

錯視を活用したサグ部における 速度低下抑制効果

植木 宗司郎¹・松本 修一²・平岡 敏洋³・櫻井 宏樹⁴

¹学生会員 文教大学 情報学部 情報システム学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)
E-mail: b1p31022@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 京都大学大学院助教 情報学研究科 システム科学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail: hiraoka@sys.i.kyoto-u.ac.jp

⁴学生会員 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻
(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)
E-mail: h.s-fjsw0816@z6.keio.jp

ETCの普及に伴って国内の高速道路における料金所渋滞が大幅に減少したことによって、現在は渋滞の60%程度がサグ部で発生すると言われている。したがって、更なる高速道路の渋滞削減を目指すためには、サグ部における渋滞解消法の検討が急務である。渋滞対策には、ハード面、ソフト面において多種多様なものが提案されているが、本研究では、比較的低コストかつ即応性が期待される対策として、ドライバの錯視を活用したサグ部における渋滞抑制対策を提案する。サグ部の上に設置間隔が広がるようにゲートを設置することで、サグ部における速度低下を抑制する効果があることを示唆する結果が、ドライビングシミュレータ実験で得られた。

Key Words : *Traffic Flow, Sag Sections, Illusion, Driving Simulator*

1. はじめに

料金所渋滞がほぼ解消したことによって、国内の高速道路における渋滞の59%はサグ部で発生するようになった¹⁾。今後、更なる高速道路における渋滞の削減を目指すには、サグ部における渋滞解消法の検討が急務であるといえよう。

サグ渋滞に対する対策として、LED表示板による渋滞位置情報の提供、渋滞回避・解消のための標識やACC (Adaptive Cruise Control) を高度化した活用²⁾などが提案され、実用化に向けた取組みが行われている。岡田ら³⁾は、発光器具を路肩部に一定間隔で設置し、その発光を任意のパターンで制御することにより減速感をドライバに与え、速度感覚等のコントロールを行うことで速度回復を狙った対策を提案している。実道において検証実験を行った結果、速度抑制及び速度低下対策に対する効果が示唆された。

また、岩崎ら⁴⁾は錯視を利用した速度抑制対策として、ゲート間隔を次第に短くなるように設置した錯視ゲートを提案している。一定速で錯視ゲート群を通過する際の視覚刺激と、等間隔で設置されたゲート群を加速しながら通過する際の視覚刺激の周期が同じとなることに基づく対策である。ドライビングシミュレータ (以下「DS」と記す) 実験では、1) 錯視ゲート群を一定速で通過する際にドライバが加速感を感じることで、2) その結果、一定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。

本研究では、岩崎らの手法を参考に、ゲート間隔を次第に長くなるように設置することで、1) サグ部を通過するドライバに減速感知覚を促す、2) その結果として加速することで渋滞緩和を目指すような錯視ゲート群を提案する。さらに、その効果をDS実験により検証する。

2. 実験概要

(1) 実験設備

本実験では、同一走行環境下において複数の実験参加者が運転を行う必要があり、UC-winRoad（株式会社フォーラムエイト製）を活用し、道路周辺に建物等の全く無い直線道路を作成してDS実験を行った。実験では、速度、加速度、アクセル踏み込み量、ブレーキ踏み込み量、車両の位置などのデータを記録した。

