

新谷栄朗**・杉谷亮太***・大枝良直****・角知憲*****

By Hideaki SHINTANI**・Ryouta SUGITANI***・Yoshinao OEDA****・Tomonori SUMI*****

1. はじめに

1978年の道路交通法改正から自転車の「歩道通行可」が盛り込まれて以来、自転車利用者の死亡者数が減じたが、一方で歩道では歩行者が自転車により危険にさらされるという状況が起きた。しかし現在、歩道の自転車通行に関する整備が進んでおらず、その状況が改善されていない。原因として、現状の道路構造に自転車道等を入れる余裕がないこと以外にも、歩道における自転車交通の影響、および改善策の効果を把握できていないことが挙げられる。

そこで本研究は、自転車通行を考慮した歩道整備および自転車道設計を行うための足掛かりとして、公共空間における歩行者・自転車の基本的な行動を、人が自分の周囲に他者の存在をどこまで許容するかというパーソナルスペースの概念を用いてモデル化し、歩行者・自転車混合交通をシミュレーションにより再現することを目的とする。

2. 既存研究との位置づけ

現在まで、交通を再現する様々なモデルが提案されている。例えば歩行者同士を質点として捉え、衝突や回避等に注目するモデルが開発されている。このモデルは、個人の時々刻々の速度や位置を目的地や周囲の人々や障害物などがもたらす作用の集積として表す個体モデルである。和田(1998)¹⁾、岡田(2004)²⁾は歩行者にポテンシャルをもつ歩行可能速度ベクトル領域を考えることによってモデルを構成する。濱上(2003)³⁾は空間をセルに分割して、個人は周囲のセルの状態に応じて行動するマルチエージェントによる群集流のシミュレーションを行った。これらのモデルでは群

集流について緻密な計算が行われているが、計算の量が膨大になってしまうという問題がある。また、これらのモデルは理論のみにより構築されており、人間の行動のばらつきについては考慮できない。

そこで、本モデルは劉(2006)⁴⁾が作成した歩行者交通モデルを拡張し、歩行者・自転車の挙動をパーソナルスペースで表現している点に特徴がある。このモデルは回避行動をパーソナルスペースの接触分で表現している。パーソナルスペース以上の領域では相互作用を考慮する必要が無く、計算量を減少させることができる。さらにパーソナルスペースは実験を行うことで、容易に測定でき、人の行動特性を組み込むことができる。

3. 歩行・走行行動の基本構成

(1) パーソナルスペースの構成と行動の記述

著者らがこれまで作成を試みてきた自転車・歩行者行動モデルは人のまわりにパーソナルスペース(以下PS)と呼ばれる目に見えない空間を想定する。本研究で用いるPSは、前方が長く、横、背後が短いという卵型の空間(PS)が存在する(図-1)のような長軸長 a 、短軸長 b の卵型の空間(PS)が存在すると仮定し、次のように行動を記述する。

それぞれPSを持つ2つの交通主体(歩行者・自転車)が接近し、互いのPSが接触しようとするれば、2つのいずれか、もしくは両者が、経路を変えてPSを維持する。また、密度が大きくなって、どう経路を選択しても初期のPSが維持できなくなることがある。その場合、交通主体はPSを短縮して、同時に速度を減少させる。PSが交通主体の寸法ぎりぎりまで短縮した場合には、速度はゼロとなって停止するとしたものである。図-2に交通主体の行動のフローチャートを示す。

