

2023年度 卒業論文

論文題目

自動運転車開発に向けた右折運転行動の解析における
運転者視点と俯瞰視点の比較

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

2020年度入学 32114076 番

高寺 昭至

目次

第1章 はじめに	1
第2章 先行研究について	6
第3章 実験目的と概要	10
3.1 実験目的	10
3.2 実験環境	10
3.2.1 実験環境の整理	10
3.2.2 自転車右折実験	14
3.2.3 自転車直進実験	16
3.3 実験システム	17
第4章 実験	24
4.1 各種定数とパラメータ	24
4.2 実験の流れ	26
4.3 実験結果	31
4.4 運転者視点と俯瞰視点の比較	41
第5章 むすび	47
謝辞	48
参考文献	49

第1章 はじめに

車を操作する際、ドライバーは自車の周辺環境を正確に把握し、起こりうるリスクを先読みして安全な運転判断を下すことが重要である [1]。そして、交通死亡事故の大部分はヒューマンエラーが原因で起こっており [2]、その割合は97%にも上っている現状である。また、2023年に日本で起きた交通事故は約30万件 [3] に達しており、4年連続で30万件台を記録していることから、この調子では事故件数が大きく減るまでに長い年月がかかってしまうと推察される。近年、交通事故のニュースをよく耳にするが死亡事故に限定すると大学生や高齢者の事故率が高く、令和4年における原動機付自転車以上運転者（第1当事者）の免許保有者10万人当たり死亡事故件数 [4] が16~19歳と80~84歳、85歳以上でそれぞれ5人を超えており他の年代に比べて高い。また60歳以上における代表交通手段 [5] については、自動車が鉄道や徒歩などの他の交通手段に比べて利用率が高いため、自動運転車が広く普及すればこのような年代の人々を含む人間による運転ミスに起因する交通死亡事故の件数を減少させることに大きく寄与すると期待される。自動運転技術の研究は1950年代頃から開始されており [6]、近年ではこの分野で活動を強化する企業が増えている [7]-[9]。

ところで、日本自動車技術会 (JASO) の定義によると、自動運転技術はその運転行動領域をレベル0から5までに分類される [10]。レベル0では、自動車の運転におけるシステムの介入がなく運転者が全ての運転行動を行う。システムが運転行動に介入しない自動車がこのカテゴリーに属する。レベル1は「運転支援」と呼ばれ、運転者が主体でありながらシステムが加速、操舵、制動のいずれかで支援を提供する。レベル2は「部分運転自動化」と称され、システムが主導で加速、操舵、制動を同時に制御するが、運転者は要求された際に運転行動を行う。レベル3は「条件付運転自動化」と呼ばれ、システムが主導で複数の操作を制御し運転者はシステムの

要求に応じて適切に反応することが期待される。レベル4は「高度運転自動化」と称され、システムが限定的な環境下で運転の全タスクを制御し運転者の介入は期待されない。レベル5は「完全運転自動化」と称され、運転の主体はシステムでありあらゆる状況下での運転タスクをシステムが制御する。システムの作動が困難な場合でもシステム自身が対応を行うため、運転者の操作は必要ない。つまり、安全運転に係る監視と対応の主体はレベル0から2では運転者、レベル3から5ではシステムである。

ここで自動運転技術の安全性について考えてみる。レベル5のシステムを搭載した車両では運転者による人的な運転ミスはなくなる。道路上の全車両がこのレベルの自動運転車であった場合、無理な割り込みや煽り運転、安全を無視し感情に任せた運転もなくなる。すなわち運転ミスや無謀な運転に起因する事故はなくなるだろう。もしかすると前走車の不意な減速を想定する必要がなくなり、緊急時に停止できるだけの車間距離を確保しておく必要もなく、「列車のよう」な効率的な走行が可能になるかもしれない。そうは言っても現実的には、歩行者の急な飛び出しなどの外的要因により、前走車が急停止する場合も考えられる。そのため、安全を確保するための余裕(マージン)、すなわち車間距離を確保しておく必要がある。運転手が危険に気付いてからブレーキが効き始めるまでの時間を空走時間という。またその間に走行する距離を空走距離という。ブレーキが効き始めてから車が完全に停止するまでの時間と距離を制動時間と制動距離という。走行速度が60km/hのとき、空走時間を0.75secと考えた場合の空走距離は12.5mである[11]。ここで、同一直進車線上の前走車が当該車両と同速度で走行し何らかの要因で急制動を行った際に、その後方を走行している当該車両が前走車と同強度の制動を遅延なく行ったと仮定すると、当該車両が前走車に衝突しないための車間距離は空走距離分である。そしてこれは非常に極端な議論ではあるが、衝突しないための最小の安全な車間距離だと考えられる(以下、これを「最小マージン」と呼ぶ)。しかし実際には、前走車が急制動以上の減速をする場合が考えられるため最小マージンより余裕のある車間距離を保つことが望まれるだろう。例えば前走車が道路上に停車している大型車に追突して瞬時にほぼ停止状態になった場合などを想定すれば、当該車両はその瞬間の速度に応じた停止距離以上の車間距離、すなわち安全を確実に確保するためのマージンを保

ちつつ走行することが望まれるだろう（以下、これを「十分マージン」と呼ぶ）。例えば乾いたアスファルトの道路を 60km/h で直進走行する場合の制動距離は 20.2m であり [12]、空走時間、空走距離は先ほどと同じ 0.75sec、12.5m とすると停止距離（＝空走距離＋制動距離）は 32.7m である。この停止距離が安全を確実に確保するために十分な車間距離と考える。ここまで車が直進のときのみを考えてきたが、次に右折車と対向車線の直進車が混在する交差点について考えてみる。先ほどと同じように道路上の走行車が全てレベル5のシステム搭載している場合、迫ってきている直進車に対して右折車がかろうじて衝突しない最小限のマージン（最小マージン）を確保できるとき、つまり、右折車後端と直進車前端が交差点内で接触しないタイミングで右折が開始されれば衝突事故は起こらない。しかし、実際は右折車が歩行者の飛び出しなどの要因で対向直進車線上で停止してしまった場合を想定して、直進車が衝突しないためのマージン（十分マージン）が確保できるときに右折を開始すべきだろう。

前段落では車の接触が起きるかどうかを基にして安全面について述べたが運転者の心理的な不快感については述べていない。そこで、運転者の心理面について考えてみる。心理学の分野ではパーソナルスペース [13] という概念があり、これは他者が侵入すると何らかの情緒的反応を引き起こす人の周囲に取り巻く領域のことである [14]。電車で人の真隣に座ると落ち着かないためにある程度の離れている座席に座ることがある。このパーソナルスペースがその心理に深く関係している。また、他者接近場面においてパーソナルスペース付近では、不安や緊張感、心拍数の増加が見られることが知られている [15]。そして、自動車乗車中ではこのパーソナルスペースが車の周りに拡張されるということも提唱されている [16]。走行中の車間距離について、速度に応じた安全な車間距離 [17] というのは自動車の安全性を最優先している距離であるが、実際にはその車間距離であっても不快感を覚える可能性がある。そこで先ほどは、「最小マージン」、「十分マージン」といった安全を十分に考慮した安全マージンについて述べたが、今度は不快感について考えてみる。運転中に前走車が急制動以上の減速をする場合などにより、同一方向直進において前方の自動運転車が一瞬にして停車状態になることは実際には考えにくい。また、危険時に運転者は当該車に制動を加えるだけでなくハンドル操作も行うと考えられるため、

十分マージン以下で走行している場合があると思われる。直進車が交差点に迫ってきている場合での右折時においても、実際には右折車が交差点内で停車した際に直進車は制動を行うのみならずハンドル操作も行い衝突の危機を回避すると考えられる。右折車が乗用車であれば交差点内で停車してしまった際にその車体が直進車の走行している道路車線幅を完全にふさいでしまうとは考えにくい。そのため、右折車の右折開始時に対向直進車が確保できる交差点までのマージンが十分マージン以下である場合も考えられる。それが最小マージンであると双方の車の運転者が不快感を覚える可能性が高く、十分マージンであっても自動運転車が右折を開始しない場合では右折車の搭乗者は右折できたはずのタイミングを逃したことなどによる不快感を覚える可能性があると考えられる。この感覚はパーソナルスペースに共通する部分があると思われるが、単に心理的なものではなくここでは安全にも関係している余裕（マージン）として「心理的マージン」と呼ぶことにする。しかし、この心理的マージンは安全を完全に保証するものではないため安全性については別途検証が必要であると考えられる。

本研究では、自動運転における適切な右折運転を実現することを最終的な目標に、右折運転行動の解析自体や解析方法について議論する。この論文における適切な右折運転というのは、右折車とその対向車線の直進車が存在する交差点において、右折車の搭乗者が不快感を覚えない、また対向直進車に不快感を覚えさせないような右折運転のことである。本研究ではこのような交差点における右折開始の判断指標を見出したい。すなわち、安全性の判断ではなく、安全性の判断は別の研究に譲り、本研究では搭乗者の快不快に注目している。当研究室ではこれまでも、シミュレータによる右折行動の解析を行っている [18]。先行研究では、シミュレータの規模や画面解像度（遠くの対象物を小さく表示すると潰れてしまう）などの問題を回避することも試みている。予備実験から、画面を通した奥行知覚の能力は個人により差がある恐れも感じていた。また両眼視差の右折判断への影響を調べた研究 [19] によると、両眼視差を生じるステレオ映像と両眼視差を生じない二次元映像での比較実験では、右折車（当該車）と対向直進車との間隔が十分であるかどうかの判断に両眼視差は影響していないことが示唆された。そこで、先行研究では俯瞰視点でのシミュレータを用いた。しかし、実際の運転状況である運転者視点ではなく俯瞰視点

での実験は、没入感が得られなくて実際とは異なる右折行動を行う可能性も指摘された。本研究では具体的には、まず運転者視点でのシミュレータにより先行研究と同じ状況での実験を行い、解析する。続いて先行研究の俯瞰視点での結果と比較する。運転者視点と俯瞰視点いずれの実験においても同様な傾向が得られれば、新たに行う実験では簡易的な俯瞰視点での実験シミュレータで済ませることができだろう。また、高齢ドライバーなどの免許更新のための簡易的運転機能検査機器の新たな開発に結び付けられるかもしれない。

以下、第2章では先行研究について述べる。第3章では実験の目的と概要について説明する。第4章では実験やその結果と考察、先行研究と本研究とで得られた結果の比較について述べる。最後に第5章ではむすびを述べる。

第2章 先行研究について

当研究室で行っている右折運転行動の先行研究では、大きく分けて2種類の実験を実施している。一つ目の実験では、右折車（当該車）が不快に感じない、かつ相手に不快感を覚えさせない右折開始の判断指標を見出すことを目標にした [18]。二つ目の実験では、右折車（当該車）が安心を感じる右折動作の要件を、特に右折中の加速のタイミングに着目して調べた [20]。

一つ目の実験では、シミュレータ内の右折自動車は右折するか安全のため対向直進車を見送るか、実験の参加者に判断してもらった。この試行を複数回行ってもらい対向直進車がどのような速度や車間距離の時に右折開始の判断を行うのか調べた。具体的には3通りの状況で実験を行った。それぞれの実験は、片側1車線の道路であり交差点前後周辺を上部から俯瞰した平行投影での実験（図 2.1）、片側1車線の道路であり交差点前後周辺を上部から俯瞰した透視投影での実験（図 2.2）、片側2車線の道路であり交差点前後周辺を上部から俯瞰した透視投影での実験（図 2.3）であった。この3つの実験はどれも PC を大型のモニタ（SHARP 製 PN-L702B、横 1538.9mm、縦 865.6mm）に繋いで行った。実験参加者はモニタの前に座り目の前に映されたシミュレータで交差点の状況を把握する。このとき、実験の参加者はモニタに映るシミュレータ内の自動車を注視する必要があるため参加者から見た自動車の視認性の高さが重要である。実験 1 では視認性の観点から直進車の速度を 20km/h、40km/h の 2 パターンで実験を行った。図 2.1 に示した平行投影のシミュレータでは表示縮尺を小さくすると表示できる道路の全長が大きくなるが自動車は小さく描画され視認性に乏しくなる。逆に、表示縮尺を大きくすると自動車は大きく描画され視認性は良くなるが表示できる道路全長は短くなる。ここで、右折車の右折開始時における対向直進車との間隔を「右直マージン」と呼ぶことにする。そしてこの距離は、直進車が一定の速度で走行する場合、交差点端に到達するまでの時間で置き

換え可能である。これらを区別するときには「右直マージン距離」,「右直マージン時間」と表記する。直進車の速度が60km/hで右直マージン時間が最大7secである場合、道路1車線の幅3.25mに対して交差点を含む道路の長さが前後に約130m（赤色の自動車とそれに最も近い緑色の自動車の車間距離は約117m）必要である。しかし、並行投影のシミュレータにおいて視認性を著しく失わずに自動車を描画するためには道路の全長が100m程度である。この速度では描画される自動車が小さすぎるため直進車が60km/hの実験を行うのに適さない。そのため実験1では直進車の速度を20km/h, 40km/hの2パターンで実験を行った。しかし、令和3年度に集計された一般道を走行する際の自動車の速度は各都道府県毎に平均して40km/hを上回っている場合が少なくない[21]。そこで、交差点周辺の視認性を著しく失うことなく表示可能な道路の全長を延ばすために、実験2では道路を真上からではなく交差点上部から俯瞰するように透視投影したシミュレータを用いた（図2.2）。実験2は実験1に比べ視点を若干変更しただけだが、図2.2において交差点より奥に伸びている道路長を120m以上視認できるようになった。すなわち、直進車の速度が60km/hかつ右直マージン時間が最大7secであるときの赤色と緑色の自動車の車間距離（約117m）以上の道路長を透視投影のシミュレータを使用することにより表示可能にした。実験1と2では片側1車線の場合における心理的右直マージンの閾値を検討したが、実際には片側2車線以上の道路が数多く存在している。そこで、実験3（図2.3）では片側2車線の道路における心理的右直マージンについて検討した。この実験では走行する通行帯によって心理的右直マージンが変化するかどうかが調べた。結果は4.4節に改めて記した上で、本研究での実験結果と比較する。

前述の実験では右折自動車の右折中の速さは一定であった。しかし実際は、右折開始の判断直後に加速が必要であり、さらにその後一定の速度を保って右折し終えるのではなく追加で加速した後に交差点から出ることもある。そこで、アクセルペダル（ロジクール社製GT Force Pro）と先ほどのモニタを用いて実験の参加者にシミュレータ内の右折自動車を操作してもらった。運転者に発進時の加速や、必要に応じて右折途中での追加の加速を行ってもらい、その判断基準を調べた。使用したシミュレータの視点は図2.2と同じである。解析の結果、右折車の運転者が追加加速を行うか否かは、対向直進車が交差点に進入するまでの時間と、右折時の速度ま

