

災害時における個人間の異質性を考慮した 二次元車両挙動モデルの構築

古賀 亮太郎¹・柳沼 秀樹²・寺部 慎太郎³・康 楠⁴・田中 皓介⁵

¹学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:7618514@ed.tus.ac.jp

²正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:yaginuma@rs.tus.ac.jp

³正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

⁴正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail:kangnan@rs.tus.ac.jp

⁵正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
E-mail:tanaka.k@rs.tus.ac.jp

災害時におけるドライバーの挙動の変化を交通シミュレーションで表現することは、被害想定や対策案を検討する上で重要となる。しかしながら、分析に耐えうるミクロな車両挙動の開発は未だに不十分であり、より一層の改善が求められる。本研究では従来モデルの課題として、空間分解能の向上、個人間の異質性の考慮、災害時などの突発時における車両挙動の再現の3つに着目した車両挙動モデルの構築を行った。災害時の車両挙動データはDSを用いた室内実験により再現を行った。その結果、通常時と災害時ではモデルのパラメータ値が大きく異なること、通常時と比較すると災害時においては個人の異質性が顕著である等の知見が得られた。

Key Words: driving behavior model, spatial resolution, individuals heterogeneity, disaster

1. はじめに

東日本大震災が起きた平成23年3月11日、首都圏の交通網が完全に麻痺し、道路における大規模な渋滞現象が同時多発的に発生した。今後発生が想定される首都直下型地震や南海トラフ巨大地震などの大規模な地震ではより深刻な交通混乱が発生すると予想されており、避難行動や緊急車両による救急対応の遅れが懸念される。

このような状況下を想定すると、交通マイクロシミュレーションを用いた震災時の被害想定や対策案の検討が必要である。しかし、現状では、震災時の揺れによるハンドル操作ミスや緊急地震速報による急ブレーキなどの震災時に想定される特異な車両挙動を表現できていない。再現性の高いシミュレーション結果を得るためには、上記のようなミクロな車両挙動をシミュレーション上で表現する必要がある。そこで、本研究では、交通マイクロシミュレーションの根幹をなす1台ごとの車両挙

動モデルに着目し、災害時の特異な車両挙動を表現可能な新たなモデリングを試みる。

従来のモデルの課題として、「空間分解能の向上」、「個人の異質性の考慮」、「災害時などの突発時における車両挙動の再現」の3つが考えられる。本研究では、これらに着目した車両挙動モデルを構築した。具体的には、空間分解能の問題に対しては、伊藤ら¹⁾と庄司・柳沼²⁾が示している速度と角度による離散的な空間選択肢を用いた二次元車両挙動モデルを援用した。また、個人間の異質性についてはMixed Logit Model(以下MXL)を用いてパラメータを確率分布化させることによって表現した。さらに、災害時の車両挙動データは実車両挙動データが十分でないことから、ドライビングシミュレータ(以下DS)を用いた室内実験により再現を行った。これにより、これまで困難であった災害時における精緻な車両挙動の解析が可能となり、多様な政策評価に資することが期待される。

2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

大口³⁾は、最も重要な車両挙動特性を「単独走行」と前方車両との車間距離や相対速度などを調整する「追従挙動」として、今後の実用的な運転挙動モデルの開発が必要との観点から、特に追従挙動モデルに的を絞って既存モデルの整理を行っている。岩崎ら⁴⁾は、車線変更挙動モデルは追従挙動モデルに比べて開発が遅れているとし、これからのモデル開発に向けて既往の車線変更挙動モデルの整理を行っている。本論では大口³⁾と岩崎ら⁴⁾を参考に追従挙動モデル、車線変更モデルについて整理を行う。また、本研究で適用する二次元車両挙動モデルについてレビューを行う。加えて、DSを用いた室内走行実験を中心に地震時の車両挙動に関する研究を取り上げる。最後に既往研究の整理を踏まえて、本研究の位置付けを示す。

(1) 追従挙動モデル

追従挙動モデルとは、以下に示すように、追従車両が前方車両との車間距離や相対速度などの変化を刺激(入力)として反応(加速度)を出力するものである。

$$\text{反応(出力)} = \text{反応強度(感度)} \times \text{刺激(入力)} \quad (1)$$

式(1)のモデル構造は Pipes⁵⁾の追従挙動モデルに端を発する。Pipes⁵⁾は前方車両との相対速度を刺激(入力)とし、反応強度 α を介して出力加速度が決定する追従モデルを提案している。

$$\ddot{x}(t) = \alpha(x_0(t) - x_1(t)) \quad (2)$$

ここで、 $x_0(t)$ は先頭車速度、 $x_1(t)$ は1台目追従車速度、 α は定数である。Gazisら⁶⁾は反応強度に車間距離と速度の影響を加え、車間距離の逆数と速度に整数のべき乗を考慮したモデル式(3)を提案している。

$$\ddot{x}(t + T) = \alpha \frac{\{x_1(t)\}^m}{\{x_0(t) - x_1(t)\}^l} (x_0(t) - x_1(t)) \quad (3)$$

