

# 先々行車両の加減速情報が 追従車両に与える影響

櫻井 宏樹<sup>1</sup>・松本 修一<sup>2</sup>・葛西 誠<sup>3</sup>・平岡 敏洋<sup>4</sup>

<sup>1</sup>非会員 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻  
(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

E-mail: h.s-fjsw0816@z6.keio.jp

<sup>2</sup>正会員 文教大学准教授 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail: shuichi@shonan.bunkyo.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学助教 理工学部 土木工学科 (〒270-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: kasai@rs.noda.tus.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 京都大学大学院助教 情報学研究科 システム科学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

E-mail: hiraoka@sys.i.kyoto-u.ac.jp

協調ITSにおいて、路車間通信と車車間通信の両システムが連携することで様々なITSサービスアプリケーションが実現可能になってきている。また、従来の「走る、曲がる、止まる」に加えて、自動車の新たな機能の一つとして「繋がる」に注目が集まっている。本研究では、情報の伝達によってドライバー同士が繋がることの先進事例として、先々行車両の加減速情報を追従車両に提供し、発進時の燃費と車両挙動に与える影響を検証した。その結果、1) ドライバーは発進時に加減速情報を視認することが多く、発進時の燃料消費率が改善する。2) 発進時の加減速情報により、発進遅れの短縮やアクセル踏み込み量の減少など運転行動の変化が確認された。3) 加速終了時には、先行車両に調和した車両挙動になる。以上より、先々行車両の加減速情報を追従車両のドライバーに提供することが、発進時に有用であることが明らかになった。

**Key Words :** ITS, Traffic Flow, Eco-Driving, Driving simulator

## 1. はじめに

近年、情報通信技術の著しい発展が見られる中、協調ITSにおいて、路車間通信と車車間通信の両システムが連携することで様々なITSサービスアプリケーションが実現可能になってきている。

路車間通信と車車間通信の連携の具体例としては、車車間通信を用いて、車間距離や速度を自動制御するCACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) を活用し交通流円滑化が期待される。路車間通信に関しては、交通状況と望ましい車間距離や速度を提供して、より効果的に円滑化を目指している<sup>1), 2)</sup>。

このように、従来の「走る、曲がる、止まる」に加えて、自動車の新たな機能の一つとして「繋がる」に注目が集まっている。

この「繋がる」という機能を用いて、自車両だけでな

く前方の車両や車群の情報を提供することでドライバーが前方の交通状況に調和した運転を支援することが今後重要になってくる<sup>3)</sup>。たとえば、前方車両の情報を提供することで安定した走行が可能になり、環境問題対策として注目が高まっているエコドライブ<sup>4), 5)</sup>を促進すると期待される。

## 2. 研究動向および本研究の目的

ドライバーが、エコドライブを継続して行うには、運転支援システムや情報提供によるサポートが効果的であるという報告がある<sup>6), 7)</sup>。また、Larsson and EricssonがAcceleration Adviserを用いて、燃費や排気ガスの排出量の変化や、運転行動の変化と経路の関係について調べる実

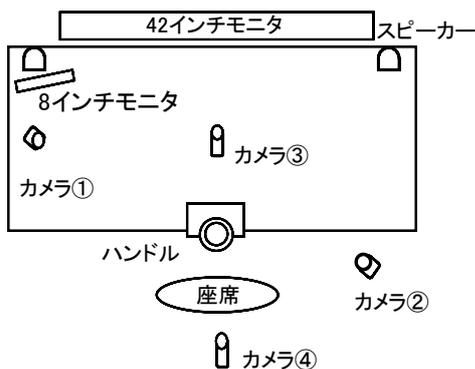


図-1 実験設備

験を行っている<sup>8)</sup>。さらに、前方車両の情報が燃料消費率（以下、「燃費」と記す）やアクセル踏み量に影響を与えることもわかっている<sup>9)</sup>。

前方の加減速情報を提供する研究では、先々行車両の速度などから与えられる指標をドライバに提供することにより、無駄な加減速が抑制されたという結果が得られている。また、衝突リスクを低く保つことや燃費が向上することも確認されている<sup>9)</sup>。

佐藤らは、先行車両後部のパネルに加減速情報を視覚的に提示する実験を行い、情報提供によって無駄な加速度変化の少ない理想的な追従が行いやすくなることや、燃費向上の可能性を示唆している<sup>10)</sup>。

