

## 継続的な評価の支援を目的とした スマートフォンによる跳躍動作の簡易センシング Simple Sensing of Jumping Motion with Smartphone for Supporting Continuous Evaluation

鈴木 雄登\*

Yuto Suzuki

松下 光範\*

Mitsunori Matsushita

堀 寛史†

Hirofumi Hori

### 1. はじめに

理学療法の主な治療対象は心身の不調によって引き起こされる基本動作（寝る・寝返る・起き上がる・座る・立ち上がる・立つ・歩く）への対応である。さらに、対象者の疾病がスポーツ動作などによって引き起こされている場合においては走行や跳躍といった、基礎動作の延長線上にある動作を対象とする。理学療法分野では効果的な理学療法を実施するために、主観に基づく定性的な評価から、計測に基づく定量的な評価への転換が進められている [4]。定量的な評価を行う際には、主に三次元動作解析装置や床反力計などの機器で計測したデータが利用されている。しかし、これらの機器は高額で特定の場所に設置する必要があり、臨床の現場に導入するには制約が大きく、評価に活用することは容易ではない [4]。理学療法士は患者の症状に合わせて理学療法を実施するため、治療効果の測定のために、継続的な評価が重要になる。しかし、前述した計測機器は可搬性が低いため、患者の継続的な検査及び評価は困難になる。

現代の日本では高齢化に伴い、心身に不調を呈する高齢者の増加によりリハビリテーションの必要性は増加傾向にある。その一方で、将来的な理学療法士の不足が懸念されている [5]。そのため、患者が自身で操作し、簡易に継続的な計測が可能な機器が求められている。こうした背景のもと、本研究では普及が著しく、操作性が高いデバイスとして、スマートフォンに着目し、スマートフォンを用いた身体動作の計測の実現を目指す。

本稿では可搬性と一般利用が広範囲なスポーツ理学療法での適応を視野に入れ、跳躍動作を扱う。下肢の筋力を継続的に計測することを目的に跳躍動作の計測を行い、スマートフォンを用いた計測システムを開発し、取得したデータから傾向の分析を行った。

### 2. 関連研究

医療分野において、システムの可搬性を考慮してスマートフォンを用いたシステムを開発した事例を紹介する。Edward らは、スマートフォンを用いることで、場所を問わずかつ簡易に血圧が計測可能なアプリケーション “Seismo” を開発した [2]。従来の計測機器に比べて可搬性が高まったことで、運動やその他のストレ

\*関西大学大学院総合情報学研究所, Graduate School of Informatics, Kansai University

†藍野大学医療保健学部, Department of Health Sciences, Aino University

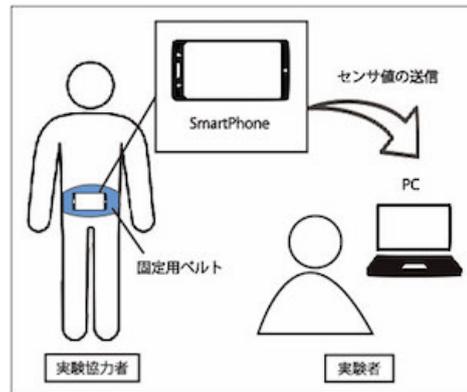


図 1: プロトタイプシステムの構成図

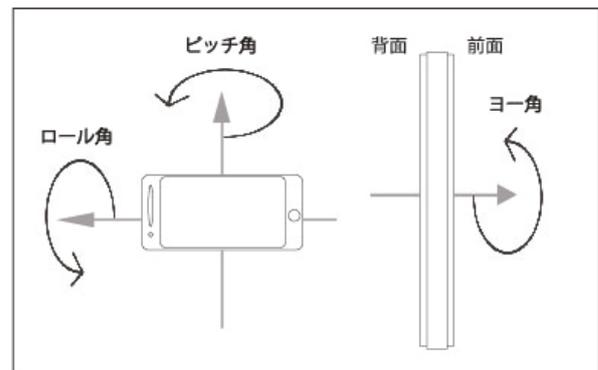


図 2: スマートフォンにおけるクォータニオン

スを受けた状態での計測が容易になり、様々な条件下でのデータを取得しやすくなったとしている。提案システムでは、加速度センサを胸部に押し付けることにより大動脈弁の血液の放出を感知し、フラッシュをつけたカメラを指先に当てることで、胸部から指先までの血流の速さを取得し、血圧を算出している。

