

ドライビングシミュレータを用いた 複数車両への推奨走行情報の提供による 危険性とCO₂削減量の把握

石黒 祥梧¹・松本 幸正²

¹学生会員 名城大学大学院 理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜
口1-501)

E-mail:ishiguro@trans.meijo-u.ac.jp

²正会員 名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail:matumoto@meijo-u.ac.jp

ITSの発展に伴い、個々の車両の走行状況に応じたリアルタイムでの推奨走行情報の提供が可能となりつつある。これにより、車両から排出されるCO₂を削減することが期待されている。その情報提供にドライバーが従った場合、車両挙動がどのように変化し、交通の円滑化や安全性の向上にどう影響を与えるかを分析・評価することは不可欠である。本研究では、交差点に接近する車両が前方の交差点を円滑に走行するための情報を、リアルタイムで提供するシステムを考案する。ドライビングシミュレータを用いた走行実験の結果、前車に情報提供を行うだけでなく、追従車にも情報提供を行うことで、衝突の危険性が低減することがわかった。加えて、追従車のCO₂排出量は、追従車への情報提供に加え、前車にも情報提供を行うことで削減効果が大きくなることがわかった。

Key Words : ITS, CO₂, driving simulator, eco-drive, following vehicle

1. はじめに

ITSの発展に伴い、個々の車両の走行状況に応じたリアルタイムでの推奨走行情報の提供が可能となりつつある。このようなきめ細やかな情報提供により、車両から排出されるCO₂を効果的に削減することが期待されている。しかしながら、個々の車両へのリアルタイムでの情報提供にドライバーが従う場合、車両挙動が変化すると考えられ、CO₂の削減効果を捉えるとともに、交通の円滑化や安全性の向上にどう影響を与えるかを分析・評価することが必要となる。

Iwataら¹⁾は、DSS (Deceleration Support System)というシステムの開発・研究を行っている。このシステムは、信号交差点に接近する車両に対して、アクセルオフ情報を提示し、減速支援を行うものである。その変化が交通流シミュレーション上でDSSを検証した結果、情報の提供により、無駄なアイドリングや加速を低減させ、CO₂排出量を削減できることを明らかにしている。Matsumotoら²⁾は、観測した実際の車両挙動に基づき、信号交差点に接近する車両に対して情報を提供するシステムを交通流シ

ミュレーションで評価した。このシミュレーション結果では、情報提供を行うことで、CO₂排出量の削減効果が見られることを明らかにしている。Ubierno³⁾らは、ASL(the Advisory Speed Limit)を算出するためのアルゴリズムを提案し、シミュレーションを通して、CO₂排出量が削減されることを示している。

ドライビングシミュレータを用いることで、信号情報が提供されたときの個々のドライバーの車両挙動の変化を把握する研究も行われている。

Kircherら⁴⁾は、トラック運転シミュレータの運転実験において、エコドライブ情報を常に表示し続けたときと断続的な表示を行ったときでは、車両挙動に違いが出ることを示唆している。Brouwerら⁵⁾は、トラック運転シミュレータを用いた運転実験において、エコドライブ情報の提供を行うことで、車両挙動が変化し、CO₂排出量の削減効果が見込めることを明らかにしている。

これらは、1台のみの車両実験における情報提供の有用性を明らかにしているが、複数車両が走行する環境において、先行する車両の挙動変化が、その車両に追従する車両の挙動に与える影響を考慮できていない。

西本⁶⁾らは、追従車両に対して、先行車両及び先々行車両の加減速情報の提供を行うことで追従車両の無駄な車両挙動の低減効果を明らかにしている。松本⁷⁾らは、車車間通信などを模擬した協調走行を行う場合に、車群を対象として先行車両の燃料消費情報が追従車両に与える影響を明らかにしている。結果として、エコドライブ車両に追従する車両に対して燃料消費情報を提供することで、車両の急激な加減速が低減し、速度を一定に保つよう心掛けるといった意識の変化を引き起こし、アクセル踏み込み量が低減する傾向が見られた。Niu and Sun⁸⁾は、ドライビングシミュレータを用いて、複数車両が存在する環境下において、The Green Wave Guidance Strategy (GWSGS)とThe Eco-Driving Speed Guidance Strategy (EDSGS)という二種類の情報提供システムの有効性を評価し、その情報提供が与える車両挙動の変化を把握している。

しかしながら、これらの既存研究では、情報提供によるCO₂排出量の定量的把握や先行車両と追従車両の衝突の危険性については、検討されていない。

そこで本研究では、ドライビングシミュレータを用いて追従状態におけるリアルタイムでの推奨走行情報の提供による衝突危険性とCO₂排出削減量の把握を行うことを目的とする。

