

全身協調バランス・スポーツ“スラックライン”の身体技能:両手協調の観点から

Skill for whole-body coordination balance sport “slackline”: Bimanual coordination

児玉 謙太郎*¹
Kentaro KDOAMA

菊池 雄介*²
Yusuke KIKUCHI

山際 英男*³
Hideo YAMAGIWA

*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

Slacklining, a whole-body coordination balance sport, require one to keep balanced on a very unstable environment (i.e., slackline). In the practical field, it is said that one should raise both hands high and coordinate them in parallel. The present study considers that this postural strategy contributes to dynamic and flexible regulation of the center of mass position in the mediolateral direction. Authors examined this postural strategy comparing experienced and novice players' performances in terms of bimanual coordination. The current pilot study shows the result of nonlinear time series analyses on bimanual coordination stability and discusses the relation between bimanual coordination and the center of mass stability.

1. スラックライン

スラックラインとは、ベルト状の綱(ライン)の上で、全身を協調させてバランスをとるスポーツである(図 1)。ラインの上に乗ると、ラインが弛み、上下・左右方向の揺れ、前頭面での回転が発生するため、支持面は極めて不安定となる。この不安定なラインの上で、バランスをとるには、手足を含む全身の協調が必要となる。図 1のようにライン上で、片脚で立位姿勢を保持するにも、常に揺らぎながら動的にバランスを保つ必要があり、この片脚立ちをマスターすることが、学習の第一歩として求められる [Keller 12].



図 1 スラックライン実施風景 (片脚立ち)

[Granacher 10]

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 年頃とされており、バランス・スポーツやバランス・トレーニングの実践分野では普及しているものの、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り (e.g., [Keller 12]), その身体技能に関する先行研究は、ラインへ外乱を与えた後のバランスの持ち直しを検討した事例研究しか存在しない [Huber 10]。この研究では、外乱後のバランスの回復という限定的な状況を調べている。スラックラインの身体技能の基礎にある基本的な技能に関しては、著者らが調べた限り、著者らの予備的研究の他には見当たらない [Kodama 15].

連絡先: 児玉謙太郎, 神奈川大学, 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1, 045-481-5661, kkodama@jindai.jp

2. 本研究の目的と仮説

2.1 目的

本研究では、スラックラインの基本技能を明らかにすることを目的とする。スラックラインの先行研究では、いまだ基本技能については明らかにされておらず、実践の現場では、熟達者や指導者の経験知に基づく指導が行われている。本研究によって、基本技能とその獲得のコツが明らかになれば、現場の経験知に対しエビデンスを提供できる可能性があり、より効果的で安全な指導方法の提案にもつながると考えられる。また、ヒトの姿勢に関する研究領域に対しても、全身を使った姿勢バランスの保持方略に関する知見の提供が期待される。

2.2 仮説

本研究では、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、著者ら自身の経験知に基づき暫定的な仮説を生成した [児玉 16]。スラックラインの基本技能については、学習の第一段階で行う片脚立ち課題にそのエッセンスが詰まっていると仮定した。つまり、片脚立ちの状態を保持できる能力が、他の課題の基礎になると考えた。しかし、片脚立ち課題においては、単に一定時間ラインの上に乗る続け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、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、動的に、持続的に微調整ができるような状態である。また、関節レベルでは、関節を固定せずにある程度の可動性(あそび)を残し、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。このような状態を保つことで、身体(システム)はライン(環境)と動的で緩やかなカップリングを実現できるのではないかと考えている。

また、具体的な姿勢バランスの保持方略として、スラックラインという不安定な環境に身体を定位置させ続けるには、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、と考えられる。しかし、ナイロン/ポリエステル製のスラックラインは、その性質上、ねじれによる傾きが生じやすく、この課題を遂行することは容易ではない。さらに、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されやすい。そのため、片脚立ちでは、重心の接触面への投影という課題を達成するた

め、全身を持続的に動かしながら、動的にバランスをとり続ける必要がある。

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、両手を挙げ、左右に並行に動かすよう指導される(図 2)。この経験知に基づく指導を、質量中心位置の調整という観点から捉え直すことと次のように言い換えられよう。すなわち、両手を挙げ、左右方向に並行に協調させて動かすことによって、ラインと支持脚足底の接触面で生じる動揺を、重心位置付近(腰部)と身体上部(両手)とで相互に補償し合い吸収し、水平方向の質量中心位置を調整しているのである(図 2)。ここでは、両手を結合させ、1つのシステムとして動かせることが、熟達の1つの基準と考えられる。



