

一般ドライバと高齢ドライバのサグ部における 速度低下抑制効果の比較

佐藤 史弥¹, 松本 修一², 西元 崇³

1 非会員 文教大学 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷 1100)

E-mail b4p41052@shonan.bunkyo.ac.jp

2 正会員 文教大学准教授 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷 1100)

E-mail shuichi@shonan.bunkyo.ac.jp

3 非会員 株式会社 JR 東日本情報システム (〒169-0072 東京都新宿区大久保三丁目 8 番 2 号)

E-mail tnishimoto@inet.jeis.co.jp

高速道路において効果的に渋滞を緩和するためには、サグ部の渋滞解消法を検討することが重要である。これまでサグ部の渋滞解消に向けた取組みは様々行われてきたが、運転ドライバの属性に着目した知見は少ない。今後の高齢化社会を見据え、高齢ドライバの運転特性を把握し、適切なサグ部の渋滞対策を講じていく必要がある。本研究ではサグ部上においてドライバに減速感を感じさせる手法に対し、一般ドライバと高齢ドライバの運転挙動について比較を行った。この結果、平均速度や最低速度が向上すること、高齢ドライバは一般ドライバと比べて車頭時間が長くなることが分かった。また、高齢ドライバは視覚刺激があると減速感を感じる可能性があることなどが分かった。

Key words: 高齢ドライバ, サグ, 錯視, 減速知覚, ドライビングシミュレータ

1. はじめに

高速道路の最も大きい渋滞要因であった料金所渋滞が ETC の普及に伴いほぼ解消したことで、国内の高速道路サグ部における渋滞の発生比率が相対的に高くなった。都市間高速道路のサグ部における渋滞は 61%程度を占めるといわれている¹⁾。内閣府によると 2015 年の日本における 65 歳以上の高齢化率は 26.7%で、2060 年には 39.9%に達すると試算している(図-1 参照)²⁾。また、高齢者人口の増加に伴い高齢ドライバの免許保有率も増加する傾向にある³⁾。このように、今後の高齢化社会において交通渋滞を考えていく上では、高齢ドライバの運転特性を加味した対策を講じる必要がある。

サグ部の渋滞に対する対策として、これまで LED 表示板による渋滞位置情報の提供⁴⁾や渋滞回避・解消のための標識設置が提案され、実用化に向けた取組みが行われている。岩崎ら⁵⁾は錯視を利用した速度抑制対策として、ゲート感覚を次第に短くなるように設置した錯視ゲートを提案し、20~30 代の被験者を対象にドライビングシミュレータ(以下、「DS」と記す)実験を行った。この実験では、1)錯視ゲート群を等速で通過する際にドライバが加速感を感じること、2)その結果、等速を保つように教示した場合に減速すること、などの結果が得られた。また、韓ら⁶⁾はシークエンスデザインの概念を用いた走行制御方法として路面上に間隔が次第に変化するよう

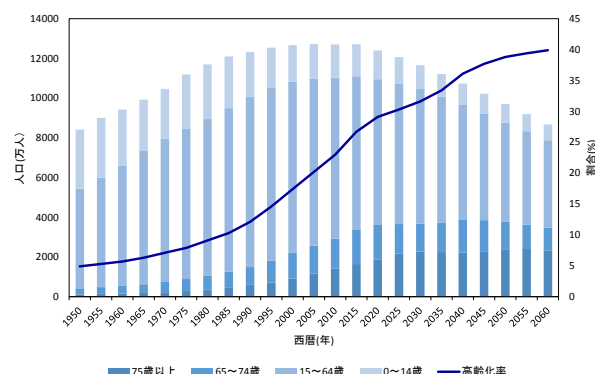


図-1 高齢化の推移と将来推計

に描かれた図形によって、ドライバに加速感や減速感を与えるオプティカルドットを提案し、25~55 歳の 33 名の被験者を対象に実験を行った。この研究ではオプティカルドットを実装した DS 環境を用意して 100km/h 程度で自由走行を行わせた。その結果、オプティカルドットを用いると速度が統計的に有意な差で下がることを実証している。また、減速感を与えるためには、80km/h 程度で自由走行を行うことで減速感に関しても差が出ると予測している。

