

交差点右折時の歩行者事故に関する研究

A Study on Pedestrian Accident at Right Turns in Intersections

北海道大学大学院工学研究科	○学生員	三木 克則	(KATSUNORI Miki)
北海道大学大学院工学研究科	正員	萩原 亨	(TORU Hagiwara)
秋田大学土木環境工学科	正員	浜岡 秀勝	(HIDEMASA Hamaoka)
北海道大学公共政策大学院	フェロー	加賀屋 誠一	(SEIITI Kagaya)
北海道大学大学院工学研究科	正員	内田 賢悦	(KENETSU Utida)

1. はじめに

図 1 に平成 8 年～12 年の交差点での横断歩道事故の状況¹⁾を示す。横断歩道別の事故件数を歩行者の進行方向別・昼夜別に示した。歩行者の進行方向は運転者から見た方向で示した。右折時の事故件数を見ると、夜間に右から左へ横断する歩行者と事故を起こす割合が高くなっている。

右から横断してくる歩行者は左から横断してくる歩行者より、車道に進入してから車両と衝突するまでの距離が長く、運転者が歩行者を回避する時間は十分にある。しかし、右折する場合、歩行者は運転者の手前から横断してくるため、運転者は歩行者に気がつきにくい。また、夜間は暗くなるため、昼間よりも歩行者を発見しにくい。このため右折時は、夜間に、右から横断してくる歩行者と車両との事故が増加していると考えられる。

右折時の歩行者事故に関する研究は数多く行われている。内田²⁾らは、交差点右折時の運転者の視線移動パターンを分析した。右折時の右折先横断歩道への注視行動は、他車両等の交通状況の影響を受けやすく、右折車両の手前側の横断歩道入り口付近は、ほとんど注視していないことを示した。萩田³⁾らは交通事故統計データを分析し、右折時には、車道幅員が大きくなるにつれ右から横断する歩行者との事故割合が高くなることを明らかにした。また、萩原⁴⁾らは夜間に実験場で車両を用いた停止実験を行い歩行者の見えやすさについて調査した。右折車両の手前側にいる歩行者は、他の位置の歩行者より見えにくく、特に歩行者の奥に停止車両が存在する場合、運転者はほとんど歩行者が見えていないことを明らかにした。

交差点を右折する際、ブレーキやハンドル操舵等の車両制御、信号や周囲への安全確認等、運転者には様々な動作が要求される。車両の手前側の歩行者を確認する場合、運転者は首を振り返らなければならない。このため、手前側の歩行者は見落とされ易いと考えられる。

右折時の歩行者事故の解明を行うにあたり、実際に事故を模擬することは難しい。また、事故の詳細データも入手しにくいため、事故原因の究明も簡単ではない。そこで本研究では、歩行者事故の可能性を客観的に分析するため実験を行い被験者の運転挙動データを用いて分析を試みた。

また、本実験では、歩行者確認のために行なう「首振り動作」を取り除き、運転者が歩行者確認を容易に行なえるように検討した。交差点内での一時停止位置を現

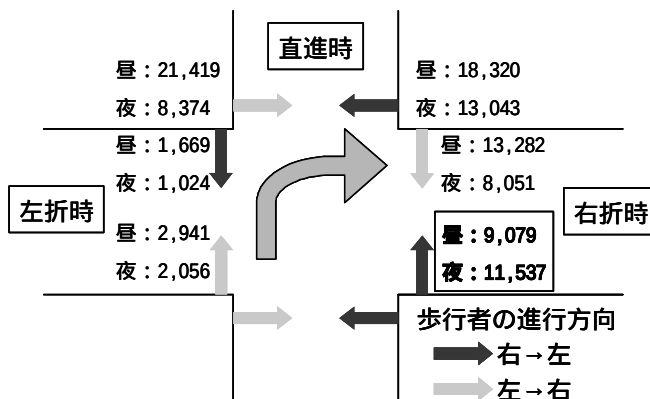
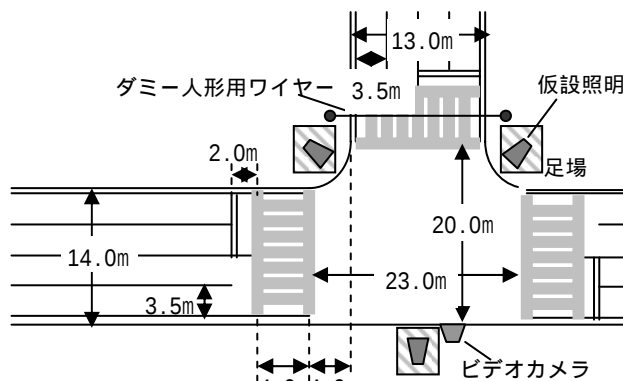
図 1 交差点の横断歩道上の歩行者事故状況¹⁾

