

三次元動作および力の同時計測によるクライミングの 乗り込み動作の運動解析

○伊熊 瞳, 佐渡島 悠樹, 河村 晃宏, 倉爪 亮 (九州大学)

Kinematic Analysis of Sport Climbing using 3D Motion and Force Measurement System

○Hitomi IGUMA, Yuki SADOSHIMA, Akihiro KAWAMURA,
and Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract : Kinematic analysis of sport climbing has been required to improve the performance of players. In our previous works, we have proposed 3D motion and force measurement system for sport climbing. In this paper, we compare an experienced climber and beginners in terms of the forces on holds and the trajectory of the center of mass.

1. 緒言

スポーツクライミングとは、人工的に作られた壁を、そこに取り付けられた突起物（ホールド）を利用して登る競技である。この指導方法の確立のため、運動計測に基づくクライミング技術の科学的な分析と評価が求められている。従来のスポーツクライミングに関する運動計測・解析の研究の多くは、モーションキャプチャ等のカメラを用いた動作計測によるものである [1][2]。これらの研究では、全身の挙動や重心軌道などの解析は行われているが、壁やホールドとの接触により発生する力は考慮されていない。

そこで本研究では、これまでに開発している三次元動作とホールドに加わる負荷の同時計測が可能なシステム [3] を利用して取得したデータに基づく、クライミングの運動解析を行う。計測する動作を Fig.1 に示す。本動作は、緩傾斜の壁において、四点支持の状態から一つのホールドに体重を預け立ち上がるという、乗り込み動作である。クライミングの上級者 1 名と初級者 3 名の運動計測を行い、動作情報から算出される身体重心軌道や各ホールドにかかる負荷を比較することで、上級者のクライミング技術を示す。

2. 運動計測システム [3]

本システムは、三次元動作計測システムおよびホールド負荷計測システムから構成される。両システムを組み合わせることにより、幾何学および力学的な観点からのクライミングの運動解析を可能にする。

2.1 三次元動作計測システム

三次元動作計測システムである光学式モーションキャプチャでは、7 台の赤外線カメラを使用する。モーションキャプチャモデルは、三次元動作解析ソフトウェア Nexus2.7.1 (Vicon 社製) に標準搭載されている Plug-In-Gait モデル



Fig. 1: Movement to be measured

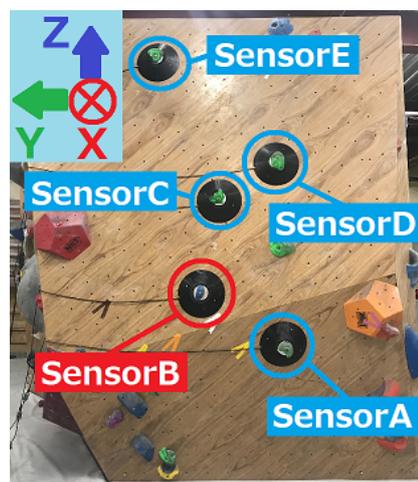


Fig. 2: Wall in a climbing gym

に、遮蔽される場合が多いマーカの位置推定を行うための新たなマーカを追加した、スポーツクライミング用のモデルを使用する。

2.2 ホールド負荷計測システム

ホールド負荷計測システムでは、壁とホールドの間に力センサを搭載することで、ホールドにかかる負荷を計測する。本システムは、6 軸の力センサ、力センサを装着するためのアタッチメント及び保護カバーによって構成される。