た残りの右折道のりを考慮して判断されるということがわかった。

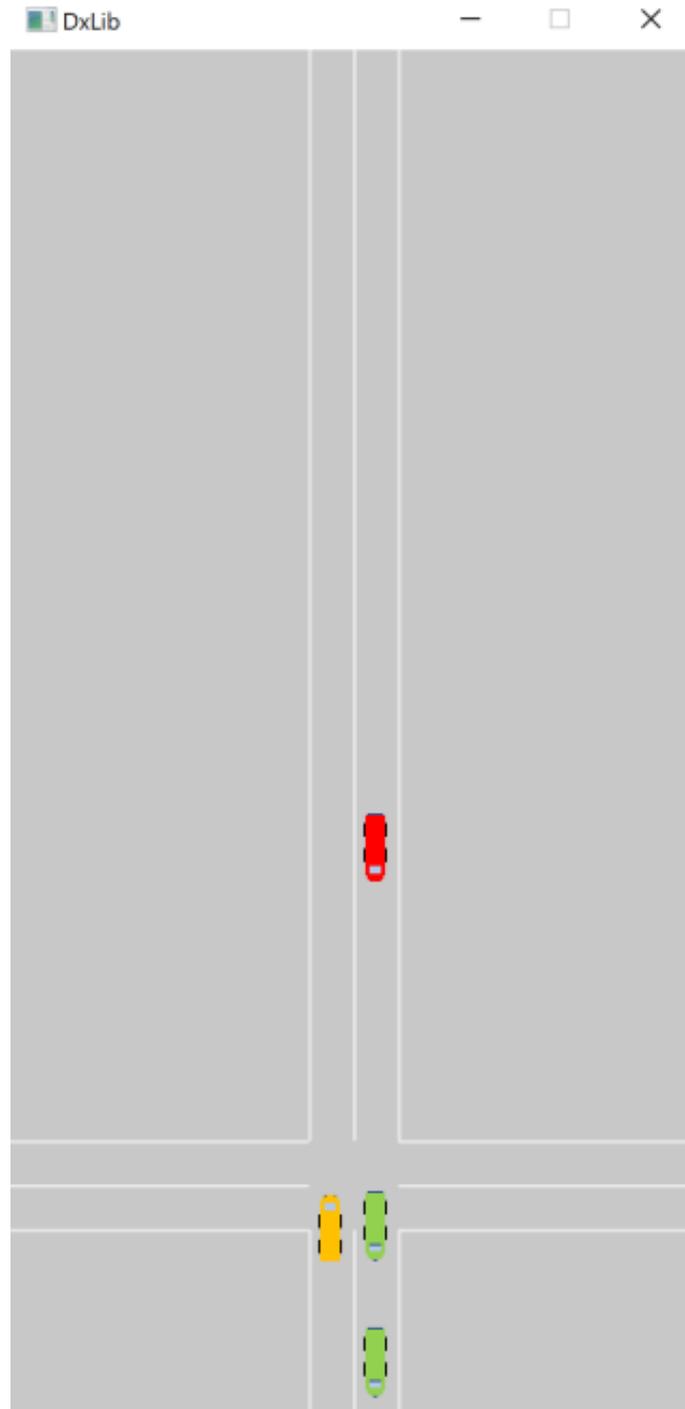


図 2.1: 先行研究実験1シミュレータ (真上からの俯瞰)

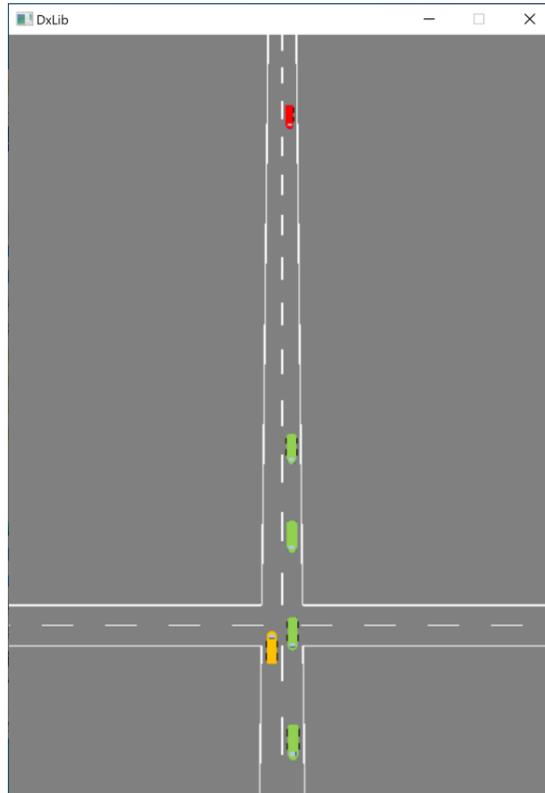


図 2.2: 先行研究実験 2 シミュレータ (やや前方向きに透視投影)

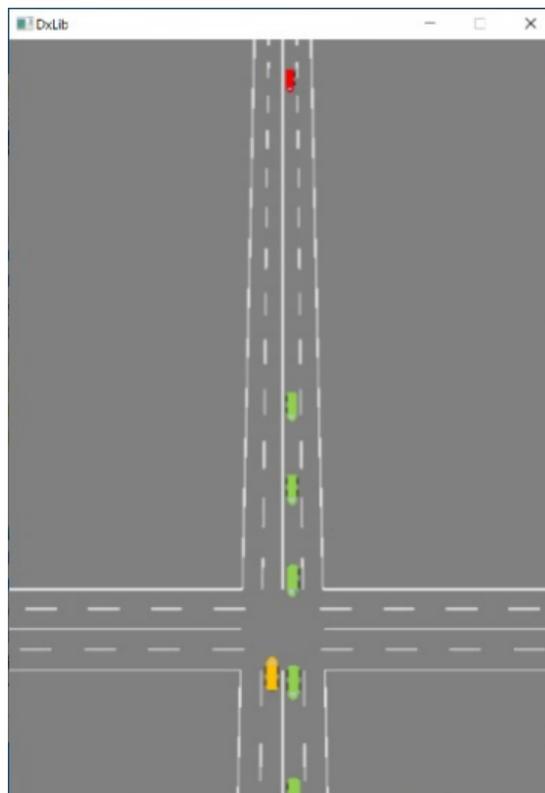


図 2.3: 先行研究実験 3 シミュレータ (片側 2 車線)

第3章 実験目的と概要

3.1 実験目的

右折車と対向直進車が存在する交差点において、右折運転者が不快感を覚えない、また対向直進車の搭乗者に不快感を覚えさせない右折運転の判断基準を見出すために実験を実施する。実験は先行研究と同様な状況で、ただし運転者視点でのシミュレータにより実施する。直進車の速度に応じて、不快に感じない右直マージン距離、右直マージン時間がどのように変化するか調べる。また各速度における、十分に安全な右直マージンや最小の右直マージンとの関係性について解析する。その後、先行研究の俯瞰視点での結果とこの運転者視点での結果を直進車速度に対する心理的右直マージンに注目して比較する。

3.2 実験環境

3.2.1 実験環境の整理

シミュレータ内の交差点周辺の状態について説明する（図3.1）。想定する交差点は、前後左右に片側1車線の道路がのびており信号機は存在しない。図3.1における赤色の自動車を「直進車」、そしてその前方を走行している複数の灰色の前走車を「直進先導車」、青色の自動車を「右折車」とする。登場する自動車はこの3種類のみであり左右方向の道路に自動車は存在しない。信号機が存在しないため、右折車は停止線を越えた位置で右折待ちをする。また、複数の直進先導車間の距離は最小マージンより短く設定してあり、右折車はこの間を右折できない。右折車は、直進先導車と直進車との間で右折をするか、そのタイミングでは右折せず直進車が通過した後に右折する。次に実験の参加者が操作する自動車について説明する。図3.1に示された自動車のうち、実験参加者は右折車または直進車を必要に応じて操作し、それ以外の自動車の動きはシミュレータが制御する。実験の参加者が操作する自動

車を「自車」とすると、運転者視点によって見える視界は「自車右折」時は図 3.2, 「自車直進」時は図 3.3 である。

ところで図 3.1 のような交差点において、右折車が先導直進車と直進車の間で右折中であると、右折車と直進車のマージンはしだいに小さくなっていく。そして右折車が何らかの理由で交差点内で停止する（してしまう）場合を考えると、右折車は不快感を直進車に与える立場であり、逆に直進車は右折車に不快感を与えられる立場であるといえる。そのため、不快感を与える立場と与えられる立場についてそれぞれ実験を行う。実験参加者が右折を行う際、シミュレータ内の仮想の対向直進車乗員に不快感を与えないと判断する「心理的右折マージン」を推定するために図 3.2 のシミュレータで実験を行う。またこの実験を「自車右折実験」と呼ぶ。実験参加者が直進車を運転している際、対向車の右折によって直進車乗員である実験参加者が不快感を覚えないと判断する「心理的右直マージン」を推定するために図 3.3 のシミュレータで実験を行う。そしてこの実験を「自車直進実験」と呼ぶ。実際には、右折車が交差点内で停止するような場面では、直進車は制動を行うほかにハンドル操作により速さを変えずに交差点を通り抜ける可能性がある。直進車がハンドル操作を行えず制動のみを行う場合、心理的右直マージンは直進車の速度とその対向右折車の右折に要する時間にのみ依存する。すなわち、心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 直進車の走行速度に依存する時間と仮する。これらの実験における各種パラメータは時間を基準に扱い、得られた結果についても時間に着目して分析する。

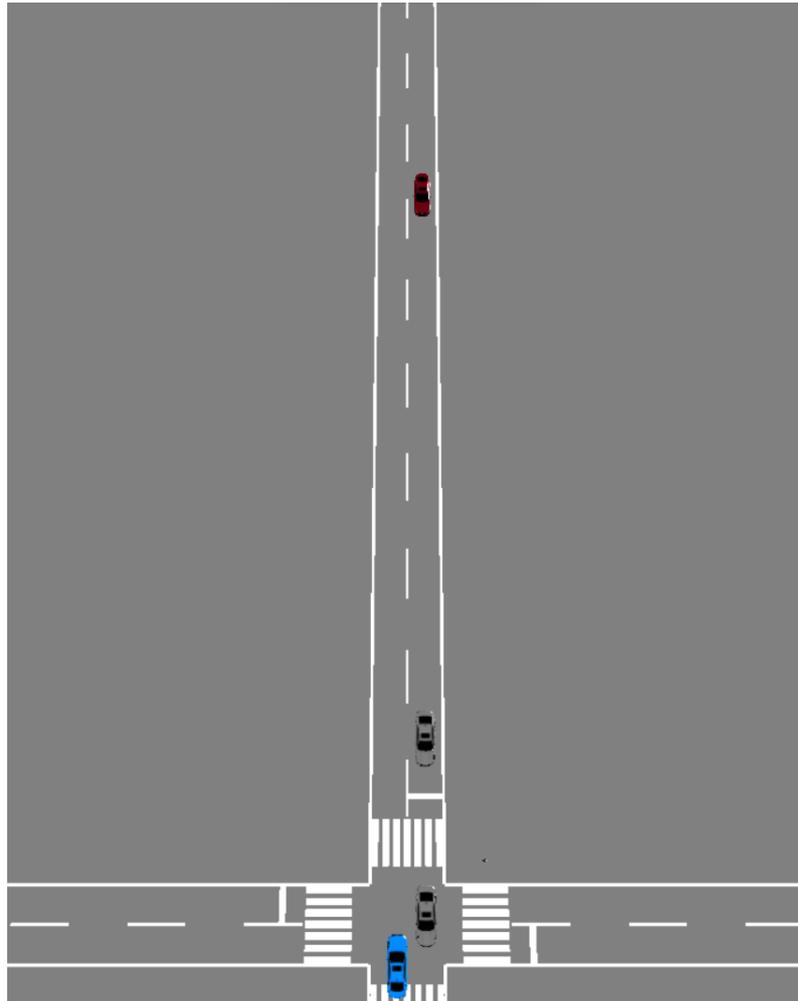


図 3.1: 交差点周辺状況 (俯瞰した様子)

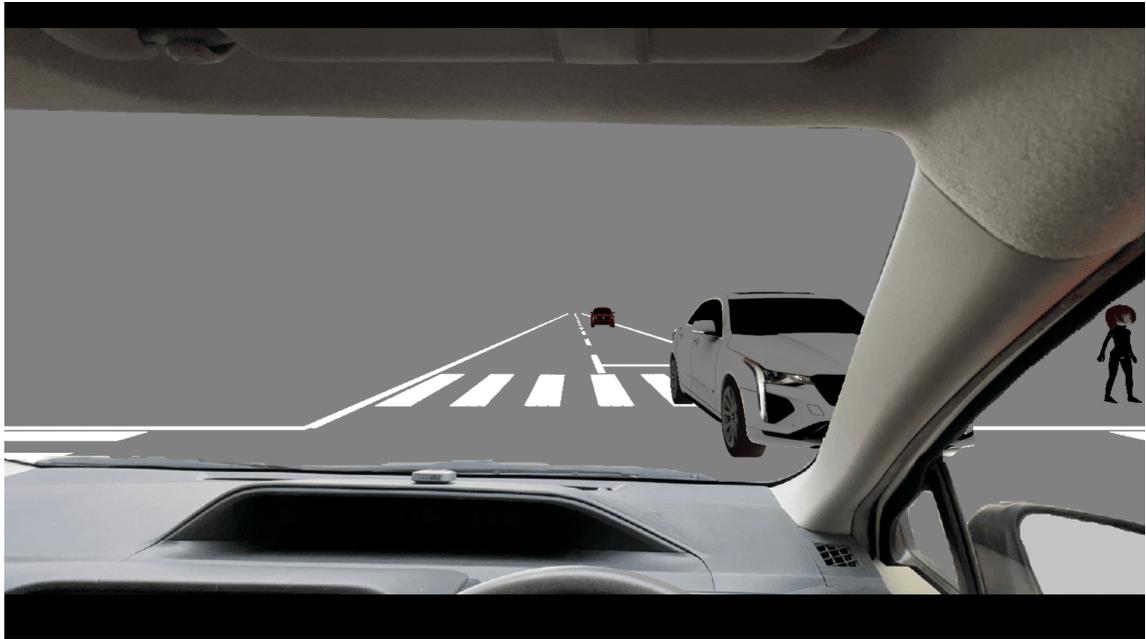


図 3.2: 自車右折実験運転者視点 (右折待ち)

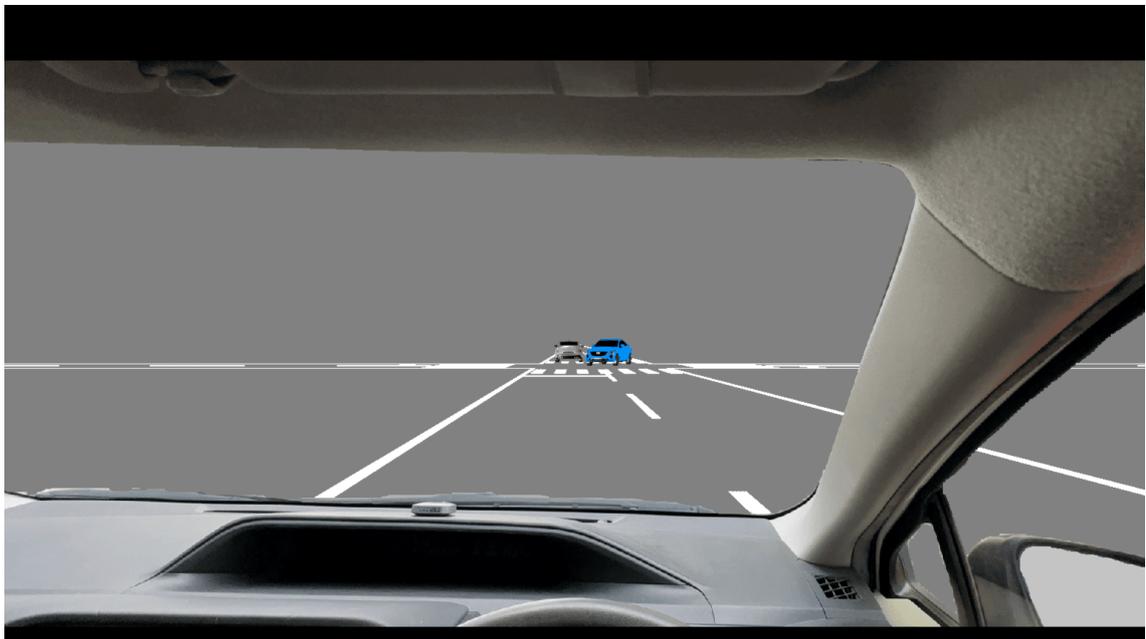


図 3.3: 自車直進実験運転者視点 (交差点手前)

