

# ドライビングシミュレータを用いた合流部走行支援情報システムの評価\*

## An Analysis of the Effect of Information System at the Merging Section Using Driving Simulator\*

藤生 慎\*\*・清水哲夫\*\*\*

By Makoto FUJII\*\*・Tetsuo SHIMIZU\*\*\*

### 1. はじめに

都市高速道路の合流部では、短い加速車線や見通しの悪さにより厳しい合流行動を強いられる箇所が多く存在する。この問題の解決策として合流部の構造を改良するという方法がある。しかし、高密度な都市空間に展開される都市高速道路では構造を改善するという方法は、その制約条件の多さから却下せざるを得ない。このような状況下で ITS システムを導入し合流部の走行環境を改善することは大変意義があると考えられる。

走行支援情報システムを合流部に導入した場合の合流部走行環境改善効果の計測にドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いた研究は、清水らにより行われている<sup>1)</sup>。DS を使用する理由として、実道での実験では危険が伴うことや、実験環境に限られることが挙げられる。その研究成果として、合流部を走行するドライバーに理解されやすい走行支援システムのデザイン、合流部走行環境改善効果を計測する実験環境の構築において有益な知見を得ている。しかし、ドライバーに理解されやすい走行支援システムの提案と実験環境の構築に留まっており、DS 上で実際の交通状況を再現した状況下での走行支援情報システムの効果計測は行われていない。

本研究は、首都高速道路合流部を取り上げ、DS に走行支援システムを実装し交通密度や本線速度レベル等の交通環境を変化させ、多様な属性を有する多数の被験者による実験を通じて、走行支援情報システムが車両挙動、運転操作に及ぼす影響を明らかにしドライバーの合流部走行環境改善に及ぼす影響を分析することを目的とした。

本研究で使用した DS は慶應義塾大学川嶋・大門研究室が所有するもので、図-1 に示すように装置中央に実物と同じ車体を配置し、周囲 360 度に 8 面のスクリーンを設置されている。また、車体には油圧の 6 軸の動揺装置（モーション機構）が取り付けられており、運転操作や線形条件に合わせて車体を自由に動かすことが可能で



図 1 使用した DS システムの写真

ある。実験は DS 上に図-2 に示す首都高速谷町ジャンクション（首都高 3 号渋谷線から都心環状線外回りへ合流する方向）を再現することで行った。実験対象合流部は、本線がカーブしており、加速車線も十分に確保されない大変合流しづらい合流部である。さらに外回りと内回りが高架方式になっており、日中でも合流部が暗く、見通しが悪い状況にある。

### 2. 走行支援システムの概要

都市高速道路に多く存在する合流区間長が短く、見通しの悪い合流部に走行支援情報システムを導入することの効果は大きく3つある。

一つ目は合流線側から本線に合流するドライバーに不必要な運転操作をさせないこと（円滑性）である。一般に本線車が合流車に比べ速度が速いため合流車は合流区間において加減速を行い本線ギャップの調整しながら合流を完了することになる。つまり、本線車と合流車の速度差が小さくなれば本線車との大きなギャップ調整を行わずに合流を完了することが出来る。

二つ目は合流部において快適に合流が完了できることである。都市高速道路に存在する合流区間では、本線車との速度差、残存加速車線長、流入ギャップの選択などを考慮に入れた総合的な判断を短時間で行わなければならない。したがって、大きな加減速を行う合流は、それらの判断を混乱させるだけでなく、渋滞や事故の原因となりうる。つまり、合流区間内での加減速度が小さけれ

\*キーワード：ITS，交通制御

\*\*正員，修（工），㈱企画開発（東京都渋谷区恵比寿西 2-3-3 武田第2ビル3F，：03-5458-1811，e-mail: fujii@crp.co.jp）

\*\*\*正員，博（工），東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻助教



図 2 実験対象合流部



図 3 情報板



図 4 ガイドランプ

ば快適で安定した合流が実現することになる。

三つ目に本線車と合流車の速度差を小さくすることで合流区間での合流車と本線車のコンフリクトにより本線側に生じるショックウェーブを小さくすることが出来る。

そこで本研究では、合流区間内において「円滑性」「快適性」が改善されることを期待して走行支援情報システムの導入効果を計測する。

走行支援情報提供のシステムは、そのインターフェースの形態により2つに分けられる。地上に設置した案内設備を用いるもの、車載機を通じた視覚あるいは音声を用いるものである。本研究では、全てのドライバーに情報提供をした場合について効果を計測するために地上設置の設備を用いた情報提供システムを対象とすることとした。合流部の走行は短時間での判断が要求されるため、ドライバーに提供する情報は理解しやすいものでなければならない。清水らの研究により、いくつかの情報提供装置がデザインされ、ドライバーが理解しやすい情報提供装置が検討されている。それを踏まえ本研究では、本線車両の存在情報を提供するシステムとして情報の表示範囲が広くドライバーが視認しやすいという理由から図-3に示すオーバースタック型、存在情報と位置情報の両方を提供するシステムとして図-4に示すガイドランプの2種類の情報提供装置を採用することとした。

