

路車間・車車間通信における情報提供が停止挙 動に与える影響 ～渋滞末尾情報と加減速情報の比較～

齋藤 誠¹・松本 修一²

¹非会員 文教大学 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: b4p41046@shonan.bunkyo.ac.jp

²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

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」という機能は、路車間・車車間通信の両システムが連携する協調 ITS において今後更なる活用が期待される機能である。協調 ITS においてさまざまなサービスコンセプトが提案されているが、そのコンセプトをより具体化するには路車間・車車間通信を用いたそれぞれの情報サービスの特長や得失を把握することが重要である。また、今後車車間通信が実用化されるにあたって車単体で取得することが出来ない範囲を提供する先読み情報の重要性が更に高まると思われる。

本研究では、路車間・車々間通信のサービスの一例として、路車間通信による渋滞末尾情報と車々間通信による先々行車両の加減速情報がドライバの運転行動に与える影響の違いを比較する。このことにより、渋滞末尾における路車間・車々間通信の役割分担を明確にし、路車間通信と車車間通信の利点をより活かした協調 ITS の検討材料とする。

Key Words : ITS, Driving Simulator, Acceleration / Deceleration Information

1. はじめに

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」という機能は、路車間・車車間通信の両システムが連携する協調 ITS において今後更なる活用が期待される機能である。金澤ら¹⁾は、協調 ITS のサービスに関して、「安全」、「円滑」、「快適」、「環境」の4つに分類している。この中での「安全」を交通事故削減などの道路上の安全性を図るサービス、「円滑」を所用時間の短縮、渋滞削減など交通の効率化を図るサービス、「快適」を利用者の利便性を図るサービス、「環境」を排出ガス、CO₂ 排出量などの削減により環境改善を図るサービスと分類している。このような研究開発プロジェクトとして、CVIS²⁾ (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) や Easy Way³⁾, PRE-DRIVE C2X⁴⁾などのプロジェクトが欧州などで行われている。

わが国でも、昨今の車両技術の高度化に伴い、自動運転技術などと並んで、協調 ITS の活用に注目が集まっている。この協調 ITS において歩行者情報、信号情報、周辺車両情報の活用などを先読み情報といい、これらの情報を活用し、「2017年までに準自動走行システムレベル(レベル2)、2020年を目処に準自動走行システムレベル(レベル3)、2025年を目処に完全自動走行システム(レベル4)の市場化が可能になるよう、協調領域に係る研究開発を進め、必要な技術の確立を図る。」ことが戦略的イノベーション創造プログラム⁵⁾の中で議論されている。

協調 ITS において、さまざまなサービスコンセプト⁶⁾が提案されているが、そのコンセプトをより具体化するには路車間・車車間通信を用いたそれぞれの情報サービスの特長や得失を把握することが重要である。

本研究では、路車間・車々間通信のサービスの一例として、路車間通信による渋滞末尾情報と車々間通信によ

る先々行車両の加減速情報がそれぞれドライバの運転行動に与える影響の違いを定量化する。このことにより、渋滞末尾における路車間・車々間通信の役割分担を明確にし、路車間通信と車車間通信の利点をより活かした協調 ITS の検討材料の 1 つとする。

2. 実験概要

(1) 実験環境

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ために、ドライビングシミュレータ（株式会社フォーラムエイト製「UC-win/Road」，以下「DS」と記す）を活用する（図-1 参照）。なお、実験には高速道路を模擬したシナリオを作成した。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生成する。実験シナリオ上には、4 台の車両（以後、先頭から順に「先々行車両」、「先行車両」、「自車両」、「後続車両」とする）が走行する（図-2 参照）。また、先行車両の走行開始地点から 4km 先に渋滞末尾を模擬した車を停車させておく。なお、先行車両に遮られて、自車両からは先々行車両、渋滞末尾車両を見ることができない。

(2) 情報提供

本研究では、加減速情報と渋滞末尾情報をドライバに提供した際の運転行動を比較する。車車間通信を模擬した実験では先々行車両の加減速情報を提供し、路車間通信を模擬した実験では渋滞末尾情報として簡易図形を音声と共に提供する。加減速情報に関しては、表-1 のように 3 段階で表示し、ドライバの左側に設置した 8 インチ液晶ディスプレイ上に更新周期を 1Hz として情報を提示した。先々行車両の加速度が 0.4m/s^2 以上の状態では緑色の三角形、加減速がほとんど無い状態では白い横棒、減速度が -0.4m/s^2 以下の状態では赤色の三角形で表示を行う。次に、渋滞末尾情報に関しては、ITS スポット対応カーナビに設定されている時間⁷⁾を参考に、図-3 の簡易図形を 10 秒継続して表示すると共に、音声で「この先渋滞、追突注意」と情報提供する。