式(3)は「GMモデル」と呼ばれ、最も良く知られ幅広く利用されている追従挙動モデルである。

(2) 車線変更モデル

車線変更モデルに関する研究は Gipps⁷⁾に端を発する。Gipps⁷⁾は、ドライバーは障害物や大型車両の存在、車線変更先の車両との Gap などの周辺状況を考慮した上で、車線変更の可能性、必要性、望ましさを判断し、その上で車線変更を行うという Gap Acceptance Model(Gippsモデル)の概念を構築している。Gippsモデルの登場以降、車線変更を Gap の選択問題とした車線変更モデルが高速道路の道路構造ごとに数多く提案されている。その1つとして効用最大化理論に基づく車線変更挙動モデルがあ

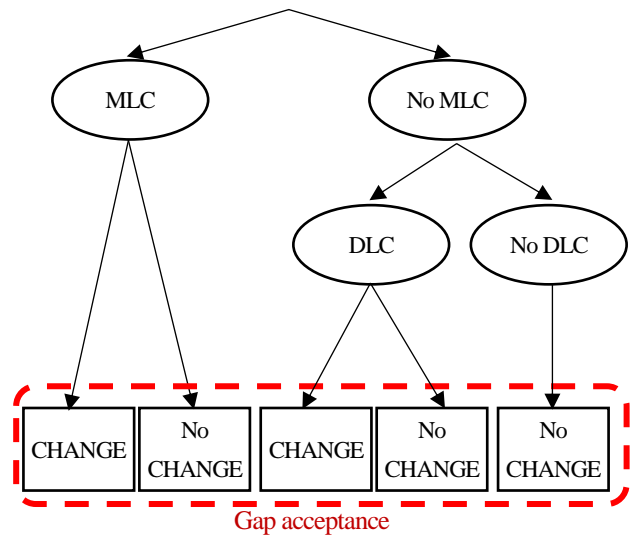


図-1 MLC と DLC

る。喜多ら⁸⁾は、高速道路流入部における車線変更モデルを提案している。流入部においてドライバーのギャップアクセプタンス挙動を「流入する」、「見送る」という二項選択とし、Gapなどを効用関数の変数とする binary logit モデルを用いて、流入部における車線変更モデルを提案している。柳原ら⁹⁾は、都市高速道路の合流部において、合流車両は前方、直近、後方 Gap の3項の選択を逐次的に行っていると仮定し、多項ロジットモデルを用いた合流部における Gap 選択モデルを提案している。それまで分析が困難であった高速道路本線合流部において適合度の高いモデルを構築している。車線変更挙動は道路構造によって異なる一方で、車線変更挙動の性質上の違いによる分類に関する指摘もある。Ahmed¹⁰⁾、Toledo¹¹⁾、Ben-Akiva¹²⁾らは、車線変更挙動を強制的な車線変更挙動である MLC(Mandatory Lane Changing)と任意的な車線変更挙動である DLC(Discretionary Lane Changing)で構成されているとし、図-1に示すような車線変更行動の意志決定の過程の基でモデルの構築を行っている。

(3) 二次元車両挙動モデル

道路を二次元空間として捉え、車両がその二次元空間を進んでいくとする車両挙動モデルがいくつか提案されている。玉城ら¹³⁾は、マイクロモデルの1つであるセル・オートマトン法を用いた車両挙動モデルを提案している。セル・オートマトン法とは道路上をセルと呼ばれる多数の区分領域に分割し、微小タイムステップ毎に車両間の関係式から得られるローカル・ルールと呼ばれる車両の移動法則に従い、車両を移動させるという方法である。セル・オートマトン法は複数の交通シミュレーションで利用されている。しかし、ローカル・ルールはドライバーの意志決定構造を表現できていないとは言えず、

特に車線変更に関するルールは再現性が低いと考えられる。これとは対極的に、交差点における車線に拘束されない二次元的挙動を再現するために、車両の動きを、ハンドル角と加速度から説明する 2D ナノシミュレーションモデルが鈴木ら¹⁴⁾によって提案されている。しかし、基本的にドライバーは車線の中心を維持して走行していると、車線に拘束されていないとは言えないモデル構造となっていると考えられる。以上のモデルは非常にシステマティックであり、ドライバーの意思決定を考慮するには向かないと考えられる。

近年、Antonini¹⁵⁾, Robin¹⁶⁾, 柳沼ら¹⁷⁾が提案する離散選択型の歩行者挙動モデルの枠組みを援用し、車両前方を細かい扇形の二次元メッシュに分ける二次元車両挙動モデルが伊藤ら¹⁾と庄司・柳沼²⁾によって提案されている。それぞれのメッシュを選択肢とし、離散選択モデルまたは、離散連続モデルを用いて次期の移動メッシュを推定する車両挙動モデルである。この選択肢構造を用いることによって、空間分解能の高いモデルが構築可能である。伊藤ら¹⁾は、車両前方を図-2 のように角度と加速度に関する 9 つのメッシュに分割している。ここで、9 つの選択肢は左、直進、右、加速、定速、減速の組み合わせによって定義される。伊藤・羽藤¹⁾はモデルのさらなる精緻化が課題とし、曲率をもった道路線形に対する角度選択や車線の中央を走行するといった説明変数を加味することが必要であるとしている。庄司・柳沼²⁾は 9 つの選択肢では空間分解能が低く、ミクロな現象の再現性に限界があるとしている。一方で選択肢数を増やすことは理論上十分可能であるが、そこまで細かい選択肢の中からドライバーが次期の移動先を決めているというのは現実的でないとし、この問題に対するアプローチとして離散連続モデルを提案している。

