様　式　C－19、F－19－1、Z－19　(共通)

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 29 年　 8 月 26 日現在

機関番号：８２６５５
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2013～2016
課題番号：２５４２００４２

研究課題名（和文）自転車乗員における行動特性の究明と生体力学的研究

研究課題名（英文）Clarification of behavior and biomechanics of cyclist in traffic accidents

研究代表者
松井　靖浩（Matsui, Yasuhiro）

独立行政法人交通安全環境研究所・その他部局等・主席研究員

研究者番号：００４２６２３０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,800,000円

研究成果の概要（和文）：交差点における自転車乗員の行動特性を分析し，交通安全対策を行うための基礎資料を作成した．車両と自転車との危険な接近状況，車両衝突速度と自転車乗員における被害との関係を明確にすることで，自転車乗員検知型被害軽減装置の技術要件を導出するための基礎資料を作成した．更に，自転車乗員用ヘルメットの装着効果を明確にした．

研究成果の概要（英文）：The mechanism of accidents involving cyclists was clarified from the investigation of cyclist behavioral characteristics and near-miss situations between cars and bicycles, who would have a higher potential to meet a car-to-cyclist accident by low visibility due to obstructions. Then, the relationship between the car impact velocity and fatality risk of cyclists was defined from real-world accident data. It was evident that a 10 km/h reduction in impact velocity could mitigate the fatality risk of cyclists in cases with impact velocities of 40 km/h or more. When the impact velocity was 30 km/h or less, the fatality risks of cyclists were 1% or less. If active safety devices that use sensors for cyclist detection can operate appropriately and reduce the impact velocities, cyclist injuries will be greatly mitigated. Finally, the effect of wearing a helmet was assessed for protection of the cyclist’s head.

研究分野：衝撃生体工学

キーワード：自転車乗員　頭部傷害　被害軽減ブレーキ　ヘルメット

１．研究開始当初の背景

交通統計によると，平成 23 年の国内の交通事故死亡者数（4,612 人）のうち，交通弱者（歩行者および自転車乗員）の死亡者数が 48%を占める（2,314 人）．その中でも歩行中の死亡者が最も多く，頭部は歩行者の死亡事故の中で最も頻度の高い受傷部位である．そこで，我が国では車両が衝突した場合でも歩行者の頭部を保護する目的で，2005 年からボンネットに対する歩行者頭部保護試験を実施している．試験では，子供と大人の頭部を模擬した衝撃子（インパクタ）をそれぞれボンネットに衝突させ，車両構造のエネルギー吸収によって安全性を確保している．

一方，我が国の自転車の保有台数は増加傾向にあり，東日本大震災が起きてからは自転車を利用する人も尚一層増えている状況にある．平成 20 年の道路交通法改正により，自転車は原則として車道を通行することが義務付けられたが，自転車専用道路などインフラ整備はまだ途上にあり，車との接触事故が増えることも危惧される．自転車乗員の死亡事故に着目すると，頭部が最も頻度の高い受傷部位である．一方，従来，自転車乗員の頭部傷害に関する知見は少なく，傷害発生メカニズムも充分解明されておらず，自転車乗員に関する保護試験は存在しない．

２．研究の目的

実際の交通事故の特徴を把握し，自転車乗員の行動特性を明確にすることで，自転車乗員事故低減に向けた方策を提案し，更に前方の自転車乗員を検知し自動ブレーキを作動させる“ぶつからない車”の予防安全装置要件を開発するための新たな指標を提案する．

３．研究の方法

3.1. 自転車乗員の行動特性

東京都の一つの市（M 市と呼称）を対象として，信号機のない交差点における自転車の走行状況を分析した．M 市において，2013 年（1 月～12 月）に発生した自転車が関与する交通事故は 250 件であった．そのうち，第 1 当事者（過失割合の高い当事者）の 58%は車両であり，朝及び夕方の通勤・通学時間帯に，区市町村道の交差点を出会い頭の形態で衝突する事例の多いことが判明した．そこで，本節では，朝の通勤時間帯に信号機のない交差点を通行する自転車乗員の行動特性を把握することとした．

