

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

渡部 数樹¹・中村 英樹²・浅野 美帆³

¹正会員 名古屋大学大学院研究員 工学研究科 社会基盤工学専攻

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2 (651))

E-mail:watanabe-kz@genv.nagoya-u.ac.jp

²フェロー会員 名古屋大学大学院教授 工学研究科 社会基盤工学専攻 (同上)

E-mail:nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院助教 工学研究科 社会基盤工学専攻 (同上)

E-mail:asano@genv.nagoya-u.ac.jp

信号交差点での右折車両挙動は、他主体との交錯機会が多く、事故発生時の危険性が高いこと等から、安全性を検討する上で重要な分析といえる。本稿は、右折挙動に関するこれまでの研究成果を整理した上で、今後の検討課題について考察したものである。右折挙動のモデル化にあたっては、交差点で観測した実データをもとに、通過/停止判断や車両走行軌跡などの細分化した各挙動を、交通運用状況と交差点構造から説明可能なモデルの構築を試みている。現状の課題として、不足するサンプル数への対応や、道路構造・路面標示・信号現示時間等の説明要因との関連性を明確にする点があることを述べた。また、交差点の安全性評価において、代替性安全性指標を包括的に評価することの必要性や、ミクロシミュレータ活用によるメリットなどについての考察を述べた。

Key Words : *signalized intersection, right-turning vehicle behavior, microscopic simulation, Surrogate Safety Measure*

1. はじめに

(公財)交通事故総合分析センター(ITARDA)の報告¹⁾によると、平成23年に発生した信号交差点での死傷事故は、自動車に関与している事故の割合が94%、そのうち自動車が第一当事者となっている事故は95%である。この第一当事者が自動車である事故に着目すると、右折時の事故件数が最も多く全体の39%を占めており、さらに事故発生原因は「信号無視」以外が97%となっている。

このような事故発生の状況から、右折車両の挙動を分析し、道路構造や交通条件との関連性を明らかにすることは、信号交差点における事故削減対策を検討する上で重要な研究テーマである。

右折挙動に着目した研究は古くより行われてきている一方、実務的に用いられている安全対策施策としては、道路構造的な対策としては「右折専用車線設置」というハード対策、「右折誘導線」「右左折の方法」等の路面標示設置によるソフト対策、交通運用としては「右直分離信号現示への変更」などが主体となっている。これら対策実施有無の判断は、現場技術者や交通管理者による経験的な知見に依存しているケースも多いことから、説明性向上のためにも明確なロジックに基づき、かつ、定量的な改善効果が示されることが望ましい。

これらの背景をふまえ、本研究は信号交差点における個別利用者および利用者間での挙動分析と交差点安全性評価を目的としており、本稿では、特に右折車両挙動の分析とミクロシミュレータを用いた交差点安全性評価に関する考察を示す。

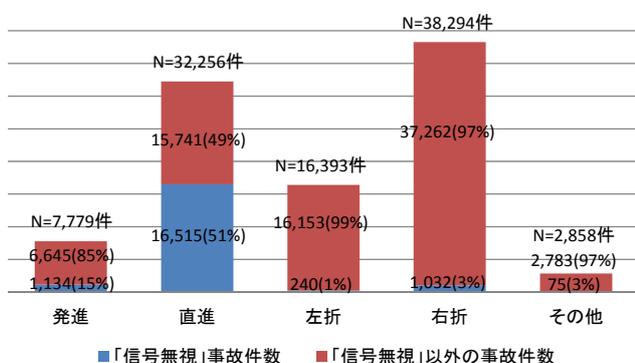


図-1 平成23年の1当自動車の行動類型別事故件数

※資料1)を基に作成

2. 研究の全体概要

本研究は、信号交差点における車両と歩行者を対象として、個々およびそれら主体間の交錯に関する挙動分析・モデル化を行うものである。現時点では信号交差点以外の交差点形状（無信号交差点、ラウンドアバウト等）や他の交通主体（二輪車、自転車等）は対象から除外しているが、将来的にはこれらバリエーションを包括した総合的な検討が可能となる研究成果としたい。

