

自転車と左折自動車の交錯を考慮した交差点整備方式の評価

－マルチエージェント・シミュレーションを用いて－

Evaluation of Measures to Alleviate Conflicts between Bicycles and Left-turning Cars in Intersections

－Using Multi-agent Simulation－

東京大学工学部都市工学科 03120113 小川 倫

In Japan, many bicycles are passing on sidewalk, but movement to redefine bicycle as vehicle and develop a network of bicycle lanes on roadways has been active recently. However, there is a problem of conflicts between bicycles and left-turning cars in intersections if bicycles pass on roadways, so measures to solve the problem are needed. In this study, I selected three measures to solve the problem, made multi-agent simulation models which express them, and suggested which measure to apply under various conditions of traffic volumes.

1. 研究の背景・目的・手法

自転車は軽車両であり車道通行が原則であるにもかかわらず、現状の日本では多くの自転車が歩道を通行している。それによって、歩行者と自転車の接触事故など多くの問題が発生している。

一方、2011年に国土交通省が自転車の車道通行を前提とした自転車走行空間設計指針¹⁾を公表するなど、車道上に自転車走行空間を確保しようとする動きが活発に見られるようになってきている。今後、自転車の車道通行を整備していくにあたり、交差点は自転車の動線と自動車の動線が交差する唯一の場所であり、ここの処理が自転車ネットワークの連続性を確保する上で極めて重要であると考えられる。

しかし、現状の整備方式では自転車と左折車の交錯が多く起きていると考えられる。自転車と左折車の交錯を避けるための交差点整備方式は、日本にはあまり例がないが海外にはいくつか存在する。それらの方式のうちどれを採用すべきかは、交通条件、とくに交通量に大きく左右されると思われる。しかし、交通量という観点から交差点の整備形態を論じた研究は少なくとも我が国においては存在せず、具体的な基準は明確ではない。

そこで本研究は、任意の交通量を与えられたときどのような方式で交差点を整備すべきかを明らかにすることを目的とする。

研究の方針として、2章で現状の交差点の観測調査を行い、現状起きている交錯を確認する。3章で検討すべき交差点整備方式を整理する。4章でそれぞれの整備方式を、シミュレーションを用いて再現する。最後に5章で現状の千石一丁目の交通条件や、その他様々な交通条件を設定してシミュレーションを実行し、どの整備方式が最適であるかを探る。

2. 分析対象交差点の状況

千石一丁目交差点（東京都文京区）は先述した自転車走行空間設計指針に沿った整備が完了している数少ない例であり、ここでビデオ観測による調査を行った（2013年10月30日8:15～9:15、近隣のビルの外階段より撮影）。この交差点の自転車レーンは図1のように、自転車レーンを直接交差点に接続する形で整備されている。車線は、第1車線は左折・直進兼用、第2・第3車線は直進専用、第4車線は右折専用の計4車線である。交差点に北から侵入する直進・左折車両およびその車両の左折時に干渉する歩行者について観測した。

交通量は、自転車 199 台/h、左折車 141 台/h、直進車 1201 台/h、歩行者 425 人/h（往復平均）であった。

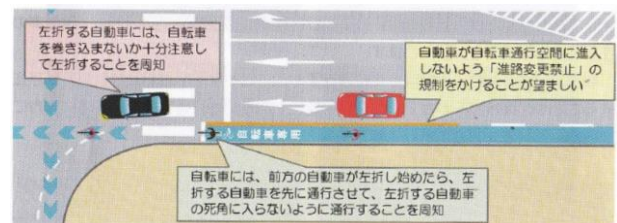


図1 千石一丁目交差点の整備方式

出典：参考文献2)

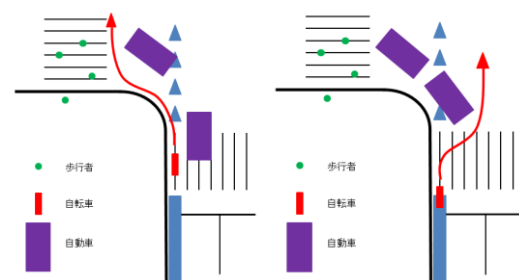


図2 千石一丁目交差点で観測された自転車と左折自動車の危険な交錯の例（水色部分は自転車レーン）

観測の結果、自転車のおよそ2割が、図2に示すような左折自動車との危険な交錯を起こしていることが分かった。これらの交錯は、歩行者と左折車の交通量の多さが原因と考えられ、改善策の検討が必要である。