図 2 本研究の仮説 (水平方向の質量中心位置調整)

以上の仮説より、本研究では、一定の技能レベルに達すれば、片脚立ちの際、両手を結合させ、協調的に動かす行動が観察される、と考えた。そこで、以下に示す方法で、技能レベルの異なる実験参加者に片脚立ち課題を行ってもらい、両手の協調性(結合)を非線形時系列解析により定量評価し、比較した。

3. 方法

3.1 実験参加者

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、片脚立ち課題を実験課題とし、技能レベルの異なる実験参加者に実験に参加してもらった。一人は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(40歳、男性、身長175cm)、もう一人はスラックラインを始めたばかりの初心者(30歳、男性、身長174.5cm)、計2名が参加した。

3.2 実験装置

スラックライン専用の装置 SLACKRACK300 (GIBBON SLACKLINES, 長さ3m, 高さ30cm)を使用して実験を行った。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.) を使用し、両手の人差し指の先と質量中心付近(第2仙椎の前面)に反射マークが取り付けられ、サンプリング周波数120Hzで計測された。

3.3 実験手続き

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。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。

3.4 データ分析

両手の協調性を定量化し、参加者間で比較するため、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。残りの区間を5秒ずつに分割し、5秒間の分析区間を抽出し、相互再帰定量化分析 (Cross recurrence quantification analysis, CRQA: [Zbilut 98]) を用いて分析した [Coco 14]。

体間協調研究では、両手協調の結合強度(外乱に対するアトラクター強度)を表す指標に、CRQAにより算出される最大線長(Maxline)がある [Pellecchia 05]。本研究の仮説に従えば、技能レベルの高い経験者のほうが、最大線長が長くなり両手が結合し、ひとつのシステムとして振る舞うと予測される。さらに、両手協調が、身体の振る舞い全体を指標する質量中心の安定性とどのような関係にあるかを調べるために、経験者の試行の一部(1分15秒)を抽出し、質量中心付近のマークのデータに対してRQAを実行し、最大線長を求めた [Marwan 13]。

4. 結果と考察

4.1 両手の水平方向の位置変化

図3は、両手の水平方向の位置変化(サンプルデータ20秒間)を示した時系列である(上:経験者, 下:初心者)。グラフからも両手の関係について、経験者では一定の関係を保ち両手が協調していること、一方、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)。

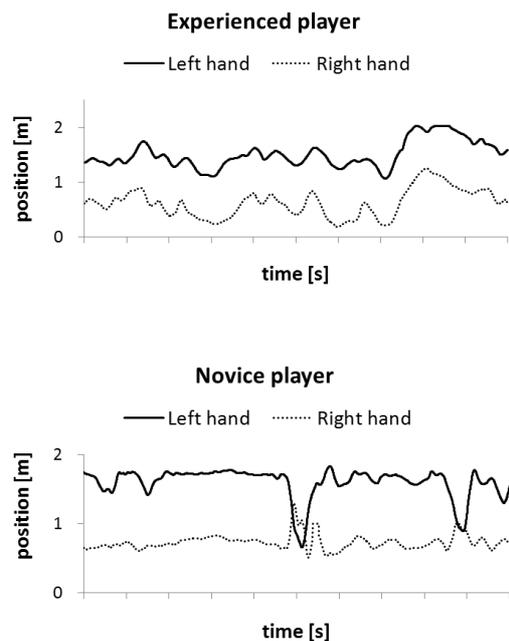


図 3 両手の水平方向の位置変化

4.2 両手の水平方向の位置変化

図 4は、両手協調の結合強度を指標する最大線長を求めた結果を示している。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、経験者のほうが初心者より、片脚立ち課題の際の両手の協調の結合が強く、左右の手がひとつのシステムとして振る舞っていたことが示唆された。

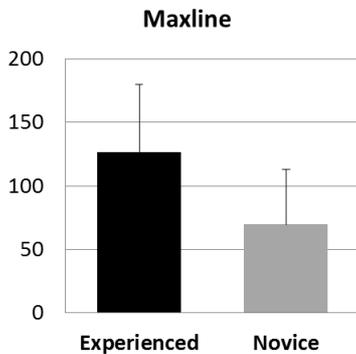


図 4 最大線長 (エラーバー : 標準偏差)

