

2021 年度 修士論文

論文題目

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

(Analysis of Right-Turn Driving to Avoid Discomfort of
Oncoming Car for Development of Automated Driving)

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学大学院 工学研究科 工学専攻 情報工学系プログラム
2020 年度入学 32414001 番

秋元 遼太

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	実験目的と概要	5
2.1	実験目的	5
2.2	実験概要	6
2.2.1	実験環境の整理	6
2.2.2	自転車右折実験	8
2.2.3	自転車直進実験	10
2.3	実験環境	11
第 3 章	実験について	13
3.1	実験 1	13
3.1.1	各種定数とパラメータ	13
3.1.2	実験の流れ	16
3.1.3	実験結果と考察	19
3.2	実験 2	26
3.2.1	シミュレータとパラメータ	26
3.2.2	実験の流れ	26
3.2.3	実験結果と考察	28
3.2.4	実験 1 と実験 2 を通じた考察	33
3.3	実験 3	43
3.3.1	車線数	43
3.3.2	実験の流れ	43
3.3.3	実験結果と考察	44
第 4 章	むすび	52
	謝辞	53
	参考文献	54
	発表論文リスト	57

第1章 はじめに

自動車を運転する際、運転者は車両周辺の状況を認知し、かつ起こりうる危険を予知し事故を起こさないように判断することが求められる。しかし、日本で2021年に発生した交通事故件数は約30万件 [1] であり、運転者が完璧に危険を予知し回避行動を執ることは不可能であることが分かる。運転時の危険を回避するにはリスク回避能力を育成する必要がある [2]。また、交通事故を減らす手段の一つとして、運転支援システムや自動運転技術の活用が挙げられる。中でも、自動運転技術に関する研究は1950年代頃から進められてきた [3]。近年では多くの企業が運転支援システムや自動運転技術の開発に力を入れており [4]–[6]、日本でも道路運送車両法や道路交通法において自動運転に関する法改正が進んでいる。

ところで、日本自動車技術会規格 (JASO) によれば、自動運転技術はシステムが把握する運転行動領域においてレベル0~5に分けられる [7]。レベル0は自動車の運転においてシステムが担う部分がなく、運転者のみが運転行動に関与する。自動車運転行動に介入するシステムが搭載されていない自動車がこれに該当する。レベル1は“運転支援”と称され、運転主体は運転者であるが、システムが加速・操舵・制動のいずれかについて運転支援を行う。レベル2は“部分運転自動化”と称され、運転主体はシステムであり、加速・操舵・制動の複数を同時に制御する。運転者はシステムから要求された時のみ動的運転行動を行う。レベル3は“条件付運転自動化”と称され、運転主体はシステムであり、システムは加速・操舵・制動の複数を同時に制御する。運転者は自動運転システムが出した操作要求に対して適切に応答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、運転主体はシステムであり、限定的領域において動的運転タスクの全てをシステムが制御する。システムが作動継続困難な場合においても、システムは限定的領域において持続的に作動継続するための応答を行える。すなわち、運転者が運転操作に介入することは期待されない。レベ

ル5は“完全運転自動化”と称され、運転主体はシステムであり、無制限に動的運転タスクの全てをシステムが制御する。自動運転システムの作動継続が困難な場合でも、システム自身が作動継続に必要な応答を行うため、運転者が操作を行う必要はない。レベル0~2においては運転行動の主体が運転者であり、レベル3~5は運転行動の主体がシステムであると解釈できる。

ここで安全面について考えてみる。レベル5の自動運転システムを備えた車両は、運転操作ミスによる交通事故が起きないと期待できる。さらに道路を走行する車両が全てレベル5の自動運転システムを備えていれば、無理な割り込みや急減速もないと想定できるため、歩行者等の外的要因がない場合において、自動車同士の交通事故は起きないと期待できる。すなわち、前走車の不用意な減速を想定する必要がなくなり、緊急時に停止可能であるための余裕を持った車間距離を確保しておく必要もなく、効率的な走行が可能になるかもしれない。実際には歩行者の飛び出しなど外的要因により、同一車線で前方を走行する車両が急停車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。これは、自動運転に限ったことではない。例えば当該車両の前方を同じ速度で走行する車両が急制動を行った場合に、その後方を走行する当該車両の運転者が遅滞なく同強度の制動を行えると仮定すれば、最も少ない安全を確保するための車間距離は空走距離分（空走時間 [8]-[9] が 0.75sec、走行速度が 60km/h の場合、12.5m）である。なおこれは非常に極端な議論であるが、最小の安全な車間距離と考えられる。前方の車両が遅い速度で走行していたり、事故により急制動以上の減速があったり、またこれも極端な例ではあるが道路上に停止してる大型車に追突して瞬時に停止状態になったりすることを想定すれば、当該車両はその時点における速度に応じた停止距離（＝空走距離＋制動距離）以上の車間距離を確保しておくことが望まれるだろう。例えば車両が乾いたアスファルトの路面を 60km/h で直進走行している場合、制動距離 [10] は 20.2m である。前述の通り空走時間を 0.75sec、空走距離を 12.5m とすると、停止距離は 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であると考えられる。続いて同一方向に直進している状況だけでなく、交差点において右折車と対向直進車が混在する場合を考えてみる。例えばどちらの車両も

レベル5の自動運転であり、当該右折車が、対向直進車が迫ってきている時に、衝突しない最小限のマージンがかろうじて確保できるタイミングで右折を開始した場合、すなわち、右折車後端が交差点を出ると同時に直進車前端が交差点に進入すれば、事故は起きない（もっと極端に言えば、右折車後端と直進車前端が接触しなければ良い、なお右折車は対向直進車線内で停車してはいけない）。しかし実際には、少なくとも、右折車が何らかの理由で交差点内で止まってしまうことも想定して、直進車も交差点手前で確実に停止できるマージンが確保できる場合にのみ、右折を開始すべきだろう。すなわち、右折車が交差点内で対向車線へ進入する直前の、右折を開始する位置と、その時の対向直進車との間隔を適切に確保しておく必要がある。この右折直進においては、一般的には互いの車両の間隔を「車間距離」とは呼ばない。そこで、前述の同一方向直進における車間距離と合わせて以下ではそれぞれの安全マージンを「最小マージン」、「十分マージン」と呼ぶ。

ところで、心理学の分野ではパーソナルスペース (personal space) と称する空間について議論されている。パーソナルスペースとは、自身を中心として周囲に設ける空間であり、他者に侵入されることを好ましく思わない空間を指す [11]–[12]。我々が混雑時の電車やエレベータにおいて不快感を覚えたり、物理的に他者と接触していなくても精神的な圧迫感を覚えるのはパーソナルスペースに他者が存在することが要因である。従来、パーソナルスペースは個人の身体周囲空間にのみ存在すると考えられていたが、個人の身体のみではなく所持品についても拡張することが示唆され [13]、自動車に乗車している際は、その自動車の周囲にパーソナルスペースが拡張されることも提唱された [14]。日常で運転をしている際、周囲の車両と近づきすぎた場合、それが事故を発生させる心配がない程度の間隔を保持していたとしても不快感を覚える場面がある。この体験は搭乗している自動車にパーソナルスペースが拡張された結果と言えるだろう。自動車におけるパーソナルスペースについて先行研究では“煽り運転”に関する自動車の大きさや位置関係と煽り感、煽られ感の関係性が存在することが示唆されたと述べている [14]。

先の安全マージンに対して、今度は不快感について考えてみる。前述の十分マージンは、十分に安全を考えたものである。実際には同一方向直進状況において、前走車

が瞬時に停車状態となることは考えにくい。そのため、運転者は前走車の様子を観察しつつ十分マージンよりは短い車間距離で走行している場合があると思われる。右折直進状況においても、右折車が交差点の直進車の車線を完全に塞ぐように停車することは想定せずに、危険が予想されれば直進側は右折車の様子を見つつ必要に応じて減速して、ハンドル操作を含めた危険の回避を行うだろう。右折車が乗用車であれば、車両全長は大型車と違い車線幅に対して極めて長いわけではなく、右折終了直前であれば既に直進可能であるだろう。すなわち同様に十分マージンよりは少ない安全マージンのタイミングで右折の判断をしている場合があると思われる。これは、最小マージンでは安全の担保が心許ないが、十分マージンでは過剰な安全マージンとを感じる場合があるかもしれない、ということである。また一方で、十分マージンでも安全マージンが不足していると感じる場合もあるかもしれない。安全マージンが不足していると感じれば不快感を覚え、さらに不足してくると恐怖を感じるだろう。この感覚は先に述べたパーソナルスペースとも共通するところがありそうだが、ここでは単に心理的なものではなく、安全にも関わる余裕(車同士の間隔)ということで「心理的マージン」と呼ぶことにする。なお、ここで議論する心理的マージンは安全が完全に確保されているかどうか考慮していない。別途、客観的に安全を確保する必要がある。

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目標とする。その中でも特に、安全の確保を主眼にするのではなく、不快に感じない、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したい。そこで本論文では交差点において右折車と直進車が混在している場合に着目して、直進車が不快感を覚えないう右折運転行動の解析を行い、搭乗者にとって心理的に適切な右折直進車同士の間隔(マージン)の閾値を見出すことを目的とする。具体的には、実際の交通状況を解析するのではなく、また実車両による実験も現実的ではないため、簡易的なシミュレータによる実験を行う。

以下、第2章では実験目的の詳細と実験内容の概要について説明する。第3章では実験の詳細とその結果について述べる。最後に第4章ではむすびを述べる。

第2章 実験目的と概要

2.1 実験目的

本研究では、交差点において右折車と直進車が混在している場合に、直進車が不快感を覚えない右折運転行動の特徴を解析することで、右折開始の判断指標を見出したい。まず、右折車と対向直進車の間隔に着目する。しかし、同一方向に共に同じ速度で直進している場合であれば、互いの間隔は一定であるが、右折直進の場合には、右折車が直進車の前方を横切るため、直進車は右折車に刻一刻と近づいていく。この右折車と直進車との間隔を、その時点における右直マージンと呼ぶ。ただし右折の判断を行うのは、当然、右折開始時であり、その後はその間隔は縮まり続けており、右折車は速やかに交差点を出るだけである。すなわち実験では右折開始時における間隔に注目する。そこで、特段の断りのない限り、右折車が右折を開始した時点における直進車との間隔に注目して、これを右折直進車間の安全か否かを考えるマージンということで、右直マージンと呼ぶ。ただし実験を単純化するために厳密な互いの間隔ではなく、直進車前端と交差点端の距離、すなわち直進車が交差点に進入するまでの距離とする。また実験において被験者が右折開始の判断を行う場合には、実際の右折開始時刻ではなく判断を促した時刻における距離とする。この距離は、直進車が一定の速度で走行することにして、交差点端に到達するまでの時間で置き換え可能にする。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。また右折車も右折開始から完了まで定速で走行することにして、右折開始時だけでなく右折完了直前の右直マージン(右折が終わってしまえば既に危険はないが、終了直前という意味で、右直終マージンと呼ぶことにする。また必要に応じて右折開始時の場合を右直始マージンと呼ぶ)での比較も行う。このように単純化した環境での実験により、直進車の速度に応じて、心理的に安全と考える(不快でない)右直マージンがどのように変化するのか、また十分に安全な右直マージンや最小の右直マージン

ンとどのような関係にあるのか, 解析する.

2.2 実験概要

2.2.1 実験環境の整理

本研究では簡易的なドライビングシミュレータを用いて実験を行う. シミュレータの表示方法や, 表示対象について整理する. シミュレータを用いた実験で被験者の運転特性を正確に把握する為には, 目的に応じてその観点におけるリアリティの高いシミュレータを構築することが重要である [15]. 例えば両眼視差を生じさせた映像を提示することで, 両眼視差を生じさせない映像を提示する場合と比較して, 奥行き感を感じやすくなり実際の運転行動に近い状況を再現できる. しかし, 本研究で行う実験において車内に視点を配置して車両前方を視認する三次元シミュレータを使用すると, 被験者の奥行知覚能力が実験結果に影響する恐れがある. 先行研究 [16] では両眼視差の右折判断への影響を調べている. 実験では両眼視差を生じるステレオ映像と両眼視差のない二次元映像の比較を行っている. なお, 一人称視点での透視投影映像を提示している. その結果, 対向直進車までの間隔が右折を完了するために十分であるか否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. すなわち両眼視差のない二次元映像でも必要な知覚認知的効果を確保できた. 本研究では, 実験時の奥行知覚能力の影響を排除するために, シミュレータは俯瞰視点により表示する. 一人称視点と俯瞰視点の違いによる心理的安全マージンへの影響の有無については別途, 考察する. 俯瞰視点の場合, 被験者が完全に第三者として右折車直進車を観察する実験環境も想定できるが, 感情移入してもらうために特定の車両を運転している (と想定する) 環境として扱う. その特定車両は必要に応じて操作も可能である. なお実験では交差点付近に注目しているが, 交差する道路の車両は一切考えない. これから右折を行う車両の前後にも, すなわち同一車線上の他の車両も考えない. ところで, 右折実施判断時の右直マージンと右折実施判断結果の調査を行うためには, ある時点において判断を促す必要がある. 例えば対向直進車がまだ遠方にいれば, 信号が青になった時点でその判断を行うだろう. また複数の対向直進車がやってくる場合には, 車両同士の間隔に余裕があれば, すなわち当該直進車の一つ前の車両

が通り過ぎた時点でその判断を行うだろう。しかし右折したい車両は、前者の場合には交差点手前の停止線で止まっており、後者の場合には交差点中央で止まっている。判断のタイミングが事前に予想できるように、実験では後者を想定することにして、注目する直進車の前方に様々な間隔を設けた上で複数の前走車を比較的狭い間隔で走行させる。最後の前走車が通過した時が右折実施の判断時点である。

以降の説明のために用語を整理する。被験者が操作する車両を“自車”とし、自車の対向車線に存在する車両を“対向車”とする。被験者が右折車を操作する場合、その車両を“右折自車”とする。右折自車の対向車線を走行する直進車は2つに分けて考える。ある直進車に注目させてその前を横切るかやり過ぎた後に右折するか判断させる、その直進車を“対向直進車”とする。対向直進車の前方を走行する複数の前走車全てを“直進先導車”とする。対向直進車、直進先導車はシミュレータが制御する。被験者が直進車を操作する場合、その車両を“直進自車”とする。対向車線で右折をする車両を“対向右折車”、直進自車の前方を走行する複数の車両を同様に“直進先導車”とする。対向右折車、直進先導車はシミュレータが制御する。右折車が右折を行う際、右折車は直進車に不快感を与える立場であり、直進車は右折車から不快感を与えられる立場である。不快感を与える側、与えられる側両方の立場で評価が考えられる、すなわち、被験者が右折する立場と、被験者が直進する立場で2種類の状況である。被験者が右折を行う際、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直マージンを推定するための、右折自車と対向直進車が存在する実験を“自車右折実験”と称する。また、対向右折車が右折し、直進自車乗員としての被験者が不快感を覚える心理的右直マージンを推定するための、直進自車と対向右折車が存在する実験を“自車直進実験”と称する。

最後に実験の方針について整理する。一般に制動距離は車速²/(定数×摩擦係数)として計算される[10]。直進車の速度が大きくなるにつれて、直進車の運転者が制動を行う必要があると判断し実際にブレーキをかけてから完全に停止するまでの制動距離、制動時間はともに長くなる。したがって、直進車の速度が大きくなるにつれて十分右直マージンも長くなる。右折車が右折中に何らかの理由で交差点内に停車した場合、直進車は十分右直マージンが確保できていないと安全に停止ができない。十

分右直マージンが大きくなれば心理的右直マージンも大きくなるだろう。右折車が右折完了間近の地点で停止した場合、実際の走行状況であれば直進車はハンドル操作だけで速度を維持したまま通過するかもしれない。もしハンドル操作は行わずに（行えずに）制動のみを行う（が行える）のであれば、心理的右直マージンは、直進車の走行速度と右折車の右折時間にのみ依存すると仮定する。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、という仮定であり、時間に注目している。実験では各種パラメータを時間を基準に扱い、また結果を時間に注目して分析する。

