

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02259

研究課題名(和文) 自動運転に向けた四輪車対自転車事故の統合安全に関する研究

研究課題名(英文) Integrated safety of car-cyclist collisions toward autonomous driving

研究代表者

水野 幸治 (Mizuno, Koji)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：80335075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,300,000円

研究成果の概要(和文)：四輪車対自転車の出会い頭事故について、発生要因の解明を目的として研究を行った。ドライブレコーダ(DR)の事故データを収集し、ヒヤリハットとの比較から、事故発生を決める3つのモデルを構築した：事故発生を衝突余裕時間、ブレーキ反応時間、制動時間の時間的關係による運動学モデル、ロジスティック回帰による確率モデル、変数の階層的な意味を示す決定木モデルである。ドライビングシミュレータ実験から、ブレーキ反応時間がドライバの視線位置に依存することを見出した。衝突被害軽減ブレーキを取り付けて事故再現し、センサー視野角拡大が事故防止に有効であることを示し、究極的なAEBでも回避できない事故を特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究開始前は自動運転によりすべての事故がゼロになるとの議論があった。本研究では、四輪車対自転車の出会い頭事故を検討し、衝突余裕時間が1秒未満の自転車の飛び出し事故は究極的な性能を持つAEBでも回避できないことを示した。これらは交差点でAIなどにより危険を予知しつつ速度を落として走行するなどの考え方につながった。

また、ドライブレコーダの事故分析とその再現から、視線の向きと事故発生の關係を示し、さらに緊急時のドライバの応答特性を取得した。これらは、ドライバの運転状態の検知や事故回避につながる。ドライバ応答と事故発生の關係を求める研究を進展させ、交通事故死者数ゼロに貢献するための実装を目指す。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand the causes of accidents between cars and bicycles. We collected accident data from a drive recorder (DR) and compared them with near-misses to construct three models to determine the accident occurrences: (1) a kinematic model of accident occurrence based on the temporal relationship among time-to-collision, brake reaction time, and braking time; (2) a probability model based on logistic regression; and (3) a decision tree model that shows the hierarchical meanings of the variables.

From driving simulator experiments, we found that the brake reaction time depends on the driver's eye position. The accidents were reconstructed for cars installing autonomous braking systems, showed that field of view of sensor was most effective in preventing accidents, and accidents that cannot be avoided even with ultimate AEB were identified.

研究分野：安全工学

キーワード：統合安全 自転車 ヒヤリハット 出会い頭事故 運転支援

1. 研究開始当初の背景

近年、ドライブレコーダの映像を用いた事故分析が一般的となり、事故要因の解明が飛躍的に進展した。しかし、分析はヒヤリハットが中心であり、未だ事故発生の真の要因は明確ではない。1997年にスウェーデン政府により交通事故死傷者数ゼロを目指す「ビジョンゼロ」を提唱された。25年を経て、様々な機関が死傷者数ゼロを提唱しているが、このための方策、あるいはそれが可能なのかについて、具体的には論じられていない。一方、自動運転普及の目的のひとつとして、交通事故を減少させることがあげられており[1] (国土交通省 自動運転車の安全技術ガイドライン 平成30年)、自動運転によって交通事故がゼロになるとの認識もある。自動運転に関する法整備も開始され、国土交通省では自動運転システム利用中の事故に関する責任は自動車所有者に帰属し、自賠責保険を用いるとの指針を示している[2]。このように、自動運転が実用化された場合に事故が減少することについて合意が形成されつつあるが、どのような事故が減少し、引き続き発生するのはどのような事故形態であるのかは明確ではない。

2. 研究の目的

ドライブレコーダによる実事故とヒヤリハットの映像をもとに、両者を隔てる変数・閾値とそれに至った人的要因を統計的に明確にする。これにより事故発生要因を明確にする。

これまでの我々のドライブレコーダ映像による分析では、衝突被害軽減ブレーキにおいて、最も回避困難なのは急な飛び出しをとまなう自転車の出会い頭事故である。どのような事故が衝突回避できないかを明確にし、ビジョンゼロのための基礎資料とする。

