

ACC 車両の混在比率が異なる交通流の安全性・円滑性評価 Evaluation of Safety and Efficiency of Traffic Flow with Different Proportion of ACC Vehicles

飯田 克弘¹, 和田崎 泰明², 多田 昌裕³, 筑後 智弘⁴, 安 時亨⁵, 澤田 英郎⁶, 紀ノ定 保礼⁷
Katsuhiko IIDA¹, Yasuaki WADASAKI², Masahiro TADA³, Tomohiro CHIKUGO⁴, Sihyoung AN⁵, Hideo SAWADA⁶ and
Yasunori KINOSADA⁷

近年、交通事故・渋滞の削減を期待して自動車の自動運転技術の開発が進められている。しかし、自動運転技術を搭載した車両が一般車両と混在した際に、交通の安全性・円滑性にどのような影響が生じるのかという、道路・交通管理上の課題は十分検討されていない。本稿では、自動運転技術の根幹をなす ACC (Adaptive Cruise Control) に着目して、ドライビング・シミュレータを用いた室内走行実験により、ACC を搭載した車両の混在が交通流の安全性・円滑性に与える影響を調査した。その結果、ACC を搭載した車両の混在比率の上昇により交通流率が改善する事例や追突事故リスクが低減する事例を確認した。また、追突事故リスク増加の要因であるドライバーの反応遅れは、ACC 車両の混在による影響を受けない可能性が示唆された。

Keywords: 交通流特性, ACC, 自動運転, ドライビング・シミュレータ

1. はじめに

近年、交通事故の削減や渋滞の緩和を期待して、自動車の自動運転技術の開発が進められている。政府^{1),2)}は、2020 年に高速道路での自動運転を実現することを目標に、2017 年には公道での大規模な実証実験を行うことを発表している。また、2016 年 8 月には、同一車線での自動運転が可能な乗用車が発売されており³⁾、自動運転技術の社会実装は現実のものとなりつつある。

しかし、社会実装に向けた課題は山積しており、政府が 2016 年 5 月に発表した『官民 ITS 構想・ロードマップ 2016』⁴⁾では、表 1 のように課題が整理されている。

表 1 自動運転技術の実用化に向けた課題

制度面	システムへの過信により安全性が低下しないような HMI (Human Machine Interface) 設計に関するガイドラインの検討
技術・インフラ面	ダイナミックマップの普及に向けた体制の整備
社会受容面	自動運転技術を搭載した車両が消費者や周辺ドライバーに受け入れられるための課題の明確化

これらの課題のうち、HMI やダイナミックマップに関

しては、内閣府が同年 10 月に発表した『自動走行システム研究開発計画』⁵⁾においても、重点化を図るべき課題として位置付けられており、官民を挙げた開発が進められている。これに対し、社会受容面に関しては、受容性醸成に向けた一般市民に対する広報については言及されているものの、周辺ドライバーへの影響についての言及は見られない。ここで、警察庁が同年 5 月に発表した『自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン』⁶⁾では、自動運転技術が交通の安全性・円滑性の確保に支障を及ぼす可能性を指摘している。これらの状況を踏まえると、公道での実証実験が計画されている現在、自動運転技術による交通流やドライバーへの影響を把握することは、道路交通安全・円滑性を担保するうえで極めて重要である。

そこで、本稿では、自動運転技術の根幹をなし、近年普及が進む ACC (Adaptive Cruise Control) に着目し、ACC の普及レベルに応じた交通流やドライバーへの影響を調査する。

既に ACC による交通流への影響を調査した研究は多数報告されている。例として、ACC による渋滞緩和効果をそれぞれサグ部や合流部で検討した鈴木ら⁷⁾や、Kesting et al.⁸⁾の研究が挙げられる。しかし、これらの研

-
- 1 正会員, 博士 (工学), 大阪大学大学院工学研究科
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 e-mail: iida@civil.eng.osaka-u.ac.jp Phone: 06-6879-7611
 - 2 正会員, 修士 (工学), 日本工営株式会社
 - 3 正会員, 博士 (工学), 近畿大学理工学部
 - 4 非会員, 近畿大学理工学部
 - 5 正会員, 博士 (工学), 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社
 - 6 正会員, TOE, 西日本高速道路エンジニアリング関西株式会社
 - 7 非会員, 博士 (人間科学), 大阪大学大学院人間科学研究科
-

究では、交通流シミュレーションを基に検討を行っているため、ドライバーの異質性は考慮されていない。そこで、これを反映でき、かつACCを搭載した車両（以下、ACC車両）の混在比率が統制可能なドライビング・シミュレータ（以下、DS）を用いた調査が有効となる。

また、DSを用いた既往研究には、ACC使用時に急カーブや霧への対応が遅れることを指摘した Vollrath et al.⁹⁾の研究など、ACC使用時のドライバーの挙動に着目したものが多い。しかし、交通流への影響を把握するためには、ACC車両が混在した交通流中を走行する周辺ドライバー、特に、ACC車両に追従するドライバーに対しても、その挙動を明らかにする必要があると考えられる。しかし、そのような研究は見当たらず、まして、ACC車両の混在比率と関連付けた研究は存在しない。