西元ら⁷⁾は、錯視ポール群を道路側面に配置するとともに、路面マーカーを併用する手法を提案し、DS によって 8 台分の追従積み重ね実験を行い、最低速度の増加、交通流率の向上などを明らかにした。しかし、西元らの研究では実験参加者の属性が 20 代

から 40 代までの被験者データ（以下「一般ドライバ」と記す）をもとにした知見であったため、65 歳以上のドライバ（以下「高齢ドライバ」と記す）における適用の可能性を今後の課題として挙げている。本研究では西元らの研究で使用した実験と同一条件のもとで高齢ドライバに対し DS 実験を行い、一般ドライバと高齢ドライバにおけるサグ部での錯覚による速度低下抑制効果や走行特性などを比較する。

2. 実験概要

(1) 実験設備

本実験では、UC-win/Road（株式会社フォーラムエイト製）を活用し、仮想空間上に高速道路を模擬した直線道路を作成して DS 実験を行った。DS からは、速度、加速度、アクセル踏み込み量、交通量、車両の位置などのデータをアウトプットとして得ることができる。

図-2 に DS のシステム構成を示す。32 インチディスプレイ 3 面、主計算機 1 台、映像発生用計算機 2 台、座席の背後にはコンソール用の計算機などが配置されている。3 面のディスプレイには、ドライバ視点の光景が映し出される。図-3 に前方画面例を示す。このポールは足立らの鳥居をイメージした CG⁹⁾を参考に作成したものである。

(2) 研究シナリオ

研究では、1) ポールが設置されていないシナリオ（以下「ポール無し」と記す）、2) 10m 間隔でポールが設置されているシナリオ（以下「等間隔ポール」と記す）、3) 10m 間隔で設置されているポールの間隔が徐々に広がっていくシナリオ（以下「錯視ポール」と記す）の 3 種類を用意した。錯視ポールシナリオに関しては、既存研究⁹⁾を参考に、式(1)に示す間隔でサグ底を起点として 900m の区間（図-3 参照）にポールを設置する。図-4 の網掛けとなっている区間がポールの設置区間である。

$$I(n) = d_0(1+x)^n \quad (0 < x < 1) \quad (1)$$

ここで $I(n)$ は n 番目のポールの間隔、 d_0 は初期間隔、 x (>0) はポールの距離の増加率である。今回は x を 0.05 とした。このようなポール群を通過するドライバに対し錯視により減速感を与えることでサグ部の上りで速度を加速させ、高速道路サグ部における渋滞緩和が期待される。