さらに、加茂らの研究<sup>11)</sup>では、先行車両と先々行車両の情報を提供することで、ドライバが情報提供を発進タイミングの参考にすることや緩やかな発進になることがわかっており、特に先々行車両の加減速情報を参考にする追従車両の燃費に対して有用性があることを示唆している。しかしながら、先々行車両と先行車両の加減速情報を同時に提供したために、先々行車両の情報が単体で与える影響を評価できないという課題があった。

そこで本研究では、先々行車両の加減速情報のみを提供する環境で実験を行う。この環境下で、発進時の燃費が改善されるか否かを確認し、その有用性を検証する。また、情報提供を行うことによる運転行動や車両挙動の変化、先行車両との関係も検証する。

### 3. 実験概要

#### (1) 実験設備

実験設備の概要を図-1に示す。実験では、42インチモニタからは走行状況が、8インチモニタからは先々行車両の加減速情報が表示される。また、カメラ①は実験参



図-2 車両の位置関係

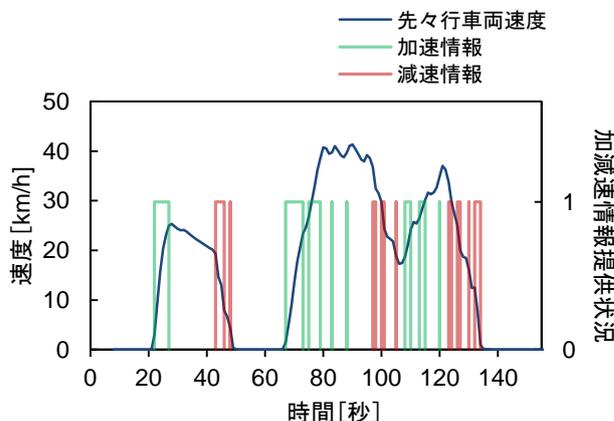


図-3 先々行車両の加減速パターンと加減速情報提供状況

加者の視認行動を、カメラ②は実験参加者のペダル操作を、カメラ③は42インチモニタに映し出される走行状況を、カメラ④は加減速情報をそれぞれ撮影している。

#### (2) 実験環境

本実験では、複数の実験参加者が同一走行環境下において運転を行う。そこで、UC-win/Road（株式会社フォーラムエイト製）というドライビングシミュレータ（以下「DS」と記す）を活用し、仮想空間上に周辺に建物等のまったく無い直線道路を作成して実験を行った。DSは、車両の位置、速度、加速度、ドライバのアクセル踏み量、ブレーキ踏み量などのデータを保存する。実験コース上では、5台の車両（以後、先頭から順に「先頭車両」、「先々行車両」、「先行車両」、「自車両」、「後続車両」とする。また、先々行車両と先行車両をまとめて「前方車群」と記す。）が走行する（図-2参照）。なお、先行車両に遮られて、自車両からは先々行車両、先頭車両を見ることができない。先頭車両の加減速パターンは、市街地を想定した低速域の10モードに設定した。走行距離は約700mであり、一回の走行にかかる時間は約3分である。

20代の男性（運転取得後年数3年、運転頻度週4～5回）が10モードで加減速する先頭車両に追従した際の走行データを先々行車両の加減速パターンとした。さらに、そ

の先々行車両に追従したときのデータを先行車両の加減速パターンとした。図-3に先々行車両の加減速パターンを示す。後続車両は、自車両が先行車両と車間距離を取り過ぎないようにするため、既存の研究<sup>12)</sup>を参考にして、自車両の挙動に従って後方を追従するようにした。

### (3) 情報提供

先行研究<sup>11)</sup>の表示形式と加速度の閾値を参考に、先々行車両の加減速に応じた加減速情報を表-1のような3段階で提供した。本実験では、ドライバの左側に設置した8インチモニタ上に1Hzで先々行車両の加減速情報を提示した。緑色の三角形は先々行車両が加速している状態、白い横棒は加減速がほとんど無い状態、赤色の三角形は先々行車両が減速している状態を表す。

先々行車両の加減速情報の提供状況を図-3に示す。この図において、情報提供を行っている時間帯を1、情報提供を行っていない時間帯を0として表している。情報提供を行っている時間は、走行時間の29%（そのうち、加速情報が60%、減速情報が40%）を占めていた。また、横軸の時間は、本実験における各走行のシナリオ開始時間を0秒としている。以降、本稿における時間軸はシナリオの開始を0秒として設定した。