以上を踏まえ、本稿では、DSでの室内走行実験によって、ACC車両の混在が交通流に与える影響を安全性・円滑性の観点から調査した。

2. 室内走行実験

2.1 実験概要

実験の概要を表2に示す。なお、データが取得できた32名の平均年齢は22.0歳であった。また、被験者の運転頻度および高速道路の利用頻度を表3に示す。

表2 実験の概要

日時	2016年6～8月内の平日19日間
場所	大阪大学大学院工学研究科
被験者	運転免許を保有する学生33名（男性31名、女性2名、うち1名（男性）がシミュレータ酔いにより実験を中止したため、データが取得できた被験者は32名）

表3 運転頻度別の被験者数 [人]

		高速道路利用頻度	
		年1回未満	年1回以上
自動車	月1回未満	14	6
運転頻度	月1回以上	4	8

2.2 実験手法

被験者の運転特性の違いを考慮した交通流を作成するために、DSを用いて、大口・飯田¹⁰⁾が開発した追従積重ね実験を実施した。追従積重ね実験とは、ある被験者が走行する際に、その被験者より前の被験者の走行記録に基づく車両が前方に描画され、被験者はそれらに追従して走行する実験である。この試行を積み重ねることで、様々なドライバーが同時に同一の道路空間上を走行する交通流の作成が可能となる。

2.3 車両の再現方法

被験者には、ACC車両と、ACCを搭載していないマニュアル操作（Manual Driving）が必要な車両（以下、MD車両）の2種類の車両で模擬走行してもらった。

(1)ACC車両の再現方法

ACC車両の加速度は、以下に示す制御ロジックに基づいて自動調整されるアクセル・ブレーキ開度によって決定されることとした。

- ・ 前方車両が監視距離（本実験では120mに設定）以内に存在しない、または前方車両の速度が目標速度よりも速い場合、設定した目標速度となるよう、アクセル・ブレーキ開度を自動調整（Cruisingモード）。
- ・ 前方車両の速度が目標速度より遅い場合、目標車間距離で追従するよう、アクセル・ブレーキ開度を自動調整（Followingモード）。

ここで、目標速度は80～120km/h間で10km/h刻みで選択可能とし、慣熟走行（2.6節）の後、被験者を選択してもらった。そして、目標車間距離は、0km/h：5m、100km/h：45mとして、速度から直線補完することで計算することとした。

また、現時点でACCはドライバーの操作を支援するシステムと位置付けられていることから、ドライバーがアクセル・ブレーキを一定量以上踏み込んでいる間は、ACCよりもドライバーの操作が優先（オーバーライド）されることとした。

(2)衝突被害軽減ブレーキ

車両には、ACCの有無によらず、衝突被害軽減ブレーキ（Collision Mitigation Brake System、以下、CMBS）を搭載した。CMBSは、ACCとは別の安全運転支援システムの1つであるが、現在市販されている車両に広く標準搭載されているため、本実験で再現する車両にもこの機能を搭載した。

CMBSは一般にTTC¹¹⁾（Time To Collision）を評価指標として制御されていることから¹²⁾、本実験もこれに準拠した。具体的には、TTCが4秒未満になると前方に黄色で「BRAKE!」と警告が表示され（図1左）、TTCが2秒未満になると前方に赤色で「BRAKE!」と警告が表示されるとともに（図1右）、開度100%でブレーキが作動する。なお、分析対象とする交通流（3章）において、CMBSによるブレーキが作動したケースは無かった。

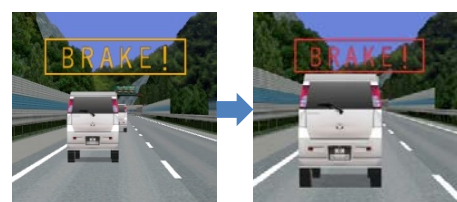


図1 CMBSによる「BRAKE!」の表示

(3)ACC・CMBSの制御パラメータの決定

本実験では、実車（BMW 420i DBA-3N20（平成26年型）、MAZDAATENZA LDA-GJ2FW（平成26年型））と操作時の感覚が類似することを確認しながら、前述の監視距離等の制御パラメータの値を試行錯誤的に決定した。

2.4 道路モデルと分析対象区間

使用した道路モデル（図2）は、既往研究¹³等で走行結果の現況再現性が確認された複数の区間（中央自動車道（拡幅前）と山陽自動車道、高松自動車道）を、道路構造令・高速道路設計要領に準拠して設計した調整区間で結合することで作成したものである。このうち、表4に示す、線形要素の異なる3区間（図2赤線部）を分析対象とした。なお、いずれの区間も片側2車線である。

表4 分析対象区間

区間名	区間 (kp)	線形要素	設計速度の目安
中央道区間	1.0～3.0kp	サグ	100km/h
山陽道区間	5.0～7.0kp	上り勾配	120km/h
高松道区間	8.5～10.0kp	急カーブ	80km/h

2.5 交通流の作成

(1)混在比率パターン

本実験では、ACC車両の混在比率が10%および50%の交通流を2パターンずつ作成した。10%という値は、2014年でのACCの普及率が8.4%¹⁴とされていることを踏まえて設定した。また、混在比率50%の交通流から、ACCがさらに普及したときの影響が把握できる。これらに加えて、混在比率0%、つまりACC車両が存在しない交通流を1パターン作成した。作成した交通流のパターン（以下、混在比率パターン）を表5に示す。