4.3 両手協調と質量中心の関係

本発表では、両手協調と質量中心の関係を検討するため、経験者データの一部(1分15秒間)を抽出し、両手協調の最大線長の変化と、質量中心の最大線長の変化を比較した(図 5)。図 5の横軸は 5 秒間の区間が連続して 15 区間(5 秒×15 区間=1 分 15 秒)を示している。図 5上は、水平方向の両手と質量中心の位置の変化を示している。それぞれこの区間の平均値が縦軸の 0(中心)となるよう標準化して表示している(正が左方向、負が右方向への移動を示す)。図 5下は、両手協調と質量中心それぞれの最大線長を標準化して求めた Z 得点の値の変化を示し、相対的な変化を比較しやすいように表示している。

図 5上の位置変化のグラフからは、両手が同じような変化を示していること、質量中心と両手の変化の方向が反対の方向であること(例えば、区間 2, 10, 11 など)が窺える。また、図 5下の

最大線長の変化のグラフからは、両手と質量中心が同じように変化する区間もみられるもの(区間 1~2~3, 4~5, 10~11~12: 図 5下の点線)、全体的にそれぞれ反対方向に変化する区間が多く観察される(区間 6~7~8~9, 13~14~15: 図 5下の実線)。これらの結果は、本研究の仮説(図 2)で述べたように、両手と質量中心が互いに補償し合って身体システム全体として、柔軟にバランスをとっていることを示唆すると考えている。すなわち、常に両手も質量中心も高い安定性を保っている、というよりも、例えば、質量中心が安定しているときは、両手は結合を緩め、自由度を高くし、質量中心付近が不安定化したときには、両手が結合を高め安定化し、全身として安定化しよう相互に不安定性を補い合っているのである。そして、結果的に全身が動的に不安定な環境(ライン)へと定位するよう振る舞っているのではないかと考えられる。当該区間のビデオ映像を確認した結果、この仮説を支持するような身体システムの相補的な振る舞いが観察された。もちろん、これらの仮説は、まだ推測の域を出ない。しかし、4.3 で切り取った経験者のデータの一部を観察した結果、両手と質量中心の相補的な関係の存在が示唆され、身体システムの相互補償的で柔軟な振る舞い [Kelso 95] が観察された。

また、片脚立ちの技能と両手協調の因果関係については、本データから結論することはできないが、両者の関係について示唆を与えてくれる理論的枠組みとして、力学系アプローチによる技能獲得のモデルがある [Davids 08]。自己組織化理論に基づく力学系アプローチでは、特定の運動のパターンや協調のダイナミクスは、個体・環境・課題かの制約のもと自己組織的に生成されると考える [Davids 08]。スラックラインの技能獲得過程においても、一定の熟達レベルに達すると、極めて不安定な環境に対して、全身で動的に身体を定位させ続ける、という特殊な課題の制約のもと、両手と重心の相補的な協調関係が自己組織的に現れるのではないかと考えられる。このような関係は、因果的關係というより、それぞれの制約下での要素間での相互作用の結果、関係自体が自己組織化するものだと考えるならば、両手協調のパターンの学習から、基本技能の獲得を導くような指導方法もあり得るかもしれない。

4.4 今後の課題

本研究で実施した予備実験は、少数データを対象とした事例的研究であった。そのため、今後、これらの結果から示唆された仮説をさらに量的に検証するため、データ数を増やした本実験

