

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No. 24-6

研究テーマ

改良対策立案のための
交差点安全性評価シミュレータの研究開発

研究代表者：名古屋大学大学院教授 中村 英樹
共同研究者：東京大学生産技術研究所講師 井料(浅野) 美帆
名古屋工業大学大学院教授 鈴木 弘司
秋田大学教授 浜岡 秀勝

平成 27 年 7 月

新道路技術会議

目 次

研究概要	1
第1章 研究の概要	3
第2章 交差点実態観測調査	4
第3章 左折車両挙動の分析とモデル化	7
3.1 はじめに	7
3.2 走行速度	7
3.3 走行軌跡	10
3.4 衝突回避判断	11
3.5 先頭車両と追従車両の挙動相違	12
3.6 まとめ	14
第4章 右折車両挙動の分析とモデル化	16
4.1 はじめに	16
4.2 走行速度	16
4.3 走行軌跡	17
4.4 通過/停止判断	18
4.5 発進反応時間	20
4.6 ギャップアクセプタンス挙動	22
4.7 まとめ	25
第5章 横断歩行者挙動の分析とモデル化	26
5.1 はじめに	26
5.2 横断軌跡	26
5.3 横断速度	27
5.4 横断開始/停止判断	30
5.5 ミクロ横断挙動	31
5.6 まとめ	34
第6章 交差点評価シミュレータの開発	36
6.1 シミュレータの構築	36
6.2 再現性の検証	38
6.3 ハザードマップ生成手法の検討	40
第7章 交差点安全性評価方法の検討	42
7.1 安全性評価指標値の検討	42
7.2 評価指標値と交通事故発生件数の関連	43
7.3 安全性評価シナリオ分析	44
第8章 総括	48
8.1 研究成果	48
8.2 今後の課題	49

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成24年度採択)
研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
24-6	改良対策立案のための 交差点安全性評価シミュレータの研究開発	名古屋大学 大学院 教授 中村 英樹

交差点改良対策の安全性に関する定量的評価のため、実測データに基づき、車両や歩行者の軌跡・速度の変化、各種判断挙動、及びそれらのばらつきを、交差点構造や制御条件に応じて確率的にモデル化し、危険性を空間的に出力可能とする交差点安全性評価シミュレータの研究開発。

1. 研究の背景・目的

本研究開発では、信号交差点において事故発生と関連性の高い信号切り替わり時の車両や歩行者の駆け込み進入などの危険挙動、速度変化、軌跡変化などに着目し、それらの挙動のばらつきを利用者の心理的要因をはじめ、交差点の道路構造、信号制御などの環境要因から解明する。そして、これら車両や歩行者の動態を詳細に再現可能な交差点安全性評価シミュレータを開発することで、交差点構造および信号制御を変更したときの利用者挙動の変化を時空間的に再現することにより、交差点改良代替案の安全性能を事前かつ定量的に評価する手法を開発することを目的とする。

2. 研究内容

- (1) 交差点実態観測調査の実施
- (2) 左折車両挙動(走行速度、走行軌跡、横断歩行者との衝突回避判断)の分析とモデル化
- (3) 右折車両挙動(走行速度/軌跡、通過/停止判断、発進反応挙動、ギャップアクセプタンス挙動)の分析とモデル化
- (4) 横断歩行者挙動(横断軌跡と横断速度、青点滅開始時の横断開始/停止判断、横断歩道上での衝突回避挙動や信号現示に対する反応等)の分析とモデル化
- (5) 交差点安全性評価シミュレータの開発および安全性評価に関する視覚的表現手法の検討
- (6) 安全性代替評価指標の検討と、シミュレータを用いたケーススタディ分析の実施

3. 研究成果

- (1) 12箇所の信号交差点で交通実態観測調査を実施し、得られたビデオ動画から各交差点利用者主体の挙動分析のために必要なデータを取得した。
- (2) 左折車挙動について、流入速度や交差角から推定する速度プロファイル推定モデル、交差点構造や車両進入条件から推定する軌跡線形要素推定モデル、ギャップ形成状況別の横断者衝突回避判断挙動モデル、をそれぞれ構築した。
- (3) 右折車挙動を対象として、走行速度および走行軌跡のモデル化(図-1)、黄現示開始時の停止線までの所要時間と停止線セットバック量から説明する右折矢現示終了時における停止判断確率モデル、車両条件や空間/時間要因の影響を受けて推定される右折車の発進反応時間推定モデル、ギャップ時間や交差点内での累積待ち時間を説明変数とした右折時のギャップアクセプタンス判断挙動モデル、等を構築した。
- (4) 横断歩行者挙動について、横断開始時・横断歩道の中点通過時・横断終了時の各断面にて進行方向を変更して断面間を最短経路で移動するという仮定条件下での横断軌跡/横断速度推定モデル、青点滅開始時の横断歩道までの距離と歩行速度から推定する横断停止判断モデル、横断歩道上での衝突回避挙動や信号現示に対する反応等を Social Force モデルの援用により表現したマイクロ挙動モデル(図-2)、を考案した。
- (5) 構築した交差点利用者の各挙動モデルを実装した、安全性評価のための2次元マイクロシミュレータを開発(図-3)して再現性の検証を行ったほか、シミュレータでの出力値を活用した安全性評価の視覚的表現手法についても検討した。
- (6) 交差点での安全性評価に適したSSMについて検討し、事故発生頻度との関連性を分析した。

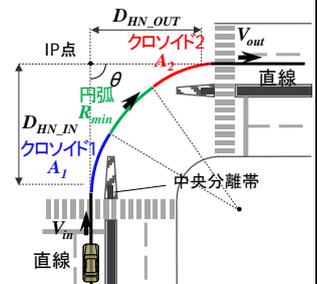


図-1 右折走行軌跡モデル

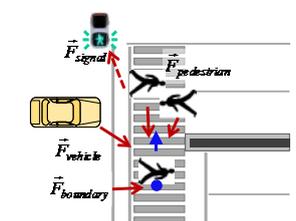


図-2 ミクロ歩行者挙動モデルの概念図

(7)開発したシミュレータを用いて、交差点構造が変化した場合の安全性評価に関するケーススタディ分析を実施した。

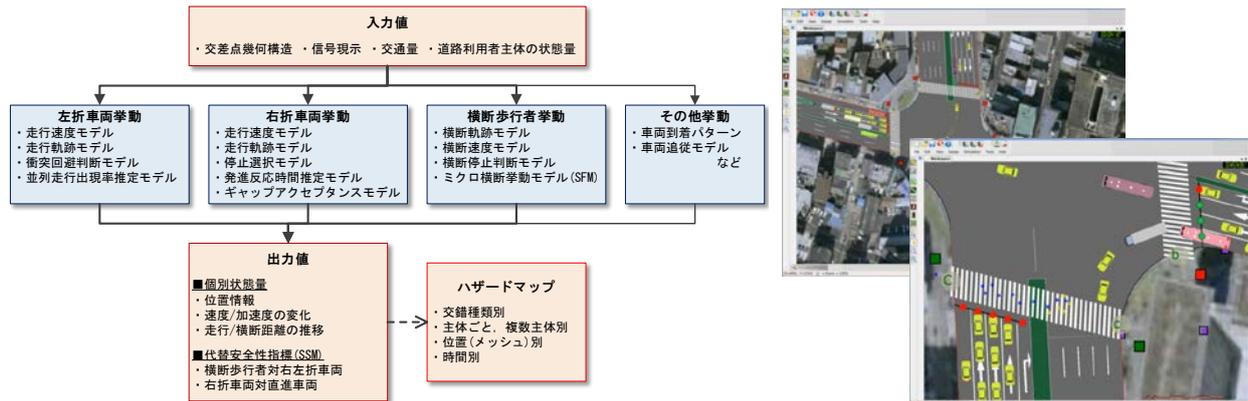


図-3 開発したマイクロシミュレータの全体概要(左)と実行中画面(右)

4. 主な発表論文

- 1) Chen, P., Nakamura, H., Asano, M. and Zeng, W.: A Microscopic Traffic Simulation Model for Safety Assessment of Left-turning Vehicle versus Pedestrian Conflict at Signalized Intersections, Proceedings of Infrastructure Planning, No.47, 8 pages, 2013.
- 2) 伊藤大貴・鈴木弘司：歩行者と左折車の危険交錯事象と交差点構造の関連性分析，土木計画学研究・講演集，No.47，6ページ，2013.
- 3) Zhang, X., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Modeling Pedestrian Walking Speed at Signalized Crosswalks Considering Crosswalk Length and Signal Timing, Proceedings of the 10th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 15 pages, Taipei, Taiwan, 2013.
- 4) Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of surrogate safety measures for assessment of pedestrian versus left-turning vehicle conflict at signalized crosswalks, Advances in Transportation Studies, Vol. 1, Special Issue, pp.37-50, 2014.
- 5) Zeng, W., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of social force model to pedestrian behavior analysis at signalized crosswalk, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.40, pp.143-159, 2014.
- 6) 渡部数樹・中村英樹・井料(浅野)美帆：信号交差点改良対策立案のための右直分離制御時の車両挙動分析，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.70，No.5(土木計画学研究・論文集第31巻)，I_1013-I_1022，2014.
- 7) 張馨・中村英樹・井料(浅野)美帆・陳鵬：横断歩道長と歩行者信号現示を考慮した横断歩行速度のモデル化，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.70，No.5(土木計画学研究・論文集第31巻)，I_1031-I_1040，2014.

5. 今後の展望

研究成果の活用や発展性

- ・安全性向上のための交差点構造や信号制御条件等について，具体的かつ定量的検討が可能となる
- ・事故対策検討業務等において本シミュレータを試験的に活用し，対策案実施工後の挙動変化に関する事前事後比較分析を実施することで，シミュレータの適用性確認や課題抽出が可能となる

今後の課題

- ・安全性評価のための各種指標値の選定に関する継続研究と，その成果に応じたソフトウェアとしての出力機能の拡充
- ・自動車と歩行者以外の交差点利用者主体に関する表現の検討（二輪自動車や軽車両(自転車)などの他の利用者主体，高齢歩行者などの特殊条件を有する利用者 など）
- ・4枝信号交差点以外の交差点方式への拡充(3枝交差点，無信号交差点，ラウンドアバウト 等)

6. 道路政策の質の向上への寄与

- ・本研究は，当初より交通安全対策業務等の実務への適用を念頭においており，モデル分析により得られた知見やシミュレータによる評価結果は，安全性向上のための施策実施に十分に寄与するものである。
- ・マイクロ交通安全シミュレータの活用によって，希少事象であるが故に情報収集に長期間を要する事故データに頼らない評価が可能となり，安全対策案評価の効率化が可能となる。
- ・シミュレータ上で再現された交通状況動画の活用により，道路管理者や交通管理者の理解促進と施策実施説明責任の向上，改良対策実施工時における地域住民への合意形成ツールとしての使用も可能となる。

7. ホームページ等

- ・名古屋大学 中村英樹研究室 HP <http://www.genv.nagoya-u.ac.jp/ge1/nakamura/research/signal/>

第1章 研究の概要

1.1 研究背景と目的

交差点の交通安全対策を検討する上では、事故に関する統計的データや現場の道路交通状況から判断されることが多い。これら事故データによる対策効果の評価上の課題として、データそのものが希少事象のサンプルであるため信頼性が下がる、データの経年的な蓄積に時間を要する、施工後の経過観察後の効果検証となるため事前評価が難しい、といった点が挙げられる。そのため、提案される交差点改良の代替案に対し、道路管理者や交通管理者が意思決定する上では、「その交差点運用は本当に安全であるのか」「逆に危険な状態にあることはないか」といった効果に対する不安が発生することが考えられる。これらの状況をふまえると、交差点安全対策の立案においては科学的・客観的根拠に立脚した計画の提示が重要であるといえる。

そこで、本研究開発の目的は、交差点の道路構造、信号制御に応じたコンフリクト(ヒヤリハット)発生を時空間的に再現することで、交差点構造・制御改良時の安全性能を事前に評価可能とする、交差点安全性評価シミュレータを開発することとする。

1.2 研究内容

交差点安全性評価シミュレータを構築するためには、まず、交差点の利用者挙動と道路構造、信号制御などの環境要因との因果関係を正確に把握した上で、シミュレータ上でミクロに挙動を再現することが必要である。特に安全性に対する評価を行う上では、従来の円滑性を検討するためのシミュレータとは異なり、信号切り替わり時の利用者挙動、交差点内速度変化、交差点内動線およびそれらのばらつきを再現することが重要である。本研究では、実交差点での観測結果をもとに、これらの各利用者挙動を精緻に分析してモデル化を行った上で、シミュレータに実装することにより、道路交通環境の変化に応

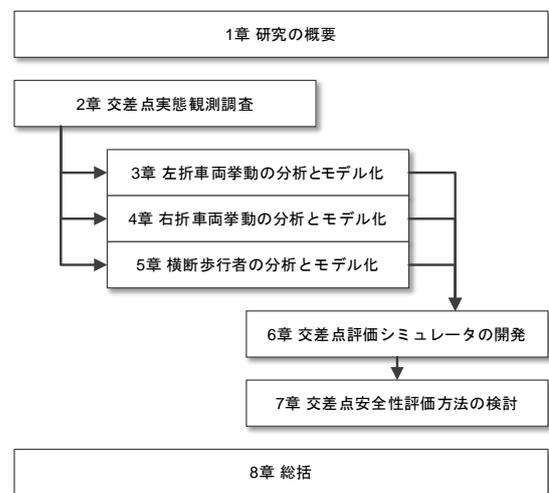


図 1.1 本研究のフローと報告書概要

じた挙動の変化を再現する。

さらに、道路交通環境の変化に応じた挙動が再現された後には、これら交通状況の安全性を適切に評価する方法も必要である。本研究では、既往研究により示されている評価指標の整理を行った上で、評価対象種類に応じた安全性評価指標の選定方法に関する検討や、新たな評価方法に関する検討及び有効性検証を行う。最後に、検討を行った評価指標について、開発したシミュレータを用いたケーススタディ分析を行い、交差点安全性評価の事例分析を行う。

以上をふまえ、本報告書は以下の通り構成されている。まず、2章では、車両および歩行者の挙動データ取得のための実態観測調査についての概要を説明する。3章から5章では、左折車両、右折車両、横断歩行者を対象とした信号交差点における挙動分析を行い、分析結果をもとに挙動/判断モデルを構築する。6章では、構築した各種の挙動モデルを実装した安全性評価ミクロシミュレータの開発とその再現性の検証について説明し、安全性評価の視覚的表現手法について検討する。7章では、安全性評価指標値の検討とそれらをもとにしたシナリオ分析について述べる。最後に、8章で本研究の総括を述べる。

第2章 交差点実態観測調査

2.1 はじめに

本研究では、道路構造および交通運用等が、右左折車両や横断歩行者の挙動に及ぼす影響を調べるため、交差点幾何構造や信号制御条件の異なる複数の信号交差点において実態観測調査を行った。

調査対象交差点の選定にあたっては、極力特異な形状や制御条件は避けるとともに、ビデオ撮影調査が実施可能であることを条件とし、最終的には全12箇所の交差点において観測調査を行い、合計25箇所の交差点挙動データを活用した。

調査対象交差点の選定条件

- ✓ 4枝交差点であること
- ✓ 極端な変形交差点でないこと
- ✓ 付近に高所からの撮影が可能な高層建築物や照明柱が存在すること
- ✓ 全体的に交差点ごとの道路構造および信号制御にバリエーションがあること

2.2 調査交差点の概要

本研究では、ビデオ撮影により右左折車両と横断歩行者の走行位置の時間変化を軌跡データとして収集することで、右左折車両と横断歩行者挙動データを収集する。統計的な分析・モデル化に十分なサンプル数を確保する一方、データ収集の効率化も考慮した上で、ピーク時間帯を含む3時間または1日に渡って調査を実施した。交差点内部から交差点流入部までの広範囲の挙動を観測し、かつ、観測データの十分な精度を確保するため、複数箇所の高層建築物および照明柱よりビデオ撮影を行っている。また、分析に必要なサンプルデータを確保する観点から、過去に名古屋大学中村英樹研究室において観測調査を実施した交差点も分析対象箇所に含めることとした。

表 2.1 に調査実施及び分析データ取得対象交差点の一覧を、図 2.1 に交差点の航空写真を示す。

表 2.1 調査対象交差点

交差点名	信号制御方式	信号サイクル長	停止線間距離 [m] (東西×南北)
a 金山新橋南	単純 4 現示 制御	145~173*	60×52
b 植田一本松		145~176*	53×72
c 桜通大津		160	73×83
d 桜通本町		160	39×55
e 広小路伏見		160	93×61
f 西大須 2012		160	81×76
g 西大須 2014		160	65×64
h 平安通 1		135~146*	57×66
i 末盛通 2		140	58×60
j 地下鉄堀田		160	81×42
k 川名		150	66×64
l 太閤通 3		150~165*	76×57
m 広路通 1		110,120**	39×50
n 青山一丁目		140	60×65
o 今池		160	76×75
p 八事日赤病院北		130	53×43
q 山田四丁目	東西方面 時差式 制御	160,170**	58×58
r 笹島	歩車分離 制御	160	81×78
s 上更	矢印制御	150	48×44
t 御器所通		121~175*	63×66
u 小川		160	97×89
v 水主町		157~161*	71×61
w 桜山		140	65×64
x 熱田神宮南		153~160*	50×50
y 旗屋町		159~161*	90×79

*感応制御により、一部の流入部で青時間が可変

**時間帯(ピーク時と閑散時など)によって固定サイクル長が切り替わる



a) 金山新橋南



b) 植田一本松



c) 桜通大津



d) 桜通本町



e) 広小路伏見



f) 西大須-2012



g) 西大須-2014



h) 平安通1



i) 末盛通2



j) 地下鉄堀田



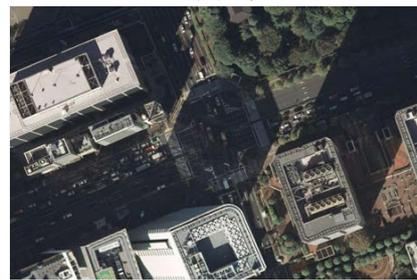
k) 川名



l) 太閤通3



m) 広路通1



n) 青山一丁目



o) 今池



p) 八事日赤病院北



q) 山田四丁目



r) 笹島

図 2.1(1) 各交差点の航空写真



s) 上更



t) 御器所通



u) 小川



v) 水主町



w) 桜山



x) 熱田神宮南



y) 旗屋町

図 2.1(2) 各交差点の航空写真

第3章 左折車両挙動の分析とモデル化

3.1 はじめに

本章では、信号交差点での利用者挙動の1つである左折車両挙動に関する分析及びモデル化を行う。分析対象とする挙動は、車両挙動の中でも一般的であり、また、シミュレータ上での時空間的な表現を行う上で基本となる、走行速度と走行軌跡を取り扱う。さらには、交差点の安全性や円滑性を評価する上で重要な、横断歩行者に対する左折車の反応を衝突回避判断挙動として取り扱う。これらの分析対象挙動に対し、2章において説明した複数交差点での挙動観測データをもとにマイクロに分析した上で、各挙動のばらつきを確率的な分布により表現し、シミュレータ上で表現可能とする挙動モデルを構築する。

3.2 走行速度

(1) 左折車走行速度モデルの考え方

交差点内で左折する場合の走行速度について、まず、自由走行状態にある左折車を想定する。ここでいう自由走行状態とは、交差点接近時において既に青丸現示等で左折通行権が与えられており、前方や後方に車両が存在せず、また横断歩行者もいない状況を意味する。

このような場合、通常のドライバーは交差点接近時に減速挙動を行い、交差点内を徐行により通行した後、流出部に近づくにつれ加速を伴い走行するものと考えられる。この加減速の程度は、個々のドライバーによって異なることは勿論であるが、同時に交差点構造の違いによっても異なることが想定される。例えば、左折角度が直交に近い形の方が、鈍角の場合よりも減速度合が大きくなるであろうし、また、交差点隅角部の半径が大きい交差点の方が、空間的自由度が高いがために走行速度が大きくなるであろう。このように、信号現示や他の交差点利用者の影響を受けない自由走行状態においても、左折車

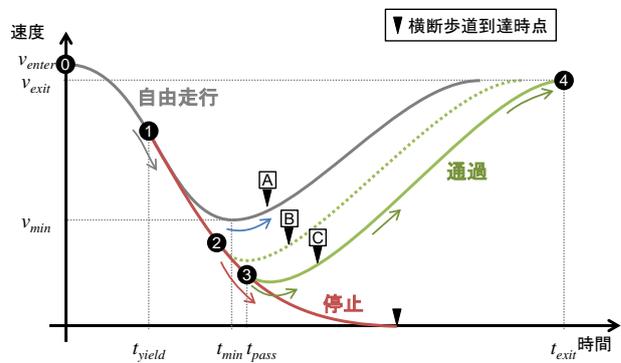


図 3.1 左折時走行速度プロファイルの仮定

は交差点構造の影響を受けて加減速挙動を伴った走行を行うものと考えられる。

さらに、国内の多くの交差点で見られるような、左折と同時に平行する横断歩行者の通行権も与えられるようなケースには、左折車の走行速度は横断歩行者の通行状況による影響を大きく受ける。同一現示内に交錯する横断歩行者が存在する場合には、左折ドライバーは横断歩行者を認知してさらなる減速を行い、また、横断歩行者と衝突の危険性がある場合は、横断歩行者に対して通行権を譲るため、横断歩道手前位置にて一時停止する。すなわち、左折ドライバーは、横断歩行者への反応に応じた減速、停止、加速挙動を行っていると考えられる。

本研究では、これらの左折車の速度調節判断状況を、図3.1に示す3つの速度プロファイルで表現する。

- ドライバーは交差点接近中、横断歩道上の歩行者交通流に対して認知・予測・判断を繰り返す。横断歩道上の歩行者を認知すると、衝突危険性を予測する。衝突の危険性がない場合には、自由走行プロファイルに従い走行を続ける。
- 自由走行を続けると横断歩行者との衝突が予測される場合、ドライバーは横断歩行者に通行権を譲るため、必要に応じた減速もしくは停止を行う。

このときの減速挙動は、停止プロファイルに従うものとする。

- 減速走行中も判断の更新は行われ、横断歩行者との衝突危険性がなくなった場合には、横断歩道通過のための行動に移る。このときの加速挙動は、通過プロファイルに従うものとする。

左折車両の速度推移の基本形は自由走行プロファイルにより表現され、歩行者による影響を受けることによる停止・通過プロファイルへの変化は、最小速度 v_{min} の値が変化することにより表現可能である。横断歩行者との衝突の危険性があるかどうかの判断は、歩行者交通流に生じるギャップの選択により行われると考えられ、これについては3.4に後述する。また、本研究では簡易的に、ドライバーは停止線を通過した瞬間から歩行者の認知を開始するものと仮定した。現実的には、ドライバーの認知・予測の精度は、横断歩道からの距離に依存し、走行位置が横断歩道から遠いほど不確実性が高くなると考えられるが、この不確実性をモデルに組み込むことは容易ではないため、本研究では考慮しないこととした。

(2) 走行速度モデル推定の具体的な手法

自由走行左折車両の速度プロファイルの概形についてビデオ観測調査結果より得られたデータより確認した結果を図3.2に示す。全体的な傾向として、自由走行中の左折車両は、流入速度 v_{enter} から最小速度 v_{min} まで減速した後、再び加速して流出速度 v_{exit} で流出している。また、加速時および減速時の速度・加速度変動は対称的ではないことがわかる。このような傾向をふまえ、本研究では、最小速度 v_{min} を境界として自由走行プロファイルを流入・流出に分割し、それぞれ式(3.1)に示す3次関数曲線に近似する。

$$v = c_1 t^3 + c_2 t^2 + c_3 t + c_4 \quad (3.1)$$

速度プロファイルを特定するためには、式(3.1)にある4つのパラメータ $c_1 \sim c_4$ と始端・終端の境界条件が必要となるが、実際には、これらの値のうちいくつかは制約条件によって自動的に決定し、残るパラメータと未知数を確率分布としてモデル化することになる。

自由走行プロファイルに必要なパラメータと境界条件を模式化すると、図3.3のようになる。流入・流出の2本の曲線からなるこのプロファイルを特定するためには、流入・流出時の合計8つのパラメータ($c_{1,in} \sim c_{4,in}$ および $c_{1,out} \sim c_{4,out}$)と流入時、流出時、最小速度となる地点における境界条件が必要である。ここで、流入前および流出後の速度は一定、かつ、所与であると仮定すれば、5つの制約条件により自由度が3となり、パラメータ $c_{1,in}$ 、 $c_{1,out}$ 、および最小速度 v_{min} を推定すれば曲線を特定することが可能となる。

さらに、左折挙動を再現するため、時間的推移を表す速度プロファイルと、空間的推移を表す走行軌

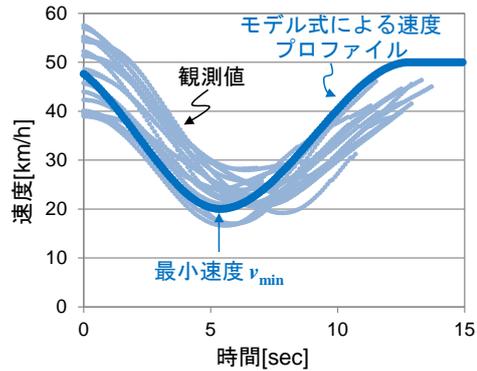


図 3.2 自由走行左折車両の速度プロファイル

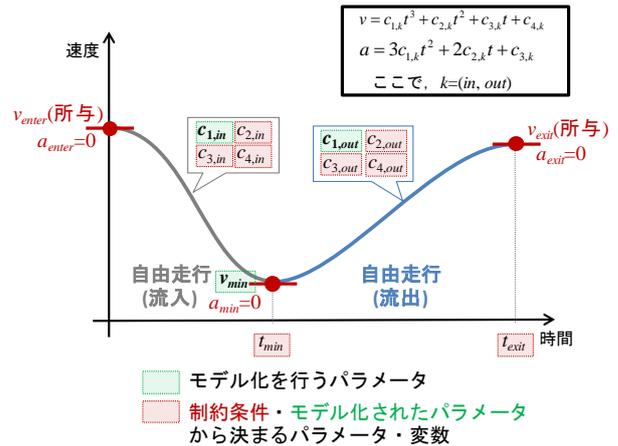


図 3.3 自由走行プロファイルの境界条件とモデル化を行うパラメータ

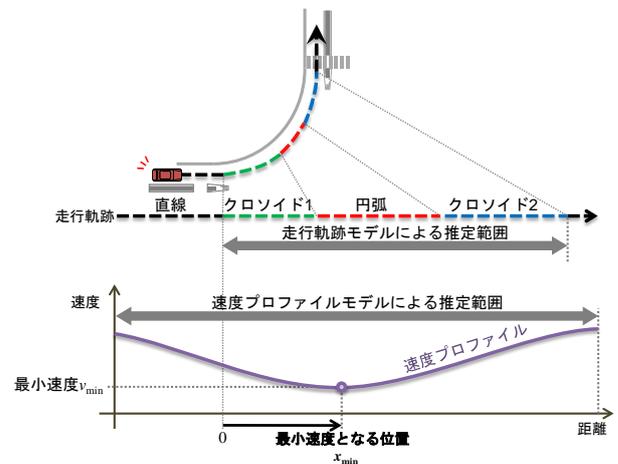


図 3.4 左折車両の速度プロファイルと走行軌跡の関連付け

跡とを、最小速度となる位置 x にて関連付ける。本研究では、図3.4に描くように、最小速度となる位置 x_{min} を、走行軌跡の曲線部分の開始地点からの距離で定義しモデル化する。これにより、交差点内における左折挙動が時空間上で再現可能となる。

モデル化の全体手順は、まず、車両1台ごとの速度プロファイルの観測データから、目視により異常値を除去する。その後、個々のプロファイル全てを流入・流出に分割し、最小二乗法により2本の曲線

表 3.1 対象交差点の幾何構造とサンプル数

交差点名	流入部	隅角部半径[m]	交差角 [deg]	サンプル数
西大須	西	17.0	77	30
川名	西	21.0	106	13
末盛通 2	東	9.7	88	72
	北	17.0	117	47
太閤通 3	西	17.0	94	5
	南	17.0	88	14
地下鉄 堀田	東	14.0	94	11
	南	12.0	88	23
砂田橋	西	11.0	90	23
合計	-	-	-	238

