

歩車分離式交差点における歩行者および自転車の交錯分析

—マルチエージェントシミュレーションを用いて—

Analysis of Pedestrian and Bicycle Conflicts at Pedestrian-Vehicle Separated Intersections —Using Multi-Agent Simulation—

来栖 遥希*

Haruki KURUSU

*地域計画学・レジリエンス計画研究室（指導教員：奥村 誠 教授）

歩車分離式交差点においては、歩行者と自動車の交錯だけでなく、歩行者および自転車の交錯についても考慮する必要がある。本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いて、歩車分離式交差点における歩行者および自転車の交錯現象を交通量と属性に着目し分析した。その結果、交通量と属性の違いが、遅れ時間や交錯数のほか交錯時の視認や回避行動といった交錯内容にも影響を及ぼすことが確認された。

Key Words: 歩車分離制御、マルチエージェントシミュレーション、混合交通、交錯、スマホ歩行者

1.はじめに

歩車分離制御は、歩行者と自動車の交錯回避を目的としており、設計指針や既往研究についてもこの点に主眼が置かれている。一方で、一部の歩車分離式交差点では、歩行者の不注意や交通ルールの形骸化（斜め横断・自転車の乗車通行等）の影響で、歩行者および自転車の交錯が多発し問題となっている。

そこで本研究では、実在交差点を念頭にマルチエージェントシミュレーションを用いてルール違反を含む歩行者および自転車の動きを再現し、交通量とエージェント属性が交錯現象に及ぼす影響の分析を行った。

2.シミュレーションの構築

(1)シミュレーション概要

本研究では、NetLogo 6.4.0 を用いてシミュレーションを構築した。ここでは現実の時空間における 0.1m と 0.1 秒を基本単位とする。幾何構造と信号サイクル（図 1）は実在交差点を参考にした。また、斜め横断と自転車の乗車通行もモデル化した。



図 1 シミュレーションの現示図および信号サイクル

(2)エージェント属性とパラメータ設定

本研究では、実在交差点の交通実態に基づき、歩行者属性を通常歩行者、グループ歩行者、スマホ歩行者の 3 つに分け、これに自転車を加えた 4 属性で考える。浅野らの歩行者行動モデル¹⁾を基にパラメータを属性別に表 1 のように設定した。各属性の特徴は表 2 の通りである。

表 1 属性別パラメータ一覧

	通常歩行者	グループ	スマホ	自転車 (レーン)	自転車 (交差点)
希望速度($\sigma = 0.2$)	1.35m/s	1.26m/s	1.1m/s	4.0m/s	3.2m/s
最大速度	1.8m/s	1.8m/s	1.8m/s	5.0m/s	4.0m/s
先読み時間 T	3 秒	3 秒	2 秒	3 秒	3 秒
希望速度	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
パラメータ η					
最大方向変更角	90 度	30 度	30 度	30 度	30 度
視認距離	3m	3m	2m	7m	
視野角	180 度	180 度	60 度	180 度	60 度
接近コスト τ	0.2	0.2	0.1	0.5	
接近コスト ϕ	-0.03	-0.03	-0.03	-0.01	

表 2 属性別の特徴

グループ	リーダー1人とフォロワー1~3人で構成 フォロワーは通常時は並列、回避時は縦列になる
スマホ	視野と反応感度が低く、認知と回避がしづらい
自転車	交差点内では行動モデルによる回避行動 自転車レーンでは追従行動

(3)エージェントの行動モデル

浅野らのモデルで用いる式を表 3 にまとめた。このモデルは、ある時刻 t にエージェント i が、物理的に選択可能な速度ベクトルの中から、希望方向ベクトルからの差分コスト C_{desi} と障害物接近コスト C_{obi} の和が最小となる最適速度ベクトル v_{opt} を選択し、これに従い移動する。

差分コスト C_{desi} は、理想速度ベクトル v_{0i} から定まる希望速度ベクトル $v_{di}(t + \Delta t)$ と、移動の候補となる速度ベクトル v の距離として定義される。また、障害物接近コスト C_{obi} は、他のエージェントへの接近コスト $C_{ij}(t, v)$ と壁への接近コスト $C_{iw}(t, v)$ の総和で求められる。接近コストの計算には T 秒後までの最小距離 $D_{ijmin}(t, v)$, $D_{iwmin}(t, v)$ を用いる。

(4)TTC (Time To Collision) の算出と交錯の判定

TTC は、自分と相手が現在の速度ベクトルで進んだ場合に衝突する場面での衝突までの余裕時間のことであり、交錯の危険度評価に用いられる。本研究では、TTC が 1.5 秒以下となった場合を交錯として判定する。

表 3 行動モデルで用いる式

$v_{opt}(t + \Delta t) = \underset{v}{\operatorname{argmin}} \left(C_{desi}(t, v) + C_{obi}(t, v) \right) \quad (1)$
$C_{desi} = \ v_{di}(t + \Delta t) - v\ \quad (2)$
$v_{di}(t + \Delta t) = v_i(t) + \eta(v_{0i} - v_i(t)) \quad (3)$
$C_{obi}(t, v) = \sum_j C_{ij}(t, v) + \sum_w C_{iw}(t, v) \quad (4)$
$C_{ij}(t, v) = \begin{cases} \tau \exp(\varphi D_{ijmin}(t, v)) & \text{if } D_{ijmin}(t, v) > 0 \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$
$C_{iw}(t, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D_{iwm}(t, v) > 2r \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$

3. シミュレーション実行結果

交通量と属性構成比を変更し、各パターン 3000 サイクルずつ実行した。なお、モデルの再現性を考慮し、分析対象は 150 (人/サイクル) 以下の場合に限定した。