2.2.2 自転車右折実験

被験者が右折を行う実験では、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直マージンを推定するため、右折自転車、直進先導車、対向直進車が必要である。右折実験における表示対象の詳細とそれらに関わる定数や変数について説明する。シミュレータが提示する自転車右折実験映像の模式図を図2.1に示す。図の五角形(a)は右折自転車、(b)は直進先導車、(c)は対向直進車である。直進先導車と対向直進車は画面上部から下部の方向に直進する。直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過した時点が右折自転車、すなわち被験者が右折を実施するか否か判断する時である。図2.1はまさに被験者が右折実施の判断を行う時点であり、図の①が右直マージンを表す。右折自転車の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は交差点に到達する。右折自転車が右折を開始してから、右折が完了し交差点を脱出するまでの経路を“右折経路”（図の②）と称する。右折自転車は右折開始から右折完了まで定速で走行し、右折経路の道のりを右折自転車の走行速度で徐算した値を“右折時間”と称する。

実験で提示する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、少なくとも接触せずに右折完了するためには、最小右直マージンを確保する必要がある。右折時間 = 最小右直マージン時間である。右折自転車に問題が発生して交差点内で停止しても直進車が交差点手前で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。直進車の速度が極めて遅い場合にはその停止時間は右折時間よりも短くて

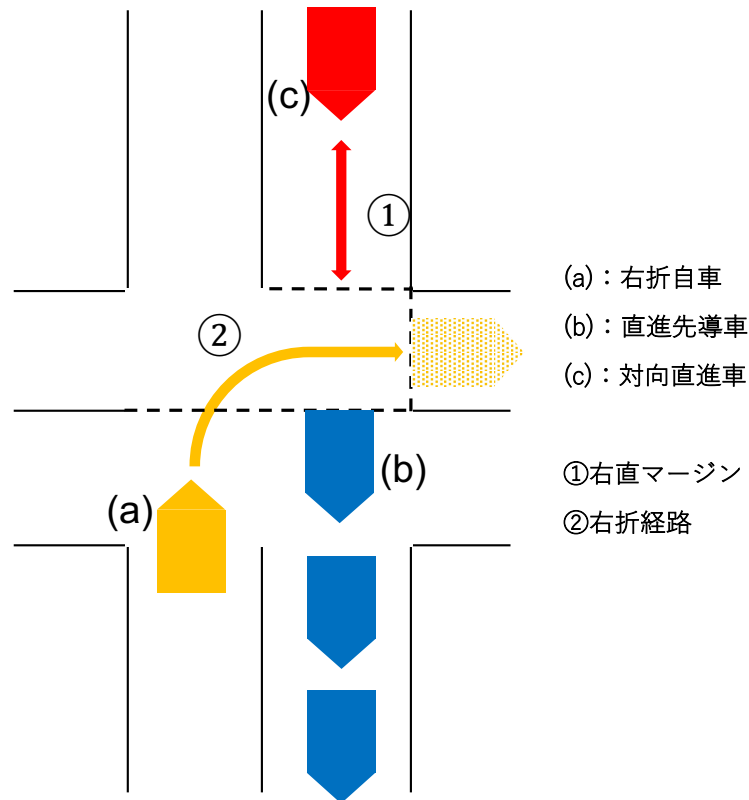


図 2.1: 自転車右折実験の模式図

いつでも停止できるだろうが、ここでは直進車の速度が比較的速くてその停止時間は右折時間よりも長い場合を想定する。右折車が右折の最終段階で停止してしまい、直進車はそれまで同じ速度で走行しており、その時点で急制動して十分に停止できると良い。右折時間 + 直進停止時間 = 十分右直マージン時間である。最小右直マージンすら確保されていないときは、直進車がそのまま同じ速度で通過することはできない、すなわち不快と感ずることは明らかである。そのため、十分右直マージンを目安に、やや大きい、またはやや小さい右直マージンでの実験を行う。

実験手順は次の通りである。被験者は直進先導車最後尾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、つまり心理的右直マージンが確保されているか否かを判断し、確保されていると判断した場合右折を行う。右折すると対向直進車に不快感を与えてしまう、つまり心理的右直マージンが確保されていないと被験者が判断した場合、被験者は右折を行わず、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。対向直進車の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過した時点でシミュレータが自動的に右折を開始する。この右直マージンを変化させて実験を行うことで、心理的右直マージンを見極める。実験は2つのパラメータからなり、それぞれの対向直進車速度において、被験者に様々な右直マージンでの実験で右折実施判断をしてもらう。その判断境界を、右折自車が対向直進車に不快感を与えず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。

2.2.3 自転車直進実験

被験者が直進を行う実験では、対向右折車乗員から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、対向右折車、直進先導車、直進自車が必要である。直進実験における表示対象の詳細とそれらに関わる定数や変数について説明する。シミュレータが提示する自転車直進実験映像の模式図を図2.2に示す。図の五角形(a)は対向右折車、(b)は直進先導車、(c)は直進自車である。直進先導車と直進自車は画面下部から上部の方向に直進する。直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過した時点が、対向右折車が右折を開始する時である。図2.2はまさに対向右折車が右折を開始する時点であり、図の①が右直マージンを表す。対向右折車が右折を開始してから右直マージン時間が経過すると直進自車は交差点に到達する。対向右折車が右折を開始してから、右折が完了し交差点を脱出するまでの距離を“右折経路”(図の②)と称する。対向右折車は右折開始から右折完了まで定速で走行し、右折経路の道のりを対向右折車の走行速度で徐算した値を“右折時間”と称する。なお、右折経路と右折時間の定義は2.2.2節で述べたものと同一である。

直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過した時点で対向右折車は自動的に右折を開始する。実験手順は次のとおりである。被験者には、対向右折車に不快感を与えられた場合、つまり心理的右直マージンが確保されていなかった場合に減速操作を行ってもらう。対向右折車が右折を完了するまでに被験者が不快感を覚えなかった、つまり心理的マージンが確保されていた場合には減速を行わない。そのまま直進自車前方を右折する対向右折車を見ながら等速で直進を続ける。対向右折車が右折を完了した後、被験者はどの程度不快感を覚えたかについてアン

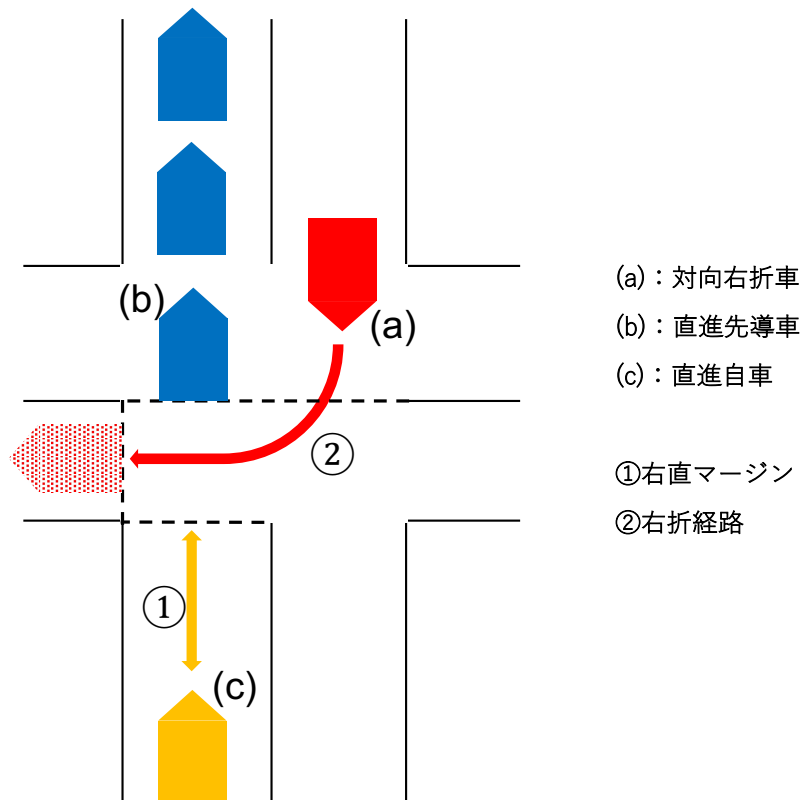


図 2.2: 自転車直進実験の模式図

ケートに回答する。右直マージンを変化させて実験を行うことで、心理的右直マージンを見極める。自転車右折実験と同様に、十分右直マージンを目安に、やや大きい、またはやや小さい右直マージンでの実験を行う。実験は2つのパラメータからなり、それぞれの直進自転車速度において、被験者に様々な右直マージンでの実験で減速実施判断、すなわち不快感知覚判断をしてもらう。その判断境界を、直進車が対向右折者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。

2.3 実験環境

実験はPCを大型のモニタ (SHARP 製 PN-L702B, 横 1538.9mm, 縦 865.6mm) に繋いで行う。被験者は各実験の操作に必要なキーを押下可能な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。実験の様子を図 2.3 に示す。シミュレータを用いた実験を行うにあたり、ヒトは垂直視野角が仰角 $30^\circ \sim 40^\circ$ の場合、表示空間内にいるような感覚を効果的に得られる [17]。そのため、図 2.3 中の $b/a = \tan 35^\circ \equiv$

0.4738 と設定する. a は被験者の視点からモニタまでの距離, b は被験者の視点高さからモニタ表示部上端までの距離である. 具体的には $a = 1.3m$, $b = 0.6m$ とする.

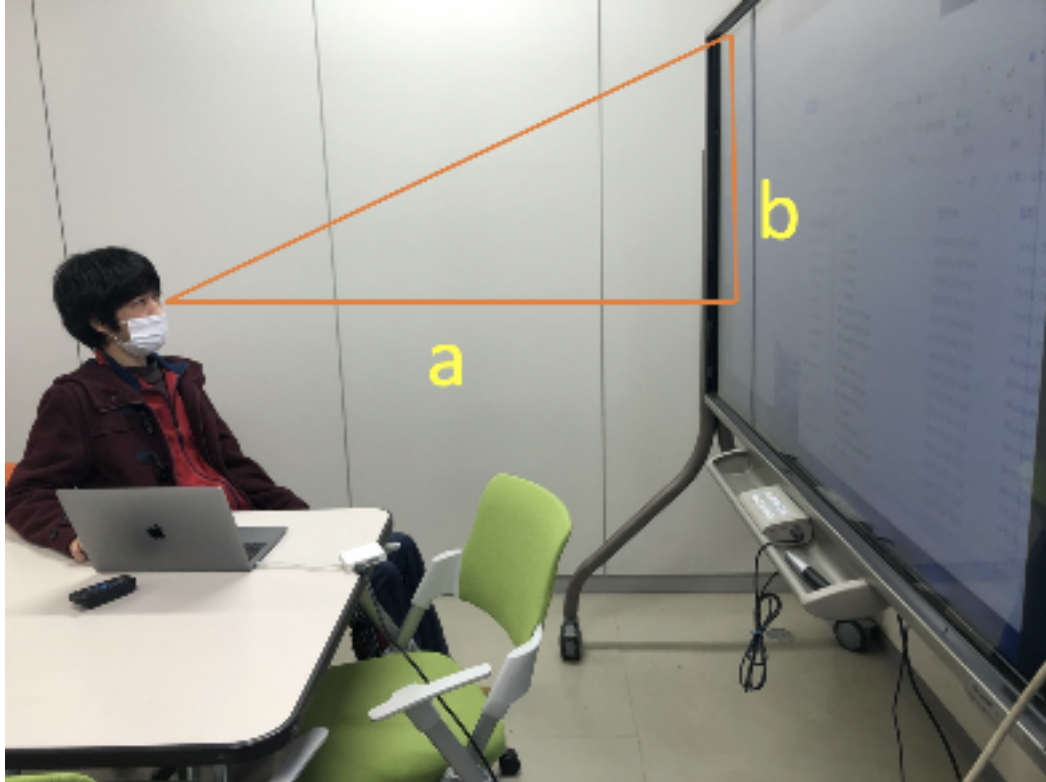


図 2.3: 実験の様子

第3章 実験について

3.1 実験1

3.1.1 各種定数とパラメータ

実験シミュレータの自動車サイズは本田技研工業が販売する LEGEND (縦 5.03m, 横 1.89m) とする. 実際の自動車は, アクセルを踏んだ瞬間に速度が出るわけではない. シミュレータの自動車は, 実験簡略化のため, 停止状態と定速走行, および一定の加速度(減速度)での制動に限定する. すなわち, 直進車は各試行開始時に既に指定の速度で走行しており, 右折車は停止状態から瞬時に指定の速度で右折を開始する. 直進車が制動を実施する際は瞬時に停止するわけではなく, 後述する不快感を覚えられないであろう減速度を適用する.

車線数は片側1車線とする. 日本の一般道における車線幅は, 一車線の幅員が2.75m ~ 3.5m と定められている [18]. 車線幅は地方部と都市部で規定が異なるが, 普段目にする一般道の車線幅は3.0m ~ 3.5m の範囲に収まる. そのため本研究で扱う車線幅は, 中間値の3.25m とする.

右折車の速度, 右折時間について検討する. 車線幅を3.25m とすると, およそ5m の車両の右折経路はおよそ10m である. 道路交通法第34条第2項によると, 自動車は交差点中心の内側を徐行して走行しなければならない. 同法第2条第20項によると, 徐行は車両等が直ちに停止できる速度であると定義されている. 実際に右折をするにあたって徐行することを考慮すると, 平均速度は10km/h 程度であると考え. 10m を10km/h で走行する際, 所要時間は3.6sec である. つまり, 右折開始から右折を完了するまで徐行速度(10km/h とする) で定速走行すると3.6sec 必要である. また, ヒトは3sec 先までなら自身の行動が引き起こす結果や周囲に与える影響を予測しながら行動をすることが可能である [19]–[20]. 3sec 先までなら, 時間のカウントを意識せずとも感覚として自身の右折行動が完了するまでの予測が可能であると言え

る。つまり自車右折実験において右折中の速度を平均 12km/h 程度であると想定し、右折時間を 3sec とすると、右折中に対向車線を占拠する時間をカウントせずとも時間感覚として把握することができ、右折車の運転行動によって周囲に与える影響を予測できる。これらのことから、右折車の右折時間は 3sec と設定する。

直進車の減速度について検討する。自動車が停止を試みる際、一般に 0.75sec 程度の空走時間を要する。制動時間は走行速度によって変化する。ここでは例として 40km/h で走行する場合について考える。乾いたアスファルトの路面を 40km/h で走行する自動車の制動距離はおよそ 9m であり、制動時間はおよそ 1.6sec である。すなわち、40km/h で走行する自動車の停止時間はおよそ 2.4sec である。このとき制動にかかる減速度は、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自動車走行における減速のおよそ 90% を占め [21]–[23]、かつ減速度 0.3G の減速は不快感を覚える減速度の閾値である [24]。なお、危険回避挙動として一般的に使われるのは 0.5G~0.7G である [24]。そのため、本研究では直進車が制動を行った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を行う際に適用する。つまり直進者が制動を行う際、制動開始から停止まで 0.3G で定減速度直線運動を行う。

続いて実験パラメータについて述べる。まず直進車の速度について考える。実験は前述の通り、交差点がある片側 1 車線道路を俯瞰したシミュレータを用いて行う。直進車と右折車の両方が右折判断時に見えている必要がある。表示する道路全長が長くなると描画される自動車が小さくなり著しく視認性が損なわれる。直進車が 60km/h で走行する場合の右直マージンを図 3.1 に示す。図には右折自車 (橙色)、対向直進車 (赤色)、直進先導車 (緑色)、右直マージンが車両何台に相当するかを表す車両群 (灰色) が存在する。自動車の車長はおよそ 5m である。60km/h で走行する場合、直線走行時に 7sec で走行する距離はおよそ 116m であり、7sec の右直マージンは車両 23 台 (車間距離を 5m とすると 12 台) に相当する (図 3.1 左)。右直マージン時間が 3sec の場合でも、同様に車両 10 台に相当する (図 3.1 右)。シミュレータの表示縮尺を小さくすると表示できる道路全長が長くなるが、その代わりに描画される自動車が小さくなる。逆にシミュレータの表示縮尺を大きくすると描画される自動車は著しく小

