

自動車ドライバーの視認行動に着目した自転車と自動車の出会い頭事故に関する研究*

An Analysis of Traffic Accidents between Bicycles and Motor Vehicles Focused on Drivers' Visual Behavior*

渡邊竜太**・鈴木美緒***・屋井鉄雄****

By Ryuta WATANABE**・Mio SUZUKI***・Tetsuo YAI****

1. はじめに

近年、自転車と自動車が接触する事故数が増えている。中でも無信号交差点での出会い頭事故が最も多く、特に細街路から幹線道路へ出る自動車と、幹線道路沿いの歩道を走行し、自動車側から見て左方向から交差点に進入する自転車が接触する形態が多い¹⁾²⁾。その要因として、交差点の構造により自動車から自転車を視認しづらい上に、幹線道路に左折して合流するために右方向を注視しがちになるため、特に左方向からの自転車を発見するのが遅れてしまうことが挙げられる。これに対し、現状ではカーブミラーや停止線を設けるなどの対策が取られているが事故は減少しておらず、より効果的な対策が求められている。しかし、そのような事故防止策を扱う研究は非常に少ない³⁾⁴⁾。

そこで本研究では、こうした事故の防止策の検討に資するべく、ドライバーが自転車を発見するのが遅れることで発生する出会い頭事故について、それに係わる自転車を抽出することを目的とし、あるモデル交差点を対象とした実測調査を基に、自転車・自動車の走行特性およびドライバーの視線行動のモデル化を行ない、出会い頭事故発生に係わる自転車の走行特性を分析した。

2. 対象とする出会い頭事故の簡易モデル化

(1) 出会い頭事故要因の抽出

細街路から幹線道路へ出ようとする自動車側から見て、左側から歩道を走行して進入する自転車と衝突する事故が起こる原因を(財)交通事故総合分析センターによる平成19年度交通事故例調査・分析報告書の項目と対応させ、これを自動車側の視点に立ち、交差点に進入

*キーワード: 自転車交通, 出会い頭事故, 視認行動, 有効視野

**正員, 修(工), 東京急行電鉄株式会社(渋谷区南平台5-6, Tel: 03-3477-0109)

***正員, 博(工), 財団法人運輸政策研究機構(港区虎ノ門3-18-19, Tel: 03-5470-8415, Fax: 03-5470-8419)

****正員, 工博, 東京工業大学 大学院総合理工学研究科(横浜市緑区長津田町4259, Tel: 045-924-5615, Fax: 045-924-5675)

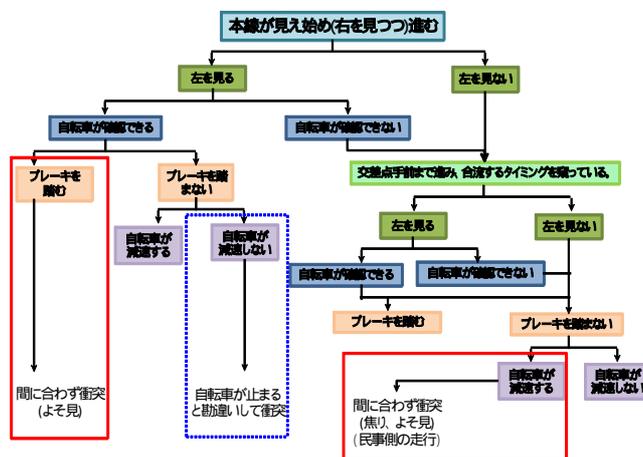


図 - 1 出会い頭事故発生の要因

するまでの挙動から、事故の起こりうる状況を考察したところ、その現象は、2種類に集約される。ひとつは停止線で一旦停止し、低速で交差点に進入しても、自動車が本線への合流を気にして右方向を注視してしまう事で、自転車を発見するタイミングが遅れて事故につながるもの、あるいは、本線の自動車に譲られるなどして「早く合流しなければ」と焦り、左側を注視せずに交差点に進入し、事故につながるものであり、「自転車の発見が遅れて事故に至るケース」といえる(図-1の赤太枠)。

もうひとつは停止線で一旦停止し、低速で交差点に進入しても、自転車が止まるものと思いつくことにより、減速するタイミングが遅れ、事故につながるものである(図-1の青点線枠)。

