

合流部付加車線延伸時の本線車両の挙動解析*

Examination of the Influence of Additional Line Length to Traffic Flow at the Merging Part of Expressway *

飯田克弘**・巽 義知***・隅本雄一***

By Katsuhiko IIDA**, Yoshitomo TATSUMI*** and Yuichi SUMIMOTO***

1. はじめに

高速道路合流部における渋滞は、渋滞発生箇所における割合が高く¹⁾、合流部における渋滞対策は緊急の課題となっている。これに対し、現場では付加車線延伸という対策がとられた例がいくつかあり、定性的ではあるが渋滞軽減効果も報告されている²⁾。しかし、付加車線延伸とそれによる渋滞対策としての効果との定量的な関係は未だ十分に明らかにされていない。

上記の関係を把握するためには、まず、合流部における交通挙動を把握し、その上で、対策前後での交通挙動の変化を把握する必要がある。この交通挙動を計測する手法には定点ビデオカメラによる観測³⁾や試験車両による実走実験⁴⁾という手法があるが、観測結果がその時の周辺状況により大きく変化すること、付加車線長等の道路構造を変更することが困難であるといった問題がある。

これに対し筆者らは、Virtual Reality 技術の適用を試みた。この手法は、ビデオ解析システムとドライビング・シミュレータ（以下 DS）を用いた室内実験の2つによって構成される。まずビデオ解析システムは、3DCG で作成された対象区間の道路モデルと、現地で撮影されたビデオ映像を用いて、3次元座標系における移動体の挙動を計測するものである⁵⁾。また DS は、3DCG で作成した仮想道路モデル上をドライバーが擬似的に運転できるシステムであるが、上述したビデオ解析による車両の挙動データを用いることにより、実際の交通流を 3DCG 上に再現することが

できる。筆者らはこの手法を用い、付加車線長の違いによる合流車挙動の変化を分析した。その結果、付加車線を延伸した場合、特に本線の交通密度が高い場面において顕著に合流車挙動の自由度が増すことが明らかとなった⁶⁾。これは合流車の視点で見ると付加車線延伸は渋滞対策の観点から有効であることを示していることと捉えることができる。ただし、この研究では、付加車線延伸時に、本線車より速い速度で合流する合流車が多く確認されているが、これらの合流車が合流するギャップの後方車（以下、合流ギャップ後方車）、および合流ギャップ後方車に続く本線車両が受ける影響については確認されていない。つまり本線車両の視点からの検討が課題となっている。

以上を背景として、本研究では先行研究と同様、Virtual Reality 技術の適用により、付加車線延伸時の本線車両の挙動を解析することを目的とする。この検討を行うためには、まず実験データが現道での走行データを分析に使用可能な水準で再現しているかどうか（以下、現況再現性）を確認する必要がある。筆者らは、これまでに本線追従車の挙動について現況再現性を確認している⁷⁾が、合流ギャップ後方車の挙動についての確認は行っていない。そこで、本線車両の挙動解析の前に、DS 実験における合流ギャップ後方車挙動について現況再現性を確認する。そして、その上で付加車線延伸効果を本線車の視点から評価することを目標とし、合流車が本線車の挙動に与える影響を解析する。なお、対象区間は、先行研究⁶⁾と同様に東名高速道路下り線三好 IC 合流部付近とする。

2. 現況再現性検証に用いる現道の走行軌跡

本研究では、現道の走行軌跡と DS 実験で得られる走行軌跡とを比較することで、DS 実験の合流ギャップ後方車の現況再現性検証を試みた。まず現道について

*Keywords : 道路計画, 合流部

**正会員, 博士(工), 大阪大学大学院工学研究科
地球総合工学専攻

〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

TEL: 06-6879-7611, FAX: 06-6879-7612

***学生員, 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻

ては、対象区間の渋滞直前 1 時間分のビデオ映像から、以下の条件に合致する 30 台の合流ギャップ後方車の走行軌跡を選出した。これらの条件設定は周辺条件による影響を相対化することがねらいである。