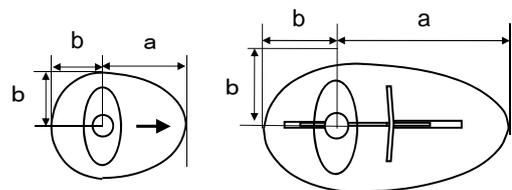


図-1 歩行者(左)・自転車(右)のパーソナルスペースの概略図

*キーワード: 歩行者・自転車交通計画

**学生員, 工修, 九州大学大学院工学府
(福岡県福岡市西区元岡 744, TEL092-802-3403)

***学生員, 工修, 九州大学大学院工学府
(福岡県福岡市西区元岡 744, TEL092-802-3403)

****正員, 工博, 九州大学大学院工学府
(福岡県福岡市西区元岡 744, TEL092-802-3406)

*****正員, 工博, 九州大学大学院工学府
(福岡県福岡市西区元岡 744, TEL092-802-3405)

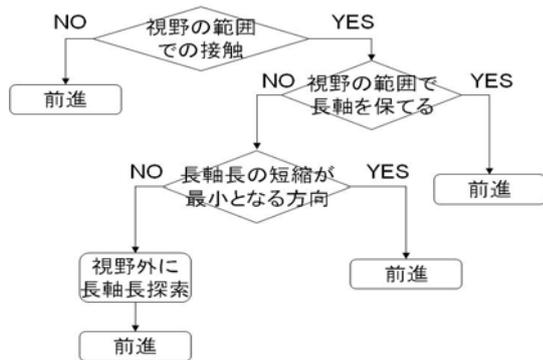


図-2 交通主体の行動方法

(2) パーソナルスペースの測定

歩行者のPSについて部分的に劉 (2007) ⁴⁾ による研究のデータを引用する. 今回行った実験では20代の男女12人を自転車・歩行者として, 下記に記す条件下でビデオカメラを用い, 4階の高さから撮影し, それぞれの場合における前方距離, 側方距離 (図-3) を1パターン30回, 合計9パターン270回測定した.

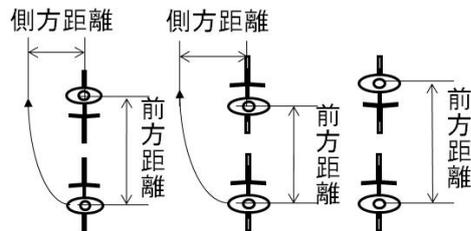


図-3 実験 (すれ違い, 追い越し, 速度低下)

a) 自転車-自転車 (3パターン)

自転車同士 (片方の自転車は直進のみ) の①すれ違い, ②追い越し時の前方距離および側方距離を測定した. また, ③自転車同士を正面から接近させ, 停止させる実験を行い, 前方距離と速度低下の関係を調べた.

b) 自転車-歩行者 (4パターン)

自転車対歩行者 (歩行者は直進のみ) ・歩行者対自転車 (自転車は直進のみ) の①②すれ違い, ③追い越し (自転車のみ) 時の前方距離および側方距離を測定した. また (1) と同様④自転車・歩行者の前方距離と速度低下の関係を調べた.

c) 自転車-障害物 (2パターン)

自転車が①障害物を回避する場合の前方距離および側方距離を測定した. また, ②自転車を障害物の前で停止させ, 前方距離と速度低下の関係を調べた.

(3) 測定結果

表-1は測定実験により得られた前方距離, 側方距離のデータである. また, 図-4, 5, 6は自転車対自転車, 自転車対歩行者, 自転車対障害物の前方距離と速度の関係を表したグラフである. 測定実験の結果より歩行者・自転車のパーソナルスペースのデータが次の表-2, 3のように得られた. ここで歩行者対歩行者, 歩行者対障害物のデータは劉 (2007) ⁴⁾ のデータを引用した.

表-1 前方距離・側方距離の測定結果

| | | | | 平均値(m) | 標準偏差 |
|-----|------|------|------|--------|------|
| 自転車 | 対障害物 | 回避 | 前方距離 | 5.98 | 1.44 |
| | | 回避 | 側方距離 | 0.83 | 0.22 |
| | 対自転車 | すれ違い | 前方距離 | 12.28 | 1.77 |
| | | すれ違い | 側方距離 | 1.20 | 0.28 |
| | 対歩行者 | すれ違い | 前方距離 | 3.75 | 0.62 |
| | | すれ違い | 側方距離 | 1.18 | 0.22 |
| 歩行者 | 対自転車 | すれ違い | 前方距離 | 8.70 | 1.40 |
| | | すれ違い | 側方距離 | 1.26 | 0.24 |
| | | 追い越し | 前方距離 | 5.06 | 1.27 |
| | | 追い越し | 側方距離 | 1.18 | 0.19 |
| | | | 前方距離 | 10.37 | 2.41 |
| | | | 側方距離 | 0.93 | 0.16 |

