

# 自動運転車両と従来車両の混在が 相互の走行にもたらす影響の検討

西村 友佑<sup>1,a)</sup> 藤田 敦<sup>1,b)</sup> 廣森 聡仁<sup>1,c)</sup> 山口 弘純<sup>1,d)</sup> 東野 輝夫<sup>1,e)</sup> 諏訪 晃<sup>2,f)</sup>  
浦山 博史<sup>2,g)</sup> 竹嶋 進<sup>2,h)</sup> 高井 峰生<sup>3,i)</sup>

**概要**：近い将来における自動運転車の普及が予想されるが、普及過渡期においては、自動運転車とドライバが運転する従来車が混在する状況が生じる。このような状況下では、自動運転車の存在がドライバの運転行動に影響を与えることでスムーズな交通流が阻害され、自動運転車の乗員や人間ドライバのストレスが増加する可能性もある。本研究では、ドライバ属性や自動運転車の運転特性を反映可能な運転挙動モデルの設計を行い、マルチエージェントシミュレータに組み込むことで、自動運転車と従来車が混在する環境を再現し、シミュレーションによりその影響を検証する。同モデルは追従走行や希望速度への調整、車線変更などの一般的な運転行動をパラメータで表現可能であり、著名な運転行動モデルである IDM をベースに開発した。ドライバの運転行動特性としてアグレッシブ、一般的、安全志向の3種類を想定し、多車線の直線道路を対象としたシミュレーションを行い、完全自動運転車と従来車の比率の変化によって、ドライバ属性ごとの時間平均速度や車間距離、車線変更に関する挙動がどのように変化するかを調査し、影響の定量化を図っている。

## A Study on Correlation of Autonomous and Legacy Vehicles' Driving Behavior

YUSUKE NISHIMURA<sup>1,a)</sup> ATSUSHI FUJITA<sup>1,b)</sup> AKIHITO HIROMORI<sup>1,c)</sup> HIROZUMI YAMAGUCHI<sup>1,d)</sup>  
TERUO HIGASHINO<sup>1,e)</sup> AKIRA SUWA<sup>2,f)</sup> HIROFUMI URAYAMA<sup>2,g)</sup> SUSUMU TAKESHIMA<sup>2,h)</sup>  
MINEO TAKAI<sup>3,i)</sup>

### 1. 序論

2020年を目処に、自動車メーカーを中心に自動運転車の商品化に向けた開発が活発に行われている。周辺の状況を

センシングし、機械が自動的に運転行動の決定を行う完全自動運転の実現は、交通事故防止や運転時間の削減によるドライバの自由時間の確保など、交通社会やドライバに多大な利益をもたらすことが予想され、その実現に対する機運が高まっている。また、官民 ITS 構想・ロードマップ [1] によると、自動パイロット機能を搭載した自動車の市場への投入期待時期は2020年を目処とされており、5~10年先の近い将来、完全自動運転車の普及が進むことは確実である。しかし、平成28年10月末現在、国内の自動車保有台数は約8,150万台にもなる [2] ため、全ての車が一斉に自動運転車に入れ替わることはなく、相当期間の普及過渡期が存在することになる。この過渡期においては、自動運転車 (SAE International Standard J3016 の規定でレベル3以上) と人間のドライバが運転主体となる従来車 (レベル0~2) が同じ道路上に混在する環境が生じる。

<sup>1</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Osaka University  
<sup>2</sup> 住友電気工業 (株)  
Sumitomo Electric Industries, LTD.  
<sup>3</sup> カリフォルニア大学 ロサンゼルス校  
University of California, Los Angeles  
a) y-nishimura@ist.osaka-u.ac.jp  
b) a-fujita@ist.osaka-u.ac.jp  
c) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp  
d) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp  
e) higashino@ist.osaka-u.ac.jp  
f) suwa-akira@sei.co.jp  
g) urayama-hirofumi@sei.co.jp  
h) takesima@sei.co.jp  
i) mineo@ieee.org

そのような混在環境においては、自動運転車の存在が人間のドライバに影響を及ぼす可能性がある。ロンドン・スクール・オブ・エコノミクスとタイヤメーカーのグッドイヤーが、11カ国の約12,000名のドライバを対象に行った自動運転車に対する意識調査のアンケート [3] では、約41%の回答者が、自動運転車が自車の隣を走行することに不快感を覚えると答えており、自動運転車の存在が、人間のドライバに心理的な影響を与える可能性を示唆している。また、自動運転車は法定速度を遵守するため、その存在割合が増加すれば、人間ドライバによる頻繁な追い越し運転を誘発する可能性もある。さらに、そういった人間ドライバによる無理な追い越しや割り込みが自動運転車の安全回避行動を誘発し、急減速が増加する状況も想定される。こういった相互影響により、従来車のみでは発生しない事象を原因とする交通の乱れも予想され、自動運転車の存在が、新たな事故要因や自動運転車を含めた自動車乗員のストレス要因となりうる可能性がある。

これに対し、自動運転車専用道路や専用レーンを設けることで、自動運転車と従来車の干渉を抑制する方法も考えられる。つい最近では、米国で自動運転車の走行レーンを路側機で制御する手法が特許登録される [4] など、運用レベルの検討や提案も進んでいる。そういったレーン運用の効果検証を含め、自動運転車と従来車が相互の走行に与える影響を把握することが非常に重要であり、そのための検証環境が求められている。