3.1. 交通流全体のマクロ影響分析

交通量変動の結果、混雑遅れ時間は線形に、交錯数は加速度的に増加する傾向が確認できた(図 2)。交錯数の非線形性は交通量の二次項を追加した重回帰分析からも確認できた。さらに、説明変数として属性別交通量を用いた重回帰分析では、混雑遅れ時間と交錯数の双方においてスマホ歩行者の影響が大きく、グループ歩行者と自転車の影響は限定的であった。

属性構成比の変動においても、混雑遅れ時間と交錯数の双方で、上記の重回帰分析と整合する結果が得られた。

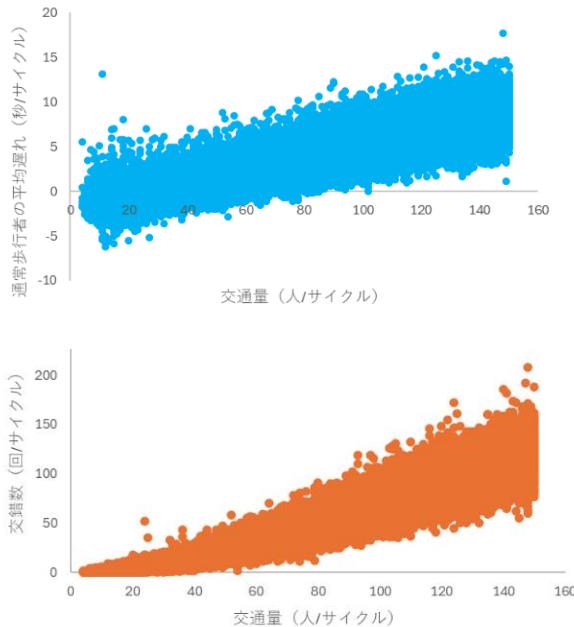


図 2 交通量に対する遅れ時間の分布（上）と交錯数の分布（下）

3.2. 交錯現象のミクロ分析

（1）交錯の時空間分布

図 3 より、時間分布では滞留した群衆が一斉に発進する青信号開始直後に発生が集中している。また、空間分布では歩行者流のボトルネックとなる交差点の四隅と斜め横断の動線が交差する中央部で発生が集中している。

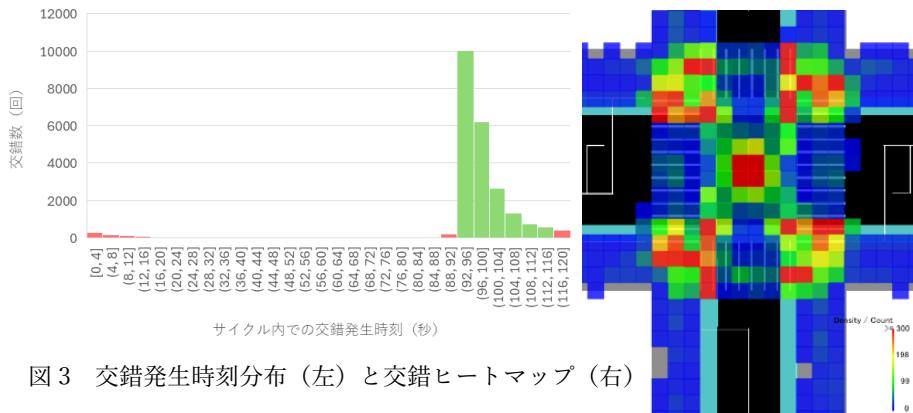


図 3 交錯発生時刻分布（左）と交錯ヒートマップ（右）

（2）一人あたり交錯数と交錯時の視認率

ここでは、交錯現象を相対進行角度と自分から見た相手の方位角に応じて、正面交錯・斜め交錯・追突交錯の3種類に分類し分析を行った。

一人あたり交錯数では、斜め交錯が最多であった。また、交通量と当事者の属性による影響も確認された。

交錯時視認率では、斜め交錯が最も低い値を示した。交通量による差はわずかであった一方、当事者の属性別ではスマホ歩行者が著しく低い値を示した。

（3）交錯時の回避行動

回避行動として急ハンドルと減速の2種類を定義し、分析を行った。交通量の増加に伴い、交錯相手に対する回避行動の実施率は増加した。属性別では、通常歩行者と自転車は急ハンドルによる回避が多かったが、グループ歩行者は減速による回避の方が多かった。スマホ歩行者は視認率が低いため、回避行動がとられにくかった。

（4）交錯時の TTC

交通量の増加に伴い、TTC が増加（安全化）する傾向が確認された。これは高密度化による速度低下の影響が2者間距離の減少による影響を卓越したことによるものであり、混雑時における TTC 単独での危険度評価には限界があることを示唆している。属性別比較では、希望速度が低いスマホ歩行者で TTC が高く算出される傾向がみられた。しかし属性間では回避能力に差があるため、これだけでスマホ歩行者が最も安全であると判断はできない。このように、属性によって希望速度や回避能力が異なる状況では、一律の TTC 閾値で交錯を評価することが困難であることが明らかになった。

4. おわりに

本研究では、交通量や属性に着目し、歩行者および自転車の交錯発生メカニズムについて多角的な視点から分析を行った。

今後の課題として、より交通量の多い状況でも適用可能な行動モデルおよび交錯評価手法の開発が求められる。

参考文献

- 浅野美帆、井料隆雅、桑原雅夫：交通容量評価のためのミクロ歩行者行動モデル、交通工学、Vol.43、No.4、pp.80-89、2008。

（2026 年 2 月 4 日提出）