

運転行動形態の推移を考慮した 統合型追従モデルのコンフリクト再現性検証

柳原 正実¹・宇野 伸宏²・嶋本 寛³・中村 俊之⁴

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
E-mail: yanagihara@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学経営管理大学院（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
E-mail: shimamoto@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
E-mail: nakamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本稿では、複数の追従モデルを用いた統合型追従モデルを構築し、複雑な車両錯誤がみられる区間における交通コンフリクトの再現可能性について考察する。

追従挙動への様々な要因の影響力は時と場合によって異なり、単純な1つのモデルですべての挙動を説明することは難しいことが知られている。例えば、既存のマイクロ交通シミュレーションでは幾つものサブモデルを統合しており、その構造上、マニュアルによるキャリブレーションが必要となる。よって、マイクロ交通シミュレーションが特に有用となる複雑な車両挙動がみられる区間において、既存の統合方法では車両挙動の再現性が十分に確保できない。

そこで、本稿では状況に応じたドライバーの行動形態を複数の既存の追従モデルで表し、それらの間の切り替えロジックを推移として記述する統合型のモデルを構築する。更に、当該モデルを実データを用いて推定した場合の結果と、単純な線形追従モデルの推定結果を比較し、統合型のモデル構造が交通コンフリクトを表現する上で有用な考え方であることを示す。

Key Words : driving behavior, car following model, Hidden Markov Model

1. はじめに

信号交差点のない自動車専用道路のような交通流のコンフリクトの影響のみが卓越した区間では、車線変更や急減速、道路線形に伴う減速等、個々の車両の挙動が交通量・安全性に及ぼす影響が大きい。それらを総合的に評価する方法としてマイクロ交通シミュレーションがあげられる。

市販のマイクロ交通シミュレーションはその中で利用されているモデルについて、利用者側は詳細な知見を得ることが難しく、内容がブラックボックス化していることが多い。よって、開発者側は基本検証、複合検証、実用検証に分類されるモデルの検証を行い、その結果を提示すべきであると指摘されている¹⁾。これまで多くのマイクロ交通シミュレーションではマクロなデータを用いてその検証が行われており²⁾³⁾⁴⁾、その検証方法に関してまと

めたものも存在する⁵⁾。

しかし、マイクロ交通シミュレーションに用いられているモデルは複雑であるため、車両1台1台の動きに対する検証は困難であり、ほとんど行われていない。そのため、個々の車両挙動の影響が強い高速道路等よりも、信号交差点の存在する一般道においてマイクロ交通シミュレーションの利用は効果的であったと考えられる。高速道路等の交通流のコンフリクトの影響のみが卓越した区間では、マイクロ交通シミュレーションの利用者が期待するマイクロな車両挙動が十分に再現できていない場合も多いと考えられ、特に安全性を評価する上では改良の余地があるといえる。加えて、高い再現性への需要とマイクロ交通シミュレーションのニーズは、特に交通流のコンフリクトが顕著な区間で高いと考えられる。

よって、本稿では交通流のコンフリクトの影響のみが卓越した自動車専用道路のような区間において、十分な

加減速度の再現性を得るためのモデリング手法に関して有用な知見を示すことを目的としている。そのために、次章以降では具体的なモデリングに必要な知見を整理した上で、適確な構造を備えたモデルを構築し、パラメータ推定結果から、その構造の有用性を示す。

2. 追従モデルに関する既存研究の整理

マイクロ交通シミュレーションにおける個々の車両の車両挙動を表現するために用いられているモデルには、進行方向の挙動、すなわち、ドライバーの速度調整行動を表現するモデル（追従モデル）と車線変更等の挙動を表現するモデル（車線変更モデル）の2つに大きく分けられる。前者の追従モデルは1950年代後半から研究が進められてきており、マイクロ交通シミュレーション中においては、車両挙動の主要な部分を表現する⁶⁾ために最も多く利用されていると言える。

追従モデル全般に関しては大口⁷⁾が詳しい。大口は追従モデルを反応(出力)が反応強度(感度)と刺激(入力)の積で与えられるものとして6つのモデル（単項初等関数型・単項指数関数型・線形多項式型・非線形多項式型・非線形多項式複数反応遅れ時間型・変動反応遅れ時間多項式型）に大別している。

