

都市高速道路における年齢層に着目した 合流支援情報提供時の行動分析

山村 啓一¹・宇野 伸宏²・中村 俊之³・柳原 正実⁴・河本 一郎⁵・玉川 大⁶

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂Cクラスター）

E-mail: yamamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学経営管理大学院（〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂Cクラスター）

E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂Cクラスター）

E-mail: nakamura@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴学生会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂Cクラスター）

E-mail: yanagihara@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁵正会員 阪神高速道路株式会社保全交通部システム技術課（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）

E-mail: ichiro-komoto@hanshin-exp.co.jp

⁶正会員 阪神高速技術株式会社技術部技術課（〒550-0056 大阪市西区阿波座1-3-15 JEI西本町ビル）

E-mail: dai-tamagawa@hanshin-tech.co.jp

高速道路における交通事故は、高速度で車両が走行していることからその被害の程度も大きく、個人的損失だけでなく社会的損失も極めて大きい。特に都市高速道路での交通事故は車両が複雑に錯綜する合流部において発生件数が多い。さらに近年高齢ドライバーの免許保有率の増加とともに高齢者の事故件数も増加傾向にある。そういった中で、交通安全対策としてドライバーに接近する車両の存在を情報板を用いて情報提供を行うことにより、危険回避するような車両挙動を促す施策が実施されつつある。

こうした状況を踏まえて、本研究では合流部での円滑かつ安全な走行による事故削減を目的に都市高速道路で導入が期待されている「合流支援装置」を用いた情報提供が、ドライバーの運転行動に与える影響についての分析を行った。具体的には、都市高速道路合流部をドライビングシミュレータで再現し、導入が想定される2種類の「合流支援装置」を設置し、被験者の運転行動のデータ収集を行った。分析の結果、「合流支援装置」の種類により情報提供区間後半での速度変化に統計的に有意な差が見られ、分散分析により高齢者は反応性に違いが生じることが明らかになった。

Key Words : *driving simulator, highway junction, senior driver, merging support, behavior analysis*

1. はじめに

交通事故は、個人的な損失だけでなく、社会的な損失も極めて大きい。近年、交通事故死亡者は下降傾向にあるものの、交通事故発生件数については依然として横ばいの状態である。高速道路における交通事故は一般道路での交通事故と比較して、高速度で車両が走行していることから、危険性が高いことは自明である。特に都市高速道路は名神高速道路をはじめとする都市間高速道路と比べて、用地確保の制約から複雑な道路線形や、合流部における加速車線の道路延長が短い等の問題を抱えている。都市高速道路の交通事故発生地点では、インターチ

ェンジ、ジャンクションといった合流部が上位を占めている¹⁾。都市高速道路の合流部は高速で走行する複数の車両が錯綜しており、自車両だけでなく周辺車両の挙動にも注意を払い運転することが必要とされる。

近年、交通安全対策としてドライバーに接近する車両の存在をドライバー知らせることにより危険回避するような車両挙動を促す施策が実施されつつある。具体的には、都市高速道路合流部における「合流支援装置」の導入である。「合流支援装置」とはドライバーが都市高速道路本線を走行中にトンネル部等の見通しの悪い合流部手前に差し掛かった段階において、自らに接近してくる他車両の存在をITS(Intelligent Transport Systems)を活用し、

ドライバーに知らせる装置である。

一方で近年、高齢ドライバーの免許保有率の増加とともに高齢者の事故件数も近年増加傾向にあることが報告²⁾されており、社会全体として高齢ドライバーへの交通安全対策が求められている。しかしながら、上述のような合流支援装置を用いた情報提供による交通安全に資する施策を実施したとしてもその反応性は年齢層により異なることが想定される。特に反応性が異なると想定される高齢ドライバーへの施策実施の効果検証が必要であると考えられる。既存研究^{3) 4)}では、高齢ドライバーは合流部での運転挙動が異なることが示唆されているが、情報提供に対し高齢ドライバーがどのような反応を示すのかについてまでは明らかになっていない。そこで本研究では、都市高速道路合流部に導入が期待される「合流支援装置」による情報提供がドライバーの運転行動に与える影響を把握することを目的とする。特に高齢者、壮年、青年の3つの年齢層別に分け、その反応性を比較分析する。

