

早稲田大学審査学位論文
博士（人間科学）

オプティカルフロー刺激が
ドライバの速度評価と速度選択に与える影響

Effect of Optical Flow Stimulus
on a Driver's Speed Estimation and Selection

2020年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

伊藤 輔

ITO, Tasuku

研究指導担当教員： 古山 宣洋 教授

目次

1. 序論	1
1.1. 日本国内における交通事故数推移	2
1.2. 人間の移動速度高速化の歴史	3
1.3. 客観的に走行速度を把握可能なスピードメータの必要性	5
1.4. ドライバの速度評価を形成するオプティカルフロー	6
1.5. 自動車運転中におけるドライバの速度評価及び速度選択	8
1.6. 交通流の乱れの要因となる速度超過と速度低下	11
1.7. 従来 of 速度制御に係る先行研究	12
1.8. 本論文における新たな速度制御刺激の提案	13
2. 研究目的と研究の流れ	15
2.1. 本論文における目的	16
2.2. 研究の流れ	17
3. OFS がドライバの速度評価に与える影響とその適切な移動速度と呈示位置の検討【実験 1】	19
3.1. 第 3 章の概要	20
3.2. 目的	20
3.3. 試行間での影響が及ばない適切なインターバルについての検討（予備実験）	20
3.3.1. 運動残効を測定するための予備実験方法	21
3.3.2. 予備実験参加者の属性	22
3.3.3. 運動残効消失時間の分析方法	22
3.3.4. 予備実験に用いたドライバ視点映像	23
3.3.5. ドライバ視点映像注視時の運動残効消失時間についての分析	24
3.3.6. 予備実験結果から決定された試行間インターバル	25
3.4. 実験 1 の方法	26
3.4.1. 実験 1 に使用した OFS 及びドライバ視点映像の仕様	26
3.4.2. 実験環境及び実験装置	28
3.4.3. ビジュアルアナログスケールによる速度評価の評価	29
3.4.4. 速度評価の実施手順	29
3.4.5. 実験参加者の属性	31
3.5. 実験 1 の結果	32
3.5.1. 実験参加者の速度評価が適切であったかについての分析	32
3.5.2. OFS 移動速度条件及び呈示位置条件による評価速度の違い	32
3.6. 実験 1 の考察	35
3.7. 第 3 章のまとめ	36
4. OFS がドライバの速度選択に与える効果の検討【実験 2】	37
4.1. 第 4 章の概要	38
4.2. 目的	38
4.3. 実験 2 の方法	38

4.3.1. 実験 2 に使用した OFS 及びドライビングシミュレータの仕様	38
4.3.2. 実験 2 における実験環境及び実験装置	39
4.3.3. DS 走行実験の実施手順	40
4.3.4. 実験参加者の属性	43
4.4. 実験 2 の結果	43
4.4.1. 実験参加者ごとの DS 走行速度の時間的推移	43
4.4.2. 実験参加者それぞれの DS 走行速度の推移	43
4.4.3. DS 平均走行速度の定点観察	44
4.4.4. 実験参加者ごとの DS 走行速度の回帰線傾きに着目した分析	47
4.5. 実験 2 の考察	49
4.6. 第 4 章のまとめ	51
5. OFS がドライバの速度評価に与える時系列的な影響と OFS 呈示時間の検討【実験 3】	52
5.1. 第 5 章の概要	53
5.2. 目的	53
5.3. 実験 3 の方法	53
5.3.1. 実験 3 に使用した OFS 及び高速道路ドライバ視点映像の仕様	53
5.3.2. 実験環境及び実験装置	55
5.3.3. ジョイスティックによる時系列的速度評価の評価方法	56
5.3.4. 速度評価時系列的評価の実験手順	57
5.3.5. 実験参加者の属性	59
5.4. 実験 3 の結果	60
5.4.1. 統制条件時における平均評価速度の時系列的变化	60
5.4.2. OFS 呈示開始から 5 秒間の評価速度に着目した分析	60
5.4.3. OFS 消失後 30 秒間の評価速度に着目した分析	61
5.4.4. OFS 呈示時間条件ごとの評価速度に着目した分析	62
5.4.5. 平均評価速度の定点比較に着目した分析	65
5.5. 実験 3 の考察	66
5.6. 第 5 章のまとめ	68
6. 総合考察	69
6.1. 新方策の OFS はドライバにどのような効果をもたらすのか	70
6.1.1. OFS が速度評価に与える影響と適切な OFS 移動速度及び呈示位置	70
6.1.2. OFS が速度選択に与える影響	71
6.1.3. OFS による速度評価の時系列的变化に着目した検討	72
6.1.4. 従来のオプティカルフローを用いた研究と OFS の効果の比較	74
6.2. ドライバの速度選択に係る個人差にはどのような要素があるか	74
6.3. OFS は事故防止/被害軽減等の貢献に繋がるか	79
6.3.1. 速度抑制の観点から OFS の効果について検討	79
6.3.2. 速度回復の観点から OFS の効果について検討	80
6.4. 本論文から得られた OFS の効果よりどのような応用例が考えられるか	81

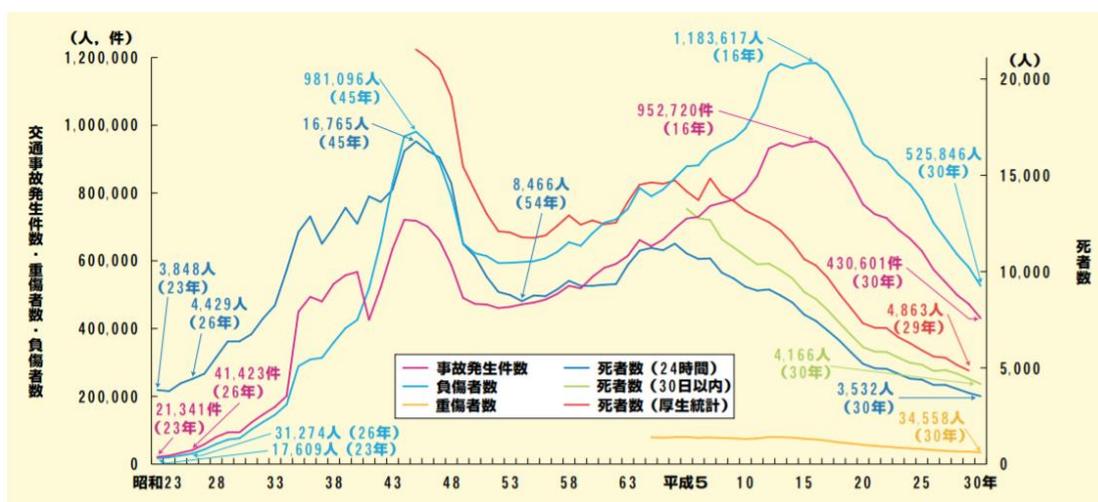
7. 結論	83
7.1. 本論文から得られた結論	84
7.2. おわりに	85
文献	87
謝辞	91

1. 序論

1.1. 日本国内における交通事故数推移

自動車は、運転に係る専門的な知識を持ったドライバーが必要不可欠である。しかし、ドライバーのヒューマンエラー等が起こると事故につながる可能性があることが問題になってきた。また、ドライバーのヒューマンエラーに加え、道路を走行する上でのルールや道路構造自体、及びドライバーの安全態度に問題がある場合には交通事故に繋がる。その変遷が日本の交通事故に関する件数の推移に表れている。図 1.1 に日本における、交通事故に関する件数の推移を示す(内閣府, 2019)。

道路交通事故による交通事故発生件数、死者数及び負傷者数は、統計を取り始めた昭和 23 年より、自動車の保有台数の増加に伴って増加してきた。その増加は著しく、昭和 23 年の死者数は 3,848 人であったが、その約 20 年後には死者数が 16,765 人となり、第一次交通戦争といわれるほど社会問題になった。この昭和 45 年までの死者数の著しい増加について、交通安全白書では、「車社会化の急速な進展に対して、道路整備、信号機、道路標識等の交通安全施設が不足していたことはもとより、車両の安全性を確保するための技術が未発達であったことや、交通社会の変化に対する人々の意識が遅れていたことなど、社会の体制が十分に整っていなかったことが要因であったと考えることができる」と述べられている(内閣府, 2019)。この問題に対し、日本では昭和 45 年に交通安全対策基本法が制定され、交通安全対策が進められた。その結果、一時的に死亡者数はじめ、交通事故発生件数等も減少してきた。しかし、自動車の保有台数が年々増加していく流れに沿って、昭和 55 年に死者数がまた増加に転じ、昭和 63 年に再度死者数が 1 万人を超え第二次交通戦争と呼ばれるようになった。その後は、車両の安全性の向上、運転支援システムの開発、警察による取り締まり等により、死者数は減少の一途をたどり、平成 30 年には死者数が 3,532 人となった。



- 注 1 警察庁資料による。
 2 「死者数(24時間)」とは、交通事故によって、発生から24時間以内に死亡した者をいう。
 3 「死者数(30日以内)」とは、交通事故によって、発生から30日以内(交通事故発生日を初日とする。)に死亡した者をいう。
 4 「死者数(厚生統計)」は、警察庁が厚生労働省統計資料「人口動態統計」に基づき作成したものであり、当該年に死亡した者のうち原死因が交通事故によるもの(事故発生後1年を超えて死亡した者及び後遺症により死亡した者を除く。)をいう。
 なお、平成6年以前は、自動車事故とされた者を、平成7年以降は、陸上の交通事故とされた者から道路上の交通事故ではないと判断される者を除いた数を計上している。
 5 昭和41年以降の交通事故発生件数には、物損事故を含まない。
 6 死者数(24時間)、負傷者数及び交通事故発生件数は、昭和46年以前は、沖縄県を含まない。

図 1.1 道路交通事故による交通事故発生件数，死者数及び負傷者数
 (出典：令和元年度交通安全白書(内閣府))

1.2. 人間の移動速度高速化の歴史

人間の移動手段には、様々なものが存在するが、歴史的にみるとその大半は歩行に頼ってきた。人間の歩行速度は年齢別で若干異なるが、平均で約 4 km/h から 5 km/h の速度であることが示されている(山崎昌廣 & 佐藤陽彦, 1990)。歩行という移動手段は、移動の自由度が高く、自らが行きたい方向・速度・ルートを容易に選択できるため、非常に優れていることは明らかである。しかしながら、人間の歩行には体力消耗が伴うため、一日に歩行可能な距離や時間が限られている。そのため、移動手段について長年にわたって研究開発し、より楽に・速く・遠くに移動可能な手段を構築してきた。まず、人の力に依存しない移動手段として、馬や牛などの動物を動力源とした車等を利用するようになった。例えば馬車は、動物が動力源の為、人間の体力消耗という課題はクリアできたが、新たな課題が出てきた。馬も人間と同じ動物であるため、1日に移動可能な距離や時間が限られている。また、馬車は、馬に手綱等で指示を出し移動するが、その指示を間違えたり、馬が意図しない行動に出た場合に、周囲の歩

行者や乗車していた者が怪我をすることがあった。人間の歴史を振り返ると、交通事故は乗馬、または馬車が台頭してきた時から存在していたのかもしれない。

文明開化以降、人間は新たな動力源を手に入れ、様々な移動手段を構築してきた。表 1.1 に、輸送システムのスピードの歴史的発展を示す(Reason, 1974)。

表 1.1 輸送システムのスピードの歴史的発展

年	輸送形態	速度(km/h)	
BC1600	戦車	最高	32
1784	最初の英国郵便馬車	平均	16
1825	最初の蒸気機関車	最高	21
1890	その後の蒸気機関車	最高	161
1931	陸上のスピード記録(ブルーバード車：サー・マルカム・キャンプベル)	最高	396
1938	陸上のスピード記録(ネーピアレーイルトン車：ジョン・コップ)	最高	563
1938	ピストン航空機	最高	644
1952	定期旅客線ユナイテッド・ステーツ号 ニューヨーク・ルアーブル間	平均	66
1958	ジェット戦闘機	最高	2092
1961	ボストーク I (ガガーリン)	軌道飛行	28,254
1967	ロケット機(W・ナイト少佐)	最高	7,295
1970	戦闘爆撃機	最高	2,333
1970	旅客機(コンコルド)	最高	2,124

(出典：スピードと運転の科学 マン・マシン・システムの心理学を基に作成)

表 1.1 を見ると歴史を追うごとに乗り物の移動速度は速くなっていることが見て取れる。例えば、動力源を動物に頼っていたイギリス郵便馬車は平均 16 km/h であったのに対し、蒸気機関車は約 21 km/h であった。人間の移動手段として革命的であったのは、蒸気機関の発明である。蒸気機関が発明された当初(1825 年)は、最高速度 21km/h であったが、研究開発が進み、1890 年には最高速度 161km/h までに発展した。現代では、地上を走行する移動手段で 300 km/h 以上、上空を飛行する移動手段で 1000 km/h 以上の速度で移動可能であり、人間の移動手段の速度は飛躍的に発展してきたことが分かる。

現在では、免許制度及び年齢制限などの制約がなく運転可能な自転車や、免許を取

得することで運転可能な自動車，電車やバス及びタクシーなどの公共交通機関で気軽に移動可能である。また，遠距離の移動に関しては，新幹線や飛行機などの高速移動手段もあり，世界中で交通社会が発達している。元来，人間は平均で約 4 km/h から 5 km/h の速度で歩行していたが，いまや約 200 倍もの速度で移動可能な手段を手に入れたのである。

1.3. 客観的に走行速度を把握可能なスピードメータの必要性

スピードメータは，道路運送車両の保安基準（速度計等）（国土交通省，2016）に定められているように，自動車には必ず設置しなければならない。また，スピードメータは走行中においてもドライバが容易に確認できる位置に設けなければならない。さらに，スピードメータが示す走行速度と実際の走行速度の誤差については，法律で細かく決められており，ドライバが正確な走行速度を把握可能である。人間（ドライバ）が感じる走行速度の評価（以下，速度評価。なお，その評価値は評価速度とする）については後述するが，人間の速度評価は非常に曖昧なものであるとともに，時系列変化するものである。そのため，ドライバは常に客観的な指標としてスピードメータを確認し，走行している際の速度を走行している道路の法定速度と照らし合わせながら適切に走行しなければならない。

自動車メーカーは，どのような位置にスピードメータを設置し，どのような方法でドライバに呈示すればよいかを様々な視点から考慮し開発してきた。呈示方法に着目すると，図1.2のように，アナログ式で走行速度を呈示する方策が例として挙げられる。このスピードメータは，1km/h 単位で走行速度を把握することは難しいが，視線をスピードメータに向けるだけで，現在の走行速度が大体どの程度であるかを把握することが可能である。アナログ式スピードメータ以外では，デジタル式スピードメータが挙げられる。デジタル式スピードメータは，一見して 1km/h 単位で現在の走行速度を把握することが可能である。スピードメータの設置位置に着目すると，ドライバの正面にスピードメータを設置するケースや，車両中心付近（所謂，センターメータ）に設置するケースが代表的である。また，最近では，ヘッドアップディスプレイを設けて，少ない視線移動でスピードメータを確認することを可能としているケースも見られる。いずれにしても，スピードメータは，ドライバが運転する上で不可欠な装置で

あり、ドライバは常に走行速度について把握する必要がある。



図 1.2 アナログ式スピードメータ

1.4. ドライバの速度評価を形成するオプティカルフロー

一般的に、ドライバが高速道路上で 80 km/h 以上の高速走行を長時間行ってから一般道に下りて走行した場合には、視覚的には高速域の景色の流れに順応しているために客観的指標であるスピードメータを確認しないと走行速度が速くなってしまいう傾向が見られる。このような事象のように、ドライバは、一定速度で走行した時間や距離によって速度順応に変化が現れることが報告されている (Schmidt & Tiffin, 1969)。この実験から、一定速度で走った距離が長いほど、速度評価に大きな影響が発生することが示された。順応した速度評価のまま走行すると、ドライバが法定速度まで減速しているつもりでも、適正な速度まで減速できていないことが多い。そのため、速度超過によってブレーキ操作が間に合わずに先行車両に追突する事故や、インターチェンジ付近で十分に減速できずガードレールに激突するという事故が発生している。

速度評価による情報は、あらゆる運転行動、判断の根底に位置しているため、流動視野による効果は交通事故の大きな潜在になっている可能性が指摘されている (関戸達

弥 & 稲垣大, 1993). また, 実験の中では流動視野刺激を 3.5min 以上与えて映像を停止させると, 映像が奥行き方向へ流れるように見える現象がすべての実験参加者で確認されたことを示している. これは運動残効と呼ばれており順方向に向かって動く刺激を一定時間見続け刺激を停止させると反対方向に向かって動いているように見える現象である. ドライバは運動残効により, 速度誤認をすることが明らかになったことから, その速度誤認を予防する対策手法を考案し, 速度誤認の低減率について明らかにした研究も見受けられる(関戸達弥 & 稲垣大, 1998). その他にも, 運動残効に関する研究が多く行われている(田川, 2002; 山本健介, 内田和宏, 佐川雄二, 田中敏光, & 杉江昇, 2002).

自動車のドライバーには速度に関して 2 種類の情報が入ってくるが, その 1 つはドライバーの前面に配置されているスピードメータである(Reason, 1974). スピードメータには走行速度を数字で表示するデジタルメータと視覚的に捉えられ易いアナログメータがあり, 客観的且つ信頼性の高い計器であることから, ドライバは自動車の正確な走行速度を確認したいときはスピードメータの情報を取得している. もう 1 つはドライバーの主観的な速度評価である. 主観的な速度評価は, 様々な感覚器官から情報を得て判断をしている. その例として, 経験的な勘やエンジンの音, その時点で使用しているギア, アクセルストロークなどを挙げた上で, ドライバは何よりも自分の見ている外の景色の流れからスピードを判断しようとしている(Reason, 1974). 客観的ではなく主観的な速度評価から正確な速度を認知することは難しいが, 経験を積むことによっておおよその走行速度を把握することは可能と考えられる.

速度を知覚するための情報は多数あるが, 中でも, 運動感覚の中で唯一信頼に値する情報は, 視覚性運動感覚(visual kinesthesia)であると報告されている(Gibson, 1966). また, 運動感覚に影響を与えるものとして視覚性運動感覚の他に, 前庭性運動感覚(vestibular kinesthesia), 関節性運動感覚(articular kinesthesia), 及び皮膚性運動感覚(cutaneous kinesthesia)が存在すること示している. さらに, ドライバが自動車運転時に利用される外界情報のほとんどは視覚情報であることが報告されている(Hartman, 1970; Sivak, 1996). 以上のように, 運動感覚には様々なものが存在するが, 視覚性運動感覚が速度評価に大きな影響を与えていると考えられる.

オプティカルフローは, 人間が見たものが網膜上に映る際に生じる動きの流れのことであり, 視界の中にあるすべての物体に存在するものである. また, 人間自身が動いている, もしくは人間が移動物体の中にいる場合, 外界の景色にはすべてオプティ

カルフローが発生している。例としてドライバには、前方の風景が運転手に向かって動いてくるように見えている。ドライバは道路風景の像の流れであるオプティカルフローを手掛かりに速度評価及び運転を行っていることが報告されている(赤松幹之, 2007; Lee, 1980)。また、ドライバは路面から知覚するオプティカルフローによって速度の大きさ知覚できることも報告されている(Owen & Warren, 1987)。さらに、ドライバの視野の一部を隠しオプティカルフローを制限することにより、操舵等の運転行動を向上させる研究(岸田英里 et al., 2008)や、ドライビングシミュレータ (Driving Simulator; 以下, DS) の速度感を向上させるための視野角やポールの設置感覚や高さについての研究も行われている(栗谷川幸代 & 景山一郎, 2009)。

近年では、ドライバの視覚に限定されることなく、様々な分野でオプティカルフローに関する研究が行われている。例えば、移動体検知などの予防安全技術への応用(二宮芳樹 & 太田充彦, 1997)や、人間の歩行誘導効果に関する研究(渡邊紀文, 森文彦, & 大森隆司, 2013)や、人間の歩行における速度感覚増強に関する研究(岡野裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希, 野嶋琢也, & 梶本裕之, 2008)が挙げられる。

1.5. 自動車運転中におけるドライバの速度評価及び速度選択

自動車のドライバは、法定速度を守りながら周囲の交通状況に合わせて適切な速度で走行することが求められる。日本国内における法定最高速度違反が原因とされる交通事故は、交通事故全体の0.1%と全体に占める割合は少ないが、一般的には事故発生時の衝突速度が速いと、より重傷化するケースが多いため、法定速度を超過しての走行は危険である(警察庁, 2018)。特に、高速道路における法定速度を超過しての走行は、先行車の急な車線変更や先行者のブレーキ制動等への対応が容易ではなくなり、事故に繋がる可能性が高い。実際に、高速道路における法令違反別交通事故件数を見ると、法定最高速度違反が原因とされる交通事故の構成率は0.8%であり、交通事故全体の構成率(0.1%)と比べると高い(警察庁, 2018)。そのため、法定最高速度違反を抑止するための取り締まりや看板等による注意喚起など、様々な対策がなされているのが現状である。その一方で、適切な走行速度より遅い場合には、渋滞の原因になる可能性がある。その一例として、高速道路等の上り勾配においては、ドライバの意図しない速度減速により走行速度の低下に繋がり、その結果として自然渋滞が発生するとい

う問題が発生しており、その対策が検討されている(国土交通省, 2013).

運動感覚に影響を与えるものとして視覚性運動感覚, 前庭性運動感覚, 関節性運動感覚, 皮膚性運動感覚が報告されている(Gibson, 1966). 実際の車の運転について, これらの要素について考えていく. 前庭性運動感覚は, 主に内耳によって感じられる車体の加速及び減速による加速度や左右に曲がる際の傾きなどによって運動を知覚している. 一般的なドライビングシミュレータでの走行時に, 酔いが発生するのは前庭性運動感覚で取得されるはずの情報が取得されていないからではないかと考える. 関節性運動感覚は, ハンドル操作やアクセルペダル, ブレーキペダルの操作や他の運転に必要な動作によって発生する. 速度評価については, 主にアクセルペダルやブレーキペダルの操作が挙げられる. アクセルペダルは, 無段階で角度を変えられることから, 踏力を調節し運転することが求められる. 同様に, ブレーキペダルの操作に関しても, 無段階調整のため, 細かく踏力を調節することが求められる. また, ブレーキペダルに関しては緊急時, 踏力をしっかりと出せるように人間工学的に計算され設計されている. このように, ドライバが望む速度まで加速したいときは, 身体の関節の位置がこのようになる時という学習がされ, 運動行動に反映されていると考えられる. また, 車両の種類によって, アクセルペダルの硬さや踏み込みに対するアクセル開度も異なるため, ドライバは車両に合わせ順応していると考えられる. 普段運転している自家用車以外の車両を運転すると, 運転操作がスムーズでなくなるのはこのためであろう. さらに, 皮膚性運動感覚を通じて, 運転中の速度を感じるケースとして, 自動車のパワーウィンドウを下げた際が考えられ, 自動車が走行を始めると必然的に空気の流れが発生することで速度感を感じるようになる. この他にも, エンジン音やタイヤと地面の接地による走行音, 走行による風切音なども速度評価に大きな影響を与えている. しかしながら, ドライバは以上の運動感覚から主観的速度を正確に捉えているだろうか. ドライバには走行速度を過小評価する特性が見られることが報告されている(Tada, Ohyama, Kitamura, & Hatayama, 1970). 実験の中で, 60km/h で走行している際に, 課題速度として 30km/h で走行するように実験参加者に求めた結果, 約 10km/h 超過した速度で走行していることが明らかになった. これは, 実験参加者の主観的な速度評価が正確ではなく, 過小評価されることが示された結果である. また, 自動車研究以外でも, 移動体(白い点)等を実験参加者の視野内に呈示する実験において移動速度の過小/過大評価が起り得ることが報告されており, 周辺視野にある移動体を呈示しないと, 実験参加者が感じる速度が過小評価される一方で, 実験参加者

の中心視野の移動体を呈示しないと速度が過大評価されることが報告されている (Preto, Ogier, Bühlhoff, & Bresciani, 2009; 瀬川かおり, 氏家弘裕, 岡嶋克典, & 斎田真也, 2003). その他にも, 速度評価について車種による違いを検証した研究等, 様々な報告がされている (Davies, 2009; Matthews & Cousins, 1980).

次に, 前述の運動感覚を脳で情報がどのように処理して, それが運転行動に反映されているのかについて述べる. ドライバが運転席から見える景色や運転に必要な情報は, 受容器にインプットされる (Reason, 1974). インプットされた情報は短期記憶器に記憶され, インプット選択器及び計算器を経由し, アウトプット選択器に移行する. その後, 選択された行動が筋肉などの効果器にアウトプットされ, スピード制御や方向制御が行われる. そして, 効果器から受容器への内部フィードバックループと, 効果器からアウトプットされた行動によって変化した車両の動きが外界情報を変化させ, 更にその情報が受容器に再度インプットされる外部フィードバックループが存在する. 例えば, ドライバによって加速するというアウトプットが選択され, アクセルを踏み込み加速をした際の外界情報が受容器にインプットされて脳で情報が処理されたとき, 現在の走行速度が速いと計算されれば, 再び減速するアウトプットが実施される. この一連の流れが外部フィードバックループである.

このように, ドライバは判断や選択された行動を常時アウトプットしていくことによって速度や車体の方向を変化させている. 実際の運転では, このような外界の情報を知覚するフィードバックループの他にも, ドライバには, 認知—判断—操作のフィードバックループもあると報告されている (Rockwell, 1972). このフィードバックループでは, ハザード知覚やリスク知覚もあり, 最終的な速度判断が行われている. なお, ハザードとは, 事故の結果に寄与する可能性がある対象や事象のことを示している (Adams, 1988).