サグの縦断勾配に関しては、伏屋ら⁹⁾の研究を参考に、図-4 のような実験シナリオの縦断面（-0.5%の下りの後に+1.5%の上り）を作成した。

(3) 実験手順

実験開始前のインフォームドコンセントにおいて、全実験参加者に対し、1) 実験により生じる実験参加者への不利益、2) プライバシーへの配慮、3) 実

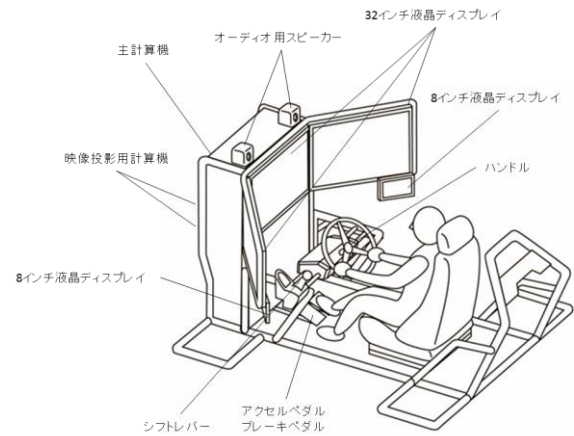


図-2 DS 概観



図-3 前方画面例（ポール設置コース）

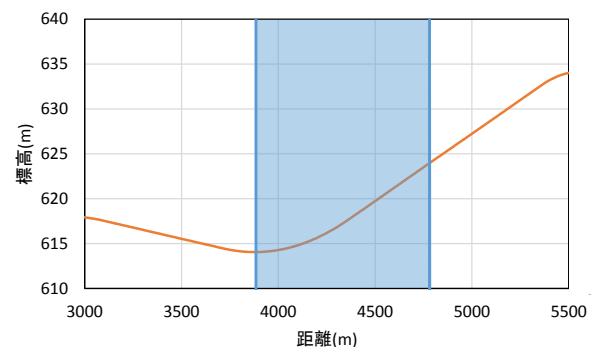


図-4 実験シナリオの縦断面

験に参加しない自由の確保、に関して十分な説明を行い、実験に参加することの同意を得た。続いて、高齢ドライバに認知症の症状に関して把握するため Mini-Mental State examination（以下「MMSE」と記す）¹⁰⁾に答えてもらった。MMSE の判断基準は 27 点～30 点は「異常なし」、22～26 点は「軽度認知症の疑いもある」、21 点以下は「どちらかという認知症の疑いが強い」となっている。本実験を行う前に、練習走行として、1) JC-08 モードで走行する先行車両を追従するシナリオ、2) 車間距離に慣れるシナリオを走行してもらうことで DS 環境ならびに運転操作への習熟を促してもらった。

本実験では、既存研究¹¹⁾を参考に、8 台分の追従積み重ね実験とした。シナリオは、1) ポール無し、2) 等間隔ポール、3) 錯視ポールの 3 つで、それぞれ 8 台分の追従積み重ね実験を行い、1 人の実験参加者につき実験走行は合計 24 走行とした。各シナリ

オの 1 走行目は表示された速度メーターを確認しつつ 80km/h を目安とした走行とし、2 走行目から 8 走行目の各走行は先行車に追従させた。追従積み重ね実験の順序は、順序効果を考慮し各実験参加者でランダムとした。また、主観的作業負荷を測るため NASA-TLX¹²⁾を用いたアンケートを各シナリオの 8 走行目の後に実施した。

さらに、追従積み重ね実験終了後、DS に座った状態で錯視ボールと等間隔ボールの 2 つのシナリオからなる直線平坦路を等速で走行する動画で再生し、減速感を感じている区間を調べる減速知覚実験を行った。この減速知覚実験は 50 秒であり、減速知覚実験の順序も順序効果を抑制するためにランダムとした。実験参加者には、ボタンを押すと動画の時間と同期し、10Hz でデータ化できるデバイスを渡し、以上のように教示を行った。

- ・ 減速感を感じたらボタンを押して下さい。
- ・ 減速感を感じ続けている間はボタンを押し続けて下さい。

(4) 実験参加者

本実験の実験参加者は、普通自動車免許を所有する 67 歳から 77 歳の高齢ドライバ 8 名(男性 4 名,女性 4 名)である。表-1 に西元らが行った一般ドライバのデータを含めた実験参加者の属性を示す。一般ドライバの平均年齢は 29.2 歳(SD:11.0 歳)で、高齢ドライバは 69.9 歳(SD:3.7 歳)だった。また、実験参加者の運転特性を把握するため、運転負担感受性チェックシート (WSQ : Workload-Sensitivity Questionnaire) と運転スタイルチェックシート (DSQ: Driving Style Questionnaire) ¹³⁾⁻¹⁵⁾の質問に回答してもらった。図-5, 図-6 に一般ドライバの DSQ および WSQ の各項目の得点を示し、図-7, 図-8 に高齢ドライバの得点を示す。なお、図中の網掛けは人間生活工学研究センター (HQL) から公表されている全国平均値 $\pm 1SD$ の範囲を示す。これらの結果から、いくつかの項目で平均的なドライバの運転特性から外れている実験参加者もいるが部分的であり運転に支障を来す程度の不安や負担を受ける実験参加者は見られなかったと推察される。高齢ドライバに対して行った MMSE テストの結果から、8 名のうち 7 名が「異常なし」、その他 1 名は「軽度認知症の疑いがある」と判定された。また、一般ドライバと高齢ドライバの NASA-TLX スコアの比較を図-9 に示す。なお、実験参加者 N に関しては、帳票から回答しかねると申し出があったため調査を中止した。この図より全てのシナリオにおいて、一般ドライバよりも高齢ドライバの方が作業負担の大きいことが分かった。