図-1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-2に前方画面例を示す。

(2) 研究シナリオ

本研究では、既存研究⁴⁾を参考に、式(1)に示す間隔で、サグ底からゲートを設置する。

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

ここで $I(n)$ は n 番目のゲートの間隔、 d_0 は初期間隔、 x (>0) はゲートの距離の増加率である。式(1)より、ゲ-

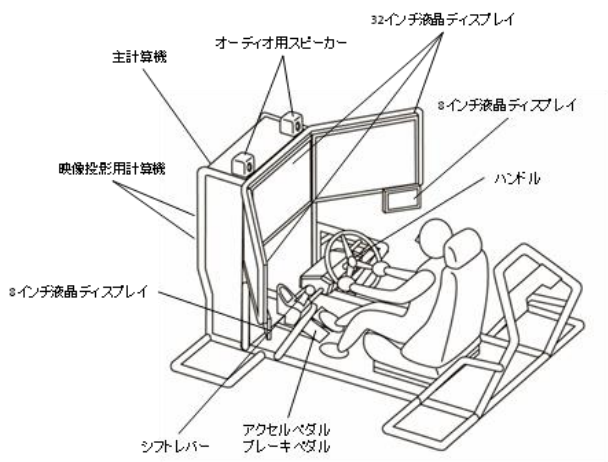


図-1 ドライビングシミュレータ



図-2 ドライビングシミュレータの前方画面

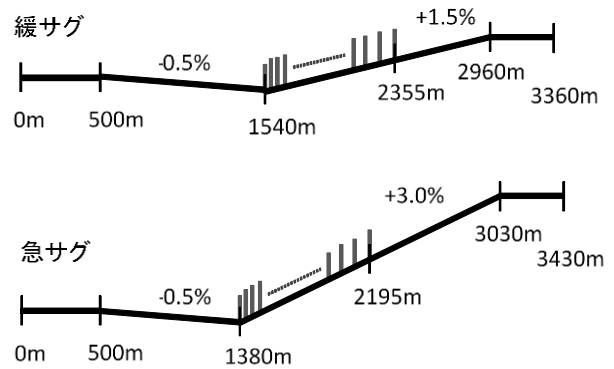


図-3 ゲート設置概要図

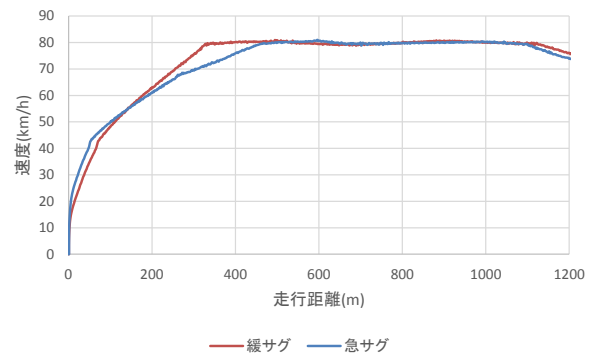


図-4 速度調整車両の速度変化

ト間隔が次第に広がるのがわかる。このようなゲート群を通過するドライバは減速感の錯視により、サグ部の上りで加速することが期待され、その結果として、高速道路サグ部における渋滞緩和を図る。

サグの縦断勾配に関しては、伏屋ら⁵⁾の研究を参考に、図-3のような緩サグ (-0.5%の下りの後に+1.5%の上り) と急サグ (-0.5%の下りの後に+3.0%の上り) を作成した。

実験時には、実験参加者が速度計を見て速度調整しないようにするために、速度計は動かないように設定した。そこで、左側の走行車線に 0km/h から 80km/h まで加速し、サグ底の 300m 手前に設けたジャンクションで実験環境から消えていく速度調整車両を走らせた。速度調整車両の速度パターンは、20 代の一般男性（運転取得後年数 2 年 5 ヶ月、運転頻度月 1 回）が DS で運転した際に取得したデータを用いた（図-4 参照）。なお、実験参加者に対しては、右側の追越車線を走行するように教示した。

3. 実験条件と実験参加者

(1) 実験条件

本実験の前に練習走行として、1) JC-08 モードで走行する車両を追従するシナリオ、2) 本実験の際に左側車線を走行する速度調整車両がジャンクションから抜けていくシナリオ、をそれぞれ一度ずつ走行してもらうことで DS 環境ならびに運転操作に慣れてもらった。