2. 情報提供システムの構築

(1) 情報提供システムの考え方

図-1は、信号交差点に接近する車両の時間 - 距離図である。横軸は、時間経過であり、縦軸は、信号交差点までの距離である。背景の色は車両が一定の速度で走行したときの交差点到達時の信号の状態を示している。本研究においては、黄色信号を赤信号と同じであるとみなし、信号状態が黄色信号の場合、車両は、信号交差点で停止することとする。

この図において、ある車両C₁が一定の速度で走行した場合、信号交差点に到達したときの信号状態は赤信号であるために停止する。しかし、信号は、t_{gr}のタイミングで青信号に切り替わるため、車両が減速を行った場合、赤信号で停止すること無く信号交差点を通過できる可能性がある。そこで、車両C₁に対して、距離d_sの地点で減速支援の情報提供を行う。車両C₁は、情報に従って走行した場合、破線のように信号交差点を無停止で通過可能となる。

車両C₂は、一定の速度で走行した場合、信号の状態が青信号のときに到達するため、情報提供を行わないこととする。

車両C₃は、一定の速度で走行したとき、赤信号で到達するが、加速を行った場合においては、鎖線のように信

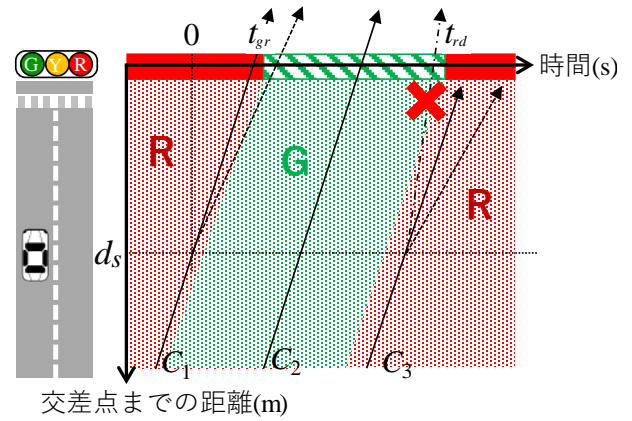


図-1 情報提供システムの考え方

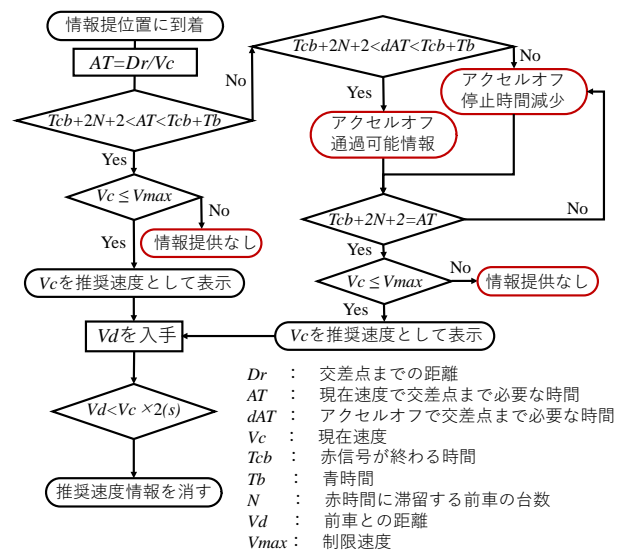


図-2 情報提供フロー

- Dr : 交差点までの距離
- AT : 現在速度で交差点まで必要な時間
- dAT : アクセルオフで交差点まで必要な時間
- Vc : 現在速度
- Tcb : 赤信号が終わる時間
- Tb : 青時間
- N : 赤時間に滞留する前車の台数
- Vd : 前車との距離
- Vmax : 制限速度

号交差点を通過することができる。しかし、そのような行動は、交通事故のリスクを高める可能性がある。そのため、車両C₃に対しては、減速支援の情報を提供し、破線のような挙動をとらせる。この情報提供を行うことで、危険運転を回避させるとともに信号交差点でのアイドリング時間の低減も見込めることになる。

(2) 情報提供と車両との関係性

図-2は、車両へ情報を提供するためのフローを示している。現在速度で交差点を通過できないときでアクセルを離した時に交差点が通過可能となる場合、「アクセルオフ通過可能」情報の提供が行われる。この情報提供中に減速が十分に行われ、現在の速度で交差点を通過できるようになった時点で、「推奨速度」情報に表示を切り替える。