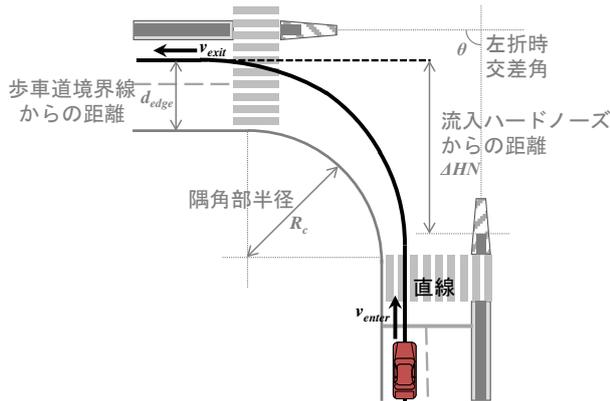


図 3.5 モデルに用いた説明変数

の回帰モデルを求める。この回帰モデルによって、車両 1 台につき $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ および v_{min} が導出される。これらの値が交差点構造や車両の進入条件によって影響を受けると仮定し、それぞれの確率分布を決定するパラメータ x を、式(3.2)に示すような説明変数 X_i による線形多項式で推定することによりモデル化する。

$$x = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (3.2)$$

(3) 左折車走行速度モデルの推定

表 3.1 にモデル推定を行った対象交差点と取得サンプル数を、図 3.5 にモデルに導入した説明変数を示す。取得した自由走行車両は、全部で 238 サンプルであったが、通常の自由走行挙動に該当しないと思われるサンプルはパラメータ推定からは除外した。

推定する被説明変数について、観測データの頻度分布を確認したところ、速度プロファイルの3次係数に該当する $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ は非対称形であるガンマ分布が、最小速度 v_{min} および最小速度となる位置 x_{min} には正規分布が妥当と判断されたことから、誤差項にそれぞれの分布を仮定し、最尤法によりパラメータ推定を行った。推定結果を表3.2および表3.3に示す。

表 3.2 より、速度プロファイル全体概形を示す 3 次係数 $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ には、流出入速度のほか、隅角部半径、左折時交差角度、歩車道境界線からの距離が統計的に有意に作用していることがわかる。流入側と

表 3.2 左折速度プロファイル係数 $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ の推定結果

パラメータ	説明変数	$c_{1,in}$	$c_{1,out}$
		$X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$ 係数 (有意水準)	$X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$ 係数 (有意水準)
α	定数項	2.09 (0.019)	1.40 (0.013)
	流入速度 [m/sec]	0.256 (0.000)	-
	左折時交差角度 [deg]	-0.0155 (0.046)	-
	隅角部半径 [m]	-	-
	歩車道境界線からの距離 [m]	-0.168 (0.006)	0.0633 (0.033)
	流出速度 [m/sec]	-	-0.0224 (0.623)
	対数尤度	336.4	379.7
β	定数項	0.0573 (0.000)	0.0772 (0.000)
	流入速度 [m/sec]	-0.00173 (0.000)	-
	隅角部半径 [m]	-0.00109 (0.002)	-
	歩車道境界線からの距離 [m]	0.00219 (0.022)	-
	流出速度 [m/sec]	-	-0.00355 (0.004)
対数尤度	336.4	379.7	
サンプル数	202	188	

表 3.3 最小速度 v_{min} およびその位置 x_{min} の分布推定結果

パラメータ	説明変数	v_{min}	x_{min}
		$N(\mu, \sigma)$ 係数 (有意水準)	$N(\mu, \sigma)$ 係数 (有意水準)
μ	定数項	-0.301 (0.496)	1.42 (0.516)
	流入速度 [m/sec]	0.0908 (0.003)	-
	隅角部半径 [m]	0.0607 (0.000)	0.586 (0.000)
	左折時交差角度 [deg]	0.0387 (0.000)	0.0896 (0.000)
	歩車道境界線からの距離 [m]	0.233 (0.000)	0.577 (0.000)
	大型車ダミー (大型車=1)	-0.496 (0.107)	-
	対数尤度	-257.8	-541.9
σ	定数項	0.665 (0.000)	0.135 (0.828)
	隅角部半径 [m]	-	0.144 (0.002)
	歩車道境界線からの距離 [m]	0.0419 (0.019)	0.336 (0.000)
対数尤度	-257.8	-541.9	
サンプル数	202	199	

流出側で比較してみると、流入側では多くの幾何構造要因が作用しているのに対し、流出側は幾何構造の影響が統計的には確認されなかった。

また、表3.3の結果より、左折時最小速度 v_{min} には、左折後の歩車道境界線からの走行位置が有意に影響しており、左折後の走行位置が歩車道境界線から遠いほど左折時の最小速度のばらつきが大きくなること示されている。さらに、最小速度となる位置 x_{min} については、隅角部半径が大きいほど、また左折後

の歩車道境界線からの距離が大きいほど、曲線の開始点から遠ざかり、ばらつきが大きくなっている。これは、交差点サイズに応じて最小速度となる位置が変化することを表現すると同時に、大規模交差点において挙動の空間的ばらつきが増大することを意味するものである。

3.3 走行軌跡

(1) 左折車走行軌跡モデルの考え方

本分析で対象とした左折車両は先行車両の影響を受けない自由走行車両とした。ここでいう自由走行車両とは、左折車両の交差点進入時に先行車両の影響を受けず、かつ、交差点接近時に横断歩道および横断歩道近傍に歩行者が存在しない場合の車両を意味する。また、交差点流入時に車線変更を行った車両は分析対象外とした。

左折車両の軌跡を定量化する上で、本研究では動線の曲率変化に着目する。ある自由走行車両の走行距離-曲率図の例を図3.6に示すが、図中には概ね曲率が一定となる区間が確認できる。このような曲率変化が一定の線形要素としては、直線、円弧、クロソイドがあり、本研究ではこれらの線形要素を用いて、左折走行軌跡を表現することを試みる。

各線形要素パラメータは、実際に観測された走行軌跡の走行距離-曲率図に対し、近似した直線の傾きや直線の変化点座標から類推が可能である。これに対し、平面的には流入部における直線方向角や、それによって決定される交差角およびIP点座標も既知であることから、各線形要素および位置情報の推定は可能である(図3.7)。これら近似された軌跡は、個別の走行車両ごとに算出される、ばらつきを伴うものであるが、この走行軌跡には交差点幾何構造や交差点進入条件が大きく影響しており、これらを説明変数として一定の範囲内での推定は可能であると考えられる。本研究では、個人の走行軌跡のばらつきを考慮した上で、交差点幾何構造や交差点進入条件から各線形要素を説明可能な走行軌跡モデルを構築する。

(2) 左折車走行軌跡モデルの推定

軌跡モデルの推定は、図3.8に示すように、最小曲線半径が確率的なばらつきを伴って変化するものとし、誤差項に正規分布を仮定したモデルにより表現する。具体的には、最小曲線半径の平均値 μ および標準偏差 σ を、交差点構造要因や左折車両の進入条件によって推定するモデルを構築する。尚、本モデル構造は、3.2で説明した左折時最小速度の推定モデルと同様である。円弧の前後区間であるクロソイド区間についても、各種条件をもとに推定することになるが、当該区間では円弧区間における左折時最小速度の影響を強く受ける。そのため、クロソイド区間の推定には車両進入条件や交差点構造の他、左折時最

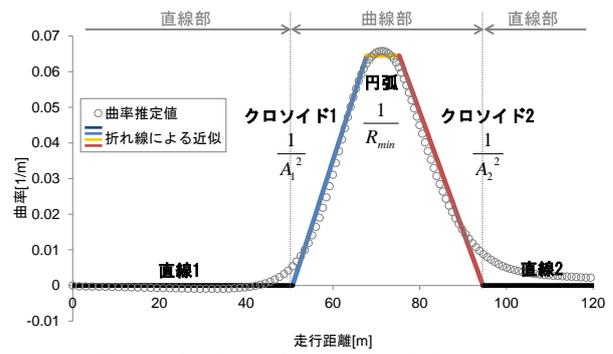


図 3.6 左折走行軌跡の走行距離-曲率図

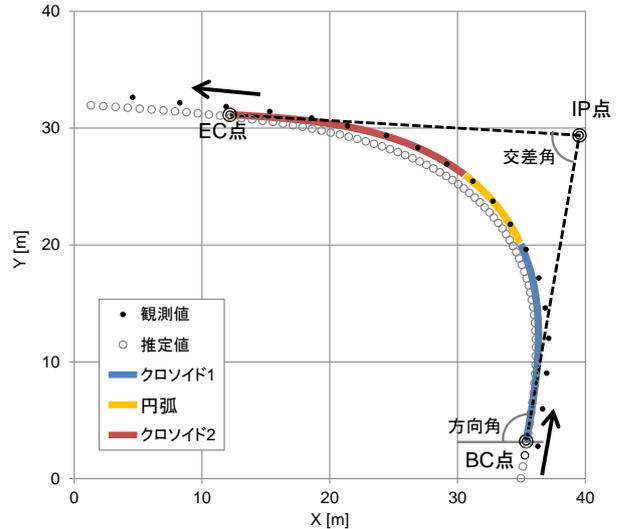


図 3.7 左折走行軌跡の複数線形要素への近似

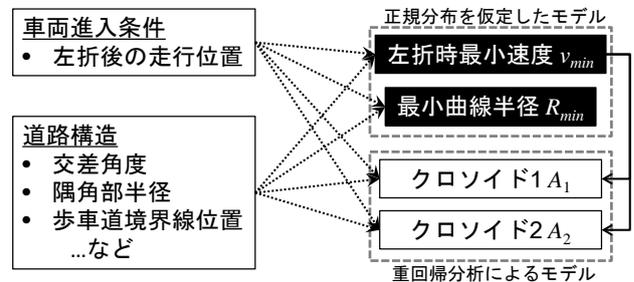


図 3.8 左折走行軌跡推定モデルの構造

小速度を説明変数とした重回帰モデルにて表現することとした。これらにより、左折時走行軌跡のばらつきの表現は、最小曲線半径(ここでは平均値と標準偏差)を確率的な分布によって設定することが可能となり、クロソイド区間においても左折時最小速度に伴いばらつきが表現されることとなる。

最小曲線半径モデルの推定結果を表 3.4 に示す。推定結果より、いずれの説明変数も平均値 μ だけでなく標準偏差 σ に対しても有意となっており、パラメータの符号が正であることから、左折時交差角度、隅角部半径、歩車道境界線からの距離が大きくなるほど、走行軌跡の曲線半径は大きくなり、軌跡のばらつきも大きくなることわかる。

次に、クロソイド区間についてのモデル推定結果

表 3.4 左折時最小曲線半径 R_{min} 推定モデル

パラメータ	説明変数	係数(t 値)
μ	左折時交差角度 [deg]	0.127 (13.09)
	隅角部半径 [m]	0.390 (12.93)
	歩車道境界線からの距離[m]	0.862 (16.81)
	定数項	-6.46 (-6.31)
σ	左折時交差角度 [deg]	0.0363 (4.95)
	隅角部半径 [m]	0.0624 (3.09)
	歩車道境界線からの距離[m]	0.118 (3.89)
	定数項	-2.86 (-3.77)
サンプル数		238

表 3.5 走行軌跡線形要素パラメータ推定モデル

線形要素 説明変数	クロソイド 1	クロソイド 2
	A1 係数(t 値)	A2 係数(t 値)
定数項	-1.65 (-1.85)	2.33 (2.83)
左折時 交差角度[deg]	0.0404 (3.61)	—
隅角部半径[m]	0.334 (8.73)	0.335 (7.52)
大型車ダミー (大型車=1)	—	2.05 (2.89)
歩車道境界線 からの距離[m]	0.461 (7.70)	1.04 (15.2)
最小速度[km/h]	0.369 (9.07)	0.268 (6.88)
R ² 値	0.772	0.774
サンプル数	238	

を表 3.5 に示す。まず、左折時交差角度はクロソイド 1 区間において有意であり、クロソイド 2 区間においては有意にならなかったことより、左折後半以降では交差角度の影響は小さく、左折前半部分において交差角度の影響を受けやすいことが考えられる。隅角部半径、左折後の歩車道境界線からの走行位置は、いずれのクロソイドに対しても有意となっており、符号が正となっている。これより、隅角部半径が大きいほど、また、歩車道境界線から遠いほど、パラメータが大きくなり、軌跡が緩やかになるといえる。さらに、円弧区間での最小速度はいずれの区間でも有意となっており、円弧区間での走行速度が高いほど左折前後での軌跡は緩やかになることがわかる。

3.4 衝突回避判断

(1) 左折車衝突回避判断モデルの考え方

3.2で述べたとおり、左折車両が横断歩道手前で自由走行・停止・通過のうちのどれを選択するかは、横断歩行者との衝突回避判断による。本研究では、この左折車両のギャップ選択挙動の分析を行い、横断歩行者の進入方向を考慮したモデルを構築する。

車両で一般的に称されるギャップとは、同じ方向に進行する 2 台の車両がある地点を通過する時間差で定義される。この概念を左折車両対横断歩行者の

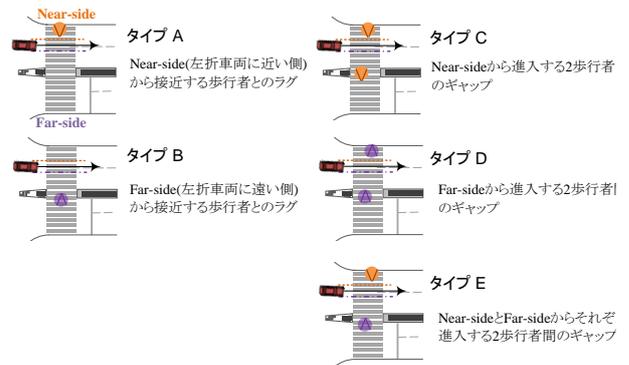


図 3.9 ラグ/ギャップの分類

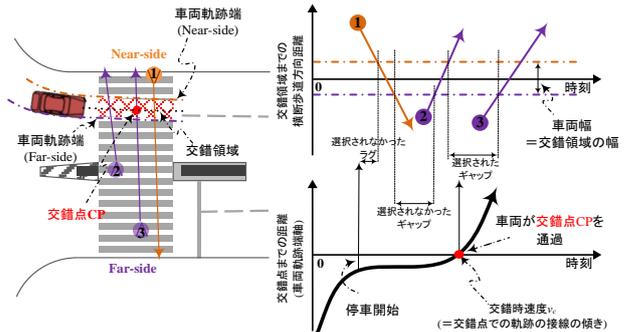


図 3.10 ラグ/ギャップの計測

交錯に適用すると、左折車両に対して歩行者交通流に生じるギャップは、2 人の歩行者の交錯点通過時間差と定義できる。さらに、本研究では、ある時点において 1 人目の歩行者が交錯点に到達するまでに必要な時間をラグと定義し、ギャップとラグを分析対象とする。

ギャップやラグは、ドライバーにとっての横断歩道通過機会であるといえる。横断歩道到達時にも歩行者間に十分なギャップがなければ、ドライバーは減速または停止し、通過可能なギャップが生じるか、全ての歩行者が横断し終わるのを待たなければならない。ここで、通行に充分と感じるギャップの長さには、ドライバーによる差異があり、ギャップ選択の確率的なばらつきを知ることは、安全性を評価する上で不可欠である。

さらに歩行者の横断方向によって、左折車両の視認性やギャップ長に対する判断は異なると考えられるため、ギャップとラグを歩行者の横断方向別に分類の上分析する。分類にあたっては、歩行者の横断開始断面が左折車両流出車線に近い側を Near-side、遠い側を Far-side とする。これにより、ラグとギャップは図 3.9 に示す 5 つのタイプに分類される。

ギャップとラグは、左折車両の車両幅を考慮した上で計測する(図3.10)。Near-Sideから来る横断歩行者は左折車両の左側で、Far-sideから来る横断歩行者は左折車両の右側の軌跡端を交錯位置とし、その交錯位置における時刻からギャップとラグを計測する。尚、本分析では、車両が横断歩道手前に到達した時点から計測を開始し、それ以前に交錯領域を通過した歩行者については計測しないこととした。

車両の対歩行者衝突回避判断モデルを、出現したギャップ/ラグが通過可能か否かを判断するギャップ/ラグ選択モデルとして表現する。本研究では、ドライバーによってばらつきを伴うギャップ/ラグ選択判断をワイブル分布によって表現し、前述のギャップ/ラグ形成状況のタイプ別に推定を行う。

タイプ*i*のギャップ/ラグ*x*の選択確率*P(x)_i*は式(3.3)により計算する。

$$P(x)_i = \frac{N_{i,accepted}}{N_{i,total}} \quad (3.3)$$

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3.4)$$

ここに、*N_{i,accepted}*: 選択されたタイプ*i*のギャップ/ラグの数、*N_{i,total}*: 観測されたタイプ*i*のギャップ/ラグの総数、*P(x)*: ギャップ/ラグ*x*の選択確率、*α*: 形状パラメータ、*β*: 尺度パラメータである。

(2) タイプ別衝突回避判断モデルの推定結果

表 3.6 にタイプ別のパラメータ推定結果を、図 3.11 にタイプ別ギャップ/ラグ選択確率の観測値と推定値の比較を示す。

モデル適合度を示す修正 R² 値は、全てのタイプにおいて良好である(表 3.6)。図 3.11 を見ても、サンプル数の制約により観測値はギャップ/ラグ選択確率の分布形が明確ではないものの、推定結果はおおむね良好であるといえる。タイプ A と B の比較もしくはタイプ C と D の比較より、ドライバーは歩行者が Near-side から進入する場合に、Far-side から進入する場合より短いラグ/ギャップを選択する傾向がみられる。これは、Near-side の歩行者の方が、Far-side の歩行者に比べて視認しづらいことの影響であると考えられ、歩行者の横断方向が衝突回避判断に対して重要な要因であることが示された結果といえる。

尚、今回のモデル推定では、サンプル数の制約により普通車のみを対象としている。また、交差点別・タイプ別のギャップ/ラグの観測数が限られていることから、交差点構造等による影響を組み込むことはできなかった。

3.5 先頭車両と追従車両の挙動相違

(1) 挙動相違分析における走行状態区分

これまでの左折車挙動モデルは先行車両の影響を受けない自由走行車両などを基本とした分析およびモデル化であったが、実現象においては、追従車両は先行車両の挙動を確認しながら、走行軌跡や速度を調整していると考えられる。そこで、観測データをもとに追従車両と先頭車両の挙動の相違について確認を行う。

本分析では、左折車両を、先行車両の有無別、信号待ちの状態別に4種類に分類し、それぞれの挙動デ

表 3.6 ラグ/ギャップ選択モデルのパラメータ推定結果

TYPE	パラメータ	係数	標準誤差	修正 R ² 値	サンプル数	
					A*	R*
A	<i>α</i>	2.011	0.461	0.96	55	67
	<i>β</i>	3.338	0.263			
B	<i>α</i>	2.643	0.398	0.98	104	92
	<i>β</i>	4.344	0.178			
C	<i>α</i>	3.526	0.938	0.93	39	66
	<i>β</i>	4.951	0.268			
D	<i>α</i>	4.766	0.644	0.98	43	98
	<i>β</i>	7.774	0.169			
E	<i>α</i>	4.829	0.943	0.96	50	88
	<i>β</i>	7.264	0.226			

* A は選択された(accepted)ギャップ/ラグ、R は選択されなかった(rejected)ものを示す。

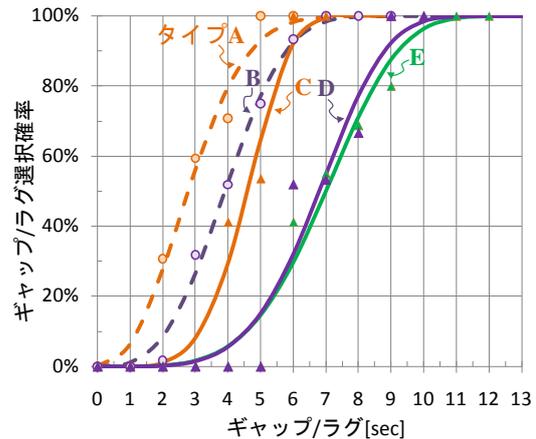


図 3.11 タイプ別観測値と推定値の比較

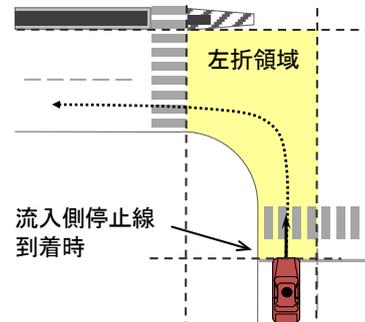


図 3.12 左折領域の定義

ータを比較する。先行車両の有無は、図3.12に示すように流入側停止線と流出側横断歩道端を境界とした“左折領域”を定義し、後方車両が停止線到着時にこの左折領域に先行車が存在するか否かにより分類を行った。横断歩行者の影響範囲については、左折領域を通過する際に、横断歩道上に歩行者が存在する場合は影響を受けるものとし、そうでない場合は、横断歩行者の影響を受けないものと仮定する。

【分析上の車両分類】

- Head leading: 信号待ちした先行車両の影響を受けない先頭車両

表 3.7 分析対象交差点(西大須交差点)概要

流入部	西
調査時間	2008/01/18 9:00-12:30
左折角度[deg]	75
流出側車線数	5
停止線セットバック距離[m]	25.3
横断歩道セットバック距離[m]	10.6
歩行者交通量[ped/h]	228
左折車交通量[veh/h]	242

表 3.8 分析使用データ

分類		サンプル数
Head leading	歩行者あり	68
	歩行者なし	0
Leading	歩行者あり	21
	歩行者なし	32
Following	歩行者あり	165
	歩行者なし	71
Overtaking	歩行者あり	32
	歩行者なし	0

- **Leading** : 信号表示中に到着した先行車両の影響を受けない先頭車両
- **Following** : 先行車両が存在して追従している車両
- **Overtaking** : 先行車両が低速または一時停止の状態の時に、先行車両を追い越す形で並列に並んで走行する車両

(2) 走行軌跡と走行速度の比較

本分析では基礎的な車両挙動として走行軌跡と走行速度の比較を行う。分析には、西大須交差点西流入部の挙動データを用いた(表3.7, 3.8)。

また、左折時における軌跡や速度を連続的に評価するため、走行軌跡の評価には左折時角度と縁石からの距離を用いて、走行速度の評価には左折時角度と各断面における速度分布を用いて評価を行う(図3.13)。

分類ごとの走行軌跡の比較を図3.14に示す。車線選択位置に違いはあるものの、走行軌跡は概ね類似していることが分かる。また、流出車線選択の際には、流入側車線から徐々に流出車線に向かって移動しているケースが多く、追従状態から途中で車線選択を変更するケースが少ないことも読み取れる。さらに先行車両と並列した車両(Overtaking)の走行軌跡図から、並列走行の際には外側(右側)車線が選択されているケースが多いこともわかる。

次に走行速度の分布図を図3.15に示す。交差点流入時の停止線断面における速度については、Head leadingは信号待ちの影響による停止線手前で一旦

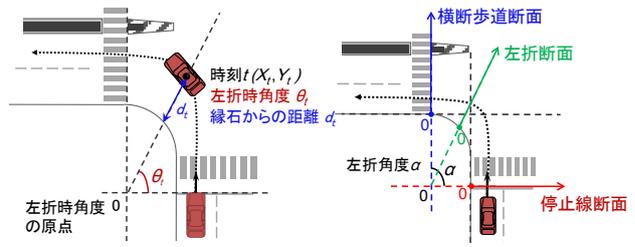
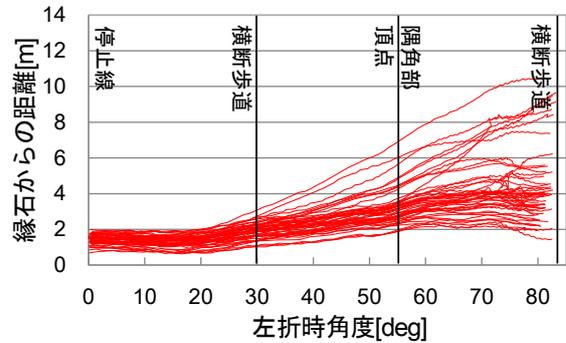
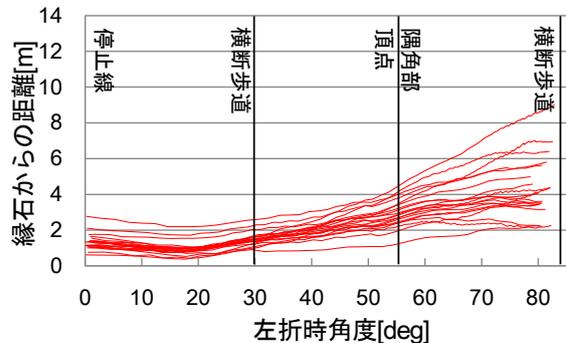


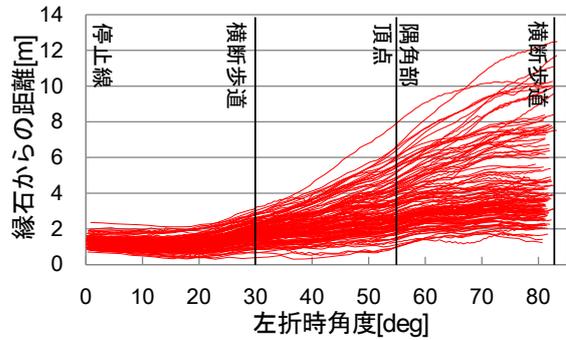
図 3.13 評価軸の定義



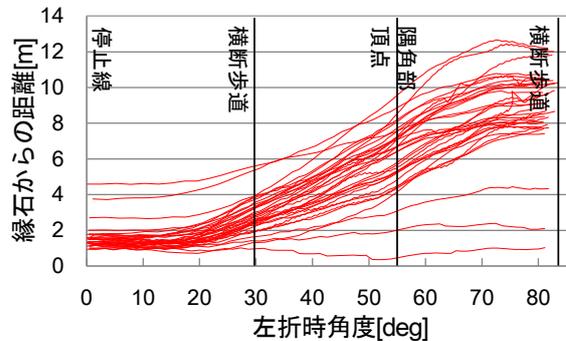
(a) Head leading (歩行者あり)



(b) Leading (歩行者あり)



(c) Following (歩行者あり)



(d) Overtaking (歩行者あり)

図 3.14 左折走行軌跡の比較

ゼロになるため、停止線断面における速度が4種類の中で最も低く、10[km/h]付近に集中している。先行車両の影響を受けないLeading車両は、停止線断面における速度が他の3種類より高くなっており、30[km/h]付近に分布している。また、追従車両のFollowingとOvertakingの停止線断面における速度は10~30[km/h]の間にばらついている。従って、停止線断面における4種類の車両走行速度には相違があるといえる。しかし、左折断面における全車両の速度は10~25[km/h]の間に分布するようになり、ばらつきが小さくなっている。横断歩道断面においても、全車両の速度分布はさらにばらつきが小さく、10~30[km/h]の間に位置している。以上より、種類別に分類した車両速度は、交差点流入部での速度は異なるものの、流出部での速度は概ね類似している傾向にあるといえる。また、LeadingとFollowingの横断歩行者の影響を受けない場合においても同様の速度分析を行ったが、横断歩行者の影響を受ける場合の結果と同様であった。

以上の比較結果より、種類別に分類した左折車両の走行軌跡と速度は、概ね類似する傾向にあり、Overtaking車両の走行軌跡のみが他の分類車両と異なることが明らかとなった。

(3) 並列走行率のモデル化

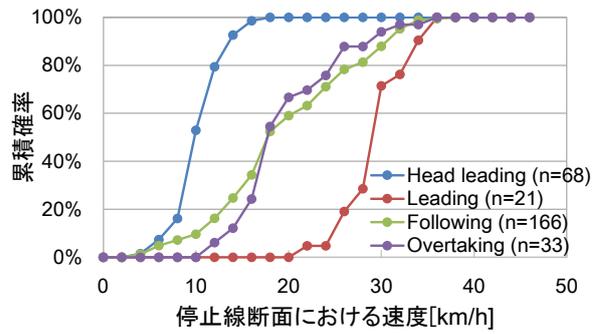
走行速度と走行軌跡の比較分析結果より、並列走行(Overtaking)車両の走行軌跡のみが特徴的であることが明らかとなった。このため、シミュレータ内での左折車両挙動の再現を行うことを念頭に、並列走行の出現率についてモデル化の検討を行った。