- 交通密度が 20.0 台/km~26.7 台/km
- 合流車が複数台連なっていない
- 合流車と合流ギャップ後方車との相対速度(合流車の速度/合流ギャップ後方車の速度)が 1 に近い
- 計測区間内の本線車の車間ができるだけ均等

3. 合流ギャップ後方車としての DS 実験 (実験 1)

本実験では、付加車線長の条件として 200m と 600m の 2 種類を用意した。付加車線長 200m の実験から得られる走行軌跡は、合流ギャップ後方車の現況再現性確認で使用し、付加車線長 600m の実験から得られる走行軌跡は実験 2 で提示映像として使用する。

周辺車両は、付加車線長 200m, 600m の条件下で、それぞれ 2 場面 (場面 1, 2 および場面 3, 4) を設定する。場面 1, 2 は、2. で対象とした場面から無作為に 2 場面抽出し、合流ギャップ後方車以外の車両を再現した。場面 3, 4 は、先行研究 6) で使用した本線交通状況に、それらを提示した状況下での DS 実験で得られた合流車を併せて提示した。なお、この合流車の走行軌跡には、1 章で示した課題を考慮して、本線車より速い速度で合流する合流車のものを用いた。

場面 1~4 を提示映像とし、被験者が合流ギャップ後方車の運転手として自由に運転操作を行う DS 実験を行った。なお、被験者は運転免許取得歴 1 年以上の 20 代前半の男子学生 30 名とした。

4. 合流ギャップ後方車の現況再現性検証

(1) 挙動選択の割合比較

まず、合流ギャップ後方車が選択する挙動の割合を比較した。ここで挙動とは、合流ギャップ後方車が選択する挙動を、合流車が視認可能になる時点から合流車の中心が車線をまたぐ時点までを挙動計測時間とし、以下のように定義した。

- 避走：挙動計測時間内に車線変更を行った場合
- 車間を詰める：挙動計測時間における車間の変化量が -3.41m 以下の場合

- 車間を維持する：挙動計測時間における車間の変化量が -3.41m 以上 0.64m 未満の場合
- 車間を開ける：挙動計測時間における車間の変化量が 0.64m 以上の場合

ここで、上記区分には、合流車が存在しない状況で対象区間内を追従走行している本線車の車間変化量の 95%信頼区間を適用している。図-1 より「車間を開ける」挙動を選択している運転者は、DS 実験、現道ともに多数を占めていることが分かる。

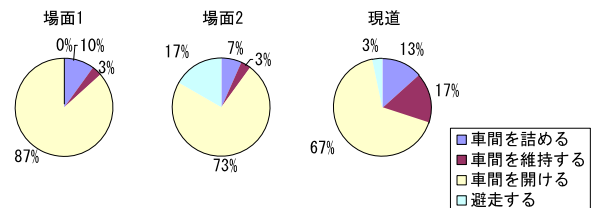


図-1 挙動選択の割合

(2) 「車間を開ける」挙動に着目した現況再現性検証

次に、選択率が高い「車間を開ける」挙動に着目し、3つの評価指標を用いて、その指標値の平均値の差を検定した (表-1)。

表-1 平均値および平均値の差の検定結果

	車間の変化量(m)		2秒間減速度(km/h/s)		車間を開け始める地点(m)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
場面1	8.95	1.03	2.35	1.98	-71.37	34.41
場面2	13.67	1.33	1.84	1.57	-44.32	47.68
現道	8.64	1.21	1.61	1.55	-74.42	48.67
現道-場面1比較	-0.20(0.85)		-1.36(0.18)		-0.38(0.71)	
現道-場面2比較	-2.78(0.01)**		-0.48(0.64)		-2.07(0.04)**	

