

飛び出し歩行者とのニアミスシーンの危険度評価指標の提案

Evaluation of Hazard Level in Near Accident Scenarios Involving Rushing out Pedestrians

今長 久*¹ 福山 慶介*¹ 河島 宏紀*² 内田 信行*¹ 田中 勇彦*³
 Hisashi IMANAGA Keisuke FUKUYAMA Hiroki KAWASHIMA Nobuyuki UCHIDA Isahiko TANAKA

Abstract

Near accident data of drive recorder are selected by human viewing with qualitative definition. This study focuses on propose an evaluation way of hazard level for quantitative selection of near accident data involving rushing out pedestrians. The index called margin time, which expresses remaining time length when collision possibility disappears by braking as avoidance maneuver. In this paper, the margin time of nineteen near accident data are estimated, and correlation between margin time and subjective evaluation are identified.

1. はじめに

ドライブレコーダで記録されるニアミスデータは、事故になる可能性があった危険な状況を分析できることから、事故発生メカニズムの把握への活用が期待されている。ニアミスデータは減速回避行動を伴うことが多いとの考え方から、ドライブレコーダ搭載車両の強い減速度の発生を頼りにシーンが抽出されることが多い。しかしながら、相手を伴う危険シーンでは、ドライブレコーダ搭載車両ではなく、相手が回避行動をとることで事故が回避されていることもある。今後、このようなシーンも抽出してゆくには、ドライブレコーダに記録された画像からニアミス対象を特定し、その対象との接近の仕方の挙動データを基に、シーンの危険の大きさを評価し、ニアミスデータを抽出できる仕組みが必要である。

本研究では、歩行者との間で発生する飛び出し形態のニアミスデータを対象に、ドライブレコーダの映像データから車両および相手の挙動を導出し、ニアミスの危険度の大きさを評価する指標を提案することが目的である。

2. 飛び出し歩行者とのニアミス事例の危険度評価指標

2.1 対象シーンの定義

Fig. 1 に、飛び出し歩行者に遭遇するシーンを示す。車両と歩行者は直角の方向から接近すると仮定している。水平方向の軸である奥行き距離 $z(t)$ は、時刻 t における歩行者が歩行する軌跡（仮想衝突エリア）までの距離を表す。一方、横距離 $x(t)$ は、歩行者の位置を車両中心を基準に表したものである。従って、歩行者との衝突は、車両の幅により定義される仮想衝突エリアに歩行者が存在する時間帯（車両の幅を W とした場合に、 $-W/2 \leq x(t) \leq W/2$ の条件を満たす時間帯）に車両が仮想衝突エリアに到達する、つまり、奥行き距離 $z(t)$ が 0 となる場合に発生すると定義する。

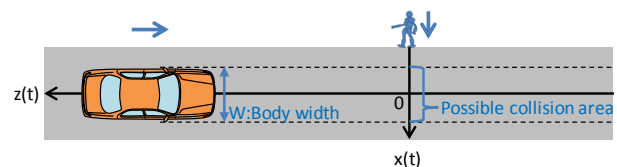


Fig.1 Definition of the axes

2.2 車両が仮想衝突エリアに到達する時刻の予測

Fig. 2 は、時刻 t における仮想衝突エリアまでの奥行き距離 $z(t)$ を模式的に表した図である。回

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*3 一般社団法人日本自動車工業会 安全部会事故分析分科会

*本速報はJSAE著作権規則に基づくJSAE20176155の転載である

避操作としての減速行動により奥行き距離 $z(t)$ の減少量が、時間の経過と共に減少していることが表されている。曲線の傾きは速度を表しており、時刻 t における接線は、その時点で減速行動を取らずに等速運動を続けた場合の距離の変化を表す。よって、この接線が時間軸と交わる点 $R(t)$ は、減速行動を取らなかった場合に、仮想衝突エリアに到達する時刻を表している。この予測された時刻のことを到達予測時刻と呼ぶこととする。