並列走行車両の出現率を道路構造や交通運用から説明する重回帰モデルにより構築する(式3.5)。被説明変数は、並列走行車両台数を全左折交通量で除して正規化を行った“並列走行率”とした。説明変数には、別途行った左折走行率と各種の道路交通要因との相関分析結果をふまえ、流出側車線数と歩行者交通量を採用した。

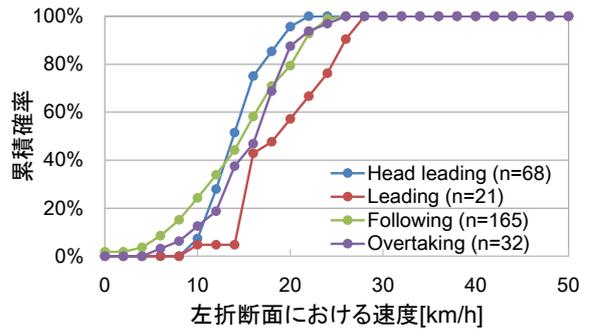
$$P_{overtaking} = (a_1 \times X_{ped} + a_2 \times X_{lane} + a_3) \times X_{se} \times X_{sin} \quad (3.5)$$

$P_{overtaking}$: 並列走行率
 a_1, a_2, a_3 : 係数
 X_{ped} : 歩行者交通量(自転車を含む)
 X_{lane} : 流出側車線数(2車線以上)
 X_{se} : 歩車分離ダミー(分離:0;分離ではない:1)
 X_{sin} : 流出側1車線ダミー(複数車線:1;1車線:0)

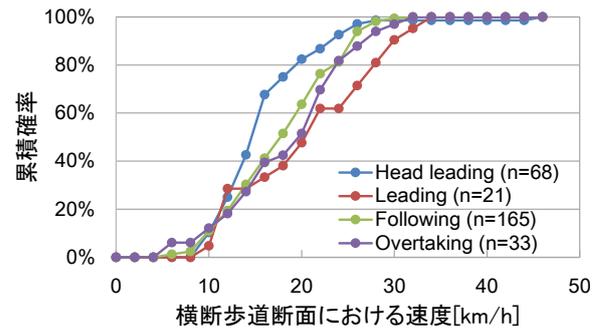
推定結果を表3.9に示す。流出側車線数と歩行者交通量の係数が並列走行率に対して正となっており、流出側車線数が多く、歩行者交通量が多い場合には、並列走行率が高くなる傾向が示された。具体的には、流出側車線数が1車線増加すると並列走行率が3.43%増加し、歩行者交通量が100人多くなると、並列走行率が3.87%増加する計算結果である。尚、その他の説明変数候補群として、左折導流ゼブラの



(a) 停止線断面における速度分布(歩行者あり)



(b) 左折断面における速度分布(歩行者あり)



(c) 横断歩道断面における速度分布(歩行者あり)

図 3.15 左折走行速度の比較

表 3.9 並列走行率推定モデルの推定結果

説明変数	係数	t 値
歩行者交通量	3.87×10^{-4}	10.26
流出側車線数	3.43×10^{-2}	6.73
定数項	-1.02×10^{-1}	-6.57
サンプル数	37	
重相関係数	0.94	
重決定係数	0.89	
自由度調整済み重決定係数	0.88	

有無や横断歩道セットバック距離などを検討したものの、いずれも統計的に有意な結果とはならなかった。

3.6 まとめ

本章では、信号交差点における左折車両挙動を対象として、走行速度、走行軌跡および衝突回避判断

に関する分析とモデル化を行った。また、先頭車両と追従車両の挙動の相違を確認した上で、並列走行率の出現率に関するモデル化を検討した。

走行速度モデルでは、3次関数曲線に近似した速度プロファイルを交差点構造と車両進入条件から特定するモデルを構築した。また、走行軌跡は、円弧とクロソイド曲線により近似した上で、それぞれのパラメータを交差点構造と車両進入条件から特定するモデルを開発した。走行速度と走行軌跡の分析結果より、隅角部半径が大きく、左折完了時の走行位置が歩車道境界端よりも離れているほど、左折最小速度が大きく、かつ、速度のばらつきも大きくなり、走行軌跡がショートカット走行となりやすいことが明らかとなった。多車線かつ大規模な交差点においては、左折走行時の自由度が高くドライバーごとのばらつきが大きくなるため、交差点安全性に対して一層の配慮が必要であることが示唆される。

衝突回避判断モデルでは、横断歩行者の進行方向を考慮したギャップ/ラグ形成状況の種別ごとに、左折ドライバーのギャップ/ラグ選択モデルを推計した。推定されたモデルの比較結果から、左折車両のNear-sideから歩行者が横断する場合には、短いギャップで通過を選択している確率が高いことが明らかとなり、左折時における横断歩行者の視認性が課題となることが示唆された。

最後に、先頭車両と追従車両の挙動相違について、実観測データをもとに比較分析を行い、走行速度・走行軌跡はいずれも概ね類似しており、並列走行状態となる走行軌跡のみに特徴的な違いがあることを明らかにした。並列走行状況については、道路交通環境からその出現率を推定するマクロモデルを構築した。

以上より、信号交差点における左折車両の基本的な挙動についてはモデル化が実現されたといえる。今後は、より多くの交差点挙動データ、特に小規模交差点での観測データを用いて、これらの挙動モデルの妥当性を検証していくことや、本分析では扱えなかった自転車交通に対する評価なども行っていくことが必要である。

参考文献

- 1) 社団法人 交通工学研究会: 改訂 交通信号の手引き, 2006.
- 2) 社団法人 交通工学研究会: 改訂 平面交差の計画と設計 基礎編 第2版, 2004.
- 3) 社団法人 交通工学研究会: 路面標示 設置マニュアル, 2011.
- 4) Chen, P., Nakamura, H., Asano, M. and Zeng, W.: A microscopic traffic simulation model for safety assessment of left-turning vehicle versus pedestrian conflict at signalized intersections, *Proceedings of Infrastructure Planning*, No.47, 8 pages, CD-ROM, 2013.
- 5) Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of surrogate safety measures for assessment of pedestrian

versus left-turning vehicle conflict at signalized crosswalks, *Proceedings of the International Conference Road Safety and Simulation 2013*, 16 pages, USB, 2013.

- 6) 伊藤大貴, 鈴木弘司: 歩行者と左折車の危険交錯事象と交差点構造の関連性分析, 土木計画学研究・講演集, No.47, 6 ページ, CD-ROM, 2013.
- 7) 張馨, 中村英樹, 渡部数樹: 信号交差点の構造と横断歩行者に応じた左折車両挙動の分析, 土木計画学研究・講演集, No.49, 6 ページ, CD-ROM, 2014.

第4章 右折車両挙動モデルの分析とモデル化

4.1 はじめに

本章では信号交差点での右折車両挙動に関する分析及びモデル化を行う。分析対象とする挙動は3章において扱った走行速度および走行軌跡の他、右折矢現示終了間際における通過/停止判断挙動、対向直進交通流の停止に伴い発進を開始する際の発進反応時間、右折特有の対向直進交通流に対するギャップアクセプタンス挙動を対象とする。本章でも、左折車挙動の分析と同様、2章において説明した挙動観測データをもとに分析し、シミュレータ上で表現可能とする挙動モデルを構築する。

4.2 走行速度

右折時における走行速度のモデル化は、左折時と同様に走行速度プロファイルを3次関数曲線に近似することにより表現する。通常、青丸現示における右折走行時には、対向直進交通流の通過を待つ場合や、流出先の横断歩行者との衝突回避のために減速および停止を伴うケースも存在する。これら減速や停止については、左折時における通過・停止プロファイルの選択行動と同様にとらえることが可能であると考える。本分析でも自由走行時の速度プロファイルの推定を検討する。

図4.1に示す通り、自由走行速度プロファイルを、最小速度 v_{min} を境界として自由走行プロファイルを流入・流出に分割し、流入前および流出後の速度は一定、かつ、所与であることを仮定した上で、右折速度プロファイル係数 $c_{1,in}$ 、 $c_{1,out}$ と、最小速度 v_{min} およびその位置 x_{min} を推定することによって、時間的推移を表す速度プロファイルにあわせて、空間的推移を表す走行軌跡とも関連付ける。

右折時の自由走行速度プロファイルの推定モデルにおいて検討した説明変数候補群を図4.2に示す。左折時においては、隅角部半径や流出部での歩車道境界線からの距離といった転回先での物理的な構造要

因が影響していることが明らかとなったが、右折時においてはこれらに該当する構造物は存在しない。一方で流出入口位置における中央分離帯や路面標示などの存在は走行速度にも影響を与えるものと考えられることから、IP点からそれぞれまでの距離を説明変数の候補として検討した。

モデル推定においては、左折時と同様、速度プロファイルの3次係数 $c_{1,in}$ 、 $c_{1,out}$ には非対称形であるガンマ分布を、最小速度 v_{min} および最小速度となる位置 x_{min} には正規分布を仮定し、最尤法によりパラメータ推定を行った。推定結果を表4.1及び表4.2に示す。

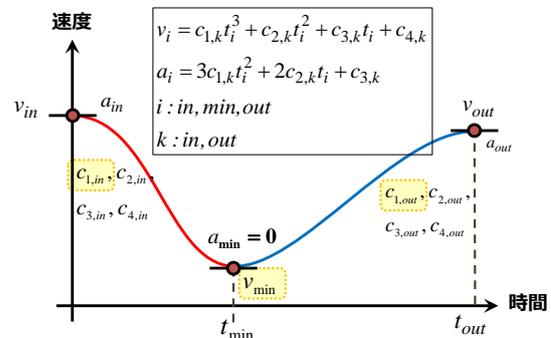


図 4.1 自由走行速度プロファイルの境界条件とモデル化を行うパラメータ

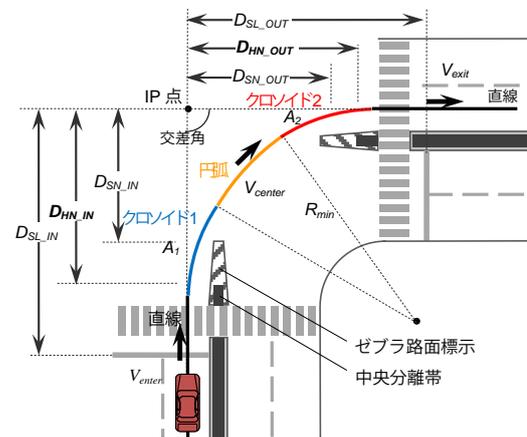


図 4.2 モデルに用いた説明変数候補群

表 4.1 右折速度プロファイル係数 $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ の推定結果

パラメータ	説明変数	$c_{1,in}$ $X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$ 係数(t 値)	$-c_{1,out}$ $X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$ 係数(t 値)
α	流入速度[m/sec]	0.320 (4.67)	0.0275 (1.75)
	右折時 交差角度[deg]	-0.0150 (-2.85)	0.0108 (2.51)
β	右折時 交差角度[deg]	0.000334 (5.52)	0.000228 (3.06)
	IP 点から中央分離帯までの距離 流出側 D_{HN_OUT} [m]	-	0.00222 (5.00)
対数尤度		149.81	192.78
サンプル数		84	89

表 4.2 最小速度 v_{min} およびその位置 x_{min} の分布推定結果

パラメータ	説明変数	v_{min} $N(\mu, \sigma)$ 係数(t 値)	x_{min} $N(\mu, \sigma)$ 係数(t 値)
μ	流入速度[m/sec]	0.488 (14.13)	0.917 (4.27)
	右折時 交差角度 [deg]	0.0236 (4.37)	0.150 (3.28)
	IP 点から中央分離帯までの距離 流入側 D_{HN_IN} [m]	0.0325 (2.96)	0.218 (2.96)
σ	流入速度 [m/sec]	0.0261 (1.91)	-0.438 (-2.26)
	右折時 交差角度 [deg]	0.00689 (2.74)	0.0975 (2.38)
	IP 点から中央分離帯までの距離 流入側 D_{HN_IN} [m]	-	0.101 (1.75)
対数尤度		-103.32	-273.07
サンプル数		84	84

表4.1より、速度プロファイル全体概形を示す3次係数 $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ には、流入速度と右折時交差角度が影響しており、流出側についてはこれ加えて流出側のIP点から中央分離帯までの距離も影響していることがわかる。つまり、自由走行時の速度プロファイル概形に対しては、流入速度と交差角の影響が強いが、流出側の加速時においては、流出先の物理的構造物までの距離も大きく影響しているということが理解できる。

また、表4.2の結果からは、最小速度の値およびそのときの位置のいずれに対しても流入速度、交差角、流入側のIP点から中央分離帯までの距離が影響していることがわかる。右折時の交差角が大きく鈍角となればなるほど、また、流入側ハードノーズ位置からの距離が長く交差点内部空間での自由度が高くなるほど、最小速度の期待値とばらつきが大きくなり、安全性に対してマイナスの効果をもたらすことが示唆されているといえる。

4.3 走行軌跡

右折時走行軌跡のモデル化についても、基本的な考え方は左折時と同様である。図4.3に示すように、

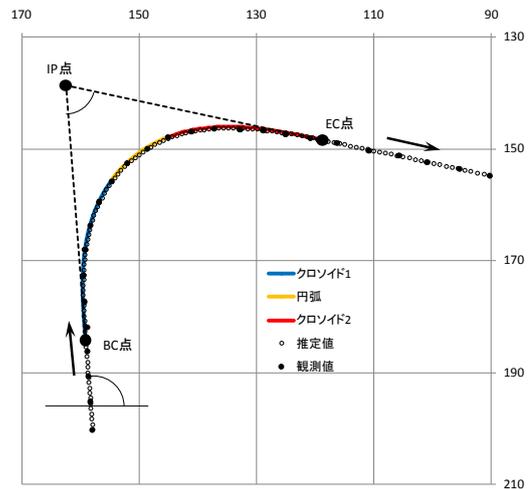


図 4.3 複数線形要素による右折走行軌跡の近似

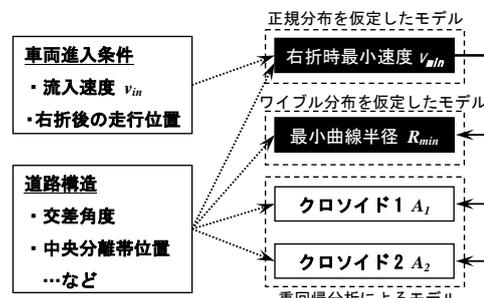


図 4.4 右折走行軌跡推定モデルの構造

右折時の走行軌跡をクロソイドと円弧の線形要素に近似する。走行軌跡が確率的なばらつきを伴って変化することを表現するため、最小曲線半径に対して、誤差項に確率分布を仮定したモデルにより表現し、前後区間であるクロソイド区間については、各種の条件を説明変数とした重回帰モデルにて表現する(図4.4)。尚、モデル構造そのものは左折時と同様であるが、右折時の最小曲線半径推定モデルには、実観測データの分布形を確認の上、ワイブル分布を適用することとし、形状パラメータ α と尺度パラメータ β を推定するモデルとした。

本分析における対象交差点の概要とサンプル数を表4.3に示す。モデル推計上に用いた軌跡データは、全て直進と分離された右折専用現示を有する交差点での軌跡データである。尚、青丸現示中や青丸現示に連続して提示される右折矢現示中の走行軌跡についても、車両走行状態別に走行軌跡の比較分析を行ったが、自由走行状態と概ね類似傾向にあることは別途確認済みである。

推定結果を表4.4および表4.5に示す。

表4.4より、右折時交差角度と最小速度が右折時最小曲線半径のばらつきに対して有意であり、かつ、パラメータの符号が正であることから、右折時の交差角度が鈍角であるほど右折時の最小曲線半径のばらつきが大きくなることがわかる。また、右折時の最小速度が高いほど走行軌跡のばらつきが大きくなることも示されている。

また、表4.5からは、最小速度が高いほど緩やかな軌跡を示す結果となっている。一方で、流入前および流出後での走行速度を説明変数とした場合には有意とならなかった。これには、流入前後の速度は、円弧区間と比べて速度のばらつきが大きいためと考えられる。また、IP点から中央分離帯までの距離は、クロソイド1では流入側が、クロソイド2では流出側が有意となった。IP点から停止線までの距離も有意であったが、中央分離帯ノーズ端までの距離を用いた方がより説明力が高かった。また、ゼブラ標示末端までの距離は有意ではなかった。したがって、右折走行軌跡には物理的な構造物の存在が強く影響しているといえる。

4.4 通過/停止判断

(1) 通過停止判断と道路交通環境に関する分析

信号切り替わり時に直面したドライバーが、そのまま交差点を通過するのか、停止線位置にて停止を行うかの判断挙動は、信号交差点の安全性評価を行う上で重要な項目の1つである。本節では、右折ドライバーを対象として、通過停止判断と道路交通環境との因果関係について、走行位置と接近速度の関係から分析を行った上で、ドライバーの停止判断モデルの構築を行う。

まず、信号切り替わり時の車両走行状態と通過停止判断結果について分析するため、信号切り替わり時における車両の停止線からの走行位置 X および接近速度 V の関係(X - V 図)から分析する。

図4.5は X - V 図の一例であり、この図において、 L_1 より右側の領域は理論上ドライバーが停止線位置までに安全に停止できる状態を示しており、 L_2 より左側は黄表示中に停止線を越えることができる状態を示している。 L_1 と L_2 に囲まれている領域はそれぞれジレンマゾーン、オプションゾーンと称されており、例えば、オプションゾーンでは停止線位置で安全に停止することも可能でありながら、黄表示中に停止線を通過することも可能であると想定される状態に該当し、ドライバーにとって判断に迷う可能性がある状況といえる。本分析では、挙動調査により実測したデータをこのような X - V 図上にプロットし、構造や信号現示設定が異なる交差点流入部ごとで比較することによって、外部的な影響要因と通過/停止判断との関係を分析する。尚、分析上、黄時間中の停止線通過を判断する L_2 の他、赤時間中の停止線通過を判断するための L_2' についても定義した(式4.3)

$$L_1 = \tau V + \frac{V^2}{2d} \quad (4.1)$$

$$L_2 = YV \quad (4.2)$$

$$L_2' = AR \cdot V \quad (4.3)$$

表 4.3 対象交差点の幾何構造とサンプル数

交差点名	流入部	交差角 [deg]	交差点中心から中央分離帯までの距離[m]		サンプル数
			流入部	流出部	
上更	西	88	24.3	26.5	49
	北	90	22.9	22.7	12
小川	東	70	48.5	33.4	7
御器所通	北	99	24.0	20.4	16
水主町	東	120	37.3	17.3	3
	南	68	29.8	28.3	18
	北	88	21.6	29.7	12
熱田神宮南	北	63	19.3	21.4	10
桜山	南	86	22.9	29.2	6
合計	-	-	-	-	136

表 4.4 右折時最小曲線半径 R_{min} 推定モデル (ワイブル分布)

パラメータ	説明変数	係数(t 値)
形状パラメータ α	右折時交差角度 [deg]	0.0282 (2.70)
	IP 点から中央分離帯までの距離の最小値 $\text{Min}(D_{HN_IN}, D_{HN_OUT})$	0.0807 (2.15)
尺度パラメータ β	右折時交差角度 [deg]	0.162 (4.94)
	右折時最小速度 [m/s]	1.43 (3.80)
サンプル数		136
自由度調整済み尤度比		0.127

表 4.5 走行軌跡線形要素パラメータ推定モデル

説明変数	線形要素	クロソイド1 A_1	クロソイド2 A_2
		係数(t 値)	係数(t 値)
定数項		6.09 (2.76)	6.81 (1.83)
右折時最小速度[m/s]		0.985 (3.24)	0.611 (3.01)
右折時最小半径[m]		0.186 (2.76)	0.313 (4.69)
IP 点から中央分離帯までの距離[m]	流入側 D_{HN_IN}	0.235 (5.93)	-
	流出側 D_{HN_OUT}	-	0.188 (1.74)
R^2 値		0.416	0.366
サンプル数		136	

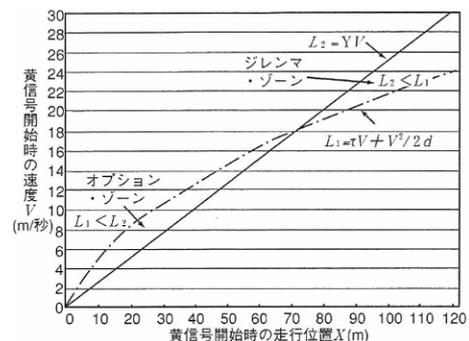


図 4.5 ジレンマゾーンとオプションゾーン (出典:『改訂 交通信号の手引き(平成18年7月, 交通工学研究会)』P.44)

表 4.7 X-V図上での分析結果の比較

	上更		御器所通	水主町	熱田神宮南	
	南	北	北	東	西	南
A	150		140	160	155-160	
B	13/3/4		15/2/4	17/4/5	24-33/3/4	15-17/3/5
C	90	90	100	115	120	60
D	9.0	13.0	25.0	23.0	7.0	7.0
E	46.7%	38.5%	27.8%	12.2%	27.8%	13.2%
F	L2'付近	全赤基準のオプションゾーン内 ~L2'付近	全赤基準のオプションゾーン内	全赤基準のL1付近	全赤基準のオプションゾーン内	~L2'付近
G	加速	加速	加速	等速	加速	減速

A : 信号現示サイクル長[sec]
 C : 交差角度[deg]
 E : 停止領域での通過選択割合
 G : 通過選択車両の加減速傾向

B : 各現示時間(青矢/黄/全赤)[sec]
 D : 停止線セットバック量[m]
 F : 停止選択車両の分布領域

ここに、 τ : 運転者の反応時間(=黄表示開始時から、ブレーキが効き始めるまでの時間)(s), V : 黄表示開始時における車両の接近速度(m/s), d : ブレーキが効き始めてから停止するまでの平均減速度(m/s²), Y : 黄時間長(s), V : 黄表示開始時における車両の接近速度(m/s), AR : 赤時間長(s)である。

分析対象交差点と取得したサンプル数を表 4.6 に示す。対象交差点は 4.3 での分析と同様、いずれも直進と分離された右折専用現示を有する交差点であるが、青丸現示の後に右折矢が提示されるような交差点でも同様の傾向にあるものと考えられる。ドライバーが信号切り替わり時に直面するケースは、実現象において頻繁に発生するわけではなく、十分なサンプル数の確保には苦労を要するが、分析上耐えるサンプル数は確保できているといえる。交差角度や現示時間設定は同一交差点でも流入部ごとに異なることから、流入部単位で分析を行うこととした。また、十分なサンプル数が得られなかった交差点や流入部は分析対象から除外した。

収集したデータを X-V 図上で評価した例を図 4.6 に、交差点流入部ごとに整理した結果を表 4.7 に示す。表 4.7 より、停止領域で通過を選択している割合が高い箇所として上更・南/北流入部、停止を選択している割合が高い箇所として水主町・東流入部、熱田神宮南・南流入部が挙げられる。上更交差点は交差角度が 90 度に近く、交差側車両の見通しが良い交差点であるのに対し、水主町交差点や熱田神宮南交差点の南流入部では、高速道路の橋脚や交差角度の影響で視認性が悪いことが停止判断に影響を与えていると推測される。また、停止選択車両と通過選択車両の分布領域は、黄時間を基準とした場合よりも赤時間を基準とした場合の方が明確に分かれており、ドライバーの停止判断には黄時間のみでなく全赤時間も影響している可能性が示唆されている。通過選択後の加減速に関しては、全体として加速傾向にあり、交差角が鋭角になるときのみ加速が困難となり減速側になると理解できる。

表 4.6 通過停止判断分析に用いたデータ

交差点名	流入部	対象サンプル数		
		通過	停止	合計
上更	南	19	11	30
	北	24	15	39
御器所通	北	24	12	36
水主町	東	31	10	41
熱田神宮南	西	58	34	92
	南	32	21	53
合計		188	103	291

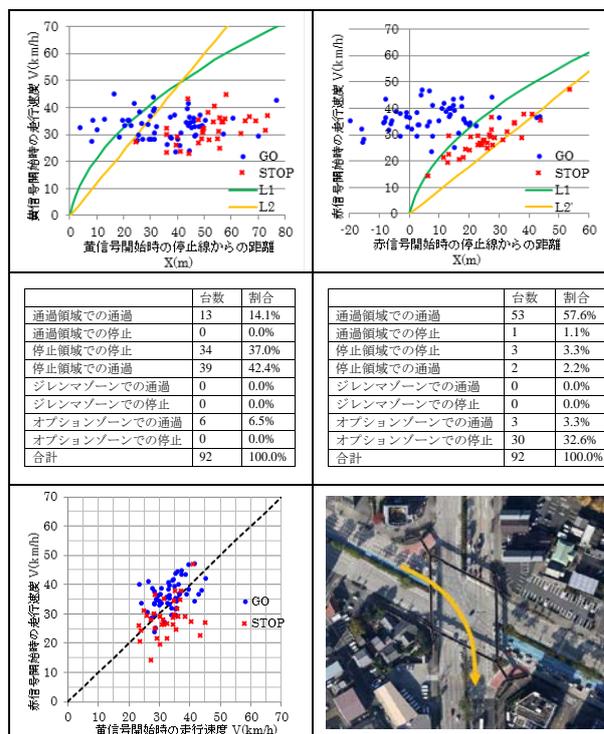


図 4.6 X-V図での分析例(熱田神宮南交差点・西流入部)

(2) 右折走行時における停止選択モデルの推定

X-V 図による分析結果より、右折ドライバーの通過/停止選択挙動には、道路構造や交通運用等の要因が関係していることが示唆された。これらの要因の特定と意思決定判断のシミュレータ上での表現を目

的として、停止選択モデルを構築する。

黄開始時の停止選択判断を二項ロジットモデルモデルにより表現する。説明変数は、信号制御や道路構造、車両ごとの状態量などを候補群とし最終的に有意となる説明変数のみを選定した。

$$P_{stop} = \frac{\exp(V_{stop})}{1 + \exp(V_{stop})} \quad (4.4)$$

ここに、 P_{stop} ：黄表示に直面した時の車両の停止確率、である

推定結果を表 4.8 に示す。自由度調整済み尤度比や停止/通過選択的中率の算出結果より、本モデルは比較的高い適合度を有しているといえる。最終的に抽出された説明変数は、道路構造に関する要因として停止線セットバック量と交差角度、車両ごとの状態量として黄開始時の停止線までの所要時間が抽出され、信号制御に関する要因は抽出されなかった。

抽出された説明変数より、右折時の停止選択挙動と影響要因の関係については以下の通り解釈できる。

- 黄開始時の停止線までの所要時間が長いほど、ドライバーは停止を選択する傾向にある。
- 黄開始時の交錯点通過までの所要時間ではなく、黄開始時の停止線までの所要時間の方が、モデルの説明性が高かったことから、ドライバーは停止線通過の可否により停止/通過の選択を判断していると考えられる。
- 停止線セットバック量が大きいほど、インターグリーン中の通過が困難となり、停止を選択する傾向にある。
- 交差角度が大きくなるほど直進に近い形となり、走行性が向上することため、ドライバーは通過を選択しやすい傾向にある。

4.5 発進反応時間

(1) 分析概要

本節では、右折専用現示前後のインターグリーンにおける右折車両や交差側直進車両の発進反応時間に対し、道路交通環境や交錯車両の通過状態がどのように影響しているかについて分析を行う。

右折専用現示の点灯時および終了時には、図 4.7 に示す 2 種類の発進挙動と関連する交錯がある。右折専用現示の開始時に発進する右折車は、直進現示終了時の最終対向直進車の交錯の影響を受ける。また、右折専用現示の終了時には、最終右折通過車両の交錯影響を受けながら、交差側直進車両が発進する。本分析では、右折専用現示の開始時に発進する先頭右折車をエンタリング右折車、右折専用現示の終了時に発進する先頭直進車を交差側直進車と呼ぶこととし、それぞれについての分析を行う。

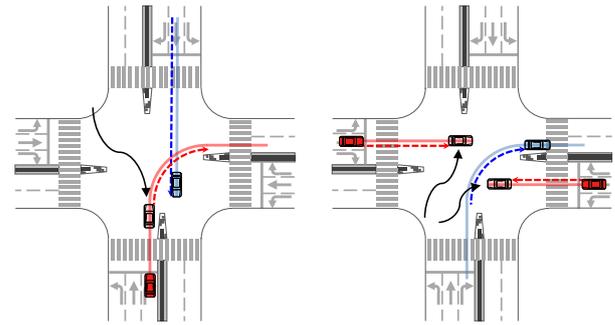
(2) 発進反応時間の基礎統計分析

発進反応時間(Start-up Response Time; SRT, 以下

表 4.8 右折時の停止選択モデルの推定結果

説明変数	係数	t 値
黄開始時の停止線までの所要時間[s]	0.918	8.07**
停止線セットバック量[m]	0.0907	3.27**
交差角度[deg]	-0.0113	-1.50
定数項	-5.13	-5.55**
自由度調整済み尤度比的中率[%]	0.360	82.7
サンプル数	306	