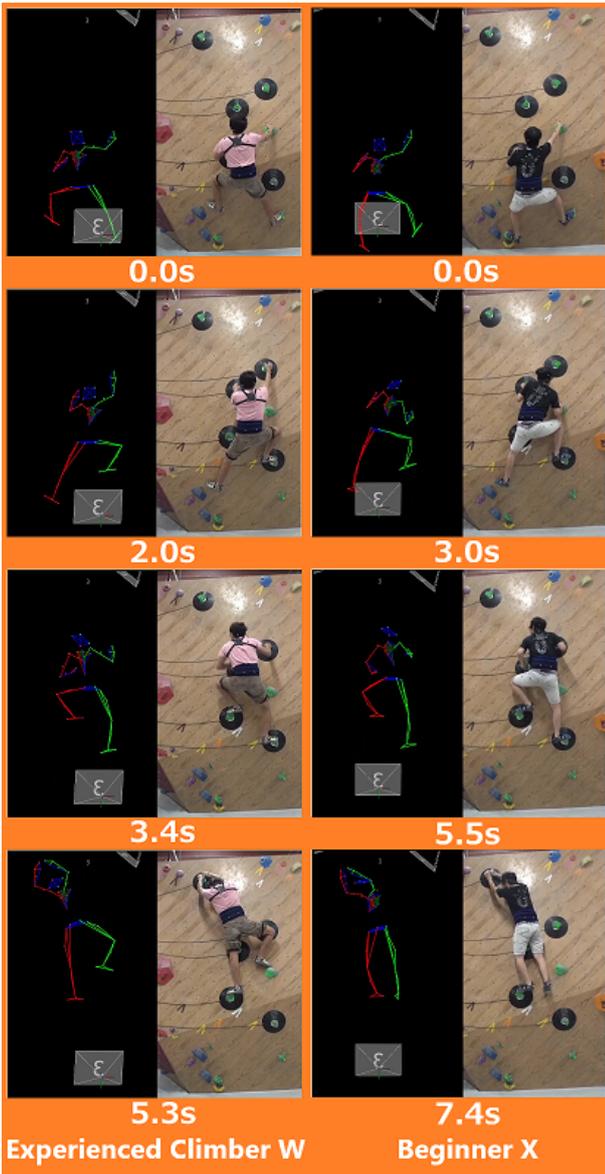


Fig. 3: Snapshots of movements

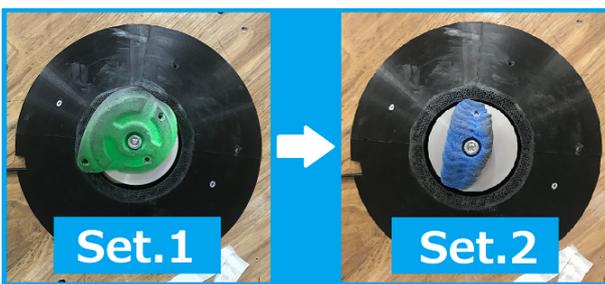


Fig. 4: Holds attached to the SensorB

このシステムを壁に複数設置することで、被験者が四点支持を行う際のすべての接触点での力計測を可能にしている。

3. 乗り込み動作計測実験

開発したシステムを用いて、実際のクライミングジムにおいて、初級者と上級者を対象とした乗り込み動作の計測

Table 1: Percentages of the z-axis forces detected on SensorB to subject's weights

		W	X	Y	Z
Set.1 [%]	1st	-86.3	-82.4	-85.0	-71.2
	2nd	-76.0	-88.6	-73.2	-62.1
	3rd	-96.8	-70.7	-73.0	-63.9
	avg.	-86.4	-80.6	-77.1	-65.7
Set.2 [%]	1st	-91.0	-64.6	-62.7	-70.8
	2nd	-83.3	-55.2	-71.2	-63.3
	3rd	89.4	-62.1	-75.0	-59.3
	avg.	-87.9	-60.6	-69.6	-64.5

実験を行う。本実験に使用した壁を Fig.2 に示す。本実験の被験者は、国民体育大会県代表経験のある上級者 1 名 (W) と、クライミング経験が数回の初級者 3 名 (X, Y, Z) である。

3.1 計測動作

初級者 X と上級者 W のクライミング動作を Fig.3 に示す。この動作では、四点支持の状態から手足を順に動かして移動した後に、左足を乗せた SensorB のホールド上に立ち上がることで、高い位置の SensorE のホールドを掴みに行く。その際、左足を乗せた SensorB のホールドに、いかに体重を預けられるかが重要となる。Fig.4 に示すように、本実験では、左足を乗せる SensorB のホールドとして、比較的大きく厚みがあり足を置きやすいホールドを用いたセット 1 と、比較的小さく薄く足を置きづらいホールドを用いたセット 2 の 2 つのパターンの計測を行った。各被験者は、セット 1 とセット 2 の 2 つのパターンにおいて、同様の動作を 3 回ずつ行った。

