

## 遠隔リハビリテーション支援システムのための 健常者とパーキンソン病患者の差異検出

### Detecting differences between healthy people and Parkinson's disease patients for remote rehabilitation support system

原口 夏実<sup>†</sup> 諸岡健一<sup>†</sup> 澤田誠<sup>‡</sup>  
Natsumi Haraguchi Ken'ichi Morooka Makoto Sawada

#### 1. はじめに

パーキンソン病 (PD) とは、ふるえ、動作緩慢、筋強剛を主な運動症状とする神経変性疾患であり、日本では高齢化社会に伴い PD 患者数が増加している。PD の治療法には、内科的治療、外科的治療、リハビリテーションの3つがある。このうち、リハビリテーションは、内科的・外科的治療の2つの治療と併用することで症状の改善が期待される。しかし、専門知識を持った理学療法士等の人材不足より、リハビリテーションは限られた施設で受けなければならない。更に、PD 患者が高齢の場合、通院が困難であり、リハビリテーションを十分に受けられないことが課題となっている。

そこで、我々の研究グループでは、スマートフォンを用いて PD 患者の動作を撮影し、その動画を解析することでリハビリテーションを支援するシステムの研究を行っている。これにより、通院困難な患者が自宅でアドバイスを受けながら、正しい動きによるリハビリテーションを行うことができる。一方、医療従事者は、システムの解析結果から PD 患者の経過を遠隔で知ることができる。

本研究では、この支援システムの基盤技術である、高齢健常者と PD 患者の姿勢や動きの差異を定量的かつ安定的に検出する手法を提案する。

#### 2. 提案手法

本手法の概要を、図1に示す。本手法は、大きく2つの処理がある。まず、高齢健常者のデータを用いて評価基準モデルを作成する。次に、評価基準モデルを用いて、PD 患者の姿勢と速度について評価を行う。

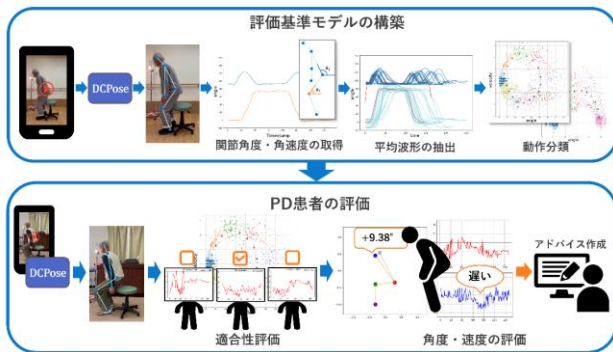


図1：手法の概要図

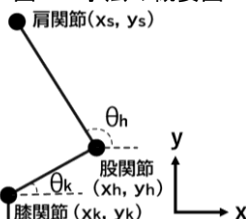


図2：使用する関節座標及び関節角度の関係図

#### 2.1 評価基準モデルの作成

評価基準モデルの作成は、以下の手順で行う。

##### 2.1.1 関節角度、角速度の算出

スマートフォンで高齢健常者の立ち上がり動作を側方から撮影し、DCPose[1]を用いて各時刻における関節位置の2次元座標を取得する。本手法で用いる関節は、左肩 $(x_s, y_s)$ 、左股関節 $(x_h, y_h)$ 、左膝 $(x_k, y_k)$ の3つである。

次に、3つの関節座標を使って、図2に示す胸腰部伸展角度 $\theta_h$ 、膝関節伸展角度 $\theta_k$ をそれぞれ式(1)、(2)により求める：

$$\theta_h = \arccos \left[ \frac{\{(x_s - x_h)^2 + (y_s - y_h)^2\}^2 + (x_s - x_h)^2 - (y_s - y_h)^2}{2 \cdot \{(x_s - x_h)^2 + (y_s - y_h)^2\} \cdot |x_s - x_h|} \right]; \quad \dots(1)$$

$$\theta_k = \arccos \left[ \frac{\{(x_h - x_k)^2 + (y_h - y_k)^2\}^2 + (x_h - x_k)^2 - (y_h - y_k)^2}{2 \cdot \{(x_h - x_k)^2 + (y_h - y_k)^2\} \cdot |x_h - x_k|} \right]; \quad \dots(2)$$

