

# 11. マルチエージェントモデルによる障害物を考慮した自転車歩行者道の評価

## Evaluation of the bicycle-walk ways with obstacles by multi-agent models

東京大学工学部都市工学科 40139 西川 悟史

In recent years, bicycles are recognized as eco-friendly travel modes and policies promoting bicycle-use has been widely adopted. However, since there are few roads where cycling roads are provided, conflicts between bicycles and pedestrians often occur in bicycle-walk ways. In this study, multi-agent models were developed to evaluate bicycle-walk ways. It was examined how different densities of illegally-parked bicycles and obstacles affect traffic flow of pedestrians and bicycles. The simulation results showed that the comfort and safety measures decreased with the increase in the density of illegally-parked bicycles until a certain threshold.

### 1. 研究の背景・目的と研究手法

昨今、京都議定書の発効に伴う CO<sub>2</sub> の削減や渋滞解消の社会的要請から、国土交通省は交通需要マネジメントの一環として自転車を見直し、都市内で快適かつ安全な自転車道ネットワークを整備し、日常的な都市交通手段としての自転車への転換を図っている。しかし、自転車は車道と歩道の両方を走ることができ、それに伴い自転車と歩行者が同じ空間を走行し、また街路樹や違法駐輪、屋外広告物のためにしばしば危険な状況も見受けられる。そこで、この研究では障害物を置いた場合のシミュレーションプログラムの構築と、歩行者や自転車が同時に歩道上を通行する際に障害物の置き方によってどのような影響を受けるかシミュレーションを用いて実験を行い、歩道空間のあり方を考察する。

### 2. 既存研究のレビュー

本研究ではシミュレーションの作成において既存研究を利用する。

マルチエージェントを用いた自転車・歩行者の挙動に関する分析は杉谷(2005)によって行われており、今回はそのプログラムに新たに障害物(路上駐輪や看板など)を加えたものとした。

マルチエージェントシミュレーションとは、対象物の挙動をモデル化し、その集合体として交通現象を再現するマイクロモデルのひとつである。本

来のマルチエージェントシミュレーションを使った研究では、歩行者のモデル化、および歩行者が横断歩道を通行するシミュレーションがあり、本研究ではこのシミュレーションを、歩行者と自転車、及び障害物の3つのエージェント発生するように改良している。

### 3. 歩行者自転車道の観測・調査

自転車通行可の歩道では、歩行者と自転車が物理的に分離していない空間を通行する。今回は論文の目的を考え、センターラインなどで分離のされていない歩道を対象とする。

シミュレーションでは、歩行者と自転車が同じ空間を通行し、幅が一定で障害物が存在する。今回の研究ではそれに当てはまる次の3つの区間について調査を行った。

- ① 本郷通り (東京メトロ本郷三丁目駅出入口)
- ② 白山通り (都営地下鉄春日駅上)
- ③ 外堀通り (東京ドームシティー南側)

調査の方法は、固定ビデオカメラによる一定区間の撮影観測である。その映像から自転車・歩行者それぞれの通行量および方向、速度の平均・分散、回避・追い越しの回数を得る。測定時間は10分間とした。その結果は次のようになった。

《歩行者について》

- ①本郷通り 2005/12/6 AM10:10~10:20

のべ人数 北行き 133人 南行き 63人

平均速度 約 4.10km/h 分散 0.45

②白山通り 2005/11/25 PM0:30~0:40  
 のべ人数 北行き 109人 南行き 133人  
 平均速度 約 3.73km/h 分散 0.51

③外堀通り 2005/11/29 AM10:00~10:20  
 のべ人数 東行き 37人 西行き 26人  
 平均速度 約 4.29km/h 分散 0.57

本郷通りは駅の入り口であったために上り下りの差が大きいが、今回は白山通りの設定でシミュレーションを行うので、上下比を1:1としておく。シミュレーションに組み込むデータは『平均速度 4.04km/h』と『分散値 0.51』とする。

