

一時停止を伴う合流部における走行支援情報提供の考察とその実験方法*

A Experiment of the Information System at “Stop-and-go” Merging Section *

清水哲夫**・浅野美帆***・森地茂****

By Tetsuo SHIMIZU**・Miho ASANO***・Shigeru MORICHI****

1. はじめに

我が国の交通事故発生状況に関しては、死者数は減少傾向にあるが、負傷者数、件数共に増加傾向にある。その減少を目的として走行支援システムAHSにおいて7つのユーザーサービスが提唱され、テストコースでの検証実験に引き続き、実道での検証段階に入っている¹⁾。

一方、分合流部では、その危険性は認識されながらも現実に発生している交通事故数は実は多くはない。そのため、7つのユーザーサービスには分合流部は含まれていない。しかし、ドライバーはその対価として何らかの負担を強いられいていると考えることができ、そのため筆者らは分合流部においてもAHSのユーザーサービス展開が検討されるべきであると考えている。しかし、そのために有効なデータや分析手法は十分に確立されているとは言いがたい。過去の研究では、清水らが首都高速道路の合流部を対象に、走行支援情報提供のあり方を考察し、限定的なサンプルでありながら、実走実験を通じてその問題点や効果を初期的に示している²⁾。さらに、実験を通じて得た知見をミクロ交通流シミュレーション分析に反映し、走行支援情報が合流部の運用指標に及ぼす影響を分析している³⁾。しかし、より一般的な知見の獲得には引き続き多くの実験が必要であり、加えて、都市間高速道路や一般道路を対象とした実験も必要である。また、運転を補助する車両が実道に登場しており、これを考慮した分合流部AHSサービスも検討されなければならない。

本研究は、清水らの先行研究²⁾の継続研究として、一般道路の一時停止を伴う合流部に着目し、当該地点の走行メカニズムに即した走行支援情報提供のあり方を考察し、実走実験を通じてその問題点や効果を初期的に把握することが目的である。

2. 一時停止を伴う合流部における走行支援情報提供の意義と求められる要件

(1) 走行支援情報の意義

一時停止を伴う合流部では、高速道路などの合流部とは異なり、本線車が絶対的な優先権を有しており、合流車を受け入れるために速度調整を行うことはほとんどないと考えられる。そのため、AHSサービスの対象はもっぱら合流車のみと考えてよい。また、本線が片側2車線の場合には避走を考慮する必要があるが、一般道路の多くの合流部前後では車線変更を禁止する運用が多く見られ、避走をサービスに含める意義は大きくない。

また、合流部の交通需要によっても、AHSサービスの自体の必要性や、その提供方法が決まってくる。合流車の需要が大きいケースでは、本線交通を一時停止させても、信号により一度に大量に合流させた方が望ましいと考えられる。逆に、合流車の需要が極端に少ないケースでは、ランプメタリングのような青信号による発進支援で十分であろう。筆者らは、AHSサービスが最も効果を発揮する局面は、本線需要が適度にあり、かつ合流需要も適度にあるケースであると想定している。この場合、ランプメタリングにおける信号表示や、可変情報板などによる、「誰もが使える」デバイスでは、「進行せよ」や「待て」などの指示を与えても、それがどの車両に対してであるか不明確である。このようなシステムでは、事故が発生した場合の責任は道路管理者側にあると理解され、「事故発生責任はドライバーにある」⁴⁾とする現行法制度上での適用は困難であろう。一方、車載器をベースとしたサービスでは、誰に対する指示かが明快であり、ドライバーが自己責任でそのサービスを楽しむことのコンセンサスができていけば、現行法制度下でも適用可能であると考えられる。

もちろん、情報提供により逆に危険を招く可能性も否定できない。その対応として、清水らの先行研究²⁾では、情報は全てのドライバーに提供するのではなく、情報加工能力のあるドライバーに限定して提供すべきであると述べている。この考え方は、対象が都市高速道路であるため、サービスの目的が安全性よりは円滑性の向上であったためである。一方、本研究が着目する一般道路合流部では、目的が安全性向上へとシフトし、運転能力の低