図-4 に先々行車両の走行パターンを示す。この図の第 2 軸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。

(3) 実験の条件

走行実験の前に練習走行を複数回行うことで DS 環境ならびに運転操作、情報の提示位置、情報提示に慣れてもらう。1 走行はダミー走行を行い、2~3 走行目に路車間もしくは車車間通信を模擬した実験を行い、情報提供に

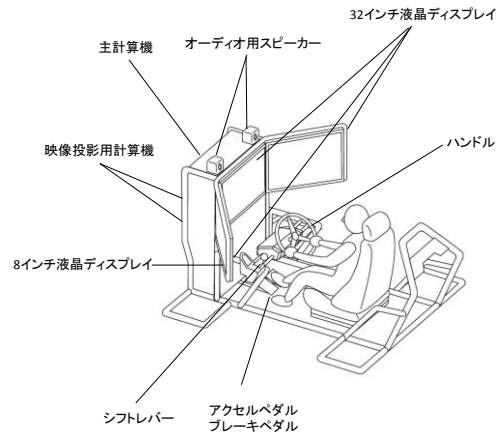


図-1 実験設備



図-2 車両の位置関係

表-1 加減速情報の表示形式

加速度 $[m/s^2]$	表示
$0.4 \leq a$	▲
$-0.4 < a < 0.4$	—
$a \leq -0.4$	▲



図-3 簡易図形

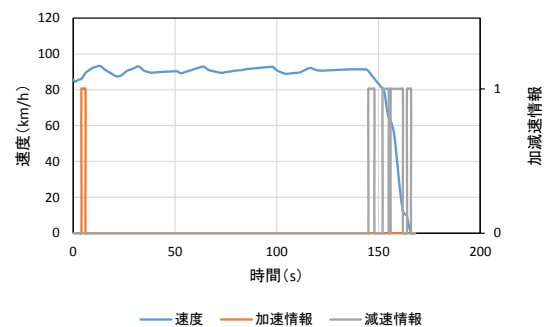


図-4 加減速情報提供パターン

慣れてもらう。4～5走行目は情報提供に慣れた状態で路車間もしくは車車間通信を模擬した実験を行う。走行実験後には、「路車間通信を模擬した実験」および「車車間通信を模擬した実験」の走行の違いについてアンケートおよび実験参加者の運転特性を把握するため、運転スタイルチェックシート (DSQ: Driving Style Questionnaire) と運転負担感受性チェックシート (WSQ: Workload-Sensitivity Questionnaire) ^{8), 9), 10)} に回答してもらった。

なお、実験で使用したのは、高速道路を模擬した片側2車線道路とし、0m, 40m, 80mの3段階で車間距離確認区間を設けている。実験の1走行の所要時間は約4分であり、1被験者あたり1時間30分程度の時間をかけ実験を行った。

3. 実験参加者

実験の前には、実験開始前のインフォームドコンセントにおいて、全実験参加者に対し、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。実験参加者は、19歳～21歳の6名(男性6名、女性0名)であり、平均年齢は20.5歳(標準偏差0.84歳)、平均免許保有年数は2.0年(標準偏差0.9年)であった。

また、走行ごとに以下のような教示を毎回行った。

- ・「実際の道路を運転するように運転すること」
- ・「車線変更を行わず、道なりに走行すること」
- ・「交通ルールを守り、安全運転を行うこと」
- ・「具合が悪くなった場合、走行中でも申し出ること」
- ・「先行車両に追従すること」
- ・「車間を空け過ぎないようにすること」

なお、情報提供を行うシナリオに対しては、「必要に応じて情報を参考にして運転すること」を追加で教示を行った。

4. 結果・考察

本実験では、1～3走行目に加減速情報と渋滞末尾情報を提供する走行および減速を行わないダミー走行をそれぞれ1走行経験をした後、4, 5走行目に加減速情報と渋滞末尾情報を提供する走行を行うような実験順序とした。本稿における解析では、情報提供による経験の影響を避けるため、4, 5走行のみを解析対象とした。また、本論