(5) 本実験における教示内容

本実験における教示内容として、走行ごとに以下のような教示を毎回行った。

表-1 実験参加者属性

	I D	年 齢	性 別	免許取得 年数	運転頻度
一般 ドライ バ	A	21	男	2 年	月に 1 回程度
	B	22	男	1 年	月に 1 回程度
	C	20	男	2 年	週に 3~4 回程度乗車
	D	22	男	2 年	週に 1~2 回程度乗車
	E	20	男	2 年	月に 1 回程度
	F	39	女	14 年	週に 3~4 回程度乗車
	G	44	女	23 年	月に 1 回程度
	H	46	男	25 年	ほぼ毎日乗車
高齢 ドライ バ	I	67	女	48 年	週に 1~2 回程度乗車
	J	68	男	50 年	ほぼ毎日乗車
	K	67	男	41 年	ほぼ毎日乗車
	L	67	男	48 年	ほぼ毎日乗車
	M	67	女	37 年	ほぼ毎日乗車
	N	77	女	47 年	週に 3~4 回程度乗車
	O	72	男	38 年	週に 1~2 回程度乗車
	P	74	女	42 年	ほぼ毎日乗車

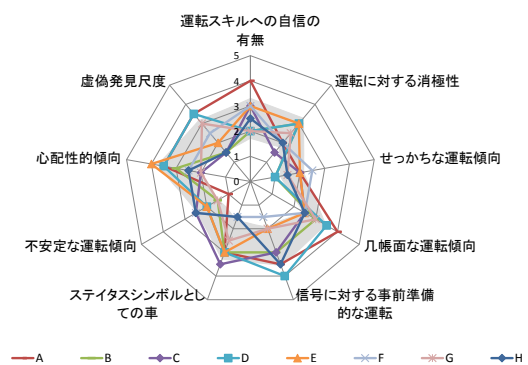


図-5 一般ドライバ DSQ 得点

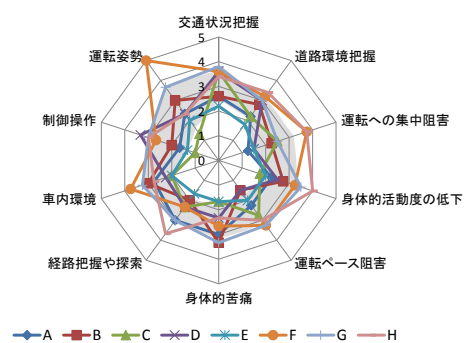


図-6 一般ドライバ WSQ 得点

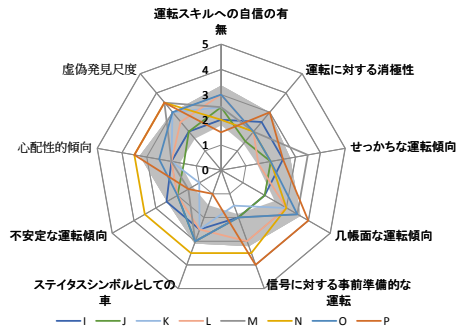


図-7 高齢ドライバ DSQ 得点

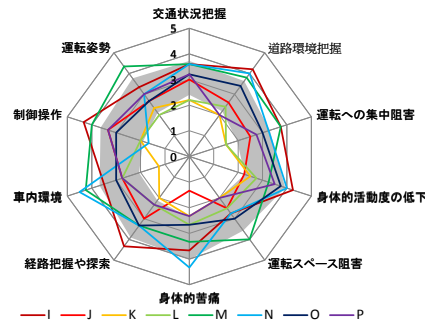


図-8 高齢ドライバ WSQ 得点

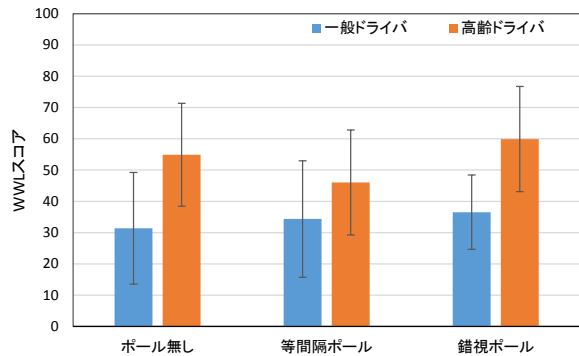


図-9 NASA-TLX の WWL スコア平均

- ・ ゲーム感覚で運転するのではなく,実際の道路を運転するように走行して下さい.
 - ・ 車線変更は行わずに走行して下さい.
 - ・ 交通ルールを守り,安全運転を心がけて下さい.
