

ドライビングシミュレータを利用した 赤信号切り替わり情報提供時の車両挙動分析

中山 達貴¹・中村 俊之²・宇野 伸宏³・山崎 浩気⁴・山村 啓一⁵

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C 1-438)

E-mail:nakayama@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院 工学研究科

E-mail: nakamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学経営管理大学院

E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院 工学研究科

E-mail: yamazaki@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁵学生会員 京都大学大学院 工学研究科

E-mail: yamamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究は、追突事故削減を目的として、国道を模した道路の信号交差点を対象に、赤信号への切り替わりに着目した ITS 技術による情報提供がドライバーの運転行動に与える影響について、ドライビングシミュレータを用いた実験により運転挙動の分析を行うものである。ITS 技術を活用した情報提供として本実験では車載器での音声による情報提供に着目し、現在多くの国道で交通安全対策として実施されている看板による情報提供のケースを対象に比較分析を行った。分析結果から、音声による情報提供は、交通安全対策として、何も対策を行わなかった場合や、看板による情報提供を行った場合と比較して、速度変化が緩やかになるとともに、交差点直前において、急ブレーキ発生の抑制につながる知見が得られ、赤信号切り替わり時の情報提供が追突事故削減に寄与する可能性を示した。

Key Words : *signalized intersection, driver information system, vehicle behavior, driving simulator*

1. はじめに

我が国では年間 665,138 件 (平成 24 年) の交通事故が発生している¹⁾。とりわけ死傷者や重症者を伴う悲惨な交通事故は後を絶たず、被害者やその家族の苦しみはさることながら、加害者さらには加害者家族にまでも想像を絶する苦痛を与えるものとなる。また社会的にみれば、1 つの交通事故により、多重追突事故のような連続的な事故を誘発したり、渋滞をはじめとする交通の円滑性を阻害する要因にもなりうる。交通事故の発生は、個人、社会の両面から大きな損失であることは間違いない。

ここで実際に起こった交通事故の形態に着目すると、交通事故は一般道、特に自動車、自転車、人が錯綜する交差点部において多く発生しており、その中でも車両間での追突事故が事故件数において高い割合を占めていることが報告されている。実際の交差点での追突事故の発生状況を想像してみると、比較的道幅の広い一般道では多くの交差点に信号機が設置されており、この信号機の黄信号から赤信号への切り替わり時に、黄信号で交差点

進入をあきらめ停止線で停止した前方車両へ、後続車が追突するという事例が挙げられる。

このような追突事故に対して、国土交通省では交差点に差し掛かる直前に後続車への注意喚起のために路面のカラー舗装や、標識の設置など様々な方法によるハード面の対策を施してきた。こうした対策は交通事故削減に向けて一定の効果を上げてきたが、こうした対策は既に全国的に行われており、「追突注意」の標識などは多くの道路に設置されているため、本来あるべき看板の効果が徐々に薄くなってきている可能性がある。

一方、自動車メーカーを中心に交通安全分野においても近年積極的に ITS 技術の開発、導入が進められている。例えば、自動ブレーキシステム (プリクラッシュセーフティシステム) や安全運転支援システム (DSSS) などが挙げられる。ITS 技術の進展により、将来的には個々のドライバーに個別の情報提供を行うことのできる可能性が見込まれており、今後交通安全に大きく寄与することが報告されている。しかし、実際このような技術がドライバーの運転行動にどのような変化をもたらすのかに

ついて、これまでも研究事例^{2) 3)}は見られるものの、情報提供と車両挙動に基づく有効性を示す十分な検証がなされてきたとは言いがたい。そのため、こうした ITS 技術に対してドライバーがどのように反応し、どれほど交通事故削減に寄与するのを見極めることが必要であると考える。

そこで、本研究ではドライバーが一般道路を走行中、前方の信号交差点に差し掛かる段階で、信号の切り替わりの情報を提供した際のドライバーの運転挙動について分析・評価を行うことを目的とする。なお、本研究で対象とする信号の切り替わり情報とは、黄から赤に変化することを車載器を通じてドライバーへ情報提供することとする。

