

有効視野を考慮した横断歩行者の右折車 認知挙動に関する研究

野坂 泰宏¹・萩原 亨²・浜岡 秀勝³・多田 昌裕⁴・宗広 一徳⁵

¹学生員 北海道大学大学院工学院北方圏環境政策工学専攻（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
E-mail: :lions@ec.hokudai.ac.jp

²フェロー 北海道大学大学院工学研究院教授（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
E-mail:hanako@jsce.co.jp

³ 秋田大学工学資源学部教授（〒010-8502 秋田市手形学園町1-1）
E-mail: hamaoka@ce.akita-u.ac.jp

⁴ 近畿大学理工学部情報学科准教授（〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1）
E-mail: tada@info.kindai.ac.jp

⁵ (独)土木研究所 寒地土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号）
E-mail: k-munehiro@ceri.go.jp

本研究では、テストトラックに設置した模擬交差点で、実車両を用い、横断歩行者の右折車認知挙動を明らかにすることを試みた。横断時の事故多い、右折車両と同じ方向に横断する歩行者を対象とした。横断歩行者の歩行軌跡と首振り位置を首振り挙動をレーザ式測域センサと小型のハイブリッドセンサーで計測し、左奥から接近し横断歩道で交差する右折車を認知する挙動を分析した。このとき、首振り角度に加え、目線の動きと歩行時の有効視野を考慮した。計測結果から、横断歩行者は首振り目線を動かし、有効視野を使って右折車を認知していることが分かった。

Key Words : *Pedestrian behavior, Right-turning vehicle Detection behavior, Intersection*

1. はじめに

警察庁発表による平成25年の全国における交通事故による死者数は4,373人であった(1)。平成12年から13年連続で減少している。歩行中の死者数は、1,584名であった。平成20年以降、状態別死者数として、歩行者の事故死者数が最多となっている。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割以上を占めていた。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、求められている。

これまで交差点における横断歩行者事故対策とし、ドライバ行動に関する研究が多く行われてきた。しかし、横断歩行者の歩行挙動に焦点を当てた研究は少ない。萩原らは、交差点走行時におけるドライバ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の発見遅れである」という結果が示されている。田畑らは、市街地信号交差点での横断歩行者および横断自転車について分析を行っている(3,4)。歩行者および自転車の横断方向と被害の度合いの関連を調べた。歩行者事故では、右折車の左

から横断してくる時に被害が大きくなり、自転車事故では、右折車の右から横断してくる時に被害が大きくなる傾向を指摘した。また、夜間および雨天といった交通視環境が悪化する場合、右折車の右から横断してくる歩行者/自転車との事故が多くなることを指摘した。平松らは、右折時の夜間における歩行者事故の特徴に着目し、事故の発生シナリオについて検討した(5)。夜間において運転者は右から横断してくる歩行者の存在に全く気づいていない課題を指摘した。これらの研究結果から、右折車のドライバからみて、右から横断してくる横断歩行者を見落とす可能性が他の運転条件より高く、歩行者が、自分自身の身を守らないと事故に遭遇する可能性があると考えられる。

一方、歩行者の歩行挙動の既存研究として、浜岡らは、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(6)。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

