

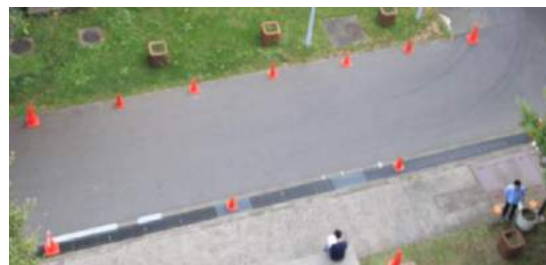
歩行者と自転車の混在を考慮したセグウェイ挙動の分析

日本大学 ○学生会員 伊藤 聡志
 日本大学 正会員 轟 朝幸
 日本大学 正会員 兵頭 知
 高知工科大学 正会員 西内 裕晶

1. はじめに

近年、交通社会における地球温暖化防止策の1つとして、低炭素型交通システムの開発がなされている。とりわけ、高齢者の多い地域では、電気を使用した近距離移動用の交通システムの導入が有用である。そこで、新たな移動手段として開発が進められたのが電動二輪車パーソナルモビリティである。その中でも、アメリカで2001年に発表された、電動立ち乗り二輪車のセグウェイがある。セグウェイは、直感的な操作が可能で安定性が高いモビリティであるものの、我が国においては、私有地において利用可能であり、公道空間への導入には至っていないのが現状である。その一因として、セグウェイを公道導入する際、セグウェイとその他の交通手段とのインタラクション、すなわち、自転車や歩行者などが混在する交通環境下における周囲との相互作用の関係が不明確であることが考えられる。

そこで本研究では、異なる混合交通流の条件下におけるセグウェイとその他の交通手段との相互関係を把握することを目的とする。



図－1 実験のために設けた空間

2. 実験手法

本研究では、異なる混合交通流におけるセグウェイ挙動の把握のために、セグウェイの走行実験を実施した。図－1に実験空間を示す。実験空間では、車道や歩道が分かれていない地区内道路を想定するため、区間距離を15m、車線幅を歩行者自転車道に準じた4mの走行空間を確保した。そこで、各時刻におけるセグウェイ、および歩行者や自転車の位置、移動先、位置関係等を把握するため、まず、上空からビデオカメラにて観測を行う。そして、得られた動画データから座標変換を行い、座標を0.5秒毎に時系列に取得した座標データを得る。

3. 離散選択型セグウェイ挙動モデルの構築

(1) セグウェイ挙動モデルの概要

本研究では、セグウェイ操縦者の意思決定を表現するため、離散選択型モデルを適用する。具体的には、Antonini *et al.*¹²⁾ のモデルを参考にして、被験者が進む進行方向と速度による加減速を時間的・空間的に離散化するのみならず、周囲の交通条件によって多様な変数を考慮することが可能な定式化を行う。構築した選択肢空間とモデル式を図－2と(1)式にそれぞれ示す。図－2に示すように、ある時点において、セグウェイが次にとる選択肢空間を、5つの方向と、3つの速度を組み合わせる15個の選択肢空間で表現している。また、



図－2 選択肢空間

モデル式に関しては、 V_i は、選択肢*i*の効用関数、 β_k は*k*番目の説明変数のパラメータを表す。第1項は、方向保持性に関する性質を示す。 I_L 、 I_R は、左旋回、右旋回に帰属する場合は1、そうでない場合は0となる。 θ_{dir} は、現在の進行方向と各選択肢空間の中心座標との偏角である。第2項は、目的地志向性に関する性質を示す。 θ_{des} は、目的地方向と各選択肢空間の中心方向の偏角である。第3項は、加減速に関する性質である。 V は現在の速度、 V_{max} は観測された速度の最高速度である。 I_a 、 I_d は加速及び減速に帰属する場合は1、そうでない場合は0である。第4

キーワード セグウェイ、離散選択モデル、挙動分析、画像解析

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 744 号室 TEL: 047-469-5219

項は、先行歩行者を追従する性質である。追従の場合、加速の選択肢1～5、等速の選択肢5～10に帰属する選択肢のみが作用すると考えるため、同選択肢を対象に加速ダミー、等速ダミー I_a 、 I_c を加え、定式化する。 D_{lp} 、 Δv_{lp} 、 $\Delta \theta_{lp}$ は方向選択肢集合内にいる進行方向が同一の歩行者(leader)の中で最近傍の歩行者の距離、相対速度、互いの進行方向の偏角をそれぞれ表す。第5項から第7項までは、対向歩行者、対向セグウェイ、そして対向自転車を回避する性質を示す。 D_c 、 Δv_c 、 $\Delta \theta_c$ は、方向選択肢集合外にいる対面する各モード(collider)の中で、最近傍の各モードの距離、相対速度、互いの進行方向の偏角をそれぞれ表す。

(2) パラメータ推定結果と再現性の検証

モデル式のパラメータ推定結果と再現性の検証結果を表1と図3に示す。パラメータ推定結果から、尤度比が0.341となり、モデルの適合度としては高い方といえる。また、パラメータに着目すると、対向歩行者を回避する性質に関して、パラメータの符号が正に作用した。この理由としては、対向の自転車との交錯やセグウェイ同士の交錯のシチュエーションが一番危険であると考えられ、被験者はあらかじめ対向の自転車やセグウェイの交錯が危険だと先読みし、注意して回避挙動を取っていると推察する。また、再現性の検証に関しては、等速から加速ネストまで推定時と実測の時の棒グラフがおおむね等しい結果になった。しかし、減速の選択肢空間11～15まで再現性が劣る結果になった。