本研究では、細街路から交差点に進入するドライバーが、合流する幹線道路と左右から交差点に進入する歩行者や自転車の両方を確認しなければならず、左右確認の視認行動や自転車の速度、位置により、左方向の注視がおろそかになる時間帯が生じることで発生する事故について、分析を行なうこととした。

(2) 見落とし許容時間の導入

よそ見による発見遅れに着目し、見落とし許容時間 T_a を「本来、ドライバーが左方向を向いていれば自転車を発見できる瞬間から、実際に自転車を発見する瞬間までの時間のうち、自動車が発見した瞬間にブレーキを

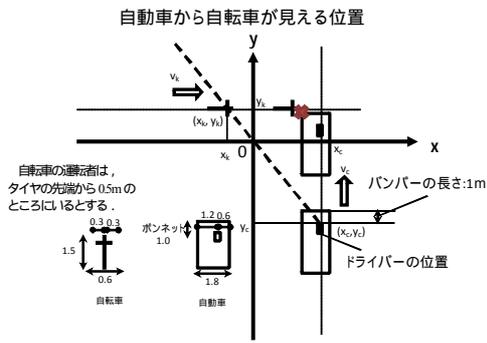


図 - 3 自転車と自動車の位置関係

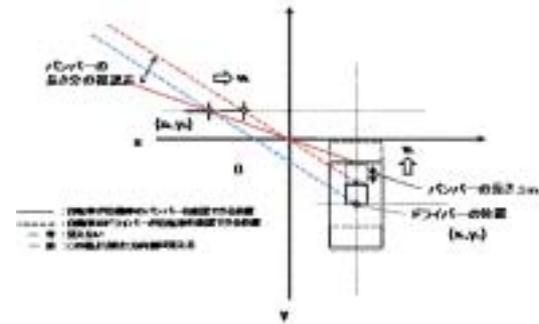


図 - 4 バンパーの長さによる視認差

なければ衝突を回避できる最大時間」と定義する。

簡単のため、図 - 3 のように座標上に自転車と自動車一台ずつ存在し、お互いが視認できる位置関係にあり、自転車と自動車が直線上に等速で進むものとする。このとき、互いの存在を認識できる瞬間を $t=0$ 、自動車ドライバーが本来自転車を視認しなければならない瞬間からブレーキを踏む瞬間までにかかる時間を t_c [sec]、自転車の停止時間を T_c [sec] とすると、 $t=t_c+T_c$ での位置は

$$\text{自転車の位置； } (x_k + V_k(t_c + T_c), y_k)$$

$$\text{自動車の位置； } (x_c, y_c + v_c t_c + L_c)$$

と表せる。このとき、図 - 4 より

$$x_k = \frac{x_c}{y_c} y_k$$

の関係が成り立つ。また、図 - 5 に示すように衝突する可能性のある位置には幅があることを考慮すると、自転車と自動車が衝突するときには、 x 軸方向について

$$x_k + v_k(t_c + T_c) - 0.5 \geq x_c - 1.2$$

$$x_k + v_k(t_c + T_c) + 1.0 \geq x_c - 0.6$$

y 軸方向について

$$y_k = y_c + v_c t_c + L_c - 1.0$$

の位置関係が成り立ち（自動車の側面に自転車が衝突す

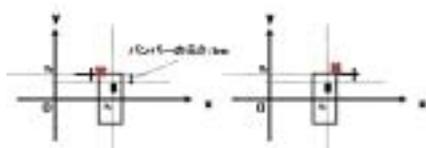


図 - 5 自転車と自動車が衝突する位置関係

ることは考慮しない）、これらの関係式から

$$\frac{x_c(1-L_c) - 1.2y_c - T_c y_c v_k}{y_c v_k + x_c v_c} \leq t_c \leq \frac{x_c(1-L_c) + 2.1y_c - T_c y_c v_k}{y_c v_k + x_c v_c}$$

が導かれる。なお、 L_c とは自動車の停止距離を表す

$$(L_c = 0.75v_c + 0.073v_c^2)$$

。これに、自動車速度 $v_c = 5.21$ [km/h] (後述の観測調査の結果による)、走行する自転車の速度 $4.0 \leq v_k \leq 12.0$ (歩道走行であることを考慮) を代入することで、自転車の位置ごとの見落とし許容時間 T_a [sec] を算出した。