なお、本研究では合流支援装置として2種類の「設置型情報板」、「追従型情報板」（それぞれの情報板の詳細については後述）を分析対象とする。また、事故につながり得る危険な状況下での車両挙動に関するデータ収集の必要が生じるが、実際の走行からそのような状況下での詳細なデータを得ることは現実的に困難である。そこで、本研究ではドライビングシミュレータ（以下、DS と呼称）を利用した実験によりデータの収集を行う。

2. DS 実験の概要

本研究で実験に用いるのは、平成 25 年 5 月に供用を開始した阪神高速 2 号淀川左岸線（島屋～海老江 JCT）にあるトンネル内の合流部を仮想空間に再現した道路である。表-1 に実験区間、被験者数、ならびに年齢層とその被験者数を示す。DS 実験では、被験者は本線を走行し、合流部に差し掛かった際に車両が合流してくる状況を設定している。なお、本線を走行するドライバーは接近してくる合流車両を目視することはできない。その上で、合流部手前において合流線からの車両接近を示す「合流支援装置」を設置する。

具体的には、図-1(a)に示す従来型の「設置型情報板（以下、設置型と呼称）」と、導入可能性が検討されている図-1(b)に示す「追従型情報板（以下、設置型と呼称）」の2つの「合流支援装置」を用いて実験を行っている。図-2 に示す通り設置型は、壁の向こう側の合流線を走行する車両の存在を知らせるものであり、設置地点より 60m 手前に車両が存在した時点で点滅する仕組みである。一方、追従型は、複数の情報板を設置し、合流

表-1 実験の概要

区間	阪神高速 2 号 淀川左岸線 正連寺川 ON ランプ合流地点	
被験者数	57 名	
年齢層	高齢(65 歳以上)	19 名
	壮年(30～64 歳)	19 名
	青年(20～29 歳)	19 名

