

交差点における横断歩行者の右左折車両認知挙動計測に関する研究

A Study on Methods for Pedestrian Behavior to Recognize Right and Left Turning Vehicle at the intersection

北海道大学大学院工学院 ○学生員 野坂泰宏 (Yasuhiro Nosaka)
北海道大学工学研究院 フェロー 萩原亨 (Toru Hagiwara)

1. はじめに

警察庁による交通事故死者数の推移¹⁾を見てみると、平成24年の全国における交通事故による死者数は4,412人となり、平成12年から12年連続で減少している。しかし、交通事故による負傷者数を見てみると、いまだに、年間80万人以上が被害を受けている。このことから交通事故発生状況はまだまだ厳しい現状がある。

また、その中でも歩行中や自転車乗車中などの事故死者数をあらわす状態別死者数は平成20年以降、歩行者の事故死者数が最多となっている。またそれと同時に、その他の状態別死者数は大幅に減少しているにも関わらず、歩行者の死者数のみがここ最近ほとんど減少していない。また、道路形状別の交通事故件数をみると、交差点及び交差点付近での事故件数が5割以上を占めている。このようなことから、交差点及び交差点付近における歩行者に対する有効な安全対策が求められてきた。これまでドライバーの運転行動に関する研究は多く行われてきたが、横断歩行者の歩行挙動に焦点を当てた研究は少ない。ドライバーの運転行動の既存研究として、萩田らは、交差点走行時における運転者の視線が横断歩行者事故に与える影響を分析した²⁾。この研究によると、「歩行者事故のほとんどがドライバーの発見遅れである」という結果が示されている。ドライバーの意識が変わらない限り、歩行者が自分自身の身を守らないと事故は減らないと考えられる。そのため、歩行者の歩行挙動に焦点を当てる必要があると考えた。歩行者の歩行挙動の既存研究として、浜岡らが挙げられる。浜岡らは、様々な条件のもと、横断歩道横断時の右左折車確認行動の首振り挙動から、どこでどのように首を振り安全確認をすればよいかを捉えることを目的に分析した³⁾。この研究によると、「横断歩道進入前、横断歩道中央で車両接近の歩行者の安全確認行動を促し、車両を認知させることによって、歩行者がきちんと回避行動を取れる」という結果が示されている。しかし、この研究において、平均首振り回数や平均首振り角度を求めているが、車両の位置を求めている。そのため、歩行者がその首振りにより車両を認知できているかわからないと思われる。

そこで本研究では、首振り時の歩行者の位置と車両の位置と有効視野を同時に考慮することで、歩行者が車両を認知できる範囲を示すことを目的とする。

2. 実験内容

2.1. 実験概要

本研究では試験路内に設置した模擬交差点で実車両を用いた交差点横断実験を行った。実験は平成24年8月

19日～8月23日と9月29日～10月4日の計11日間にかけて、(独)寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路にて行った。本実験では、高齢者は65歳以上を対象とし、若年者は65歳未満を対象とした。図-1に歩行開始位置、車両の動きを示す。車両の動きは、右直車①と右直車②は直進か右折を行い、左直車は直進か左折を行い、直進車は直進のみを行う。本実験では歩行速度の確認とテスト歩行を含めて1人あたり12～13回の試行が行われた。被験者には1回の試行ごとにRとLの2か所のうちのどちらかから横断歩道を渡ってもらう。その際、被験者により歩行速度が異なることを考慮し、被験者を右左折車両と交錯地点で衝突させるタイミングにするためにRとLそれぞれに歩行開始位置を3箇所用意した。また試行によっては警告音を鳴らしたり、携帯電話を操作させたまま横断してもらった。この警告音は被験者と衝突する右左折車両が接近していることを知らせるものである。警告音を鳴らす位置は、歩行開始位置R側、L側ともに3mごとに5地点を設定した。また、被験者の耳には警告音と電話番号のアナウンスが流れるようヘッドセットをつけた。被験者には、試行によってはヘッドセットから流れる電話番号を聞いて電話番号を打ち込む作業をしてもらうために携帯電話を持ってもらった。実際の道路において、歩行者がまわりを走っている車両に注意を払うような場合、事故は起こらない。そこで本実験では、このようなタスクをかけることで被験者が車両に注意を払いにくい環境を作り上げた。また、これらの警告音や電話番号のアナウンスを流すために被験者の後ろを実験スタッフが歩いた。