### (4) 実験条件

走行実験の前に練習走行として、「情報提供なし」と「情報提供あり」のシナリオをそれぞれ1度ずつ走行してもらうことで、DS環境ならびに運転操作に慣れてもらった。本実験では、各実験参加者が

- ・「情報提供なし」の場合
- ・「情報提供あり」の場合

の2水準それぞれを3回ずつ走行した。走行実験の順序は、順序効果を抑制するために各実験参加者でランダムとした。走行実験後には、「情報提供なし」と「情報提供あり」の走行の違いについてアンケートを実施した。

### (5) 実験参加者

本実験の、実験参加者は20代前半から50代前半の一般ドライバ11名（男性10名、女性1名）であった。表-2に実験参加者の属性をまとめる。また、実験参加者の運転特性を把握するため、運転負担感受性チェックシート（WSQ: Workload-Sensitivity Questionnaire）と運転スタイルチェックシート（DSQ: Driving Style Questionnaire）<sup>13), 14), 15)</sup>の質問に回答してもらった。図-4, 図-5に11名の実験参加者のDSQおよびWSQの各項目の得点を示す。なお、図中の網掛けは人間生活工学研究センター（HQL）から公表されている全国平均値±SDの範囲を示す。これらの結果から、平均的なドライバの運転特性から外れて

表-1 加減速情報の表示形式

加速度[m/s <sup>2</sup> ]	表示
$0.4 \leq a$	▲
$-0.4 < 0 < 0.4$	—
$a \leq -0.4$	▼

表-2 実験参加者属性

ID	年齢	性別	免許取得年数	運転頻度
A	22	男性	4	週に1~2回
B	22	男性	3	週に1~2回
C	33	男性	15	月に1回
D	34	男性	17	週に1~2回
E	30	男性	12	週に1~2回
F	39	男性	23	ほぼ毎日
G	31	女性	13	3ヶ月に1回
H	41	男性	23	週に1~2回
I	51	男性	20	週に1~2回
J	48	男性	24	週に1~2回
K	49	男性	29	週に3~4回

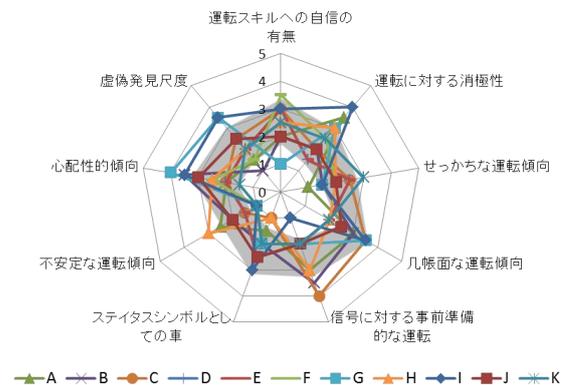


図-4 DSQ 得点

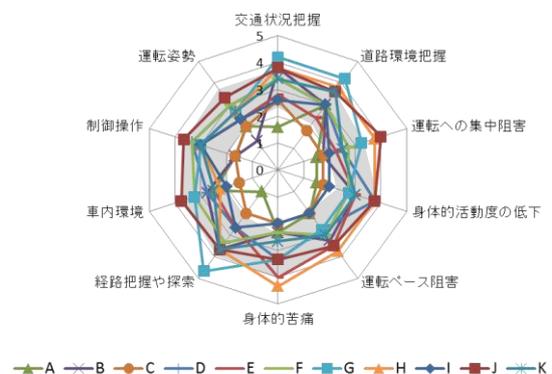


図-5 WSQ 得点

いる実験参加者もいるが、これらは部分的であり運転に支障を来す程度の不安や負担を受ける実験参加者は見られなかった。

## (6) 教示内容

すべての実験参加者に対して、実験開始前には十分なインフォームドコンセントを行い、1) 実験により生じる実験参加者への不利益、2) プライバシーへの配慮、3) 実験に参加しない自由の確保、に関して十分な説明を行い、実験に参加することの同意を得た。また、走行ごとに以下のような教示を毎回行った。