一方、車両がアクセルを離して走行したとしても信号交差点を通過できない場合は、「アクセルオフ停止時間減少」情報を提供する。この場合、交差点の手前でプレ

一キを踏むことになるが、待ち時間が減少することになる。

現在速度で交差点を通過でき、かつ、制限速度以下の場合、「推奨速度」情報として現在速度を表示する。制限速度以上の場合、情報提供を行わない。

(3) 追従車両の情報提供の考え方

図-3 は、複数の車両が距離 d_s から信号交差点に接近する場合の時間と距離の関係を示した図である。情報提供を受けたドライバーは、次の信号交差点から一定の距離 d_s より、減速を開始する。このとき、追従車両 C_4 が、先行車両 C_3 の予期せぬ減速挙動に反応しきれない可能性がある。このとき、先行車両と後続車両との距離が短くなり、衝突の潜在的な危険性が高まることも考えられる。

本研究では、追従車両に対しても、(2)と同様の情報提供システムを用いて情報提供を行う。しかしながら、後続車両の速度が先行車両の速度より速い場合において、図-3 の車両 C_8 のような追従車両に対して情報提供を行ったとしても、両車の距離が接近してしまう可能性が考えられる。したがって、2 台の車両間の車頭時間が 2 秒未満の場合は、提供された情報の表示を消すこととする。

先行車両と同様の速度である点線のような挙動をとる車両 C_7 と、先行車両より低速走行の鎖線のような挙動をとる車両 C_6 に対しては、先行車両と同様の情報提供がなされる。

前車との安全な車間距離を確保するため、推奨する走行での交差点通過時間にあらかじめ余裕時間 2(s)を設け、情報提供を行うこととする。

3. ドライビングシミュレータを用いた追従実験

(1) 追従車両の運転実験の概要

追従車両の運転実験は、免許を保有している20歳から60歳までの25名の被験者で実施した。

本研究で用いる実験コースは、6つの信号交差点が連続し、途中ゆるやかなカーブが1つだけ存在する全長約4,500mのコースである。作成した実験コースの概要を図-4に示す。このコースは、片側1車線の道路であり、道路幅員は上下方向とも3.25mとなっている。コースの制限速度は、40km/hとしている。勾配などによる車両挙動変化の影響を排除するため、平坦な道路となっており、コースの途中にカーブを挟んだ理由は、ドライバーによる運転のゆらぎを生成し、同じような運転挙動ばかりが発生しないようにするためである。

交差点1から交差点6までの1サイクルタイムは順に、60秒、66秒、84秒、102秒、74秒、74秒とした。青時間

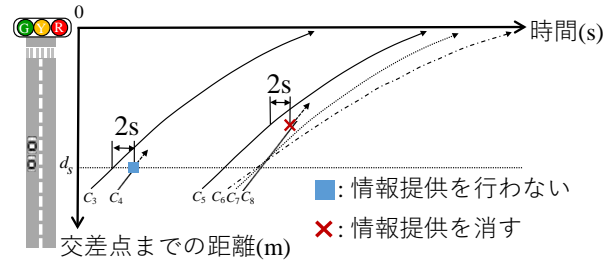


図-3 追従車両への情報提供の考え方

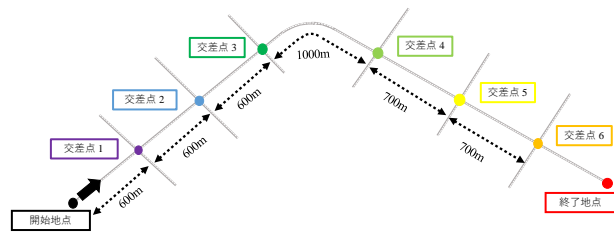


図-4 実験コースの概要

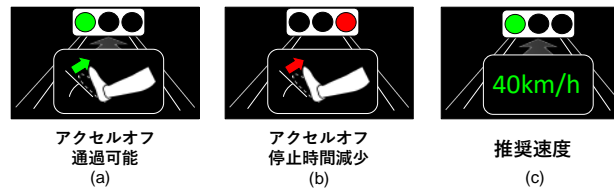


図-5 情報提供のデザイン

は、24秒、27秒、36秒、45秒、31秒、31秒とし、赤時間は、33秒、36秒、45秒、54秒、40秒、40秒で、全ての信号の全赤時間は3秒となっている。交差点1から6までの信号交差点は、順番に、開始地点から600m、1200m、1800m、2800m、3500m、4200mの位置に配置されている。

本実験における情報提供開始位置は、各交差点から350m 手前である。車両が提供された情報提供に従ったとき、交差点を無停止で通過可能、もしくは交差点の手前でブレーキを踏むことになるが、待ち時間の減少が期待できる。