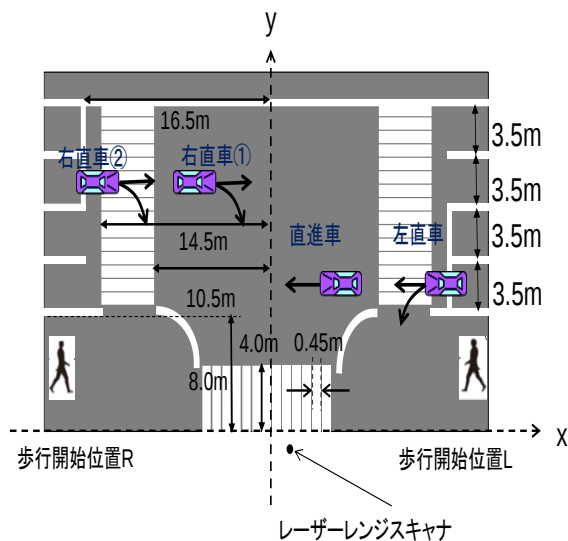


図-1 実験に用いた交差点

2.2. 実験使用機器

歩行者や車両の移動軌跡、首振り角度などのデータを得るために様々な機器を使用した。歩行者や車両などの移動軌跡のデータを記録するレーザーレンジスキャナや WAA-010 モデルのハイブリッドセンサから得られた x 軸、y 軸、z 軸それぞれの角速度と加速度のデータを記録する PDA、歩行者の視野映像を記録する小型カメラ、車両の速度や位置情報などを記録する(株)バイオシステムの RTK GVS などである。本実験では、レーザーレンジスキャナを図-1 の場所に設置し、被験者には図-2 のように小型カメラとハイブリッドセンサが取り付けられた帽子をかぶってもらい、PDA が入ったリュックを装着してもらった。

3. 右左折車両認知挙動計測方法

3.1. レーザーレンジスキャナから得られる歩行軌跡

歩行者が車両を認知できる範囲を示すために、本研究では、歩行者が首振り挙動を用いてどのような状況でどのように右左折車両を認知しているのかを計測した。そのため、本実験から歩行軌跡と首振り挙動を求めることにした。レーザーレンジスキャナは、ある範囲に存在する物体をレーザー光の伝搬時間により距離と角度を測定するものである。本研究では、実験から得られたレーザーレンジスキャナのデータを用いて、歩行者の歩行軌跡を取得しようとした。また、歩行軌跡を x 座標と y 座標としてあらわすために原点を横断歩道の中央部分に設定した。それを図-1 に示す。x 座標、y 座標は矢印の向っている方向を正とする。レーザーレンジスキャナは先述したようにある範囲に存在する車両や歩行者などの物体をすべて測定するため、そこから歩行者の移動軌跡のみのデータを抽出する必要がある。そこで、まず車両の移動軌跡を取り除くためにデータの取り出す範囲を歩道と横断歩道にしぼった。そして次に、本実験において、被験者の後ろに警告音などを鳴らす実験スタッフも歩くため、この実験スタッフの移動軌跡を取り除こうとした。そこで、歩行開始位置が R のときは x 座標の最大値、歩行開始位置が L のときは x 座標の最小値のデータを取り出すことで、被験者のみのデータが得られると考えた。しかし、このようにすると横断歩道部分において、右左折車両の移動軌跡も入ってきてしまうため、うまく歩行者の移動軌跡のみが取得できなかった。その改善策として考えたものが、歩行者の先頭の 1 点を先ほどの方法で割り出し、そこから 0.1 秒ごと 500mm 以内にある

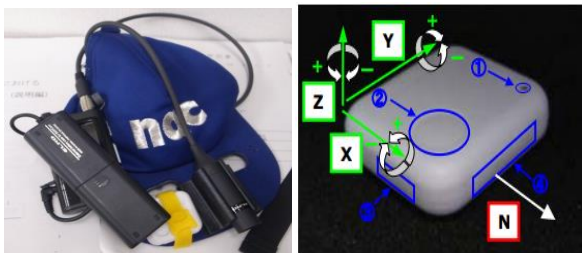


図-2 被験者の帽子に取り付けられた小型カメラとハイブリッドセンサ

点を順にたどることである。その方法で出した歩行軌跡をあらわしたものが図-3 となる。これにより歩行者の軌跡のみを取得することができた。その横軸を時間(秒)、縦軸を x、y それぞれの座標値(m)とした時間距離図であらわしたものが図-4 となる。

