

# 骨格推定に基づくダウン症者の運動機能を対象とした 定量評価・可視化システム

酒井 みな実<sup>1,a)</sup> 水村 (久埜) 真由美<sup>1</sup> 三嶋 博之<sup>2</sup> 近藤 達郎<sup>3</sup> 土田 修平<sup>1,b)</sup>

**概要:** ダウン症のある人々は筋緊張の低さや姿勢制御の不安定さといった運動特性を有しており、継続的なリハビリテーションや運動指導が重要である。しかし、現場では動作の安定性や改善度を客観的に捉える指標が乏しく、評価が指導者の経験や主観に依存しがちであるという課題がある。そこで本研究では、ダウン症者の運動特性に着目し、カメラ映像から骨格を推定する技術を用いた定量評価・可視化システムを設計・実装した。MediaPipeにより取得した姿勢ランドマークから、頭部安定性、支持脚の横ぶれ、足上げ高さ、体幹および肩の傾きといった運動の安定性や制御特性を反映する複数の指標を自動抽出し、線形スコアリングと可視化によって動作状態を容易に把握可能とした。また、長崎県において実施された当事者参加型の健康チェックで収集された運動データをベースとしてシステムを構築することで、特別な計測機器を必要としない運動評価手法の実装可能性を示した。

## 1. 研究の背景と目的

ダウン症候群を有する人々（以下、ダウン症者）にとって、運動機能の維持・向上は日常生活の自立や社会参加に直結する重要な要素であり、幼児期から成人期に至るまで継続的な支援が求められる。しかし、現状のリハビリテーションや運動指導の多くは、指導者の経験や観察に基づく主観的評価に依存しており、動作の安定性や改善度を定量的に把握することは容易ではない。特にダウン症者に特有な筋緊張の低さや姿勢制御の揺らぎといった運動特性は、健常者を前提とした既存の評価基準では十分に捉えられないという課題がある。

一方、近年はカメラ映像から人体姿勢を推定する骨格推定技術の発展により、特別な計測装置を用いずに身体動作を定量化する環境が整いつつある。これらの技術はスポーツ解析や一般的なリハビリ支援に応用されているが、ダウン症者のように運動特性に個人差・集団特性の大きい対象に対して、「どの指標を、どの範囲で評価するか」を明示的に設計した研究は少ない。対象集団に適合した評価レンジや指標体系をどのように構築するかは、未解決の課題として残されている。

そこで本研究は、骨格推定に基づく運動指標を用いて、

ダウン症者の動作を客観的に捉え、理解しやすく可視化する評価システムの設計・実装を目的とする。特に、頭部や体幹の安定性、支持脚の横ぶれ、足上げ高さといった、臨床・運動指導の現場で重要視されてきた観点を、姿勢ランドマークから自動抽出可能な指標として定義することに焦点を当てる。

本研究の位置づけは、長崎県を中心に実施されてきた当事者参加型の「健康チェック」等により蓄積された運動データを背景に、将来的な当事者群データに基づく基準化や評価レンジ更新へと拡張可能な、評価・可視化パイプラインの最小構成を提示する点にある。現段階では、評価指標の算出とスコアリング、および結果の可視化に主眼を置き、評価基準の自動最適化や訓練介入効果の検証は今後の課題とする。

本稿では、(i) 骨格推定に基づく運動指標群の定義、(ii) シンプルな線形スコアリングによる定量化手法、(iii) Webアプリケーションとしての一体的な可視化実装、の三点を中心に報告し、ダウン症者の運動評価を属人的判断から共有可能な客観指標へと接続するための基盤的枠組みを示すことを目的とする。

## 2. 関連研究

本研究に関連する領域は大きく三つに整理できる。(1) 骨格推定技術を用いた運動解析、(2) ダウン症者における運動特性とリハビリ研究、(3) インタラクティブ技術を用いた運動継続支援である。これらを順に整理し、本研究が

<sup>1</sup> お茶の水女子大学

<sup>2</sup> 長崎大学

<sup>3</sup> みさかえの園総合発達医療福祉センターむつみの家

a) g2420512@ocha.ac.jp

b) tsuchida.shuhei@ocha.ac.jp

位置づけられるギャップを明確にする。

## 2.1 骨格推定技術を用いた運動解析

姿勢推定技術の発展により、特別な装置を用いずに動作の定量化が可能になった。代表的な手法である MediaPipe Pose や OpenPose は、身体 33 点（または 25 点）のランドマークをフレーム単位で推定し、スポーツ解析や一般的なフィットネス評価に広く応用されている [1]。また、これらの骨格情報を利用したリハビリ支援の研究も報告されており、上肢可動域測定や歩行分析などの医療応用が進んでいる [3,8]。

