

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月20日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360205

研究課題名（和文）

横断歩行者一車両間コンフリクト・モデリングによる信号交差点安全性評価

研究課題名（英文）

Safety assessment of signalized intersections through modeling pedestrian-vehicle conflicts

研究代表者

中村 英樹 (NAKAMURA HIDEKI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10212101

研究成果の概要（和文）：本研究は、信号交差点における横断歩行者と自動車との交錯について、道路構造や交通運用に応じた安全性を定量的に評価するための手法の提案を目的とする。複数の交差点における交錯時の自動車・歩行者の挙動分析を通じて、交差点構造・交通運用と利用者挙動との関係、および利用者同士の相互作用のメカニズムを明らかになった。提案した評価手法により、十字型信号交差点の設計や運用方法の改善において、代替案の効果を事前に評価することを可能となった。

研究成果の概要（英文）：This study aims at developing a methodology for safety assessment of signalized intersections by focusing on the conflict between pedestrians and vehicles. Based on the field data collected by video cameras at a number of signalized intersections, vehicle and pedestrian behavioral models have been established, which can reasonably represent user speeds, trajectories and their interactions under various layouts and operations of signalized intersections. The proposed methodology enables to evaluate the effects of improvements in the geometric layouts and operations of signalized intersections on the safety performance prior to implementation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2012年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
総計	10,300,000	3,090,000	13,390,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木計画学・交通工学

キーワード：信号交差点 交通安全 シミュレーション 交錯 交差点構造 信号制御

1. 研究開始当初の背景

信号交差点等の平面交差部は、一般道路の中でも安全性・円滑性の両面において非常に重要な箇所である。交差点の構造や交通信号の運用は、交差点内の自動車や歩行者などの利用者の動線交錯状況や信号の変わり目(イ

ンターグリーン)等における利用者挙動、ひいては交差点の安全性・円滑性に大きな影響を与える。しかし、特に交差点における歩行者と自動車との交錯については、利用者の挙動に関する知見が十分とはいえないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、信号交差点における歩行者と自動車との交錯について、道路構造や交通運用に応じた安全性を定量的に評価するための手法の提案を目的とする。複数の交差点における交錯時の自動車・歩行者の挙動分析を通じて、交差点構造・交通運用と利用者挙動との関係、および利用者同士の相互作用のメカニズムを明らかにする。評価手法の提案により、信号交差点の設計や運用方法の改善において、代替案の効果を事前に評価することを可能とする。

3. 研究の方法

本研究は、図1に示すように、大きく分けてA)交差点構造・信号制御と利用者挙動の相互作用影響の解明と、そのメカニズムを取り入れたB)交差点性能(円滑性・安全性)の評価システムの開発の2つから構成される。初年度は1)事故データ等を基に選定された信号交差点において利用者挙動データを収集し、2)交差点道路構造・信号制御に応じた交差点運用実態について実証分析を行った。これを受けて平成23年度以降は3)利用者間の交錯プロセスのモデル化、および4)安全性能評価手法の開発を行った。最後に、ケーススタディとして5)利用形態に応じた合理的な交差点構造設計と現示設定手法を提案し、研究成果として全体のとりまとめを行った。