3.2. ハイブリッドセンサから得られる首振り角度

本実験において、首振り角度を得るために被験者のかぶっている帽子につけられたハイブリッドセンサを用いた。ハイブリッドセンサからは 0.02 秒ごとの x、y、z 軸それぞれの加速度と角速度のデータが得られる。この中でも、被験者の首振り角度を明らかにするため z 軸の角速度を用いた。このハイブリッドセンサから得られたデータから歩行者の首振り角度を求める。首振り角度は角速度から求められる。進行方向に対して左を向いた場合、角速度の値が負から正になったある時間から正から負になったある時間までの正の部分の面積を求める。それに対して、進行方向の右を向いた場合、角速度の値が正から負になったある時間から負から正になったある時間までの負の部分の面積を求める。しかし、角速度の単位は $0.1(\text{deg/sec})$ となっており、角速度は 0.02 秒ごとの値が記録されているため、面積の値を 500 で割った値が角度をあらわしている。これを利用することで、歩行者の首振り挙動を計測することが可能になると考えた。

3.3. 歩行軌跡と首振り角度の時刻同期

歩行者が車両を認知できる範囲を示すために、レーザーレンジスキャナから得られた歩行軌跡の時刻とハイブリッドセンサから得られた首振り角度の時刻と車両の速

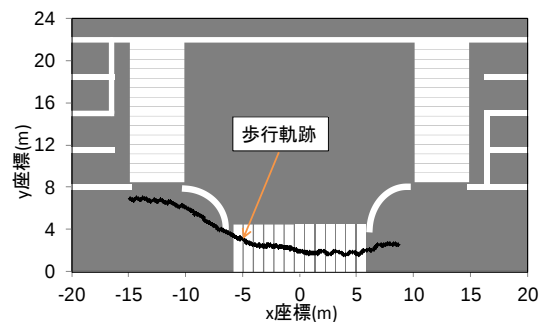


図-3 歩行軌跡

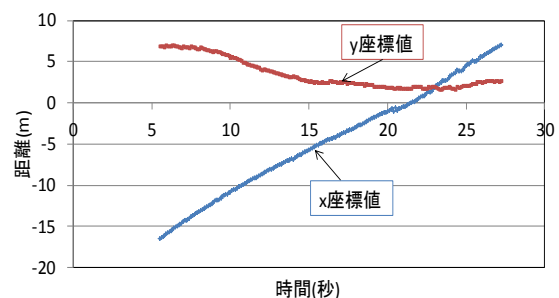


図-4 時間距離図

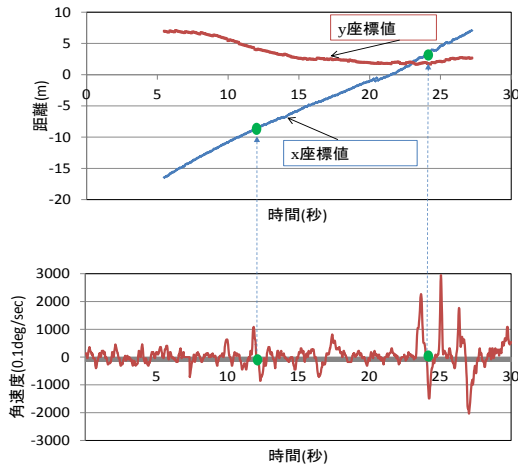
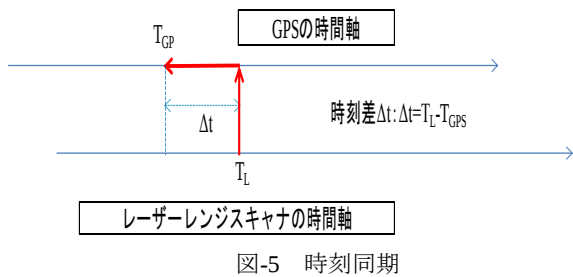