その結果、ここで仮定した中でも高速走行である $8 \sim 12$ km/h 程度で交差点に進入してくる自転車を対象とした場合、この見落とし許容時間の最小値は表 - 1 のように求められ、0.8 秒程度の自動車のドライバーの自転車の見落としによっても出会い頭事故が起きる可能性があることが確認された。

3. ドライバーの視認挙動を考慮した出会い頭事故の簡易モデル化

(1) ドライバーの視認挙動調査

東京都品川区の東急大井町駅前通り（都道 420 号 鮫洲・大山線）において、ビデオ観測による調査を行なった。観測対象地の特徴として、細街路（幅員 5.4m）の自動車や歩道走行をする自転車の交通量が非常に多く、また、マンションやビル等により左右（特に左側）の見通しが悪いことが挙げられる（図 - 6）。また、警視庁により発表されている事故発生マップ³⁾において事故が多発しているエリアである。調査期間は、2009 年 12 月 22 日から 2010 年 1 月 14 日の期間のうち 7 日間（表 - 2）、観測時間帯は、死傷事故件数が多いとされる午前 8 時から 9 時までの 1 時間とした。

この調査により得られた、自動車の走行位置及びドライバーの視線移動回数、視線開始方向（停止線の位置で見ていた方向）を図 - 7 ~ 9 に示す。視線を移動しないドライバー、開始方向が右側であるドライバーが多いことが見て取れる。観測の結果、自動車の走行位置 x_c は観測値の環境特性から、細街路の左側の壁から順に、2.90, 3.05, 3.20, 3.55, 3.90[m] の 5 つの位置に分類できたため、以下、この走行位置別に考察することとした。

(2) 自転車を発見するまでに要する時間 T_c の導入

自転車を発見するために要する時間 T_c を、「観

表 - 1 自動車の位置と見落とし許容時間最小値

x_c [m]	2.9	3.05	3.2	3.55	3.9
Min T_a [s]	0.81	0.82	0.72	0.78	0.82

表 - 2 調査対象道路での観測時の交通量とサンプル数

	日付	歩行者 [人]	自転車[台]	全走行自動車[台] (二輪車を含む)	左折自動車[台]	視線行動が 確認できる自動車 [台]
1	12月22日	210	246	131	44	20
2	12月24日	224	187	160	100	68
3	12月28日	210	132	136	86	19
4	1月5日	218	129	112	76	50
5	1月6日	206	142	140	98	82
6	1月13日	234	174	165	116	24
7	1月14日	165	187	140	89	73
合計	7日	1467	1197	984	609	336

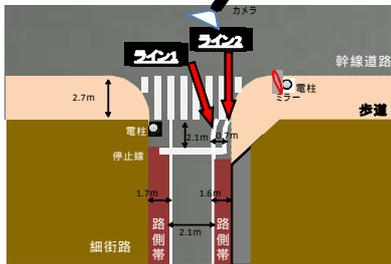


図 - 6 調査対象道路の概念図

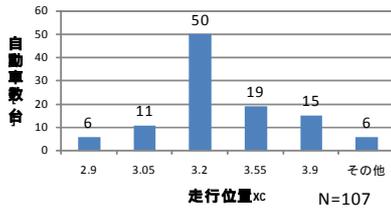


図 - 7 各走行位置の自転車台数 [台]

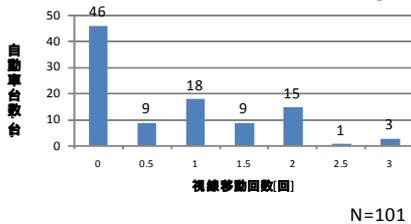


図 - 8 ドライバーの視線移動回数の分布 [台]

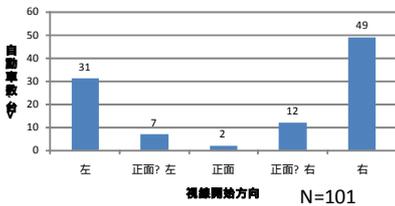


図 - 9 ドライバーの視線開始方向の分布 [台]

測結果を基に自動車ドライバーの視線移動をモデル化し、これによって算出される自転車を発見するために要する平均時間」と定義する。モデル化の対象としたのは、観測された左折自動車のうち、停止線から横断歩道の間で停止しなかったボンネットのある普通自動車 (n=107) である (タクシーを含む)。