表5 混在比率パターン

混在比率	0%	10%	50%
パターン名	0A	10A 10B	50A 50B

(2)走行開始時の条件

走行開始時の車線（走行/追越車線）は被験者間条件とし、走行開始時の速度は、走行開始時点における1人前の被験者の速度とした。そして、密な交通流と作成できるよう、走行開始時の前方車両との車頭時間は2秒とした。この値は、NEXCO西日本関西支社管轄の高速道路における交通集中渋滞の多発地点での臨界流を参照して決定した。

(3)先頭車群

被験者が交通流の先頭付近を走行する場合、前方に車両が存在しなければ、運転への違和感や速度調整への困惑を覚えると想定される。そこで、先頭車両を含む6台（走行/追越車線3台ずつ）の車両軌跡は、予め筆者らが前述の交通流を意識して走行し、作成した（先頭車群）。つまり、1人目の被験者の車両は7台目となる。これにより、初期条件を統一したうえで、被験者は違和感なく密な交通流下で模擬走行をすることが可能となる。

2.6 実験の手順

はじめに、被験者は実験に係る注意事項や個人情報の取扱いについて説明を受け、同意書に記名押印する。その後、DSの操作方法や走行するコース、ACCやCMBSについて説明を受ける。

次に、DSの操作やACCに慣れるための慣熟走行を行う。走行に慣れたことを確認した後、データ取得のための本走行を行う。このとき、被験者は、以下の条件を順守して走行するよう教示を受ける。

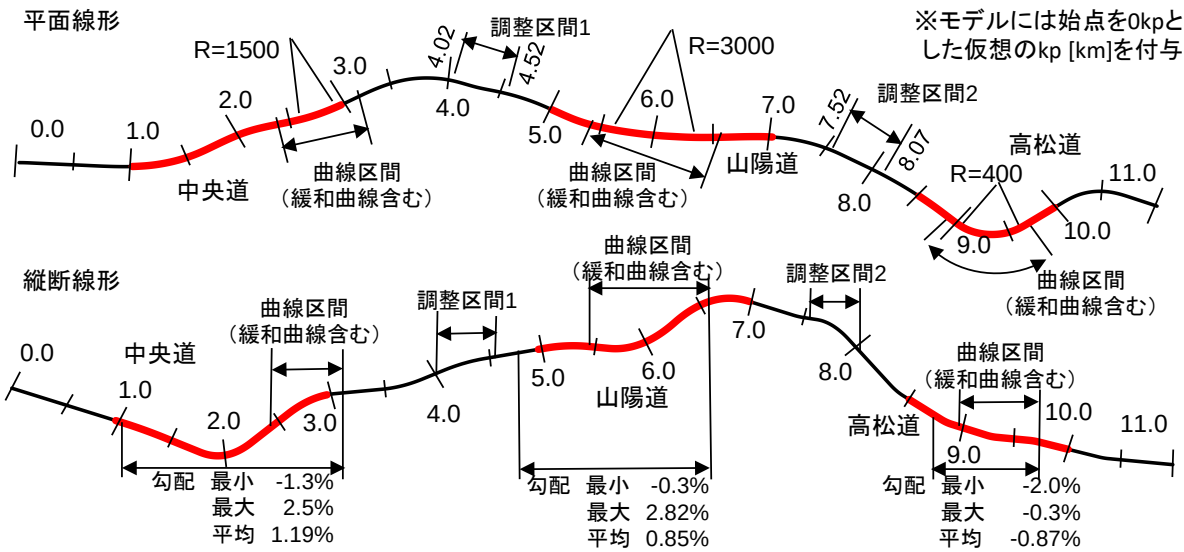


図2 道路線形図

- ・ 前方車両の姿が見えなくなることがないように、周囲の車両の流れに沿って走行する。
- ・ 走行速度や車線変更は普段通りで構わないが、側壁や周辺車両等に接触してはいけない。

これらの条件に合致しない場合、再度走行させた。なお、順序効果が生じないよう、走行する混在比率パターンの順はランダムとした。

本走行を混在比率パターン別に全被験者に対して積み重ねることで、先頭車群を含め計 38 台からなる交通流を作成した。また、速度や走行位置など、被験者の走行記録は 1/66 秒毎に記録される。

3. 混在交通の円滑性評価

本章以降、実験で作成した交通流に関する分析結果を述べる。ここで、車両は走行/ 追越車線いずれにも存在するが、本稿ではそのうち走行車線の交通流を分析対象とする。これは、自動車の運転頻度や高速道路の利用頻度が低い者（表 3）を中心に、走行車線での走行を選好した被験者が存在した結果、走行車線の方が、2.5(2)項で意図した密な交通流になっているためである。

はじめに、分析対象区間別に各混在比率パターンの交通流率を比較する。そのうえで、速度コンター図（3.1 節で詳述）から車両軌跡を確認し、ACC 車両が交通流の円滑性に与える影響を精査する。

3.1 中央道区間

はじめに、中央道区間とその前後における交通流率の推移図を図 3 に示す。サグ部の上り勾配区間である 2.0 ~ 3.0kp において、パターン 10A の交通流率が大きく低下している。一方、パターン 50A と 50B では、2.0kp では 10A と同程度の交通流率であり、その後低下しているが、10A ほど顕著には低下していない。