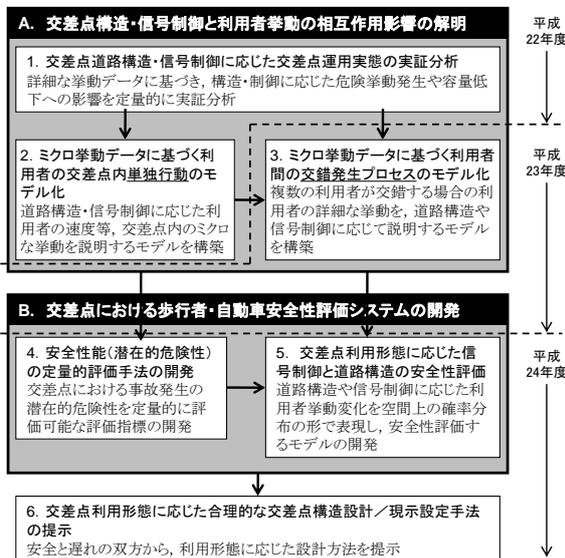


図1 本研究の全体フロー

4. 研究成果

(1)利用者挙動とそのばらつきモデル化

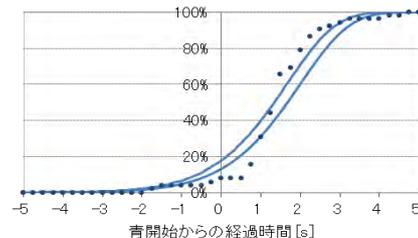
①インターグリーンにおける直進車両の停止/通過挙動

信号切り替わり時の停止線通過タイミングを観測し、黄・全赤時間中の駆け込み進入の状況について、交差点構造および信号制御

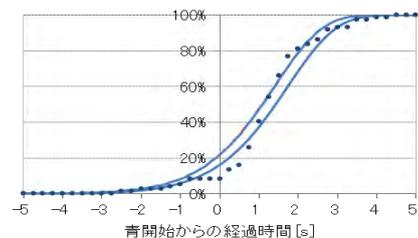
との関連を考慮したマクロ的分析を行った。また、停止先頭車両および通過最終車両それぞれの走行軌跡を信号切り替わり前から観測し、信号切り替わり時の加減速特性について分析を行った。その結果、複数交差点において車両の停止/通過挙動を分析した結果、矢印制御において直進青矢に続く黄表示の後に全赤表示が挿入されている場合には、停止/通過判断タイミングが全赤開始までにずれ込み、停止車両であっても加速傾向にあるなどといった知見が得られ、これらの実態を表現可能なインターグリーン時の停止/通過選択モデルの構築を行った。

②クリアランス車両との交錯を考慮した直進車両の発進挙動

右折矢終了後の交差側青開始時における先頭発進車両の発進挙動について、交差方向車両の青開始時の発進タイミングを観測し、車両の発進遅れ、交錯点通過までの所要時間、速度変動などについて分析を行った。その結果、青開始時に交差点内に残留(交差側の全赤時間中の駆け込み車両)が存在することで発進遅れが増大し、その影響は通過車両までの距離に近いほど大きくなることとなった。すなわち、大規模交差点ほど通過最終車両の影響を受けにくいことでドライバーの個人差の影響が現れやすく、発進挙動のばらつきが大きくなることが示された。さらに、ここでの分析結果を踏まえ、青開始後の発進タイミングを確率的に推定するモデル、および発進時の加速度を推定するモデルの構築を行った。発進反応時間(SRT: Starting Response Time)の観測値とモデルの推定結果の比較を図2に示す、予見行動をするグルー



(a) エンタリング距離 20~30m (n=52)



(b) エンタリング距離 50~60m (n=95)

図2 SRTの観測値と推定値の比較例(単純4現示制御, 普通車, 残留時間(0~5秒))

プと予見行動をしないグループの2つの分布が分かれる境界付近(ドライバーの反応時間)で不連続となることがわかる。

③右左折車両挙動

歩行者との交錯危険性がある右左折車両について、交差点角度や交差点隅角部半径等の幾何構造要因が車両の速度や交差点上の通過位置に与える影響を定量的に分析した。モデル化においては、2次元的に複雑に移動する軌跡をクロソイド曲線と円弧に近似することで、少ないパラメータによる軌跡の表現を行った。そのうえで、クロソイド曲線等のパラメータを交差点角度等から説明するモデルを構築した。速度推移についても同様に、交差点進入速度や道路幾何構造に基づき説明するモデルを構築した。図3は左折車両の観測軌跡と走行軌跡モデルによる推定軌跡の例であるが、断面①～③における通過位置分布において95%信頼区間で有意な差がなく、良好な再現性が得られている。

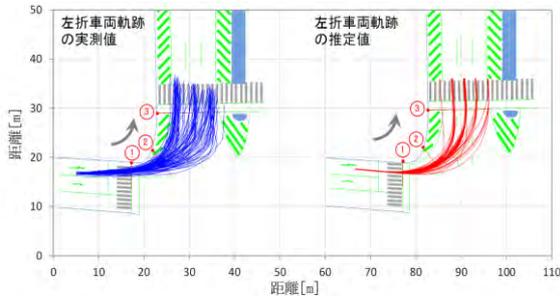


図3 左折車両軌跡の実測値と推定値の比較例

④歩行者に対する左折車両の回避行動

横断歩行者の接近タイミングに応じた左折車両の速度調整アルゴリズムを構築するとともに、横断歩行者の接近方向を考慮したギャップ選択挙動の確率的モデル化を行った。その結果、交差点規模が大きいほど、ショートカット走行となること、また左折最小速度が大きくなることが示されたとともに、左折挙動のばらつきが時間的にも空間的にも増大することを確認した。図4に示すように、自由走行車両、横断歩行者のために横断歩道手前で停止を行った停止車両、横断歩行者のために減速したものの完全停止には至らず通過した減速車両の速度推移を示す。これらより、速度推移の概形を合理的に表現できていることがわかる。