3. 研究の方法

愛知県庁および愛知県タクシー協会と連携して、実事故のドライブレコーダの映像を収集し、そのデータ数は1000件を超えている。このデータベースから自転車の出会い頭事故を抽出し、ドライバと自転車乗員がどのような行動を経て衝突に至ったかを分析する。

つぎに、ドライブレコーダからみられる代表的な事故について、ドライビングシミュレータによる再現を行い、緊急時のドライバの応答を調べた。さらに、ドライブレコーダの全ての事故をPC-Crashにて再現し、四輪車に衝突被害軽減ブレーキを取り付けたときの衝突回避について調べた。

4. 研究成果

(1) ドライブレコーダ事故分析

四輪車対自転車の出会い頭事故について、発生要因の解明を目的として研究を行った。ドライブレコーダの事故データを収集し、ヒヤリハットとの比較から、事故発生を決める3つのモデルを構築した：

(i) 運動学モデル 四輪車が自転車と事故回避する条件を考える。ドライバから自転車乗員が視認可能となる時刻 t_a における四輪車前端と自転車走路との距離を D_a 、ブレーキ反応時間を BRT 、減速度を a とすると、四輪車の制動によって衝突を回避する条件は次式で与えられる。

$$D_a > V_a \cdot BRT + \frac{V_b^2}{2a} \quad (1)$$

ブレーキ反応時間における四輪車の速度変化が小さいとして ($V_a = V_b$)、式(1)の両辺を V_b で割ると、衝突余裕時間TTCを用いて

$$TTC_a > BRT + \frac{V_b}{2a} \quad (2)$$

となる。上式が自転車が視認可能となった時刻 t_a での衝突回避条件となる。同様に、制動開始時刻 t_b での衝突回避条件は次のようになる。

$$TTC_b > \frac{V_b}{2a} \quad (3)$$

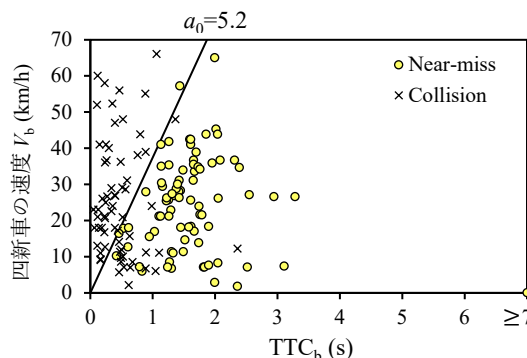


図1 TTCと速度の関係

図1に制動開始時刻における四輪車速度とTTCの関係プロットしたものである。式(3)より四輪車の速度15 km/hを超えると、式(3)によって事故とヒヤリハットは分類でき、その時のブレーキ減速度は 5.2 m/s^2 であった。

(ii) 確率モデル 事故とヒヤリハットを表す特徴的な変数として、TTC, BRT, 自転車視認可能時刻での四輪車加速度 A_a を説明変数として選択し、次式に示すロジスティック回帰を行った。

$$\ln [P/(1-P)] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n \quad (4)$$

表1に説明変数の係数を示す。BRT、自転車が視認可能になったときのTTCが衝突発生に有意であり、BRTが大きく、TTCが小さいほど事故の発生確率が高い。

(iii) 決定木モデル

決定木モデルをもとに、変数の階層的な意味を検討した。その結果、衝突余裕時間が衝突環境を与え、その環境下でブレーキ反応時間が衝突発生を決定することが示された。

(2) ドライビングシミュレータ実験

名古屋大学の没入型ドライビングシミュレーター(図2)を使用して、ドライブレコーダの事故を再現し、ドライバーの応答を調べた。信号のない交差点で、自転車が助手席側から横切るもの(N1, N2)と、運転席側から横切るもの(F1)からなる3つのシナリオを作成した。

衝突した場合には回避できた場合に比べて、四輪車の速度が高く、TTCが小さく、ブレーキ反応時間が長く、四輪車加速度が大きい。これはドライブレコーダの結果と傾向が一致した。