**1%有意



(a) 右折専用現示前のインターグリーン (b) 右折専用現示後のインターグリーン

図 4.7 右折専用現示前後での発進挙動と交錯事象

表 4.9 右折時の停止選択モデルの推定結果

交差点名	右折流入部	対象サンプル数			
		エンタリング右折車	合計	クリアランス右折車	合計
上更	西	25	68	23	73
	南	23		26	
	北	20		24	
小川	東	22	33	-	11
	南	11		11	
御器所通	南	17	39	5	33
	北	22		28	
水主町	東	35	136	40	103
	西	35		14	
	南	26		40	
	北	40		9	
熱田神宮南	西	-	47	94	207
	南	31		48	
	北	16		65	
合計			323		427

SRT)に関する分析データはビデオ画像処理システムを用いて収集し、対象車両が信号現示の切り替わり時刻に対してどの程度の反応時間を要したのかを0.1秒単位で取得した。この際、ドライバーが信号切り替わり時刻を予測した上で、切り替わり時刻よりも前に発進を開始した場合には、SRTはマイナスの値となる。

分析に使用したサンプル数を表4.9に示す。分析上、脇見等により発進遅れを伴っている場合や、過度に停止線位置から前後している場合は分析対象外とみ

なし、SRTおよび停止線からの距離に対して一定の閾値以内にあるものを分析対象とした。本研究では、SRTが-5~+5[s]、停止線からの位置が流入部ごとの平均値・2σ~+2σ[m]の範囲にあるものを分析対象とした。

取得したSRTについて、交差点流入部単位での基本統計量(平均値, 中央値, 標準偏差)を算出した結果を表4.10および表4.11に示す。また、SRTの頻度分布の一例を図4.8に示す。

各交差点単位で比較すると、一部の交差点を除き、各交差点における流入部別統計量は、交差点全体で概ね傾向が類似している。また、全交差点を総合するとエンタリング右折車のSRTの方が交差直進車のSRTよりも値が小さい傾向にある。この要因として、右折専用現示が直進・左折の後に点灯する点灯順序の影響や、分析対象交差点の右折専用車線が1車線であることによる後続待機ドライバーへの影響度などが考えられる。また、個別の交差点に着目すると、上更交差点ではエンタリング右折車のSRTが長いのにに対し、小川交差点ではSRTが短い結果となっており、セットバック量が大きい交差点ほどSRTが短くなり、フライング傾向になっていると考えられる。

(3) 発進反応時間推定モデル

SRTやその累積確率分布が交差点単位で類似する傾向にあることをふまえ、エンタリング右折車と交差側直進車の発進反応時間分布を道路交通状況や交錯車両の状態量から推定するモデルを構築する。モデル化にあたっては、SRTの累積分布形状がワイブル分布に従うと仮定し、分布パラメータ α , β , γ に各種説明変数を組み込むことにより分析する。

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right) \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 + \alpha_1 x_1^{\alpha} + \dots + \alpha_n x_n^{\alpha} \\ \beta &= \beta_0 + \beta_1 x_1^{\beta} + \dots + \beta_n x_n^{\beta} \\ \gamma &= \gamma_0 + \gamma_1 x_1^{\gamma} + \dots + \gamma_n x_n^{\gamma} \end{aligned} \quad (4.6)$$

ここに、 $f(t)$: 経過時間 t [s]における車両の発進確率、 α : 形状パラメータ、 β : 尺度パラメータ、 γ : 位置パラメータ、である。

エンタリング右折車と交差側直進車それぞれについてパラメータ推定を行った結果を表4.12に示す。モデル推定結果において、エンタリング右折の自由度調整済み尤度比が0.2未満と若干低いものの、一定の適合度を示しているといえる。

抽出された説明変数の符号条件より、エンタリング右折車では停止線セットバック量が多いほど発進タイミングが早くなり、赤時間が長いほど発進タイミングが遅くなるものと解釈できる。交差側直進車については、エンタリング距離が長いほど、また、最終右折車の交錯点までにかかる時間が長いほど発

表 4.10 交差点流入部ごとのSRT基本統計量(右折)

交差点名	エンタリング右折車			
	流入部	平均値 [s]	中央値 [s]	標準偏差 [s]
上更	西	0.77	0.59	1.25
	南	0.60	0.27	0.94
	北	0.82	0.78	1.02
小川	東	-0.37	-0.50	0.67
	南	-0.63	-0.88	1.18
御器所通	南	0.33	0.20	0.65
	北	0.34	0.30	0.62
水主町	東	0.34	0.26	0.40
	西	0.13	0.27	0.78
	南	0.13	0.08	0.55
熱田 神宮南	北	0.25	0.18	0.59
	西	—	—	—
	南	-1.27	-1.30	2.05
(全体平均)		0.09	0.09	0.99

—: サンプルが取得できなかった流入部

表 4.11 交差点流入部ごとのSRT基本統計量(交差直進)

交差点名	交差直進車			
	流入部	平均値 [s]	中央値 [s]	標準偏差 [s]
上更	南	1.33	1.43	0.99
	東	1.26	1.37	0.81
	西	1.65	1.53	0.85
小川	北	1.90	2.17	1.53
	東	—	—	—
御器所通	東	※4.02	※4.21	※0.45
	西	0.62	0.68	0.74
水主町	北	0.23	0.22	1.40
	南	0.38	0.79	1.28
	東	0.53	0.36	1.15
熱田 神宮南	西	※0.33	※0.43	※0.57
	南	0.79	1.05	1.30
	東	0.99	1.02	1.20
(全体平均)		0.97	1.07	1.13

※サンプル数が10台未満と非常に少ないため参考扱い

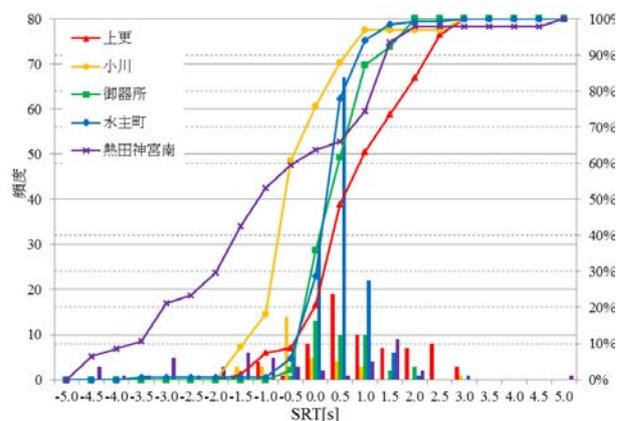


図 4.8 SRT頻度分布の例(エンタリング右折車)

進タイミングが早くなる傾向にあるといえる。いずれのモデルでも大型車ダミーの係数が統計的に有意な結果が得られているが、サンプル内の大型車割合は全体で10%以下程度であり、交差点ごとのばらつきも大きかったことから、サンプルの均一性が図れているとは言い難く、今後精査する必要がある。

エンタリング右折車と交差側直進車を比較すると、抽出された説明変数は形状パラメータ α が車両条件、尺度パラメータ β が空間要因、位置パラメータ γ が時間要因となっており、類似したモデル構造となっている。さらに尺度パラメータと位置パラメータに着目すると、エンタリング右折車が交錯の影響を受けない変数であるのに対し、交差側直進車は交錯するクリアランス右折車との関係により変動する変数となっている。

これらの結果より、右折専用現示におけるエンタリング右折車は、専用で与えられる正対する信号灯の現示時間に発進・停止走行が可能であるため、ドライバーは交錯に関する影響よりも道路構造や信号現示などの条件を意識していると考えられ、逆に右折専用現示後の交差側直進車両は、最終右折車両との距離や時間、タイミングといった交差道路側の条件を意識して発進行動を選択しているものと考えられる。

4.6 ギャップアクセプタンス挙動

(1) 分析概要

交通容量や安全性確保の観点から見た場合、2 現示あるいは4 現示制御が主流である国内の信号交差点において、青丸現示における右折車両のギャップアクセプタンス挙動は重要な挙動である。特に、本研究で目的としている交差点の安全性確保の観点からみれば、発生頻度も比較的多く、事故発生時の損傷の程度が大きい右折対直進事故への対応策を考える上で、ギャップアクセプタンスは分析の必要性が高い挙動の一つといえる。本節では、その右折車のギャップアクセプタンス挙動を対象として、実態観測調査に基づき分析を行い、ギャップに対する判断挙動のモデル化を行う。

(2) ギャップ時間の計測方法

本分析でのギャップ時間の取得方法を図 4.9 に示す。対象とした右折車両は、青丸時間中に交差点内に進入し、対向直進車により形成されたギャップに対して停止または通過を判断した後、右折流出先まで進行した車両である。本分析では、青丸時間中に横断歩道端(図 4.9 のライン A)を通過した車両を分析対象右折車両として定義する。

さらに、対向直進車側により形成されるギャップを前方車両と後方車両の時間差より定義するが、時間差を計測する上では、基準となる通過断面の設定が必要である。本分析では、右折ドライバーのギャップ選択判断は、実際に自身が走行する想定軌跡上

表 4.12 SRT推定モデルのパラメータ推定結果

パラメータ	説明変数	エンタリング右折車	交差側直進車
α	大型車ダミー	5.08 (1.97)*	-4.52 (-4.47)**
	定数項	7.64 (6.89)**	8.68 (5.23)**
β	停止線セットバック量[m]	-0.0466 (-5.63)**	-
	エンタリング距離[m]	-	-0.0326 (-3.98)**
	定数項	9.04 (7.65)**	9.92 (5.81)**
γ	全赤時間[s]	0.0816 (2.26)**	-
	最終右折車の交差点通過時間[s]	-	-0.203 (-4.02)**
	定数項	7.31 (6.22)**	8.37 (4.88)**
自由度調整済み尤度比		0.131	0.255
サンプル数		323	427

()内はt値を示す、*5%有意、**1%有意

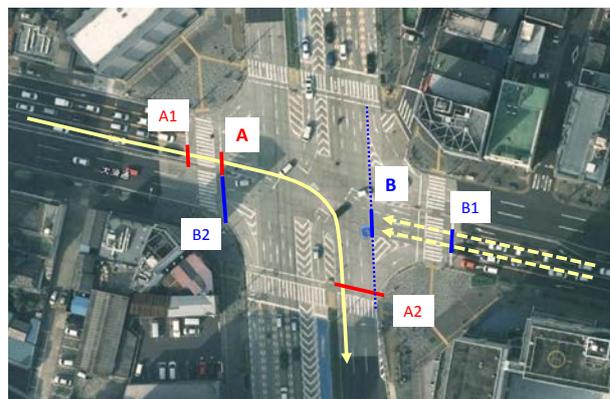


図 4.9 分析データ取得における設定断面

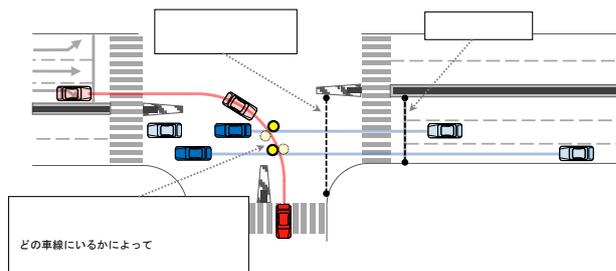


図 4.10 ギャップ計測基準位置

のコンフリクトポイントよりも手前で判断を行っているであろうことや、大規模交差点では停止線位置の後退量大きい箇所も少なくないため、同じ停止線位置とした場合でも交差点ごとの差が大きいこと等を考慮し、交差側道路の直進車線の延長線(図 4.9 のライン B)を基準断面として定義した(図 4.10)。

また、対向直進車が複数車線にまたがる場合においても、設定断面における通過時間差によりギャップ時間を計測した(図 4.11)。

(3) ギャップ基礎統計量に関する分析

前述の手法に基づき観測されたAccepted GapとRejected Gapの基本統計量を表4.13, 4.14に示す. 全箇所観測されたAccepted Gap数が91であるのに対し, Rejected Gap数は1,363であった.

Accepted Gapの平均値は約11秒前後であるが, 交差点流入部別にみると平均値が9秒以下の箇所も3箇所ありばらつきが大きい. サンプル数による制約も当然考えられるが, 標準偏差や最小値の値からも分散が大きい傾向を確認できる. 対照的に, Rejected Gapの方は平均値や標準偏差の値そのものが小さく, ばらつきも小さいが, これは, 青丸現示に切り替わった直後の対向直進車発進時に, 短いギャップをもった車群が形成されていることによる影響である. Rejected Gapの最大値が大きく, 箇所ごとに最大値のばらつきが大きいことから, Accepted Gapと同様にRejected Gapもばらつきが大きいことが理解できる.

次に, 観測データより算出されるクリティカルギャップの値について評価する. 本分析でのクリティカルギャップの定義と算出方法は, 森・齋藤(1992)に倣い『それ以上の大きさで見送られた車頭間隔または車頭時間(以下, ギャップと称す)の数と, それ以下の大きさで右折が行われたギャップの数が等しくなる大きさのギャップ』として定義し, Accepted/Rejectedそれぞれのギャップ時間を累積頻度でグラフ上にプロットした場合の交点をクリティカルギャップとして定義した.

全観測サンプルを用いて算出したクリティカルギャップについて図4.12に示す. 図より, クリティカルギャップの値は6.55秒であった. この値を既往文献類と比較してみると, まず, AASHTO(2011)では, 信号交差点におけるクリティカルギャップは基本値が5.5秒であり, 対向車線が1車線増えるごとに0.5秒ずつ追加することとしており, 本分析対象交差点では対向直進車線が2ないし3車線であることから概ね6.0~6.5秒となり, 今回の算出結果と一致する. HCM(2010)では, shared phaseの時にクリティカルギャップが4.5秒ということのみ記載があるが, その他条件については記載がなく, 比較が困難である. 森・齋藤(1992)では5.89秒であったと報告されており, 今回の算出結果の方がやや長い傾向にあるが, 概ね妥当な数値であると考えられる.

次に, 対向直進車線数や交差点交差角度がクリティカルギャップに与える傾向について確認するため, 交差点流入部別のクリティカルギャップを算出した. 最終的に算出されたクリティカルギャップを表4.15に整理する.

対向車線数とクリティカルギャップの関係について着目すると, 対向直進車線数が3車線の“今池・東”“末盛通2・東”“西大須・北”“平安通1・東, 西”では, 5.7sec~6.3secであるのに対し, 対向直進車線数が2車線の“末盛通2・北”“西大須・東西”“平安通1・南, 北”では6.8sec~7.8secと若干大きい傾向にある. つまり, 対向直進車線数

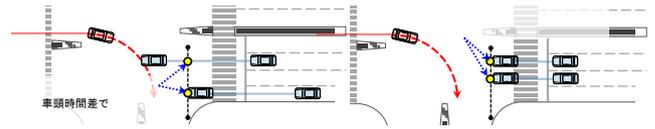


図 4.11 ギャップ計測方法

表 4.13 観測されたギャップ時間(Accepted Gap)

交差点名	方角	Accepted Gap(sec)			
		観測数	平均	標準偏差	最小
今池	東	12	11.83	4.51	4.84
末盛通2	東	9	7.42	1.51	4.54
	北	3	10.28	4.08	6.91
西大須(2008)	西	13	8.82	1.95	5.54
西大須(2014)	東	3	13.30	2.17	10.78
	西	6	11.56	5.92	6.47
	北	7	11.43	4.52	6.37
平安通1	東	5	8.30	2.31	4.67
	西	5	11.33	3.37	7.17
	南	12	11.90	5.37	7.01
	北	16	14.36	7.72	6.41
全サンプル		91	11.15	5.29	-

表 4.14 観測されたギャップ時間(Rejected Gap)

交差点名	方角	Rejected Gap(sec)			
		観測数	平均	標準偏差	最小
今池	東	199	1.53	1.18	7.47
末盛通2	東	251	1.08	0.94	6.07
	北	42	1.41	0.98	5.11
西大須(2008)	西	202	1.57	1.21	8.04
西大須(2014)	東	41	1.78	1.94	11.34
	西	82	1.76	1.37	8.21
	北	305	0.95	0.79	5.57
平安通1	東	34	1.99	1.21	7.07
	西	95	1.22	0.71	3.54
	南	38	2.90	2.39	13.41
	北	74	2.51	1.70	9.01
全サンプル		1,363	1.42	1.26	-

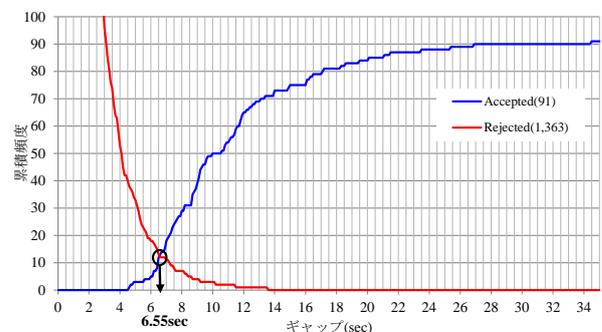


図 4.12 クリティカルギャップの算出(全観測データ)

が多くなると共にクリティカルギャップが短くなる傾向にあるといえ, この結果はAASHTO(2011)に記

載の傾向とは反対の関係にある。一方で森・齋藤(1992)では、車線数とクリティカルギャップの間に明確な関係が見られなかったことが報告されており、直進車線数以外のその他道路構造や交通状況等の要因により、変化することが考えられる。その他、交差角度等についても確認を行ったが、いずれの道路構造要因についても明確な傾向は確認されなかった。

(4) 右折ギャップアクセプタンスモデルの構築

前述の検討結果より、クリティカルギャップの絶対値そのものに対して道路構造要因の感度はあまり大きくない可能性が示された。これをふまえると、右折ギャップアクセプタンスの判断挙動には、その他要因である交通状況や個人属性等の影響が大きく作用していることが考えられる。

そこで、道路構造要因に加え、車種などの個人属性や右折ドライバーが直面している交通状況といった説明要因から説明される右折ギャップアクセプタンスモデルを構築する。構築するモデルは、ギャップを受容して通行する場合を 1、ギャップを棄却して次のギャップを待つ場合を 0 とした二項ロジットモデルにより表現する(式 4.7)。

分析上考慮した影響要因は、道路構造および交通状況要因としたが、対向右折車線間の横方向乖離量、交差点中心部路面標示の有無、流出側横断歩道部での横断歩行者の存在やギャップ形成状況等については、調査箇所の制約や観測時に実現した交通状況要因より、本分析では検討できなかった。

$$P_{Accepted} = \frac{\exp(V_{Accepted})}{1 + \exp(V_{Accepted})} \quad (4.7)$$

ここに、 $P_{Accepted}$ ：右折車のギャップ受容確率、 $V_{Accepted}$ ：右折車のギャップ受容時の効用関数、である。

推定結果を表 4.16 に示す。もっとも影響度が大きく、統計的信頼が得られたものはギャップ時間であった。その他に、累積待ち時間もいずれのモデルにおいても統計的有意な結果を得たことから、大きなギャップかつ累積待ち時間が長い場合にはギャップを受容しやすい傾向を示しているといえる。

一方、累積直進車通過台数は負の符号条件にて抽出されており、累積待ち時間とは反対の傾向を示しているが、これには分析に用いたサンプルデータ上でのバイアスが原因と考えられる。すなわち、比較的重交通であるような箇所では、通過台数が多くなるものの Accepted Gap として観測される台数が少なくなるが、対向直進交通量が少なく混雑状況にない交差点では少ない累積通過台数で Accepted Gap として観測される事象が多く発生することから、モデル分析上では逆の符号条件として抽出されたもの考えられる。また、今回は車線数によらず通過した台数の全てをカウントして説明変数として扱ったが、車線数による基準化の必要性等についても検証していく必要がある。

表 4.15 交差点流入部別クリティカルギャップ

交差点名	方角	クリティカルギャップ(sec)	Accepted Gap サンプル数	Rejected Gap サンプル数
今池	東	6.3	12	199
末盛通 2	東	5.7	9	251
	北	(6.1) ^{注1}	3	42
西大須	東西	7.1 ^{注2}	22	325
	北	(6.0) ^{注1}	7	305
平安通 1	東	5.9	5	34
	西	(5.4) ^{注1}	5	95
	南	7.8	12	38
	北	6.8	16	74

注1：累積頻度は交わっていないため参考値扱い

注2：東/西および2008年/2014年は、交差点構造が同様のため集約

表 4.16 右折ギャップアクセプタンスモデルの推定結果

説明変数	採用モデル	(参考)モデルA	(参考)モデルB
ギャップ時間(sec)	1.20 (8.97**)	1.16 (8.47**)	1.11 (8.81**)
累積直進車通過台数(台)	-	-6.56×10 ⁻² (-1.96*)	-7.41×10 ⁻² (-2.12*)
累積待ち時間(sec)	1.12×10 ⁻¹ (4.53**)	1.75×10 ⁻¹ (4.14**)	1.69×10 ⁻¹ (4.02**)
対向右折車有ダミー	-1.31 (-1.76)	-1.44 (-1.88)	-
交錯点から横断歩道までの距離(前方車)(m)	-	-	-8.50×10 ⁻² (-1.46)
定数項	-9.73 (8.14**)	-9.76 (-7.94**)	-8.71 (-5.44**)
サンプル数	1,453		
McFaddenの擬似決定係数	0.839	0.845	0.843
LL	-54.5	-52.5	-53.1
AIC	117.0	114.9	116.1
BIC	138.1	141.3	142.5

()内は t 値を示す , *5%有意, **1%有意

各係数について統計的に有意な結果が得られたものは上記の3つの項目であるが、それ以外に影響度が大きいものとして、対向右折車ダミー(モデルA)と交錯点から流出側横断歩道までの距離(モデルB)が挙げられる。対向右折車ダミーについては、対向右折車がいる場合に視覚上の障害となりやすく、ギャップ棄却側に作用することが理解できる。また、交錯点から流出側横断歩道段部までの距離は交差点内待機位置からの流出先までの空間的距離を示しており、この距離が長くなることによりドライバーは安全側に判断することでギャップ選択確率が減少することが示されているといえる。

以上の検討結果をふまえ、本分析では“累積直進車通過台数”を除外し、“対向右折車有ダミー”を変数として追加したものを最終的なギャップアクセプタンスモデルとした。

4.7 まとめ

本章では、信号交差点での右折車両挙動を対象として、走行速度と走行軌跡のほか、通過停止判断、発進反応時間、ギャップアクセプタンス挙動に関する分析とモデル化を行った。

走行速度と走行軌跡のモデル化にあたっては、左折挙動での検討結果を活用し、速度プロファイル曲線の推定と走行軌跡を近似した線形要素の推定を行った。尚、右折走行軌跡の最小曲線半径推定モデルには、実観測データを確認のもとで、左折とは異なるワイブル分布を適用している点に相違がある。

通過停止判断挙動においては、右折矢現示の切り替わり時における車両走行状態と通過停止判断結果についてX-V図による分析を行った。分析結果をふまえ、黄開始時の停止線までの所要時間や停止線セットバック量等から説明される停止選択モデルを二項ロジットモデルにより表現した。分析結果から、通過停止判断には停止線位置が基準とされていることが示唆されており、交差点での安全性や円滑性を考慮する上では停止線位置の設定に十分配慮すべきであることが示されたといえる。

発進反応時間については、右折矢現示開始時の先頭右折車両と右折矢終了時の交差側直進車を対象として発進反応時間を計測し、基礎統計量について交差点流入部別に比較分析を行った。さらにSRT累積分布曲線についてモデル分析を行い、発進反応時間には、車両条件・空間要因・時間要因の3つが影響していることを明らかにした。また、右折車と交差側直進車の推定パラメータの比較結果から、交差側直進車の方が右折車両よりも、交差道路側の条件をより強く意識して発進を行っていることが示唆された。

右折時におけるギャップアクセプタンス挙動に関しては、複数の多車線信号交差点において右折時における対向直進車両のギャップ時間を観測し、クリティカルギャップの値と道路交通環境との関係について確認を行った。全観測データにより算出されたクリティカルギャップ値は既往研究成果と概ね類似した値となり、一定の信頼度は確保された一方で、道路構造との明確な関係は特定されなかった。この結果をふまえ、道路構造要因のほか、個人属性や交通状況などの要因から説明可能な右折ギャップアクセプタンスモデルを二項ロジットモデルで構築した。モデル推定結果から、ギャップアクセプタンス判断には、ギャップ時間のほか、交差点内での累積待ち時間や対向右折車の有無が影響していることが明らかとなった。

以上の各挙動に対する分析により、基礎的な走行速度・走行軌跡のほか、右折車に特有な各種挙動モデルが構築された。尚、本章で分析対象とした挙動の内、ギャップアクセプタンス以外の分析においては、直進と完全分離された右折矢現示を有した交差点での右折挙動データが中心となっている。今後は、青丸現示中での右折や、青丸現示に連続して右折矢現示が提示された場合の右折などについても、十分

な挙動データを収集した上で、適用性の検証を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 森健二, 齋藤威: 信号交差点における右折車のギャップ利用特性に関する考察, 科学警察研究所報告交通編, Vol.33, No.2, pp.16-25, 1992.
- 2) 森健二, 齋藤威: 信号交差点における右折車のギャップ利用特性と対向直進車の速度との関係分析, 科学警察研究所報告交通編, Vol.35, No.2, pp.11-18, 1994.
- 3) 森健二, 本間正勝, 齋藤威: 信号交差点における右折車のギャップアクセプタンスモデルに関する一考察, 科学警察研究所報告交通編, Vol.37, No.2, pp.41-47, 1996.
- 4) 社団法人 交通工学研究会: 改訂 交通信号の手引き, 2006.
- 5) 社団法人 交通工学研究会: 改訂 平面交差の計画と設計 基礎編 第2版, 2004.
- 6) 社団法人 交通工学研究会: 路面標示 設置マニュアル, 2011.
- 7) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual (HCM), National Research Council, Washington, D.C., USA, 2010.
- 8) American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th edition, 2011.
- 9) 渡部数樹, 中村英樹, 浅野美帆: 右折車両挙動分析とミクロシミュレーションによる安全性評価に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.48, 8 ページ, CD-ROM, 2013.
- 10) 渡部数樹, 中村英樹, 井料(浅野)美帆: 信号交差点改良対策立案のための右直分離制御時の車両挙動分析, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I_1031-I_1022, 2014.