本研究では、自動運転車と従来車が混在する環境を交通マイクロシミュレーションで再現するためのドライバの運転挙動モデルを構築し、それをを用いたシミュレーション検証により、いくつかの道路/交通シナリオにおける相互影響を評価する。構築したモデルはドライバの希望走行速度や車頭時間、最大加速度といったドライバごとに異なる様々な特性をパラメータを介して表現でき、適切なパラメータ設定により、アグレッシブ、一般的、安全志向の3タイプのドライバの運転挙動を再現する。また、自動運転車は衝突事故や乗員が不快に感じる状況を避けるため、加減速を抑制し十分な車間距離を保ちながら制限速度を遵守するといった、模範的で安全性の高い運転を行うと考え、安全志向ドライバと同様の運転を行うと仮定する。このもとで、同モデルを車両レベルのシミュレーション（マイクロ交通シミュレーション）が可能なマルチエージェントシミュレータ Scenargie [5] へ組み込むことで、シミュレーション環境を構築している。

このもとで、交差点や合流部がない多車線の直線道路において、従来車と自動運転車の比率を20%刻みで変化させた複数のシナリオにおける車両走行シミュレーションを行い、自動運転車の比率がドライバタイプごとの時間平均速度、車間距離、および車線変更頻度に与える影響を分析した。その結果、自動運転車の比率増加に伴い、アグレッシブ

シブおよび一般的ドライバの時間平均速度は、交通量や車線数に拠らず低下するが、安全志向ドライバと自動運転車の時間平均速度は変化しないことがわかった。また、アグレッシブおよび一般的ドライバの時間平均速度の低下が顕著なシナリオにおいては、それらのドライバの車間距離は短くなり、さらに追い越しを実施するドライバの割合が減少すること、および安全志向ドライバと自動運転車に関しては、速度の大きい後続車に進路を譲る（車線譲り）ための車線変更を実施するドライバの割合が減少することがわかった。

## 2. 関連研究

### 2.1 交通シミュレータ

ITSを構成する要素技術やシステムは、広範囲にわたる道路ネットワークを走行する多数の車両を対象とすることが多く、実車両による実験検証が困難である場合も多い。このため、実際の運転挙動を再現性のある形で模擬するシミュレーション技術が多用されており、商用およびオープンソースを含めた様々な交通シミュレータが開発されてきている。

現在、広く利用されている交通シミュレータは、運転挙動のモデル化の粒度により大きく二つに分類される。Microscopicモデルは、道路ネットワーク上の個々の車両の運転挙動を詳細にモデル化するもので、車両やドライバの特性を表すパラメータとして、車両速度や加速度、また前方車との車間距離や相対速度などに基づき、個々の車両の運転挙動を決定する。Microscopicモデルの代表的なシミュレータとしてVISSIM [6]、SUMO [7]、S-Paramics [8]などが挙げられる。例えばVISSIMにおいては、Wiedemannらによる心理学に基づくドライバの行動モデルにより、発進や追従といった運転挙動を定め、前方車との安全な最小車間距離が保たれていない場合は減速し、十分な車間距離がある場合は最小車間距離となるように加速する方針の元、個々の車両の加減速を再現している [9]。一方、Macroscopicモデルは、道路ネットワーク上の車両全体の挙動をモデル化するものであり、多くは流体力学に基づき、車両密度や車両流量を用いて運転挙動を決定する。Macroscopicモデルの代表的なシミュレータとしてSOUND [10]、NETSTREAM [11]などが挙げられる。また、粒度の異なるモデルを混在させたシミュレーションのために、複数シミュレータを連携させる方式も考えられている [12]。

### 2.2 運転挙動モデル

Microscopicモデルによるシミュレーションでは、現実の交通流中の車両の運転挙動の特性を表すモデルパラメータを設定した数理モデルによりシミュレートする方法が一般的である。前方車に衝突しないための様々な規則や閾値を設定し、加減速制御などの前後方向の挙動をモデル化し

た前車追従モデルをベースとし、複数車線道路における車線変更や追い越しモデル、交差点や車線合流モデルといった複雑な運転挙動のモデルを組み込み、現実の交通状況を再現する。

Intelligent Driver Model (IDM) [13] は、前方車に衝突せず、適切な車間距離を保持し走行するための加減速制御をモデル化したものであり、前述の VISSIM や SUMO をはじめとして多くの交通シミュレータに実装されている。IDM は、走行速度、最大加速度、最低車間距離、安全車頭時間などのいくつかのモデルパラメータにより、加減速制御を実現していることが特徴であり、実環境における現実性とシミュレーションの簡易性を両立している。また、IDM をベースとした拡張モデルの研究と実装もいくつか実施されている。例えば Eggert ら [14] は、IDM を拡張し、周辺車両の挙動を考慮した衝突リスクをモデルに組み入れている。

実環境での車線変更や追い越しなどの運転挙動を再現するためには、左右方向移動の行動判断基準を実装することが必要になる。車線変更モデルや追い越しモデルは、車線変更の誘発条件（動機）や車線変更の安全条件を組み入れ、車線変更時の自車状態の変化や他車両との相互作用に基づく左右方向の運転挙動をモデル化している [15]。SUMO では車線変更の動機を、(i) 目的地へ向かうため、(ii) 前方車を追い越すため、(iii) 速度の大きい購読者に進路を譲るため、(iv) 追い越し後に元の車線に戻るため、の 4 タイプに分類し、それぞれについて要求発生条件と安全条件を実装している。例えば目的地到達のための車線変更では、現在走行中の車線が目的地に接続していないことが車線変更の発生条件であり、目的地までの距離や到達時間、変更完了までの推定所要時間などを元に安全条件が規定されている。これらをともに満たす場合には車線変更が実行される。合流モデルは、ドライバーの反応時間や車線減少における合流タイミングの決定、合流先の車両との安全車間距離の確保といった複数の要因や条件によりモデル化されており、合流部での不自然なコンフリクトの発生や交通容量の低下を抑制している [16]。

