ヒヤリハットデータベースを用いた信号交差点での
ドライバ判断支援システムの評価風間 晃輝^{*1}, 道辻 洋平^{*2}, 丸茂 喜高^{*3}Evaluation of driver's judgment assistance system at signalized intersection
using incident databaseKoki KAZAMA^{*1}, Yohei MICHITSUJI^{*2} and Yoshitaka MARUMO^{*3}^{*1} Graduate School of Ibaraki University

4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitati-shi, Ibaraki 316-8511, Japan

^{*2} Ibaraki University

4-12-1 Nakanarusawa-cho, Hitati-shi, Ibaraki 316-8511, Japan

^{*3} Nihon University

1-2-1 Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba 275-8575, Japan

Received: 28 October 2018; Revised: 16 February 2019; Accepted: 12 June 2019

Abstract

This study evaluates the effectiveness of a driver assistance system at signalized intersections by using an incident database. The research target is in the incident scenes of a vehicle and crossing pedestrians in which the vehicle proceeds straight to the signalized intersection. The evaluation of the effectiveness for the driver assistance system has three steps. Firstly, incident scenes for the crossing pedestrian during an amber traffic signal are extracted from the incident database by visual observation. Next, the extracted incident scenes are classified according to the behaviors of both the vehicle and the crossing pedestrian, and the location of the incident. Finally, assuming the driver follows the driver assistance system, the extracted incident scenes are analyzed as to what extent the incident could be prevented based on numerical simulation where the vehicle moves following the decision of the system whether continuing forward or stopping. For cases that the driver tries to enter the intersection despite the amber signal and being able to stop by the stop line, the driver assistance system is supposed to prevent the incident effectively. For cases that the crossing pedestrian does not obey the pedestrian traffic signal, the driver assistance system is found not to be effective. However, if both the driver and crossing pedestrian obey their respective traffic signals, the driver assistance system can prevent the incident effectively in many cases.

Keywords : Driver assistance system, Signalized intersection, Amber traffic signal, Dilemma zone, Drive recorder, Pedestrian, Incident database

1. 緒 論

近年、自動車の安全技術の発展により、我が国の交通事故による死者数は減少傾向にある。しかし、平成 29 年における年間の交通事故による死者数は 3,694 人と依然として多く、特に、歩行中が 1,347 人と最も多くなっている（警察庁交通局, 2018a）。また、横断歩行者の交通死亡事故を道路形状別に見ると、交差点内が 52.5%を占めており、信号機が設置されている交差点が 25.7%となっている（警察庁交通局, 2018b）。

信号交差点における事故の原因の一つとして、ドライバが黄信号に直面した際、停止または通過の判断に迷いを生じ得るジレンマゾーンの存在が挙げられる。ジレンマゾーンとは、通常の減速度で安全に停止することも、そのまま通過することもできない領域と定義されている（交通工学研究会, 2006）。ジレンマゾーンに対する研究

No.18-00419 [DOI:10.1299/transjsme.18-00419], J-STAGE Advance Publication date : 19 June, 2019

^{*1} 学生員, 茨城大学 大学院 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

^{*2} 正員, 茨城大学 工学部

^{*3} 正員, 日本大学 生産工学部 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

E-mail of corresponding author: yohei.michitsuji.031@vc.ibaraki.ac.jp

の例として、ドライビングシミュレータを活用した研究（山口他，2007）や、信号切り替わり時の横断歩行者に対する運転リスク評価指標を用いた研究が報告されている（大竹他，2011）（下里，道辻，2012）（道辻他，2013）。ジレンマゾーンへの対策として、ジレンマ感応制御と呼ばれる、ジレンマゾーンにおける車両の存在有無を検出し、青信号から黄信号への切り替えを調整する制御方式が検討されている（高橋他，2004）。また、海外では車両用の残り青時間や、待ち時間表示機能付き信号機が数多く導入されている（藤田他，2011）。さらに、ドライバに対し信号交差点の残り青時間をカウントダウンタイマーとして、車載表示器に呈示する運転支援システムが提案されている（石倉，鈴木，2016）。これらに関して、速度変化などの状況変化が生じる場所での導入が困難、交差点に近づかなければ必要な運転操作の判断が困難、ドライバの表示器注視による前方車両の急制動に対する反応遅れ等の課題が挙げられる。これらの課題に対し、ジレンマゾーンに陥らないよう、判断に必要な情報を道路上へ視覚的に呈示する「路面への情報呈示による信号交差点でのドライバ判断支援システム（丸茂他，2016）」が提案されている。このシステムは、HUDを用いることでドライバへの視覚的負荷が小さく、呈示された情報に従うことで、無理な進入や急停止を回避できることがドライビングシミュレータ実験によって実証されている（丸茂他，2018）。しかしながら、実際の運転場面に対し、ドライバ判断支援システムの実装によってニアミスをどの程度防止できるのかこれまで検証されていない。