第5章 横断歩行者挙動の分析とモデル化

5.1 はじめに

本章では、信号交差点における横断歩行者の挙動について分析及びモデル化を行う。交差点での安全性評価の上で基本となる横断速度のほか、交差点上での交錯位置等の評価に必要な横断軌跡について分析を行う。また、横断歩行者が青点滅の歩行者用信号に直面した場合の横断/停止の判断挙動についてもその傾向を分析する。さらに、横断軌跡と横断速度の分析においては信号交差点上で設定した評価断面を基準として比較的マクロな観点からの分析であるのに対し、他の横断歩行者に対する回避挙動や信号現示に対する反応といったミクロな挙動についても、Social Forceモデルを援用したモデル化の検討を行う。

5.2 横断軌跡

(1) 分析概要

歩行者挙動を時空間上で再現するためには、軌跡と速度の両方が必要とされる。しかし、歩行者の安全性に関する既往研究のほとんどは速度のみに着目しており、軌跡に関する研究はほとんどみられない。横断軌跡は左折ドライバーの視認性や歩行者挙動に対する予測に大きく関わり、ドライバーが予期せぬ方向から歩行者が横断歩道に進入することが衝突につながる可能性もある。そのため、本研究が行う交錯の再現による交差点安全性評価という目的からは、交差点の幾何構造、信号現示や他の利用者の有無等による横断軌跡の変化を考慮する必要がある。以上より、本節では歩行者の横断軌跡に対する影響要因について分析を行う。

(2) 分析方法

一般に、歩行者が横断歩道を通行する際には、目的とする方向に向かって最短距離となるように進行しつつ、他の利用者との衝突を避けるために状況に

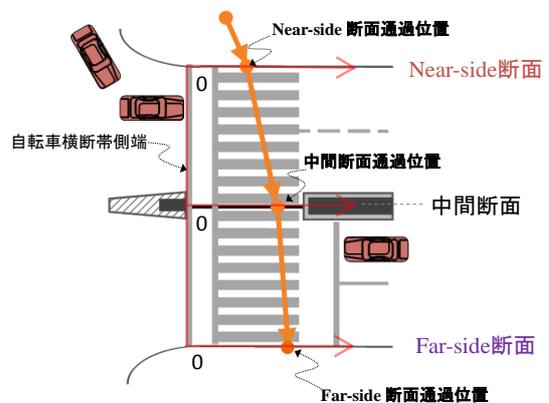


図 5.1 断面通過位置の定義

応じて逐次的に経路を変更していると考えられる。本来であれば、このような個人個人の回避挙動を分析し、モデル化することが望ましいが、データ精度や分析にかかる労力の観点からは効率的でないという短所もある。本節では、まず、歩行者が横断開始時・横断歩道の中間点通過時・横断終了時にのみ進行方向を変更すると仮定し、断面通過位置を直線で結ぶことにより横断軌跡を表現する。

図 5.1 に示す通り、歩車道境界線の内、左折車両との交錯のある側の Near-side 断面、交錯のない側の Far-side 断面とする。さらに横断途中の通過断面は中央線位置として、これを中間断面と呼ぶこととする。各断面の通過位置は、自転車横断帯側端をゼロとして垂直距離により表現する。また、これ以降、断面と同様の定義を用いて、Near-side から横断を開始する歩行者を Near-side 歩行者、Far-side から横断を開始する歩行者を Far-side 歩行者と呼ぶこととする。

本分析では、まず、この3断面においてのみ進行方向を変更すると仮定した最短経路での横断軌跡と、実観測データにもとづく確認された横断軌跡との比較分析を行い、仮説の妥当性について検証を行う。その上で、これらの横断軌跡をシミュレータ上で表現するための断面通過位置分布モデルの推定を行う。

(3) 仮定する横断軌跡と実観測データとの比較

本研究では Near-side, 中間, Far-side 断面通過位置を直線で結んだ最短経路により横断軌跡を求めるが、歩行者がこれら 3 断面を最短距離で移動していない場合、実移動距離と推定距離の間に乖離が生じてしまう(図 5.2)。このため、3 断面通過位置の最短移動距離を実移動距離と比較し、仮説の妥当性を検証する。

金山新橋南交差点の横断歩道において、実移動距離と最短移動距離の比較を行った例を図 5.3 に、複数交差点において実移動距離と最短移動距離の乖離量を計算した結果を表 5.1 に示す。

図 5.3 より、横断歩道長や幅員、歩行者交通量や左折車交通量が異なるものの、両者の移動距離には大きな差がないことがわかる。さらに表 5.1 に示す通り、分析対象とした交差点の横断歩道では、乖離量が非常に小さいことがわかる。以上より、本分析で仮定した、設定断面でのみ進行方向を変更し、断面間を最短経路で移動するという仮定は有効であると判断できる。

(4) 断面通過位置分布モデルの推定

前述の比較検証結果をふまえ、各断面における通過位置を推定するモデルを構築する。通過位置に対する影響要因としては、横断歩道の規模を表す道路構造要因や、その時の交通量等の交通状況が要因と成りうるほか、通過断面に至る前段階での通過位置にも依存しているものと考えられる。そこで、横断方向や手前の断面通過位置に関する情報も推定モデルの説明変数としての導入した。

本分析では、累積確率分布を推定するモデルを構築することとし、柔軟かつ合理的なモデル構築の為、ワイブル分布を用いることとし、最尤法によりパラメータ推定を行った。最終的なモデル推定結果を表 5.2 に示す。

$$f(x; \eta, \sigma) = \frac{\eta}{\sigma} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{\eta-1} e^{-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\eta} \quad (5.1)$$

$$\eta = \alpha_{1,1}y_{1,1} + \alpha_{1,2}y_{1,2} \sim \alpha_{1,n}y_{1,n} + \alpha_{1,n+1} \quad (5.2)$$

$$\sigma = \alpha_{2,1}y_{2,1} + \alpha_{2,2}y_{2,2} \sim \alpha_{2,n}y_{2,n} + \alpha_{2,n+1}$$

ここに、 η : 形状パラメータ, σ : 尺度パラメータ, $y_{i,1}, \dots, y_{i,n}$: 各種説明変数, $\alpha_{1,1}, \dots, \alpha_{1,n}, \alpha_{2,1}, \dots, \alpha_{2,n}$: 重回帰式係数, である。

5.3 横断速度

(1) 分析概要

歩行者の横断速度は、歩行者信号の適切な設定に影響するほか、交差点の安全性評価にも極めて重要である。3章では、左折車両の衝突回避挙動が歩行者交通流に対するギャップ選択挙動に影響されることを示したが、実際に発生するギャップは各歩行者の

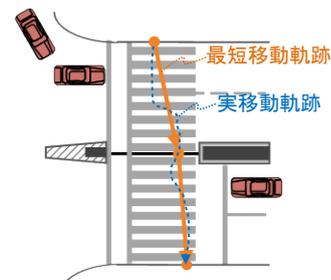


図 5.2 最短移動軌跡と実移動軌跡

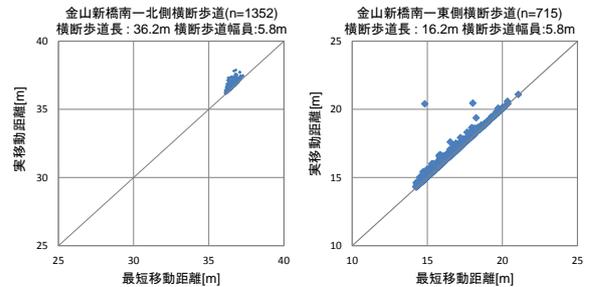


図 5.3 実移動距離と最短移動距離の比較

表 5.1 実移動距離と最短移動距離の乖離

交差点名	金山新橋南		植田一本松		山田四丁目	広小路伏見	桜通大津
	東	北	東	南	東	南	西
平均 [m]	0.15	0.18	0.26	0.19	0.23	0.19	0.25
標準偏差 [m]	0.26	0.14	0.21	0.22	0.21	0.26	0.24
最大値 [m]	5.56	1.12	1.10	2.05	1.51	1.85	2.02
サンプル数	695	1352	324	392	463	643	559

横断速度に依存している。そのため、横断速度のばらつきを考慮することは、横断歩道近辺での安全性を定量的に評価する上で不可欠といえる。

基本的に歩行者の横断は歩行者青および青点滅時に起こるが、青点滅開始後は歩行者の駆け込み横断などが予想され、これら 2つの時間帯では横断速度が異なる可能性が高い。従って、横断速度の分析においては、歩行者現示を歩行者青および青点滅の 2つに区別し、幾何構造および信号時間長が横断速度に与える影響について分析し、推定モデルを構築する。

(2) 分析方法

本分析では、歩車道境界位置から中央分離帯までの横断中の旅行速度を前半横断速度 v_1 、中央分離帯から先の旅行速度を横断後半速度 v_2 と定義し、それぞれを歩行者用信号現示の状態別に区別して推定することとする(図 5.4)。以降では、歩行者青時間に横断開始した歩行者を青時間歩行者、青点滅時間に横断開始した歩行者を青点滅歩行者と呼ぶこととする。さらに、青点滅歩行者に関しては、上流からの接近速度が横断歩道への進入/停止の判断にとって重要となるため、接近速度 v_i の分析も行う(図 5.5)。

表 5.2 断面通過位置モデルの推定結果

パラメータ	説明変数	係数 (t 値)			
		Near-side 断面	中間 断面	Far-side 断面	
η	幾何構造	横断歩道幅員[m]	0.210 (3.03)	-0.540 (-6.61)	0.450 (5.38)
		セツバック距離[m]	-0.0200 (-4.02)	-	0.0200 (2.71)
	横断方向	Near-side /far-side ダミー	-0.220 (-6.15)	-	0.150 (3.47)
		直線/対角線 ダミー	-1.03 (-16.8)	-0.390 (-5.87)	-0.660 (-11.9)
		自転車横断帯側 ダミー	-1.06 (-13.8)	0.440 (4.71)	-0.220 (-3.59)
	手前の断面通過位置(m)		0.100 (8.75)	0.830 (45.1)	0.200 (13.8)
	利用者密度	左折車両密度[veh/m ²]	-6.36 (-6.16)	0.110 (2.16)	-
		対向歩行者密度[ped/m ²]	-	2.16 (2.10)	-
	定数項		2.11 (4.31)	3.51 (7.10)	-1.19 (-2.20)
	σ	幾何構造	横断歩道長[m]	-0.0400 (-9.05)	-
横断歩道幅員[m]			-	1.13 (5.45)	1.00 (4.88)
利用者密度		左折車両密度[veh/m ²]	-	-	-10.5 (-5.96)
		対向歩行者密度[ped/m ²]	-	-	6.93 (5.56)
		両方向合計歩行者密度[ped/m ²]	-0.660 (-5.57)	-0.950 (-2.31)	-1.69 (-2.40)
定数項		2.31 (9.44)	-1.86 (7.95)	-1.94 (2.20)	
サンプル数		4448			
対数尤度		-9034	-7195	-8302	
初期対数尤度		-9727	-8435	-8666	
χ ² 値		1098	2765	538	
自由度調整済み R ²		0.0694	0.145	0.0398	

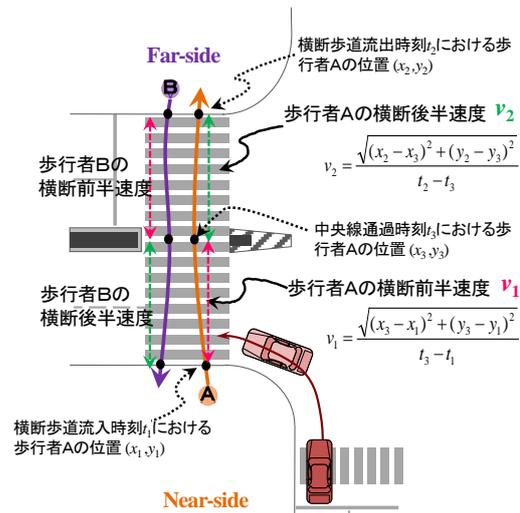


図 5.4 横断速度の定義

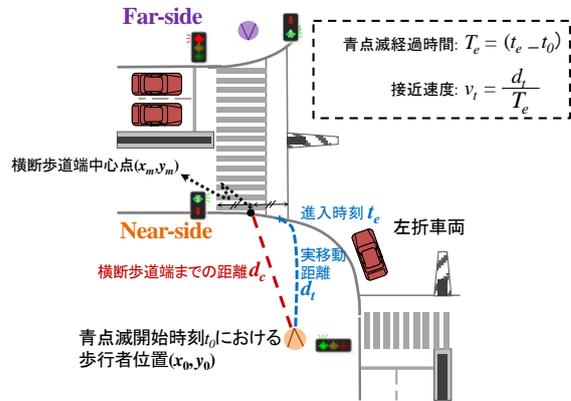


図 5.5 接近速度の定義

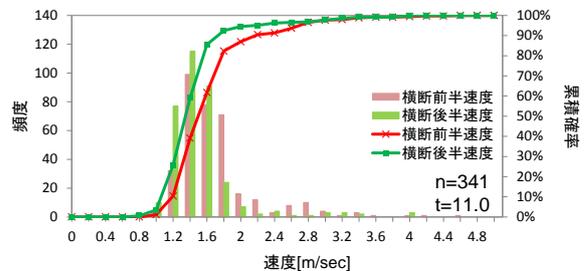


図 5.6 横断速度分布の分析例(青時間歩行者)

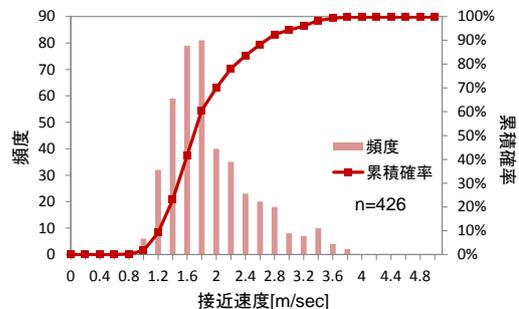


図 5.7 接近速度分布の分析例(青点滅歩行者)

上述の定義に基づき、複数個所の交差点での横断歩行者挙動データより、前半横断速度、後半横断速度、接近速度を算出した。種別ごとの算出結果の事例を図5.6, 5.7に示す。各速度を横断歩道長や横断タイミング、横断方向別に比較分析を行った結果、下記のこと明らかとなった。

青時間歩行者の横断速度

- 速度が高い歩行者は少なく、分布のばらつきも小さい
- 前半速度と後半速度には統計的有意差が確認された
- 横断歩道長が長いほど、また青時間経過割合が高いほど、横断速度は速くなる

- 右左折車両との交錯領域が前後半の横断速度に影響を与える

青点減歩行者の接近速度

- 青点減開始時に横断歩道から遠くにいる歩行者ほど急いで横断歩道に進入する
- 接近速度のばらつきは大きく、高い速度になるにつれ、そのばらつきも大きくなる

青点減歩行者の横断速度

- 横断前半の横断速度に比べて、後半の横断速度の方が低くなる傾向にある

(3) 歩行者横断速度モデルの推定

基礎分析結果より、歩行者用信号の種別や横断位置によって、横断速度や進入速度が変化していることが明らかとなった。また、これらの速度は個人差によるばらつきを持っており、横断歩道長や横断方向等の特定の要因に応じて傾向をともなっていて変化していることが示唆された。

これらの結果をふまえ、確率的分布を伴った歩行者の横断速度推定モデルを構築する。分析結果より、横断速度の累積分布は左右非対称となることが確認されたことから、本分析ではガンマ分布を用いてこれを表現する。

$$\Pr(v = x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{x-\gamma}{\beta}\right) (x-\gamma)^{\alpha-1} \quad (5.3)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} \exp(-t) dt \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_{1,1}y_{1,1} + \alpha_{1,2}y_{1,2} \sim \alpha_{1,n}y_{1,n} + \alpha_{1,n+1} \\ \beta &= \alpha_{2,1}y_{2,1} + \alpha_{2,2}y_{2,2} \sim \alpha_{2,n}y_{2,n} + \alpha_{2,n+1} \\ \gamma &= \alpha_{3,1}y_{3,1} + \alpha_{3,2}y_{3,2} \sim \alpha_{3,n}y_{3,n} + \alpha_{3,n+1} \end{aligned} \quad (5.5)$$

ここに、 $\Pr(v=x)$ ：速度 v が x となる場合の累積確率分布、 $\Gamma(\alpha)$ ：ガンマ関数、 α ：形状パラメータ、 β は尺度パラメータ、 γ は位置パラメータ、 $y_{i,1}, \dots, y_{i,n}$ ：各種説明変数、 $\alpha_{1,1}, \dots, \alpha_{1,n}, \alpha_{2,1}, \dots, \alpha_{2,n}$ ：重回帰式係数、である。

横断速度推定モデルの推定結果を表5.3～表5.6に示す。

青時間歩行者の横断速度モデル(表 5.3)では、横断前半速度に対しては進入時速度が、後半速度に対しては前半速度が非常に有意に働いており、直前の速度に強い影響を受けていることがわかる。また、横断歩道長が形状パラメータ α に対してそれぞれ正となっている。横断歩道長が長いほど、歩行者は速度を上げる傾向が示された。また、横断方向ダミーが形状パラメータ α に対して正となっており、Far-side 歩行者の方が Near-side 歩行者より速度が高い傾向が表現されている。青時間経過割合については、前半速度の尺度パラメータ β に対してのみ有意となった。青時間経過割合は横断開始タイミングを暗示する変数であるが、歩行者は、残りの青時間を正確に認識しながら横断しているわけではないため、全ての歩行者の横断開始タイミングが遅いからといって速度を上げるとは限らず、このような不確実性が特

表 5.3 青時間歩行者の横断速度モデル

パラメータ	説明変数	横断前半速度	横断後半速度
		係数 (t 値)	係数 (t 値)
α	進入時速度[m/sec]	7.47 (17.7)	-
	横断前半速度[m/sec]	-	-2.10 (-4.24)
	横断歩道長[m]	0.720 (14.3)	0.695 (14.5)
	Far-side ダミー	4.19 (7.62)	4.10 (6.80)
	定数項	1.93 (1.40)	22.8 (13.0)
	β	進入時速度[m/sec]	3.91×10^{-3} (9.65)
横断前半速度[m/sec]		-	0.0199 (25.8)
横断歩道長[m]		-1.06×10^{-3} (-13.7)	-6.00×10^{-4} (-12.3)
Far-side ダミー		-4.14×10^{-3} (-6.55)	-1.59×10^{-3} (-3.20)
青時間経過割合[%]		1.85×10^{-3} (3.98)	-
定数項		0.0697 (25.4)	0.0256 (12.4)
サンプル数		3960	3960
対数尤度		-126	-150
初期尤度		-1430	-1511
χ^2 値		2608	2722
修正済み決定係数 R^2		0.912	0.901

表 5.4 青点減歩行者の接近速度モデル

パラメータ	説明変数	係数	t 値
α	横断歩道端までの距離[m]	0.256	10.2
	定数項	24.1	27.2
β	青点減開始時の速度[m/sec]	0.0379	24.0
	定数項	0.0218	14.7
サンプル数		1521	
対数尤度		-886	
初期尤度		-1871	
χ^2 値		1970	
自由度調整済み R^2		0.526	

に横断前半の分布のバラツキに影響するためと考えられる。

青点減歩行者の接近速度モデル(表 5.4)では、横断歩道端までの距離の係数が形状パラメータ α に対して正となっている。これは、歩行者が青点減開始時に横断歩道から遠い位置にいるほど、接近速度が大きくなることを意味している。また、青点減開始時の速度は尺度パラメータ β に対して有意であり、速度分布の分散が大きくなる方向に働くこととなる。

もともと速度の高い歩行者は、そのままの速度を保つ可能性が高い一方で、もし歩行者が確実に横断できると確信した場合は、速度を落とす可能性もあるため、バラツキが多くなると考えられる。位置パラメータについては、定数項を含むいずれの説明変数も有意でなかったため、0としている。

青点減歩行者の横断速度モデルを表 5.5, 5.6 に示す。横断前半速度では接近速度が、横断後半速度では横断前半速度が、それぞれ強く影響していることがわかる。横断前半速度モデルにおいては、青点減経過時間が尺度パラメータ β に対して正となっており、横断開始タイミングを示すこの変数が、青時間経過割合のときと同様に、歩行者挙動のバラツキに影響していることを示している。横断後半速度モデルでは、横断方向ダミーについて、Near-side 歩行者の速度が、Far-side 歩行者の速度よりも遅くなることを示しており、青時間歩行者と同様に、歩行者が横断後半における左折車両との交錯危険性を考慮していることを示唆している。

5.4 横断開始/停止判断

(1) 分析概要

信号交差点において、クリアランス時間の適切な設定は円滑性、安全性の確保に極めて重要である。しかし、歩行者のクリアランス時間である歩行者青点減時間は、歩行者が青点減開始後に横断歩道に進入しないことを前提として設定されており、必ずしも歩行者の行動実態を反映したものとは言えない。実際に、当該時間帯には周辺に十分な注意を払わずに横断歩道に進入する歩行者がおり、歩行速度が高く歩行者数も少ないため、左折ドライバーの認知も低い可能性が高い。さらに、左折車両側も青現示終了間際でありことから、急いで左折を行うケースが想定される。つまり、青点減時間に駆け込む歩行者や、青点減時間終了後も横断歩道上に残る歩行者には、左折対歩行者事故の危険性が高いものと考えられる。これらより、信号が青点減に切り替わったとき横断歩道に進入するか否かの判断が、安全性に大きく影響すると考えられることから、青点減開始後の歩行者の横断開始/停止判断と、信号現示や幾何構造との関係について分析しモデル化を行う。

(2) 歩行状況と横断開始/停止判断に関する分析

分析には3箇所の信号交差点を対象とし、青点減時間開始に直面し、横断開始または停止した歩行者の挙動データを収集した。明らかに行動状況が異なると思われる高齢者や集団登校の小学生等はサンプルから除外した。

青点減時の歩行者位置と横断開始/停止判断との関係を図5.8に示す。図より、青点減開始時に横断歩道から遠くにいる歩行者ほど、停止を選択している確率が高いことがみてとれる。さらに、横断歩道が長い場合ほど、停止を選択する傾向にあることもわ

表 5.5 青点減歩行者の横断前半速度モデル

パラメータ	説明変数	係数	t 値
α	接近速度 [m/sec]	3.88	16.4
	横断歩道長 [m]	0.129	8.24
	定数項	-3.51	-7.22
β	接近速度[m/sec]	-0.0144	-6.20
	青点減経過時間[sec]	0.0158	12.2
	定数項	0.170	17.4
Γ	歩行者交通量[ped/h]	-0.000055	-2.77
	定数項	0.777	21.4
サンプル数		1608	
対数尤度		-1284	
初期尤度		-1851	
χ^2 値		1134	
自由度調整済み R ²		0.305	

表 5.6 青点減歩行者の横断後半速度モデル

パラメータ	説明変数	係数	t 値
α	横断前半速度 [m/sec]	0.580	-4.62
	定数項	6.67	11.4
β	横断前半速度 [m/sec]	0.0862	11.8
	定数項	-0.00333	-0.29
γ	横断前半速度 [m/sec]	0.218	8.84
	Near-side ダミー	-0.0597	-3.79
	定数項	0.499	15.8
サンプル数		1608	
対数尤度		-871	
初期尤度		-1432	
χ^2 値		1122	
自由度調整済み R ²		0.391	

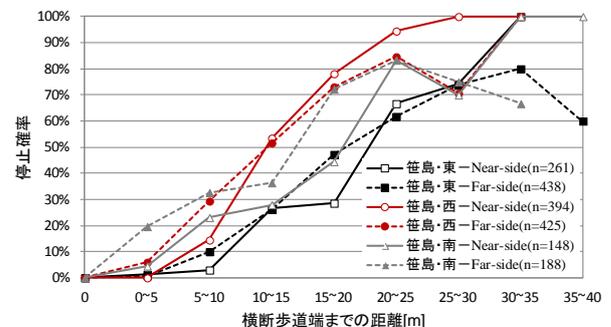


図 5.8 歩行者位置と横断開始/停止判断 (笹島交差点での事例)

かる。

次に、青点減開始時の歩行速度と横断開始/停止判断との関係を図5.9に示す。速度が高く距離が近い場合に横断開始、速度が低く距離が遠い場合に停止の判断となることがわかる。

(3) 歩行者の横断開始/停止判断モデル

青点減開始時の歩行者の横断開始/停止確率を、横断歩道までの距離・横断歩道長・歩行速度より説明する二項ロジットモデルを構築する(式 5.6)。

$$P_{stop} = \frac{\exp(\alpha_1 X_{distance} + \alpha_2 X_{CW} + \alpha_3 X_{speed} + \alpha_0)}{1 + \exp(\alpha_1 X_{distance} + \alpha_2 X_{CW} + \alpha_3 X_{speed} + \alpha_0)} \quad (5.6)$$

ここに、 $X_{distance}$: 横断歩道端までの距離[m], X_{CW} : 横断歩道長[m], X_{speed} : 青点滅開始時の歩行速度[m/sec], $\alpha_0 \sim \alpha_3$: 係数および定数項である。

最尤推定法によりパラメータ推定した結果を表 5.7に示す。パラメータの符号はいずれも分析結果と一致し、妥当であるといえる。横断方向による影響についても説明変数に入れることを試みたが、有意な結果とならなかった。これは、開始/停止判断がほとんど横断歩道端までの距離と速度に基づいて行われているためであるが、青点滅開始後の横断開始歩行者は自身の接近状況のみから判断を行っており、交錯する左折車等には注意を払っていないためとも捉えられる。つまり、青点滅時間が左折車両対横断歩行者事故にとって非常にクリティカルな時間帯であることを示唆しているといえる。

5.5 ミクロ横断挙動

(1) 横断歩行者のミクロ行動モデルの導入

前節までに示した歩行者挙動モデルは、横断歩行者の軌跡と速度変化およびクリアランス挙動を対象とし、横断歩道上に設定した3断面(Near-side, 中間, Far-side)での変化を表現したマクロ的なモデルであった。しかし、信号交差点における横断歩行者の安全性をミクロに評価する上では、個人や集団での回避挙動、右左折車両との衝突回避挙動、横断歩道上を横断しようとする挙動や信号制御に対する反応等の要素についても重要である。これら要素を検討するため、Social Forceモデル(Helbingら (1995))を信号交差点における挙動モデルに導入し、道路構造や交通状況、他者からの影響により、横断挙動が変化するミクロ行動モデルへと拡張する。

図 5.10に示す通り、横断歩行者挙動は、各段階における意思決定に基づき軌跡や速度、反応が決定されるものとしてモデル化する。戦略段階においては、5.2及び5.3で示した横断軌跡/速度モデルにより起終点位置の目標を決定し、運用段階で信号現示への反応として5.4で示した横断開始/停止判断を行うものとする。実際に横断歩道上で横断を開始した後には、信号現示や他の道路利用主体の影響を受け、速度や軌跡を調整しながら横断するモデルとして表現する。

(2) 横断歩行者挙動へのSocial Forceモデルの適用

本研究で歩行者挙動の表現に適用する Social Force モデルには、式(5.7)に示す 5 つの成分を考える。ここで考える 5 つの作用は、目的地への推進力、横断歩道の境界条件より受ける斥力/引力、周囲の歩行者より受ける斥力、交錯車両より受ける斥力、信号現示による引力、である。ここで、速度ベクトルの合力は式(5.8)により、次点位置は式(5.9)により表現されることとなる。

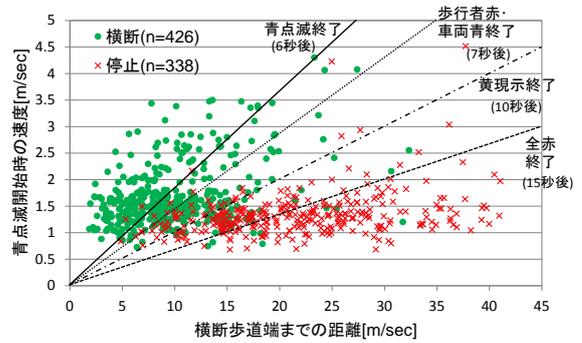


図 5.9 歩行速度と横断開始/停止判断 (笹島交差点での事例)

表 5.7 横断開始/停止判断モデルの推定結果

説明変数	係数	t 値
横断歩道端の midpoint までの距離[m]	0.261	574
青点滅開始時の速度[m/sec]	-3.73	-327
横断歩道長 [m]	0.0570	29.0
定数項	0.164	0.178
サンプル数	2629	
対数尤度	-761	
R ² 値 (Cox & Snell)	0.516	
的中率	0.882	



図 5.10 横断歩行者行動モデルの全体概要

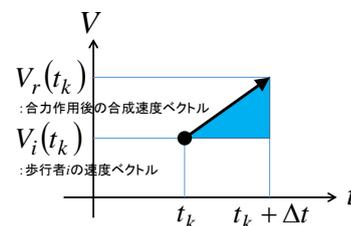


図 5.11 位置ベクトル変化量の算出概念図

$$\vec{F}(t_k) = \vec{F}_D + \vec{F}_B + \vec{F}_P + \vec{F}_V + \vec{F}_S \quad (5.7)$$

$$\vec{V}_r(t_k) = \vec{V}_i(t_k) + \vec{F}(t_k) \Delta t \quad (5.8)$$

$$\vec{P}_r(t_{k+1}) = \vec{P}_i(t_k) + \frac{\vec{V}_i(t_k) + \vec{V}_r(t_k)}{2} \Delta t \quad (5.9)$$

ここに、 $\vec{F}(t_k)$: 作用する合力, \vec{F}_D : 目的地への推進力(driving force toward destination), \vec{F}_B : 横断歩道の

境界条件(repulsive/attractive force from crosswalk boundary), \vec{F}_p : 周囲の歩行者より受ける斥力(repulsive force from surrounding pedestrians), \vec{F}_V : 交錯車両より受ける斥力(repulsive force from conflicting vehicles), \vec{F}_S : 信号現示による引力(attractive force from signal phase), $\vec{v}_r(t_k)$: 時刻 t_k における合成速度ベクトル, Δt : 時間変化量, $\vec{P}_i(t_k)$: 時刻 t_k における合成位置ベクトル, $\vec{P}_i(t_{k+1})$: 時刻 t_{k+1} における次点の合成位置ベクトル, である。

(a) 目的地への推進力

横断歩行者の速度は, 周辺環境の影響を受けて時々刻々と変化しており, 現在の速度から希望速度に至るまでの推進力は, それにかかる一定の緩和時間を用いて, 式(5.10)のとおり表現できる. このとき, 希望速度 v_i^d の値については, 5.3 において示した横断前半速度モデルの算出結果を適用する.

$$\vec{F}_D = \frac{1}{\tau_i} (v_i^d \vec{e}_i - \vec{v}_i) \quad (5.10)$$

ここに, v_i^d : 歩行者 i の希望速度, \vec{e}_i : 希望方向への単位ベクトル, τ_i : 歩行者 i が希望速度までに至る加速時間, である。

(b) 横断歩道の境界条件

一般的に, 歩行者は横断歩道上を通行しようとする傾向があり, これを横断歩道の境界部から斥力を受けていることで表現する. 図 5.12(a) に示す通り, 歩行者の速度ベクトルの x 成分(横断歩道に対して垂直方向の成分)と境界位置までの距離に応じた力が作用すると定義する.