ドライバ (実験参加者) が, 走行している車両の走行速度を速度評価する実験が多数行われている. 例えば, 実験参加者を実車の助手席に乗せて視覚情報や聴覚情報を遮断し速度評価を実験参加者が行う実験が行われた (Evans, 1970). その結果, 視覚情報と聴覚情報を遮断すると速度が過小評価される傾向があることが明らかになった. また, 走行速度を 0 mph から 40 mph に合わせる課題を実験参加者に与え, 課題の前に 70 mph で一定時間走行した場合となにもしなかった場合とで課題の結果が変化するか実験をした結果, 課題の前に 70 mph で一定時間走行した場合は, 40 mph よりも 10 mph 程度速い速度に合わせることを明らかにした (Schmidt & Tiffin, 1969). この結果

より、一定時間走行した際に起こる速度順応によって、ドライバの感覚知覚の情報から形成されている速度が不正確になることが分かる。また、周辺視領域の情報が速度評価に及ぶ影響には経験の長さによって個人差が見られることが報告されている (Carter & Laya, 1998)。これらの研究からも、人間の感覚知覚の情報から形成されている速度評価は、実際の走行速度とは異なることがわかる。さらに、走行している道路の形状や景観によっても、ドライバの速度評価が異なることが報告されている (橋本成仁, 谷口守, 水嶋晋作, & 吉城秀治, 2010; 中島久智 & 岩崎征人, 2005; 濁澤雅, 上岡高之, 片倉正彦, 大口敬, & 鹿田茂則, 2003)。

1.6. 交通流の乱れの要因となる速度超過と速度低下

ドライバが法定速度を超過して運転する、または状況に応じた適切な走行速度を逸して運転するのは、大別して「意識的な要因」と「無意識的な要因」があると考えられる。意図的な要因を具体的に示すと、法定速度を守る意思がないケースが挙げられる。これは、リスク回避行動のモデル(蓮花一己, 2000)に速度選択を当てはめると、ドライバのハザード知覚やリスク知覚が、選択する走行速度に影響を与えることが分かる。そのため、ドライバが適切なリスク評価をせずに速度選択を行わない場合には、速度超過に至る可能性が考えられる。これらの対策には、安全態度に関する教育や警察による取り締まりなどによる解決が求められる。

その一方で、無意識的な要因には、2つのケースが考えられる。1つは、ドライバが走行している道路の法定速度をそもそも知らないケースである。例えば、片側2車線ある幹線道路の法定速度が60km/hであると思いこんで走行していたところ、実は法定速度が50km/hであったというケースが考えられる。これは、法定速度を音声や表示によって知らせる対策が有効である。最近の車では、法定速度標識や一時停止標識等をカメラや地図情報等で読み取り、ドライバに注意喚起する機能が付加されている。2つ目のケースは、ドライバが感じる走行速度と実際の走行速度とが一致していないケースである。ドライバが感じる主観的な走行速度は「1.5. 自動車運転中におけるドライバの速度評価及び速度選択」でも述べたように、非常に曖昧であることから、客観的な指標であるスピードメータなしで常に走行速度を把握しながら走行することは難しい。

走行速度には、速度超過の他にもう一つの側面がある。それは、速度低下という面である。速度低下に関しても、大別して「意識的な要因」と「無意識的な要因」が考えられる。意図的な要因を具体的に示すと、ハザード知覚の情報からリスク知覚を通して減速が必要とドライバ自らが判断し速度低下しているケースである。その一方で、無意識的な要因では、高速道路や高速域での走行による順応による速度低下、上り勾配による速度低下に気づかず走行しているケースが挙げられる。意図しない速度低下は、自然渋滞発生の原因になる可能性があり、最終的には追突事故に発展することも考えられる。なお、日本国内における渋滞による損失時間は、平成 16 年度で年間 36.9 億人時間（国民 1 人当たり年間約 30 時間）にのぼるといわれており、経済活動の阻害や交通事故の増加、沿道環境の悪化等がもたらされているとされる(国土交通省, 2006)。

以上のことから、運転中のドライバの速度選択には様々な過程が考えられるが、速度超過および速度低下に対しては対策を講じることが必要である。そこで、「意識的な要因」と「無意識的な要因」どちらにも対策としてアプローチ可能な速度制御方法を考えなければならない。

1.7. 従来の速度制御に係る先行研究

人工的なオプティカルフローを用いた実用例や研究例には、以下の事例が挙げられる。研究例として、交差点付近の路面に黄色の横線を指数関数的に設置することで、その設置された道路を走行した車両の走行速度を低下させる得ることが報告されている(Denton, 1980)。また、DS に模擬された車外風景に点滅柱状物体を設置した結果、点滅柱状物体による刺激の速度値に線形比例してドライバの速度評価が増減し得ることも報告されている(川島祐貴 et al., 2011)。さらに、実際の高速道路上を走行する自動車の速度制御を行うため、路面にドットパターンを塗装する方策や、サグ部（下り坂の後に上り坂がある道路）等における渋滞緩和対策の一環としてベクションを感じる視線誘導刺激（例：LED 発光パネル）をトンネル内や路肩に設置する方策が見受けられ、効果が得られている(韓亜由美, 2008; 韓亜由美, 池田博久, & 玉木真, 2009; 韓亜由美 et al., 2011; 韓亜由美 et al., 2012; NEXCO 東日本, 2013)。しかし、これらの研究例では、塗装や対策機器を施す場所が限定されることや、路面に塗装するための

費用や経年劣化によって塗装が薄くなってしまふことが課題となっている。

1.8. 本論文における新たな速度制御刺激の提案

本研究では、この課題を克服するために、人工的なオプティカルフロー刺激 (Optical Flow Stimulus; 以下, OFS) を自動車内に呈示することを提案したい。図 1.3 に OFS 作成の概要図を示す。近年の技術向上や機器のコスト低下によって、車内にオプティカルフロー等の刺激を呈示することが可能になってきた。オプティカルフローによってドライバの速度評価が変化し、その結果、自動車の走行速度を変化させることができれば、適切な走行速度での走行を促せる。即ち、法定最高速度違反による重大事故の低減や渋滞の緩和に寄与すると考えられる。したがって、OFS の効果の検討は、今後の OFS を用いた速度制御の実現のために極めて有意義である。また、OFS は、従来の速度制御刺激と比べて、よりドライバの視界の近接した部分に呈示することが可能である。さらに、OFS は車側に搭載されて呈示されることが前提であるため、ドライバの OFS の捉え方や影響の度合いにに応じて OFS の移動速度を変化させることも可能である。

そこで本研究では、ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示した場合の速度評価への影響とアクセルペダル操作などの速度調整行動への影響について検討した。

なお、本論文で検討する OFS は、まずはドライバが映像の中心に座って運転している際のドライバの速度評価や速度選択行動について検討を行うため、車両の動き (ヨー方向やロール方向) やドライバのアイポイントの変動については対応していない。また、ドライバが一般的にスピードを出しやすいのは直線路であり、また、速度が出すぎている場合にはカーブの手前の直線路で適切な速度まで減速することなどが求められており、まずは直線路に限定して検討を行う。

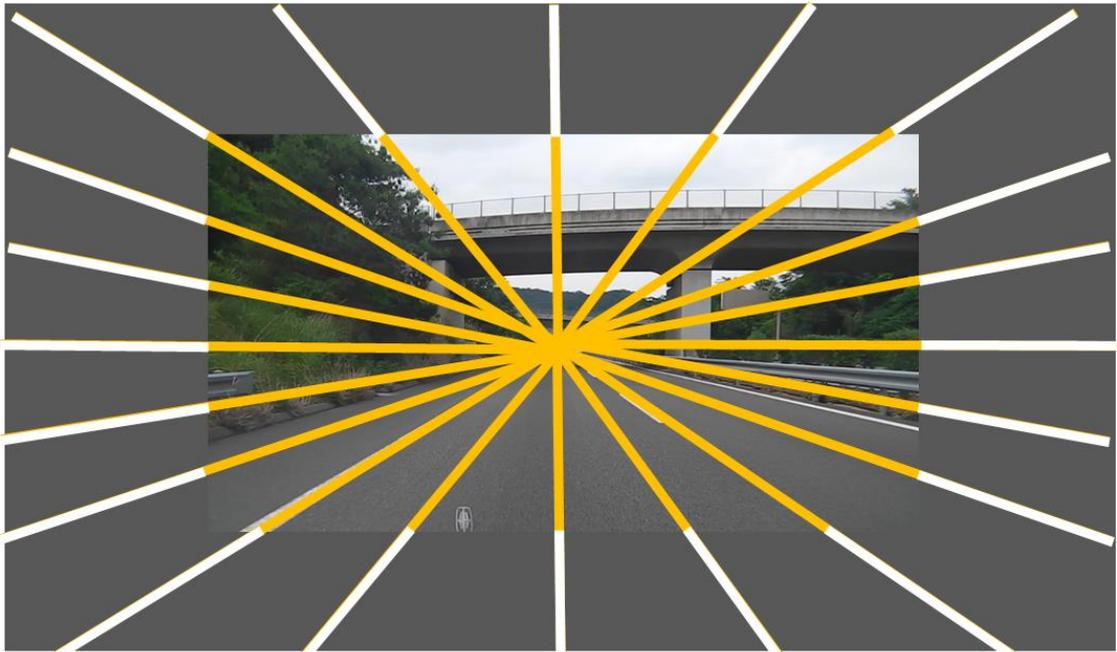


図 1.3 OFS 作成の概要図

2. 研究目的と研究の流れ

2.1. 本論文における目的

ドライバが道路を走行する際には、その道路状況に応じた適切な速度を選択しなければならない。しかし、ドライバの速度選択は、主にドライバの感覚器から得られた非常に曖昧な情報から生成された速度評価を頼りに行われている。この知見より、人工的なオプティカルフローを生成し、ドライバの適切な速度選択を促す対策が研究ベースでも応用（実路対策）ベースでも行われてきた。しかし、従来の方策では、景観の阻害や、対策を施した箇所ではしか効果が得られないという課題点がある。また、道路構造部に対策を施す方策であったため、その時その時の交通状況に応じた呈示や速度選択の個人差等に応じた呈示は難しい。

そこで、本論文ではこれまでの研究応用事例の課題点を解決すべく、ドライバの周辺視野内（車内を想定）に可変性の OFS を呈示することを提案する。提案した OFS は、従来の研究と比較し、よりドライバの近接した周辺視野内に呈示することを想定している。そのため、OFS を呈示した場合の速度評価の変化の有無やその量、また実際の速度選択行動がどのように変化し得るのかについては、明らかではない。本研究では、これらについて実験的に検討し、明らかにすることを目的とする。その中で、様々な切り口からの検討を行うことにより、OFS や従来の人工的なオプティカルフローを用いた研究応用事例にも共通した基礎的な知見を構築する。例えば、ドライバの周辺視野内に OFS を呈示することによってドライバの速度評価を変化させ、その後、ドライバの速度選択行動が変化し得ることが可能であれば、道路環境や状況に応じた適切な走行速度での走行を促せる可能性が高い。そのため、これらの速度制御に関する知見を積み重ねることで、さらに応用的な速度制御に関する方策を考案することが可能となる。道路状況やドライバの速度選択特性に応じた速度制御が可能となれば、法定速度を超過して走行することによって引き起こされる重大事故の防止や軽減に寄与すると考えられる。また、走行速度が意図せず低下する事象を低減できれば、渋滞の緩和等に大いに寄与すると考えられる。

すなわち、本論文にて、ドライバの周辺視野内に呈示される OFS に関する基礎的な知見を収集し、応用場面について検討することは、今後のオプティカルフローを用いた速度制御実現のために極めて有意義であると考えられる。

2.2. 研究の流れ

本論文における研究の流れについて、図 2.1 に示す。

第 1 章「序論」の前半では、ドライバの速度評価はどのような情報から形成されているのか、どのような過程で形成されているのか等について先行研究等を取り上げ論じる。また、これまで行われてきたオプティカルフローを用いた実用例や研究例について取り上げ、どのような経緯/歴史を経ているのか、どのような課題があるのかについて論じる。第 1 章「序論」の後半では、従来の実用/研究事例の課題点を整理し、いずれも道路構造物を設置し人工的なオプティカルフローを生成する方策であったことを踏まえ、既存技術とは異なる新しい方策の速度制御刺激を模索、提案する。しかし、ドライバに近接した位置（車内呈示を想定）に OFS を呈示し、尚且つ可変性の刺激とする方策についてはいまだ研究例はなく、基礎的な知見も得られていないのが現状である。そこで、第 2 章「研究目的と研究の流れ」では、自動車内呈示を想定した OFS をドライバに呈示し、ドライバの速度評価や速度選択行動の変化についての基礎的な知見を得るために研究を行うことの必要性や、社会貢献性について述べ、本論文の研究目的を記す。

本論文では、新しい方策の OFS を提案するが、その効果については、いまだ検討されていない。そのため、ドライバに近接した位置（車内呈示を想定）に OFS を呈示することにより、ドライバの主観的な走行速度評価が変化するかについて知見について初めに収集する必要がある。そこで第 3 章では、ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示し、ドライバの主観的な走行速度評価が変化するかについて検討する。また、第 3 章では、OFS がドライバ視点映像の周囲（上部、下部、左部、右部）のどこに呈示することが求められるのかについても検討を行うこととする。その後、OFS を呈示することにより走行速度にどのような影響をもたらすかについての知見がないため、第 4 章では DS ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示し、ドライバの選択した DS 走行速度が変化するかについて検討する。

第 3 章、第 4 章の結果より、ドライバ視点映像の周囲に OFS が呈示されることによる主観的な走行速度評価の時系列変化についての知見を収集していく必要があると結論付けられた。そこで第 5 章では、ドライバ視点映像の周囲に OFS が呈示された場合の、主観的な走行速度評価がの時系列的变化について検討する。第 6 章では、第 3 章から第 5 章で得られた基礎的な知見を総合的に考察を行うとともに、自動車内に呈示

することを想定された OFS の将来性についてまとめることとする。第 7 章では、OFS のこれからの基礎的な研究としての課題、速度制御に関する OFS の応用研究としての課題・展望をまとめる。

なお、本論文の実験は、道路構造物などの外乱が比較的少なく、ドライバの主観的な速度評価や、走行速度選択が検討しやすいと考えられる高速道路を対象として設定する。

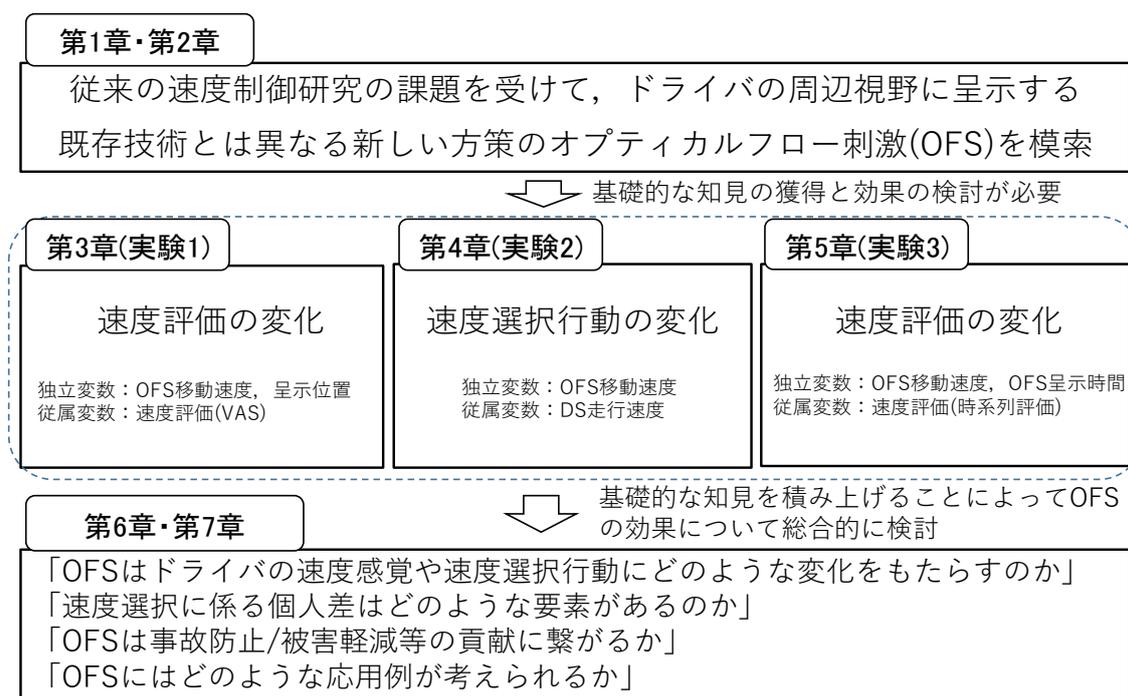


図 2.1 本論文の流れ

3. OFS がドライバの速度評価に与える影響とその適切な移動速度と呈示位置の検討【実験 1】

3.1. 第3章の概要

本論文で提案した新方策の OFS がドライバの周辺視野に呈示することによってドライバの速度選択行動を変化させるには、まずはドライバの速度評価が変化し得るかについて検討を行う必要がある。そこで本章では、OFS がドライバの速度評価にどのような影響を与え得るのか、また影響を与えるとすればどの程度の速度評価の変化が起り得るのかについて検討を行った。

ドライバの速度評価に関する実験を実施する際に、試行間で速度評価の影響（運動残効の影響）が及ばないように、試行間のインターバルについて検討する必要がある。そこで、実験 1 に先立ち、運動残効の影響が及ばないインターバルについて検討を行うため、予備実験を行った。

なお、第3章は、2019年に早稲田大学人間科学研究（32(1), 補遺号）に掲載された「ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度評価に与える影響」に記載されている内容を基に論じている(伊藤輔 et al., 2019a)。

3.2. 目的

実験 1 では、ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示し、ドライバの主観的な速度評価が変化するかについて検討する。また、OFS が呈示されることによってドライバの速度評価が変化し得る適切な OFS 移動速度の模索や、適切な OFS の呈示位置（上部、下部、左部、右部）の模索についても検討を行うこととする。

3.3. 試行間での影響が及ばない適切なインターバルについての検討（予備実験）

運動残効とは、順方向に向かって動く刺激を一定時間見続け、刺激を停止させると反対方向に向かって動いているように見える現象である。実験 1 に先立ち、速度評価主観評価実験の試行間に運動残効の影響が発生しないように配慮するため、実験 1 に使用するドライバ視点映像を用いて運動残効についての予備実験を行った。

3.3.1. 運動残効を測定するための予備実験方法

本予備実験では、実験 1 で用いるドライバ視点映像の運動残効について検討した。映像は、20 秒間再生した後、映像の最後のフレームで停止するように編集した。ドライバ視点映像は、パソコン(TOSHIBA, dynabook R730/E26BB)に、42 型モニタ(NEC, MultiSync V422)を接続して呈示した。なお、実験参加者には画角が実際の運転時となるべく同等になるような位置に着座してもらった。運動残効の有無及び運動残効消失時間を計測するため、2 つのボタンが付いている簡易的な反応装置を使用した。その簡易的な反応装置の写真を図 3.1 に示す。この装置は、白いボタンを押すと青色の LED が点灯し、もう一方の赤いボタンを押すと赤色の LED が点灯するように作成した。なお、LED はボタンが押下されると遅延なく点灯するようにした。実験参加者への教示の中で、ドライバ視点映像を見る際は左車線の先行車を見るように教示した。また、ドライバ視点映像が静止した後、運動残効が消失したと感じた場合は、消失したと感じた時点で直ちに白いボタンを押下し、運動残効を感じなかった場合は赤いボタンを押下するように教示した。消失したタイミングは、実験参加者それぞれの主観的なものとした。

予備実験に入る前に、運動残効とはどのような現象であるかを口頭で説明した後、参考としてインターネット上の運動残効が発生する刺激のデモ映像を呈示した。なお、分析に使用するため、実験参加者の後方より、反応装置とドライバ視点映像を映しているモニタの状況が撮影できる位置に、ビデオカメラ(Panasonic, HX-WA10)を設置し実験の様子を記録した。ドライバ視点映像の走行速度条件は、60km/h、70km/h、80km/h、90km/h 及び 100km/h の 5 条件とし、実験参加者ごとにカウンタバランスしランダムで呈示した。試行回数は、各実験参加者とも 5 条件を 3 セット、計 15 試行実験を行った。



図 3.1 予備実験に使用したボタン装置

3.3.2. 予備実験参加者の属性

実験参加者は、運転免許を保持するもの 9 名（男性 8 名，女性 1 名）とした。インフォームドコンセントを行った後プロフィールを収集し実験を実施した。平均年齢は 23.8 才($SD=5.5$ 才)，平均運転免許取得後経過月数は 54.9 ヶ月($SD=78.1$ ヶ月)，平均総走行距離は 69,017km($SD=163,298$ km)，平均年間運転回数 90.0 回($SD=98.0$ 回)であった。

なお，本実験は，所属機関における倫理規定基準に則り実施した。

3.3.3. 運動残効消失時間の分析方法

実験参加者の後方から反応装置とドライバ視点映像を映しているモニタを撮影したビデオをフレームごとに解析し分析を行った。ドライバ視点映像が最後のフレームで停止してから，実験参加者が反応装置のボタンを押下し，LED が点灯するまでの時間を運動残効消失時間として扱った。なお，運動残効が感じられなかった場合は運動残効時間 0 秒として扱った。独立変数をドライバ視点映像の走行速度に設定し，従属変数をドライバ視点映像の運動残効の有無と運動残効消失時間とした。なお，今回の予備実験では，実験 1 の試行間のインターバル時間を決定するための実験であるため，統計的な検定は行わず，運動残効消失時間を単純集計し検討した。

3.3.4. 予備実験に用いたドライバ視点映像

予備実験に用いたドライバ視点映像の静止画を、図 3.2 に示す。ドライバ視点映像は、自動車（NISSAN, セドリック PY-33）のダッシュボードに搭載したビデオカメラ（Panasonic, HX-WA10）を用いて、記録・編集したものである。路面状態は、ドライで天候は晴れであった。なお、撮影する最中、前方一定距離に先行車が入らないように留意しながら 80km/h 一定で走行した。編集時は、交通他者に影響されず運転できるオープンロード状態である 20 秒間を切り取った。また、実際の高速道路上の同じ条件で走行することが難しいため、60km/h, 70km/h, 80km/h, 90km/h 及び 100km/h のドライバ視点映像は、それぞれ 80km/h のドライバ視点映像の再生速度を変更させることで再現した。なおドライバ視点映像の解像度は 1920×1080 ピクセル、フレームレートは 60fps であった。なお、実験中は、左車線の先行車を注視するように実験参加者に教示した。



図 3.2 予備実験及び実験 1, 2 に使用したドライバ視点映像

3.3.5. ドライバ視点映像注視時の運動残効消失時間についての分析

運動残効の有無の結果を図 3.3 に示す。運動残効の有無に関しては個人差が大きくみられ、全 15 試行で運動残効を感じた実験参加者がいる中で、実験試行の半分以上で運動残効を感じなかった実験参加者もいた。次に、運動残効の消失までの時間についての結果を図 3.4 に示す。各条件ともに大半のデータが 5 秒以内に含まれているため、今回の実験で使用したドライバ視点映像では 5 秒よりも短い時間で運動残効が無くなっていることが分かる。全ての条件の中で運動残効消失時間が最も長かったのは 70km/h 条件の 15.37 秒であった。

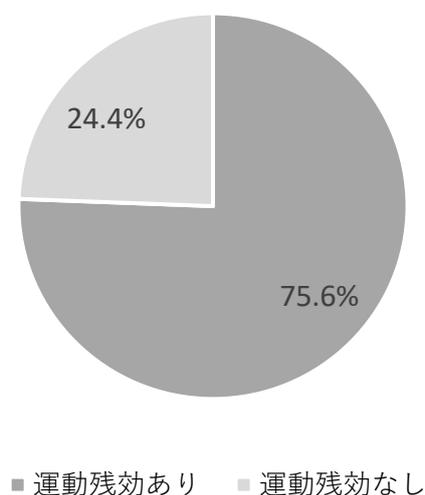


図 3.3 運動残効の有無

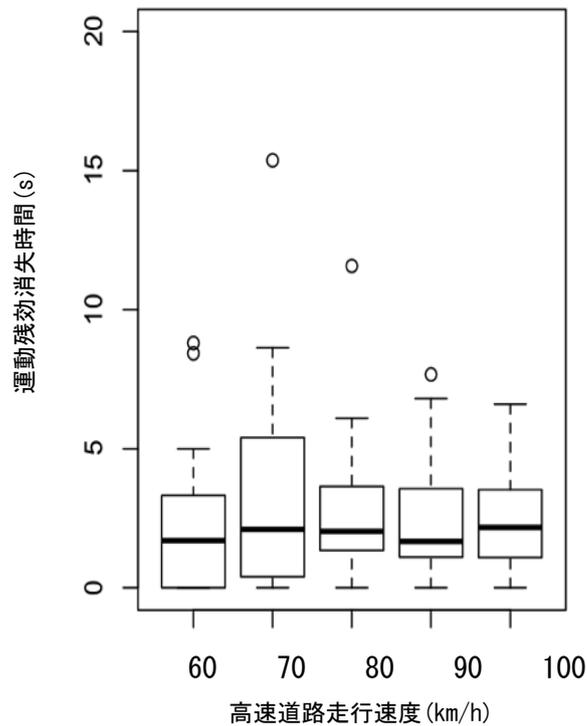


図 3.4 運動残効消失時間

3.3.6. 予備実験結果から決定された試行間インターバル

予備実験の結果、運動残効の感じ方には個人差があることが示唆された。試行の大半は、運動残効が発生していたが、一部の試行で運動残効が発生しなかった。その原因は、実験参加者の注視点に違いや運転経験の差によるものであろう。注視点の違いに関しては、実験前に「ドライバ視点映像の左車線の先行車両を注視してください」と教示したものの、全試行で統制されていなかったためと考える。予備実験の結果から、実験 1 の速度評価の主観評価では試行間にインターバルを設けることにした。これは、ドライバ視点映像を注視することによって生じた運動残効が、次の試行に影響しないように統制するためである。すべての実験条件下で運動残効消失時間が最も長かったのは 70 km/h 条件の 15.37 秒であったことが明らかになった。予備実験から得られた最大運動残効時間からある程度の有余を持たせ、以後の実験を実施する際の試行間インターバルは 20 秒以上とした。