- ・日本の交通法規に従い、安全運転を行うこと
- ・前方車群の追い越しはせず、先行車両に追従すること
- ・車線変更をしないこと
- ・車間を空け過ぎないようにすること

さらに、情報提供を行う走行では、「加減速情報を必要に応じて参考にして運転すること」と追加で教示した。

## (7) 燃費の計算

ドライビングシミュレータから取得したアクセル踏み量[%]及びエンジン回転数[rpm]より、平岡らの研究<sup>16)</sup>などで活用されているMSC社製の車両運動シミュレーションパッケージCarSim<sup>17)</sup>に搭載されている燃料噴射量モデルを用いて瞬間燃料噴射量[kg/s]を算出し、この値と速度[km/h]、ガソリン密度0.76[kg/l]より、瞬間平均燃費[km/l]を求めた。

## 4. 結果

### (1) 発進時の燃費

図-3 に示すように、本実験において停止状態からの

発進は22秒と67秒の2回ある。ただし、本解析における「発進時」とは実験参加者が運転する自車両が発進してから時速20kmに達するまでと定義した。

発進時の平均燃費を図-6 に示す。図より情報提供によって燃費が6.3%改善したことがわかる。分散分析の結果、燃費向上の差は10%水準で有意傾向であることがわかった( $F(1,110) = 2.92, p < 0.1$ )。実験参加者ごとの結果を見ると11人中8人が情報提供により燃費が改善した。以上より、先々行車両の加減速情報の提供が発進時の燃費改善に効果があると示唆される。

### (2) 加減速情報の視認タイミングと回数

つぎに、先々行車両の加減速情報の提示タイミングと実験参加者の累積視認回数を図-7 に示す。走行全体での累積視認回数は124回であった。一番多く視認があったタイミングは22秒地点であり、10回の視認が確認できた。22秒は、先々行車両が発進するタイミングであり、その前後で視認回数が多くなっている。同じように、

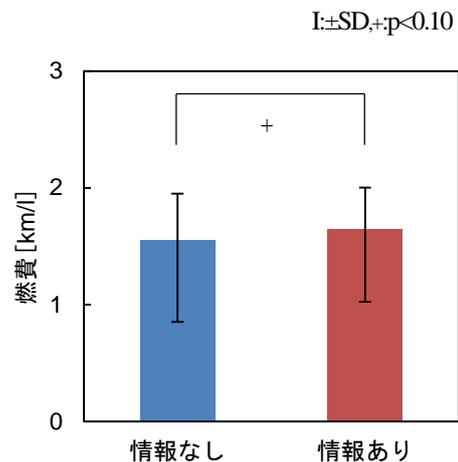


図-6 発進時平均燃費

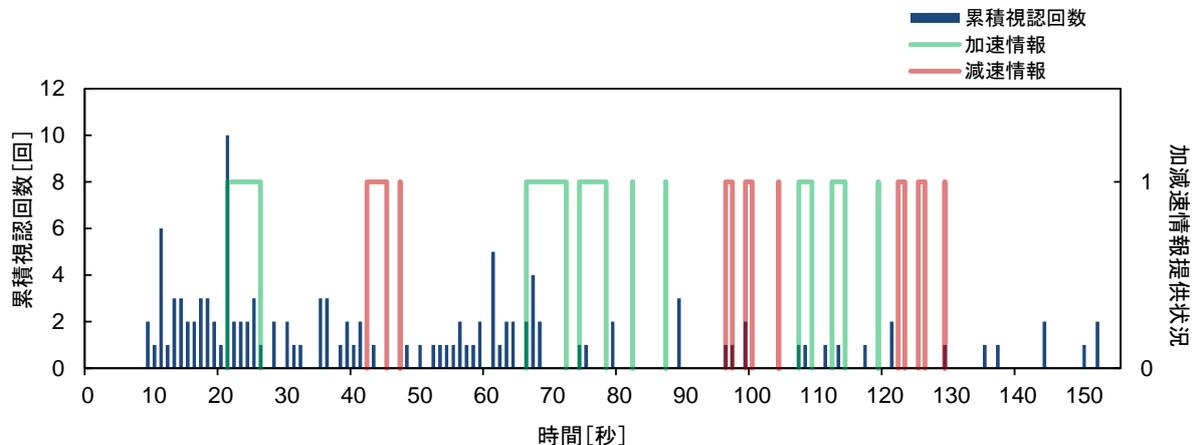


図-7 加減速情報の視認タイミングと回数

先々行車両が発進する 67 秒周辺でも視認の回数が多くなっている。以上より、先々行車両が加速したという情報を発進のタイミングでドライバが積極的に視認したことがうかがえる。

