

# 機械学習によるバス乗車動作を用いた乗客転倒リスク推定

横山 美優 指導教員：小栗 宏次

## 1 はじめに

乗合バス車内での転倒事故件数の多さが問題視されている。乗合バスの事故発生件数の約3分の1を占めており、車内事故の発生時の状況は、発進時が最も件数が多い。車内事故において、重傷化しやすいのは、筋力や平衡感覚の衰えによって加速時の揺れに対応できず転倒しやすい乗客である。そこで、車内転倒事故防止に向けて、乗客の転倒の内因性リスク（以下、転倒リスク）をドライバーは把握する必要がある。転倒リスクを自動判定する先行研究として樋山らは、脚部に装着した加速度センサを使って推定することを提案している [1]。Barry らは、身体に装着した加速度およびジャイロセンサを使って推定する手法を提案している [2]。しかし、これらの方法では乗客にセンサを取り付ける必要があり実際のバス乗車時には使用できない。

そこで本研究では、バスに取り付けられている監視カメラのバス車内の画像を取得し、乗客乗込動作からの転倒リスクを推定する。昇段動作は、下肢筋力やバランス能力と関係があるとされているため、バス入口に昇段をする乗込動作に着目した。乗込み時の画像内の乗客の関節点から特徴量を抽出し、転倒リスクを機械学習を用いて推定する。

## 2 転倒リスク

本研究では、Franco らが提案した転倒リスク評価指標である Mini-Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest) [3] を推定する転倒リスクとする。この評価指標では、立位や爪先立ちなど日常の動作をスムーズに行うことができるかを得点化した予測的姿勢制御（満6点）、急に体勢が変化した際に即座に対応できるか得点化した反応的姿勢制御（満6点）、バランス感覚を得点化した感覚機能（満6点）、二重タスクなどを課した際の歩行動作を得点化した動的歩行（満10点）の4種類の機能ごとの点数の合算が最終的な転倒リスクとなっている。点数が低いほど転倒リスクが高いとされ、点数の加点は1点単位になっている。本研究では、機能ごとの点数を推定する。

## 3 画像内関節点による転倒リスク推定

### 3.1 特徴量の抽出

使用する画像は図1のような車内入口を正面上部から撮影したものである。その乗り込み動作の画像から、図2に示す7点の関節（胸骨、左右肩峰、左右腸骨、左右膝）の画像内の座標値と、歩行解析に用いられる動作タイミングである接地  $t_{HC1}$ 、離地  $t_{TO1}$ 、交差  $t_{MS}$  の時刻を取得する。

説明変数には重心、関節角度および関節間距離を求めた。重心は、動作の解析において重要視される要素の一つである。そこで、バランススコア推定モデルの説明変数にも重心を用いる



図1 使用する画像

初期接地(HC1) 対側足尖離地(TO1) 下肢交差(MS)

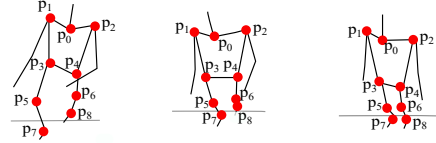


図2 マーカー箇所と動作タイミング

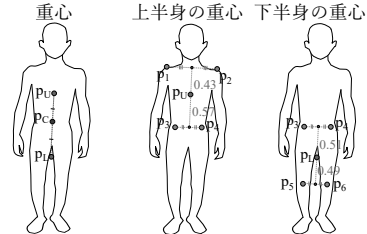


図3 重心の求め方

こととする。重心の求め方は、久保らの手法 [4] を利用して図3のように求める。このとき、大転子と肩の距離と腸骨と肩の距離の比が10:9、大転子と膝の距離と腸骨と膝の距離の比が7:8として計算を行う。関節疾患等により転倒リスクが高い場合は関節の動かし方に変化が表れると考え、関節角度を説明変数として算出する。関節角度の値として、画像内の関節2点を結んだ直線2本の間の角度の余弦を算出する。さらに、関節間の距離から筋力低下による足の持ち上げ方の変化や、バランス能力低下による体の傾きの変化を捉えられると考え、説明変数として画像内の関節2点間の距離を算出する。