Fig. 3 に、到達予測時刻の時間変化の特性を示す。到達予測時刻は、加減速がない状況では水平にシフトし、ブレーキによる減速時には上側にシフトする特性を持つ。

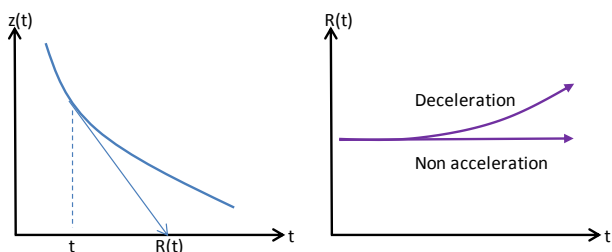


Fig.2 Definition of estimated approaching time Fig.3 Behavior of estimated approaching time

2.3 飛び出し歩行者とのニアミス時の危険度

以下では、ニアミスを「何も回避操作をしなければ衝突していた状況」と定義し、次の前提条件を置いて議論する。

前提条件 1：回避操作はブレーキによる減速行動に限定する

前提条件 2：ニアミスの対象となる歩行者と遭遇した時点以降、車両は加速せず一定速度で巡航し、回避行動をした（ブレーキを踏む）場合に限り減速する

Fig. 4 は、到達予測時刻 $R(t)$ の時間変化を表現したものである。図中の 45 度の斜線は、時刻 t と到達予測時刻 $R(t)$ が等しくなる条件を示しており、車両が仮想衝突エリア上にいることを表す。歩行者との衝突は、歩行者が仮想衝突エリアに進入する時刻を t_{in} とし、退出する時刻を t_{out} とする

と、

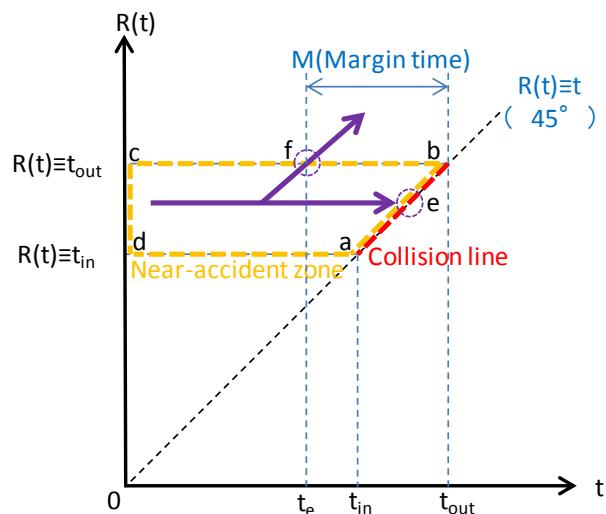


Fig.4 Margin time of a near accident event

図中の線分 ab (赤点線) として表現される。この線分を衝突ラインと呼ぶこととする。

ここで、ニアミスの定義である減速行動をしない場合を考える。減速をせずに一定速度で巡航する場合は Fig. 3 で説明したように到達予測時刻 $R(t)$ は水平にシフトする傾向を持つ。よって、Fig. 4 の衝突ラインの左側に示す矩形 $abcd$ (橙点線) の領域が、実際にまだ衝突はしていないが、減速行動をしなければ衝突していた状況と考えることができる。この領域をニアミスゾーンと定義する。

図中の分岐を持つ矢印 (紫線) は、歩行者と遭遇したときに、減速行動を行った場合と行わなかった場合の到達予測時刻の変化を表現したものである。減速行動をしなかった場合は、到達予測時刻は水平にシフトし衝突する (点 e として表現される)。一方、減速行動を取った場合は、途中で矢印が右斜め上にシフトしてゆく。タイミングと減速度の大きさに依存するが、図では点 f の時点でニアミスゾーンから離脱した場合が示してある。もし、点 f の時点で減速をやめてしまった場合には、到達予測時刻は t_{out} となりまだ衝突が発生する (点 b の状態)。ここで見方を変えると、時刻 t_{out} までに十分な減速行動が取れなければ歩行者と衝突していたが、時刻 t_e の段階で減速回避行動により衝突の可能性がなくなったと解釈できる。よって、時刻 t_{out} と t_e の差分は、衝突が回避でき

