

# 自動運转向け合流支援システムの構築に向けた合流部の交通特性の把握

岩里 泰幸<sup>1</sup>・井坪 慎二<sup>2</sup>・関谷 浩孝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地) E-mail:iwasato-y92k9@mlit.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室  
(〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地) E-mail:itsubo-s257@mlit.go.jp

高速道路の合流部において本線の交通特性を把握し、合流しようとする自動運転車両に情報提供することで円滑な合流を支援する自動運转向けの「合流支援システム」を提案した。また合流支援システムの具体的な仕様や適用条件等を明らかにするため、首都高速5号池袋線下りの東池袋入口合流部の映像を撮影し、現状の合流部における交通状況を観測した。それらの映像から、合流支援システムで算出する本線車の合流部到着計算時刻と実際の到着時刻の差は平均0.6秒程度、標準偏差は0.8秒程度であることや、本線車両の合流部での速度は平均65km/h程度で車頭間隔2秒以下が20%、4秒以上が44%を占めること等を示した。

**Key Words :** Automated Driving Vehicle, Cooperative ITS, Merging, Expressway

## 1. はじめに

国土技術政策総合研究所では、安全で円滑な自動運転の早期実現に向け、高速道路合流部等の自動運転車両が単独で円滑に走行できない複雑な交通環境下における道路側からの情報提供の仕組み等について、官民が連携して検討を進めることを目的として、平成30年1月より自動車会社や電機メーカー、高速道路会社等の共同研究者29者と「次世代の協調 ITS の実用化に向けた技術開発に関する共同研究」<sup>1)</sup> (以下、「共同研究」という。)を開始した。

本研究では、高速道路の合流部において本線の交通状況を把握し、合流しようとする自動運転車両に情報提供することで円滑な合流を支援する自動運转向けの「合流支援システム」を提案した。また合流支援システムの具体的な仕様や適用条件等を明らかにするため、首都高速5号池袋線下りの東池袋入口合流部の映像を撮影し、現状の合流部における交通状況を観測した。撮影した映像を10地点9区間に区切り、各地点通過時刻から各区間の速度を算出することにより、本線車両の速度推移や車頭間隔等の交通特性を明らかにした。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

合流部でのドライバーへの運転支援については、清水

ら<sup>2)</sup>は首都高速道路において走行支援システムAHSの合流支援情報提供の実験を行い、情報提供が車両挙動や運転操作に与える影響等を考察している。また柳原ら<sup>3)</sup>は、阪神高速道路を再現した仮想走行実験により、小型情報板による合流支援情報提供が運転意図に与える影響を示している。大石ら<sup>4)</sup>は、本線に設置した速度誘導灯を用いて本線車両に錯綜回避行動を促すことにより合流車の円滑な走行を支援することを提案し、ドライビングシミュレーターによる実験を行い、効果的な速度誘導灯の点灯パターンを提案している。

また自動運転車の合流部での制御については、谷田ら<sup>5)</sup>が自動運転車の合流制御プログラムにおける行動計画生成のため、阪神高速道路において撮影した合流部の映像から、現状の合流の場の形成パターンを大きく3つに分類し、合流地点で観測可能な前後車両との位置関係、速度比、車頭距離差等のデータを用いて高精度に分類できる可能性を示唆している。

本研究で対象とする自動運転を対象とした合流支援については、広瀬ら<sup>6)</sup>が合流車と本線車それぞれの時間価値等を考慮し社会余剰が最適になるよう優先権を決定する制御システムを提案しているが、システムのフレームとその計算手法の提案にとどまっている。これに対して本研究では、実道路への実装が可能な具体的な合流支援システムを提案するものである。