### 3.2 転倒リスクのSVM分類と点数のランダムフォレスト回帰

本研究では転倒リスクの高低によってデータを二つに分類し、それぞれに合わせた回帰モデルを作成して転倒リスクを推定する。推定のながれを図4に示す。まず、分類モデルについて説明する。分類モデルには Support Vector Machine (SVM) を使用する。このとき、Mini-BESTest の点数が20点以下である場合、特に転倒リスクが高いとされているため、点数が20点以下の場合におけるそれぞれの機能の点数を元に予測的姿勢制御、反応的姿勢制御では、4点以下を低、5点以上を高、感覚機能では5点以下を低、6点を高、動的歩行では、6点以下を低、7点以上を高としてラベル付けする。説明変数は、3.1節で説明した関節角度および関節間距離を使用し、RobustScaler によってス

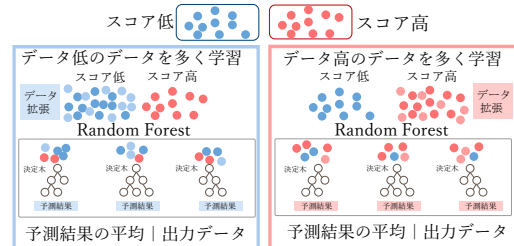
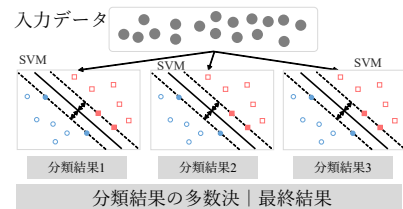


図4 推定方法

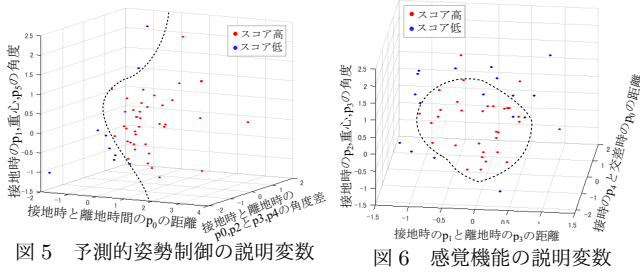


図5 予測的姿勢制御の説明変数 図6 感覚機能の説明変数

カール変換を行う。  
 分類に使用した説明変数の例を図5, 図6に示す。このとき、各軸が使用した説明変数、赤マーカーが高、青マーカーが低となっている。図5では、点線で示す境界面においてスコアの高低が完全に分かれている。図6では、点線で示す境界面で概ねスコアの高低が分かっているが、一部分かれていないデータも存在した。このように概ね高低が分かる説明変数の組合せが複数存在したためSVMを複数使用し、結果の多数決を用いて分類を行う。

転倒リスク指標の得点の回帰はRandom Forestを使用する。また、分類結果において、ラベルが高となった場合には、高リスクのデータを低リスクのデータと比べて倍の数に拡張して学習した回帰モデルを、ラベルが低となった場合には、低リスクのデータを高リスクのデータと比べて倍の数に拡張して学習した回帰モデルを使用する。データ拡張の際には、正規分布に合わせたノイズを既存のデータに加える。

4 バス乗車動作計測実験

提案手法を評価するために実験を行った。実験環境は、実際に使用されている乗合バスとした。撮影環境を図7に示す。被験者は、73.2 ± 4.9歳の女性34名とし、それぞれMini-BESTTestおよび乗り込み動作の撮影を行い、計49データ取得した。カメラの解像度は縦480pixel、横720pixelで、フレームレートは10fpsとした。5回の交差検証を行い、提案手法を評価した。

提案手法を検証した結果を表1, 図8-図11に示す。このとき、Mini-BESTTestのスコアが高いデータを陽性、スコアが低いデータを陰性とした。結果として、どのスコアに対しても偽陰性が少なく概ね低スコアを分類できた。