3. 検討すべき交差点整備方式の紹介

欧米の事例などを検証した結果、本研究では以下の3種類の整備方式を検討する。

3.1 「混在」方式

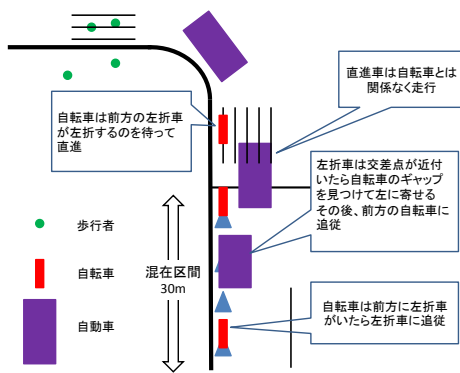


図3 「混在」方式

図3のように、停止線手前30mを混在区間と設定し、その区間では自転車・左折車は互いに追い抜かないとするルールを設定することで、自転車と左折車の交錯を防ぐものである。ルールが比較的単純であり、整備のコストもあまりかからないため導入しやすいと考えられる。

一方で、交通量が多い場合は、図4のように自転車と左折車の滞留長が混在区間を越えることもあり得る。このとき、図の赤丸で示した自転車と左折車のどちらが先に混在区間に侵入すべきか明確ではなく、混乱が生じる可能性がある。よってこの状況をこの方式における「交錯」と定義する。この定義は後に整備方式の評価をする際に用いる。

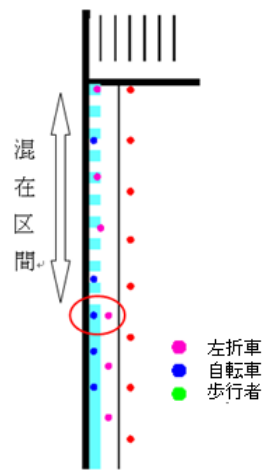


図4

「混在」における「交錯」

3.2 「分離」方式

図5のように、左折車専用信号と自転車専用信号を設置してそれぞれ信号現示を分離することによって交錯を

防ぐ方式である。信号現示で完全に分離するので、最も安全と考えられる。一方で、信号現示を分けるので青時間が短くなり遅れ時間が増える、信号設置のためのコストがかかるなどの短所がある。

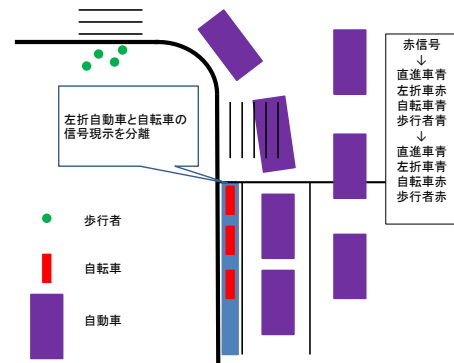


図5 「分離」方式

3.3 「交差」方式

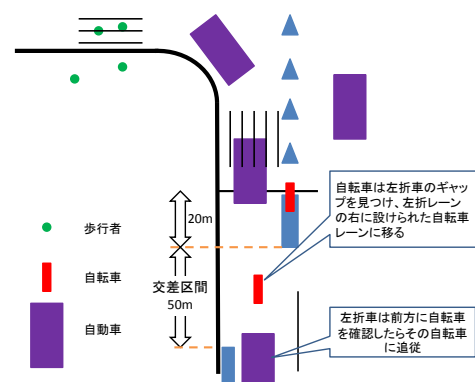


図6 「交差」方式

図6のように、停止線手前20m~70mを交差区間と設定し、その区間で自転車と左折車の位置を入れ替える方式である。歩行者によって左折車の渋滞が起きても自転車の通行に影響しないというメリットがある。一方、自転車に自動車の前を横切ってレーンに移るといったやや難しい行動を強いるため、導入にはやや抵抗があると思われる。

また、交通量が多いときには、図7のように滞留長が交差区間を越えてしまい、レーンを移れない車両が発生する

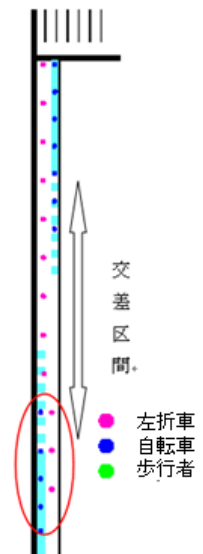


図7

「交差」における「交錯」

可能性がある。この状況を好ましくないものと判断し、この方式における「交錯」と定義する。「混在」方式における交錯と同様、この定義は後の評価で用いる。

4. シミュレーションの構成

本研究では、前節で紹介した3種類の整備方式と現状の千石一丁目交差点の整備方式に対応する4種類のシミュレーションを構成した。以下、その概要について記す。

本研究では、構造計画研究所が開発した *artisoc* を用いてマルチエージェント・シミュレーションモデルを構築する。マルチエージェント・シミュレーションとは、空間上に各自のルールに従って自律的に行動するエージェントを配置し、その相互作用を観察するものである。今回の場合、空間として交差点を、エージェントとして自動車・自転車・歩行者を配置する。

