

VR 技術の適用による合流部付加車線延伸効果の検討*

An examination of the effectiveness of auxiliary line extended at the merging part*

飯田克弘**・隅本雄一***・巽 義知****・安 時亨*****・逢坂光博*****

By Katsuhiro IIDA**・Yuichi SUMIMOTO***・Yoshitomo TATSUMI****・Sihyoung AN*****・Mitsuhiro OOSAKA*****

1. はじめに

高速道路において合流部は渋滞発生箇所にも占める割合が高く¹⁾、今後の高速道路網の統合的整備による、分合流部を伴うジャンクションやインターチェンジの増加を考慮すると、合流部における渋滞問題の解決を図ることは緊急の課題となる。

この課題に対し、すでに現場では合流部における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、実証のためのデータ収集が困難であるなどの課題から、未だ明らかにされていない。

たとえば、上記の関係を把握するためには、任意の周辺状況下（交通状況、自然条件等）において、付加車線長を変化させた場合の交通挙動、つまり周辺状況により影響を受ける合流車両、および本線走行車両の挙動を把握する必要がある。

この交通挙動を把握する既往の手法として、定点ビデオカメラによる観測³⁾が多く用いられてきた。しかし、個々の車両の挙動を詳細に解析するためには膨大な手間がかかるといった問題、解析範囲が限定されるといった問題が一般的に指摘されている。一方、運転挙動を計測する機能を有した試験車両に

よる実走実験⁴⁾という手法がある。しかし、実際の道路を使用するため、実験状況の確保、それに関連する費用と時間など様々な制約を受ける場合が多い。また、これら既往の手法に共通する問題として、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も挙げられる。

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、図-1 参照）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画像を用いて、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で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

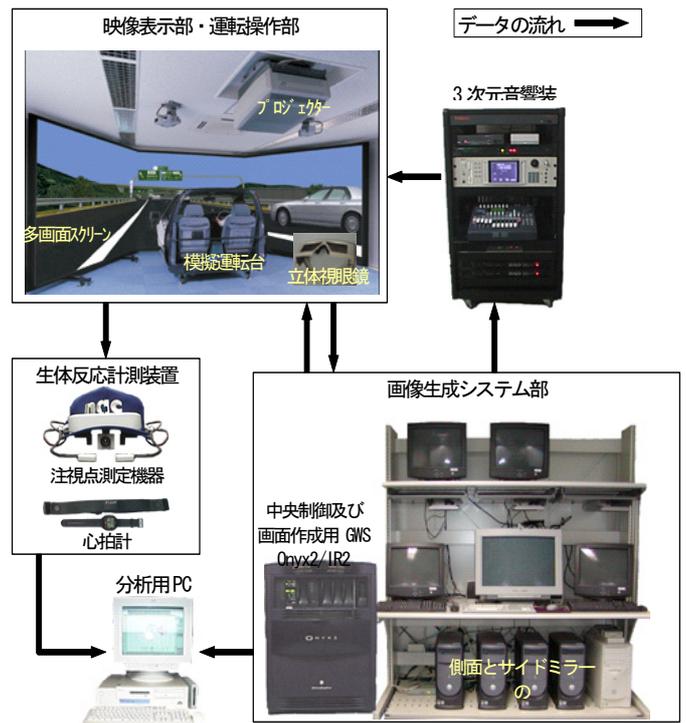


図-1 DSによる室内実験システムの構成

*Keywords : 交通行動分析、道路計画、合流部

**正員、工博、大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒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土木工学専攻

****学生員、大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

*****正員、工博、株式会社オーデックス交通工学研究所

(〒532-0003 大阪市淀川区宮原 4-4-50

TEL:06-6392-3715 FAX:06-6392-5624)

*****非会員、日本道路公団試験研究所交通環境研究部

交通研究室

(〒194-0035 東京都町田市忠生 1-4-1

TEL:042-791-1621 FAX:042-792-8650)

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。これにより、「任意の周辺状況下で付加車線長を変化させる」といった、付加車線延伸とその効果との関係の把握を行うための条件を満たす調査・実験が可能になった。