た時点でどの程度、減速行動に割ける時間が残っていたかを表す指標と考えることが出来る。本研究では、式(1)に示す M を余裕時間と呼ぶこととし、ニアミスの危険度を表す指標として提案する。

$$M = t_{out} - t_e \quad \dots(1)$$

3. 余裕時間の評価に用いるデータの作成

3.1 挙動データの導出

3.1.1 データの概要

評価に用いる対飛び出し歩行者ニアミスシーンは、(一社)自動車工業会のドライブレコーダデータ(以後「自工会 DR データ」と記す)である。ドライバの運転行動分析を目的に仕様が検討されており、データの収集は、2006年9月から2008年11月に、企業が営業活動に利用する車両で実施された。映像情報は、Table 1 に示す5台のカメラで撮影している。車外の状況は、ルームミラー横に設置された3台のカメラで前方180度を撮影している。一方、車内には、顔向き(視線)を記録するためのカメラと、アクセルおよびブレーキ操作の状況を記録するためのカメラが設置されている。

Table 1 Camera angle of the drive recorder

Camera direction		Angle	Remarks
Outside	Front center	53 [deg]	
	Front left side	85[deg]	with 55[deg] deflection angle
	Front right side	85[deg]	with 55[deg] deflection angle
Driver	Face direction	53[deg]	with infrared illumination
	Foot position	115 [deg]	with white LED illumination

これらの記録された映像は容量圧縮のため、Fig. 5 のように画面分割映像として一枚の画像に集約された形式の映像に合成されている。この映像の解像度は720×480ピクセルであるが、実際には画面を分割しているので1映像あたりの画素数は180×120ピクセルである。なお、映像のフレームレートは30 [fps]である。今回の分析では、左上の前方映像から歩行者までの距離を導出して利用する。



Fig. 5 Video image of the drive recorder

3.1.2 分析対象シーンの抽出過程

自工会 DR データは、0.35 G 以上の前後加速度の発生をトリガーとして、トリガー30秒前からトリガー10秒後までの情報を記録する。これらのデータを複数人の分析者が目視により確認して、対歩行者ニアミスシーンは95件(歩行者以外とのニアミスも合わせると1,143件)抽出されている。このうち、車両が直進している状態で歩行者が道路の左右から横断を試みている事例は39件ある。このシーンをさらに5つのパターンに分類する。

- 等速横断：歩行者が等速で車線を横断 (13件)
- 減速横断：歩行者が横断時に歩行速度を下げ、車両の様子をうかがいながら横断 (2件)
- 横断断念：歩行者が、一度は車線に進入したが、危険を感知して横断をやめ、横断開始方向の路外に退避 (4件)
- 事前停止：車線に進入する前の段階で、危険を感知し歩行者が横断を中止 (16件)
- 方向転換：車両と直角の方向に車線進入を試みたが、車両に気づき方向を90度変え、対面/背面通行 (2件)
- その他： 上記以外の事例 (2件)

上記5つのパターンのうち、今回の評価に必要な衝突ラインが定義できるのは、等速横断、減速横断、横断断念、の3つのパターンである。

3.2 車両および歩行者挙動の導出

3.2.1 挙動導出における仮定

車両および歩行者が時間的にどのように接近し

ていったかを把握するために、前方映像から歩行者との相対位置関係を導出する。この相対位置関係から両者の挙動を導出するために、以下の2点の仮定を置くことで、相対距離の奥行き距離 $Z(t)$ を自車両の挙動、横距離 $X(t)$ を歩行者の挙動とみなす。