### (3) 発進遅れ

先行車両が発進してから、自車両が発進するまでの時間（以下「発進遅れ」と記す）を図-8 に示す。「情報提供なし」に比べて「情報提供あり」では、23.3%減少した ( $F(1,104) = 7.57, p < 0.01$ )。したがって、情報を提供することは、ドライバに発進の準備を促していると考えることができ、先行車両の発進に対して遅れの少ない円滑な発進に繋がるといえる。

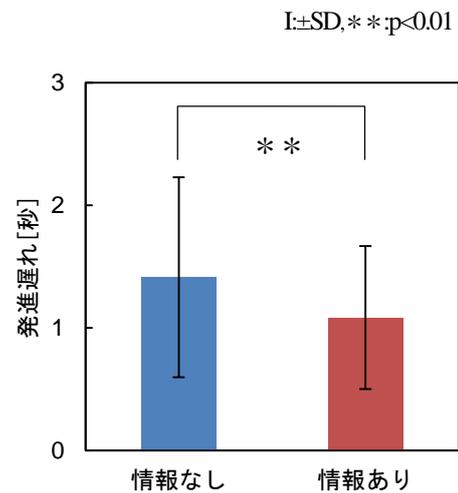


図-8 発進遅れ

### (4) クリープ走行時間

停止状態からブレーキをオフにして、アクセルペダルを踏むまでのクリープ走行の時間を情報提供の有無で比較した。その結果を図-9 に示す。情報提供によりクリープ走行時間は 20.8%増加した ( $F(1,110) = 3.68, p < 0.1$ )。情報提供によって、ドライバにクリープ走行を使った緩やかな発進を促す可能性があり、クリープ走行を行うことで急加速を避けることができ過剰な燃料消費を抑えることが期待される。

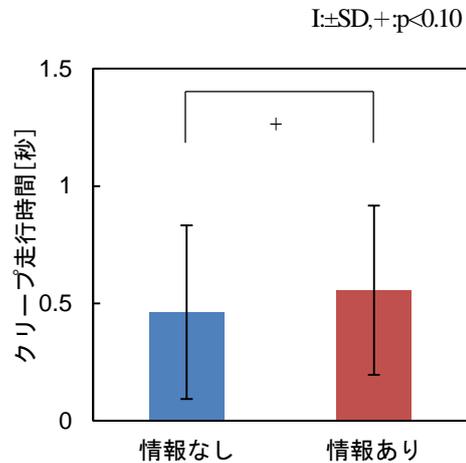


図-9 クリープ走行時間

### (5) 発進時アクセル踏み量

発進時のアクセル踏み量を図-10 に示す。発進時のアクセル踏み量は情報提供により 7.5%減少した ( $F(1,110) = 5.1, p < 0.05$ )。情報提供によりアクセルの踏み込みが抑制され、緩やかな加速になることが示唆された。

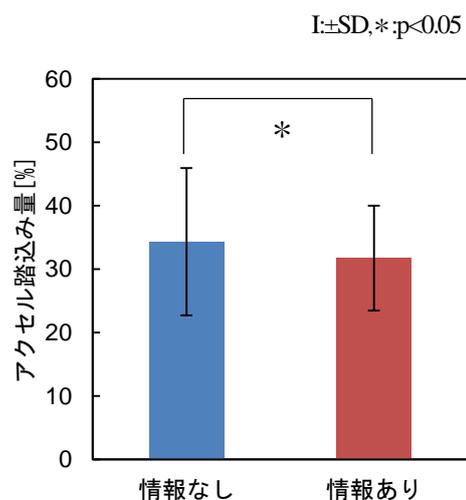


図-10 発進時のアクセル踏み量

### (6) 追従に関する主観評価

実験後に、実験参加者へ「情報提示無しの場合の実験走行と比較して、情報提示有りの場合の実験走行では先行車両への追従走行はし易いと感じましたか？」という質問を行った。なお、アンケートには情報提供なしに比べて情報提供ありで、先行車両に追従しやすかったかどうかを「全く感じなかった」から「非常に感じた」の6段階で回答してもらった。その結果、実験参加者 11 人中 7 人が「非常に感じた」、「感じた」と答えた。以上より、加減速情報を提供することで、ドライバが追従走行しやすと感じることが示唆される。