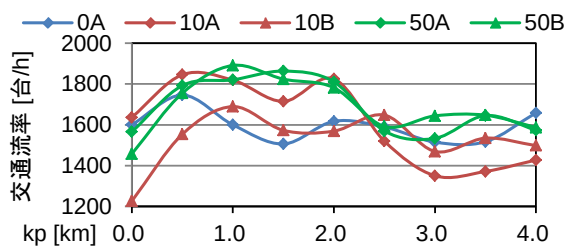


図 3 中央道区間における交通流率の推移

そこで、速度コンター図を参照し、車両軌跡から上記の現象の発生状況を確認する。

ここで、速度コンター図とは、縦軸を走行位置 (kp)、横軸を実験開始からの経過時刻として、先頭車群 (2.5(3) 項) を含む各車両の軌跡を描画した Time-Space 図に、各車両の地点速度から算出される等速度線を重畳した図である。車両軌跡の線が途切れている場合は、その地点で

車両が車線変更をしたことを表す。また、ACC 車両の軌跡を太線で示し、必要に応じて被験者の ID を赤色の数字で示してある。

パターン 10A と 50A の速度コンター図を縦断線形図と合わせて図 4 に示す。この図から、10A の ID19 (MD 車両) は 2.0kp (サグ底部) 付近から減速を始め、2.1kp 付近では 70km/h 近くまで減速していることが読み取れる。一般に、サグ部の上り勾配区間では、勾配変化への反応が遅れて速度低下が生じることが知られており¹⁵⁾、ID19 より前方の車両も 2.0kp 以降で 80km/h まで減速している。したがって、ID19 は前方車両との車間距離を維持しようとした結果、70km/h まで減速したと考えられる。これに伴い、上り勾配であることも相まって、2.1kp 以降で ID19 の車頭距離が増加している。このような速度低下や車頭距離の増加といった擾乱によって交通流率の低下に至ったと理解できる。

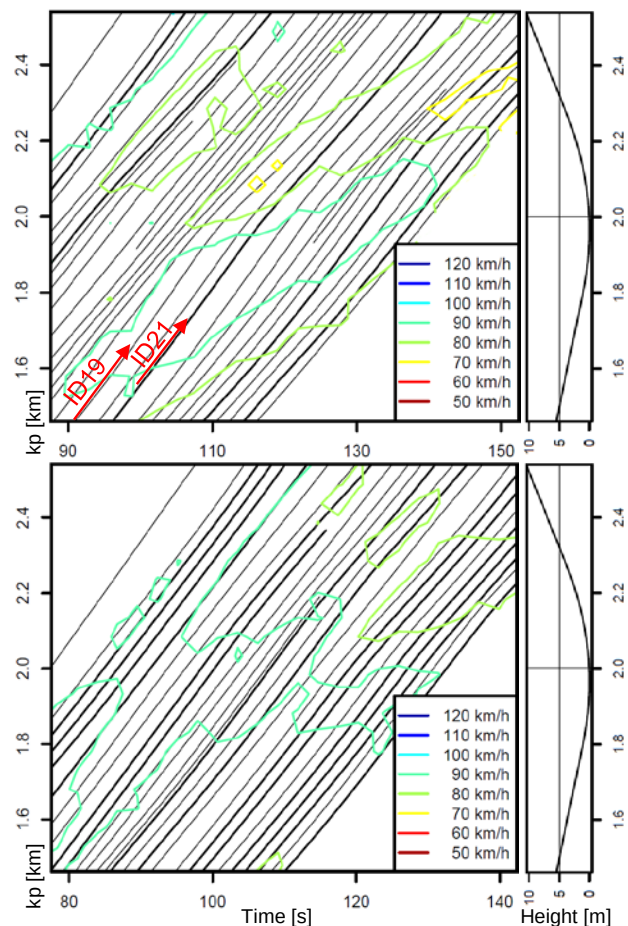


図 4 パターン 10A(上)と 50A(下)の速度コンター図

一方、ID19 の 2 台後方を走行する ID21 (ACC 車両) は、車頭距離を一定に維持したまま追従しているのが確認できる。これは、ACC が道路線形の影響を受けず（効果①）、かつ前方車両の加減速に対して遅れることなく緩やかに反応して追従すること（効果②）に起因すると考えられる。

そこで、パターン50Aの速度コンター図を参照すると、前述の速度低下や車頭距離の増加はほとんど見られない。ACC 車両の混在比率の上昇に伴い、前述の効果①、②の発生頻度が高まったことが要因と考えられる。さらに、ACC 車両の後方を走行する MD 車両も、車頭距離を維持したまま追従していることが確認でき（効果③）、交通流全体の整流化につながっている。以上のメカニズムによって、交通流率が低下しやすいサグ部を有する中央道区間において、ACC 車両の混在比率が 50% のとき、交通流率が改善したと考えられる。

3.2 山陽道区間

次に、山陽道区間とその前後における交通流率の推移図を図 5 に示す。パターン 0A では、区間始端から交通流率が大きく低下しており、6.5kp で最低値となっていることが確認できる。一方、パターン 50A と 50B の交通流率は、4.5kp ではパターン 0A と同程度だが、その後 5.0～7.0kp では 0A と異なり、比較的高い値で推移している。

そこで、パターン 0A と 50B の速度コンター図を確認すると（図 6）、0A では車頭距離が大きい場面が多数確認できる。例えば、パターン 0A の ID5（MD 車両）は、6.0～6.3kp にかけて 100km/h 以上で走行している一方、後続の ID7 は 100km/h 未満で走行しており、この間の車頭距離が大きいことが確認できる。ここで、山陽道区間は最大 2.82% の上り勾配を有するものの（図 2）、緩やかな平面曲線のため設計速度は 120km/h であり、高速で走行しやすい区間である。ドライバーが各自の希望速度で走行した結果、車頭距離が増加する場面が多数生じ、交通流率が低下したと理解できる。