しかし、既存研究の多くは健常者または高齢者を対象としたものであり、ダウン症者に特有の運動特性（低緊張、協調運動の困難、姿勢制御の不安定さなど）を前提とした指標設計は十分に議論されていない。この点で「対象特性に応じた評価基準の再設計」という課題が残る。本研究は、姿勢推定アルゴリズム自体の改良を目的とするのではなく、既存の骨格推定技術を前提として、そこからどのような指標を抽出し、どのような評価レンジで提示するかという「評価設計」の部分に主眼を置く点に本研究の位置づけがある。

## 2.2 ダウン症者の運動特性とリハビリ評価

ダウン症者は一般に筋緊張の低下や姿勢制御の困難さを示すことが報告されており、これらは運動タスク遂行に直接影響する [5,6]。従来の評価は理学療法士による観察ベースの主観評価が中心であり、評価者間のばらつきが問題とされている [2]。

これまでの研究では、ダウン症者の運動特性そのものは医学的に報告されているものの、それらを時系列データとして計測・蓄積し、集団特性を反映した評価指標や基準分布として再利用可能な形で整理する枠組みは十分に整備されていない。

## 2.3 モチベーション維持を目的としたインタラクティブ支援

リハビリを継続するためには、楽しさやフィードバックによる動機づけが重要であることが指摘されている。インタラクティブ技術を用いた運動支援の研究では、没入感の高い体験や即時的なフィードバックが、利用者に意識的な負担を与えず運動を促す効果を持つことが報告されている [4]。また、脳卒中リハビリを対象とした研究においても、難易度調整や視覚的フィードバックが長期的な利用継続や機能改善に寄与することが示されている [7]。

これらの研究は、フィードバック設計が運動継続を支える重要な要素であることを示しているが、ダウン症者を対象とし、かつ骨格推定に基づく定量評価を基盤としたインタラクティブ支援は十分に検討されていない。本研究で



図 1 動作データ収集の様子

は、動機づけ手法そのものの設計や効果検証は扱わず、その前提となる客観的な運動評価と可視化の基盤構築に焦点を当てる。

## 3. データ収集

本研究で用いた動作データは、2025 年 1 月 25–26 日に長崎市（長崎県総合福祉センター）および諫早市（さわり工房ながさき）で実施された「ダウン症候群・ヤコブセン症候群健康チェック」において収集した。

本集会には、諫早市のみさかえの園総合発達医療福祉センターむつみの家に通院している当事者を中心として、九州内外から幅広い年齢層が参加した。参加に先立ち、音声・身体運動・口腔状態の各領域について、日常生活上の状況や本人・家族が感じている不便さを問うアンケートを実施し、当日はその回答内容を踏まえて課題の強度・実施方法を設計した上で検査を行った。

当日の計測は、(i) 音声、(ii) 身体運動、(iii) 口腔機能の 3 領域から構成した。音声については、音程を付けずに、参加者になじみのある歌詞を朗読してもらい録音した。身体運動については、握力測定に加え、しゃがみ込みやばんざい等の基本動作、および片足立ちによるバランス保持課題を実施し、対面での指導のもとで動作を記録した。口腔機能については、一般的歯科健診に加え、唾液分泌能、舌圧、口唇筋力等の測定を実施した。

本稿では、上記のうち身体運動の動作データを対象とし、撮影映像から骨格推定により運動指標を算出した。なお、本健康チェックでは長崎市および諫早市の合計 125 名を対象にデータ取得を行った。動作データ収集の様子を図 1 に示す。本研究は、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科（医学系）倫理委員会の多機関共同研究一括審査の承認（承認番号 24092704）を受けて実施した。

## 4. 提案システム

### 4.1 システム構成

本システムは、骨格推定による姿勢解析からスコアリン

グ・可視化までを一貫して行う Web アプリケーションである。構成は、(1) 骨格推定・データ取得、(2) 特徴量抽出およびスコアリング、(3) ユーザインタフェースの3層により構成される。

## 4.2 スコアリング設計

現段階では、左右脚別のスコアレンジを静的テーブルとして実装し、必要に応じて外部 JSON から手動で閾値を読み込む。当事者群データに基づくレンジ再推定や自動更新は未実装であり、今後の拡張対象とする。