これらの追従モデルや、その他の古典的な追従モデル等⁸⁾では動的な自由流から渋滞流への推移現象は説明不可能であろうという指摘を基に、サグ等におけるボトルネック現象を表現するため、横断勾配の説明変数を用いたモデルが越ら⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾によって提案されている。しかし、個人属性を考慮した場合に追突が生じてしまう可能性があったため、尾崎は、追突が生じる原因の一端が加速時と減速時において反応時間が異なることにあると考え、加速時と減速時における反応時間が異なることを実データより示した¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。その後もサグの影響に関して、ドライビングシミュレータを用いた検証が複数行われている。飯田¹⁶⁾は複数の説明変数でサグの影響を考慮するモデルを提案しており、吉澤¹⁷⁾によってサグやその他の道路特性によって追従挙動が異なることが示されている。さらに、追従特性は道路線形の影響とともに個人間の差異でも異なるのではないかと考えられており、Chiabaut¹⁸⁾はNewellモデルを用いて渋滞中で個人間の差異が渋滞延伸にどのような影響を与えるかを分析している。

追突が起らないようなモデルとは対極的に、マイクロ交通シミュレーション中で安全性を考慮するためのモデルが構築されている¹⁹⁾。Xin²⁰⁾は既存のモデルで衝突安全性を考慮することは難しいと指摘し、衝突を考慮した追従モデルを考案している。

以上のように、既往の研究における追従モデリング手法を踏まえると、運転行動形態は車両の走行状況に応じて異なり、これは交通状況や道路線形・構造の影響も受けると考えられる。そのため、車両の走行状況に応じた運転行動を表現するモデルを構築し、適用する必要があると考えられる。しかし、個々の限定された状況下における運転行動に関する研究は多数存在するものの、それらを統合する手法に関する知見はほとんど存在しない。車両の走行状況の影響を考慮しつつ、観測された車両挙動に最も適合する統合型の追従モデルを構築することは、理論的な明快さと現象記述能力の双方を兼ね備えたモデル構築の試みとして有用と考えられる。また、マイクロ交通シミュレーションを構築する段階において、初めて運転行動統合の必要性に迫られるため、統合する手法は結局のところ、シミュレーションの開発者にゆだねられてしまい、体系的な手法の欠如はマイクロ交通シミュレーションがブラックボックス化する要因となっているといえる。

そこで本研究では、複数の既存の追従モデルを統合して運用する際に必要となる、モデル間の切り替えロジックを推移モデルとして記述し、個々の追従モデルと切り替えモデルのパラメータを一括した計算によって確率的に最尤推定する統合型モデルの構築を行っている。

3. 統合型追従モデルの構造

本研究では既存の複数の追従モデルによって一連の現出加速度を表現する統合型モデルを構築している。複数の追従モデルを一連の車両挙動に適用するためには、状況に応じたモデルの切り替えが必要となる。運転者の立場からみると、モデルの切り替えは運転行動形態の選択であるといえる。なお、葛西²¹⁾²²⁾は効用理論に基づいた追従挙動を記述する試みを行っており、運転行動形態の選択にも効用に基づいた選択モデルが適用できると考えられる。

運転行動形態の選択には時間経過の影響も存在すると考えていることから、本研究では複数の追従モデルの切り替えに隠れマルコフチェーンモデル（HMM）を応用している。本稿では便宜的に状況に応じた運転行動形態、すなわち速度調整のための加速度制御方法をREGIMEと称している。

図-1は追従走行と安全走行2つのREGIMEを運転者が選択する構造を示している。運転者は一定時間間隔ごとにREGIME推移選択を行い、REGIMEを変更するか否かを決定するものと仮定する。現在どのREGIMEを選択しているかという状態が、HMMにおける潜在変数に相当し、各REGIMEに対応したモデルによって算出される加

速度が顕在変数に相当する。REGIME推移選択はLOGITモデルとして表現し、算出されるREGIME推移選択確率に従ってREGIME選択が行われると考える。

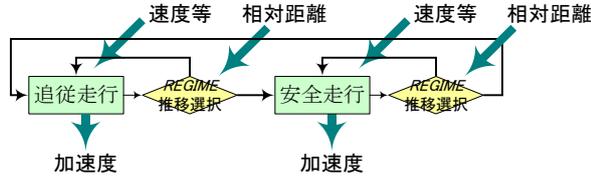


図-1 REGIME推移概念図

例えば図-2のように、対象車両と前方車両の車間距離が接近してきた場合を想定すると、いわゆる通常の「追従走行」REGIMEから安全面へ配慮した「安全走行」REGIMEに推移する効用が高くなり、安全走行への選択が行われると考えられる。このとき加速度制御方法も通常の追従走行における方法から、前方車両により敏感に反応する運転行動形態に切り替わると予想される。

