

身体部位の変位を用いた歩行評価の試み

Gait evaluation using displacement of body parts

塩谷康太¹⁾

指導教員 齊藤亜由子¹⁾, 研究協力者 木澤悟²⁾

1) 工学院大学 先進工学部 機械理工学科

2) 秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 機械系

本研究では光学式モーションキャプチャによる歩行計測を行い、得られた反射マーカの変位を主成分分析することにより、歩行動作における下肢部位間の関連性解明を試みた。その結果、左右脚共に股関節の屈曲伸展に起因する大腿骨上顆と踝の上下動が特徴的な動作として抽出された。

キーワード：Biological, Displacement, Gait, PCA

1. 緒言

これまでに歩行動作の関節間協調を評価する方法として関節角度の周期図や特異値分解を用いた解析が行われてきた。しかし、歩行動作の特徴は関節間協調だけでなく、各身体部位の位置関係や、任意の歩行フェーズにおける各身体部位の変位量の関係にも表れると考えられる。

身体部位の位置関係を簡易に表現する手法の一つにバイオロジカルモーションがある。バイオロジカルモーションは、点群の動きから任意の動作を認識する知覚現象の名称である。バイオロジカルモーションに関しては、性別の認識、感情の認識、運動カテゴリーの認識など、点群を視聴した評価者の主観評価に基づく研究が数多く行われており、主に心理学の分野において研究が進められてきた。主観評価だけでなく、点群のモデル化、点群の変位と主観評価の関連性など、点群の動きから動作の特徴を見出すための研究も行われている。このように身体部位上の複数の点における変位の特徴や、複数点間の変位の関係性を解析することは、身体部位間の協調解析にも役立つことが期待できる。

そこで本研究では、歩行動作における身体部位間の変位に着目し、身体部位間の協調の評価を試みる。具体的には光学式モーションキャプチャを用いて歩行者に添付した反射マーカの座標を計測し、反射マーカの変位を歩行フェーズの時間区間

に分けて主成分分析することで、各フェーズにおける身体部位の協調の特徴を明らかにする。

2. 実験

歩行計測の参加者は成人健常男性 1 名（身長 1.81m, 体重 64kg）である。本実験については工学院大学ヒトを対象とする研究倫理審査委員会、秋田工業高等専門学校ヒト倫理審査委員会の承認を得るとともに、あらかじめ被験者に十分な説明を与え、同意を得ている。

被験者は自然な歩幅で歩行し、歩行速度はメトロノーム 90bpm に合わせ 1 歩進むのに 1 秒かけるものとした。計測においては、光学式三次元動作解析装置 (Vicon 社製, Bonita10) と床反力計 (Kistler 社製, 9286) 2 枚を用いた。光学式三次元動作解析装置、床反力計のサンプリング周波数は共 100Hz である。実験座標系を図 1 に示す。

3. 主成分分析

本研究では、身体に貼付したマーカ座標から身

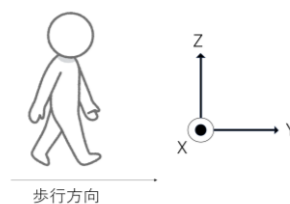


Fig.1 Laboratory coordinate system

体動作の特徴を検証するため、マーカの X 座標, Y 座標, Z 座標の主成分負荷量を評価する。櫛田大輔らの研究¹⁾では、主成分を形作る上で影響の大きいオリジナルデータを抽出することで、骨折リスクの要因となる転倒の有無にかかわる疫学データを見出していたが、本研究においては、時系列データを取り扱うため、主成分得点ではなく、各マーカの主成分負荷量を比較することにより、動作の認知に重要な身体部位を検証する。解析区間は、左右脚の一歩行一周期 2 回ずつを含む合計歩行四周期である。