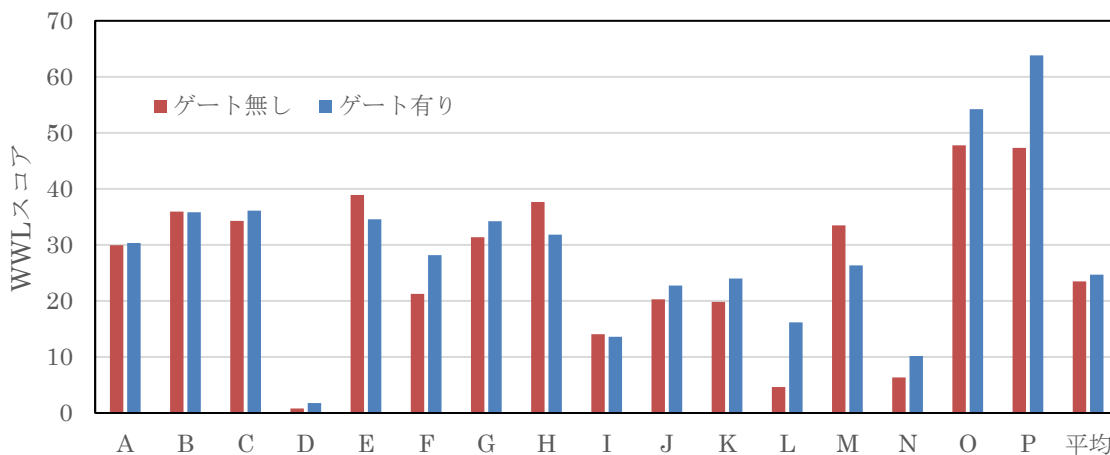


図-5 NASA-TLXのWWLスコア

表-1 実験参加者属性

ID	年齢	性別	免許取得年数	運転頻度
A	19	男性	0年6ヶ月	2~3ヶ月に1回
B	20	男性	2年2ヶ月	ほぼ毎日
C	22	男性	2年1ヶ月	2~3ヶ月に1回
D	23	男性	4年7ヶ月	週に1~2回
E	21	女性	3年2ヶ月	月に1回
F	23	男性	3年8ヶ月	週に1~2回
G	19	男性	0年4ヶ月	ほぼ毎日
H	22	男性	3年4ヶ月	ほぼ毎日
I	20	女性	2年1ヶ月	月に1回
J	20	女性	1年7ヶ月	月に1回
K	22	男性	1年4ヶ月	週に3~4回
L	22	男性	3年10ヶ月	月に1回
N	21	男性	3年2ヶ月	月に1回
M	21	男性	2年5ヶ月	2~3ヶ月に1回
O	22	男性	4年9ヶ月	ほぼ毎日
P	42	女性	23年10ヶ月	ほぼ毎日

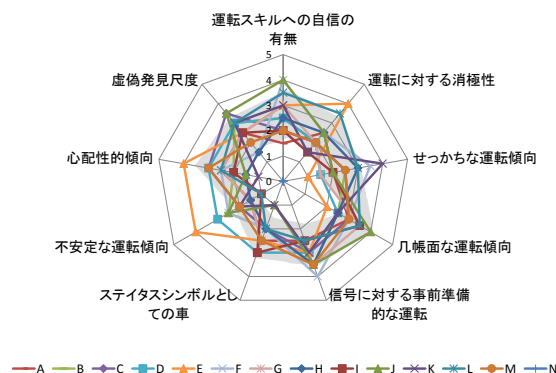


図-6 DSQ得点

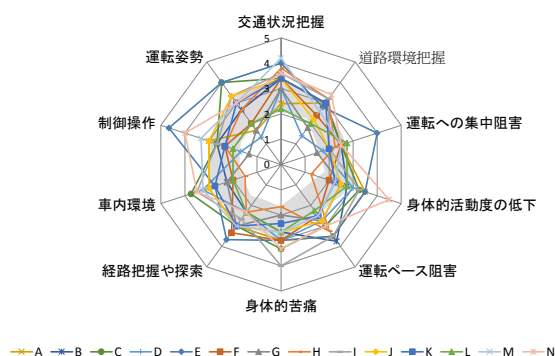


図-7 WSQ得点

本実験では、各実験参加者が緩サグ、急サグにおいて「ゲートなし」、 「ゲートあり」の二つの条件でそれぞれを1回ずつ走行した。走行実験の順序は、順序効果を考慮し各実験参加者でランダムとした。また、精神的負荷を測るため NASA-TLX⁹⁾を用いたアンケートを各走行後に実施した。

(2) 実験参加者

本実験の実験参加者は、10代後半から40代前半の一般ドライバ16名（男性12名、女性4名）であった。表-1に実験参加者の属性をまとめる。また、ゲート無し、ゲート有りそれぞれの場合における NASA-TLX WWLスコアを図-5に示す。16名中14名は、ゲートの有無による負担の大幅増は認められなかった。これは、ゲートの設置がほとんどのドライバに対して負担増とはならないことを示唆する結果といえよう。ただし、ゲートあり時に負担を強く感じている2名の実験参加者（O、

P）は、ゲート無し時の負担も強い。これは、DSの走行そのものに対して負担を感じているものと考えて、これ以降は分析の対象外とした。すなわち、以降は14名分（男性11名、女性3名）のデータで分析したものとなっている点に注意されたい。

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）^{7), 8), 9)}の質問に回答してもらった。図-6、図-7に14名の実験参加者のDSQおよびWSQの各項目の得点を示す。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±1SD の範囲を示す。これらの結果から、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、これらは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。