王らは、スマートフォンを用いて、腕立て伏せなどの、機械を用いない自重トレーニングにおける、姿勢改善の支援システムの開発を行った [1]。スマートフォンのカメラを用いて簡易に人間の骨格を推定できる “OpenPose” を利用してユーザの姿勢の矯正を試みた。

本研究では、これらの研究と同様に、特別な機材を用いず、可搬性の高いスマートフォンを用いて計測システムを開発することで、場所を問わずに計測を行えるようにし、理学療法分野において縦断的な評価の支援を行う。

### 3. リバウンドジャンプ

リバウンドジャンプ (Rebound Jump, 以下 RJ と記す) とは、両足で 5 回連続のジャンプを行い、跳躍時間と着地時間の比率を算出する、スポーツパフォーマンスの測定を行う手法の一つである。RJ は脚において踏切時間を短くし鉛直方向へできるだけ高く跳躍することで、極めて短時間内でのパワー発揮能力を評価することができる [8]。

RJ を初めとした跳躍動作に関する研究は数多く存在する [3, 7]。中俣らによると、跳躍動作を分析することで、下肢の筋力の強さだけでなく、体幹のバランスなどがわかり、スポーツ理学療法だけでなく、理学療法分野においても活用することができる [6]。また、跳躍動作は運動量が大きく身体に大きな負荷が掛かるため、下肢筋力や体幹などの傾向が現れる。こうした特徴から、理学療法分野や医学の分野でも活用されている。

### 4. 計測システムの構築

スマートフォンを用いた身体動作の計測の実現のために、跳躍動作を計測するプロトタイプシステムの実装を行った。システムの概要を図 1 に示す。本システムは、センサ値を取得・送信するスマートフォン側のアプリケーションとセンサ値を受信・記録する PC 側のアプリケーションの 2 つから構成されている。スマートフォン側のアプリケーションには、簡易にスマートフォンのセンサ値を取得できる ZIG simulator<sup>†</sup>を用いた。PC 側のアプリケーションは、Processing Ver.3.4<sup>‡</sup>を用いて作成した。システムは、ボタン操作でセンサ値の受信を行い、csv 形式で出力できるようにした。跳躍動作の鉛直方向の移動を分析するために加速度と重力加速度を、姿勢の傾きを分析するためにジャイロとクォータニオンのセンサ値を各々取得した。クォータニオンとは物体の姿勢を表すセンサ値であり、物体がどのような回転でそのような姿勢になったかを推定できる値である。スマートフォンにおけるクォータニオンの向きを図 5 に示す。

### 5. 跳躍動作のセンシング

本稿では、跳躍動作についての傾向を分析するために、大学生 23 名の男女を対象に、4 章で述べたプロトタイプシステムを用いて跳躍動作の計測を行った。実験協力者には、身長、年齢、体重、怪我と運動の経歴についてアンケート用紙に記入後、両足を用いた RJ と片足での RJ を行ってもらった。一般的な RJ は両足で行われるが、今回は RJ 時の骨盤の変化を抽出するために、体の安定性が低くなる片足での RJ の計測も行った。なお、本実験では、実験協力者の利き足を考慮せず右足での跳躍を課した。跳躍時の注意事項として、(1) 高く跳ぶこと、(2) 床の反発を利用して間を空けずに跳ぶこと、(3) 初期位置から移動しないこと、の 3 点を心がけるよう指示した。実験協力者の跳躍時の骨盤の動きを分析するために、スマートフォンはベ

<sup>†</sup><https://zig-project.com/> (2019 年 6 月 21 日確認)

<sup>‡</sup><https://www.processing.org/> (2019 年 6 月 21 日確認)