ドライバーが自転車を認知した時刻におけるTTCを用いて、回避操作を分類すると、TTCが大きくなるほど、ブレーキの割合が増加し、操舵の割合が減少した。ただし、本実験では操舵のみによって、事故回避がなされた例はなかった。TTCが小さい場合には、回避操作をしない例も多くみられた。

図3に示すように、自転車に対するドライバーの注視点のなす角(視線角度)が大きくなるほど、認知に要する時間が大きくなった(これは、BRTが視線角度に依存することを意味している)。そのため、運転席側から自転車が横断する場合には、自転車に対する視野角が大きくなるので、助手席から自転車が走行する場合よりも、自転車の認知に要する時間が長くなり、ドライバーの反応時間が大きくなる。運転席側からの自転車が横断するとき、BRTが長いことはドライブレコーダでも確認された。

(3) 衝突被害軽減ブレーキの有効性の検討

ドライブレコーダの事故データをPC-Crashで再現した後、四輪車に衝突被害軽減ブレーキを取り付け、自転車との衝突発生について調べた。センサーの視野角(FOV)、センシング時間(SDT)、ブレーキ油圧チャージ時間(BPT)とし、TTCが1.4s未満になったときに制動を開始するものとした。最大減速度は乾燥路0.8g、湿潤路0.5gとし、FOV角度、制動時間遅れDT(=SDT+BPT)を変化させて、衝突回避の有無を比較した。

図4に衝突被害軽減ブレーキのセンサー別の衝突回避の有無を示す。現行の衝突被害軽減ブレーキよりも、センサー視野を拡大することが事故回避に有効であった。また、衝突被害軽減ブレーキはドライバーの長い反応時間に起因する事故には有効であったが、自転車が交差点から飛び出す事故では、理想的な性能の衝突被害軽減ブレーキであっても回避できないことがわかった。衝突被害軽減ブレーキはドライバーの制動遅れに起因するものには有効であるが、自転車の飛び出しに起因するTTCの小さい事故については有効性が限定されている。この結果は、ドライバーの運転ミスが発生しない自動運転車でも、自転車との出会い頭事故が発生し続けることを示唆している。

表1 事故発生の有無を目的変数とするロジスティック多項式の回帰係数

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P値
切片	-1.6829		$p < 0.001$
TTC _a	-0.7308	-2.3431	$p < 0.001$
BRT	4.9356	3.1009	$p < 0.001$
A _a	0.3910	0.3990	0.2083