*キーワード：ITS, 交通安全

** 正員、博士（工学）、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻（東京都文京区本郷 7-3-1、TEL:03-5841-6128、E-mail:sim@planner.tu-tokyo.ac.jp）

*** 学生員、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

**** 正員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

いドライバーを中心に多くのドライバーが支援対象とならなければならない。情報加工能力が低く、かつ運転能力が低いドライバーに「不適切な」情報提供を行えば、無用な事故を発生させてしまう。ただし、このような情報提供では、当然合流中に突如発生した危険を回避させる効果は期待できず、事前に安全側への運転を促す効果を期待することになる。その誘導に「適切な」情報提供方法を検討することが重要である。

(2) 本研究で想定する合流部の判断プロセス

筆者らは、従来の交通安全対策はドライバーの判断の要因を真に特定しないままに数々の対症療法的な対策が行われてきたと理解している。加えて、対策の効果についても事後的に検証が行われ、その後の対策に対する知見を与えていたか疑問を抱いている。その状況からの脱却のためには、ドライバーの判断プロセスのモデル化は重要である。

ここで、一時停止を伴う合流部における合流車の運転挙動の特徴を考える。停止線で停止している車両のドライバーは、到達する側方ギャップの流入可能性を順次判断し、流入可能であると判断したら加速を開始すると考えることが自然であろう。すなわち、ドライバーは側方ギャップへ安全に合流するために必要な流入所要時間 T_g^* を感覚的に知覚しており、本線車が自車の側方に到達するまでのギャップ時間 T_g （認知ギャップ時間）を判定し、後者の方が大きければ流入を実行するものと考ええる。さらに、 T_g^* は判断に必要な時間 T_d （判断時間）、本線速度に達するまでに必要な時間 T_o （操作時間）、判断の誤りに対するリスク軽減に対するある種のマージン T_m （余裕時間）の線形和 $T_g^* = T_d + T_o + T_m$ で表すことを考える。

判断時間は、明らかに小さすぎたり、大きすぎたりするギャップに対しては短い、微妙なギャップに対しては長くなるであろう。また、疲労や運転経験などの個人属性によっても大きく異なってくる。操作時間は、道路構造や車両性能などに影響を受ける。余裕時間は、急いでいる場合や、既に合流部で長時間待たされている場合には短くなると考えられる。認知ギャップ時間は本線車の車種、合流部取り付け角度などの道路構造、障害物の有無、視力などの個人属性で変動すると想定される。

(3) 走行支援情報提供の要件

走行支援情報提供による合流部運用改善の動機は、次の用語自体にいろいろな定義は考えられるが、安全性、快適性、効率性を向上させることにある。一時停止を伴う合流部の場合には、合流車は必ず停止しなければならないという制約から、これらのうち相対的に安全性が重要な要因となってくることは既に述べた通りである。

具体的には、走行支援情報提供は認知ギャップ時間の減少方向の変動を小さくする、判断時間を小さくすることで事故のリスクを軽減することが主たる目的となる。前者の理由は、もしドライバーがギャップ時間を真値よりも小さく見積り、これが T_g^* よりも小さいにも関わらず発進すれば事故が発生してしまうためである。

先の清水らの研究²⁾では、情報提供の種別を現況情報、予測情報、行動推奨の3種類と考えている。この中で予測情報については、合流車から本線が見えていない段階で情報提供がなされる場合にのみ有効であり、本線が見えていないは無用な混乱を招くと筆者らは考えており、本線が十分に確認できる一時停止を伴う合流部では適さない。また、現況情報の意義についても、情報提供の内容によって変わってくる。すなわち、存在情報（本線車がいる/いない etc.）は本線が見える合流部では全く意味のない情報であり、変数情報（例えばギャップの距離など）の提供がより望ましい。しかし、情報提供のフレーズが長くなり、かつ、それを聴いてから流入可能性の判断をするという2段階の意志決定になり、判断時間が増加する恐れがある。一方、行動推奨は、現況情報や予測情報よりも指示が具体的であり、判断時間を飛躍的に短くする可能性を秘めているものの、システムが受け持つ責任の度合いはより大きくなる。なお、清水らの先行研究²⁾では、都市高速走路の合流部では行動推奨は適していないとの考察を行っているが、推奨オプション数が多く存在するためであり、一時停止を伴う場合には基本的には発進だけの指示になるためその懸念は当たらない。車載器のデバイス構成については、合流のような瞬時の判断が要求される局面では、モニタ表示よりも（or と併せて）音声による提供が望ましいと考えられる。