### 3. 自動運転向け合流支援システムの概要

合流部では、合流車両は本線車両の車間に入るため、本線車両との相対位置と相対速度の双方の調整を同時に行っており、単路部に比べ運転の難易度が高く苦手意識を持つドライバーも多い。特に日本の都市高速道路では空間的な制約等から、合流のための連結路が立体交差であることや遮音壁が設置されているなどにより合流部の視認性が悪いことが多く、また合流車が速度調整を行う合流加速車線長が十分でないこともある。このような場所では、本線の交通状況を事前に認知することが困難で、合流のための調整余裕が少ないことから合流が困難となっている。これは、手動運転車のドライバーでも車載センサーで周辺状況を認識する自動運転車でも同様であるといえる。共同研究内容のうち本研究で扱う自動運転車への合流部支援については、共同研究者である自動車会社等からのリクワイヤメントに基づき、自動運転車両単独での対応が困難な高速道路合流部における道路側からの情報提供に基づく路車協調の仕組みとして、高速道路の合流部において本線の交通状況を把握し、合流しようとする自動運転車両に情報提供することで円滑な合流を支援する合流支援システム<sup>7)</sup>の概要を図-1に示す。本システムは以下の①～④の処理を行うものとした。

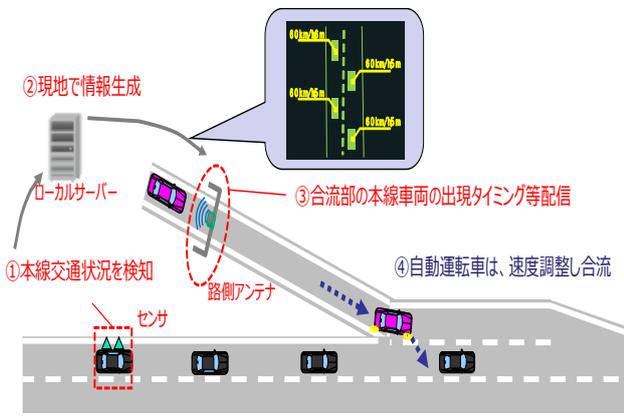


図-1 合流支援システムの概要

- ①ある断面の本線車両の速度や車長等の交通状況を、道路側に設置したセンサーにより検知する。
- ②現地のローカルサーバーにより検知情報を処理し、提供情報を生成する。
- ③道路側に設置されたアンテナから合流部を走行する自動運転車に、合流部の本線車両通過タイミングや速度、車間等を情報提供する。
- ④情報を受けた自動運転車は情報を加減速等の制御に活用し、本線車両と並ばないように速度調整を行い、合流を実施する。

なお将来的には連続的・面的に本線車両を捕捉できる

センサーで車両を検知し、その情報を高速かつ信頼性の高い通信手段により自動運転車に配信することが望ましい。これを将来的なシステムという意味でDAY2システムと定義している。一方、本研究では現状の技術で実現可能なシステムとして、既存のセンサや通信手段を活用したものを共同研究では“DAY1システム”として定義し検討している。そのような制約条件等により検討を進めている合流支援システムの留意点等を述べる。②や③については、自動運転車の制御に影響を与えないよう迅速かつ確実に情報処理や通信を行う必要がある。①については、ある断面での計測値であるため、計測した本線車両が合流部に到達するまでに速度等が変化することが想定されるため、速度の変化やばらつきを考慮することが必要である。また本線車両の速度や通過時刻等を正確に検知する必要があるため、共同研究者のセンサーメーカー等からセンサ技術の公募を行い、別途精度検証等を行っている。③で用いる通信設備については、既存のETC2.0を活用することとした。

なお合流支援システムが対象とする本線交通状態は、DAY1システムでは合流車が速度調整をして合流する余地がある自由流とし、臨界状態や渋滞などの譲り合いや車同士の高い調整が必要となる場面では、事前に判断し手動運転により合流することを想定している。