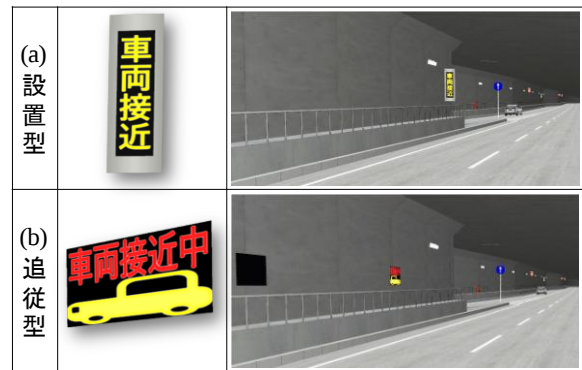


図-1 情報提供板

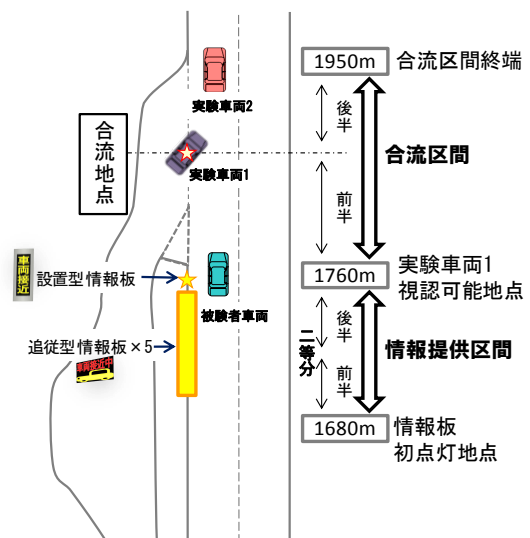


図-2 合流支援装置の位置と区間設定

線を走行する車両の存在に加えて、合流線を走行する車両の大まかな位置を伝える仕組みである。具体的には、合流線の壁面に5枚の情報板が10m間隔で設置しており、それぞれの情報板は合流線上における設置地点を車両が通過した時点で発光する仕組みである。実験時の車両設定は、図-2のように被験者車両以外には、合流部からの本線に進入してくる車両を想定した実験車両1と被験者車両の前方車を想定した実験車両2の2台である。いずれもDS上での自動走行であり、事前に設定した通りの車両軌跡、速度での走行を毎回行うが、被験者車両との交錯が起きる場合にのみ、被験者車両との衝突を避けるような走行を行う。実験に際し、被験者がDS操作

(運転)に慣熟するための練習走行を行った後、「設置型」、「追従型」情報板の種類毎に1回ずつ実験走行を行った。その際、合流線から車両が出現しない予備走行を適切に挟むことにより、被験者が車両交錯が必ず起こるという意識を持たないようにすることで、情報提供の価値が失われないように配慮した。また、順序効果に配慮し、実験順を被験者毎に入れ替えた。なお、今回の実験では、2つの情報板の意味や設置状況等について、被験者への事前説明を行っていない。

3. 分析区間の設定とデータクリーニング

(1) 分析区間設定

分析にあたって、図-2に示すように、道路構造、情報板設置位置を考慮した上で、運転行動に特徴が現れると想定される情報提供区間と合流区間の2つの区間を定義する。DSで作成した淀川左岸線の道のりが1,680m(被験者車両が当該位置まで走行した際に情報板が点灯する地点)から1,760m(被験者車両から、合流線を走行する実験車両1が目視可能な地点)までを情報提供区間とし、その区間をさらに等距離となるように前半、後半と定義した。また、1,760mから道路構造的に合流車両の加速区間の終端である1,950mまでを合流区間と定義し、実験車両の本線へ合流地点を基準に前半、後半に分割した。第4章以降では、情報提供区間前半・後半、合流区間前半・後半の4つの区間別に比較分析を行う。

(2) データクリーニング

収集したデータでは、DSに慣れるための慣熟走行を行ったにも関わらず、実験時の車両挙動が不安定な被験者や、実験回によって走行速度に著しく差が生じた被験者が存在した。また、実験実施の際、事前に被験者に対して前方車両(実験車両2)に追従し、車線変更をしないように説明をしていたが、被験者の判断で車線変更を行った被験者も存在した。データ分析を行うにあたって、上で述べた実験条件に適さない被験者については分析対象外とした。その手順並びに条件を図-3に示す。結果的に分析対象サンプル数は、高齢者11名、壮年14名、青年16名の計41名となった。第4章以降の分析はこの41名の被験者のデータを用いるものとする。

4. 情報提供に伴う車両速度への影響分析

本章では、情報提供区間、合流区間における被験者車両の速度に着目して情報提供に伴う影響分析を行う。な

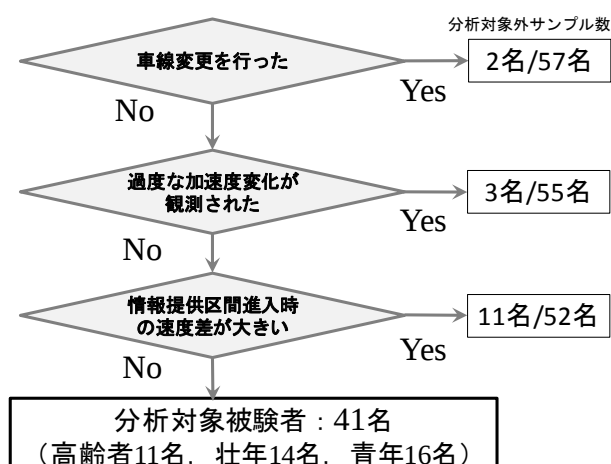


図-3 データクリーニング

お、分析にあたっては、平均速度(左岸線の断面を通過した際の速度の平均値)、区間速度(該当区間における被験者車両の平均速度)、および速度変化(該当区間の終端速度と始端の速度差)の3つの速度に関する値を利用する。