そこで本研究では、イベント記録型ドライブレコーダに基づくヒヤリハットデータベースを用いて、信号交差点でのドライバ判断支援システムの有効性を検証する。具体的には、まず、ヒヤリハットデータベースから信号切り替わり時における横断歩行者を対象としたニアミス場面を抽出する（風間他，2017）。次に、抽出したニアミス場面を分類項目の定義に従って分類する。分類したデータごとに、運転者がドライバ判断支援システムに従うことを想定したシミュレーションを実施し、ニアミスがどの程度防止できるのか、また、どのような場合に防止できないのか分析を行う。

2. ヒヤリハットデータベース

2.1 ヒヤリハットデータベースの概要

本研究で用いる、国立大学法人東京農工大学スマートモビリティ研究拠点（スマートモビリティ研究拠点 HP 参照）が所有するヒヤリハットデータベースの概要を図1に示す。ドライブレコーダの計測項目は、前方映像、ドライバ映像、車速、前後・左右加速度、ブレーキ（on/off）、ウィンカ（on/off）、GPS 情報、音声である。ただし、計測項目にドライバ映像や音声がないドライブレコーダで記録したデータもある。ドライブレコーダは、加速度によるトリガ記録タイプであり、トリガ条件（前後加速度 0.45G）を満たすと、15 秒間（トリガ発生前 10 秒間、トリガ発生後 5 秒間）記録される。データの収集場所は、東京、北海道、秋田、静岡、福岡である。ヒヤリハットデータのレベルは、事故に近いものから、事故、高、中、低の順に分析者の主観によって分類されている。

Fig.1 Overview of the incident database. Incidents are recorded by event recording type drive recorders.

2・2 ヒヤリハットデータの抽出

ヒヤリハットデータベースは、ヒヤリハットレベル、自転車動作、ヒヤリハットの対象、道路形状、周囲の環境といった項目ごとに分類されている（藤田他，2007）（スマートモビリティ研究拠点 HP 参照）。

今回、検索条件として、ヒヤリハットレベル：高レベル・中レベル、自転車動作：直進、ヒヤリハットの対象：歩行者、道路形状：交差点、周囲の環境：信号有り・横断歩道有り・停止線有り、とした。抽出過程と項目ごとのデータ件数を図2に示す。図2より、全ヒヤリハットデータ 114,183 件の内、上記の条件では、高レベルが 118 件、中レベルが 427 件抽出できた。検索条件には「信号切り替わり場面」という分類項目はないため、信号切り替わり場面の抽出は動画データから目視で行う。抽出の結果、信号切り替わり場面におけるニアミス場面は、高レベルが 17 件、中レベルが 76 件であり、これらデータを歩行者の場所や、信号の現示によってさらに分類する。

今回抽出したニアミス場面の、自転車と歩行者の関係を表した概要を図 3(a)に示す。図示されるとおり、自転車が手前の交差点を直進する際に信号が黄色に切り替わり、交差点の入口側横断歩道、または出口側横断歩道の歩行者とニアミスを起こした事例が以降の分析対象である。図 3(b), (c)はヒヤリハットデータベースから抽出した入口側横断歩道、および出口側横断歩道の歩行者とのニアミス場面の事例である。

Fig.2 Extraction process of incident data for analysis. From 114,183 total cases, the numbers of extracted cases are 17 at the high level and 76 at the medium level.

Fig.3 Schematic diagram of signalized intersection is shown in Fig.3(a). The incident scene at entrance crosswalk is shown in Fig.3(b). The incident scene at exit crosswalk is shown in Fig.3(c).