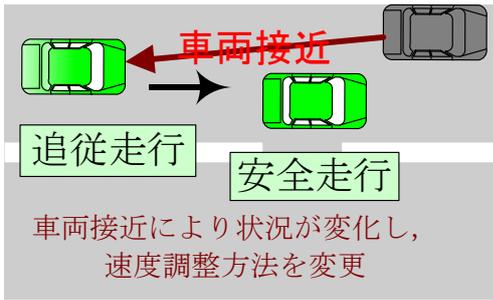


図-2 REGIME推移例

4. モデルの定式化とパラメータ推定手法

各REGIMEにおける追従モデルの最尤パラメータはHMMの影響を受けるため、個々の追従モデルとHMM双方のパラメータは全て同一の枠組みの中で最尤推定する。最尤推定する際の尤度関数は以下の式(1)で定義され、HMMの構造は式(2)~(4)で定義する。

$$L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = \sum_n \sum_t \sum_{l_{n,t} \in A} P(l_{n,t} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) \ln(f^{acc}(a_{n,t} - a_{n,t}^l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}))) \quad (1)$$

$$P(l_{n,t+1} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = \sum_{k_{n,t} \in A} \Delta P(l_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) P(k_{n,t} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) \quad (2)$$

$$P(l_{n,0} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = 1/m \quad (3)$$

$$\Delta P(l_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = \frac{\exp(V(l_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}))}{\sum_{j_{n,t} \in A} \exp(V(j_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}))} \quad (4)$$

$$f^{acc}(\varepsilon) = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\varepsilon^2}{\sigma^{acc^2}}\right) \quad (5)$$

$$2\sigma^{acc^2} = 1 \quad (6)$$

$$L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) = -\sum_n \sum_t \sum_{l_{n,t} \in A} P(l_{n,t} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}) (a_{n,t} - a_{n,t}^l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}))^2 \quad (7)$$

- $\boldsymbol{\beta}$: 推定パラメータベクトル
- \mathbf{x} : 観測値ベクトル
- n : 個人/車両番号
- t : 時刻 (番号)
- $l_{n,t}, k_{n,t}, j_{n,t}$: 個人 n 時刻 t のREGIME状態値
- A : REGIME集合
- m : REGIME要素数
- $L(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$: 対数尤度
- $P(l_{n,t} | \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$: 個人 n 時刻 t のREGIME状態確率
- $\Delta P(l_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$: 同REGIME状態遷移確率
- $V(l_{n,t} | k_{n,t}, \mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$: 同REGIME状態遷移効用
- $a_{n,t}$: 車両 n 時刻 t の加速度観測値
- $a_{n,t}^l(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta})$: 車両 n 時刻 t の加速度推定値
- $f^{acc}(\varepsilon)$: 加速度推定誤差確率密度
- σ^{acc} : 加速度標準偏差 ($\sqrt{2}$ を仮定)

尤度はREGIME選択確率で重みづけされた対数加速度尤度であり、式(5),(6)で表現される正規分布の加速度誤差密度を用いることによって、式(7)のようなREGIME選択確率で重みづけされた負の加速度誤差二乗和で定義される。よって、尤度を最大化することはすなわちREGIME選択確率で重みづけされた加速度誤差二乗和の最小化を意味しており、加速度モデルにおける線形パラメータは重み付き重回帰分析によって求めることができる。

尤度関数を最大化する手法には、重回帰、黄金分割法、滑降シンプレックス法と焼きなまし法を統合した方法を用いた。図-3にその包含関係を示す。REGIME加速度算出に関する線形パラメータは最も下位モデルとしての重み付き重回帰で求め、重回帰の残差を最小化するように加速度算出に関する反応遅れ時間を黄金分割法で求めた。

さらにその上位モデルとして滑降シンプレックス法とその初期値を求める焼きなまし法による推定を行った。

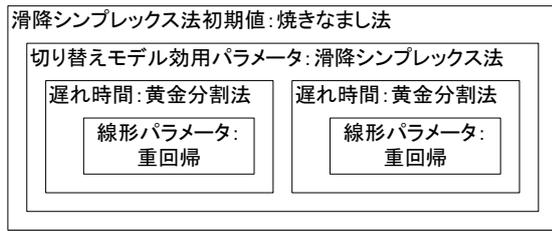


図-3 推定手法の包含関係
[推定パラメータ: 推定法]