一方, 横断歩道上での歩行者密度が高くなり, 他の歩行者との交錯が生じる状態となると, 歩行者は一旦横断歩道外へ出て歩行し, 交錯を回避した後に横断歩道内に戻る挙動が考えられる(図 5.12(b)). この挙動を表現するため, 横断歩道外では横断歩道内に戻ろうとする引力が作用するものとして定義する.

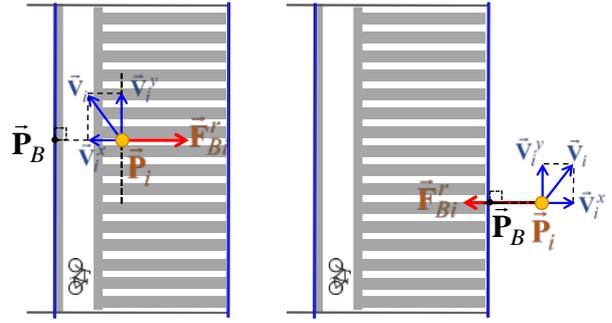
つまり, 横断歩道内を通行する場合は斥力が, 横断歩道外を通行する場合は引力が歩行者に働くものとして, 横断歩道の境界条件から作用する力を式(5.11)にて表現する.

$$\vec{F}_B = \begin{cases} \vec{F}_{Bi}^r = A_B^r \exp\left(-B_B^r \|\vec{P}_i - \vec{P}_B\|\right) \vec{n}_{Bi} \\ \vec{F}_{Bi}^a = A_B^a \exp\left(-B_B^a \|\vec{P}_i - \vec{P}_B\|\right) \vec{n}_{iB} \end{cases} \quad (5.11)$$

ここに, \vec{P}_B : 歩行者位置から横断歩道端部までの垂直位置ベクトル, $\vec{n}_{Bi}, \vec{n}_{iB}$: 単位ベクトル(Bi は境界位置 \rightarrow 歩行者, iB は歩行者 \rightarrow 境界位置を示す), $A_B^r, B_B^r, A_B^a, B_B^a$: 強度係数, である。

(c) 周囲の歩行者より受ける斥力

図 5.13 に示す通り, 視認領域において歩行者の



(a)横断歩道上での斥力 (b)横断歩道外における引力
図 5.12 横断歩道の境界条件から受ける斥力と引力

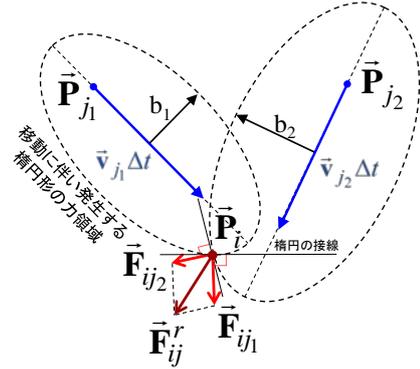


図 5.13 歩行者群により発生する斥力

移動に伴い発生する力は, 楕円形領域として表現が可能であり, 歩行者が複数いる場合には, これら楕円形の力の総和としてとらえることができる. Helbing et al.(1995)により提案された Social Force モデルによると, 斥力は単調減少する指数関数形で表現できることが知られており, 結果として視認領域において歩行者群により発生する斥力は式(5.12)として表現できる.

$$\vec{F}_{ij}^r = \sum_{l=1}^n A_j \exp(-B_j b_l) \vec{n}_{ji} \quad (5.12)$$

$$b_l = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\|\vec{P}_i - \vec{P}_{j_l}\| - \|\vec{P}_i - \vec{P}_{j_l} - \vec{v}_{j_l} \Delta t\|\right)^2 - \left(\|\vec{v}_{j_l} \Delta t\|\right)^2}$$

ここに, \vec{P}_i : 歩行者 i の現在位置(ベクトル), \vec{P}_{j_l} : 歩行者 j_l の現在位置(ベクトル), \vec{n}_{ji} : 歩行者 i の位置にて歩行者 j によって生成される楕円形斥力の単位ベクトル, l : 視認領域にいる歩行者数, A_j, B_j : 強度係数, である。

(d) 交錯車両より受ける斥力

一般的に, 交差点を右左折して横断歩道に近づいた車両は, 横断歩道手前位置にて歩行者のギャップや歩行者用信号が赤に切り替わるのを待機して停止する. しかし, リスクテイキングなドライバーが歩行者の短いギャップを通過するケースもあり, これらを考慮すると, 歩行者は車両の接近に伴い斥力を受けていると考えることができる.

図 5.14 に左折車両と接近した場合の考え方を, 式

(5.13)に接近車両に伴い発生する斥力を示す。歩行者の場合は質点系としてとらえたが、車両の場合は車両寸法(車幅や車長)の影響を無視できないため、車両寸法を考慮した位置ベクトルとして定義した。

$$\vec{F}_V = A_v \exp(-B_v b_v) \vec{n}_{vi}$$

$$b_v = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\|\vec{P}_i - \vec{P}_{rear}^{near}\| - \|\vec{P}_i - \vec{P}_{head}^{near}\| \right)^2 - \left(\|\vec{P}_{rear}^{near} - \vec{P}_{head}^{near}\| \right)^2} \quad (5.13)$$

$$\vec{P}_{head}^{*near} = \vec{P}_{head}^{near} + \vec{v}_{vehicle} \Delta t$$

ここに、 \vec{P}_i : 歩行者 i の現在位置(ベクトル), \vec{P}_{rear}^{near} : 接近車両における後方歩行者側の位置(ベクトル), \vec{P}_{head}^{near} : 接近車両における前方歩行者側の位置(ベクトル), \vec{P}_{head}^{*near} : Δt 秒後における接近車両における後方歩行者側の位置(ベクトル), \vec{n}_{vi} : 歩行者 i の位置にて接近車両により生成される楕円形斥力の単位ベクトル, A_v, B_v : 強度係数, $\vec{v}_{vehicle}$: 現在の接近車両の速度ベクトル, である。

(e) 信号現示による引力

歩行者挙動には信号制御も影響しており、赤現示が点灯する前に渡り終えるため、歩行者用青現示よりも青点滅現示の方が、横断速度が速くなることが確認されている。図 5.15 に示す通り、青点滅信号時に作用する力の大きさを目的地までの距離に比例するものとして、式(5.14)にてこの挙動を表現する。尚、この場合の横断速度の上限は最大歩行速度とし、最大速度に達した時点からは加速は行わないものとする。

$$\vec{F}_S = \begin{cases} (A_s \|\vec{P}_i - \vec{P}_{exit}\| + B_s) \vec{t}_i & \text{if the signal phase is PFG or RED, and } \|\vec{v}_i\| < v_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.14)$$

ここに、 \vec{P}_i : 歩行者 i の現在位置(ベクトル), \vec{P}_{exit} : 歩行者 i の目的とする終点位置(ベクトル), A_s, B_s : 強度係数, v_{max} : 歩行者の最大横断速度, である。

(3) モデルパラメータの推定

本研究では信号交差点の横断歩行者挙動に Social Force モデルを適用することで、横断中の歩行者に作用する様々な影響要因を表現した。挙動のモデル化にあたっては様々なパラメータが含まれていることから、ミクロシミュレータに実装するためには、これら未知パラメータを設定する必要がある。横断歩行者挙動におけるパラメータとその設定方法の種別を表 5.8 に示す。主に計測が可能と不可能なもの2種類に大別され、さらに計測可能なもの内、本研究で実施した調査結果より得られるパラメータとそれ以外のものに分類される。

調査結果から算出可能なパラメータは、本研究で調査した金山新橋南交差点のデータを用いて設定した。歩行位置データの収集作業には膨大な時間を要するため、今回の分析では単一交差点のデータに基づきパラメータ推定を行ったが、今後、より多くの

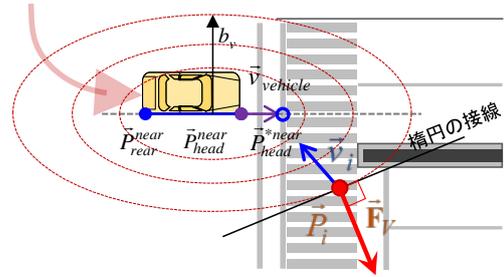


図 5.14 交錯車両より受ける斥力

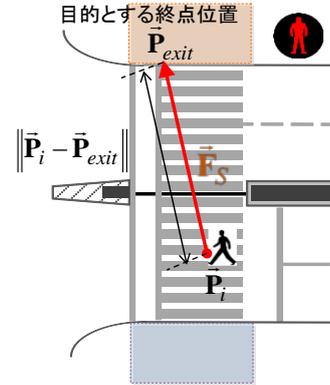


図 5.15 信号現示による引力

表 5.8 モデル上で設定するパラメータ

種別		パラメータ	
観測値より計測可能	調査結果より算出可能	v^d_i	希望横断速度
		v_{max}	最大横断速度
		τ_i	緩和時間 (希望速度に至るまでに要する時間)
		Δv	歩行者速度の変化量
		$\Delta \psi$	歩行者軌跡の角度変化量
		調査結果より算出不可	θ
R	視界領域の距離		
r	個人領域の認識距離		
観測値からの計測不可	各力の強度係数	A^a_B, B^a_B	(横断歩道内, 斥力)
		A^b_B, B^b_B	(横断歩道外, 引力)
		A_j, B_j	(周囲の歩行者, 斥力)
		A_v, B_v	(交錯車両, 斥力)
		A_s, B_s	(信号現示, 引力)

表 5.9 観測調査結果から設定したパラメータ

項目	平均値	標準偏差
最大横断速度 v_{max}	1.8m/s	0.3m/s
希望横断速度 v^d_i	1.6m/s	0.15m/s
緩和時間 τ_i	2.2s	0.5s
歩行者速度変化量 Δv	-0.07m/s	0.09m/
歩行者軌跡角度変化量 $\Delta \psi$	0.03deg	2.14deg

交差点で同様のデータを収集し、検証する必要がある。ビデオ観測調査結果より得られたデータを集計して設定した各パラメータ値を表 5.9 に、調査結果より算出が困難な視界領域や個人領域の視認距離と角度については、Guo et al.(2010), Antonini et al.(2006)を参考に表 5.10 のとおり設定した。

モデルの強度係数パラメータの推定は、正規分布

の確率密度関数として時点における尤度を定式化(式 5.15)した上で、全観測データより得られる対数尤度を最大化することにより推定した。パラメータ推定結果を表 5.11 に示す。いずれの係数も 5% 有意となっている。推定結果より、交錯車両より受ける斥力に関する係数が最も大きく、歩行者の横断軌跡に大きな影響を与えていることが示された。

$$L_k(\Delta d_i(\theta_p) | \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta d_i(\theta_p) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} \ln L &= \ln \left\{ \prod \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta d_i(\theta_p) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \right\} \\ &= -\frac{1}{2} n \ln(2\pi) - n \ln(\sigma) - \frac{\sum (\Delta d_i(\theta_p) - \mu)^2}{2\sigma^2} \end{aligned} \quad (5.16)$$

5.6 まとめ

本章では、信号交差点での横断歩行者挙動を対象として、横断軌跡、横断速度、横断/停止判断挙動に関する分析を行った。さらに、横断歩道上での他者に対する回避挙動や信号現示の変更に対する反応といったミクロな横断挙動についてもモデル化による表現を行った。

横断軌跡と横断速度の挙動分析においては、歩車道境界位置と車道中間位置という3つの評価断面を設定し、その断面上での位置分布や断面間での旅行速度を示すことによってモデル化を行った。横断軌跡の分析においては横断歩道の幾何構造のほか、横断歩行や利用者密度といった状態量が横断軌跡に対して有意に影響していることが明らかとなった。横断速度の分析結果からは、通常の間青時間と青点減時間中での比較や、横断位置の前半と後半による比較結果から、速度の値そのものや影響要因が異なることを明らかにした。

青点減開始時の横断/停止判断挙動については、青点減開始時に横断歩道から遠い位置におり、点減開始時の歩行速度が遅い歩行者ほど、停止判断をおこなっている傾向にあることを挙動データの集計分析より明らかにした。その結果をふまえて、横断歩道長、青点減開始時の横断歩道までの距離と歩行速度より説明する停止判断挙動を二項ロジットによりモデル化した。

最後に、横断歩道上での他の横断歩行者との接触回避や歩行者用信号現示の変化に対する反応などの挙動をシミュレータ上で再現することを目的として、Social Forceモデルを援用することにより歩行者のミクロな横断挙動を再現した。分析結果からは、交錯車両より受ける斥力の影響が横断軌跡に対して大きな影響を与えていることが明らかとなった。

以上の各挙動のモデル化によって、信号交差点における横断歩行者の挙動がシミュレータ上で再現可

表 5.10 既往研究成果より設定したパラメータ

項目	設定値
視界領域の角度 θ	170deg
視界領域の距離 R	8m
個人領域の認識距離 r	2m

表 5.11 強度パラメータの推定結果

種別	式	パラメータ	推定値	p 値
横断歩道の境界条件より受ける斥力	(5.0)	A_B^r	0.21	0.00
		B_B^r	0.84	0.00
横断歩道の境界条件より受ける引力	(5.0)	A_B^a	0.42	0.01
		B_B^a	0.95	0.00
周囲の歩行者より受ける斥力	(5.0)	A_j	0.85	0.00
		B_j	0.76	0.01
交錯車両より受ける斥力	(5.0)	A_v	1.32	0.02
		B_v	0.86	0.00
信号現示による引力	(5.0)	A_s	0.05	0.02
		B_s	0.08	0.00

能になったといえる。横断歩行者挙動は非常に複雑であり挙動データの取得は容易ではないが、今後もより多くのデータを蓄積した上で、モデル再現性の向上に努めていく必要がある。また近年では、歩車分離式やカウントダウン式歩行者用信号といった様々な種類の信号制御方法が存在しており、これらについても分析および評価を行った上で、安全性向上のための適用条件等を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人 交通工学研究会: 改訂 交通信号の手引き, 2006.
- 2) Helbing, D. and Molnar, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Physical review E* 51(5), pp.4282-4286, 1995.
- 3) Antonini, G., Bierlaire, M. and Weber, M.: Discrete choice models of pedestrian walking behavior, *Transportation Research Part B* 40 (8), p.667-687, 2006.
- 4) Guo, R.Y., Wong, S.C., Huang, H.J., Zhang, P., and Lam, W. H.: A microscopic pedestrian-simulation model and its application to intersecting flows, *Physica A*, 389(3), pp.515-526, 2010.
- 5) Asano, M., Alhajyaseen W., Nakamura, H. and Zhang, X.: A stochastic approach for modeling pedestrian crossing behavior after the onset of pedestrian flashing green signal indication, *Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research*, 18 pages, USB, 2013.
- 6) Zeng, W., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Modeling pedestrian trajectory for safety assessment at signalized crosswalks, *Proceedings of the 10th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 17 pages, USB, 2013.

- 7) Zhang, X., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Modeling pedestrian walking speed at signalized crosswalks considering crosswalk length and signal timing, *Proceedings of the 10th International Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 15 pages, USB, 2013.
- 8) 張馨, 中村英樹, 浅野美帆, 陳鵬: 横断歩道長と歩行者信号現示を考慮した横断歩行速度のモデル化, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I_1031-I_1040, 2014.
- 9) Zeng, W., Nakamura, H. and Chen, P.: A modified social force model for pedestrian behavior simulation at signalized crosswalks, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol.138, pp.521-530, 2014.
- 10) Zeng, W., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of social force model to pedestrian behavior analysis at signalized crosswalk, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 40, pp.143-159, 2014.
- 11) 羽賀 研太郎, 浜岡 秀勝: 交差点での横断歩道横断時における歩行者の右左折確認行動に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.69, No.5, pp.I_797-I_807, 2013.
- 12) 井料美帆: 信号付横断歩道における歩行者クリアランス時間設定方法の日米比較, 生産研究, Vol.66, No.4, pp.345-349, 2014.
- 13) 井料美帆, Wael, K.M. Alhajyaseen: 歩行者信号現示方式とクリアランス時間に関する基礎的考察, 土木計画学研究・講演集, No.49, 8 ページ, CD-ROM, 2014.

第6章 交差点評価シミュレータの開発

6.1 シミュレータの構築

(1) 開発シミュレータの概要と特徴

本研究では、交差点内で発生する利用者間の交錯の頻度や強度によって、改良対策案の安全性を評価する。このためには、利用者挙動のバラツキを再現可能なシミュレータが必要となる。そこで本シミュレータでは、自由走行もしくは追従走行といった車両の一般的な挙動に関しては、通常のマクロシミュレータと同様の原理を用いる一方、交差点内における交錯に関わる走行/横断軌跡や速度の変化に関しては、構築した挙動モデルを実装することによって挙動の確率的な分布を再現する。

本シミュレータは、交差点内で発生する利用者間の交錯を再現することによって、改良対策案の評価を行うことを目的として開発されたものである。ここで、改良対策案の対象としてまず挙げられるのが交差点構造や信号制御パラメータの変更である。本シミュレータでは、これらに関するパラメータを操作した場合の利用者挙動の変化がシミュレーションによって再現され、結果として利用者間に生じる交錯に関する指標が出力される。

ここで、評価対象とする交差点構造・信号制御パラメータとして、現在のところ以下のものを扱うことが可能である。

- ✓ 交差点構造
- ✓ 流入/流出車線数
- ✓ 交差角度
- ✓ 隅角部の角度および半径
- ✓ 中央分離帯位置など
- ✓ 信号制御
- ✓ 各信号現示時間長

一方で、本シミュレータは、個別交差点の安全性評価に必要な最低限のものとなっており、現時点では、以下の事項に関する評価は扱うことができない。

- ✓ 食いつき交差点
- ✓ 5枝以上の交差点
- ✓ 系統信号制御などを含む複数交差点ネットワーク

ークの評価

- ✓ 感応式信号制御の評価

(2) シミュレータの基本構造

開発したシミュレータは、C#プログラミング言語によって記述しており、0.1秒のスキャンインターバルでシミュレーションを実行可能とした。基本構成としては4つのサブシステム(GUI、シミュレーション装置、エンコーダ/デコーダ、データ記憶装置)により構築している。

本研究の目的上、交差点構造や信号制御条件に関するパラメータを容易に操作可能である必要がある。加えて、代替案の提案を行う際に有用なビジュアル・ツールをユーザーに提供可能であることが望ましい。そこで本シミュレータでは、GUIの搭載によって、各パラメータを画面上で操作可能であると共に、シミュレーションによって再現される交通状況はアニメーション表示を可能としている(図6.1)。

また、本シミュレータでは、リアルタイムで走行中の車両を追跡可能である。図6.2に示す通り、ユーザーは追跡したいターゲット車両をクリックすることで、その車両の時間-距離図と速度を画面上で確認することが可能である。

(3) 入力データと出力データ

シミュレーション実行のための入力データは、交差点の道路構造データ、車種情報を含めた交通量などの交通需要データ、信号現示情報(図6.3~図6.5)



図 6.1 シミュレータ画面表示例

である。交通需要情報においては、3種類の車種(普通車, トラック, バス)ごとに入力可能であり, 各々で速度と最大加減速度の設定が可能である。信号現示の設定は, 現状では定周期の単純4現示制御のみの扱いとしている。

出力されるデータとしては, シミュレーション実行時間中の全車両/全歩行者について, 位置情報, 速度/加速度変化, 走行/横断距離の推移といった状態変数が個別挙動データとして記録される。

(4) 挙動モデル

シミュレータに実装している挙動モデルは, 本研究で開発した左折車両, 右折車両, 横断歩行者の各挙動モデルであるが, シミュレータ上での表現として一般的な挙動と考えられる下記挙動については, それぞれ既往の研究成果を援用している。

(a) 車両と歩行者の到着パターン

車両と歩行者は, ランダムに到着すると仮定している。このとき, 車両および歩行者の到着時間間隔はそれぞれ負の指数分布(Gerlough and Huber, 1975)に従い, 式(6.1)の通りとなる。ここで, 車両の到着時間間隔とは, 車頭時間である。

$$f(h \geq t) = e^{-(t-h_{min})/(H-h_{min})} \quad (6.1)$$

ここに, h : 到着時間間隔[sec], t : 時間長[sec], H : 平均到着時間間隔[sec], h_{min} : 最小到着時間間隔[sec](歩行者交通流では 0[sec], 自動車交通流では 1~1.2[sec]を仮定), である。

(b) 車両追従挙動

車両追従挙動は, ドライバーの周辺交通状況に対する反応を表す上で, 重要な役割を担っている。本シミュレータでは, Martin Treiber(2000)による知的運転者モデル(IDM)を採用している。このモデルでは, 車両の加速度(減速度)はその車両自身の速度と前方車両の速度および相対位置に依存する。このとき, 時刻 t での加速度は, 次式の通りとなる。

$$\frac{dv}{dt} = a \left[1 - \left(\frac{v}{v_o} \right)^\delta - \left(\frac{s^*}{s} \right)^2 \right] \quad (6.2)$$

$$s^* = s_o + \left(vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \right) \quad (6.3)$$

ここに, v_o : 希望速度[m/sec], T : 渋滞時の走行反応時間[sec], a : 最大加速度[m/sec²], b : 最大減速度[m/sec²], s_o : 前方車両との最小車間距離[m], s : 時刻 t における前方車両との車間距離[m], δ : 指数定数, である。

(c) 車両速度の設定

車両の速度変化は直進・右折・左折の進行方向別に推定し, 図6.6に示す通り, 通常走行領域・(交差

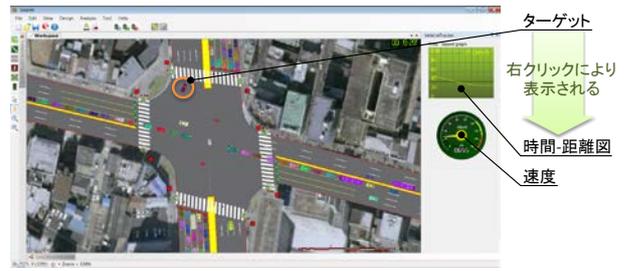


図 6.2 リアルタイムでの車両追跡状況表示

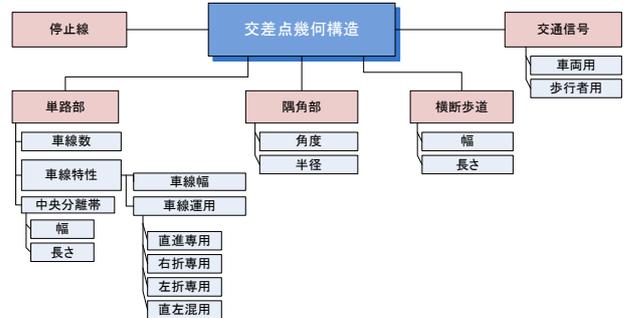


図 6.3 交差点幾何構造に関する入力情報

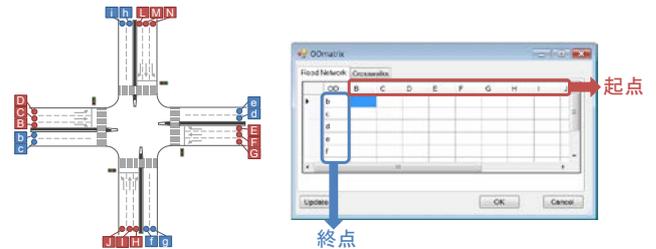


図 6.4 交通量情報の入力

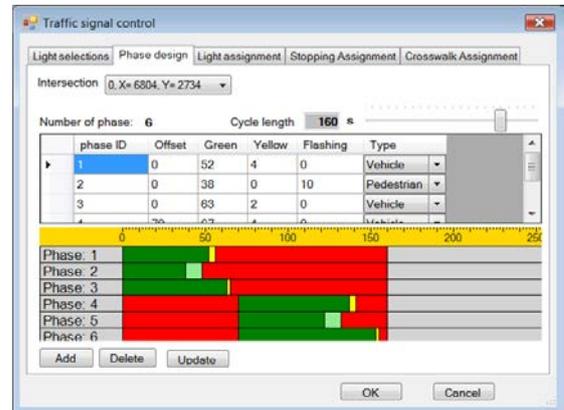


図 6.5 信号現示設定

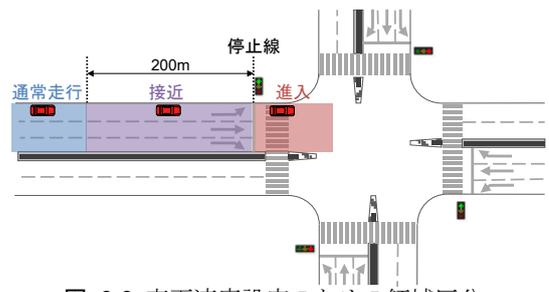


図 6.6 車両速度設定のための領域区分

点への)接近領域・進入領域の3段階に分けて表現する。車両は、停止線の200[m]上流に到達するまでは、単路部を走行しているとみなされ、この時の車両速度は車両追従モデルに従い、この間、車両は、信号機に反応しないものと仮定している。その後、車両が停止線から200[m]上流に達すると、車両は交差点への接近領域に入り信号機への反応を開始し、停止線通過以降は交差点進入領域に入ったものとする。進入領域では、車両の発進反応時間や歩行者とのギャップ/ラグ選択判断といった、構築モデルに応じた挙動をとる。

6.2 再現性の検証

本研究で開発した各挙動モデルは、シミュレータ実装後に、実観測データに対する再現性を有しているかの検証を行っている。本節では、これらの検証結果の内、左折車両の走行軌跡、右折車両の交錯点における各指標値、横断歩行者のミクロ挙動に関する検証事例について示す。

(1) 左折車両の走行軌跡

左折走行軌跡についてシミュレータによる推定値と実測値を比較した事例を図6.7に示す。図より、概ね走行軌跡は良好に再現されていることがわかる。図6.8は走行時の横断歩道位置、流出側横断歩道端部とその中間断面での通過位置分布を示したものである。t検定の結果、推定値と観測値の間では95%信頼区間で有意な差がなく、再現性は良好といえる。観測軌跡と推定軌跡で乖離している主な原因として、シミュレータ上では特に流出部においては車両が車線中央位置を必ず走行するという点が挙げられる。今後は、車線内での走行位置のばらつきも表現することにより、さらなる推定精度の向上が可能になるといえる。

(2) 右折車両の交錯点における指標値

右折車両に関する再現性の確認結果として、右折専用現示前のインターグリーンにおける右折車両と対向直進車の交錯事象について、交錯点通過速度、SRT、PETの3つ指標に関して再現性検証を行った事例を図6.9に示す。

交錯点における各種指標値について、頻度分布および累積頻度分布を確認し、実測値と推定値に対しての二群の平均値の差の検定(t検定)を行ったところ、全指標において実測値と推定値の間に5%有意差がないことが検証されており、再現性は良好であるといえる。一方、対向直進車や右折車の速度頻度分布に着目すると、実測値では高い走行速度と低い走行速度の2群に分かれており、推定値との分布状況と差が生じているようにも見てとれる。今後、速度のばらつきの与え方についてさらなる改良を検討していく必要があるといえる。