2・3 信号切り替わり場面のデータ分類

2・3・1 分類項目の定義

抽出したデータを、歩行者・運転者のそれぞれの立場に立って、交通信号の現示に対して遵守・不遵守のどちらであったかによりデータを分類（道辻他，2011）する。分類項目の定義を次の①～④に示す。

- ① 歩行者不遵守 (Pedestrian's unsafe) : 歩行者は歩行者信号が赤において横断歩道を渡り始めている。一方、運転者は、自車側の車道信号が青で入口側停止線を通過し交差点へ進入、または自車側の車道信号が黄で入口側停止線に安全に停止できない状態で、入口側停止線を通過し交差点へ進入している。なお、自車側の車道信号が黄で入口側停止線に安全に停止できるか否かは、後述の式 (1) によって求められる停止距離 $d_s(t)$ よりも、自車から入口側停止線までの距離 $d(t)$ が短いかどうかで判断する。
- ② 運転者不遵守 (Driver's unsafe) : 運転者は自車側の車道信号が黄で入口側停止線に安全に停止できるにもかかわらず、入口側停止線を通過し交差点へ進入している。その後、歩行者は歩行者信号が青において横断歩道を渡り始めている。また、運転者が自車側の車道信号が赤で入口側停止線を通過し交差点へ進入し、その後、歩行者は歩行者信号が青において横断歩道を渡り始めているものもこれに含まれる。
- ③ 相互不遵守 (Mutually unsafe) : 歩行者が①歩行者不遵守、運転者が②運転者不遵守、となる事例である。
- ④ 相互遵守 (Mutually safe) : 歩行者、運転者の双方がそれぞれの信号を遵守する事例である。相互が遵守した場合においても、黄信号開始後に自車が低速になることで歩行者とのニアミスは生じ得る。

これら 4 パターンに対し、図 3 に示す通り、入口側横断歩道、出口側横断歩道の 2 パターンがあるため、分類は計 8 パターンとなる。また、①歩行者不遵守で述べた停止距離は以下により定義される。

$$d_s(t) = v(t) \cdot T + \frac{v^2(t)}{2(-a_a)} \quad (1)$$

ここで、 t は黄信号の始まりを零とした時間である。また、 $d_s(t)$: 停止距離、 $v(t)$: 車速、 T : ドライバの反応時間としてここでは 0.75 s、 a_a : 想定減速度 (ただし、 $a_a < 0$) としてここでは -3.0 m/s^2 となっている。なお、ここで定義した停止距離は、3 章で説明するドライバ判断支援システムにおける停止指標としても活用する。

2・3・2 分類結果

抽出データの分類結果を表 1 に示す。ただし、表 1 に示すのは、歩行者信号の切り替わりタイミングが不明瞭といった分類不可能なデータ (高レベル 1 件、中レベル 7 件) を除外している。これにより、高レベル 16 件、中レベル 69 件の計 85 件を分類したものとなっている。表 1 より、まず場所に着目すると、入口側横断歩道では 14 件、出口側横断歩道では 71 件となっており、入口側横断歩道 16.5% に対し、出口側横断歩道 83.5% となるため、出口側横断歩道において対横断歩行者のニアミスが多く発生していることがわかる。出口側横断歩道のニアミスに着目すると、その中でも特に件数が多いのは④相互遵守の 26 件であり、全体に占める割合で見ても 30.6% と最大である。それに続いて多いのは②運転者不遵守の 19 件、①歩行者不遵守の 16 件であった。また、②運転者不遵守の入口側横断歩道では 2 件、④相互遵守の入口側横断歩道では 0 件であり、入口側横断歩道では特に、①歩行者不遵守、③相互不遵守が多く、これらは歩行者信号が青に切り替わる前に歩行者がフライングで横断を開始してしまうことによるものが多い。今回分類した中で④相互遵守の出口側横断歩道でのニアミス件数が最大であった。この場面では、信号切り替わり場面において車両が低速で交差点へ進入し、交差点内を走行している間に

Table 1 Classification of extracted data.

		High level	Medium level	Total	Percentage
①Pedestrian's unsafe	Entrance crosswalk	2	6	8	9.4 %
	Exit crosswalk	4	12	16	18.8 %
②Driver's unsafe	Entrance crosswalk	1	1	2	2.4 %
	Exit crosswalk	4	15	19	22.4 %
③Mutually unsafe	Entrance crosswalk	0	4	4	4.7 %
	Exit crosswalk	2	8	10	11.8 %
④Mutually safe	Entrance crosswalk	0	0	0	0 %
	Exit crosswalk	3	23	26	30.6 %
Total		16	69	85	100 %