(3) 教示内容

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。また、走行ごとに以下のような教示を毎回行った。

- ・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、右側車線を走行して下さい。
- ・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。
- ・隣の車線で走行する車での速度は80km/h程度です。
- ・おおよそ80km/hで走行して下さい。
- ・隣の車両と同時に走行を始めて下さい。

4. 結果・考察

(1) ゲートの設置による速度の変化

本章における解析対象区間は、錯視ゲート群が設置された区間（以下「ゲート区間」と記す）とした。

緩サグ、急サグそれぞれにおいて、x軸にゲートを設置しなかった場合のゲート区間の平均速度、y軸にゲートを設置した場合の平均速度をプロットしたものを図-8, 9に示す。

緩サグでは、ゲートを設置しない場合に60~80km/hで走行した実験参加者は、ゲートを設置した場合において平均速度が増加している。また、ゲートを設置しない場合に80km/hを超える速度で運転した実験参加者の一部は、ゲート設置時に速度が低下するという結果になっているが、これは上記の教示に従って、速度を80km/hに近づけるように操作していたのではないかと推察される。一方の急サグでは、錯視ゲートの有無による大きな差異はみられない。

つづいて、図-8, 9のデータを箱ひげ図にしたものを図-10 (a), (b)に示す。緩サグの平均速度はゲートを設置しなかった走行と比較して5.2%増加 ($p=0.021$) した。一方の急サグの平均速度は2.9%増加したが、統計的に有意な差は見られなかった。また、緩サグに関しては、サグ上り部における速度のばらつきが若干抑えられていることがわかる。

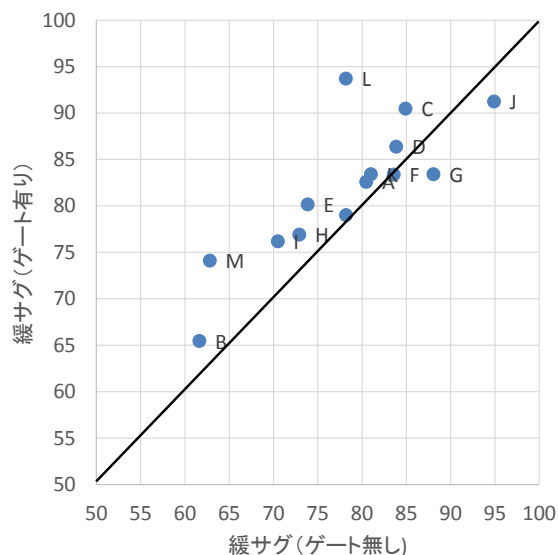


図-8 緩サグにおけるゲート区間の平均速度

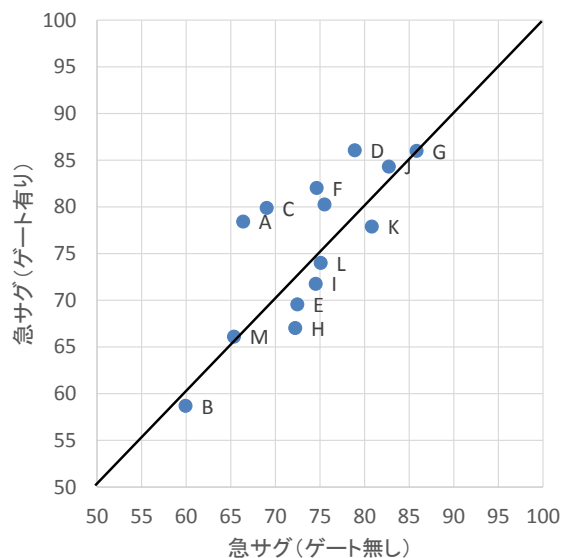
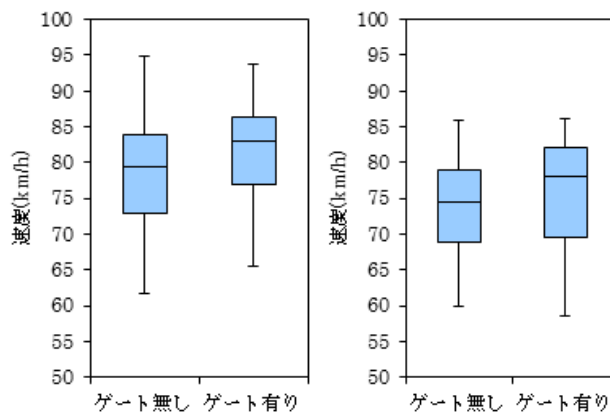