(4) 地震時の車両挙動に関する研究

地引ら¹⁸⁾は、東日本大震災における運転者の行動調査から、震災時の特異な車両挙動として、揺れによるハンドル操作の問題や緊急地震速報の運転への影響などを指摘している。Maruyama ら¹⁹⁾は、地震時における車両挙

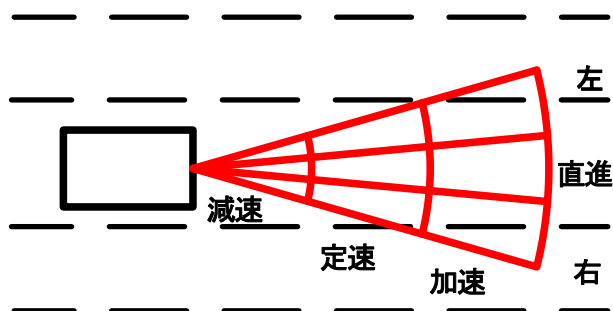


図-2 伊藤・羽藤¹⁾の選択肢構造

動データを DS を用いた室内実験から取得し、緊急地震速報が運転行動に及ぼす影響を検証している。その結果、緊急地震速報の有無で運転の挙動が異なることを示している。また、Maruyama ら²⁰⁾は、地震の揺れによるハンドル操作の問題を指摘し、震度 6.0 程度以上の大地震では車両挙動が不安定になることを示唆している。伊藤ら¹⁾は、DS を用いた室内実験データから突発時の車両挙動モデルを提案している。実車両挙動データと DS 実験データの 2 つを同時に推定する融合推定的手法を用いることで現実には取得が困難な突発時の運転挙動パラメータに関して、精度の高い値を取得している。

(5) 本研究の位置付け

本研究では、従来の直進と車線変更の意志決定の記述に重点を置いたモデルでは、震災時の突発的なハンドル操作を表現することはできないと考え、離散選択型の二次元車両挙動モデルの枠組みを援用する。庄司・柳沼²⁾は二次元メッシュの選択肢数を増やすことは現実的でないとし、離散連続モデルに拡張することを提案している。しかし、離散連続モデルによって空間分解能を向上させることは、モデルを複雑化させると考えられる。モデル化の容易さと再現性のバランスを考慮すると、柳沼ら¹⁷⁾のような選択肢数の多い選択肢構造を車両挙動モデルに適用することは、空間分解能の向上に対して有効性があると考えられる。そこで、本研究では柳沼ら¹⁸⁾を参考に車両前方を 21 個の二次元メッシュに分割した二次元車両挙動モデルの構築を行う(図-3)。また、伊藤ら¹⁾より、カーブの角度選択について考察し、道路構造の違いにかかわらず同一の選択肢構造を適用する。

地引ら¹⁸⁾は、アンケート調査から、震災に対するドライバー挙動が個人間で異なることを示している。本研究では、このような個人間の異質性を、MXL を用いたパラメータの確率分布化によって表現する。またその枠組みを、通常時と災害時の車両挙動データに対して適用することによって、個人毎の車両挙動のばらつきについて両者の差異を考察する。

本研究では、DS を用いた室内実験により、地震時の

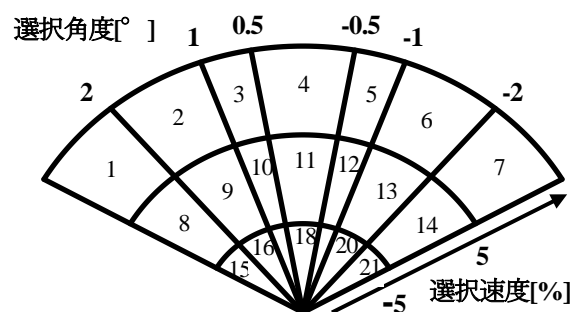


図-3 二次元車両挙動モデルの選択肢構造

車両挙動データを取得するが、実際の地震動を再現することは、本研究の DS では困難である。そこで、緊急地震速報の車両挙動への影響に着目することとする。

3. 実験概要と基礎集計結果

本研究が所有する DS (Honda 製) に、首都高速道路千代田トンネル区間を再現した仮想空間を投影し、学生 15 名を対象とした室内実験を行った。本実験は、平常時と災害時の走行シナリオで構成されており、災害時は緊急地震速報と警報が流れた後に複数の事故車と遭遇するシナリオで表現した。図-4 と図-5 にそれぞれ平常時と災害時の緊急地震速報が流れる区間(Y座標 ≥ 9429)における加速度変化を示す。災害時は、平常時と比較して個人間で運転挙動にばらつきが生じていることが確認できる。また、ビデオ映像から図-4 と図-5 の区間において、平常時は先行車両に接近すると車線変更を行う傾向が見られたが、災害時には車線変更を行わずに先行車両に追従する傾向が確認された。以上より、災害時には先行車両に対する感度にばらつきが大きく、異質性の存在が示唆された。