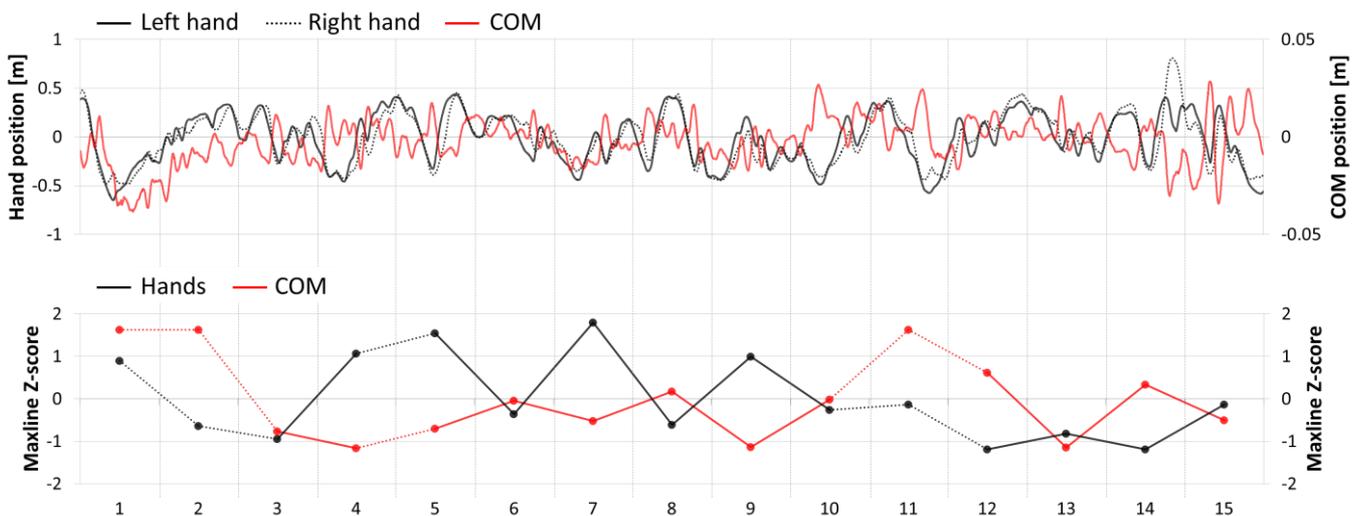


図 5 経験者の両手協調と質量中心の関係 (上: 水平方向の位置変化, 下: 最大線長の Z 得点の変化)

の実施や、定量化手法の検討が求められる。また、本稿で検討した仮説は暫定的なものであり、今後、熟達者へのインタビューなども視野に入れ、仮説自体についても再考し、アップデートをしていく必要がある。さらに、身体技能の熟達過程にアプローチする方法として、本稿で検討したような技能レベルの異なる参加者の比較だけでなく、初心者がどのような技能を獲得し、熟達化していくのか、といった縦断的研究も重要だと考えられる。

5. まとめ

スラックラインの基本技能を明らかにするため、片脚立ち課題を実験課題とし、経験者1名と初心者1名のパフォーマンスを比較する予備実験を行った。その結果、技能レベルと両手協調の関係に関する仮説を支持する傾向がみられ、技能レベルが高い経験者のほうが両手協調の結合が強いことが示唆された。また、経験者データの一部において、両手協調と質量中心付近の位置の変化、及び、安定性の変化をグラフにより確認したところ、経験者では、両手と質量中心付近の間に相互に補償し合うことで、全身のバランスを柔軟に維持しようとする姿勢保持方略の可能性が示唆された。今後、データ数を増やし、量的に検討することにより、これらの仮説を検証していきたい。本研究によって、スラックラインの基本技能が明らかになれば、指導者らの経験知を実証し、より効果的で安全な指導方法を提案することにもつながりうるため、実践的な知見の提供が期待される。

謝辞

Second International Workshop on Skill Science, 及び、第22回身体知研究会にて、著者らの発表に対し、貴重なコメントを下された先生方に、この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [Coco 14] Coco, M. I. and Rick D.: Cross-Recurrence Quantification Analysis of Categorical and Continuous Time Series: An R Package. *Frontiers in psychology* 5:510 (2014)
- [Davids 08] Davids, K., Chris B., and Simon B.: Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-Led Approach. *Human Kinetics* (2006)
- [Granacher 10] 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)
- [Huber 10] Huber, P., and Reinhard K.: A Case Study on Balance Recovery in Slacklining. *ISBS-Conference Proceedings Archive* (1990):1–4 (2010)
- [Keller 12] Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Erich, M., and Wolfgang T.: 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)
- [Kelso 95] Kelso, J. A.: *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. MIT Press (1995)
- [Kodama 15] 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* (2015)
- [児玉 16] 児玉謙太郎, 菊池雄介, 山際英男: 全身協調バランス・スポーツ “スラックライン” の身体技能: 経験知に基づく仮説生成とその検証, 第22回身体知研究会予稿集, pp.1-5 (2016)
- [Marwan 13] Marwan, N.: Cross recurrence plot toolbox. Available on line at: <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox>. (2013)
- [Pellecchia 05] Pellecchia, G. L., Shockley, K. D., and Turvey, M. T.: Concurrent Cognitive Task Modulates Coordination Dynamics. *Cognitive science* 29(4):531–557 (2005)
- [Zbilut 98] Zbilut, J. P., Giuliani, A., and Webber, C. L.: Detecting Deterministic Signals in Exceptionally Noisy Environments Using Cross-Recurrence Quantification. *Physics Letters A* 246(1-2):122–128 (1998)