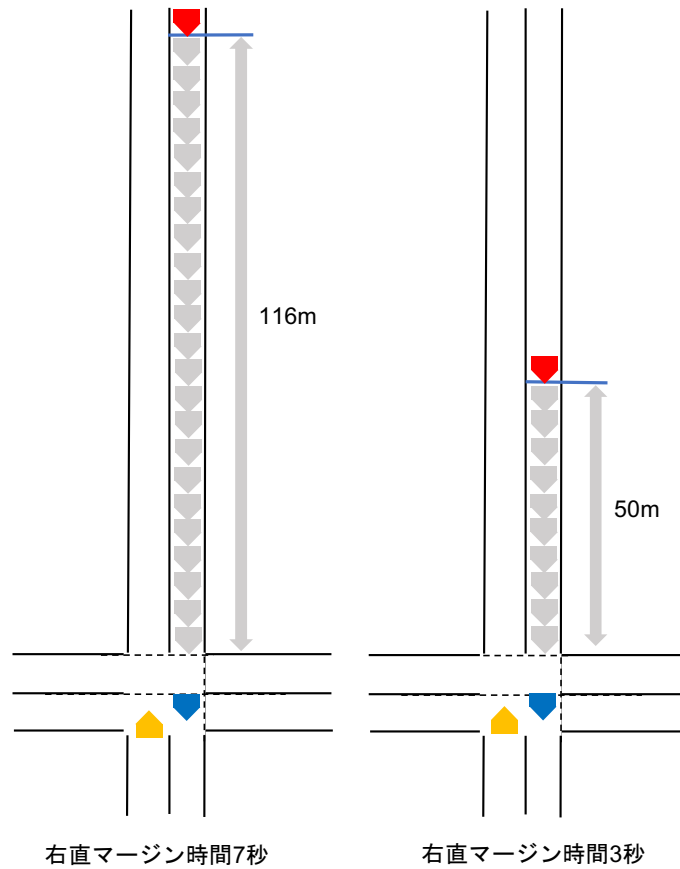


図 3.1: 直進車が 60km/h で走行する場合の右直マージン

さくはならないが、表示できる道路全長が短くなる。直進車が 60km/h で走行し右直マージン時間の上限を 7sec とする場合、幅員 3.25m に対しての交差点などを含むと実験に必要な前後方向の道路長がおよそ 130m であり、描画される自動車小さすぎるため、60km/h は適さない。直進車の速度によって不快感を覚えるタイミングが違うことを考慮して、比較を行うために直進車の速度は 20km/h, 40km/h の 2 パターンとする。

もう 1 つの実験パラメータである右直マージンについて述べる。前述の通り 40km/h で走行する自動車の停止時間はおおよそ 2.4sec である。前述の通り右折車の右折時間を 3sec とすると、十分右直マージン時間はおおよそ 5.4sec である。また、20km/h で走行する自動車の停止時間はおおよそ 1.5sec であり、十分右直マージン時間はおおよそ 4.5sec である。心理的右直マージン時間を推定するための右直マージン時間を 3~

7.5sec (0.5 step) の10段階とする。直進先導車最後尾の後端と、対向直進車または直進自車との距離をこの時間と直進車速度の積とすることで右直マージンを調整する。

3.1.2 実験の流れ

まず、操作方法に慣れてもらうため、自車右折実験練習を行ってもらう。自車右折実験に使用するシミュレータを図3.2に示す。現実世界での運転では、右折した先で歩行者が飛び出してくることがある。被験者にはそのようなケースを勘案しつつ、対向直進車に不快感を与えない右折を行ってもらう。練習では右折先で猫が飛び出してくることがある(図3.3)。猫が飛び出してくると右折自車は自動的に停止し、同時に対向直進車は制動を開始する。被験者が余裕のない右折をしたときに猫が飛び出してきた場合、対向直進車は停止しきれずに右折自車と衝突する。練習を行うことで、右折時間などの感覚に慣れてもらうだけではなく、自車右折実験本番で実際の運転同様に安全に配慮してもらう。次に、自車直進実験練習を行ってもらう。自車直進実験に使用するシミュレータを図3.4に示す。直進自車は、制動を行っても直ちに停止できるわけではない。

続いて、自車右折実験本番を行う。直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過し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、つまり心理的右直マージンが確保されているか否かを判断し、確保されていると判断した場合に右折を行ってもらう。右折すると対向直進車に不快感を与えてしまう、つまり心理的右直マージンが確保されていないと被験者が判断した場合には被験者は右折を行わず、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、右直マージン時間10パターンと速度2パターンの計20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う。直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通過した時点で対向右折車は右折を開始し、被験者は対向右折車に不快感を与えられた場合、つまり心理的右直マージンが確保されていなかった場合に減速を行う。対向右折車が右折を完了するまでに被験者が不快感を覚えなかった、つまり心理的マージンが確保されていた場合は減速を行わず、直進自車前方を右折する対向右折車を

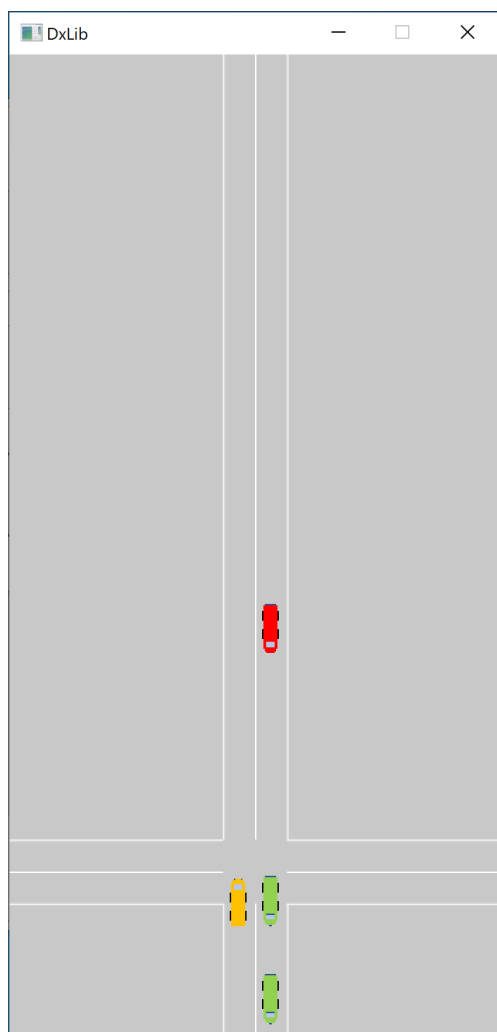
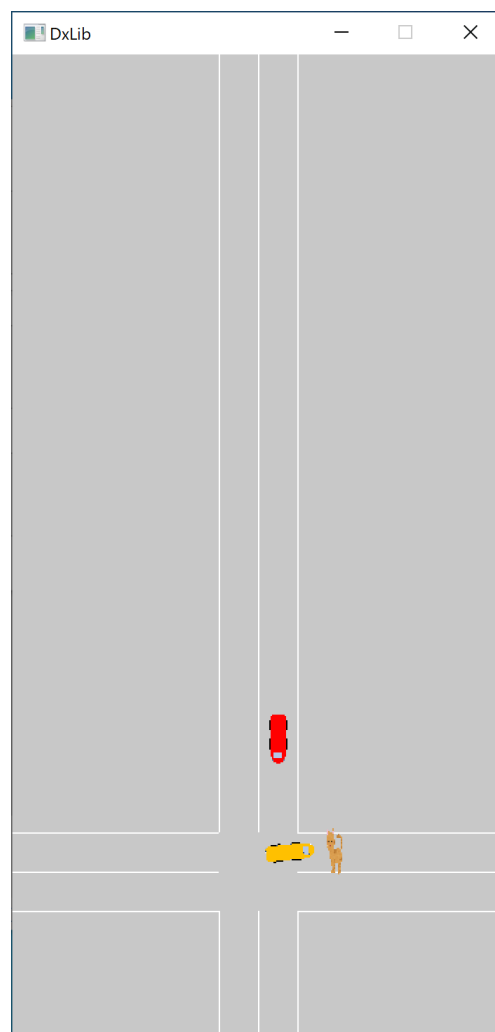


図 3.2: 実験 1 : 自車右折実験のシミュレータ

図 3.3: 実験 1 : 自車右折実験練習で
猫が飛び出した様子

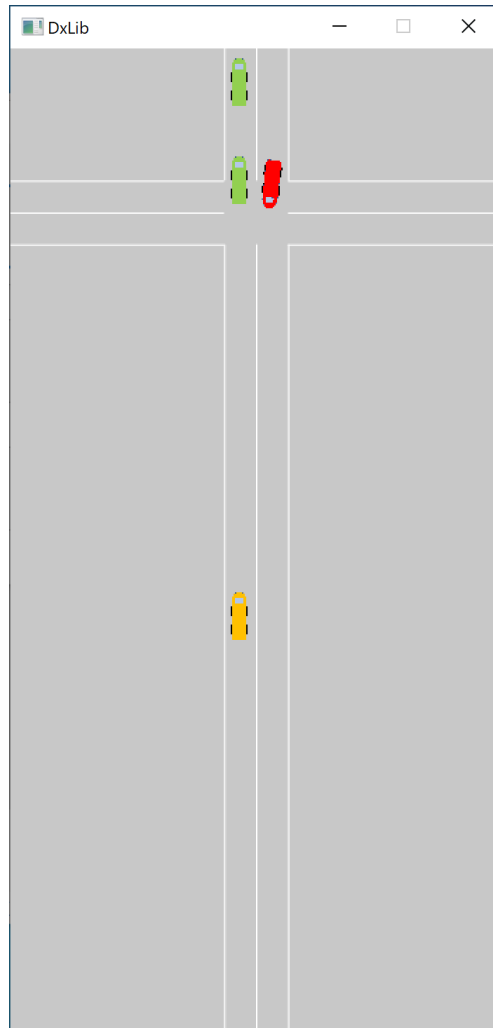


図 3.4: 実験 1 : 自車直進実験のシミュレータ

前方を見ながら等速で直進を続ける。対向右折車が右折を完了した後、被験者はどの程度不快感を覚えたかについてアンケートに回答する。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われる。これを1試行とし、直進自転車の右直マージン時間10パターンと速度2パターンの計20パターンの試行を行い、1セットとする。なお、実験パターンに重複は無く、順序はランダムである。すなわち、被験者は全パターンの試行を各一度ずつ行う。これら2種類の実験を交互に2セットずつ行う。被験者は普通自動車運転免許を所有する大学生、大学院生13名である。

3.1.3 実験結果と考察

被験者は13名で、各被験者は自転車右折実験、自転車直進実験をそれぞれ2セットずつ交互に行った。各被験者において、実験で得られたデータの平均値をとり、そのデータを解析する。これは、対応ある3群以上のノンパラメトリックな多重比較検定を行えるようにするためである。自転車右折実験、自転車直進実験の両方において、Steel-Dwass法による多重比較検定を行う。本節の図中に示す、「*」は $p < 0.05$ 、「**」は $p < 0.01$ で有意差が見られた組み合わせである。

自転車右折実験：対向直進車の乗員に不快感を与えず右折可能と判断したデータ、および右折不可能と判断し対向直進車が通過するのを待ったデータを右折実施判断データと称し、これに着目し解析を行う。各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた右折実施判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者13名からそれぞれ得られた平均値に対して各群の有意差について検定する。また、右折実施率が50%で二分されるような右直マージン時間にも注目する。右折実施率が50%ということは、被験者の半数が右折実施判断を行なったことを意味する。つまり、右折実施率が50%で二分されるような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3.5に直進車が40km/hで走行する場合の、図3.6に直進車が20km/hで走行する場合の自転車右折実験解析結果を示す。
[直進者40km/h]：右直マージン時間が3.0sec~4.0secの群と5.0sec~7.5secの群において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-

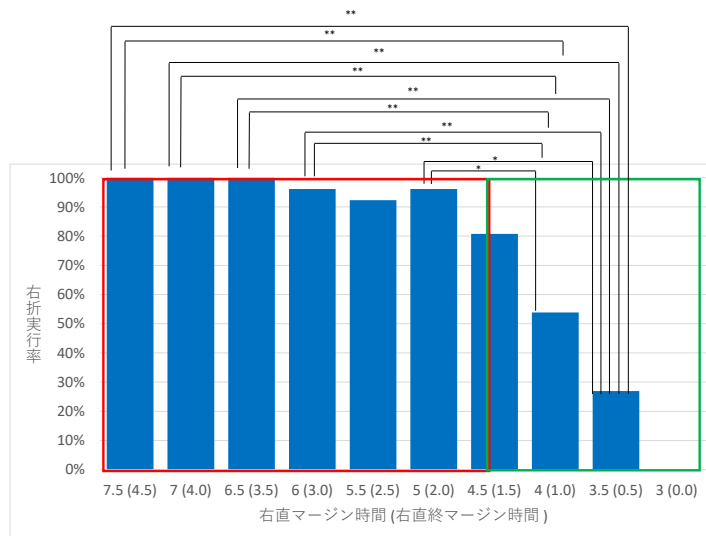


図 3.5: 実験 1 : 自転車右折実験 (直進車 40km/h)

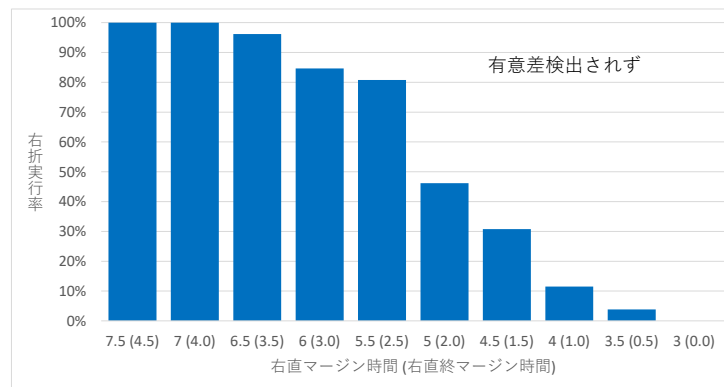


図 3.6: 実験 1 : 自転車右折実験 (直進車 20km/h)

ジン時間は 4.5sec 付近であると考えられる。右折実施率からは、4sec 付近が閾値と考えられる。前述の通り、右折時間は 3.0sec である。検定結果から推定する右折自転車が対向直進車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時間 = 右折時間 + 1.5 sec 程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 1.0 sec 程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は 1.0sec 程度である。

[直進者 20km/h] : 検定においてどの条件間においても有意差が見られなかったため、心理的右直マージン時間の閾値を推定することができなかった。右折実施率からは

5sec 付近が閾値と考えられる。心理的右直マージン時間 = 右折時間 + 2.0 sec 程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は 2.0sec 程度である。

[比較考察]：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長くなる傾向が見られる。この要因として、同一の右直マージン時間において、速度に比例して右直マージン距離が変化することが挙げられる。例えば、右直マージン時間が 4.5sec の場合を考える。直進車の走行速度が 40km/h の場合、右直マージン距離は 50m である。直進車の走行速度が 20km/h の場合、右直マージン距離は 25m である。このように速度に依存して右直マージン距離は異なり、右直マージン時間が同じ場合でも、より遅い走行速度での試行においては右直マージン距離が短いため被験者は余裕がないように感じたのかもしれない。あるいは、徐行に近い速度での試行においては加速してくる可能性を無意識に考慮したのかもしれない。また、速度が遅くなるにつれて、同一の右直マージン時間において右折実施率が低い傾向が見られる。この傾向も、同一の右直マージン時間において、速度に比例して右直マージン距離が変化することが原因である可能性がある。ただし、自転車右折実験では、次に記す自転車直進実験と違い、直進先導車の通過後から実際に右折を開始するまでに若干の遅延が想定される。すなわち、実験で記録している右直マージンよりも被験者が感じている右直マージンが短い可能性がある。

自転車直進実験 (官能評価)：対向右折車が右折をするタイミングはどの程度不快だったかというアンケート結果を官能判断データと称し、これに着目し解析を行う。各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた官能判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者 13 名から得られた平均値に対して各群の有意差について検定する。また、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、中間値の 3.5 である右直マージン時間が心理的右直マージンであると考えられる。そこで不快度合い 3.5 で二分されるような右直マージン時間にも注目する。図 3.7 に直進車が 40km/h で走行する場合の、図 3.8 に直進車が 20km/h で走行する場合の自転車直進実験解析結果を示す。

[直進者 40km/h]：直進自転車の右直マージン時間が 3.0sec~3.5sec の群と 4.5sec~7.5sec の群においてそれぞれ有意差が見られた。また、5.5sec~7.5sec の群と 3.0sec