次に、DTW Barycenter Averaging(DBA)を用いて、全高齢健常者の立ち上がり動作における関節角度時系列データから、平均的な関節角度時系列データを取得する。DBAは、まず、DTWを利用して各時系列データ間の最適対応関係を求める。そして、その対応関係を基に、時系列データ間の時間的なずれを考慮した平均時系列データを生成する。

さらに、生成した平均時系列データと各時系列データ間の対応関係を求める処理を繰り返すことで、最終的に安定した平均時系列が得られる。初期の平均時系列は最終的な平均時系列の決定に影響を与えるため、本研究では、高齢健常者の関節角度時系列の中で、各関節時系列とのDTW距離の合計が最小の時系列を初期の平均時系列とする。

##### 2.1.2 立ち上がり動作のクラスタリング

2.1.1節で算出した関節角度、関節角速度を用いて、立ち上がり開始から立ち上がるまでの動作データをクラスタリングする。ここで、関節角度及び関節角速度からなる2次元時系列データを姿勢ベクトルとして定義する。まず、高齢健常者の平均的な関節角度、角速度から代表的な平均姿勢ベクトルを抽出する。このとき、メディアンフィルタを用いて外れ値を除去する。また、平均姿勢ベクトル間の距離を設定した閾値以上となるよう、代表的な平均姿勢ベクトルを抽出する。そして、全高齢健常者の姿勢ベクトルに対し、最も距離が近い代表的な平均姿勢ベクトルと同じクラスタに属するようにクラスタリングを行う。クラスタリング例として、胸腰部伸展角度の結果を図3に示す。

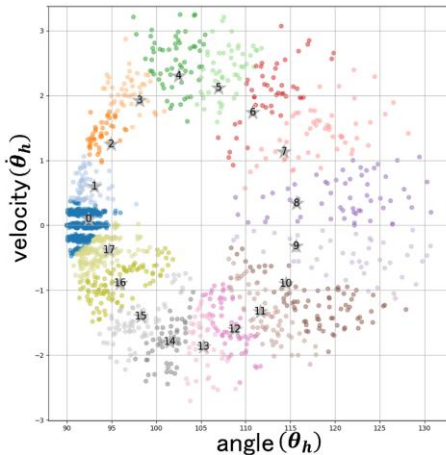


図3：胸腰部伸展角度( $\theta_h$ )と胸腰部伸展角速度( $\dot{\theta}_h$ )のクラスタリング結果

## 2.2 PD患者姿勢ベクトルの適合性評価

未知のPD患者の立ち上がり動作データが与えられると、2.1.2節で取得したクラスタリング結果を用いて、まず、この未知患者と高齢健常者の比較が妥当であるかを判定する。この理由は、PD患者の重症度は様々であり、高齢健常者の動作が理想的でない場合もあるため比較が妥当であるPD患者のみ対象とするためである。

具体的には、2.1節で述べた手法を用いて、立ち上がり動作動画から各時刻のPD患者の関節角度、角速度を算出する。次に、PD患者の姿勢ベクトルごとに、高齢健常者のクラスタとのマハラノビス距離を求め、最も近いクラスタの距離を記録する。このとき、各姿勢ベクトルのマハラノビス距離時系列データの標準偏差が小さいほど、PD患者にとって健常者のデータは理想的であるといえる。そのため、本研究では全高齢健常者の標準偏差から最大値を基準とし、それ以下のPD患者に限り、以降の評価を行う。

## 2.3 PD患者の動作評価

PD患者の動作評価では、まず、胸腰部伸展角度を用いて、高齢健常者とPD患者の角変位差を算出し、PD患者の立ち上がり動作における角度に関するアドバイスを作成する。ここで、本研究では、胸腰部伸展角度の時系列データにおいて、開始時の角度と、時系列中の最大角度の差を角変位とする。具体的には、全高齢健常者の平均角変位と、PD患者の角変位の差を算出する。この角度評価では、高齢健常者の角変位差分布の下側5%から95%までを許容範囲とし、PD患者の角変位差が許容範囲外の場合に限りアドバイスを作成する。