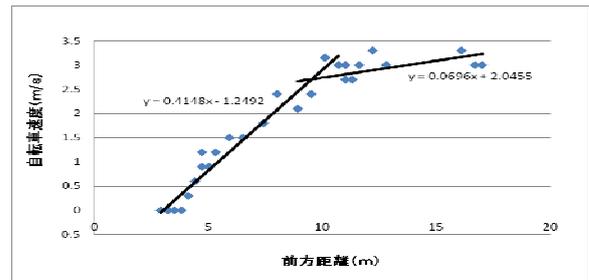


図-4 自転車対自転車 前方距離と自転車速度の関係

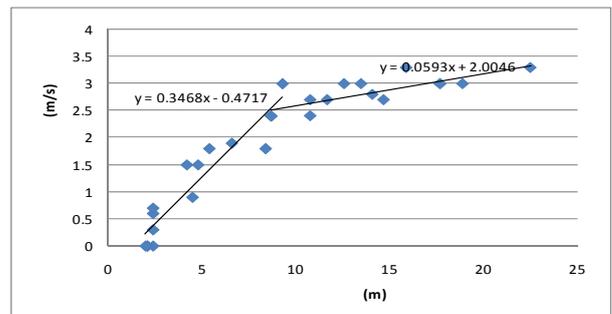


図-5 自転車対歩行者 前方距離と自転車速度の関係

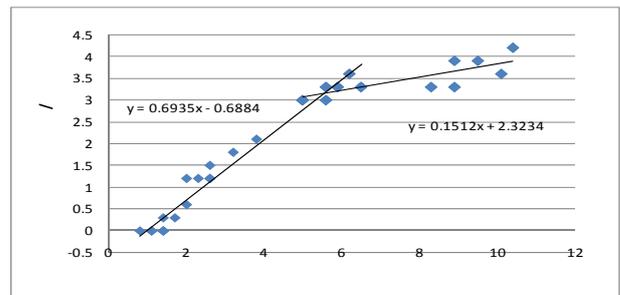


図-6 自転車対障害物 前方距離と自転車速度の関係

表-2 自転車のパーソナルスペースの長軸・短軸

| 対象 | 方向 | 長軸(m) | 短軸(m) |
|------|------|-------|-------|
| 対自転車 | 対向方向 | 6.09 | 0.6 |
| | 同方向 | 3.16 | 0.59 |
| 対歩行者 | 対向方向 | 5.7 | 0.98 |
| | 同方向 | 4.65 | 0.77 |
| 対障害物 | 回避 | 5.98 | 0.83 |

表-3 歩行者のパーソナルスペースの長軸・短軸

| 対象 | 方向 | 長軸(m) | 短軸(m) |
|------|------|-------|-------|
| 対自転車 | 対向方向 | 4.28 | 0.33 |
| 対歩行者 | 対向方向 | 3 | 0.42 |
| | 同方向 | 1.5 | 0.41 |
| 対障害物 | 回避 | 2.8 | 0.5 |

4. 自転車の行動における長軸・短軸の差異の検定

(1) 避ける対象による長軸・短軸の変化

a) すれ違いの場合

帰無仮説：「すれ違いの場合において自転車のPSの長軸（短軸）は避ける対象が変化しても平均値は等しい」という仮説をたて、危険率5%でt検定を行った。長軸に関してはすべての対象において仮説が採択された。短軸に関しては対歩行者と対障害物では仮説は採択されるが、対自転車では仮説は棄却された（表-4）。

以上よりPSのモデルではすれ違いの場合において自転車の長軸は避ける対象による変化はないものと考え、短軸については対自転車の短軸とそれ以外の場合の短軸とで分ける方法が必要であると考えられる。