基本的なルールとして、各エージェントは1ステップ(0.1秒に対応)ごとに自分や周囲のエージェント位置、信号現示などを確認し、進行方向や速度を決定する。例えば、自動車や自転車は基本的には、自由走行、停止線停止、前方車に追従のうちいずれかを選択する。左折車は、横断歩道上一定の範囲に歩行者がいれば横断歩道上で停止する。

この基本ルールに加え、以下のように4種類の整備方式それぞれに対応したルールを加えることで、4種類のシミュレーションを構成した。

「現状」モデル：自転車が、交差点内で歩行者を待つ左折車を認知した際、その左折車を回避するルール（「現状」モデルにおける「交錯」）

「混在」モデル：混在区間内で自転車と左折車が互いに追い抜かないルール

「分離」モデル：自転車専用信号と左折車専用信号を導入し、自転車と左折車はそれぞれの信号に従うルール

「交差」モデル：交差点区間内で左折車は前方にレーンに移っている自転車を発見したらその自転車を負い抜かず、自転車は左折車のギャップを見つけて右に移るルール

各エージェントの速度、加速度などのパラメータは、ビデオ観測画像から直接測定し、正規分布で与えた。

飽和交通流率、車両の旅行時間、「現状」モデルにおける交錯回数という3種類の指標についてビデオ観測画像とシミュレーションを比較し、シミュレーションが現実をよく再現していることを確認した。歩行者が信号を横断する判断基準や左折車が歩行者を待つ判断基準などを調整することで、再現性が改善することが確認された。

5. 各整備方式の評価

5.1 千石一丁目交差点での各整備方式の評価

ビデオ観測の時間とほぼ同じ交通条件を設定し、4種類のシミュレーションを実行した。具体的には以下の条件である。

- ・ 第1車線の自動車、自転車については実際と同じ到着時刻分布、第2・第3車線の自動車、歩行者については信号サイクルごとに平均の交通量を与える。
- ・ 「分離」と「交差」については第1車線が左折専用となるため、第1車線の直進車を第2、第3車線にふりわける。
- ・ 信号サイクル、車両青時間は実際と同じ、歩行者青時間は5、10、15、20秒の4通りを計測し、最も遅れ時間の小さいものを採用。
- ・ それぞれの交通量パターンについて10回ずつシミュレーションを実行し、交錯率や遅れ時間はその平均をとる。

評価指標として、交錯率と遅れ時間を用いる。交錯率は交錯を起こした車両の割合、遅れ時間は信号や他エージェントが存在しないと仮定した場合の旅行時間と実際の旅行時間の差である。

まず、各方式の交錯率を示したのが表1である。「現状」と「混在」では共に15%以上の車両が交錯を起こしており、これらの方式は不適であると判断した。

表1 各方式の交錯率

現状	混在	分離	交差
0.17	0.15	-	0.00

続いて、各方式における交差点遅れ時間を示す。

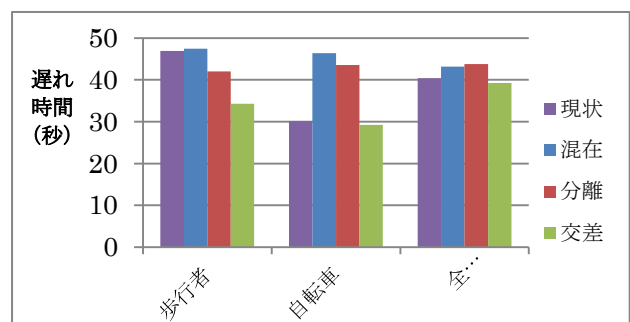


図8 エージェント別平均遅れ時間

「現状」と「混在」は交錯の多さにより不適としたので、「分離」と「交差」に注目する。全エージェントの遅れ時間は両方式で大差ない。しかし、歩行者や自転車の

遅れ時間には大きな差がある。「交差」方式は導入にやや抵抗があるが、歩行者や自転車の利便性を重視するならば「交差」方式を導入することも考えられるだろう。

5. 2 様々な交通量パターンでの各整備方式評価

続いて、様々な交通量パターンでシミュレーションを実行し、それぞれの場合にどの整備方式が最適であるかを調べる。以下の条件でシミュレーションを実行した。

- ・ 実験した交通量パターンは以下の通り。
 自転車：50 台/h、100 台/h、200 台/h、300 台/h
 左折車：50 台/h、100 台/h、200 台/h
 歩行者：50 人/h、100 人/h、200 人/h、400 人/h
- ・ 信号サイクルは120秒、車両青時間は50秒で固定。歩行者青時間は30秒と40秒の2つの場合を計測し、交錯率が0.05を超えておらずかつ遅れ時間が小さい方を採用。
- ・ 自動車については直進車は考えず、第1車線左折車のみ発生。
- ・ それぞれの交通量パターンについて5回ずつ実行し、交錯率や遅れ時間はその平均をとる。