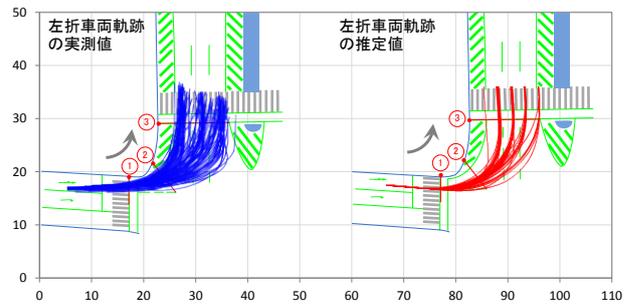


図 6.7 左折走行軌跡の実測値と推定値の比較

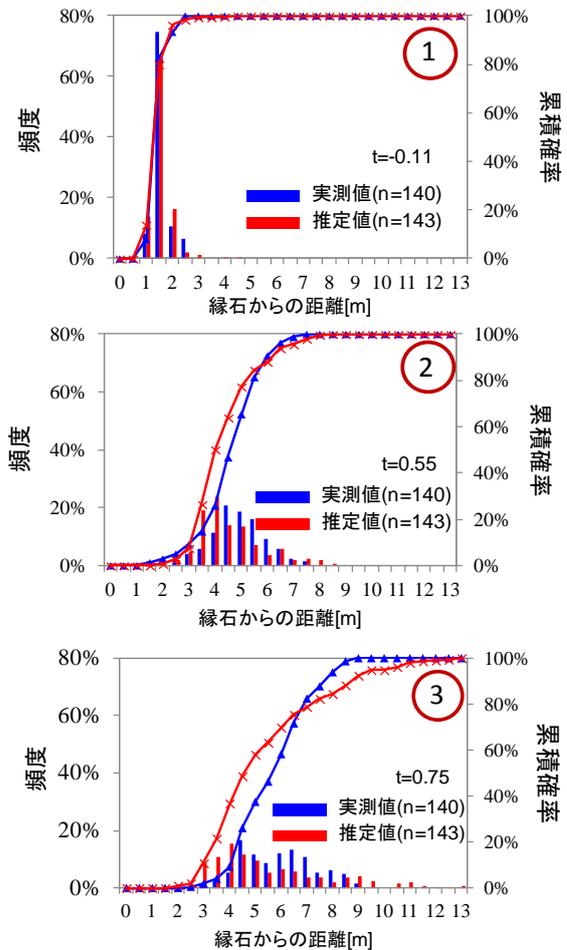


図 6.8 左折走行軌跡の断面通過位置分布の比較

(3) 横断歩行者のミクロ挙動

横断歩道上での歩行者ミクロ挙動の再現性については、0.5秒単位での位置、速度、角度(方向)について観測値と推定値の比較を行った。時点における観測値と推定値の検証にあたっては、式(6.4)、(6.5)で示される平均絶対パーセント誤差(Mean Absolute Percentage Error; MAPE)により評価した。

$$MAPE_{pos_x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{P_{k+1}^{est}(x) - P_{k+1}^{obs}(x)}{P_{k+1}^{obs}(x)} \quad (6.4)$$

$$MAPE_{pos_y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{P_{k+1}^{est}(y) - P_{k+1}^{obs}(y)}{P_{k+1}^{obs}(y)}$$

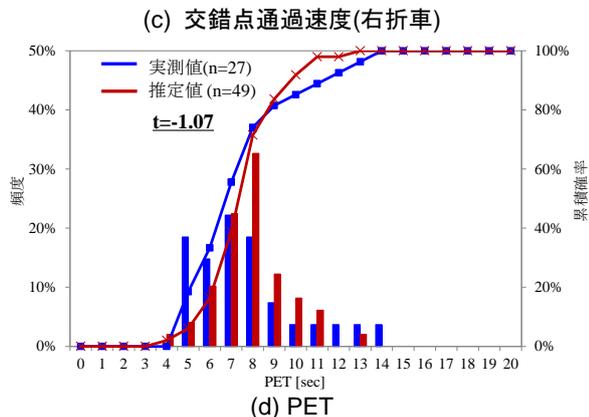
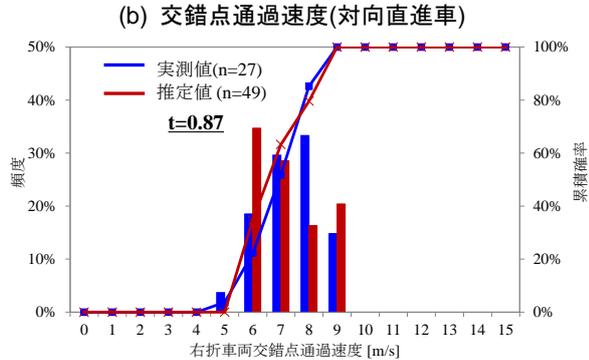
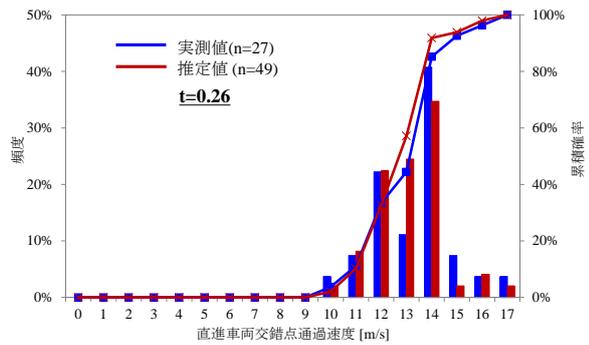
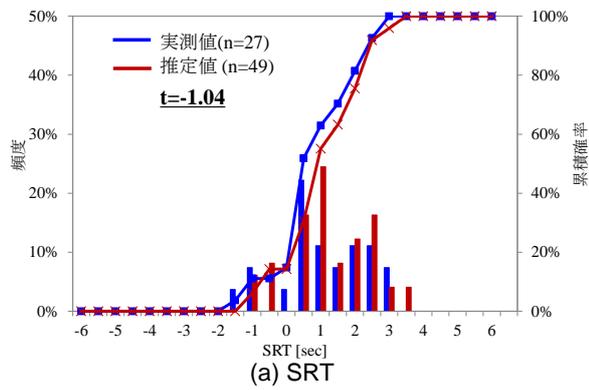


図 6.9 右折車両と対向直進車の交錯指標値に関する実測値と推定値の比較

$$MAPE_{speed-x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{v_k^{est}(x) - v_k^{obs}(x)}{v_k^{obs}(x)} \quad (6.5)$$

$$MAPE_{speed-y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{v_k^{est}(y) - v_k^{obs}(y)}{v_k^{obs}(y)}$$

ここに、 $P_{obs_k}(x)$, $P_{obs_k}(y)$: 時点 k における x 方向または y 方向の位置座標の観測値, $P_{est_k}(x)$, $P_{est_k}(y)$: 時

表 6.1 歩行者の位置/速度に関する平均MAPE

パターン	N	位置		速度	
		P(x)	P(y)	V(x)	V(y)
1	11	8.27%	3.99%	15.65%	6.75%
2	13	7.58%	6.04%	13.65%	3.88%
3	423	13.42%	10.38%	20.51%	7.99%
4	12	9.71%	8.22%	9.72%	6.01%
5	307	9.86%	10.74%	18.09%	5.52%

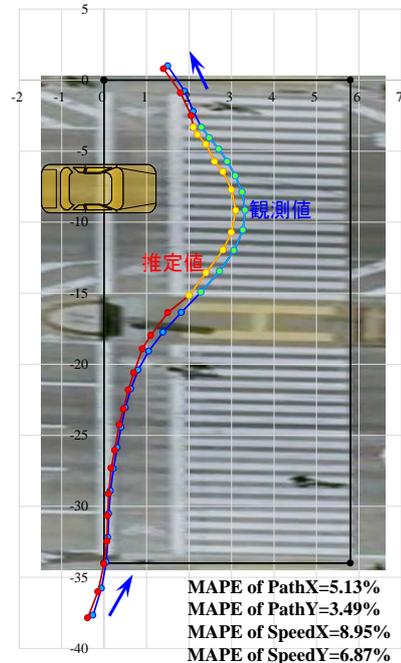


図 6.10 横断軌跡観測値と推定値の比較 (パターン4の例)

点 k における x 方向または y 方向の位置座標の推定値, $v_{obs_k}(x)$, $v_{obs_k}(y)$: 時点 k における x 方向または y 方向の速度の観測値, $v_{est_k}(x)$, $v_{est_k}(y)$: 時点 k における x 方向または y 方向の速度の推定値, である。

検証は、単独歩行者と複数歩行者の別と交錯車両の有無に応じて合計5パターンにおいて実施した。各パターンにおいてMAPEの平均値を算出した結果を表6.1に示す。

検証パターン

- 1: 単独歩行者(他歩行者との交錯無し)
- 2: 単独歩行者-対向側単独歩行者
- 3: 複数歩行者-対向側複数歩行者
- 4: 単独歩行者-交錯車両
- 5: 複数歩行者-対向側複数歩行者-交錯車両

表 6.1 の結果をみると、複雑な横断歩行者のミクロ挙動を平均 MAPE で 20%以下の精度で表現できており、十分に許容される再現性を有しているといえる。位置と速度の MAPE を比較してみると、速度に関する MAPE 平均値の方が位置に関する MAPE 平均値よりやや大きな傾向を示している。モデルの構成上、位置については時点位置、時点速度、合力

作用後の速度の3つの項から算出するのに対し、速度の推定値は仮定した作用力より直接的に算出されるため、比較上では誤差が大きくなっているものと考えられるが、この点については今後の課題としたい。

6.3 ハザードマップ生成手法の検討

(1) 交差点安全性の可視的表現方法

交差点安全性に対するSSMは定性的に“安全性”や“危険性”などと評価されるものを定量的に評価する上で効果的な指標値である。例えば、交錯に関するある指標値を例に考えてみると、1種類の交錯事象に対して算出された指標値は、特定の主体、位置、時刻における評価値である。一方で、単独で算出された指標値の計算結果のみでは、交差点全体での総合的評価までには至らず、交差点内での複数箇所での評価や、一定時間内における指標値の算出結果の積み上げ値などをもとに評価する必要がある。

このように、ある位置における評価値算出結果から空間的広がりをもつ交差点全体へと拡張する場合や、ある一時点での評価値算出結果から一定時間中の評価へ展開する場合には、算出された指標値を2次元あるいは時間軸にて集計することにより表現が可能となる。この時、本研究で検討しているような2次元シミュレータが有効であり、面的な広がりや時間軸での変化をシミュレータ上で表現することが可能である。

これらの考え方のもと、本研究では、この面的かつ時間ごとに変化する評価指標値を、交差点内のハザードマップとして表現する手法について検討した。シミュレータへの入力状態から、安全性評価指標値の抽出およびハザードマップ生成までの概念図を図6.12に示す。

まず、道路構造や交通運用、交通状況等の各種情報が入力値として準備される。これら入力値は、交差点利用者主体に影響を与える要因であり、かつ、交差点改良対策実施時には変更や統制が可能な要因を想定している。この入力データに基づき、本研究で構築した各種モデルを介して、交差点利用者主体の挙動がシミュレータ上で再現される。推定モデルにより再現された道路利用者挙動は、シミュレータ上で逐次その挙動データが収集されることから、このデータをもとに、代替安全性指標の算出が可能である。本研究では、評価における適切な評価指標として、横断歩行者対右左折車両の交錯評価には短時間PET数、車両通過速度、交錯リスク R_{com} が、右折対直進車両の交錯評価には交錯評価指標 CI を選定しているが、取得された挙動データにより算出可能な他の交錯指標値についても適用できる。

これらの過程より得られた種類/主体/位置/時間別の評価指標値を集計することにより、ハザードマップ生成を行う。

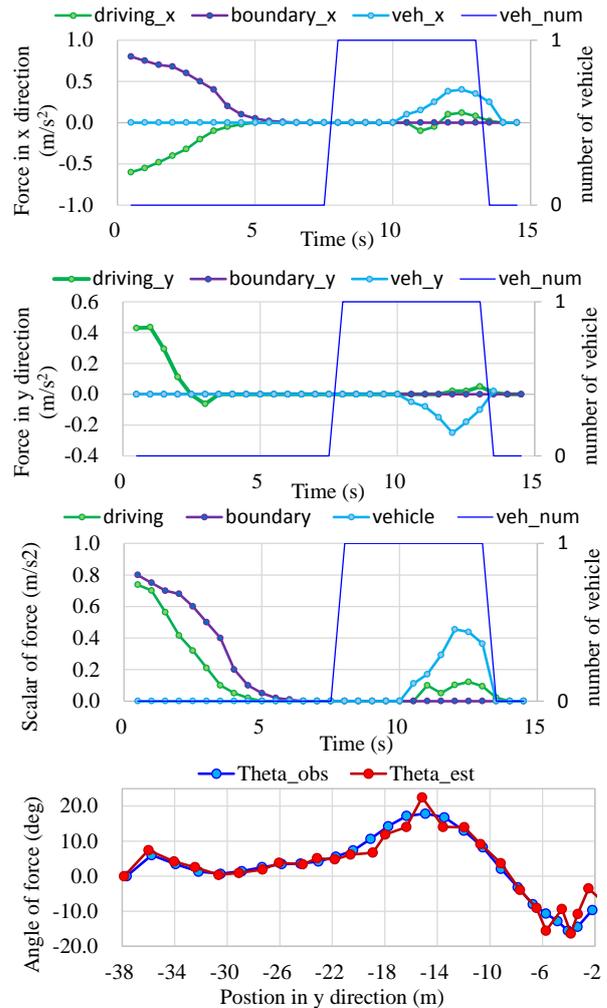


図 6.11 作用する力の変化(パターン4の例)

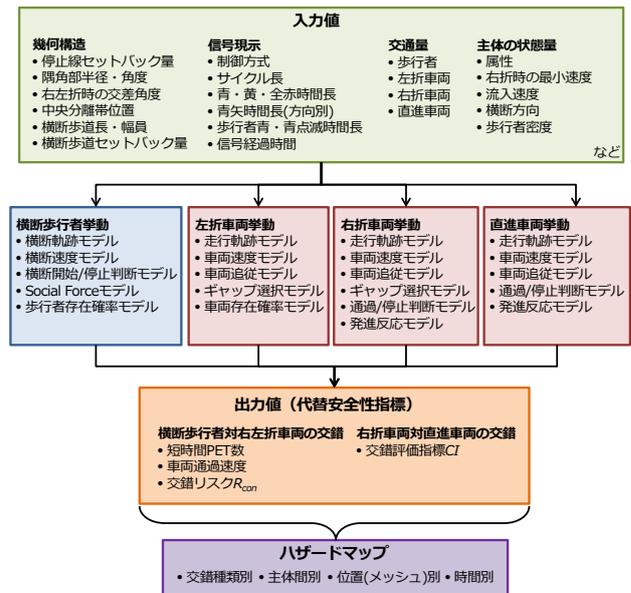


図 6.12 ハザードマップの生成・評価までの流れ

(2) ハザードマップ生成手法の検討

計算結果より得られた SSM を集計し、ハザードマップを生成する方法については、まず、交差点内空間をある単位区間に細分化したメッシュを構築する。このメッシュ単位は、その後の評価に応じて適切に設定すればよく、また、平面軸の設定も緯度経度をベースにした X-Y 座標系や、交差道路の縦断/横断方向に設定しても良い。交差点内メッシュが設定された後には、そのメッシュ外枠を境界条件としてメッシュ内で観測された SSM を集計計算することにより、メッシュ単位での SSM 算出結果が生成される。

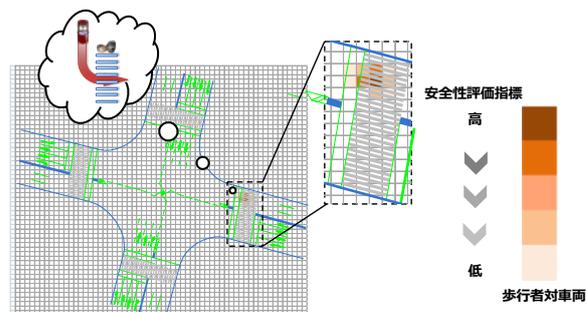
図 6.13(a)に示す通り、ある時刻における 1 つの交錯事象が観測されると、その評価指標値はメッシュ単位で表記される。ある時刻において、同時間帯に複数の指標値が観測される場合には、図 6.13(b)に示す通りメッシュ内で合計した値により表現できる。さらに、時間軸上で一定期間内における SSM を観測する場合には、図 6.13(c)、6.13(d)に示す通り、例えば 1 サイクルあたりの集計値として計算が可能である。図 6.13(c)、6.13(d)では歩行者対車両及び車両対車両でのイメージを示しているが、異なる主体間の交錯事象に関する SSM は、単純に合成することは難しい。よって、同一図面上にこれらのアウトプットを展開する場合でも、その重みづけや優先度設定については、管理者や技術者の判断に委ねられる。

以上の考え方により、交差点内における安全性評価指標値をメッシュ単位で集計し、その集計結果を数値の大小に応じて色付けして可視化することで、交差点内ハザードマップが表現可能であるといえる。

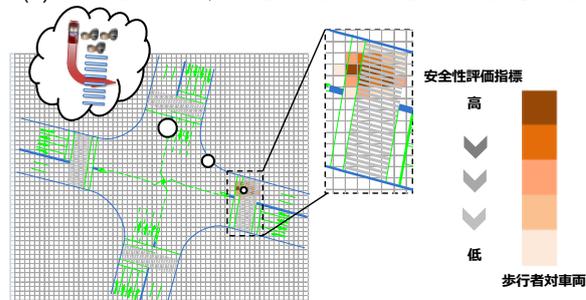
以上のようにして生成されるハザードマップにより危険度や危険箇所を視覚的に表現でき、特に、交差点シミュレータなどのツールと併用することにより、即時計算、結果出力が可能となる。この一連の流れにより、道路構造や信号制御の変更による交差点改良対策の代替案評価がよりわかりやすく理解できるものになるといえる。

参考文献

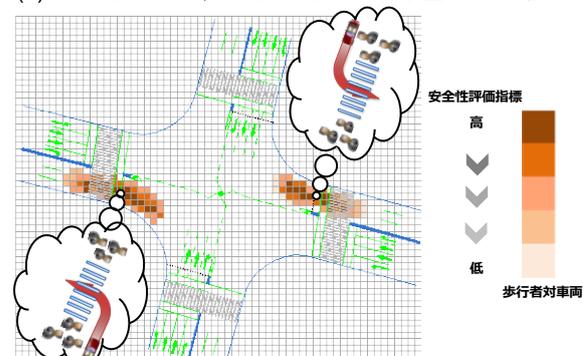
- 1) Gerlough, D. L. and Huber, M. J.: Traffic flow theory – a monograph. Transportation Research Board Special Report 165, 1975.
- 2) Treiber, M., Hennecke, A. and Helbing, D.: Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, *Physical Review*, E62(2), pp.1805–1824, 2000.
- 3) Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of surrogate safety measures for assessment of pedestrian versus left-turning vehicle conflict at signalized crosswalks, Proceedings of the International Conference Road Safety and Simulation 2013, 16 pages, USB, 2013.
- 4) 渡部数樹, 中村英樹, 浅野美帆: 右折車両挙動分析とミクロシミュレーションによる安全性評価に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.48, 8 ページ,



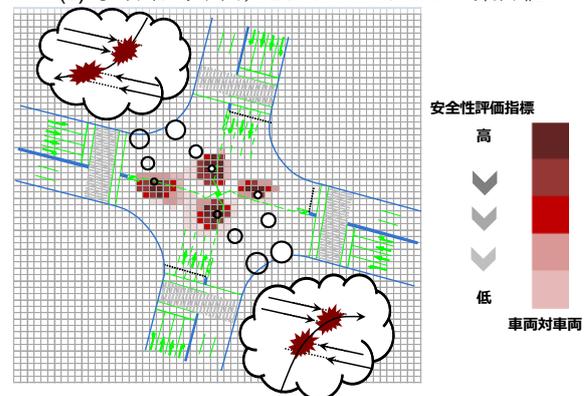
(a) 歩行者対車両, ある時刻における1つの交錯事象



(b) 歩行者対車両, ある時刻における全ての交錯事象



(c) 歩行者対車両, 1サイクルあたりの集計値



(d) 車両対車両, 1サイクルあたりの集計値

図 6.13 ハザードマップイメージ図

CD-ROM, 2013.

- 5) Zeng, W., Nakamura, H. and Chen, P.: A modified social force model for pedestrian behavior simulation at signalized crosswalks, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol.138, pp.521-530, 2014.
- 6) Zeng, W., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of social force model to pedestrian behavior analysis at signalized crosswalk, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 40, pp.143-159, 2014.

第7章 交差点安全性評価方法の検討

7.1 安全性評価指標値の検討

(1) 安全性評価指標値の必要性

一般的に、交通施設の安全性は、事故件数や事故の程度によって評価されることが多く、これまでに、統計的モデリング、ベイイズ理論、Highway Safety Manualにおける予測手法といった事故統計データと安全性評価関数の構築に焦点を当てた数多くの手法が存在している。しかしながら、これらの手法の限界として、信頼性のある結果を得るために、事故、交通量、道路構造等の非常に莫大なデータが必要となることが挙げられる。つまり、これらの手法を用いるためには長い時間を必要とし、また、データの取得や結果の検証に多大な労力を要するものといえる。従って、これらの交通事故データにもとづく集計的な分析手法では、異なる交差点構造や運用条件、および動的な交通状況や利用者挙動の変化に対応した正確な事故予測を行うことは容易ではないといえる。

これらの課題点をふまえ、顕在化した事故データ以外の指標を用いた様々な手法が提案されている。最も普及している安全性評価の代替手法として、道路利用者の挙動観測に基づいて、頻度や深刻さの観点から交錯事象を特定する交通交錯手法(Traffic Conflict Technique; TCT)が挙げられる。交錯は、2者もしくはそれ以上の道路利用者が、仮に挙動を変化させない場合に起こりうる、互いに空間的・時間的に接近することが観測される状況として定義され(Tiwari, et al., 1998)、この手法についてこれまで多くの研究蓄積がなされており、交錯指標は交通事故の適切な代理指標(Surrogate measure)となり得ることも示されてきている。

この手法の主たる利点は交通施設の安全性水準が、事故よりも高頻度で発生する交錯現象に関する分析によって計量できることである。また、統計的に信頼性のある解析結果を得るために、事故分析よりも短期間の観測で済む点においても有利である。

表 7.1 既往研究に基づくSSMの整理

No.	SSM	種別
1	衝突余裕時間(TTC)	生じやすさ
2	事故余裕時間(TA)	生じやすさ
3	交錯点通過時間差(PET)	生じやすさ
4	ギャップ時間(GT)	生じやすさ
5	予測交錯点通過時間差(IAPET)	生じやすさ
6	横断歩道までの時間(TTZ)	生じやすさ
7	減速度(DR)	深刻度
8	急減速時追突危険性指標(PICUD)	深刻度
9	安全減速度(DST)	深刻度
10	交錯角度	深刻度
11	通過速度	深刻度

(2) 交差点の安全性評価に用いる評価指標値

交差点の安全性を評価する場合には、異なる2者が衝突するまでの時間差に着目した“交錯の生じやすさ”と、異なる2者が衝突した場合の事故の大きさに着目した“交錯の深刻度”の両面からの評価が必要である。例えば、異なる2者の軌跡が交わる場合でも十分な時間差があれば事故には至らないし、逆に横断歩行者同士が接触したとしても重大事故につながるケースは少ない。つまり、評価する交錯事象に応じて適切な安全性評価指標を選定し、生じやすさや深刻度、または両面から評価する必要があるといえる。

これまでに提案されている主要な代替安全性指標(SSM)を交錯の生じやすさと深刻度の観点から種類別に整理したものを表7.1に示す。交錯の生じやすさにおいては、TTCが衝突コースを仮定し、GTは等速・同方向の進行を仮定しているのに対し、PETは走行過程を必要とせず容易に取得が可能である点で有利な指標と考えられる。交錯の深刻度については、交錯点通過速度や交錯角度は深刻さを示す必要条件となりうるが十分条件とはならない。以上より、衝突確率そのものの表現や、衝突に近い交錯事象を表すために開発されたSSMがこれまでに提案されているが、対象となる主体(左折対歩行者や右折対直進車など)に応じて、適切な指標値を選定、あるいは組み合わせることで評価することが重要であるといえる。

7.2 評価指標値と交通事故発生件数の関連

(1) 評価指標値と事故発生頻度との関連性分析

交差点での安全性評価に限定すると、SSM と実際に発生した事故発生件数の関係について詳しく研究された事例は少ない。ヒヤリハット事象での評価にみられるように、安全性評価そのものは、必ずしも交通事故として発生した顕在化事象のみを対象とすべきではないが、少なくとも一定の関係性が確認される必要があるといえる。本研究では、SSM 選定の1つの手法として、事故発生件数とSSMとの関係についての分析方法について示す。具体的には、SSMを説明変数とした事故発生件数の予測モデルを推定し、因果関係を明らかにする。

本節では、評価事例として左折対横断歩行者の安全性評価についてSSMの妥当性確認を行った事例について示す。

分析対象とした交差点は、左折者及び歩行者の実挙動データが観測されており、かつ、左折対歩行者の事故発生位置が正確に特定可能であった6箇所、9流入部の交差点を対象とした。事故に関する情報については、国土交通省中部地方整備局名古屋国道事務所より平成19年-22年の4年事故統計データの提供を受けて分析に用いた(表7.2)。

本分析では、事故発生件数を被説明変数とし、各種SSMを説明変数とした回帰モデル分析より、SSMの影響度を確認する。事故発生件数推定モデルの代表的なものとしては、ポアソン回帰や負の二項分布による回帰モデルがある。ポアソン回帰の適用には、平均と分散の値が等しいことが条件とされ、負の二項分布による回帰の適用には平均よりも分散が大きいために条件とされる。本分析で使用したデータについて、平均と分散の関係を確認したところ平均が分散よりも大きな値を示していたことから、ポアソン回帰モデルを採択し、分析に用いることとした。

$$P(y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (7.1)$$

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i), \quad \text{or} \quad \log(\lambda_i) = \beta X_i \quad (7.2)$$

ここに、 λ_i : 位置*i*におけるポアソン分布のパラメータ(位置*i*における事故件数の期待値)、 X : 説明変数(=SSM)、 β : 係数パラメータ、である。

左折車両と横断歩行者間の交錯に対するSSMとして、平均PET、短時間PET数、平均交錯点通過速度の3指標に着目し、それぞれを説明変数とした事故発生件数推定モデルを構築することにより、SSMとしての妥当性を確認する。尚、変数間の相関を確認した結果、平均PETと短時間PET数は相関係数が0.5以上と比較的高い相関関係を示していたため、平均PETと交錯点通過速度、または、短時間PET数と交錯点通過速度の2つのケースについて、モデル推定を行った。それぞれのモデルについて最尤法により推定した結果を表7.3に示す。

表 7.2 分析対象交差点と事故発生件数

交差点	金山新橋南		山田四丁目	植田一本松		広小路伏見		桜通大津	桜通本町
	東	北	東	東	南	南	北	西	東
横断歩道位置									
事故発生件数*	-	1	1	1	-	1	-	2	-
横断歩道長[m]	16.2	36.2	15.2	28.7	20.8	35.4	34.1	34.1	33.3
左折角度[deg]	95	81	120	66	118	90	90	90	90
左折車両交通量[veh/h]	74	62	25	23	88	61	100	47	102
横断歩行者交通量[ped/h]	180	335	43	34	90	326	310	288	175

表 7.3 左折対横断歩行者の事故件数推定モデル
(a) 平均PETと平均交錯点通過速度を用いた場合

説明変数	係数	t 値
定数項	-11.5	-1.95
平均 PET[sec]	0.375	1.38
平均交錯点通過速度[km/h]	0.617	2.02
サンプル数	9	
初期尤度	-9.13	
対数尤度	-7.44	
χ^2 値	3.38	
ρ^2 値	0.185	

(b) 短時間PETと平均交錯点通過速度を用いた場合

説明変数	係数	t 値
定数項	-10.9	-2.00
短時間 PET 数[h]	0.0175	2.89
平均交錯点通過速度[km/h]	0.629	1.99
サンプル数	9	
初期尤度	-9.13	
対数尤度	-7.14	
χ^2 値	3.972	
ρ^2 値	0.218	

推定結果より、 ρ^2 値はいずれのモデルとも0.20前後であり、ポアソン回帰モデルとしては許容範囲にあるモデル精度といえる。また、全ての説明変数が10%有意を満たしており、事故件数とSSMとの関連性が示されているといえる。モデル推定結果について ρ^2 値の比較からは、短時間PET数と平均交錯点通過速度の組み合わせの方がより良い分析結果とみなせる。つまり、左折車対横断歩行者の安全性評価においては、平均PETよりも短時間PETを適用する方が妥当であることが示唆された結果といえる。