仮定 1：車両は直進している

仮定 2：歩行者は車両の進行方向と直角方向に移動している

3.2.2 挙動の導出

奥行き距離 $Z(t)$ および、横距離 $X(t)$ は、カメラの取り付け高さおよび取り付け角度を用いて導出する²⁾。取り付け高さは、取り付け時に計測する。一方、取り付け角度は、データごとに40秒間の映像中のエッジ成分を複数時点で抽出し、平均的な取り付け角度を推定する。車両および歩行者がいる路面が水平であることを仮定し、上記2情報と映像中の歩行者の路面との接地点を計測することで奥行き距離 $Z(t)$ を導出する。また、この奥行き距離 $Z(t)$ も用いて横距離 $X(t)$ を導出する。

3.3 到達予測時刻の推計

導出された奥行き距離 $Z(t)$ を用いて、以下の手順に従って、各時刻における到達予測時刻 $R(t)$ を推計する。

- ①任意時刻における前後0.5秒間のデータを用いて奥行き距離 $Z(t)$ を平滑化する
- ②到達予測時刻を計算する時点の直前0.33秒間(10フレーム分)の奥行き距離 $Z(t)$ の値を用いて回帰分析を行い、傾き成分のパラメータを取得する
- ③ $Z(t)$ を通り②で求めた傾きを持つ直線を、減速行動が実施されなかった場合の挙動と考え、この直線が時間軸 t と交わる点(つまり $Z(t)$ が0となる時点)を到達予測時刻とする

4. 余裕時間を用いた危険度の評価

4.1 分析対象データ

2章で説明した考え方でニアミスの危険度を評

価するには、衝突ラインを定義する必要がある。つまり、歩行者が車両の前に存在した時間帯が観測される必要がある。3.1.2で整理した歩行者飛び出しの5つのパターンの内、事前停止と方向転換に該当する事例は、歩行者が車両の前に存在した時間帯がないため、この方法では評価できない。このようなパターンの評価方法については、4.4節で説明することとし、ここでは衝突ラインが定義できる等速横断、減速横断および、横断断念の事例を対象に分析を行う。

4.2 余裕時間の分析事例

ここでは、歩行者飛び出し事例を対象に余裕時間を推計した事例 (Fig. 6) を紹介する。



Fig. 6 An near accident case at rushing out pedestrian

4.2.1 事例の概要

Fig. 6 は、片側一車線道路の単路部を走行中に、歩行者が右側から道路を横断した事例である。映像で歩行者をはじめに目視確認できた時点を目安にすると、時刻0.3秒から距離の導出が可能である。時刻約4秒で歩行者が車線に進入し、時刻約6秒で横断を終え、車線から離脱している。

4.2.2 車両と歩行者挙動の導出

Fig. 7~9に映像から導出した奥行き距離 $Z(t)$ 、横距離 $X(t)$ および、車載器で計測された車両の走行速度を示す。また、Fig. 7および9の横軸上に記載された線分(赤線)は、ブレーキを踏んでいる区間を表している。奥行き距離 $Z(t)$ の導出は時刻0.3秒から可能であるものの、歩行者までの距離が遠く精度に問題があるため、25mよりも近い部分のみを記載している。また、横距離 $X(t)$ の導出は、歩行者が車線に進入した時刻約4秒では、歩行者は自車両中心から2.5mの地点におり、車線離脱時の時刻約6秒では-1.8mの地点にいる