直線道路とカーブの角度選択について考察する。図-6 に直進と車線変更の選択角度の違いを示す。これより、車線変更時の方が大きな角度変化を選択している傾向があるといえる。しかし、道路区間毎に選択角度帯が異なり全ての走行区間において同一の選択角度の閾値を設定することは困難であると考えられる。図-7 に、車線変更

中の車両挙動データを除いた直線道路とカーブの選択角度の違いを示す。直線道路での選択角度は基本的には $-1 < \theta < 1$ を満たしているが、カーブにおいては 1 以上の選択角度を示しているデータが多いことが分かる。図-6 と見比べると直進道路における車線変更よりも、カーブにおける直進の方が、大きな選択角度を示しているデータがあることが見て取れる。また、図-8 より道路の曲率が大きいほど選択角度が大きくなる傾向があるといえる。この問題に対して、道路の曲率を用いて選択角度を修正することで、選択角度の閾値を直線道路とカーブで同一にすることを図る。本研究では式(6)を用いて選択角度の修正を行う。図-9 に修正後の直線道路とカーブにおける直進データの選択角度を示す。これより、カーブにおける選択角度が修正され、直線道路とカーブにおける直進の挙動が概ね同一の選択角度帯で表すことが可能である。

$$\theta_{new} = \theta / 13.73 r \times 10^2 \quad (6)$$

ここで、 θ は選択角度、 r は道路曲率、 θ_{new} は修正後の選択角度を表す。

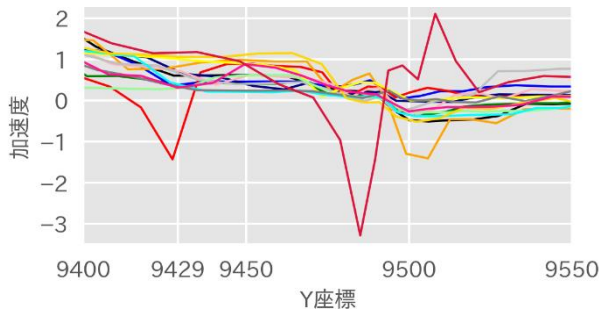


図-4 通常時の加速度変化

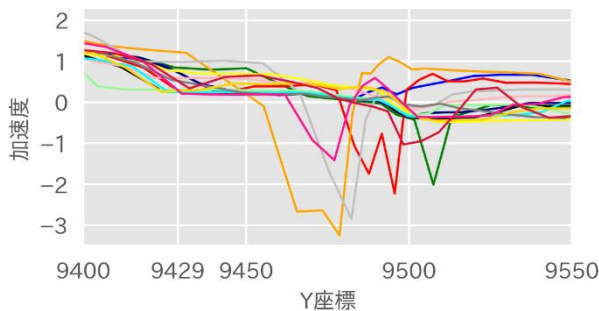


図-5 災害時の加速度変化

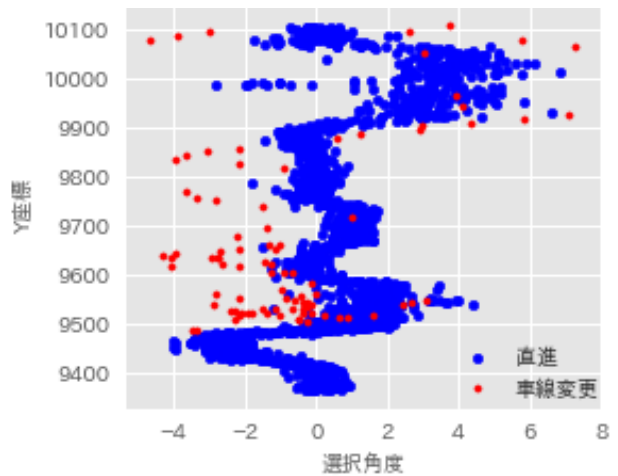


図-6 車両挙動による選択角度の違い

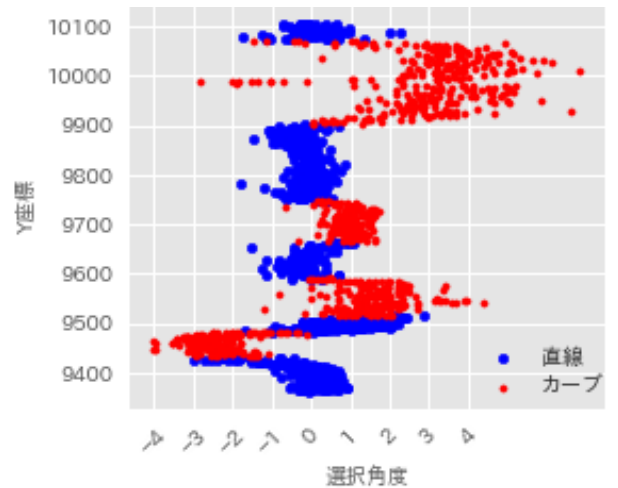


図-7 道路線形による選択角度の違い

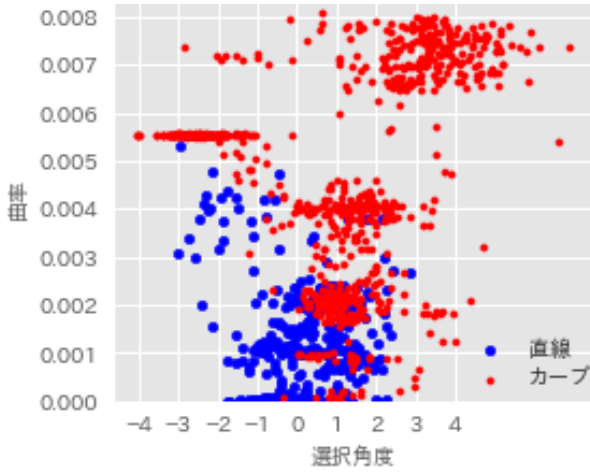


図-8 道路の曲率と選択角度の関係

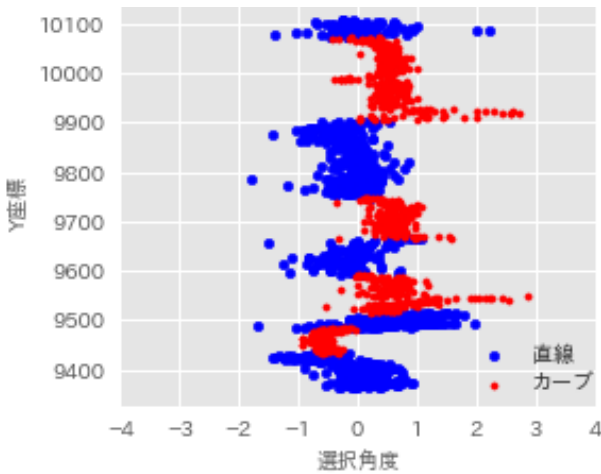


図-9 修正後の道路線形による選択角度の違い

4. Mixed Logit Model

本章では, Train²¹⁾に従い MXL について記述する. MXL は様々な GEV モデルに近似することのできる柔軟性のある一般化モデルである. MNL では表現できない個人異質性, 柔軟な代替性パターン, 非観測な要因の系列相関を表現することができる. プロビットモデルのように, 選択確率が積分の形を持つオープンフォームであるので, パラメータ推定には数値計算が必要であり, 計算コストは高い. 数値計算にはシミュレーションによるアプローチが必要である. 選択確率は式(7)で表される.