文での減速区間は、自車両の停止地点から逆算し、継続的に減速する最初の地点から完全に停止するまでと定義し、減速度などを算出した。



図-5 路車間通信イメージ



図-6 車車間通信イメージ

表-2 被験者属性

ID	年齢	性別	免許取得年数	高速道路運転頻度
A	21	男	2年8ヶ月	年1～2回
B	20	男	10ヶ月	2～3ヶ月に1回
C	19	男	10ヶ月	年1～2回
D	21	男	2年4ヶ月	年1～2回
E	21	男	2年11ヶ月	週1～2回
F	21	男	2年6ヶ月	週1～2回

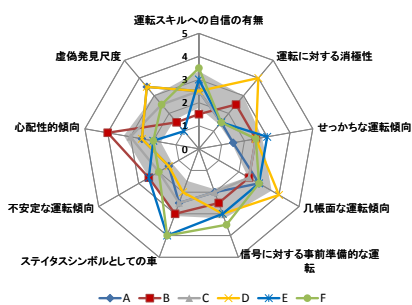


図-7 DSQ

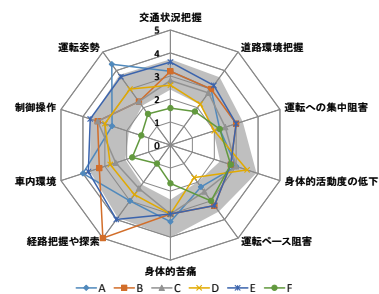


図-8 WSQ

(1) DSQ・WSQ

まず、各被験者のWSQ、DSQ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。

(2) 減速度・平均車間距離

結果を図-9～10 に解析区間における加減速情報と渋滞末尾情報を提供した 4, 5 走行目の走行の最大減速度および平均車間距離を示す。最大減速度は加減速情報・渋滞末尾情報に大きな差はなかった。また、畠中らの研究¹¹⁾による急減速の閾値を参考に、急減速か否かを検討したが、加減速情報・渋滞末尾情報ともに急減速とは言えないことが分かった。平均車間距離は渋滞末尾情報を得るため、事前に車間を開けることから渋滞末尾情報の方が車間をあける傾向が見られた。

(3) PICUD

前方車が急減速を行うとした時に、後続車が反応遅れ急減速して、車両が停止した時の相対的な位置を表す指標¹²⁾である PICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration, 急減速自追突危険性指標) (式-1 参照) を用いることでその走行の減速挙動の危険性を検討した。PICUD が 0 以下の値を示す状況は、前方車が突然急減速することにより、後続車が同じく急減速しても衝突を回避できない可能性を示唆している

この結果を図-11～12 に示す。図-11 より、加減速情報の方が安全な減速挙動を行っていることが分かった。渋滞末尾情報は 0 以下を示す被験者が 1 名いるなど、全体的に加減速情報と比べると危険な走行をしている可能性があることが分かった。

また、図-12 のように渋滞末尾情報の際に 0 以下を示した被験者 B の加減速情報・渋滞末尾情報の違いを見たが、加減速情報の際には安全な減速行動を行った。

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

- V_1 : 前方車の減速開始時の速度
- V_2 : 前方車の減速開始時後続車の速度
- S_0 : 前方車急減速時の車間距離
- Δt : 前方車ブレーキ開始から後続車ブレーキ開始までの時間, 反応遅れ時間
- a : 減速時の加速度 (-3.3m/sec² と仮定)