(1) 速度分布

分析対象サンプル(41名)の平均速度の分布を図-4左上に示す。得られた速度分布においては、設置型、追従型の合流支援装置が異なることで、情報提供区間に入後の速度の傾きの大きさや傾きが始まる位置が異なっている様子が見られる。これは、合流支援装置の違い(以下、情報提供方法の違いと記述する)によりドライバーの速度調整に違いが存在している可能性を示唆している。さらに、図-4左上からは、情報提供方法の違いにより合流区間での速度推移にも違いが生じていることが確認できる。

次に図-4右上及び下部に年齢層別の速度推移を示す。全体の傾向としては、青年は速度が大きく、高齢者は小さいことが確認できる。また、情報提供方法の違いによる反応性が年齢層により異なる可能性が示唆される。

区間別の平均速度の度数分布を図-5に示す。設置型と追従型では、合流区間での速度分布がやや異なっている。具体的には、合流区間前半の分布形状が、設置型では2つの山頂を持つ多峰性分布傾向が見られるが、追従型には見られない。合流区間後半では、設置型、追従型ともに2つの山頂を持つ多峰性分布になるが、設置型では60km/hの速度帯のサンプルが存在していない。これらの結果は、設置型は追従型と比較して、速度調整の傾向が二分する地点がより上流に存在することを示している。合流区間後半においてもそのような傾向を持ち越しており、設置型が追従型よりやや強い多峰性を示しているということが想定される。