(2) 情報提供デザインの概要

図-5は、運転実験中に表示される3種類の情報提供のデザインである。左の図-5(a)は、情報提供に従い、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を無停止で通過可能となる場合に表示される「アクセルオフ通過可能」情報である。中央の図-5(b)は、アクセルを離して走行したとき、次の信号交差点を通過することは出来ないが、アイドリング時間の減少が見込める場合に表示される「アクセルオフ停止時間減少」情報である。右の図-5(c)は、走行速度がアクセルオフ情報により減速したとき、現在速度で信号交差点を十分に通過可能となった場合に表示される「推奨速度」情報である。

(3) 事前記録された車両を用いた前方車両

本研究では、複数車両が存在する環境下において、前車とそれに追従する車両を用いて、運転実験を行う。

本実験では、前車と追従する車両の情報提供の有無によって、どのように追従する車両の挙動が変化するかを捉える。そのため、前車の運転挙動は、それぞれの被験者ごとに、同一の運転挙動を用いる必要がある。そこで、前車は、事前実験で得た被験者の運転挙動のデータを記録した車両を用いることとする。前車として用いる記録された車両には、情報提供を行わなかった場合と情報提供を行い、その情報に従った場合の運転挙動の2種類がある。事前実験は、本実験で用いるコースと同一のコースを用いて行っている。

(4) 追従車両の運転実験の手順

ドライビングシミュレータの運転操作は、実際の車両の運転とは異なると考えられる。そのため、それぞれの被験者には、最初に練習走行を行ってもらい。その後、事前記録された車両を前方車両として、その後ろから追従するかたちで、走行実験を行ってもらいこととする。

被験者には、前方車両と追従車両のそれぞれに情報提供を与えた場合と与えなかった場合の2パターンの組み合わせで、計4回の運転実験を被験者ごとにランダムで行ってもらい。

4. 追従車両の運転実験結果

(1) 情報提供別の追従車両の加減速度

図-6は、交差点ごとの情報の提供場所である交差点から350m区間における1秒間隔での追従車両の情報提供パターン別加減速度の全被験者合計の度数分布を示した図である。赤い線は、加減速度が $0(m/s^2)$ の地点を示している。

この図より、交差点1から交差点3において、両車に情報提供を行わないパターンと比べて、情報提供パターンでは、追従車両の加速度が $-1.5(m/s^2) \sim -0.5(m/s^2)$ において、割合が大きくなっていることが見て取れる。これは、被験者が提供されたアクセルオフ情報に従って、走行したことによって加速の割合が減少したことによると考えられる。前車にのみ情報提供を行ったパターンにおいては、加速度 $-1.0(m/s^2) \sim -0.5(m/s^2)$ の割合がその他の情報を提供したパターンと比べて低いことが見て取れる。しかしながら、情報提供を行わないパターンに比べれば割合は高く、加速度 $0.5(m/s^2) \sim 1.5(m/s^2)$ の割合は低いことがわかる。このことから、前方車両に対して情報提供を行うことは、追従車両の加速の低減に寄与していると考えられる。

交差点4から交差点6における追従車両の加減速度は、

特に $0.5(m/s^2) \sim 2.5(m/s^2)$ の区間において、両車に情報提供を行わないパターンと比べて、情報提供を行うパターンでは加速の割合が小さいことが見て取れ、車両に対して情報提供を与えることが、急な加速を低減させることに繋がることになる。

しかしながら、交差点6では、両車に情報提供を行うパターンの加速度が $0.5(m/s^2) \sim 1.0(m/s^2)$ において割合が大きい。これは、交差点6において、「推奨速度」情報が提供されている時間が、他の交差点と比べて長かったことによると考えられる。それにより、一定の速度を維持するために、 $0.5(m/s^2) \sim 1.0(m/s^2)$ の区間における加速度の割合が高くなったと考えられる。

両車に情報提供を行わないパターンと比較して、その他のパターンでは、標準偏差が小さくなることもわかった。これにより、車両が情報提供に従うことは、加速の度合いが低減し、無駄な加速を行わなくなることが考えられる。

一方で、前車に対して情報提供を行った場合において、前車の予期せぬ挙動変化により、追従する車両との車間距離が縮まり、衝突の潜在的な危険性が增大している可能性がある。そこで、本研究では、情報提供を行った時の衝突の潜在的な危険性をPICUDを用いて評価することとする。

(2) PICUD

本研究では、中山⁹⁾らが提案しているPossibility Index for Collision with Urgent Deceleration (以下、PICUD)を用いて、車両に対して情報提供を行ったときの潜在的な衝突危険性の検討を行う。