《自転車について》

①本郷通り 平均速度 4.16km/h 分散 0.49  
 ②白山通り 平均速度 9.22km/h 分散 3.03  
 ③外堀通り 平均速度 9.82km/h 分散 1.93

本郷通りに関しては、混雑のためデータとしては採用しない。シミュレーションに組み込むデータは『平均速度 9.5km/h』と『分散値 2.42』とする。

#### 4. シミュレーションの作成

シミュレーション作成にあたっては、既存研究と観測結果のほかに『オブジェクトのモデル化』と『認知空間』を設定する。各オブジェクトのモデル化については、図1のように行う。また、いつエージェントが前方のオブジェクトを認知し始める距離を表1のように設定した。

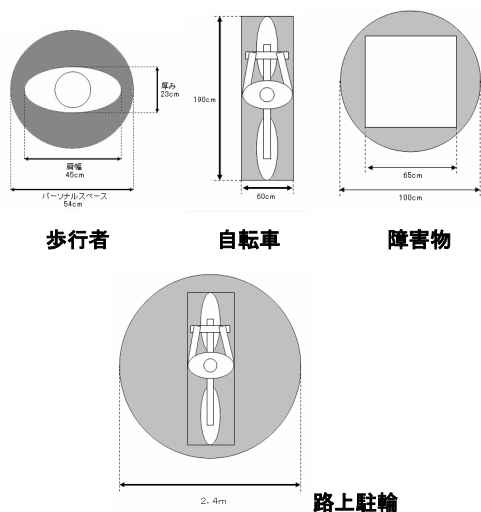


図1 オブジェクトのモデル化

表1 オブジェクト認知距離

歩行者	歩行者	3m
	自転車	8m
	障害物	3m
自転車	歩行者	15m
	自転車	25m
	歩行者	15m

これらのデータをもとに、次の4つの判断基準を設けて次に起こす行動を決定する。

1. 最近接歩行者・自転車があるかないか、またその進行方向は自分と同方向か逆方向か。
2. 相手の速度は自分より速いか遅いか。
3. 他のエージェントまでの距離が認知する範囲内かどうか。
4. 複数のエージェントが存在するとき、近い順番にどうなっているか。

そこで、白山通りで得られたデータを入力してシミュレーションすると、表2・3のようになった。

表2 白山通り・歩行者の行動パターン集計

歩行者を回避	10532	16.10%
自転車を回避	1992	3.04%
自由歩行	28759	43.95%
障害物の後ろで待つ	1703	2.60%
障害物を回避	9263	14.16%
速度を落とさずに歩行者に追従	335	0.51%
速度を落として歩行者に追従	7161	10.94%
歩行者を追い越し	5686	8.69%
合計	65431	100.00%

表3 白山通り・自転車の行動パターン集計

自転車に追従	990	9.22%
自転車を回避	117	1.09%
自転車を追い越し	4	0.04%
自由走行	1933	18.01%
障害物の後ろで待つ	2325	21.66%
障害物を回避	539	5.02%
速度を落として自転車に追従	253	2.36%
速度を落として歩行者に追従	1263	11.77%
歩行者に追従	4	0.04%
歩行者を回避	2679	24.96%
歩行者を追い越し	626	5.83%
合計	10733	100.00%

また、現状との比較を行うと表4のようになり、よく整合していることが分かる。

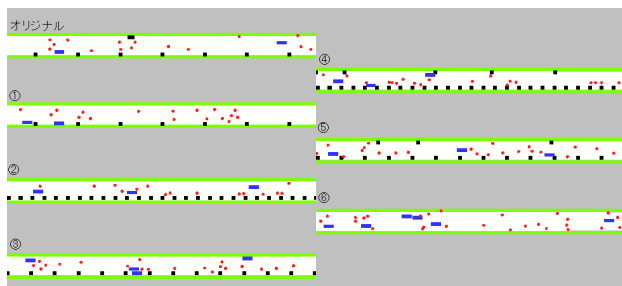
**表4 実測値とシミュレーション結果の比較**

集計事項	実測に基づく入力数値	シミュレーションの結果
歩行者速度平均	4.04	3.81
歩行者速度分散	0.51	0.574
自転車速度平均	9.0	8.806
自転車速度分散	2.42	2.517