筆者らはこの手法を用い、高速道路合流部を対象として、DS による室内実験結果と実走実験結果の整合性の検討を行った⁶⁾。その結果、分析レベルにおいて DS を用いた室内実験は実走実験に対する現況再現性を有することを確認している。

以上をふまえて、本研究では高速道路合流部を対象とし、DS 上で周辺状況を統制し、かつ付加車線長を変化させた場面を再現する。そして、走行実験を通じて、この条件下での交通挙動を把握することにより、付加車線延伸効果を渋滞対策の観点から検証する。なお、本研究では合流部における交通挙動のうち特に合流車挙動に着目する。

2. 実験条件の設定

実験において提示する実験条件として、渋滞対策を考える上で適当な付加車線長および周辺状況を設定する。設定する周辺状況としては、合流車挙動に与える影響が大きいと考えられる本線交通状況を与えることとする。

(1) 付加車線長

付加車線長については、現在の高速道路において標準となっている 200m を基準とし、これと比較する形で 200m 刻みに 400m、600m の計 3 パターンを室内実験において提示する。

(2) 本線交通状況

本線交通状況の要素としては、速度(V)、交通流率(Q)、交通密度(K)、車群内の車間分布(以下ギャップ分布)の4つが考えられるが、このうち速度、交通流率、交通密度については $Q=KV$ の関係が成り立つことから、本研究では場面選定の容易さを考慮して、速度と交通密度に着目して状況設定を行った。ギャップ分布については、同程度の速度と交通密度であっても異なる場合が考えられるが、今回は実験規模の制約から、状況設定する要素の対象から除外

し、可能な限り均一となるよう考慮した。

交通密度については、渋滞対策を念頭においていることから交通密度がある程度高い状況に着目する。また速度については、高速域では合流車が本線に合流する際の難しさが増すことが考えられ、付加車線延伸効果が期待できるため、速度についても高い状況に着目する。つまり優先的に検討されなければならない場面として交通密度、もしくは速度の高い場面、すなわち高密度・高速、低密度・高速、高密度・低速の計3つの場面を設定した。

(3) 走行軌跡データ抽出

(2)で設定した本線交通状況3場面における本線走行車両の走行軌跡データを、ビデオ解析システムにより抽出する。

具体的作業として、まず本研究で検討の対象とする東名高速道路三好 IC 合流部における、渋滞発生直前の状況を撮影したビデオ映像 1 時間分に映っている走行車線の全走行車両を対象に、空間平均速度、交通密度の計測を行った。次に、この中から室内実験において提示する本線交通状況として、(2)で設定した場面として妥当である 3 場面を選定した。これらについて、DS による走行実験時に本線交通状況として再現するため、走行中の被験者の視野範囲にあると想定される全車両の走行軌跡抽出を行った。

3. 室内実験概要

2(3)より得られた走行軌跡データを用いて、実験対象区間の 3DCG モデル(東名下り kp315.3 (三好 IC) ~ kp318.0 (東郷 PA) および三好 IC ランプ部)上に、3 パターンの本線交通状況を再現した。また、これと同時に 3 パターンの付加車線長も再現した。これを DS における提示映像とし、この条件下で被験者が合流車両の運転手として自由に運転操作を行い、被験者自身の意思で本線に合流する走行実験を行った。これにより、合流車両と直近の本線走行車両の座標データ、および走行速度、走行軌跡等の車両挙動データを得た。なお、被験者の選定については、被験者属性のばらつきを抑えるため 20 代前半の男子学生 30 名を被験者として選定した。

4. 評価指標の設定

評価指標は、合流時相対速度、選択ギャップ分布、合流位置分布の3つを設定した。設定に際しては、DSを用いた室内実験で得られたこれらの評価指標に関する結果が、実走実験に対して、分析レベルで再現性を有すること⁶⁾根拠とした。以下に各指標の定義を示す。

(1) 合流時相対速度

合流時における合流車の速度と本線交通流の速度との速度比として定義する。

(2) 選択ギャップ分布

選択ギャップは、合流車が本線に合流した時点で位置しているギャップとして定義する。異なる走行条件間での選択ギャップの比較を定量的に行うために、各場面についてギャップに適宜な番号を振った。

