

D-2

離散選択モデルを用いたセグウェイ挙動モデルの構築 Development of Segway Behavioral Model Using Discrete Choice Model

指導教授 轟 朝 幸 川 崎 智 也 2040 金 田 志 優

1. はじめに

近年、低炭素社会の実現に向け、低炭素型交通システムの開発が期待されている。そこで新たな移動手段として注目されているのが電動二輪車パーソナルモビリティである。その代表的な例としてアメリカで 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。

我が国では近年、自転車乗用中の高齢者事故が増加していることから高齢者の多い地域では自転車の代替としてセグウェイの利用が考えられている。しかし、我が国では私有地の利用は可能であるが、法制度上の関係から公共空間での利用ができない。

そのため、セグウェイを公道に導入する際には、セグウェイがどのような条件下で導入が可能なのか、また歩行者との安全性をどのように確保できるのかについて検討する必要がある。

西内ら¹⁾の研究では公道での走行を想定したセグウェイの挙動特性の把握整理することを行った。しかし、セグウェイが影響される要因についてはわかっていない。加藤²⁾の研究では Social Force モデルを基にしたセグウェイの挙動を再現したモデルの開発を行った。しかし、この研究では歩行者に常に影響されてしまうという物理的なモデルとなっており、乗車した人の意思を考慮したモデルとはなっていない。

そこで本研究では公道導入を想定したセグウェイ挙動実験を行い、安全性・円滑性評価に資する公道走行シミュレーションの前段としての行動意思を扱うことができるセグウェイ挙動モデルを構築することを目的とする。

2. 研究方法

日本大学理工学部船橋キャンパス内で行ったセグウェイの走行実験で得たデータと加藤らの研究で得たセグウェイ走行実験でのデータを元に考察を行う。その考察を基に離散選択挙動モデルを構築し、パラメータ推定を行う。その後モデルの再現性を検証し実際の結果と比較し、モデルの評価を行う。モデルは花守ら³⁾のモデルを参考にセグウェイを操縦する人の意思決定を考慮した離散選択セグウェイ挙動モデルの構築を行っ

ていく。

3. 実験方法

実験で取得するデータは 2 種類とする。1 つはモデル構築に使用するデータで、歩行者を配置し、仮想の公道状態を作ってセグウェイの走行を行う。歩行者密度、進行方向別に 3 パターンのデータを取得する。もう 1 つはモデル構築後の再現性の検討に使用するデータで、日本大学船橋キャンパス内を歩行している学生を対象に、通常歩行している自然な状態のなかでセグウェイを走行させる。

区間距離は 15m、車線幅は 4m の道路を対象とした。上空から動画を撮影し、得られた動画からセグウェイと歩行者の位置を座標データに変換を行った。

4. セグウェイ挙動モデルの定式化

ある時点においてセグウェイが次にとる行動を、5 つの方向と 3 つの速度を組み合わせ、15 個の選択肢で表している (図-1)。速度は、加速、現在の速度を維持、減速の 3 つとした。方向は、8° 未満の旋回を直進、左右それぞれ 8° から 20° の旋回、20° から 40° の旋回の 5 つである。

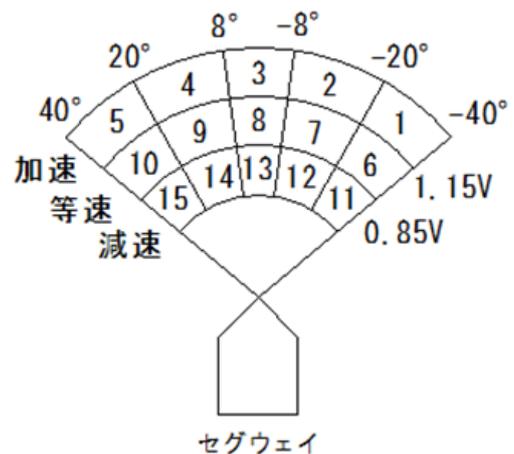


図-1 選択肢空間

本研究で使用するセグウェイ挙動モデルの効用関数を以下のように設定した。

$$V_i = I_L \beta_{dir,L} \theta_{dir,L} + I_R \beta_{dir,R} \theta_{dir,R} \quad (1)$$

$$+ I_L \beta_{des,L} \theta_{des,L} + I_N \beta_{des,N} \theta_{des,N} + I_R \beta_{des,R} \theta_{des,R} \quad (2)$$

$$+ I_a \beta_{va} \left(\frac{v}{v_{max}} \right) + I_d \beta_{vd} \left(\frac{v}{v_{max}} \right) \quad (3)$$

$$+ \beta_{col} col + \beta_{lea} lea \quad (4)$$

項(1)は現在の進行方向を維持する性質である。 I_L , I_R は左旋回及び右旋回に帰属する場合1, 違う場合0となる。変数 θ_{dir} は現在の進行方向と各選択空間の中心座標との偏角である。大きな方向転換を避けるため $\beta_{dir,L}$, $\beta_{dir,R}$ のパラメータは負であると予想される。

