

自転車出合い頭事故のDS分析

Driving Simulator Analysis on Bicycle Head-on Collision

屋井研究室 07B26116 宮之上慶

1. はじめに

近年、交通事故死者数が年々減少しているのに対し、自転車事故死者数の割合は増加傾向にある。中でも無信号交差点での出会い頭事故が最も多く、特に細街路から幹線道路へ出る自動車と、幹線道路沿いの歩道を通行し、自動車側から見て左方向から交差点に進入する自転車が接触するものが多い¹⁾。その要因として、細街路との交差点の建物が道路際まで建ち、歩道走行する自転車を視認しづらい上、幹線道路に左折して合流するために右方向を注視しがちになるため、特に左方向から来る自転車の発見が遅れてしまうことが挙げられる。しかし、自転車と自動車間の出会い頭事故を扱った研究では、自転車の走行挙動、速度、方向・位置を事故要因としているものが多く²⁾³⁾、視認行動を扱っているものは少ない。

そこで本研究では、細街路と幹線道路が接続する交差点を対象に、出会い頭事故の主要因であるドライバーの視認行動を検証するため、ドライビングシミュレータ（以下、DS）の仮想空間内に交差点を設計し、出会い頭事故を再現することを目的としてDSシステムを開発し、同時にその適応性を検討した。さらに、DSを用いた実験を試行し、対象交差点での自動車走行特性を把握し、出会い頭事故の基礎的分析を行った。

2. 仮説の設定とDSの概要

2.1 仮説の設定

本研究では、ドライバーの視認行動によって生じる可能性のある出会い頭事故を対象にした。これは自転車側の速度や走行挙動、また交差点形状に依存することなく、ドライバーの視認行動によって事故が起きることである。そのような現象は以下の仮説で表現できる。

- ・ 交差点形状よりもドライバーの視認行動が事故を決定づけている
- ・ 自転車側の速度や走行位置は事故発生確率と関連はあるものの、ドライバーの視認行動が事故の発生に大きく寄与している。

仮説の検証に対して、自動車側の走行位置に対する視線行動や、ブレーキ・アクセルなどの走行挙動を詳細に取る必要がある。実道での実験は危険を伴う上に、周囲の交通状況を統一させて自動車ドライバーの挙動を比較

することが困難なため、本研究ではDSを用いて実験を行うこととした。

2.2 DSの概要

本研究では図1に示すMOVIC-T4（正式名称：Moving Virtual Cockpit Driving Simulation System by Tokyo Tech & Trion for Tokyo Highways）を使用した。道路利用者の視点から道路走行環境を分析するためのツールとして、かつ道路整備事業における行政・市民間のコミュニケーションツールとしての活用も視野に入れ開発された、高い再現性を有する小型可動式のドライビングシミュレータである。

走行画面はヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）に投影され、HMD 上部に取り付けられたトラッキングセンサーにより、ドライバーの顔の向きと表示する走行画面が連動する。これにより 360°の仮想空間が再現でき、複数の大型プロジェクタやスクリーンを利用しない省スペース化を図ることが出来る上、視界には仮想空間のみが映し出されるため、没入感の高い走行環境を再現することができる。

また、走行中にドライバーが感じる体感加速度を小型2軸モーションベースにより再現することで、ブレーキ、アクセル、カーブ時の慣性力を運転者に体感させることができる。これにより加減速だけではなく、勾配道路やサグ部の走行も再現可能となり、あらゆるシナリオで実験を行うことができる。

3. DSシステム的设计

3.1 DSシステムにおける視界

自動車の運転は一般的に認知・判断・操作の繰り返しであると言われており、視覚はその中の認知の部分を担当している。自動車を運転する上で認知は最も重要な部分であり、自動車の事故の原因は大半が認知の誤りから生じることを考えると、人間の視野機能の再現性は最も重