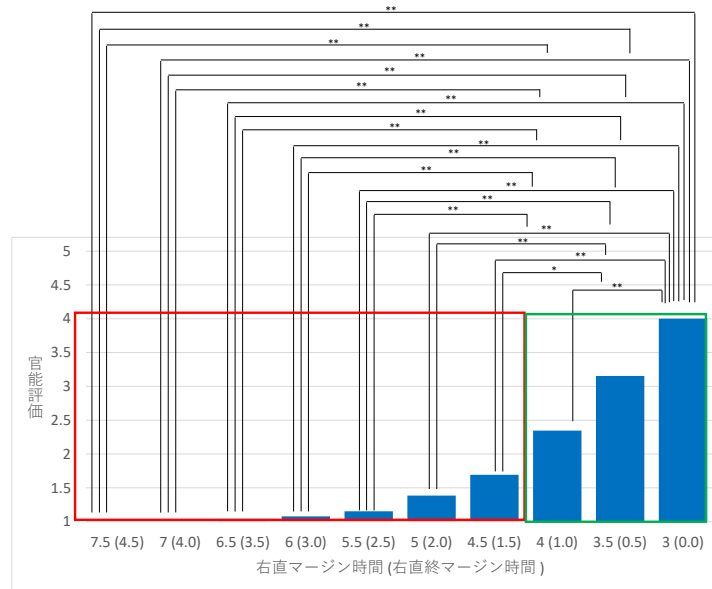


図 3.7: 実験 1 : 自転車直進実験 (直進車 40km/h)

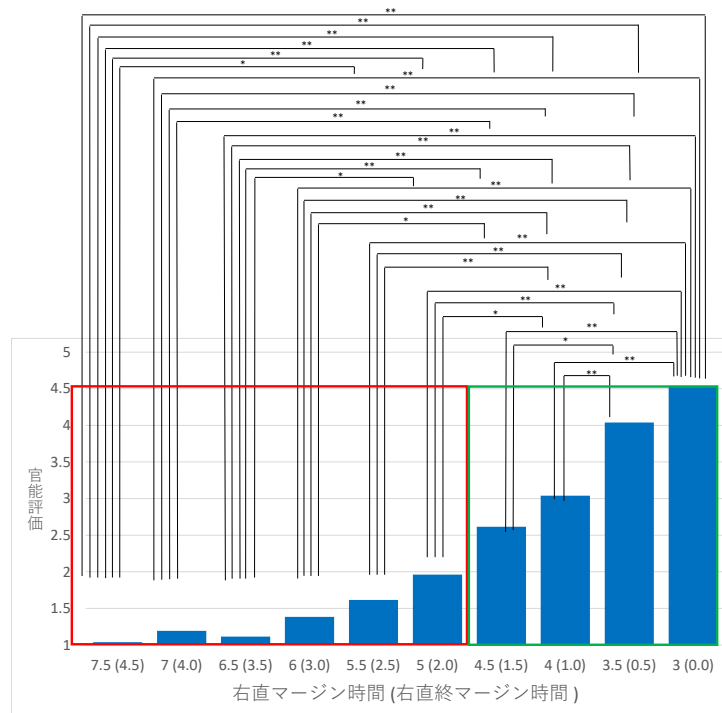


図 3.8: 実験 1 : 自転車直進実験 (直進車 20km/h)

～4.0sec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。また不快度合いからは3.5sec付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直マージン時間＝右折時間+1.5 sec程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は、1.5sec程度である。また不快度合いからは心理的右直マージン時間＝右折時間+0.5 sec程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は、0.5sec程度である。

[直進者 20km/h]：直進自車の右直マージン時間が3.0sec～4.5secの群と5.0sec～7.5secの群において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。また不快度合いからは4.0sec付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直マージン時間＝右折時間+2.0 sec程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は、2.0sec程度である。また不快度合いからは心理的右直マージン時間＝右折時間+1.0 sec程度であることが示唆される。つまり、心理的右直終マージン時間は、1.0sec程度である。

[比較考察]：自車右折実験で述べた傾向と同様に、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長くなる傾向が見られる。また、直進車の走行速度が40km/hの場合と20km/hの場合を比較すると、同一の右直マージン時間において20km/hの場合は官能評価値が高い。つまり、同一の右直マージン時間の場合、速度が遅くなることで不快感をより強く覚える傾向が見られる。これは、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。この要因として、自車右折実験の考察で述べた通り、速度に比例して右直マージン距離が変化することが挙げられる。同一の右直マージン時間でも、直進車の走行速度に応じて被験者は余裕がないように感じたのかもしれない。あるいは、徐行に近い速度での試行においては加速してくる可能性を無意識に考慮したのかもしれない。

自車直進実験 (制動評価)：図3.9に直進車が40km/hで走行する場合の、図3.10に直進車が20km/hで走行する場合の、右折車右折開始時ではなく直進車制動開始時における右直マージン時間の分布を示す。これは平均値ではなく、被験者13名が2

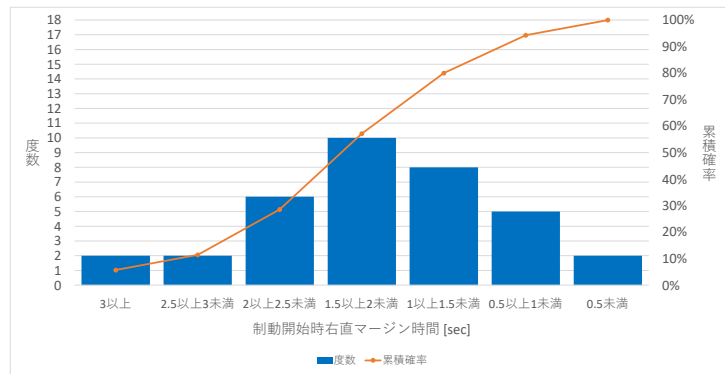


図 3.9: 実験 1 : 自車直進実験, 制動開始時点での右直マージン時間 (直進車 40km/h)

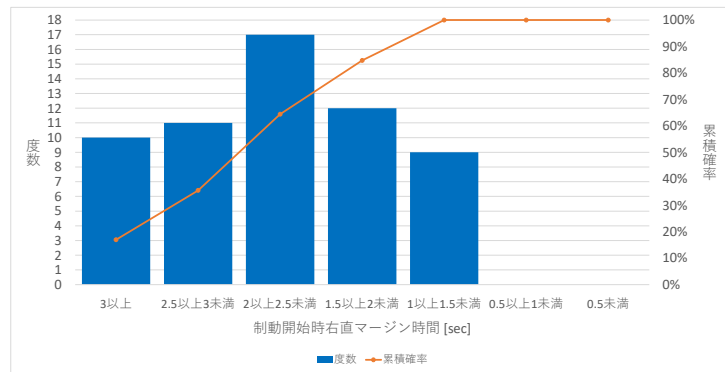


図 3.10: 実験 1 : 自車直進実験, 制動開始時点での右直マージン時間 (直進車 20km/h)

セットずつ行ったデータを分布に表したものである。

[直進者 40km/h]：制動を行な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1.5sec 以上の場合である。つまり、制動を行なった試行のうち半数以上が、右直マージン時間が1.5sec の時点で既に不快感を覚え、制動を行なっていることが分かる。

[直進者 20km/h]：制動を行な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2.0sec 以上の場合である。つまり、制動を行なった試行のうち半数以上が、右直マージン時間が2.0sec の時点で既に不快感を覚え、制動を行なっていることが分かる。

[比較考察]：これらは自転車直進実験の検定結果から推定したそれぞれの速度における心理的右直マージン時間に近い。直進車の走行速度が遅くなるにつれて、制動を行う判断が早くなる傾向が見られる。要因として、走行速度が遅くなることで同一の右直マージン時間における右直マージン距離は減少することが挙げられる。また、制動実施判断が直進車の走行速度が遅くなるにつれて前倒しになる傾向があることは、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要因の一つかもしれない。

3.2 実験2

3.2.1 シミュレータとパラメータ

実験1の結果から直進車の走行速度によって心理的右直マージンが変化することが示唆された。ところで、実験1で考慮した直進車の走行速度は40km/h以下である。平成27年度に集計された、一般道を走行する際の走行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[25]。つまり、現実に即した心理的右直マージンを推定するには直進車が40km/h以上で走行する場合を考慮する必要がある。

実験2で用いるシミュレータについて述べる。実験1ではシミュレータは道路を真上から俯瞰した映像を並行投影した。視認性を著しく失わずに道路を描画するには、表示する道路全長の限界は100m程度だった。そこで実験2では道路を直上ではなく交差点上空あたりから斜めに見下ろすように透視投影する。交差点周辺の視認性を著しく損なうことなく道路表示長を延ばすことで、直進車の走行速度が40km/h以上の場合での実験を行う。図3.11で自車右折実験用シミュレータの表示を、図3.12で自車直進実験用シミュレータの表示を比較する。図の赤印と緑印は10m間隔で描画した目印である。直進車が走行する分の道路長は、実験1では80m程度であった。実験2では、視点を若干変更することで、右折判断時、あるいは右折開始時における直進車官能評価時の道路表示を大きく変化させることなく、120m以上描画する。

続いて実験パラメータについて述べる。日本では自動車専用道路を除いた一般道の走行速度は60km/hが上限であるため、実験2では直進車の走行速度が40km/h, 50km/h, 60km/hである場合の自車右折実験、自車直進実験を行う。直進車の走行速度を3パターンと設定し、右直マージン時間を3~7sec (1 step)の5段階として実験を行う。自動車サイズ、車線幅、右折時間、制動時減速度は実験1と同様である。

3.2.2 実験の流れ

まず、操作方法に慣れてもらうため、自車右折実験練習を行ってもらう。自車右折実験に使用するシミュレータを図3.13に示す。現実世界での運転では、右折した先で歩行者が飛び出してくることがある。被験者にはそのようなケースを勘案しつつ、

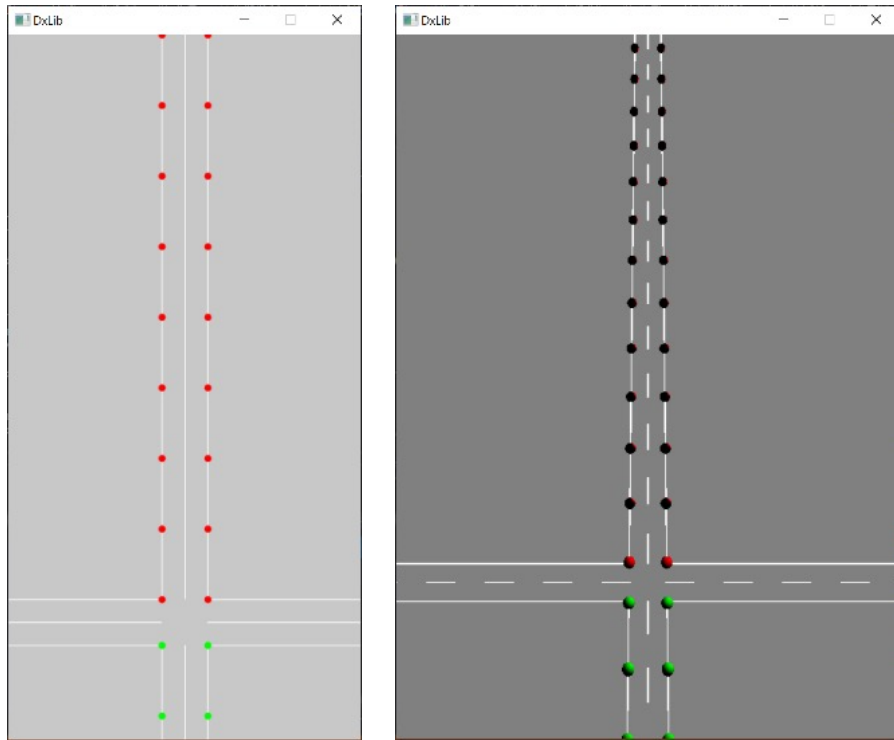


図 3.11: (左) 実験 1 で使用した自転車右折実験シミュレータ,
(右) 実験 2 で使用する自転車右折実験シミュレータ

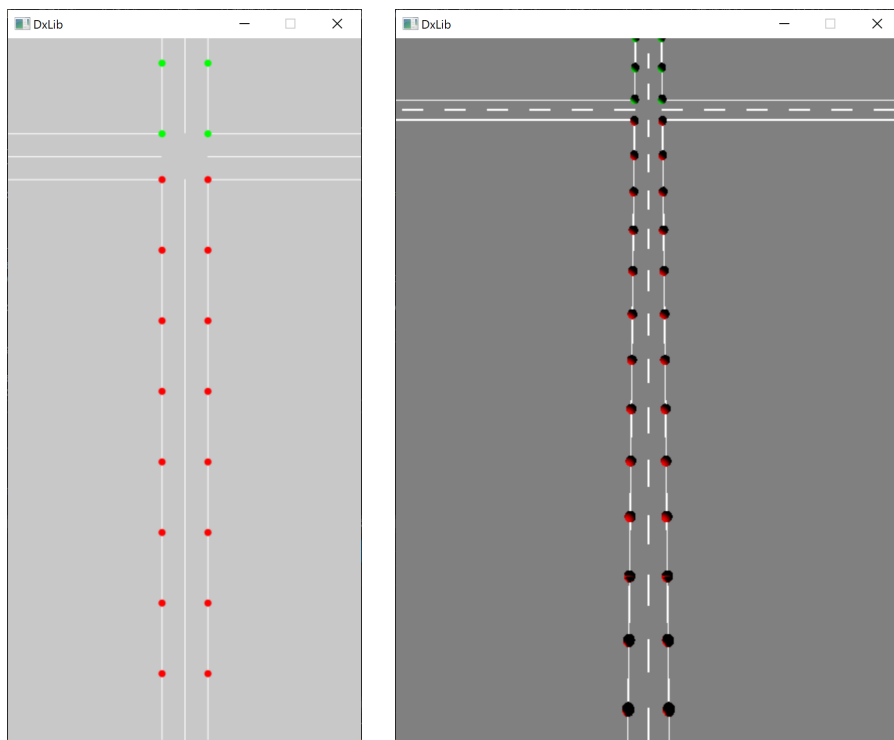


図 3.12: (左) 実験 1 で使用した自転車直進実験シミュレータ,
(右) 実験 2 で使用する自転車直進実験シミュレータ

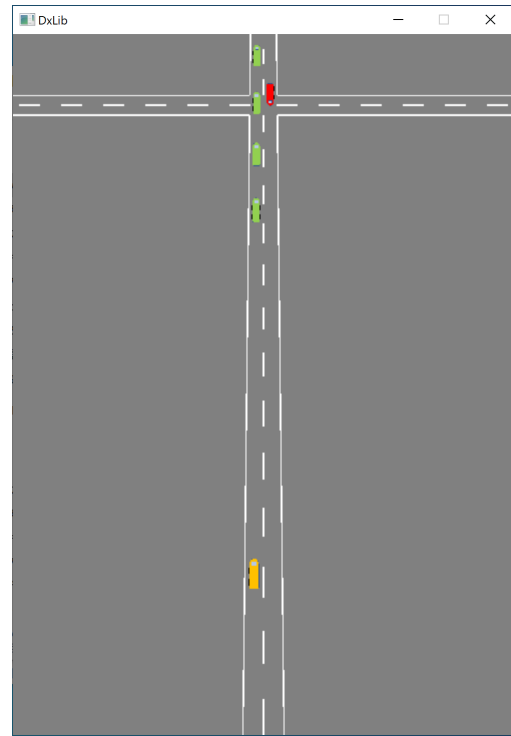
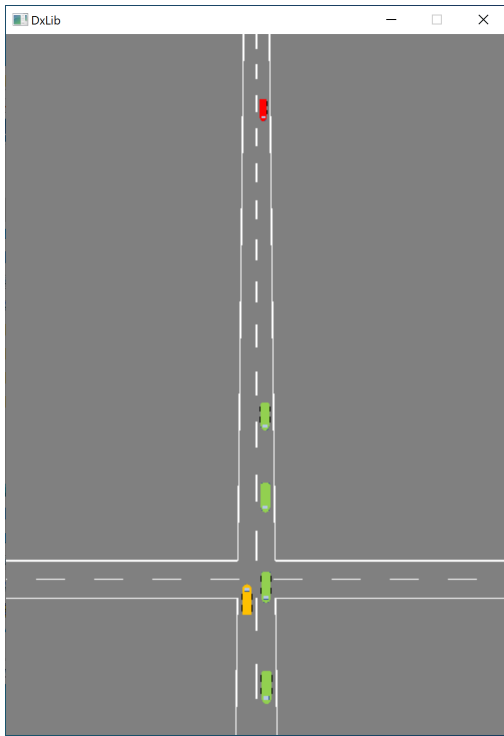