(3) 合流位置分布

付加車線上において合流車がレーンマークを踏んだ地点を合流位置とし、ノーズ端からこの地点までの距離で表した。

5. 室内実験データ分析

(1) 評価指標の検討方法

まず、室内実験により得られたデータから、4において設定した3つの評価指標に基づいて評価指標値を算出し、付加車線長3パターン×本線交通状況3パターンの計9つの場面について平均値を求めた(表-1、表-2、表-3参照)。その上で、各本線交通状況について、異なる付加車線長を提示した場合の評価指標値を比較検討した。

なお、評価指標値を比較検討する際の平均値の差の検定は、以下の手順に従って行った。

(a) 正規性の検定

各実験条件での結果について、評価指標に関する各データが正規分布に従うことを帰無仮説とし、有意水準5%でkolmogorov-smirnov検定を行う。

(b) 等分散性の検定

a)で正規性が示された場合、母平均が等しいこと

を帰無仮説とし、有意水準5%でlevene検定を行う。

(c) 平均値の差の検定 1

b)で等分散性が示された場合、平均値が等しいことを帰無仮説とし、有意水準5%でt検定を行う。また、b)で等分散性が棄却された場合、平均値が等しいことを帰無仮説とし、有意水準5%でウェルチ検定を行う。

(d) 平均値の差の検定 2

a)で正規性が棄却された場合、平均値が等しいことを帰無仮説とし、有意水準5%でwilcoxonの符合付順位検定を行う。

(2) 各評価指標についての分析結果

(a) 合流時相対速度

表-1 平均値および平均値の差の検定結果

本線交通状況 付加車線長	高密度-高速		低密度-高速		高密度-低速	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
600m	1.125	0.24	1.081	0.11	1.102	0.18
400m	1.118	0.25	1.076	0.11	1.095	0.18
200m	1.002	0.14	1.052	0.11	1.022	0.07
400m-600m比較	-0.58(0.56)		-0.20(0.84)		-0.64(0.52)	
200m-600m比較	-5.79(0.00)**		-2.70(0.00)**		-5.75(0.00)**	
200m-400m比較	-4.07(0.00)**		-2.83(0.00)**		-4.61(0.00)**	

注) **: 有意水準5%で帰無仮説が棄却されたもの

表-1より、本線交通状況ごとに見ると、付加車線長200mより400m、600mの方が平均値は有意に大きく、その値は付加車線長が延びるにつれて1から増加してゆく傾向にあることが読み取れる。これは、合流車が合流時設定できる速度という観点から、付加車線長を200mから400m、600mに延伸することにより、合流時に合流車が希望する速度に設定できることを示している。

(b) 選択ギャップ分布

表-2 平均値および平均値の差の検定結果

本線交通状況 付加車線長	高密度-高速		低密度-高速		高密度-低速	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
600m	0.86	1.94	-0.51	0.79	-0.01	1.56
400m	0.94	1.68	-0.51	0.73	-0.01	1.40
200m	0.15	1.16	-0.73	0.55	-0.61	0.61
400m-600m比較	-0.69(0.49)		0.15(0.88)		-0.97(0.33)	
200m-600m比較	-4.76(0.00)**		-4.54(0.00)**		-5.52(0.00)**	
200m-400m比較	-5.69(0.00)**		-4.53(0.00)**		-5.19(0.00)**	

注) **: 有意水準5%で帰無仮説が棄却されたもの

表-2より、まず付加車線長の違いに着目すると、各本線交通状況について付加車線長200mより400m、600mの方が平均値は有意に大きいということが分かった。さらに図-2より、付加車線長400m、600mの場면을詳しく見ると、定性的ではあるが低密度の