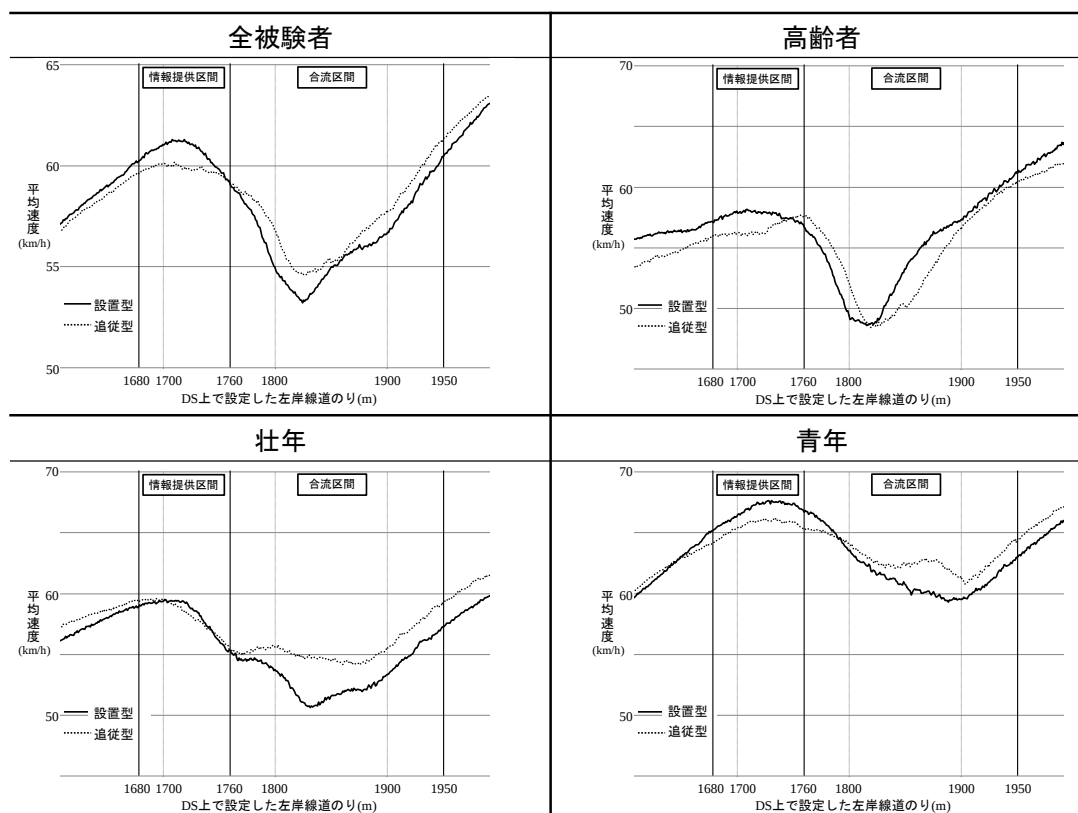


図-4 平均速度分布

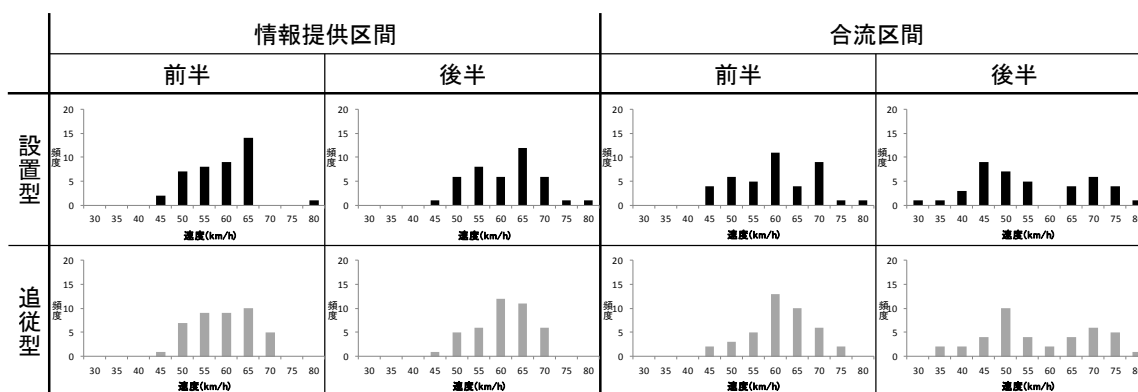


図-5 区間別平均速度度数分布

表-2 t検定の結果

p値	情報提供区間		合流区間	
	前半	後半	前半	後半
区間速度	0.21	0.48	0.22	0.23
速度変化	0.31	0.06 *	0.41	0.37

表-3 2元配置分散分析の結果

p値	情報提供区間	
	前半	後半
区間速度	0.64	0.66
速度変化	0.75	0.06 *

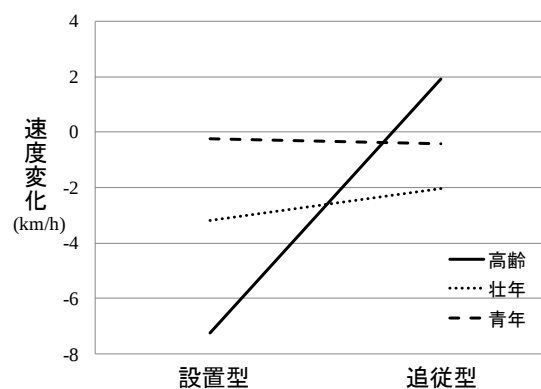


図-6 交互作用の確認

(2) 区間速度及び区間速度変化平均値の差の検定

区間別に区間速度、区間速度変化の平均値について t 検定を行った結果を示したものが表-2 である。分析結果からは、情報提供区間後半の区間速度変化について、有意差（10%）が確認された。この結果は、情報提供区間後半では設置型の方が速度変化が大きいことを示していると考えられる。また、合流区間において有意差が確認されなかったことは、(1)で示したようにギャップの受入状況によって速度のばらつき、つまり速度の分散が大きいことを反映していると想定される。