図 3.13: 実験 2 : 自転車右折実験のシミュレータ

図 3.14: 実験 2 : 自転車直進実験のシミュレータ

対向直進車に不快感を与えない右折を行ってもらおう。練習を行うことで、右折時間などの感覚に慣れてもらうだけではなく、自転車右折実験本番で実際の運転同様に安全に配慮してもらおう。次に、自転車直進実験練習を行ってもらおう。自転車直進実験に使用するシミュレータを図 3.14 に示す。直進自転車は、制動を行っても直ちに停止できるわけではない。続いて、自転車右折実験本番を行う。右直マージン時間 5 パターンと速度 3 パターンの計 15 パターンの試行を行い、1 セットとする。次に、自転車直進実験本番を行う。右直マージン時間 5 パターンと速度 3 パターンの計 15 パターンの試行を行い、1 セットとする。なお、各実験における被験者の操作と評価は実験 1 と同様である。これら 2 種類の実験を交互に 2 セットずつ行う。被験者は普通自動車運転免許を所有する大学生、大学院生 21 名である。

3.2.3 実験結果と考察

被験者は 21 名で、各被験者は 2 セットずつ実験を行った。各被験者において、実験で得られたデータの平均値をとり、そのデータを解析する。これは、対応ある 3 群以

上のノンパラメトリックな多重比較検定を行えるようにするためである。自車右折実験、自車直進実験の両方において、Steel-Dwass 法による多重比較検定を行う。本節の図中に示す、「*」は $p < 0.05$ 、「**」は $p < 0.01$ で有意差が見られた組み合わせである。

自車右折実験：各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた右折実施判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者 21 名からそれぞれ得られた平均値に対して各群の有意差について検定する。また、実験 1 と同様に、右折実施率が 50% で二分されるような右直マージン時間にも注目する。図 3.15 に対向直進車が 60km/h で走行する場合、図 3.16 に対向直進車が 50km/h で走行する場合、図 3.17 に対向直進車が 40km/h で走行する場合の自車右折実験解析結果を示す。

[直進者 60km/h]：右直マージン時間が 3.0sec と 5.0sec~7.0sec の群においてそれぞれ有意差が見られた。また、6.0sec と 4.0sec の組み合わせ、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が 4.0sec 付近の場合に存在すると考えられる。右折実施率からは、3.5sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は 1.0sec 程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は 0.5sec 程度である。

[直進者 50km/h]：対向直進車の走行速度が 50km/h の場合、右直マージン時間が 3.0sec~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。また、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいても有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が 4.5sec 付近の場合に存在すると考えられる。右折実施率からは、4sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は 1.0sec 程度である。

[直進者 40km/h]：右直マージン時間が 3.0sec~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。また、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいても有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が 4.5sec 付

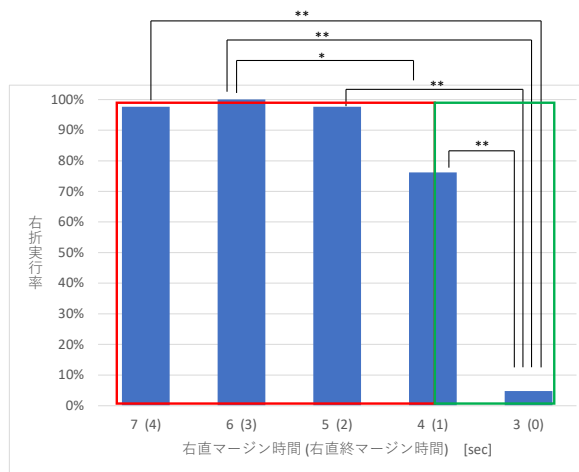


図 3.15: 実験 2 : 自転車右折実験 (直進車 60km/h)

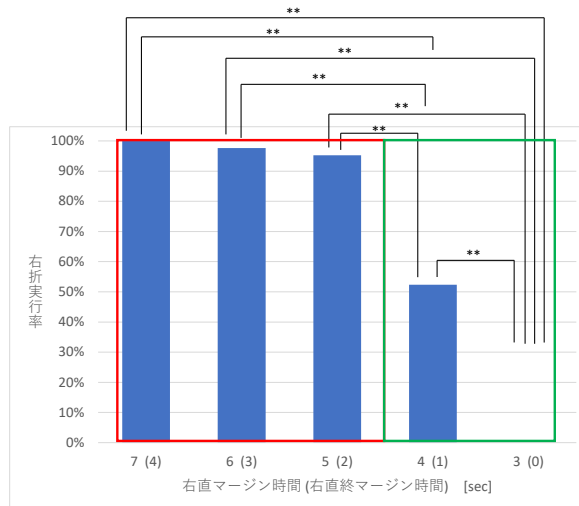


図 3.16: 実験 2 : 自転車右折実験 (直進車 50km/h)

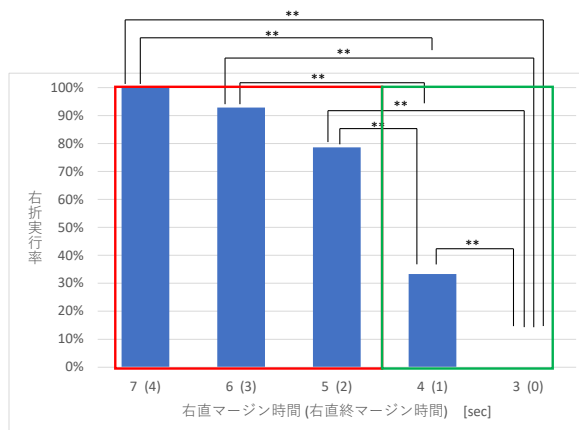


図 3.17: 実験 2 : 自転車右折実験 (直進車 40km/h)

近の場合に存在すると考えられる。右折実施率からは、4.5sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。

[比較考察]：有意差検定による心理的右直終マージン時間は、直進車の走行速度が 60km/h の場合に、40km/h と 50km/h の場合と比較して短い。右折実施率による分析と合わせて考えると、直進車の走行速度が速くなるにつれて心理的右直終マージン時間が短くなることが示唆される。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いて右折実行率が低くなる傾向が見られる。この傾向は実験 1 の自転車右折実験で見られた傾向と一致する。

自転車直進実験 (官能評価)：各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた官能判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者 21 名からそれぞれ得られた平均値に対して各群の有意差について検定する。また、実験 1 と同様に、不快率が 3.5 で二分されるような右直マージン時間にも注目する。図 3.18 に直進車が 60km/h で走行する場合の、図 3.19 に直進車が 50km/h で走行する場合の、図 3.20 に直進車が 40km/h で走行する場合の自転車直進実験解析結果を示す。

[直進者 60km/h]：直進車の右直マージン時間が 3.0sec~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。また、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界は右直マージン時間が 4.0~4.5sec の間、かつ 4.5sec に近い範囲に存在すると考えられ、4.4sec と考える。また不快度合いからは、3.5sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から心理的右直終マージン時間は 1.4sec 程度である。また不快度合いから推定する心理的右直終マージン時間は 0.5sec 程度である。

[直進者 50km/h]：直進車の右直マージン時間が 3.0sec~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。また、7.0sec と 5.0sec、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界は右直マージン時間が 4.5sec 付近の場合に存在すると考えられる。また不快度合いからは、3.5sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。また、不快度合いから推定する心理的右直終マージン時間は

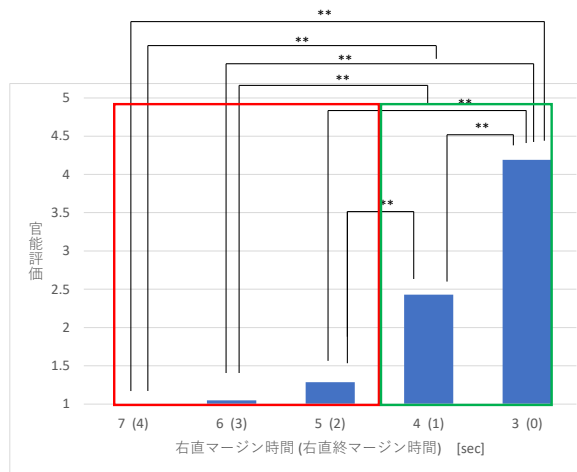


図 3.18: 実験 2 : 自転車直進実験 (直進車 60km/h)

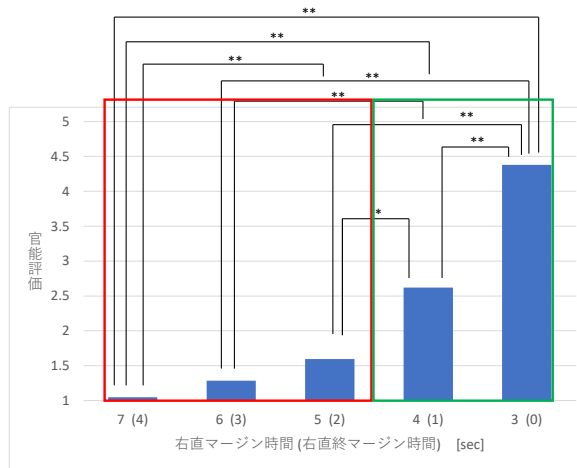


図 3.19: 実験 2 : 自転車直進実験 (直進車 50km/h)

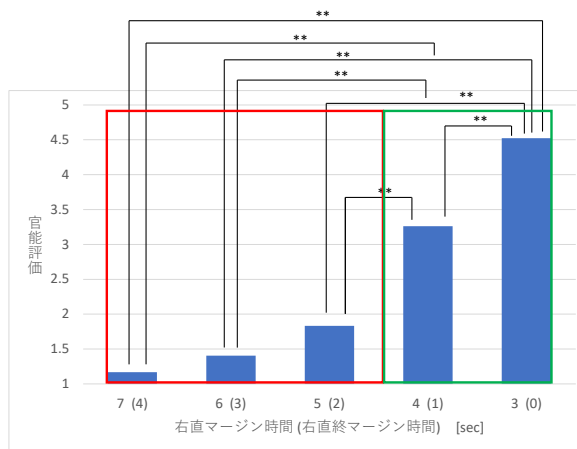


図 3.20: 実験 2 : 自転車直進実験 (直進車 40km/h)

0.5sec 程度である。

[直進者 40km/h]：直進車の右直マージン時間が 3.0sec～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。また、4.0sec と 3.0sec の組み合わせにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、官能判断境界は右直マージン時間が 4.5sec 付近の場合に存在すると考えられる。また不快度合いからは、4.0sec 付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は 1.5sec 程度である。また、不快度合いから推定する心理的右直終マージン時間は 1.0sec 程度である。

[比較考察]：直進車の走行速度が 40km/h, 50km/h, 60km/h それぞれの場合において、40km/h の不快度合いによる推定を除くと、心理的右直終マージン時間の変化は見られなかった。一方で、直進車の走行速度が遅くなるにつれて、不快感をより強く覚える傾向が見られる。これは、実験 1 で見られた、直進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増大する傾向と一致する。

自車直進実験 (制動評価)：自車直進実験において、図 3.21 に直進車が 60km/h で走行する場合の、図 3.22 に直進車が 50km/h で走行する場合の、図 3.23 に直進車が 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。これは平均値ではなく、被験者 21 名が 2 セットずつ行ったデータを分布に表したものである。制動を行なった試行の累積確率について述べる。

[比較考察]：直進車が 60km/h で走行する場合、制動を行な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 2.0sec 以上の場合である。50km/h の場合 2.0sec～2.5sec の間で 2.0sec に近い値であり、仮に 2.1sec 程度と考える。40km/h の場合 2.0sec～2.5sec の間で 2.5sec に近い値であり、仮に 2.4sec 程度と考える。実験 1 と同様に、直進車の走行速度が遅くなるにつれて、制動を行う判断が早くなる傾向が見られる。

3.2.4 実験 1 と実験 2 を通じた考察

実験 1 と実験 2 では、実験に用いたシミュレータの視点が異なる。視点の違いが結果に影響したか否かを考える。実験 1 と実験 2 に共通する、直進車の走行速度が

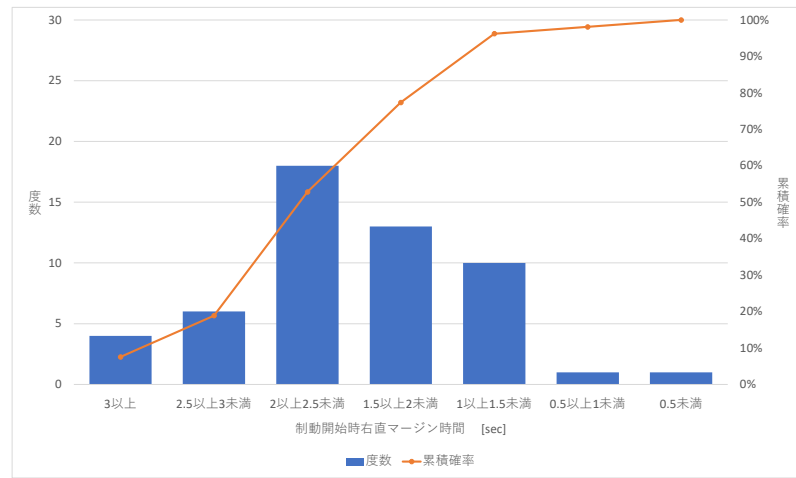


図 3.21: 実験 2 : 自車直進実験, 制動開始時点での右直マージン時間 (直進車 60km/h)

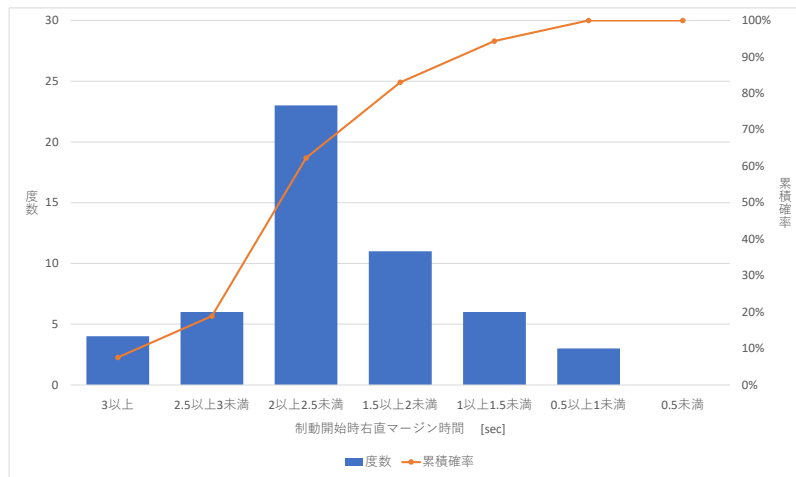


図 3.22: 実験 2 : 自車直進実験, 制動開始時点での右直マージン時間 (直進車 50km/h)

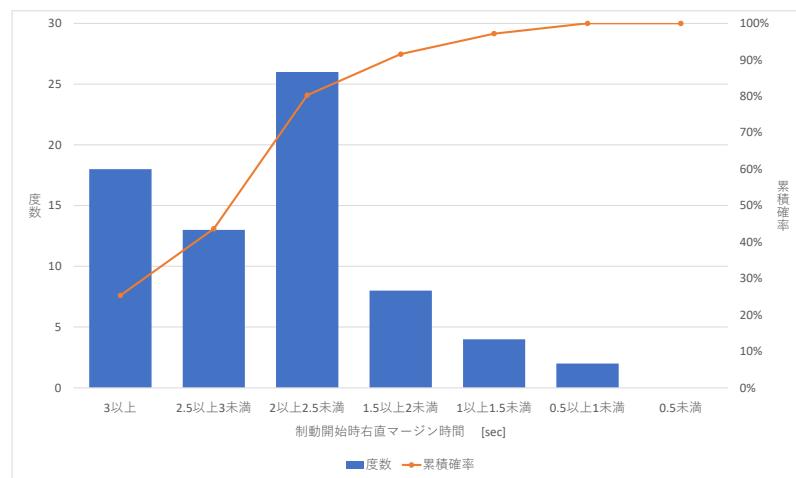


図 3.23: 実験 2 : 自車直進実験, 制動開始時点での右直マージン時間 (直進車 40km/h)