図-9 急サグにおけるゲート区間の平均速度



(a) 緩サグの場合 (b) 急サグの場合

図-10 ゲート区間における平均速度 (箱ひげ図)

表-2 最低速度の平均とその位置

	コース概要	最低速度の平均 (km/h)	最低速度となる位置の平均 (m)
緩サグ	ゲート無し	75.1	1961.4
	ゲート有り	78.3	1873.6
急サグ	ゲート無し	69.3	1910.2
	ゲート有り	71.4	1752.8

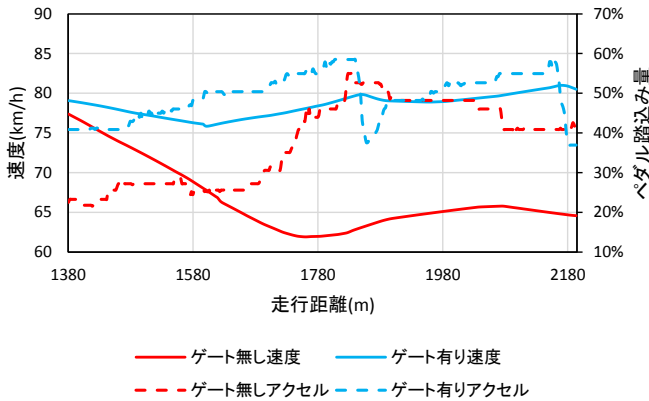


図-11 実験参加者 A の急サグにおける速度とアクセル踏み込み量の変化

(2) ゲートの設置による最低速度と位置の変化

ゲートの有無による最低速度の平均値とその位置を表-2 に示す。ゲート区間における最低速度の平均位置が、緩サグで 87.9m、急サグで 157.4m 手前となっている。また、最低速度は、緩サグで 3.3km/h 増加 ($p=0.093$)、急サグで 2.2km/h 増加 ($p=0.251$) した。

以上の結果より、錯視ゲートを設置することで、サグ部の上りにおいて、早期の速度回復効果が見込めることを示唆している。

つぎに、具体的な改善例を用いて考察する。実験参加者 A の急サグにおけるゲート区間の速度及びアクセル踏み込み量を図-11 に示す。この図よりゲートが無い場合と比べて、ゲートがある場合に早期の速度回復を行っており、錯視ゲート群の設置がサグ部における速度低下の抑制に繋がることがわかる。

(3) アクセル踏み込み量の変化

横軸にゲートを設置しなかった場合、縦軸にゲートを設置した場合のアクセル踏み込み量をプロットした散布図を図-12 に示す。錯視ゲートの設置によって、ゲート区間におけるアクセルの踏み込み量がゲートの設置により増加している。また、全体としては、緩サグで 9.8% ($p=0.0216$)、急サグで 11.3% ($p=0.0036$) 増加していた。

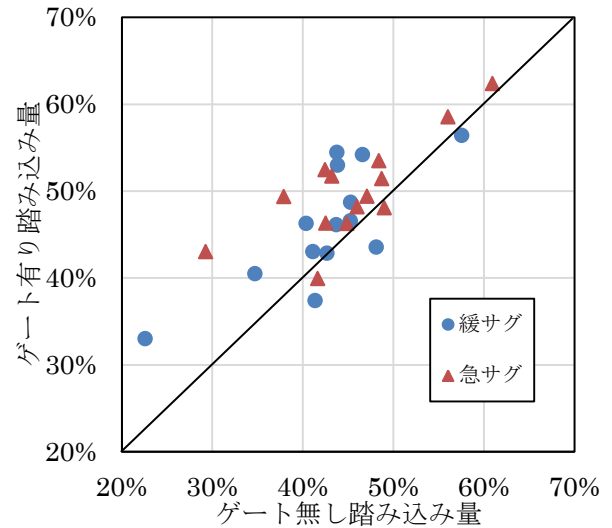


図-12 アクセル踏み込み量の変化

表-3 急サグにおいて平均速度が下がった実験参加者一覧

被験者 ID	ゲート無し	ゲート有り	速度[km/h]
B	59.9	58.7	-1.2
E	72.4	69.6	-2.9
H	72.2	67.0	-5.2
I	74.5	71.8	-2.7
K	80.8	77.9	-2.9
L	75.1	74.0	-1.1