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta) f(\beta|\theta) d\beta, L_{ni}(\beta) = \frac{e^{V_{ni}(\beta)}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{nj}(\beta)}} \quad (7)$$

MXL では用法により, 異なる解釈を得ることが可能であるが, 本論文では, 適用する Random Coefficient について記述する. これは通常一意であるパラメータを, 平均と分散の項に分けるランダム係数にすることによって個人毎の感度の違いを表現する手法である. 行動の意思決定者が, J 個の選択肢に直面した際の個人 n のそれぞ

れの選択肢に対する効用は式(8)で表される.

$$U_{nj} = \beta'_n x_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (8)$$

x_{nj} は観測関数, β'_n はランダム係数ベクトル, ε_{nj} は iid ガンベル分布に従うランダム項である. 係数ベクトル β'_n は確率密度関数 $f(\beta|\theta)$ に従い, 意思決定者によって異なる. $f(\beta|\theta)$ はパラメータ θ の関数であり, θ は β'_n の平均や分散を表す.

シミュレーション法の手順を以下に記述する.

- (1) $f(\beta|\theta)$ からランダムに β を R 回抽出する.
- (2) $\beta^r (r = 1 \dots R)$ 毎に $L_{ni}(\beta^r)$ を計算する.
- (3) $L_{ni}(\beta^r)$ の平均値(式(9))を求める.

$$\widehat{P}_{ni} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{ni}(\beta^r) \quad (9)$$

- (4) シミュレーション対数尤度関数式(10)を求め, SLL を最大化するような θ を求める.

$$SLL = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J d_{nj} \ln \widehat{P}_{nj} \quad (10)$$

シミュレーション選択確率 \widehat{P}_{ni} は, MNL の選択確率の不偏推定量であり, 抽出回数 R が増えるほど, 分散が減少する. SLL の d_{nj} は, 選択者 n が選択肢 j を選ぶ時 $d_{nj}=1$, それ以外の時に 0 となるダミー変数である. β の抽出方法としては, ランダムドロー法とハルトン数列法が代表的である. ハルトン数列法は乱数の発生範囲が領域全体となり, 一連の乱数が負の相関を持つ乱数を発生させる方法である. ランダムドロー法の欠点を補う乱数を発生させることが可能である. 素数 k を用いて式(11)で反復的にハルトン数列を発生させる.