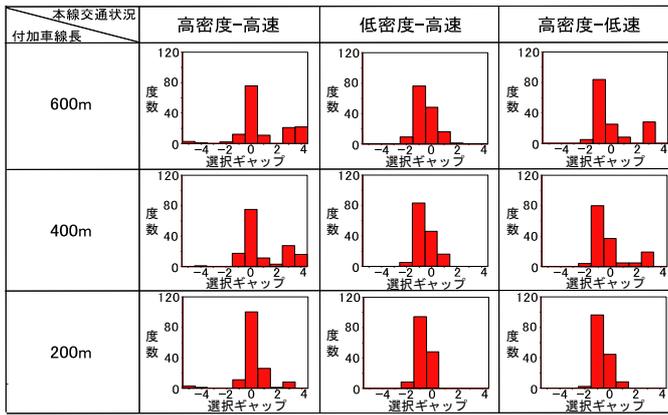


図-2 選択ギャップ分布のヒストグラム

場面より高密度の場面において、選択ギャップ分布の形状が広がっていることが分かった。以上のことから、特に交通密度が高い場合、付加車線長を200mから400m、600mに延伸することにより、選択できるギャップの自由度が増すことが考えられる。

(c) 合流位置分布

表-3 平均値および平均値の差の検定結果

本線交通状況 付加車線長	高密度-高速		低密度-高速		高密度-低速	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
600m	181.3	127.30	137.3	92.93	159.2	126.62
400m	162.2	103.12	129.9	71.19	144.9	104.51
200m	94.1	38.08	87.4	36.93	86.7	36.07
400m-600m比較	-2.29(0.02)**		-0.54(0.59)		-2.27(0.02)**	
200m-600m比較	-8.07(0.00)**		-6.50(0.00)**		-7.23(0.00)**	
200m-400m比較	-7.27(0.00)**		-7.32(0.00)**		-6.82(0.00)**	

注) **: 有意水準5%で帰無仮説が棄却されたもの

表-3 から、本線交通状況全てについて、付加車線長200mより400m、600mの方が平均値は有意に大きいということが分かった。さらに付加車線長400m、600mの場面を詳しく見ると、低密度の場面では400m、600mの代替案の平均値に有意差はないが、高密度の場面では400mより600mの方が平均値は有意に大きいことが確認できた。これは特に高密度の場面においては、付加車線が延びるにつれて合流位置がより下流に移行する傾向を示している。

では、付加車線長をどの程度延伸すれば合流する側にとって最大の効果が得られるのかを把握するために、付加車線長400m、600mそれぞれの場面において、合流位置が250mから600mまで50mおきに、その位置までに合流したサンプルの数およびその累積%を算出した。

表-4 から、少なくとも付加車線長が500mあれば合流車は希望する位置に合流できるということが言える。平均値の差の検定結果とあわせると、本線が

表-4 サンプルの数および累積%

	付加車線長 400m			付加車線長 600m		
	サンプル数	累積数	%	サンプル数	累積数	%
0~250	370	370	82.22	359	359	79.77
~300	32	402	89.33	23	382	84.88
~350	30	432	96	19	401	89.11
~400	18	450	100	19	420	93.33
~450	—	—	—	20	440	97.77
~500	—	—	—	7	447	99.33
~550	—	—	—	3	450	100
~600	—	—	—	0	450	100

高密度の状況では、付加車線長200mで起こっている状況を少なくとも回避できる付加車線長の値は400mから500mの間に存在することが推測でき、この値に付加車線長を設定することにより、合流車は大部分の交通状況に対して余裕を持った合流位置を確保することができると考えられる。

6. まとめ

分析の結果から、付加車線長を200mから400m、600mに延伸することにより、特に本線交通状況が高密度の場面において顕著に合流車挙動の自由度が増すことが、多角的な視点から確認できた。また合流車の観点から見た、望ましい付加車線長の値は、400mから500mの間に存在する可能性があるという知見も得た。今後は、付加車線延伸が渋滞対策の観点から効果があることを検討するために、本線走行車両の視点、つまり合流される側からの視点を考慮に入れて、合流部全体としての交通流の解明を検討する。

最後に、本研究の実験条件企画と実験結果の評価などに多大なご知見を頂いた東京都立大学の大口敬先生には心から感謝の意を表す次第である。

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・榊永清：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・上地登・英恵司：物体の3次元移動軌跡を計測するための微で解析システムの開発，土木計画学研究・講演集，vol.28，CD-ROM，2003.
- 河井健・飯田克弘・安時亨・大口敬：ドライビング・シミュレータを用いた合流部走行実験の現況再現性，第23回交通工学研究発表会論文報告集，pp81-84，2003.