## 5. 考察

### (1) 発進時の燃費改善のメカニズム

4章で示したように、実験参加者が加減速情報を視認

したタイミングは発進時に多く分布している（図-7 参照）。このことから、ドライバが情報を参考にすることの影響は、発進時の運転に顕著に現れると推察される。

そこで、発進時の車両挙動に着目すると、情報提供による影響の一つとして、燃費の改善が確認できた（図-6 参照）。ここで、燃費改善の要因を探るために、情報提供が発進時の車両挙動や運転行動に与える影響を考察する。

4章で示したように、情報提供によって発進遅れの短縮、クリープ走行時間の増加、アクセル踏み込み量の減少という3項目の変化を確認することができた（図-8～10 参照）。

具体例として、ほぼ毎日運転している実験参加者Fの発進時の様子を図-11 に示す。なお、図-11 において、先々行車両の加速情報が提供されるのは22秒である。情報提供により、先々行車両の加速状態を認識することで、先行車両の発進（約23秒地点）に対して遅れの少ない発進となっている。ここでは、情報提供なしのときよりも発進が1.1秒早くなったことがわかる。また、情報提供によりクリープ走行の時間が0.3秒増加し、さらに発進時のアクセル踏み込み量が減少することで緩やかな加速になっている。

以上より、情報提供を行うことで、前方の交通状況を認識することができ、無駄なアクセル踏み込みの少ない緩やかな加速になったと考えられる。このときの発進は、エコドライブにおいて勧められている「e スタート」<sup>9)</sup>に近い動きとなっており、情報提供は発進時の燃費向上につながる発進を促したといえる。

## (2) 加速終了時の追従挙動

ドライバは、主に前方の交通状況を考慮しながら運転している。先々行車両の加減速情報を提供された実験参加者は、普通の走行よりも先の交通状況に配慮した運転になると予想される。その結果、先行車両への追従走行にも影響があると考えられる。そこで、情報提供によって先行車両に対する追従挙動がどのように変化するか考察する。

図-12 に情報提供の有無および先行車両の加速終了時の速度を示す。本稿では、発進後にアクセルの踏み込み量が0.5秒連続で減少し、かつ5%以上の減少があるときを加速終了と定義した。情報提供を行うことで、加速終了時の速度は1.7km/h減少した（ $F(1,41) = 10.1, p < 0.01$ ）。先行車の加速終了時の速度と比較すると、情報提供がない場合には先行車両の速度よりも4.6km/h上回るまで加速するのに対して、情報提供がある場合には2.9km/h上回る速度で加速を終了してることがわかった。したがって、加減速情報を参考にすることで加速終了時の速度が