図-3に示す情報版は、合流区間手前約20mの地点に設置しており、首都高3号渋谷線を分岐したところから視認可能である。本線に設定した約70mの検査区間（情報提供対象の合流車が加速車線に到達した時に相互に干渉する可能性がある車両が存在する範囲）に、車両が1～2台存在する場合には橙色で「合流車多し注意」、3台以上存在する場合には赤色で「合流車接近注意」、存在しない場合には何も表示しない2段階の存在情報を表示するシステムである。

図-4に示すガイドランプは、本線に設定した約70mの検査区間に存在する本線車両の存在位置が赤色に点灯し本線車両の位置に応じてランプが移動する。本線車両の存在情報に加え位置情報をドライバーに提供するシステムである。このシステムは合流線側の側壁に設置しておりその長さは約100mで一般的に存在する合流区間と

表 1 被験者属性

実施期間	平成 17 年 11 月 11 日～12 月 1 日
被験者数	34 名（男性：26 名，女性：8 名）
運転歴	6 ヶ月～38 年 9 カ月
走行頻度	年 3，4 回～毎日
首都高運転経験	なし～毎日
職業	学生，主婦，会社員，タクシー運転手

表 2 実験シナリオ

実験回数	先行車有無	情報提供	交通密度
1	先行車なし	なし	大
2		情報版	中
3		ガイドランプ	小
4		なし	小
5		情報版	大
6		ガイドランプ	中
7		情報版	小
8		なし	中
9		ガイドランプ	大
10		先行車あり	なし
11	情報版		中
12	ガイドランプ		中

同じ長さが確保されている。また、普通自動車を運転するドライバーから見やすい高さに設置した。

### 3. DSによる情報提供実験の概要

合流部走行支援情報システムを DS に実装し、34 名の被験者に対して情報提供の実験を行った。実験を開始する前に、被験者全員に対して首都高速道路の合流部に情報提供装置を設置した場合の効果を計測する実験であること、DS に実装している走行支援情報システムの種類について紙面上で十分な説明を行った。次に、走行支援情報システムからの情報提供種類と本線交通密度の関係も 2 つのシステムそれぞれについて紙面上で具体的な事

例を用いて十分な説明を行った。その後、DS の運転方法が AT 車と同じであることや運転操作上の注意事項について被験者を DS に乗車させた状態で説明した。さらに、ほぼ被験者全員が DS による実験が始めてであったため実際の車両と DS の運転感覚の違いに慣れてもらうため実験走行を開始する前に試験走行を行った。試験走行は、情報提供装置を使用せずに合流するケースを 3 回、2 種類の情報提供装置を使用し合流するケースをそれぞれ 1 回ずつ計 5 回の試験走行を行った。その後、被験者に DS で合流区間を走行することに慣れたかどうか口頭で確認し実験を開始した。その確認が出来なかった被験者は、情報提供装置を使用せず合流するケースで追加の試験走行を行ったが、ほとんどの被験者が 5 回の試験走行で DS による走行が可能と回答した。