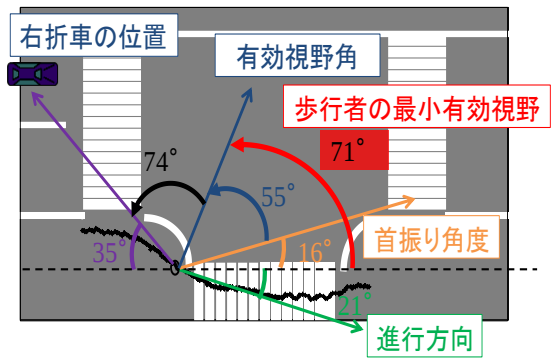
図-6 歩行者の首振りを行った x, y 座標の位置

度や位置情報などを記録する(株)バイオシステムの RTK GVS の時刻を同期させる必要がある。そのため、この3つの機器の時間軸を合わせなければならない。ただし、(株)バイオシステムの RTK GVS とハイブリッドセンサの時刻は GPS 時刻のデータを用いており、これら2つの機器に時刻のずれはない。レーザーレンジスキャナの時刻はパソコンの時刻を用いているため2つの機器とは異なる時間軸をもつ。これらの時刻を正確に合わせるために、レーザーレンジスキャナの時刻をこれら2つの時刻に合わせることで時刻同期を行った。それを示したものが図-5 となっており、時刻同期を行ったレーザーレンジスキャナと pda から得られたものから歩行者がどこで首を振ったのかを表したものが図-6 になる。

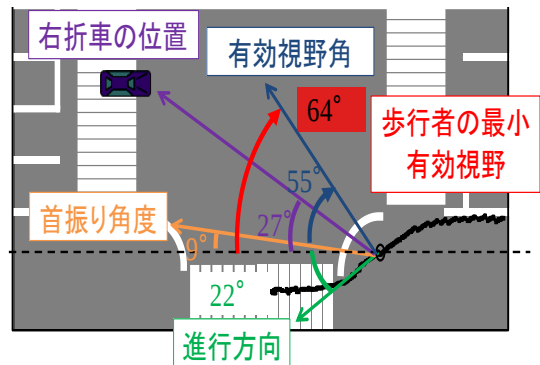
3.4. 結果

この計測方法を用いて、歩行者が首を振ったときに認知できる範囲を求める。首振り時に、どこに車両があるかをみるために(株)バイオシステムの RTK GVS から車両の移動軌跡を求めた。また、歩行者が首を振ったときに車両を認知するためには、歩行者の体の向きと視野角について考える必要がある。歩行時の体の向きはレーザーレンジスキャナを用いて明らかにしている。その方法としては、レーザーレンジスキャナにより歩行者の首を振った時の位置とその1秒後の位置を求め、その2点とx軸と平行の線とのなす角である。次に視野角についてです。歩行時の有効視野角は扇形で約 110~160 度とされている⁴⁾。有効視野は、課題難易度や注意要件が増すと縮小すると言われている⁵⁾。今回、数台の車両が走

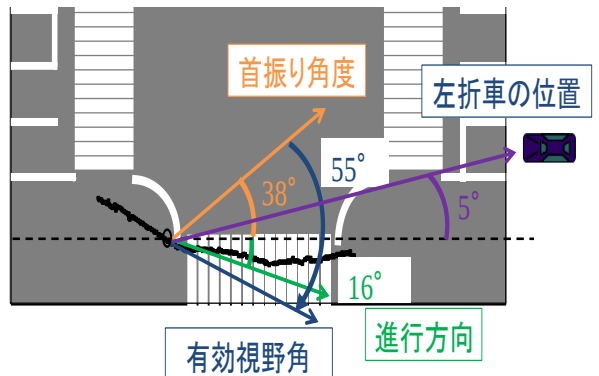
(a)高齢者(歩行者の背後から車両が来る試行)



(b)高齢者(歩行者の正面から車両が来る試行)



(c)若年者(歩行者の正面から車両が来る試行)



(d)高齢者(歩行者の背後から車両が来る試行)

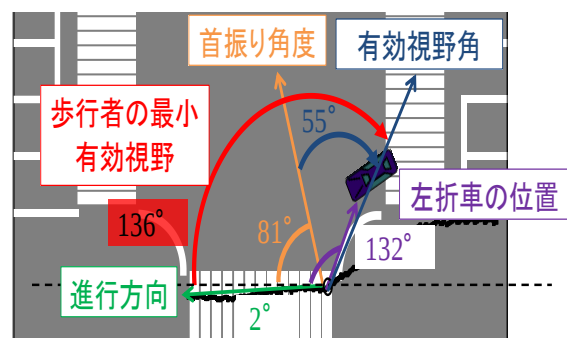


図-7 歩行者の首振り時の有効視野

っており、注意要件が増すと思われることから、最小有効視野角は 110 度を用いて、歩行者が車両を有効視野内にとらえているかを推定する。これらをふまえた上で、昼間の若年者の 1 試行と夜間の高齢者の 3 試行についてみていく。