## 2.3 自動運転車の協調走行

自動運転車は相互車両位置や相対速度に基づく協調的な運転挙動を取ると想定され、それによる様々な社会効果も期待されている。例えば、周辺車両と高密度な車群を形成し車間距離を可能な限り短くする隊列走行や群走行（フリート走行）では、走行時の空気抵抗削減による CO<sub>2</sub> 排出量削減や、交通容量増加による渋滞解消が期待できる。Wang ら [17] は、隊列走行する自動運転車群の車両状態を車間通信を介して取得し、自車状態を基に協調挙動を取る運転モデルを提案し、複数車線道路上でのシミュレーション実験を実施している。実験では自動運転車の存在割

合を変えたときの走行速度や燃料消費量の変化を評価しており、自動運転車の存在割合が低い（例えば 10% 程度）場合は、従来車両が周辺交通に与える影響が、渋滞の主要発生要因となることを明らかにしている。

## 2.4 本研究の位置づけ

従来車が多く存在する過渡期初期段階では、異なるタイプのドライバと自動運転車が混在し、車流を形成するメイプレイヤーが明確でない混沌とした環境が想定される。そういった場合には特に、各ドライバと自動運転車の意思決定が交通容量や安全性など交通全体に大きな影響を与えると考えられる。本研究はドライバタイプの差異や自動運転車の意思決定を、どのような運転挙動モデルのパラメータで表現するかの指針を与えており、隊列走行の影響を評価した従来研究 [17] やその類似研究などとは大きく異なる。また、このモデルやパラメータを用いたシミュレーション実験を行い、モデルの重要性を示すとともに、自動運転車の混入率が相互に与える影響を明らかにした点においても従来研究には見られない新規性を有するといえる。

## 3. ドライバの運転挙動モデル

自動車の挙動は、車線変更によって生じる左右方向の動きと、加減速によって生じる前後方向の動きの組合せにより実現される。本研究では、車線変更と加減速のモデルを組み合わせ、車線変更のタイミング、走行速度、加減速度、車間距離の決定に関わるパラメータによって、アグレッシブ、一般的、安全志向の三種類の異なるドライバ特性を反映する運転挙動モデルを構築し、自動運転車と従来車両の関係性を再現する。

### 3.1 車線変更モデル

車線変更モデルでは、周辺車両の速度や車間距離に基づき、個々の車両が車線変更を実施するかを判断する。このモデルは、周辺車両の状況や目的地までの距離に基づき、車線変更の必要性の判定と、安全な車線変更条件の判定を行い、それらの条件が満たされた際に車線変更を実施する。2.2 節で述べられているように、交差点や合流部のない直線道路において、交通流に影響を及ぼす車線変更行動の代表的な動機として、(i) 目的地へ向かうため、(ii) 前方車を追い越すため、(iii) 速度の大きい後続車に進路を譲るため、が挙げられる。本研究では、これらの車線変更行動における車線変更の必要性の条件（必要性条件）、および安全に車線変更を実施できる条件（安全条件）を定めることで、各行動のモデル化を行う。

#### 3.1.1 目的地へ向うための車線変更

一般に、ドライバは目的地までの距離が短くなるにしたがい、目的地と直接接続する車線（目的車線）へと移動する。したがって、目的地へ向かうための車線変更行動は、

ドライバタイプに応じて異なる、目的地までの残距離（以下、単に残距離）の閾値（ $D_{th}$  で表す）を基本とし、目的車線までの必要移動車線数（ $\Delta l$  で表す）を加味して決定する。具体的には残距離（ $d$  で表す）が以下の式 (1) を満たす場合、必要性条件が満たされるとする。

$$d \leq D_{th} * \frac{\Delta l + 1}{2} \quad (1)$$

例えば  $\Delta l = 1$  であれば、 $d \leq D_{th}$  が条件であり、 $\Delta l > 1$  であれば  $\Delta l$  に応じた残距離で必要性条件が成立することがわかる。

### 3.1.2 前方車を追い越すための車線変更

前方車を追い越すための車線変更は、同一車線上に前方車（ $f$  とする）が存在するために、現在の走行速度が希望走行速度に達しておらず、かつ自車が隣接車線に移動することで、走行速度の向上が見込める場合に生じるとする。自車の希望走行速度と前方車  $f$  の走行速度の差  $\Delta v_f$  と、前方車  $f$  の走行速度と変更後車線に存在する前方車  $f'$  の走行速度の差  $\Delta v_{ff'}$  がともにドライバタイプごとに異なる閾値（ $V_{th}$ ）を超えたとき、後述する追い越しのための車線変更の必要性判定を行う。式 (2) として定めることができる。

$$\Delta v_f \geq V_{th} \wedge \Delta v_{ff'} \geq V_{th} \quad (2)$$

この式を満たすとき、文献 [18] に従い、前方車両との車間距離に応じて式 (3) で求められる確率に基づき、車線変更の必要性条件が満たされるとする。具体的には、自車が走行中の車線に存在する前方車との車間距離を  $gd$ 、自車速度を  $v$  としたとき、前方車にこれ以上近づけない距離（最低車間距離）を  $GD_{MIN}$ 、車線変更の必要性を満たす確率を  $P$  で表す。 $GD_{MIN}$  は、前車追従時の加減速を求める式 (8) により求められる。この式からわかるように、前方車との車間距離が短くなるほど車線変更を実施する確率が高くなる。

$$P = \begin{cases} 1 & (gd \leq GD_{MIN}) \\ (\frac{GD_{MIN}}{gd})^2 & (gd > GD_{MIN}) \end{cases} \quad (3)$$