 - ・ 具合が悪くなった場合は,走行中でもすぐに申し出て下さい.
 - ・ この道路は 80km/h 制限の高速道路です.
- また,すべてのシナリオの1台目以外の走行では追加で以下の教示も行った.
- ・ 前方に車両がありますので,それに追従して下さい.

3. 結果・考察

本研究での解析区間は図-4 の網掛け部分 (サグ底を始点とし,前方のポール設置区間の終わりを終点) とした. また, ポール無しのシナリオも同様の区間を解析する.

表-2 実験参加者ごとのポール区間の平均速度 (km/h)

	I D	ポール 無し	等間隔ポール	錯視ポール
一般 ドライバ	A	79.9	80(+0.1%)	81.2(+1.6%)
	B	81.5	81.6(+0.1%)	90.1(+10.5%)
	C	81.4	90.1(+10.6%)	95.7(+17.6%)
	D	75.2	82.9(+10.2%)	79.3(+5.5%)
	E	78.4	79.6(+1.4%)	78.5(+0.1%)
	F	77.1	83.9(+8.9%)	86.3(+12%)
	G	80.1	85.6(+6.9%)	80.8(+0.9%)
	H	77.2	80.1(+3.8%)	80.9(+4.8%)
	平均	78.9	83.0(+5.3%)	84.1(+6.7%)
高齢 ドライバ	I	83.8	81(-3.3%)	84.9(+1.3%)
	J	63.9	65.8(+2.9%)	78.4(+22.7%)
	K	69.1	81.1(+17.3%)	78.4(+13.4%)
	L	75.1	79.3(+5.6%)	72.3(-3.8%)
	M	72.5	75.2(+3.7%)	75.5(+4.1%)
	N	74.7	69.4(-7%)	77.9(+4.2%)
	O	75.6	74(-2.1%)	82.1(+8.6%)
	P	62.6	79.2(+26.6%)	81.0(+29.3%)
	平均	72.2	75.6(+4.8%)	78.8(+9.2%)