次に、取得した立ち上がり動作クラスタリング結果を用いて、各クラスタとPD患者の角速度時系列データによる符号付きマハラノビス距離を算出し、PD患者の立ち上がり動作における速度に関するアドバイスを作成する。ここで、PD患者の速度が遅い場合、角速度はクラスタ重心よりも小さくなるため、マハラノビス距離を負の符号で表示する。さらに、角度評価と同様に、速度評価では、高齢健常者のマハラノビス距離分布の下側5%から95%までと、連続フレーム数の分布の上側90%を許容範囲とし、PD患者が許容範囲外の場合に限りアドバイスを作成する。

†熊本大学 Kumamoto University

‡令和健康科学大学 Reiwa Health Science University

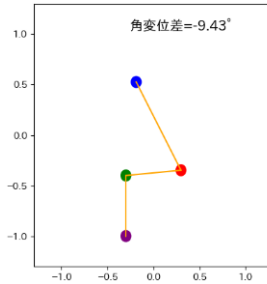


図4：PD患者の立ち上がり姿勢例

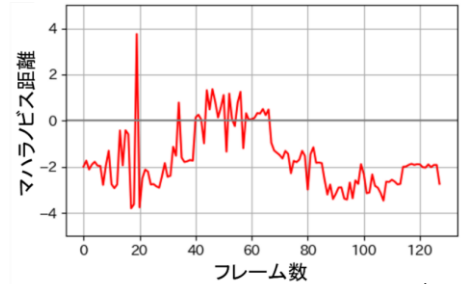


図5：PD患者の胸腰部伸展角速度( $\dot{\theta}_h$ )の時系列マハラノビス距離

## 3. 実験

本実験では、高齢健常者5名、PD患者18名の立ち上がり動作データを使用した。撮影時は、スマートフォンと椅子の距離が2.3[m]になるように配置した。

まず、2.2節の評価方法を用いて、PD患者の適合性評価を行った。各クラスタと高齢健常者の姿勢ベクトルにおける標準偏差の最大値は0.87であった。そのため、PD患者の標準偏差が0.87未満の場合のみ、比較妥当であると判定し動作評価を行った。

次に、2.3節の評価方法を用いて、角度評価を行った。このとき、高齢健常者の角変位差分布の許容範囲は-7.73~8.46であった。そのため、角変位差が-8度以下、または8度以上のPD患者に対してアドバイスを作成した。

図4に胸腰部伸展角度が最大時の姿勢を示す。図4より、角変位差が-9.43度であることから、立ち上がる動作で上半身の屈曲が健常者よりも小さいことが分かる。そのため、「立ち上がる時に上半身を前に倒すようにしましょう。」とアドバイスできる。

最後に、2.3節の評価方法を用いて、速度評価を行った。速度評価では、背中を倒す動作や起こす動作、立ち上がり前半、立ち上がり後半の動作についてアドバイスを作成する。また、高齢健常者のマハラノビス距離の許容範囲は-1.51~1.95であり、連続フレーム数の許容範囲は7以下であった。そのため、連続フレーム数が7以上かつマハラノビス距離が2以上、または-1.5以下の時刻を含む場合にのみアドバイスを作成する。

図5に高齢健常者と比較したPD患者の胸腰部伸展角速度を示す。図5より、マハラノビス距離の負の値が7フレーム以上連続かつ-1.5以下の時刻があることが確認できる。そのため、「背中を倒す動作や起こす動作を速くしましょう」とアドバイスできる。

## 4. 結論

本研究では、動画から立ち上がり動作における高齢健常者とPD患者の姿勢や速度の差異を検出する手法を構築した。実験結果から、PD患者に対して角度や速度に関するアドバイスが可能となり、自宅からでも理学療法士を介さずにリハビリテーションを行える可能性が示唆された。

### 謝辞

本研究にご協力いただきました全ての方々に深く感謝いたします。なお、本研究はJSPS科研費JP 25K03141の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] Z.Liu, et al., "Deep Dual Consecutive Network for Human Pose Estimation", IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 525-534 (2021)