と推計されている。この差分の 4.3 m が車線幅ということ。

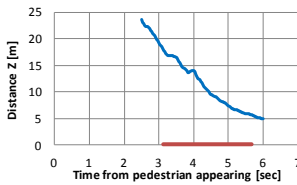


Fig.7 Distance to possible collision area

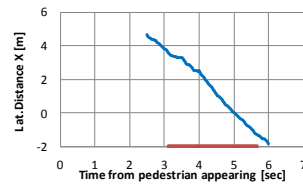


Fig.8 Distance of pedestrian from center of the vehicle

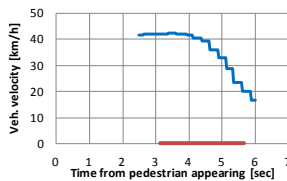


Fig.9 Vehicle velocity

になるが、一般的に車線幅は 3.5 m であることを考えると導出に誤差が含まれている点は今後の課題である。

4.2.3 余裕時間の導出

Fig.10 に、推計された到達予測時刻 $R(t)$ および、横断歩行者の挙動から設定される衝突ラインとニアミスゾーンを示す。この事例では、歩行者は時刻約 4 秒で自転車走行車線に進入し、時刻約 6 秒で離脱している。よって、歩行者と自車両が衝突する可能性を示す衝突ラインは 4 秒から 6 秒の間に設定される。また、この衝突ラインに基づいてニアミスゾーンが設定されている。なお、衝突ラインおよびニアミスゾーンは、車両幅により設定されるが、ニアミスデータの分析では、車線内に歩行者が存在する場合に衝突の可能性があると考え、衝突ラインを設定している。

時刻約 3 秒では、到達予測時刻が約 5 秒となっている。この状態は、このまま減速操作をせずに現状の速度を維持した場合、仮想衝突地点に到達するのは時刻約 5 秒であることを示す。この時点では、歩行者は自転車走行車線内にいるため、減速行動をとらなければ歩行者と衝突することを意味する。

この後、ドライバーは時刻 3 秒から減速を開始しており（図中横軸上の線分（茶線）はブレーキを

利用している状態を示す）、それに伴って到達予測時刻が徐々に増加していることが見て取れる。ただし、図を見るとブレーキ踏み始め直後に、到達予測時刻が急激に増加している。一時的に奥行き距離が長くなったとみなされたためである。これは、ブレーキによる車両のピッチングにより路面に対するカメラの角度が変化したことによる影響であり、今後距離導出手法の改善が必要である^注。この影響が時刻 4.2 秒まで続いている。その後、到達予測時刻 $R(t)$ は、時刻 4.7 秒でニアミスゾーンを離脱している。そして、車両は時刻約 5.6 秒でブレーキを解除している。この事例は、時刻 6 秒までは衝突する可能性があった事例であるが、時刻 4.7 秒でニアミスゾーンを離脱し、衝突の可能性がなくなると評価される。よって、時刻 6 秒までに離脱しなければならなかったところを、時刻 4.7 秒で離脱しているため、余裕時間が差分の 1.3 秒であったニアミス事例である。

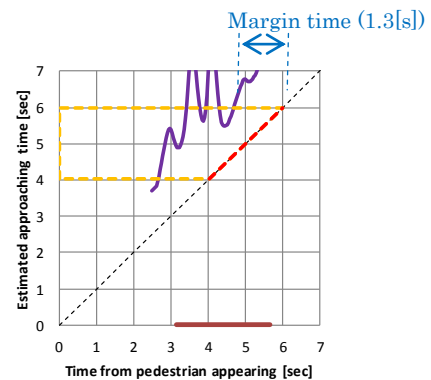


Fig.10 Estimated approaching time and margin time

4.3 余裕時間の傾向

4.3.1 ニアミスパターン別の余裕時間の傾向

Fig. 11 は、等速横断(単路部)の 8 件、等速横断(交差点部)の 5 件、減速横断(交差点部)の 2 件、横断断念(単路部)の 4 件、の余裕時間の分布である。横軸は、減速を開始した時点での走行速度である。縦軸が余裕時間であるが、軸の上端は、到達予測時刻が終始ニアミスゾーンの上側で推移していたために余裕時間が導出できなかった事例を表している。