### 4. 合流部の交通特性分析

合流支援システムの具体的な仕様や適用条件を明らかにするため、自動運転車単独での合流が難しいと考えられる都市高速道路の事例として、首都高速5号池袋線下りの東池袋入口合流部の映像を撮影し、現状の合流部における交通状況を観測した。映像は近隣のビル上から平成30年5月22日に撮影した。撮影した映像（30fps）を図-2のように10地点9区間に区切り、ビデオ内蔵時計から読み取った1/30秒単位の各地点通過時刻から各区間の速度を算出した。分析の対象は、合流車に直接影響がある走行車線（左側車線）を走行する本線走行車両のみとした。合流支援システムのDAY1システムで対象とする交通状態は、前述のとおり自由流であるが、将来的には様々な交通状態に対応すること可能性も考慮し、分析は自由流に限らず臨界や渋滞に近い状態も対象とした。分析対象時間帯は、交通量が比較的少ない自由流状態の7:30-8:00の30分間（以下、「7時台」という。）、交通量が比較的多く臨界状態に近い自由流状態の11:00-11:30の30分間（以下、「11時台」という。）、渋滞に近い状態（厳密には渋滞では内が、一部の時間帯で速度低下が起きているため便宜上渋滞という。）の15:00-15:30の30分間（以下、「15時台」という。）とした。また本線車両の速度は、合流車の有無の影響を受けることが考えられること

から、本線走行車両が合流部付近（図-2のF・G地点）走行時に合流部のハードノーズから下流側に合流車がいる場合は「合流車あり」、いない場合は「合流車なし」として分類した。



図-2 首都高速5号池袋線下り東池袋入口合流部

(1) 区間速度

時間帯別に区間速度の平均値を集計した結果を図-3に示す。本線車両の合流部付近のG地点での平均速度は7時台で65km/h、11時台で62km/h、15時台で54km/hであった。いずれの時間帯も地点Dで一様に速度低下が起こっているが、これはD地点付近にサグがあることが原因として考えられる。その後、合流車が視界に入ると思われるF地点で合流車の有無による速度変化の違いが顕著になっていることから、F地点以降の速度変化の違いが、合流車の有無によるものと考えられる。いずれの時間帯においても「合流車あり」の場合、合流部付近で速度が低下することが分かった。これは、本線車両が合流車を視認し減速するためと推察される。

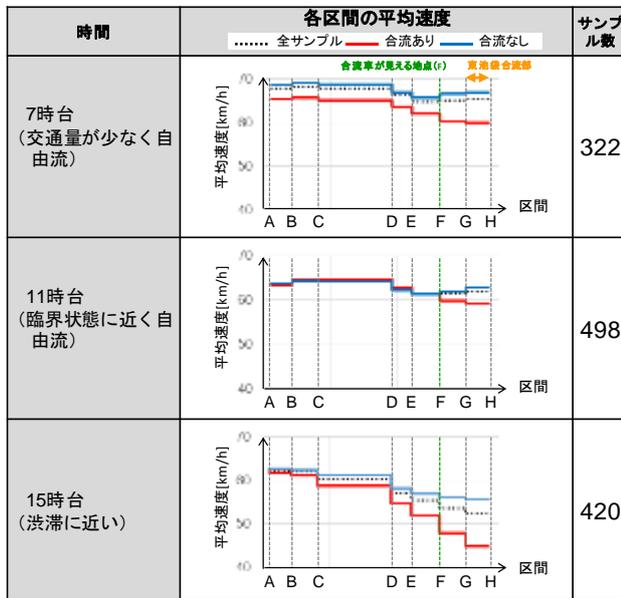


図-3 区間速度の平均値

(2) 車頭間隔

次に自動運転車が合流することを想定し、現状の車頭間隔を把握するため、映像から7時台と11時台の車頭間隔を集計したものを図-4に示す。車頭間隔2秒以下という合流するための車間が十分ではない状況が7時台で