表-4 AとBの長軸・短軸データを用いたt検定結果

| | A | B | 長軸 | 短軸 |
|------|------|------|----|----|
| すれ違い | 対障害物 | 対自転車 | 採択 | 棄却 |
| | 対自転車 | 対歩行者 | 採択 | 棄却 |
| | 対歩行者 | 対障害物 | 採択 | 採択 |

b) 追い越しの場合

同様に帰無仮説：「追い越しの場合において自転車のPSの長軸（短軸）は避ける対象が変化しても平均値は等しい」という仮説をたて、危険率5%でt検定を行った。長軸に関してはすべての対象において仮説が棄却された。短軸に関しては対歩行者と対障害物では仮説は採択されるが、対自転車では仮説は棄却された（表-5）。

以上よりパーソナルスペースのモデルでは自転車の長軸は追い越し対象によって変化するものと考え、短軸については対自転車の短軸とそれ以外の場合の短軸とで分ける方法が考えられる。

表-5 AとBの長軸・短軸データを用いたt検定結果

| | A | B | 長軸 | 短軸 |
|------|------|------|----|----|
| 追い越し | 対障害物 | 対自転車 | 棄却 | 棄却 |
| | 対自転車 | 対歩行者 | 棄却 | 棄却 |
| | 対歩行者 | 対障害物 | 棄却 | 採択 |

(2) 避ける方法による長軸・短軸の変化

帰無仮説：「自転車のPSの長軸（短軸）は対象を避ける方法（すれ違い・追い越し）が異なっても平均値は等しい」という仮説をたて、危険率5%でt検定を行った。長軸においてはこの仮説は棄却されたが、短軸においてはこの仮説は採択された（表-6）。よって、自転車のパーソナルスペースの長軸長は避ける方法により変化することがわかり、反対に短軸長は変化しないことがわかった。

以上よりPSのモデルでは自転車の長軸はすれ違い、追い越しの行動による変化を加える必要があると考えられる。短軸についてはその変化は無いものと考えられることにする。

表-6 AとBの長軸・短軸データを用いたt検定結果

| | A | B | 長軸 | 短軸 |
|------|------|------|----|----|
| 対自転車 | すれ違い | 追い越し | 棄却 | 採択 |
| 対歩行者 | すれ違い | 追い越し | 棄却 | 採択 |

5. 自転車・歩行者混合交通モデル

(1) モデルの再現性の検証

本研究で作成した自転車・歩行者混合交通モデルの妥当性を検証するため、清田（2006）⁴⁾が行った歩道中の区間、延長5.0m×幅3.5m（図-9）の歩行者数と自転車速度の関係を測定した結果と、混合交通シミュレーションにより得られた区間内の歩行者数と自転車速度の関係を結果を比較した。このときPSによる干渉のない時の自転車の速度は清田らの示した自転車速度の頻度分布（図-7）を用いた。シミュレーションでは幅3.5mの直線上の道路に歩行者、自転車を均等にランダムに配置し、それぞれに行動を行わせた。またその時、道路に延長5mの区間を設け、歩行者数×自転車速度を0.5秒間隔で測定した。同じ歩行者・自転車を測定しないため、その測定値から自転車が1台かつ歩行者数が最大となる測定値を5秒以上の間隔をあけて抽出した。結果は図-8のようになり、清田ら⁵⁾と同様の傾向となる結果が得られた。そのため、このモデルの歩行者・自転車混合交通の再現性は得られた。