単路部の等速横断の事例 8 件の内、2 件は余裕時間が導出できない事例であった。残りの 6 件は、

全体的に減速開始時の走行速度が、他のパターンに比べ高めである。また、減速前の速度が時速 30

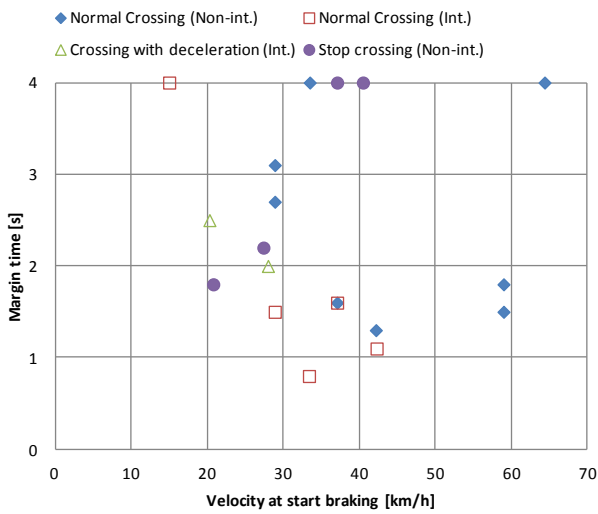


Fig. 11 Distribution of margin time at near accident events

キロあたりでは、余裕時間は 3 秒前後に分布しているが、それより高速域では 1.3~1.8 秒に分布している。

同じ等速横断でも交差点部での事例では、余裕時間を導出できた 4 件について見ると、減速開始時の速度は時速 30~40 キロあたりに分布しており、等速横断(単路部)よりも低めである。余裕時間は、0.8~1.6 秒に分布しており、単路部よりも小さくなる傾向を持っている。

減速横断(交差点部)の事例では、歩行者が減速をしているが、横断をしている事例であり、歩行者が安全と判断している可能性が高い。そのため、余裕時間も 2.0, 2.5 秒と他の事例よりも高めに分布していると考えられる。

横断断念(単路部)の事例では、2 件で余裕時間を導出できた。導出できなかった 2 件については、歩行者が比較的早い段階で危険に気づいて横断を取りやめたことにより危険が深刻化しなかったと考えられる。余裕時間が導出できた 2 件についても、余裕時間は、1.8, 2.2 秒となっており、等速横断の事例よりも余裕がある。

4. 3. 2 衝突回避時の車両挙動の違いによる余裕時間の傾向

Fig. 12 は、減速行動の結果として最終的に車両が停止したか否かに着目して余裕時間を整理したものである。今回の分析に利用したデータは、す

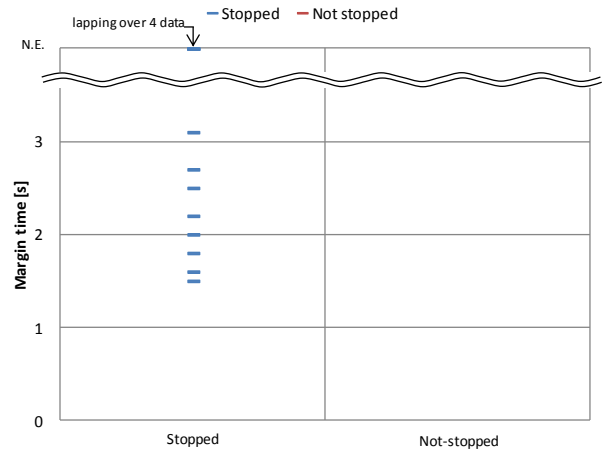


Fig. 12 Distribution of margin time considering vehicle behavior

べて衝突を回避できたニアミスの事例であるが、車両が完全に停止している場合と、一時的にほぼ停止しているが完全には停止していない場合とがある。分布を比較すると、車両が停止していない事例の方が、余裕時間が短くなる傾向が見られる。最終的に車両が停止していないニアミス事例では、急な減速回避行動を行うのではなく、減速行動の途中の段階でドライバーが衝突を回避できると判断し減速を弱め、歩行者に衝突する境界近傍まで接近する傾向がデータや映像から見て取れる。これらのシーンは、比較的早期の段階でドライバーが危険を回避できると判断している場合で、危険度はそれほど高くなくても、余裕時間を用いると危険度が高いと評価される可能性がある。