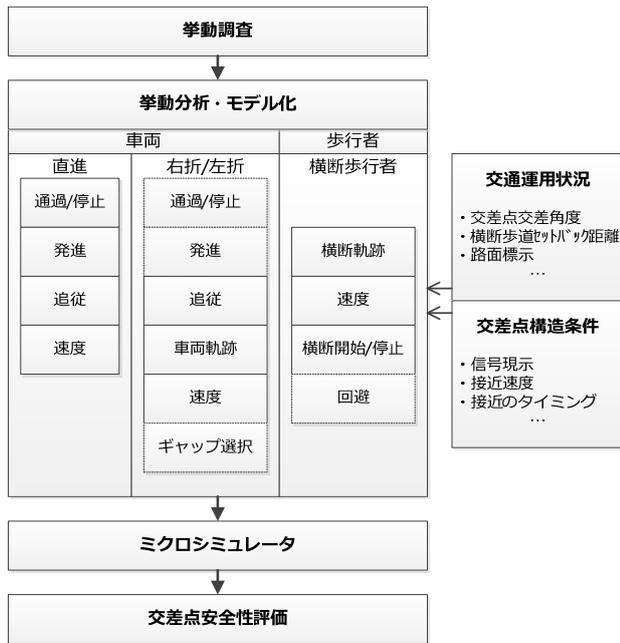


図-2 研究の全体フロー

検討する車両/歩行者挙動は、速度・軌跡・発進・停止/通過・ギャップ選択/回避に細別し、各挙動を交差点交差角度や横断歩道セットバック距離などの「交差点構造条件」と、信号現示や他主体の接近状況などの「交通運用状況」から説明可能なモデルを構築する。

構築したモデルは交差点マイクロシミュレータに実装させ、交差点構造条件・交通運用状況が変化した場合の個別挙動変化や交差点全体での安全性の評価を行う。

3. 右折車両挙動の分析・モデル化と課題

(1) 通過/停止挙動

a) これまでの研究成果

右折車両のインターグリーン時における停止/通過の判断挙動のモデル化は、まず実データより通過/停止判断のばらつき具合を確認した上で、ドライバーの停止確率をロジットモデルにより表現した²⁾。

通過/停止判断のばらつき具合の分析においては、X-V図におけるジレンマ/オプションゾーンとの比較から、ある調査箇所においては、停止領域においても通過判断をしている車両が顕著にある等の傾向を確認している。

また、停止選択モデルの推定結果からは、「停止線までの所要時間」「追従状態（ダミー変数）」が説明変数として有意な結果となったことから、停止線を通してできるか否か、追従状態にあるか否かが通過判断に大きな影響を与えている可能性を明らかにした。

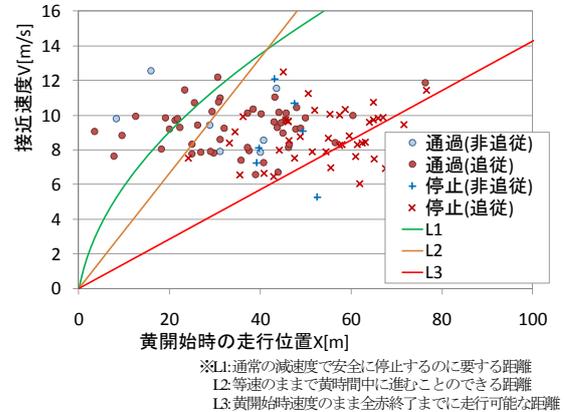


図-3 X-V図でのジレンマ/オプションゾーンとの比較例

表-1 右折車停止選択モデルの推定結果

説明変数	係数(値)	
	単純4現示制御	矢印制御
黄開始時の停止線までの所要時間 [sec]	0.71(7.33)	0.88(6.29)
追従状態ダミー	-1.12(-2.00)	-1.37(-2.57)
定数項	-2.25(-3.56)	-3.25(-4.44)
\bar{p}^2 値	0.362	0.366
的中率 [%]	80.7	79.6
サンプル数	238	167

b) 課題と研究の方向性

通過/停止に関する今後の研究課題を以下に示す。

- 一般的に、実際の通過/停止判断を行っている右折車両は1サイクルあたり最大1台であり、かつ、青・右折矢に割り当てられた現示時間に対して右折交通需要が超過している場合という頻度が少ないケースであるため、モデル化に使用できるサンプル数は少数となる。今後、より多くの観測データを取得して精緻化する必要がある。
- 現時点での検討結果では「停止線から交錯点までの距離」ではなく「黄色開始時の停止線までの所要時間」が停止選択モデルの説明変数として有意となっているものの、実際の停止挙動は、交差点規模（停止線間距離等）や信号現示時間（黄の次の赤現示時間の長さ等）により影響を受けるものと考えられる。これらの分析が可能な種々の観測データを追加し、詳細に分析していく必要がある。
- よりマクロ的に考えると、手前の隣接信号交差点との位置関係や交通量の差異による偏ったサイクル

長設定（例えば、主方向の青時間が異常に長く設定されているなど）といったケース要因が通過/停止判断に影響を与えているとも考えられる。これらの他要因についても分析視点に追加し、検討する必要がある。