全赤時間が終了し、歩行者信号に従って横断を開始した出口側横断歩行者とニアミスが発生していた。

3. ドライバ判断支援システム

本研究で用いるドライバ判断支援システムは、前章で説明した式 (1) を用いた停止 (NOGO) 指標と、以下の式 (2)、式 (3) を用いた、通過 (GO) 指標とが使用されている。詳細については、「路面への情報呈示による信号交差点でのドライバ判断支援システム (丸茂他, 2016)」に示されている。

$$d_e(t) = v(t) \cdot TTR \quad (2)$$

$$d_p(t) = v(t) \cdot TTG_C \quad (3)$$

ここで、 $d_e(t)$: 進入可能距離, TTR : 信号が赤になるまでの時間, $d_p(t)$: 通過可能距離, TTG_C : 交差側の信号時間が青になる (全赤終了) までの時間である。

ドライバ判断支援システムの指標呈示の模式図を図 4 に示す。図 4 に示されるように、NOGO 指標は赤の領域、GO 指標は緑の領域を呈示し、GO 指標は式 (2) と式 (3) (厳密には式 (3) から交差点長 l_i を引いたもの) のうち短い方を呈示する。自車が GO 指標に乗っている場合、現在の速度を維持することで安全に交差点へ進入・通過することができる。一方、自車が GO 指標に乗っていない場合、そのままの速度では交差点進入・通過のいずれか、あるいは両方ができない。その場合、自車が NOGO 指標に到達するまでに停止行動を開始することで無理な交差点進入を回避できる。このドライバ判断支援システムでは、自車が減速しながら停止線へ近づく場合、自車が GO 指標から外れた際、既に NOGO 指標の範囲内にいることも考えられる。その場合、自車が入口側停止線に安全に停止するのに十分な距離がないため、NOGO 指標は呈示されない仕様となっている。このドライバ判断支援システムは実際にドライビングシミュレータを活用した実験によって、危険な交差点進入を回避しつつ、停止判断をした場合でも急制動にはならないといった有効性が示されている。

Fig.4 Schematic diagram of indicating GO/NOGO indices. Green zone is GO index. Red zone is NOGO index. l_i is the length of the intersection.

4. ニアミス防止効果の検証

4.1 検証結果

2 章で分類したデータに対し、3 章で述べたドライバ判断支援システムの使用を想定したシミュレーションを実施し、ニアミス防止効果を検証する。今回のシミュレーションでは自車の行動として、GO 指標に達するための加速は考慮せず、NOGO 指標に達した際に停止判断を行うことを想定する。ただし、ニアミスが発生した場所において、黄信号長や交差点長等、不明瞭な情報があるものは検証不可能であるため、検証可能な 47 件 (高レベル 11 件, 中レベル 36 件) の検証を行った。なお、黄信号長についてはドライブレコーダで判別が難しい場合、現地での調査をおこなっている。ドライバ判断支援システムに従うことを想定した際のニアミス防止数と防止率をまとめた結果を表 2 に示す。

表 2 より, 今回検証したデータ 47 件中 37 件に対し, ドライバ判断支援システムに従って運転者が停止判断することでニアミスを回避できることがわかった. その中でも特に, ②運転者不遵守, ③相互不遵守についてはそれぞれ, 15 件中 15 件, 9 件中 9 件のニアミスが防止可能である. これらの事例においては, 判断支援システムにより運転者の不安全行動が抑制され, 直接的効果が発揮される. 一方, ①歩行者不遵守の入口側では 6 件中 3 件, 出口側では 7 件中 1 件の事例のみが防止可能である. 入口側横断歩道で防止できる事例は, 出口側横断歩道の歩行者を加味した停止判断により, 入口側横断歩道の歩行者のニアミスが減少されるという間接的効果といえる. ①歩行者不遵守においてニアミスを防止できない理由は, 歩行者が信号切り替わり前にフライングで横断しているためである. ドライバ判断支援システムでは, 出口側横断歩行者が歩行者信号にしたがって横断することを見越しているため, 原理的に信号に従わない歩行者とのニアミスを防止することは難しい. ④相互遵守の出口側では 10 件中 9 件の事例が防止可能であった. ドライバ判断支援システムでは, 出口側横断歩行者が歩行者信号に従って横断開始することを見越しているため, ④相互遵守の事例に有効に機能しているといえる. 防止できない 1 件については, 相互遵守の発生メカニズムとあわせて, 続く 4・2 節において詳述する.

Table 2 Preventable incident results.