图 2 交差点概要

状より後方にすることで歩行者と対向車両を同時に認識することが出来ると考えられる。

2. 実験方法

2.1 実験場と実験装置

実験は 2006 年 11 月に「独立行政法人 寒地土木研究所 苫小牧寒地試験道路」で行った。図 2 に交差点の概要図を示す。実験場内の周回路に T 字交差点を設置した。車道幅員が大きくなるにつれ右側から横断する歩行者との事故割合が高いことを踏まえ、車線幅員 3.5m の 4 車線交差点とした。また、交差点の図中に示す位置にビデオカメラを設置し右折状況を記録した。

2.2 被験者

実験を行なった被験者は学生 13 名であり、男性 8 名、女性 5 名である。昼間は 13 名の実験を行ったが、夜間は降雨等により 11 名の実験となった。実験数は昼間が 156、夜間が 131 となった。実験後に行ったアンケートでは 7 名の被験者がほぼ毎日運転していると回答した。

2.3 実験車両

実験に用いた車両は 8 台であり、被験者が乗る右折車両にはセダン型の普通乗用車を使用した。右折先の対向車線に信号待ちの停止車両としてミニバンを、交差点内に右折待機中の対向車両を停車させた。対向直進車両として 5 台の車両を走行させた。対向直進車両、対向右折待機車両はいずれも同型のコンパクトカーである。右折車両、対向直進車両の速度は最大 40km/hr とした。

2.4 右折タイミング

被験者が右折を行なうタイミングを対向車両の走行間隔により制御した。被験者に右折を行なわせる一区間だけを 10sec 間隔で走行し、他の車両は 4sec 間隔で走行した。前方車両と 10sec の間隔で走行する車両は 3 台目～5 台目のうち一台であり、先頭車両と 2 台目の間隔は常に 4sec とした。VTR の映像により 10sec 間隔の平均値を計測したところ昼で 9.9sec、10.2sec となった。

2.5 実験条件

2.5.1 一時停止位置

図 3 に交差点内での一時停止位置を示す。「交差点中央」は通常の停止位置で、5.0m 後方に「停止位置後方」を設けた。各停止位置には黄色のラインマーカーを引き被験者が迷わないようにした。停止位置は、実験スタート前無線で被験者に告げられた。停止位置を後方にするメリットとして以下のものが挙げられる。

- ・ 右折先の歩行者が運転席の真横に見えるため運転者の首振り動作が軽減される。
- ・ 対向右折待機車両との距離が長くなり対向直進車両が確認し易くなる
- ・ 夜間には対向右折待機車両のヘッドライトの眩しさが軽減される。

図 4 に各停止位置から見た正面と側面の図を示す。停止位置後方では横断歩道全体が見渡せることが分かる。正面の図では、停止位置中央の時に右折待機車両の陰になっていた直進車両が後方では確認することが出来る。

2.5.2 歩行速度

右折先の横断歩道に歩行者の代わりとなるダミー人形を歩行させた。ダミー人形は黒い服を着させ、横断歩道上約 2m にワイヤーを張り右折車両と同じ進行方向に動かした。歩行速度は電動リールで制御し、約 1.0、1.5m/sec の一定速度とした。

2.5.3 歩行タイミング

右折車両が横断歩道に進入した時の歩行者との位置関係により、歩行者が横断するタイミングを以下の 3 つに分けた。

- ・ 前通過・・・歩行者の前を車両が通過
- ・ 衝突・・・歩行者と車両が衝突
- ・ 後通過・・・歩行者の後を車両が通過

歩行タイミングは、あらかじめ計算により設定されたタイミングである。被験者が 10sec の対向車両間隔で右折を行い、ブレーキ等の歩行者回避行動を行なわなかった場合に当てはまるタイミングである。衝突と他のタイミングのギャップは何れも 6m とした。

2.6 実験計画

実験条件全てを組み合わせた 12 通りに歩行者が存在しない場合 2 通りを加え、一人 14 回の実験をランダム

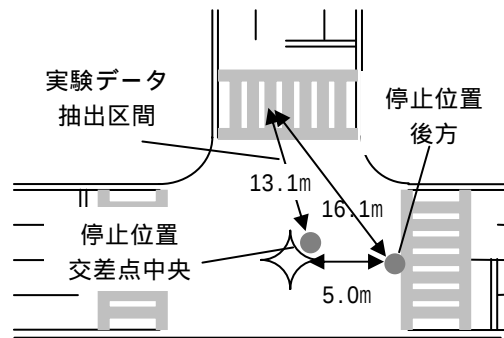


図 3 一時停止位置



図 4 右折車から見た右折先の見通し
(左：停止位置中央、右：停止位置後方)