### 3.1.3 進路を譲るための車線変更

進路を譲るための車線変更は、速度の大きい後続車や、車間距離を詰める後続車に対して進路を譲る場合に生じるとする。後続車  $b$  の走行速度と自車の希望走行速度の差  $\Delta v_b$  が、ドライバタイプごとに異なる閾値（ $V_{yth}$ ）を超えたとき、もしくは後続車  $b$  と自車との車間距離  $gd_b$  が、自車の最低車間距離  $GD_{MIN}$  を下回るとき、進路を譲るための車線変更の必要性が生じるとする。この車線変更が生じる条件式は式 (4) で表すことができる。

$$gd_b \leq GD_{MIN} \vee v_b \geq V_{yth} \quad (4)$$

### 3.1.4 安全条件

自車が安全に車線変更を実施できるか否かを判断する安

全条件について述べる。安全条件は、(i) 車線変更先の後続車  $b'$  との車間距離  $d_{b'}$  が最低車間距離以上、(ii) 車線変更先の前方車  $f'$  との車間距離  $d_{f'}$  が最低車間距離以上、(iii) 車線変更を実施した後の、車線変更先の後続車の減速度  $\tilde{b}_{b'}$  が、自車が許容できる最大減速度  $b_{safe}$  を超えない、(iv) 車線変更を実施した後の、自車の減速度  $\tilde{b}_b$  が、自車が許容できる最大減速度  $b_{safe}$  を超えない、の 4 つの条件で構成され、これらの全ての条件を満たすとき、車線変更を安全に実施できると判定する。安全条件は、式 (5) で表すことができる。

$$d_{b'} \geq GD_{MIN} \wedge d_{f'} \geq GD_{MIN} \wedge \tilde{b}_{b'} \leq b_{safe} \wedge \tilde{b}_b \leq b_{safe} \quad (5)$$

## 3.2 加減速モデル

加減速モデルは、現在の時刻における自車の速度や周辺車両の速度、車間距離などに基づき、次の時刻における加速度を決定することで、車両の挙動を定める。加減速に関する挙動は、前方に他の車両が存在せず加速が自由に行える状況で走行する場合（自由走行時）と、前方に他の車両が存在し、前方の車両に追従して走行する場合（前車追従時）の二種類に分類され、それぞれの状況について、異なる加減速モデルを構築する。

### 3.2.1 自由走行時の挙動

自由走行時の加速度は式 (6) に基づき定められる。現在の時刻における自車の走行速度を  $v(t)$ 、自車が許容できる加速度の最大値を  $a_{safe}$ 、自車の希望走行速度を  $v_d$ 、シミュレーションの時間間隔を  $ts$  で示す。

$$\frac{dv(t+1)}{dt} = \begin{cases} 0 & (v(t) = V_d) \\ V_d - v(t) & (V_d - a_{safe} * ts \leq v(t) \leq V_d) \\ a_{safe} & (v(t) \leq V_d - a_{safe} * ts) \end{cases} \quad (6)$$

この式により、自車の走行速度が希望速度に達している場合は、加速を行わずその速度を維持し、一方、自車の走行速度が希望速度に達していない場合は、加速度を  $a_{safe}$  に設定し、加速する。ただし、加速度を  $a_{safe}$  に設定された際、次の時刻における速度が希望速度を超過する場合は、次の時刻における速度が希望速度を超えないよう、加速度を調整している。なお、自由走行時は、減速する必要が生じないため、減速は実施されず、加速のみが為される。

### 3.2.2 前車追従時の挙動

自車の前方に走行車両が存在する場合、ドライバは前方車に追従するように自車の速度を調整する。前方車への衝突を避ける減速および滑らかな加速を表現できる Intelligent Driver Model (IDM) [13] に基づき、前車追従時の加速度を定める。停車時の最低車間距離を  $gd_0$ 、自車と前方車の希望車頭時間を  $T$ 、現在の時刻における前方車の速度を  $v_f(t)$  で表した際の前車追従時の加速度を式 (7) に示す。

$$\frac{dv(t)}{dt} = a[1 - (\frac{v(t)}{v_d})^4 - (\frac{GD_{MIN}}{gd})^2] \quad (7)$$

$$GD_{MIN} = gd_0 + T * v(t) + \sqrt{\frac{v(t)(v_f(t) - v(t))}{2\sqrt{a_{safe}b_{safe}}}}$$

### 3.3 パラメータによるドライバタイプの表現

本研究では、運転挙動モデルにおける条件式で利用する各種パラメータの値により各ドライバタイプの運転特性を反映する。提案手法ではアグレッシブドライバ、一般的ドライバ、安全志向ドライバの三種類のドライバタイプを想定するとともに、自動運転車は事故や乗員が不快に感じることを避けるために安全に運転し、安全志向ドライバと同様の運転を行うものと仮定する。各ドライバの特徴を以下に示すとともに、運転挙動モデルのパラメータ値を、表1に示す、

- アグレッシブドライバ  
目的地に一刻も早く到達できるよう、希望速度は、制限速度を大幅に超過したものとなっており、最大加減速度が大きく、車間距離は小さい。また、目的地へ向うための車線変更を開始するタイミングが遅い。さらに、走行速度が希望速度に達していない場合、希望速度に到達するために、空いている車線に積極的に車線変更し、場合によっては、自車が走行している車線の左隣の車線からの追い越しも実施する。
- 一般的ドライバ  
希望速度は、制限速度付近で、最大加減速度や車間距離、目的地へ向うための車線変更を開始するタイミングは、アグレッシブドライバと安全志向ドライバの中間値をとる。追い越しは必ず右側の車線から行い、左側の車線からの追い越しは考慮しない。
- 安全志向ドライバ  
希望速度は、制限速度以下で、最大加減速度は小さく、車間距離は大きい。また、目的地へ向うための車線変更を開始するタイミングが早く、追い越し車線を走行している場合は、速度の大きい後続車に進路を譲るための車線変更を積極的に行う。
- 自動運転車  
安全志向ドライバと同様の特徴を持つ。但し、各種パラメータの値は全車均一である。