		Number of verified incidents	Number of preventable incidents	Prevention rate
①Pedestrian's unsafe	Entrance crosswalk	6	3	50 %
	Exit crosswalk	7	1	14 %
②Driver's unsafe	Entrance crosswalk	1	1	100 %
	Exit crosswalk	14	14	100 %
③Mutually unsafe	Entrance crosswalk	2	2	100 %
	Exit crosswalk	7	7	100 %
④Mutually safe	Entrance crosswalk	0	0	-
	Exit crosswalk	10	9	90 %
Total		47	37	79 %

4・2 ニアミス場面の詳細分析

運転支援システムによるニアミス防止可能場面の具体例として, はじめに②運転者不遵守・出口側横断歩道の時系列データとドライバ判断支援システムのシミュレーション結果を図 5 に示す. なお, 本論文では, 車両位置は車両先端で評価を行う. 本場面は, 交差点に差しかけた際, 運転者が黄信号に直面し, 進入か停止かの判断を迫られる場面において進進行動を取ったが, 出口側横断歩道の左方より歩行者が歩行者信号に従って横断を開始し, ニアミスとなった事例であった.

図 5 中段のグラフは, ドライブレコーダに記録された情報から, 運転支援のための式(1)~(3)の時系列応答を示した図である. 図から常に $d_s(t) > d_p(t) - l_i$ であるため, GO 指標は, $d_p(t) - l_i$ によって決まる. さらに, 自車位置が常に $d_p(t) - l_i$ より大きく, 自車は GO 指標の範囲外にいるため, 進入・通過のいずれか, あるいは両方が不可能である. また, 0.96 s において自車位置が $d_s(t)$ より小さくなり, その後, 大小関係は変わらず, この時点から自車は NOGO 指標の範囲内にいる. そのため, 実際には停止していないためニアミスとなっているが, 黄信号開始から 0.96 s の NOGO 指標到達までに停止行動を開始すれば, 余裕を持った減速度で停止可能であった.

図 5 下段のシミュレーション図を見ると, (a), (b) の段階では自車が GO 指標の範囲外におり, GO 指標は NOGO 指標よりも短いため, NOGO 指標のみが呈示されている. (c) で自車が NOGO 指標に到達している. このときまでにドライバが停止判断をすれば良いが, 実際のニアミス事例ではドライバは進入判断をしている. その後, (d) で入口側停止線に到達している. 本場面では, (c) の NOGO 指標到達までに停止行動を選択することで, 余裕のある減速度で停止しつつ, ニアミスを防止可能である. このように, 運転者不遵守に分類された事例はすべて, 支援システムの NOGO 指標に従うことによって効果的にニアミスを防止できる.

Fig.5 Time series data of the preventable incidents (Driver's unsafe / Exit crosswalk). The four photographs at the top show the state of each situation captured by the camera of the drive recorder. Crossing pedestrians are circled in red. The figure in the middle shows time series data of vehicle position and related indices. 0[m] on the vertical axis is the position of the entrance stop line. 0[s] on the horizontal axis is the starting time of the amber. The bottom figures show numerical simulations related to the driver assistance system.

次に、運転支援システムによって防止できる事例として①歩行者不遵守・入口側横断歩道の時系列データとドライバ判断支援システムのシミュレーション結果を図6に示す。本場面は、交差点に差ししかかった際、運転者が黄信号に直面し、進入か停止かの判断を迫られる場面で、運転者が黄信号において進入行動を取ったが、入口側横断歩道の左方より歩行者が歩行者信号に従わずに横断を開始しようとしニアミスとなった。

図6中段のグラフでは、常に、 $d_e(t) > d_p(t) - l_i$ であるため、GO指標は、 $d_p(t) - l_i$ によって決まる。さらに、 -1.52 sまでは自車位置が $d_p(t) - l_i$ より小さく、自車はGO指標の範囲内にいるため、進入・通過が可能である。ただし、途中、大小関係が変わっているときがあるが、その際は自車がGO指標の範囲外になっているため、進入・通過のいずれか、あるいは両方が不可能である。 -1.52 s以降は自車位置が $d_p(t) - l_i$ より大きく、自車はGO指標の範囲外にいるため進入・通過のいずれか、あるいは両方が不可能である。また、 -0.96 sで自車位置が $d_e(t)$ より小さくなり、その後、大小関係は変わらず、この時点から自車はNOGO指標の範囲内にいる。そのため、実際には停止