また本研究では、車両が錯綜する交差点において信号切り替わり時のタイミングについて、同一の条件下で繰り返し走行実験を行うため、実路でのデータ収集は現実的に難しく、交通事故につながる可能性も生じる。そのため今回は、ドライビングシミュレータ（以下、DS と呼称）を用いて、実際の道路を想定した形での室内における模擬走行実験によりデータ収集を行っている。

2. DS 実験概要

(1) 実験設計

本実験では、ドライバーが走行中信号交差点に差し掛かるにあたり、常に前方に車両が存在し、被験者はその車両に追従し、黄信号になった場合にはその前方車両は基本的には加速をせずに交差点手前で停止するという実験状況を設定する。

本研究でのドライバーへの情報提供の方法として、DSSS を想定した車載器での「音声による情報提供」に着目する。DS 実験では、ドライバーが走行中信号交差点に差し掛かる際、前方の信号現示が黄から赤に替わり、前方車との追突に注意するよう促す情報が音声により提供される仕組みである。これによりドライバーは予め、前方の信号が赤に替わることを知り、信号交差点での安全な停止が期待される。また、現在事故多発交差点で実施されることが多い交通安全対策として、「追突注意」の看板による情報提供のケースを比較対象とする。すなわち、本研究での比較ケースは「追突注意」の看板の設置有無、「音声による情報提供」の有無の 2×2 の組み合わせの 4 ケースである。看板は道路の左側、交差点の手前に設置(今回は 152m)、音声提供の開始位置は看板の設置位置に合わせ交差点の 152m 手前とした。

前方車両との追突への注意喚起を行うために、本実験では常時、被験者車両の前方にトラックを走らせ、それに追従する形で走行する。前方車両をトラックとした理由は、車両の大きさから前方の視界が悪くなるため、信

号現示の認知が難しくなり、音声による情報提供の効果が発現しやすいと考えたためである。

交差点進入時の信号現示のパターンとしては、「青」・「黄から赤」・「赤」の 3 つを用意した。本実験ではこれらのうち、黄から赤に替わる交差点での運転挙動について評価を行う。この交差点の選定について、黄から赤に替える箇所が被験者にわからないようループ毎に変えて評価交差点を設定した。また黄から赤に替わる交差点への進入条件をなるべく統一するため、その評価交差点のひとつ手前の交差点の信号はすべて青にした。信号が赤の場合については、その被験者の停止基準を計測することを目的とした。そのほかに通過する評価交差点についてはすべて青信号とした。

(2) 実験対象区間

実験対象区間として、追突事故やヒヤリハットが多発している交差点を含む片側 2 車線の国道を模した道路を、DS の仮想空間上に再現し走行実験に用いた。被験者はこの道路を複数回ループさせ、繰り返し走行する。1 ループにおける始点から終点の距離は 1,100m で、その途中 4 箇所の信号交差点を設置した。各交差点はすべて同形状であり、交差点の間隔も、概ね同距離とした。また、ループの際に画面の切り替わりが発生し、実際の運転と比べ非現実的な現象が起こるため、ループの前後は被験者間の運転挙動にばらつきが出るのが考えられる。そのため、ループした直後にある交差点は評価対象外の交差点として評価には利用していない。なお、交差点直近での車線運用は、左折直進・直進・右折の 3 車線となる。

(3) 実験実施

被験者数は日常的に自動車の運転を行っている 35 名（20代：18名、30代 6名、40代 6名、50代 5名）であり、統計解析を行う上で必要数は確保している。実験にあたっては、走行実施順について 4 つのカテゴリーを設け、情報提供の順序効果を考慮した実験を設定した。また、年代や運転頻度といった被験者属性がこれら 4 つのカテゴリーによって偏りがでないように被験者を割り当てた。