(3) 情報提供区間における 2 元配置分散分析

(4)において、平均値の t 検定で有意差が見られた情報提供区間を対象に、情報提供の違いと年齢層の違いによる 2 元配置の分散分析により交互作用の分析を行った。その結果を表-3 に示す。これより交互作用に有意な差があることが確認された、情報提供区間後半の区間速度変化を情報提供方法別、年齢層別に表したものを図-6 に示す。この結果によると、情報提供方法の違いによらず、壮年層・青年層は、合流区間進入前に情報提供によって車両速度を調整（減速）する傾向がみられる。一方、高齢者は設置型では減速、追従型では加速の傾向を示しており、交互作用の有意差が示すように、他の年齢層とは反応の傾向が異なることが分かる。

5. 合流時における安全性分析

本章では、合流区間を対象に情報提供別に被験者が合流車両（図-7 の実験車両 1）を自らの前方、もしくは後方のギャップで受け入れたのかの割合、ならびに実験車両 1 が本線に合流してきた地点における被験者との潜在的追突危険性を数値化した指標である PICUD⁹⁾を用いることで安全性分析を行う。分析に利用する PICUD は、前方に位置する車両が何らかの要因で急減速した状況を想定した指標である。加えて、前方車両が急減速したことを認知しドライバーがブレーキを踏み込むまでの反応遅れ時間を想定し、また 2 台の車両における空間的距離（相対距離）が小さいことによる追突危険性、速度が早いことで制動距離が伸びることや反応遅れ時間中に車間距離がより縮まることによる追突危険性を考慮した指標である。式(1)に PICUD の定義を示す。なお、PICUD が負の値のときには、2 台の車両が衝突の危険性があることを示している。PICUD 値算出にあたって本分析では、反応遅れ時間を 1 秒、車両急減速時の加速度をすべての車両について $-3.0(m/s^2)$ として設定した。

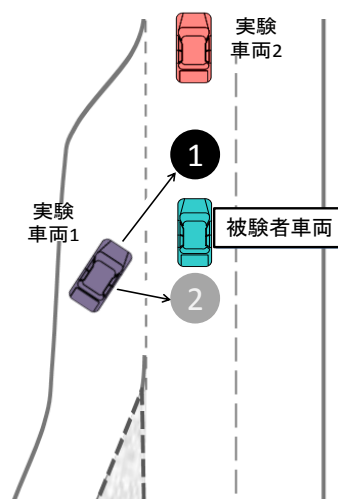


図-7 受入ギャップ模式図

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a_1} + s_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a_2} \right) \quad \text{式(1)}$$

V_1 ：先行車の減速開始時の速度(m/s)

V_2 ：先行車の減速開始時における後続車の速度(m/s)

S_0 ：先行車急減速時の車間距離(m)

Δt ：反応遅れ時間、先行車のブレーキ開始時点から後続車のブレーキ開始時点までの時間(s)

a_1 ：先行車の減速時の加速度(<0)(m/s^2)

a_2 ：後続車の減速時の加速度(<0)(m/s^2)

(1) 情報提供別の受入ギャップ

合流区間では合流時の実験車両 1、被験者車両の位置関係により、図-7 に示すような 2 つの受入ギャップが存在しており、実験車両 1 を被験者車両の前方に受け入れた場合に受入ギャップ 1、実験車両 1 を被験者車両の後方に受け入れた場合に受入ギャップ 2 と定義する。被験者が、どちらのギャップに合流車両 1 を受け入れるかは、合流時前後の被験者車両の状態やドライバーの意思により決定すると考えられる。DS 実験では全ての被験者に対して、被験者車両が情報提供区間前半の始端（図-2 の 1,680m）の断面を走行した際に合流車両 1 が動きだし、この地点を通過した段階で情報板が点灯し始めるという同一の条件により、実験を行っている。設置型、追従型の情報板を視認し、被験者は自らの車両の速度を調整することが想定される。そのため、情報提供の違いにより、被験者がギャップ 1、ギャップ 2 のいずれかのギャップを受け入れたかを分析することは被験者の合流時の大局的な挙動を捉えるという意味で重要であると考えられる。