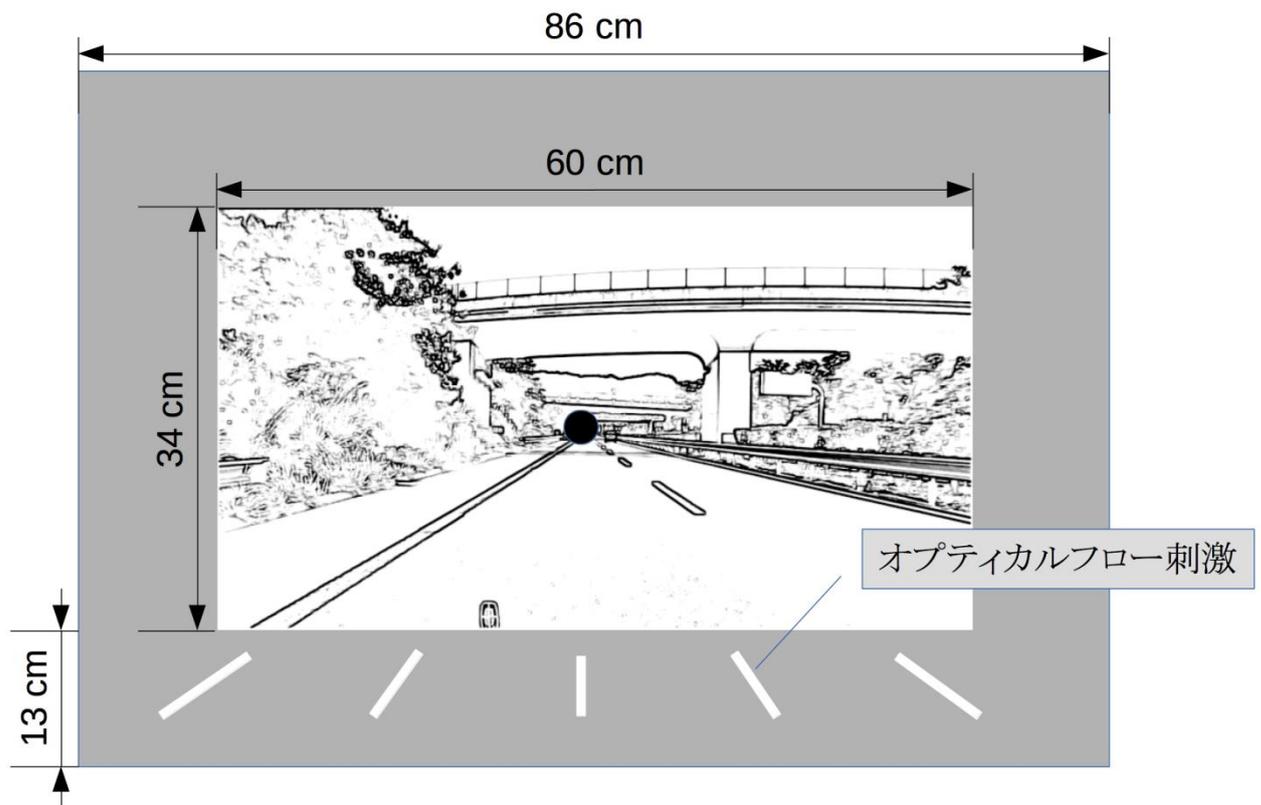
3.4. 実験1の方法

以下に、OFS がドライバの速度評価にどのような影響を与え得るのか、またどの程度の速度評価の変化が起り得るのかについて検討を行った実験の方法を記す。

3.4.1. 実験1に使用したOFS及びドライバ視点映像の仕様

図 3.5 に、呈示した OFS の概略図を示す。中央部分にドライバ視点映像を呈示し、その周囲に OFS を呈示した。ドライバ視点映像は、ハイビジョンビデオカメラ（解像度 1920×1080 ピクセル、フレームレート 60fps）を搭載した自動車で撮影した。ドライバの視線に近い映像となるように、地上 110cm、車両の中心から右に 25cm の位置にハイビジョンビデオカメラを設置した。撮影時の走行速度は、撮影した高速道路における法定最高速度の 80km/h で、天候は晴れであった。撮影した道路は片側 2 車線の高速道路とし、走行車線は第 1 通行帯とした。実験に使用した映像は、自由走行に支障のないように先行車がない部分を用いた。なお、従来の研究において刺激呈示時間を 20 秒に設定し実験が行われていることや(川島祐貴 et al., 2011)、実際の交通場面において OFS が長時間にわたって呈示されることは望ましくないと考えられることから、本実験でも映像の呈示時間は 20 秒とした。なお、本実験では音の影響を排除して検討を行うため、走行音は発生させなかった。

OFS はドライバ視点映像を元に作成した。作成した OFS の移動速度は、60, 70, 80, 90 及び 100km/h 相当の 5 条件であった。OFS の移動速度は、ドライバ視点映像上の路面に塗装された白線の移動速度に対する相対速度として算出した。OFS は中心から外側に向かって移動するように作成し、線の本数は 5 本で等間隔に設定した。OFS の太さは、ドライバ視点映像の横の長さの 1%になるように作成した。OFS の色彩は、一般的な高速道路の塗装と同様に白色で作成した。OFS の長さは、5 本のうち中心の OFS を 4.2cm にし、この線を基準に縦方向の長さが同様になるように他の OFS も設定した。最後に、下部と同様に上部、左部、右部の OFS も作成した。上部、左部、右部の移動速度と白線の本数は、下部に呈示した場合と同様であった。OFS の背景色は、ドライバ視点映像の路面色(R88, G88, B88)を抽出し使用した。OFS の呈示周期は、いずれの OFS 移動速度条件でも 0.5 秒ごとに 1 回とした。



注釈：図中央の黒丸は道路消失点を示す。これは下部呈示時の例である。ドライバ視点映像は加工をした。

図 3.5 呈示したオプティカルフロー刺激の概略図

3.4.2. 実験環境及び実験装置

図 3.6 に実験 1 の実験環境の概略図を示す。ドライバ視点映像は、27 インチモニタ (LG, 27EA33) に呈示した。実験参加者から見た 27 インチモニタの視野角は約 36.8 deg であった。OFS は、モニタの周囲に設置した白色パネルにプロジェクタ (CASIO, XJ-A145V) により呈示した。プロジェクタは、白色パネルから 150cm 離れた場所に設置した。実験参加者から見た白色パネルの視野角は約 51.0 deg であった。実験参加者には、実験参加者から見た映像の見かけの大きさと運転席から見た見かけの大きさが可能な限り同様になるように、27 インチモニタから約 90cm 離れたところに着座するように求めた。椅子の座面の高さは、床から 40cm とした。27 インチモニタを設置した机の高さは、70cm とした。

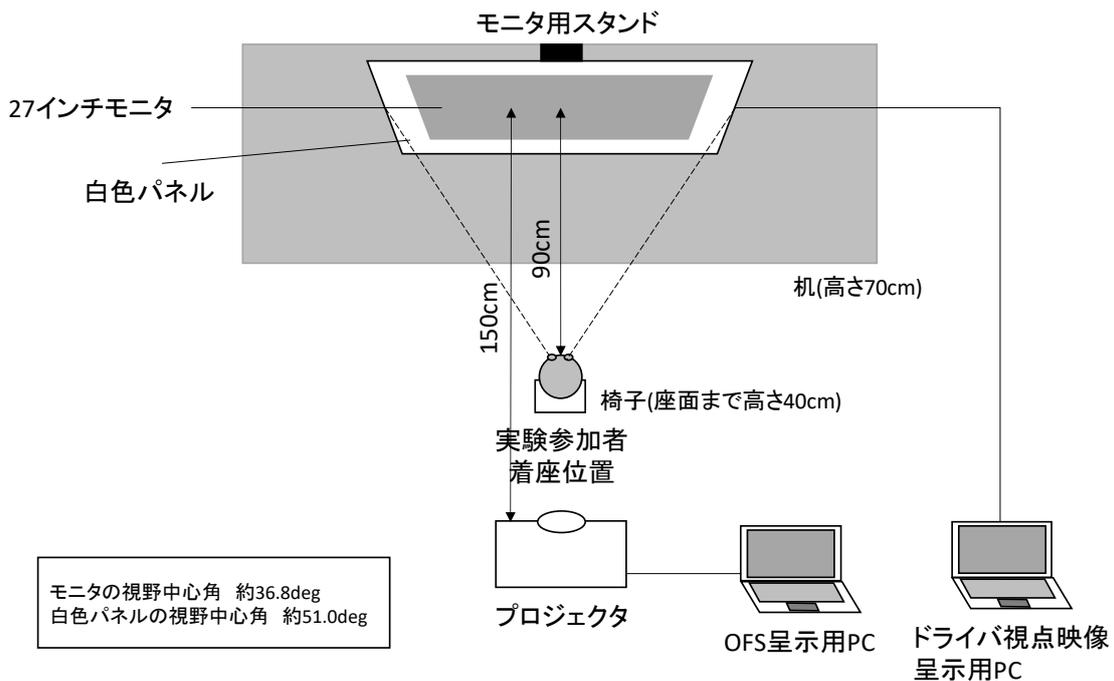


図3.6 実験1の実験環境

3.4.3. ビジュアルアナログスケールによる速度評価の評価

本実験では、実験参加者の感じるドライバ視点映像の速度(以下、評価速度)についてビジュアルアナログスケール (Visual Analogue Scale; 以下、VAS) 評価を用いて測定した。図 3.7 に、VAS の説明を示す。VAS の全体の長さは 24cm で、左右どちらも端部から 5cm のところに基準点を 2 点設定した。2 点の基準点は、左側を 60km/h ドライバ視点映像、右側を 100km/h ドライバ視点映像の速度評価とした。実験参加者には、基準点の速度評価をもとに評価するように教示した。例えば、図 3 に示すように評価速度が 70km/h であった場合には 60km/h ドライバ視点映像と書いてある位置から右に 3.5cm のところに線を引くことになる。実験後、VAS の記録をもとに評価速度を算出した。

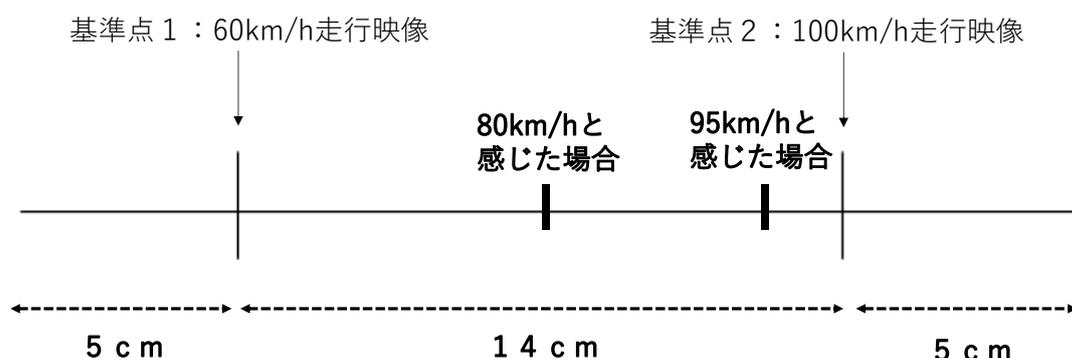


図3.7 ビジュアルアナログスケールの説明図

3.4.4. 速度評価の実施手順

図 3.8 に実験 1 の手順を、図 3.9 に実験 1 の 1 試行のフローを示す。まず実験参加者にインフォームドコンセントを行い実験参加の同意を得た。次に、ドライバ視点映像の速度評価を評価してもらう実験であることを教示した。その後、練習試行を行った。練習試行は 1 試行で、評価方法を説明した後に、OFS を投影しないドライバ視点映像を呈示し評価してもらった。練習試行では、80km/h のドライバ視点映像を実験参加者に呈示し、実験参加者が VAS 評価で概ね 80km/h と評価できていることを確認した後に、本試行を行った。まず、評価する際の基準として 60km/h ドライバ視点映像と 100km/h ドライバ視点映像の用いることを実験参加者に教示し、その上で、60km/h

ドライバ視点映像と 100km/h ドライバ視点映像を呈示して速度評価を記憶するように求めた。次に 3 秒間のカウントダウンに続いてドライバ視点映像及び OFS を 20 秒間呈示した。その後、試行間にインターバルを設けその時間を 20 秒以上に設定した。20 秒以上とした理由は、運動残効に関する予備実験から、最大で約 15 秒間は運動残効の影響が出るという結果が得られたためである。実験参加者は、このインターバルが設けられた試行間で VAS 上に評価速度を記入した。なお、ドライバ視点映像呈示中は実際に走っているような感覚で、可能な限り第一通行帯の前方を見てもらうように教示した。

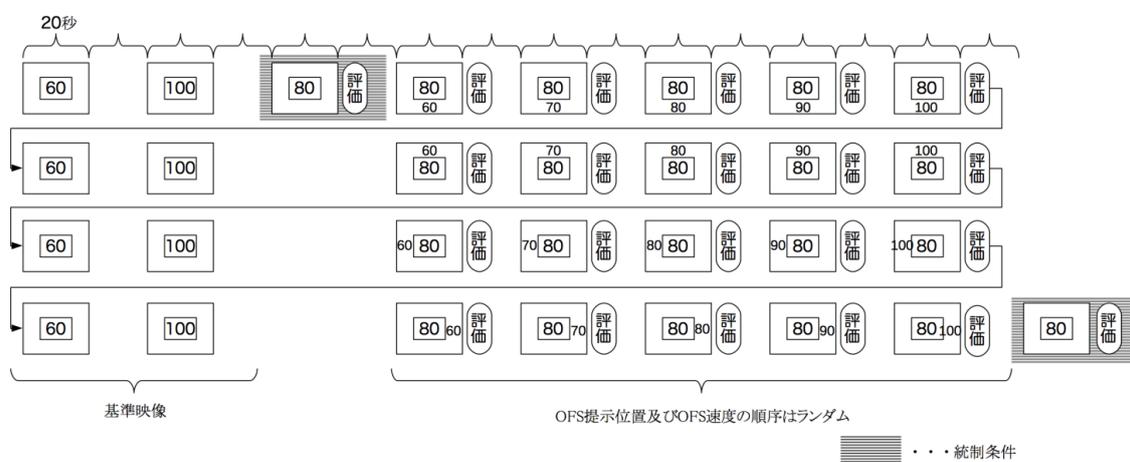


図3.8 実験1の手順フロー

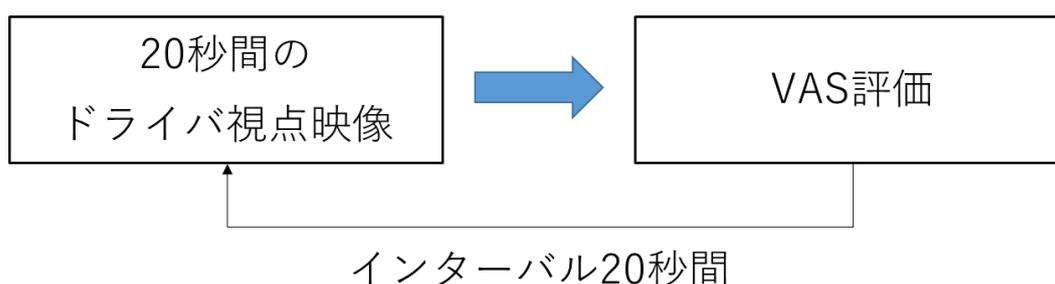


図3.9 実験1の1試行のフロー

実験 1 の実験条件は、OFS 呈示位置 4 条件(上部, 下部, 左部, 右部)と OFS 移動速度 5 条件(60, 70, 80, 90, 100km/h 相当)であった(表 3.1)。また、OFS 呈示なし条件は 2 試行であり合計 22 試行とした。はじめに基準となる 60km/h ドライバ視点映像と

100km/h ドライバ視点映像を見た後に OFS 呈示なし条件を 1 試行行った。次に OFS 呈示位置条件を 1 セッションとして、この中で OFS 移動速度 5 条件をランダム順に実施した。また、呈示位置セッションも実験参加者ごとにランダム順に呈示した。最後に OFS 呈示なし条件 1 試行行った。なお、基準となる 60km/h ドライバ視点映像と 100km/h ドライバ視点映像は呈示位置が変化する 5 試行ごとに呈示した。OFS 呈示なし条件の試行を設けた理由は、そもそも実験参加者がドライバ視点映像の速度を正しく評価できているかを検討するためである。

表3.1 実験1の条件表

	基準映像1	基準映像2	条件1	条件2	条件3	条件4	条件5
映像の走行速度 (km/h)	60	100	80	80	80	80	80
OFS移動速度 (km/h)	なし	なし	60	70	80	90	100

呈示位置は上下左右の4条件

3.4.5. 実験参加者の属性

実験参加者は、運転免許を持つ 20 名（男性 19 名、女性 1 名）とした。インフォームドコンセントを行った後プロフィールを収集し実験を実施した。年齢の範囲は 19～37 歳(中央値=22 歳)、運転免許取得後経過月数の範囲は 8～232 ヶ月(中央値=32 ヶ月)、総走行距離の範囲は 2～500,000km(中央値=3,250km)であった。なお、総走行距離は、運転免許証を取得してから実験参加時までに運転した距離（全ての車種含む）で自己申告値である。

なお、本実験は、所属機関における倫理規定基準に則り実施した。

3.5. 実験1の結果

3.5.1. 実験参加者の速度評価が適切であったかについての分析

実験に先立って行った統制条件（以下，統制条件①）及び実験の最後に行った統制条件（以下，統制条件②）の結果について述べる．統制条件①の評価速度についてワンサンプル t 検定を行ったところ，80km/h との有意な差は認められなかった ($t(19)=0.18, n.s.$)．同様に，統制条件②の評価速度についてワンサンプル t 検定を行ったところ，80km/h との有意な差は認められなかった ($t(19)=0.81, n.s.$)．

3.5.2. OFS 移動速度条件及び呈示位置条件による評価速度の違い

図 3.10 に，呈示位置ごとの評価速度の平均値と標準偏差を示す．また，図 3.11 に，OFS 呈示位置条件を合算し速度条件のみの評価速度の平均値と標準偏差を示す．横軸は OFS 移動速度，縦軸は評価速度である．80km/h のドライバ視点映像よりも速度の速い OFS が呈示された際は，評価速度の平均値が 80km/h よりも速かった．その一方で，ドライバ視点映像よりも速度の遅い OFS が呈示された際は，評価速度の平均値が 80km/h よりも遅かった．OFS 呈示位置と OFS 移動速度を要因配置として 2 要因分散分析を行った結果，OFS 移動速度に有意な主効果が認められた ($F(4, 76)=13.19, p<.01$)．一方，OFS の呈示位置には有意な主効果は認められなかった ($F(3, 57)=0.076, n.s.$)．また，OFS の呈示位置と OFS 移動速度の交互作用も認められなかった ($F(12, 228)=0.938, n.s.$)．OFS 移動速度条件間について多重比較を行ったところ，60km/h と 100km/h，70km/h と 100km/h，80km/h と 60km/h，90km/h と 60km/h，80km/h と 70km/h，90km/h と 70km/h 間で有意な差が認められた ($p<.05$)．また，OFS 呈示位置条件を除いた OFS 移動速度条件のみの評価速度について 1 要因分散分析を行ったところ，有意な主効果が認められた ($F(4, 394)=10.21, p<.01$)．多重比較を行ったところ，60km/h と 100km/h，70km/h と 100km/h，80km/h と 60km/h，90km/h と 60km/h，80km/h と 70km/h，90km/h と 70km/h 間で有意な差が認められた ($p<.05$)．

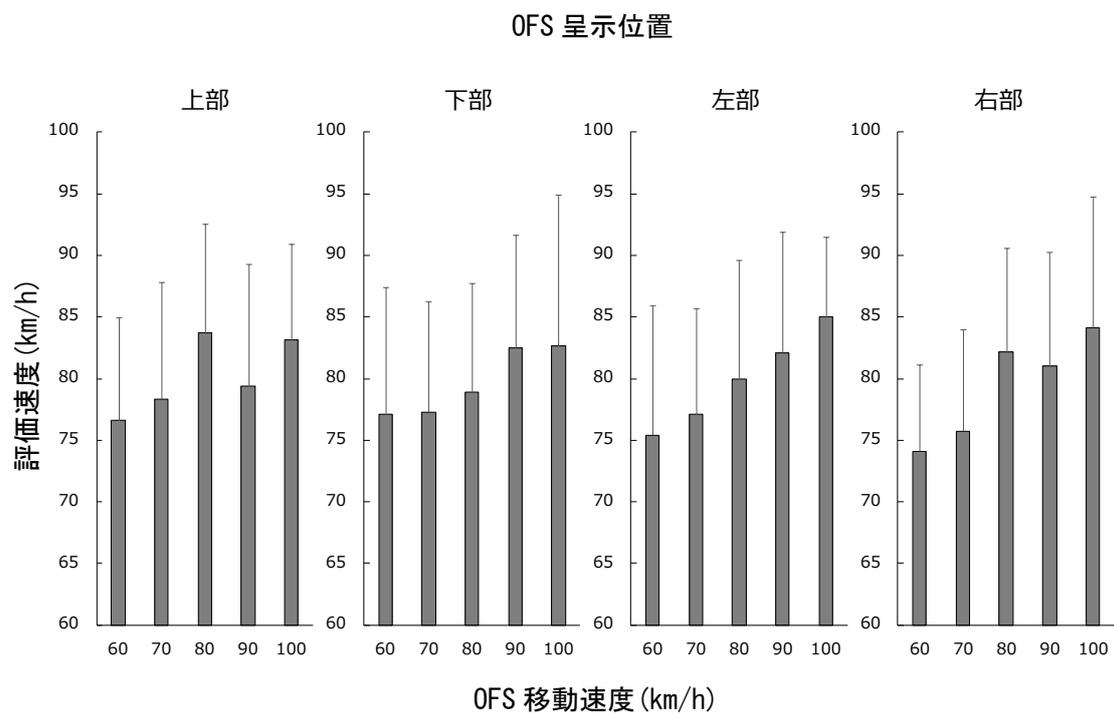


図3.10 OFS 移動速度及び OFS 呈示位置条件ごとの評価速度の平均値

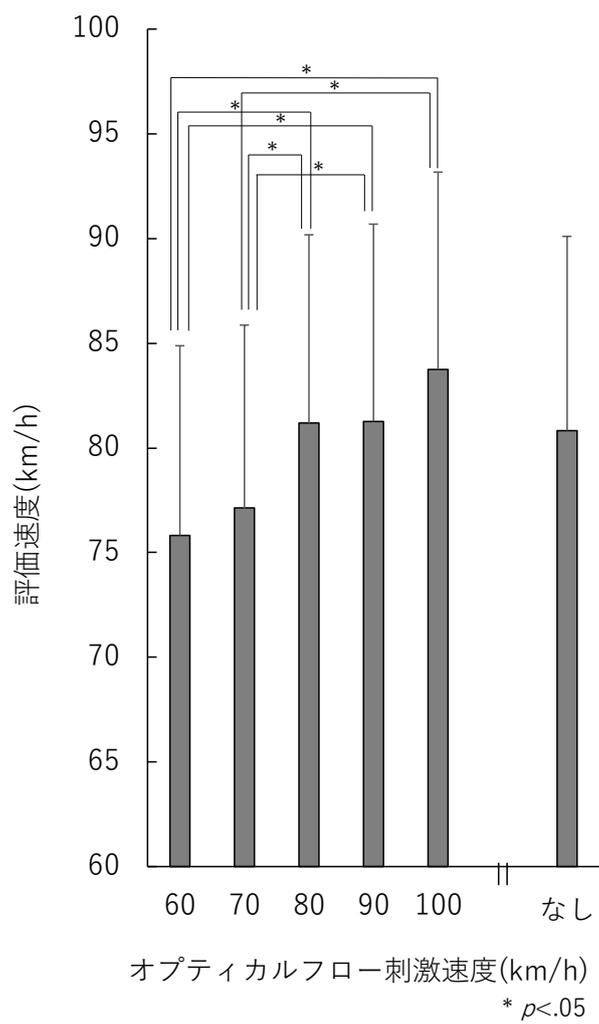


図3.11 OFS 呈示位置条件を除いた速度条件のみの評価速度の平均値

3.6. 実験1の考察

実験に先立って行った統制条件①の評価速度についてワンサンプル t 検定を行ったところ、80km/h との有意な差は認められなかった。この結果から、実験参加者は、本実験で使用したドライバ視点映像の速度を、適切に評価できていた結果であると考えられる。また、実験の最後に行った統制条件②の評価速度についてワンサンプル t 検定を行ったところ、80km/h との有意な差は認められなかった。この結果から、実験実施中の速度評価は適切に評価されていた結果であると考えられる。

次に、OFS の効果について検討を行った。ドライバ視点映像の速度は全て 80km/h であるため、仮にドライバ視点映像の周囲に呈示した OFS の効果がないと、評価速度は常に約 80km/h となるはずである。しかし、ドライバ視点映像よりも速度の速い OFS が呈示された際は、評価速度が速くなり、ドライバ視点映像よりも速度の遅い OFS が呈示された際は、評価速度が遅くなった。この結果から、実験参加者の周辺視野に呈示された OFS は、中心視野付近に呈示されたドライバ視点映像の速度評価に影響を及ぼしたと考えられる。ただし、図 3.11 の標準偏差の値を見ると、ドライバ視点映像の評価速度は個人差が大きく、OFS の影響は人によって異なる可能性がある。この原因として、実験参加者が OFS をどのような参照枠で捉えたかが関係していると考えられる。ドライバ視点映像と OFS を1つの連続した映像として捉え、全体の速度評価を行った場合には OFS 速度と速度評価は比例の関係にあると考えられる。一方、ドライバ視点映像と OFS を別々に捉え、OFS を比較対象としてドライバ視点映像のみの速度評価を行った場合、OFS 移動速度と速度評価は反比例の関係にあると考えられる。

なお、本実験の速度評価に用いた手法(VAS)では、2点の基準点を設けた。実験参加者は、その基準点を基に速度評価を行ったが、要求特性として、基準点間内である程度予測して記入してしまった可能性も考えられる。しかし、本実験の特性上、1点のみを基準として用いることができなかつたため、ある程度要求特性があることは想定の上であった。今後、評価方法についての最適な方策の模索は必要である。