していないためニアミスとなっているが、 -0.96 s の NOGO 指標到達までに停止行動を開始すれば、余裕を持った減速度で停止可能であった。

図 6 下段のシミュレーション図の (a) では、自車が GO 指標の範囲内におり、GO 指標のみが呈示されている。

(b) では、自車が GO 指標の範囲外にいるため、GO 指標と NOGO 指標が呈示されている。(c) で自車が NOGO 指標に到達している。このときにドライバーが停止判断をすれば良いが、実際のニアミス事例ではドライバーは進入判断をしている。その後、(d) で入口側停止線に到達し(e)でニアミスが発生している。本場面では、青信号ではあるが、(c) の NOGO 指標到達までに停止行動を選択することで、余裕のある減速度で停止しつつ、ニアミスを防止可能であった。以上のように、出口側横断歩道までの通過を見越した今回の運転支援により、無理な交差点進入を抑制することで、本来は支援対象とならない入口側歩行者の不遵守の事例に対しても、6 件中 3 件のニアミス事例の抑制に効果があつた。

Fig.6 Time series data of the preventable incidents (Pedestrian's unsafe / Entrance crosswalk). The four photographs at the top show the state of each situation captured by the camera of the drive recorder. Crossing pedestrians are circled in red. The figure in the middle shows time series data of vehicle position and related indices. 0[m] on the vertical axis is the position of the entrance stop line. 0[s] on the horizontal axis is the starting time of the amber. The bottom figures show numerical simulations related to the driver assistance system.

最後に、ドライバ判断支援システムであっても防止不可能な場面の一例として④相互遵守・出口側の時系列データとドライバ判断支援システムのシミュレーションを図7に示す。本場面は、交差点に差し掛かった際、運転者が黄信号に直面し、運転者が進入行動を取ったが、出口側横断歩道の左方より歩行者が歩行者信号に従って横断を開始しニアミスとなった。運転者は、信号に従って余裕をもって交差点へ進入したが、出口側横断歩道の先に別の車両が停止していたため、減速しながら交差点へ進入した。自車は、出口側横断歩道付近の車両の存在により、交差点進入後も引き続き減速していた。この間に、出口側横断歩道の歩行者信号が青に変わり、歩行者とニアミスを起こした。

図7中段のグラフでは、常に、 $d_e(t) > d_p(t) - l_i$ であるためGO指標は、 $d_p(t) - l_i$ によって決まる。さらに、0.33sまで常に自車位置が $d_p(t) - l_i$ より小さく、0.33sまで自車はGO指標の範囲内にいるため、進入・通過が可能である。また、-1.81sで自車位置が $d_s(t)$ より小さくなり、その後、大小関係は変わらないため、この時点から自車はNOGO指標の範囲内にいる。そのため、0.33sで自車位置が $d_p(t) - l_i$ より大きくなり、自車がGO指標の範囲外になった際、既にNOGO指標の範囲内におり、通常の減速度で停止できない位置にいる。

図7下段のシミュレーション図の(a), (b)では、自車がGO指標の範囲内におり、GO指標のみが呈示されて

Fig.7 Time series data of the unpreventable incidents (Mutually safe / Exit crosswalk). The four photographs at the top show the state of each situation captured by the camera of the drive recorder. Crossing pedestrians are circled in red. The figure in the middle shows time series data of vehicle position and related indices. 0[m] on the vertical axis is the position of the entrance stop line. 0[s] on the horizontal axis is the starting time of the amber. The bottom figures show numerical simulations related to the driver assistance system.

いる。(c)は(b)の直後(0.03 s後)であり、この時、自車位置はGO指標の範囲外になっていることがわかる。ただし、停止距離が10.2 mであるのに対し、停止線までの距離が2.62 mであった。そのため、自車が入口側停止線に安全に停止するのに十分な距離がないことから、NOGO指標は呈示されない。(d)で入口側停止線に到達しており、この事例に対してドライバは運転支援システムから停止を提示されない。実際のニアミスでは、自車は入口側停止線を通過後からも引き続き減速しており、その間に全赤時間が終了し、横断歩行者が歩行を開始しニアミスが発生している。このように、交差点進入前には進入する余裕があっても、交差点進入前後に減速を強いられる場合は防止不可能となる場合がある。このような事例は、前方の交通流が詰まっていることをシステムが検知し、そのような状況下で交差点進入をさせないといった判断支援システムのさらなる改善が必要であると考えられる。