以上を鑑み、次章では音声ベースの行動推奨による情報提供実験を実施した。

3. 走行支援情報提供の模擬実験概要

(1) 実験対象地点

本研究では、実験対象地点として国道246号線より青葉台ランプ（図-1）を取り上げた。当該地点では、合流部内の追突事故が多発している状況にある。その原因は、流入待ち2台目からも本線が確認でき、1台目と2台目の流入判断の相違が生じていることが森地らにより報告されている⁹⁾。もしも両者に何らかの情報を提供して適切な合流判断を支援すれば、このような事故が回避できる可能性は高い。

本合流部の交通需要については、本線は800台/時/車線程度の比較的高密度な流れであり、流入需要も300台/時程度と比較的大きい。先にも述べたように、このような需要特性を有する合流部における走行支援情報提供の意



図-1 青葉台ランプ

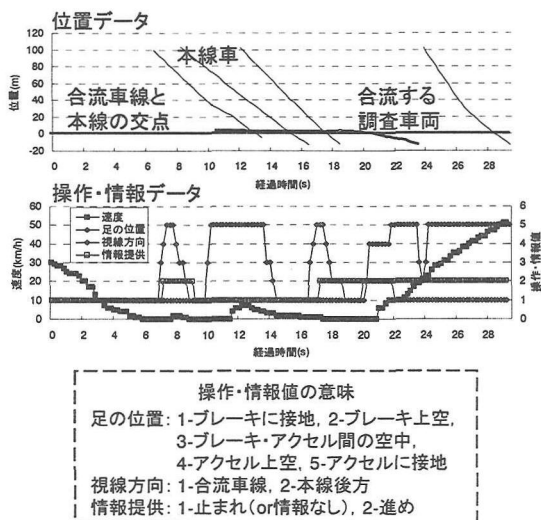


図-2 取得データの概要



図-3 情報提供方法の概要

義は大きいと考えている。

(2) 実験概要

実験は2001年12月の平日4日間で行った。6名の被験者(全て男子大学生であり、運転経験は2年～5年まで、月に1度以上は運転している)から情報提供の有無を併せて99回の合流部の走行データを取得した。調査車両はレンタカーを利用したが、被験者の視線の動き、足の動き、速度の推移をビデオで記録し、同時に合流部周辺に複数のビデオを設置して、調査車両と周辺車両の挙動を記録した。後者の画像からは、簡単な画像処理で時間と

位置のデータを、前者の画像からは、足の位置(アクセル/ブレーキ)と視線の位置(目視/ミラー)を、ともに0.2秒間隔でコーディングし、図-2のような運転操作・車両挙動関連図を作成した。

(3) 情報提供の方法

走行支援情報の提供には、清水らの先行研究³⁾に倣い、ハンズフリーの携帯電話を通じたマニュアルの簡易情報提供システムを使用した。情報の種別は既に述べたように行動推奨とし、“進め”のみを提供するタイプ(タイプB)と、“進め”と“止まれ”の2種類の内容を提供するタイプ(タイプC)を設定した(情報が提供されないタイプはタイプAとする)。図-3に情報提供方法を示すが、情報提供者は合流部の手前の本線沿いに立ち、そこから合流地点までの本線を検査区間として、ここに1台も車両が存在しなければ“進め”と指示し、タイプCのみ、検査区間に1台でも存在すれば“止まれ”と指示することにした。被験者は合流部進入直後から合流を完了するまで情報を聞くことができる。検査区間の長さについては、当該合流部における観測から流入実行率が50%および85%であったギャップ長(それぞれ80mのタイプ1と100mのタイプ2)の2通りを試行した。各タイプの走行回数は、タイプA, B1, B2, C1, C2それぞれ、37回、13回、12回、19回、18回であった。