注) 車間の変化量, 2秒間減速度については t 検定, 車間を開け始める地点については wilcoxon の順位和検定を適用。

注) **: 有意水準 5% で帰無仮説が棄却されたもの。() 内は有意確率 (両側) を表す。

(a) 車間の変化量

車間の変化量は、挙動の定義のものと同様、挙動計測時間における車間の変化量と定義する。

表-1 より、現道と場面 1 の平均値には差がないという結果になったが、現道と場面 2 の平均値には差が認められた。この理由としては、挙動計測時間の平均値が現道(6.8 秒)と場面 1(5.3 秒)は近いのに対し、場面 2(10.2 秒)は長く、たとえば、被験者が合流車が入り易くするために車間を大きく開けたことが推察できる。このことを確かめるため、現道で車間を開ける挙動を選択しているサンプルについて、挙動計測時間と車間の変化量の相関を見た結果 (図-2) ,

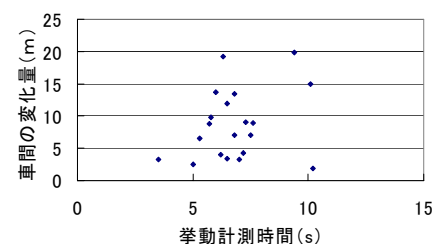


図-2 挙動計測時間-車間の変化量

(10.2 秒,1.92 m)のサンプルを除くと挙動計測時間が長いと車間の変化量が大きくなることが分かった(相関係数 : 0.513).

つまり、場面 2 では、上述した現道の傾向が現れていると考えるならば、場面 1 と併せて、車間の変化量に関して現況再現性が認められる結果となった。

(b) 2 秒間減速度

2 秒間減速度は、合流車が視認できる時点以降に起こっている減速について、減速開始時から 2 秒間の減速度と定義する。2 秒間とした根拠は、先行車のブレーキランプを伴わない減速に対する後続車の運転者の反応時間は 1.65 秒とする研究成果を受けている⁹⁾。

表-1 より、現道と場面 1 および現道と場面 2 の平均値に差がない、つまり場面 1 および場面 2 において、2 秒間減速度に関して現況再現性がある結果となった。

(c) 車間を開け始める地点

車間を開け始める地点は、車間の変化量が 0.64m を越えた地点と定義し、合流部ノーズ端からの距離(m, 下流側が正)で表す。

表-1 より、現道と場面 1 の平均値に差がない結果になった。一方、現道と場面 2 の平均値には差が認められた。この理由として、合流車が視認可能になる地点(ノーズ端からの距離(m, 下流側が正)で表す)の平均値が現道では-104m, 場面 1 では-97m となっているのに対し、場面 2 では-81m となっていることに着目した。つまり場面 2 では、合流車への対応を現道や場面 1 より下流側で行うため、車間を開け始めるのが下流側になるのではないかと考えた。この根拠は、現道で車間を開ける挙動を選択しているサンプルについて、合流車が視認可能になる地点と車間を開け始める地点の相関を取った結果(図-3, 相関係数 : 0.660)に基づいている。

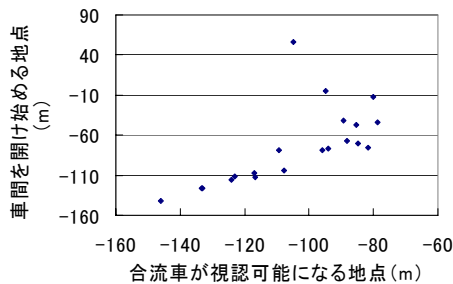


図-3 視認可能になる地点-車間を開け始める地点

(3) まとめ

以上の結果から、DS 実験における合流ギャップ後

方車の挙動は、場面 1 の状況下において現況再現性を有しており、場面 2 の状況下においても現道での交通状況は反映されていると理解できた。

5. 本線追従車としての DS 実験 (実験 2)

4.での結果を踏まえ、本線追従車としての DS 実験(実験 2)を行った。具体的には、実験 1 で得られた合流ギャップ後方車の走行軌跡を DS の映像として再現・提示し、その後方を 9 人の被験者が追従する追従走行実験を 1 セットとし、これを 5 セット行った。なお、被験者は、運転免許取得歴 1 年以上の 20 代前半の男子学生 45 名とした。