PICUDは、「前方車両が仮に急減速を行うとしたときに、高速車両が反応遅れの後に急減速し、両車が停止したときの相対的な位置」と定義されており、以下の式により算出する。

$$PICUD = \frac{v_1^2}{-2a} + d - \left(v_2 \Delta t + \frac{v_2^2}{-2a} \right) \quad (1)$$

- v_1 : 前方車の減速開始速度(m/s)
- v_2 : 前方車の減速開始時の追従車速度(m/s)
- d : 前方車減速時の車間距離(m)
- Δt : 反応遅れ時間(m/s)
- a : 減速時の加速度(m/s^2)

PICUDの値は、高ければ高いほど安全で、低ければ低いほど危険であるといえる。特に、PICUDが0以下を示す場合は、前方車両が突然に急減速したとき、後続車両が同じく急減速を行ったとしても、衝突を回避できないことを意味する。

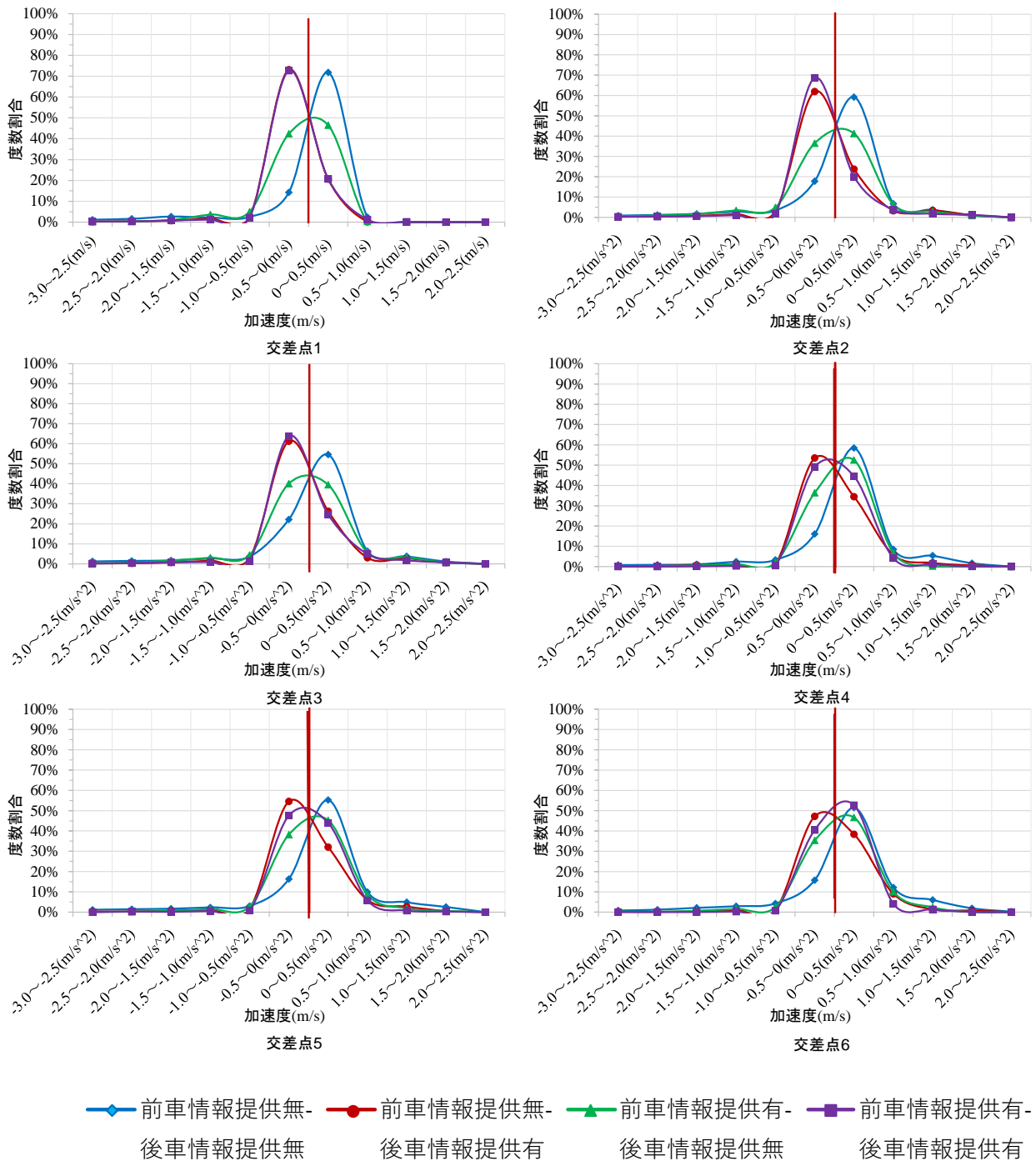


図6 交差点から350m区間における情報提供パターン別の全被験者の追従車加減速度の度数割合分布

(3) PICUDによる潜在的衝突危険性の検討

図-7は、信号交差点から500mの50m区間ごとの被験者PICUDの平均値を情報提供パターン別に表した図である。図-7(a), (c)が「アクセルオフ停止時間減少」情報提供時であり、図-7(b), (d)が「アクセルオフ通過可能」情報提供時の区間平均PICUDを示している。

「アクセルオフ停止時間減少」情報の提供を行う場合と比べて、「アクセルオフ通過可能」情報の提供を行う場合には、信号交差点付近における危険性が低減してい

ることが見て取れる。これは、停止を行わないことでスムーズに信号交差点を通過し、交通の円滑化が図れていることを示唆している。

図-7(a), (b)は、両車情報提供なしのパターンと前車のみ情報提供ありのパターンの比較を行った図である。これらの図より、前車のみ情報提供パターンでは、危険性が增大してしまう可能性があることがわかる。これは、前車の予期せぬ挙動変化により追従する車両との車間距離が縮まることが要因であると思われる。特に、情報が