予測的姿勢制御の推定結果を図8に示す。横軸が正解値、縦軸が推定値、赤いマーカーが分類時にスコア低と分類されたデータ、青いマーカーがスコア高と分類されたデータとしてプロットした。4点以下の推定は概ね正確に推定されており、5点以上は推定値のずれが大きくなった。

反動的姿勢制御の結果を図9に示す。スコア4点以上の推定値のずれが大きくなる結果となった。

感覚機能の推定結果を図10に示す。6点の推定値に誤差が大

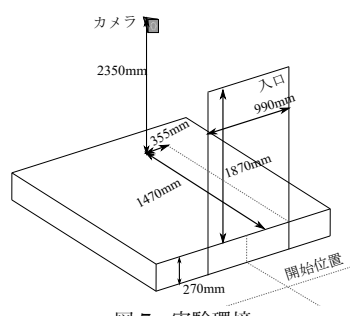


図7 実験環境

表1 提案手法検証結果

	分類結果				推定結果	
	TP	FP	FN	TN	R <sup>2</sup>	精度
予測的姿勢制御	34	6	0	9	0.70	76%
反動的姿勢制御	16	12	2	19	0.85	76%
感覚機能	21	11	4	13	0.84	86%
動的歩行	28	5	6	10	0.59	55%

きくなる傾向にあったが、概ね正確に推定された。ほぼ全てのデータにおいて推定誤差が0.5未満であった。

動的歩行の推定結果を図11に示す。他機能と比べて最も正解率が小さい結果となった。誤差が大きい原因として、スコアが高いにも関わらずスコアが低いと分類されたことが挙げられる。この誤分類された6データ中の5データが乗り込む際に先に踏み出した足が左足であることが分かった。踏み込む足の違いによる動作の変化が影響していると考えられる。そのため、踏み込む足の左右など個人差の影響を受けづらい説明変数を考える必要があると思われる。また、本実験では女性高齢者のみを対象としているが、男性や若年者のデータを加えることでより個人差の幅が大きくなることが考えられる。

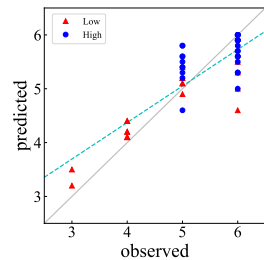


図8 予測的姿勢制御の推定結果

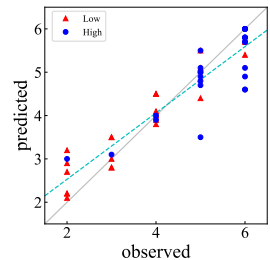


図9 反動的姿勢制御の推定結果

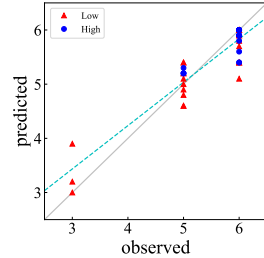


図10 感覚機能の推定結果

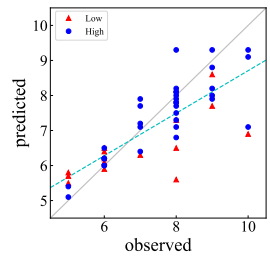


図11 動的歩行の推定結果

5 おわりに

本研究では、バス乗車時の乗客の転倒リスク(Mini-BESTTest)を推定するために、画像内の関節点から算出した説明変数による推定手法を提案した。まず、複数のSVMを用いて多数決によって分類し、さらにRandomForestによる回帰を行った。結果として、機能ごとの点数が低いデータを正しく推定することができ、提案手法の有効性を示した。今後の課題として、個人差の影響が少ない説明変数の検討や男性や若年者のデータも含めた精度検証が挙げられる。

参考文献

[1] 樋山ら, 生体医工学, Vol.57, No.1, pp.27-34, 2019.  
 [2] Barry *et al.*, Gerontology, Vol.58, No. 5, pp.472-480, 2012.  
 [3] Franco *et al.*, J Rehabil Med, Vol.42, No.4, pp.323-331, 2010.  
 [4] 久保ら, 理学療法学, Vol.33, No.3, pp.112-117, 2006.