スコアリングは、各指標値  $x_i$  について観測範囲  $[L_i, H_i]$  を線形マッピングして

$$S_i = 100 \times \frac{H_i - x_i}{H_i - L_i}$$

として算出する。これにより、指標値が大きいほどスコアが低くなるシンプルな評価式を実現している。

## 4.3 ユーザインタフェース

本システムのユーザインタフェース (UI) は Streamlit 上で構築されており、セッション状態に応じて「開始」「計測」「結果」の3画面を切り替える。開始画面では、ユーザは Web カメラまたは動画を選択して計測を実行する。計測画面では、画面左側に評価の基準となるお手本の動作映像を表示し、右側には Web カメラで撮影されたユーザ自身の動作をリアルタイムに表示する (図 2)。ユーザは両者を視覚的に比較しながら動作を行うことができる。計測が終了すると、姿勢推定および運動指標の算出処理が自動的に開始され、解析完了後に結果画面へ遷移する。結果画面では、複数の運動指標を統合した総合スコアと、各指標ごとの評価スコアを即時に提示する (図 3)。各指標はスコアカード形式で表示され、頭部の揺れや体幹の傾き、脚上げ量といった評価対象となる運動要素ごとに、数値評価と短いコメントを併せて提示する (図 4)。また、Plotly によるバイオリンプロットを用いてユーザーの運動能力がダウン症患者の中でどの程度に位置するかを可視化する (図 5)。この分布表示により、ユーザは自身の運動状態を「安定・不安定」「傾きが大きい・小さい」「高い・低い」といった直感的な表現で把握できる。これにより、専門的な知識を持たない利用者であっても、自身の運動特性や課題を理解しやすい UI を実現している。

## 4.4 実行環境

本システムは、Python 3.10 環境上で実行され、主要ライブラリとして Streamlit, NumPy, Pandas, Plotly/Kaleido, MediaPipe, OpenCV を用いた。GPU を前提とせず、CPU 環境でのリアルタイム処理を目指した構成として設計している。



図 2 動作計測中



図 3 総合スコアの提示画面



図 4 詳細指標ごとの評価結果

## 5. まとめ

本研究では、ダウン症患者の運動機能評価における主観的・属人的判断の課題に対し、骨格推定に基づく定量評価・可視化システムを設計・実装した。MediaPipe によって取得した姿勢ランドマークから、頭部安定性、支持脚の横ぶれ、足上げ高さ、体幹や肩の傾きといった指標を定義し、線形スコアリングと可視化を通じて、動作の状態を直感的に把握可能な評価パイプラインを提示した。また、特別な

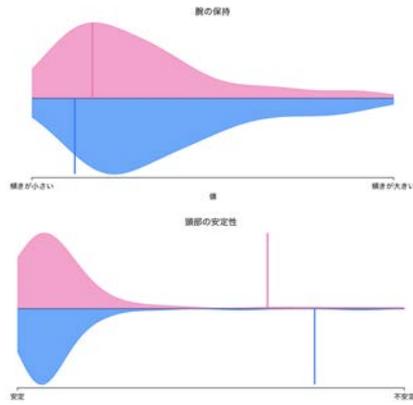


図 5 集団分布と個人値を示すバイオリンプロット

計測機器を用いず、日常的な運動指導やリハビリテーション現場への展開可能性を持つ評価基盤を示したている。一方で、評価レンジは静的に設定されており、当事者群データに基づく自動的な基準更新や、機能改善との対応関係の検証は今後の課題である。

**謝辞** 本研究は、小林製薬青い鳥財団および三菱財団、JSPS 科研費 25K21959 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E. and Sheikh, Y.: OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 43, No. 1, pp. 172–186 (2021).
- [2] Chen, W., Wang, R. and Liu, X.: Subjectivity and Reliability Issues in Physiotherapy Assessment: A Review, *Journal of Physical Therapy Science*, Vol. 34, No. 5, pp. 351–359 (2022).
- [3] Cheng, K.-Y., Lin, Y.-C. and Chen, M.-J.: Upper Limb Rehabilitation Using Vision-Based Motion Tracking: A Pilot Study, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol. 58, No. 3, pp. 45–53 (2021).
- [4] Chiu, Y., Wang, L. and Lin, J.: Exploring Immersive VR Exercise Games for Physical Rehabilitation: A Clinical Investigation of “Supernatural”, *ACM Transactions on Accessible Computing*, Vol. 17, No. 2, pp. 1–18 (2024).
- [5] Connolly, B., Michael, B. and John, R.: Motor Proficiency in Individuals with Down Syndrome: A Review, *Journal of Intellectual Disability Research*, Vol. 47, No. 2, pp. 83–90 (2019).
- [6] Gonzalez, L. and Tenenbaum, G.: Postural Control and Movement Coordination in Individuals with Down Syndrome, *Research in Developmental Disabilities*, Vol. 92, p. 103444 (2019).
- [7] Jung, Y., Lee, H. and Kim, S.: Game-Based Rehabilitation for Stroke Patients: A Longitudinal Clinical Observation, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Vol. 17, No. 1, pp. 92–105 (2020).
- [8] Li, X., Zhou, F. and Wang, J.: Vision-Based Gait Analysis System for Elderly Rehabilitation, *Proceedings of the IEEE International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, pp. 678–683 (2022).