

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	なかむら ひでき 中村 英樹		名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻		教授
②研究 テーマ	名称	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			
	政策 領域	[主領域] 【領域6】 交通事故対策	公募 タイプ	タイプⅡ (技術ブレイクスルー型)	
		[副領域] —			
③研究経費 (単位:万円)	平成24年度	平成25年度	平成26年度	総合計	
	1,025 万円	1,299 万円	1,199 万円	3,523 万円	
④研究者氏名					
氏名		所属・役職 (※平成27年3月31日現在)			
井料(浅野) 美帆		東京大学生産技術研究所・講師			
鈴木 弘司		名古屋工業大学大学院・准教授			
浜岡 秀勝		秋田大学・教授			
⑤研究の目的・目標					
<p>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。</p>					

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

■研究経過

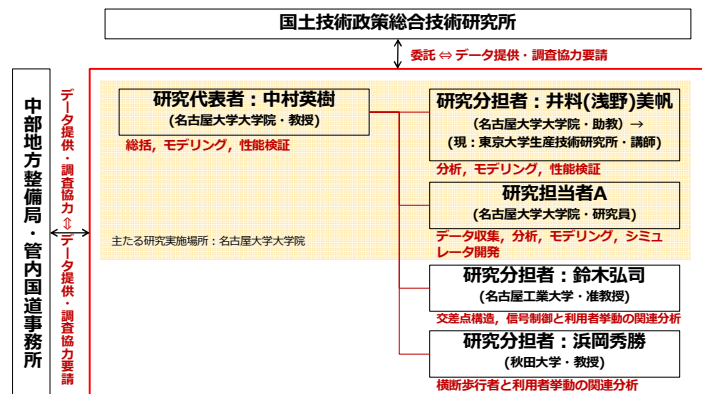
- ・本研究は3箇年で実施しており、各年度での主たる研究内容は下記の通りである。
- H24：左折車両挙動分析とモデル化，横断歩行者挙動分析とモデル化，シミュレータ開発
- H25：右折専用現示での右折車両挙動分析とモデル化，横断歩行者マイクロ挙動分析とモデル化，シミュレータ性能検証
- H26：青丸現示での右折車両挙動分析とモデル化，安全性評価指標検討，視覚的表現方法の検討
- ・交差点挙動調査及びデータ収集，シミュレータの開発/検証/実装は，各年で実施。

■目的の達成状況

- ・研究は年度ごとに全て計画通り完遂し，当初研究目的を全て達成した。

■研究組織と役割分担

- ・研究組織及び役割分担は右図の通りであり，主たる実施場所は名古屋大学大学院とした。
- ・節目時期において，各研究者間での研究内容打合せ等を複数回実施した。



⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

図 組織図と役割分担

- ・FS評価時；シミュレータパラメータ設定に必要な観測，及び観測データ処理方法も含めた効率化→調査データの収集には，本研究外で取得済みの交差点挙動データも活用し，また，挙動データ取得には大学で保有するビデオ画像処理システムを活用することで，研究の効率化に努めた。
- ・FS/中間評価時；自転車や高齢歩行者を含めた交差点の安全性評価に関する追加検討要望 ※尚，この点については十分な研究成果が得られない場合でも，事後評価において減点対象とされない→社会的/行政的なニーズが高いことを理解しつつも，基本的な利用者主体と考えられる自動車と歩行者に関するモデル化およびシミュレータ上での表現の完成を優先した。
→今後，自転車や高齢歩行者の挙動データも分析を行った上で，シミュレータ上での表現および評価可能とすることをH27年度以降の検討課題として位置づけた。
- ・FS/中間評価時；シミュレータの適用性，信頼性を高める上で，実際に交差点改良事業が実施された箇所での前後の事故データや急ブレーキ発生データ等を活用した比較検討の実施
→事故/急制動データ等を確認したが，改良事業が実施され，かつ，前後での挙動観測データが収集されているという条件に合致する箇所が存在しなかったため，今後の課題として位置づけた。
→急減速挙動データの活用については，別途検討したものの，GPS精度やマップマッチング等の問題から，車線単位での位置特定が困難であるため，適用を断念した。
- ・FS/中間評価時；シミュレーションに必要なパラメータ設定の手間などの使いやすさの改善
→汎用性の高いプログラミング言語の使用や操作性の高いグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)を用いることで，パラメータや初期設定値の更新等が容易なシミュレータとした。