対象とした交差点は，M 市において自転車が関与する交通事故が多発した交差点の中から選定した．その交差点周辺は商業店舗と住宅が混在し，自転車・歩行者・車両が相互に走行・通行する場所である．調査対象の交差点の概略を図 1 に示す．この交差点は，南北の一方通行（車両は北から南方向への一方向）と東西の優先道路（車両は双方向）が交差する．この交差点から北側へ徒歩約 10 分の距離に鉄道の駅があることから，朝の通勤時間帯には多くの自転車が南から北方向へ移動する．本調査では，南から交差点へ進入する自転車の走行状況について平日の朝 60 分間を調査した．分析では，図 1 に示す通り，路面を 4 つのゾーンに分け，自転車乗員の走行位置を調査した．さらに，交差点の白破線通過時を交差点進入時とし，その進入時の自転車の走行速度も調査した．

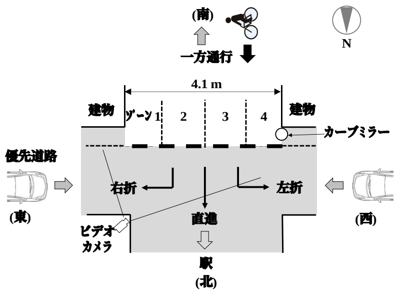

図 1 自転車の走行状況を調査対象とした交差点

3.2. ニアミス事象における車両対自転車の接近状況

3.2.1. ニアミスデータの有効性

1999 年から 2003 年に日本で発生した四輪車対自転車乗員の死亡事故では，車両が直進中に自転車乗員が死亡した事例が青壮年では 83%，高齢者では 90%と大部分を占めることが報告されている．そこで，車両が直進する事例に着目し，単路において車両の移動方向に対し自転車が横断する場合を「分類 A」，交差点において車両の移動方向に対し自転車が横断する場合を「分類 B」，車両の移動方向に対し自転車が平行に移動する場合を「分類 C」とした（図 2）．

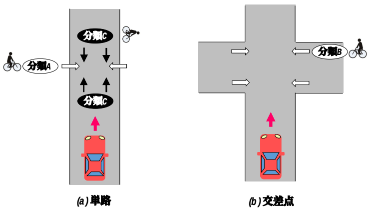

図 2 車両と自転車との接近パターン

公益社団法人自動車技術会が保有するヒヤリハットデータベースを使用し，ニアミスデータの有効性を調査した．

3.2.2. 衝突予測時間 (TTC) の推定

車両が直進中，自転車がその車両前方を横断するニアミスデータ 166 件を使用し，衝突予測時間（Time-to-collision: TTC）を算出した．TTC は，ドライバーが自転車に気づかずブレーキをかけない最悪の状況を想定し，車両と自転車との距離（L），車両走行速度（V）を用いて次式より算出した．

$$TTC = L / V$$ ・・・式 (1)

車両走行速度は，ドライバーが急ブレーキを踏む直前の速度情報を使用した．車両と自

転車との危険な接近状況を解明するため，図3に示す通り，自転車の飛び出しパターンを4つに区分する：(1) 障害物なし，(2) 建物の陰からの飛び出し，(3) 駐車車両の陰からの飛び出し，(4) 移動車両の陰からの飛び出し．

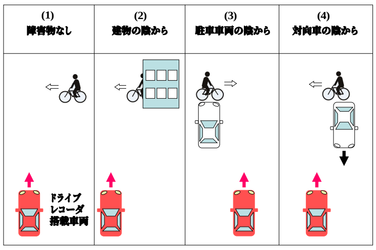

図3 自転車の４つの飛び出しパターン

3.3. 車両衝突速度と自転車乗員の傷害との関係

3.3.1. 車両走行速度と車両衝突速度

実際の車両と自転車との交通事故では，車両の運転者が危険を認知しブレーキをかけた場合，車両の速度が減速し，自転車に衝突する．その衝突時の車両の速度を車両衝突速度と呼称する．公益財団法人交通事故総合分析センター（ITARDA）が所有する1993年から2013年までの自転車乗員が関与した事故データ（ミクロデータ）を使用し，セダンのみを解析対象とした．