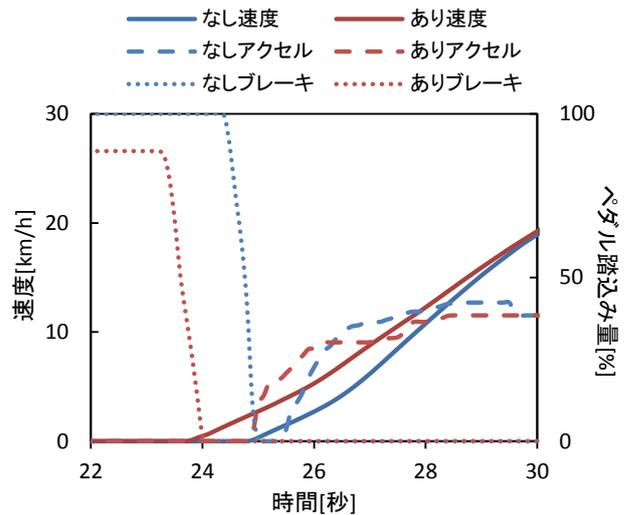


図-11 発進時の具体例

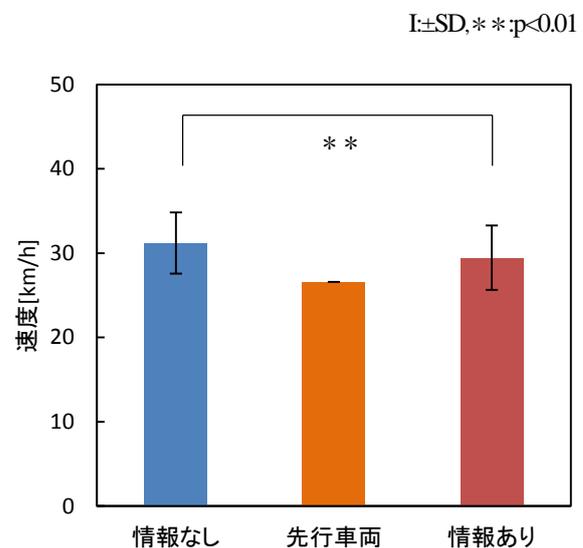


図-12 加速終了時の速度

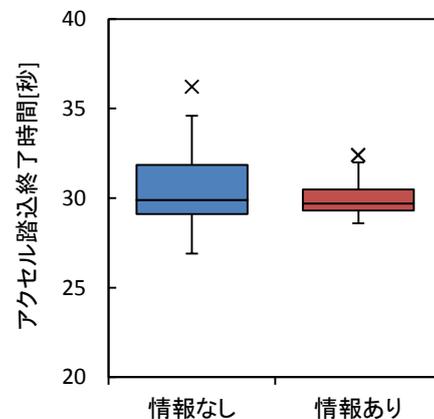


図-13 アクセル踏み込み終了時間

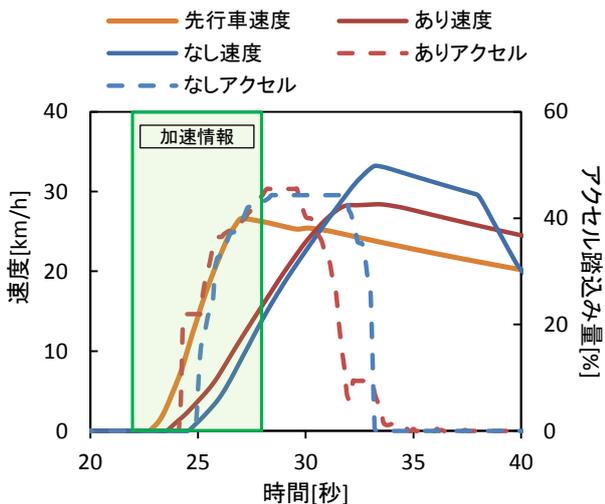


図-14 加速終了時の具体例

抑えられ、先行車両のスピードに同調した加速ができるようになる。

つぎに、加速時におけるアクセル踏み込みの終了時間を比較した。その結果を図-13 に示す。情報提供を行うことにより、実験参加者がアクセルの踏み込みを終了する時間が 30 秒付近に集中しているのがわかる。これは、加速終了時に加減速情報の緑色の三角形（加速情報）が消えるタイミングとほぼ一致しており、実験参加者が情報を参考にしていることを示す結果である。

図-14 に、実験参加者 G の情報提供の有無におけるアクセル踏み込み量、速度と先行車両の速度を示す。情報ありのとき、緑の枠線で囲まれた 22 秒から 28 秒の時間帯では加速情報が提供されている。アクセル踏み込み終了のタイミングは、情報提供により早まっていて、加速情報終了のタイミングを参考にしていることがうかがえる。また、情報提供があるときの速度のほうが、先行車両の速度パターンに合わせた加速になっていることもわかる。情報提供があるときのように、先行車両の加速終了時の速度に合わせ加速を終了することは、先行車両の挙動に対して同調的な車両挙動になっているとも考えられる。ドライバは情報提供を参考にすることで先行車両の加速終了を予測し、速度を調節したといえる。

また、3 章 5 節に示したように発進遅れの改善（図-8 参照）は、交通の円滑化に寄与すると考えられる。

先行車両と自車両の関係には、発進遅れの短縮、先行車の速度パターンに対して同調した加速を行うなどの変化が確認できた。また、実験参加者の主観評価からは、情報提供がある走行の方が先行車両への追従をしやすいという回答が多く得られている。

これらのことより、情報提供を行うことで無理なく前方の交通状況に同調した運転行動になると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、先々行車両の加減速情報をドライバに提供する実験を行い、情報提供の有無による車両挙動や運転行動の変化を検証した。