で昼夜行なった。14 回の実験を連続で行い所要時間は 1 時間程度であった。

2.7 計測

運転挙動データを計測するため、右折車両には GPS システム、加速度計、記録用コンピュータ等を搭載した。加速度、ブレーキ操作等の走行データは 1/20 秒刻み、右折車両の位置座標は 1 秒刻みで記録した。また、ナック社製のアイマークレコーダを用い、右折中の被験者の視線移動データを収集した。右折車両と歩行者との位置関係を記録するため、交差点に設置したビデオカメラと既設のウェブカメラにより右折中の映像を撮影した。なお、実験データは図 3 に示す交差点での一時停止後から横断歩道通過までを抽出区間として分析に用いた。

2.8 被験者評価

毎回右折終了時に被験者は右折に関する 5 段階の評価を行った。其々の項目に対し、1.そう思わない～5.そう思うで評価した。評価項目は以下の 8 項目である。質問はプラスの評価を問うように作成した。

- 一時停止中右折対向車は気にならなかった
- 一時停止中直進対向車は気にならなかった
- 一時停止中直進対向車は見やすかった
- 一時停止中歩行者は確認しやすかった
- 右折開始の判断を迷わなかった
- 右折中直進対向車は気にならなかった
- 右折中歩行者は確認しやすかった
- 右折はしやすかった

2.9 実験手順

被験者はアイカメラを装着し右折車両に乗り、交差点後方約 200m で待機した。対向直進車両の先頭車両は交差点後方約 250m で待機し、2 台目以降の対向車両は前方と 1sec 間隔の距離 (40km/hr で 11.1m) で待機させた。実験者のスタートの合図と共に右折車両と先頭の対向車両は同時に交差点に向かった。2 台目以降の対向車両はスタートの合図でストップウォッチを起動し決められた時間間隔で各自スタートした。各車両発進後、右折先横断歩道のダミー人形を右折車両と同じ進行方向で横断させた。交差点に進入した右折車両は指定された一時停止位置で右折待機を行なう。安全に配慮し、先頭車両は必ず見過ごすこととした。先頭車両が交差点を通り過ぎた後、被験者は右折できると判断したタイミングで右折を行なう。右折後に進入するレーンは右レーンとした。右折終了後、被験者は右折方法に関する評価を行った。各車両と車外のやり取りに無線機を用いた。

3. 分析方法

3.1 停止限界速度との速度ギャップ評価

交差点での一時停止後、被験者がブレーキを踏んだ地点から横断歩道までの距離を制動距離として停止限界速度を計算した。すなわち、停止限界速度とは横断歩道までに止まることができる限界の速度である。停止限界速度とブレーキを踏んだ地点の車両速度とのギャップを計算し、速度ギャップとして評価する。速度ギャップが小さいほど横断歩道までに止まる余裕が無く危険であると判断出来る。最大減速度を 0.3g と仮定して計算した。

$$v_{\max i} = 3.6\sqrt{2 \times 0.3g \times d_i} \quad \cdots(1)$$

$$V_{gap i} = v_{\max i} - v_{bi} \quad \cdots(2)$$

g : 重力加速度[m/sec²]

d_i : 横断歩道までの距離[m]

i : 実験 No

$v_{\max i}$: 停止限界速度[km/hr]

v_{bi} : ブレーキを踏んだ地点の速度[km/hr]

V_{gapi} : 速度ギャップ[km/hr]

3.2 ブレーキ操作までの有余時間評価

制動距離にブレーキを制御するまでの空走距離を加え、ブレーキを踏む反応時間を除いたものを有余時間とした。つまり、有余時間とは横断歩道で停止するためにブレーキを操作するまでの時間である。有余時間が小さいほどブレーキ制御までの余裕がなく、マイナスの値になると歩行者を危険と感じブレーキを制御したとしても横断歩道までに回避出来ない。被験者の視線が歩行者に移った時の車両速度、横断歩道までの距離を用い有余時間を計算する。

$$t_{rest i} = \frac{d_{ei}}{v_{ei}} - \frac{v_{ei}}{2 \times 0.3g} - t_{react} \quad \cdots(3)$$

d_{ei} : 横断歩道までの距離[m]

v_{ei} : 歩行者に視線が移った地点の速度[m/sec]

t_{react} : 反応時間[sec]