⑤横断歩行者挙動

横断歩道の構造や歩行者信号現示、交通条件などに応じた横断歩行者の横断軌跡、横断速度を確率的にモデル化した。また、青点減開始時の歩行者の横断開始/停止判断について、横断歩道周辺の幾何構造や横断方向など

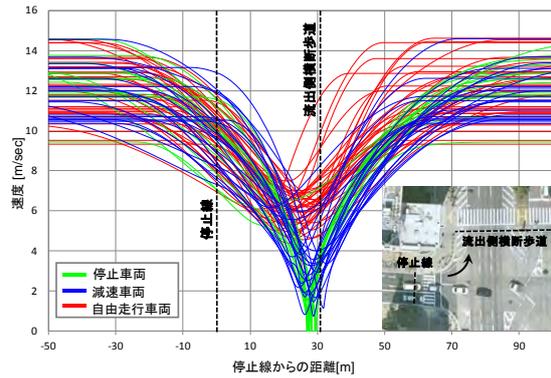


図4 左折車両速度推移の推定結果

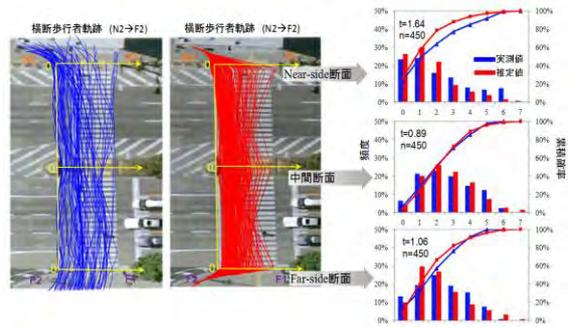


図5 歩行者横断軌跡の実測値と推定値の比較例

を考慮してモデル化を行った。その結果、横断歩道長が長いほど、横断速度が高くなる傾向が示された。また、青点減開始時に横断する歩行者の速度が青時間内の横断歩行者よりも速く、ばらつきも大きい傾向が明らかとなった。図5は、N2→F2の横断方向についての観測軌跡と推定軌跡、および各断面における通過位置分布の比較例を示している。各断面通過位置分布が良好に再現されている。

(2)利用者挙動のばらつきを表すパラメータと安全性評価指標(SSM)との関連性

左折車両と歩行者の横断歩道上での交錯に関する安全性評価指標(surrogate safety measure; SSM)の特徴を整理し、対象横断歩道で観測するSSMのうち、平均PET、短時間PET数、交差点通過平均速度の3つと、交差点構造条件、交通運用状況との関係について分析を行った。その結果、横断歩道が長く、歩行者交通量が多い場合に平均PET、短時間PET数はより高い値を示すことが明らかとなった。一方、横断歩道のセットバック距離や左折交通量については、平均PETや短時間PET数との関連が希薄であることが示された。

(3)安全性評価指標と交通事故の関連性

対象横断歩道における、上記3つのSSMと事故発生件数の関連性を検証した。その結果、これらのSSMが事故発生件数を説明することに有意であり、SSMの増加が事故発生頻度

の増加につながる傾向があることを確認した。また、短時間PETと交錯点通過平均速度を組み合わせることで、より精度の高い事故発生件数推計モデルが構築された。これより、横断歩道上で起こり得る横断歩行者と左折車間の交錯危険性の水準を、SSMにより判別できることが示された。

(4)シミュレータ実装による交差点改良ケーススタディ

最後に、交差点幾何構造が利用者挙動、さらにはSSMに及ぼす一連の影響を再現し、交差点改良対策評価のデモンストレーションを行うため、開発したモデルをシミュレータに実装してケーススタディを行った(図6)。これにより、隅角部半径や横断歩道のセットバック距離は、PETへの影響は少ないが、これらが大きい場合にはカーブが緩やかになるため、左折車両速度が上昇し、交錯点通過速度も高くなる傾向がみられた。また、隅角部半径とセットバック距離が同じ場合には、X字型(交差角度120°など)のような変形交差点の場合に、十字型交差点に比べてPETが短くなり、さらに交錯点通過速度が上がるのがわかった。これらのSSMを用いて事故発生件数の予測を行った結果、隅角部半径やセットバック距離が大きい場合、またX字型のような変形交差点の場合に、事故発生件数は高くなるのがわかった。このことから、隅角部半径が小さく、セットバック距離が短い交差点で、交差角が直角に近いコンパクトな幾何構造において、横断歩道に左折車両との交錯に関する安全性が高いことが定量的に示された。