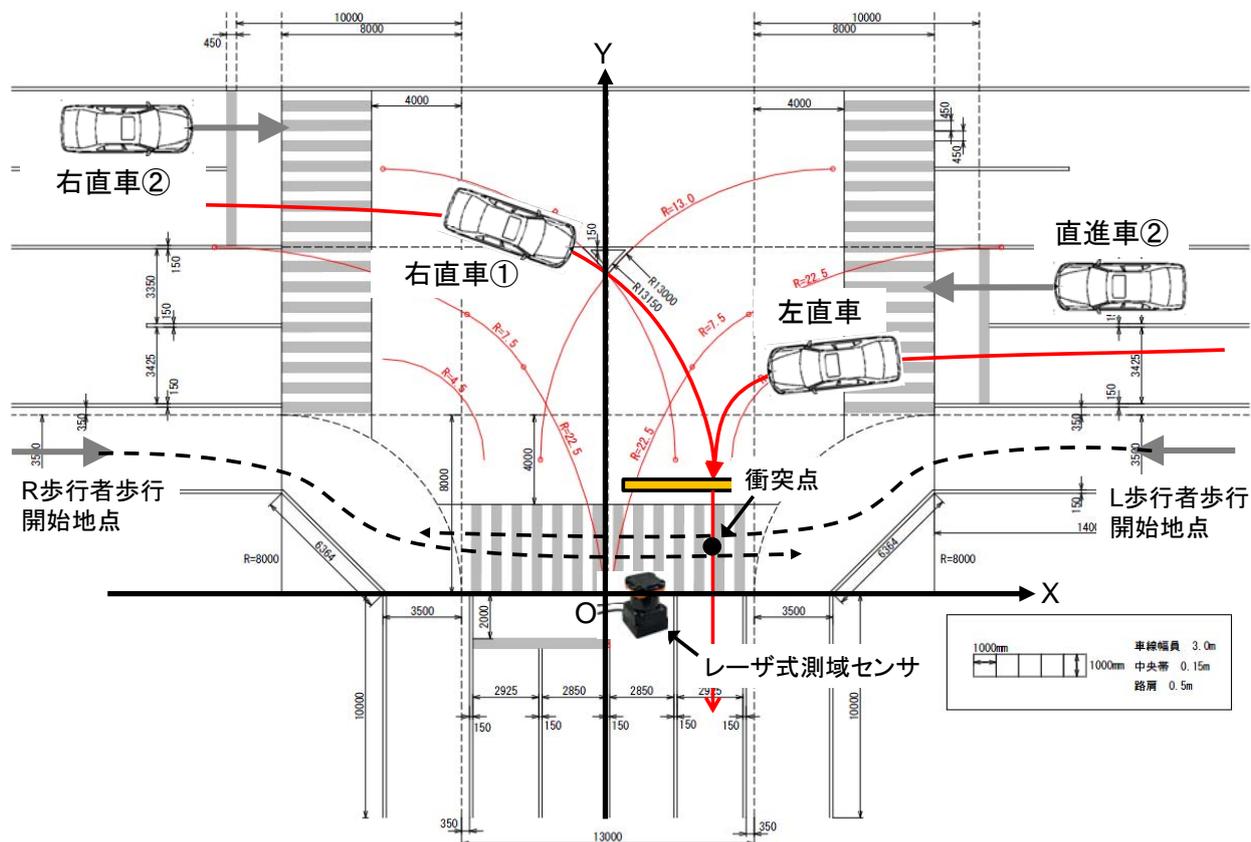


図-1 テストトラックに設置した模擬交差点

や平均首振り角度を求めているが、横断歩行者による車両の認知行動は詳細に示されていない。そこで、本研究では、右折車と同じ方向に進行し、信号交差点横断する歩行者による右折車認知挙動に着目し、車両を横断歩行者がどのように認知するかを明らかにすることを試みた。

2. 実験方法

(1) 模擬交差点と実験参加者

本研究ではテストトラック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。交差点構造は、道路構造令の4種2級とした。図-1は、実験で作成した模擬交差点を示している。図中の右から交差点に進行する右直車①と右直車②は直進か右折を行う。左からの左直車は直進か左折を行い、直進車は直進のみを行う。横断歩行者との衝突点を一定とするため、右折車は右折後に路肩側の車線に進入するものとした。また、対向車のギャップを見て右折する状況を模擬するため、2台の対向車を走らせた。加えて、右直車のどちらが右折するかは、歩行者から分からないようにした。実験参加者は、63名である。高齢者(65歳以上)は30名(男性23名、女性7名)、若年者(65歳未満)は33名(男性14名、女性19名)であった。

(2) 歩行者挙動と車両挙動の計測

歩行者の歩行位置計測に、レーザ式測域センサ(北陽電機:UTM-30LX)を用いた。実験条件に夜間があることから、GPSでは歩行者の動きを正確に計測できないことから、センサを用いることにした。レーザ式測域センサの計測範囲が30mであることから、図-1に示す様に交差点の中央付近に設置した。