3.2.2 自転車右折実験

この実験は、右折を行う実験参加者が対向直進車の仮想の乗員に不快感を与えないと判断する心理的右直マージンを推定するために行う。実験は右折車の運転者視点で行うが、説明のため上から見た表示模式図3.4を用いて概要を述べる。図3.4において青色の自動車が①右折自転車、赤色の自動車が②対向直進車、複数の灰色の自動車が③直進先導車である。対向直進車と直進先導車は図3.4の上部から下部に向かって一定速度で直進する。右折自転車は、最後尾の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過したタイミングで右折を実施するかどうかの判断を行う。図3.4がちょうどそのときの交差点状況を表しており、この時点におけるⒶが右直マージンを表す。右折判断時刻から右直マージン時間が経過すると対向直進車の先端がちょうど交差点に差し掛かる。右折自転車はドアミラーを除く対向車線側の側面が対向車線にはみ出ない状態で（中央線の自転車側半分にタイヤを乗せている状態で）右折待機している。右折自転車が右折開始して右折自転車の後端が交差点を脱出するまでの経路をⒷ右折経路と称する。右折自転車は右折経路を一定の速さで走行する。そのため右折経路を右折自転車の速さで除算した値が右折時間である。

次に右直マージンについて検討する。右折自転車が対向直進車と接触することなく交差点を脱出するために必要な最小の右直マージン時間は右折時間である。この最小右直マージン時間よりも小さい右直マージンで右折開始した場合、対向車に不快感を与えるのは明らかだろう。ここで何らかの理由により交差点内で右折自転車が停止した場合を考える。このとき対向直進車が交差点手前で十分安全に停止できるためには、十分右直マージンを確保する必要がある。右折自転車が右折完了直前で停止した場合、それまで定速走行していた対向直進車はその時点で急制動をかけ始めて、それでも十分に停止できる余裕がある状態で走行するのが望ましいだろう。右折時間+直進車停止時間=十分右直マージン時間である。そこで、実験では右直マージンをこの十分マージンを目安に設定する。

実験は以下の手順の通りに進める。実験参加者は最後の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中央線を通り過ぎた瞬間から対向直進車が交差点に進入してくるまでに、対向直進車に不快感を与えることなく右折完了可能であるかを判断する。

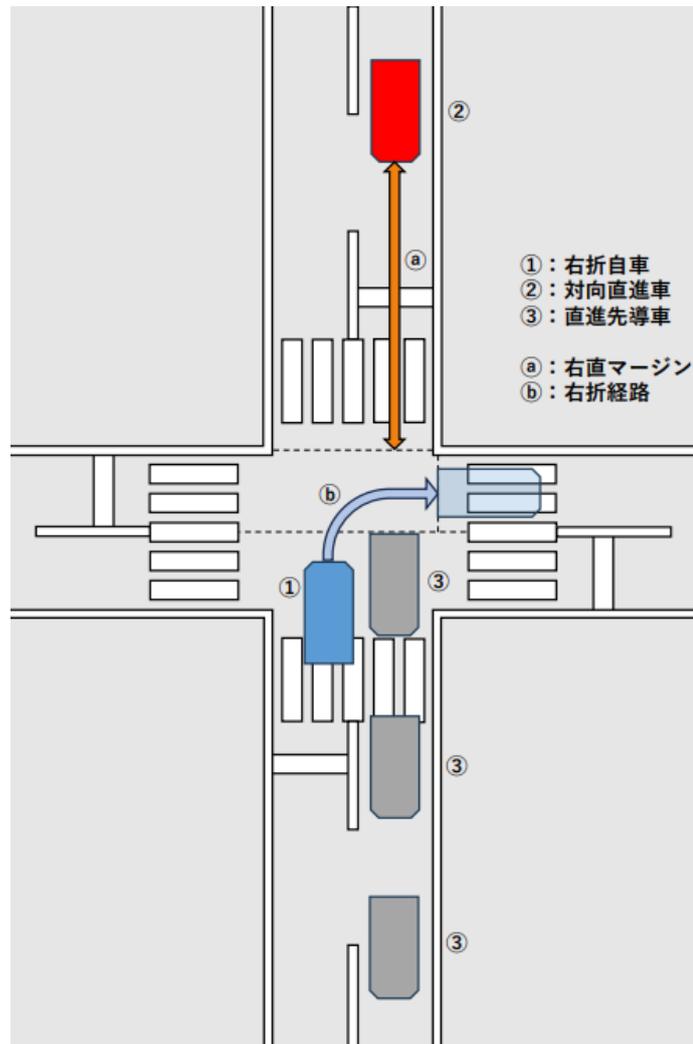


図 3.4: 自転車右折実験模式図

つまり、心理的右直マージンが確保されていると判断した場合に右折を開始する。右折中に相手に不快感を与える、つまり心理的右直マージンが確保されていないと判断した場合、対向直進車が交差点を通り過ぎるまで右折待ちをする。対向直進車を見送る判断をした際は、対向直進車の交差点通過後にシミュレータが自動で右折自転車の右折を開始する。各試行ごとに右直マージンを変化させ実験を行うことで適切な心理的右直マージンを見出す。この実験で変化させるパラメータは直進車速度と右直マージンの2つである。複数の直進車速度に対し様々な右直マージンでの実験を行う。実験参加者の右折実施判断境界を、右折自転車が対向直進車に不快感を与えずに右折可能であると判断する心理的右直マージンと推定する。

3.2.3 自転車直進実験

この実験は、直進走行する実験参加者が対向右折車の右折行動によって不快感を与えられない心理的右直マージンを推定するために行う。実験は直進車の運転者視点で行うが、説明のため上から見た表示模式図 3.5 を用いて概要を述べる。青色の自動車が①対向右折車、赤色の自動車が②直進自転車、その前方を走る複数の灰色の自動車が③直進先導車である。直進自転車と直進先導車は図 3.5 の下部から上部に向かって一定速度で直進する。対向右折車は、最後尾の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過したタイミングで右折を開始する。図 3.5 がちょうどそのときの交差点状況を表しており、この時点におけるⒶが右直マージンを表す。対向右折車の右折時刻から右直マージン時間が経過すると直進自転車の先端がちょうど交差点に差し掛かる。対向右折車はドアミラーを除く対向車線側の側面が対向車線にはみ出ない状態で（中央線の右折車側半分にタイヤを乗せている状態で）右折待機している。対向右折車が右折開始して対向右折車の後端が交差点を脱出するまでの経路をⒷ右折経路と称する。対向右折車は右折経路を一定の速さで走行する。そのため右折経路を対向右折車の速さで除算した値が右折時間である。なお、右折経路と右折時間の定義は 3.2.2 節で述べたものと同一である。

実験は以下の手順の通りに進める。この実験では、最後尾の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通り過ぎた瞬間から対向右折車は自動的に右折を開始する。実験参加者は対向右折車の右折行動によって不快感を与えられた場合、すなわち心理的右直マージンが確保されていなかった場合に直進自転車を減速させる。対向右折車の右折行動に不快感を与えられなかった場合、すなわち心理的右直マージンが確保されていた場合は直進自転車に制動を行うことなく一定の速度を維持して交差点を通過する。右折完了後にその都度、実験参加者はどの程度の不快感を覚えたのかアンケートを回答する。各試行ごとに右直マージンを変化させ実験を行うことで適切な心理的右直マージンを見出す。自転車右折実験と同様に、実験では右直マージンをこの十分マージンを目安に設定する。この実験で変化させるパラメータは直進車速度と右直マージンの2つである。複数の直進自転車速度に対し様々な右直マージンでの実験を行う。実験参加者の減速実施の判断境界、また不快感知覚の判断境界

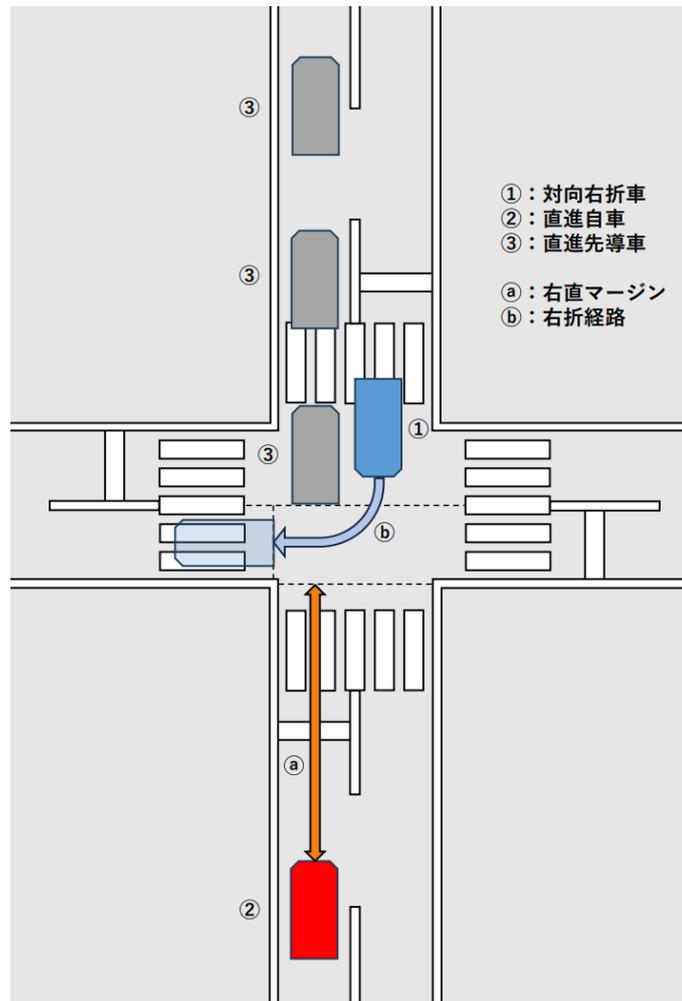


図 3.5: 自転車直進実験模式図

を，直進自車が対向右折車に不快感を与えられない心理的右直マージンと推定する。

3.3 実験システム

実験はPCと大型のモニタ（SHARP製PN-L702B，69.5インチ（横1538.9mm，縦865.6mm））で行う。被験者は各実験の操作に必要なキーを必要に応じて即座に押せるようにキーボードに手を配置し，モニタに向かって着席する。モニタには運転者視点の風景を表示する。実際に交差点で右折車が右折をするとき，その運転者は対向直進車の状況や右折先の横断歩道を渡る歩行者の存在を確認しながら右折を行う。実験参加者が遠く離れた位置からモニタを見る場合，モニタに対する視野角が

極めて狭くなり交差点周辺の状態を得ることができない。また極めて近い位置からモニターを見ると視野角は確保されるが、正面の注視点の画面に対する焦点距離と交差点周辺に相当する画面の端の実際の距離の差が大きくて距離感を適切に判断できない可能性がある。そこで、モニターに対する視野角が 90° になるように実験環境を構築する(図3.6)。このとき実験参加者の目の水平位置は、モニターに表示可能な横の長さ1538.9mmの半分である769.45mmだけモニター画面から離れている必要があり、そのように参加者に調整して椅子に座ってもらう。

実験では参加者が運転をしている状態を表現するために車内の風景のテクスチャを用いる。テクスチャを家庭用のカメラで撮影したい。カメラの画角(視野角)が不明なため、以下のように測定する。図3.7のように壁から D cm離れた位置にカメラを設置して、壁を正面から撮影したときの写真内の壁の水平方向の長さを a cmとする。前述のように運転者のモニターに対する視野角が 90° であるとき $b : D = 2 : 1$ 、つまり $b = 2D$ である。そのためテクスチャをモニターの横幅いっぱいに表示できるのはテクスチャ撮影時のカメラの視野角が 90° 以上、すなわち $a \geq b = 2D$ である。図3.7のように $D = 100$ cmで正面から壁を撮影したところ、写真の幅 $a = 249.3$ cmであった。カメラの画角を θ とすると $\theta/2 = \arctan\{(a/2)/D\} = \arctan(1.2465) = 51.262^\circ$ であり、 $\theta = 102.524^\circ$ であるため $a \geq b$ であり、前述の要件を満たしている。このカメラ画像の横ピクセル数は4032pxである。この位置からの画像に対する視野角が 90° となるように切り取った横幅は $b = 2D = 200$ cmである。その切り取った写真の横のピクセル数を P とすると、 $a : b = a : 2D = 4032 : P$ であり、 $P = 3235$ pxである。

続いて実際にテクスチャ画像を撮影したい。実験ではトヨタ社のアクアの内装をテクスチャに使用する。図3.8のように身長170cmの男性が実際に運転する姿勢でアクアの運転席に座ったところ、インストルメントパネルから水平方向におよそ15cm手前の車内のパーツ(インストルメントパネルを囲うダッシュボードの一部)の先端(代表点とする)から目の位置までの水平距離はおよそ75cmであった。ところで、実験で使用する大型モニターの表示可能な横の長さは1538.9mmであり、視野角 90° で実験を行うためには画面から769.45mm、つまりおよそ77cm離れた位置からモニターを見て実験を行う。なお、運転する際の座席の前後位置は人により前後が異

なるが、複数人で確認したところ視点位置が大きく異なることはなかった。座席の高さについては、高さ調節機能が備わっていることが多く、こちらも大きく異なることはなかった。そこで、先の男性の視点の高さにおいて、図3.8の代表点から水平距離が77cmの位置で、真正面を向いて水平に車内の風景を撮影した。車内風景の写真を横幅 $P = 3235\text{px}$ で切り取り、テクスチャとして使用する。モニタ上にこの画像を横幅いっぱいに映した上で、実験参加者には画面からの距離がおよそ77cmとなるように調整して座ってもらう。

上では水平方向について記した。最後に垂直方向の調整について述べる。運転者の身長は様々である。後述する実験でも参加者の身長は154cmから184cmと、差は最大で30cmであった。実験時の椅子の高さ調節機能だけでは表示位置が固定されたシミュレータ映像の高さに合わせきれない可能性がある(図3.9)。そこで、椅子の高さ調節に加えてシミュレータのビューポートを変化させることで視界の鉛直方向を調節する。すなわち、モニタに表示される可視領域を実験参加者の目の高さに合うように上下に変化させることで相対的に高さ調節を可能にする。図3.10は実験開始前に実験参加者に目の高さを合わせてもらうときの表示画面である。表示されている白の横線がちょうど目の高さになるようにシミュレータ風景の高さを調節してから実験を実施する。身長が低い人は図3.11のように、高い人は図3.12のように表示される。なお、参加者の身長の違いによりシミュレータの可視部分が異なることのないよう画面の上部と下部を黒く塗りつぶすことで、実質的な画面の縦幅を小さくしている。全員が同じ視点相当の風景を見る。