3.3.2. 車両衝突速度と死亡率

2009年から2013年のITARDAマクロデータの中で，前節で求めた車両走行速度と衝突速度の近似式を用いて，マクロデータにおける車両走行速度から車両衝突速度を推定した．

3.4. ヘルメット装着による自転車乗員頭部の保護効果

3.4.1. 車両衝突における頭部傷害値

本実験では，車両前面において特に剛性の高いAピラーに頭部が衝突した時の頭部傷害値を計測した．

3.4.2 路面衝突における頭部傷害値

頭部インパクタ単体，並びにヘルメットを装着した頭部インパクタを路面へ衝撃させた．

4．研究の成果

4.1. 自転車乗員の行動特性

通行した自転車の台数は，合計250台（人）であった．調査対象すべての自転車の平均走行速度は3.09 m/sであった．交差点通過後の進行方向については，表1に示す通り，直進187人（75%）が最も多く，次いで左折57人（23%），右折6人（2%）であった．自転車の平均走行速度を進行方向別に比較すると，左折が最も速く（平均3.14 m/s），次いで直進（平均3.11 m/s），右折（平均2.18 m/s）の順であった．

交差点における進行方向毎の自転車の平均走行速度について，交差点進入時の安全確認の有・無別に分析した結果を図4に示す．250人の中で，交差点進入時に左右確認をしない自転車乗員は119人（48%）であった．自転車が直進する場合，安全確認をしない乗員の自転車走行速度（平均3.31 m/s）は，安全確認をした乗員の自転車走行速度（平均2.98 m/s）と比べ有意に速かった．

図5に示す通り，自転車の進行方向をゾーン別に分析したところ，最も人数の多いゾーン4の場合，左折（56人）と直進（53人）の差は3人であった．これに対し，ゾーン3を通行する自転車のほとんどは直進（104人）しており，左折した自転車乗員は1人のみであった．ゾーン3（105人）とゾーン4（110人）を通行した自転車乗員は全体の86.0%を占め，多くの自転車が道路の左側を走行していることが分かった．この交差点の南西角には建物があるため，交差道路を行き交う車両，自転車，歩行者が自転車乗員には死角となり，交差点進入直前まで認識が困難な環境であった．特にゾーン4（道路の左路側帯）を走行する自転車乗員は，交差点直前まで交差する車両等を認識することはできない．たとえば，ゾーン4を走行する自転車が，走行速度を保持した状態で安全確認せずに交差点に進入する際，交差道路を電気自動車や自転車が接近した場合，いずれも走行音を伴わないため，出会頭で衝突する可能性が予想される．尚，本調査対象の交差点において，北から南方向の一方通行によりカーブミラーが設置されているが，南から北方向への移動にはカーブミラーは設置されていない．朝の通勤・通学時，駅に向かう南から北方向への自転車が多く，特にこのような見通しの悪い交差点では，自転車専用カーブミラーの新たな設置などの対策が重要と考える．

表1　交差点を通過した進行方向毎の自転車の数

方向	自転車 (人)	構成比 (%)	自転車 平均速度 (m/s)
直進	187	75	3.11
左折	57	23	3.14
右折	6	2	2.18
合計	250	100	3.09