## 4. 混在環境における交通マイクロシミュレーションによる車両挙動の分析

本章では、3章で述べた運転挙動モデルをマルチエージェントシミュレータ Scenargie 上に実装することにより、自動運転車と従来車の混在環境を再現する交通マイクロシミュレーションを実施する。このシミュレーションにおいて、自動運転車の割合に応じて、自動運転車や従来車のドライバの速度と車間距離、車線変更に関する挙動の傾向を

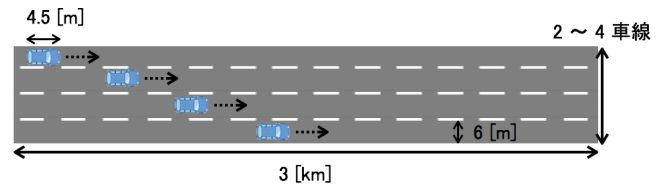


図1 シミュレーションの対象とした道路環境

分析している。

### 4.1 想定する道路環境とシミュレーション条件

車両の挙動が比較的単純な、合流部や交差点の存在しない多車線の直線道路を対象とし、図1に示すように、全長3[km]、1車線あたりの幅員6[m]、片側2～4車線の道路環境において、シミュレーションを実施した。車両全長は4.5[m]の一般的な乗用車を想定する。従来車両に乗りするアグレッシブ、一般的、安全志向なドライバの数はそれぞれ15.9[%]、68.2[%]、15.9[%]の比率に従うよう定めており、自動運転車の比率を20%刻みで変化させた際の各ドライバの比率を表3に示されるような割合となっている。その他のシミュレーション条件を表2に示す。

### 4.2 シミュレーション結果

自動運転車の比率、交通量、道路の車線数毎における、各ドライバタイプの時間平均速度を図2に示す。時間平均速度は、個々のドライバの平均速度を各ドライバタイプ毎で平均したものである。

これら全ての図に示されるように、自動運転車の出現比率が増加するにつれ、アグレッシブなドライバと一般的なドライバの時間平均速度が低下する傾向が見られる。特に、アグレッシブなドライバにおいては、図(e)でわかるように、自動運転車の出現比率が0%の場合には、時間平均速度が70[km/h]であったにもかかわらず、80%の場合には、65[km/h]となっており、道路の車線数が多いほど、時間平均速度の低下が著しくなる傾向がみられた。一方、安全志向なドライバと自動運転車は、道路の車線数、交通量に関わらず、自動運転車の比率の変化に伴う時間平均速度の変化は小さく、時間平均速度はほぼ一定の値で推移している。

次に、道路/交通流シナリオの中で、特に時間平均速度の低下の傾向が著しく現れた交通量500[台/時・車線]、片側4車線の道路環境シナリオにおける、自動運転車の比率の変化に伴う車間距離の変化を図3に示す。前車追従時における加減速のモデル(IDM)においては、車間距離は速度の大きさに比例して増減するため、図3のように自動運転車の比率が増加する状況においては、時間平均速度が低下する。したがってアグレッシブドライバと一般的ドライバの車間距離は小さくなる傾向があることがわかる。

最後に、前方車を追い越すための車線変更と進路を譲

表 1 運転挙動モデルのパラメータ一覧とドライバの属性によるパラメータ値

パラメータ	参考文献	ドライバの属性			
		アグレッシブ	一般的	安全志向	自動運転
希望走行速度 ( $v_d$ ) [km/h]	文献 [19]	制限速度 +10.8 ~ +28.8	制限速度 +0 ~ +7.2	制限速度 -3.6 ~ +0	制限速度
最大加速度 ( $a_{safe}$ ) [m/s <sup>2</sup> ]	文献 [20]	2.5 ~ 3.0	1.5 ~ 2.5	1.0 ~ 1.5	1.5
最大減速度 ( $b_{safe}$ ) [m/s <sup>2</sup> ]	文献 [20]	3.5 ~ 4.3	2.1 ~ 3.5	1.4 ~ 2.1	2.1
速度向上に関する閾値 ( $V_{th}$ ) [km/h]	文献 [15]	3.6	7.2	10.8	10.8
進路譲りに関する閾値 ( $V_{y_{th}}$ ) [km/h]	文献 [15]	10.8	7.2	3.6	3.6
停止時の車間距離 ( $GD_0$ ) [m]	文献 [21]	1.0 ~ 2.5	2.5 ~ 4.5	4.5 ~ 6.0	4.5
希望車頭時間 ( $T$ ) [s]	文献 [20], [22]	0.5 ~ 1.0	1.2 ~ 1.4	1.5 ~ 2.0	1.5
目的地への車線変更開始位置 ( $D_{th}$ ) [m]	文献 [15]	目的地まで 400	目的地まで 600	目的地まで 800	目的地まで 800

表 2 シミュレーション条件

シミュレーション時間 [s]	3600
車両挙動更新間隔 [s]	1.0
交通量 [台/時・車線]	500, 1000
制限速度 [km/h]	60
車両発生車線と目的車線	ランダム
車両発生時刻	交通量をパラメータとした指数分布
自動運転車の比率 [%]	0, 20, 40, 60, 80, 100

表 3 各ドライバの出現比率

自動運転車	アグレッシブ	一般的	安全志向
0.00%	15.90%	68.20%	15.90%
20.00%	12.72%	54.56%	12.72%
40.00%	9.54%	40.92%	9.54%
60.00%	6.36%	27.28%	6.36%
80.00%	3.18%	13.64%	3.18%
100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