後方から接近する右折車を確認するため、歩行者は首振りを行う。ATR-PROMOTION社製の小型無線ハイブリッドセンサ(WAA-010, 39m×44mm×12mm, 20g)を帽子に装着し、歩行中の頭部の左右の動き(首振り角度)を計測した(図-2)。WAA-010は、3軸加速度センサ・3軸ジャイロセンサを搭載している。人体の動作を測定するために開発されたセンサであり、Bluetoothが搭載され無線でデータを収集できる。センシングされたデータは、歩行者の背中のリュックに入れたPDAが受信し、記録する。また、歩行者の視野映像を帽子に設置した小型カメラで記録した。

さらに、(株)バイオシステムのRTK-GVS速度・距離計を右直車と左直車に搭載し、車両の位置座標を計測(100Hz)した。その精度は、座標値±2cmと速度±0.1km/hとなっている。

小型無線ハイブリッドセンサ、目線映像、RTK-GVSによる車両挙動のデータ同期を行うためにスイッチ(図3)を用意した。スイッチを実験者が押したとき、小型ハイブリッドセンサデータを記録しているPDAとRTK-

GVSにトリガー信号が出力される。また、スイッチを押すと同時にLEDが点灯し、それがカメラ映像に映り込むようにした。さらに、PDAとレーザ式測域センサは、別途、各被験者の実験前後に時刻同期を行った。

(3) 実験条件

①車両走行条件：図-1の交差点で、右から左の走行する車両2台と左から右に走行する車両2台を用意した。これによって、右直車①あるいは②が右折してくる場合と左直車が左折してくる場合を走行条件として用意した。実際の実験条件の中では、右左折しない条件も入れた。

②警告音：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。歩行開始位置R側から歩行したときの警告音を鳴らす位置は、x軸の座標で、-12m/-9m/-6m/-3m/0mの3mごとに5地点とした。

③携帯電話：被験者には、小型のBluetooth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。電話番号入力開始は、基本的に警告音を鳴らす番号の最もスタート地点寄り位置の3mくらい手前でアナウンス開始のボタンを押した。アナウンスの開始は横断歩道手前、交差点侵入時に携帯電話を注視する状態、-3m付近で入力終了になるようにした。

(4) 実験設計

実験パターンは、スタート位置（RとLの2水準）×車両走行パターン（2水準：右折と左折）×警告音位置（6水準：5地点に警告音無を含めて）×携帯電話操作（2水準）の48パターンある。この中から直行表を使って実験パターンを減らし、1名の被験者は10パターンの実験を行った。車両が右折し、同方向に歩行者が横断する本研究の分析対象となる試行は、昼夜を含めて143回あった。

(5) 実験手順

実験前に、実験の内容、実験時のリスク、リスクのレベル、事故がもし起きたときの対応などについて被験者に説明を行った。これらの説明から実験参加を決めた被験者には、同意書へのサインを依頼した。本実験の前に、被験者には図-1に示すRとLの2か所から、実際の実験と同じ手順で横断してもらった。被験者に実験の内容や手順を理解してもらうと同時に、歩行速度の計測を行った。右左折車両と交錯地点で衝突するタイミングとなるよう

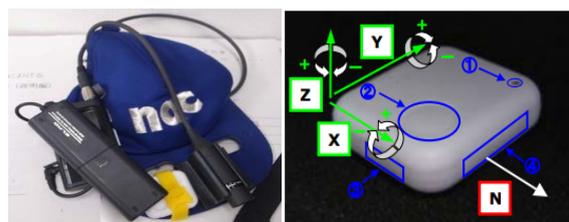


図-2 被験者の帽子に取り付けた小型カメラとハイブリッドセンサ



図-3 各種計測データの同期に用いたハイブリッドセンサとLED

RとLそれぞれに歩行開始位置を被験者毎にこの結果を使って変更した。

最初、実験のために計測機器を被験者に装着した。被験者の耳には警告音と電話番号のアナウンスが聞き取れるよう片耳に小型のBluetoothヘッドセットをつけてもらった。スタート地点に案内し、実験者の合図によって歩行を開始し、横断歩道を横断する。横断終了後、被験者はどこで右左折車を認知したかに回答する。その後、データが記録されたかどうかなど計測機器を調整し、同様のパターンを繰り返す。被験者1人当たりの実験時間は約60分であった。その間に、5分程度の休息をとって実験した。