本実験を実施するにあたって、被験者には十分な時間の慣熟走行を行い、DS でのブレーキ・アクセルの動作や、周辺車両を発生させた中での走行を、十分な時間反復して練習した。この慣熟走行では、指定されたスピードを保って走行できるか、信号でしっかり停止できるかなどのいくつかの項目を設定しており、慣熟走行時にそれらをすべて達成できたと判断した後に、被験者は本実験へ移った。これにより DS での運転に対して、実路での運転と比較して、異なる挙動が生じることを最小限とした。

3. 分析方法

DSからは約0.003秒から約0.05秒ごとに、その時点での自車両及び、自車両から半径200mに存在するすべての車両についての車両挙動データ（以下、ログデータと呼称）を取得できる。

第4章での分析にあたり、情報提供のための看板設置や音声案内の地点を勘案し、交差点からの距離を基に、分析対象区間を設定した（図-1）。

具体的な分析区間の設定は、音声による情報提供がなされた開始地点、信号が黄から赤に切り替わる地点を基に、情報提供未提供区間、情報提供区間、信号切り替わり区間に分け、それらを分析対象区間として定義する。なお、他実験での分析の関係上、情報提供区間は、区間2、区間3のように前半と後半に分かれている。

さらに、分析にあたり以下に示す評価指標を用いて、情報提供の効果を検証する。

(1) 走行速度

DSから取得された35名の被験者全員の走行速度を1mおきにまとめてそれらを平均し、その変化を停止線からの距離別に示す。また、前節で設定した分析区間別に、区間平均速度について差が生じているのかを、統計的な検定を行い、分析する。区間平均速度は、区間長を区間通過時間で除して得られる値として定義する。

(2) ブレーキ、アクセルの踏みこみ度合い

ブレーキの踏みこみ度合いはブレーキペダルの踏みこみがない状態を0、最大に踏み込んだ状態を1とした連続量としてデータ収集される。

(3) 最大減速度の平均値

減速度は、直近2点間のログデータの速度の減少分を時間の増分で除した値として定義し、その区間内で一番大きい値を、その区間の最大減速度として定義する。

最大減速度は、交差点での停止直前の運転状況の評価することが可能な評価指標である。最大減速度が大きいことは急ブレーキを踏んでいる状況を示していることになる。合わせて、最大減速度が発現した位置についても分析を行う。

ここで留意点として、区間4は停止直前までを区間として定めているが、停止するその瞬間の減速度が区間4における最大減速度として観測される可能性がある。そのため、分析にあたってはこの停止する際の減速度については、区間の最大値であったとしても、最大減速度としては考慮していない。今回の実験では、信号交差点で黄から赤に替わり停止することとなる区間4を分析対象区間として定める。