るための車線変更に伴う影響について分析する。交通量 500[台/時・車線]片側 4 車線の道路環境において、自動運転車の比率の変化によって、前方車を追い越したドライバの割合と進路を譲ったドライバの割合を各ドライバタイプ毎に調査した。前方車を追い越したアグレッシブなドライバの割合の変化を図 4 に示す。この図から、アグレッシブドライバと一般的ドライバは、自動運転車の比率の増加に伴い、前方車を追い越すドライバの割合が緩やかに減少し、安全志向なドライバと自動運転車は追い越しを実施することはほとんどないことがわかる。これは、自動運転車の比率が増加することで、隣接車線を走行する前方車が速度の小さい自動運転車である状況が増加し、隣接車線への移動による速度向上が期待できない状況もあわせて増加するためと考えられる。

同様に、進路を譲ったドライバの割合の変化を図 5 に示す。図 5 に示されるように、ドライバタイプに関わらず、自動運転車の比率の増加に伴い、進路を譲るドライバの割合が減少することがわかる。これは、自動運転車の比率が増加することで、安全志向ドライバや自動運転車が車線変更により隣接車線を走行する車両間へ割り込むための十分なスペースが存在しない車両間隔が増加するためと考えられる。

## 5. 結論

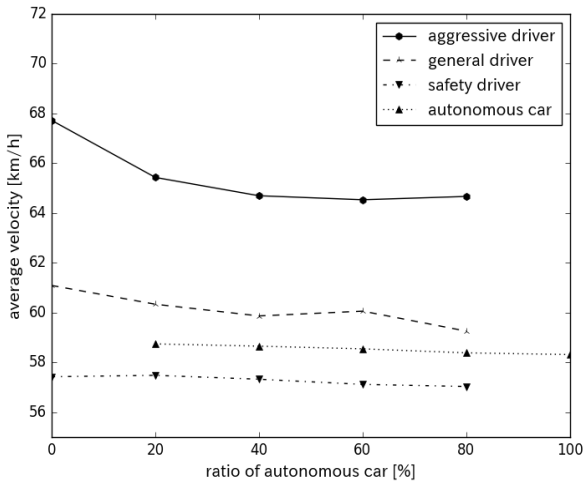
本研究では、走行速度が大きく、車間距離が小さく、積極的に追い越しのための車線変更を実施するアグレッシブドライバ、一般的ドライバ、走行速度が小さく、車間距離が大きく、進路譲りのための車線変更を適度に行う安全志向ドライバの異なる三種類の特性を有するドライバを考慮した運転挙動モデルを設計した。これらのモデルを既存のマルチエージェントシミュレータ Scenargie 上へ実装することにより、完全自動運転車と従来車が混在する環境を再現した。この環境上において交通シミュレーションを実施し、自動運転車の存在が、従来車の時間平均速度や車間距離、車線変更へ与える影響を把握した。シミュレーションの結果、アグレッシブなドライバと一般的なドライバは、自動運転車の存在により時間平均速度が減少する一方、安全志向なドライバにはその影響が及ばないことを示した。また、特定の交通環境において、自動運転車の存在は、アグレッシブなドライバと一般的なドライバの車間距離、追い越しのための車線変更挙動に影響を及ぼし、安全志向なドライバに対しては、進路譲りのための車線変更挙動に影響が及ぶことが明らかになった。今後の課題としては、ドライバ運転挙動モデルやパラメータ値の妥当性の検証が挙げられる。また、自動運転車の存在が人間のドライバの心理面に与える影響を把握し、人間が自動運転車に対して不快感を抱かないような道路環境の構築に関する提案を行っていきたく考えている。

## 謝辞

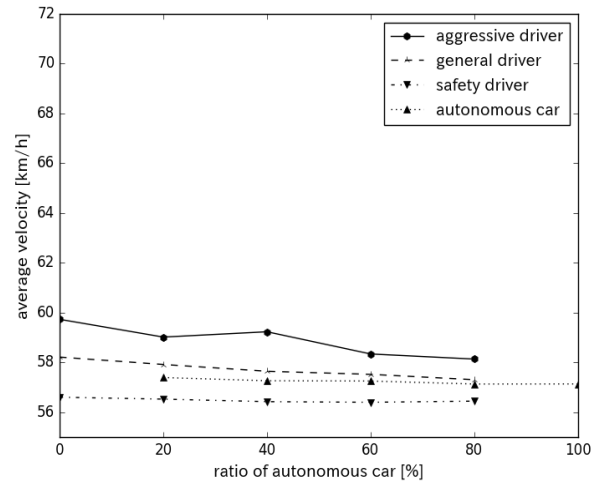
本研究の一部は JSPS 科研費 JP16KT0106 の助成を受けたものです。

## 参考文献

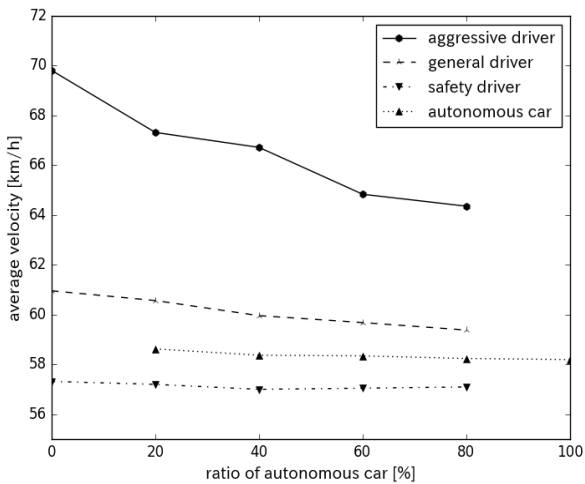
- [1] 内閣官房道路交通ワーキングチーム：第 1 回道路交通ワーキングチーム・第 2 6 回 S I P 自動走行システム推進委員会合同会議 議事次第資料 3, (オンライン), 入手先 ([http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon\\_bunka/detakatsuyokiban/dorokotsu\\_dai1/siryou3.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/detakatsuyokiban/dorokotsu_dai1/siryou3.pdf)) (参照 2017/02/07).
- [2] 自動車検査登録情報協会：自動車検査登録情報協会自動車保有台数, (オンライン), 入手先 (<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html>) (参