OFS 呈示位置による主観的な速度評価の変化についても検討を行ったが、呈示位置(上部、下部、左部、右部)で有意な差は認められなかつたことから、OFS の効果を得るという面においては、呈示位置についての制約はないことが明らかになった。

3.7. 第3章のまとめ

本章では、OFS がドライバの速度評価にどのような影響を与え得るのか、また影響を与えるとすればどの程度の速度評価の変化が起こり得るのかについて検討を行った。また、OFS が呈示されることになってドライバの速度評価が変化し得る適切な OFS 移動速度の模索や、適切な OFS の呈示位置（上部、下部、左部、右部）の模索についても検討を行った。その結果、OFS がドライバの周辺視野に呈示されることによって、ドライバの速度評価が変化することが明らかになった。具体的には、ドライバ視点映像よりも速度の速い OFS を呈示すると速度が速くなったと感じ、ドライバ視点映像よりも速度の遅い OFS を呈示すると速度が遅くなったと感じるドライバが存在することが明らかとなった。また、その変化は、OFS 移動速度に準じて変化する可能性があることが示唆された。その一方で、OFS の呈示位置には有意な主効果がなかった。この結果より、OFS の呈示位置は特定の場所に呈示する必要がある等の縛りを設けなくても良いことが明らかになった。しかしながら、今後の技術動向や現実的な呈示位置を模索する必要があると考えられる。

4. OFS がドライバの速度選択に与える効果の検討 【実験 2】

4.1. 第4章の概要

実験1では、ドライバ視点映像を用いて、その映像から感じる速度を評価させる実験であったが、実験2はDSを用いて、実験参加者が調整する走行速度を計測する実験である。DSが生成するドライバ視点映像の周囲に異なる速度のOFSを呈示した際に、一定速度で走行するように教示した走行速度がどのように変化するかを検討した。

なお、第4章は、2019年に早稲田大学人間科学研究(32(1), 補遺号)に掲載された「ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度評価に与える影響」に記載されている内容を基に論じている。

4.2. 目的

ドライバ視点映像の周囲に呈示したOFSの効果検討を行う。実験1では、OFSの呈示位置と呈示速度によって速度評価がどのように変化するか検討する。実験2では、OFSを呈示することによって運転行動がどのように変化するかDSを用いて検討する。

4.3. 実験2の方法

以下に、OFSがドライバの速度選択行動にどのような影響を与え得るのか、また影響を与えるとすればどの程度の速度選択行動の変化が起こり得るのかについて検討を行った実験の方法を記す。

4.3.1. 実験2に使用したOFS及びドライビングシミュレータの仕様

中央部分にDSドライバ視点映像(解像度1920×1080ピクセル、フレームレート30fps)を呈示し、その周囲にOFSを呈示した。DSドライバ視点映像は、DS(三菱プレジジョン, D3SIM)の高速道路シナリオを用いた。高速道路は片側2車線道路とし、走行車線は第1通行帯とした。走行条件は、無風で快晴、路面状況はドライ状態、自由走行に支障のないように先行車がない状態に設定した。なお、音の影響を排除するため、走行音は発生させなかった。OFSの仕様は、実験1と同様であった。した

がって、DS 走行で実験参加者に産生させる速度は 80km/h とした。

4.3.2. 実験 2 における実験環境及び実験装置

図 4.1 に、実験 2 の実験環境の概略図を示す。DS ドライバ視点映像は、27 インチモニタ(LG, 27EA33)に DS 本体から出力し呈示した。実験参加者から見た 27 インチモニタの視野角は約 36.8 deg であった。OFS は、モニタの周囲に設置した白色パネルに実験参加者の後方からプロジェクタ(CASIO, XJ-A145V)で呈示した。プロジェクタは、白色パネルから 150cm 離れた場所に設置した。実験参加者から見た白色パネルの視野角は約 51.0 deg であった。実験参加者には、実験参加者から見た映像の見かけの大きさと運転席から見た見かけの大きさが可能な限り同様になるように、27 インチモニタから約 90cm 離れたところに着座してもらった。椅子の座面の高さは、床から 40cm とした。27 インチモニタを設置した机の高さは、70cm とした。DS のスピードメータは、7 インチモニタ(Hanwha, UM-710)に DS 本体から出力し呈示した。スピードメータの設置場所は、実験参加者の視点の中心から左方向約 54 deg とした。

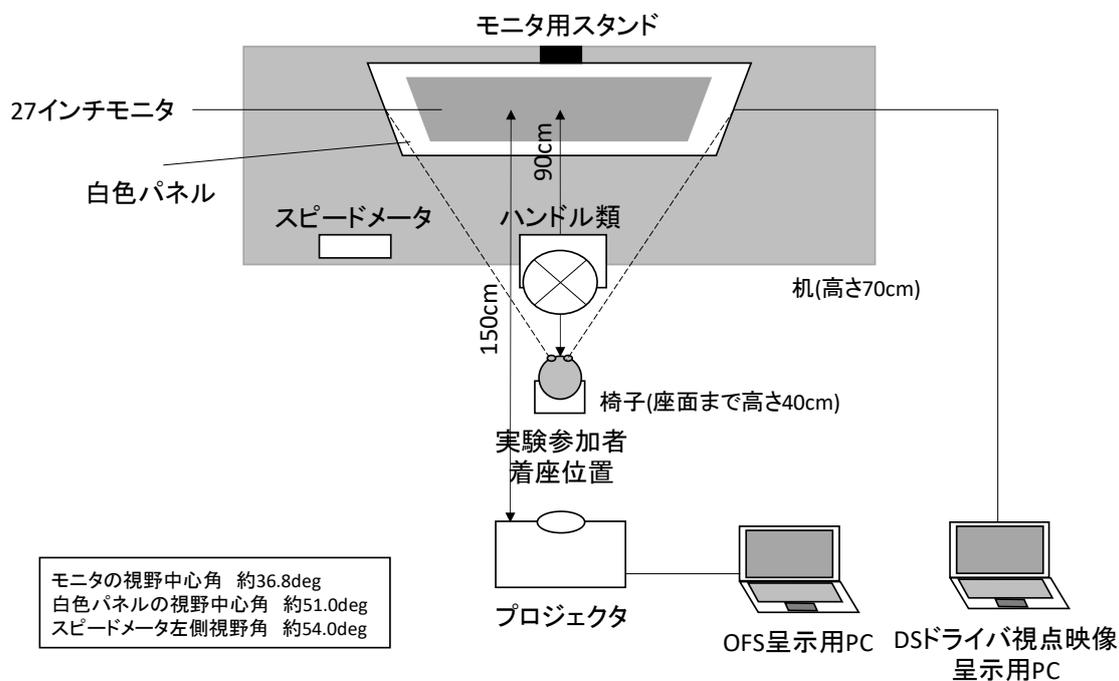


図4.1 実験2の実験環境

4.3.3. DS 走行実験の実施手順

図 4.2 に実験 2 の手順を、図 4.3 に実験 2 の 1 試行のフローを示す。まず実験参加者にインフォームドコンセントを行い実験参加の同意を得た。続いて、DS の操作に慣れるためと、DS 上の高速道路で 80km/h 一定で走行してもらうために練習走行を行った。練習走行では、DS 操作の方法を教示後、高速道路シナリオで練習走行をしてもらった。練習走行の終了の判断は実験者が行った。練習時間は、一番長い実験参加者でも 3 分であった。終了の基準は、走行速度が $80\text{km/h} \pm 2\text{km/h}$ で安定して走行できるまでとした。その後、本試行と同様の流れで OFS 呈示なし条件の 1 試行を練習試行として実施した。

本試行の流れは以下の通りである。まずスピードメータを見ながら 80km/h まで速度を上昇させ、80km/h に到達したら維持するように調整してもらう過程を約 30 秒間で行ってもらった。この際、スピードメータだけではなく DS ドライバ視点映像も注視してもらい 80km/h 時の DS ドライバ視点映像の速度評価も記憶してもらった。実験参加者が産生する DS 走行速度が $80\text{km/h} \pm 2\text{km/h}$ 程度で安定して走行できることを確認後、スピードメータを見ずに 80km/h と感じる速度で走行し続けるように教示し、その後、OFS を呈示した。OFS の呈示時間は 20 秒間だが、20 秒経過後 OFS の呈示が終わっても実験参加者には 80km/h だと思える速度で走行してもらった。走行開始から終了までの 1 試行の走行時間は、1 分半程度であった。各試行間のインターバルは DS の初期化や調整に約 1 分間要する事から、特に基準は設定しなかったがある程度一定になるように配慮した。なお、走行中は可能な限り第一通行帯の前方を見てもらうように教示した。

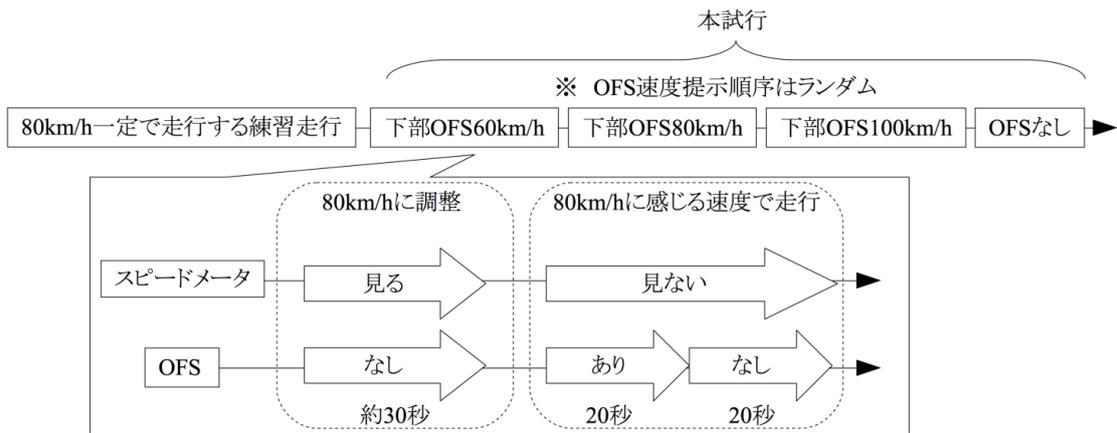
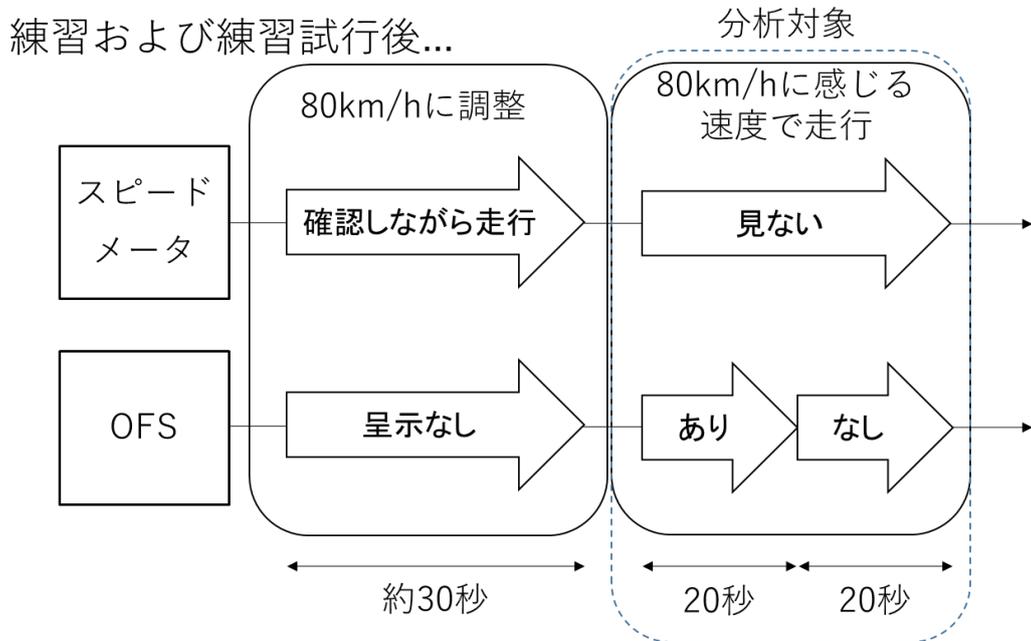


図4.2 実験2の手順フロー



※各試行間インターバルは1分以上

図4.3 実験2の1試行のフロー

実験2の実験条件は、OFS移動速度3条件（60, 80,及び100km/h相当）にOFS呈示なし条件1試行を加えた計4試行とした（表4.1）。実験1の評価速度はOFS移動速度に対して概ね直線的に変化していたため、実験2では60km/h相当のOFS, 80km/h相当のOFS, 100km/h相当のOFSの3条件に絞った。また、実験1の結果より、OFSの呈示位置によって実験参加者の主観的な速度評価に有意な差が認められな

かったことから、実験 2 では、OFS の呈示位置は下部のみに絞って検討を行うこととした。これは、実際の自動車における OFS 呈示箇所を考慮すると、ボンネット部分やインパネ付近に OFS を呈示できる可能性が他の箇所に比べて高いことが理由として挙げられる。また、将来の OFS の路面投影等の可能性を考慮すると、映像の下部に OFS を呈示した場合について検討することが求められるため、下部呈示について検討を行う。

表 4.1 実験 2 の条件表

	条件 1	条件 2	条件 3
指示運転速度(km/h)	80	80	80
OFS移動速度(km/h)	60	80	100

実験手順であるが、はじめに OFS 呈示なし条件を 1 試行行い、次に OFS 移動速度 3 条件を実験参加者ごとにランダムな順序で呈示した。最後に OFS 呈示なし条件 1 試行を行った。OFS 呈示なし条件を設けた理由は、実験参加者が DS 上で速度を保つことが可能かどうかを検討するためである。

実験後、DS に記録された走行ログに記録された走行速度を分析した。走行ログのサンプリングは毎秒 30 回であった。走行ログには、走行速度の状態が出力された。分析対象は OFS 呈示が開始から呈示終了までの 20 秒間と、その後連続して OFS 呈示なしで走行した 20 秒間の計 40 秒間とした。これは、ドライバが実際の高速道路を走行中に走行速度を調整する場合、20 秒あれば十分に行えると考えられるためである。したがって、OFS 呈示終了後の OFS の影響については、OFS 呈示を行った時間 (20 秒間) と同じ長さの 20 秒間について検討を行うこととした。

4.3.4. 実験参加者の属性

実験参加者は、運転免許を持つ 10 名（男性 10 名）とした。インフォームドコンセントを行った後プロフィールを収集し実験を実施した。年齢の範囲は 19~37 歳(中央値=22 歳)，運転免許取得後経過月数は 8~232 ヶ月(中央値=32 ヶ月)，総走行距離 100~500,000km(中央値=6,000km)であった。なお，総走行距離は，運転免許証を取得してから実験参加時までに運転した距離（全ての車種含む）で自己申告値である。

なお，本実験は，所属機関における倫理規定基準に則り実施した。

4.4. 実験 2 の結果

4.4.1. 実験参加者ごとの DS 走行速度の時間的推移

図 4.4 に，実験参加者ごとの走行速度の時間的推移を示す。A から I は実験参加者を示し，左から OFS 呈示なし時，60km/h 相当の OFS 呈示時，80km/h 相当の OFS 呈示時，100km/h 相当の OFS 呈示時の結果である。横軸は経過時間(秒)，縦軸は 80km/h を 0 とする DS 走行速度(km/h)の推移である。経過時間 0 秒から 20 秒まで（以下，前半部分）はそれぞれの条件の OFS が呈示されている。その一方で，経過時間 21 秒から 40 秒まで（以下，後半部分）はいずれの条件下でも OFS は呈示されていない。走行速度の時間的推移を見ると，OFS の呈示によって走行速度が変化している参加者や，OFS が呈示されても走行速度の変化が小さい参加者が存在し，個人差が大きかった。

4.4.2. 実験参加者それぞれの DS 走行速度の推移

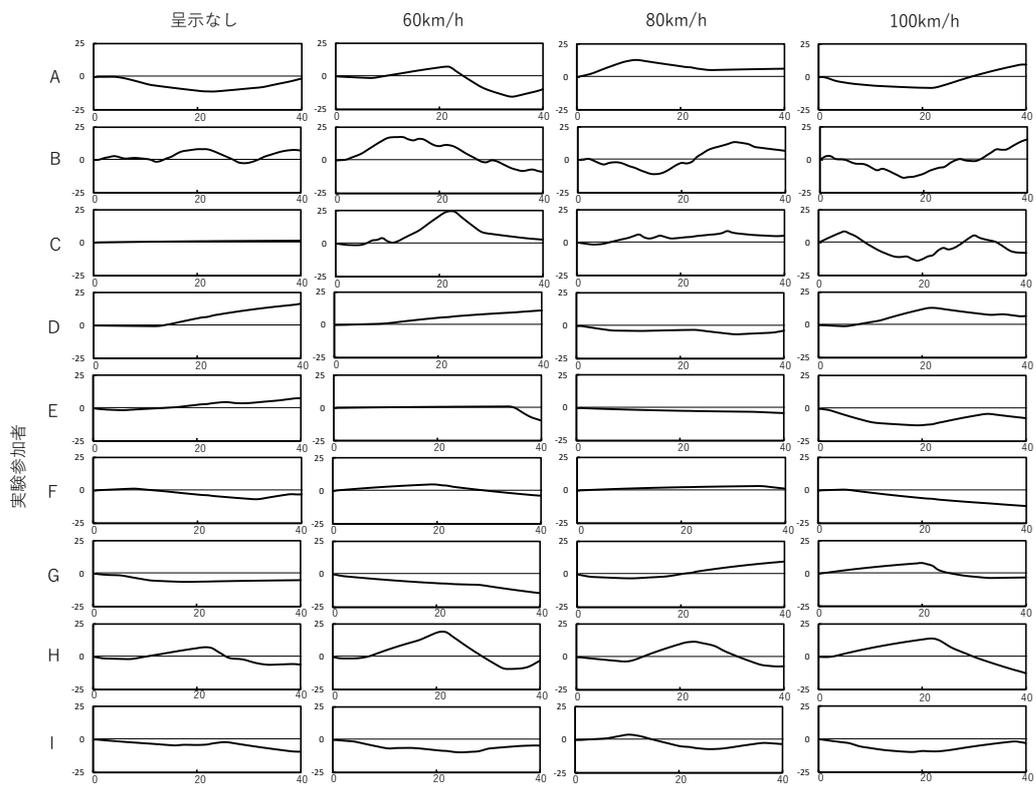
実験参加者それぞれの走行速度の推移について着目すると，次のような例が見られた。第 1 に，OFS を呈示してから終了するまで 80km/h に近い速度で走行していた（例えば実験参加者 E の 60km/h，実験参加者 F の 80km/h）。第 2 に，実験参加者 H

の 60km/h 相当の OFS の図 4.4 を見ると、前半部分は走行速度が徐々に上昇し、後半部分は走行速度が徐々に低下していた。最後に、実験参加者 C の結果のように、ドライバ視点映像よりも遅い OFS が呈示されると走行速度が上昇し、ドライバ視点映像よりも速い OFS が呈示されると走行速度が低下した実験参加者もいた。

なお、分析ではアクセラワークが特異であった実験参加者 1 名を除外して分析を行った。

4.4.3. DS 平均走行速度の定点観察

図 4.5-A に OFS が呈示された前半部分の平均 DS 走行速度を、図 4.5-B に後半部分の平均 DS 走行速度と標準偏差の結果を示す。縦軸は、DS 走行速度の平均値である。横軸は、左から OFS 呈示なし、60km/h 相当の OFS、80km/h 相当の OFS、100km/h 相当の OFS である。前半部分の 60km/h 相当の OFS 呈示時、80km/h 相当の OFS 呈示時、100km/h 相当の OFS 呈示時について、1 要因分散分析を行なった。その結果、OFS 移動速度条件に有意な主効果は認められなかった($F(2,8)=1.48, n.s.$)。また、後半部分の 60km/h 相当の OFS 呈示時、80km/h 相当の OFS 呈示時、100km/h 相当の OFS 呈示時について、1 要因分散分析を行なった。その結果、OFS 移動速度条件に有意な主効果は認められなかった($F(2,8)=0.84, n.s.$)。



実験参加者

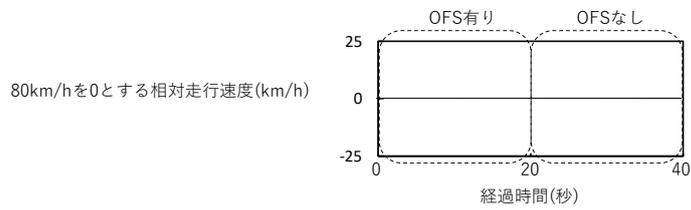
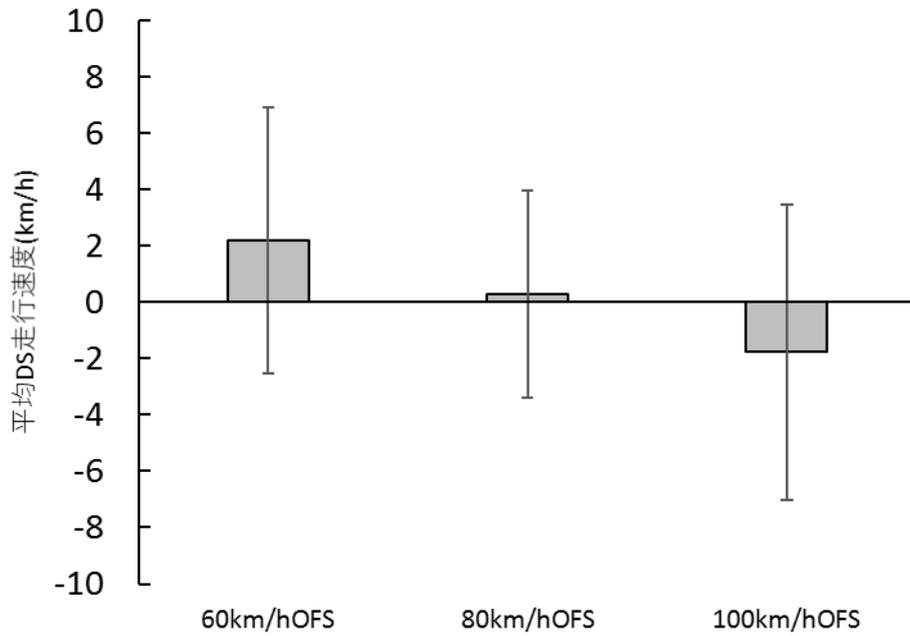
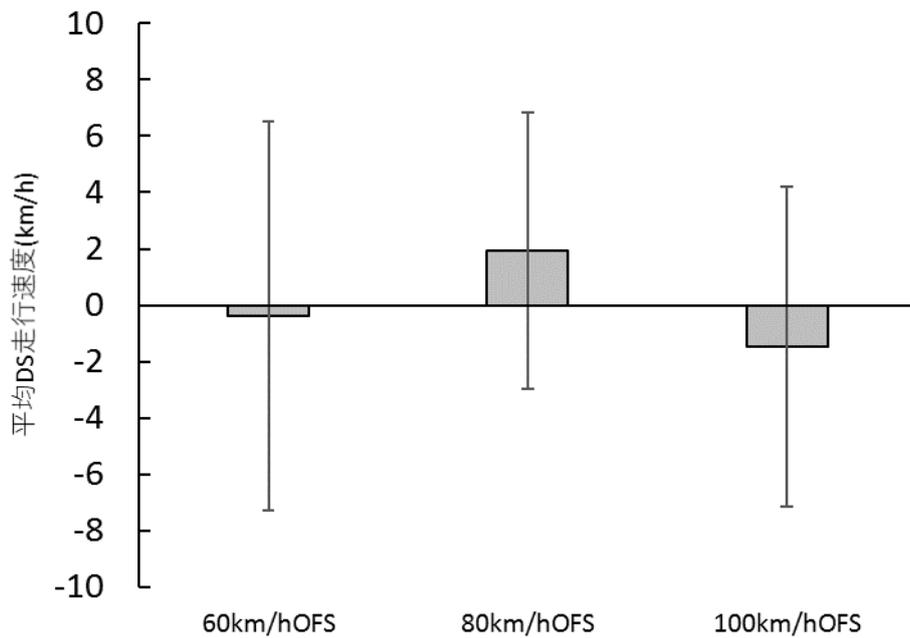


図 4.4 DS 走行速度の時間的推移



※図中の縦棒は、標準偏差 (SD) を示す。
A:OFS 有り20秒間 (前半部分)



※図中の縦棒は、標準偏差 (SD) を示す。
B:OFS 無し20秒間 (後半部分)

図 4.5 平均 DS 走行速度

4.4.4. 実験参加者ごとの DS 走行速度の回帰線傾きに着目した分析

DS 走行速度の回帰線の傾き（20 秒後に見込まれる走行速度の平均）に着目した分析を行った。まず、実験参加者各々の DS 走行速度の変化を、「OFS 呈示有り 20 秒間」と「OFS 消失後 20 秒間」についてそれぞれ回帰式の傾きを求めた。OFS 呈示有り 20 秒間は、OFS 呈示が開始された地点(分析区間 0 秒地点)の DS 走行速度を基準点(0km/h)として傾きを算出した。OFS 消失後 20 秒間は、OFS が消失した地点(分析区間 20 秒地点)の DS 走行速度を基準点(0km/h)として傾きを算出した。次に、実験参加者各々の DS 走行速度の回帰線の傾きについて、実験参加者 9 名（アクセルワークが特異であった実験参加者 1 名を除外）の平均を求めた。なお、OFS 刺激速度 3 条件（OFS60km/h, OFS80km/h, OFS100km/h 条件）と統制条件の傾きについてそれぞれ求めた。その結果を図 4.6 および図 4.7 に示す。