5. 分析データの概要

本稿では、単純なREGIME推移に関して、モデル構造の妥当性を考察するため、2つのみREGIMEを含むモデルパラメータの推定を行う。推定に用いたデータは阪神高速道路1号環状線と12号守口線が合流する区間とその上流において、2005年8月30日8:49:00~9:04:00の15分間に連続する11台のビデオカメラで撮影された画像から抽出した車両走行軌跡データ²³⁾である。当該データは0.2秒間隔で車両の位置を記録したものであり、提案しているモデル構造を推定するために十分な時空間解像度を有しているといえる。抽出された車両走行軌跡を車線ごとに分けたものを図-4に示す。

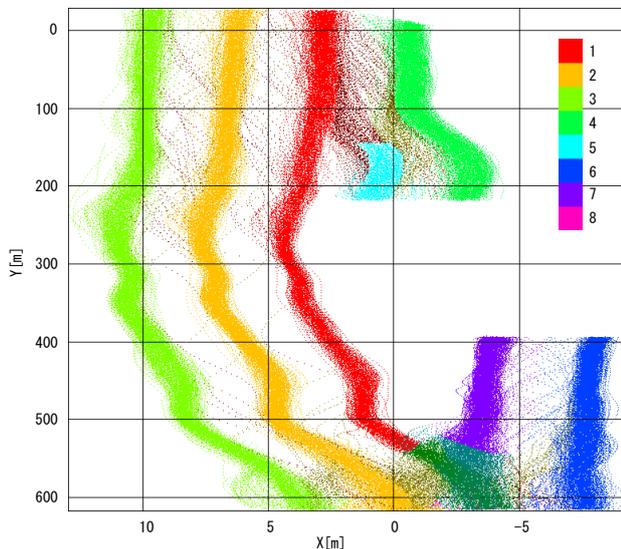


図-4 画像から抽出した車両走行軌跡図

推定にはこの走行軌跡に含まれた車両内、同一車線を27秒以上、前方車両が観測区域内に存在する状態で走行し続けた車両を抽出し、はじめの2秒間、最後の5秒間を除外した走行軌跡をパラメータ推定用のデータとして用いている。対象車両が車線変更するときの影響を除外し

て単純な追従における統合型モデルの有意性を分析するために、このような操作を行った。ここで、前方車両と定義したのは、対象車両と同一車線上の車両、もしくは同一車線に進入しようとする車線を移動している車両のうち、対象車両よりも下流に存在し、対象車両に最も近い車両である。最終的に抽出された車両は141台、合計2542.8秒間のデータである。当該データを用いた計算では、黄金分割法の1回適用あたりの計算時間が約1秒程度となり、全体で数時間の推定時間を要した。

各REGIMEの加速度算出は単純化のため、反応遅れ時間を伴う対象車両の速度、前方車両との相対距離・相対速度を用いた線形式を用いた。また、REGIME推移選択は前方車両との相対距離のみを用いて、REGIMEが推移しないときの効用を基準としたバイナリLOGITモデルを採用した。さらに、本稿では比較のためREGIMEが1つの場合の推定も行った。REGIMEが1つの場合のモデルを以降「単純モデル」と称す。

6. モデルパラメータ推定結果

(1) パラメータ推定結果

2つのREGIMEを切り替えるモデルの推定結果を表-1~3に示す。表-1は各REGIMEの重回帰の適合度と重み、反応遅れ時間を示している。利用した2つのREGIMEは構造上まったく同一であるが、後述の各REGIMEの平均的な走行状況およびモデルの推定結果に適合するように「追従走行」と「安全走行」と呼ぶことにしている。双方の重回帰適合度は単純モデルよりも高くなっており、異なる挙動が混在したデータをHMMが適切に2つのREGIMEに切り分けたことがわかる。遅れ時間は追従走行において3秒程度となっている一方、安全走行は0秒と推定された。これは遅れ時間を伴わないとき加速度誤差二乗和が最も小さくなることを意味している。よって、安全走行としては、周囲に敏感な走行が抽出されているといえる。