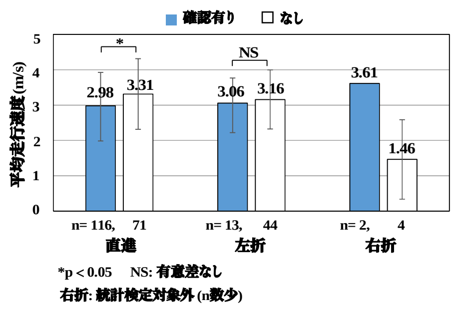

図4　交差点を通過時の進行方向毎の自転車の安全確認の有無と平均走行速度

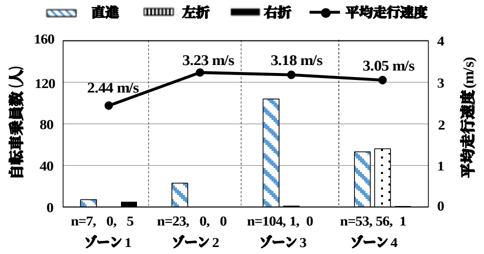

図 5　4 つのゾーン毎の進行方向別の自転車の乗員数と平均走行速度

4.2.　ニアミス事象における車両対自転車の接近状況

4.2.1.　ニアミスデータの有効性

車両と自転車との接近状況について，自転車乗員が死亡した交通事故 2,818 件と，ニアミス事象 229 件を比較した結果を表 2 に示す．交差点の直前を車両が移動し自転車が横断する分類 B がニアミス事象（62.9%），死亡事故（64.1%）ともに最も多く，両構成率に有意な差はなかった．次に多かったのは，ニアミス事象（27.5%），死亡事故（22.2%）ともに単路を車両が移動し自転車が横断する分類 C だが，両構成率に有意な差はなかった．このように，ニアミス事象・死亡事故ともに，車両が直進し，車両の前方を自転車が横断する事象が多く，接近形態も違いがないことが判明した．この結果から，ニアミスデータは事故状況を把握する上で活用可能であると考えられる．

表 2　ニアミス事象及び死亡事故における接近パターン毎の自転車乗員数

接近パターン	ニアミス事象		死亡事故		p値
	自転車 (人)	構成比 (%)	自転車 (人)	構成比 (%)	
A	22	9.6	386	13.7	0.072
B	144	62.9	1806	64.1	0.704
C	63	27.5	626	22.2	0.054
合計	229	100	2818	100	-

4.2.2.　衝突予測時間 (TTC) の推定

ニアミスデータをそれら 4 つに区分した時の TTC，車両と自転車との距離，車両走行速度の各平均値を図 6 に示す．自転車が建物の陰から飛び出す時の TTC（平均 1.9 秒，事例数 104 件），移動車両の陰から飛び出す時の TTC（平均 1.9 秒，事例数 5 件）は，駐車車両の陰からの飛び出す時の TTC（平均 2.2 秒，事例数 32 件），障害物なしの状況で飛び出す時の TTC（平均 3.3 秒，事例数 25 件）と比べて短かった．自転車が物陰から飛び出す時の TTC が短くなる要因として，車と自転車との間の距離が短いことが予想される．本結果より，自転車の交通安全対策として，車両運転者の視界確保が必要と考える．また近年，自動車に装着されたセンサが歩行者や自転車乗員を検知し，警報やブレーキ制御をかける安全装置が交通事故防止に有効と考えられ，一部実用化されている．このような予防安全装置の開発が進み，将来，こうした装置の保護性能を詳細に評価することになった場合，障害物の有・無という条件が検知結果に大きく影響を及ぼすものと考える．例えば，厳しい接近条件の例として，建物の陰からの飛び出しを含めた本節における分析結果が，それら装置の開発や保護性能評価手法に反映されることが期待される．