統制条件の傾きと、OFS 刺激速度 3 条件(OFS60km/h, OFS80km/h, OFS100km/h 条件)それぞれの傾きについて、ワンサンプル t 検定を行い、傾きの値の違いについて検討した。なお、OFS 刺激速度 3 条件の傾きと比較した値は、統制条件の傾き（OFS 呈示有り 20 秒間：-0.029, OFS 消失後 20 秒間：0.029）であった。ワンサンプル t 検定を行った結果を、表 4.2 に示す。表 4.2 より、統制条件の回帰線の傾きに DS 走行速度の回帰線の傾きと比べて有意な差もしくは有意傾向が認められたのは、いずれも OFS60km/h 条件時であった。OFS60km/h 条件時の OFS 呈示有り 20 秒間に着目すると、傾きが 0.33 であり、20 秒間呈示した場合には平均で 6.7km/h の速度増加が見込まれる傾向があることが明らかになった。その一方で、OFS60km/h 条件時の OFS 消失後 20 秒間に着目すると、傾きが-0.62 であり、20 秒間呈示した場合には平均で-12.4km/h の速度低下が見込まれることが明らかになった。

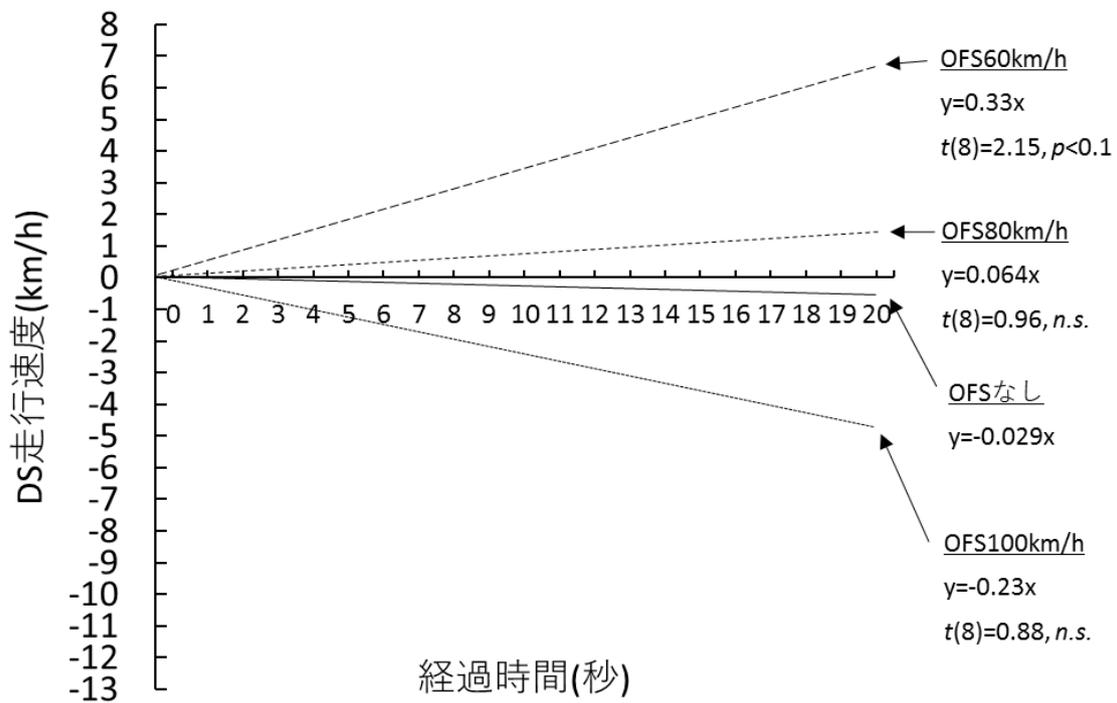


図 4.6 走行速度回帰線の平均傾き (OFS 呈示有り 20 秒間)

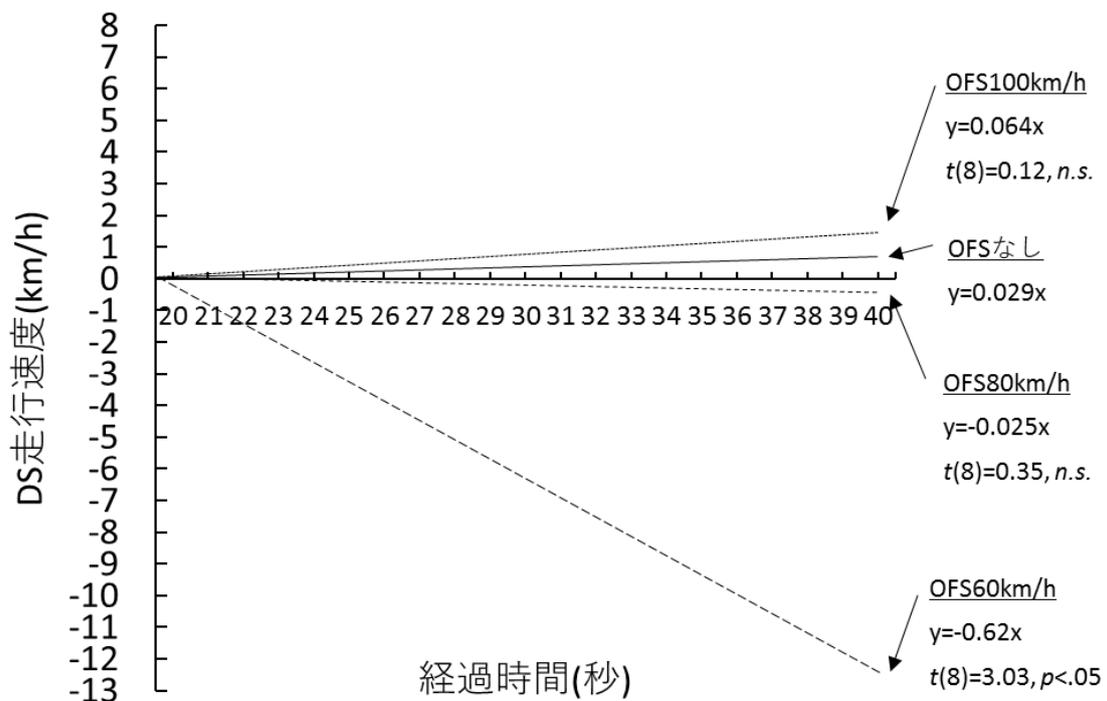


図 4.7 走行速度回帰線の平均傾き (OFS 消失後 20 秒間)

表 4.2 走行速度回帰線の傾きについて行ったワンサンプル t 検定の結果表

	OFS 移動速度 60km/h	OFS 移動速度 80km/h	OFS 移動速度 100km/h
OFS 呈示有り 20 秒間	有意傾向有り $t(8)=2.15, p<0.1$	有意差なし $t(8)=0.96, n. s.$	有意差なし $t(8)=0.88, n. s.$
OFS 消失後 20 秒間	有意差有り $t(8)=3.03, p<.05$	有意差なし $t(8)=0.35, n. s.$	有意差なし $t(8)=0.12, n. s.$

4.5. 実験 2 の考察

実験 2 では、ドライバの速度調整に焦点を当て OFS の影響を検討した。図 9 の OFS 呈示なし条件の結果より、実験参加者によって個人差はあるものの、ある程度正確に 80km/h の速度を保つことができたと考えられる。DS で実験参加者に求めた目標速度は、全て 80km/h であったことから、ドライバ視点映像の周囲に呈示した OFS が速度調節に影響を与えない場合には、走行速度は概ね 80km/h を保つはずである。OFS が呈示された前半部分の平均 DS 走行速度を見ると、前半部分で速度変化が見られた実験参加者がいたため、OFS は速度調節に何らかの影響を与えていたと考えられるが、ほとんど影響を受けなかった実験参加者もいたため、有意な主効果は見られなかった。OFS が呈示されなかった後半部分でも同様の結果となった。これは、実験参加者ごとに走行速度の OFS からの影響の受け方に違いがあったためと考えられる。実験参加者それぞれの走行速度の推移に着目すると、実験参加者 E のように、OFS の影響を受け難いドライバがいた。また、この 2 人の間でも速度を維持するための方略が異なっていたと考えられる。実験参加者 E は走行速度がほぼ一定でありアクセル操作が大きく変化していないと考えられる。実験参加者 E とは対照的に、実験参加者 H と C は OFS の影響が生じた可能性が考えられる。ドライバには、周囲の場（本研究の OFS）の影響にとらわれやすい場-依存的な人格特性と、とらわれない場-独立的な人格特性が、運転中の感覚・知覚に影響を及ぼすことが報告されている (Cavallo, Berthelon, Mestre, & Pottier, 1998)。以上のように、速度調整といったドライバの行動には、運転方略の違いや人格特性などの様々な要因が考えられるため、OFS が速度調整に及ぼす影響は相対的に小さかったと推察される。今後、OFS による速度評価の変化は、どのような特性や要因と関連があるか検討する必要がある。また、実験 2 では

OFS の速度制御に与える影響を明らかにするために OFS 呈示終了後から 20 秒間の走行速度を分析対象としたが、OFS 呈示終了から 20 秒以降の走行速度にも OFS の影響があると考えられることから、今後検討する必要がある。さらに、DS の走行速度調整は、アクセルの踏み込みを調節することで行われていた。本実験で使用したアクセルペダルは、実車と異なり簡易的なものであったため、足首を固定しアクセルに対する踏力を一定にすることで 80km/h を維持していた可能性がある。これらの事象については、アクセルの操作性を実車に近づけるなどの手法を検討する必要がある。また、視野を制限することによってドライバの速度推定が変化することも報告されていることから(Osaka, 1988)、OFS を呈示する面積についても検討する必要がある。さらに、実験 1 において OFS 呈示位置条件を除いた OFS 移動速度条件のみの評価速度について多重比較を行った結果、80km/h より早い OFS と呈示した場合に比べて 80km/h よりも遅い OFS を呈示した場合の方が、有意に評価速度をさせていた。同様の結果が、実験 2 では見受けられなかったが、今後検討していくべき課題であると考えられる。

本研究では、ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示することを前提として検討を行った。しかし、今後の法改正によってウィンドシールドガラス上に OFS を呈示することが可能になれば、より実車への搭載可能性が高まると考えられる。実車への搭載が可能になった場合、ドライバが選択する走行速度は、道路環境や周辺状況によって変化するため、走行速度の変化によって OFS の呈示速度も変化させる必要がある。また、実験 1 では 20 秒間の映像全体に対する速度評価の評価を得たが、OFS の呈示によって速度評価が時系列的にどのように変化したか明らかになっていない。そのため、OFS による時系列的な速度評価の変化についても今後検討することが求められる。

実験 2 では、OFS によって DS 走行速度が変化したと考えられる実験参加者も数名いた。サグ部の速度回復についてアダプティブクルーズコントロール (Adaptive Cruise Control ; 以下, ACC) に着目した研究が行われている(鈴木一史, 山田康右, 堀口良太, & 岩武宏一, 2015)。その結果, ACC 車混入率が 10%になると, 渋滞緩和効果が約 55%以上見込めると示している。この先行研究より, 交通流の中で, OFS によって走行速度が速くなるドライバが一部であっても, OFS による渋滞緩和効果が期待できる可能性がある。

4.6. 第4章のまとめ

本章では、OFS がドライバの速度選択行動にどのような影響を与え得るのか、また影響を与えるとすればどの程度の速度選択行動の変化が起こり得るのかについてDS実験を行うことで検討した。その結果、OFS がドライバの周辺視野に呈示されることによって、ドライバの速度選択行動が変化することが明らかになった。具体的には、DSドライバ視点映像よりも速度の遅いOFS が呈示されると、DS 走行速度が速くなる傾向にあることが明らかになった。その一方で、DSドライバ視点映像よりも速度の速いOFS が呈示されると、有意な差が認められなかったが、DS 走行速度が遅くなる傾向になることが示唆された。

5. OFS がドライバの速度評価に与える時系列的な影響と OFS 呈示時間の検討【実験 3】

5.1. 第5章の概要

本研究で、OFS 呈示中および OFS 消失後の主観的な走行速度の時系列変化を明らかにすることにより、ドライバの走行速度に応じて OFS の移動速度を調整するなど、より適切な OFS の呈示方法に関する基礎的な知見を得られる可能性がある。そこで本研究では、ドライバ視点映像の周囲に呈示された OFS が、ドライバが感じる速度評価へもたらす時系列的影響について検討する。

なお、第5章は、ヒューマンファクターズ 24 巻 2 号（印刷中）に掲載される「ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度評価に与える時系列効果」に記載されている内容を基に論じている(伊藤輔 et al., 2019b)。

5.2. 目的

本研究では、ドライバ視点映像の周囲に呈示された OFS が、ドライバが感じる速度評価へもたらす時系列的影響について検討する。

5.3. 実験3の方法

高速道路走行時のドライバ視点映像が速度評価に及ぼす影響に関する実験を行った。走行速度が 80km/h のドライバ視点映像の周囲に速度の異なる OFS を呈示した際、実験参加者の速度評価が時系列でどのように変化したかを検討した。

5.3.1. 実験3に使用した OFS 及び高速道路ドライバ視点映像の仕様

図 5.1 に、呈示した OFS 画面を示す。まず、中央部分にドライバ視点映像を呈示し、その周囲に OFS を呈示した。ドライバ視点映像は、自動車に設置したハイビジョンビデオカメラ（解像度 1920×1080 ピクセル、フレームレート 30fps、水平画角約 50 度）で撮影した。ビデオカメラの設置場所は、ドライバの視線に近い映像となるように、地上 110cm、車両の中心から右に 25cm の位置とした。撮影時の走行速度は 80km/h

で、天候は晴れであった。撮影した道路は片側二車線の高速道路とし、走行車線は第一通行帯とした。走行状態は、自由走行に支障のないオープンロード状態であった。

ドライバ視点映像は、同じ映像が連続的に呈示されるループ映像とした。まず、評価速度に影響し得る要因を統制するため、勾配の変化がなく、追い越し車両がない直線走行部分(約 1 秒)を切り出した。評価速度に影響し得る標識や照明類についてはフレームごとに消去し画像処理した。次に、ループ映像の結合部分に映像処理を行うことで、実験参加者が映像に対して違和感を感じないようにした。最後に、全体のドライバ視点映像が約 5 分になるよう、1 秒の映像を 300 秒分映像を連続させた。なお、本実験では音の影響を排除して検討を行うため、走行音は発生させなかった。

OFS は、ドライバ視点映像の消失点から、あたかもセンターラインの破線が続いているように見えるように、ドライバ視点映像を基に作成した。なお、OFS は人工的なオプティカルフローによって主観的な速度評価や、DS 走行速度が変化する可能性があることを示した実験 1 や 2 に用いた刺激と同様の刺激であった。まず、ドライバ視点映像の道路消失点から外側(下部)に向かって放射状に 5 本の OFS を等間隔になるように作成した。OFS の長さは、5 本のうち中心の OFS を 10.3cm にし、この線を基準に縦方向の長さが同様になるように他の OFS も設定した。OFS の色彩は、道路上の中央破線の塗装と同様に白色で作成した。OFS の背景色は、ドライバ視点映像の平均的な路面色(R60, G60, B60)とした。OFS の移動速度は、3 条件(60km/h 相当, 80km/h 相当, 100km/h 相当)であり、ドライバ視点映像上の路面に塗装された白線の移動速度と同様になるよう設定した。OFS の呈示時間は、4 条件(5 秒, 10 秒, 15 秒, 20 秒)であった。OFS の呈示周期は、いずれの OFS の移動速度条件でも 0.5 秒ごとに 1 回とした。

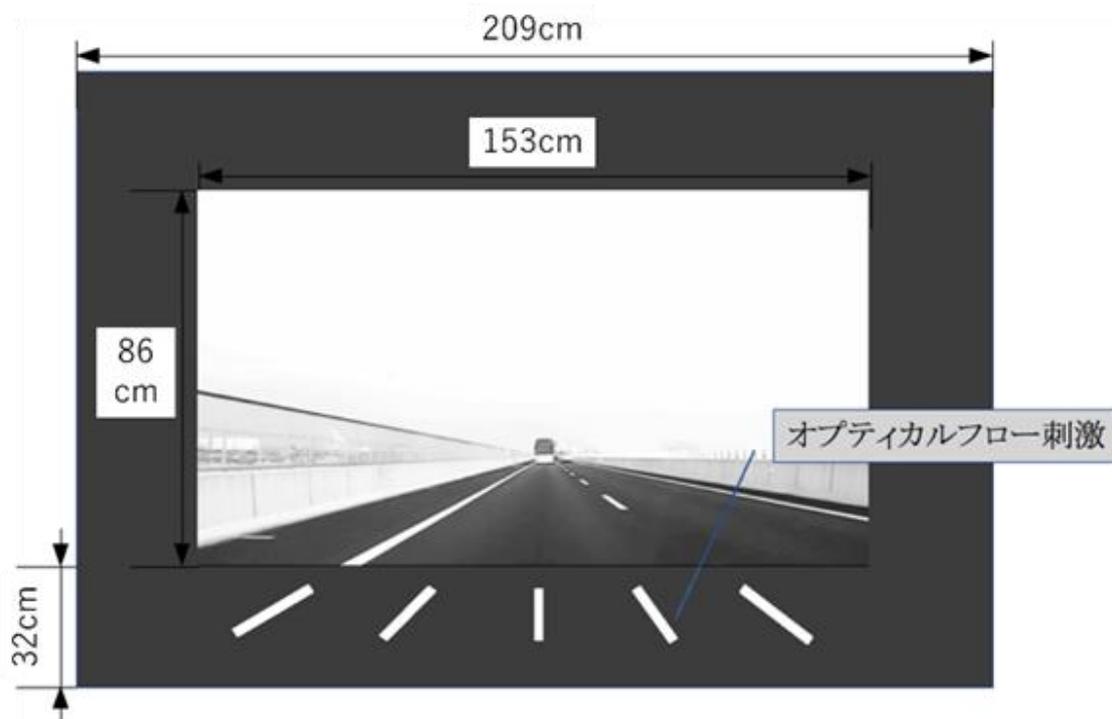


図 5.1 オプティカルフロー刺激画面

5.3.2. 実験環境及び実験装置

図 5.2 に、実験 3 の実験環境の概略図を示す。ドライバ視点映像および OFS は、プロジェクタ(Panasonic, TH-LB60NT)で 100 インチスクリーンに呈示した。実験参加者は、スクリーンに呈示されたドライバ視点映像が実際に運転時の面角に可能な限り近くなる位置に着座した。スクリーンから実験参加者のアイポイントまでの距離は約 180cm であった。実験参加者の前には、速度評価を評価するためのジョイスティック(CHProducts, FlightStickPro)を設置するため、机(高さ 70cm)を設置した。

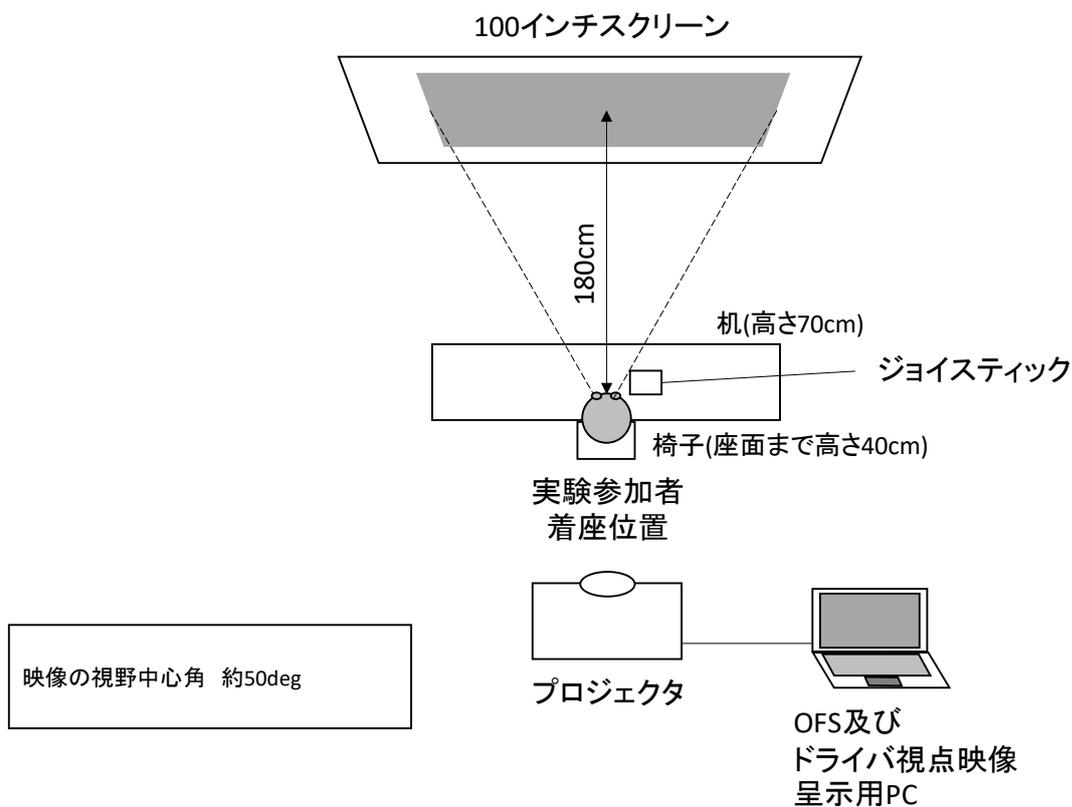


図 5.2 実験 3 の実験環境

5.3.3. ジョイスティックによる時系列的速度評価の評価方法

本実験では、実験参加者の感じるドライバ視点映像の評価速度をジョイスティックを用いて測定した。図 5.3 に実験 3 に使用したジョイスティックを示す。ジョイスティックは、左右に傾けることができないように固定した。ジョイスティックから手を離れた状態（以下、ニュートラル位置）では、評価速度が 80km/h、一番奥まで倒した場合は、110km/h、一番手前まで倒した場合には 50km/h と教示した。なお、ジョイスティックは、ニュートラル位置でフォースフィードバックがある仕様であったため、実験参加者は評価時にニュートラル位置よりも奥に倒しているのか、手前に倒しているのかを把握可能であった。ジョイスティックの操作値は、MATLAB および Psychtoolbox を用いて評価速度を 20Hz で記録した。実験後、書き出された評価速度の記録をもとに分析を行った。



図 5.3 実験 3 に使用したジョイスティック

5.3.4. 速度評価時系列的評価の実験手順

まず実験参加者には、実験の内容を説明し、実験参加の同意をとった。次に、ドライバ視点映像の速度評価をジョイスティックで評価してもらう実験であることを教示した。ドライバ視点映像への順応の影響を可能な限り排除するため、教示を開始してから本試行が終了するまで、常にスクリーン上にドライバ視点映像を呈示した。ジョイスティックの操作方法を教示後、ジョイスティックの操作に慣れてもらうため操作練習を行った。練習の際には、ジョイスティックを自由に傾けてもらい、その時点で何 km/h と評価しているのかモニターで確認できるようにした。次に、50km/h ドライバ視点映像と 110km/h ドライバ視点映像の速度を、評価する際の基準として記憶してもらった。なお、実験参加者には、ドライバ視点映像がそれぞれ 50km/h ドライバ視点映像と 110km/h ドライバ視点映像であったことを教示した。その後、練習試行を行っ

た。練習試行では、評価方法を説明したのちに本実験と同様の流れで行った。実験参加者が実験内容について理解したことを確認後に、本試行を行った。図 5.4 に実験の手順を示す。本試行は、OFS の移動速度 3 条件×OFS 呈示時間 4 条件と統制条件の計 13 試行であった（表 5.1）。試行順序は、統制条件も含め、全 13 試行をすべてランダムで実施しカウンタバランスを行った。

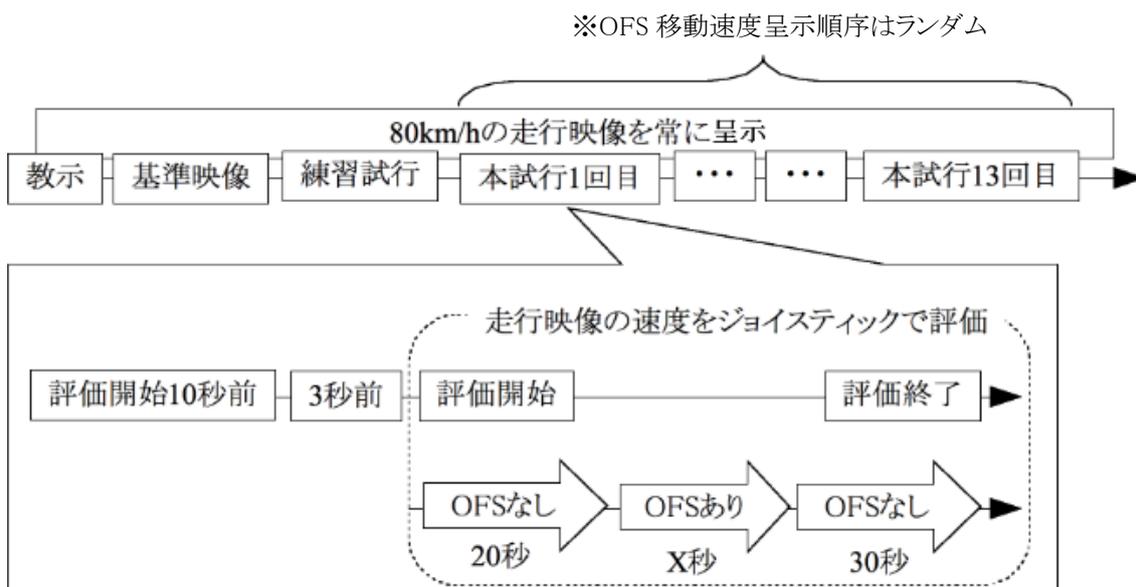


図 5.4 実験手順フロー

表 5.1 実験 3 の条件表

	基準 映像1	基準 映像2	条件 1	条件 2	条件 3
映像の走行速度 (km/h)	50	110	80	80	80
OFS移動速度 (km/h)	なし	なし	60	80	100

呈示時間は5,10,15,20秒の4条件

1 試行の流れは、以下の通りである（図 5.5）。まず、評価開始の 10 秒前にドライバ視点映像の中心付近に、「姿勢を正しジョイスティックを握ってください」と呈示した。次に、評価開始 3 秒前からカウントダウンを行い、評価開始時には画面上に赤

い丸を呈示した。実験参加者は、赤い丸が呈示されたらジョイスティックで速度評価を開始した。評価が始まってから 20 秒間は、OFS を呈示せず、20 秒経過後に、OFS 呈示条件の場合はそれぞれの条件に従って OFS を呈示した。OFS 呈示が終了してから 30 秒間は、引き続き評価をするよう教示した。30 秒経過後に、「評価終了」と呈示されたら評価終了とした。試行間のインターバルは概ね 20 秒とし、その間もスクリーンにドライバ視点映像を呈示した。なお、ドライバ視点映像呈示中は実際に走っているような感覚で可能な限り第一通行帯の前方を見てもらうように教示した。また、評価開始の 10 秒前から赤い丸が呈示されるまでは 80km/h のドライバ視点映像であることを教示した。

練習および練習試行後...