提示する合流ギャップ後方車の走行軌跡は以下の通り選定した。まず、付加車線長 200 m の条件下で提示する走行軌跡には、現況再現性が確認されている場面 1 で「車間を開ける」挙動を選択している運転者が多いことから、その挙動を示す走行軌跡を対象とした。そして、後続車への影響を考慮し、2 秒間減速度が全サンプルの平均値、および 85% タイル値に近い走行軌跡を選定した(以下、場面 1_1, 場面 1_2)。

付加車線長 600m の条件下の走行軌跡には、まず、先行研究 6) における合流ギャップ後方車に近い走行軌跡を選定した(場面 4_1)。一方、場面 4 では、加速して前方車との車間を詰めている時に合流車と遭遇し、その前後で減速に転じる走行が多く観察されたため該当する走行軌跡からも選定した。具体的には、合流車が車線をまたぐ時点までにおける、時々刻々と変化する 2 秒間の減速度の最大値が全サンプルの平均値、および 85% タイル値に近い走行軌跡を選定した(以下、場面 4_2, 場面 4_3)。

6. 付加車線延伸効果の検討

既往研究で、渋滞発生時には減速波が上流増幅伝播することが確認されている⁹⁾ことから、合流ギャップ後方車の影響と見られる減速波に着目する。また、渋滞発生箇所では交通容量が低下することが指摘されている¹⁰⁾ことから、交通流率の変化に着目し、交通容量の低下の可能性を検討する。

(1) 減速波に着目した付加車線延伸効果の検討

場面 1_1, 1_2 では、合流ギャップ後方車の影響と

見られる減速波はそれぞれ set2, 3, 4, および set2, 3, 4, 5 で発生した. これらの特徴としては, 図-4, 図-5 に示すように, 下流側に流れながら増幅伝播する傾向にあることが挙げられる. 今回実測はできていないが, 追従台数を増やすことで, ある地点から減速波が上流増幅伝播する可能性が伺える.

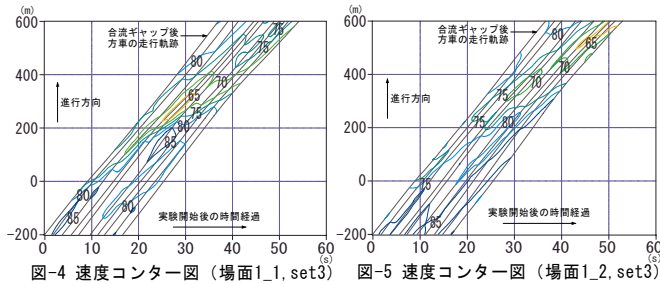


図-4 速度コンター図 (場面1_1, set3)

図-5 速度コンター図 (場面1_2, set3)

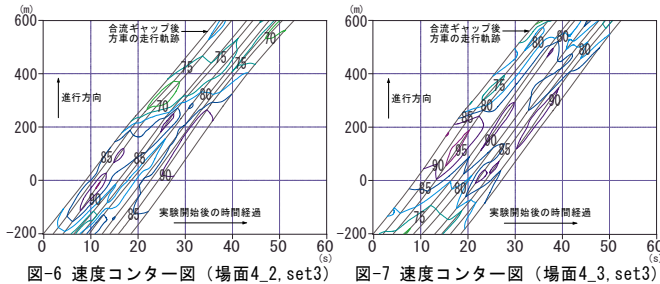


図-6 速度コンター図 (場面4_2, set3)

図-7 速度コンター図 (場面4_3, set3)

それに対し, 場面 4_1 では, 合流ギャップ後方車の影響と見られる減速波は発生していなかった.

一方, 場面 4_2, 4_3 では, 合流ギャップ後方車の影響と見られる減速波はそれぞれ set1, 3, 4, および set2, 3, 4 で発生していた. これらの特徴として, 図-6, 図-7 に示すように, 場面 1 の結果と比較して, 減速波の増幅が大きくない傾向にあることが挙げられる. このことから, 付加車線長を 600m に延伸することにより, 付加車線長 200m の場合に見られる減速波の増幅が緩和されたと考えられることができる.