図2 ドライビングシミュレータ

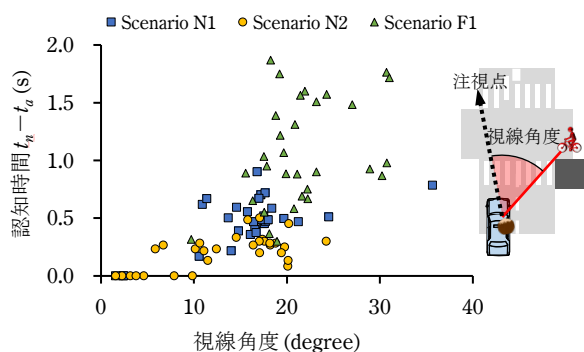


図3 ドライバーの視線角度と認知までの時間

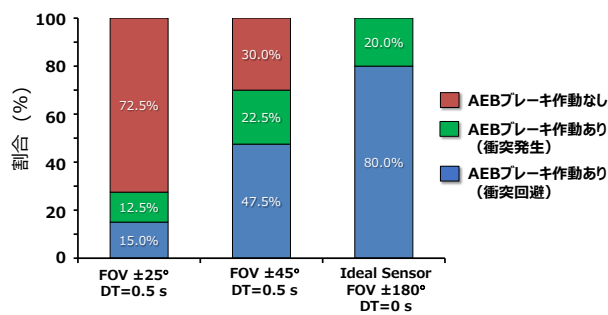


図4 衝突被害軽減ブレーキのセンサー性能と衝突回避

<引用文献>

- [1] 国土交通省自動車局 自動運転車の安全技術ガイドライン, 平成30年9月
- [2] 国土交通省自動車局 自動運転における損害賠償責任に関する研究会報告書, 平成30年3月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Zhao Yuqing, Mizuno Koji, Aoshima Yuhei, N.Kanianthra Joseph, Inagami Makoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Driver Responses to Cyclists Crossing from Near and Far Side in Driving Simulator Experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automotive Engineering	6. 最初と最後の頁 89 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20485/jsaeijae.13.2_89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Terashima Takaaki, Kato Kenshiro, Oga Ryo, Takubo Nobuaki, Mizuno Koji	4. 巻 166
2. 論文標題 Experimental study on car collisions with bicycles equipped with child seats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Accident Analysis & Prevention	6. 最初と最後の頁 106535 ~ 106535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aap.2021.106535	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Wu He, Han Yong, Pan Di, Wang Bingyu, Huang Hongwu, Mizuno Koji, Thomson Robert	4. 巻 9
2. 論文標題 The Head AIS 4+ Injury Thresholds for the Elderly Vulnerable Road User Based on Detailed Accident Reconstructions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbioe.2021.682015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 趙 雨晴、水野幸治	4. 巻 75
2. 論文標題 ドライブレコーダを用いた四輪車対自転車の出会い頭事故の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会誌	6. 最初と最後の頁 96-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wu He, Han Yong, Wang Bingyu, Pan Di, Huang Hongwu, Mizuno Koji	4. 巻 27
2. 論文標題 The difference in the kinematic and injury risk of cyclists between normal and emergency avoidance postures in vehicle collisions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Crashworthiness	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13588265.2022.2074633	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuqing Zhao, Daisuke Ito, Koji Mizuno	4. 巻 20
2. 論文標題 AEB effectiveness evaluation based on car-to-cyclist accident reconstructions using video of drive recorder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Traffic Injury Prevention	6. 最初と最後の頁 100-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15389588.2018.1533247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinya Murano, Chunyu Kong, Koji Mizuno, Daisuke Ito, Daisuke Nakane, Asei Wakabayashi	4. 巻 21
2. 論文標題 Analysis of kinematic behavior of pedestrians/cyclists in vehicle collisions using impulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Traffic Injury Prevention	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15389588.2020.1745	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yuqing Zhao, Koji Mizuno
2. 発表標題 Cyclist behavior to avoid vehicle collisions using drive recorder videos
3. 学会等名 10th Annual International Cycling Safety Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀木 誠大、水野 幸治、若林 亜星、細川 俊夫、吉田 綾衣梨
2. 発表標題 力積を用いた自動車衝突における歩行者の路面落下挙動の予測
3. 学会等名 自動車技術会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水野幸治
2. 発表標題 車対歩行者事故における路面衝突の研究動向
3. 学会等名 日本交通科学学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青島侑平
2. 発表標題 ドライビングシミュレータを用いた 四輪車対自転車の出会い頭事故要因解析
3. 学会等名 自動車技術会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuqing Zhao, Daisuke Ito, Koji Mizuno, Chunyu Kong
2. 発表標題 AEB effective evaluations by accident reconstructions using videos of drive recorders in perpendicular and turning car-to-cyclist collisions
3. 学会等名 IRCOCI Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮原輝貴, 趙 雨晴, 伊藤大輔, 水野幸治
2. 発表標題 ドライビングシミュレータによる四輪車対自転車の出会い頭事故再現
3. 学会等名 日本交通科学学会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	青木 宏文 (Aoki Hirofumi) (20713093)	名古屋大学・未来社会創造機構・特任教授 (13901)	
研究分担者	一杉 正仁 (Hitosugi Masahito) (90328352)	滋賀医科大学・医学部・教授 (14202)	
研究分担者	伊藤 大輔 (Ito Daisuke) (90432244)	関西大学・社会安全学部・教授 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------