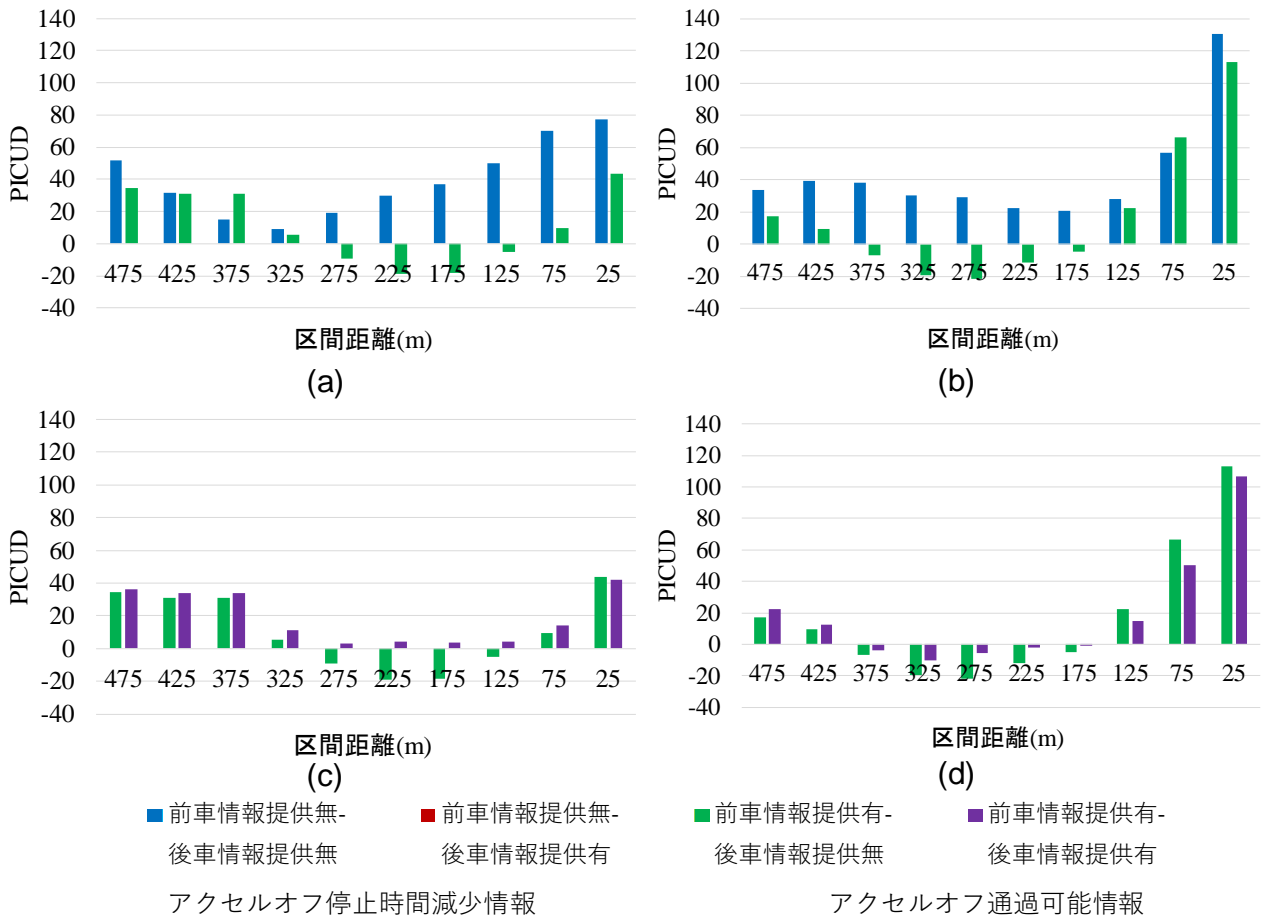


図-7 情報提供パターン別の区間平均 PICUD

提供された350m以降の区間において、衝突の危険性が增大しており、PICUDが0以下を示しているため、前方車両が突然に急減速したとき衝突する可能性が高いことになる

図-7(c), (d)は、前車のみ情報提供ありのパターンと両車情報提供ありのパターンの比較を行った図である。これらの図から、前車にのみ情報提供を行ったパターンで、PICUDの値が0以下となっている区間では、両車に情報提供を行ったパターンのPICUDの値が0以上、もしくは前車のみ情報提供のパターンの値以上となっていることが見て取れる。これは、前車に対して情報提供を行うだけでなく、追従車両に対しても情報提供を行うことで、衝突の危険性を低減させることができることを示唆している。

しかしながら、両車情報提供なしのパターンと比べて、両車情報提供ありのパターンでは、危険性が高いことが見て取れる。

(4) CO₂排出量の削減効果

本研究では、走行時間、走行距離、加速しているか否かという指標でCO₂排出量を算出する大口¹⁰⁾らの式を用いる。

図-8に、追従車両における情報提供パターン別のCO₂排出量の被験者平均を示す。この図より、両車に情報提供を行わないパターンと比較し、追従車両にのみ情報提供を行ったパターンで約5%、前方車両にのみ情報提供を行ったパターンで約3.5%、両車に情報提供を行うパターンで約6%、追従車両からのCO₂排出量が削減されていることがわかる。このことから、前方車両または追従車両への情報提供により、追従車両からのCO₂排出量を削減できるといえる。

(5) CO₂排出量の定量的把握