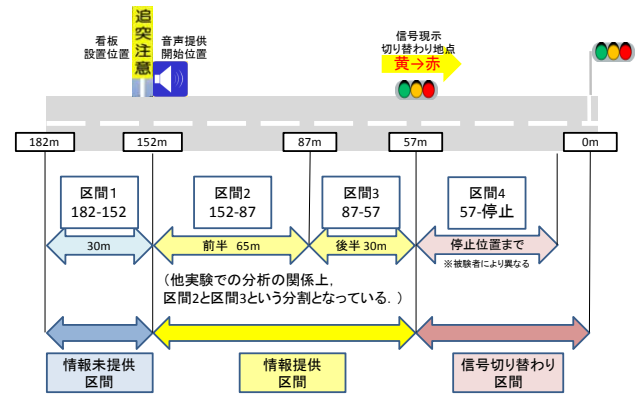


図-1 分析区間の定義

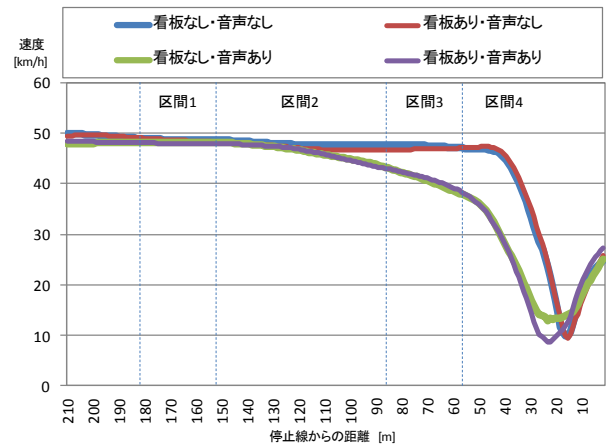


図-2 停止線からの距離別走行速度の平均値

(4) 最小PICUDの平均値

同一車線を走行する車両相互事故の潜在的危険性としてPICUD(Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration：急減速時追突危険性指標)⁴⁾を利用する。

PICUDは、前方車両が仮に急な減速を行うとした時に、後続車が反応遅れを伴い急減速するとして、両車両が停車したときの相対的な位置を表す連続量である。なお、本研究では、反応遅れ時間を0.5秒、先行車・後続車の減速時の加速度を $-5.0m/s^2$ と設定した。

その上で、DS実験で取得された走行データから算出されたPICUD値のうち、区間単位での最小値（これを最小PICUDと呼称）を比較することにより、被験者車両の潜在的な追突の危険性を評価する。

4. 情報提供の種類の違いによる分析結果

本節では、第3章にて示した評価指標を用いた、情報提供の種類の違いについて比較分析を行う。

(1) 走行速度

分析を行うにあたって、分析対象サンプル数である35名の被験者の走行速度の分布を確認し、区間別の走行状況の特徴をとらえる。前方車両がトラックの場合の1mおきに取得された被験者全員の走行速度の平均値の変化を停止線からの距離別に示したものが図-2である。

この分布からは、看板設置の有無による差異はほとんど見られないが、音声の有無では停止線までの距離が約120mから徐々に速度低下が見られる。交差点での停止の際の速度変化も音声あり・なしでその傾きも顕著に異なる。この4つのパターンを比較するため、先の節で述べた分析区間内で、t検定を用いて統計的に検証した。今回は、すべての被験者が同一の走行実験を行っているため、対応のあるサンプルのt検定を行った。その結果、表-1に示す通り、音声の有無について交差点に相対的に近い区間3,4で、統計的に1%の有意な差が確認できた。

(2) ブレーキ、アクセルの踏みこみ度合い

図-3は前方車両がトラックの場合の全分析対象被験者のブレーキの踏みこみ度合いの平均値の分布である。この分布から、看板設置の有無によるブレーキの踏みこみ度合いに差異は見られないが、音声の有無による差異に

ついては、音声ありの方は区間2、区間3からブレーキを軽く踏んでいる傾向が見られ、また区間4については音声がある場合の方がいない場合と比較して、ブレーキの踏み強さは小さいという結果を示している。表-2に示すt検定の結果、1%の有意な差が確認できた。

一方、図-4はアクセルについて、前方車両がトラックの場合の全分析対象被験者のアクセルの踏みこみ度合いの平均値の分布である。看板の有無によるアクセルの踏みこみ度合いにはほぼ差異はないといえる。一方、音声の有無による差異については、音声ありの方は区間2、区間3から交差点に近づくにつれ、アクセルの踏みこみ度合いはより小さくなっていく。また区間4については音声のない走行は信号が黄から赤に替わるギリギリまでアクセルを踏んでいる傾向にあるが、音声のある走行の方はすでに0に近い値を取っていることがわかる。表-3に示すt検定の結果、1%の有意な差が確認できた。