4. 走行支援情報が運転挙動に与える影響

(1) 運転操作・車両挙動関連図による分析

はじめに、被験者の各走行を運転操作・車両挙動関連図により詳細に分析する。図-4は、被験者が流入可能と判断した(と想定される)時に“進め”の情報を入手した場合の運転操作・車両挙動関連図と、同一被験者による類似した交通流における情報がない場合のそれを比較した一例である。情報がない場合には本線後方を確認後3.2秒でアクセルを踏んでいる一方、情報がある場合にはこれが1.4秒に短縮されていることが見て取れる。この時の走行では、提供された情報が自分の判断と同じであったと考えられるが、このような場合には、本線確認時間と判断時間が同一である保証はないものの、判断時間が短縮された可能性があるとも考えることもできよう。なお、今回は実験回数が少ないため、同一の被験者かつほぼ同様の交通状況による情報有無の影響を分析できたケースはこの1セットのみであり、このことの一般性については必ずしも保証されていないことを明記しておく。

次に、被験者が流入可能と判断した(と想定される)時に“止まれ”の情報を入手した場合の例を図-5に示す。これは本線車が大型車のケースであるが、被験者は一旦停止しようとするが、途中で本線車が大型車で速度が遅

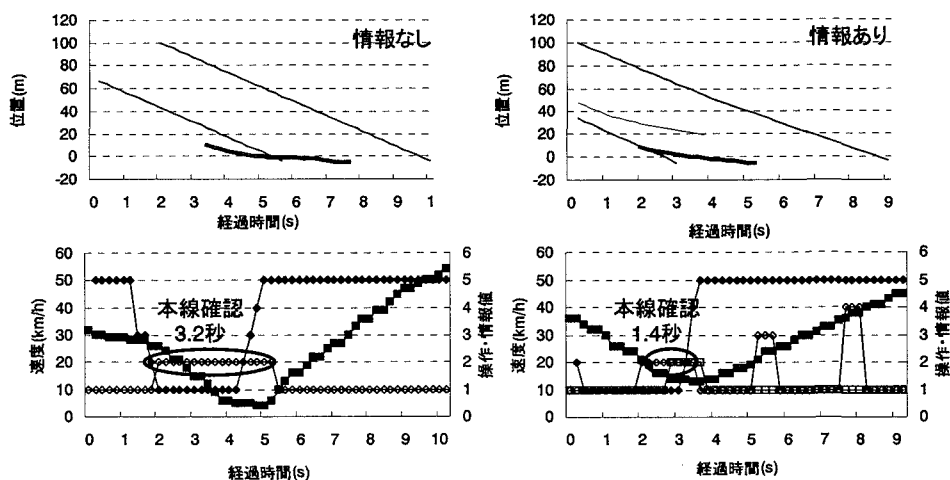


図-4 情報提供による本線確認時間短縮の例

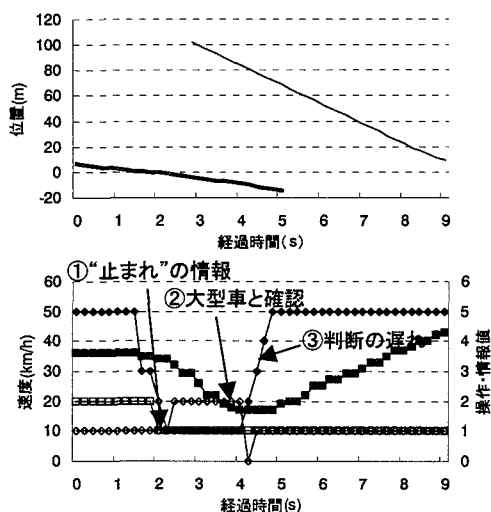


図-5 情報提供と判断が異なる場合の例

いことを認識し、一旦停止も無視して流入を開始している。本線流入時には、ブレーキから足を離してアクセルを踏むまでに1秒弱かかっており、“止まれ”の情報が判断を遅らせていた可能性が否定できない。このことは、距離を基準に情報を提供していることの弊害であり、速度を同時に検知してギャップ時間による提供を行えば、このような躊躇は発生していなかったと考えられる。このようなケースはこの1回だけであった。