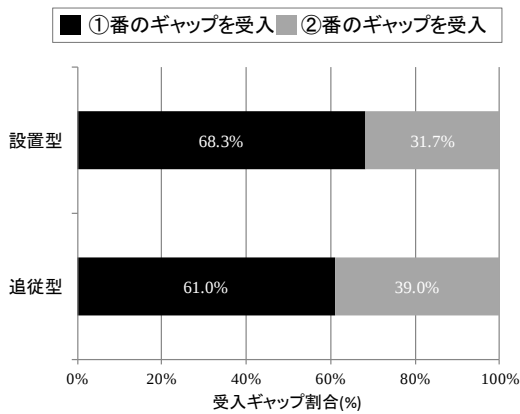


図-8 受入ギャップ割合

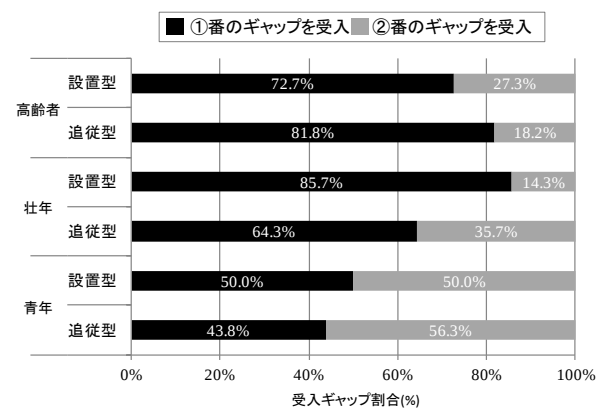


図-9 年齢層別受入ギャップ割合

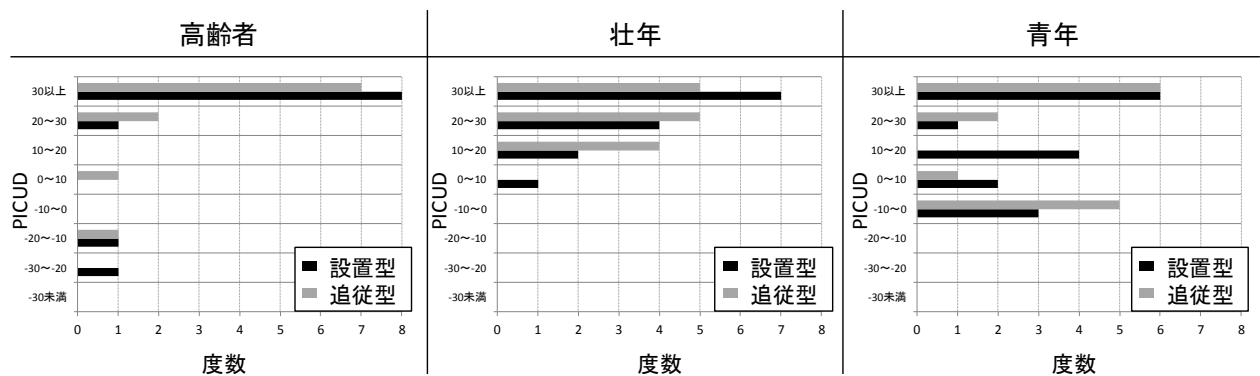


図-10 年齢別 PICUD 度数分布

図-8に被験者車両が受け入れたギャップ選択の割合を示す。第4章における速度分布が示唆する結果と同様に、追従型は設置型よりも、実験車両1を被験者車両の後方に受け入れたギャップ2の割合が若干大きい結果となった。

次に、年齢層別の受入ギャップ割合を図-9に示す。分析の結果、青年は情報提供区間での区間速度が壮年、高齢者より大きく、ギャップ2の割合が多くなったと考えられる。情報提供方法の違いによる受入ギャップの違いは、壮年において若干大きい結果となった。受入ギャップという観点では、壮年層が他世代と情報提供の違いに対する反応性が異なるという傾向の存在が想定される結果となっている。