表-1 走行速度の平均値における対応のあるt検定

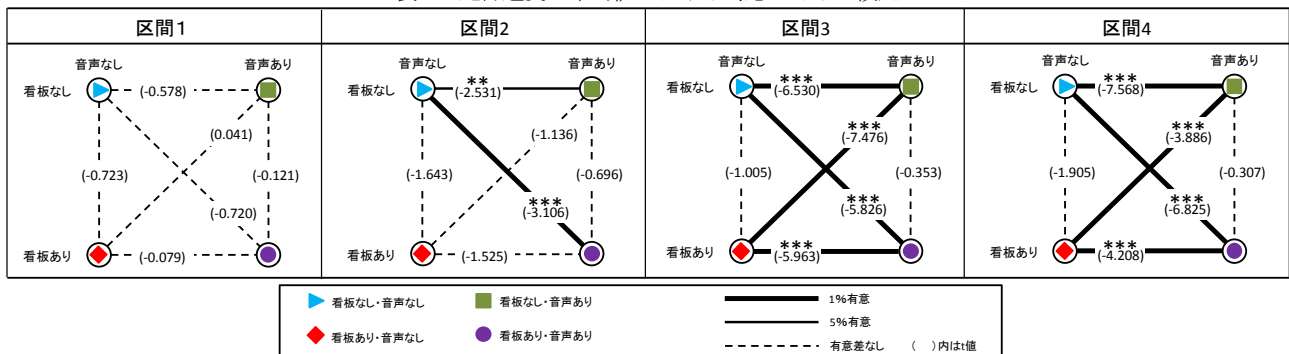


表-2 ブレーキの踏みこみ度合いの平均値における対応のあるt検定

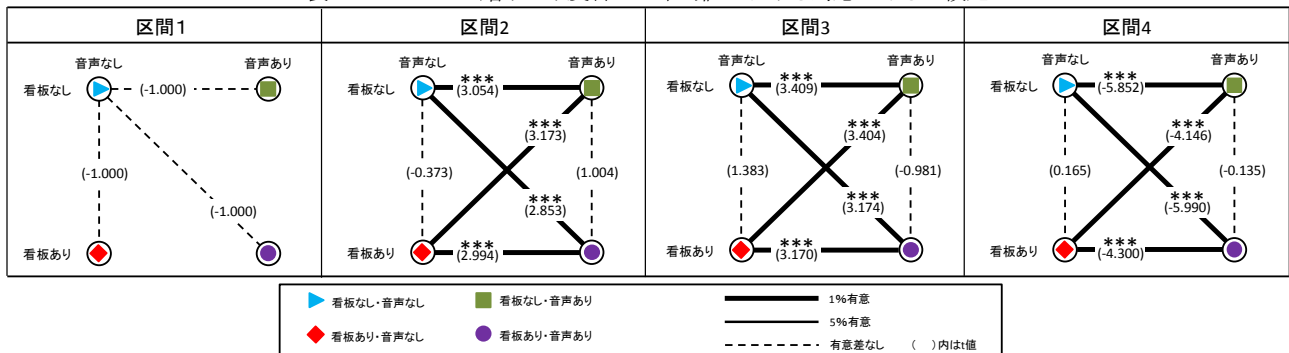
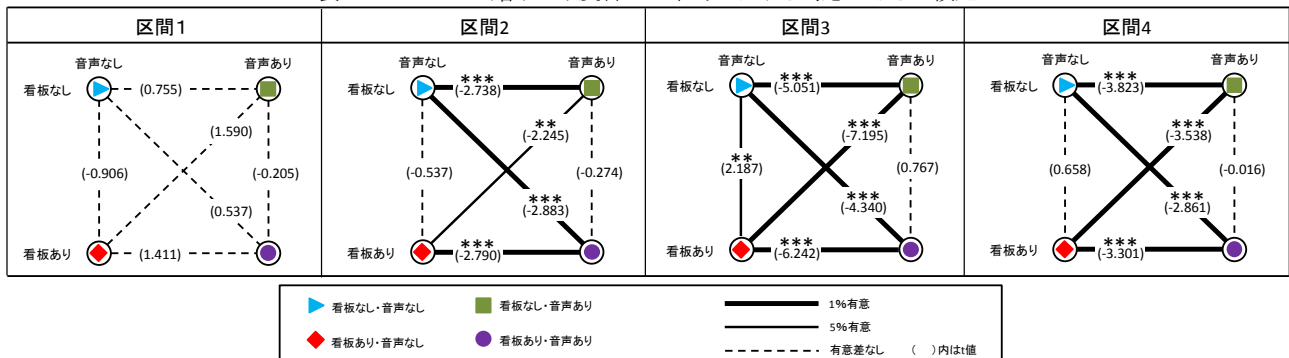