キーワード：自転車交通、出会い頭事故、視認行動、動体視野



図1 MOVIC-T4の外観と走行画面例

要である。人間の持つ視野は、その特性⁴⁾から以下の種類に分かれる。

- ・ 中心視 (central visual field)
解像度が最も高く、視角約 2°程度
- ・ 有効視野 (useful field of view)
注視点の周辺で認知に寄与する部分、心理的要因で変化する。視角 4°~20°
- ・ 周辺視野 (peripheral visual field)
有効視野の周辺で感じ得る部分、視角 180°~210°

本システムでは HMD による再現視野角は水平面で 114° (片側 57°) である。これと人間の持つ実際の水平視野角との差が実験実施上、以下のような課題となる。

- ① 視界の周辺にあるものを見るときに、実際よりも多く首を動かす必要がある
- ② 自転車が視界に入ったと被験者が判断するタイミングが実際よりも遅くなる

人間が物体を見ようとする時に、中心視に入れて見ようとする交差点付近 (視界がぐっと広がる場所) では、「自転車や自動車、歩行者の存在確認」をするために目を使うので、物体が何かを判別するまで見る必要がある。よって、①に関して視野角限界は問題視されない。

これに対し、②は、物体が見えたら危険と判断して安全行動をとるために必要な目の性質である。本研究では出会い頭事故を対象としているので、より自転車を早く見つけ安全行動を取ることが事故防止に繋がる。よって、人間の視野機能の中でも特に、周辺視野機能の再現性が求められると言える。しかし周辺視野角は 180°を超えており、現状の HMD の視野角では再現できない。

このような問題を前提に MOVIC-T4 を用いる場合、道路構造令に適した道路空間設計と共に自転車の発生タイミングを考慮することで、HMD の視野角限界である 114°でも実験が行えるように、つまり実際の視野よりも狭い範囲しか視認できなくとも適切な実験評価を行えるように、実験条件を検討する必要がある。

3.2 動体視野の適用

周辺視野における視野特性の中でも、動く物体の検出能力を評価する新しい視野機能として動体視野が提案されており⁵⁾、この時の動体は「40km/h で走行する被験者から見て 40m 先の身長 1.6m の歩行者が 4km/h で一歩踏み出す移動」に相当する。これより、動体視野に影響を与える可能性があるものとして以下の条件が挙げられる。

- ・ 自動車側の速度 (自速度)
- ・ 自転車側の速度
- ・ 視点での注視度の大小

この 3 つの条件が動体視野特性にどのような影響を与えるかについて実験を行った。

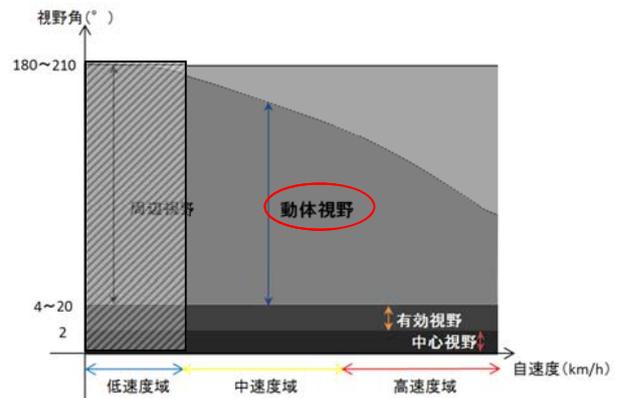


図 2 人間の視野の種類と本研究での調査必要範囲 (斜線部)

3.3 動体視野角実験

3.3.1 実験動機・目的

対象となる交差点では、被験者により速度 (5~10km/h 程度) が異なり、自転車も左右双方から接近することから、動体視野角は一樣でない可能性が高い。よって、実験内容に応じた動体視野を求める必要がある。そこで、図 2 の斜線部の範囲での動体視野を調査した。

3.3.2 実験方法・条件

実験方法と条件を以下に、加えて図 3 に配置を示す。

- ・ 被験者 (自動車) 自身は定速で進行しており、前方を注視するよう指示した。
- ・ 前方 3m 先で、自転車 (を模した物体) を左側から進行させた。
- ・ 「何かが来た」と感じた時点でボタンを押させ、注視点と自転車の先端部との距離を測定した。
- ・ 「被験者とスクリーンとの距離+反応時間×自転車速度」と測定した距離により、逆算して動体視野角度を求めた。
- ・ 自転車の速度は①5 ②10 ③15km/h の 3 水準
- ・ 自動車の速度は①5 ②10km/h の 2 水準
- ・ 注視度 (自動車側) は、
①低い (一点を見続ける) ②高い (一点を見て、かつそこに表示される数字を暗算してもらう) の 2 水準