$t_{rest i}$: 有余時間[sec]

3.3 危険度エリア評価

右折車両の周辺に図 5 に示す危険度エリアを設定する。例えば、右折車両から半径 1.5m 以内を危険度高、半径

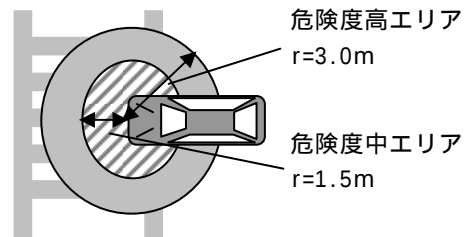


図 5 横断歩道進入時の危険度エリア

表 1 被験者評価

		質問 1	質問 2	質問 3	質問 4
昼	中央	3.63	3.25	3.67	4.12
	後方	3.67	3.05	3.63	4.26
夜	中央	3.25	3.49	3.44	3.07
	後方	3.62	3.45	3.20	3.05

		質問 5	質問 6	質問 7	質問 8
昼	中央	4.16	3.42	4.09	3.79
	後方	3.89	3.33	4.12	3.78
夜	中央	3.88	3.31	3.19	3.57
	後方	4.02	3.13	3.30	3.43

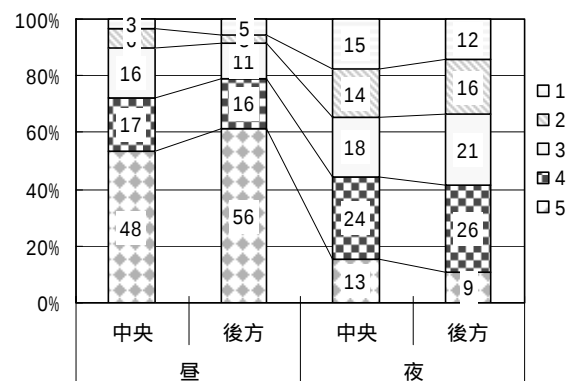


図 6 質問 4 に関する被験者評価

3m 以内を危険度中、それ以上を危険度低と定義する。歩行者と右折車両が最も接近した時のエリアを用い危険度を評価する。危険度エリアの判定は、交差点内に設置したビデオカメラ映像により右折車両が横断歩道に進入した時点での歩行者の位置を特定して行う。

4. 実験結果

4.1 被験者評価

表 1 に被験者評価の集計結果を示す。アンケートは昼夜、一時停止位置別に平均で表した。評価値が大きいほど各質問項目に対し良い評価となっている。分散分析の結果、質問 2・3・4・7・8 が昼夜で有意となったが、停止位置で有意となった項目は無かった。質問 4・7 は歩行者の見易さを問う項目であるが、昼に比べ夜のほうがかなり低い値となった。図 6 に質問 4「一時停止中歩行者は確認し易かったか」の被験者評価を示す。昼と比較し夜は、1・2 と回答する被験者が増加し、5 の確認し易いと答える被験者の数が減った。これにより、被験者は夜になると歩行者は確認しにくいと感じていたことが分かる。

4.2 速度ギャップ評価

図 7 に速度ギャップの平均値を昼夜、一時停止位置、歩行タイミング別に示す。分析には被験者が対象区間でブレーキを踏んだものだけを用い、被験者が一時停止位置で歩行者を見過ごしたものは省いた。速度ギャップは衝突の危険性が無い歩行者のいない場合と後を通過出来る場合を除いて表した。データ数は昼が 156 実験中 47、夜が 132 実験中 37 となった。歩行者の前を車両が通過出来るタイミングでは、昼夜とも交差点中央で一時停止したほうが速度ギャップは小さくなった。反対に、歩行者と衝突するタイミングでは、交差点後方で一時停止が速度ギャップは小さくなった。表 2 に速度ギャップの分散分析表を示す。主効果ではどの要因も有意とならなかったが、交互作用では一時停止位置×歩行者タイミングで有意となり、表 2 の結果を裏付ける結果となった。

5. まとめ

本研究では、右折時における歩行者の見落としを避けるために、交差点中での一時停止位置について検討した。今回行った速度ギャップによる分析では、歩行者のタイミングと一時停止位置に密接な関係があることが分かった。衝突するタイミングの歩行者は交差点中央のほうが速度ギャップは大きくなったが、歩行者の前を右折車両が通過出来るタイミングでは交差点後方のほうが速度ギャップは大きくなった。前者のタイミングでは、後者のタイミングより歩行者の位置は手前側に遠のく。このため、運転者の視界に歩行者が入るのが遅れ、それに伴い運転者のブレーキ操作や速度制御も遅れて速度ギャップが大きくなったと考えられる。