表-1 REGIME別加速度算出重回帰モデル推定結果

	R ² Adj	重み	遅れ時間[s]
追従走行	0.316	6862.0	3.07
安全走行	0.344	10852.0	0.00
合計	0.332	17714	
単純モデル	0.296	17714	3.74

表-2は推定された重回帰パラメータを示している。対象車両速度と前方車両相対距離は常に正、前方車両相対速度は接近するときに負の値をとる変数であり、単位は[m], [m/s]で計算している。まず、すべての変数が有

意な値を示していることが確認できる。加えて遅れ時間の考察と同様に、安全走行では前方車両との相対値に対応するパラメータが大きくなっており、前方車両に敏感な走行が抽出されていることがわかる。特に安全走行では相対速度が接近する傾向になると大きく減速するようなパラメータ値が推定されている。追従走行の相対速度の値のみ、接近すると加速するといった直観に反したパラメータ符号が推定されたが、 t 値の絶対値が比較的小さく、他の変数ほど加速度に影響を与えないものと考えられる。

表-2 REGIME別加速度モデル推定パラメータ
(* 0.05%有意, ** 0.01%有意)

	パラメータ	分散	t 値
追従走行: 定数	-2.030	0.021	-96.3 **
対象車両速度	0.092	0.001	84.1 **
前方車両相対速度	-0.002	0.001	-2.3 *
前方車両相対距離	0.002	0.000	20.6 **
安全走行: 定数	-1.040	0.020	-52.7 **
対象車両速度	0.041	0.001	35.3 **
前方車両相対速度	0.187	0.002	89.1 **
前方車両相対距離	0.005	0.000	12.6 **

表-3には各REGIMEに推移する確率を算出するLOGITモデルの効用関数のパラメータを載せている。重回帰同様すべての変数が有意な値として推定されていることが確認できる。また、パラメータの符号を見ると前方車両との相対距離が小さくなったときに安全走行へ推移する効用が高くなり、逆に相対距離が大きくなると追従走行へ推移する効用が高まることがわかる。

表-3 REGIME推移効用関数推定パラメータ (* 0.01%有意)

	パラメータ	分散	t 値
追従走行へ 定数	-101.0	0.2634	-383.2 *
前方車両相対距離	2.2	0.0001	17384.5 *
安全走行へ 定数	22.3	0.1297	172.1 *
前方車両相対距離	-0.5	0.0001	-8594.8 *

実際にどのような状況が抽出されているかを確認するために、各REGIMEにおける各変数の重み付平均値を算出したものを表-4に示す。(前方車両との)相対距離を比較すると、安全走行のほうがかなり小さな値を示していることがわかる。一方、追従走行では約90mと長く幾分自由走行のような挙動も含まれていることが考えられる。速度と加速度もともに安全走行のほうが小さく、前方車両に対応して減速している挙動が安全走行として切り分けられた状況に多く含まれていることが示唆される。しかし、相対速度に関しては追従走行のほうが大きい。これは、分析対象区間の下流部には合流部があり、全体として減速傾向にある為だと考えられる。追従走行はデータの初期に多く現出し、前方の遠くの速度が低い

車両に対しての相対速度が小さくなっている。このような状況が多分に含まれている可能性が考えられる。

表-4 各REGIMEにおける基本的変数の平均値

	加速度[m/ss]	速度[m/s]	相対距離[m]	相対速度[m/s]
追従走行	-0.17	19.56	89.63	-1.58
安全走行	-0.28	17.84	28.38	-0.56

(2) REGIME推移に関する考察

さらに、追従走行と安全走行とが切り替わる状況を考察するために、各選択確率、すなわちREGIMEが選択されている潜在的な確率が0.5を上回る、または下回る時点での前方車両との相対距離の平均値と標準偏差を算出した。その結果を各REGIMEにおける平均値と標準偏差とあわせて図-5に示す。この値を見ると相対距離が37~45m程度の値で安全走行と追従走行が切り替わっていることがわかる。ただし、安全走行から追従走行に移行するときの相対距離はその逆のときに比べて大きく、切り替わることに對して何らかの抵抗が働いていることが示唆される。

仮に、2つのバイナリLOGITモデルのパラメータの値が符号のみ異なり、絶対値がほぼ等しく推定されたとすれば、前時点においてどのREGIMEが選択されていたかにかかわらず、同一の選択状態確率が算出され、推移を考慮する効果がなくなってしまふ。REGIME間で推移することに対する抵抗が存在するという事は、つまり、推移を考慮することによってのみ再現できる時間的な幅を持った現象が存在するという事を示している。