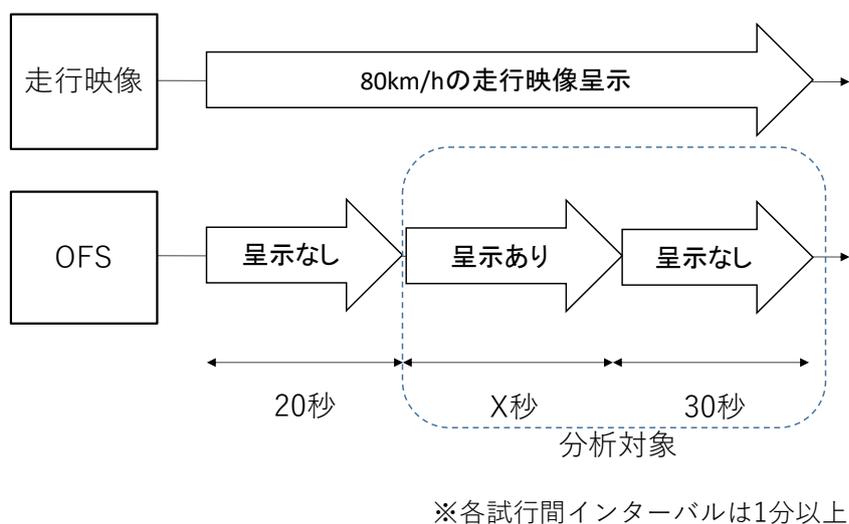


図5.5 実験3の1試行のフロー

5.3.5. 実験参加者の属性

実験参加者は、運転免許を持つ 26 名（男性 17 名、女性 9 名）とした。インフォームドコンセントを行った後プロフィールを収集し実験を実施した。年齢の範囲は 21～54 歳(中央値=25.5 歳)、運転免許取得後経過月数の範囲は 13～434 ヶ月(中央値=83 ヶ月)、総走行距離の範囲は 20～700,000km(中央値=5,000km)であった。

なお、本実験は、所属機関における倫理規定基準に則り実施した。

5.4. 実験3の結果

5.4.1. 統制条件時における平均評価速度の時系列的変化

図 5.6 に、OFS が呈示されない統制条件の評価速度の平均値を示す。横軸は経過時間(秒)、縦軸は評価速度(km/h)である。なお、図 5.6 縦軸の評価速度は 80km/h を基準(0km/h)としその増減を示すものとする。統制条件の評価速度は、徐々に 80km/h よりも低い速度であると評価された。

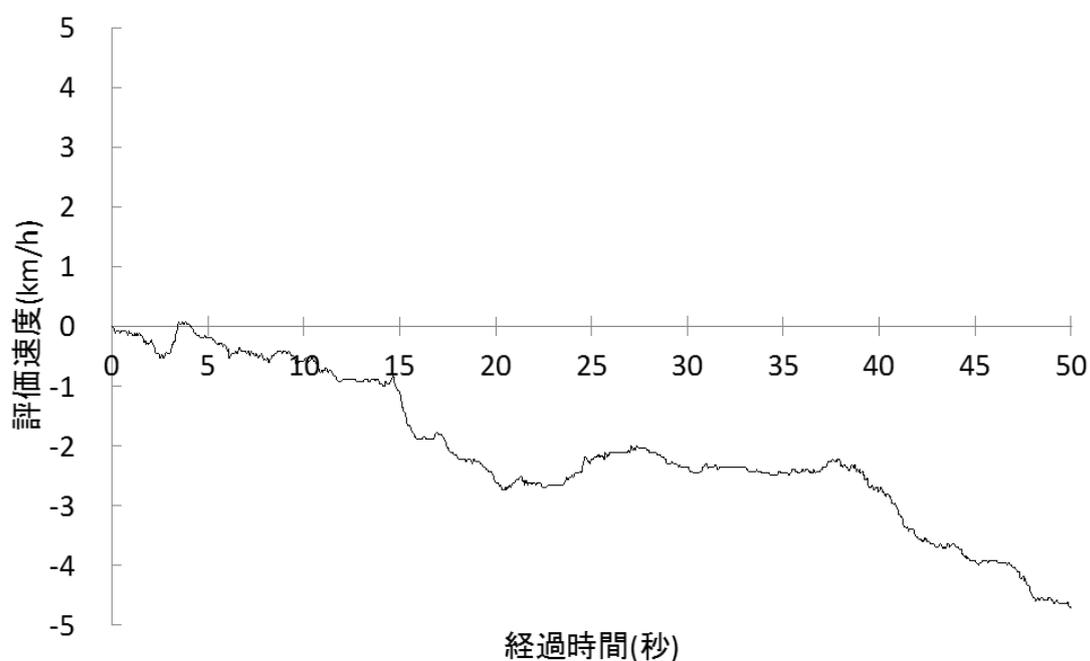


図 5.6 統制条件時における評価速度の結果

5.4.2. OFS 呈示開始から 5 秒間の評価速度に着目した分析

図 5.7 に、OFS の移動速度条件ごとの OFS 呈示から 5 秒間の評価速度の平均値を示す。図 5.7 の横軸は経過時間(秒)、縦軸は OFS 呈示開始時の評価速度を基準(0km/h)とし、その増減を示したものである。OFS が呈示されてからの 5 秒間のため、常に

OFS が呈示されている。いずれの OFS の移動速度条件においても、OFS が呈示されると徐々に 80km/h よりも高い速度であると評価された。OFS60km/h 条件は、OFS80km/h 条件と OFS100km/h 条件に比べて評価値の増加が緩やかであった。

図 5.5 の結果より、OFS の移動速度のどの条件下でもドライバ視点映像の主観的な走行速度が徐々に高く評価されたため、OFS 呈示時間 4 条件について評価速度の平均値をまとめて算出することにした。

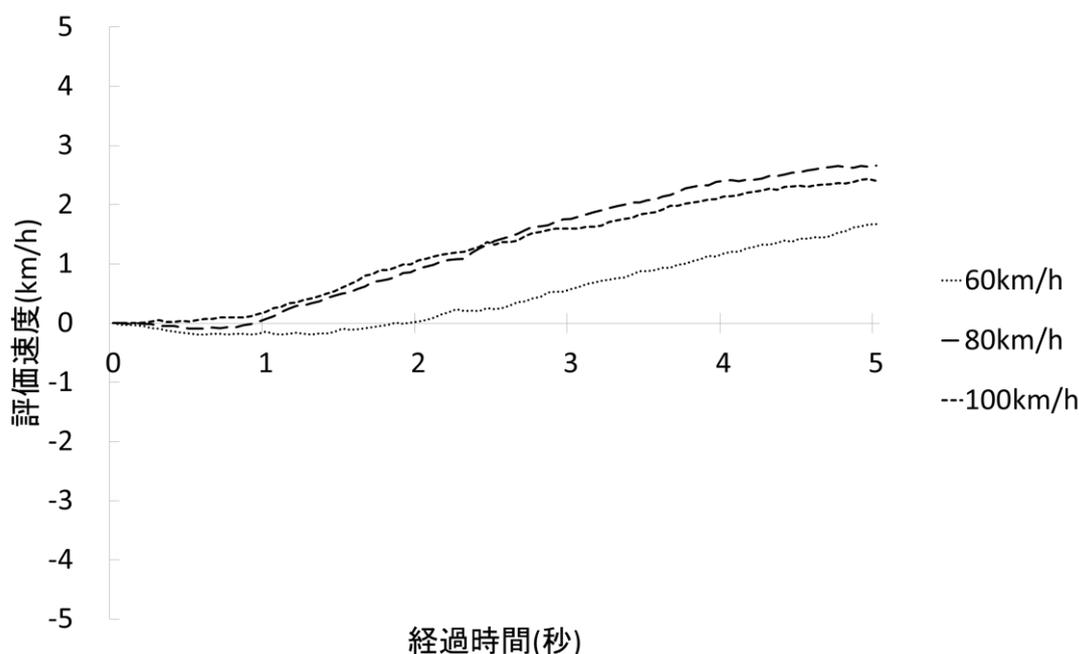


図 5.7 OFS の移動速度条件ごとの OFS 呈示から 5 秒間の評価速度の平均値

5.4.3. OFS 消失後 30 秒間の評価速度に着目した分析

図 5.8 に、統制条件および OFS 呈示時間条件ごとの OFS 消失後 30 秒間の評価速度の結果を示す。統制条件の評価速度は、速度順応により徐々に評価速度が低くなっていることが見て取れる。OFS が呈示された後の評価速度は、どの OFS 呈示時間条件でも、統制条件の評価速度よりも低くなっていることが分かる。その中で、OFS5 秒呈示条件では、それ以外の呈示時間条件よりも評価速度の低くなる程度がゆるやかであることが分かる。

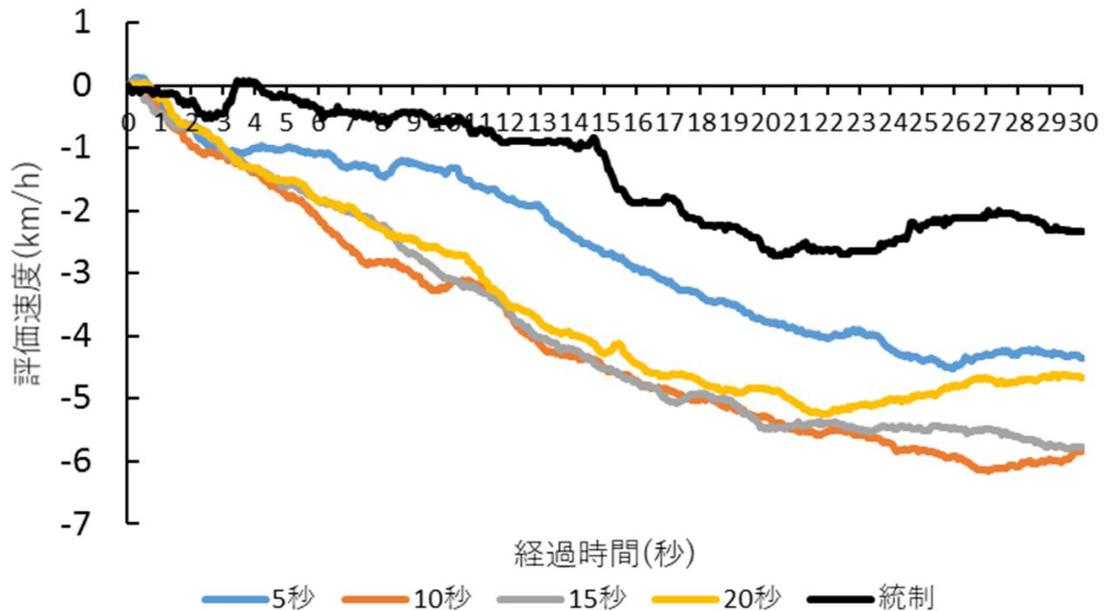
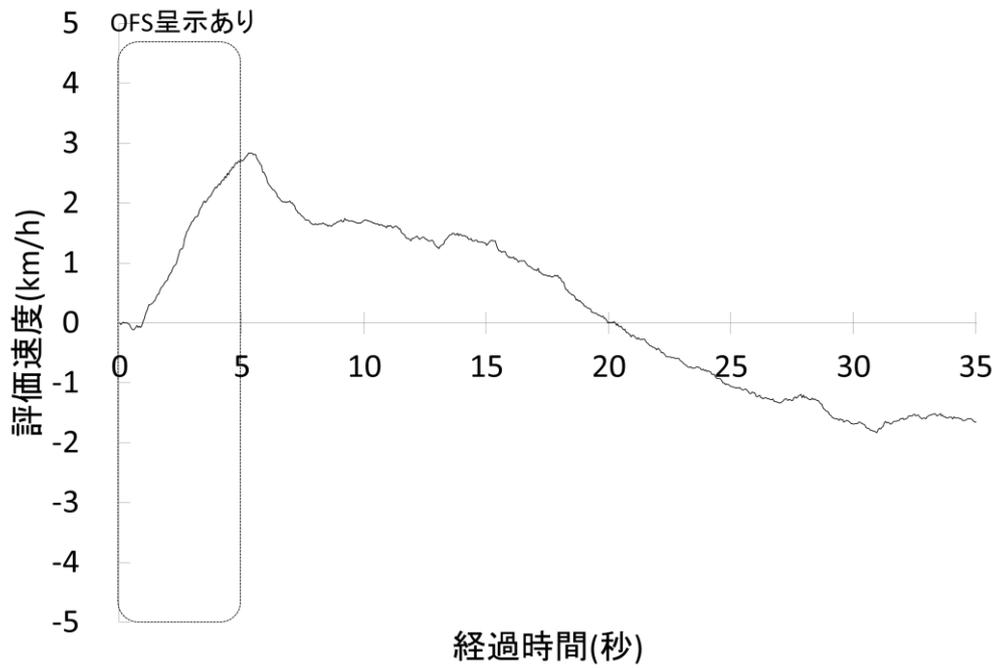


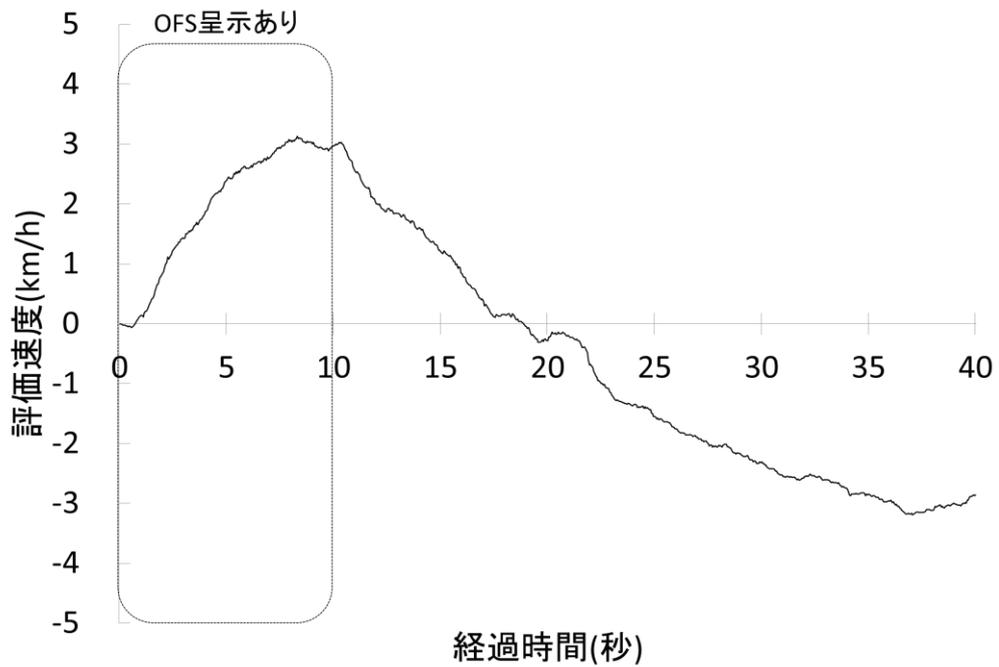
図 5.8 統制条件および OFS 呈示時間条件ごとの OFS 消失後 30 秒間の評価速度

5.4.4. OFS 呈示時間条件ごとの評価速度に着目した分析

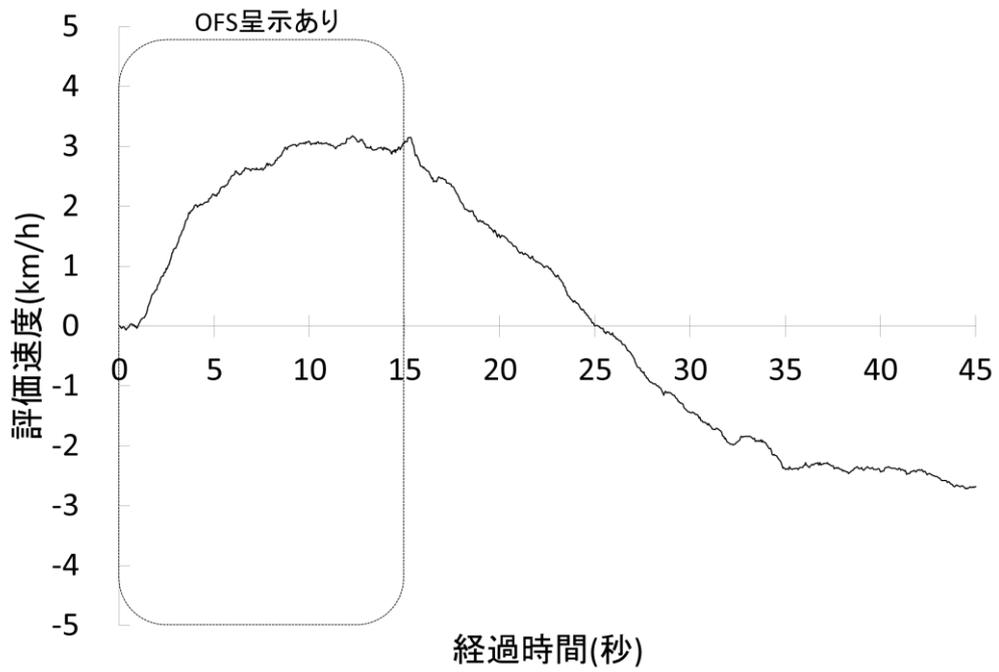
図 5.9 に、平均評価速度の時系列的推移の結果を示す。図 5.9-A は OFS5 秒呈示時、図 5.9-B は OFS10 秒呈示時、図 5.9-C は OFS15 秒呈示時、および図 5.9-D は OFS20 秒呈示時の結果である。図 5.9 の横軸は経過時間(秒)、縦軸は OFS 呈示開始時の評価速度を基準(0km/h)とし、その増減を示したものである。それぞれの図の点線で囲まれている部分は、OFS が呈示されていた。それ以外の部分は、OFS の呈示がなく 80km/h のドライバ視点映像のみが呈示されていた。全ての OFS 呈示時間条件について、OFS が呈示されている際（以下、OFS 呈示部分）は徐々に 80km/h よりも高い速度であると評価した。一方で、OFS 呈示が終了すると評価速度が低下し始め、一定時間が経過すると 80km/h よりも低い速度であると評価された。OFS 呈示が終了してから 80km/h に戻る時間は、OFS5 秒呈示時で 14.0 秒、OFS10 秒呈示時で 13.9 秒、OFS15 秒呈示時で 10.7 秒、OFS20 秒呈示時で 10.7 秒であった。



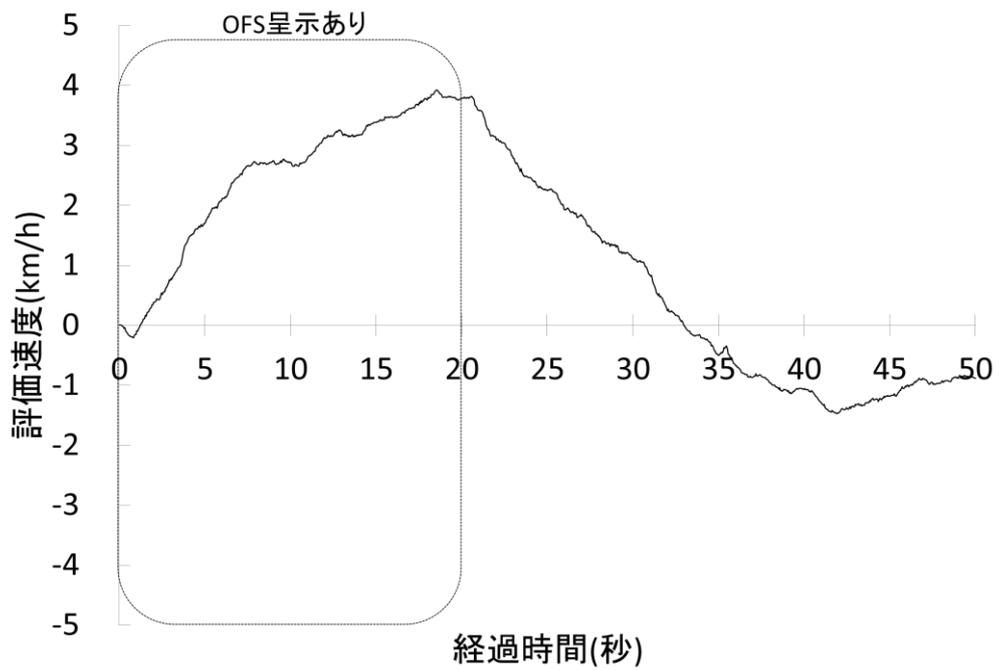
A OFS5 秒表示条件



B OFS10 秒表示条件



C OFS15 秒表示条件

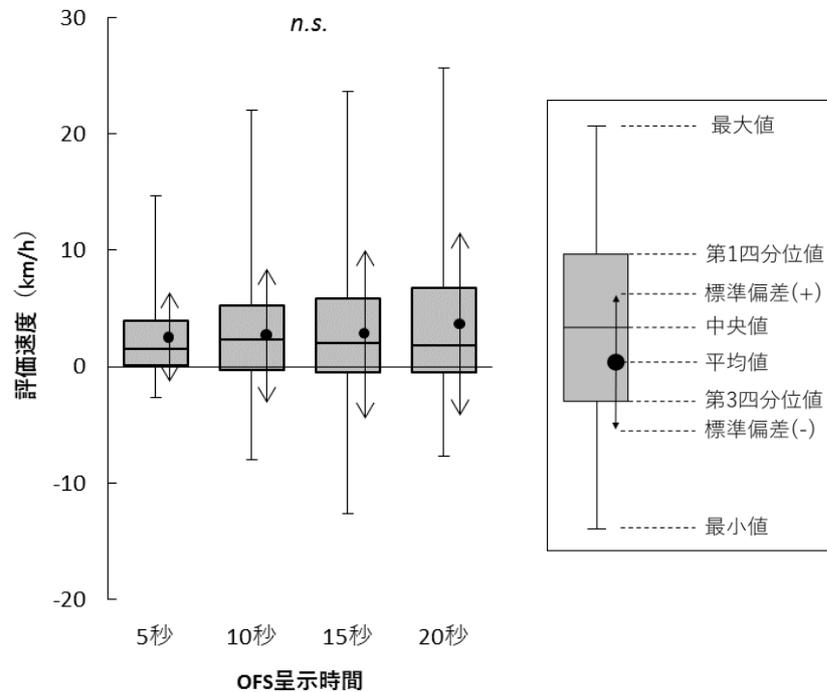


D OFS20 秒表示条件

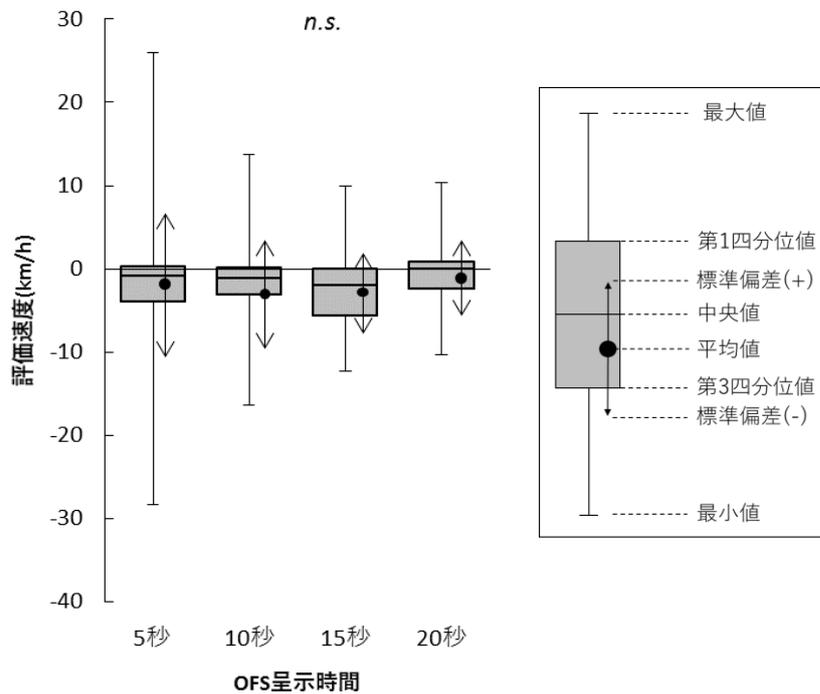
図 5.9 OFS 表示時間条件ごとの評価速度の平均値

5.4.5. 平均評価速度の定点比較に着目した分析

図 5.10 に、OFS 呈示終了時および OFS 消失 30 秒後の評価速度の分布を示す。なお、図 5.10 縦軸の評価速度は OFS 呈示開始時の評価速度を基準(0km/h)としたものである。図 5.10-A の OFS 呈示終了時の分布を見ると、OFS 呈示時間が長くなると評価速度の分布が広がることが見て取れる。平均値に着目すると、いずれの OFS 呈示時間条件でも、OFS 呈示終了時には映像の主観的な速度が 0km/h よりもプラスになっている。その一方で、図 5.10-B の OFS 消失 30 秒後の分布を見ると、OFS 呈示時間が長くなると評価速度の分布が狭くなることが見て取れる。平均値に着目すると、いずれの OFS 呈示時間条件でも、OFS 呈示終了時には映像の主観的な速度が 0km/h よりもマイナスであった。なお、OFS 呈示時間条件間における評価速度について、1 元配置 4 水準の分散分析を行ったが、OFS 呈示終了時および OFS 消失 30 秒後のいずれも、有意な差は認められなかった (OFS 呈示終了時： $F(3, 25)=0.55, n.s.$, OFS 消失 30 秒後： $F(3, 25)=0.92, n.s.$)。