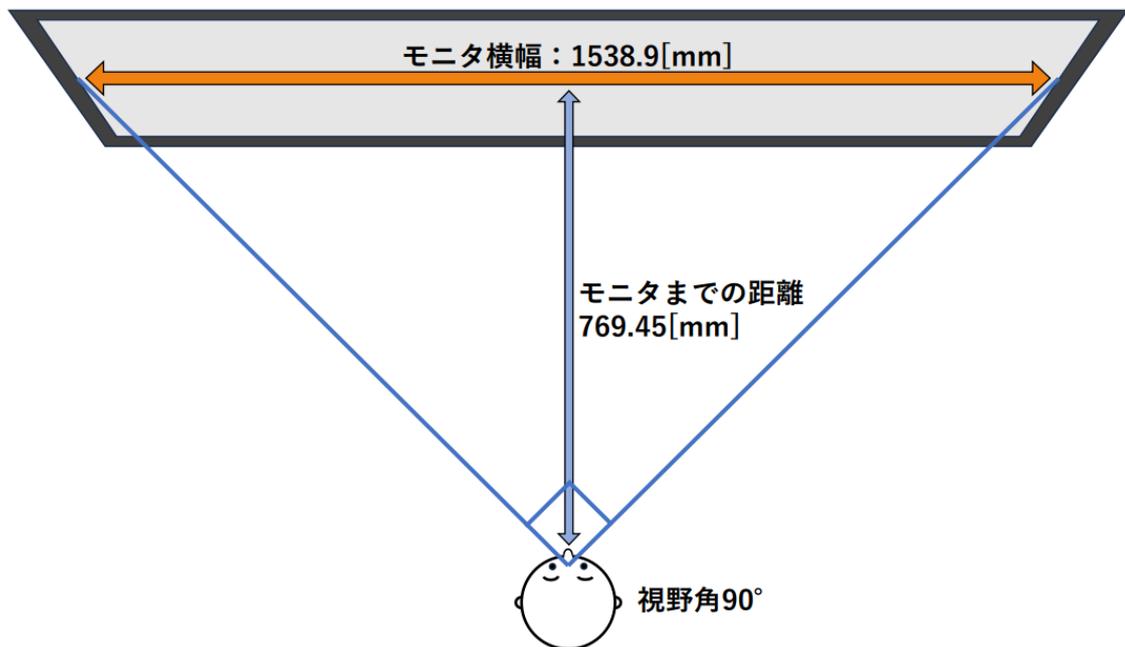


図 3.6: モニタに対する視野角

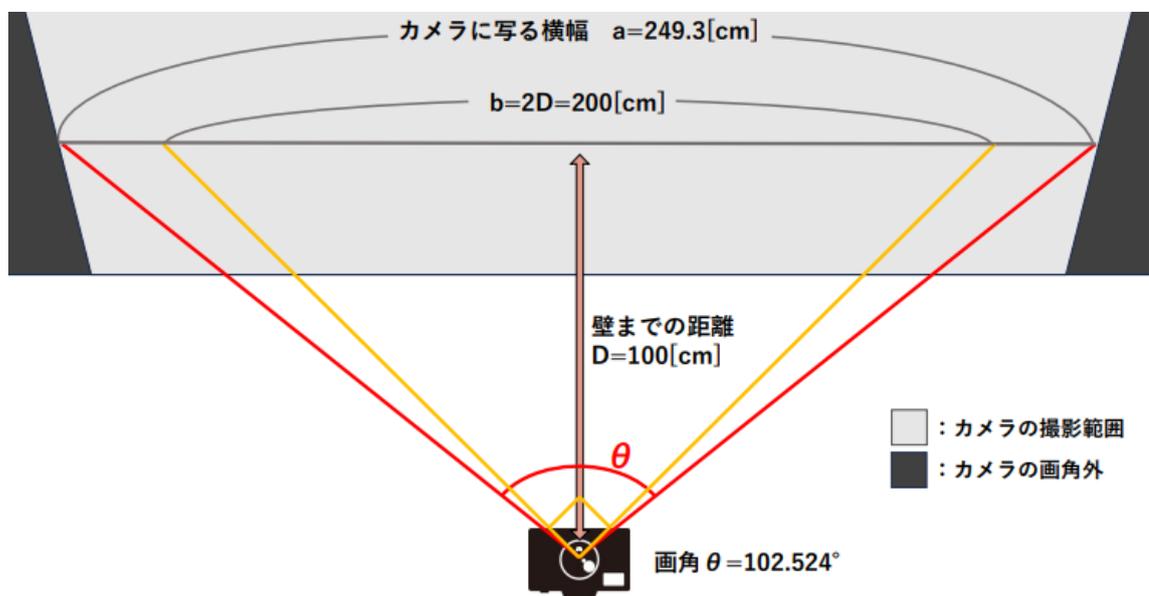


図 3.7: カメラの画角概要図

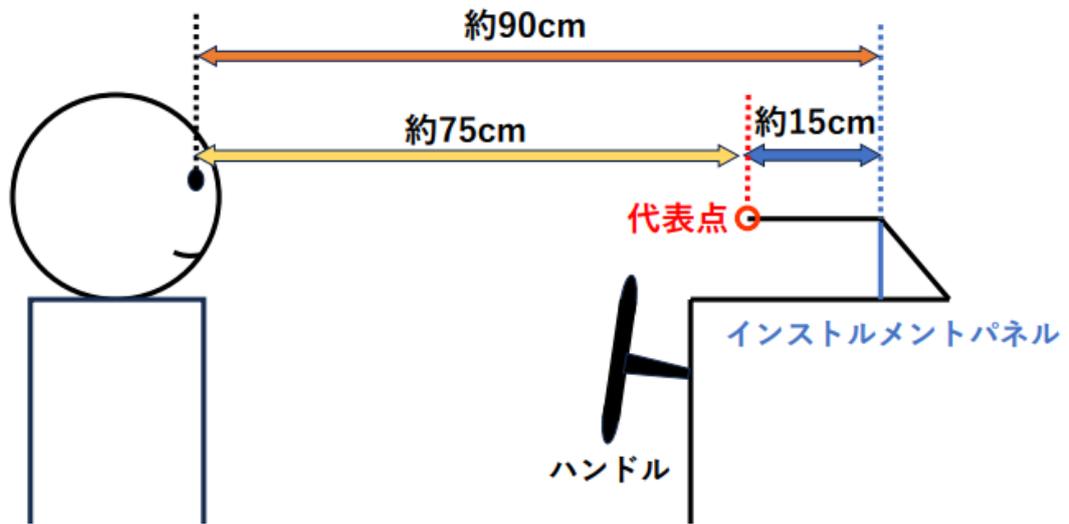


図 3.8: 運転者から代表点までの距離

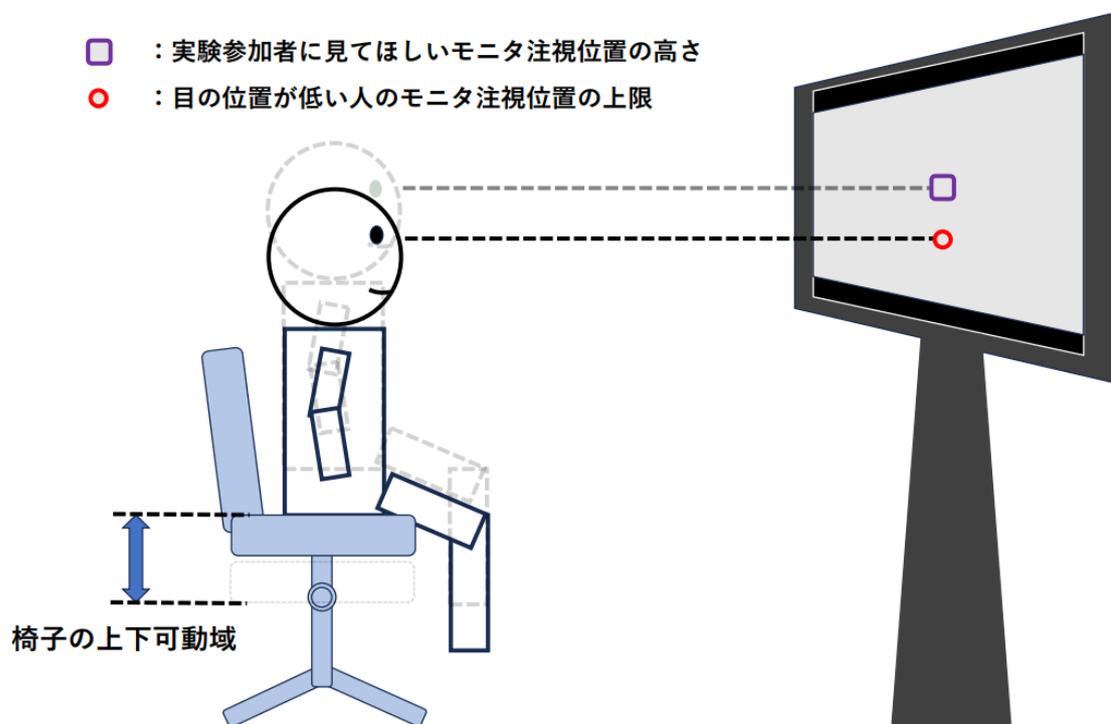


図 3.9: モニタ注視位置のずれ

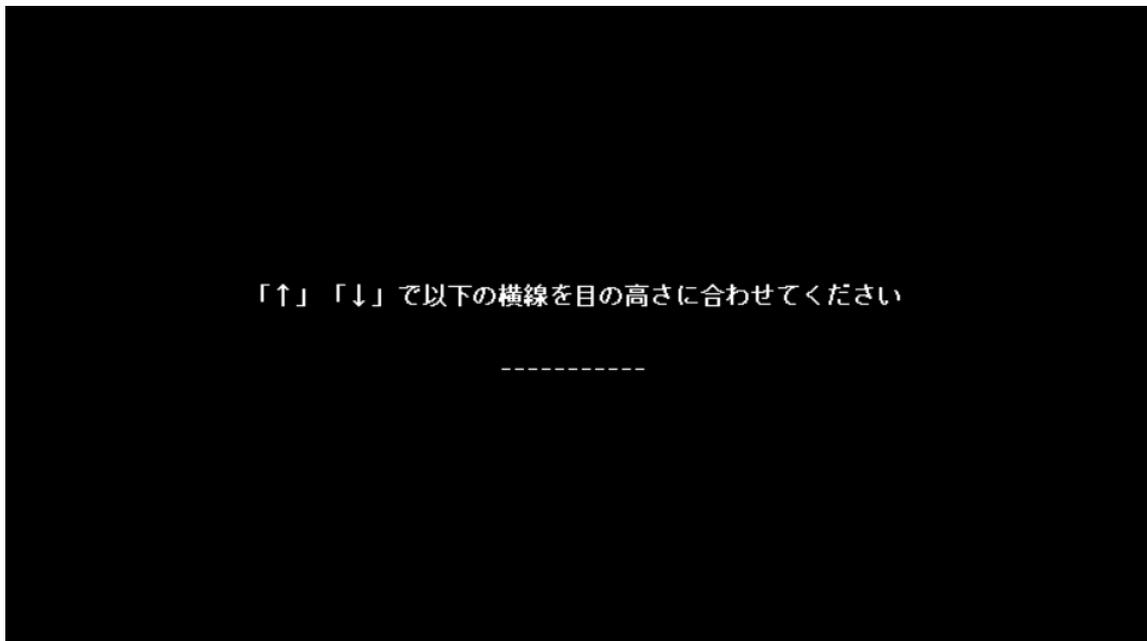


図 3.10: 上下可視領域調整用画面

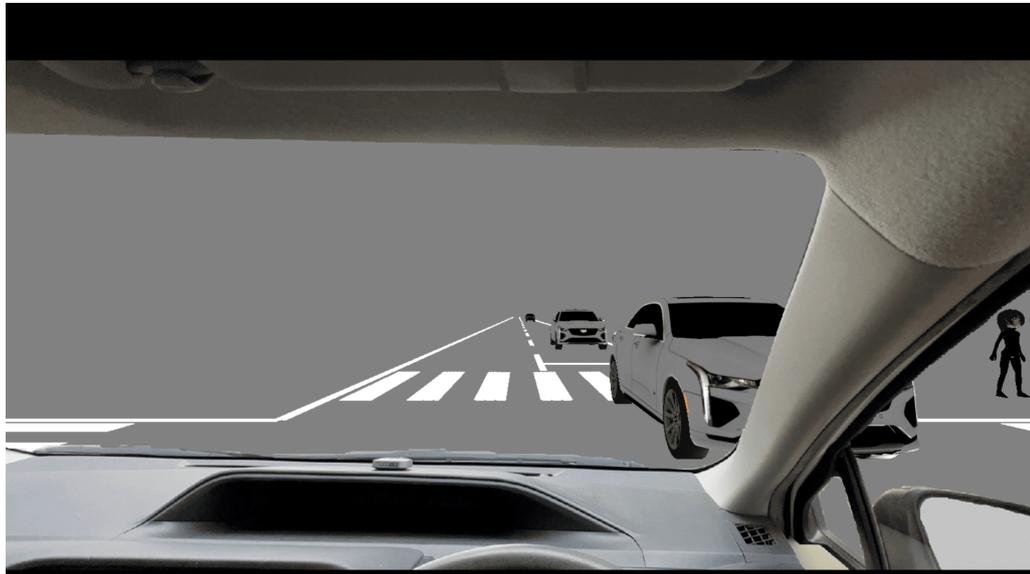


図 3.11: 可視領域を低めに調整したシミュレータ

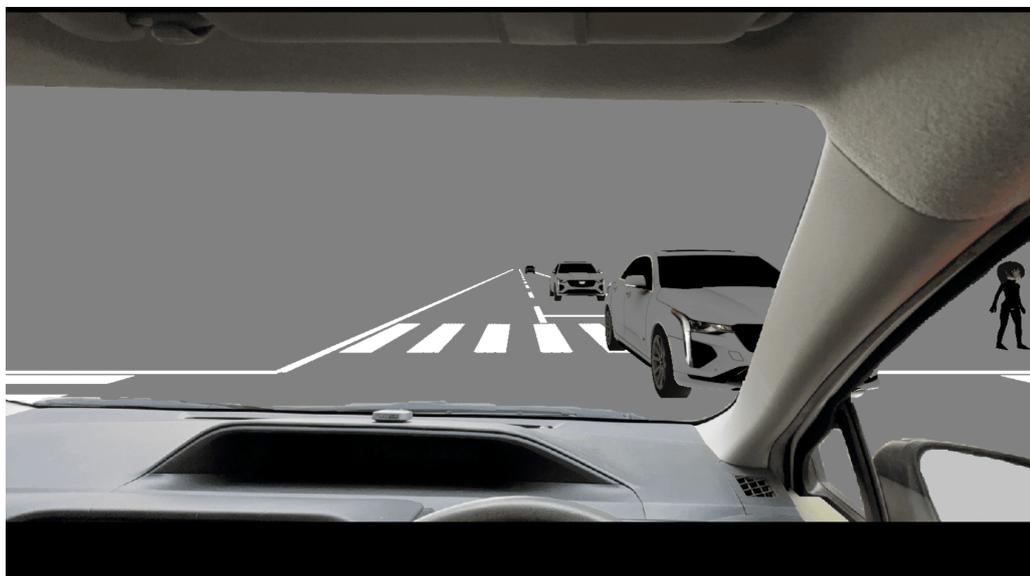


図 3.12: 可視領域を高めに調整したシミュレータ

第4章 実験

4.1 各種定数とパラメータ

実験シミュレータでは、車のサイズは、実験参加者が操作する車としてトヨタ社のアクア（全長 3.995m, 全幅 1.695m, 全高 1.445m）を、その他の車として本田技研工業のレジェンド（全長 5.03m, 全幅 1.89m, 全高 1.48m）を想定した。すなわち、自転車右折実験では右折車がアクアで対向直進車（先導車を含む）はレジェンドであり、自転車直進実験では直進車（先導車を除く）がアクアで対向右折車および直進先導車がレジェンドである。

その他は基本的に3章の先行研究に同じである。サイズに関しては前述の通りであるが、加速性能に関しては実際の自動車を想定しない。実際の自動車は停止状態からアクセルを踏んでいきなり速度が出るわけではなく加速して徐々に速度が増していくが、簡略化のため定速走行状態と停止状態、および一定の加速度での制動（減速）状態に制限する。すなわち、直進車は実験開始時には既に定速走行している。自転車右折実験の場合、右折車は実験参加者が右折実施判断をした時点で停止状態から定速での右折走行の状態に瞬時に移行する。自転車直進実験の場合、実験参加者が自転車を制動する際には後述する不快感を覚えないであろう減速度で減速する。

車線数は片側1車線とする。実際の車線幅員については、すれ違いや追越などの実験結果を踏まえ設計車両の幅に必要な余裕幅を加えて規定しており、片側1車線の場合、車線幅は 2.75m~3.5m と定められている [22]。車線幅は地方部と都市部で規定が異なるが、普段よく目にするのは 3m~ から 3.5m の範囲に収まるようである。では片側1車線の車線幅をその中間値の 3.25m とする。

2章で述べたとおり、令和3年度に集計された一般道を走行する際の自動車の速度は各都道府県毎に平均して 40km/h を上回っている場合が少なくない [21]。また日本では、一般道路における法定速度の上限は地域や道路の種類によって異なり、最

高で 60km/h と定められている。そこで、市街地や住宅街などで一般的に見られる比較的低速の運転速度として 40km/h、郊外の道路や幹線道路でよく見られる標準的な運転速度として 50km/h、そして法定速度上限に達する高速の運転速度として 60km/h、の 3 パターンの直進車速度を想定し実験を行う。