40km/h の場合における実験結果に注目する。右直マージン時間のパターンが異なるため、実験2で用いた3.0~7.0sec (1 step) の右直マージンにおける、実験1と実験2の各実験結果を、等分散を仮定したt検定により有意差検定を行う。自車右折実験について、それぞれの右直マージン時間における右折実行率の平均値を用いる。両側検定の結果、 $p = 0.74$ で有意差は見られなかった。次に、自車直進実験の結果について、それぞれの右直マージン時間における官能評価値の平均値を用いる。両側検定の結果、 $p = 0.58$ で有意差は見られなかった。したがって、視点の違いによる実験結果への影響はないことが示唆された。

実験1、実験2で推定した心理的右直マージン時間について検討する。自車右折実験における検定結果、右折実施率からそれぞれ推定した心理的右直マージン時間と、最小、十分右直マージン時間の比較を図3.24に示す。直進車の走行速度が速くなるにつれて右折実施率から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。走行速度が速くなるにつれて停止時間は長くなるため、直感的に、速度が速くなるほど心理的右直マージン時間も長くなるという傾向が考えられる。しかし、直感的な傾向とは逆の、速度が速くなるほど心理的右直マージン時間は短くなるという結果が出た。その要因として、前述の通り、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異なることが挙げられる。すなわち、被験者は時間より距離を重視して右折実施判断を行なっている可能性がある。図3.25に距離に換算した心理的右直マージン距離と最小、十分右直マージン距離の比較を示す。心理的右直マージン距離は、速度に依存して最小右直マージン距離と似た推移を示している。このことから、心理的右直マージンは時間ではなく距離と強い相関が得られるのではないかと考えた。自車右折実験における、右折実施判断を促された時刻ではなく実際に右折を開始した時点での右直マージン時間と直進車走行速度の間に、相関係数-0.187と弱い負の相関が見られた。一方、右折実施判断を促された時刻ではなく実際に右折を開始した時点での右直マージン距離と直進車走行速度の分布について、相関係数0.829と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。

自車右折実験の考察を述べる。検定結果から推定した心理的右直マージンは、時間、

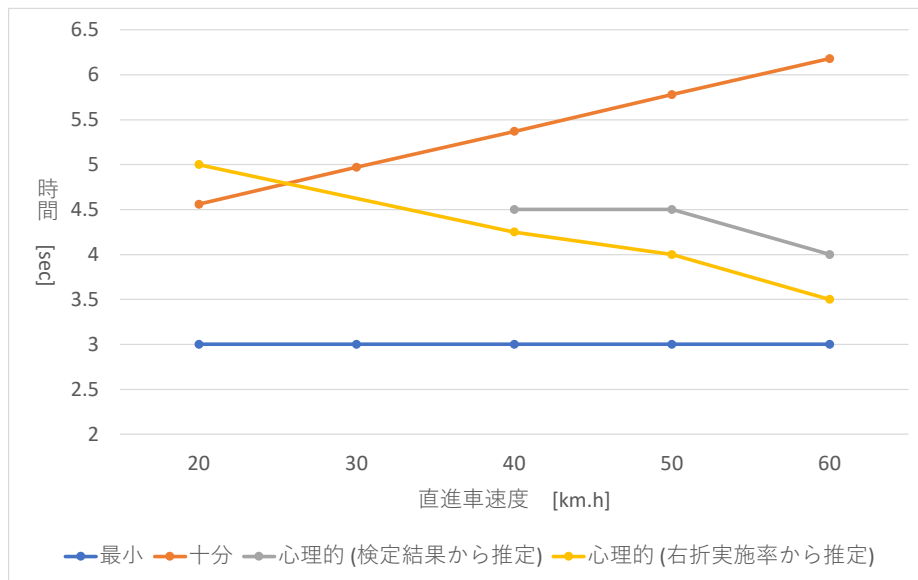


図 3.24: 自転車右折実験, 各右直マージン時間の比較

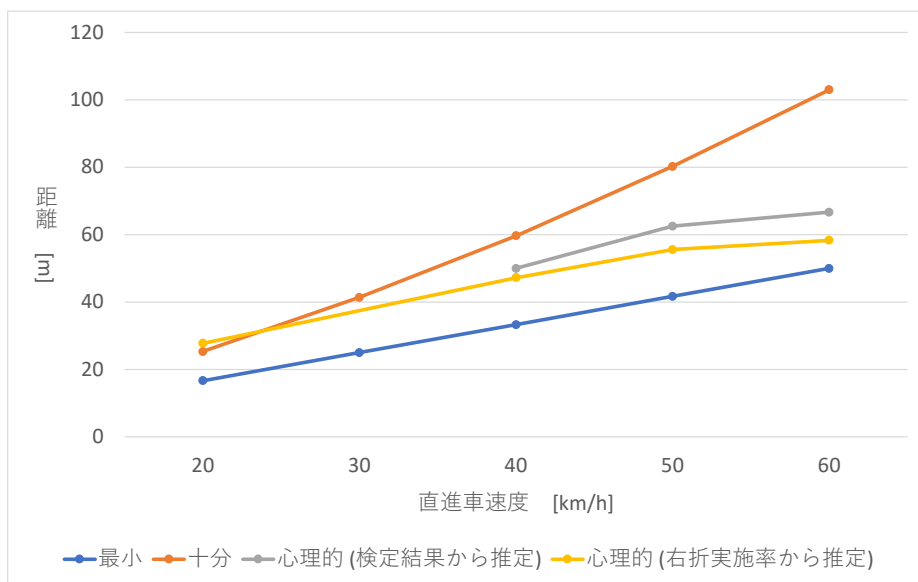


図 3.25: 自転車右折実験, 各右直マージン距離の比較

距離両方の場合で最小右直マージンと十分右直マージンの間で推移している。右折実施率から推定した心理的右直マージンは、直進車の速度が20km/hの場合を除いて同様の推移が見られる。これらは最小右直マージンが確保されているが十分右直マージンが確保されていない場合において、右折を実施したことを表す。右折自車が右折中に何らかの理由で交差点内に停止した場合、直進車は停止しきれず右折車と衝突してしまう恐れがある。ただし、実際の運転状況では直進車は制動以外にもハンドル操作による危険回避を行うことができ、本研究で定義した十分右直マージン時間より短い右直マージン時間でも事故が発生しない場合がある。本研究では制動以外の危機回避操作を想定していないが、日常的に運転をする被験者にとっては無意識のうちに、万が一の場合は制動以外の危機回避操作が行われることを想定して十分右直マージン時間が確保されていない場合でも右折を実施したのかもしれない。また、実際の運転状況ではなくシミュレータを用いての実験だったため没入感がうまく得られず、現実在即した運転を行うという意識が低かったのかもしれない。

自転車直進実験における検定結果、不快度合いからそれぞれ推定した心理的右直マージン時間と、最小、十分右直マージン時間の比較を図3.26に示す。自転車右折実験の場合と同様に、直進車の走行速度が速くなるにつれて心理的右直マージン時間が短くなる傾向が見られた。図3.27に距離に換算した心理的右直マージン距離と最小、十分右直マージン距離の比較を示す。心理的右直マージン距離は、速度に依存して最小右直マージン距離と似た推移を示している。このことから、自転車右折実験の場合と同様に、心理的右直マージンは時間ではなく距離と強い相関があると考えた。自転車直進実験における、制動開始時の右直マージン時間と直進車走行速度の間に、相関係数-0.177と弱い負の相関が見られた。一方、制動開始時の右直マージン距離と直進車走行速度の分布について、相関係数0.592とやや強い正の相関が見られた。したがって、被験者が直進車を操作する場合における心理的右直マージンの判断においても、自転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。

自転車直進実験の考察を述べる。検定結果から推定した心理的右直マージンは、直進車の走行速度が20km/hの場合を除いて、時間、距離両方の場合で最小右直マージン

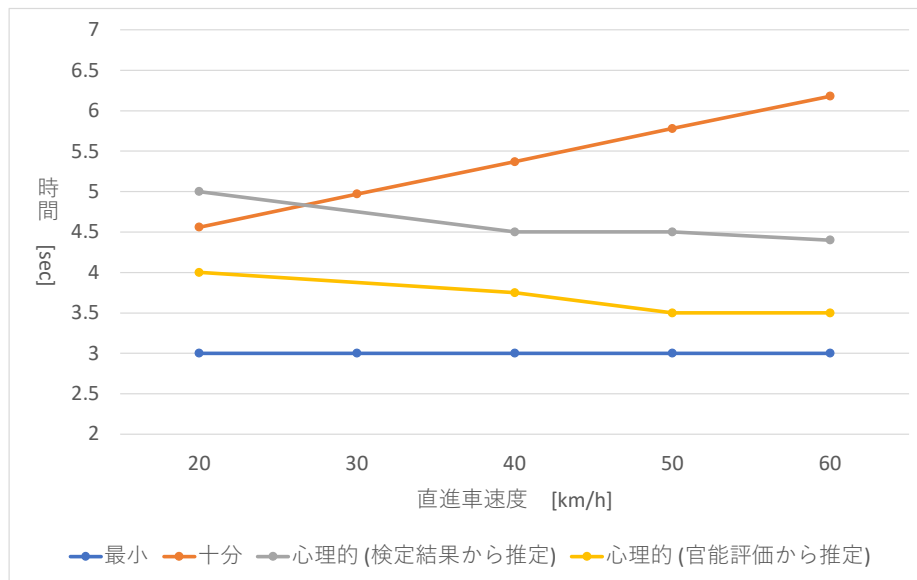


図 3.26: 自転車直進実験, 各右直マージン時間の比較

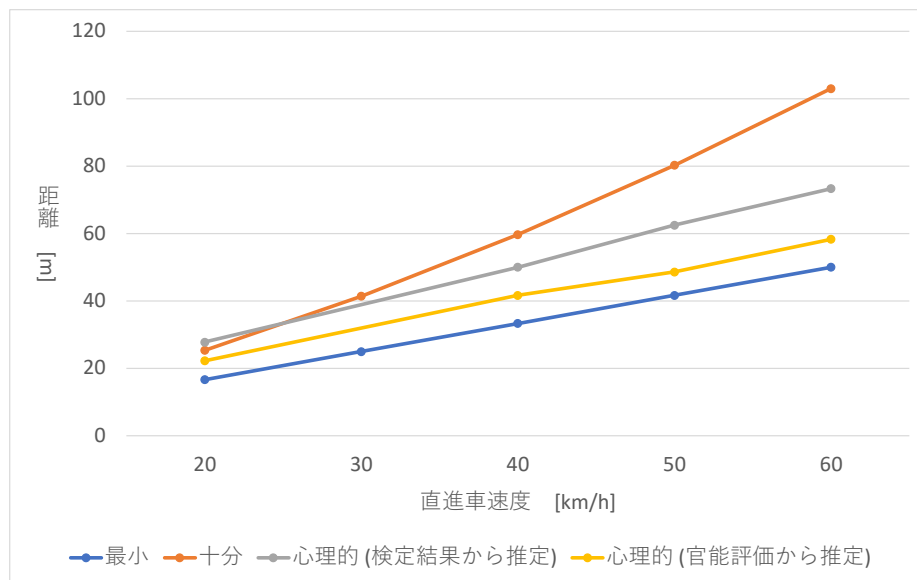


図 3.27: 自転車直進実験, 各右直マージン距離の比較

と十分右直マージンの間で推移している。不快度合いから推定した心理的右直マージンは、直進車の走行速度が20km/hの場合を除いて同様の推移が見られる。つまり、直進車の走行速度が速くなるにつれて、心理的右直マージン距離は十分右直マージン距離より短く、最小右直マージン距離より長くなる。対向右折者が右折中に何らかの理由で交差点内に停止してしまった場合、直進自車は停止しきれず衝突してしまう恐れがある。つまり、安全が確保されていないにもかかわらず不快感を覚えない場合がある。これは自車右折実験と同様の要因によるものだろう。

以上の結果より、自車が右折をする立場か、直進をする立場かに関わらず、心理的右直マージンは時間ではなく距離で議論することが妥当であると考えられる。右折実施タイミングは時間知覚ではなく空間知覚(距離)で判断を行なっている可能性が示唆された研究[26]と同様の結果である。また、交差点に到達するまでの時間が間もない、つまり右直マージン時間が短い時は速度に依存して対向車の接近を認識し、逆に右直マージン時間が長い時は距離に依存して対向車の接近を認識するという研究[27]もある。すなわち、本研究で得られた、心理的右直マージンは時間でなく距離に依存する傾向はヒトの性質による傾向であることが示唆される。

自動運転車に対向直進車に不快感を与えない右折を行うためには、心理的右直マージン距離を計算により求める必要がある。自車右折実験では、検定結果と右折実施率それぞれから心理的右直マージンを推定した。各速度におけるこれらの心理的右直マージン距離をそれぞれ平均して、最小、十分右直マージン距離と共にプロットする(図3.28)。ただし、直進車の速度が20km/hのとき検定結果から心理的右直マージンを推定できなかった。そのため、図3.28に示した20km/hにおける心理的右直マージン距離は、平均ではなく右折実施率から推定した心理的右直マージン距離である。最小右直マージン距離を D_m とすると、 $D_m = VT$ である。 V は直進車の走行速度(m/sec)、 T は右折時間(sec)である。実験1, 2では $T = 3.0$ であるため、 $D_m = 3.0V$ である。また、十分右直マージン距離を D_s とすると、実験では $D_s = D_m + V^2/(254 * 0.7)$ である。自車右折実験における心理的右直マージン距離を算出する計算式を立式するために線形近似を行った。 D は心理的右直始マージン距離を表す。

$$D = 3.25V + 11.11 \quad (3.1)$$

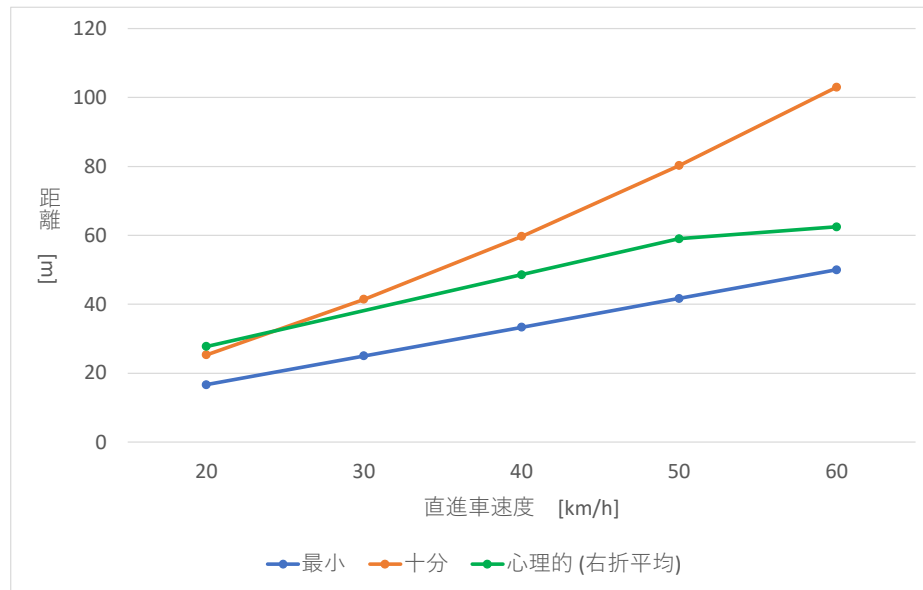


図 3.28: 自転車右折実験, 各右直マージン距離の比較
(心理的右直マージン距離は検定結果と右折実施率の平均)

自転車直進実験では, 検定結果と不快度合いそれぞれから心理的右直マージン距離を推定した. 各速度におけるこれらの心理的右直マージン距離をそれぞれ平均して, 最小, 十分右直マージン距離と共にプロットする (図 3.29). 自転車右折実験の場合と同様に線形近似を行った.