$$S_{t+1} = \left\{ S_t, S_t + 1/k_t, S_t + 2/k_t, \dots, S_t + (k-1)/k_t \right\} \quad (11)$$

式(11)は一様分布に従う乱数であるので, 任意の確率密度関数に従う乱数は累積分布関数 $\varphi(p)$ の逆関数にハルトン数列の各要素を代入することによって得る. しかし, ハルトン数列はシステムティックな数列であるため厳密には乱数ではなく, ランダム性を確保することができない. それを補う方法として Randomized Halton Draws という手法があり, ハルトン数列を, 式(12)を用いてランダム性のある乱数に変換する.

$$S_n = \text{mod}(S_0 + \mu) \quad (12)$$

S_0 はハルトン数列の各要素であり, μ は標準一様分布に従う乱数である. 本研究では Randomized Halton Draws を用いる.

5. パラメータ推定

(1) 利用データ

3.で分析した DS を用いた仮想空間における車両挙動

データを用いる。このデータは VR ソフト UC-win/road からログ出力されるテキストファイルである。本実験では、DS による運転ではドライバーの意志決定頻度は実際の運転よりも低いと考え、1.0 秒間隔でデータを出力した。利用データは時刻、二次元座標、車両速度、車両が向いている方向のベクトル(以下、車両方向ベクトル)、車線の方向ベクトル、走行道路、走行車線からなる。平常時のデータ数が 1781 個、災害時のデータ数が 1102 個の合計 2883 個の時系列データである。

(2) 被説明変数と説明変数の定義

選択量(被説明変数)について以下で説明を行う。

選択角度 θ

車線の方向ベクトルと現在の座標点 t を始点、次期の座標点 $t + 1$ を終点とするベクトルがなす角(図-10)を式(6)で修正した値であり、半時計回りを正とする。

選択速度 v

庄司・柳沼²⁾に習い、選択速度は現在の速度からの変化の割合(%)で定義する(式(13))。

$$v = \frac{v_{t+1} - v_t}{v_t} \times 100 \quad (13)$$

続いて、説明変数として用いた各量に関して説明を行う。

相対速度 v_r

自車両は追従時では先行車両、車線変更時においては車線変更先の後方車両との相対速度に影響されると考えられる。

車間距離 d (図-11)

自車両は追従時では先行車両、車線変更時においては車線変更先の前方車両と後方車両との車間距離に影響されると考える。

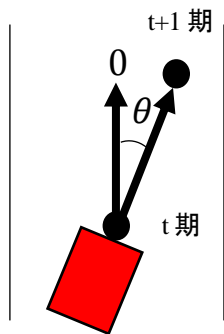


図-10 選択角度の定義

回転角 δ_i (図-12)

車両方向ベクトルと、現在の座標と各選択肢メッシュの中心座標を通るベクトル(点線)がなす角とする。ドライバーは回転角が大きくなる運転はしない傾向にあると考えられる。しかし、ドライバーは車線方向に常に進むようとするため、直進帯のメッシュは回転角が大きくても選ばれる傾向にあると考えられる。