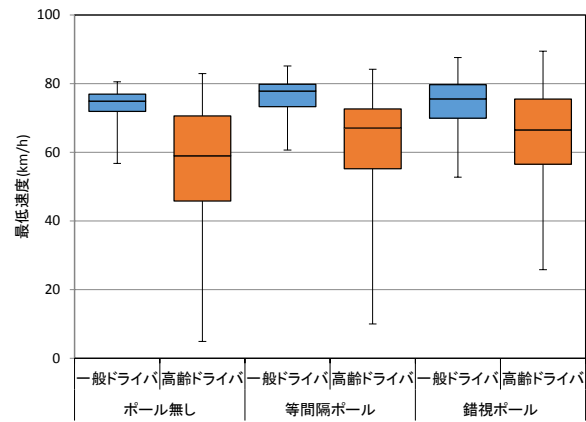


図-10 最低速度

表-3 最低速度に対する分散分析表

要因	DF	SS	MS	F 値	P
属性	1	16264.04	16264.04	106.91	0.00
シナリオ	2	1785.36	892.68	5.87	0.00

(1) 速度の比較

実験参加者ごとのポール区間の平均速度を表-2 に示す. なお, 表-2 の括弧内の数値はポール無しと比較した速度の増加率である. 一般ドライバは全員の平均速度が上がる結果になった. 一方, 高齢ドライバの一部では平均速度が下がる場合もあったが, 各シナリオの平均速度は向上した. 次に, ポール区

間での最低速度を図-10 に示す。ポール無しと錯視ポールを比較すると、一般ドライバは変化しないが高齢ドライバは 15.2%速度の向上が確認できた。また、一般ドライバに比べて高齢ドライバの方が最低速度にばらつきが出ることが分かった。表-3 に分散分析の結果を示す。このとき要因の「属性」は実験参加者（一般ドライバ、高齢ドライバ）で、「シナリオ」は三つのシナリオ（ポール無し、等間隔ポール、錯視ポール）を示す。

(2) 車頭時間の比較

ポール設置区間を 100m ごとに 10 箇所区切り車頭時間を求めた。図-11 に追従時間率を示す。図-11 から高齢ドライバの大半は車頭時間が 3 秒を超えている。このことから高齢ドライバは一般ドライバに比べて自由走行に近い傾向にあることが分かる。図-12 の図より高齢ドライバにおける大半のデータは車頭時間が 3 秒を超えていた。分散分析の結果を表-4 に示す。この表より、属性の主効果が統計的に有意な差があることが分かった。

(3) 減速知覚実験

各ドライバのシナリオを横軸とし、減速知覚実験のシナリオを再生した際に減速を感じていた時間の割合(以下「減速知覚の割合」と記す)を縦軸に、それぞれ設定したものを図-13 示す。

等間隔ポール知覚実験では、減速知覚の割合が 0 であった一般ドライバが 5 名いた。この実験参加者は表-2 の B, C, D, F, G である。一方、錯視ポール知覚実験では減速知覚の割合が 0 であったドライバが一般ドライバ、高齢ドライバそれぞれ 2 名ずついた。一般ドライバが錯視ポールを通過する際、大半の実験参加者が減速感を感じていることから、一般ドライバは概ね正しい判断をしていると考えられる。しかし、高齢ドライバは等間隔ポール、錯視ポールどちらを通過する際も減速をしていると錯覚する傾向が高いと分かった。この結果より、高齢ドライバは定期的な刺激に対して減速していると判断しやすい傾向にあることが考えられる。

錯視ポールと等間隔ポールの各シナリオから平均速度を算出し、錯視ポールの平均速度から等間隔ポールの平均速度（以下「速度差」と記す）を縦軸に、減速知覚の割合を横軸にしたものを図-14 に示す。一般ドライバを回帰分析した結果、一般ドライバは $y = -14.7x + 6.07$ ($R^2 = 0.66$) となり、高齢ドライバは $y = 0.5x + 2.97$ ($R^2 = 0.0007$) となった。一般ドライバは減速知覚の割合が高くなるほど、速度差が小さくなることが確認できたが、高齢ドライバではこれらの関係性が確認できなかった。

