。一方で、未達成者は一人もこういった内容の記述はなかった。前述の「リズムを遅くすることを意識すること」、もこの問題点の分解を促しているのではないかと考えられる。リズムが遅くなることで空中に浮いているボールを見られる時間が増え、一つ一つの動作を慌てずに行うことが出来るためである。またステップ1やステップ2のようにボールの数を減らし

て練習することも、必要な動作スキルを削ることによって問題点の分解に直結している。そのため、ステップ3がうまく出来ない場合はステップ2に、ステップ2が出来ない場合はステップ1に戻ることにによって情報量を減らし、何が出来ていないのか問題点を発見しやすくすることが効果的であると考えられる。教本にも“うまく出来ない場合はボールを減らしてもう一度練習するのが良いでしょう。”という記述がされていた。

このことから、一度に様々なことを意識するのではなく、問題点を分解することによって重要なポイントを一つ一つ意識し、練習していくことが重要だと考えられる。このことはカスケードの習得のみに限らず、ジャグリング全般、またスポーツやダンスなどあらゆる身体スキル獲得において同様のことが言える可能性がある。

6 おわりに

本研究ではジャグリングのカスケードを題材に、およそ二週間に渡って初心者練習させることで、その熟達過程における思考過程を分析した。

結果から、カスケードの身体知獲得において、以下の3つのことが重要であることが示唆された。

- 1) 運動を意識的に調整することは習熟を妨げる要因ではなく、むしろ運動的的確な改善点を意識すること。
- 2) ただやみくもに練習をするのではなく、何を目的にその練習を行っているのかを意識すること。
- 3) 意識すべき部位や課題を細分化し、問題点の分解を行うこと。

今後の展望として、これらのことが他の身体スキル獲得においても有用であるのか、更に他の課題の実験を行うことで身体知獲得過程の詳細な分析を行っていきたい。

参考文献

- [1] 諏訪正樹：身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, vol.20(5), pp. 525-532 (2005)
- [2] 田中彰吾, 小河原慶太：身体知の形成 - ボールジャグリング学習過程の分析 -, 人体科学, vol.19(1), pp.69 - 82 (2010)
- [3] 市川淳, 三輪和久, 寺井仁：運動計測と言語報告に基づく身体スキル獲得に関する実験的検討, 人工知能学会論文誌, vol.30(3), pp.585 - 594 (2015)
- [4] 中島潤一郎：ボールジャグリング入門 第二版 pp.1 - 12, ナランハ (2001)