表-3 アクセルの踏みこみ度合いの平均における対応のあるt検定



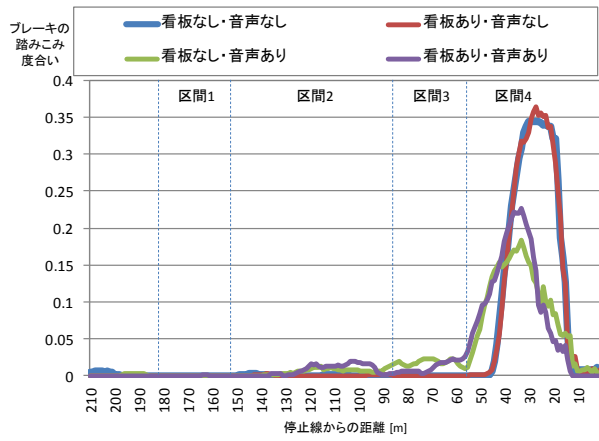


図-3 停止線からの距離別ブレーキの踏みこみ度合いの平均値

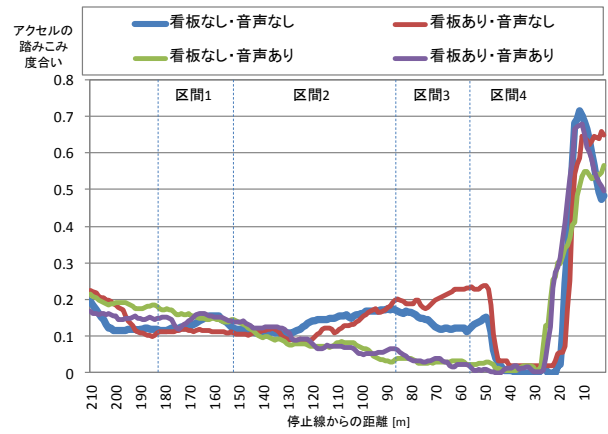


図-4 停止線からの距離別アクセルの踏みこみ度合いの平均値

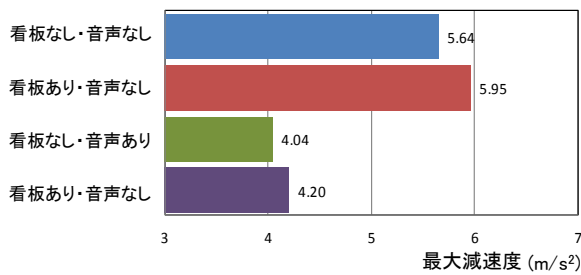


図-5 区間4における最大減速度の被験者平均値

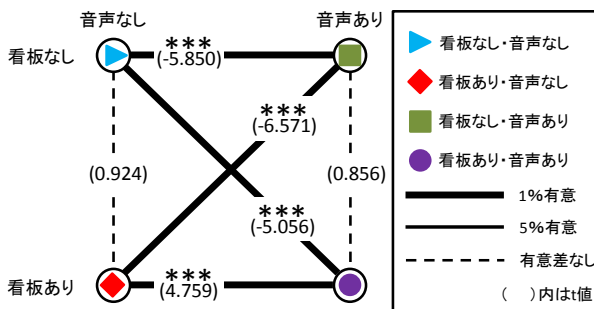


図-6 最大減速度の平均値における対応のある t 検定(区間 4)