4. まとめ

これまでサグ部の渋滞解消に向けた取組みは様々行われてきたが、運転ドライバの属性に着目した知見は少ない。

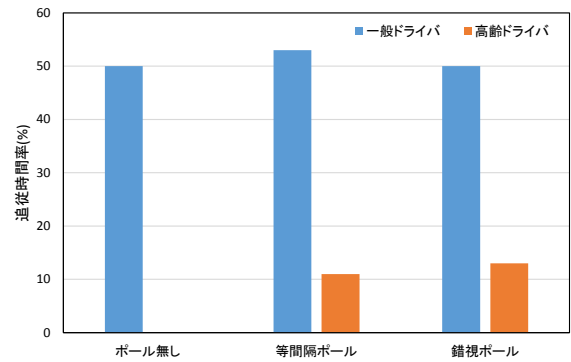


図-11 追従時間率

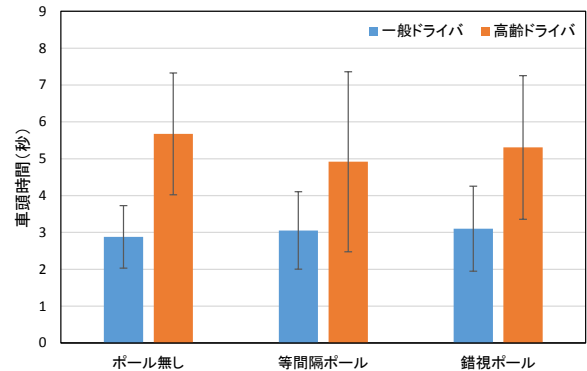


図-12 車頭時間

表-4 車頭時間に対する分散分析表

要因	DF	SS	MS	F 値	P
属性	1	629.23	629.23	232.09	0.00
シナリオ	2	7.34	3.67	1.35	0.26

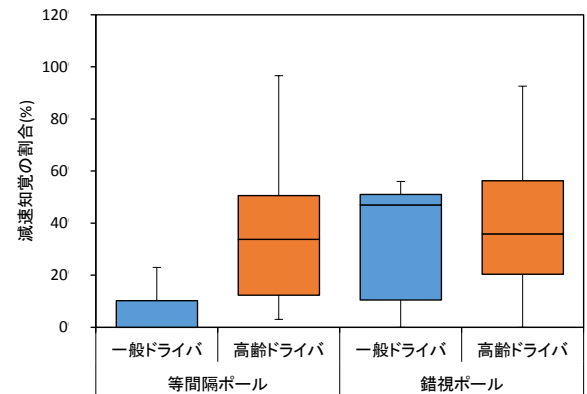


図-13 減速知覚比較

今後の高齢化社会を見据え、高齢ドライバの運転特性を把握し、適切なサグ部の渋滞対策を講じていく必要がある。本研究では、サグ部上りにおいてドライバに減速感を感じさせる手法に対し、一般ドライバと高齢ドライバの運転挙動について実験を行った。

その結果、サグ部の上りにポール群を設置することで、全般に平均速度の向上といった結果を得られた。また、高齢ドライバの最低速度が向上することや一般ドライバと比べてばらつきが大きくなることが確認できた。また、高齢ドライバは一般ドライバ

と比べて追従をしないと考えられる。車頭時間から平均車頭時間が 3 秒を超えており、自由走行に近い運転挙動となっている。減速知覚実験からは、高齢ドライバーは等間隔ポール、錯視ポールに関わらず視覚刺激があると減速感を感じる可能性があることが分かった。