(2) 発進挙動

a) これまでの研究成果

信号現示が「右折矢のみ」の場合、ドライバーの発進挙動は対向直進車の発進状況により影響を受けるものと考えられる。本研究内では、右折車の挙動に関する分析は未実施であるが、同様の趣旨として鈴木ら(2010)³⁾の研究で直進車両の発進挙動について分析を行っている。

この分析では、最終右折車両の残留の有無による発進反応時間(Starting Response Time; SRT)の分布について確認し、交差点規模が小さい場合には交差点内に右折車の残留があると発進タイミングが遅れることを確認している。

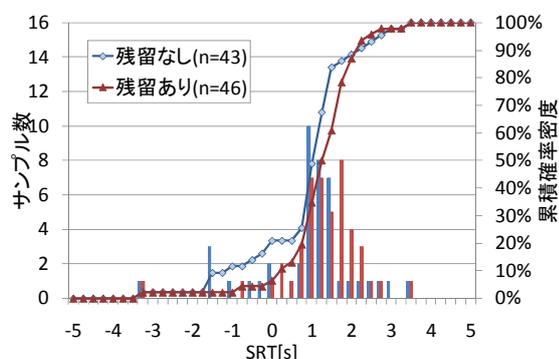


図4 残留有無によるSRT分布の違いの例

また、SRTの分布がワイブル分布に従うと仮定した推定モデルを検討し、「車種（大型車/普通車）」「エンタリング距離」「最終右折車の交差点通過時間」がSRTに影響することを示唆している。

b) 課題と研究の方向性

右折車両の発進挙動については、今後、信号現示方式ごとに区分して検討していく。通常、右折交通に対する信号現示は「青丸のみ」「青丸+右折矢」「右折矢のみ」の3パターンがあり、このうちの「青丸のみ」「青丸+右折矢」の場合は、停止線から発進後、一度交差点内にて待機し、通過可能なギャップを判断して差異発進している。

これに対して「右折矢のみ」の場合は、直進・左折矢印点灯中は交差点停止線にて待機しており、信号切り替わり時において発進挙動をとる。

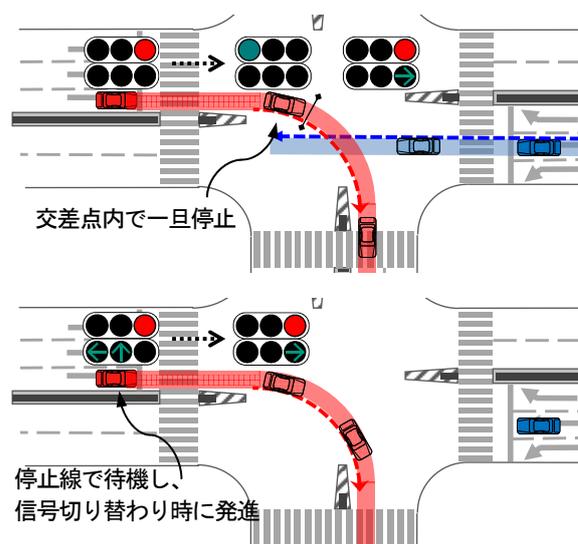


図5 現示方式の違いによる発進挙動の違い

よって、右折車を対象とした発進挙動分析は「右折矢のみ」の現示方式が主な検討対象となり、その手法は交差側直進車両と同様の手法が適用可能と考えている。

その他の現示方式においては、右折開始時において対向直進車両が存在しない場合に、信号現示切り替わり時タイミングを見計らって発進するという極めて稀なケースでの検討となることから発進挙動の検討対象から除外する。

(3) 車両軌跡

a) これまでの研究成果

鈴木ら(2009)⁴⁾は、右折走行時に曲率変化が一定になる区間に着目し、走行軌跡を3つの線形要素（直線・円弧・クロソイド）にあてはめることで、おおむねの走行軌跡を表現できることを確認した。

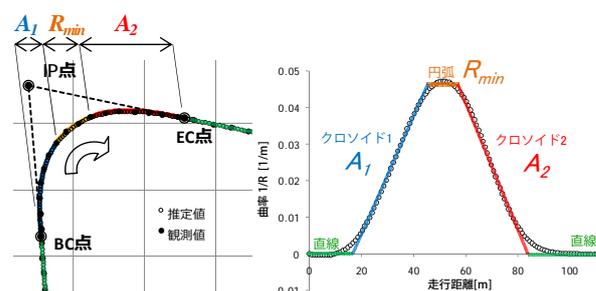


図6 右折走行軌跡の例(左)と距離-曲率図(右)