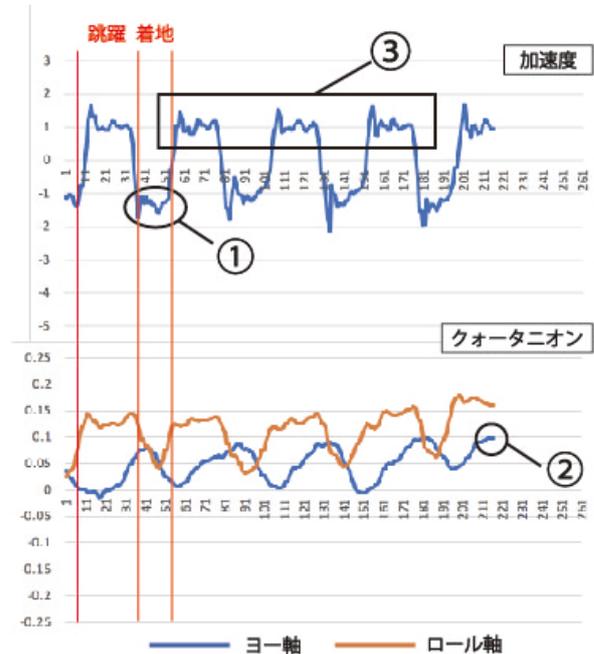


図 3: 実験協力者 A のデータ

ルトで腰に装着させた。データの傾向を分析するために、被験者が跳躍の様子をビデオカメラを用いて記録した。一般的な RJ は下肢の筋力を正當に評価するために手を腰に当てて腕の振込み動作の影響を排除するよう指示するが、本研究では患者が自身で測定することを想定しているため、跳躍動作を行う上で自然な動作であるという観点から腕の振込みについての指示は行わずに計測することとした。

### 6. 結果の分析

経験年数が 20 年以上の熟達した理学療法士 1 名に取得したデータの評価を行ってもらった。評価の際、センサ値は時系列グラフに変換し、映像と併せて提示した。その結果、データから跳躍の高さ、跳躍動作の再現性、姿勢の安定性、着地時の衝撃の吸収性の傾向が確認された。本稿では、取得したセンサ値のうち、顕著な傾向が見られた片足跳躍における鉛直方向の加速度、クォータニオンのヨー軸およびロール軸を用いて、観察された傾向の例を示す。

#### ● 実験協力者 A

図 3-1 より、着地時の加速度のマイナス方向への変動が少ないことから、着地時の衝撃の吸収性が高いことがわかる。図 3-2 より、着地時のヨー軸の変動から、骨盤が水平方向に歪んでいることがわかる。動画と照らし合わせると、膝を内側に曲げることで衝撃を吸収していることが確認できる。図 3-3 より、加速度の波形が安定して同じ形であることから、跳躍動作の再現性が高いことがわかる。全体的にリズムカルで安定しているものの、筋力ではなく、柔軟性により着地の衝撃の吸収を行なっている傾向がみられる。

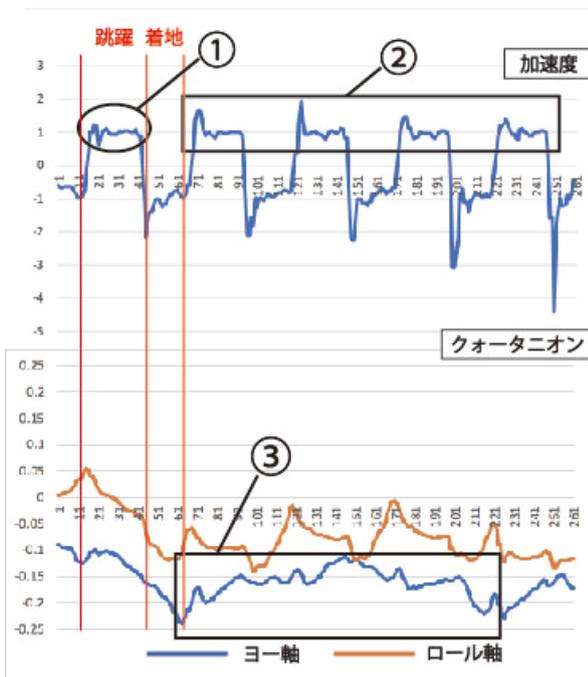


図4: 実験協力者Bのデータ

- 実験協力者B

図4-1より、跳躍時の加速度の波形から、跳躍時間が長いことがわかる。そのため、跳躍高が高いことがわかる。図4-2より、加速度の波形が安定して同じ形であることから、跳躍動作の再現性が高いことがわかる。図4-3より、全体的にヨー軸の変動が少なく、姿勢が安定していることがわかる。全体的に安定したジャンプ動作であり、筋力により衝撃を吸収している傾向にある。

- 実験協力者C

図5-1より、跳躍時の加速度の波形が徐々に狭まることから、回数が増えると跳躍動作の再現性が低くなる傾向にあることがわかる。図5-2より、跳躍時の加速度の波形の狭さから、跳躍時間が短いことがわかる。そのため、跳躍高が低いことがわかる。図5-3より、着地時の加速度の数値がマイナス方向に大きいことから、着地時の衝撃が大きく、衝撃の吸収性が低いことがわかる。図5-4より、ロール軸、ヨー軸が大きく変動しており、姿勢が大きく崩れていることがわかる。映像では、3回目の跳躍から徐々に姿勢を崩し、前に倒れこむ形であった。ジャンプの回数が増えると跳躍の再現性が低くなる傾向にある。着地時に姿勢が不安定になり、最終的に姿勢を立て直せずに、跳躍動作が崩れてしまった。