3.3.3 実験結果

実験の様子と動画の一例を図 4 に示す。結果として以

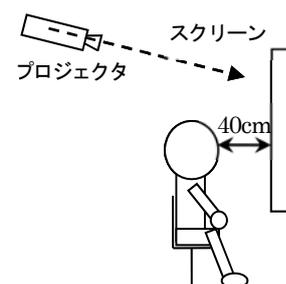


図 3 動体視野実験の配置

下の傾向が見られた。

- ・ 自転車速度・自動車速度・注視度は、視野角と負の相関があるとは限らない
 - ・ 条件を与えることによる影響は個人差がある
 - ・ 動体視野角はどのケースでも片側 70°程度である
- 被験者ごとに事故を起こしやすい自転車の速度、被験者の速度が異なる可能性が示された。つまり、本実験での評価に用いる動体視野角は被験者ごとに計測する必要があり、被験者の動体視野角を計測し視認行動分析に反映させることで、HMD で提供できる視野角（片側 57°）が動体視野角より狭い点をカバーできると考える。DS 実験時の評価で用いる被験者の動体視野角度は以下のように定めた。
- ・ DS で交差点に進入する時の平均速度に合った条件（自動車速度）での動体視野角データを取得する
 - ・ 注視度は「注視点を見続けてもらうという行動に値する」と仮定する

自転車速度（5種）ごとに3回ずつ計測し、その平均値をDS走行実験被験者の動体視野角とした。

3.4 自転車発生タイミングの検討

DS 仮想空間内でランダムに自転車を出しているだけでは、タイミングよく自転車と自動車とが交差点に接近する“事故の発生可能性のある状況”を再現することが難しい。そのため、自転車の発生タイミングを調整し、なるべく多くの被験者に自転車との交錯を発生させるようにする必要がある。自転車発生タイミングは、図5に示すような条件の下で決定した。

- ① 停止線近くに自転車を発生させるトリガーを設置
自転車は被験者の走行挙動に影響を受けることから、被験者の走行挙動に一番差が出やすい停止線より前方に自転車発生のためのトリガーを設置することで、自転車の発生タイミングを操作する。
- ② 視界に突然出てこないようにする（視界の再現性）
①に加え、自転車が被験者の視界に突然出てくるようなことがないように配慮する。この際、自転車発生時に幹線道路側のどこを見ているとも自転車が発見できるように設定できれば、HMDの視野限界をカバーすることが可能である。

検討を行った結果、被験者が交差点手前2.60mに到達

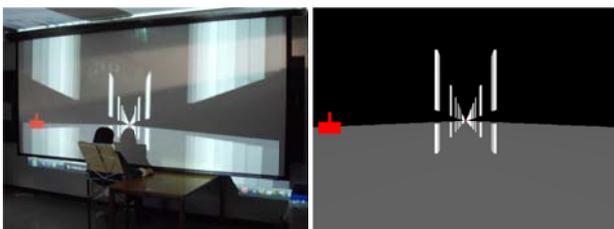


図4 実験の様子と被験者に提示した動画の一例

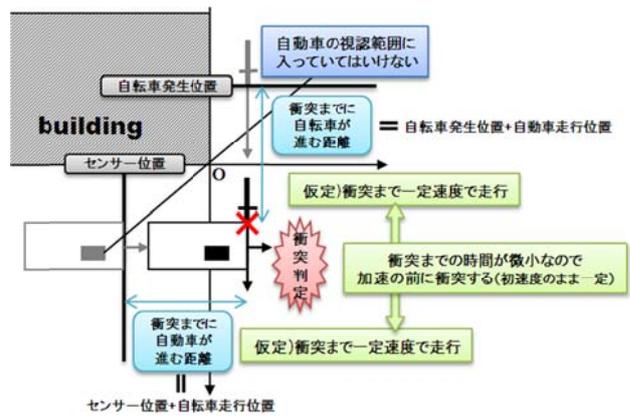


図5 自動車と自転車の出会い頭想定状況

した瞬間に、建物から1.0m離れた歩道を約9km/hで通行する自転車をドライバーの視界の境界部分から発生させれば、視野限界の影響もなく、交錯発生の確率も高くできることがわかった。