その結果、先々行車両の加減速情報を参考に運転することで、発進時に円滑な発進をドライバが自発的に行うようになり、エコドライブのふんわりアクセルスタートに近い緩やかな加速になる可能性があることがわかった。さらに、先々行車両の加減速情報は、発進時における燃費改善に効果的であることが確認できた。

また、先々行車両の加減速情報を参考にすることによって、ドライバは、特に発進から加速終了にかけては前方の交通状況に同調した追従運転をするようになった。

本実験では、10モードに追従する後続車に対して実験を行ったが、異なる交通状況においても加減速情報が有用であるか検証する必要がある。また、加減速情報を提示されて走る車両が混入した場合の一般道路での交通流への影響を評価することも必要である。さらには、自動車への実装も視野に入れたインタフェースの検討も重要である。今後は上記のような課題を検証していく予定である。

路車間通信と車車間通信は、現段階では普及が課題である。円滑化や環境負荷低減を図るためならば、もっと多様なパッケージを作り、技術や普及水準が低くても実際に使える施策を模索することも必要ではないか。本論文で示した方法が真に効果的であるかはこれからの検証を待たねばならないが、そうした様々な方法を模索する取組の事例の1つとして価値が大きいと考えられる。

**謝辞：**本研究を行うに際し、慶應義塾大学川嶋弘尚名誉教授、慶應義塾大学大門樹教授、慶應義塾女子高等学校国府方久史教諭、株式会社フォーラムエイト松田克己氏より多大なご助言等を得ました。ここに、あらためて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 高速道路サグ部の交通円滑化サービス, <http://www.its-jp.org/english/files/2013/10/Smartway-with-ACCCACC-leaflet.pdf> [2014, January 25]
- 2) 国土交通省道路局 ITS ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/> [2014, January 20]
- 3) 松本修一, 戸澤毅, 平岡敏洋, 山邊茂之, 川嶋弘尚: エコドライブ走行が追従車両に与える影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集 D3, Vol. 6, No. 5, pp. 67-72, 2011.
- 4) チャレンジ 25 キャンペーン HP, <http://www.team-6.jp/ecodrive/index.html> [2013, September 11]

- 5) エコドライブ普及推進協議会 ,  
[http://www.ecodrive.jp/eco\\_10.html](http://www.ecodrive.jp/eco_10.html) [2014, April 2]
- 6) 松本修一, 川嶋弘尚: 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, 土木計画学研究・論文集, Vol.69, No. 5, pp. I\_433-I\_440, 2013.
- 7) 平岡敏洋, 西川聖明, 川上浩司, 塩瀬隆之: 自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム, 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 11, pp. 754-763, 2012.
- 8) Hanna Larsson, Eva Ericsson : The effects of an acceleration advisory tool in vehicles for reduced fuel consumption and emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 14, pp. 141-145, 2009.
- 9) 田中健太, 丸茂喜高, 鈴木宏典: 先々行車の挙動を考慮した評価指標の提示が運転行動に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 131-140, 2013.
- 10) 佐藤 宏明, 伊丹 誠, 斉藤 裕一, 橋本 尚久, 加藤 晋: 追従車両に対する加減速情報の提示効果, 電気学会 ITS 研究会資料, Vol. ITS-12, No. 1-10, pp. 51-56, 2012.
- 11) 加茂碧唯, 松本 修一: 前方車群の加減速情報が後続車両の燃料消費率に与える影響に関する基礎的研究, 第 47 回土木計画学研究講演集, CD-ROM, 2013.
- 12) 松本修一, PARK Taehwi, 川嶋弘尚: エコドライブ走行の燃料消費率低減効果に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 27, No. 5, pp. 991-998, 2010.
- 13) 石橋基範, 大桑政幸, 赤松幹之: 運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 55-02, pp. 9-12, 2002.
- 14) 社団法人人間生活工学研究センター(HQL): HQL 式運転スタイルチェックシート解説書, 2003.
- 15) 社団法人人間生活工学研究センター(HQL): HQL 式運転負担感受性チェックシート解説書, 2003.
- 16) 平岡敏洋, 寺門康弘, 松本修一, 山邊茂之: エコドライブ走行の教示内容および燃料消費量計の提示が燃料消費率低減効果に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 1, pp. 71-80, 2010.
- 17) Mechanical Simulation Corporation HP, <http://carsim.com/> [2014, April 21]

(2014. 4. 25 受付)