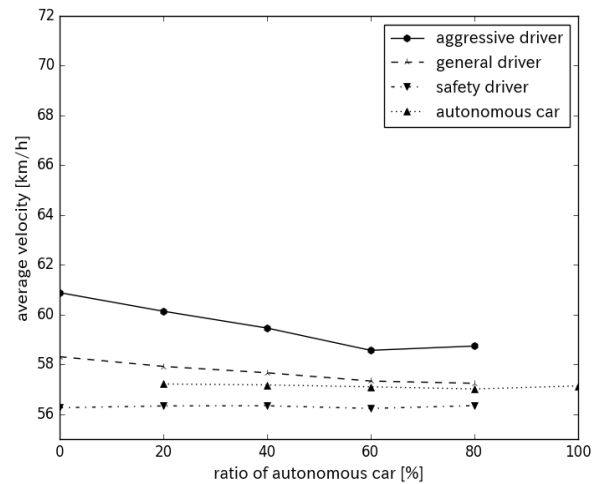
(a) 交通量 500[台/時・車線], 片側 2 車線



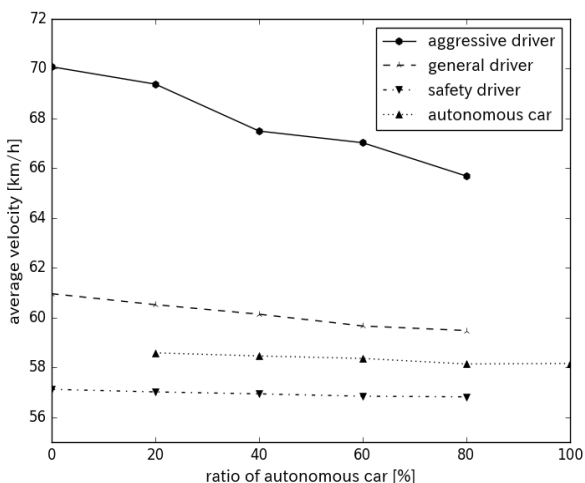
(b) 交通量 1000[台/時・車線], 片側 2 車線



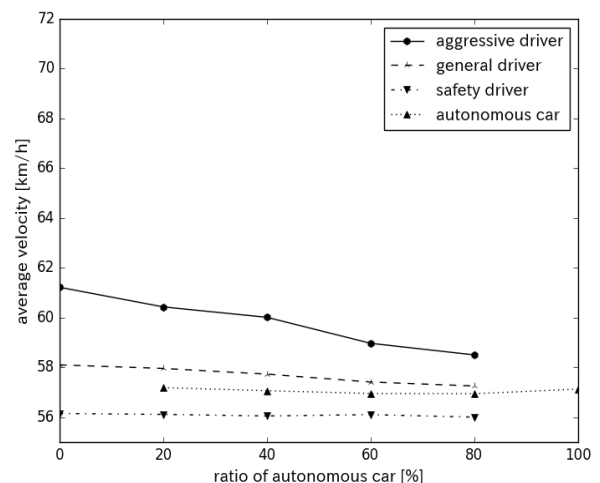
(c) 交通量 500[台/時・車線], 片側 3 車線



(d) 交通量 1000[台/時・車線], 片側 3 車線



(e) 交通量 500[台/時・車線], 片側 4 車線



(f) 交通量 1000[台/時・車線], 片側 4 車線

図 2 ドライバタイプ毎の自動運転車の比率による時間平均速度

照 2017/02/07).

[3] Goodyear, London School of Economics: A Study on

How Drivers Feel about Interacting with Autonomous Vehicles on The Road, (online), available from (<http://>



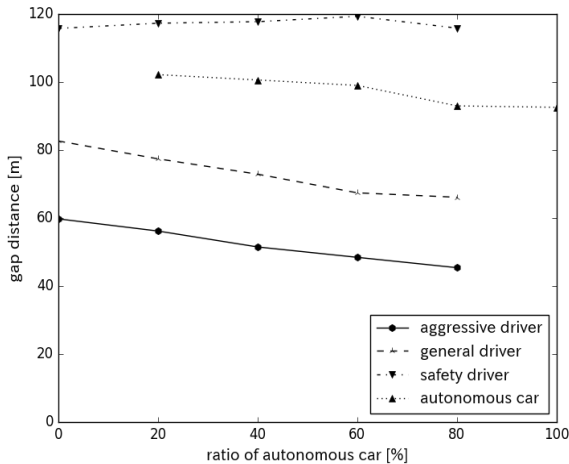


図 3 自動運転車の比率の変化による車間距離の変化  
(交通量 500[台/時・車線], 片側 4 車線)