4. DS走行実験

4.1 実験コース

DS 実験で被験者に運転させるコースは図6のように設計した。道路は一般的な、細街路側から幹線道路側の見通しが悪い交差点となっている。DS でこの種の事故の再現、検証が可能か、被験者に実験条件に合わせた交差点を左折させる実験を行った。被験者は学生5名である（平均年齢22.0歳、男2名女3名）。

4.2 実験手順と注意事項

実験手順と注意事項は以下のとおりである。

- ① チュートリアル走行
標準的な道路を走行させ、運転感覚、走行環境に慣れさせた。特に速度感、被験者に出している速度を伝え、低速度帯の感覚をつけさせた。またブレーキ、アクセル操作についても念入りに練習を行った。
- ② 通常走行実験
細街路や幹線道路側の道路や交通条件を変えた4種の交差点で左折運転をさせ、被験者の走行挙動及び視線移

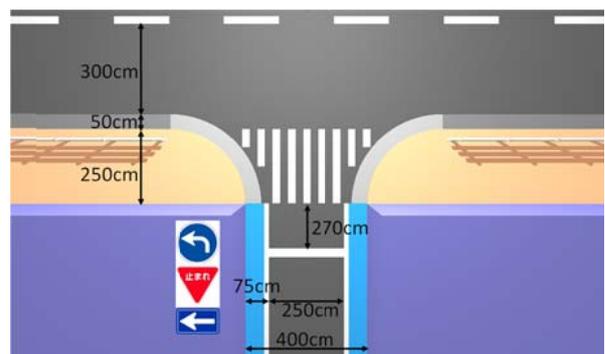


図6 実験コースの交差点部分の一例

動にどのような傾向があるかを観測した。道路の種類は i) 幹線道路側の植樹帯の有無、ii) 停止線手前での路面表示の有無、iii) 幹線道路側の歩道幅員の広狭、iv) 細街路で自車前方の自動車の有無である。被験者により、各種交差点の走行順序をランダムにして行った。

③ 事故想定走行実験

最後に、3.4 節で検討したタイミングにより自転車を発生させ、その運転挙動や視認行動を観測した。このとき、幹線道路側を通過する自転車の走行位置や走行方向を変えることで、被験者の走行挙動及び視線移動に及ぼす影響を観測する。ただし、危険認知をした被験者はそれ以降の運転挙動に必要以上に慎重になる可能性が高いと予想されるため、被験者 1 人に対して原則 1 回しか行わないものとした。

4.3 実験結果

4.3.1 視認行動の傾向

図 7 は被験者の走行位置別の被験者視点移動（全 25 走行）を示したものである。実線は頭出し位置で右を見ている場合、点線は左を見ている場合である。

以下のことが傾向としてわかった。

- ・ 視認行動は個人差が大きい
- ・ 頭出し位置（バンパーの先端が交差点から出る地点； -1.65m ）では、右方向を向いているパターンが多く、頭出し位置を過ぎると左折するまでに徐々に左を向き始める（75%）

4.3.2 視認行動と事故危険性との関係

視認行動の傾向より、以下の仮定を行った。

- ・ 被験者は、位置 -1.65m まで右建物端を見ている
- ・ $-1.65\text{m} \sim -0.5\text{m}$ で被験者は徐々に左方向を見る視認距離（図 8）と被験者位置の関係を求め、そこに視野角実験で求めた被験者の動体視野角度を適用して、視認不可域を交差点形状によるもの（斜線部分）と視認行動によるものに分けたのが図 9 である。被験者位置 -2.65m は、被験者から見た左右の建物の両端の角度