(3) ドライバーの視線移動モデルの構築

視線移動については左右を交互に見るという行動を想定し、前項の幅員 5.4m の細街路での視線移動を表す定式化を行った (図 - 10 参照)。

a) 有効視野の概要

視覚は外部情報を取得する上で最も重要な感覚の一つであり、視覚によって取得する情報を視野情報と呼ぶ。視野は情報の認知の度合いにより、「中心視」(最も像

を鮮明にとらえることができる部分・視覚約 2°程度)、「有効視野」(中心視の周りの認知にかかわる範囲・視覚 4°~20°)、「周辺視野」(有効視野の周りで感じることができる範囲、視覚 180°~210°)の3つに分類される。また、自動車の運転は一般に認知・判断・操作の繰り返しであるといわれており、視覚はその中の認知の部分を担当している。この認知は自動車を運転するうえで最も重要な部分であり、自動車事故の原因の大半が認知の誤りから生じることも報告されている。この認知に関わるものが中心視と有効視野であるとされている⁵⁾。

b) 各走行位置でのドライバーの視線移動モデル

前項の有効視野の概念を導入し、ドライバーの視線移動が左右を繰り返し滑らかに見る動作であると捉えることで、以下のようなsin波で表現することとした。

$$f = \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) \sin wt + f_0 [\text{deg}]$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{x_c}{y_c}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{5.4 - x_c}{y_c}$$

ただし、 f_0 [deg]: 停止線位置での視線方向
 w [deg/s]: 視線移動速度

これに、観測調査によって得られた各ドライバーの視線移動回数、停止線に差し掛かった瞬間の視線開始方向(右・正面・左の3方向に分類)を加えることで、停止線から横断歩道に至るまでの各ドライバーの視線の移動をモデル化した。その一例(走行位置 $x_c=3.2\text{m}$ での各ドライバーの視線移動モデル)を図 - 11 に示す。

(4) 出会い頭事故に至る恐れのある自転車位置の算出

a) 自転車を発見するのに要する時間 T_c の導入
 前項のモデルから、ドライバーが自転車を発見するのに要する時間 t_c [sec] を導出する。

図 - 12 において、 $t=t'$ の時の $\theta_1' \sim \theta_3'$ はそれぞれ

$$\theta_1' = \tan^{-1} \frac{x_c}{y_c + v_c t'}$$

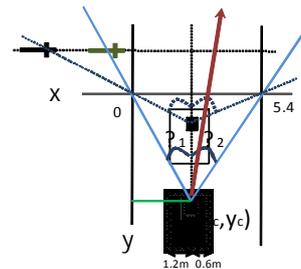


図 - 10 視線移動の定式化

$$\theta_2' = \tan^{-1} \frac{5.4 - x_c}{y_c + v_c t'}$$

$$\theta_3' = \left(\frac{\theta_1' + \theta_2'}{2} \right) \sin \omega t' + f_0$$

のように表せ、視線と視界の左端が重なる時 ($\theta_1' = \theta_3'$) に自転車を発見できることから、 t_e [sec] が求められる。さらに、 t_e をドライバー (n=101) ごとに求め、それを平均したものを、「左方向から交差点に進入してくる自転車を発見するのに要する時間」 T_e とした。

b) 出会い頭事故に遭う危険性のある自転車位置の特定

自転車と自動車が出会い頭事故を起こすのは、見落とし許容時間 T_a より、この左方向から交差点に進入してくる自転車を発見するのに要する時間 T_e が大きい場合である。この時間により、5つの自動車の走行位置 x_c ごとに衝突の危険性のある自転車の速度 v_k および位置 (x_k, y_k) を導出した。定速 (5.21km/h) で走行してきた自動車が左方向から 4~12km/h で進入する自転車を見落とすことで起こる出会い頭事故に係わる可能性のある自転車の位置 (「見落としがなければ自動車によって発見される瞬間の位置」を指す) は、図 - 13 のようになる。この図から、民地側を走行する自転車は事故に遭う可能性があり、それは自動車の位置 (自動車からの左方向の見やすさ) に依らない傾向が見られるほか、自転車が民地側から 1.0m 以上離れていても事故に係わる可能性があることも示している。これには、自動車が左端によってい