また、それぞれの線形要素を交差点構造条件から説明する重回帰分析を行い、「右折交差角度」や「IP点から中央分離帯までの距離」が各線形要素に有意な影響を与えていることを明らかにした。

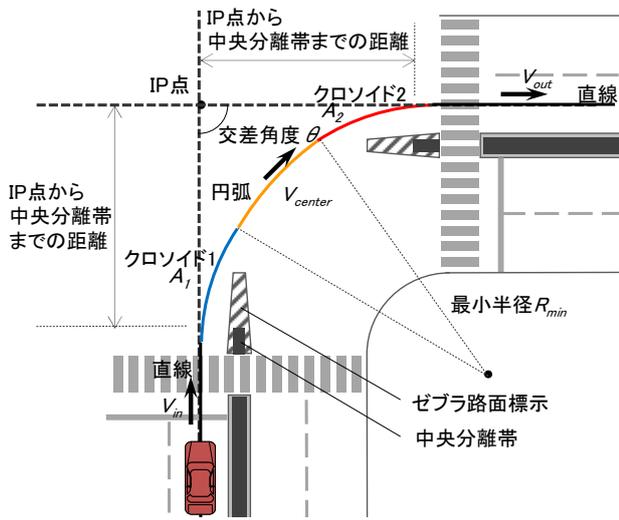


図-7 線形要素パラメータの推定に用いた説明変数

表-2 右折走行軌跡の線形要素パラメータの推定結果

線形要素パラメータ		クロソイド A_1	円弧 R_{min}	クロソイド A_2
説明変数		係数(t値)	係数(t値)	係数(t値)
定数項		2.73(1.86)	-3.93(-1.89)	-3.63(-1.64)
右折時の最小速度	kmh	0.294(4.48)	0.517(6.57)	0.287(3.05)
右折時の交差角度	度	—	0.0795(4.32)	—
右折時の最小半径	m	0.385(6.80)	—	0.294(3.59)
IP点から 中央分離帯 までの距離	流入側	m	0.172(6.90)	—
	流出側	m	—	0.241(4.84)
	流出流入 の最小値	m	—	0.176(4.59)
R ² 値		0.663	0.501	0.424
サンプル数		151		

b) 課題と研究の方向性

車両軌跡に関する今後の研究課題を以下に示す。

- 分析にあたっては、自由状態の走行車両を対象としており、サンプル数はさほど多くない(N=151)。今後、道路構造や交通運用のバリエーションに富んだ多くのサンプルから再検証する必要がある。
- 走行速度/走行軌跡に影響を及ぼす可能性が高いと思われる「右折専用現示の時間長」や「黄・赤への切り替わりのタイミング」との因果関係については明確となっていない。特に多車線の交差点の場合には、流出側の車線選択挙動にも関連することが想定されるため、これらの関係について分析していく必要がある。

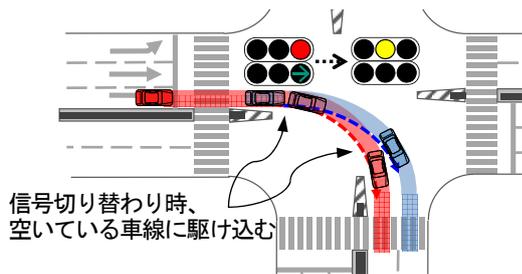


図-8 流出側車線での車線選択挙動

- 現示方式の違い（青丸と右折専用現示）により、交差点内での車両停止位置が異なるため、路面標示に沿った走行軌跡などへの影響も多分に考えられる。これらについても今後の検討課題と位置づけられる。

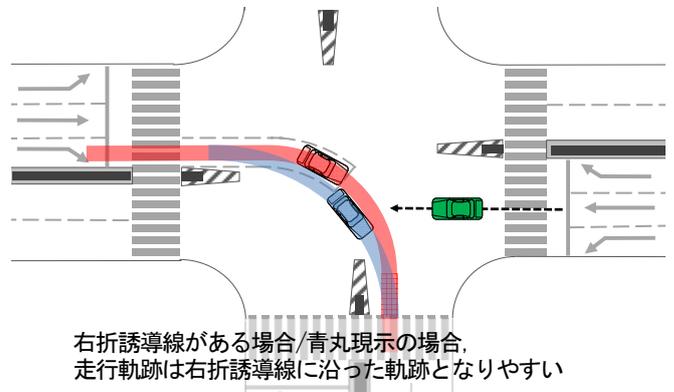


図-9 路面標示による走行軌跡への影響

(4) 右折走行速度

a) これまでの研究成果

ドライバーは、対向車両や横断歩行者挙動との関係性から加減速行動をとるものと考え、これら判断を3つの速度プロファイル（「自由走行」「停止」「通過」）から逐次的に選択しているものとして仮定し、交差点構造と交通状況から説明可能なモデルの構築を試みている。基本となる「自由走行」は3次関数曲線により近似できるものとし、「停止」は、自由走行流入部(減速)で最小速度 $v_{min}=0$ となる場合、「通過」は自由走行流出部(加速)において始端の v_{min} を変化させることで表現可能と捉えている。