次に、情報提供が悪影響を与えたケース（図-6）について示す。ここでは、流入したギャップの直前に比較的大きなギャップが到達し、“進め”の情報を得ていたにもかかわらず、判断にとまどいこれへの流入は行わず、次のギャップに対して一応は流入を開始したが“止まれ”の情報を聞いて一度流入を躊躇しかかるものの、結

局無理に流入し、後続本線車の速度を低下させている。このようなケースもこの1回だけであった。

図-5と図-6のどちらも検査区間長が100mのタイプC2であり、被験者が流入可能であると判断していたにもかかわらず、“止まれ”の情報により混乱が生じた可能性が高い。“止まれ”の情報提供がなかったケースBでは、判断に相違があるケース、判断に迷うケースにおいても被験者の判断に混乱を生じさせたケースは発生していない。これらの事実から判断すれば、安全を考慮してドライバーの流入判断基準と比べて大きい検査区間を設定すべきでないとの結論に達する。しかし、図4のケースと同様に、現時点ではこのことの一般性は保証されていない。

(2) 情報提供と流入実行率の関係

図-7は2つの検査区間長による情報提供と情報なしの場合の到達車間時間による流入実行率を示している。ここでは、情報なしと検査区間長80mの場合にはほぼ同様の曲線になっているが、検査区間長100mの場合には、流入を実行する到達車間時間が大きくなる傾向があり、特に4秒～5秒程度の車間を全て見送る結果となっている。このことから、検査区間長80mの場合には、被験者の流入判断と指示内容が概ね一致しスムーズに流入を実行していたが、100mの場合には被験者の流入可能と判断する4秒～5秒程度の車間でも“進め”の指示が出ず、被験者が流入をためらったり、意図的に情報提供に協力したりして、結局流入しなかったと考えられる。前者については、自分の判断と情報提供に相違が生じた場合には、判断時間が大きくなった可能性があったことも否定できない。