右折車の速度と右折時間について検討する。道路交通法の第 34 条第 2 項によると、自動車は交差点の中心のすぐ内側を徐行して走行する必要がある。また、同法の第 2 条第 20 項では、徐行は車両が直ちに停止できる速度であると規定されている。車線の幅が 3.25m である場合、約 4m ないしは約 5m の車両が右折する際の右折経路は 9m~10m 程度であるためここでは 9.5m と仮定する。実際に徐行しながら右折する際、平均速度は 10km/h 程度であると思われる。9.5m を 10km/h で走行する場合、所要時間は 3.42sec である。すなわち、右折開始から右折完了まで 10km/h の一定速度で徐行する場合 3.42sec かかる。さらに、ヒトは 3sec 先までなら自身の行動がもたらす結果や周りへの影響を予想しながら行動できる [23]-[24]。つまり、3sec 先までならヒトは時間を数えずとも右折行動が完了するまでの予測が可能であるといえる。そのため、実験では右折車の右折速度を定速で 11.4km/h（このときの右折時間は 3sec）であるとすると、右折中にその運転手が対向車線を占有する時間を感覚的に把握することができ、対向車に与える影響を予測できる。そこで、右折時間を 3sec と設定する。

直進車の減速度について考える。直進車を停止させようとするとき、一般に 0.75sec 程度の空走時間が必要である。制動時間は走行速度によって変わる。ここでは、例として 40km/h で走行する場合を考えてみる。乾燥したアスファルトの上を 40km/h で走行する車の制動距離は約 9m で、制動時間はおよそ 1.6sec である。このときの停止時間は約 2.4sec であり、減速度はおよそ 0.7G（G は重力加速度）である。減速度 0.3G 以下の減速は、日常の車の運転での減速の約 90% を占め [25]、かつ減速度 0.3G の減速は不快感を覚える減速の閾値である [26]。また、危険を避ける行動として一般に使われるのは 0.5G~0.7G である [26]。そのため、直進車が制動する際に不快感を覚えない減速度を 0.3G とし、これを直進車が制動する際に適用することにする。すなわち直進車が制動する際は、制動を始めてから停止するまで 0.3G で等加速度（減速度）直線運動をする。

4.2 実験の流れ

最初に、実験参加者が操作方法に慣れるために自車右折実験の練習を行ってもらおう。自車右折の様子を図4.1に示す。実際の右折時には歩行者が飛び出してくる可能性が考えられるため、現実世界と同様に対向車と歩行者に気を配りつつ右折判断をしてもらう。練習では図4.2のように歩行者が飛び出してくる場合がある。歩行者が飛び出してくると右折自車は自動的に制動を開始し、歩行者が通り過ぎた後に右折を完了する。また、右折自車の制動開始と同時に対向直進車も制動を開始する。歩行者は必ず飛び出すわけではなく、図4.3のように右折開始から右折完了後も待ち続けている場合もある。実験参加者には、歩行者が飛び出してくる場合と飛び出してこない場合をランダムに体験してもらおう。練習を通して、実験シミュレータにおける右折に慣れてもらい、また対向車や歩行者に対する安全の意識を高めてもらい、自車右折実験本番でも引き続き安全に配慮して右折してもらおう。次に自車直進実験の練習を行ってもらおう。自車直進の様子を図4.4に示す。直進中の自車は制動をかけてもすぐには停止せず、実験参加者にはその減速の感覚を覚えてもらう。それぞれの練習は実験参加者本人が慣れたと感じるまで充分に行った。練習を行った結果、初めの時よりも慣れた様子が見受けられたが、その正確性については確かではない。

続いて自車右折実験本番を行ってもらおう。図4.5に示したように自車右折実験本番では歩行者がいないが、練習時と同じように安全に配慮した上で対向車に不快感を与えないと判断したときのみ右折してもらおう。具体的には、最後尾の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通り過ぎた直後から対向直進車が交差点に到達するまでの間に、対向直進車に不快感を与えず自車が右折完了可能かどうか、すなわち心理的右直マージンが確保されているかどうか判断し、確保されていると判断した場合に右折を開始してもらおう。右折により対向直進車に不快感を与えてしまう、すなわち心理的右直マージンが確保されていないと実験参加者が判断した場合には右折を行わず、対向直進車の後端が交差点中心を通過するまで待機する。これを1試行とし、対向直進車の右直マージン時間9パターンと直進車速度3パターンの計27パターンの試行を行い、1セットとする。次に自車直進実験本番を行っても

らう。最後尾の直進先導車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通り過ぎた直後から対向右折車は右折を開始し、この右折行動によって実験参加者が不快感を覚えた場合、すなわち心理的右直マージンが確保されていなかった場合に直進自車を制動する。対向右折車の右折行動に不快感を与えられなかった場合、すなわち心理的右直マージンが確保されていた場合は直進自車を制動することなく、直進自車前方を右折する対向右折車を見送りつつ一定の速度を維持して交差点を通過する。対向右折車の右折完了後に、実験参加者はどの程度の不快感を覚えたのかアンケートを回答する。評価は“1：全く不快ではない，2：どちらかというと不快ではない，3：どちらでもない，4：どちらかというと不快，5：非常に不快”のリッカート尺度で行ってもらう。これを1試行とし、直進自車の右直マージン時間9パターンと直進車速度3パターンの計27パターンの試行を行い、1セットとする。これらのパターンに重複はなく、実験の参加者は各試行をランダムに一度ずつ行う。これらの2つの実験を交互に2セットずつ実施する。実験の参加者は、普通自動車運転免許を所有する大学生および大学院生16名である。



図 4.1: 自車右折実験の様子

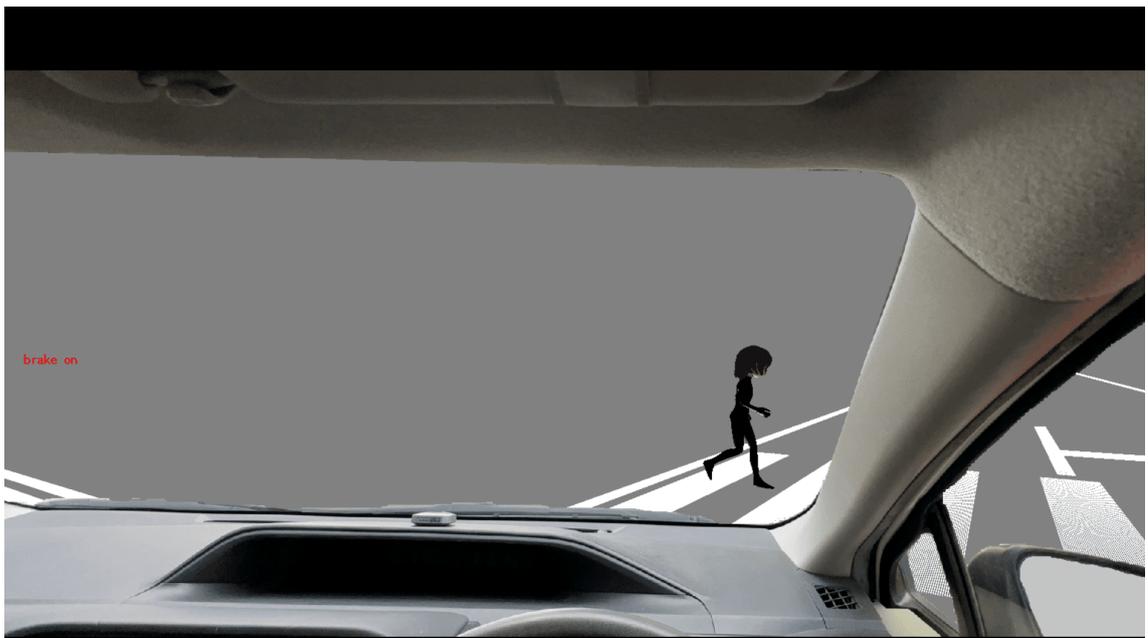


図 4.2: 自車右折実験練習（右折途中，歩行者飛び出し）

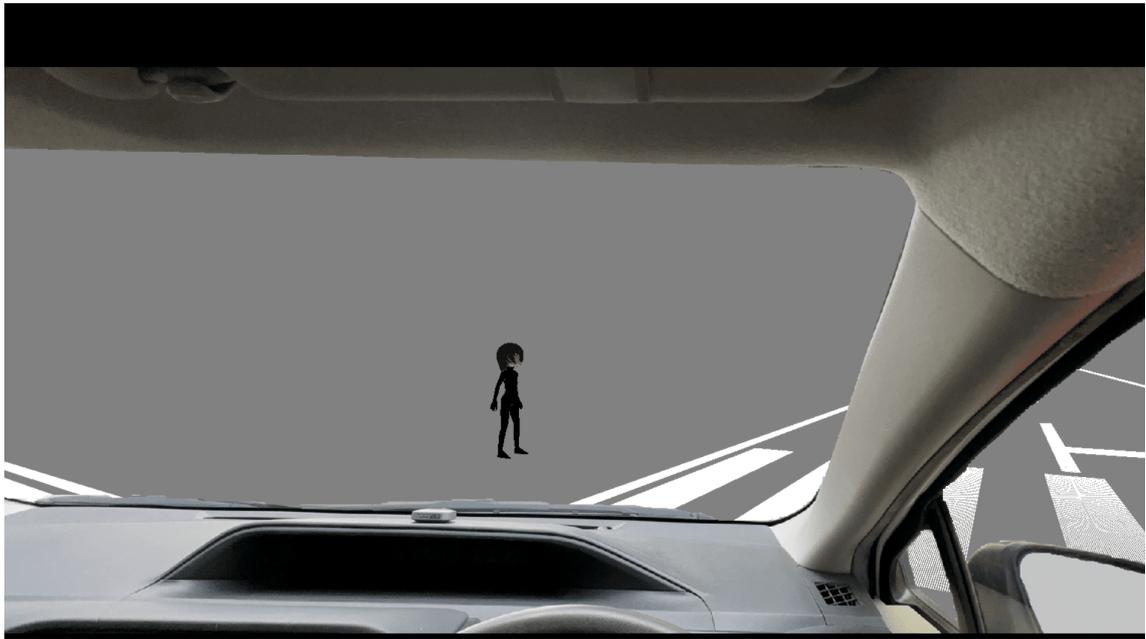


図 4.3: 自車右折実験練習 (右折途中, 歩行者飛び出しなし)

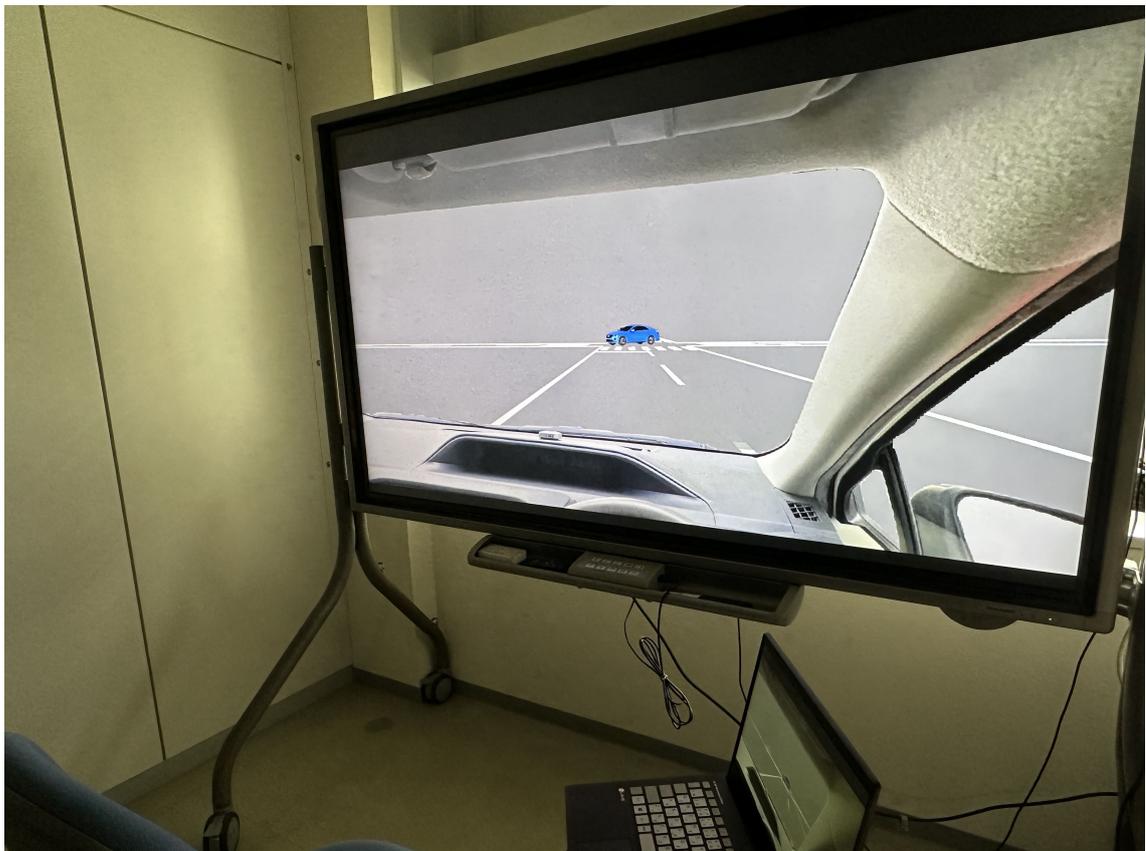


図 4.4: 自車直進実験の様子

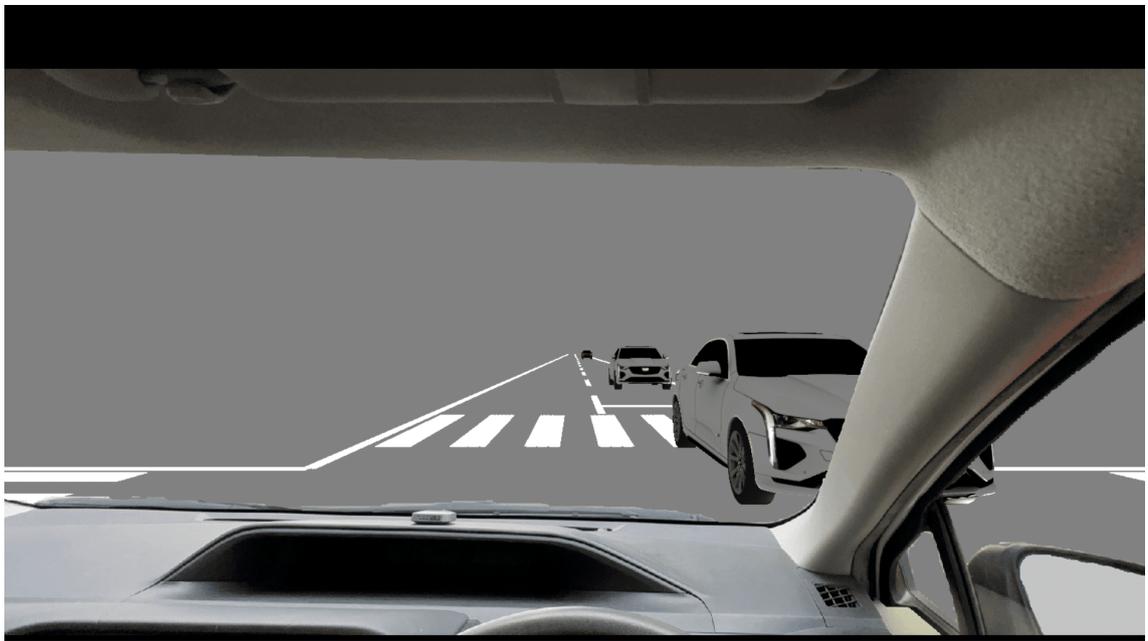


図 4.5: 自車右折実験本番 (右折前, 歩行者なし)

4.3 実験結果

実験参加者 16 名はそれぞれ自車右折実験，自車直進実験を 2 セット行った。データの分析にあたり，対応のある 3 群以上のノンパラメトリックな多重比較検定を行う必要があるため，実験参加者から得られたデータの平均値を用いる。この平均値を基に各実験参加者の結果を解析する。解析には Steel-Dwass 法を用いた多重比較検定を採用し，結果の有意性を評価する。本節の図における「*」「**」は，それぞれ有意差が認められたデータの組み合わせを示している。「*」は $p < 0.05$ ，「**」は $p < 0.01$ である。