3.2 SensorB のホールドに加わる負荷の比較

Table.1 に、各被験者の体重に対する、SensorB で検出された $-F_z$ の割合の、SensorE のホールドに触れたタイミングでの値を示す。セット 1 について、上級者 W は平均値が 4 名の中で最も大きく、3 回目の試行では 96.8% もの大きな力を加えており、確実に左足のホールドの上に乗って体重を預けられていることがわかる。セット 2 については、初級者 3 名とも平均的に 70% 以下の力しか加えておらず、初級者 X と初級者 Y の平均値は大きく減少している。一方で、上級者の平均値は 87.9% であり、ホールドを変更後も変更前と同様に左足のホールドに体重を預けられている。この結果から、比較的小さく薄いホールドに変更すると、初級者はホールド上に確実に乗ることが困難になるのに対し、上級者は小さなホールド上にも乗って体重を預けられていると考えられる。

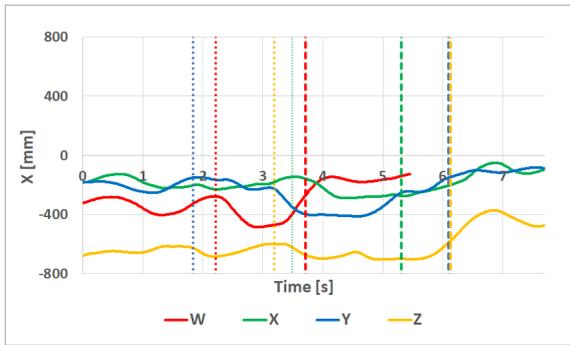


Fig. 5: Distance between the center of mass and the SensorB in X axis

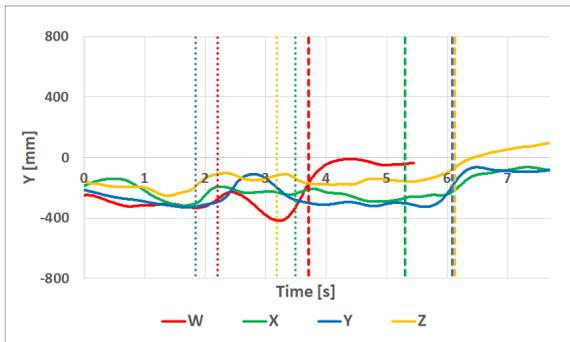


Fig. 6: Distance between the center of mass and the SensorB in Y axis

3.3 身体重心軌道の比較

セット2の3回目の試行の、各被験者の身体重心位置とSensorBのX方向距離をFig.5に示し、Y方向の距離をFig.6に示す。また、各試行において、被験者がSensorDのホールドを右手で掴んだタイミングとSensorAのホールドから右足を離れたタイミングを同色の破線で示す。上級者Wは、SensorDのホールドを掴んでSensorAのホールドから足を離すまでの間に、X方向とY方向の両方において、身体重心をSensorBから一度遠ざけて再び近づける動きが見られる。これに対し、初級者XとZにはそのような動きが見られず、初級者Yは動きが見られるが上級者Xに比べ重心移動幅が小さい。この結果から、体重を預ける左足のホールドから一度身体を離して立ち上がる動きが、上級者のみに見られることが分かる。これはデッドポイントというクライミング技術の一つであり、初動の勢いを利用して、瞬間的に負荷の少ない状態を生み出す技術である。

本実験により、上級者は、比較的小さなホールドにも確実に乗って体重を預ける技術、およびデッドポイントというクライミング技術を有することを明らかにした。

4. 結言

本論文では、スポーツクライミングのための新たな運動計測システムを提案し、上級者と初級者を対象として行っ

た乗り込み動作計測実験の結果について紹介した。上級者と初級者の、ホールドに加わる負荷と身体重心軌道を比較することによって、上級者のクライミング技術の一端を明らかにした。今後は、被験者数を増加させることで、これまでに明らかになっていないようなクライミング技術の解明を目指す。また、動作情報と力情報を用いて得られる、生体内の力情報などの新たな情報の獲得を行う。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究（課題番号JP18K17824）の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] D. Asakawa, and M. Sakamoto: "Characteristics of counter-movements in sport climbing: a comparison between experienced climbers and beginners", *The Journal of Physical Therapy Science*, Vol.31, No.4, pp.349-353(2019)
- [2] 西谷善子, 山本正嘉: "3次元動作解析システムを用いたスポーツクライミングにおける動作解析の試み: ハイステップムーブを対象として", *登山医学*, Vol.28, No.1, pp.122-129(2008)
- [3] H. Iguma, A. Kawamura, and R. Kurazume: "A New 3D Motion and Force Measurement System for Sport Climbing", *2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp.1212-1217(2020)