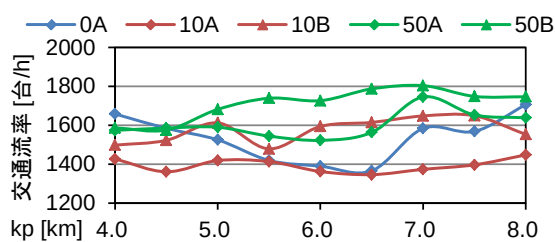


図 5 山陽道区間における交通流率の推移

一方、パターン 50B では 80～90km/h で走行する車両が多数を占めており、全体的に速度が低いことが確認できる。ACC 車両は道路線形の影響を受けない（効果①）ということは、オーバーライドしない限り設定した目標速度を超える速度で走行しないことを意味する。「ACC だと操作が楽になるので、オーバーライドして加速しようとは思わない」という休憩時の被験者の発言も考慮すると、ACC 車両で走行する被験者の多くが ACC に速度制御を委ね、さらに、MD 車両で走行する被験者が ACC 車両に追従した結果、速度が低くなったと理解できる。

しかし、同時に ACC の効果②によって交通流が密になったことで、交通流率は高い値を維持したと考えられる。

このように、高速で走行しやすい道路線形の場合、ACC 車両の混在比率が高くなると、ACC 車両の速度制御によって、混在比率が低いときに比べて速度が相対的に低くなる一方、速度が低下しても車間距離制御により交通流率の低下には至らないことが確認された。

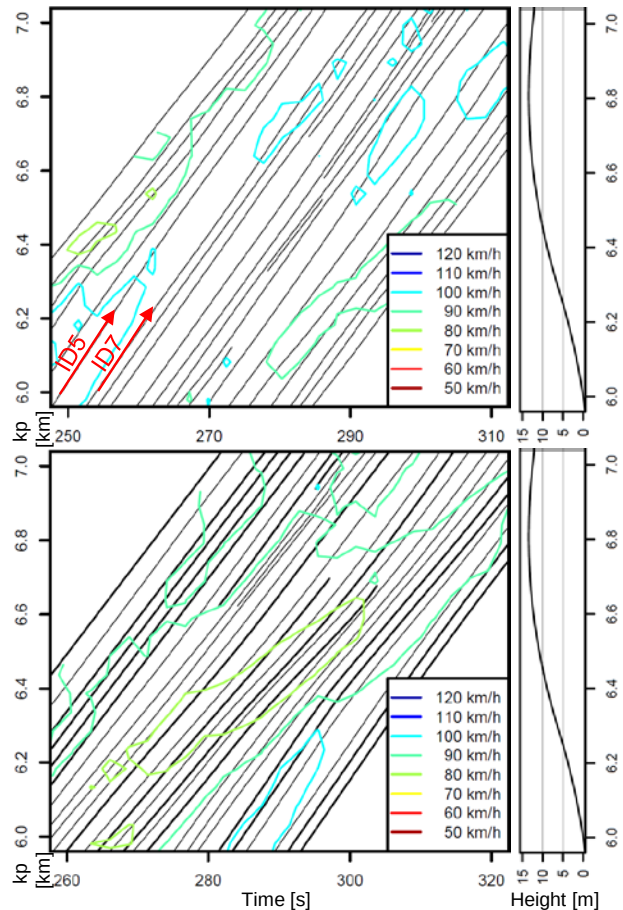


図 6 パターン 0A(上)と 50B(下)の速度コンター図

3.3 高松道区間

最後に、高松道区間とその前後における交通流率の推移図を図 7 に示す。曲線区間進入直後の 9.0～9.5kp において、パターン 10B と 50B で交通流率が低下しており、特に 10B で顕著に低下していることが確認できる。

そこで、パターン 10B と 50B の速度コンター図を確認する（図 8）。10B では、多くの車両が曲線区間進入に伴い減速し、9.2kp 付近で 50～60km/h まで減速していることが読み取れる。中でも ID26 は、前方車両の速度回復後、車頭距離が増加し、緩和曲線区間を過ぎても車頭距離が大きいままである。同様の状況は ID11、32（ともに MD 車両）にも認められる。このようにして、車頭距離が増加した場面が多数生じた結果、交通流率が低下したと理解できる。