したがって、余裕時間は、車両が最終的に停止するか否かを区別した上で活用する必要がある。

4. 3. 3 考察

等速横断、減速横断、横断断念に分類される飛び出しシーン 19 事例を対象に、余裕時間を用いた危険度評価を行った。内 5 件のデータでは、到達予測時刻が終始ニアミスゾーンに入っておらず、余裕時間を導出できなかったが、他の事例については、パターンや減速開始時の速度等の違いと余

裕時間の関係を比較検討したが、大きな矛盾は見られなかった。ただし、減速行動の結果として車両が停止しないニアミスの場合には、危険を回避するための時間的余裕があるために逆に歩行者に接近するまで徐々に危険を減らしてゆく行動をしている可能性があり、結果として余裕時間が短くなる傾向が見られた。余裕時間を用いる際に、注意する必要がある。

今後より多くのデータを用いて有効性の検証を行う必要があるが、余裕時間を用いた歩行者飛び出しシーンの危険度の評価は可能であると考え。

4.4 歩行者が回避行動をした場合への拡張

余裕時間を用いてニアミスの危険度を評価する場合、ニアミスゾーンを定義する必要がある。よって、歩行者が回避行動を取った結果、車線内に進入しなかった事例では、余裕時間を導出できない。しかしながら、結果的には歩行者が回避行動を取ったために衝突はしなかったが、前述の事前停止や方向転換のパターンも、もし歩行者が車両に気づかずに車線内に進入していたら衝突していた可能性があり、危険な事例として評価できることが望ましい。ここでは、余裕時間を用いた危険度の評価方法を、歩行者が回避行動をとらなかったら衝突していた場合に拡張する方法を考える。

Fig. 13 に説明に利用する事例の概要を示す。片側1車線の道路において、対向車線側に車列が発生している。この隙間から歩行者が飛び出してくる事例である。この際、歩行者は車両に気づき事前に停止している。



Ped. appears (t=0) Ped. stops (t=0.8)

Fig. 13 A case of non-crossing near-accident

Fig. 14, 15 に、奥行き距離 $Z(t)$ と横距離 $X(t)$ の変化を示す。歩行者の挙動である横距離 $X(t)$ の変化を見ると、歩行者確認後時刻 0.8 秒までは、

車線内に向かって近づいているが、その後停止し、約 3 m あたりで停止していることがわかる。

以下では、歩行者が回避行動を取らなかった場合として、時刻 0.8 秒で歩行者が停止せずにそれまでの速度で横断を続けたと仮定する。この時に予測される歩行者の挙動として、横距離 $X(t)$ の導出開始時から時刻 0.8 秒までの挙動から、歩行者が等速で移動し続けた場合の予測結果が Fig. 15 (赤線) である。

ここで、車両が走行している車線の幅員を 3.5 m と仮定すると、横位置が +1.75 m から -1.75 m の間に歩行者が自車両走行車線を横断することになる。その場合、車線進入時刻は 1.3 秒、離脱時刻は 2.4 秒と推計される。このように推計した結果から、衝突ラインおよびニアミスゾーンを設定することで、Fig. 16 に示すように余裕時間を推計することが可能となる。