項(2)は目的地を目指して進行する性質である。 I_N は直進に帰属する場合1, そうでない場合0となる。変数 θ_{des} は目的地方向と各選択肢空間の中心座標との偏角である。 θ_{des} が大きくなるほど目的地との乖離が大きくなることから $\beta_{des,L}$, $\beta_{des,N}$, $\beta_{des,R}$ のパラメータは負と予想される。

項(3)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1, そうでない場合0である。 V が大きくなるほど減速し, 小さくなるほど加速を選択するため, β_{va} のパラメータは負, β_{vd} のパラメータは正と予想される。

項(4)は歩行者を避ける性質である。 col , lea は方向選択肢集合内に存在する歩行者との距離である。複数いる場合は距離の合計を求める。 col が歩行者と対面している場合, lea は進行方向が同じ歩行者の場合である。 col , lea が大きくなるほど正の効用が大きくなるため, β_{col} , β_{lea} のパラメータは正と予想される。

5. 分析結果

表-1より, 自由度調整済み尤度比が0.293と0.2から0.4の間に収まっているので, モデルの適合度として良好であるといえる。推定されたパラメータは全てにおいて有意となり, β_{vd} を除きすべてのパラメータで期待通りの符号を得る結果となった。 β_{va} が負の符号になったかことから, 速度が上昇すると等速の選択確立が高くなり, 加減速する選択確立が減少する結果となる。特に速度の選択肢を表す β_{va} , β_{vd} のt値が高いことからセグウェイは速度を意識して走行する傾向がみられる。

また別データとして実験で取得した別データを用いて再現性の検証を行った。結果を図-2に示す。実際の結果と, 推定の結果を比べると推定の選択確率では減速の値が実際の選択確立よりも多くなっているが, ほぼ同様の頻度分布になっているのがわかる。選択では直進が多く選択される。すなわち本モデルにより今回観測されたセグウェイ挙動は的確に再現されていることが確認された。

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t値
$\beta_{dir,L}$	-3.01	-6.57
$\beta_{dir,r}$	-3.84	-8.59
$\beta_{des,L}$	-4.05	-9.16
$\beta_{des,N}$	-2.42	-7.91
$\beta_{des,R}$	-3.03	-7.62
β_{va}	-1.23	-9.73
β_{vd}	-2.41	-13.4
β_{col}	0.00526	5.04
β_{lea}	0.0133	3.05
サンプル数	841	
初期尤度比	-22277.47	
最終尤度比	1351.387	
尤度比	0.293	

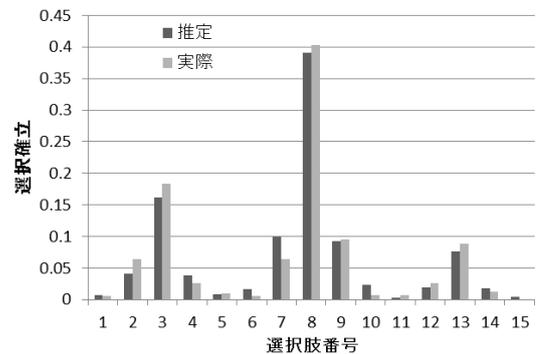


図-2 再現性の検証

6. おわりに

本研究では, セグウェイの特徴を考慮した離散選択型モデル構築をした。モデルの推定結果, 適合度は高く, セグウェイの行動を評価できる有意なモデルとなった。しかし, 実験の条件上, 交通ルールを考慮した変数が取り入れられなかった。

今後, シミュレーションの検討をし, 構築したモデルを用いて公道導入されたことを想定した場合の挙動をより詳細に調べる必要が望まれる。

参考文献

- 1) 西内裕晶・塩見康博: 乗車経験に着目したセグウェイの走行挙動特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp.917-927,2012.
- 2) 加藤凜: social force model を用いたセグウェイ挙動の再現に関する研究, 長岡技術科学大学院工学研究科平成 26 年度修士論文, 2014.
- 3) 花守輝明, 塩見康博, 島本寛, 宇野伸宏: 混合交通流における離散選択型二輪車挙動モデルの構築, 第 32 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.65-72, 2012.