(2) 車両相互の交錯事象に関するSSMの考案

交差点における車両相互の交錯事象に関しての安全性を評価する場合には、交錯の生じやすさと交錯の深刻度の両面から評価する必要があることは7.1

においても触れたとおりである。本研究では、この交錯の生じやすさと深刻度を同時に評価するための新たなSSMとしてについて交錯評価指標(Conflict Index; *CI*)を検討した。

車両相互の交錯の深刻度を評価する上で、交錯点通過速度と交錯角度の両方を表現可能なエネルギー量に着目する(図7.1)。2つの車両の衝突を仮定すると、エネルギー保存の法則と運動量保存の法則を適用することにより、式(7.3)のとおり定式化できる。このときの衝突前後のエネルギー変化量 ΔK_e を交錯時の深刻度を示す指標として代替させる。

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 + \Delta K_e \quad (7.3)$$

$$m_1u_1 \sin \theta_1 + m_2u_2 \sin \theta_2 = (m_1+m_2)v \sin \varphi$$

$$m_1u_1 \cos \theta_1 + m_2u_2 \cos \theta_2 = (m_1+m_2)v \cos \varphi$$

ここで、 ΔK_e : 衝突前後のエネルギー変化量, m_i : 車両 i の車両重量, u_i : 車両 i の衝突前速度, v : 衝突後の2車両の合成速度, θ_i : 車両 i の速度ベクトルのなす角度, φ : 衝突後の合成速度ベクトルのなす角度, である。

さらに、安全性評価の上では、生じやすさと深刻度を同時に表現可能な指標の方が単純化できる。そこで式(7.4)に示す通り、衝突を仮定した場合のエネルギー変化量とPETの指数関数の比を交錯評価指標(Conflict Index; *CI*)として定義する。

$$CI = \frac{\alpha \Delta K_e}{\exp(\beta \cdot PET)} \quad (7.4)$$

ここで、 ΔK_e : 衝突を仮定した場合の前後の運動エネルギー変化量[$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$], PET: 交錯点通過時間差[s], α, β : 係数, である。

上記の定式化により、交錯時におけるエネルギー変化量が大きいほど、また、PET値が小さいほど、安全性評価指標値 *CI* が大きくなり、危険度が高いことを表現できる。

本研究では、車両相互の交錯指標として定義した *CI* と事故発生件数の関係性について、複数個所の交差点事故発生件数と実観測挙動データより算出した結果の比較により確認した。分析対象交差点は右折関連事故発生件数の情報が得られており、かつ挙動データを取得している5箇所の信号交差点とし、ビデオ画像処理システムを用いて、車両間の距離が3m以下で、PETが5s以下の車両ペアを危険交錯事象として抽出した上で、分析を行った。

分析結果より事故発生件数とSSMの比較を行った結果を図7.2に示す。図中に示す R^2 値は、指数関数曲線にて近似した場合の決定係数を示しており、交錯の生じやすさと深刻度を統合した指標値 *CI* の方が、交錯の生じやすさのみを評価するPETよりも事故件数との関係が明確になっていることがわかる。

以上の分析結果より、車両相互の交錯事象については、本研究で考案した交錯の生じやすさと深刻度

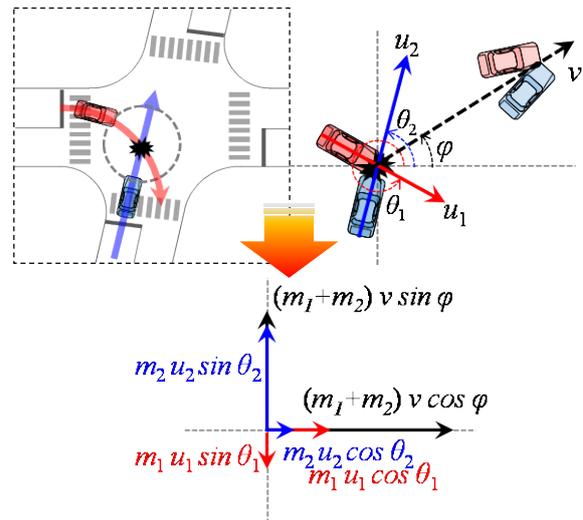
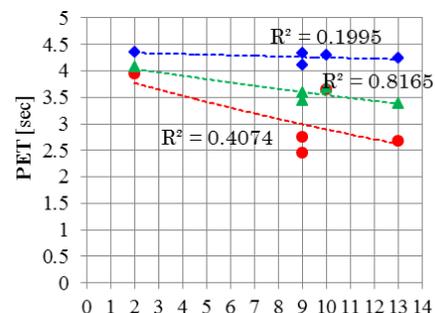
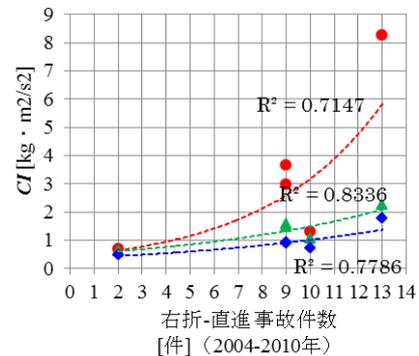


図 7.1 車両相互の交錯におけるエネルギー変化量



(a) PETと事故発生件数



(b) *CI*と事故発生件数

図 7.2 右折関連事故発生件数とSSMの関係

を同時に表現可能な指標 *CI* の方が、適切に評価しうる可能性が示唆された。尚、本分析は少数サンプルに基づく分析結果であるが為、統計的な分析に耐えうる情報量及びサンプルデータを確保した上で、さらに検証する必要がある。

7.3 安全性評価シナリオ分析

(1) 分析概要と検討シナリオ

ここでは、開発したシミュレータを用いた安全性評価シナリオ分析のケーススタディを示す。本シミュレータでは、交差点の幾何構造や信号現示設計の変更に応じた車両および歩行者の安全性に関する

様々な検討が可能であるが、本ケーススタディでは、左折車両と横断歩行者の交錯を対象として、交差点幾何構造がどのような影響を及ぼすかについての分析事例について示す。

図7.3に示すように、それぞれ交差角が90°の十字型と120°のX字型の4枝多車線交差点についてケーススタディを行う。信号制御は本研究内で調査を実施した金山新橋南交差点に倣い設定した(図7.4)。

設定するシナリオは、隅角部半径 R_c を5, 10, 15[m]に変化させた場合と、横断歩道のセットバック距離 D_{cw} を5, 10, 15[m]に変化させた場合の組み合わせに応じて、表7.4に示す9つのシナリオを設定する。

各シナリオについて、シミュレーションを実行し、北横断歩道を対象に左折車両対横断歩行者の交錯を抽出して安全性を評価する。交通需要は、左折車両については100[veh/h・lane]、歩行者についてはNear-sideから50[ped/h]、Far-sideから100[ped/h]の合計150[ped/h]とした。左折車両の接近速度は正規分布に従うとし、平均値30[km/h]、標準偏差5[km/h]に設定した。各シナリオにつき4時間のシミュレーションを3回実行した上で、交錯に関する安全性評価指標としてPETおよび左折車両の交錯点通過速度の変化について分析を行うこととした。

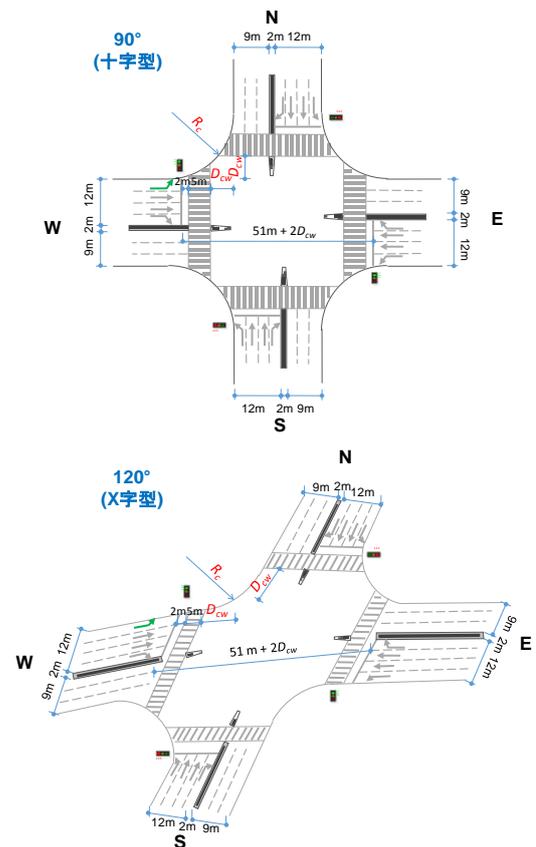


図 7.3 シミュレータで想定する交差点構造概要

(2) 分析結果

PETに関する分析結果を表7.5および図7.5に示す。

対象としたPETは、左折車両対歩行者の交錯の中でもより発生頻度の高い交錯として、歩行者が左折車両より先に交錯点を通過する場合に生じる正のPETとした。PET閾値は、本研究で分析を行った各交差点の値を参考にしつつ、ケーススタディで設定した幾何構造を考慮して5[sec]に設定し、0~5[sec]の範囲内に納まる場合のみPETを抽出した。

表7.5のPET平均値と標準偏差の変化をみると、隅角部半径および横断歩道のセットバック距離を変化させてもPETの平均値や標準偏差の値そのものには大きな変化がないことがわかる。一方、図7.5をみると、全てのシナリオにおいて、X字型交差点(赤線)の場合に分布が左にシフトしており、X字型交差点は十字型に比べてPETの値が小さくなる傾向にあることがわかる。

交錯点通過速度に関する分析結果を表7.6および図7.6に示す。

表7.6より、隅角部半径および横断歩道のセットバック距離を大きくした場合に、交錯点通過速度の平均値が大きくなる傾向にあることがわかる。これは、隅角部半径や横断歩道のセットバック距離が大きいほど左折のカーブが緩やかになり、左折車両の速度が上昇するためといえる。特に横断歩道のセットバック距離を大きい場合には、交錯点通過速度のバラツキが増大傾向にあることが顕著である。図7.6では、X字型交差点(赤線)の場合に分布が右にシフトし交錯点通過速度がより高くなる傾向が示されている。左折時交差角が鈍角になることで高速走行しやすくなるためであるといえる。

Φ1	Φ2	Φ3	Φ4
G: 52	G: 20	G: 56	G: 12
Y: 3	Y: 2, AR: 5	Y: 3	Y: 2, AR: 5

図 7.4 金山新橋南交差点の信号現示

表 7.4 評価シナリオ
(隅角部半径と横断歩道セットバック距離の設定)

R_c [m]	5	10	15
D_{cw} [m]			
5	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
10	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
15	シナリオ 7	シナリオ 8	シナリオ 9

表 7.5 左折車両と横断歩行者とのPET
(a) 十字型交差点(交差角度90°)

R_c [m]	5	10	15
D_{cw} [m]			
5	3.07(1.33)	3.24(1.25)	3.11(1.32)
10	3.25(1.24)	3.34(1.19)	3.18(1.33)
15	3.15(1.23)	3.33(1.21)	3.06(1.21)

(b) X字型交差点(交差角度120°)

R_c [m]	5	10	15
D_{cw} [m]			
5	3.04(1.36)	3.06(1.29)	3.08(1.26)
10	3.03(1.34)	2.97(1.36)	3.16(1.35)
15	3.04(1.30)	3.25(1.21)	3.03(1.33)

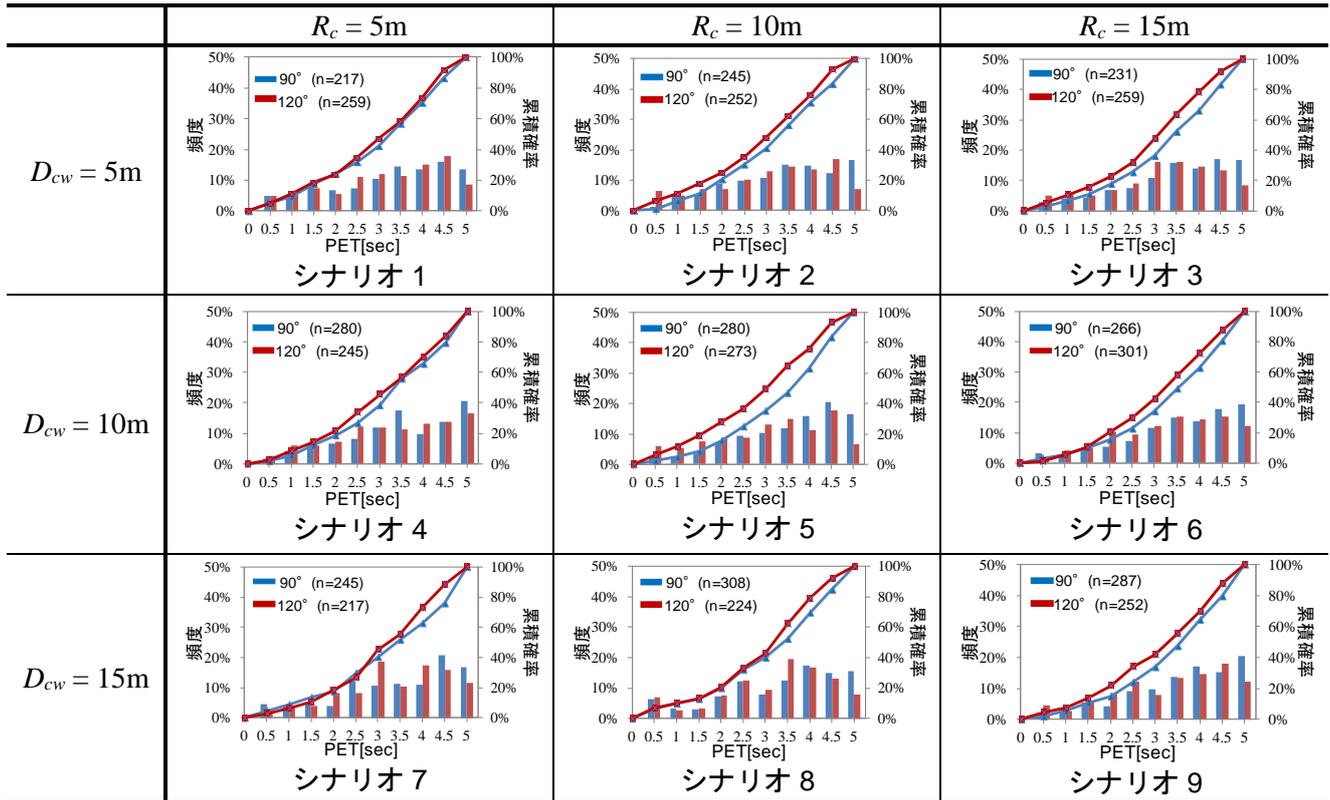


図 7.5 PET分布の比較

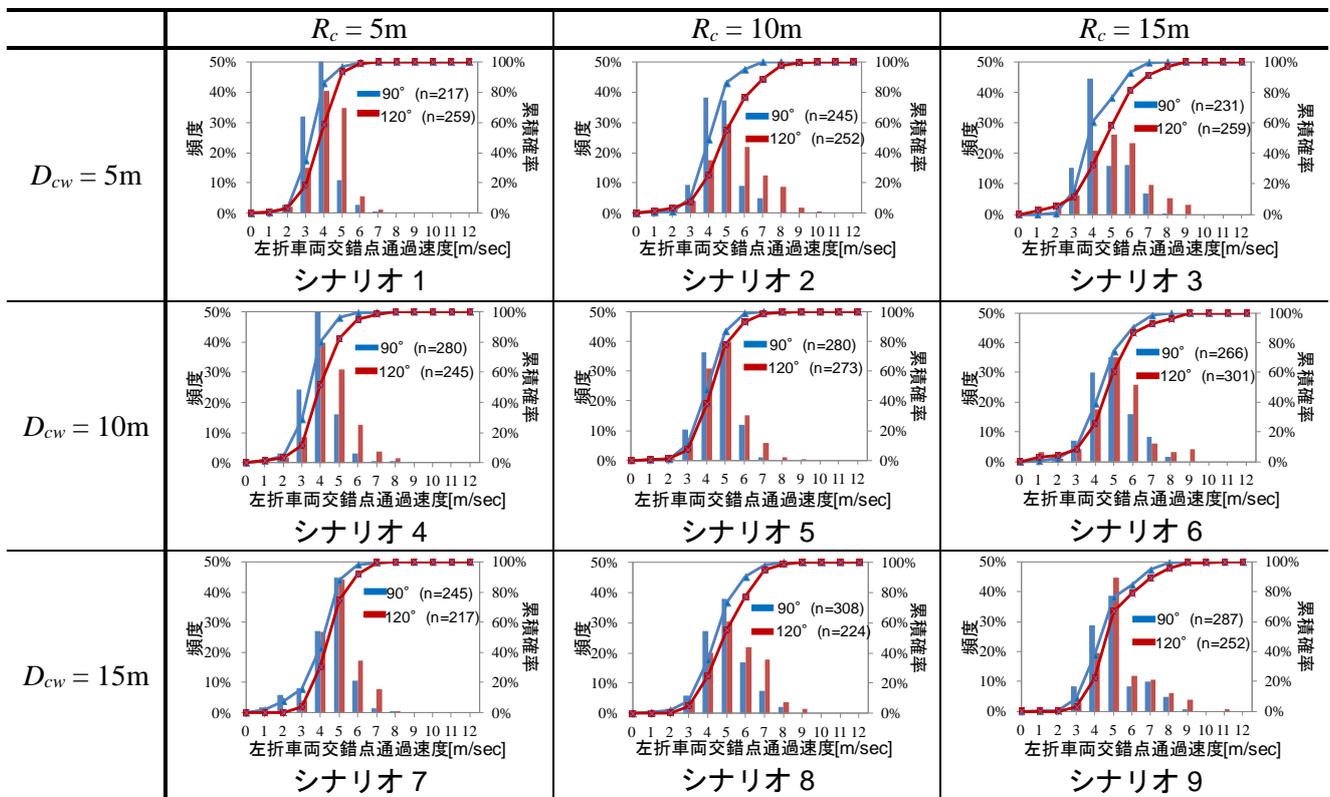


図 7.6 交錯点通過速度分布の比較

以上のケーススタディ結果から、隅角部半径および横断歩道のセットバック距離を大きくした場合、PETへの影響はほとんどないものの、左折車両の交錯点通過速度が増加する傾向が確認された。また、交差角度が直角の十字型交差点に比べて、X字型の変形交差点の場合にPETが短くなり、さらに左折車両の交錯点通過速度が大きくなることが示された。これらは、交差角度が直角に近いコンパクトな交差点の方が、左折車両対横断歩行者の交錯に対する安全性が高いことを示す結果といえる。

上記に示したケーススタディと同様に、交差点の幾何構造や信号現示設計条件を変更してシミュレータを実行し、評価する交通主体に応じた安全性評価指標値の変化を分析することによって、定量的な交差点安全性評価が可能となる。

表 7.6 左折車両の交錯点通過速度

(a) 十字型交差点(交差角度90°)			
R_c [m]	5	10	15
D_{cw} [m]			
5	3.30(1.28)	3.75(1.40)	4.03(1.53)
10	3.42(1.39)	4.04(1.18)	4.34(1.54)
15	3.93(1.83)	4.40(1.63)	4.47(1.68)

(b) X字型交差点(交差角度120°)			
R_c [m]	5	10	15
D_{cw} [m]			
5	3.77(1.36)	4.23(1.56)	4.67(1.18)
10	4.07(1.98)	4.32(1.39)	4.68(1.57)
15	4.48(2.26)	4.88(1.92)	4.94(1.74)

参考文献

- 1) Tiwari, G, Mohan, D., and Fazio, J.: Conflict analysis for prediction of fatal crash locations in mixed traffic streams, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.30, Issue 2, pp.207-215, 1998.
- 2) Chen, P., Nakamura, H., Asano, M. and Zeng, W.: A microscopic traffic simulation model for safety assessment of left-turning vehicle versus pedestrian conflict at signalized intersections, *Proceedings of Infrastructure Planning*, No.47, 8 pages, CD-ROM, 2013.
- 3) Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M.: Application of surrogate safety measures for assessment of pedestrian versus left-turning vehicle conflict at signalized crosswalks, *Proceedings of the International Conference Road Safety and Simulation 2013*, 16 pages, USB, 2013.
- 4) 渡部数樹, 中村英樹, 浅野美帆: 右折車両挙動分析とマイクロシミュレーションによる安全性評価に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.48, 8 ページ, CD-ROM, 2013.
- 5) 渡部数樹, 中村英樹, 井料(浅野)美帆: 信号交差点改良対策立案のための右直分離制御時の車両挙動分析, 土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I_1031-I_1022, 2014.

第8章 総括

8.1 研究成果

本研究では、交差点改良対策の安全性に関する定量的評価のため、実測データに基づいて、走行速度や横断軌跡といった車両や横断歩行者の判断/挙動に関する分析を行った。安全性評価の上で重要となる各挙動のばらつきは、利用者主体の状態量の他、交差点の道路構造、信号制御条件により説明される確率的モデルとして表現した。そしてこれらの各挙動モデルを実装した交差点安全性評価シミュレータを開発し、安全性評価のための出力方法や適切な評価指標などに関する検討を行った。本研究における主要な成果を以下に示す。

(1)交差点実態観測調査の実施

12箇所の信号交差点で交通実態観測調査を実施し、得られたビデオ動画および途収集した13箇所の観測ビデオも活用して、各交差点利用者主体の挙動分析のために必要なデータを取得した。

(2)左折車両挙動の分析とモデル化

左折車挙動について、まず、3次関数曲線に近似した自由速度プロファイルを交差点構造と車両進入条件から推定する走行速度モデルを構築し、通過や停止挙動を自由速度プロファイルの調節により表現した。走行軌跡については、実際の走行軌跡を円弧とクロソイド曲線に近似し、それぞれの線形要素パラメータを交差点構造や車両進入条件から特定するモデルを開発した。また、左折時における横断歩行者との衝突回避挙動については、横断歩行者の進行方向を考慮したギャップ/ラグ形成状況の種別ごとにギャップ/ラグ選択確率モデルを構築し、その推定結果から左折ドライバーから見た横断歩行者視認性が安全上課題となりうることを明らかにした。

(3)右折車両挙動の分析とモデル化

右折車挙動を対象とし、走行速度と走行軌跡について、左折車両と同様のモデル構造から分析を行い、

確率的分布をとみなす挙動モデルを構築した。走行軌跡モデルの分析結果からは、交差角度やIP点から中央分離帯までの距離が走行軌跡に影響を及ぼしていることなどが明らかとなった。また、黄現示開始時の停止線までの所要時間と停止線セットバック量から説明する右折矢現示終了時における停止判断確率モデルや、右折矢現示開始前の交差側直進車の影響を受けて反応する右折車発進反応時間推定モデルを推定した。さらに、青丸現示中に対向直進車の間隙をぬって通過するギャップアクセプタンス判断挙動についてもモデル分析を行い、ギャップ受容判断には、直進車ギャップ時間の他、交差点内での累積待ち時間や対向右折車の存在による視認性低下などが影響していることを明らかにした。

(4)横断歩行者挙動の分析とモデル化

横断歩行者挙動は、まず、横断軌跡と横断速度を対象として、歩車道境界位置と車道中間位置の3断面を設定した上で、横断歩道幾何構造や歩行者の状態量から、その断面上での位置分布や断面間での旅行速度を推定するモデルを推定した。また、歩行者用信号の青点滅開始時における横断/停止判断挙動について、青点滅開始時の横断歩道までの距離と歩行速度から推定する横断停止判断モデルを構築した。最後に、横断歩道上での他者に対する衝突回避挙動や歩行者用信号現示の変更に伴い加速するような反応等について、Social Forceモデルを援用することにより表現した。

(5)交差点安全性評価シミュレータの開発および安全性評価に関する視覚的表現手法の検討

本研究にて構築した交差点利用者の各挙動モデルを実装し、車両追従等のその他一般的な挙動については既往の研究成果を活用することにより、交差点安全性評価のための2次元マイクロシミュレータを開発した。開発したシミュレータに対し、各利用者主体の速度/軌跡といった一般的な挙動特性値に加え、各種の交錯指標値に関しても再現性検証を実施し、

いずれも良好な結果を確認した。さらに、シミュレータで出力された値を2次元上あるいは時間軸上で集計して表現する交差点内ハザードマップとしての視覚的な安全性表現手法について検討した。

(6)安全性代替評価指標の検討と、シミュレータを用いたケーススタディ分析の実施

定量的な安全性評価を行うための安全性代替評価指標(SSM)について、既往の研究成果を整理した上で、事故発生件数のポアソン回帰分析による交差点安全性評価に適切な指標値の選定方法の検討や、複数主体間での交錯事象の評価に用いるための新たな評価指標値の検討および妥当性確認を行った。検討結果より、右折対直進車両の事故については、事故の生じやすさのみを考慮したPETよりも、事故の生じやすさと深角度の双方を考慮している交錯指標CIの方が、事故発生頻度を適切に評価していることが示唆された。

また、開発したシミュレータを用いた安全性評価のシナリオ分析として、交差点の交差角度や隅切り部の隅角部半径が左折車と歩行者の交錯事象に与える影響についてケーススタディ分析を実施した。ケーススタディ結果より、交差角が鈍角で隅角部半径が大きい交差点の方が、左折車の交錯点通過速度が大きくなり、PETが短くなる結果が得られたことから、交差点のコンパクト化や直交に近い交差形状が安全性向上に寄与していることが定量的に示された。

8.2 今後の課題

最後に、本研究に関する課題について示す。

(1)各挙動モデルの適用範囲

まず、本研究で示した各挙動モデルの適用範囲に関する課題が挙げられる。本研究における調査実施箇所は、データ取得の効率性を考慮の上、各利用者主体の挙動データのほとんどを、名古屋市内の信号交差点から取得している。よって、推定されたモデルに地域的な特性が含まれている可能性を否定できないことから、今後は他地域での挙動データも蓄積していきつつ、パラメータの再推定を行うことで、より一般化されたモデルに展開していくことが必要といえる。さらには、観測したビデオ動画から取得するサンプルデータの数量確保についても、統計的信頼性向上のため、増加させていくことが望ましい。

(2)他利用者主体や様々な属性をもつ主体の表現

本研究では、基本的な利用者主体と考えられる自動車と歩行者を中心にモデル化およびシミュレーションの構築を行ったが、今後は、二輪自動車や自転車などの軽車両といった他の利用者主体についても挙動データを収集した上でモデル化を行い、シミュレータに実装していくことにより様々な利用主体に対する評価が可能となる。

また、高齢歩行者の死亡事故といった、その時々々の社会状況を反映した安全性評価が可能となるよう、シミュレータ上での表現方法の拡充を図る必要がある。これに対しては、例えば、高齢歩行者であれば希望速度や視界領域角度などを変更するなど、各利用主体の初期入力値を変更することにより対応可能な場合もあると考えられる。

(3)シミュレータの効果検証と機能拡充

開発したシミュレータを事故対策検討業務等において試験的に活用し、対策案実施工後の挙動変化に関する事前事後比較分析を実施することにより、安全性評価シミュレータとしての適用性確認や課題抽出が可能となると考えられる。

また、本研究開発においては、基本形である4枝信号交差点シミュレータを構築したが、今後は3枝交差点、無信号交差点、ラウンドアバウトなど、他の交差点方式への拡充を行っていく必要がある。

(4)安全性評価指標値の検証

安全性評価のための各種指標値については、交差点利用主体ごと、あるいは主体間の組み合わせに応じて適切に選定する必要がある。今後、比較検証分析に必要な事故データと対応する挙動データを収集した上で、安全性代替指標値の評価を継続して行う必要がある。これに関連し、検証された様々な代替指標値を出力可能とするシミュレータのプログラム改良を行っていく必要がある。

謝辞

最後に、本研究開発プロジェクトの機会を与えて頂くとともに、プロジェクト成果向上のために数多くの有益な意見を下さった新道路技術会議委員の方々、並びに、国土交通省道路局、国土技術政策総合研究所の関係各位に感謝いたします。

また、研究開発の実施にあたり、調査実施時のご協力や貴重なデータ提供を頂いた、国土交通省中部地方整備局、名古屋国道事務所、名古屋市緑生土木局および各土木事務所、撮影場所提供のご協力を頂いた建物管理者の皆様にも謝意を表します。

最後に、プロジェクト実施の上で作業を手伝っていただいた名古屋大学、名古屋工業大学の皆さんにこの場を借りて御礼申し上げます。