20%、11時台で31%であった。一方で比較的長い4秒以上の車頭間隔が7時台で44%、11時台で27%であった。

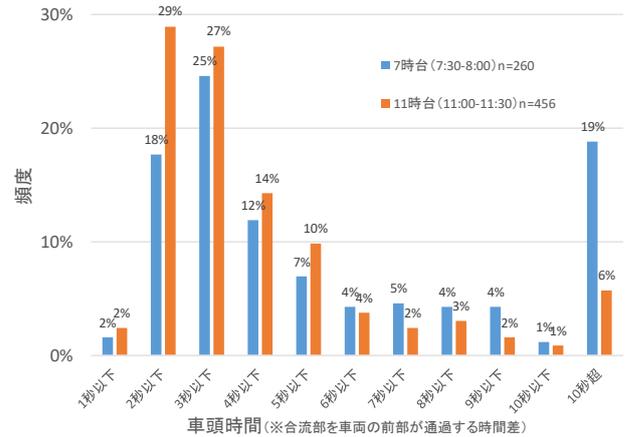


図-4 車頭間隔の分布

(3) 到着計算時刻と実績のばらつき

本研究で対象とする合流支援システムのDAY1システムでは本線上のある断面の交通交通状況を道路上に設置したセンサにより検知するため、計測した本線車両が合流部に到達するまでに速度が変化することが想定され、速度の変化やばらつきを考慮する必要がある。そのようなばらつきを把握するため、センサによる計測断面を合流部175m手前の地点（図-2のC-1地点）と想定し、計測した速度が合流部まで変わらない等速と仮定した場合の合流部到達計算時刻（以下、「到着計算時刻」という。）と、映像から取得した実際の合流部の到達時刻を比較した結果を図-5に示す。到着計算時刻と実際の到着時刻の差は、7時台で-0.59秒（マイナスは到着計算時刻より遅く到着。つまり途中で減速していることを意味する。）、11時台で-0.47秒、15時台で-1.37秒であった。標準偏差は7時台で0.75秒、11時台で0.46秒、15時台で2.45秒であった。渋滞時は到着計算時刻が大きくばらつくことが分かった。ここで、平均的に到着計算時刻より遅く到着している（平均値がマイナス）のは、サグや、合流部があることによる減速が要因と考えられる。

(4) 大きな速度変化が発生した事例

上記の分析で到着計算時刻と実際の到着時刻の差が大きかった、つまりセンサ計測地点から合流部までに大きな速度変化が発生した事例を抽出して紹介する。7時台で大きな速度変化があった事例のうち9台が1つの事象による影響を受けていた。それが図-6に示す状況で、まず原因となった合流車のバスが合流部先端で大きく減速し本線に合流した。その後、後続の合流車と本線車両9台がその影響を受けて大きく減速したものである。この事例により、本線車両自身の速度変化だけでなく、このように前方車両の影響を受けて速度変化が発生することが