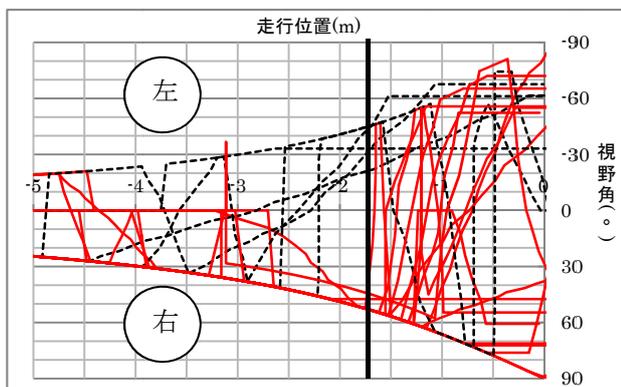


図 7 走行位置別—被験者視点の移り変わり（全 25 走行例）

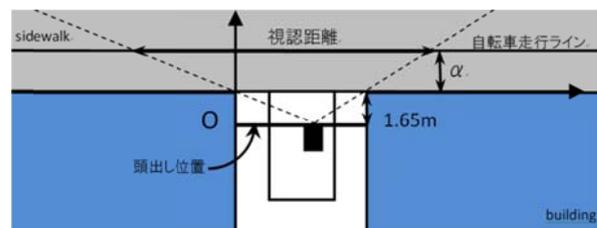


図 8 実験交差点における視認距離の考え方

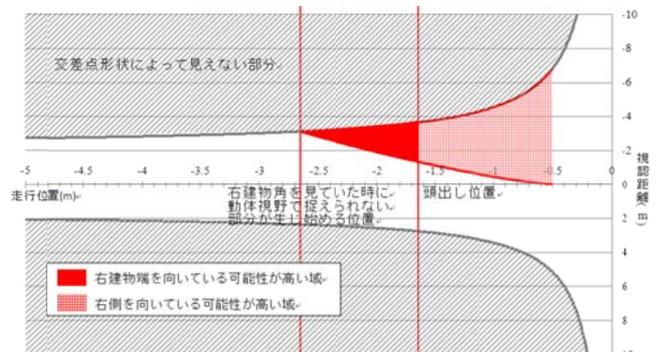


図 9 自動車側走行位置別視認距離と右側注視による視認不可範囲 ($\alpha=1.0\text{m}$)

が、測定した動体視野角と等しくなる地点で、これを過ぎると視認行動によって見える範囲が変わることになるが、図 9 より、視認行動によって自転車の存在を認識できない領域があることが示唆される。

5. おわりに

本研究では、細街路が幹線道路へと接続する交差点を DS 上に再現し、出会い頭事故再現における DS システムの適応性を検討した。

HMD の視野限界が問題となったが、人間の持つ動体視野を明らかにすることで対応した。また、自転車発生タイミングを検討することで事故走行の確率を高め、効率的に事故時のデータを得ることが可能となった。今回、一般的な視認行動を示すことはできなかったが、交差点付近でより右を見る傾向を見出すことができた。また、この視認行動の傾向から交差点形状とは別に視認行動による事故危険性の存在を確認することができた。

今後は、視認行動に一般性が言えるかどうかに加え、更なる DS の再現性向上を課題としたい。

参考文献

- 1) 松本幸司：自動車走行環境整備の現状と課題、土木計画学研究ワンデーセミナー、No.53、(社)土木学会・徳島大学、2009
- 2) 吉田ら：無信号交差点における自転車事故発生要因要素抽出のための走行挙動分析、土木計画学研究・講演集、Vol30、2007
- 3) 佐々木ら：自転車の走行挙動に着目した自転車事故防止対策に関する研究、第 27 回交通工学研究発表会論文報告集、2007
- 4) 三浦利章：行動と視覚的注意、風間書房(1996)
- 5) 伊佐治ら：ドライバの視覚情報としての動体視野の解析、自動車技術会学術講演会前刷集、No.10-05(2005)、pp.1-4