$$D = 3.67V + 4.75 \quad (3.2)$$

自転車右折実験, 自転車直進実験の結果からそれぞれ得られた心理的右直マージン距離を各速度でそれぞれ平均し, 最小, 十分右直マージン時間と共にプロットする (図 3.30). 自転車右折実験, 自転車直進実験の場合と同様に線形近似を行った.

$$D = 3.46V + 7.93 \quad (3.3)$$

$$D/V = T + 7.93/V + 0.46 \quad (3.4)$$

式 (3.4) は, 心理的右直マージン時間である. これらの式は, 定数項はあるものの, 直進車の走行速度に依存する時間という点において, 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いう仮定に反していない. 一方で, 心理的右直マージン時間は直進車の走行速度に反比例するという, 直感に反した結果が

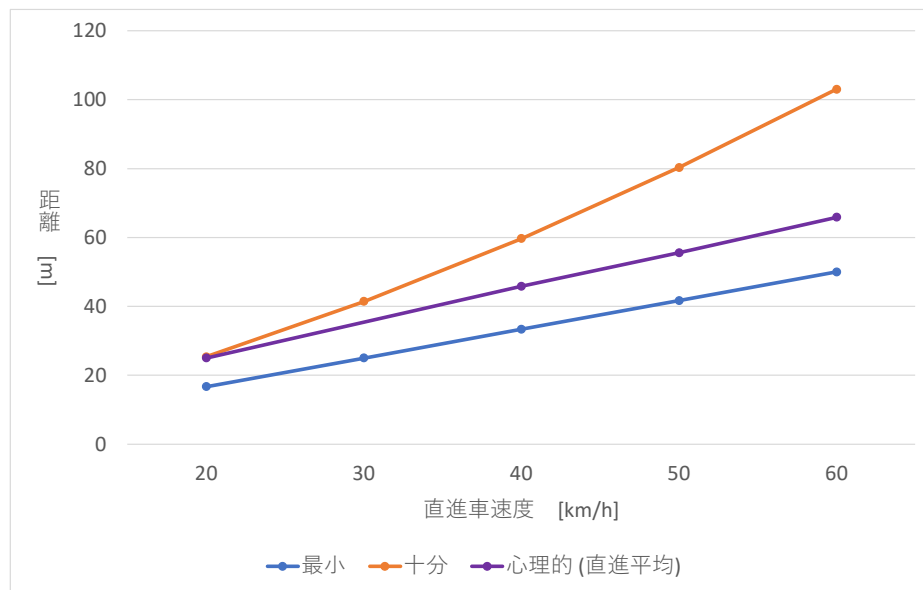


図 3.29: 自転車直進実験, 各右直マージン距離の比較
(心理的右直マージン距離は検定結果と不快感合いの平均)

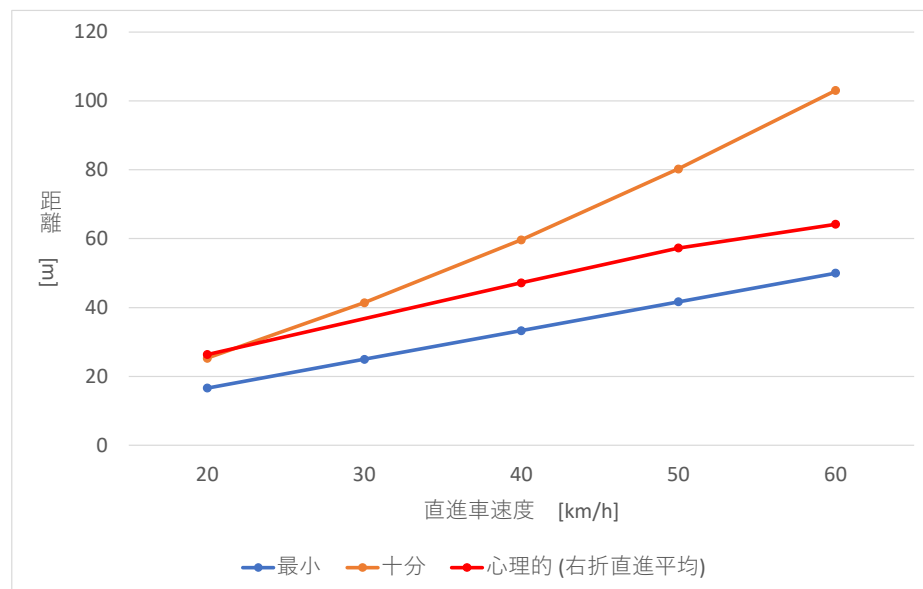


図 3.30: 各右直マージン距離の比較
(心理的右直マージン距離は自転車右折実験結果と自転車直進実験結果の平均)

得られた。具体的な数値については、直接的に実車に応用するためのさらなる実験が必要であろう。本研究では、それらを評価するアプローチを示せたと考えている。

3.3 実験3

3.3.1 車線数

実験1, 実験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。しかし, 実際には片側2車線以上の道路が数多く存在する。心理的右直マージンは片側2車線以上の道路において, 走行する通行帯によって変動するかもしれない。実験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する。なお実験では, 直進車は第一通行帯か第二通行帯(中央側)のいずれかのみを走行する。基本的な定数は実験1,2と同様である。直進車の走行速度は40km/hのみとする。車線幅を3.25mとすると, 片側2車線の交差点を右折する場合におけるおよそ5mの車両の右折経路はおよそ17mである。片側2車線の交差点の場合, 同一の車線幅である片側1車線の交差点の場合と比較して右折経路が長い。実際の右折車は右折開始から徐々に加速するため, 交差点脱出の際の速度は片側1車線の場合よりも速いだろう。右折中の速度を平均14km/h程度であると想定し, 右折時間は4.5secとする。予備実験の結果から, 右直マージン時間は4~8sec(1 step)の5段階として実験を行う。

3.3.2 実験の流れ

自転車右折実験と自転車直進実験を行う。図3.31に, 自転車直進実験に使用するシミュレータ(左)と自転車右折実験に使用するシミュレータ(右)を示す。まず, 操作方法に慣れてもらうため, 自転車右折実験練習を行ってもらう。現実世界での運転では, 右折した先で歩行者が飛び出してくることがある。被験者にはそのようなケースを勘案しつつ, 対向直進車に不快感を与えない右折を行ってもらう。練習を行うことで, 右折時間などの感覚に慣れてもらうだけでなく, 自転車右折実験本番で実際の運転同様に安全に配慮してもらう。次に, 自転車直進実験練習を行ってもらう。直進自転車は, 制動を行っても直ちに停止できるわけではない。続いて, 自転車右折実験本番を行う。右直マージン時間5パターンと直進車通行帯2パターンの計10パターンの試行を行い, 1セットとする。次に, 自転車直進実験本番を行う。右直マージン時間5パターンと直進車通行帯2パターンの計10パターンの試行を行い, 1セットとする。なお, 各実験における被験者の操作判断基準は実験1で述べたものと同様である。これら2種

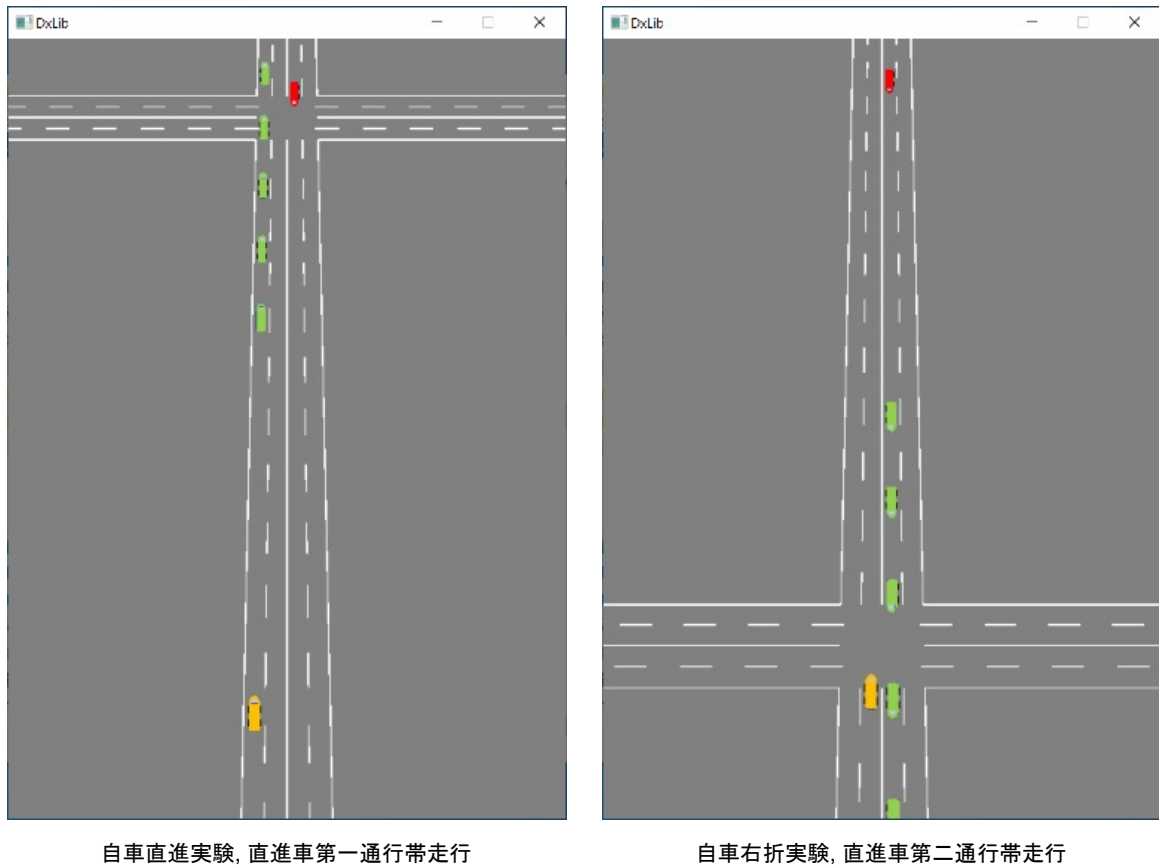


図 3.31: 実験 3, シミュレータの例

類の実験を交互に 2 セットずつ行う。実験 3 は実験 2 と合わせて行っており、被験者は共通である。

3.3.3 実験結果と考察

被験者は 21 名で、各被験者は 2 セットずつ実験を行った。各被験者において、実験で得られたデータの平均値をとり、そのデータを解析する。これは、対応ある 3 群以上のノンパラメトリックな多重比較検定を行えるようにするためである。自転車右折実験、自転車直進実験の両方において、Steel-Dwass 法による多重比較検定を行う。本節の図中に示す、「*」は $p < 0.05$ 、「**」は $p < 0.01$ で有意差が見られた組み合わせである。

自転車右折実験：各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた右折実施判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者 21 名から

それぞれ得られた平均値を解析する。また、実験1, 2と同様に、右折実施率が50%で二分されるような右直マージン時間にも注目する。直進車が第一通行帯を走行する場合の自車右折実験結果を図3.32, 直進車が第二通行帯を走行する場合の自車右折実験結果を図3.33に示す。

[直進者第一通行帯]：直進車が第一通行帯を走行する場合、右直マージン時間が8.0sec～5.0secの群と4.0secにおいてそれぞれ有意差が見られた。また、8.0secと6.0sec～5.0sec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、右折実施判断境界は右直マージン時間が5.0sec～5.5secまでの間、かつ5.5secに近い範囲に存在すると考えられ、5.4secと考える。また右折実施率からは、4.5sec～5.0secまでの間、かつ5.0secに近い範囲に閾値が存在すると考えられ、4.9secと考える。前述の通り、右折時間は4.5secである。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は0.9sec程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は0.4sec程度である。

[直進者第二通行帯]：右直マージン時間が8.0sec～5.0secの群と4.0secにおいてそれぞれ有意差が見られた。また、8.0secと5.0secにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が5.0sec～5.5secまでの間、かつ5.0secに近い範囲に存在すると考えられ、5.1secと考える。また右折実施率からは、4.5sec程度である。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は0.6sec程度である。また、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は0secである。

[見込右折]：それぞれの通行帯の実験では、直進車が40km/hで走行する片側1車線の場合と比較して、心理的右直終マージン時間が短い傾向が見られる。ところで、交差点がある片側2車線の道路について熟考する。対向直進車と直進先導車が第一通行帯のみを走行している場合、右折車は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じた時点で右折判断をするべきである。しかし、道路交通法や安全という側面からの議論を別にすれば、第二通行帯に直進車が存在しなくて直進先導車が交差点で交差する道路の中心線を通する前に右折開始をしても衝突しない場合がある。これを、右折開始を見込みで行なっていることから、開始見込右折と称する(図3.35)。開始見込右折を開始してから直進先導車最後尾の後端が交差点で交差す

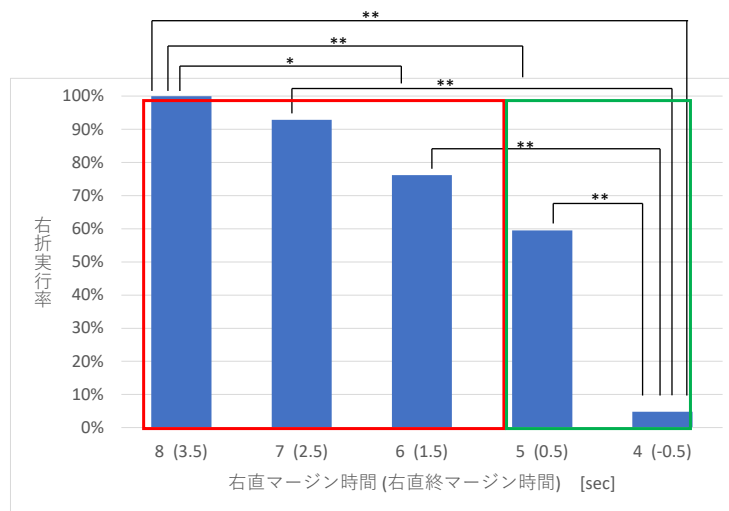


図 3.32: 実験 3 : 自車右折実験 (直進車第一通行帯走行)

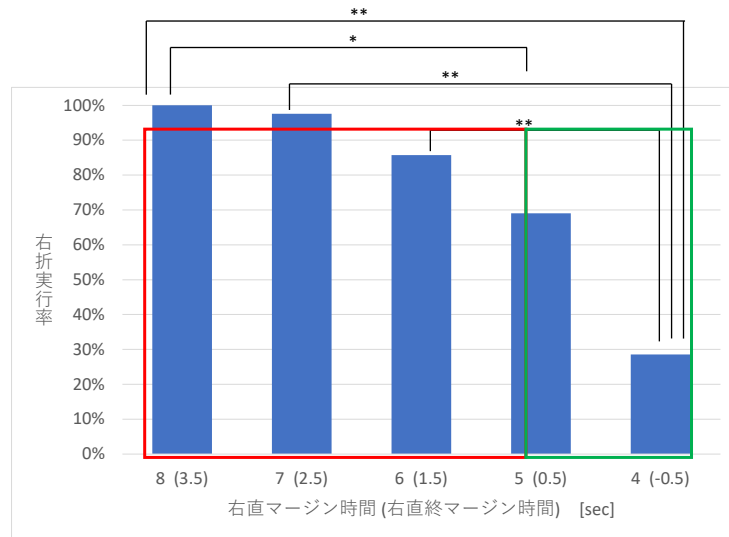


図 3.33: 実験 3 : 自車右折実験 (直進車第二通行帯走行)

る道路の中心線を通過するまでの時間を開始見込時間と称する。また、対向直進車と直進先導車が第二通行帯のみを走行しており第一通行帯に直進車が存在しない場合、右折車は右折可能になってから第二通行帯を脱出するまでについてのみ考慮することがあるだろう。これを、直進車が存在する通行帯における右折が終了する（交差点を脱出するわけではない）ことから、終了見込右折と称する（図 3.34）。終了見込右折において、第二通行帯を脱出してから交差点を完全に出るまでの時間を終了見込時間と称する。それぞれを本来の右折時間から減算した値を実質右折時間と称する。