A OFS 呈示終了時



B OFS 消失 30 秒後

図 5.10 評価速度の分布

5.5. 実験3の考察

本実験で使用したドライバ視点映像の速度は、全て 80km/h であったことから、ドライバ視点映像の周囲に呈示した OFS による効果がない場合には、図 5.6 の結果と同様に徐々に 80km/h よりも低くなるはずであるが、図 5.9 の結果より、OFS が呈示されると、いずれの OFS の移動速度条件下でも徐々に 80km/h よりも高い速度であると評価された。この結果より、実験参加者の周辺視野に呈示された OFS が、中心視野付近に呈示されていたドライバ視点映像の速度評価を変化させたと考えられる。これは、ドライバの周辺視野に、ドライバ視点映像のオプティカルフローよりも移動速度の速い OFS が呈示されたため、あたかもドライバ視点映像の走行速度が高くなったとドライバが知覚したためと考えられる。しかし、80km/h のドライバ視点映像よりも移動速度が低い OFS が呈示されても、評価速度が低くならなかった。その理由は幾つか考えられる。第一に、実験参加者が実際にドライバ視点映像に対して感じていた速度は 80km/h よりも低かった可能性がある。ドライバ視点映像の走行速度は 80km/h であっ

たが、実験参加者がドライバ視点映像に速度順応してもらう目的で、実験開始時から常にスクリーン上に呈示し実験参加者に注視してもらっていた。そのため、実験参加者がドライバ視点映像に十分に速度順応していた可能性が考えられる。第二に、本実験で用いたドライバ視点映像は、速度評価の手がかりになるような景色の流れが少なかつたため、実際の速度よりも低く感じられたものと考えられる。第三に、OFS に関する実験（実験 1,2）に用いたドライバ視点映像の画角よりも小さい画角であったと考えられる。そのため、60km/h の OFS が呈示された場合でも、ドライバ視点映像の速度が 60km/h と感じていた場合には、ドライバ視点映像と同等の速度の OFS が呈示されていたことになる。多くの実験参加者は OFS が呈示されると主観的な走行速度を高く評価したが、一部の実験参加者はドライバ視点映像よりも移動速度が低い OFS が呈示されると主観的な走行速度を低く評価した。これは、ドライバ視点映像の元々の評価速度が実験参加者によって異なっていたためと考えられる。

図 5.9 から分かる通り、OFS が呈示されている間の平均評価速度は、徐々に 80km/h よりも高い速度であると評価された。OFS 呈示が終了すると、評価速度は徐々に低く評価され、図 5.9 のように OFS 呈示開始時の評価速度よりもマイナスに評価されることが明らかになった。これは、OFS が呈示されている間はドライバ視点映像の評価速度が高くなったが、OFS の呈示が終了したことにより、ドライバ視点映像の速度が低くなったと感じたためと考えられる。この結果は、オプティカルフローを用いた速度制御刺激をドライバに呈示した場合に、主観的な走行速度が時系列的にどのように変化するかを検討したことで得られた事象であり、今後の速度制御研究に有用な結果であると考えられる。

本研究で得られた結果より、OFS が呈示されると主観的な平均走行速度が OFS 呈示開始時よりも高くなることがわかった。例えば高速道路上の長い下り坂では、法定速度超過にならないよう、OFS のような速度制御刺激を用いることが有効であると考えられる。しかし、OFS 呈示時間が長いとドライバが感じる主観的な走行速度の分布が広がることが明らかになった。これは、個人差があるためと考えられる。交通流を考えると、OFS のような速度制御刺激が呈示されると、ドライバによって選択する走行速度の分布が広がる可能性がある。その一方で、図 5.10-B の結果のように、OFS 呈示時間が短いと、OFS 消失後の走行速度の速度選択の分布が大きくなり、交通流では悪い影響を与えかねない。また、トンネルの側面にシークエンスデザインを塗装し速度抑制効果について検討した研究では、同じ模様が 8.8 秒繰り返し出現すると、ド

ライバの飽きの現象が現れていることが報告されている(足立幸郎 et al., 2010). そのため、今後、OFS のようなオプティカルフローを用いた速度制御刺激を呈示する場合には、呈示している間の走行速度に着目することはもちろんのこと、本研究のように呈示が終了した後の走行速度について、呈示時間と併せて検討する必要がある。この事象をさらに検討すべく、本実験ではOFS呈示後30秒後までを分析の対象としたが、今後はOFS呈示後の分析時間の範囲を広げて検討することも必要である。さらに、ドライバの走行速度に応じてOFSの移動速度を調整し、速度制御刺激をより効率的に呈示可能なシステムについても検討が必要である。

5.6. 第5章のまとめ

本章では、ドライバ視点映像の周囲にOFSを呈示した場合にドライバが感じる速度評価への時系列的影響について検討した。その結果、OFSが呈示されている間は主観的な走行速度が徐々に高くなった。その一方で、OFSの呈示が終了すると主観的な走行速度が徐々に低くなるだけでなく、OFS呈示開始時よりも低く評価されることが明らかになった。また、OFSの呈示時間の長さによって、OFS呈示終了時や、OFS消失30秒後の主観的な走行速度の分布の広がり異なる可能性が示唆された。そのため、今後は主観的な走行速度の時系列変化や分布に着目しながら、ドライバの走行速度に応じてOFSの移動速度を調整するなど、より適切なOFSの呈示方法について検討する必要がある。

本研究から得られた知見は、自動車運転中のドライバの周辺視野に呈示したOFSにより、自動車運転席の構造を含めた安全な交通インフラの構築に寄与するものであると考える。

6. 総合考察

6.1. 新方策の OFS はドライバにどのような効果をもたらすのか

本論文では、自動車内に呈示することを想定した OFS をドライバに呈示することにより、自動車の走行速度を制御することが可能かどうかを検討するため 3 つの実験を行った。また、その過程において、ドライバの走行速度評価や DS 速度がどのように変化するかという基礎的な知見を積み重ねてきた。このような基礎的な知見の積み重ねは、新しい方策である OFS に限らず、オプティカルフローを用いた速度制御刺激に関する研究や応用事例にも有用な知見であると考えられる。

6.1.1. OFS が速度評価に与える影響と適切な OFS 移動速度及び呈示位置

まず初めに、ドライバの周辺視野に新しい方策である OFS を呈示することにより、ドライバの主観的な速度評価が変化するか等について知見を得る必要があった。そこで実験 1 (第 3 章) では、ドライバの主観的な速度評価が変化するか、またその変化の量はどの程度かについて検討した。実験では、主観的な速度評価が変化し得る適切な OFS 移動速度や OFS 呈示位置について検討すべく、OFS 移動速度や OFS 呈示位置を独立変数として扱い、実験参加者の VAS による速度評価を従属変数として扱った。

実験 1 において速度評価の対象としたドライバ視点映像の走行速度は、全て 80km/h であったため、仮にドライバ視点映像の周囲に呈示した OFS の効果がないと、評価速度は常に約 80km/h となるはずである。しかし、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が呈示された際は、主観的な速度評価が速く評価された。その一方で、ドライバ視点映像よりも移動速度の遅い OFS が呈示された際は、主観的な速度評価が遅く評価された。この結果から、実験参加者の周辺視野に呈示された OFS が、中心視野付近に呈示されたドライバ視点映像の速度評価に影響を及ぼしたと考えられる。ドライバは、周辺視野に疑似的なオプティカルフローを呈示されることによって、視覚的な速度評価の手懸りが与えられ、その疑似的な速度評価の手懸りが、中心視野付近に呈示されたドライバ視点映像の評価速度が速くなった理由であると考えられる。実験 1 で得られたドライバ視点映像に対する速度評価の結果では様々な個人差が認められた。この個人差は、OFS が視覚的な速度評価の手懸りに及ぼす影響度合いや OFS 等の参照枠の捉え方等によって生まれていると考えられる。このような速度評価に係る個人差については、「6.2」で述べることにする。

OFS 移動速度についての知見も実験 1 の結果より得られた。ドライバ視点映像の走行速度の±20km/h を上限/下限として条件を設定して速度評価の変化について検討を行った結果、評価速度は±5km/h 程度の変化が見られた。これは、ドライバの周辺視野に呈示された OFS がドライバの速度評価を変化させ得る OFS の適切な移動速度が確認できた結果と言える。

OFS 呈示位置についての知見も実験 1 の結果より得られた。OFS がドライバ視点映像の周囲（上部、下部、左部、右部）のどこに呈示することが求められるのかについても検討を行った結果、OFS の呈示位置による速度評価に有意な差は認められなかった。これは、あくまでも実験室での実験において、ドライバ視点映像の周囲に OFS が呈示された場合に限られる結果であるとも考えられる。しかし、実際の自動車における OFS 呈示箇所を考慮すると、ボンネット部分やインパネ付近に OFS を呈示できる可能性が他の箇所に比べて高いことや、新しい技術により、ヘッドライトの光によって路面上に速度制御に関わる刺激を呈示できることを考慮すると、今後は下部呈示に着目して検討を行うことが必要であると結論付けた。

6.1.2. OFS が速度選択に与える影響

実験 1 の結果より、ドライバ視点映像の周囲に呈示した OFS が、ドライバの速度評価に変化を与えることが明らかになった。しかし、実験 1 で得られたドライバの速度評価の変化が、実際のドライバの速度選択（走行速度）の変化するまでに至るかどうかにについては明らかになっていない。そこで実験 2 では、DS ドライバ視点映像の周囲に OFS を呈示し、ドライバの DS 走行速度がどのように変化するかについて検討した。

実験 2 では、ドライバの周辺視野に新しい方策である OFS を呈示することにより、ドライバの速度選択が変化するか等について知見を得る必要があった。そこで実験 2（第 4 章）では、ドライバの速度選択が変化するか、またその変化の量はどの程度かについて検討した。実験 1 の結果より、独立変数である OFS 移動速度を 3 条件（60km/h 相当、80km/h 相当、100km/h 相当）に絞って実験を行った。従属変数は、DS 走行速度とした。

実験 2 では、指定された速度（80km/h）であると感じる速度で走行する課題を実験参加者に与えた。OFS が呈示されない統制条件の結果を見ると、時間が経過するにつ

れて徐々に DS 走行速度が低くなっていることが読み取れた。これは、実験参加者が DS のドライバ視点映像に順応した影響等が考えられる。その一方で、OFS が呈示されると、多くの実験参加者に速度変化が見られた。そこで、「OFS が呈示されている間（20 秒間）」の DS 走行速度と「OFS 呈示が終了してからの（20 秒間）」の DS 走行速度の推移（傾き）に着目して分析を行った。その結果、「OFS が呈示されている間（20 秒間）」では、60km/h 相当の OFS が呈示されると統制条件と比べて有意に DS 走行速度が速くなる傾向があることが明らかになった。しかし、100km/h 相当の OFS が呈示されると、OFS が呈示されない統制条件よりも DS 走行速度が遅くなる可能性が示唆されたものの、統計的な有意差は認められなかった。「OFS 呈示が終了してからの（20 秒間）」では、60km/h 相当の OFS が呈示された後、統制条件と比べて有意に DS 走行速度が遅くなることが明らかになった。しかし、80km/h 相当の OFS と 100km/h 相当の OFS では統制条件との有意な差は認められなかった。

OFS が呈示されることによって、条件は絞られるものの OFS が呈示されることでドライバ速度選択に影響があるという知見が得られた。具体的には、60km/h 相当の OFS が呈示されると走行速度が有意に速くなる傾向があることが認められたことから、OFS を呈示することによって自然渋滞の要因となる意図しない減速等を抑止できる可能性が考えられる。しかし、OFS 移動速度が変わっても DS 走行速度に大きな変化が見られない実験参加者も散見された。実験 2 で使用した DS のアクセルペダルは、非常に簡易的なものであり、操作感が実車と異なった可能性や、アクセル踏力を一定にすることで 80km/h を維持していた可能性がある。また、実験 1 で得られた OFS が視覚的な速度評価の手懸りに及ぼす影響度合いや OFS 等の参照枠の捉え方等によって生まれていると考えられる個人差や、速度選択に係る個人差が DS 走行速度へ影響を与えたと考えられる。この個人差については、「6.2」で述べることとする。

6.1.3. OFS による速度評価の時系列的变化に着目した検討

これまで実施してきた実験 1 及び実験 2 の結論より、OFS が呈示されることによってドライバの速度評価が変化し得ることやその変化に伴い一部条件においてドライバの速度選択も変化し得るという知見を得た。しかし、実験 1 では 20 秒間の映像全体に対する速度評価の評価を得たが、OFS の呈示によって速度評価が時系列的にどのよう

に変化したか明らかになっていない。また、実験 2 では時系列的に DS 走行速度を取得したが、アクセルを踏した際の減速度は DS の特性に依存するなど、ドライバの速度評価が時系列的にどのように変化したかを明らかにすることができていない。そこで、ドライバ視点映像の周囲に OFS が呈示されることによる主観的な速度評価の時系列変化についての知見を収集していく必要があると結論付けられた。そこで第 5 章では、ドライバ視点映像の周囲に OFS が呈示された場合の速度評価の時系列的变化について検討した。また、実験 3 では適切な OFS の呈示時間に関する知見を得るため、OFS 呈示時間条件を独立変数として検討を行った。さらに、OFS 移動速度も独立変数として検討を行った。

実験 3 の結果、OFS の呈示がない統制条件では時間が経過すると徐々に評価速度が低くなることが確かめられた。その一方で OFS が呈示された条件では、いずれの条件下においても OFS が呈示されている間は評価速度が徐々に高くなった。その一方で、OFS の呈示が終了すると評価速度が徐々に低くなるだけでなく、OFS 呈示開始時よりも低く評価されることが明らかになった。また、OFS の呈示時間の長さによって、OFS 呈示終了時の評価速度の下がり方や、OFS 消失 30 秒後の主観的な走行速度の分布の広がり異なる可能性が示唆された。なお、実験 3 においては、80km/h のドライバ視点映像よりも移動速度が低い OFS が呈示されても、評価速度が低くならなかった。その理由は幾つか考えられる。第一に、実験参加者が実際にドライバ視点映像に対して感じていた速度は 80km/h よりも低かった可能性がある。ドライバ視点映像の走行速度は 80km/h であったが、実験参加者がドライバ視点映像に速度順応してもらう目的で、実験開始時から常にスクリーン上に呈示し実験参加者に注視してもらっていた。そのため、実験参加者がドライバ視点映像に十分に速度順応していた可能性が考えられる。第二に、本実験で用いたドライバ視点映像は、速度評価の手がかりになるような景色の流れが少なかったため、実際の速度よりも低く感じられたものとする。第三に、OFS に関する実験（実験 1,2）に用いたドライバ視点映像の画角よりも小さい画角であったと考えられる。そのため、60km/h の OFS が呈示された場合でも、ドライバ視点映像の速度が 60km/h と感じていた場合には、ドライバ視点映像と同等の速度の OFS が呈示されていたことになる。多くの実験参加者は OFS が呈示されると主観的な走行速度を高く評価したが、一部の実験参加者はドライバ視点映像よりも移動速度が低い OFS が呈示されると主観的な走行速度を低く評価した。これは、ドライバ視点映像の元々の評価速度が実験参加者によって異なっていたためと考えられる。実

験3では、実験1,2と異なる実験環境にしたのは、できるだけ実際の運転環境に近付けるため大きいスクリーンに呈示することを検討したためである。またドライバ視点映像も、ドライバ視点映像に映り込む景色を可能な限り統制しようと映像加工を施した。これらの実験環境の変更が、実験1,2と異なる結果が得られた要因であると考えられる。その一方で、OFS呈示時間によってドライバの速度評価の変化に違いがある可能性が示唆された結果が得られたことは、オプティカルフローを用いた速度制御刺激の研究において非常に有用な知見であると考えられる。具体的には、OFS呈示時間が10秒以上になるとOFSの呈示が終了してからの速度評価の低下が、統制条件と比較して大きい結果が見られた。この結果より、OFS呈示1回当たりの呈示時間は5秒から10秒未満で検討することが望ましいと考えられる。

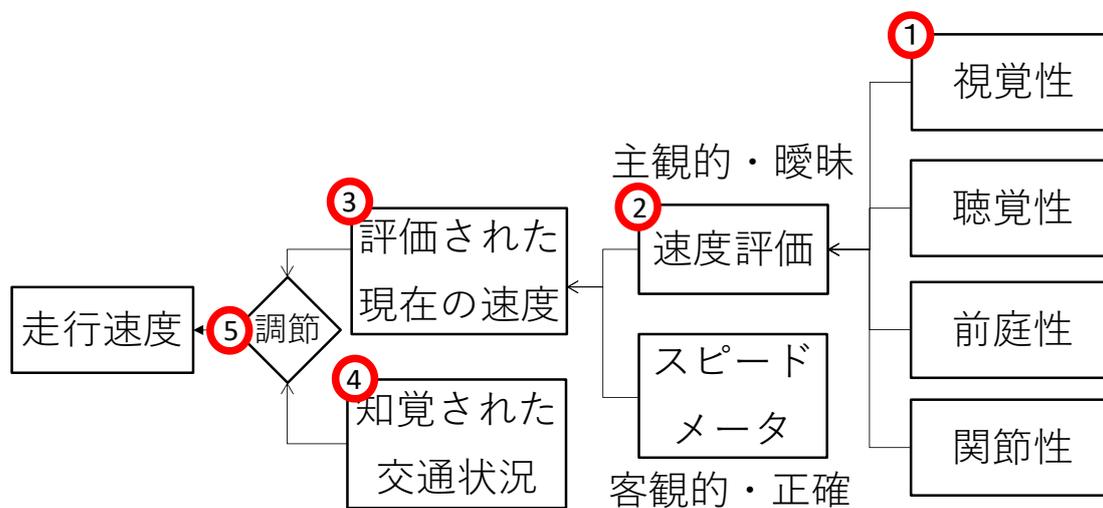
6.1.4. 従来のオプティカルフローを用いた研究とOFSの効果の比較

従来の方策で実証されている研究と、本論文で提案した新方策のOFSでの効果の違いについて検討した。従来の方策で実証されている研究としてデントンの研究を取り上げる(Denton, 1980)。デントンは、ランドアバウトに侵入する直前の直線路に、路面上にドライバに減速を促す塗装し、ランドアバウトに侵入していく車の走行速度の変化に着目した実験を行い、約20%程度の走行速度の低下が見られた。本論文で提案した新方策のOFSは、高速道路を模擬したDSによって実験検証をしたため、デントンの結果と単純な比較は難しいが、OFSを20秒間呈示すると平均で約6%程度走行速度が遅くなることが明らかになったことから、従来の方策で行われた研究と同様に、速度制御効果が見て取れる。その一方で、ドライバのより近接した視界の中にOFSを呈示することが可能で、ドライバの個人差や走行している実測値等を読み取りOFSの移動速度(刺激の速度)を変化させることが可能なOFSは、速度制御方策として新規性があると考えられる。これは、従来の方策の問題を解決される形で提案されている。

6.2. ドライバの速度選択に係る個人差にはどのような要素があるか

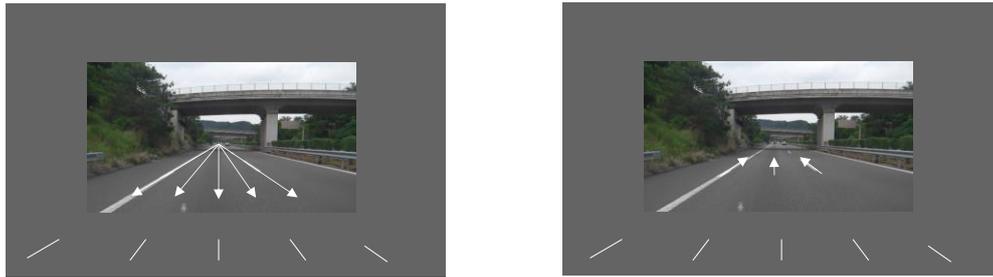
本論文で実施した3つの実験を実施した結果、ドライバの速度評価やドライバの速度選択には様々な個人差が見受けられたので本項目でまとめる。図6.1は、ドライバ

の速度選択時の過程における個人差を整理した図である。まず、実験 1 の速度評価実験より、視覚性の速度評価に関する個人差が得られている（図 6.1 中の①）。これは、実験参加者によってオプティカルフローの影響の受け方が異なることや、OFS がどのような参照枠で捉えられていたかが関係していると考えられる。例えば、図 6.2 のパターン A のように、ドライバ視点映像と OFS を 1 つの連続した映像として捉えドライバ視点映像の速度評価を行った場合には、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が周辺視野に呈示されることで、ドライバ視点映像の速度を知覚されるための情報が強くまたは情報の量が増え、その結果、映像の速度評価を実際よりも速く評価したと考えられる。その一方で、図 6.2 のパターン B のように、ドライバ視点映像と OFS を別々の映像（刺激）として捉えドライバ視点映像の速度評価を行った場合には、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が周辺視野に呈示されることで、OFS の移動速度とドライバ視点映像の速度を相対的に捉え、その結果、映像の評価速度を実際よりも遅く評価したと考えられる。この参照枠の捉え方の違いによる個人差は、速度評価について真逆の結果が出てしまう結果であることから、将来的には考慮されるべき個人差の一つである。



- ① オプティカルフローの影響の受け方や参照枠の違いによる個人差
- ② 各感覚知覚情報から生成された速度評価の個人差
- ③ 主観的な速度評価およびスピードメータから知覚された現在の走行速度の個人差
- ④ ドライバが知覚した交通状況に係る個人差（ハザード知覚・リスク知覚）
- ⑤ 速度調節に係る個人差（速度選択欲求）

図 6.1 速度選択時における個人差分類(1)



走行映像よりも速度の速いOFSが
周辺視野に呈示されることで....

パターンA

走行映像の速度を知覚するための情報が増強され，その結果，映像の主観的な速度を実際よりも速く感じるパターン

パターンB

OFSの速度と走行映像の速度を相対的に捉え，その結果，映像の主観的な速度を実際よりも遅く感じるパターン

図 6.2 参照枠の捉え方の違いによる個人差について

本実験では走行音や加速度などの情報は実験参加者に与えずに視覚性の速度評価に絞った検討を行っているが，実際に道路を走行しているドライバーには，視覚性の速度評価以外にも様々な感覚知覚情報が入ってくる．実際には，視覚性の速度評価に頼ることが多いと報告されているが，この様々な感覚知覚情報のうち，どの情報を優先的に捉えているかなどについても，個人差があると考えられる（図 6.1 の中の②）．

道路を走行しているドライバーには，客観的で人間の感覚知覚情報よりも正確なスピードメータの情報が呈示されている．このスピードメータの情報にどの程度頼るかによっても，速度選択の個人差が起き得ると考えられる．仮に，走行している際の速度情報をスピードメータに頼る割合が多いドライバーは，走行している道路の法定速度に合わせて走行することが可能かもしれない．しかし，頻繁に確認するためにスピードメータを注視しなければなかったり，そのスピードメータの情報に合わせて細かにアクセルワーク等の調整を求められる．その一方で，ドライバーの感覚知覚情報に頼る割合が多いドライバーは，走行している道路の法定速度に合わせて走行することが難しい一方で，頻繁にスピードメータを注視しなくてもよく，周りの交通他者等を確認しやすいと考えられる．このように，スピードメータ/感覚知覚の情報のどちらに頼るかに

よっても個人差が生まれると考えられる（図 6.1 の中の③）。

ドライバは、現在の走行している速度情報と、走行している道路の交通状況を加味しながら総合的に走行速度を選択しなければならない。その過程において、ドライバは走行している道路の交通にあるハザードを知覚して、そのハザードについて適切にリスクを評価する必要があるが、これには個人差が多いことが報告されている（図 6.1 の中の④）。また、この交通状況を知覚する過程には、例えば、法定速度を意図的に超過して速い速度で走行したい、約束の時間に遅れそうなので速い速度で走行するなどの速度選択欲求（図 6.1 の中の⑤）も関わってくると考えられる。この過程は、蓮花のモデルにて述べられている（蓮花一己, 2000）。

ドライバが速度調整を行う際には、アクセルやブレーキによる調整や、ギアの選択によるエンジnbrakeなどが方法として挙げられる。このアクセルやブレーキの操作についても、大きな個人差があると考えられる。例えば、ブレーキをかけるタイミングはドライバによって異なり、助手席に座っているドライバがヒヤリとする場面が例として挙げられる。また、アクセルワークについても、燃費を気にしながら運転するドライバや、加速を重視しクイックに運転するドライバによっても異なることが考えられる。さらに、高速走行時には、ある程度アクセル開度を一定にするため、足の動きを少なくし一定の力で踏み続けるという方策も考えられる一方で、スピードメータを見ながら細かに操作することも考えられる。実験 2 の DS 走行実験においては、この個人差が見られたと考えられる。