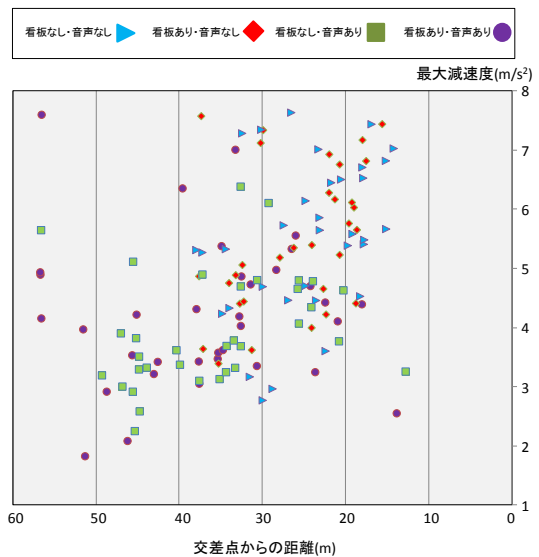


図-7 最大減速度の発生位置 (区間 4)

(3) 最大減速度の平均値

最大減速度について分析するにあたり、全被験者の各区間での最大減速度を平均し、パターン毎に分けて整理したものを図-5に示す。これを見ると、音声なしの方の最大減速度は大きくなっており、多くの被験者が急ブレーキをしているということが見て取れる。図-6に示す通り、音声の有無について区間4では、統計的に1%の有意な差が確認できた。

次に、区間4において最大減速が発生した位置について、最大減速度を縦軸に、交差点からの距離を横軸に取り示したものを図-7に示す。この散布図からわかるように、音声がない場合は交差点に近い位置でより大きな最大減速度が発生しているように見受けられる。一方で、音声がある方では交差点から離れた位置でより小さな最大減速度が観測されている傾向にあることがわかる。

(4) 最小 PICUD の平均値

最小 PICUD について分析するにあたり、全被験者の各区間での PICUD の最小値を平均し、t検定を行ったところ、表-4に示す通り、区間3、区間4において1~5%の有意な差が見られた。それらの最小 PICUD 値を各情報提供のパターン毎に分けて整理したものを図-8、図-9に示す。ここからわかることとして、区間3においては音声による情報提供のある走行の PICUD 値は著しく大きくなり、潜在的な危険性が低減していることがわかる。また、区間4については音声のない走行では看板の有無によらず PICUD 値は0に近い値を示した。つまり、音声のない走行では区間4において概して潜在的な追突の危険性が高い状況であったと言える。

表-4 最小PICUDの平均値における対応のあるt検定

区間1	区間2	区間3	区間4

	看板なし・音声なし		看板なし・音声あり		1%有意
	看板あり・音声なし		看板あり・音声あり		有意差なし ()内は値

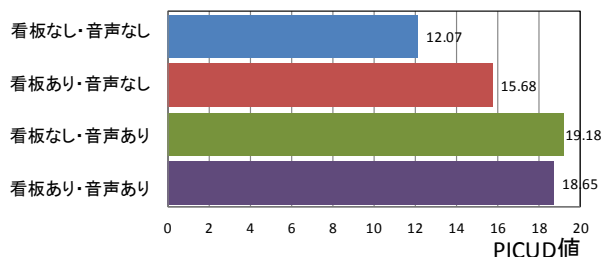


図-8 区間最小PICUDの平均値 (区間3)

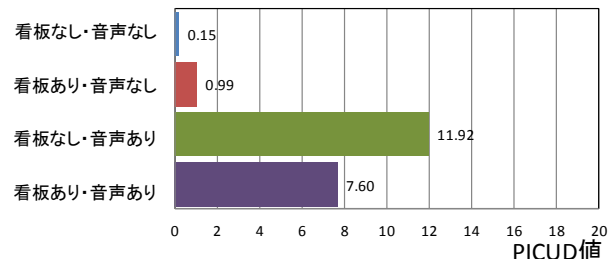


図-9 区間最小PICUDの平均値 (区間4)