これらの分析結果から、(1)鉛直方向の加速度の波形により、跳躍の時間、跳躍の高さ、跳躍の再現性を推測可能、(2)マイナス方向の加速度の大きさから着地時の衝撃の吸収性を推測可能、(3)クォータニオンのロー軸、ヨー軸から跳躍時の姿勢の安定性が推測可能、(4)、

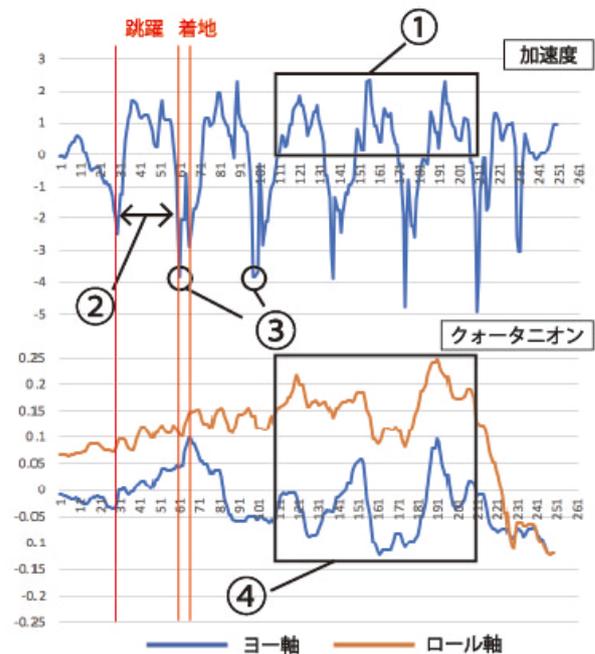


図5: 実験協力者Cのデータ

加速度とクォータニオンの両方を見ることで、着地時に衝撃をどこで吸収しているか推測可能、の4点が示唆された。

## 7. おわりに

本稿では、スマートフォンを用いて両足、片足でのRJの計測を行い、取得したデータを熟達した理学療法士に評価してもらった。熟達した理学療法士による評価から、簡易なセンシングでも衝撃の吸収性や安定性などの傾向が確認できることが示唆された。今後は、データ間の因子の相関を確認することで、跳躍動作の評価を自動で行えるようにする。自動評価機能を現状のシステムに組み込み、スマートフォン単体で扱えるようにすることで、継続的な評価のための計測システムを実現する。

## 参考文献

- [1] Ruiyun, W., 高橋伸, 志築文太郎: スマートフォンを用いた自重トレーニング時の姿勢支援システム, 情報処理学会研究報告, Vol. 5, pp. 1-6 (2019).
- [2] Wang, E. J., Zhu, J., Jain, M., Lee, T.-J. and Saba, E.: Seismo: Blood Pressure Monitoring using Built-in Smartphone Accelerometer and Camera, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vol. 425, pp. 1-9 (2018).
- [3] 図子あまね, 荻山靖, 図子浩二: リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価, *体力科学*, Vol. 6, No. 1, pp. 79-86 (2017).

- [4] 白銀暁: 理学療法場面における簡便な機器を用いた運動計測, 理学療法-臨床・研究・教育, Vol. 23, No. 1, pp. 9-15 (2016).
- [5] 鈴木昂太郎, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣: Kinectを用いた遠隔リハビリテーションシステムの研究, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム2016 論文集, Vol. 2016, pp. 314-321 (2016).
- [6] 中俣修, 新田収, 占川順光: 健常人における両脚跳躍動作の跳躍高を決定する因子の分析—体幹・下肢の姿勢と運動に着目して—, 理学療法学, Vol. 41, No. 5, pp. 290-300 (2014).
- [7] 遠藤俊典, 田内健二, 木越清信, 尾縣貢: リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究, 体育学研究, Vol. 52, No. 2, pp. 149-159 (2007).
- [8] 荻山靖, 関子浩二: バウンディングにおける Stiffness 特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮: リバウンドジャンプとの比較から, 体育学研究, Vol. 60, No. 1, pp. 137-150 (2015).