自車右折実験：実験参加者が対向直進車の乗員に不快感を与えないと判断して右折を行ったデータと，対向直進車に不快感を与えると判断し対向直進車を見送ったデータに着目する。これらを右折実施判断データと称し，解析する。各右直マージン時間と直進車速度の組み合わせごとに，実験参加者の試行から得られた右折実施判断データの平均値を算出する。実験参加者 16 名から得られたそれぞれの右直マージン時間の平均値に対して，各群間の有意差について検定する。また，右折実施率が 50% となる右直マージン時間にも着目する。右折実施率が 50% ということは，実験参加者の半数が右折実施判断を行ったということである。すなわち，右折実施判断が 50% となる右直マージン時間が心理的右直マージン時間である可能性が考えられる。図 4.6 は対向直進車が 60km/h で走行する場合，図 4.7 は対向直進車が 50km/h で走行する場合，図 4.8 は対向直進車が 40km/h で走行する場合の自車右折実験結果である。

[直進車 60km/h]：右直マージン時間が 3.0sec~3.5sec の群と 5.0sec~7.0sec の群との間にそれぞれ有意差が見られた。また，4.0sec の群と 5.5sec~7.0sec の群，4.5sec の群と 6.0sec~6.5sec の群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから，右折実施判断境界である右直マージン時間は 4.7sec 付近であると推定される。右折実施率からは 4.6sec 付近が閾値と推定される。検定結果から推定される右折自車が相手に不快感を与えないと判断する心理的右折マージン時間について考える。右折時間は 3sec であるため，心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 1.7sec 程度であると推定される。また，右折実施率から推定される心理的右直マージン時間 = 右折時間 +

1.6sec 程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は 1.6sec 程度であると示唆される。

[直進車 50km/h]：右直マージン時間が 3.0sec~4.0sec の群と 5.5sec~7.0sec の群との間にそれぞれ有意差が見られた。4.5sec の群と 5.5sec, 6.5sec, 7.0sec の群において、また 5.0sec の群と 7.0sec の群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界である右直マージン時間は 5.1sec 付近であると推定される。右折実施率からは 5.2sec 付近が閾値と推定される。検定結果から推定される右折自車が相手に不快感を与えないと判断する心理的右折マージン時間について考える。右折時間は 3sec であるため、心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 2.1sec 程度である。また、右折実施率から推定される心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 2.2sec 程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は 2.2sec 程度であると示唆される。

[直進車 40km/h]：右直マージン時間が 3.0sec の群と 5.5sec~7.0sec の群との間にそれぞれ有意差が見られた。3.5sec~4.5sec の群と 6.0sec~7.0sec の群において、また 5.0sec~5.5sec の群と 7.0sec の群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界である右直マージン時間は 5.7sec 付近であると推定される。右折実施率からは 5.7sec 付近が閾値と推定される。検定結果から推定される右折自車が相手に不快感を与えないと判断する心理的右折マージン時間について考える。右折時間は 3sec であるため、心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 2.7sec 程度である。また、右折実施率から推定される心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 2.7sec 程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は 2.7sec 程度であると示唆される。

[各速度比較考察]：有意差検定から推定される右折実施判断境界である右直マージン時間は、対向直進車の走行速度が速くなるにつれて短くなることがわかった。すなわち、心理的右直マージン時間は対向直進車の走行速度が速くなるにつれて短くなるということが示唆される。対向直進車が 40km/h と 50km/h のときの右折実施率を比較する。4.0sec~4.5sec と 5.5sec~7.0sec 時における右折実施率は 50km/h より 40km/h の方が低い結果であった。次に対向直進車が 50km/h と 60km/h のときの右折実施率を比較すると、どの右直マージン時間においても 60km/h より 50km/h の方が低い結果であった。すなわち、対向直進車の走行速度が遅くなるにつれて同一の右直マージン時間における右折自車の右折実施率が低下する傾向があることがわ

かった。

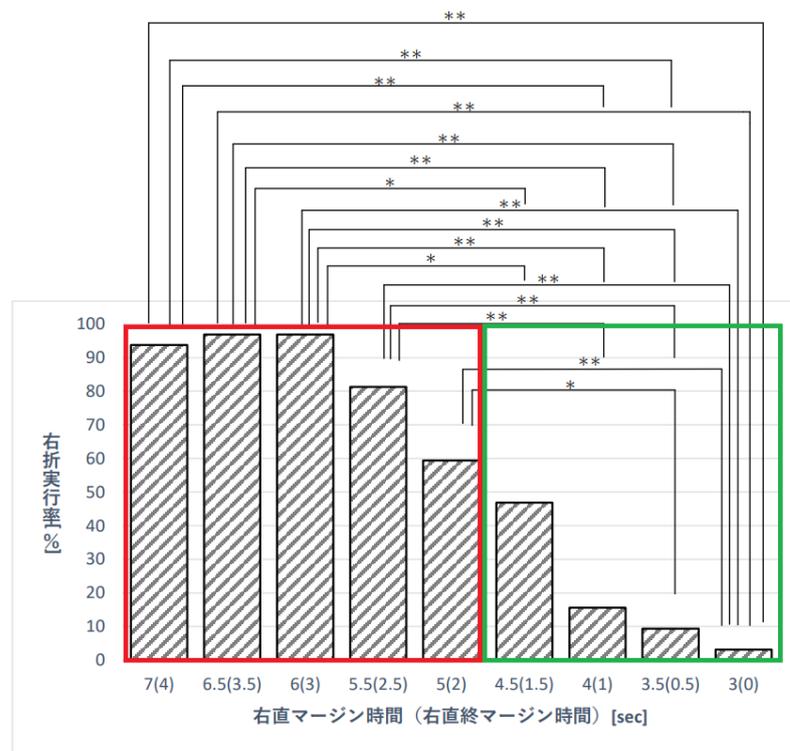


図 4.6: 自転車右折実験 (直進車 60km/h)

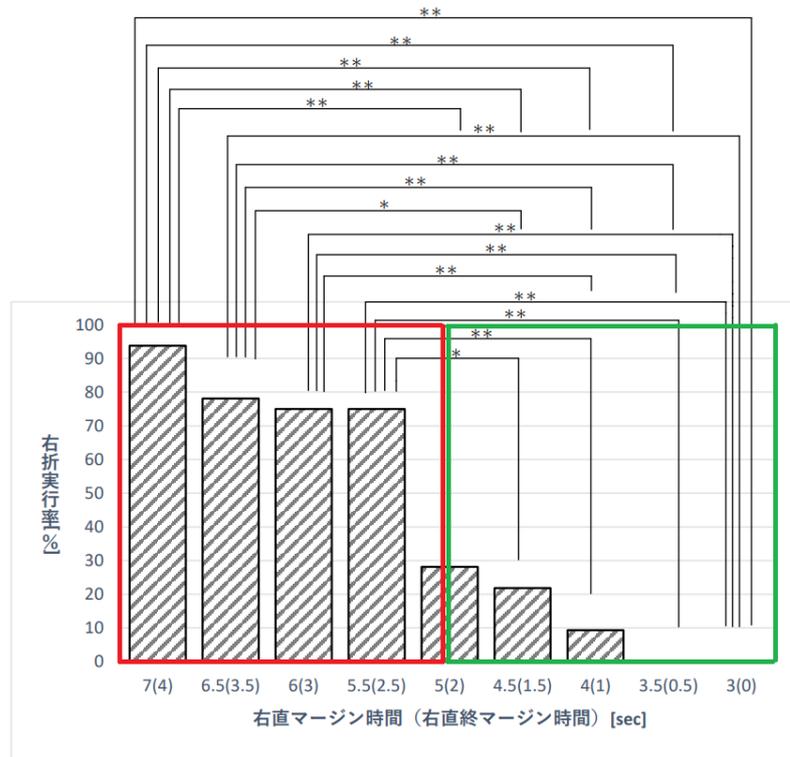


図 4.7: 自転車右折実験 (直進車 50km/h)

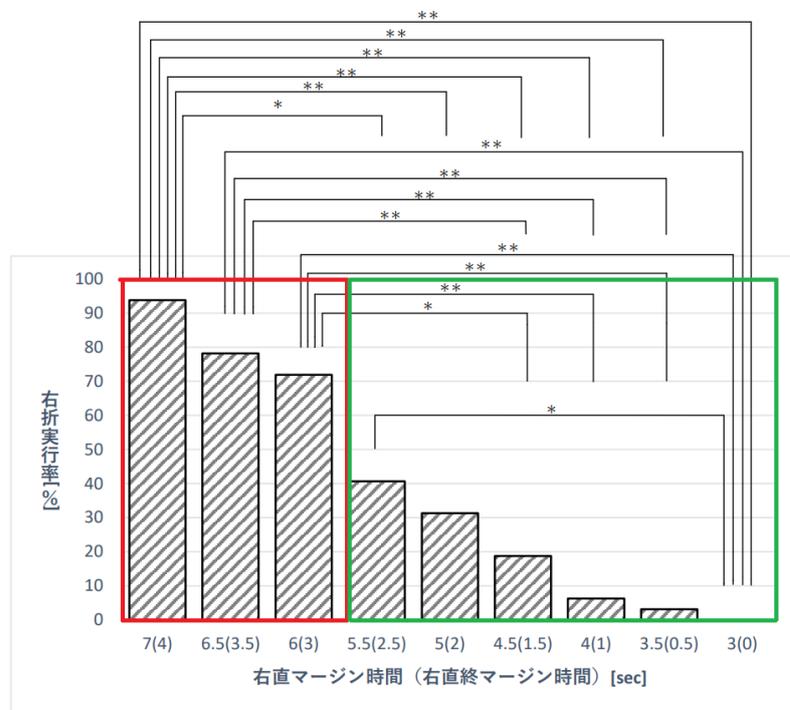


図 4.8: 自転車右折実験 (直進車 40km/h)

自転車直進実験（官能評価）：対向右折車の右折によって直進車乗員である実験参加者が不快感をどの程度覚えたかについてのアンケート結果を官能判断データと称し、解析する。各右直マージン時間と直進車速度の組み合わせごとに、実験参加者のアンケートから得られた官能判断データの平均値を算出する。実験参加者16名から得られたそれぞれの右直マージン時間の平均値に対して、各群間の有意差について検定する。官能評価が3の場合「快でも不快でもない」、4の場合「やや不快」を表すため、その中間値である3.5のときの右直マージン時間が心理的右直マージン時間であると考えられる。そこで不快度が3.5のときの右直マージン時間に着目する。図4.9は直進自転車が60km/hで走行する場合、図4.10は直進自転車が50km/hで走行する場合、図4.11は直進自転車が40km/hで走行する場合の自転車直進実験官能評価の解析結果である。

[直進自転車60km/h]：直進自転車の右直マージン時間が3.0secの群と4.0sec~7.0secの群において、また、3.5secの群と4.5sec~7.0secの群においてそれぞれ有意差が見られた。さらに4.0secの群と5.0sec~7.0secの群、4.5secの群と5.5sec~7.0secの群、そして5.0secと7.0secの群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界である右直マージン時間は4.5sec付近であると考えられる。不快度合いからは3.9sec付近が閾値と推定される。検定結果から推察される、対向右折車によって直進自転車乗員である実験参加者が不快感を与えられないと判断する心理的右直マージン時間について考える。右折時間は3secであるため、心理的右直マージン時間=右折時間+1.5sec程度であると推定される。また、不快度合いから推定される心理的右直マージン=右折時間+0.9sec程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は0.9sec程度であると示唆される。

[直進自転車50km/h]：直進自転車の右直マージン時間が3.0secの群と4.0sec~7.0secの群において、また、3.5sec~4.0secの群と5.0sec~7.0secの群においてそれぞれ有意差が見られた。さらに4.5secの群と5.5sec~7.0secの群、5.0secと6.5secの群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界である右直マージン時間は4.7sec付近であると考えられる。不快度合いからは4.0sec付近が閾値と推定される。検定結果から推察される、対向右折車によって直進自転車乗員である実験参加者が不快感を与えられないと判断する心理的右直マージン時間について考える。右

折時間は3secであるため、心理的右直マージン時間＝右折時間＋1.7sec程度であると推定される。また、不快度合いから推定される心理的右直マージン＝右折時間＋1.0sec程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は1.0sec程度であると示唆される。

[直進自車40km/h]：直進自車の右直マージン時間が3.0secの群と4.5sec～7.0secの群において、また、3.5sec～4.0secの群と5.0sec～7.0secの群においてそれぞれ有意差が見られた。さらに4.5sec～5.0secの群と6.0sec～7.0secの群においてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界である右直マージン時間は5.0sec付近であると考えられる。不快度合いからは4.6sec付近が閾値と推定される。検定結果から推察される、対向右折車によって直進自車乗員である実験参加者が不快感を与えられないと判断する心理的右直マージン時間について考える。右折時間は3secであるため、心理的右直マージン時間＝右折時間＋2.0sec程度であると推定される。また、不快度合いから推定される心理的右直マージン＝右折時間＋1.6sec程度である。すなわち、心理的右直終マージン時間は1.6sec程度であると示唆される。

[各速度比較考察]：自車右折実験と同様に、直進自車の走行速度が遅くなるにつれて心理的右直終マージン時間が長くなる傾向が見られた。また、4.0sec～7.0sec時における不快度合いの大きさはどの同一の右直マージン時間においても、40km/hより50km/h、50km/hより60km/hの方が大きいという結果であった。これは自車右折実験の考察で述べた、直進車の走行速度が遅くなるにつれて心理的右直マージン時間が増大する傾向と一致する。また、同一の右直マージン時間でも右直マージン距離が異なるために、衝突の恐れがなくても右直終マージンに余裕がないように感じられたのかもしれない。一方で、3sec～3.5secにおいては、60km/hが最も不快度が大きかった。これは、直進自車と対向右折車との右直終マージン距離が短いため衝突を強く意識する結果として、直進自車が60km/hで走行しているときに、40km/hや50km/hで走行しているときよりも不快度合いが大きくなったと考えられる。

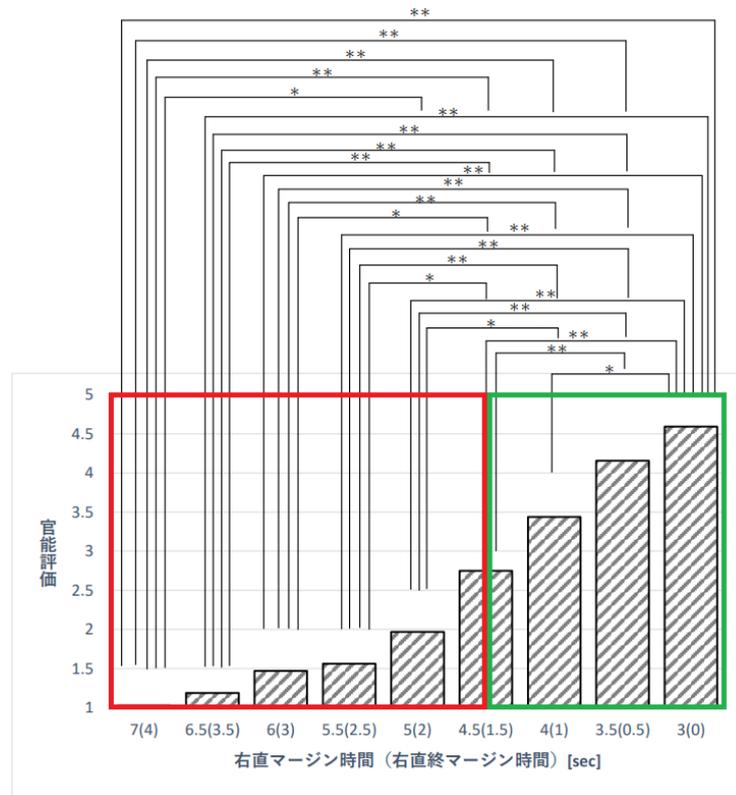


図 4.9: 自転車直進実験官能評価 (直進車 60km/h)