③研究成果

(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(図-1)し、得られたビデオ動画、および、別途収集した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。



図-1 交差点観測実態調査の実施

(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(図-2)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。

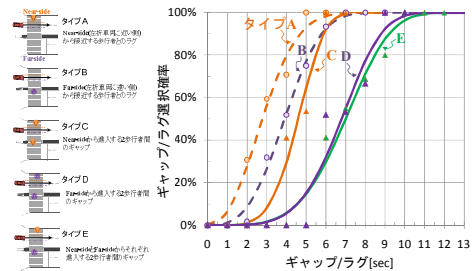


図-2 ギャップ/ラグ形成状況別の衝突回避判断モデル構築

(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(図-3)について、左折車両と同様のモデル構造から分析を行い、確率的分布をとる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

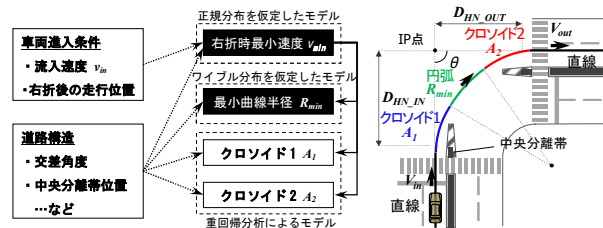


図-3 右折走行軌跡モデル

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

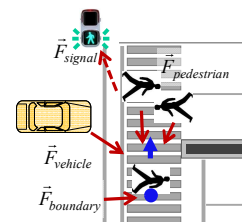


図-4 ミクロ挙動モデルの概念図

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(図-4)した。

⑧研究成果（つづき）

(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(図-5左)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(図-5右)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。

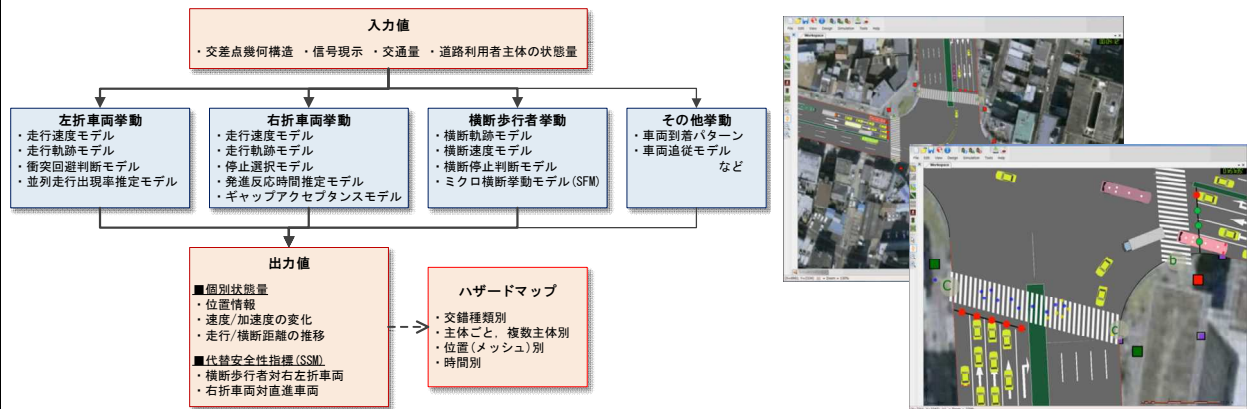


図-5 開発したマイクロシミュレータの全体概要(左)と実行中画面(右)

(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(図-6)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刻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。

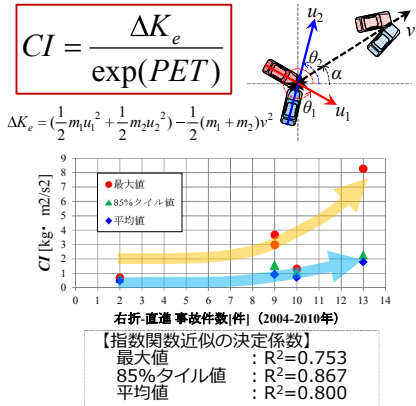


図-6 交錯指標 CI と事故発生件数の分析

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(図-7)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。