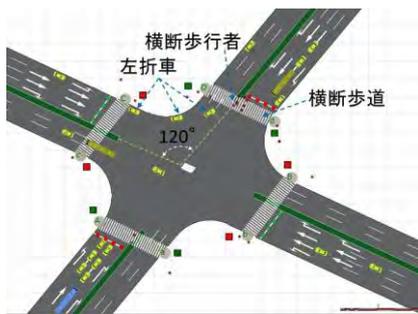


図6 シミュレーションによるケーススタディ

安全性評価を目的とした信頼性の高いシミュレータの開発は、国際的にも目下盛んに取り組まれている重要テーマであるが、未だ完成した実用的なものは国内外を通じて例を見ない。本シミュレータの実装モデルの予備検討結果に関して公表した米国TRBの道路交通安全性とシミュレーションに関する国際会議(2011)等においても、その独創性と先導性に関して高い注目を集めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- 1) Dang, M.T., Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., Development of Microscopic Traffic Simulation Model for Safety Assessment at Signalized Intersections, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2316, pp.122-131, 2013. 査読有
- 2) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., Left-turn Gap Acceptance Models Considering Pedestrian Movement Characteristics, Accident Analysis and Prevention, Vol.50, pp.175-185, 2013. 査読有
- 3) Alhajyaseen, W.K.M. and Nakamura, H., Design Criteria for Crosswalk Width and Position at Signalized Intersections, Journal of Civil Engineering and Architecture, Volume 6, No.7, pp.844-857, 2012. 査読有
- 4) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., Estimation of Left-turning Vehicle Maneuvers for the Assessment of Pedestrian Safety at Intersections, IATSS Research, Vol.36, Issue 1, pp.66-74, 2012. 査読有
- 5) Dang, M.T., Asano, M. and Nakamura, H., Impacts of Channelization Islands on the Left-turning Vehicle Maneuvers at Signalized Intersections in Japan, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, pp.1938-1952, 2011. 査読有
- 6) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., Suzuki, K. and Nakamura H., Analysis on the Variation of Left-turning Vehicle Spatial Trajectories Inside Intersections, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, pp.1543-1557, 2011. 査読有
- 7) 鈴木一史, 中村英樹, 後藤 梓, 信号切り替わり時のクリアランス車両との交錯を考慮した直進車両の発進挙動, 交通工学, 46巻, pp.56-64, 2011, 査読有

[学会発表] (計25件)

- 1) Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M., Application of Surrogate Safety Measures for Assessment of Pedestrian Versus Left-turning Vehicle Conflict at Signalized Crosswalks, Road Safety and Simulation International Conference, Rome, Italy, 2013.10.22-25
- 2) Zeng, W.L., Chen, P., Nakamura, H. and