実験走行は表-2 に示すように各被験者は先行車なしのケースでは、情報提供をしない場合（なし）、図 3 に示す情報板による情報提供を行う場合（情報板）、図 4 に示すガイドランプを用いて情報提供を行う場合（ガイドランプ）の 3 種類を設定した。また、本線側の交通密度についてはこれを大（平均車間距離 40m, 22 台/km）・中（同 60m, 16 台/km）・小（同 85m, 11 台/km）と 3 段階設定し計 9 回の合流実験を行った。また、走行毎に本線の交通密度に偏りが生じないように配慮した。先行車があるケースでは、情報なし、情報板、ガイドランプを各 1 回、本線交通密度は、中（平均車間距離 60m, 16 台/km）として計 3 回の合流実験を行った。先行車ありの実験回数が少ない理由として、DS を用いた長時間の実験で生じる被験者のシミュレータ酔いを防ぐためである。したがって、1 人 1 回の実験で 12 回の合流実験を行った。実験では、首都高の道路上から走行を開始するため、安定した走行状態になるまでである一定の距離が必要となる。したがって、走行開始位置は合流区間手前約 700m とした。停止位置は、首都高 3 号渋谷線上で走行を開始し途中で都心環状線外回り方面に分岐し合流区間を通過し、合流完了後約 100m 走行した地点とした。実験コースの総延長は約 800m である。合流完了後 100m 走行する理由として、合流完了直後に停止すると急減速のためシミュレータ酔いが生じる可能性があるため通常走行に移ってから、ゆっくり停止することで被験者の負担を軽減するためである。また視認性の悪い合流部における情報提供の効果を把握するために、分析対象合流部には実際に存在しない側壁を全てのシナリオで設置している。

被験者は、情報提供効果に一般性をたせるため表-1 に示すように多様な属性の被験者とした。運転に慣れていない若年層の被験者として日常的に運転していない学生、比較的運転に慣れている若年層の被験者として日常的に運転している学生、女性の被験者として主婦・学

表 3 合流区間内の相対速度差の平均値 (km/h)

情報提供の種類	交通密度		
	大	中	小
なし	8.09 (10.9)	10.0 (10.3)	6.66 (11.6)
情報板	11.4 (11.9)	9.61 (9.61)	5.30 (11.1)
ガイドランプ	4.01 (10.5)	4.92 (12.4)	0.93 (12.5)

\*上段は平均値，下段（）内は標準偏差

表 4 合流部通過時の最大加速度の平均値 (m/s<sup>2</sup>)

情報提供の種類	交通密度		
	大	中	小
なし	3.56 (1.71)	3.75 (1.68)	3.65 (1.79)
情報板	3.65 (1.68)	3.78 (1.68)	2.69 (1.96)
ガイドランプ	2.53 (1.76)	2.43 (2.11)	2.45 (2.00)

\*上段は平均値，下段（）内は標準偏差

生、比較的運転に慣れている中年層の被験者として会社員、かなり運転に慣れている被験者としてタクシー運転手とし、それぞれ年齢層、運転経験がばらつきを持つよう配慮して被験者を選定した。本研究では、実験終了後被験者に情報提供装置導入に対する支払意思額、情報提供装置の選好について簡単なアンケートを行っている。

#### 4. DSによる情報提供実験の実験結果

##### (1) 合流区間内の本線車両との相対速度差（円滑性）

本線の交通密度は一定ではなく様々な交通密度が存在する。これらの交通密度の下で情報提供を行った場合の合流円滑化効果を把握するために、情報提供の種類と本線交通密度別の合流区間内の合流車と側方合流車の相対速度差を比較した。その結果を表-3に示す。

本線車は、被験者の運転する合流車が合流区間に進入した時に、本線で一番近くを走行する本線車のことである。相対速度は本線車の速度から被験者（合流車）速度を引いたもので、合流区間内の最大値のものを使用している。すなわち、値が小さい方が本線車との速度差が小さいことになる。結果より、ガイドランプの場合が相対速度の平均が小さいことがわかる。しかし、分散が大きいためドライバーによってはうまく速度の調節が出来なかったケースも存在することがわかる。情報板の場合には、交通量が小の場合に相対速度を小さくできているが、これは情報板の効果ではない可能性が高い。交通量が中と大では、情報板の有無が相対速度にほとんど影響を与えていない。