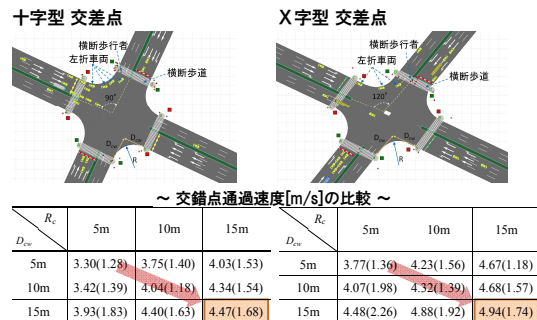


図-7 安全性評価のケーススタディ分析

⑨研究成果の発表状況

- 1) 張馨・中村英樹・浅野美帆・陳鵬：横断歩道長と歩行者青経過時間を考慮した横断歩行速度のモデル化，土木計画学研究・講演集，No.47，7ページ，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) 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.
- 4) 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, Rio de Janeiro, 2013.
- 5) Alhajyaseen, W., Asano, M. and Nakamura, H.: The Utilization of Kinetic Energy for the Safety Assessment of Intersections, 13th World Conference on Transport Research, 13 pages, Rio de Janeiro, 2013.
- 6) 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.
- 7) 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, Taipei, Taiwan, 2013.
- 8) 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，2013.
- 9) 羽賀研太朗・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車確認行動に関する研究，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.69，No.5(土木計画学研究・論文集第30巻)，I_797-I_807，2013.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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，2014.
- 13) 井料(浅野)美帆，Alhajyaseen, W.：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，2014.
- 14) Iryo-Asano, M., Alhajyaseen, W.K.M.: Analysis of Pedestrian Clearance Time at Signalized Crosswalks in Japan, 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2014), Procedia Computer Science, Vol.32, pp.301-308, Belgium, 2014.
- 15) Zeng, W., Nakamura, H. and Chen, P.: A modified social force model for pedestrian behavior simulation at signalized crosswalks, the 9th International Conference on Traffic and Transportation, Vol.138, pp.511-530, 2014.
- 16) 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，Vo.66，No.4，pp.383-387，2014.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 渡部数樹・中村英樹：多車線信号交差点における右折ギャップアクセプタンス挙動の分析，第35回交通工学研究発表会論文集，6ページ，2015。[掲載決定]
- 20) 張馨・中村英樹：信号交差点の横断歩道部における歩行者密度分布に関する分析，第35回交通工学研究発表会論文集，7ページ，2015。[掲載決定]

⑩研究成果の社会への情報発信

研究成果は国内(土木計画学研究発表会等)や国外の研究発表会(WCTR, TRB-RSS, EASTS等)において逐次公表し、高い注目を集めてきた。尚、それらの一部は査読付き論文として採択されている。

また、名古屋大学大学院 中村英樹研究室のホームページにおいては、信号交差点の構造設計と信号制御に関する研究テーマの一つとして「2Dナノシミュレーションモデルの開発」を公表している。

<http://www.genv.nagoya-u.ac.jp/gel/nakamura/research/signal/>

⑪研究の今後の課題・展望等

■他の交差点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、二輪自動車や軽車両(自転車)などの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者主体に対する評価が可能となる。

・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、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。(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ことにより対応可能)

■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。

・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。

■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。

⑫研究成果の道路行政への反映

・本研究は、計画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、様々な分析(実挙動データに基づく基礎的分析、推定された挙動/判断モデルによる分析)から得られた知見は、安全性向上のための施策実施判断の上で十分に貢献できる成果であると考えている。

・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、実務における安全対策案評価の効率化が可能となる。

・また、シミュレータ上で再現される道路交通状況動画を活用することによって、道路管理者や交通管理者の代替案に対する理解促進や、施策実施時における説明責任の向上にも寄与できる。さらに、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である。

⑬自己評価

本研究では、ほぼ当初の計画通りの成果を挙げることができたものと自己評価している。同時に、本研究課題に取り組んだ過程において、新たな技術的課題も複数浮き彫りとなった。本研究を通じて交差点計画設計・道路構造に関する継続的な研究の必要性を再認識し、その足掛かりができたことは、大変意義のあることだと考えている。

一方、本研究開発の研究費は、大いに活用することができた。特に、広範で幾多の研究課題に対して緻密に対応し成果を上げるためには、本研究費が可能とした研究員の雇用なくしては到底不可能なものであった。また、研究の遂行に必要な機材の調達などの研究環境の整備や、調査研究活動・成果の積極的公表や議論をするために必要であった出張旅費としての利用は、研究の大きな原動力となり研究の質の向上に大いに貢献した。

以上のような研究を遂行することができ、また研究費がその推進に大いに貢献したことを鑑みると、研究費の投資効果は大きいものであったと考える。