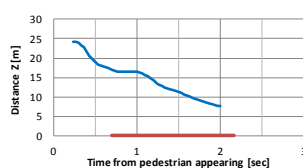


Fig. 14 Distance to possible collision area



Fig. 15 Distance of ped. from center of the vehicle

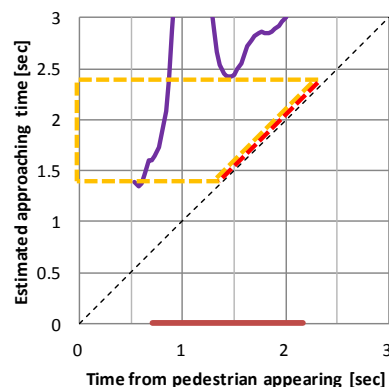


Fig. 16 Estimated approaching time and margin time

4.5 課題の整理

余裕時間を用いた評価を実施する際の課題を整理する。まず、車両および歩行者の挙動を導出する際の課題は、3点指摘できる。1つ目は、カメラの取り付け角度の推計方法の修正が必要である。

今回は、約 40 秒間の 1 映像の平均的な取り付け角度を推計して、歩行者までの距離を導出しているが、衝突回避のためのブレーキにより発生するピッチングにより減速開始直後の状況が上手く捉えられていない。取り付け角度を距離導出時点ごとに推計する等の改良による距離導出精度向上が必要である。

2 つ目は、車両の回転成分の考慮である。今回は、ドライブレコーダ取り付け車両が直進している仮定を置き距離を導出しているが、実際には、車両の進行方向はまっすぐではない。車両の回転成分を考慮して、歩行者の移動方向の距離導出精度を向上させる必要がある。

3 つ目は、奥行き方向の距離導出レンジの向上である。現在の映像では、概ね 20~25 m 以上はなれた距離を導出することが難しいが、今回の分析では、もう少し遠方から距離を導出できることが望ましい。

また、4.4 節では、歩行者が回避行動を取らなかった場合への余裕距離推計の拡張方法の一例を提案したが、どの程度まで歩行者の動きの可能性を考慮する必要があるのか（例えば、急に走り出す場合も想定する必要があるのか）についても検討する必要がある。

5. おわりに

本研究では、ドライブレコーダに記録される飛び出し歩行者ニアミス事例を対象に、ニアミス事例の危険度を評価する指標として余裕時間という考え方を提案し、実際のニアミス事例における余裕時間の推計を行った。

今後の課題としては、まず、検証可能なデータ数を充実させることが挙げられる。今回は、19 件（内、余裕時間が導出できたのは 14 件）を用いて余裕時間による危険度評価の妥当性を考察したが、より多くのデータを用いた検証が必要である。また、今回提案する指標と、既存の主観的なニアミス危険度との相関性や相違性に関する検討も必要である。さらに、今回は直進時の飛び出し歩行者を対象にした評価指標であるが、対歩行者ニアミス事例でも車両が右左折する場合や、背面通行

している歩行者が急に飛び出す場合などへの適用方法の整理も必要であると考えられる。

謝辞

なお、本報告の成果は、(一社)自動車工業会の受託事業の成果の一部である。事故分析分科会および DR 活用ワーキングメンバーの方々から貴重なご意見を頂いたことに感謝の意を表します。

補注

注 今回の距離導出方法では、40 秒間の映像で 1 点の消失点を推定し距離を導出する。一方で、ブレーキのピッチングにより一時的にカメラが前方に傾くことにより実空間上にいる歩行者が映像の上方に映しこまれる。このような状態で記録された映像を、カメラの取り付け角が一定と仮定して距離を導出しているため、歩行者が実際よりも遠くにいとみなされる。

参考文献

- 1) 内田信行, 田川傑, 川越麻生, 阿久津英作: 予防安全研究用ドライブレコーダを用いた歩行者認知遅れ要因の検討: 対歩行者ニアミスの特徴抽出と再現実験の試み, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.151-08, p.17-22 (2008)
- 2) 今長久, 穴田賢二, 林豊洋, 榎田修一: ドライブレコーダデータからの挙動計測可能性の検討, 自動車技術会秋季学術講演会前刷集, No.141-11, p.5-8 (2011)