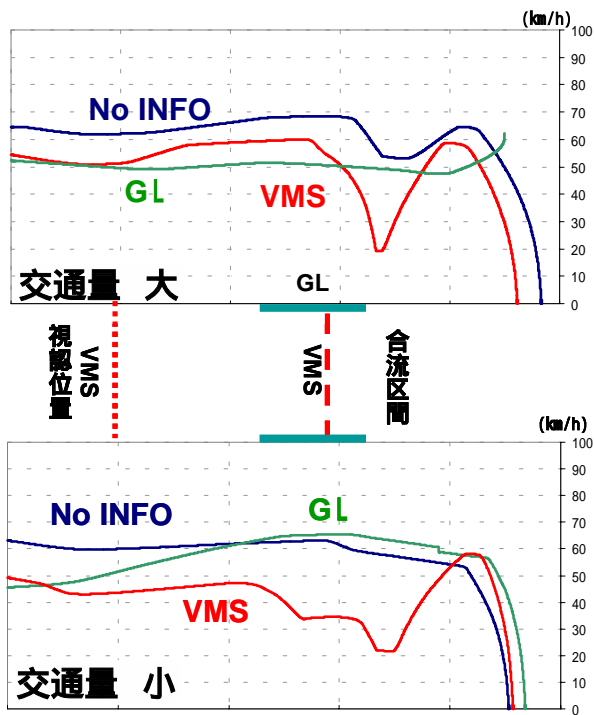


図 5 走行事例（不慣れなドライバー）

### （2）合流部通過時加減速度（快適性）

合流部通過時の最大加減速度は、合流部通過時の快適性効果を表すものと考えることが出来る。最大加減速度が大きければドライバーは即座の判断が必要な合流に遭遇した可能性が高く、その逆の結果では安定した快適な合流であったと評価することが出来る。そこで、情報提供装置別、本線交通密度別に最大加減速度を比較した。平均値を表 4 に示す。なお、平均加減速度は加減速度の絶対値の平均である。情報板の場合では、交通密度が小の場合を除き情報なしの場合とほぼ同じ加減速度となっていることがわかる。これは情報板による快適性の変化は情報提供は情報を与えない場合と変わらないことを意味する。一方、ガイドランプでは、情報なし、情報板と比較するとどの交通密度においても最小であることがわかる。これは、合流する前に速度調節を行うことで、合流区間内での、大きな速度変化が発生していないことを表している。つまり、情報なし、情報板と比較して快適性が増加していることを意味する。

### （3）走行事例（不慣れなドライバー）

被験者の車両挙動のうち速度変化に着目した分析を図 5 に示す。図 5 の見方については、横軸が進行方向位置を示し、ハッチ部が合流区間を示す。破線部に情報板（VMSと表示）が設置され、その手前の破線部でこれが視認できる。ガイドランプ（GL）は合流区間の直前100mに設置されている。交通量レベルごとに、情報板とガイドランプによる情報提供時と、情報なしの3つのケースにお

ける速度変化を同時に示している。被験者属性は、運転歴：5年、年間走行距離約1000km、首都高速走行：なし、情報提供装置の評価：情報提供装置の信頼度：5（5段階、大きい方が信頼度高い）、理解しやすさ：5（5段階、大きい方が信頼度高い）合流時に参考にした情報提供装置：ガイドランプであり、他の被験者と比較すると年間走行距離、首都高経験から不慣れなドライバーと言える。情報板による情報提供を行った場合には、何も情報提供を行わない場合に比べて、大きな減速が発生していることがわかる。不慣れなドライバーは合流区間を通過するだけでも何らかの負担を感じているにも関わらず、情報板からの情報提供を行うことで、さらに運転操作への負担を増加させてしまった可能性が高い。一方、ガイドランプによる情報提供を行った場合には、合流区間に到達するまでにギャップ選択位置の調整を完了し、合流区間で円滑に合流していることがわかる。

### 5. おわりに

本研究では、構築したDSにおいて、交通量を変化させながら、情報の有無、情報種別が合流部走行の効率性や快適性に与える影響を分析するために、34名の被験者に対して走行実験を行った。その主要な結果として、情報板から情報提供を行った場合には多くの被験者で合流区間内での減速が生じる、情報板での情報提供を行った場合の効果はドライバーの運転経験等の属性に依存する可能性が高い、ガイドランプを用いた場合には、多くの被験者で本線車との速度差を小さくすることができ、合流の円滑性向上に寄与する可能性がある、交通量が多い場合には最終的に急な加減速を生じさせる可能性もある、等の知見を得た。結論として、走行支援情報システムの合流部への導入により合流部の円滑性と快適性の向上可能なシステムと交通密度の組合せが存在することが明らかとなった。今後は、ドライバーのスキルに合わせて得られる情報を選択できるような車載機による情報提供方法も視野に入れる必要がある。

謝辞：本研究は、国土技術政策総合研究所の委託研究である「ITS導入効果およびAHS技術に関する基礎的先端的研究（慶應義塾大学）」からの支援を頂いた。DSの使用に関しては、慶應義塾大学理工学部管理工学科川嶋教授、大門助教授、(株)三菱プレジジョンのご協力を頂いた。記して謝意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 清水哲夫, 安藤拓也, : ドライビングシミュレータを用いた合流部走行支援情報システムの効果分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 32 (CD-ROM), 2005.