交錯率が0.05を超える場合、無視できない割合で交錯が起きていると考え、不適とした。

シミュレーションを実行した結果を表2に示す。おおよそ次のような知見が得られた。

「現状」方式は、左折車や歩行者の交通量が共に少ないときでない限り、多く交錯を起こし適切ではない。そうでないときは、遅れ時間は「混在」とほぼ差が無い。

「混在」方式は、左折車交通量が多くなると交錯率が高くなるが、「現状」に比べ交錯を起こしにくい。交錯が

少ないときの遅れ時間は「現状」や「交差」と大差ない。

「分離」方式はほとんどの交通量パターンにおいて遅れ時間が他の方式と比べ大きい、歩行者交通量や左折車交通量が非常に多いときは他の方式との差が小さい。

「交差」方式はこの範囲の交通量ではほぼ交錯を起こさず、ほとんどの場合において遅れ時間が他の方式と比べ小さい。とくに左折車交通量が多いときに遅れ時間を大きく短縮できる。

交通量別に採用する整備方式を決定することを考える。遅れ時間や交錯率だけでなく、「交差」で自転車がレーンに移ることの抵抗や、「分離」の信号設置コストなども考慮に入れなければならない。「混在」を基本と考え、「混在」では交錯が起き不適な場合に、遅れ時間を大きく短縮できるなら「交差」、安全性を重視するなら「分離」と使い分けるのが望ましいだろう。

6. 今後の課題

遅れ時間や交錯率以外の指標（例えば「交差」で自転車を感じる危険、「分離」の信号設置コストなど）を定量的に評価すること、各整備方式についてルール通りの運用をするための工夫を検討することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 国土交通省、警察庁：安全で快適な自転車利用創出ガイドライン，2012.
- 2) 日本道路協会：自転車利用環境整備のためのキーワード，丸善，2013.
- 3) 山影進：人工社会構築指南，書籍工房早山，2007.

表2 各交通量パターンにおける各整備方式の平均遅れ時間

(左から「現状」、「混在」、「分離」、「交差」。色が濃いほど遅れ時間が大きいことを表す。赤字は交錯率0.05以上を表す)

自転車交通量		歩行者交通量(人/h)																
		50				100				200				400				
左折車交通量(台/h)	50	25.6	26.2	33.1	24.7	26.7	27.1	31.5	27.2	33.8	29.1	31.8	28.9	30	30.4	31.5	30	
	100	26.4	28.1	39.2	25.3	27.5	29.2	39.4	27	29.2	29.6	36.8	28.8	30.7	32	35.8	31.2	
	200	27.3	30.2	44.4	30	29.9	32.4	45	31	31.9	35.9	42.6	34	35.4	40.4	41.6	37.3	
自転車交通量		歩行者交通量(人/h)																
左折車交通量(台/h)	100	50				100				200				400				
	50	26.8	28.4	35.1	25.2	26.8	27.1	33	26.9	28.9	28.7	30.5	28.4	30.3	31.7	31.5	30.4	
	100	26.3	27	37.6	25.8	29.2	29.6	38.4	28.4	27.8	30.6	37.4	28.9	29.8	38.1	34.8	30.4	
左折車交通量(台/h)	200	28.4	30.2	45.2	28.3	30.7	33.7	43.7	30.5	31.7	37.5	42.5	33.3	35.7	42.2	42.3	39.6	
	自転車交通量		歩行者交通量(人/h)															
	左折車交通量(台/h)	200	50				100				200				400			
50		29.3	29.3	34.4	28	28.8	29.5	33.2	27.8	29.1	28.6	32.1	28.8	30.2	31.2	31.5	30.4	
100		28.5	29.3	39.6	26.8	28.8	30	38.9	27.8	30	36.1	38.9	29.4	31.4	34	35	31.7	
左折車交通量(台/h)	200	30.4	34.8	45.1	29.2	32.6	36.9	41.8	31.2	34.3	36.9	42.6	32.4	37.4	45.3	42	38.6	
	自転車交通量		歩行者交通量(人/h)															
	左折車交通量(台/h)	300	50				100				200				400			
50		29.2	29.1	35.8	28.4	28.7	29.3	33.9	29.3	32.7	30.3	32.7	30.1	30.3	31.1	31.1	30	
100		29.7	30.9	39.7	28.4	30.3	30.8	38	28.8	30	33.1	36	28.9	32.3	37.6	35.4	31.3	
左折車交通量(台/h)	200	32.7	36.8	44.6	29.1	33.4	40.1	44.5	30.7	35.1	44.1	43.4	33.5	38.2	48	42.7	35.2	