今後の課題として、減速感を知覚しているにも関わらず速度が上がらない実験協力者について、緻密な考察を行っていく予定である。

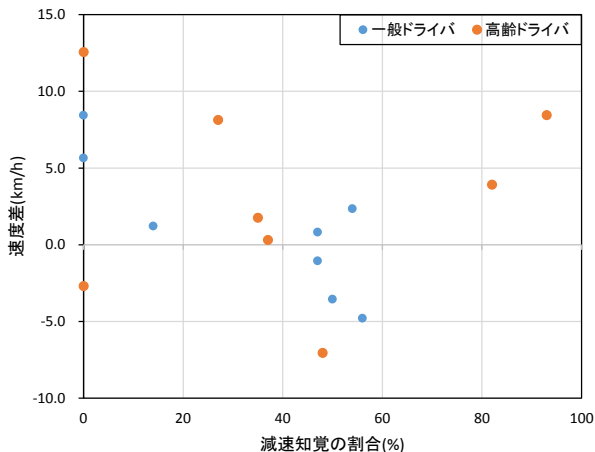


図-14 各シナリオの速度差と減速知覚の割合

謝辞

本研究を行うに際し、神戸大学四辻裕文助教、株式会社高速道路総合技術研究所葛西誠氏より多大なご助言等を得ました。ここに記して感謝の意を表します。なお、本研究は、科学研究費補助金（基盤B 課題番号16H03017）による研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所:「高速道路サグ部等交通円滑化に関する検討状況(報告)」
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/05/6.pdf>[2016 年 12 月 8 日アクセス]
- 2) 平成 27 年度 高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況「内閣府 第 1 節 高齢化の状況」
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/gaiyou/pdf/1s1s.pdf> [2016 年 12 月 8 日アクセス]
- 3) 警視庁 運転免許統計（平成 27 年度版）
<https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/index.htm>
- 4) 遠藤 学史,猪原 拓也,小林 健二郎,田中 淳,梅田 祥吾:首都高速道路サグ部における LED 表示板を活用した渋滞緩和メカニズムの検証, 第 51 回土木計画学研究発表会・講演集,CD-ROM,2015.
- 5) 岩崎宏司, 岡部康平, 平岡敏洋, 西原修, 熊本博光: 錯視が与える速度抑制効果に関する基礎検討, 知能システムシンポジウム資料, vol.30, pp.225-232, 2003.
- 6) 韓亜由美, 小野晋太郎, 佐々木正人, 須田義大, 池内克史, 玉木真, 大貫正明, 小島朋己, 錦戸綾子, 視知覚情報にもとづく道路シーケンスデザインによる走行制御効果の検証, 生産研究, Vol.63, No.2, pp.131-136, 2011.
- 7) 西元崇,植木宗司郎,松本修一,平岡敏洋:錯覚を活用したサグ部における速度低下抑制手法の効果検証, 交通工学研究発表会論文集, Vol.36, pp.89-95, 2016.
- 8) 足立幸郎,藤井康男,玉川大,岩里泰幸,山田幸一郎, 中村裕樹,シーケンスデザインを用いた速度抑制対策の効果とその実験的検証,土木学会論文集 D Vol.66, No.1,27-39,2010. 10)
- 9) 伏屋和晃,葛西誠,寺部慎太郎:ドライビングシミュレータを用いた高速道路サグ部の追従挙動解析に向けた実験設計,土木計画学研究発表会・講演集,Vol.44, pp.145-151,2011.
- 10) Mini Mental State Examination http://www.medicasite.com/special/img_special069/mmse.pdf[2016 年 10 月 17 日アクセス]
- 11) 大口 敬, 飯田 克弘: 高速道路サグにおける追従挙動特性におけるドライビング・シミュレータ技術の適用性, 交通工学, Vol.38, No.4, pp.41-50, 2003.
- 12) 芳賀繁,水上直樹:日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-,人間工学,Vol.32, pp.71-79,No.2,1996.
- 13) 石橋基範, 大桑政幸, 赤松幹之: 運転者特性把握のための運転スタイル・運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.55-02, pp. 9-12, 2002.
- 14) 社団法人人間生活工学研究センター (HQL): HQL 式運転スタイルチェックシート解説書, 2003.
- 15) 社団法人人間生活工学研究センター (HQL): HQL 式運転負担感受性チェックシート解説書, 2003.

Effect of velocity deterioration for elderly drivers using optical illusion at sag section

Fumiya SATO, Shuichi MATSUMOTO and Takashi NISHIMOTO