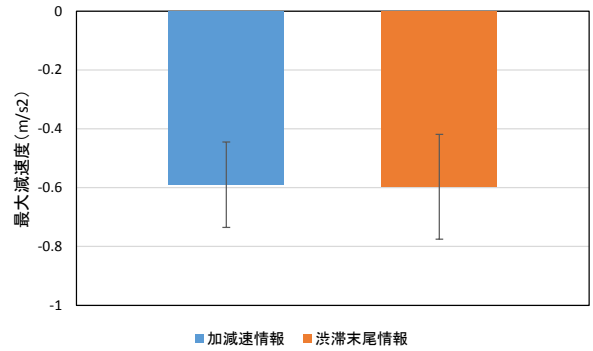


図-9 最大減速度

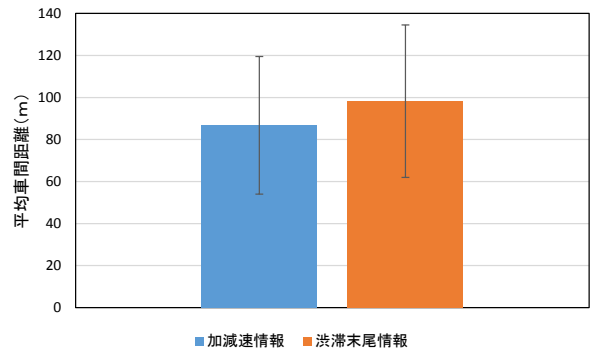


図-10 平均車間距離

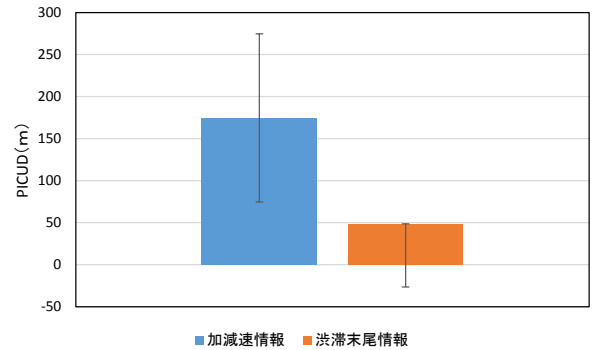


図-11 PICUD

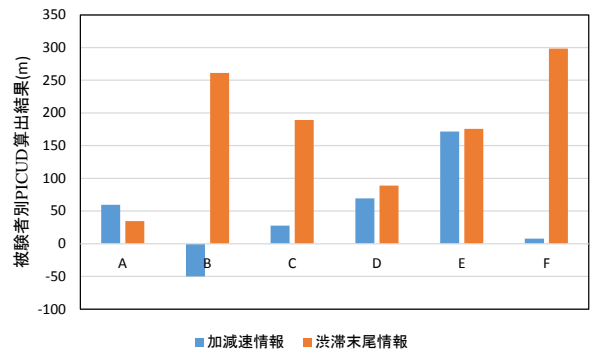


図-12 被験者別 PICUD 算出結果

(4) アンケート

走行実験終了後に車車間・路車間通信を模擬した走行それぞれに対し、以下の項目を 5 段階で回答してもらい、主観評価を行った。

- ・減速のしやすさ
- ・追従のしやすさ
- ・車間のあけやすさ
- ・安全運転への寄与
- ・アクセルワークの操作のしやすさ

その結果を図-13～14 に示す。なお、図-13～14 の網掛け部分は本実験における被験者の各項目の平均値±SD の範囲を示す。この 5 つの指標の中で、「減速のしやすさ」、「追従のしやすさ」、「車間のあけやすさ」、「アクセルワークの操作のしやすさ」に関しては、加減速情報の方が評価が高かった。その一方、「安全運転への寄与」に関しては、渋滞末尾情報の方が評価が高かった。また、アンケートの自由回答として、加減速情報のみを提供すると「先行車両が減速する理由が分からない」、渋滞末尾情報のみを提供すると「なぜ減速するのか分かった」「事前にこの先止まることを予想できた」という回答があった。

これらのことより、加減速情報にはドライバの運転操作を快適に促す効果があり、渋滞末尾情報にはそのような効果がないものの交通安全意識を向上させる効果があるものと推測することが出来る。

5. 考察

現在、協調 ITS において、さまざまなサービスコンセプトが提案されているが、そのコンセプトをより具体化するには路車間・車車間通信を用いたそれぞれの情報サービスの特長や得失を把握することが重要である。

本研究では、路車間・車車間通信のサービスの一例として、路車間通信による渋滞末尾情報の提供と車車間通信による先々行車両の加減速情報がドライバの運転行動に与える影響の違いを定量化した。

この結果、両者の最大限速度には大きな違いは見られなかった。また、平均車間距離を見ると路車間通信は事前に「渋滞末尾がこの先にある」という情報を得ていたため、車間を開ける傾向が見られた。また、PICUD を見ると渋滞末尾情報は加減速情報と違い、先行車両と衝突するリスクが低い走行であることが分かった。次に、平均車間距離と PICUD から、加減速情報は減速時に安全側へ寄与し、渋滞末尾情報は平均車間距離から等速走行時に安全側へ寄与することが分かった。