**5. 条件を変更した場合のシミュレーション**

歩行者・自転車の発生確率や歩道を白山通りのものに一致させた上で、図2のような障害物の置き方を設定して4分間のシミュレーションを行った。

- オリジナル 街路樹を置き、看板広告もランダムに発生
- ① 路上駐輪・路上看板の全くない状態(街路樹はある)
  - ② 路上駐輪が道の片側に連なって置かれている状態(看板はない)
  - ③ 路上駐輪が②の半分程度の場合(看板はない)
  - ④ 路上駐輪が道の片側に連なって置かれており、看板もある場合
  - ⑤ 路上駐輪が②の半分程度で、看板もある場合。
  - ⑥ 路上駐輪・看板・街路樹などが一切がない状態



【この図において、●は歩行者、■は自転車。】

**図2 各パターンの障害物の配置**

このシミュレーションを行った結果が表5である。

**表5 障害物の配置状態を変えたときの結果**

	オリジナル	①	②	③	④	⑤	⑥
歩行者速度平均	3.59	3.77	3.55	3.57	3.32	3.60	3.77
歩行者速度分散	2.23	1.70	2.65	1.91	3.32	2.44	1.38
自転車速度平均	8.61	8.73	7.59	7.66	7.17	6.94	9.94
自転車速度分散	30.4	31.1	27.2	27.2	23.8	21.6	33.9

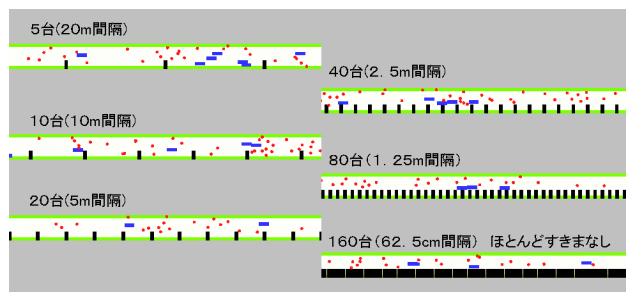
また各挙動の割合は次のような結果になった。障害物の有無について歩行者では障害物が減少することによって「自由歩行」「障害物回避」「速度を落として歩行者に追従」の3項目がやや改善し、特に悪化の傾向が見られたものはなく、その他の項目は有意な差が得られなかった。自転車は、

11項目のいずれにおいても改善および悪化の傾向は見られなかった。また、道路上の占有面積も有意といえる差ではなかった。結局、障害物の有無による歩行環境はこのケース設定の範囲では明確な差はない。ただし、道幅などの設定を変更することで差が現れると考えられる。

一方、路上駐輪に関しては密度が少なくなるにつれ通行環境に大きな差が出た。その中で、歩行者・自転車に関しては、数値を見ると、障害物の数が「少」と「中」と「多」では「少」から「中」の上がり方に比べて「中」から「多」の上がり方が極端に多い項目が多い。そのため、歩行空間の快適性と駐輪場所の確保とのバランスを検討する必要がある。

**6. 駐輪の密度を変化させたときの結果**

歩行者や自転車の量、道幅などは変更せず、道路の片側に並ぶ自転車の密度を図3のように100mの区間に置く台数を5台～160台の間を2倍刻みで変化させ、歩行者や自転車の挙動を調べる。観測時間は歩行開始60秒から300秒までの4分間とする。



【この図において、●は歩行者、■は自転車。】

**図3 各パターンの障害物の配置**

このシミュレーション結果が次の表6である。

**表6 路上駐輪の密度を変えたときの結果**

	5台	10台	20台	40台	80台	160台
歩行者速度平均	3.74	3.72	3.78	3.66	3.50	3.49
歩行者速度分散	1.45	1.61	1.53	1.68	1.97	1.68
自転車速度平均	8.89	7.85	7.02	7.18	7.17	6.68
自転車速度分散	28.7	28.0	23.5	25.3	24.9	18.5