希望車線ダミー I_{HL}

目的車線と現在車線が一致しているなら 1, そうでなければ 0 のダミー変数であり、一致しているなら車線変更はしないので、大きな角度変化は起きにくいと考える。

車線変更ダミー I_{LC}

車線変更中を 1, そうでなければ 0 のダミー変数である。車線変更中の選択角度は大きくなる傾向にあるため車線変更の角度帯における効用関数の説明変数とする。

カーブダミー $I_{l-curve}, I_{r-curve}$

基礎集計結果より左カーブなら選択角度が正、右カーブなら選択角度が負である傾向があるため、カーブの左右が角度の選択に大きく影響していると考えられる。

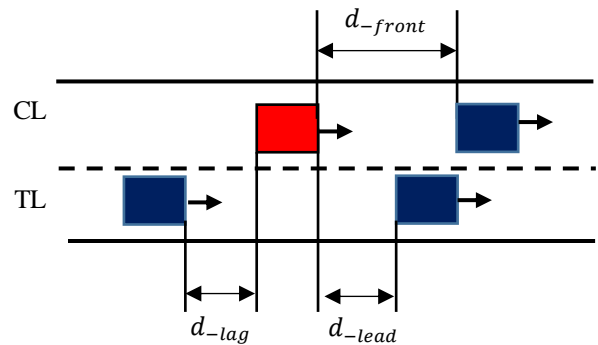


図-11 車間距離の名称

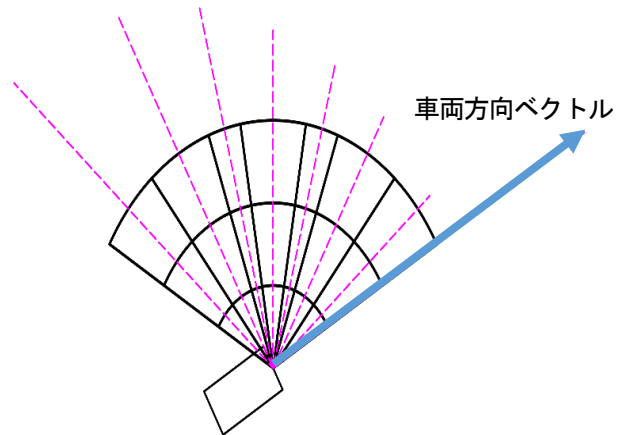


図-12 回転角の定義

(3) 効用関数の定義

効用関数を、式(14)のように平常時と災害時の項に分けて特定化することで、両状態で異なるパラメータを用いることが可能となる。本論文では基礎集計での知見を踏まえて、先行車両との車間距離のパラメータを MXL を用いて確率分布化させる。

$$V_{ni} = (\beta_n + I_{disas}\beta_n^{disas})x_{ni} + I_{d-front}(\sigma_n\eta_1 + I_{disas}\sigma_n^{disas}\eta_2)x_{ni} \tag{14}$$

ここで、 x_{ni} が説明変数、 β がパラメータ、 σ_n が分散項、 η が乱数を表し、 I が1または0の値をとる指示関数である。また、添字 $disas$ は災害時を、 $d-front$ は先行車両との車間距離を示す。

表-1 にシミュレーション時の乱数発生回数が 100 の時の推定結果、図-13 にモデルの現況再現性を示す。推定結果より、尤度比が 0.311 であり、t 値も概ね良好な値を示していることからモデルは十分な適合度を有している。平常時と災害時のパラメータ値が異なるため、両者の車両挙動特性には差異があると考えられる。平常時では、先行車両のパラメータがモデルに強く影響しているが、災害時には、先行車両の影響が弱まり、隣接車線

表-1 二次元車両挙動モデル推定結果

		MXL(Random Coefficient)	
説明変数		推定値	t 値
通常時	角度選択		
	回転角 δ_i (直進帯)	-0.610	-16.3 **
	回転角 δ_i (過度な角度帯)	-13.6	-32.6 **
	front-G	-0.148	-7.08 **
	lag-G	0.0963	4.61 **
	lead-G	0.0863	3.50 **
	車線変更中	2.45	11.4 **
	左カーブ	2.12	24.4 **
	右カーブ	3.09	20.3 **
	希望車線	1.65	7.66 **
速度選択	front-G(加減速帯)	0.0717	8.47 **
	lag-G	0.00452	0.206
	lead-G	0.00318	0.139
	front-v(加減速帯)	0.179	13.4 **
	lag-v	0.0186	0.634
	front-G(定速帯)	0.149	12.5 **
	front-v(定速帯)	-0.173	-8.40 **
	災害時		
角度選択			
front-G	0.107	3.48 **	
lag-G	0.0194	0.631	
lead-G	-0.0146	-0.414	
速度選択	front-G(加減速帯)	0.0558	3.46 **
	lag-G	0.0538	1.73
	lead-G	0.0269	0.864
	front-v(加減速帯)	-0.0469	-2.52 *
	lag-v	-0.0363	-1.16
	front-G(定速帯)	0.0545	2.56 *
	front-v(定速帯)	0.167	6.19 **
	分散項	通常時	
front-G		-0.000416	-0.0308
災害時			
front-G		0.0141	0.730
サンプル数		2883	
初期尤度		-7940.10	
最終尤度		-5445.44	
尤度比	0.314		
自由度調整済み尤度比	0.311		

*5%有意, **1%有意

の前方車両と後方車両の影響が大きくなっている。このことから、災害時にはドライバーの注意が分散し、先行車両に追突する可能性が示唆される。また、災害時には分散が大きいという結果が得られており、基礎集計結果と整合する結果が得られた。以上の結果から、提案したモデルの妥当性が確認された。

6. おわりに

本研究では、近年の歩行者挙動と二次元車両挙動モデルの研究を参考に、車両の前方を 21 個のメッシュに分けた二次元車両挙動モデルの構築を行った。空間分解能が高く、尚且つ説明力の高いモデルを構築することができたと考える。推定結果より、通常時の車両挙動モデルで災害時の車両挙動を再現することは困難であると考えられる。そのため、災害時におけるドライバーの挙動の変化を交通シミュレーションで表現するには、さらなる災害時における車両挙動モデルの開発が必要であると筆者は考える。また、MXL における分散項のパラメータを通常時と災害時で分けることによって、それぞれの個人間の異質性を考慮したモデルを構築した。これより、災害時における車両挙動のばらつきが、通常時と比べて大きくなるという知見が得られた。しかし、被験者やシミュレーションパターンが少ないこと、地震の揺れを再現することができなかったことが課題に残り、それらを改善したさらなる実験が必要であろう。カーブにおける選択角度の修正も根拠に欠けるところがあるため、より一層の分析が必要である。また、仮想空間実験では、観測される選択結果に対する信頼性の低さが問題となる。今後は、実車両と DS 車両の挙動の違いを考慮して、両者の観測データを統合した車両挙動モデルの融合推定を検討したい。