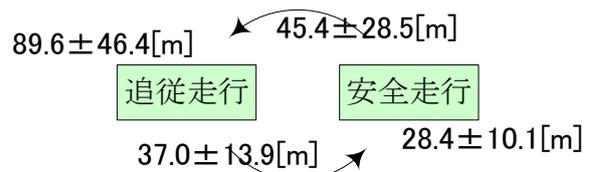


図-5 REGIME間の推移に影響を与える相対距離の値

図-6~8に相対距離の変動が顕著であった車両の相対距離・REGIME選択確率・加速度の値の時間経過推移を示す。図-6と図-7からも相対距離が37~45m程度の値で追従走行と安全走行の選択状態確率が逆転していることが読み取れる。図-8では各REGIMEにおける推定加速度、単純モデルによって推定された加速度と観測された加速度に加えて、各REGIMEの推定加速度をそれぞれのREGIME選択状態確率で重み付けした加速度値、すなわちモデルによる推定加速度の期待値の推移を表現している。まず、単純モデルの推定値は他の推定値と比較して絶対値が小さい傾向にあることがわかる。これは、状況

を切り分けずに推定した場合、同程度の説明変数の値を示す状況でも加速度が分散し、結果的にその平均値に近い値が算出されるようなパラメータ値として推定されてしまう為である。このような感度の悪いモデルでは、急減速や急加速等の交通コンフリクトを起こす原因となる挙動を表現することができないであろう。実際の車両の加速度観測値の絶対値は単純モデルの値の2倍以上の値となっている。

一方、2つのREGIMEに切り分けると各REGIMEの推定加速度の絶対値は大きくなり、状況によっては2つの推定加速度の差が大きくなっている。さらに、算出される加速度の値が観測値に近くなるように、REGIME選択状態が切り替わっていることが確認できる。得に、新たに提案したモデルでは、図-8の20.0秒前後の大きな減速を推定できている。これは複雑な状況下における交通コンフリクトの再現性を従来より高められる可能性を示唆している。

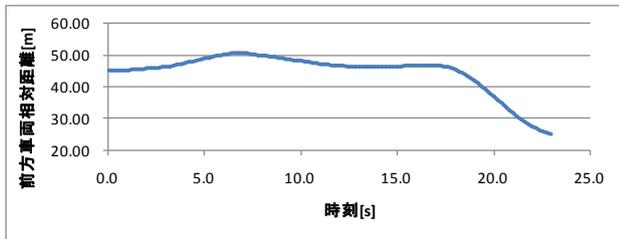


図-6 相対距離の推移①

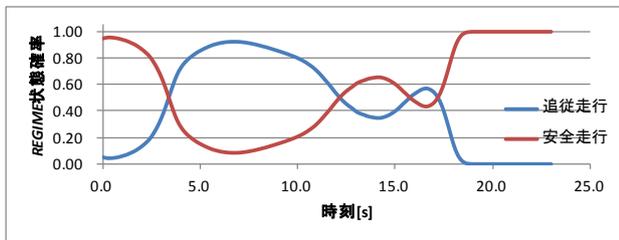


図-7 REGIME選択状態確率の推移①

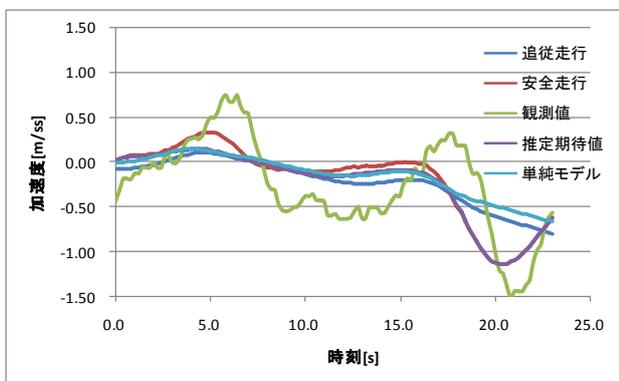


図-8 相対距離・選択確率・加速度の推移①

図-9～11に相対距離の変動が顕著であり、かつ前方

車両が車線変更する事象を含む車両の結果を付け加えておく。相対距離等が不連続な値を示しているのは、第5節で定義した相対距離の算出を行う対象の車両が、車線変更のため異なる車両へと変化したためである。この図では前方車両が他の車線へ移行したり、戻ってきたため、対象車両が急加減速するといった挙動が現れている。このときの急な加減速も、REGIMEの切り替わりによって適切に表現できていることがわかる。特に、この場合の加速に関しては従来のモデルでは表現の困難であった課題である。また、これら2車両以外についても前方車両との相対距離の変化が少ないものの概ね、結果は同じであった。