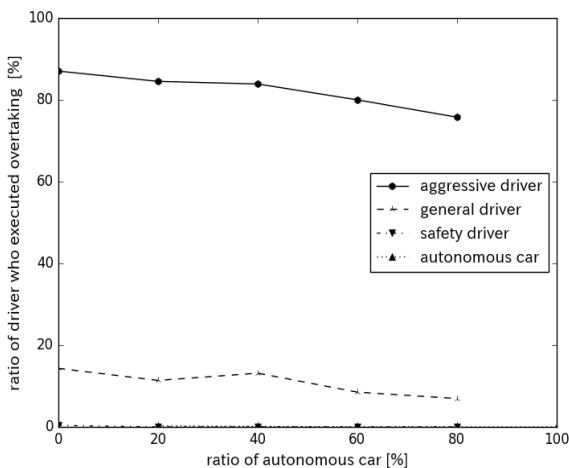


図 4 前方車を追い越したドライバーの割合の変化  
(交通量 500[台/時・車線], 片側 4 車線)

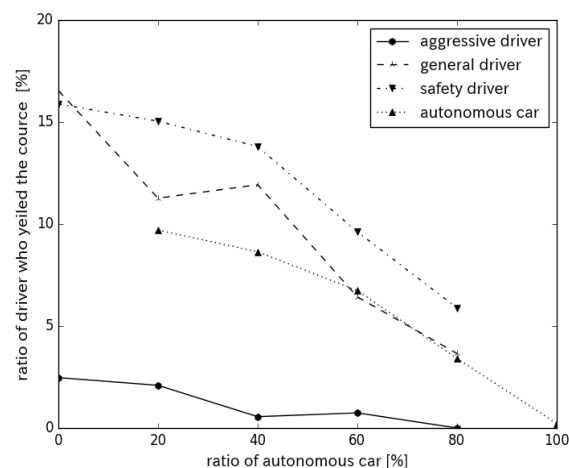


図 5 進路を譲ったドライバーの割合の変化  
(交通量 500[台/時・車線], 片側 4 車線)

[//www.lse.ac.uk/website-archive/newsAndMedia/PDF/AVs-negotiating-a-place-on-the-road-1110.pdf](http://www.lse.ac.uk/website-archive/newsAndMedia/PDF/AVs-negotiating-a-place-on-the-road-1110.pdf) (accessed 2017/02/07).

[4] Amazon Technologies, Inc.: LANE ASSIGNMENTS

FOR AUTONOMOUS VEHICLES, US Patent 9,547,986 B1 (2017).

- [5] Space-Time Engineering, LLC: Scenargie 2.1, (online), available from (<http://www.spacetime-eng.com/jp/products.html>) (accessed 2017/02/08).
- [6] 構造計画研究所: 交通シミュレーション PTV Vision, (オンライン), 入手先 ([http://www4.kke.co.jp/ptv-vision/vissim\\_top.html](http://www4.kke.co.jp/ptv-vision/vissim_top.html)) (参照 2017/02/01).
- [7] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz: SUMO Simulation of Urban MObility: An Overview, *Proc. of The Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, pp. 1–6 (2011).
- [8] Paramics Microsimulation: S-Paramics, (online), available from (<https://www.aimsun.com/aimsun/>) (accessed 2017/02/01).
- [9] R. Wiedemann, U. Reiter: Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state, Technical report, CEC Project ICARUS (V1052) Final Report (1992).
- [10] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz: SOUND: A traffic simulation model for oversaturated traffic flow on urban expressways, *The 7th World Conference on Transportation Research*, pp. 1–15 (1995).
- [11] H. Mori, H. Kitaoka, and E. Teramoto: Traffic Simulation for Predicting Traffic Situations at Expo 2005, Vol. 41, No. 4, pp. 45–51 (2006).
- [12] W. Burghout, H. Koutsopoulos, and I. Andrasson: Hybrid mesoscopic-microscopic traffic simulation, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1934, pp. 218–225 (2005).
- [13] M. Trieber, A. Hennecke, and D. Helbing: Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, *Physical Review E*, Vol. 62, pp. 1805–1824 (2000).
- [14] J. Eggert, F. Damerow, and S. Klingelschmitt: The Foresighted Driver Model, *Proc. of 2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2015)*, pp. 322–329 (2015).
- [15] P.G. Gipps: A behavioral car following model for computer simulation, Vol. 15, No. 2, pp. 105–111 (1981).
- [16] F. Marczak, W. Daamen, and C. Buisson: Key variables of merging behaviour: empirical comparison between two sites and assessment of gap acceptance theory, *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, Vol. 80, pp. 678–697 (2013).
- [17] M. Wang and W. Daamen and S. P. Hoogendoorn and B. van Arem: Cooperative Car-Following Control: Distributed Algorithm and Impact on Moving Jam Features, *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 17, No. 5, pp. 1459–1471 (2016).
- [18] T. Umedu, K. Isu, T. Higashino and C. K. Toh: An Intervehicular-Communication Protocol for Distributed Detection of Dangerous Vehicles, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 59, No. 2, pp. 627–637 (2010).
- [19] 神谷 枝里, 浅田 貴将, 安井一彦: ドライバーの規制速度に対する意識と実勢速度に関する研究, 日本大学理工学部学術講演会論文集, Vol. 38, pp. 347–348 (2009).
- [20] M. Treiber: Longitudinal Traffic Model: The IDM, (online), available from (<http://www.trafficsimulation.de/IDM.html>) (accessed 2017/02/08).
- [21] トヨタ交通安全センタ: 自分を計る、停止車間距離, (オンライン), 入手先 ([https://www.toyota.co.jp/mobilitas/anzen/vol129\\_1.html](https://www.toyota.co.jp/mobilitas/anzen/vol129_1.html)) (参照 2017/02/07).
- [22] 越 正毅, 片倉 正彦: 自動車交通流の車頭時間間隔分布, 生産研究, Vol. 19, No. 11, pp. 344–345 (1967).