表-1は、情報提供が追従車両のCO₂排出量にどれだけ影響しているかを把握するために重回帰分析を行い、その結果を示したものである。重回帰分析では、目的変数を運転実験で得た追従車両のCO₂排出量とし、説明変数として、前車に対しての情報提供の有無、追従車両に対しての情報提供の有無、性別、週あたりの運転回数、前車との平均車間距離を採用した。

結果として、重相関係数とF値は、この分析が統計的に有意であることを示している。CO₂排出量削減の要因としては、「前車への情報提供」、「追従車両への情報提供」「前車との平均車間距離が大きいこと」であるこ

とがわかる。加えて、CO₂ 排出量増加の要因としては、「女性であること」、「適当な回数の運転回数が少ないこと」であることもわかる。

標準偏回帰係数から、この実験コースでは、前車に対しての情報提供を行うことで約 24(g-CO₂)、追従車に対しての情報提供を行うことで約 20(g-CO₂)の CO₂ 排出量の削減が見込めることもわかる。

重回帰分析の結果から、追従車両のCO₂排出量は、追従車両への情報提供に加え、前方車両にも情報提供を行うことで削減効果が大きくなることわかる。

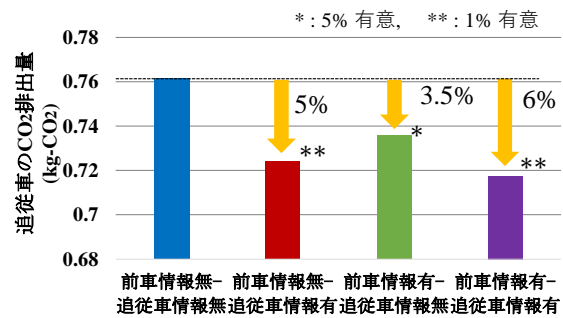


図-8 追従車両のCO₂排出量の比較

表-1 CO₂排出量の要因評価

	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t値
定数項	792.638		90.495
前車への情報提供	-24.423	-0.354	-4.597
後車への情報提供	-20.786	-0.301	-3.947
車間距離	-0.791	-0.507	-6.282
男性	-7.080	-0.098	-1.299
当たりの運転回			
週1~4回程度	7.698	0.111	1.435
週5回以上	1.209	0.007	0.089
重相関係数		0.483	
F 値		14.504	

