

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]。

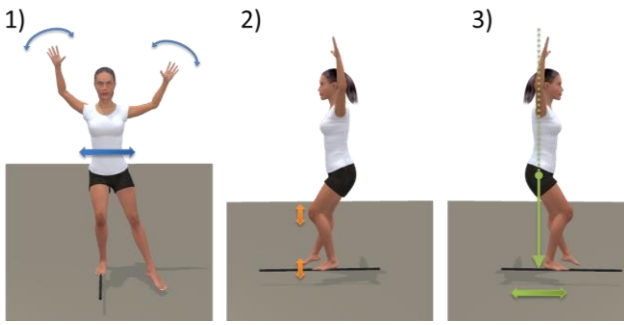


図 2 本研究の仮説：

- 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 30 cm) 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 120 Hz 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)。

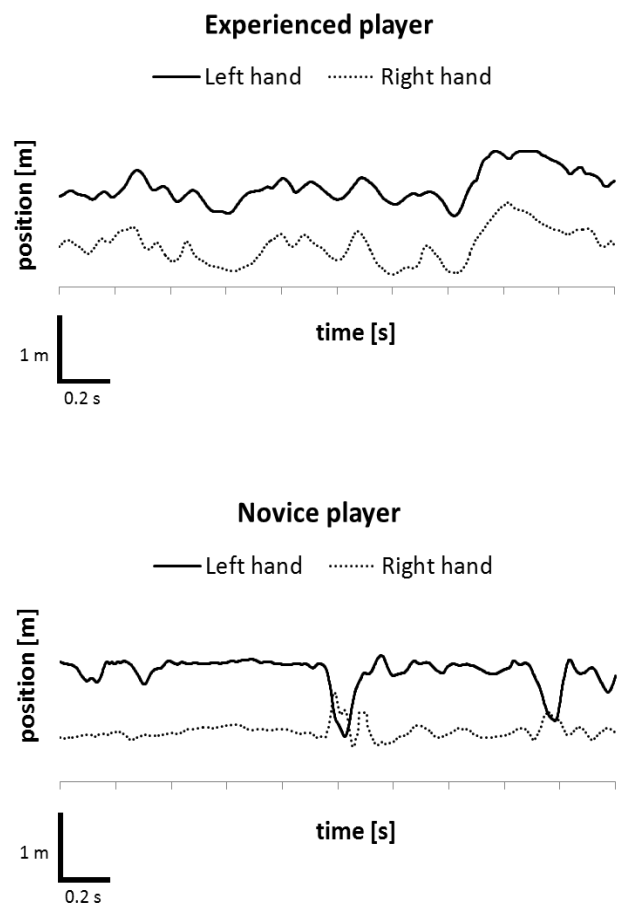


図 3 両手の水平方向の位置の変化：
上) 経験者, 下) 初心者

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。

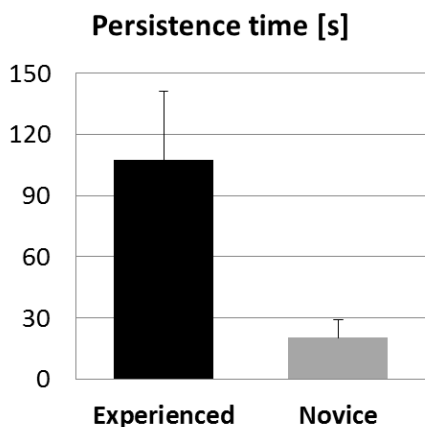


図 4 片脚立ち持続時間 (エラーバー: 標準偏差)

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。

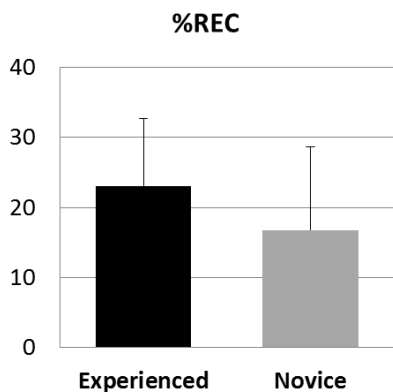


図 5 再帰率 (エラーバー: 標準偏差)

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。

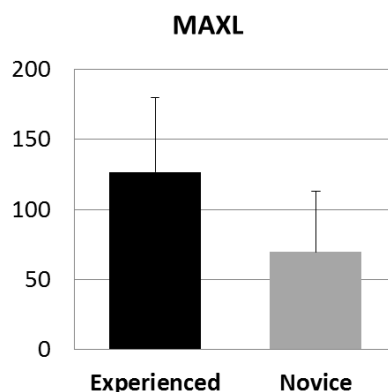


図 6 最大線長 (エラーバー: 標準偏差)

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)