[比較考察]：実験では開始見込右折を行った試行が見られ、その場合は開始見込時間分、実験で記録している右直始マージン時間と比較して、被験者が感じる右直始マージン時間が長い可能性がある。およそ7割の試行で開始見込右折が行われ、その開始見込時間の平均はおよそ0.5secだった。すなわち実質右折時間は4.0secであり、開始見込右折を行なった試行の右直始マージン時間は、実験で記録している右直始マージン時間と比較して平均0.5sec長い。つまり、心理的右直終マージン時間もその分長く、検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は実質1.4secである。同様に、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は0.9sec程度である。また、直進車が第二通行帯を走行する場合、終了見込時間を除いた分を実質的な右折時間として認識した可能性がある。右折開始から第二通行帯を脱出するまで、3.6sec必要である。実質右折時間が3.6secであることを考慮すると、終了見込時間は0.9secであり、終了見込右折を行った試行の右直終マージン時間は、実験で記録している右直終マージン時間と比較して0.9sec長い。つまり、心理的右直終マージン時間もその分長く、検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は1.5sec程度である。同様に、右折実施率から推定する心理的右直終マージン時間は0.9sec程度である。直進車が第一通行帯を走行する場合は開始見込時間を加算して、第二通行帯を走行する場合も終了見込時間を加算して、状況に合わせた実質右折時間として考慮した結果、直進車が走行する通行帯による心理的右直終マージン時間に大きな差は見られなかった。要因として、どちらか片方の通行帯にのみ直進車が存在したことが考えられる。第一通行帯のみを直進車が走行する場合、開始見込右折を行うと、実質的に直進車の速度が40km/hである片側1車線の自転車右折実験と同様の実験であるとみなせる。第二

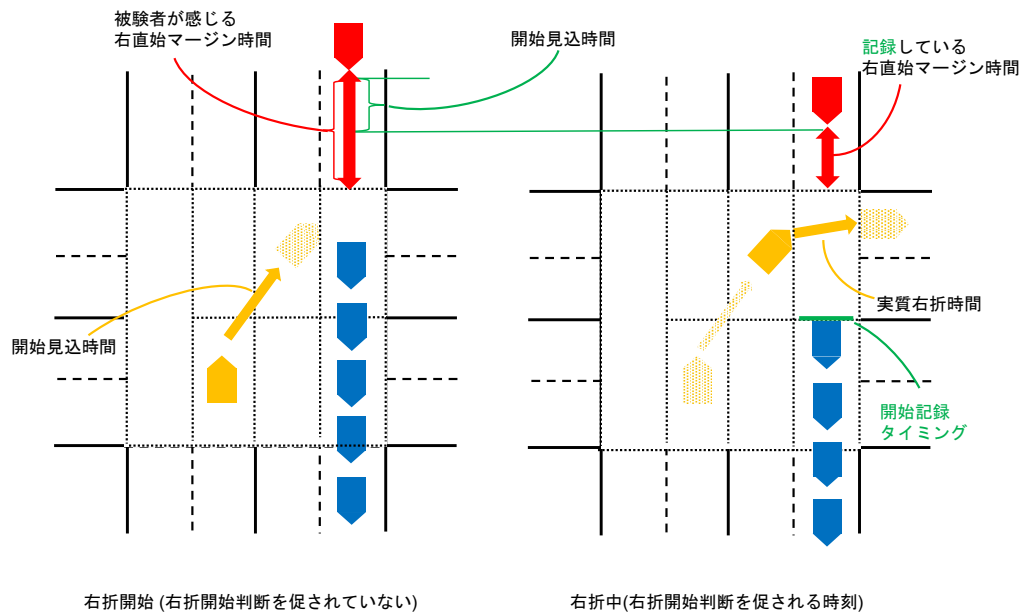


図 3.34: 開始見込右折の概要図

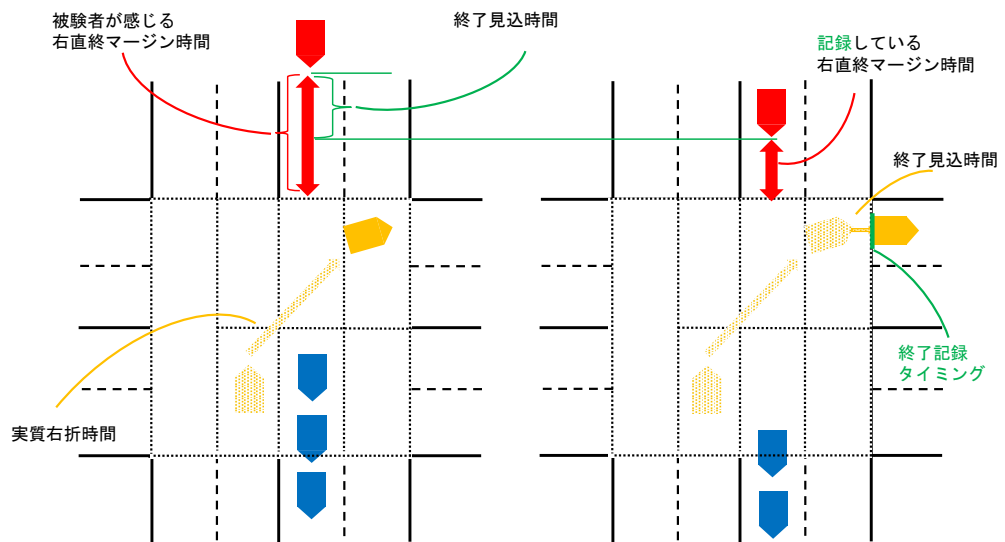


図 3.35: 終了見込右折の概要図

通行帯のみを直進車が走行する場合、終了見込右折を行うと、こちらも実質的に直進車の速度が40km/hである片側1車線の自転車右折実験と同様の実験であるとみなせる。すなわち、速度が同一の自転車右折実験とみなせるため、速度に依存するであろう心理的右直マージンに大きな差が見られなかったのかもしれない。

自転車直進実験：各右直マージン時間と速度の組み合わせにおいて、各被験者の試行で得られた官能判断データについてそれぞれ平均値を算出し、被験者21名からそれぞれ得られた平均値を解析する。また、実験1, 2と同様に、不快度合いが3.5で二分されるような右直マージン時間にも注目する。直進車が第一通行帯を走行する場合の自転車直進実験結果を図3.36、直進車が第二通行帯を走行する場合の自転車直進実験結果を図3.37に示す。

[直進車第一通行帯]：直進車が第一通行帯を走行する場合、右直マージン時間が8.0sec～6.0secの群と5.0sec～4.0secの群においてそれぞれ有意差が見られた。また、8.0secと6.0sec、6.0secと5.0secにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が6.0sec付近に存在すると考えられる。また不快度合いからは、5.5sec付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は1.5sec程度である。また、不快度合いから推定する心理的右直終マージン時間は1.0sec程度である。

[直進車第二通行帯]：右直マージン時間が8.0sec～7.0secの群と5.0sec～4.0secの群においてそれぞれ有意差が見られた。また、8.0secと6.0sec、6.0secと4.0sec、5.0secと4.0secにおいてもそれぞれ有意差が見られた。このことから、右折実施判断境界は右直マージン時間が5.0sec付近に存在すると考えられる。また不快度合いからは、4.5sec付近が閾値と考えられる。検定結果から推定する心理的右直終マージン時間は0.5sec程度である。また不快度合いから推定する心理的右直終マージン時間は0secである。

[比較考察]：自転車直進実験では、直進先導車最後尾の後端が交差点で交差する道路の中心線を通じた時刻に対向右折車は自動的に右折を開始する。つまり、自転車右折実験とは異なり、対向右折車が開始見込右折を実施することはない。そのため、直進車が第一通行帯を走行する場合、片側1車線での実験と似た結果が得られたのだろう。

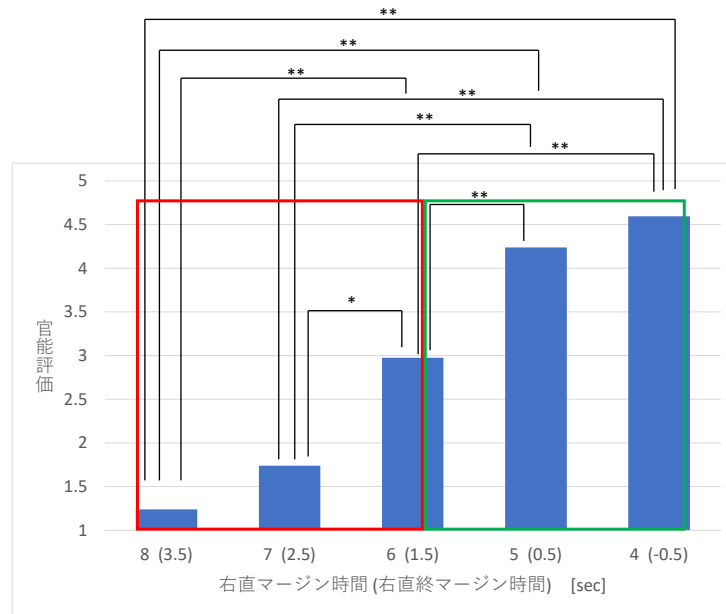


図 3.36: 実験 3 : 自転車直進実験 (直進車第一通行帯走行)

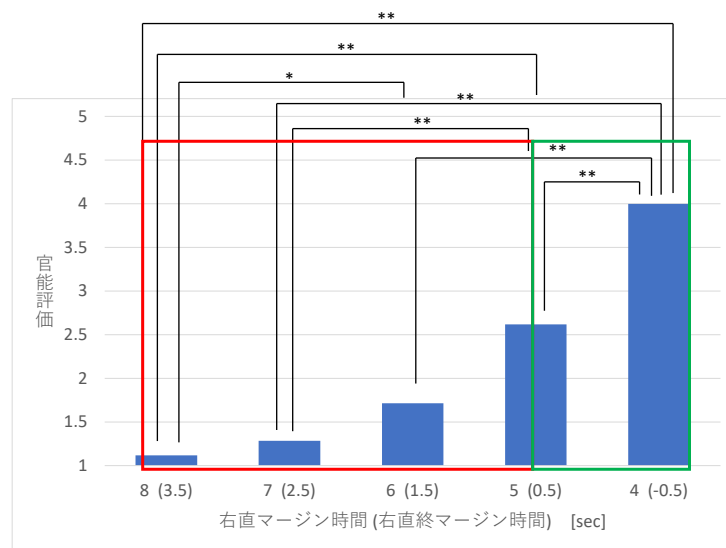


図 3.37: 実験 3 : 自転車直進実験 (直進車第二通行帯走行)

一方で、直進車が第二通行帯を走行する場合、対向右折車が右折を開始してから第二通行帯を脱出するまでの間のみ、被験者は対向右折車に干渉される。すなわち、終了見込右折が行われており、被験者は終了見込時間を除いた分である 3.6sec を実質の右折時間として捉えた可能性がある。右折時間を 3.6sec として、検定結果から心理的右直終マージン時間を推定すると 1.4sec である。不快度合いから心理的右直終マージンを推定すると 0.9sec である。これは、直進車が第一通行帯を走行する場合の、それぞれ推定した心理的右直マージン時間と概ね一致する。また、自転車直進実験で推定された心理的右直終マージン時間は、自転車右折実験における結果と概ね一致する。以上のことより、直進車が走行する通行帯による心理的右直マージンへの大きな影響は見られなかった。ところで、片側 1 車線での実験は右折時間が 3sec であり、片側 2 車線での実験は右折時間が 4.5sec である。しかし、直進車が第一通行帯を走行する場合の検定結果から推定した心理的右折マージン時間は、片側 1 車線での実験と似た結果であった。これは、心理的右直マージン時間は右折時間に影響されておらず、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いう仮定に反しないものである。

第4章 むすび

本研究では右折車と直進車が混在する交差点における、右折運転行動の解析を行い、直進車と右折車双方の立場から心理的右直マージンを推定した。心理的右直マージン時間は、直進車の走行速度に比例して大きくなるだろうという直感的な予想とは反対に、速度に反比例する傾向が見られた。心理的右直マージン距離は速度に比例しており、車の乗員は対向車との距離を重視していることが示唆された。その上で直進車の速度を元に心理的右直マージンを算出することを試みた。直進車に不快感を与えない自動運転右折の実現を期待したい。ただし、この算出結果では十分右直マージンを確保できない場合があるかもしれない。安全面からの議論も行われるべきである。また、具体的な数値について、実際の車両に応用するためのさらなる実験が必要であろう。本研究では、それらを評価するためのアプローチを示せたと考える。

今後の展望として、心理的右直マージンの推定精度を向上させることが挙げられる。例えば、離散的な右直マージン時間による実験ではなく、様々な右直マージン時間を対象にした実験が必要かもしれない。また、被験者数を増やして実験を行うことで、さらに信頼性が高い心理的右直マージンを推定したい。その上で、実際の車両にそのまま応用できる実験モデルについても検討したい。

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、株式会社 本田技術研究所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、本田技術研究所の上田雄悟 様、木村真弘 様、皆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] 政府統計の総合窓口 (e-Stat), “道路の交通に関する統計—令和3年中の交通事故死者について”, 2021.
- [2] 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, Dec., 2000.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 内藤貴志, “トヨタにおける自動運転技術への取り組み”, 石油学会 年会・秋季大会 講演要旨集, Vol. 46, p. 214, 2016.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 近藤政市, 渋谷侃二, “自動車を制動する際の空走時間の測定結果”, 日本機械学会誌, Vol. 57, No. 424, pp. 311–316, 1954.
- [10] 交通事故における車速と停止距離を考える, <http://www5d.biglobe.ne.jp/Jusl/Keisanki/JTSL/TeisiSyasoku.html> (2022年1月17日参照)

- [11] R. Sommer, “Studies in Personal Space”, *Sociometry*, Vol. 22, No. 3, pp. 247–260, Sep., 1959
- [12] 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.
- [13] 有賀敦紀, “拡張的パーソナルスペース–所持品間の距離に反映される所有者の対人距離–”, *心理学研究*, Vol. 87, No. 2, pp. 186–190, 2016.
- [14] 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.
- [15] 下條晃裕, 高木秀貴, 大沼秀次, “ドライビングシミュレータの開発について”, *開発土木研究所月報*, No. 492, May, 1994.
- [16] 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, Sep., 2010.
- [17] 畑田豊彦, “人工現実感に要求される視空間知覚特性”, *人間工学*, 29 巻, 129-134
- [18] 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 (2022 年 1 月 17 日参照)
- [19] K. Tanida, E. Pöppel, “A Hierarchical Model of Operational Anticipation Windows in Driving an Automobile”, *Cognitive Processing*, Vol. 7, No. 4, pp. 275–287, Sep., 2006.
- [20] E. Pöppel, “Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing”, Vol. 364(1525), pp.1887 - -1896, Jul., 2009.
- [21] 米川隆, 阿賀正巳, 門脇美佐, 名切末晴, 坂口靖雄, 荒木厚, “市街地走行で現実感のあるドライビングシミュレータの開発”, *自動車技術会論文集*, Vol. 39, No. 6, pp. 29–34, 2008.

- [22] 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.
- [23] 畠中秀人, 平沢隆之, 真部泰幸, 渡邊寧, 井上洋, 竹中憲郎, 川崎弘太, “プローブデータを活用した安全走行支援サービスに関する検討”, 第6回 ITS シンポジウム, pp.321–326, Dec., 2007.
- [24] 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, July., 2013.
- [25] 国土交通省, 平成 27 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/h27/index.html> (2022 年 1 月 19 日参照)
- [26] 山崎涼介, “右折タイミング報知装置開発に向けた実交通流での右折行動分析”, 令和 3 年度近畿大学総合理工学研究科メカニクス系工学専攻修士, Feb., 2022.
- [27] 菅野理樹夫, “対向車が接近する時の到達時間予知の制度について”, 労働科学, Vol. 70, No. 3, pp120–127, 1994.

発表論文リスト

1. 秋元遼太, 舟橋健司, 柴田航, “介護施設入居者や小児入院患者のための VR コンテンツによる心的ケアの試み”, 日本バーチャルリアリティ学会第 25 回大会講演論文集, 1C3-8, 4pages, 2020.9.
2. 顔晟裕, 秋元遼太, 舟橋健司, “老視者のための実際の紙が拡大されたように見える AR ドキュメント拡大眼鏡”, 日本バーチャルリアリティ学会第 26 回大会講演論文集, 2C1-1, 4pages, 2021.9.
3. R. Akimoto, M. Miyaji, K. Funahashi, K. Tanida, S. Mizuno, “Positive Effect of Slight Delay for Operational Performance”, IEEE-GCCE, pp.162–166, 2021.