5. まとめ

本研究では、将来導入が想定される交通事故削減のためのITS技術が、ドライバーの運転行動に与える影響を分析した。分析結果より、現在設置されている「追突注意」の看板による交通安全対策よりも、音声による情報提供をドライバーに行った方が、追突事故発生を抑制する効果が期待できることが示唆された。具体的には、音声による情報提供を行った時の方が、信号交差点に差し掛かるにあたって速度変化が緩やかになり、最大減速度の値が小さくなった。上述の結果から、従来設置されている注意喚起標識は、統一的な情報をドライバーに常時一律に提供しており、同じ場所を繰り返し走行しているうちに追突事故の危険が潜んでいることが希薄になっている可能性がある。それに対してITSを活用した音声による情報提供は個人の状況に即したものであり、情報の内容と実際の交通状況の乖離が小さいため情報への信頼度も高い。このことが交通事故削減につながるものと考えられる。

その一方で、こうしたITS技術を導入にあたっては課題も存在する。今回の研究では、前方車両を大型車(トラック)として実験を実施したが、前方車両が乗用車で視界が確保され、信号現示を交差点手前から目視できる場合には、音声にその効果の発現が異なることが想定される。また、本実験では音声提供の開始位置を固定して検証を行ったが、追突事故の削減に最適な提供のタイミングについても検討が必要であると考えられる。さらには、今回の分析結果は、システムの導入段階でのドライバーが

初めての経験する際の分析結果であり、恒常的に情報提供が実施された場合の情報への慣れの問題を考慮する必要があると考えられる。

なお、実路で現実にこのようなシステムを導入するに当たり、前方の信号が赤に替わる情報をドライバーに提供した際に、全てのドライバーが本当に停止に備える動作を行うのか、むしろ赤に替わることを予め知ったドライバーは加速して交差点に無理やり進入するのではないのか、という懸念もある。そのため運用面での課題として、実際に現実社会にフィードバックする際には、すべてのドライバーにとって安全運転を支援するシステムを構築しなければならないことが挙げられる。

上述のようにITSを活用した情報提供は、一度導入すれば、永続的に交通事故削減に効果が続くものではなく、情報に慣れたドライバーに対して、恒常的にその危険を認知させ、安全運転につながるような情報として、日々進歩する必要がある。その一方で、ITS技術のみが進歩し、自動車の性能のみが向上するだけにとどまらず、それを操作する人間自体も進歩することが重要であることを記し、本研究が、今後のITSを用いた交通事故削減の一助となることを期待する。

謝辞: 本研究の遂行、特にDS実験の実施に関しては、多くの被験者に協力して頂きました。また、DS実験の実施、道路線形のデータ収集等において、一般財団法人計量計画研究所に多大なるご支援、ご協力を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 平成 25 年警察白書 交通事故発生状況の推移, 警察庁 HP
<https://www.npa.go.jp/hakusyo/h25/data.html#4-3> (2014.4.25 時点)
- 2) 高田翔太, 平岡敏洋, 川上浩司: 衝突回避減速度に基づく
前方障害物衝突防止警報システムが運転行動に与える影響,
自動車技術会論文集 Vol.43, No.2, pp.619-625, 2012. .
- 3) 高田翔太, 平岡敏洋, 川上浩司: ウインドシールドディス
プレイを用いた衝突回避減速度の視覚情報提示に関する実
験的考察. 自動車技術会論文集, Vol.44(3), pp.937-942, 2013. (2014.4.25 受付)
- 4) 飯田恭敬, 宇野伸宏, 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.2, pp.35-46, 1992. .

Vehicle Behavior Analysis when the Signal Pre-Warming support information is provided Using Driving Simulator

Tatsuki NAKAYAMA, Toshiyuki NAKAMURA, Nobuhiro UNO,
Hiroki YAMAZAKI and Keiichi YAMAMURA