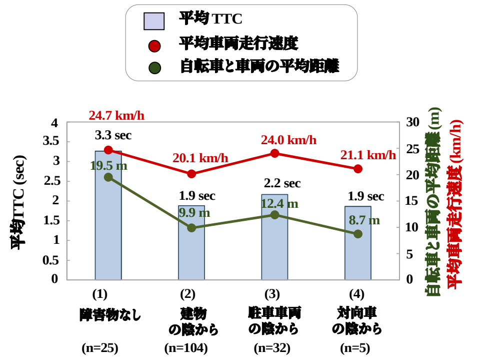

図 6 飛び出しパターン毎の平均 TTC，平均車両走行速度，自転車と車両の平均距離

4.3.　車両衝突速度と自転車乗員の傷害との関係

4.3.1.　車両走行速度と車両衝突速度

傷害程度別に車両走行速度と車両衝突速度との関係を図 7 に示す．本結果から，重傷事故における車両衝突速度は車両走行速度の 0.77 倍，死亡事故では車両走行速度の 0.91 倍であると推定された．

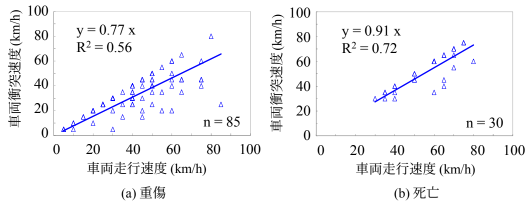

図 7　車両走行速度と車両衝突速度との関係（セダン）

4.3.2.　車両衝突速度と死亡率

表 3 に，セダン並びに軽乗用車が衝突した時の衝突速度と自転車乗員の重傷率，死亡率の関係（推定）を示す．本結果から，車両衝突速度 30 km/h 以下でセダン・軽乗用車と衝突する場合，自転車乗員の重傷率は 18%以下となり，死亡率は 1%以下となることが判明した．車両衝突速度 40km/h 以上では，車両衝突速度を 10 km/h 低減させると，重傷率・死亡率の低下が可能であることが示された．

表 3　車両衝突速度と死亡率の関係

衝突速度 (km/h)	重傷率 (%)		死亡率 (%)	
	セダン	軽乗用車	セダン	軽乗用車
10	4	5	0	0
20	9	10	0	0
30	17	18	0	1
40	29	28	2	3
50	40	43	7	7
60	52	-	16	13
70	-	-	30	25

4.4. ヘルメット装着による自転車乗員頭部の保護効果

4.4.1. 車両衝突における頭部傷害値

頭部インパクタ単体，並びにヘルメットを装着した頭部インパクタを車両へ衝撃させた場合の計測 HIC を表 4 に示す．頭部インパクタ単体を衝撃させた場合の HIC は 4000 を超えていた．HIC 4000 は重篤以上の頭部傷害となる確率が 100%となり，自転車乗員がこのような剛性の高い箇所に頭部を衝撃させた場合，頭蓋骨は骨折し，脳が損傷する可能性が極めて高くなることが推察される．頭部インパクタにヘルメットを装着させた場合，HIC は 2057～2366 となり，重篤以上の頭部傷害となる確率は約 50%に相当することから，頭部インパクタ単体に比べて傷害確率は減少した．

表 4　A ピラー衝撃実験により計測された HIC

HIC及び HIC減少率 / Aピラー打撃位置	HIC			HIC減少率 (%) ((a)-(b))/(a) *100
	頭部インパクタ単体 (a)	ヘルメット装着 (b)	減少 (a)-(b)	
(1) 運転席側下部	6529	2297	4232	64.8
(2) 運転席側上部	5147	2267	2880	56.0
(3) 助手席側下部	4530	2057	2473	54.6
(4) 助手席側上部	4937	2366	2571	52.1
平均	5286	2247	3039	56.9
標準偏差	751	115	705	4.8

4.4.2　路面衝突における頭部傷害値

頭部インパクタ単体，並びにヘルメットを装着した頭部インパクタを路面へ衝撃させた場合の計測 HIC を表 5 に示す．頭部インパクタ単体を衝撃させた場合の HIC は 6525（重篤以上の頭部傷害となる確率 100%）であったが，ヘルメットを装着させた場合の HIC は 569（重篤以上の頭部傷害となる可能性は極めて低い）となった．自転車乗員用ヘルメットは，路面に対する衝撃においても頭部保護に高い効果のあることが判明した．