なお、図は割愛するが、“止まれ”の情報の有無によ

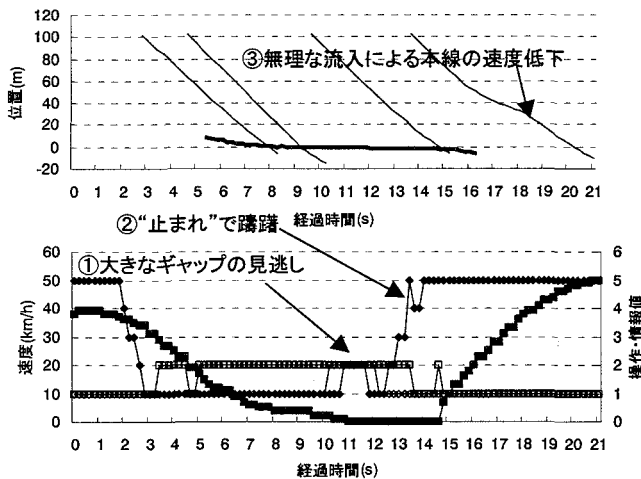


図-6 情報提供が悪影響を与えた場合の例

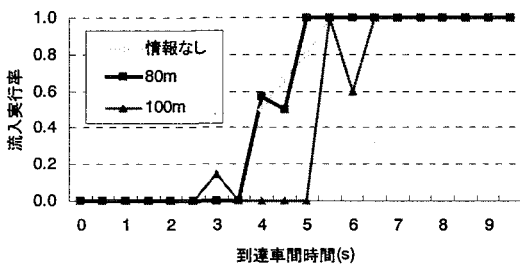


図-7 情報提供と流入実行率の関係

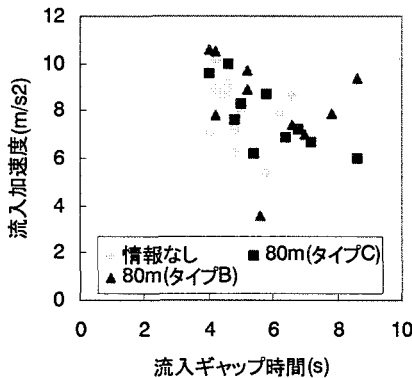


図-8 情報提供と流入加速度の関係

る相違については、タイプBの方が3.5～6秒程度の到達車間時間における流入実行率のばらつきが大きかった。この原因は、実験中に数名の被験者から指摘されたように、タイプBでは合流不可能となるタイミングが分からなかったためであると考えている。

(3) 情報提供と判断の確信度の関係

(2)では、流入実行率という一種の集計値からは情報

なしと検査区間長80mの差異は見られず、情報提供の効果が認められなかったように見受けられるが、情報により判断に対する確信度が高まっている可能性がある。このことを合流開始から4秒間の平均流入加速度（以下、単に流入加速度と称す、なお、4秒以内に加速が終了し定速になった場合にはそこまでの平均とする）という指標に代表させて考察する。もし判断の確信度が大きければ、発進の迷いが軽減され、不安感から生じる急加速や緊張による不十分なアクセルの踏み込みなどが起こりにくなり、加速が安定することになる、すなわち、加速度のばらつきが小さくなると考える。

図-8は流入した到達車間時間とその時の流入加速度との関係を示している（検査区間長100mは含めない）。平均流入加速度はタイプC(7.7m/s^2)、情報なし(8m/s^2)、タイプB(8.2m/s^2)の順に小さく、標準偏差は情報なしとタイプCが 1.3m/s^2 とほぼ同程度で、タイプBは 2m/s^2 程度となっている。ここでも(2)での考察と同様に、“止まれ”のないタイプBは発進に対する迷いがあった可能性が示唆される。タイプCの平均流入加速度が最も小さい理由については、情報により判断時間が短縮され、より速く発進できた結果、より小さい流入加速度で済んだ可能性がある。ただし、いずれも統計的には有意でなく、より多くの実験により確認される必要がある。

(4) 情報提供と安全性の関係

最後に情報提供による安全性向上の可能性について考察する。図-9では、本線車がその平均速度である 60km/h で近づいてくる場合に、合流車が一定の合流時加速度（加速終了までの平均加速度）で流入した場合に、 60km/h 到達時に車間を 20m 確保するのに必要な合流時加速度を流入車間時間別に算出しこれらを結んだ線（合流完了後車間 20m の線）を加えている（今回の実験では合流完了時の実際の車間距離を特定することができなかったための処置である）。仮に、この曲線よりも原点寄りにプロットされたケースでは危険性が高かったと考え、情報なしの場合には危険領域により多くのプロットが存在することが見て取れる（本来、この議論には本線車速度のばらつきを考慮する必要があるが、流入車間時間が4～6秒程度の範囲では、著しく本線速度が大きいケースはなく、ばらつきも 5km/h 程度であったため、危険性の判断をこの線で行う）。このことを考慮すれば、情報提供が結果としてより安全な流入を支援していた可能性はあったことが伺える。