3. 実験結果

(1) 横断歩行者の右折車視認挙動の分析

計測データを用いて、横断歩行者が首を振ったときに認知できる範囲を求めた。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、目線の動き、有効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式測域センサで求めた横断歩行軌跡から求めた。横断歩行者が首を振った時刻とその後の数秒間の位置から、歩行者の体の向きを求めた。

左に首を振って、背後からの右折車を見ようとしたとき、首振りと同時に眼球を左に移動させる。浜岡らは、このような挙動を室内実験でアイカメラと小型ハイブリッドセンサを用いて、いろいろなケースで計測し、首振

り角度の25%程度、目線をその方向に動かすことを示した(7)。本分析では、首振り角度の25%を目線の角度として、首振り角度の方向に加えることとした。

歩行時の有効視野は扇形で約 110~160 度と言われている(8)。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(9)。今回、数台の車両が走っており、注意要件が増すと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とした。

一方、以上の3つの角度データから求めた範囲に、右折車が存在したかどうかを求めるため、RTK-GVSから車両の移動軌跡を求め、横断歩行者が首振りをしたときの横断歩行者からの角度を求めた。

(2) 横断歩行者が首振り確認時の車両位置分析結果

車両が右折し、同方向に歩行者が横断する実験は143回あった。その中から、14ケースを取り上げ、首振り確認時に右折車が有効視野に入っていたかどうかを分析した。

事例1：高齢者・夜（携帯操作あり）(図-4)

警告音は、x:-12.5m, y:6.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3m~0mの間であった。気付いた地点の少し前で、被験者は、x:-3.04m, y:2.53mで21.6度首を振った。体の向きと目線の角度と有効視野を考慮すると75度左奥方向まで、被験者は見えていた。このとき、右折車は、被験者の左奥122度に位置していた。したがって、被験者の視野に、右折車は直接入らない。しかし、右折車との距離は20m程度であり、右に曲がり始めており、ウインカーの光、車両の音あるいはヘッドライトなどから、被験者は右折車が来ていると判断したと思える。

事例2：高齢者・夜（携帯操作あり）(図-5)

警告音は、x:-6.5m, y:3.0mで鳴った。右折車に被験者が気付いた地点は、横断歩道のx:-7.5m~-3.0mの間であった。歩行行動に警告音が影響したと答えた。警告音後、被験者は、x:-4.97m, y:3.25mで34.1度で右折車が向かってくる方向に首を振った。ビデオでも首振りが明確に確認された。警告音によって右折車に気づかされ、直接目視しようとした。目線の角度と有効視野を考慮すると99度左奥方向まで被験者の視野に入っていた。このとき、右折車は、歩行者の左奥103度の方向に位置にいた。よって、被験者の視野に、右折車はギリギリ入るか入らないかとなっていた。

事例3：高齢者・夜（携帯操作あり）(図-6)

警告音は、x:0.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0.0mの間であった。被験者は、警告音が鳴る前に右折車に気づいていたと答えていた。被験者は、x:1.09m, y:4.03mで38.9度、右折車が向