5. 結 論

本研究では、ドライブレコーダで収集したニアミス事例を活用し、横断歩行者を考慮した信号切り替わり場面のドライバ判断支援システムによるニアミス防止効果を評価した。結果を以下に示す。

1. 黄信号中に運転者が無理をして交差点に進入する、運転者不遵守、相互不遵守のニアミス事例に対して、ドライバ判断支援システムによって効果的にニアミスが防止できる。黄信号場面のニアミス47件の内24件が運転者不遵守・相互不遵守であり、これらに対してはドライバ判断支援システムの直接的効果を期待できる。
2. 歩行者信号が赤の時に横断しようとする歩行者不遵守のニアミスに対しては、ドライバ判断支援システムでは対応できない事例が、入口側横断歩道で6件中3件、出口側横断歩道で7件中6件存在した。入口側横断歩道におけるニアミスを抑制できる理由は、ドライバ判断支援システムが出口側横断歩行者の横断を加味しているための間接的な効果によるものである。
3. 歩行者、運転者の両者がそれぞれの信号を遵守する場合でも、出口側の横断歩道でニアミスが発生するケースが多くあった。このような事例に対し、ドライバ判断支援システムでは、全赤時間終了後の出口側横断歩行者の横断を勘案しているため、検証した事例のうち、10件中9件の事例に対しニアミスを防止可能であった。防止できない事例は、交差点進入の前後で自車が急減速することで全赤時間が終了するためである。このような事例については、自車前方の交通流に応じて、交差点進入させないといったシステムのさらなる工夫が必要といえる。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) JP17H02055「交通実態と効果評価に基づくドライバの認知判断支援による信号交差点の安全・円滑化」の助成を受けた。また、ヒヤリハットデータベースは、東京農工大学スマートモビリティ研究拠点より提供を受けた。関係者各位に謝意を示す。

文 献

- 藤田光伸, 道辻洋平, 小竹元基, 鎌田実, 永井正夫, ドライブレコーダを用いたヒヤリハット分析に関する研究(第2報)―収集データによる分析手法とデータベースの構築―, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.4 (2007), pp.145-150.
- 藤田素弘, 于柯, 鈴木弘司, ユルマズジハット, 国内実験と海外調査によるカウントダウン式信号機における車両発進挙動に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (2011), pp.I_1181-I_1191.
- 石倉嵩也, 鈴木宏典, 信号交差点におけるカウントダウンタイマー導入効果の検証, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.840 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00074.
- 社団法人 交通工学研究会, 改訂 交通信号の手引 (2006), p.43.

- 風間晃輝, 道辻洋平, 丸茂喜高, ヒヤリハットデータベースを用いた信号交差点でのドライバ判断支援システムの評価, 第 26 回交通・物流部門大会講演論文集, No.1006 (2017).
- 丸茂喜高, 中野堯, 中西智浩, 道辻洋平, 路面への情報呈示による信号交差点でのドライバ判断支援システム, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.843 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00276.
- 丸茂喜高, 山崎光貴, 三浦裕弥, 道辻洋平, ヘッドアップディスプレイを用いた信号交差点でのドライバ判断支援システム, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.866 (2018), DOI:10.1299/transjsme.18-00134.
- 道辻洋平, 大竹正俊, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 信号切り替わり時の横断歩行者に対する運転リスク評価指標の提案, 自動車技術会論文集, Vol. 44, No.2 (2013), pp.555-560.
- 道辻洋平, 大坪敏久, 小竹元基, 永井正夫, ヒヤリハットデータベースに基づく信号交差点における歩行者不安全行動の分析, 第 20 回交通・物流部門大会講演論文集, No.11-59 (2011), pp.15-18.
- 警察庁交通局, 平成 29 年中の交通事故の発生状況, available from < <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20170&month=0>> (参照日 2018a 年 3 月 15 日).
- 警察庁交通局, 平成 29 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について, available from <<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027458&cycle=7&year=20170&month=0>> (参照日 2018b 年 3 月 15 日).
- 大竹正俊, 道辻洋平, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 信号交差点運転時における横断歩行者に対する危険リスク評価指標の提案, 第 20 回交通・物流部門大会論文集, No.11-59 (2011), pp.31-34.
- 下里佳史, 道辻洋平, 信号切り替わり時のリスク評価指標を用いた危険予測運転停止モデル, 第 21 回交通・物流部門大会論文集, No.12-79 (2012), pp.183-186.
- スマートモビリティ研究拠点, ドライブレコーダセンター, available from <<http://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html>> (参照日 2018 年 3 月 15 日).
- 高橋義典, 齋藤威, 板倉誠司, 北川朝靖, 空間型感知器を用いたジレンマ感応方式のフィールドへの適用, 第 29 回土木計画学研究発表会・講演集 (2004) .
- 山口大助, 織田利彦, 須田義大, 田中伸治, ジレンマゾーン実験へのドライビングシミュレータの活用, 生産研究, Vol.59, No.3 (2007), pp. 192-196.