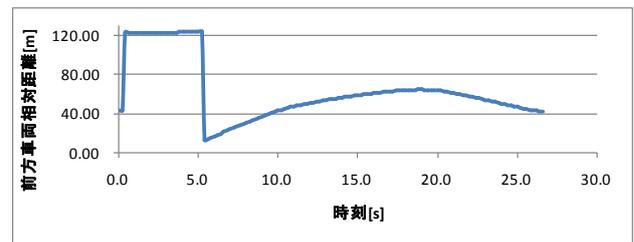


図-9 相対距離の推移②

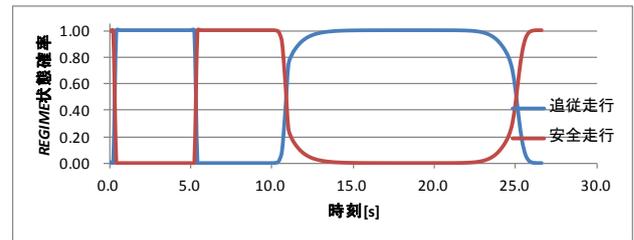


図-10 REGIME選択状態確率の推移②

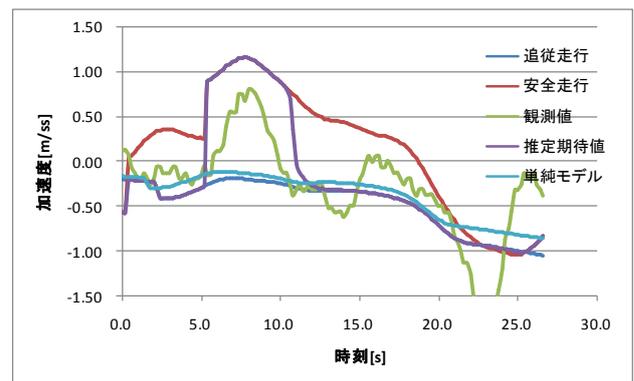


図-11 加速度の推移②

最後に、統合型モデルが単純モデルに対してどの程度交通コンフリクトを表現できたかを述べておく。表-5に推定された加速度がどの程度の幅で変動したかを示す。追従走行と安全走行REGIMEの最大減速度は状態確率が10%以上の場合の加速度の最小値であり、標準偏差は重

み付きで算出した値である。最大減速度の絶対値と加速度の標準偏差の両方について観測値が最も大きく、単純モデルが最も小さい。図-7～11における考察と同様に、推定値全体としても、推定期待値より単純モデルの方が変動が小さく、単純なモデルは交通コンフリクトの記述に向かないことがわかる。また、安全走行REGIMEでは10%以上の確率で大きな減速が算出される可能性があるため、確率は低くとも、推移モデルとして表現されることで、期待値よりも変動が大きくなることが期待される。

表-5 加速度のばらつき

	最大減速度[m/ss]	標準偏差[m/ss]
追従走行	-1.48 (P>0.1)	0.36
安全走行	-1.94 (P>0.1)	0.43
推定期待値	-1.78	0.33
単純モデル	-1.68	0.32
観測値	-2.44	0.58

7. まとめ

本稿では運転行動形態に基づいて加速度を算出する2つの追従モデルを統合し、HMMを応用してそれらを切り替える統合型モデルを構築した。更にパラメータ推定を行い、その構造の有意性について検証を行った。このモデル構造は、交通コンフリクトを再現する上で重要な要因である大きな加減速にも対応した加速度の算出が可能であることが示された。また、運転行動形態の切り替えには何らかの抵抗があり、その抵抗はHMMの構造によって表現できていることが示された。この抵抗は交通安全性を悪化させる要因となる可能性がある。

本稿では単純な追従挙動に焦点を当ててモデルのパラメータ推定を試みたが、交通コンフリクトを引き起こす車両挙動には他にも車線変更等がある。今後は対象車両が車線変更する際の影響も考慮したモデルへと拡張し、モデルの汎用性を高めていくことが課題である。