本研究で用いた有余時間による分析は、運転者が歩行者への安全確認を行った後、事故の危険性を感じ回避行動を取るまでに残された時間で危険性を評価しようとするものである。速度ギャップによる分析は、運転者が実際に危険性を認識し回避行動を起こした時の車両挙動により事故回避の余裕性を評価しようとするものである。さらに、危険度エリアによる分析は、危険性の察知や回避行動の有無に関わらず、横断歩道に侵入した時点での危険性を評価出来る分析方法である。これら 3 つの分析方法は、データの測定地点や走行状況が異なり、また運転者の判断の誤り等を運転挙動により分析できる方法である。しかし、有余時間と速度ギャップによる分析は、運転者が行動を起こした場合にしかデータが収集できないという欠点がある。

運転者が歩行者を回避するために要求される行動は、歩行者の確認、危険性の判定、適切な回避行動の選択、そして回避行動の実施である。これらの行動の何れかが欠けると事故の危険性は高まると考えられる。今回の分析法ではこれらの要素を考慮した。有余時間による分析は、歩行者の回避行動を選択するまでに確認行動と危険性の判定が適切に行われたかを、速度ギャップによる評価は、回避行動をとるタイミングが適切であるかを評価する。そして、危険度エリアによる分析は、回避行動を含む右折行動が的確に行われたかを最終的に判断する指標となる。また、危険度エリアによる分析は、運転者が回避行動を行わなかった場合にも適用することが出来る。右折事故には様々な要因が複雑に絡むため一括りに分析することは難しい。そこで今回、様々な角度から分析を行うことを検討した。

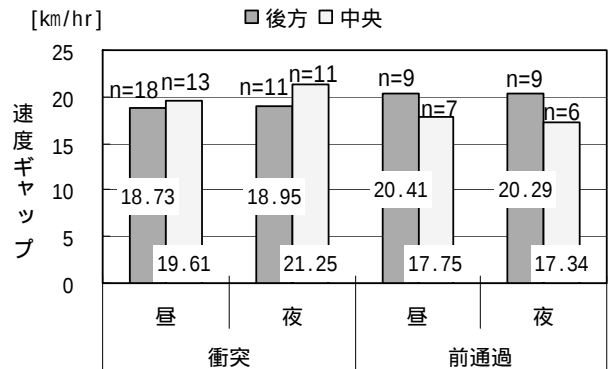


図 7 速度ギャップ

表 2 速度ギャップ分散分析表

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
昼夜	2.10	1	2.10	0.11	0.74
停止位置	6.95	1	6.95	0.37	0.55
タイミング	8.98	1	8.98	0.47	0.49
昼夜 * 停止位置	1.51	1	1.51	0.08	0.78
昼夜 * タイミング	6.74	1	6.74	0.35	0.55
停止位置 * タイミング	91.09	1	91.09	4.78	0.03
昼夜 * 停止位置 * タイミング	3.42	1	3.42	0.18	0.67

速度ギャップによる分析の結果、右折車両の一時停止位置と歩行者の位置関係に歩行者の見落としが絡んでいることが明らかになった。残る 2 つの分析も含め、歩行タイミングと一時停止位置について検討していきたい。

今後、残りの分析を行い歩行者タイミング等の検討を行う。また、各々の分析結果を比較し、全ての評価を統合した交差点右折時の歩行者事故に関する指標作りを行いたい。

6. 謝辞

最後になりますが、実験の実施において（独）土木研究所・寒地土木研究所・寒地交通チームの浅野基樹氏と平澤匡介氏に多大なご協力をいただきました。また、寒くて暗い中での実験において北海道大学と秋田大学の学生の皆様の甚大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 「土木研究所資料 第 3714 号」2000 年 3 月
- 2) 内田信行ほか：交差点右折時における運転者の視線移動パターン「自動車研究 第 24 巻 第 9 号」2002 年 9 月
- 3) 萩田賢司ほか：運転者の視線を考慮した歩行者事故の分析、「土木計画学研究・論文集 Vol.21 no.4」2004 年 9 月
- 4) Hagiwara, T., Miki, K., Muraleetharan, T., An Experimental Study on Right-turning Driver Comprehension in Detecting Pedestrians during Nighttime. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1951, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2006