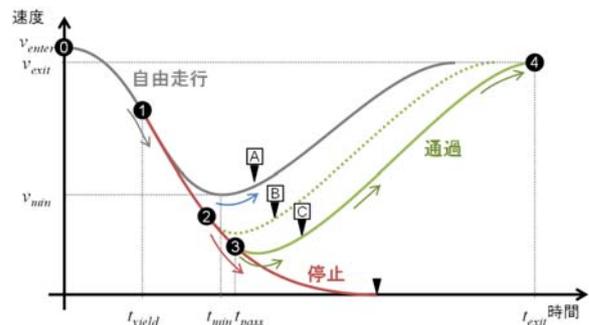


図-10 自由走行・停止・通過プロファイル

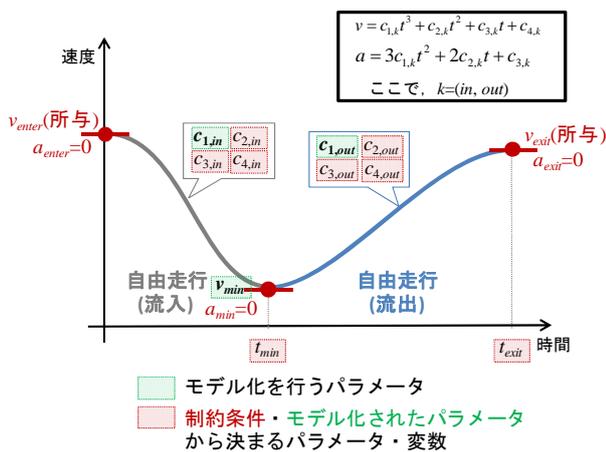


図-11 自由走行プロファイル特定のためのパラメータ

自由走行プロファイルに必要なパラメータと境界条件は、流入・流出時の合計8つのパラメータ($c_{1,in} \sim c_{4,in}$, $c_{1,out} \sim c_{4,out}$)と流入時に最小速度となる点、流出時における境界条件であるが、流入時・流出時・最小速度の時の加速度は0であり、流入速度・流出速度は所与のため、パラメータ $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ および最小速度 v_{min} を推定すれば曲線が特定できる。

実データによる確認の結果、パラメータ $c_{1,in}$, $c_{1,out}$ は非対称形であったためガンマ分布を用いて、最小速度 v_{min} は正規分布を仮定してそれぞれ推定したところ、説明要因として「交差角度」「流入速度」が有意となりうることを確認している。

表-3 右折時最小速度 v_{min} の分布推定結果

パラメータ	説明変数		v_{min} N(μ, σ) 係数 (有意水準)
μ	定数項	—	2.651 (0.002)
	交差角度	[度]	0.0289 (0.000)
	流入速度	[m/sec]	0.1879 (0.000)
σ	定数項	—	1.404 (0.002)
	交差角度	[度]	-0.0054 (0.311)
対数尤度			-119.0
サンプル数			87

b) 課題

右折走行速度のモデル化に関する研究課題を示す。

- 現時点での分析結果において、有意な説明変数として確認されたものは「交差角度」「流入速度」のみであった。右折時の空間的障害は左折時と比較して少ないため、説明変数が少ないことはある種の妥当性が感じられるものであるが、今後取得する追加観測データにより再精査する必要がある。
- 信号現示が「青丸のみ」「青丸+右折矢」の場合は、交差点内で一時停止するという右折特有の挙動がある。この挙動が左折時や「右折矢のみ」とどの

ように異なるかについて、今後分析していく必要がある。

- 信号現示方式や各現示点灯時間の違いが、交差点通過速度や加減速の値にどの程度の影響を及ぼしているかという基礎的分析を本研究内で確認しておくことで、交差点安全対策を検討する上での知見として活用することができる。

(5) ギャップ選択挙動

a) これまでの研究成果

信号交差点における右折車両のギャップアクセプタンスに関してはこれまで数多くの研究がなされているが、本研究は、交通運用状況や交差点構造等の各種条件とギャップアクセプタンス挙動との因果関係を見出そうとするものである。