明らかになった。

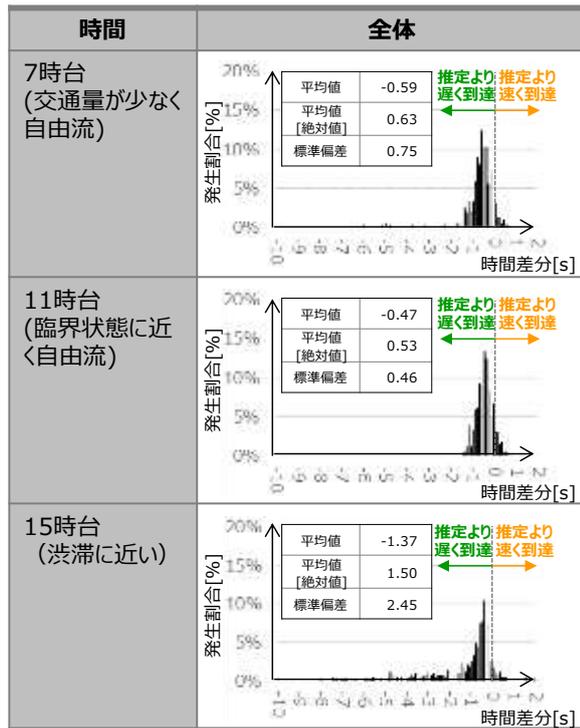


図-5 到着計算時刻と実績の差の分布

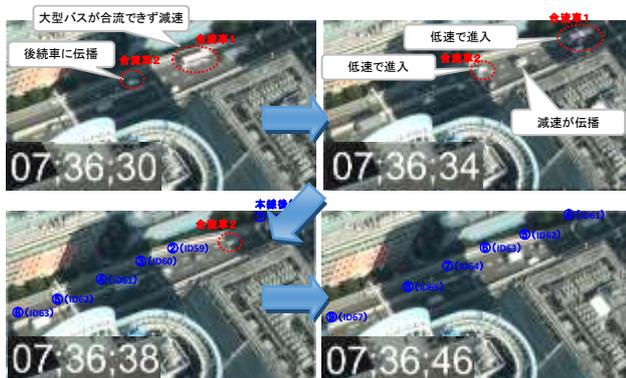


図-6 大きな速度変化が発生した事例

### 5. 合流支援システムで想定する交通状況

上記の交通特性分析から、主に合流支援システムの適用を想定している自由流時の本線交通特性について得られた知見は以下である。

- ・合流部の本線走行速度は自由流時で平均65km/h程度
- ・合流部の本線走行車の車頭間隔は、2秒以下が20%、4秒以上が44%。
- ・交通状態の計測断面から合流部までに速度変化が発生し、等速走行と仮定した場合の到着計算時刻と実際の到着時刻の差は自由流時で平均0.6秒（マイナスは到着計算時刻より遅く到着）程度、標準偏差は0.8秒程度。
- ・1台の低速車の混入により、後続の複数台の本線車両の速度に大きな影響を与える場合がある。

・渋滞時には速度変化がより大きくなる。

### 6. おわりに

本稿では、合流支援システムの適用を想定している都市高速道路の代表例として首都高速5号池袋線下りの東池袋入口の本線交通状況の観測を行った。それらの映像から、主に合流支援システムの適用を想定している自由流時の本線交通状況では、合流支援システムで算出する本線車の合流部到着計算時刻と実際の到着時刻の差は平均-0.6秒（マイナスは到着計算時刻より遅く到着）程度、標準偏差は0.8秒程度であることや、本線車両の合流部での速度は平均65km/h程度で車頭間隔2秒以下が20%、4秒以上が44%を占めること等を示した。

今後は、自動運転車で合流可能な車頭間隔や本線車両速度の設定など、今回得られた合流支援システムで想定すべき交通状況（本線車両の速度、車頭間隔、到着計算時刻のばらつき等）において提供可能なサービスの検討を行う必要がある。

また、現状案では渋滞や臨界等の臨界状態や渋滞などの譲り合いや車同士の高度な調整が必要となる場面では事前に判断し手動運転に切り替えて合流することを想定しているが、より幅広い交通状況で合流支援システムが適用できるよう検討していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省:自動運転を支援する情報提供等に関する共同研究を開始します～「次世代の協調 ITS の実用化に向けた技術開発に関する共同研究」～,報道発表資料,2018
- 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19巻,pp.839-846,2002.
- 3) 柳原正実,宇野伸宏,中村俊之:運転意図に基づく外部刺激の影響分析手法—模擬走行実験における合流支援情報を例に—,交通工学論文集2015年1巻2号,pp.A\_207-A\_216,2015.
- 4) 大石佑亮,萩原亨,寺倉嘉宏,遠藤幹大,加藤佑基,川島彰悟:ドライビングシミュレータを用いた高速道路合流部における錯綜回避行動に関する研究,第39回交通工学研究発表会論文集,pp.741-748,2019.
- 5) 谷田公二,木村真弘,吉田雄一:自動運転車制御へ向けた高速道路での合流行動モデル,自動車技術会論文集 48巻4号,pp.885-890,2017
- 6) 広瀬啓人,羽藤英二:VCG メカニズムを採用した高速道合流部における経路予約型交通制御の計算手法,土木学会第73回年次学術講演会論文集,pp.147-148,2018
- 7) 澤井聡志,榎真,井坪慎二,池田裕二:自動運転の実現に向けた路車協調システムの開発,土木技術資料,一般財団法人 土木研究センター, 2018.

(2019.10.4 受付)