References

- Fujita, M., Michitsuji, Y., Shino, M., Kamata, M. and Nagai, M., Research on near-miss incident analysis using drive recorders (second report) -Analysis methodology by collected data and database construction-, Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.38, No.4 (2007), pp.145-150 (in Japanese).
- Fujita, M., Yu, K., Suzuki, K. and Yilmaz, C., Study on behavior of vehicle starts under countdown-type traffic signal through test run in Japan and survey in Turkey, Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.67, No.5 (2011), pp.I_1181-I_1191 (in Japanese).
- Ishikura, T. and Suzuki, H., Effect of green phase countdown timer on reduction of driver's dilemma at signalized intersection, Transaction of the JSME (in Japanese), Vol.82, No.840 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00074.
- Japan Society of Traffic Engineers (JSTE), Manual on traffic signal control revised edition (2006), p.43 (in Japanese).
- Kazama, K., Michitsuji, Y. and Marumo, Y., Evaluation of driver's judgment assistance system at signalized intersection using incident database, Proceedings of the 26th Transportation and Logistics Conference of the JSME, No.1006 (2017) (in Japanese).
- Marumo, Y., Nakano, T., Nakanishi, T. and Michitsuji, Y., Driver's judgment assistance system at signalized intersection by indicating evaluation indices on road ahead virtually, Transaction of the JSME (in Japanese), Vol.82, No.843 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00276.
- Marumo, Y., Yamazaki, K., Miura, Y. and Michitsuji, Y., Driver's judgment assistance system at signalized intersection using head-up display, Transaction of the JSME (in Japanese), Vol.84, No.866 (2018), DOI:10.1299/transjsme.18-00134.
- Michitsuji, Y., Otake, M. and Raksincharoensak, P., Proposal on driving risk indices for crossing pedestrians at signalized intersection during yellow phase, Transaction of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol. 44, No.2 (2013), pp.555-560 (in Japanese).
- Michitsuji, Y., Otsubo, T., Shino, M. and Nagai, M., Analysis on pedestrian's unsafe act at signalized intersection utilizing

incident database, Proceedings of the 20th Transportation and Logistics Conference of the JSME, No.11-59 (2011), pp.15-18 (in Japanese).

National Police Agency, Traffic Bureau, Traffic accidents situation in 2017, available from < <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20170&month=0> > (accessed on 15 March, 2018a).

National Police Agency, Traffic Bureau, About situation of traffic fatal accident and situation of crackdown on violation of the Road Traffic Act in 2017, available from < <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027458&cycle=7&year=20170&month=0> > (accessed on 15 March, 2018b).

Otake, M., Michitsuji, Y. and Raksincharoensak, P., Proposal on driver's risk evaluation indices to crossing pedestrians at signalized intersection, Proceedings of the 20th Transportation and Logistics Conference of the JSME, No.11-59 (2011), pp.31-34 (in Japanese).

Shimozato, Y. and Michitsuji, Y., Hazard-anticipatory stopping behavior model considering driving risk indices during yellow phase at signalized intersection, Proceedings of the 21th Transportation and Logistics Conference of the JSME, No.12-79 (2012), pp.183-186 (in Japanese).

Smart Mobility Research Center, Drive Recorder Center, available from < <http://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html> > (accessed on 15 March, 2018).

Takahashi, Y., Saito, T., Itakura, S. and Kitagawa, T., Field trials of a new dilemma-free traffic signal control with space detectors based on image-processing, Proceedings of Infrastructure Planning, Vol.29 (2004) (in Japanese).

Yamaguchi, D., Oda, T., Suda, Y. and Tanaka, S., Application of driving simulator to dilemma zone experiment, SEISAN KENKYU, Vol.59, No.3 (2007), pp.192-196 (in Japanese).