- Asano, M., Modeling Pedestrian Trajectory for Safety Assessment at Signalized Crosswalks, 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Taipei, Taiwan, 2013.9.9-12
- 3) Zhang, X., Chen, P., Nakamura, H. and Asano, M., Modeling Pedestrian Walking Speed at Signalized Crosswalks Considering Crosswalk Length and Signal Timing, 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Taipei, Taiwan, 2013.9.9-12
 - 4) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., The Utilization of Kinetic Energy for the Safety Assessment of Intersections, 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, 2013.7.15-18
 - 5) Asano, M., Alhajyaseen, W.K.M., Nakamura, H. and Zhang, X., Stochastic Approach for Modeling Pedestrian Crossing Behavior after the Onset of Pedestrian Flashing Green Signal Indication, 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, 2013.7.15-18
 - 6) 張馨, 中村英樹, 浅野美帆, 陳鵬, 横断歩道長と歩行者青經過時間と考慮した横断歩行速度のモデル化, 第47回土木計画学研究発表会, 広島県, 2013.6.1-2
 - 7) Chen, P., Nakamura, H., Asano, M. and Zeng, W.L., A Microscopic Traffic Simulation Model for Safety Assessment of Left-turning Vehicle versus Pedestrian Conflict at Signalized Intersections, 第47回土木計画学研究発表会, 広島県, 2013.6.1-2
 - 8) Dang, M.T., Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., A Methodology for Modeling the Distribution of Turning Vehicle Paths at Signalized Intersections, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA, 2012.1.22-26
 - 9) 浅野美帆, 張馨, Alhajyaseen, W.K.M., 中村英樹, 信号交差点における横断歩行者のクリアランス挙動に関する研究, 第32回交通工学研究発表会論文集, pp.409-414, 東京都, 2012.9.18-19
 - 10) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., An Integrated Model for Reproducing the Maneuver of Left Turners Considering Dynamic Reaction to Crossing Pedestrians, 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA, 2012.1.22-26
 - 11) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., Nakamura, H. and Kang, N., Gap Acceptance Models for Left-turning Vehicles Facing Pedestrians at Signalized Crosswalks, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Transportation Research Board, Indianapolis, USA, 2011.9.14-16
 - 12) Wolfermann, A., Alhajyaseen, W.K.M. and Nakamura, H., Modeling Speed Profiles of Turning Vehicles at Signalized Intersections, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Transportation Research Board, Indianapolis, USA, 2011.9.14-16
 - 13) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., Nakamura, H. and Tan, D., A Methodology for Modeling the Distribution of Turning Vehicle Paths at Signalized Intersections, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Transportation Research Board, Indianapolis, USA, 2011.9.14-16
 - 14) Suzuki, K., Goto, A., Nakamura, H., Tang, K. and Asano, M., Start-up Behavior Considering Interactions between the Clearing and Entering Vehicles during the Signal Change and Clearance Intervals, 9th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Jeju, Korea, 2011.6.20-23
 - 15) Dang, M.T., Asano, M. and Nakamura, H., Impacts of Channelization Islands on the Left-turning Vehicle Maneuvers at Signalized Intersections in Japan, 9th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Jeju, Korea, 2011.6.20-23
 - 16) Alhajyaseen, W.K.M., Zhang, X. Nakamura, H. and Asano, M., Analysis on Pedestrian Speeds at Intersections Considering Signal Timing and Crosswalk Length, 9th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Jeju, Korea, 2011.6.20-23
 - 17) Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., Suzuki, K. and Nakamura, H., Analysis on the Variation of Left-Turning Vehicle Trajectories inside Intersections, 9th Eastern Asia Society for Transportation Studies International Conference, Jeju, Korea, 2011.6.20-23
 - 18) Zhang, X., Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H., The Impacts of Signal Timing and Crosswalk Length upon Pedestrian Speeds at Signalized Crosswalks, 第43回土木計画学研究発表会, 茨城県, 2011.5.28-29
 - 19) Kang, N., Alhajyaseen, W.K.M., Wolfermann, A., Asano, M. and Nakamura, H., Modeling the Maneuver of Left-turning Vehicles Considering the Interaction with

- Pedestrians at Signalized Crosswalks, 第43回土木計画学研究発表会, 茨城県, 2011.5.28-29
- 20) Dang, M.T., Alhajyaseen, W.K.M, Asano, M. and Nakamura, H., Developing a Simulation Tool for Traffic Safety Assessment at Signalized Intersections, 第43回土木計画学研究発表会, 茨城県, 2011.5.28-29
- 21) 浅野美帆, 交差点安全定量評価シミュレーション, 自動車技術会春季大会, 神奈川県, 2011.5.18-20
- 22) Asano, M., Alhajyaseen, W.K.M., Suzuki, K. and Nakamura, H., Modeling Variation in the Trajectory of Left-turning Vehicles Considering Intersection Geometry, Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Washington DC, USA, 2011. 1. 23-27
- 23) 後藤 梓, 鈴木一史, 中村英樹, 浅野美帆, 全赤時間長に着目したインターグリーン時間における直進車の停止/通過挙動の分析, 第42回土木計画学研究発表会, 山梨県, 2010.11.21-23
- 24) 鈴木一史, 後藤 梓, 中村英樹, 信号切り替わり時のクリアランス車両との交錯を考慮した交差側車両の発信挙動, 第41回土木計画学研究発表会, 愛知県, 2010.6.5-6
- 25) 勇川邦浩, 鈴木一史, 浅野美帆, 中村英樹, 交差点構造の影響を考慮した左折車両挙動のモデル化, 第41回土木計画学研究発表会, 愛知県, 2010.6.5-6

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 英樹 (NAKAMURA HIDEKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 10212101

(2)研究分担者

浅野 美帆 (ASANO MIHO)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 80469858

(3)連携研究者

大口 敬 (OGUCHI TAKASHI)
首都大学東京・大学院都市環境科学研究科
・教授

研究者番号: 90281245

浜岡 秀勝 (HAMAOKA HIDEKATSU)

秋田大学・工学資源学部・准教授

研究者番号: 70262269