

D-2

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

Analysis of Segway's Running Behavior Considering Mixed Traffic of Pedestrians and Bicycles

指導教授 轟 朝幸

4013 伊藤 聡志

1. はじめに

近年、低炭素社会の実現に向け、パーソナルモビリティのひとつであるセグウェイは、持続可能な交通手段として注目されている。わが国において、セグウェイの公道導入を考える場合、セグウェイとその他の交通手段、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いて、それらの相互の影響を理解することが求められている。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の影響を理解することを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本研究では、セグウェイの挙動特性の把握に当たり、セグウェイの不連続な挙動の再現性を述べるため、歩行者挙動モデルの1種である、離散選択型モデルを使用する。セグウェイにおける離散選択モデルに関しては、既に金田¹⁾によって構築され、歩行者のみを対象にした交錯に関して分析した。しかしながら、歩行者のみの相互影響を考慮したモデルに留まっており、自転車との交錯や、セグウェイ同士の交錯を考慮したモデルを構築するところまでは至っていない。

そこで本研究では、金田の離散選択モデルをベースとし、新たに自転車やセグウェイが混在する状況下における実験を行い、異なる混合交通流の条件下におけるセグウェイの走行挙動特性を理解することを目的とする。さらに、自転車の走行挙動モデルについても構築を行い、自転車の挙動との比較によってセグウェイの走行挙動特性をより詳細に理解する。

3. 実験手法

今回、挙動モデルのパラメータ推定に当たり、セグウェイの走行試験を行う。実験時の様子を図-1に示す。



図-1 実験空間と設置したビデオカメラの様子

同実験では、観測するセグウェイ、およびそれを自転車に置き換えた場合について、区間距離を15m、車線幅を4mの走行空間を確保した上で、金田の実験計画を基準にした計3パターンの実験をそれぞれに関して行う。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。まず、上空から撮影した実験時の様子を記録する動画データの取得を行う。続いて、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。最後に、得られた座標データにより、走行軌跡を再現し、同データから離散選択型挙動モデルの構築を行う。

4. 分析結果

4.1 モデル式概要

今回構築した選択肢空間とモデル式を以下の図-2と(1)式に示す。また、自転車に対しても同様のモデル式を構築する。同図に示すように、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つの速度の組み合わせから構成される15個の選択肢空間で表現している。



図-2 今回使用した選択肢空間

また、本研究で使用する離散選択挙動モデルの効用関数を以下のように定式化した。

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

$$+I_d\beta_{cb,d}D_{cb}\Delta v_{cb}\Delta\theta_{cb}$$

ここで、 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 項は、先行歩行者を追従する性質である。加速と等速ネスト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 項は、対向歩行者、対向セグウェイ、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。

4. 2 パラメータ推定結果

セグウェイ及び自転車の各々のパラメータ推定結果を表-1に示す。

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ比較		セグウェイ		自転車	
パラメータ		推定値	t値	推定値	t値
方向保持性	$\beta_{dir,L}$	-14.20	-11.72	-13.90	-12.51
	$\beta_{dir,R}$	-14.70	-11.55	-11.90	-11.16
目的地志向性	$\beta_{des,L}$	6.75	6.38	6.18	7.65
	$\beta_{des,N}$	3.55	3.29	1.76	2.01
	$\beta_{des,R}$	6.92	6.32	6.18	6.84
加減速特性	β_{va}	-1.11	-3.72	-1.68	-5.72
	β_{vd}	-3.18	-7.09	-3.44	-7.05
先行歩行者を追従する特性	$\beta_{lp,a}$	0.0178	1.29	0.0154	0.85
	$\beta_{lp,c}$	0.0270	2.03	0.0123	0.70
対向歩行者を回避する性質	$\beta_{cp,a}$	0.128	2.67	0.0367	0.72
	$\beta_{cp,c}$	0.103	2.11	0.0285	0.56
	$\beta_{cp,d}$	0.117	2.31	-0.155	-1.72
対向セグウェイを回避する性質	$\beta_{cs,a}$	-0.209	-4.02	-0.178	-3.82
	$\beta_{cs,c}$	-0.234	-4.38	-0.202	-4.29
	$\beta_{cs,d}$	-0.265	-4.39	-0.348	-3.78
対向自転車を回避する性質	β_{cba}	-0.356	-5.48	-0.105	-1.63
	$\beta_{cb,c}$	-0.359	-5.52	-0.111	-1.73
	$\beta_{cb,d}$	-0.363	-5.59	-0.0954	-1.46
サンプル数		533		473	
初期尤度比		-1443.391		-1280.908	
最終尤度比		-951.686		-833.809	
尤度比		0.341		0.349	

それぞれを比較すると、尤度比が共に 0.30 以上となり、モデルの適合度としては良好と言える。また、対向のセグウェイや自転車を避ける性質のパラメータの符号が負に作用するのは、あらかじめ被験者がこれらとの交錯が危険だと先読みし、間隔を空けて回避することに起因すると考えられる。

4. 3 再現性の検証

モデル式の再現性の検証結果を図-3に示す。

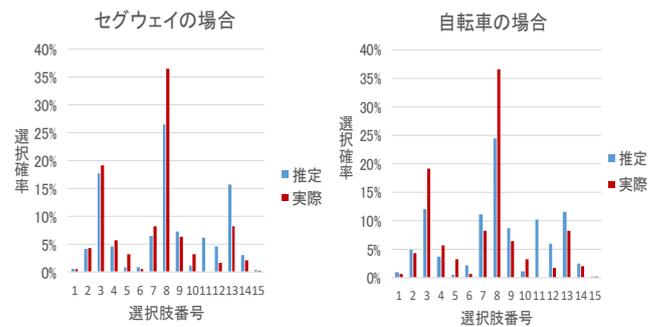


図-3 再現性の検証

選択結果を見ると、それぞれ直進を意識しながら、主に加速と等速を選択し、基本的には、 $\pm 20^\circ$ の範囲を中心に角度を変更していることが分かる。また、モデルによる選択結果では、減速して対象物を避けることが多い傾向にある。

5. おわりに

本研究では、歩行者や自転車等が混在した状況下における離散選択型モデルを構築してセグウェイの挙動分析を行い、自転車との比較も行った。その結果、セグウェイに関しては、複数のモードが混在する中での挙動を概ね再現できるモデルになったが、自転車に関しては追従、回避の性質の変数で精度が劣る部分があった。しかし、パラメータ値の結果や再現性の検証からそれぞれ比較すると、今回のような、比較的走行しやすい混合交通流下における互いの走行挙動特性に関しては類似性を持つと推察する。

今後の課題としては、モデルを再構築し、より多様な環境下における実験パターン の考案が求められる。

謝辞: 本研究を進めるに当たり、高知工科大学の西内裕晶講師には終始ご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 金田志優: 離散選択モデルを用いたセグウェイ挙動モデルの構築, 平成 27 年度日本大学理工学部社会交通工学科卒業論文概要集, pp.91-92, 2015.