尚、先行研究としては、左折走行車両の歩行者との衝突回避挙動に着目し、横断歩行者の進入パターンとギャップ/ラグ選択確率の関係について分析している⁹⁾。

b) 課題と研究の方向性

左折挙動と比較して、右折車両のギャップアクセプタンス挙動は、対向直進車との交錯事象も考慮する必要があることから、複雑な挙動となる。

分析にあたっては、まず、マクロ的に道路/交通条件を分類して比較することで、条件の違いによる大きな挙動の差異がないか確認することが肝要である。確認しておくべき条件の違いとして、下記項目が考えられる。

- 現示方式（「青丸のみ」と「青丸+右折矢」の違い）
- 信号現示時間長・各利用者交通量との関係
- 車種（普通車/大型車）
- 交差点交差角度
- 対向直進車と横断歩行者の位置関係
(=横断歩道のセットバック状況)

4. 交差点における安全性評価

(1) 交差点安全性評価の手法

交差点における安全性評価の研究は古くより行われており、実際に発生した交通事故データに基づき集計的にその要因について分析する研究や、利用者挙動を一定の仮説のもとでモデル化し、そこから得られる代替性安全性指標 (Surrogate Safety measure; SSM) によって評価する研究などがある。

また、近年では交差点近傍における交通事故と車両挙動の関係性を検討するため、ドライブレコーダーやプローブデータから取得されるヒヤリハット事象を活用した研究・分析が既往研究で進められている⁷⁸⁾。これらの研究は、交差点近傍における危険挙動の評価を、比較的容易に取得可能な既存の観測データを用いて、ミクロに分

析可能な点は非常に有用であると考えられる。

これらの既往研究に対し、本研究は以下の観点から交差点の安全性評価を実施しようとしている点に特徴を有する。

- ・種々の代替性安全性指標（速度、加減速度、交錯角度、PET等）を各主体ごとに計測・評価する
- ・交差点内における各主体の確率的あるいは空間的なばらつきを考慮して安全性を評価する
- ・交差点構造や交通運用の改善による効果を即時に、かつ、定量的に評価する（＝改善対策を実施後、一定期間経過した後に計測される発生事故データ等で評価するのではない）

上記内容を検討していくためには、前述の各挙動モデルを包括的に実装した交差点マイクロシミュレータの活用が有効であると考えられるものの、既存のマイクロシミュレータは車頭時間や渋滞現象等を表現することが主目的となっており、上記視点からの交差点安全性評価には適用が困難である。

(2) 本研究で開発する交差点マイクロシミュレータ

前述の視点での評価を実現するため、交差点マイクロシミュレータを現在開発中である（Dangら(2011)⁹⁾）。

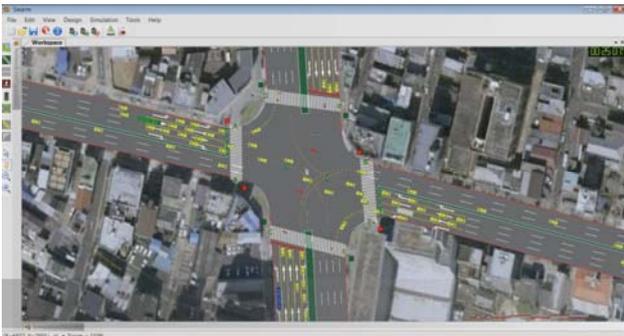


図-12 開発中の交差点マイクロシミュレータ

現段階でシミュレータに実装できていない主要なモデルとして、右折車両挙動の「通過/停止挙動モデル」「発進挙動モデル」「ギャップ選択モデル」と、歩行者の「(交錯)回避モデル」がある。（図-2参照）

右折車両の通過/停止および発進挙動については、観測データのサンプル数の制約上、現段階では明確なモデルが作成できていないものの、直進車両挙動のモデル化と同様、交差点構造条件・交通運用状況を説明変数としたモデルによる表現を検討している。

右折車両のギャップ選択に関するモデル化についても、追加観測データを取得・分析の上で、左折車-歩行者間の交錯に関する分析結果や既往研究における知見を活用しながら、モデルを定式化してシミュレータに組み込む。

歩行者の交錯回避モデルは、Helbingら(1995)¹⁰⁾の提案した Social Forceモデルを基本として、実測データに基づ

く信号現示への反応、群集行動の表現等について別途研究しており、その成果を実装予定である。

尚、本マイクロシミュレータによる安全性評価に対し、直接的影響が少ないと思われる下記の挙動については、既往研究成果を活用している。

■車両/歩行者の到着パターン

；ランダムに到着すると仮定し、車等間隔・歩行者の到着時間間隔は、負の指数関数に従い下式になる（Gerlough and Huber, 1975）¹¹⁾ものとして設定