一方、ID30（ACC 車両）は、車頭距離を一定に維持し

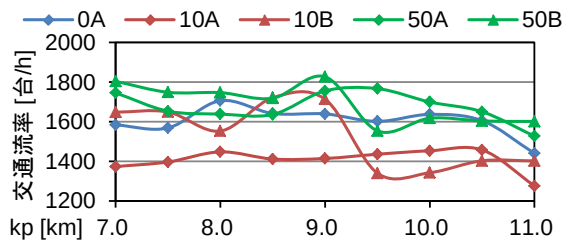


図 7 高松道区間における交通流率の推移

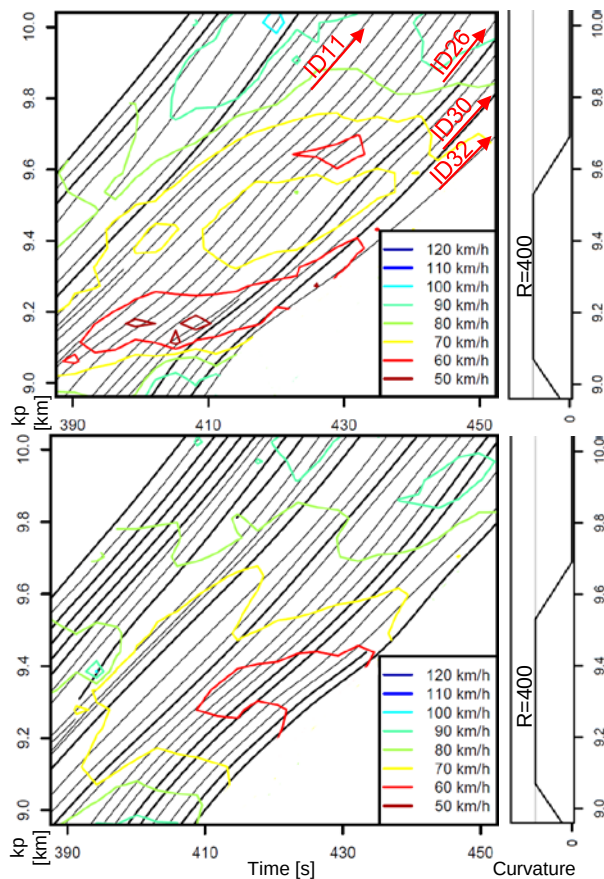


図 8 パターン 10B(上)と 50B(下)の速度コンター図

たまま前方車両に追従しており、上述の ID26 などで確認された車頭距離の増加は見られない。これは、3.1 節で指摘した ACC の効果①、②によるものと考えられる。

その結果、ACC 車両の混在比率が 50%の 50B では、車頭距離増加の要因となる MD 車両の割合が低下することで、10B ほど交通流率が低下しなかったと考えられる。以上のことから、急カーブを有する高松道区間において、ACC 車両の混在比率が高くなると、ACC の車間距離制御による交通流率の改善が確認できた。

4. 混在交通の安全性評価

本章では、コンフリクト指標の 1 つである PICUD と、ドライバーの反応遅れ時間を求めることで、ACC 車両による交通流への影響を安全性の観点から把握する。

4.1 コンフリクト指標を用いた安全性評価

コンフリクト指標の 1 つである PICUD¹⁶⁾を各車両に対して算出する。PICUD は式(1)で定義され、前方車両が急減速した場合に、後続車両が反応遅れを伴い急減速して、両者が停車したときの相対的な位置を表している。PICUD が負値の場合は、前方車両の急減速に対して、後続車両が急減速しても衝突を回避できない可能性を示す。ここで、反応遅れ時間と減速時の加速度は、既往研究¹⁶⁾にならない、 $T = 1$ 秒、 $a = 3.3\text{m/s}^2$ とした。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - \left(V_2 T + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (1)$$

ここに、 V_1 、 V_2 、 s_0 ：前方車両の減速開始時における前方車両の速度 [km/h]、後続車両の速度 [km/h]、車間距離 [m]、 T ：反応遅れ時間 [s]、 a ：減速時の加速度 [m/s²]。

各車両の PICUD を 20m おきに求め、各地点において PICUD が負値となった車両の全車両に対する割合を負値 PICUD 検出率として算出する (図 9)。すなわち、ある地点で負値 PICUD 検出率が高いことは、その地点における潜在的な追突事故リスクが高いことを表している。

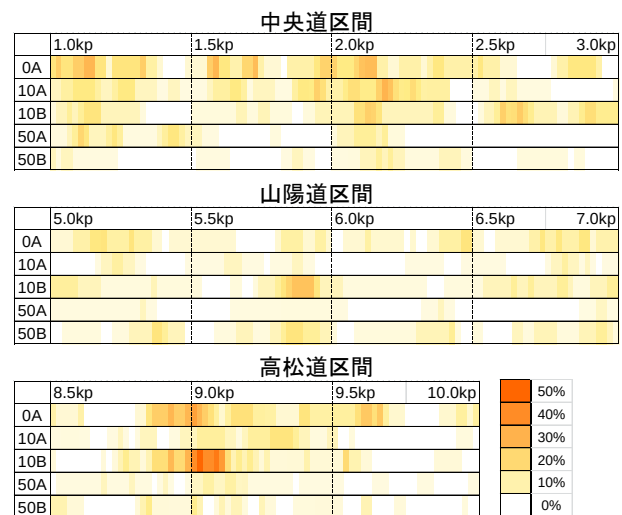


図 9 負値 PICUD 検出率

図 9 から、中央道区間では、全体的に混在比率が 0% のときに負値 PICUD 検出率が高く、混在比率の上昇に応じて検出率が低下していることが読み取れる。そこで、2.0kp (サグ底部) 付近を対象に、特徴的な挙動が確認された車両に着目し、上記結果が得られた要因を考察する。

図 10 に、パターン 0A、50A における、ID16 とその前方車両の速度と PICUD の推移図、Time-Space 図を示す。0A では、前方車両の減速に対して 5、6 秒近い反応遅れを伴い、ID16 (MD 車両) が減速していることが読み取れる。これにより、ID16 と前方車両の車頭距離が低下した結果、PICUD も急激に低下して負値になったと理解できる。このように MD 車両の場合、前方車両の減速に対する反応遅れにより、追突事故リスクが高い状態になりやすいと考えられる。一方、パターン 50A では、ID16