(2) 交通流率の変化に着目した付加車線延伸効果検討

(1)の結果から, 合流ギャップ後方車により減速波が発生していると見られた走行データについて, 交通流率を算出したものを図-8~図-11 に示す. なお, 交通流率は対象区間内の 10m ごとに平均車頭時間を算出し, その逆数として算出している.

これらの図より, 場面 4_2, 4_3 では, 区間を通して交通流率の変動が比較的小さいが, 場面 1_1, 1_2 ではノーズ端から 300m 付近で急激な変動が見られる. すなわち, 場面 1_1, 1_2 では, 連続した値の変化という観点から大きな乱れが生じており, ボトルネックが発生していると言える. 言い換えれば, 付加車

線長を 600m に延伸することにより, 付加車線長 200m の場合に見られるボトルネック現象が緩和されたと言える.

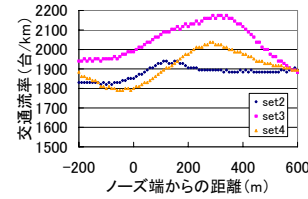


図-8 交通流率 (場面 1_1)

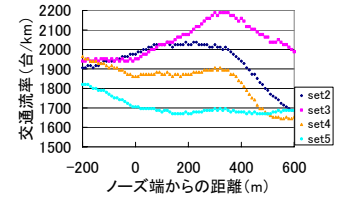


図-9 交通流率 (場面 1_2)

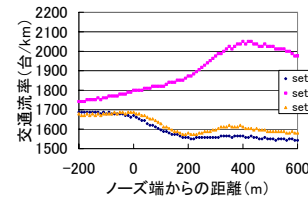


図-10 交通流率 (場面 4_2)

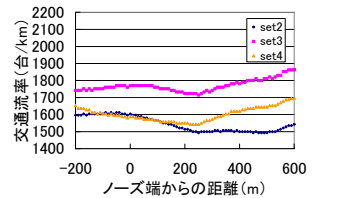


図-11 交通流率 (場面 4_3)

7. まとめ

本研究では, 付加車線延伸効果を本線車の視点から評価することを目標とし, 合流車が本線車の挙動に与える影響を解析した. 得られた結果から, 付加車線長を 600m に延伸することにより, 付加車線長 200m の場合に見られる減速波の増幅, およびボトルネック現象が緩和される傾向にあるという知見を得た. この知見と先行研究⁹⁾で得られた知見は課題となっていた付加車線延伸の定量化に寄与するものであると考える.

参考文献

- 岡村秀樹・渡辺修治・泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究, 高速道路と自動車, 第 44 巻, 第 2 号, 2001.
- 尾上一馬・米川英雄・榎永清: 付加車線の設置効果, 交通工学, vol.33, No.6, pp.49-58, 1998.
- 巻上安爾・笠間良治: 高速道路の合流現象における研究, 土木計画学研究・講演集, No.20-2, pp.891-894, 1997.
- 清水哲・山田敏: 走行実験に基づく都市高速道路合流部の運転挙動に関する分析, 土木学会年次学術講演概要集, 第 4 部, vol.55, 2000.
- 飯田克弘・安時亨: 長区間の連続した 3 次元車両軌跡計測のためのビデオ解析システムの開発について, 土木計画学研究・論文集, vol.21, No.4, pp.925-932, 2004.
- 飯田克弘・隅本雄一・巽 義知・安 時亨: VR 技術の適用による合流部付加車線延伸効果の検討, 土木計画学研究・論文集, vol.22, 2005. (掲載予定)
- 飯田克弘・藤原一雅・河井 健・大口 敬: 室内実験による渋滞現象の再現性検討と渋滞発生過程における交通流分析, 第 22 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.13-16, 2002
- D.シャイナー, 野口薫・山下昇共訳: 交通心理学入門, サイエンス社, 1987.
- 越 正毅・桑原雅夫・赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, No.458, IV-18, pp.65-71, 1993.
- 越 正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, 第 371 号, pp.1-7, 1986.