図-7 の(a)の試行は、歩行開始位置が R で、車両が背後から来る試行である。歩行者が横断歩道手前で 37 度首を振った時に車両認知しているかを検証する。この 37 度という角度は x 軸と平行の軸(x 方向軸)とのなす角を表しており、今後表示する角度はすべて x 軸と平行の軸とのなす角を表している。歩行者は、体の向きが 21 度でそのとき 37 度首を振っているため、この首振りによる x 方向軸とのなす角は 16 度である。最小有効視野角は 110 度の半分の 55 度なので、歩行者は 71 度の部分まで首振りによって認知できるだろう。歩行者が首を振った時、車両と歩行者の角度が 135 度となっている。そのため、74 度角度が足りないため、歩行者は右折車両を首振りによって認知できていないと考えられる。次に (b)の試行は、歩行開始位置が L で、車両が正面から来る試行である。歩行者が横断歩道手前で 31 度首を振った時に車両認知しているかを推測する。歩行者は体の向きが 22 度で、そのとき 31 度首を振っているため、この首振りによる x 方向軸とのなす角は 9 度である。これに最小有効視野角をあわせると、歩行者は 64 度の部分まで首振りによって認知できるだろう。この時の右折車の位置は 27 度の場所にある。したがって、歩行者は右折車両を首振りによって、認知できると考えられる。(c)の試行は、歩行開始位置が R で、車両が正面から来る試行である。歩行者が横断歩道手前で 54 度首を振った時に車両認知しているかを検証する。歩行者は体の向きが 16 度で、そのとき 54 度首を振っているため、この首振りによる x 方向軸とのなす角は 38 度である。この時の左折車の位置は 5 度の場所にある。したがって、歩行者は左折車両を首振りによって認知できると考えられる。(d)の試行は、歩行開始位置が L で、車両が背後から来る試行である。歩行者が横断歩道進入直後で 83 度首を振った時に車両認知しているかを検証する。歩行者は体の向きが 2 度で、そのとき 83 度首を振っているため、この首振りによる x 方向軸とのなす角は 81 度である。これに最小有効視野角をあわせると、歩行者は 136 度の部分まで首振りによって認知できるだろう。この時の左折車の位置は 132 度の場所にある。したがって、歩行者は右折車両を首振りによって認知できると考えられる。

このように、この計測方法と車両の位置を明らかにすることで、歩行者が車両を認知できる範囲を示すことができるようになったと考えられる。

4.まとめ

レーザーレンジスキャナは本来、インフラ整備や建設の測量等で用いられているが、本研究では道路上に設置したレーザーレンジスキャナを用いることで、自動で歩行軌跡を取得することができた。また、ビデオの場合暗所での計測が難しいが、レーザーレンジスキャナは明るさに関係なく歩行軌跡を計測することが可能である。被

験者のかぶる帽子に装着したハイブリッドセンサを用いることで、どの程度首を振ったのかを明らかにすることができた。これにより、横断歩行者の歩行軌跡と首振り位置及び首振り挙動を計測することが可能になった。また、それに合わせて首振り時の車両の位置や有効視野を考慮することで、横断歩行者が首振りによる認知できる範囲を求めることができたと考えられる。今後は、被験者の視線方向も考慮することでより正確に車両を認知しているかがわかるようになると考えられる。また、本研究において、昼夜や年齢など様々な条件のもと実験を行っているため、これらの条件と認知できる範囲との関係を検証することで、条件ごとの歩行者の歩行挙動を明らかにすることができ、歩行者に支援する方法を提案できると考えている。

<参考文献>

- 1) 警察庁交通局：「平成 23 年中の交通事故の発生状況」、平成 24 年 2 月、「平成 23 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について」、平成 24 年 1 月
- 2) 萩田賢司、森健二：運転者の視線を考慮した交差点における歩行者事故の分析、土木計画学研究・研究集、2003 年 6 月
- 3) 浜岡秀勝、萩原亨、蓮花一巳、多田昌裕、宗広一徳、武本 東：交差点を横断する歩行者の安全支援に関する研究、タカタ財団助成研究論文集、2012 年 8 月
- 4) 稲木達哉、富井規雄：駅ホーム上のマルチエージェントによる乗降時間の推定、電気学会交通・電気鉄道研究会資料、2011 年 11 月
- 5) 石松一真、三浦利章：有効視野における加齢の影響；交通安全性を中心として、大阪大学大学院人間科学研究科紀要、2002 年 3 月