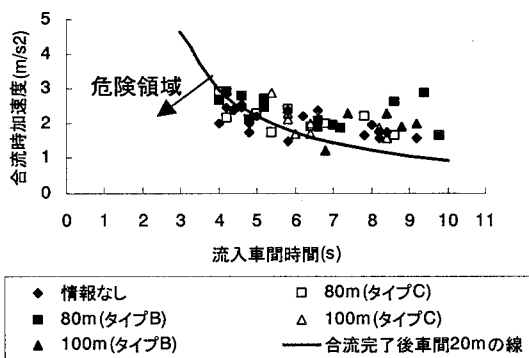


図-9 情報提供と安全性の関係

(5) 実験結果のまとめ

以上の結果を総合すれば、図-4や図-8の結果が示すように、ドライバーの判断基準と同程度の検査区間による情報提供において、ドライバーの流入判断と極めて近い判断を与えるような情報が判断時間を短くする可能性があること、図-8のように“止まれ”の情報は全体としては合流判断を安定させるが、図-5や図-6のように条件によっては混乱を生じる可能性があること、しかし、図-9のように合流部における危険な合流の可能性を小さくすることが理解できた。ただし、これらのことは、今回の実験でのサンプル数が十分でないこと、被験者の属性が限られていること、などを当然割り引いて考えなければならない。

5. おわりに

本研究では、一時停止を伴う合流部における走行支援情報提供サービスのあり方を検討するための第一歩とし

て、当該地点におけるサービスの意義と基本的な要件を整理し、実道における簡易な実験方法を提案し、実験を通じて情報提供により安全性が向上できる可能性があること、ドライバーの流入判断と極めて近い判断を与えるような情報提供が重要であること、など、限定的ではあるが有益な知見を得た。

今後の課題として、プローブカーによる再実験の実施、複数の情報提供内容の検討、幅広い年齢層を持った被験者による実験、一人当たりの走行回数の増加、様々な道路構造や交通環境を有する地点での実験、などが挙げられる。これらのいくつかについては現在進行中であり、稿を改めて紹介する予定である。

なお、本研究は、土木学会土木計画学研究委員会ITS社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会（代表（当時）：森地茂東京大学大学院工学系研究科教授）の活動の一環として行ったものであり、関係各位からの多大な協力や、多くの有益な示唆を頂いた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 例えば、国土交通省道路局ITSホームページ：http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/
- 2) 清水哲夫、飯島雄一、屋井鉄雄：高速道路合流部における走行支援情報提供に関する一考察、土木計画学研究・論文集、No.19, No.4, pp.839-846, 2002.
- 3) 清水哲夫：効率的な車両空間配分による都市高速道路の交通流円滑化に関する研究、平成14年度東京工業大学博士論文
- 4) 運輸省大臣官房監修、運輸六法（平成10年版）、ぎょうせい。
- 5) 森地茂、浜岡秀勝：交差点事故と視覚情報の関連性の分析、第37回土木計画学シンポジウム論文集、pp.3～8, 2001.

一時停止を伴う合流部における走行支援情報提供の考察とその実験方法*

清水哲夫**・浅野美帆***・森地茂****

本論文は、一般道路の一時停止を伴う合流部における走行支援情報提供サービスの意義や可能性を、実験を通じて把握することを目的としている。はじめに、当該合流部におけるサービスの意義とその方法論について考察を行った。次に、実交通環境下で模擬システムによる走行実験を簡易に行う方法を考案し、国道246号線青葉台ランプにおいて情報提供の効果を分析した。その結果、限定的ではあるが、ドライバーの流入判断と極めて近い判断を与えるような情報が判断時間を短くする可能性があること、止まれ”の情報は全体としては合流判断を安定させるが、条件によっては混乱を生じる可能性があること、情報提供により合流部における危険な合流の可能性を小さくすることを確認した。

A Experiment of the Information System at “Stop-and-go” Merging Section*

By Tetsuo SHIMIZU**・Miho ASANO***・Shigeru MORICHI****

The objective of this study is to discuss the probability for introducing the information services to the “Stop-and-go” merging sections at arterial roads by conducting field experiment of information system. Firstly, the possible procedure and contents of information service are discussed. Secondary, simple prototype of information system is applied to the actual merging sections and we confirm that the information service can reduce driver's decision time if information content is similar to the driver's feeling. Finally, the safety condition of the merging section can be improved by the information service.