5. おわりに

本研究では、信号交差点に接近する複数の車両が前方の信号交差点を円滑に走行するための情報を、リアルタイムで提供するシステムを考案した。本システムでは、「推奨速度」情報とアクセルオフ情報を提供し、これらの情報に被験者が従うことで、前方の信号交差点を通過、または、赤信号でのアイドリング時間の短縮が可能となる。

ドライビングシミュレータを用いた25名の被験者による追従車両の走行実験の結果、ドライバーが情報提供に従うことで加速の度合いが低減し、無駄な加速を行わなくなることが明らかとなったものの、前車のみ情報提供を行ったパターンでは、衝突の危険性が増大していることがわかった。しかしながら、追従車両に対しても情報提供を行うことで、衝突の危険性を低減できることが示唆された。

実験から得られた情報提供パターン別の追従車両の被験者平均CO₂排出量の比較を行った結果として、両車に情報提供を行わないパターンと比較し、情報提供を行うパターンにおいて、追従車両からのCO₂排出量が削減されることが明らかとなり、追従車両のCO₂排出量が最大で約6%の削減がなされることがわかった。重回帰分析の結果から、追従車両のCO₂排出量は、追従車両への情報提供に加え、前方車両にも情報提供を行うことで削減効果が大きくなること示唆され、情報提供がCO₂排出量の削減に寄与することが定量的に示された。

今後の研究として、前方車両との車間距離を確保するための注意喚起情報の提供や、情報提供位置を固定しないなど、より最適な情報提供方法について、検討を行っていく必要がある。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（C）（15K06262）を受けた研究成果の一部である。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- Iwata, Y. and Otake, H., Takagi, M. : Results from Simulation Evaluation of Green Wave Advisory System, Proceedings of 19th ITS world Congress., p. 9, 2012.
- Matsumoto, Y. and Oshima, T., Iwamoto, R. : Effect of Information Provision around Signalized Intersection on Reduction of CO₂ Emission from Vehicles, Procedia - Social and Behavioral Sciences 111., pp. 1015-1024, 2014.
- Ubiergo, G. A. and Jin, W. : Mobility and Environment Improvement of Signalized Networks through Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communications, Transportation Research Part C., Vol. 68, pp. 70-82, 2016.
- Kircher, k. and Fors, C., Ahlstrom, C. : Continuous Versus Intermittent Presentation of Visual Eco-driving Advice, Transportation Research F 24., pp. 27-38, 2014.
- Brouwer, R. F. T. and Stuiver, A., Hof, T., Kroon, L., Pauwelussen, J., Holleman, B. : Personalised Feedback and Eco-driving : An Explorative Study, Transportation Research C 58., pp. 760-771, 2015.
- 西本崇, 長澤俊範, 松本修一, 葛西誠, 岩瀬幸一 : ドライビングシミュレータを用いた情報提供における車両挙動解析 - 先行車両と先々行車両の比較 -, 第 52 回土木計画学研究・講演集, pp. 1760-1766, 2015.
- 松本修一, 川島弘尚 : 前方車両情報が車群の燃費低減に与える影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 69, No. 5, pp. I_433-I_440, 2013.
- Niu, D. and Sun, J. : Eco-driving Versus Green Wave Speed Guidance for Signalized Highway Traffic : A Multi-Vehicle Driving Simulator Study, Procedia - Social and Behavioral Sciences 96., pp. 1079-1090, 2013.

- 9) 中山達貴, 中村俊之, 宇野伸宏, 山崎浩気, 山村啓: 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, 土木学会論文集 D3 特集号, Vol. 71, No. 5, pp. I_865-I_874, 2015.
- 10) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明: 都市部道路交通における自動車二酸化炭素推定モデル, 土木学会論文集, No. 695/IV-54, pp. 125-136, 2002.

(?)

IMPACTS OF INFORMATION PROVISION TO MULTIPLE VEHICLES ON REDUCING AMOUNT OF CO₂ EMISSIONS AND COLLISION RISK

Shogo Ishiguro and Yukimasa Matsumoto

Since the development of ITS, it is becoming possible to provide the information in real time based on the driving situation of individual vehicles. It is necessary to analyze and evaluate how to change the vehicle behavior and how to affect smoothing traffic flows and improvement of driving safety when the driver follows the information provision. Therefore, this paper develops the information provision system, in which multiple vehicles are smoothly passing the signalized intersection. As a result of driving experiments using a driving simulator, it can be seen that the information provision to the following vehicle can contribute to reduce the risk of traffic collisions even under car-following situations. Moreover, it can be seen that the information provision to both vehicles reduces the amount of CO₂ emissions from the following vehicle most effectively.