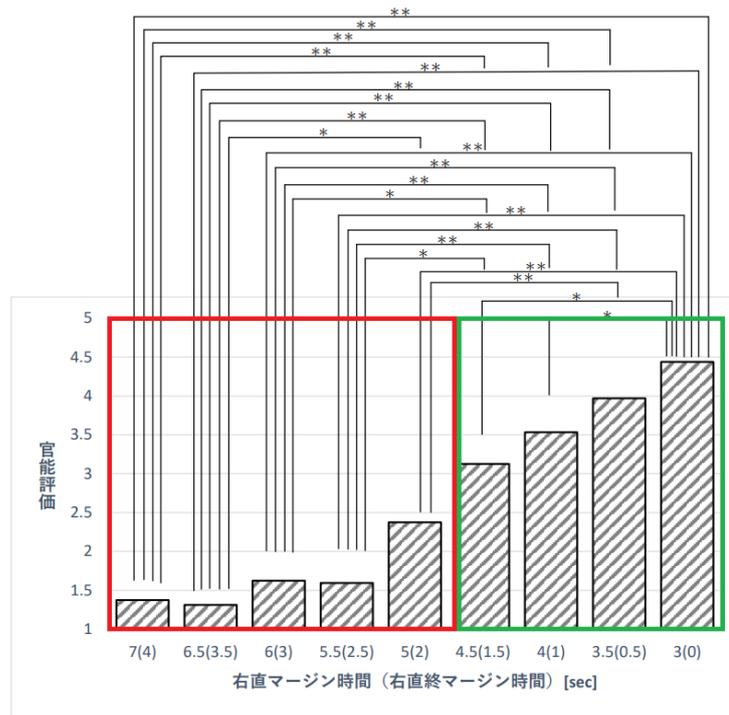


図 4.10: 自転車直進実験官能評価 (直進車 50km/h)

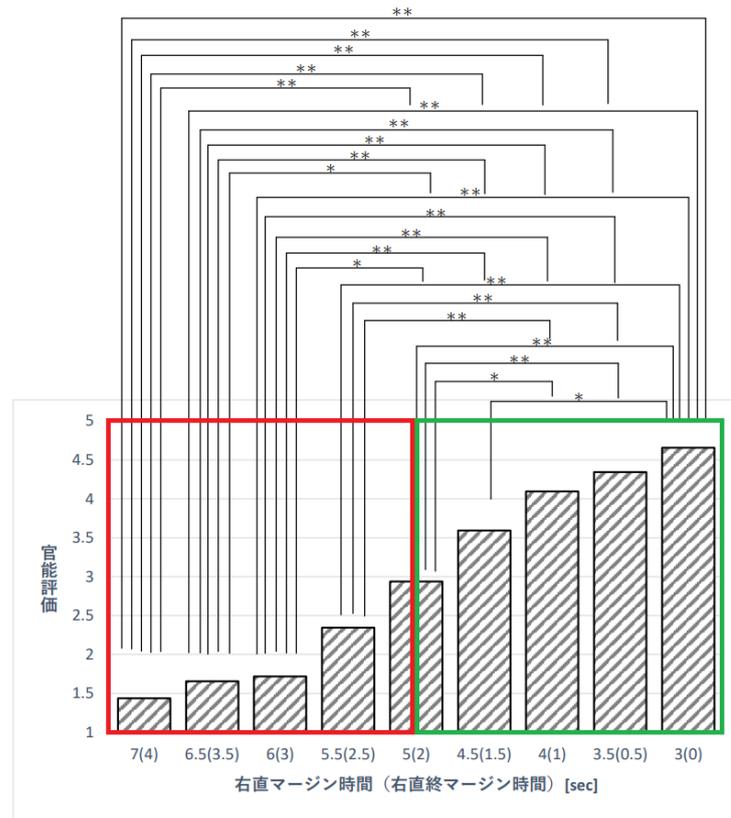


図 4.11: 自転車直進実験官能評価 (直進車 40km/h)

自転車直進実験 (制動評価) : 自転車直進実験において、図 4.12 は直進自転車が 60km/h で走行する場合、図 4.13 は直進自転車が 50km/h で走行する場合、図 4.14 は直進自転車が 40km/h で走行する場合の制動開始時点における右直マージン時間の分布を示す。これは各実験参加者のデータの平均値ではなく、実験参加者 16 名が 2 セットずつ自転車直進実験を行った際に制動をかけたときのデータを集め分布に表したものである。制動を行った試行の累積確率について述べる。

[直進車 60km/h] : 制動を行った試行の累積確率が 50% を超えるのは、制動開始時点での右直マージン時間が 2.5sec~3.0sec の間であり、2.6sec と推定される。すなわち、制動を行った試行のうち半数以上が、右直マージン時間が 2.6sec 付近において対向右折車に不快感を与えられていると感じ、制動開始判断をとっていることがわかる。

[直進車 50km/h] : 制動を行った試行の累積確率が 50% を超えるのは、制動開始時点での右直マージン時間が 3.0sec~3.5sec の間であり、3.2sec と推定される。すなわち、

制動を行った試行のうち半数以上が、右直マージン時間が3.2sec付近において対向右折車に不快感を与えられていると感じ、制動開始判断をとっていることがわかる。

[直進車 40km/h]：制制動を行った試行の累積確率が50%を超えるのは、制動開始時点での右直マージン時間が3.5sec~4.0secの間であり、3.6secと推定される。すなわち、制動を行った試行のうち半数以上が、右直マージン時間が3.6sec付近において対向右折車に不快感を与えられていると感じ、制動開始判断をとっていることがわかる。

[各速度比較考察]：直進車速度が60km/h, 50km/h, 40km/hである時の制動開始時の右直マージン時間を比較する。推定されたデータは順に2.6sec, 3.2sec, 3.6secであり、直進自車の速度が遅いほど制動を早く行うことが分かった。つまり、直進自車の走行速度が遅くなるにつれて直進自車を制動する判断が早くなるという傾向が見られた。

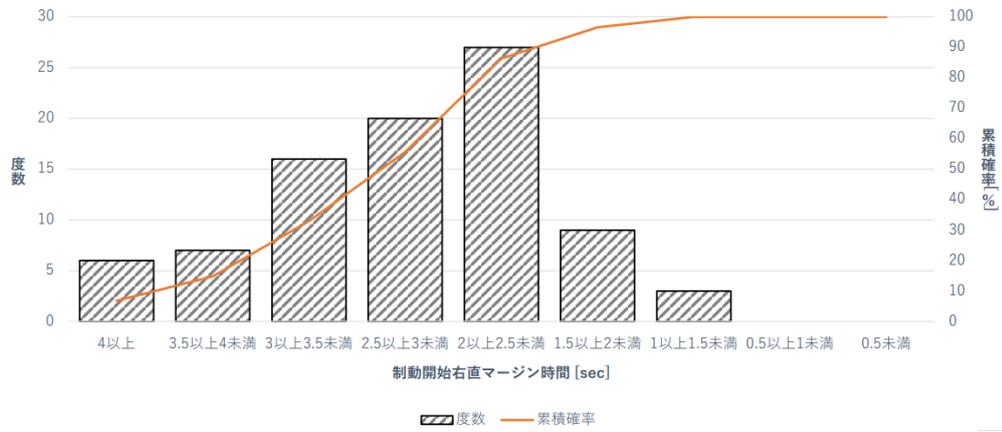


図 4.12: 自車直進実験制動評価 (直進車 60km/h)

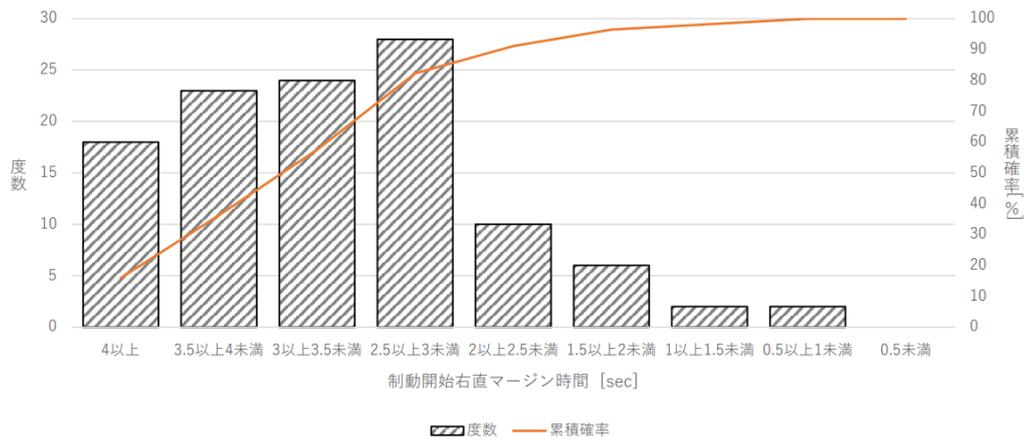


図 4.13: 自車直進実験制動評価 (直進車 50km/h)

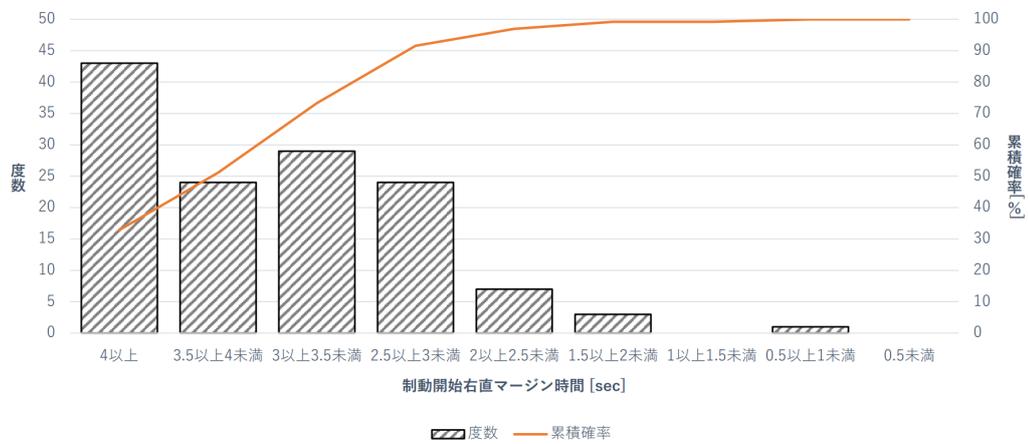


図 4.14: 自車直進実験制動評価 (直進車 40km/h)

4.4 運転者視点と俯瞰視点の比較

当研究室では右折車が不快に感じない、かつ相手に不快感を覚えさせない右折開始の判断指標を見出すことを目標にした実験を行っている。先行研究では俯瞰視点でのシミュレータにおいて実施した。本研究では運転者視点でのシミュレータにおいて実施した。本節では、実験で得られた結果を直進車速度に対する心理的右直マージンに着目して比較する。

運転者視点（自車右折）：はじめに、運転者視点での実験で得られた心理的右直マージンについて述べる。図4.15 (a) は、自車右折実験における検定結果や右折実施率より推定した心理的右直マージン時間と、最小右直マージン時間、十分右直マージン時間を速度別に比較したものである。直進車速度が速くなるにつれて推定した心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られる。一般に直進車の停止距離は同一の路面状況において速度が大きいほど長くなる。そのため、直感的に速度が大きくなるほど心理的右直マージン時間も長くなると考えられる。しかし、その傾向とは逆に速度が大きくなるほど心理的右直マージンが短くなるといった傾向が見られた。その要因として、同一の右直マージン時間であっても速度に依存して右直マージン距離が変化することが挙げられる。つまり、右直マージン時間より右直マージン距離を右折開始の判断に用いている可能性が考えられる。そこで図4.15 (b) に、自車右折実験における距離に換算した、心理的右直マージン距離と、速度ごとの最小右直マージン距離、十分右直マージン距離を速度別に比較したものを示す。心理的右直マージン距離が最小右直マージン距離の推移と似ていると考えられる。このことより、心理的右直マージンは時間より距離の方が相関が強いのではないかと考えた。自車右折実験における、実験参加者が実際に右折開始したときの右直マージン時間と直進車速度、また右直マージン距離と直進車速度の相関関係を調べる。その結果、直進車速度と心理的右直マージン時間の相関係数は-0.218であり弱い負の相関が、直進車速度と心理的右直マージン距離の相関係数は0.630であり正の相関が見られた。したがって、右折実施判断には右直マージン時間よりも右直マージン距離の方がより強く影響を及ぼす傾向があるということが示唆された。

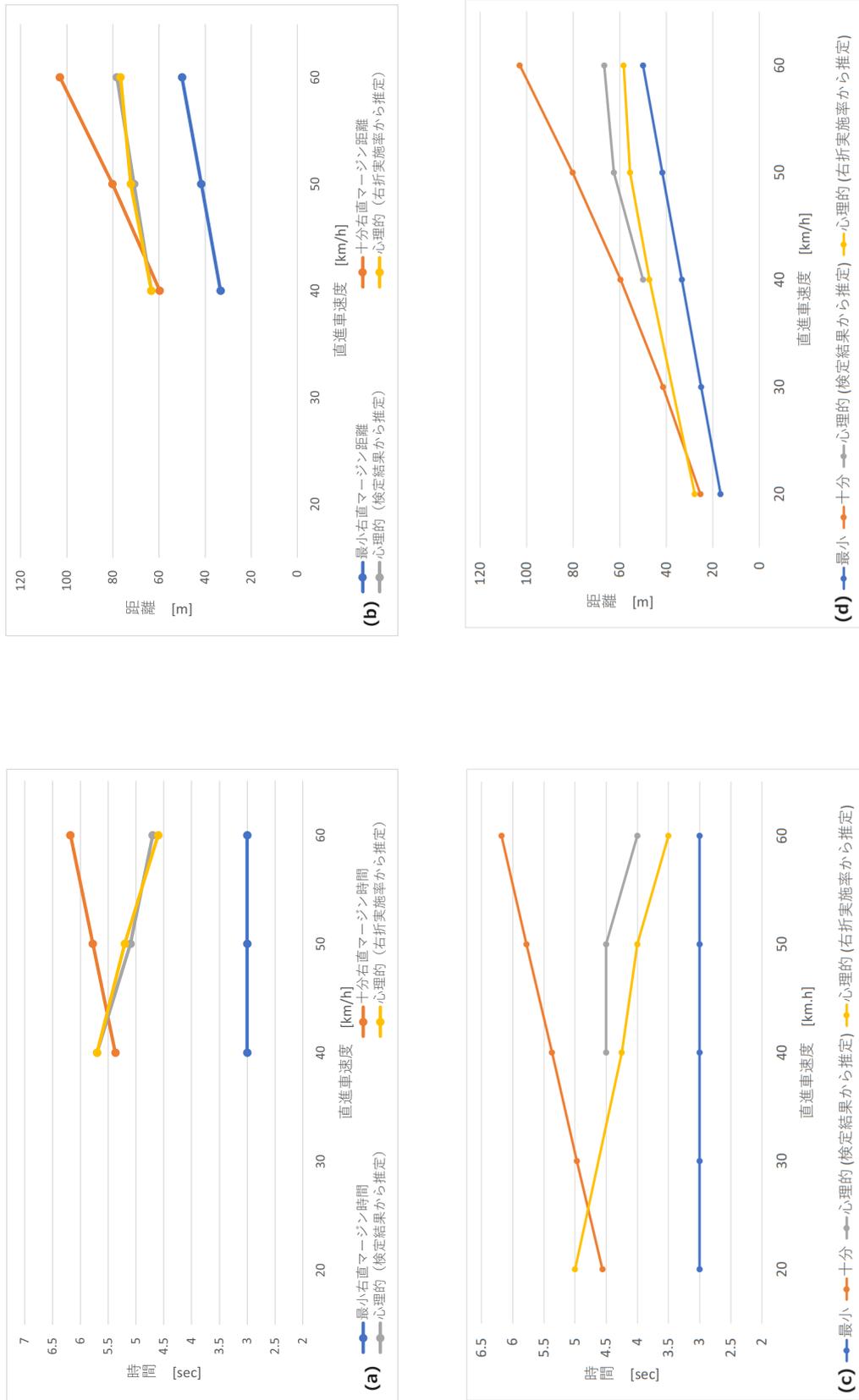


図 4.15: 自転車右折実験, 直進車速度と右直マージン, (a) 運転者視点, マージン時間, (b) 運転者視点, マージン距離, (c) 俯瞰視点, マージン時間, マージン距離, (d) 俯瞰視点, マージン距離