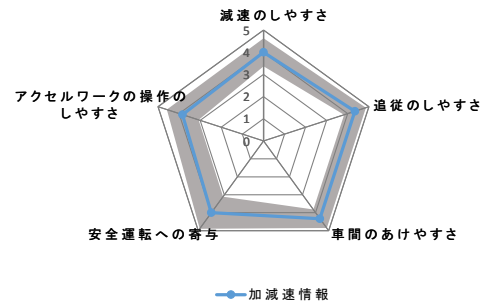


図-13 加減速情報に関する質問

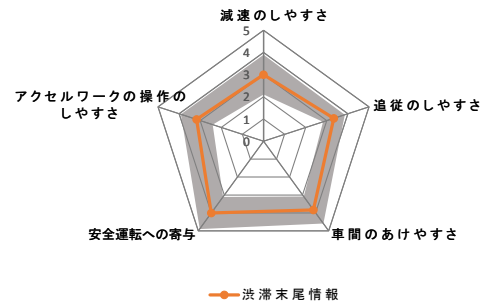


図-14 渋滞末尾情報に関する質問

アンケート調査では、「減速のしやすさ」、「追従のしやすさ」、「車間のあけやすさ」、「安全運転への寄与」、「アクセルワークの操作のしやすさ」の 5 項目に対して比較を行った。この結果、加減速情報にはドライバの運転操作を快適に促す効果があり、渋滞末尾情報には交通安全意識を向上させる効果があるものと推測することが出来た。

このように、路車間・車車間通信の得失を明らかにし、より良い協調 ITS のシステム設計に繋げていくことが重要である。

今後の課題としては、今回の実験では 6 名の被験者のみの結果であったため、今後被験者を増やし、今回の結果の確実性を確認することが必要である。また、路車間通信、車車間通信の一例として加減速情報、渋滞末尾情報を取り上げたが、協調 ITS では様々な情報提供が検討されているので、それらの情報内容に関して比較検討を行う予定である。このような試みから、路車間、車車間通信の両者をあわせた適切な情報提供に関する模索を続ける予定である。

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)JR東日本情報システム西元崇氏より多大な協力等を得ました。ここに、あらためて感謝の意を表します。なお、本研究は科学研究費補助金（若手

B 課題番号25870712) および文教大学大学院情報学研究科共同研究費による研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 金澤文彦, 鈴木彰一, 若月健, 中村悟: 協調 ITS の国内外プロジェクト比較分析からみた次世代 ITS 研究開発に関する一考察, 土木学会論文集 D3, Vol.69, No.5, pp.819-837, 2013.
- 2) CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems), <http://www.cvisproject.org/> [2017, April 26]
- 3) EasyWay, <https://www.its-platform.eu/highlights/easyway-programme-2007-2020-and-its-projects> [2017, April 26]
- 4) PRE-DRIVE C2X, <http://www.pre-drive-c2x.eu/> [2017, April 26]
- 5) 内閣府: 「戦略的イノベーション創造プログラム自動走行システム研究計画書」, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousouukou.pdf [2017, April 26]
- 6) 国土技術政策総合研究所: 「次世代の協調型 ITS に関する共同研究」 http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/2research/1field/23jr_cooperativeits/ [2017, April 26]
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 慶應義塾大学, 国土技術政策総合研究所: ITS スポットによる高齢ドライバに考慮した情報コンテンツに関する研究, 報告書, 平成 25 年 3 月.
- 11) 畠中 秀人, 平沢 隆之, 渡部 寧, 井上 洋: プローブデータを活用したヒヤリハット検出に関する検討, 第 27 回交通工学研究発表会論文報告書. Vol.27th pp.137-140.2007.
- 12) 宇野伸宏, 飯田恭敬, 安原真史, 菅沼真澄: 一般道織込み部におけるコンフリクト分析と速度調整モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol.25, CD-ROM, 2002

(2017.4.28 受付)

**The Effect of Information Provision on Stopping Behavior using Roadside-to-Vehicle /
Inter-Vehicle Communication
-Comparison between Congestion Detecting Information and Acceleration /
Deceleration Information -**

Makoto SAITO, Shuichi MATSUMOTO