4. 結論と今後の課題

今回、歩行者や自転車等が混在した状況下において離散選択型モデルを応用してセグウェイの挙動分析を行った。その結果、複数の交通モードが混在する中でのセグウェイの挙動を概ね再現できる比較的適合度の高いモデルになった。その中でも、セグウェイの被験者は、混合交通流下において、あらかじめ対向の自転車との交錯やセグウェイ同士の交錯が危険だと先読みしてから回避挙動を行う傾向にあることが分かった。今後は、モデルを再構築し、より多様な環境下におけるセグウェイ走行実験のパターンの考案が求められる。

参考文献

- Antonini, G., Bierlaire, M. and Weber, M.: Discrete choice models of pedestrian walking behavior, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 40, No. 8, pp. 667-687, 2006.
- Robin, T., Antonini, G., Bierlaire, M. and Cruz, J.: Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 43, No. 1, pp. 36-56, 2009.

$$\begin{aligned}
 V_i = & I_L \beta_{dir,L} \theta_{dir,L} + I_R \beta_{dir,R} \theta_{dir,R} \\
 & + I_L \beta_{des,l} \theta_{des,L} + I_N \beta_{des,n} \theta_{des,N} + I_R \beta_{des,R} \theta_{des,R} \\
 & + I_a \beta_{va} \left(\frac{V}{V_{max}} \right) + I_d \beta_{vd} \left(\frac{V}{V_{max}} \right) \\
 & + I_a \beta_{lp,a} D_{lp} \Delta v_{lp} \Delta \theta_{lp} + I_c \beta_{lp,c} D_{lp} \Delta v_{lp} \Delta \theta_{lp} \\
 & + I_a \beta_{cp,a} D_{cp} \Delta v_{cp} \Delta \theta_{cp} + I_c \beta_{cp,c} D_{cp} \Delta v_{cp} \Delta \theta_{cp} \\
 & + I_d \beta_{cp,d} D_{cp} \Delta v_{cp} \Delta \theta_{cp} \\
 & + I_a \beta_{cs,a} D_{cs} \Delta v_{cs} \Delta \theta_{cs} + I_c \beta_{cs,c} D_{cs} \Delta v_{cs} \Delta \theta_{cs} \\
 & + I_d \beta_{cs,d} D_{cs} \Delta v_{cs} \Delta \theta_{cs} \\
 & + I_a \beta_{cb,a} D_{cb} \Delta v_{cb} \Delta \theta_{cb} + I_c \beta_{cb,c} D_{cb} \Delta v_{cb} \Delta \theta_{cb} \\
 & + I_d \beta_{cb,d} D_{cb} \Delta v_{cb} \Delta \theta_{cb}
 \end{aligned} \quad (1)$$

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ推定結果		セグウェイ	
		推定値	t値
方向保持性	$\beta_{dir,L}$	-14.20	-11.72 *
	$\beta_{dir,R}$	-14.70	-11.55 *
目的地志向性	$\beta_{des,L}$	6.75	6.38 *
	$\beta_{des,N}$	3.55	3.29 *
加減速特性	$\beta_{des,R}$	6.92	6.32 *
	β_{va}	-1.11	-3.72 *
先行歩行者を追従する特性	β_{vd}	-3.18	-7.09 *
	$\beta_{lp,a}$	0.02	1.29
対向する歩行者を回避する特性	$\beta_{lp,c}$	0.03	2.03 **
	$\beta_{cp,a}$	0.13	2.67 **
対向セグウェイを回避する性質	$\beta_{cp,c}$	0.10	2.11 **
	$\beta_{cp,d}$	0.12	2.31 **
対向自転車を回避する性質	$\beta_{cs,a}$	-0.21	-4.02 *
	$\beta_{cs,c}$	-0.23	-4.38 *
	$\beta_{cs,d}$	-0.27	-4.39 *
	$\beta_{cb,a}$	-0.36	-5.48 *
	$\beta_{cb,c}$	-0.36	-5.52 *
	$\beta_{cb,d}$	-0.36	-5.59 *
	サンプル数	533	
	初期尤度比	-1443.391	
	最終尤度比	-951.686	
	尤度比	0.341	

*1%有意水準 **5%有意水準

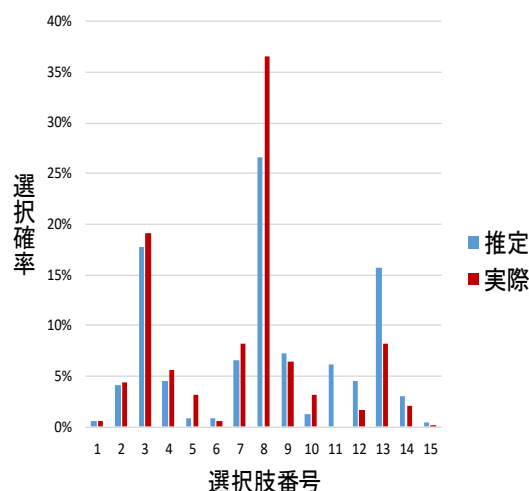


図-3 再現性の検証結果