運転者視点（自車直進）：図 4.16 (a) は、自車直進実験における検定結果や不快度合いを推定した心理的右直マージン時間と、速度ごとの最小右直マージン時間、十分右直マージン時間を速度別に比較したものである。自車右折実験と同様に直進車速度が速くなるにつれて推定した心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られる。また、図 4.16 (b) に、自車直進実験における距離に換算した、心理的右直マージン距離と、速度ごとの最小右直マージン距離、十分右直マージン距離を速度別に比較したものを示す。心理的右直マージン距離は最小右直マージン距離と似た推移を示している。自車直進実験における、実験参加者が制動開始したときの右直マージン時間と直進車速度、また右直マージン距離と直進車速度の相関係数を調べる。その結果、直進車速度と心理的右直マージン時間の相関係数は-0.359であり弱い負の相関が、直進車速度と心理的右直マージン距離の相関係数は0.174であり弱い正の相関が見られた。自車直進実験では直進車速度と右直マージン距離より、直進車速度と右直マージン時間の方が相関係数が強く示される結果となった。

俯瞰視点（自車右折）：次に、俯瞰視点での実験で得られたデータの傾向について述べる。図 4.15 (c) は、俯瞰視点での自車右折実験における検定結果、また右折実施率から推定した心理的右直マージン時間と、速度ごとの最小右直マージン時間、十分右直マージン時間を速度別に比較したものである。これを距離に換算したものが、図 4.15 (d) である。図 4.15 (c) より、直進車速度が速くなるにつれて推定した心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られる。また、図 4.15 (d) の心理的右直マージン距離が最小右直マージン距離に似た推移であると考えられる。そこで俯瞰視点での自車右折実験の右折を開始した時点での、右直マージン時間と直進車速度、また、右直マージン距離と直進車速度の相関係数を調べる。その結果、直進車速度と心理的右直マージン時間の相関係数は-0.187であり弱い負の相関が、直進車速度と心理的右直マージン距離の相関係数は0.829であり強い正の相関が見られた。したがって、右折実施判断には右直マージン時間よりも右直マージン距離が影響を及ぼす傾向があることが示唆された。

俯瞰視点（自車直進）：図 4.16 (c) は、俯瞰視点での自車直進実験における検定結果、また不快度合いを推定した心理的右直マージン時間と、速度ごとの最小右直マージン時間、十分右直マージン時間を速度別に比較したものである。これを距離

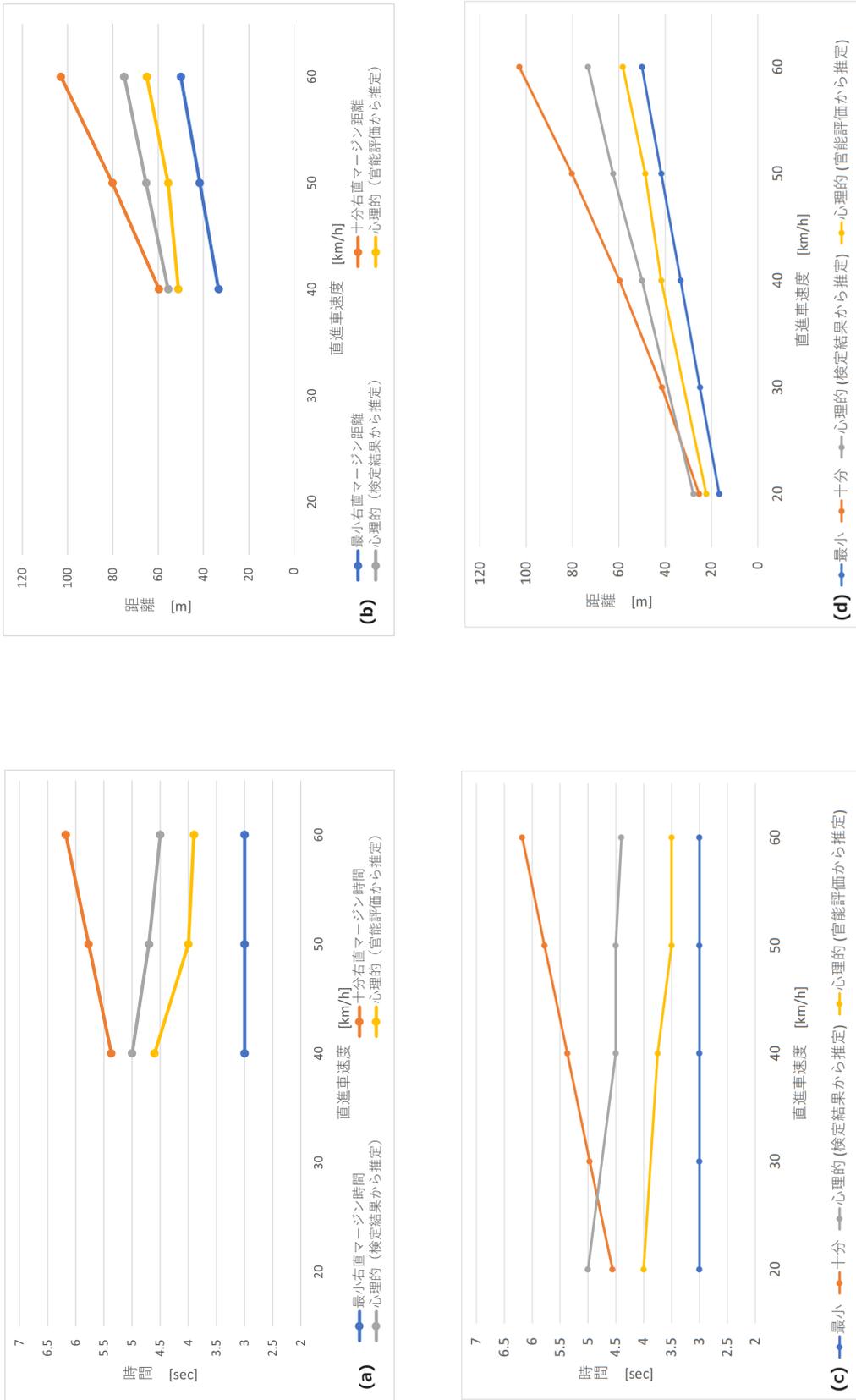


図 4.16: 自転車直進実験, 直進車速度と右直マージン, (a) 運転者視点, マージン時間, (b) 運転者視点, マージン距離, (c) 俯瞰視点, マージン時間, マージン距離, (d) 俯瞰視点, マージン距離

に換算したものが、図 4.16 (d) である。図 4.16 (c) より、俯瞰視点での自車右折実験と同様に直進車速度が速くなるにつれて推定した心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られる。また、図 4.16 (d) の心理的右直マージン距離が最小右直マージン距離に似た推移であるため相関係数を調べる。結果は、制動開始時の右直マージン時間と直進車速度の間に、相関係数-0.177 と弱い負の相関が見られ、右直マージン距離と直進車速度の間に 0.592 とやや強い正の相関が見られた。したがって、自車右折実験の場合と同様に右直マージン時間よりも右直マージン距離が影響を及ぼす傾向があることが示唆された。

運転者視点と俯瞰視点の比較：運転者視点と俯瞰視点でのシミュレータにおける実験から得られたデータの傾向を比較する。図 4.15 (a) と図 4.15 (c) を比較すると、どちらも対向直進車が速いほど心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られる。すなわち、速度が大きくなるほど心理的右直マージン時間も長くなるという直感的な傾向とは逆の傾向が見られる。また図 4.15 (b) と図 4.15 (d) においても、どちらも心理的右直マージン距離の推移は同じ傾向であることが読み取れる。次に、自車直進実験の図 4.16 (a) と図 4.16 (c) について比較する。どちらも直進自車が速いほど心理的右直マージン時間が短くなるという、直感的な傾向とは逆の傾向が見られる。図 4.16 (b) と図 4.16 (d) において、40km/h~60km/h のどの速度においても心理的右直マージン距離が最小右直マージン以上十分右直マージン未満であり同様な傾向が得られている。全体的に、数値自体には若干の相違もあるが、俯瞰視点と運転者視点における心理的右直マージンの傾向は同じであると判断できる。続いて、自車右折実験における右折開始時の心理的右直マージンと直進車速度の相関係数と、自車直進実験における制動開始時の心理的右直マージンと直進車速度の相関係数を表 4.1, 4.2 にまとめる。こちらも、数値自体には若干の相違があるが、同じ傾向を示している。ただし自車直進実験では、正負の傾向は変わらないが、相関係数の絶対値が逆転している。今後の精査が必要かもしれない。

表 4.1: 自転車右折実験における右折開始時の心理的右直マージンと直進車速度の相関係数

	俯瞰視点	運転者視点
右直マージン時間	-0.187	-0.218
右直マージン距離	0.829	0.630

表 4.2: 自転車直進実験における制動開始時の心理的右直マージンと直進車速度の相関係数

	俯瞰視点	運転者視点
右直マージン時間	-0.177	-0.359
右直マージン距離	0.592	0.174

第5章 むすび

本研究では右折車と対向直進車が存在する交差点において、右折車の搭乗者が不快感を覚えない、また対向直進車の搭乗者に不快感を覚えさせない右折運転行動を運転者視点で実験した。そして、得られた結果を先行研究の俯瞰視点で行った同様の実験結果と、直進車速度に対する心理的右直マージンに注目して比較した。自車右折実験では、運転者視点と俯瞰視点のどちらも同じように、心理的右直マージン時間は直進車の速度が遅いほど長くなる傾向が見られた。自車直進実験でも、運転者視点と俯瞰視点のどちらも同じように、心理的右直マージン時間は直進自車の速度が遅くなるにつれて長くなる傾向が見られた。すなわち、運転車視点のシミュレータを用いて行った実験結果の傾向は俯瞰視点でのシミュレータを用いて行った実験結果の傾向と一致するものであった。俯瞰視点でのシミュレータによる実験では没入感が得られなくて実際とは異なる右折行動を行う、ということはなさそうであると示唆された。そのため、この先に新たに行う実験では俯瞰視点での実験シミュレータにより、簡易的に済ませることができそうである。またこの比較結果より、高齢ドライバなどの免許更新のための運転機能検査機器の新たな開発に簡易的な俯瞰視点シミュレータを応用することもできると思われる。しかし、自車直進実験において実験参加者が制動開始したときの、右直マージン時間と直進車速度の相関係数と、右直マージン距離と直進車速度の相関係数は先行研究でのそれぞれの相関係数と比較して絶対値が逆転していた。今後は、シミュレータの視点の違いとこの相関係数の因果関係について精査したい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大なご尽力を頂き、ご指導を賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。また、本研究は近畿大学との共同研究の一部であり、研究の機会を与えてくださった近畿大学の谷田公二様に深く感謝致します。最後に、本研究に多大なご協力頂きました舟橋研究室諸氏に心から感謝致します。

参考文献

- [1] 蓮華一巳, “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”, 国際交通安全学会誌, Vol. 26, No. 1, pp. 12–22, 2000.
- [2] 国土交通省自動車局, “自動車の安全確保に係る制度及び自動運転技術等の動向について” <https://www.mlit.go.jp/common/001260130.pdf> (2024年1月17日参照).
- [3] 警察庁交通局交通企画課, 課政府統計の総合窓口 (e-Stat), “道路の交通に関する統計—令和5年中の交通事故死者について”, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?stat_infid=000040133400 (2024年1月17日参照).
- [4] 警察庁交通局, 政府統計の総合窓口 (e-Stat), “道路の交通に関する統計—令和4年中における交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について”, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?stat_infid=000040023337 (2024年1月17日参照).
- [5] 内閣府, “高齢者の交通安全対策に関する調査 (令和4年3月)”, <https://www8.cao.go.jp/koutu/chou-ken/r03/kourei/pdf/file3.pdf> (2024年1月17日参照).
- [6] 津川定之, “自動運転の課題”, 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol. 10, No. 2, pp. 93–99, 2016.
- [7] 横山利夫, 武田政宣, 藤田進太郎, 安井裕司, “Honda の運転支援および自動運転の現状と今後”, 計測と制御, Vol. 54, No. 11, pp. 828–831, 2015.
- [8] 内藤貴志, “トヨタにおける自動運転技術への取組み”, 石油学会 年会・秋季大会 講演要旨集, Vol. 46, p. 214, 2016.

- [9] 安藤 敏之, “日産の自動運転実現に向けた取り組みと展望”, 計測と制御, Vol. 54, No. 11, pp. 832–835, 2015.
- [10] 公益社団法人 自動車技術会, “自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義”, JASO TP 18004, 2018.
- [11] 牧下寛, 松永勝也, “自動車運転中の突然の危険に対する制動反応の時間”, 人間工学, Vol. 38, No. 6, pp. 324–332, 2002.
- [12] 交通事故における車速と停止距離を考える, <https://www5d.biglobe.ne.jp/Jusl/Keisanki/JTSL/TeisiSyasoku.html> (2024年1月20日参照).
- [13] R. Sommer, “Studies in Personal Space”, Sociometry, Vol.22, No.3, pp.247–260, 1959.
- [14] 鈴木晶夫, “パーソナル・スペースの基礎的研究 (I)”, Waseda journal of human sciences, Vol. 1, No. 1, pp. 23–29, 1988.
- [15] 野瀬出, 雨森雅哉, 中尾彩子, 松尾千尋, 山岡淳, “パーソナルスペースへの侵入に対する心理・生理的反応 —接近者の印象による影響—”, 文京学院大学研究紀要, Vol. 7, No. 1, pp. 263-273, 2005.
- [16] 佐藤寛明, “自動車乗車中のパーソナルスペースの検討”, 交通心理学研究, Vol. 36, No. 1, pp. 10–21, 2020.
- [17] 佐賀県警察, “速度別停止距離一覧表”, <https://www.police.pref.saga.jp/var/rev0/0010/3375/11993105744.pdf> (2024年1月14日参照).
- [18] 秋元遼太, “自動運転車開発に向けた対向直進車に不快感を与えない右折運転行動の解析”, 名古屋工業大学大学院修士論文, 2022.
- [19] 鈴木雅洋, 金子寛彦, “運転行動の研究に必要なドライビングシミュレータの映像呈示法 —右折時の間隔受け入れ判断における両眼視差の必要性の検討—”, 自動車技術会論文集, Vol.41, pp.1189–1192, 2010.

- [20] 木村亮太, “自動運転車開発に向けた右折速度を可変にした場合の右折運転行動の解析”, 名古屋工業大学卒業論文, 2023.
- [21] 国土交通省, 令和3年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査結果 (集計結果整理表・箇所別基本表・時間帯別交通量表) 旅行速度整理表 (都道府県別道路種別別), <https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/> (2024年1月20日参照).
- [22] 国土交通省, 幅員構成に関する規定, https://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei_kaisetsu.html (2024年1月30日参照).
- [23] K. Tanida, E. Pöppel, “A Hierarchical Model of Operational Anticipation Windows in Driving an Automobile,” *Cognitive Processing*, Vol.7, No.4, pp.275–287, 2006.
- [24] E. Pöppel, “Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol.364(1525), pp.1887–1896, 2009.
- [25] 菊地春海, 岡田朝男, 水野裕彰, 絹田裕一, 中村俊之, 萩原剛, 牧村和彦, “道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究”, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 68, No. 5, pp. 1193–1204, 2012.
- [26] 菊地春海, “プローブ情報を活用した道路交通の安全性評価手法に関する研究”, 首都大学東京, 2013.