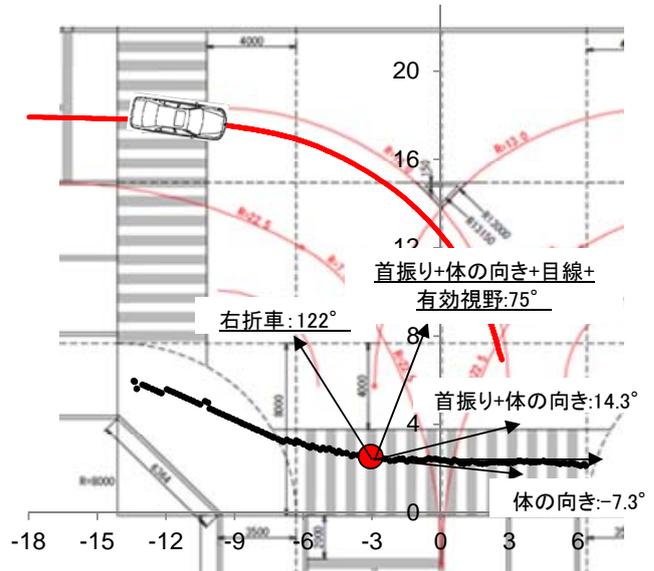


図-4 事例1：高齢者・夜（携帯操作あり）

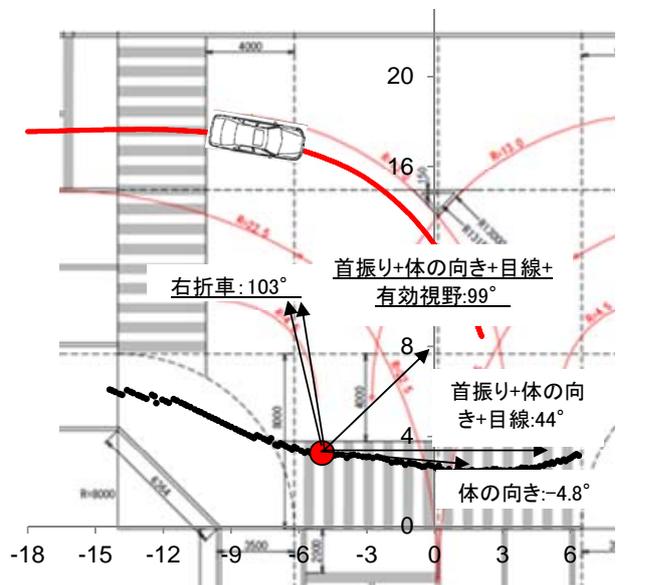


図-5 事例2：高齢者・夜（携帯操作あり）

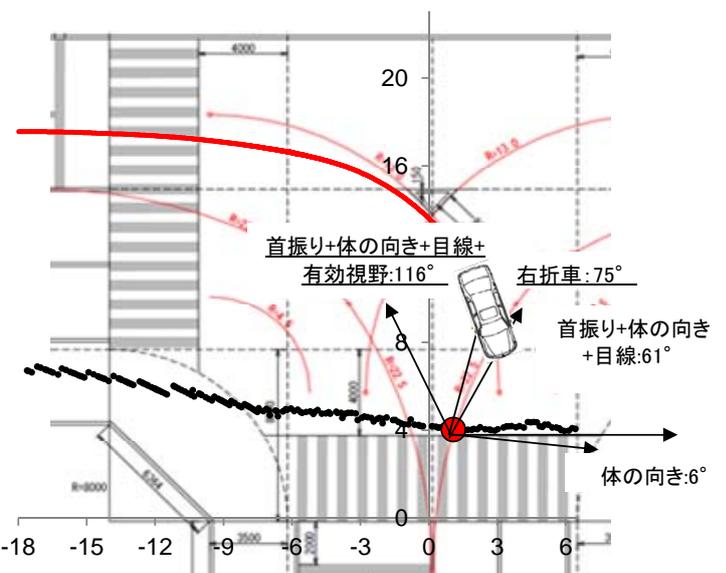


図-6 事例3：高齢者・夜（携帯操作あり）

かってくる方向に首を振った。警告音によって右折車に気づかされ、目視しようとしたと言える。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の116度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左75度に位置していた。よって、被験者は、右折車を中心視でしっかり見たと判断できる。

事例4：高齢者・昼（携帯操作あり）

警告音は、x:-6.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0.0mの間であった。被験者は、警告音が鳴る前に右折車に気付いていた。被験者は、x:-3.34m, y:2.54mで40.7度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の107度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥99度の方向に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野内で発見していたと判断できる。

事例5：高齢者・昼（携帯操作なし）(図-7)