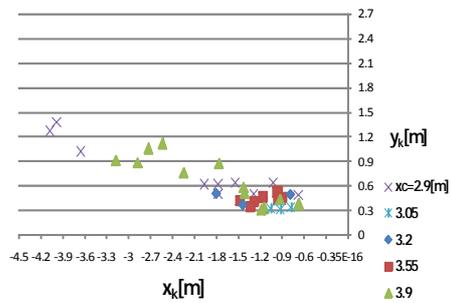


図 - 13 出会い頭事故に遭う可能性のある自転車の位置

(細街路の幅員が狭い) こと、自転車の速度が比較的高いことが関係している。

4. 接触確率を考慮した出会い頭事故発生分析

(1) 接触確率の設定

ここでは、前章の出会い頭事故に至る恐れのある自転車位置の特定について、さらに詳細な分析を行なう。

まず、構築したモデルと観測によって得られたデータをもとに、交差点において自転車と自動車が接触する確率を求める。

ビデオ観測調査で自転車と自動車が錯綜する数を観測し、これを「自動車のドライバーが自転車を見落としてしまうと事故に至る、危ない位置関係が発生する確率」であると考え (表 - 4)。なお、走行位置 $x_c = 3.05m$ の位置では錯綜を観測することができなかったため、便宜的に全体の錯綜割合を仮定することとした。次に、図 - 13 に示したモデルによる考察において、自動車の視線行動によらず事故に至る場合と、自動車の視認行動によって事故に至る場合に分類することで、出会い頭事故の中でも自動車のドライバーの視認行動が要因で発生する割合を算出すると、表 - 3 のようになる。以上を踏まえ、出会い頭事故が起き得る位置関係で自転車と自動車が交差点に進入し、なおかつドライバーの視認行動により自転車と自動車が接触してしまう (正確には、自転車が回避行動を取るか、もしくはドライバーがカーブミラー等により自転車の存在を確認しなければ接触してしまう) 確率が求められる。これを本研究では「接触確率」と称して計算した。結果を表 - 5 に示すが、観測対象道路では、1% 程度の確率でこの

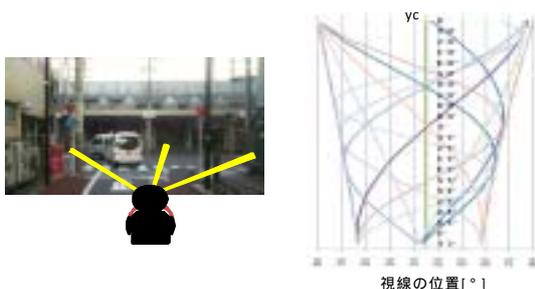


図 - 11 $x_c = 3.2$ での各ドライバーの視線移動モデル

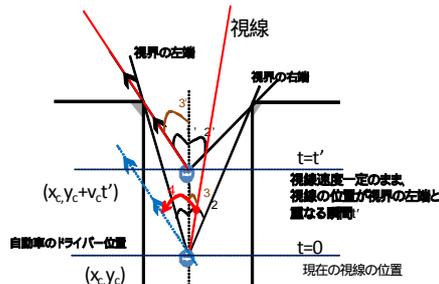


図 - 12 自転車を発見するために要する時間 T_e 。

表 - 3 自転車と自動車が接触する割合

	$x_c=2.9$	$x_c=3.05$	$x_c=3.2$	$x_c=3.55$	$x_c=3.9$
危ない位置	27点	25点	25点	23点	20点
視線速度上、自転車を見落とさない位置	8点	3点	3点	6点	17点
接触率	31.8%	12.0%	12.0%	26.1%	60.0%

表 - 4 自転車と自動車の錯綜割合

ポイントのある自転車						
	2.9m	3.05m	3.2m	3.35m	3.9m	その他
車両数	23	30	134	53	56	14
割合	6.8%	9.7%	43.5%	17.2%	18.2%	4.5%
発生回数	1	0	5	5	1	13
発生割合	4.76%	0%	3.73%	6.67%	1.79%	9%

表 - 5 全自転車・自動車に対する接触確率

	$x_c=2.9$	$x_c=3.05$	$x_c=3.2$	$x_c=3.35$	$x_c=3.9$
接触確率	1.51%	0.47%	0.45%	2.46%	1.07%

形態の出会い頭事故が起きるといえることができる。

(2) 接触確率を考慮した出会い頭事故

ここでは、自動車が観測されたような視線の動きをする確率を考慮に加え、出会い頭事故に遭う恐れのある自転車と自動車の位置関係を求める。「左方向から交差点に進入してくる自転車を発見するのに要する時間」 $T_c[s]$ を求める視線移動の式において、ドライバーの視認行動に影響を与える以下のパラメータに、観測で得られた確率を加味することとする。