表 5　路面への衝撃実験により計測された HIC

HIC及び HIC減少率 / Aピラー打撃位置	HIC			HIC減少率 (%) ((a)-(b))/(a) *100
	頭部インパクタ単体 (a)	ヘルメット装着 (b)	減少 (a)-(b)	
路面	6525	569	5956	91.3

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

①Y. Matsui and S. Oikawa, Risks of serious injuries and fatalities of cyclists associated with impact velocities of cars in car-cyclist accidents in Japan, Stapp Car Crash Journal, Vol. 59, pp. 385 -400 (2015)

②半田修士，バハルディン　ビン　オマル，松井靖浩，及川昌子，水戸部一孝，自転車運転シミュレータの開発と高齢者の交通事故誘発要因の検討, 日本交通科学学会誌, Vol. 15 No.3 pp.44-51 (2015)

③Y. Matsui, S. Oikawa and M. Hitosugi, Analysis of car-to-bicycle approach patterns for developing active safety devices, Traffic Injury Prevention, Volume 17 No. 4 pp. 434-439 (2016)

④S. Oikawa, Y. Matsui, A. Wakabayashi, S. Gomei, H. Nakadate, S. Aomura, Severity of cyclist head injuries caused by impacts with vehicle structure and road surface, Special Issue on The 8th Asian-Pacific Conference on Biomechanics (Journal of Biomechanical Science and Engineering), Vol. 11 No.2 (2016)DOI: 10.1299/jbse.15-00613

⑤S. Oikawa, T. Hirose, S. Aomura and Y. Matsui, Traffic accidents involving cyclists identifying causal factors using questionnaire survey, traffic accident data, and real-world observation, Stapp Car Crash Journal, Vol. 60, pp. 183 -198 (2016)

⑥及川昌子，中楯浩康，上野貴浩，青村茂，松井靖浩，事故データおよび頭部有限要素モデルを用いた高齢自転車乗員事故様態の解明，ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 19 No.1, pp. 13 -23 (2017)

⑦半田修士，モハンマド　ズルファデュリ，松井靖浩，及川昌子，水戸部一孝，自転車運転シミュレータを用いた高齢自転車乗員の横断行動の計測と交通事故誘発リスクの検討, 日本交通科学学会誌, Vol. 16 No.2 pp.19-28 (2016)

⑧Y. Matsui, S. Oikawa and M. Hitosugi, Features of fatal injuries in older cyclists in vehicle–bicycle accidents in Japan, Traffic Injury Prevention, accepted (2017)

〔学会発表〕（計 4 件）

①松井靖浩，交通弱者における頭部保護の取り組み，第 52 回日本交通科学総会・学術講演会　パネルディスカッション「頭部傷害低減に向けた新技術」，東京都立産業技術高等専門学校荒川キャンパス　（2016）

②松井靖浩，Current accident situations and possible countermeasures for vulnerable road users -integrated attach for cyclist protection-，FISITA Executive track，BEXCO Busan, Korea (2016)

③松井靖浩，交通弱者保護のための新たな取り組み，一般社団法人日本人間工学会関東支部 講演会＆見学会，交通安全環境研究所 (2017)

④若宮智明, 山本創太, 松井靖浩, 及川昌子, 高齢歩行者の自動車事故シミュレーションによる頭部傷害評価，日本機械学会 第 29 回バイオエンジニアリング講演会 (2017)

６．研究組織

(1)研究代表者

松井靖浩（MATSUI YASUHIRO)
交通安全環境研究所・自動車安全研究領域・主席研究員
研究者番号：00426230

(2)研究分担者

水戸部一孝（KAZUTAKA MITOBE)
秋田大学・理工学研究科
研究者番号： 60282159

(3) 研究分担者

山本創太（SOUTA YAMAMOTO）
芝浦工業大学・工学部
研究者番号：80293653

(4) 研究分担者

一杉正仁（MASAHITO HITOSUGI）
滋賀医科大学・医学部社会医学講座
研究者番号：90328352