以上より、緩サグ、急サグともにアクセル踏み込み量が増加する、すなわち加速行動が促されることがわかる。

(4) 急サグの速度における考察

急サグに錯視ゲートを設置した際に、ゲート区間の平均速度が下がった実験参加者の一覧を表-3 に示す。

ここでは 2km/h 以上減速した実験参加者 (E, H, I, K) を対象に考察する。ゲートが無い場合とある場合について、この 4 名の実験参加者の速度パターンを図-13、図-14 に示す。なお、図において網掛けの範囲は、ゲート区間を表している。

ゲートがある場合の速度パターンを参照すると、速度の下がった実験参加者は、ゲート区間に入る前に減速していることがわかる。また、4 名中 3 名 (E, H, K) からは、実験後のアンケートにおいて「ゲートに圧迫感を感じる」という回答があった。しかしながら、速度が上がっている実験参加者からは圧迫感を感じたという旨の回答はなかった。したがって、ゲート設置時に速度が低下した 4 名は、ゲート区間進入時に強い圧迫感を感じて、その結果としてアクセルを緩めて減速したのではないかと推察される。

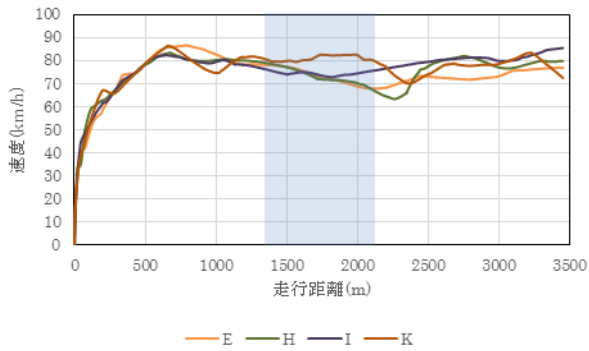


図-13 急サグにおける速度変化（ゲート無し）

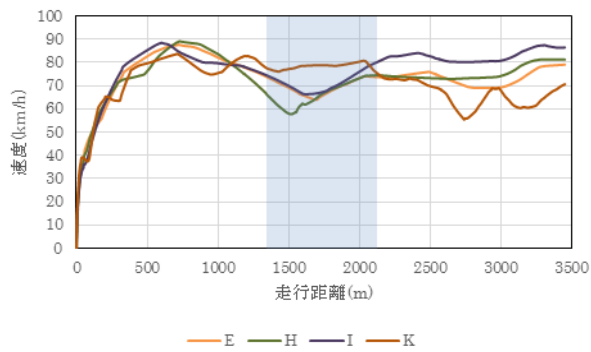


図-14 急サグにおける速度変化（ゲートあり）

5. まとめ

本研究では、高速道路で渋滞が多発する場所であるサグ部での渋滞緩和策の一環として、ゲートの設置間隔を次第に広げることでドライバに減速感を与える錯視ゲートを提案した。この対策はドライバの距離知覚に対する錯覚に着目したもので、減速感を感じることで加速を促し、その結果としてサグ上り部での速度低下の抑制を図るものである。

ドライビングシミュレータ実験の結果より、サグ部の上りに錯視ゲート群を設置することで、1) 早めに速度回復を行うペダル操作が促される、2) 最低速度の位置がより手前になる、3) サグ部の走行速度低下が抑制される、といった結果が得られた。

今後の課題としては、実路での実験や、より精緻なデータ解析や考察を行うことなどが挙げられる。具体的には、錯視を与えるゲートのサイズや設置間隔の最

適化や、複数台の車両が走行する環境における錯視の効果の検証などが挙げられる。

謝辞：本研究を行うに際し、慶應義塾大学川嶋弘尚名誉教授、慶應義塾大学大門樹教授、慶應義塾女子高等学校国府方久史教諭、東京理科大学葛西誠助教、株式会社フォーラムエイト松田克己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。

参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：「サグ部における渋滞対策の検討」
http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/1top/topics/2009_12_sag/sag_taisaku.pdf[2014年5月1日アクセス]
- 2) 大口敬：未来のクルマの道路交通社会，交通工学，Vol.50，No.2，pp.1-2，2015.
- 3) 岡田若奈，田子和利，山本浩司：ベクション・走光性を応用した速度抑制・回復に関する研究，照明学会全国大会講演論文集，Vol. 45，pp.9-20，2012.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.

(2015.X.XX 受付)

PREVENTION EFFECT OF VELOCITY DETERIORATION BY USING OPTICAL ILLUSION GATES AT SAG SECTION

Soshiro UEKISHuichi MATSUMOTO, Toshihiro HIRAOKA and Hiroki SAKURAI