- ・自動車の走行位置 x_c (図 - 7)
- ・自動車のドライバーの視線移動回数 (図 - 8)
- ・自動車のドライバーの視線開始方向 (図 - 9)

さらに、特に視線の動きとして発生する確率の低いデータを取り除くこととした。(本研究では、0.5%未満の発生確率を取り除いた。)

さらに、自転車が、自動車と接触してしまう危険な位置関係に存在する割合も考慮に加える。自動車の走行速度 v_c および走行位置 x_c の観測データを用い、この位置を走行する自動車と出会い頭事故を起こす危険性のある自転車の発生割合を求める。衝突する位置関係にあることを前提とし、自転車の速度 v_k 、自転車の位置 y_k を正規分布と仮定することで、自動車の位置 x_c ごとに衝突する自転車の存在確率を導出した。ドライバーが左方向から進入する自転車を発見するのに要する時間 T_c については、前項で求めた値を用いた。なお、自転車が存在する割合が極めて低い(0.05%以下)データは除外した。

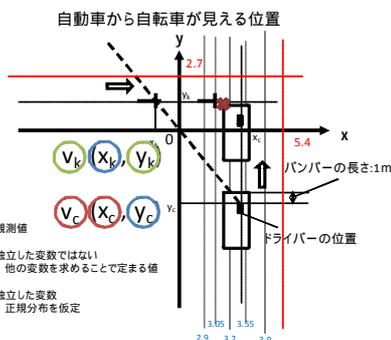


図 - 14 自動車から自転車が見える位置関係

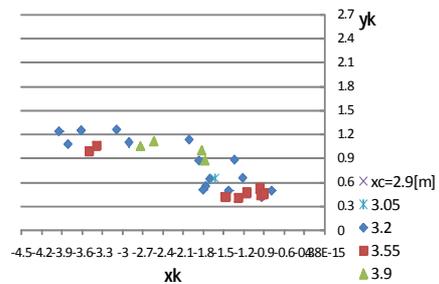


図 - 15 発生割合を考慮した際の衝突可能性のある自転車の位置

最後に、自転車と自動車が危険な位置関係に至る発生頻度を考慮に加える。今回の観測では、自転車の発生頻度は仮定の域を出ない。しかし、錯綜数についてはデータを取得しているため、錯綜の全てが危険な位置関係にあるとすれば、自転車の発生頻度を独立に考える必要はなく、発生頻度は表 - 4 に示した錯綜割合を指すといえる。

これらより、対象とした交差点での衝突の危険性のある自転車の位置を算出すると図 - 15 のようになり、図 - 13 と比較して、民地寄りを走行していない自転車の事故の危険性が目立つ結果となった。

5. 結論

本研究では、幹線道路と細街路が接続する交差点における自転車と自動車の出会い頭事故のうち、ドライバーによる自転車の発見が遅れることで発生するものについて、係わる危険性のある自転車の特性の抽出を行なった。本調査、分析により、以下の結果が得られた。

- ・ドライバーは交差点進入時に視線を移動せず、右側を注視しがちな傾向があることが調査より確認された。
- ・民地寄りを走行する自転車の危険性が確認された。
- ・民地寄りでもなくとも出会い頭事故に遭う危険性があることがわかり、対象とした交差点での交通特性も考慮すると、その危険性は無視できない。

今後の展開として、より多くの形状の交差点を対象としてその一般性を高めること、事故防止方策への展開が挙げられる。

参考文献

- 1) 松本幸司：自動車走行環境整備の現状と課題土木計画学研究ワンデーセミナーNo53, (社)土木学会・徳島大学, 2009。
- 2) 佐々木正大, 浜岡秀勝：自転車の走行挙動に着目した自転車事故防止対策に関する研究, 第 27 回交通工学研究発表会論文報告集, 2007。
- 3) 鈴木美緒：自転車配慮型道路の安全性と設計方針に関する研究, 東京工業大学学位論文, 2009。
- 4) 古倉宗治：『自転車利用促進のためのソフト施策』, ぎょうせい, 2006。
- 5) 警視庁 HP, 交通事故発生マップ
- 6) 安藤孝志, 渡辺嘉次郎：自動車ドライビングセキュリティ 視覚活動の能力評価, 社団法人計測自動車制御学会第 19 回センシングフォーラム, 2002 年 9 月。