■車両追従挙動

；Martin Treiber(2000)¹²⁾の知的運転者モデル(IDM)を採用し、車両の加減速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

(3) 車両相互交錯時の危険性の評価

交差点内での右直事故のような車両相互交錯時の危険性を評価する上では、従来から提案されてきた個別のSSMの値を単独で評価するのではなく、それらを複合的に判断する必要がある。例えば、車両相互が衝突する事象をとらえた場合、衝突余裕時間（Time to Collision; TTC）のみで評価するのではなく、交錯角度（Conflict Angle）も同時に考慮した方が合理的であるといえる。

そのため、交差点における安全性評価指標として、PETから導かれる交錯頻度と交錯強度を考慮した安全性指標値を新たに提案する。

$$SI = \frac{\alpha \Delta K_e}{e^{\beta PET}} \quad (4.1)$$

ここに、

ΔK_e : 交錯前後における運動エネルギーの変化量[kg.m²/sec²]

PET : 交錯点通過時間差[sec]

α, β : 係数

交錯頻度は、PETの値に基づく指数関数として表現し、交錯強度の変化量は運動エネルギー保存の法則に基づき交錯前後の車両重量と走行速度より算出可能である。

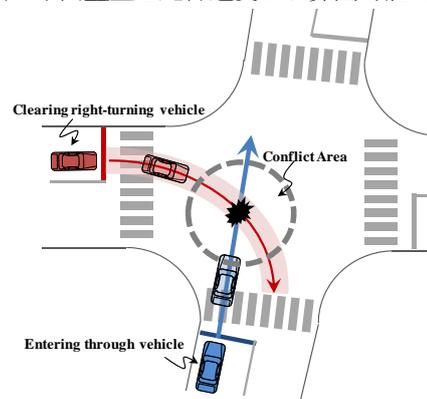
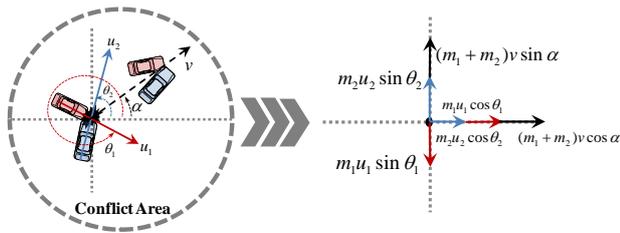


図-13 右折と直進の交錯事象



$$\Delta K_e = \left(\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \right) - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 \quad (4.2)$$

図-14 交錯強度変化量の算出

本定式化により、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SIが大きくなり、危険度が高いことを表現できる。

今後は、主に右折車両-直進車両間の交錯事象を対象として、取得した観測データをもとに指標値の妥当性について検証していく。

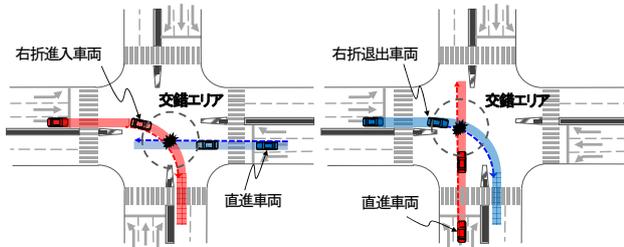


図-15 インターグリーン時間における右折-直進車両の交錯

(4) 安全性評価結果の視覚化

本研究で開発中のシミュレータは、平面的座標位置にて利用者挙動と交錯に関する評価結果を出力可能となっている。よって、これら出力結果から得られるPETや通過速度等の各種SSM、あるいは、前節にて定義した安全性評価指標値SIの大小を、交差点内での位置関係と関連付けることにより、空間的なハザード・マップとしての利用可能性を有する。

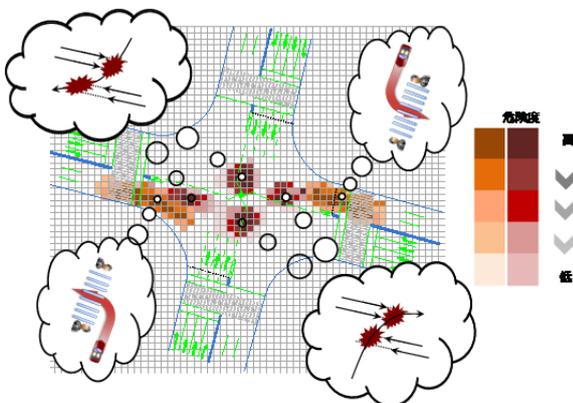


図-16 コンフリクト・ハザード・マッピングのイメージ

例えば「交差点内のどの位置において交錯の危険度が高いのか」「交差点改良施策の実施前後でどのように交錯危険度が変化するか」を視覚的に表現することが可能となり、改良実施効果の説明性向上に寄与できる。