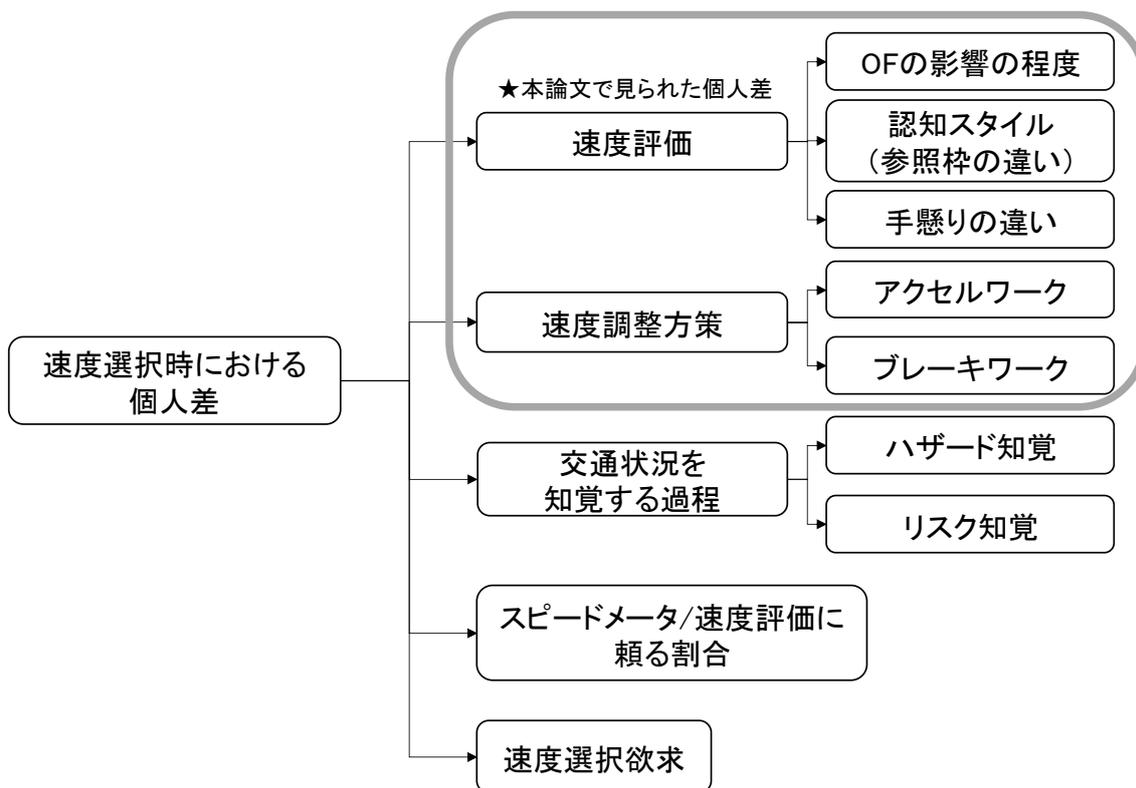


図 6.3 速度選択時における個人差分類(2)

本論文で提案した新方策の OFS は、可変式の OFS であるため、これまで述べてきた個人差にも将来的には対応できるのではないかと考えられる。例えば、参照枠の捉え方の個人差については、OFS を呈示した場合の走行速度の変化を算出して OFS 移動速度を変化させる方策や、オプティカルフローの影響の程度が異なる場合には、OFS 移動速度を速く/遅くし、変化があるまで OFS 移動速度を変化させる方策が考えられる。しかし、際限なく OFS 移動速度を変化させてしまうと、いわば無意識的な部分において速度評価、速度選択を変化させたいという本来の目的にそぐわない可能性があるのに加え、ドライバの OFS に対する煩わしさが際立ってしまう可能性がある。また、極端な OFS 移動速度で呈示してしまうと、アクセルワークの限界を超えブレーキを踏んで速度を調節する可能性が考えられる。状況に応じて必要なブレーキ操作は、不可欠であるが、不必要なブレーキ操作は、後続車両のブレーキ操作を誘発する可能性が高く、その場合は、バタフライ効果等によって渋滞の要因になることも考えられる。将来的には OFS の移動速度を変化させることが有用であると考えられるが、その変化のさせ方については今後の研究に期待する。

6.3. OFS は事故防止/被害軽減等の貢献に繋がるか

本論文の実験より得られた知見から、OFS は事故防止や被害軽減等の貢献につながるのかについて論じていく。

6.3.1. 速度抑制の観点から OFS の効果について検討

速度抑制は、法定速度を超過して走行している自動車の速度を遅くさせることをいう。実験1の結果より、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が呈示されると速度評価が高くなることが明らかになった。しかしながら、実験2の結果より、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が呈示されても、OFS が呈示されない際の速度評価とさほど変わりがないことが明らかになった。実験参加者の速度評価は変わっているにもかかわらず、その速度評価の変化が、DS 走行速度には反映されなかったという結果である。これは、先述したドライバの速度選択に係る様々な個人差が影響していた可能性が考えられる。また、実験2においては、ブレーキ操作をして速度を調整した実験参加者が認められなかったことから、DS 走行速度を減速させるにはアクセル踏み込みをやめる（離す）ことで速度選択が行われていたことが分かる。そのため、アクセルを離した際にエンジnbrakeの力で減速する程度は、アクセルを踏み込んで加速する程度に比べて非常に小さく、その結果、OFS が呈示されない条件と比べて有意な差が認められなかったと考えられる。これは、実際の自動車を運転した場合にも同様な問題が考えられるが、仮にアクセルワークの限界を超え不必要にブレーキを踏んで速度を調節してしまうと、後続車両のブレーキ操作を誘発する可能性が高く、その場合は、バタフライ効果等によって渋滞の要因になることも考えられる。もちろん速度超過で走行している状況に対し、減速させることは非常に大切であるが、この点については将来的な課題解決に期待する。しかしながら、実験2のドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS が呈示された場合の走行速度の回帰線傾きに注目すると、OFS が呈示されていない条件と比べて、DS 走行速度が低くなっていることを考慮すると、例えば事故衝突時に少しでも走行速度が低い方が被害軽減に貢献することが考えられると共に、走行速度が低くなることによって、ハザードに気づき易く、適切な回避行動がとれると考えられる。そのため、OFS は限定的な効果になるが、速度抑制対策に一定の効果が見込まれると考えられる。

6.3.2. 速度回復の観点から OFS の効果について検討

速度回復は、渋滞終了時や、坂道走行時など、ドライバの意図に反して走行速度が遅くなってしまう場合に、OFS 等を呈示し走行速度を適切な速度まで加速させることをいう。実験 1 の結果より、ドライバ視点映像よりも移動速度の遅い OFS が呈示されると速度評価が低くなることが明らかになった。また、実験 2 の結果より、ドライバ視点映像よりも移動速度の遅い OFS が呈示されると、OFS が呈示されていない条件と比べて DS 走行速度が有意に速くなる傾向があるという結果が明らかになった。これは、OFS の効果であると考えられ、速度回復には一定の効果があることが認められた結果であると考えられる。

上り勾配や、速度順応による意図しない走行速度の低下は、自然渋滞の要因となることが一般的に言われている。自然渋滞は、目的地への到着時間が遅くなるだけでなく、著しい社会損失額が生じる。また、渋滞時の低速域での追突や渋滞最後尾への高速域での追突等を減少に貢献することが可能であると考えられる。日本国内における渋滞の社会損失額は、年間 12 兆円程度(2006 年)であり(国土交通省, 2006), それらの減少に貢献できると考えられる。また、サグ部の速度回復について ACC に着目した研究によると、ACC 車混入率が 10%になると、渋滞緩和効果が約 55%以上見込めると示している(鈴木一史 et al., 2015)。この先行研究より、交通流の中で、OFS によって走行速度が速くなるドライバが一部であっても、OFS による渋滞緩和効果が期待できる可能性がある。また、速度制御刺激を呈示するとその道路を走行する車の走行速度の分布が小さくなることも報告されていることから(Denton, 1980), OFS を呈示することでも同様の効果があると考えられ、渋滞緩和等の効果が期待できる。

しかし、OFS が呈示された後の走行速度は、OFS が呈示されない場合の走行速度と比べて、有意に遅くなることが示された。そのため、OFS の呈示によって、意図しない減速が起き、さらには、実験 3 の結果より、OFS 呈示を開始した地点の速度評価よりも評価速度が低くなることが示されている。以上のことを考慮すると、例えば可変可能な OFS の移動速度を、ドライバの意図しない減速を可能な限り軽減するような呈示方法について検討されることが望まれると考えられる。

以上より、本論文で提案した新方策の OFS は、事故防止や被害軽減等へ貢献する可能性が非常に高く、有用性が高い研究であると考えられる。

6.4. 本論文から得られた OFS の効果よりどのような応用例が考えられるか

OFS によってドライバの速度評価が変化し、その結果、自動車の走行速度を変化させることが可能であれば、道路環境や状況に応じた適切な走行速度での走行を促せること可能性がある。即ち、法定最高速度違反による重大事故の低減や渋滞の緩和に大いに寄与すると考えられる。したがって、OFS に関する基礎的な知見を収集し、応用場面について検討を行ったことは、今後の OFS を用いた速度制御の実現のために極めて有意義であると考えられる。今後は、主観的な走行速度の時系列変化や分布に着目しながら、ドライバの走行速度に応じて OFS の移動速度を調整するなど、より適切な OFS の呈示方法について検討する必要がある。例えば、実験 2 で DS 走行速度に目立った変化が認められなかったようなドライバには、より OFS の移動速度が速い（または遅い）OFS を呈示することにより、走行速度に変化が見られる可能性が考えられる。また、実験 3 で OFS の呈示が始まった際よりも主観的な速度評価が低くなるという結果は、実際の交通流においてポジティブな結果ではない場合も考えられる。しかし、OFS は呈示速度を変えることが可能な刺激であるため、そのような問題も解決できる可能性があると考えられる。

今後の展望として、ドライバのアイポイント位置によって、オプティカルフローの感じ方は変化すると考えられる。本実験では消失点からドライバアイポイントの真正面に向かってくるように作成しているため、アイポイント位置のズレには着目していない。その中で、自然渋滞の要因の一つとなる探部に着目した研究もあることから、上り坂や下り坂を走行中に OFS を呈示することによる効果も期待される。今後の課題である。

これからの自動車研究は、自律自動運転にフォーカスされた研究が増えてくると考えられる。また、実際に自律自動運転の自動車が行動を走行する時代もそう遠くない。自律自動運転が実現した際にも、ドライバは自由に走りたいという欲求が残ると考えられる。そうした際に、ドライバが自身で運転するケースがあると考えられるが、その際にドライバの適切な速度選択が必要になってくる。現時点では、ドライバがある程度適切に速度選択を行っているが、将来的には、ドライバ自身が高速域の速度評価に疎くなる可能性も考えられる。このような課題が出た際に、教育に使用されるのはドライビングシミュレータであると考えられる。そのシミュレータを用いた高速走行時の教育等で OFS のような知見が必要になってくると考えられる。特に VR シミュレータ

では非常に有効な知見であると考えられる。

本研究から得られた知見は、自動車運転中のドライバーの周辺視野に呈示した OFS により、自動車運転席の構造を含めた安全な交通インフラの構築に寄与するものであると考える。

7. 結論

7.1. 本論文から得られた結論

本研究で得られた知見は、次の通りである。

実験 1 の実験より、OFS をドライバ視点映像の周囲に呈示するとドライバの速度評価が変化した。具体的には、ドライバ視点映像よりも移動速度の遅い OFS を呈示すると、速度評価は過小評価された。その一方で、ドライバ視点映像よりも移動速度の速い OFS を呈示すると、速度評価は過大評価された。なお、速度評価の過大評価及び過小評価は、OFS 移動速度に準じて変化した。さらに、OFS 呈示位置条件で、速度評価に有意な差が認められなかったことから、OFS の呈示位置には特段の制約がないことが明らかになった。この結果より、OFS の適切な移動速度や、OFS 呈示位置についての検討が行えた。

実験 2 の結果より、OFS を DS ドライバ視点映像の周囲に呈示すると DS 走行速度が変化し得る可能性が示唆された。具体的には、DS ドライバ視点映像よりも移動速度の遅い OFS を呈示すると、DS 走行速度が速くなる傾向が見られた。その一方で、OFS が呈示されても走行速度に目立った変化が見られない実験参加者もいた。この結果より、OFS がドライバの周辺視野に呈示されることによって、速度選択行動が変化し得ることが明らかとなった。以上より、OFS はドライバの速度評価を変化させ得るだけでなく、ドライバの速度選択行動も変化させ得ることが明らかになった。

実験 3 の結果より、OFS をドライバ視点映像の周囲に呈示した際のドライバの主観的な速度評価の時系列的変化が明らかになった。具体的には、OFS が呈示されている間は速度評価が徐々に高くなることを見て取れた。また、OFS の呈示が終了すると速度評価が徐々に低くなった。また、OFS の呈示が終了して 30 秒後には、OFS 呈示開始時と比べて評価速度が低く評価されることが明らかになり、OFS のような速度制御刺激を呈示することによって速度評価の揺り戻しがあることが明らかになった。また、OFS 呈示時間については、OFS 呈示時間が長いと（10 秒以上）、揺り戻しが大きくなることが明らかになった。以上より、OFS の適切な呈示時間についての知見を得ることができた。

本論文では、OFS の仕様（移動速度、呈示位置、呈示時間）によってドライバの速度評価や速度選択がどのように変化するか、また OFS に限らず速度制御刺激を呈示する場合についてどのような検討を行うべきか等の知見を獲得した。

7.2. おわりに

本論文では、自動車内に呈示することを想定した OFS をドライバに呈示することにより、自動車の走行速度を制御することが可能かを検討していく過程で、ドライバの走行速度評価や DS 速度がどのように変化するのか基礎的な知見を積み重ねることを目的とした。自動車等を運転する場合には、その時その時の道路状況、道路環境に合わせて適切な速度を選択される必要がある。加えて、貨物車等では、積載量に合わせた適切な速度を選択する必要がある。それには、急なハザード事案の出現に対応できるようにするためという理由に加え、衝突時の被害を増大させないためという理由もある。そのため、これまでの警察による取り締まりや、オプティカルドットのような道路構造物に対策するなどのハード的な対策、ある速度を超えると警告音が鳴動する車などのソフト的な対策が多方面でなされてきた。

自律自動運転や各種運転支援システムが構築されてきたことにより、技術発展してきた。例えば、走行している道路の法定速度標識の情報をカメラ等で読み取り、ドライバに法定速度を呈示する技術や、一時停止標識を読み取り、ドライバに一時停止を促す技術等が挙げられる。これらの技術は、本論文における OFS 呈示には非常に関連の高い技術革新であり、走行している道路の法定速度を読み取り、また、その時点での走行速度と照らし合わせて適切に減速または加速するように OFS を効果的に呈示することが可能であると考えられる。また、OFS を呈示した際のドライバの速度選択を AI 等でディープラーニングし、その自動車を運転しているドライバに応じて適切な OFS 移動側で呈示していくこともその内には可能であると考えられる。また、これまでには、呈示できる情報や呈示できる範囲がある程度規制されていたヘッドアップディスプレイ (Head-Up Display ; 以下, HUD) によって、疑似的に道路上に OFS を呈示すること等が実現できる可能性が高まっている。

自律自動運転の進歩に伴い、OFS による速度制御は不要になるのではという課題もある。しかしながら、完全なる自律自動運転 (SAE レベル 5) は、数十年後になる見通しであるのに加え、今後十数年はドライバへの運転権利以上があり得る SAE レベル 3 もしくは、自律自動運転可能な範囲外での手動運転がある SAE レベル 4 が続くと考えられている。

このような背景を踏まえ、本論文で行ってきた基礎的な知見の獲得は、今後のドライバの適切な走行速度選択に深く寄与するものであり、法定最高速度違反の減少、違反

に起因する事故の低減，また事故時の被害軽減を可能とすると考えられる．また，社会的損失である上り勾配による自然渋滞等を低減することができると考えられるため，これまで得られてきた知見と課題をさらに検討していくことで人間の速度評価や，ドライバの速度選択について明らかにしていくことが可能であると考えられる．

文献

- 足立幸郎, 藤井康男, 玉川大, 岩里泰幸, 山田幸一郎, & 中村裕樹. (2010). シークエ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, **66**(1), 27-39.
- 赤松幹之. (2007). 運転中に何を見て, 何を認知しているのか: 道路, 交通, 運転特性, そして高齢ドライバ. 映像情報メディア学会誌, **61**(12), 1682-1688.
- Adams, J. G. (1988). Risk homeostasis and the purpose of safety regulation. *Ergonomics*, **31**(4), 407-428.
- Carter, C., & Laya, O. (1998). Driver's visual search in a field situation and in a driving simulator. *Vision in vehicles*, **6**, 21-31.
- Cavallo, V., Berthelon, C., Mestre, D., & Pottier, A. (1998). Visual information and perceptual style in time-to-collision estimation. *Vision in vehicles*, **6**, 81-89.
- Davies, G. M. (2009). Estimating the speed of vehicles: the influence of stereotypes. *Psychology, Crime & Law*, **15**(4), 293-312.
- Denton, G. G. (1980). The influence of visual pattern on perceived speed. *Perception*, **9**(4), 393-402.
- Evans, L. (1970). Speed estimation from a moving automobile. *Ergonomics*, **13**(2), 219-230.
- Gibson, J. J. (1966). The senses considered as perceptual systems, *Houghton Mifflin*, Boston.
- 韓亜由美. (2008). 首都高埼玉大宮線オプティカルドット-適切な走行支援のためのシークエンスデザイン. 第 7 回 ITS シンポジウム 2008 Proceedings, 231-236.
- 韓亜由美, 池田博久, & 玉木真. (2009). 首都高速埼玉大宮線における新しい速度制御施策の試行運用成果-直接知覚を前提とした環境情報としての路面表示 (オプティカルドット)-. 舗装, **44**(9), 19-26.
- 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, ... 錦戸綾子. (2011). 視知覚情報にもとづく道路シークエンスデザインによる走行制御効果の検証. 生産研究, **63**(2), 247-252.

- 韓重由美, 玉木真, 小野晋太郎, 佐々木正人, 須田義大, & 池内克史. (2012). 高速道路におけるシーケンスデザイン ‘オプティカルドット’による走行制御効果の長期検証. 生産研究, **64**(2), 297-302.
- Hartman, E. (1970). Driver Vision Requirements. *Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series*, 700392, 629-630.
- 橋本成仁, 谷口守, 水嶋晋作, & 吉城秀治. (2010). 街路空間要素が自動車走行速度に与える影響に関する研究. 土木計画学研究・論文集, **27**(4), 737-742.
- 伊藤輔. (2013). 運転者視点映像の周囲に提示したオプティカルフローが速度評価に与える影響. 早稲田大学大学院人間科学研究科修士論文.
- 伊藤輔, 島崎敢, 藤井愛, 加藤麻樹, 三嶋博之, 古山宣洋, & 石田敏郎. (2019a). ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度感覚に与える影響. 人間科学研究, **32**(1), 13-22.
- 伊藤輔, 島崎敢, 藤井愛, 加藤麻樹, 三嶋博之, 古山宣洋, & 石田敏郎. (2019b). ドライバ視点映像の周囲に呈示したオプティカルフローが速度感覚に与える時系列効果. ヒューマンファクターズ, **24**(2). (印刷中)
- 川島祐貴, 内川恵二, 金子寛彦, 福田一帆, 山本浩司, & 木屋研二. (2011). 道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法. 映像情報メディア学会誌, **65**(6), 833-840.
- 警察庁. (2018). 平成 29 年中の交通事故の発生状況.
- 岸田英里, 松崎直幸, 上沼研也, 繁柘博昭, 北崎充晃, & 桂二郎. (2008). 運転行動を向上させるための視覚情報制御技術に関する検討. 日本機械学会論文集 C 編, **74**, 2254-2263.
- 国土交通省. (2006). 効果的な渋滞対策の推進.
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h18/07.pdf>(2019/12/30 閲覧)
- 国土交通省. (2013). 高速道路サグ部等交通円滑化に関する検討状況.
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/05/6.pdf> (2018/1/7 閲覧)
- 国土交通省. (2016). 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示.
- 栗谷川幸代, & 景山一郎. (2009). ドライバ特性計測のためのドライビングシミュレータの活用に関する研究. 日本大学生産工学部研究報告 A 理工系, **42**(2), 11-18.

- Lee, D. N. (1980). The optic flow field: The foundation of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, **290**(1038), 169-179.
- Matthews, M. L., & Cousins, L. R. (1980). The influence of vehicle type on the estimation of velocity while driving. *Ergonomics*, **23**(12), 1151-1160.
- 内閣府. (2019). 令和元年版交通安全白書. 45-67.
- 中島久智, & 岩崎征人. (2005). 道路景観の有無が運転挙動に与える影響. 土木学会, 第32回土木計画学研究発表会・講演集.
- NEXCO 東日本. (2013). LED 発光パネル (ペースメーカー) を活用した渋滞緩和対策. http://www.hido.or.jp/14gyousei_backnumber/2013data/1311/1311Pacemaker_e-nexco.pdf(2019/1/23 閲覧)
- 濁澤雅, 上岡高之, 片倉正彦, 大口敬, & 鹿田茂則. (2003). 視覚環境が運転者の速度感に及ぼす影響要因解析. 土木計画学研究・講演集, **28**, 209-212.
- 二宮芳樹, & 太田充彦. (1997). オプティカルフローによる移動物体の検知. 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, **97**(41), 25-31.
- 岡野裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希, 野嶋琢也, & 梶本裕之. (2008). 速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討. 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2008(11 (2008-HCI-127)), 145-150.
- Osaka, N. (1988). Speed estimation through restricted visual field during driving in day and night: naso-temporal hemifield differences. *Paper presented at the Vision in Vehicles II. Second International Conference on Vision in Vehicles Applied Vision Association Ergonomics Society Association of Optometrists.*
- Owen, D. H., & Warren, R. (1987). Perception and control of self-motion: Implications for visual simulation of vehicular locomotion. *Ergonomics and Human Factors*, **40**-70.
- Pretto, P., Ogier, M., Bühlhoff, H. H., & Bresciani, J.-P. (2009). Influence of the size of the field of view on motion perception. *Computers & Graphics*, **33**(2), 139-146.
- Reason, J. (1974). MAN IN MOTION – The Psychology Of Travel-, *the Walker Publishing Company, Inc, New York.*
- Reason, J. (1981). スピードと運転の科学—マン・マシン・システムの心理学—. 啓学出版.

- 蓮花一己. (2000). 運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ. *IATSS Review*, **26**(1), 12-22.
- Rockwell, T. (1972). Skills, Judgment and Information, Acquisition in Driving. *Human factors in highway traffic safety research*.
- Schmidt, F., & Tiffin, J. (1969). Distortion of drivers' estimates of automobile speed as a function of speed adaptation. *Journal of Applied Psychology*, **53**(6), 536.
- 瀬川かおり, 氏家弘裕, 岡嶋克典, & 斎田真也. (2003). オプティカルフローによる自己移動速度知覚に距離手がかりが及ぼす影響. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, **8**(1), 111-117.
- 関戸達弥, & 稲垣大. (1993). 車両運転による流動視野の速度感への影響. *人間工学*, **29**(Supplement), 162-163.
- 関戸達弥, & 稲垣大. (1998). 車両運転の流動視野による速度誤認と対策法. *人間工学*, **34**(Supplement), 290-291.
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual?. *Perception*, **25**(9), 1081-1089.
- 鈴木一史, 山田康右, 堀口良太, & 岩武宏一. (2015). 高速道路サグ部渋滞対策に資するACCの将来性能と渋滞緩和効果. *交通工学論文集*, **1**(2), B_60-B_67.
- 田川忠行. (2002). 速度残効と速度対比モデル. *画像工学*, **101**(627), 83-88.
- Tada, H., Ohyama, M., Kitamura, S., & Hatayama, T. (1970). An experimental study of speed-perception of the car on the road (I). *Tohoku psychological folia*, **28**(1), 1-9.
- 渡邊紀文, 森文彦, & 大森隆司. (2013). 周辺視へのオプティカルフロー刺激と身体動揺を利用した歩行者の誘導モデル. *映像情報メディア学会誌*, **67**(12), J434-J440.
- 山本健介, 内田和宏, 佐川雄二, 田中敏光, & 杉江昇. (2002). ドライバの運動残効の定量的計測とその解消法を探る. *電子情報通信学会技術研究報告, ITS*, **102**(233), 47-52.
- 山崎昌廣, & 佐藤陽彦. (1990). ヒトの歩行 歩幅, 歩調, 速度およびエネルギー代謝の観点から. *人類学雑誌*, **98**(4), 385-401.

謝辞

大学院時代の指導教員でした、石田敏郎先生には、他大学からの入学生ということもあり不慣れな私を、自動車研究分野に暖かく迎えてくださりました。研究以外にも、公私ともに大変お世話になり、昼食時にも様々な話題のお話を拝聴するのが毎日楽しみでした。研究については、何があろうと親身に相談に乗ってくださり、未熟な私でも理解できるようにお話してくださいました。そのような石田先生の後押しもあり、以前、石田先生も在職されていた一般財団法人日本自動車研究所に勤務しております。自動車研究を大学院時代にご教授いただけたからこそ、今も楽しく続けられていると思います。深く感謝しております。ありがとうございました。

本論文の主査である、古山宣洋先生には、石田先生ご退職後、身寄りのない私を引き受けてくださり、研究指導をしていただきました。私の業務都合もあって、古山先生へお伺いする機会も少なくなってしまう大変ご迷惑をお掛けしてしまいましたが、最後までご親切にご指導いただき感謝しております。ありがとうございました。

本論文の副査である、加藤麻樹先生は、石田研の先輩として、いつも近くから応援していただきました。博士課程に進む際に、「本当に博士課程にいくの?」とお声がけいただいたことを今でも覚えております。博士論文をあきらめかけたことも何度もありましたが、進むと決めた私をいつも鼓舞してくださいました。ありがとうございました。

本論文の副査である、三嶋博之先生には、大学院時代から大変お世話になっており、三嶋研究室の学生とも情報交換をさせていただいておりました。また、TA等でも大変お世話になりました。博士論文提出に際し、直前のお願いにもかかわらずご快諾いただけましたことを大変感謝しております。ありがとうございました。

本論文の研究を始めた当初から、石田研究室の先輩として、様々なご指導をくださいました島崎敢様、藤井愛様をはじめ諸先輩方には大変お世話になりました。また、研究を進める上で、実験協力をしてくださった学部生の皆様、eスクールの皆様、誠にありがとうございました。

現在、私が籍を置いております、一般財団法人日本自動車研究所の予防安全グループの諸先輩方には、様々な形で博士論文の執筆において応援をしていただきました。大変感謝しております。皆様方の応援で、「やらなければ」という気持ちが3年間持続できた気がします。誠にありがとうございました。

そのほか、多くの皆様に支えられて本論文を完成させることができました。この場をお借りして、皆様にお礼申し上げたいと存じます。誠にありがとうございました。

最後に、陰ながらずっと応援してくれた両親、いつもそばで応援してくれた妻に心より感謝いたします。ありがとうございました。

2020年1月

伊藤 輔