参考文献

- 1) 社会法人交通工学研究会, '交通シミュレーションのススメ', 丸善株式会社, 2004.
- 2) Mahanti, B., 'Aggregate calibration of microscopic traffic simulation models', Department of Civil and Environmental Engineering, MIT., 2004.
- 3) Vaze, V., 'Calibration of dynamic traffic assignment models with point-to-point traffic surveillance', Department of Civil and Environmental Engineering, MIT., 2007.
- 4) Ma, J., Dong, H., Zhang, H. M., 'Calibration of Microsimulation with Heuristic Optimization Methods', Transpn. Res. Board., No.1999, 2007.
- 5) 交通シミュレーション自主研究委員会, 'モデルの基本

検証(verification)マニュアル(案)第2版', 交通工学研究会, 2002.

- 6) Gipps, P. G., 'A Behavioural Car-Following Model for Computer Simulation', Transpn. Res., Vol.15B, No.2, pp.105-111, 1981.
- 7) 大口敬, '高速道路単路部渋滞発生解析- 追従挙動モデルの整理と今後の展望-', 土木学会論文集, No.660/IV 49, pp.39-51, 2000.
- 8) Gazis, D. C., Herman, R., Potts, R. B., 'Car-Following Theory of Steady-State Traffic Flow', Oper. Res., Vol.7, pp.499-505, 1959.
- 9) 越正毅, '高速道路トンネルの交通現象', 国際交通安全学会誌, Vol.10, No.1, pp.32-38, 1984.
- 10) 越正毅, '高速道路のボトルネック容量', 土木学会論文集, No.371/IV 5, pp.1-7, 1986.
- 11) 越正毅, 大口敬, '高速道路サグにおける渋滞とその対策', 道路, No.651, pp.65-69, 1995.
- 12) J. Xing, 大口敬, 越正毅, '高速道路単路部の交通流の動的特性', 土木計画学研究・講演集, No.14(1), pp.621-628, 1991.
- 13) 尾崎晴男, '自動車の追従走行挙動に関する研究', 土木計画学研究・講演集, No.14(1), pp.375-380, 1991.
- 14) 尾崎晴男, '車両の追従挙動とサグの隘路現象', 東京大学学位論文, 1994.
- 15) Ozaki, H., 'Assistance of Drivers to Mitigate Highway Capacity Problem', Proc. of 2nd WC on ITS, pp.1727-1731, 1995.
- 16) 飯田克弘, 藤原一雅, '3次元車両軌跡を用いた高速道路サグ部における交通流挙動解析', 交通工学研究発表会論文報告集, No.24, pp.13-16, 2004.
- 17) 吉澤隆司, 塩見康博, 宇野伸宏, 飯田克弘, 'ドライビングシミュレータを用いた高速道路サグ部における追従挙動特性の解析', 交通工学研究発表会論文集, No.30, pp.53-56, 2010.
- 18) Chiabaut, N., Leclercq, L., Buisson, C., Christine Buisson, 'From heterogeneous drivers to macroscopic patterns in congestion', Transpn. Res., Vol.44B-2, pp.299-308, 2010.
- 19) Bonsall, P., Liu, R., Young, W., 'Modelling safety-related driving behaviour-impact of parameter values', Transpn. Res., Vol.39A-5, pp.425-444, 2005.
- 20) Xin, W., Hourdos, J., Michalopoulos, P., Davis, G., 'The Less-Than-Perfect Driver A Model of Collision-Inclusive Car-Following Behavior', Transpn. Res. Recrd., Vol.2088, pp.126-137, 2008.
- 21) 葛西誠, 加藤瑞穂, 内山久雄, '効用理論に基づいた追従挙動のモデル化に関する基礎的研究', 土木計画学研究・講演集, No.38(177), 2008.
- 22) 葛西誠, 加藤瑞穂, 内山久雄, '道路サービス水準評価を念頭に置いた車両追従挙動モデル', 土木計画学研究・講演集, No.39(78), 2009.
- 23) Kurauchi, F. : Queiroz, I. N. F., Iida, Y. and Higatani, A. : Traffic flow analysis using image processing technique, Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Vol. 2, pp. 329-338, 2006.

(2012.??受付)

A METHOD OF DRIVING BEHAVIOR MODELING
USING SEVERAL FOLLOWING MODELS

Masami YANAGIHARA, Nobuhiro UNO,
Hirosho SHIMAMOTO and Toshiyuki NAKAMURA