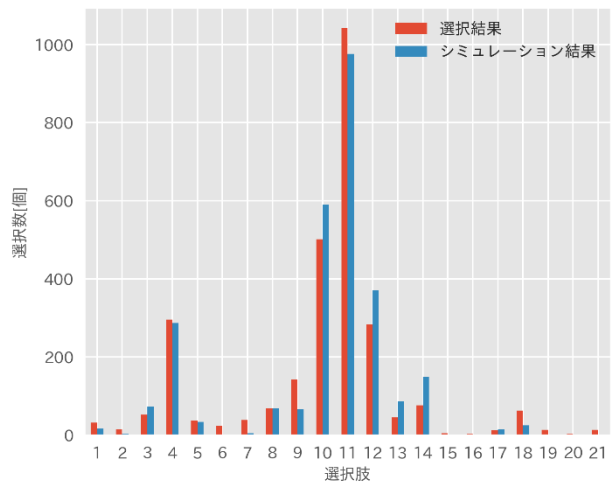


図-13 モデルの現況再現性

参考文献

- 1) 伊藤篤志, 柳沼秀明, 羽藤英二: 相互作用項を考慮した動学的車線変更モデルの構造推定, 交通工学研究発表会報告集, Vol. 34, pp.615-620, 2014.
- 2) 庄司惟, 柳沼秀樹: プロビット離散連続型自動車二次元挙動モデルの構築, 第 52 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, pp1210-1220, 2015.
- 3) 大口敬: 高速道路単路部渋滞発生解析ー追従挙動モデルの整理と今後の展望ー, 土木学会論文集, Vol. 660, pp. 39-51, 2000.
- 4) 岩崎真純, 野中康弘: 高速道路における車線変更モデルに関する研究レビュー, 土木計画学研究発表会・講演集
- 5) Pipes, L. A.: An Operational Analysis of Traffic Dynamics. *Journal of Applied Physics* 24(3), pp.274-281, 1953.
- 6) Gazis, D. C., Herman, R., Rothery, R. W.: Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow. *Operations Research*, 9(4), pp.545-567, 1961.
- 7) Gipps, P. G.: A MODEL FOR THE STRUCTURE OF LANE-CHANGING DECISIONS, *Transportation Research, Part B*, 20(5), pp.403-414, 1986.
- 8) 喜多秀行, 平井克尚: 運転行動分析に基づく定速合流時の潜在事故危険度推定法, 土木計画学研究・論文集, No.11, 1993.
- 9) 柳原正実, 宇野伸宏, 塩見康博, 倉内文孝: 画像データを活用した都市高速合流部における合流ギャップ選択モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.3, pp.551-559, 2010.
- 10) Ahmed, K.I: Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior, PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT, 1999.
- 11) Toledo, T., Koutsopoulos, H.N., Ben-Akiva, M.E: Modeling Integrated Lane-changing Behavior, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 2003.
- 12) Ben-Akiva, M.E., Choudhury, C.F., Toledo, T.: LANE CHANGING MODELS, the National Science Foundation under Grant No. CMS-0085734 and the Federal Highway Administration under contract number DTFH61-02-C-00036.
- 13) 玉城龍洋, 安江里佳, 北栄輔: セル・オートマトンによる自動車専用道路の交通シミュレーション, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.SIG 10 (TOM 12) 数理モデルと応用, 2005.
- 14) 鈴木一史, 中村英樹: 交差点安全性評価を目的とした 2D ナノシミュレーションにおける利用者挙動の表現, 土木計画学研究・講演集, No.37(86), 2008.
- 15) Antonini, G., Bierlaire, M., Weber, M.: Discrete choice models of pedestrian walking behavior, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 40, No. 8, pp.667-687, 2006.
- 16) Robin, Th., Antonini, G., Bierlaire, M., 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.
- 17) 柳沼秀樹, 福田大輔, 山田薫, 松山宜弘: 離散選択型歩行者挙動モデルの推定のための歩行者座標の自動抽出に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 67, No. 5, pp.787-800, 2011.
- 18) 地引泰人, 大原美保, 田中淳, 古村孝志: 東日本大震災における高速道路走行中の運転者の行動に関する分析, 地域安全学会論文集, No.26, 2015.
- 19) Y. Maruyama, F. Yamazaki and M. Sakaya: Experiments of earthquake early warning to expressway drivers using synchronized driving simulators, *Earthquake Spectra*, Vol.25, No.2, pp. 347-360, 2009
- 20) Y. Maruyama and F. Yamazaki: Fundamental study on the response characteristics of drivers during an earthquake based on driving simulator experiments, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.33, pp. 775-792, 2004
- 21) Train, K.: Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, 2009.

DEVELOPMENT OF TWO-DIMENSIONAL DRIVING BEHAVIOR MODEL
CONSIDERING INDIVIDUALS HETEROGENEITY IN THE DISASTER

Ryotaro KOGA and Hideki YAGINUMA