警告音は、x:-9.5m, y:6.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0.0mの間であった。横断歩道に入った直後に右折車を確認しようとし、その方向に振り向いた。被験者は、x:-4.32m, y:3.22mで61.4度、左奥方向に首を振った。ビデオでも首振り が明確に確認された。横断歩道に入った直後のタイミングである。目線の角度と有効視野を考慮すると131度までが視野範囲となっていた。このとき、右折車は、被験者の左奥101度に位置していた。被験者の視野に、確実に右折車は入っていた。

事例6：高齢者・昼（携帯操作なし）

警告音は、x:-6.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:2.5m~4.5mの間であった。横断歩道の中央付近でも、接近していく右折車を見ることがなく、衝突地点付近で右折車によりやく気づき、その方向に振り向いた。実際に被験者は、衝突地点付近のx:4.65m, y:3.32mで99.0度左奥方向に首を振った。ビデオでも首振り が明確に確認された。目線の角度を考慮すると、118度となる。このとき、右折車は、歩行者の左奥115度の方向に位置していた。よって、被験者は中心視で、右折車を見ていた。

事例7：高齢者・昼（携帯操作なし）

警告音は、x:-6.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-12.5m~9.0mの間であった。被験者は、警告音が鳴る前に右折車に気付いていた。被験者は、x:-10.5m, y:5.40mで83.9度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の165度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥107度に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野内で発見していたと判断できる。

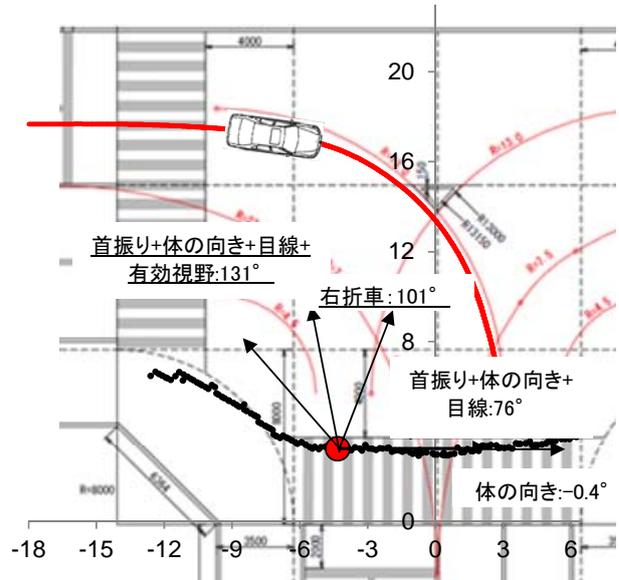


図-7 事例5：高齢者・昼（携帯操作なし）

事例8：若年者・夜（携帯操作あり）

警告音は、x:-12.0m, y:6.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0.0mの間であった。警告音が鳴る前に右折車に気づいていた。被験者は、x:1.83m, y:2.70mで42.4度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の108度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥93度に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野内で発見していたと判断できる。

事例9：若年者・夜（携帯操作あり）

警告音は、x:-6.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:3.0m~4.5mの間であった。被験者は、x:4.83m, y:2.60mで50.0度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の118度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥107度に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野内で発見していたと判断できる。

事例10：若年者・夜（携帯操作あり）

警告音は、x:-12.5m, y:6.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0.0mの間であった。被験者は、x:-0.89m, y:2.54mで49.5度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の114度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥116度の方向に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野内の左端で発見していたと判断できる。

事例11：若年者・昼（携帯操作あり）

警告音は、x:-3.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx: 0.0m~3.0mの間であった。警告音後、被験者は、x:0.56m, y:2.55mで28度左奥を見た。警告音によって右折車に気づかされ、目視しようとしたと

言える。目線の角度と有効視野を考慮すると、88度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥97度の方向に位置していた。よって、右折車は、被験者の有効視野の若干外となるが、右折車の音あるいは視野ギリギリおよび警告音から右折車に気付いたと判断したと思える。

事例12：若年者・昼（携帯操作あり）

警告音は、x:-9.0m, y:6.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:-3.0m~0mの区間であった。警告音後、被験者は、x:-0.06m, y:2.7mで15度、右折車が向かってくる方向に首を振った。警告音によって右折車に気づかされ、目視しようとしたと言える。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の72度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥94度方向に位置していた。よって、被験者は、右折車をギリギリ左端で見たか、音で接近していると判断したと思える。