(2) 合流時における PICUD 値

合流時の PICUD 値の算出にあたっては、被験者車両に対して、実験車両1(合流車)と実験車両2(前方車両)の2つの車両が対象となり得る。ここで、実験車両1の受入ギャップに関わらず、被験者車両に対して、実験車両が合流した時点で、被験者車両の前方にいる車両を対象に PICUD 値を算出するものとする。すなわち、被験者がギャップ1として受け入れた場合は実験車両1との位置、速度関係に基づく PICUD 値、被験者がギャ

ップ2として受け入れた場合には実験車両2との位置、速度関係に基づく PICUD 値を算出する。

この PICUD 値を年齢層別に集計した結果を図-10に示す。図-10では、全体的なグラフの形状として、高齢者、壮年、青年で分布形状が大きく異なっていることが確認できる。具体的に、高齢者では30以上の安全値の度数が多い一方で、潜在的に追突危険性が高い負の PICUD 値が算出される被験者が若干名存在している。壮年は PICUD 値が負となる被験者が存在しておらず、分布形の散布状況についても比較的まとまっている。安全性という視点では、壮年被験者では、高齢者、青年と比較して安定した走行が確認された。青年は PICUD 値が30以上となる被験者が多い一方で、PICUD 値が0付近の値となる被験者が高齢者、壮年よりも多い結果となった。この結果から青年は、自らの車両の前に車両が合流してくるのを避けるために前方車両との車間距離を小さくする傾向にあるものと想定される。

さらに、年齢層により設置型と追従型に対する PICUD 値は異なる傾向が見られた。具体的に青年では、追従型により-10から+10の分布形状が反転するような形状を示しており、追従型で PICUD 値が負となる被験者が設置型と比較して、増加する傾向となった。

6 おわりに

情報提供方法の違いにより、情報提供区間後半での速度変化に統計的に有意な差が見られた。また分散分析により、高齢者は情報提供方法の違いへの反応性に違いが生じることが明らかになった。合流時における被験者の車両挙動に基づく安全性分析、具体的には受入ギャップの割合やPICUD値の分布形状を分析した結果、年齢層間で差異が生じており、さらに情報提供の違いに対する反応性の違いの存在も示唆された。

しかしながら、本研究では DS 実験により得られた被験者の車両挙動のみを元に分析を行った結果であり、上で述べたような結果がなぜ生じているのかを解明し、本研究の成果をより支持するためには、実際に被験者が情報板の意味や違いを理解しているのか、情報板を目視した上で状況判断を行っているのかについてまで及んだ分析が必要であると考えられる。その上で、都市高速道路の合流部における望ましい合流支援装置のあり方が検討できるものと考えられる。

謝辞：本研究は、一般財団法人阪神高速道路管理技術センターと京都大学の共同研究の成果の一部として得られたものである。実験の実施に際しては、阪神高速道路(株)、

阪神高速技研(株)、及び、(株)地域未来研究所より多くのご協力・ご支援をいただいた。また、DS実験にあたっては多くの被験者に調査協力を頂き、データ収集を行った。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 警視庁交通局：平成24年度中の交通事故発生状況，pp.21, 2013.
- 2) 阪神高速道路株式会社：阪神高速道路の交通安全対策アクションプログラム，No.1, pp.4-5, 2007.
- 3) 森康男：ドライビングシミュレーターによるインターチェンジ流入部における高齢運転者の運転挙動の研究，福井工業大学研究紀要，第一部，2009.
- 4) 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・論文集，Vol.23, No.4, pp.833-840, 2006.
- 5) 飯田恭敬，宇野伸宏，井坪慎二，菅沼真澄：織込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化，土木計画学研究・講演集，No.2, pp.35-46, 1992.

(2013.8.2受付)

Behavior analysis when the merging support information is provided
in urban highway focused on the age groups

Keiichi YAMAMURA, Nobuhiro UNO, Toshiyuki NAKAMURA, Masami YANAGIHARA
Ichiro KOMOTO and Dai TAMAGAWA