6 個のマーカ情報 (X, Y, Z) を用いて、観測行列 R (式(1)) を構築する。

$$R = \begin{pmatrix} X_{LAS}(t_1) & Y_{LAS}(t_1) & Z_{LAS}(t_1) & X_{RAS}(t_1) & Y_{RAS}(t_1) & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{LAS}(t_m) & Y_{LAS}(t_m) & Z_{LAS}(t_m) & X_{RAS}(t_m) & Y_{RAS}(t_m) & \\ Z_{RAS}(t_1) & X_{LK}(t_1) & Y_{LK}(t_1) & Z_{LK}(t_1) & X_{RK}(t_1) & Y_{RK}(t_1) & Z_{RK}(t_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{RAS}(t_m) & X_{LK}(t_m) & Y_{LK}(t_m) & Z_{LK}(t_m) & X_{RK}(t_m) & Y_{RK}(t_m) & Z_{RK}(t_m) \\ X_{LAN}(t_1) & Y_{LAN}(t_1) & Z_{LAN}(t_1) & X_{RAN}(t_1) & Y_{RAN}(t_1) & Z_{RAN}(t_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{LAN}(t_m) & Y_{LAN}(t_m) & Z_{LAN}(t_m) & X_{RAN}(t_m) & Y_{RAN}(t_m) & Z_{RAN}(t_m) \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 X_{LAS} , Y_{LAS} , Z_{LAS} , X_{RAS} , Y_{RAS} , Z_{RAS} は左右の上前腸骨棘マーカの X, Y, Z 座標, X_{LK} , Y_{LK} , Z_{LK} , X_{RK} , Y_{RK} , Z_{RK} は左右の膝のマーカの X, Y, Z 座標, X_{LAN} , Y_{LAN} , Z_{LAN} , X_{RAN} , Y_{RAN} , Z_{RAN} は左右の踝のマーカの X, Y, Z 座標, t_m は時間を表している。

観測行列 R は 18 次元の空間にそれぞれの次元で 1~m 個のデータが存在するため次元を削減する。主成分分析ではデータの分散が一番大きい方向に第 1 主成分の軸 (Z_1) を決定し、データの分散が二番目に大きい方向に第 2 主成分の軸 (Z_2) を決定する。ただし、第 2 主成分は第 1 主成分に直行するように定める。固有ベクトルと説明変数を用いて第 1 主成分 Z_1 は式(2)より求めることができる。

$$Z_1 = v_{11}X_{LAS} + v_{21}Y_{LAS} + \dots + v_{18}Z_{RAN} \quad (2)$$

さらに固有ベクトルを用いて式(3)より主成分負荷量を求める。

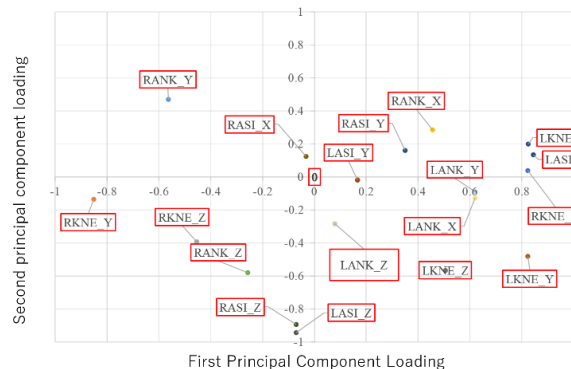


Fig.2 First and second principal component in trial 1

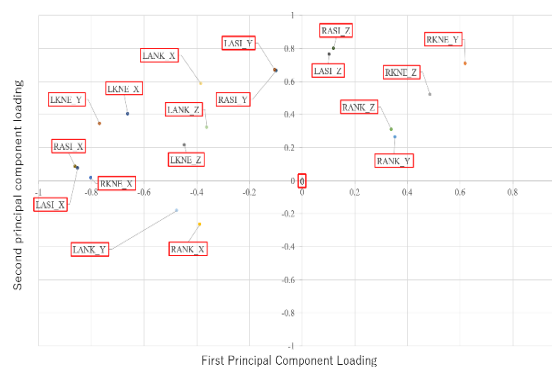


Fig.3 First and second principal component in trial 2

$$V_i = \begin{bmatrix} v_{11} \\ \vdots \\ v_{181} \end{bmatrix} \times \sqrt{\lambda_i} \quad (3)$$

4. 結果

歩行計測 1 回目, 2 回目の第 1 主成分, 第 2 主成分における主成分負荷量の結果を図 1, 2 に示す。本解析においては各マーカの変位を説明変数としており、図 2, 3 に示す主成分負荷量は各説明変数の主成分負荷量を示している。そのため、図 2, 3 において同じ象限の近い位置に存在するマーカ同士はそれぞれのマーカ変位に関連性があると評価することができる。

図 2, 3 より、 Z_{LAN} と Z_{LK} , Z_{RAN} と Z_{RK} が常に同じ象限の近い位置に存在することから、股関節の屈曲による大腿部, 下腿部の上下動が特徴的な動きとして現れていることが示された。

参考文献

- 1)河越裕太, 櫛田大輔, 松本浩実, 転倒歴と疫学データに基づく主成分分析を用いた転倒リスクの要因抽出, Vol.142, No.7, pp.706-712