台数による比較を行うと、歩行者は80台、自転車は20台をピークに走行環境が最も悪くなっている。

また、歩行者の挙動では「自由歩行」と「速度を落として歩行者に追従」、「路上駐輪を回避」「路上駐輪の後ろで待つ」の4項目で台数が増えるごとに明らかな悪化傾向が見られるが、そのいずれも40～80台でとどまった。自転車の挙動について見てみると、駐輪が増えるに従って「路上駐輪を回避」する行動が増えているものの「速度を落として歩行者に追従」などの項目は減少傾向にある。「歩行者を追い越し」は40台のときに増加のピークを迎え、「自転車に追従」「速度を落として自転車に追従」は10台がピークである。これは、通行しにくさを規定する要因として、通行空間の凹凸の要素と道幅の要素の2つがあるが、そのうち凹凸の要素のほうが影響が大きいことが分かる。

## 7. 駐輪の置き方を変えたときの結果

前章での設定において、同じ台数でも置き方が変わると通行状態に影響が出るのではないかとということが想像できる。そこで、図4のように路上駐輪の置き方を変え、通行状態の変化を見る。

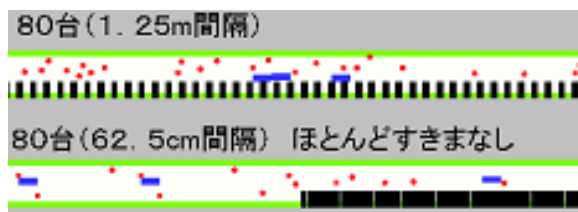


図4 路上駐輪のおき方の変更設定

この2つの結果を比較すると次のようになる。

表7 置き方を変えたときの結果

置き方	等間隔	詰めて置く
歩行者平均速度	3.50	3.74
歩行者速度分散	1.97	1.67
自転車平均速度	7.17	7.50
自転車速度分散	24.9	25.5

挙動分析を見ると、歩行者・自転車ともに自由走行の割合が多くなり、障害物を回避する割合が少なくなり、平均速度が上がって密度が大幅に減るなど、等間隔に置くよりも詰めて置いたほうが走行環境がよいことが分かる。

## 8. まとめと今後の課題

路上での観察及び障害物を置いた場合のシミュレーションから分かった歩道の通行環境の変化について、今回のシミュレーションでは障害物を「路上駐輪や街路樹など」と「その反対側の路上に置かれている看板」の2種類に分けて考えた。障害物の有無は歩行者にも自転車にも快適性という意味では今回の設定において優位な差を得ることができなかったが、道幅の狭い歩道においては大きな影響が出てくるだろうし、道幅の広い歩道ではさらに別の歩道の使い方を提案できる可能性があることが分かった。

一方、路上駐輪についてはもちろんあるよりはない方が望ましいのだが、これまでも述べた「社会的要請」から駐輪場を設置せざるをえなくなった場合、路上の一部を連続的に削って駐輪場とすることを認めてもよいだろう。ただし、このような駐輪場の設置が可能なのは道幅がある程度広い道路に限られ、もともと2～3m程度しか道幅のない歩道では実現不可能である。こういう条件では駐輪場用地を別に確保するのが最善の策となるが、それもできない場合に車道を削ることができるのか、といった道路構造令にかかわる部分まで論議をすることもできるだろう。

今後の課題としては、道路の起伏や曲線、道の途中からのオブジェクトの発生、個人の細かい設定といった、より実際の歩道に近付けるプログラムの開発が必要であろう。また、安全性の評価基準についても、今回は速度と挙動回数、路面密度の割合で行ったが、別の評価基準も考えられる。

## 主要参考文献

杉谷 芳宏「マルチエージェントシミュレーションによる歩行者と自転車の挙動分析」(2005)  
 東京大学工学部都市工学科卒業論文

※本研究では、東京大学大学院新領域創成科学研究科の吉村研究室で開発されているシミュレーションを元に研究をすすめました。プログラムのご提供及びご指導をいただいた博士課程の藤井秀樹さんに感謝いたします。