(ACC 車両) は前方車両の減速に対してほとんど遅れることなく減速を始めている。その結果、車頭距離の低下は生じず、PICUD も正值を維持している。このようにして、ACC 車両の混在比率増加により追突事故リスクが低下したと考えられる。

また、山陽道区間では、5.9kp 付近において、パターン 10B で負値 PICUD 検出率が高いものの、区間全体では低いことが確認できる。これは、中央道区間や高松道区間とは異なり、減速などの大きな速度変化が生じていないためと考えられる。

そして、高松道区間では、中央道区間と同様に、パターン 0A で負値 PICUD 検出率が高く、パターン 10A, 50A, 50B は 0A よりも検出率が低いことが確認できる。しかし、パターン 10B では、9.0kp 付近において 0A よりも検出率が高く、中央道区間の結果とは整合しない。ここで、図 8 から、10B では 9.0kp 前後で速度が急激に 50～60km/h まで低下していることが読み取れる。負値 PICUD 検出率が高い地点と速度低下が生じた地点がほぼ一致していることから、ACC が導入されても、交通流に擾乱が発生すると事故リスクは高まることが示唆される。換言すれば、ACC 車両の混在比率が向上すれば交通流の整流化が期待できるため (3.1 項)、追突事故リスク増加の契機となる擾乱の発生を抑制することが期待される。

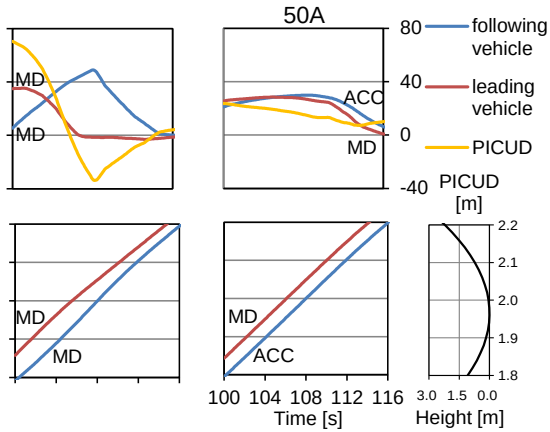


図 10 中央道区間での車両挙動と PICUD (ID16 とその前方車両)

4.2 反応遅れ時間と ACC 車両混在の関連性

図 10 より、ドライバーの反応遅れが追突事故リスク増加の要因であることが確認できた。そこで、反応遅れに ACC が影響しているのか、それとも運転特性などの他の因子の影響が卓越しているのかを検討する。はじめに、追従挙動モデルを導入し、MD 車両で走行する各被験者に対して、反応遅れ時間を推定する。本稿では、式 (2) で定義される Gazis et al.¹⁷⁾ のモデルを適用する。

$$a_{n+1}(t+T) = \alpha \frac{\{v_{n+1}(t)\}^m}{\{x_n(t) - x_{n+1}(t)\}^l} \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\} \quad (2)$$

ここに、 $a_n(t)$, $v_n(t)$, $x_n(t)$: 時刻 t における車両 n の加速度 [m/s^2], 速度 [km/h], 走行位置 [m], T : 反応遅れ時間 [s], n , $n+1$: 前方車両, 追従車両, α, m, l : モデルパラメータ。

既往研究¹⁸⁾と同様に $m = l = 0$ として、各変数の時系列変動の相互相関分析により、ドライバーの反応遅れ時間 (制御のむだ時間) を推定する。具体には、式 (2) に対して、反応遅れ時間 T [s] を +5 秒まで 0.1 秒ずつずらし、追従車両の加速度と相対速度間の相互相関係数が最大となる T の値を、その車両の反応遅れ時間 T [s] として算出する。これにより、分析対象区間別・混在比率パターン別に、被験者ひとりひとりの反応遅れ時間が求まる。

ただし、以下の条件を満たすサンプルは、追従挙動モデルへの適用が不適当と考えられるため、分析対象から除外する。

- ・ 前方車両との車間距離が 120m を超えることがある (一般に車群の定義は車頭時間が 3 秒以内であるが¹⁹⁾、本稿では ACC の前方車両の監視距離を 120m としていること (2.3(1) 項) を踏まえ、車間距離 120m を閾値とする)。
- ・ 分析対象区間内で、前方車両が車線変更をする、または前方に車線変更をしてくる車両が存在する。
- ・ 反応遅れ時間が 5 秒以上または相関係数が 0.5 未満。

得られた反応遅れ時間について、分析対象区間別に、混在比率 (0/ 10/ 50%)、前方車両 (ACC/ MD 車両)、被験者の運転頻度 (低/ 高) を因子とする多元配置分散分析を行う。ここで、運転頻度は表 3 において自動車運転頻度が月 1 回未満、かつ高速道路利用頻度が年 1 回未満の被験者を「運転頻度低」と、それ以外を「運転頻度高」と分類した。

分析の結果、中央道区間および山陽道区間において、運転頻度のみ 5% 有意水準で主効果が認められたため、運転頻度別に反応遅れ時間を比較する。表 6 から、中央道区間、山陽道区間ともに、運転頻度低のグループの方が反応遅れ時間が有意に長いことが分かる。前節より、反応遅れが追突事故リスク増加の要因であること、また、ACC によって追突事故リスクの低下が期待できることが確認されている。したがって、ACC による安全性向上は、特に運転頻度の低いドライバーに有効と言えよう。

表 6 運転頻度別の反応遅れ時間の平均値 (*: $p < .05$)