6. おわりに

本稿では、信号交差点における個別主体の挙動変化と交差点安全性の評価を目的とした一連の研究成果について、特に右折車両の挙動を主体として、これまでの研究成果と今後の課題について整理した。

さらに、交差点における安全性評価手法と評価のためのマイクロシミュレータ活用方法についての考察を述べた。

本稿で示した現状の右折挙動分析における主要な課題を以下に再整理する。

- ①車両挙動分析に使用する観測サンプル数の少なさ
 - ；発進/停止挙動のような1サイクルあたり1台程度の少ない事象を分析対象としている
 - ；説明変数を評価するための道路構造や交通条件のバリエーションが不足している
- ②想定される実現象とモデル説明変数との関連
 - ；走行軌跡以外のモデルには、道路構造に関する説明変数は明示的にモデルに含まれていない
 - ；一般的に交差点安全対策として実施されることの多いソフト的対策（例えば路面標示の設置）の影響が表現できていない。
- ③隣接交差点など、線的/面的要因の挙動への影響
 - ；隣接交差点（信号/無信号）との間隔や、主方向・従方向別の交通量などの個別車両挙動への影響については、現時点では考慮できていない。

まず、①については、観測データを引き続き蓄積していくことや、分析対象挙動を細分化し、他の挙動データを結合して分析することも検討している。

②は道路計画や設計の中で一般的に考慮されている項目を説明変数として組み込んだ際の推定結果を、精緻に分析していくことを予定している。

③については、現時点では単独交差点としての研究を第一として進めていき、その研究成果を活用して次段階にて検討することとした。

今後は、さまざまな道路/交通状況下における交差点交通流の観測データを蓄積しつつ、本稿に記載した課題事項を解消すべく研究を進めていく。最終的には、本研究成果を活用した交差点改良対策の立案結果と、実フィールドにおける適用結果との比較分析までが実施可能となるような研究としたい。

参考文献

- 1) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：ITARDA インフォメーション, No.95, 2012.7
- 2) 鈴木一史：信号交差点構造とインターグリーン時間に応じた車両挙動の自空間モデリング, 名古屋大学博士論文, 2010.
- 3) 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進挙動, 土木計画学研究・講演集No.41, CD-ROM, 2010.6.
- 4) 鈴木一史・中村英樹・石黒公規：信号交差点における幾何構造と進入条件を考慮した右折走行軌跡のモデル化, 土木計画学研究・講演集No.39, 4ページ, CD-ROM, 2009.6.
- 5) 中村英樹・浅野美帆・大口敬・浜岡秀勝・鈴木一史：効果的な交通安全対策のための信号交差点安全性定量評価シミュレーション手法の開発, タカタ財団助成研究論文集, pp.259-353, 2010.10.
- 6) 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, 2013.1.
- 7) 伊藤克弘・中州啓太・金子正洋：映像記録型ドライブレコーダーにより収集したヒヤリハット事象の分析, 第30回交通工学研究発表会論文集, pp.117-120, CD-ROM, 2010.9.
- 8) 岡田朝男・水野裕彰・中村俊之・絹田裕一：道路交通における交通事故とヒヤリハットの関係性に関する基礎的研究, 第31回交通工学研究発表会論文集, pp.49-55, CD-ROM, 2011.8.
- 9) Tan, D., Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M. and Nakamura, H.: Developing a Simulation Tool for traffic Safety Assessment at Signalized Intersections, , Proceedings of Infrastructure Planning, No.43, CD-ROM, 2011.5.
- 10) D. Helbing and P. Molnár, "Social force model for pedestrian dynamics," Physical Review E, vol. 51, no. 5, pp. 4282-4286, 1995.
- 11) Gerlough, D. L. and Huber, M. J.: Traffic flow theory – a monograph. Transportation Research Board Special Report 165, 1975.
- 12) Treiber, M., Hennecke, A., Helbing, D.: Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, Physical Review, E 62 (2), pp. 1805-1824, 2000.
- 13) 平成24年度「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」報告書, 国土技術政策総合研究所道路空間高度化研究室, 2012.3.

(2013.?.? 受付)