事例13：若年者・昼（携帯操作あり）

警告音は、x:-6.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:0.0m~3.0mの区間であった。被験者は、x:1.16m, y:2.73mで20度、右折車が向かってくる方向に首を振った。目線の角度と有効視野を考慮すると、左の73度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥98度の方向に位置していた。被験者は、目視で右折車を捕えることは難しかったと言える。推測となるが、その方向を見て、見えてないが、音で接近を知覚し、そこで見えたかと判断したのではないか。

事例14：実験9 若年者・昼（携帯操作なし）

警告音は、x:-3.0m, y:3.0mで鳴った。右折車に気付いた地点は、横断歩道のx:0.0m~3.0mの区間であった。警告音後、被験者は、x:1.75m, y:2.47mで31.9度、右折車が向かってくる方向に首を振った。警告音によって右折車に気づかされ、目視しようとしたと言える。目線の角度と有効視野を考慮すると、左奥の95度まで視野に入る。このとき、右折車は、歩行者の左奥99度の方向に位置していた。よって、被験者は、右折車を視野の左端ギリギリで見たと判断できる。

4. まとめ

横断歩行者の歩行軌跡と首振り位置を首振り挙動をレーザ式測域センサと小型のハイブリッドセンサーで計測し、左奥から接近し横断歩道で交差する右折車を認知する挙動を分析した。その結果、横断歩行者の歩行軌跡と首振り位置及び首振り挙動を求め、歩行時の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。14試行の中で、7例が「首振り+体の方向+首振り/4（目線と想定）+55（有効視野

の半分）」の範囲に右折車が入った。入らなかった4事例は、この範囲の左10度以内となった。残りの3事例は、交差点の中央を越えたところで右折車を認知しており、音などで知ることが可能な条件であった。

横断歩行者は、左奥から接近していく右折車を有効視野に入れて、その位置を確認する行動をとっていたと言える。そのとき、想定した有効視野の限界に近いエリアを使う事例が多くみられた。しかし、本分析で用いた有効視野は、一般的なものであり、明確な値となっていない。今後、年齢や昼夜などの状況、歩行の場面によって有効視野がどの程度となるかを検討しする必要がある。さらに、これを使って通常の交差点で横断歩行者が、右折車あるいは左折車を認知できる範囲やタイミングを明確にし、安全な横断を支援するための施設に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 警察庁交通局：「平成25年中の交通事故の発生状況」、平成26年2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) 田畑要輔：市街地交差点における右折時の歩行者および自転車事故に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol. 37, 2008.
- 4) 田畑要輔、他：市街地交差点における歩行者および自転車の横断方向を考慮した右折事故分析、土木計画学研究・講演集、Vol. 38, 2008.
- 5) 平松、梅崎：行動分析からみた歩行者横断中の事故発生シナリオ、(社)自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 100-04, 2004.
- 6) 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
- 7) 羽賀研太郎、小野樹、浜岡秀勝：歩行者の交差点での適切な安全確認行動を促す警告位置に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol. 48, 2013.
- 8) 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
- 9) 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

BEHAVIOR OF PEDESTRIANS IN CROSSWALKS AND RECOGNITION OF RIGHT TURNING VEHICLE

Yasuhiro NOSAKA, Toru HAGIWARA, Hidekatsu HAMAOKA, Masahiro TADA and
Kazunori MUNEHIRO

Pedestrian accidents occur mainly at intersections and are frequently “R-type” accidents. An R-type accident occurs when a pedestrian crosses the crosswalk approaching from the same direction as a right turning vehicle. However, there are little researches to show what is the crossing behavior of pedestrians in crosswalks and do they confirm the approaching right turning vehicle while crossing crosswalk. Thus, we investigated how pedestrians identified the approach of right turning vehicles while crossing the crosswalk. We analyzed the head-turning behavior of pedestrians for right turning vehicles. Based on the results, pedestrians tended to identify the approaching right turning vehicle within their effective visual field using the head-turning behavior simultaneously.