運転頻度	中央道区間	山陽道区間	高松道区間
低	2.79 秒	3.07 秒	2.45 秒
高	2.35 秒	2.34 秒	2.06 秒

一方、それ以外の因子の主効果および因子間の交互作用は有意には確認できず、反応遅れ時間から評価した場合は、前方車両の種類や、ACC 車両の混在比率はドライ

バーの反応遅れに影響しないことが示唆される。このことは、ACC 車両が周辺ドライバーに与える影響が大きくはないことを、安全性の観点から示唆するものである。

5. おわりに

自動車の自動運転技術の社会実装が推進される一方、自動運転技術を搭載した車両が交通流や周辺ドライバーに与える影響はほとんど議論されていない。本稿ではACCに着目し、ACC 車両の混在比率が異なる交通流をDSで作成し、ACCによる交通流への影響を安全性・円滑性の観点から把握することを試みた。以下に本稿での成果を記す。

- ・ サグや急カーブを有する区間では、ACC 車両の混在比率が 0、10%のときに交通流率の低下が確認された一方、50%ときはそれが改善される。
- ・ 道路線形が緩やかな区間では、混在比率が 50%のときは速度が相対的に低くなるものの、ACC の車間距離調整によって交通流率の低下には至らない。
- ・ これらの変化は、道路線形の影響を受けず、かつ前方車両の加減速に緩やかに反応する ACC 車両と、その ACC 車両に追従する車両の増加に起因する。
- ・ 追突事故リスクは ACC 車両の混在比率上昇に伴い低下する。ただし、速度低下などの擾乱が発生した場合、追突事故リスクの増大に留意する必要がある。
- ・ 追従走行時の反応遅れ時間は、ACC 車両の混在比率よりもドライバーの運転頻度に依存する。

以上の知見から、ACC の普及によって道路交通の安全性・円滑性の向上が期待される。ただし、本稿では交通流の挙動に着目しており、ドライバーの心理・生理状態までは検討できていないため、ACC 車両の混在がドライバーの心理・生理状態に与える影響を検討することが今後の課題として求められる。このような課題を残すものの、本稿は自動運転技術の社会実装が進む道路交通を管理するうえで有用となる一定の成果を上げたと言える。

謝辞

本稿の一部はタカタ財団平成 28 年度助成研究の補助を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) 首相官邸：未来投資に向けた官民対話，http://www.kantei.go.jp/jp/97_abe/actions/201511/05kanmin_taiwa.html，2015。（2016.05.02）
- 2) 内閣府：プレスリリース「自動走行システム」の大規模実証実験の実施について，<http://www8.cao.go.jp/cstp/kaisaiannai/20161115sipadus.pdf>，2016。（2017.01.13）
- 3) 日本経済新聞朝刊：自動運転車、普及段階に，2016.09.09
- 4) 首相官邸：官民 ITS 構想・ロードマップ 2016，2016.
- 5) 内閣府：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 自動走行システム研究開発計画，2016.
- 6) 警察庁：自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン，2016.
- 7) 鈴木一史・山田康右・堀口良太・岩武宏一：高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果，交通工学論文集，第 1 巻第 2 号（特集号 B），pp. 60-67，2015.
- 8) Kesting, A., Treiber, M., Scho, M. and Helbing, D.: Adaptive cruise control design for active congestion avoidance, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 16, Issue. 6, pp. 668-683, 2007.
- 9) Vollrath, M., Schleicher, S., Gelau C.: The influence of Cruise Control and Adaptive Cruise Control on Driving Behaviour -A Driving Simulator Study, Accident Analysis and Prevention, Vol. 43, Issue 3, pp. 1134-1139, 2011.
- 10) 大口敬・飯田克弘：高速道路サグ部における追従挙動特性解析におけるドライビング・シミュレータ技術の適用性，交通工学，Vol.38, No.4, pp.41-50, 2003.
- 11) Hayward, J. C.: Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger, Highway Research Record, vol. 384, pp. 24-34, 1972.
- 12) 澤田東一・廣瀬敏也・春日伸予・銭谷真拓：衝突被害軽減ブレーキシステムの評価に関する研究，国際交通安全学会誌，Vol. 3, No. 4, pp. 13-20, 2008.
- 13) 飯田克弘・藤原一雅・河井健・大口敬：室内実験による渋滞現象の再現性検討と渋滞発生過程における交通流分析，第 13 回交通工学研究発表会論文集，pp. 13-16, 2002.
- 14) 日本自動車連盟：ACC に関するアンケート調査，http://www.jaf.or.jp/eco-safety/safety/environment/enq/2014_03.htm，2014。（2016.05.06）
- 15) 越正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，第 371 号，IV-5, pp. 1-7, 1986.
- 16) 飯田恭敬・宇野伸弘・井坪慎二・菅沼真澄：織込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化，土木計画学研究・講演集，No.24(1)，pp.305-308, 2001.
- 17) Gazis, D. C., Herman, R. and Rothery, R. W.: Nonlinear Follow-the Leader Models of Traffic Flow, Operations Research, Vol.9, pp. 545-567, 1961.
- 18) 金子哲也・大口敬・飯田克弘・渡邊亨：ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究，土木計画学研究・講演集，No. 23, pp. 801-804, 2000.
- 19) 大口敬・片倉正彦・鹿田成則：高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究，高速道路と自動車，44 巻，12 号，pp.27-34, 2001.