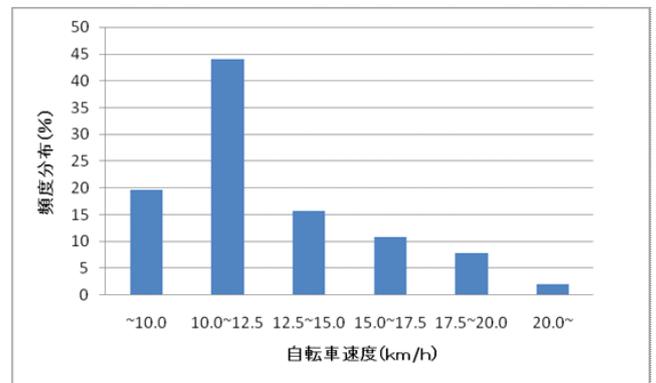


図-7 自転車速度の頻度分布

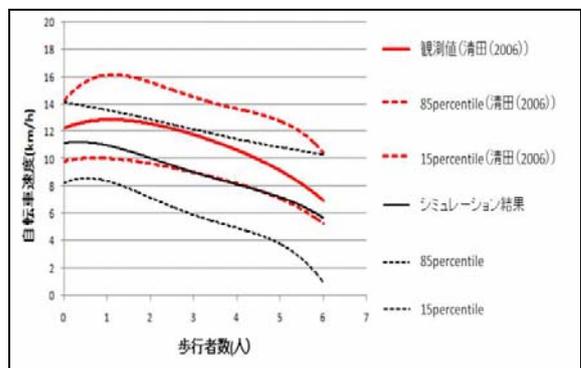


図-8 歩行者数と自転車速度の関係

図-8に示した歩行者数と速度の関係に関する曲線の式(式(1)~(6))を以下に記す。

a)シミュレーション結果

・近似曲線

$$y = -0.0164x^4 + 0.204x^3 - 0.8673x^2 + 0.5017x + 11.161 \dots (1)$$

・15percentile

$$y = -0.0372x^4 + 0.4347x^3 - 1.7132x^2 + 1.4625x + 8.1951 \dots (2)$$

・85percentile

$$y = -0.0011x^4 + 0.0233x^3 - 0.1328x^2 - 0.4481x + 14.168 \dots (3)$$

b)清田(2006)⁷⁾の観測による関係式

・近似曲線

$$y = -0.0097x^4 + 0.1296x^3 - 0.7744x^2 + 1.2637x + 12.262 \dots (4)$$

・15percentile

$$y = -0.01x^4 + 0.1159x^3 - 0.5745x^2 + 0.6748x + 9.8595 \dots (5)$$

・85percentile

$$y = -0.0452x^4 + 0.5849x^3 - 2.6613x^2 + 4.0395x + 14.245 \dots (6)$$

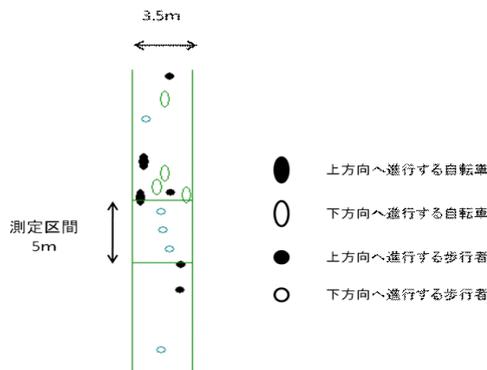


図-9 歩行者・自転車群衆流動シミュレーション

(2)幅員を変化させたシミュレーション

今回作成したモデルを用いて、直線状の歩道幅員を変化させて自転車・歩行者混合交通を再現するシミュレーションを行った。そして、歩道内の延長5mの区間における歩行者が3人存在するときの自転車速度頻度分布を前節と同じ方法により得た(図-10、表-6)。これより幅員が拡大するにつれて自転車速度が増加していく様子が表れた。幅員4.0mにおける速度頻度分布の概形は図-7の歩行者による干渉のない速度頻度分布に近くなっている。これにより幅員を広くすることで、歩行者・自転車お互いの干渉が少なくなり、交通が改善されることが定量的に表わせた。

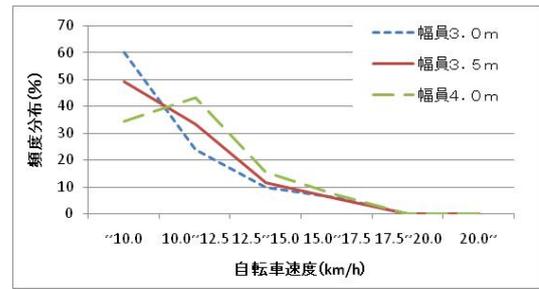


図-10 幅員を変化させたときの自転車速度頻度分布

表-6 幅員を変化させたときの自転車速度頻度分布

| | 3m | 3.5m | 4m |
|-----------|-------|-------|-------|
| 10.0 | 60.0% | 49.3% | 34.5% |
| 10.0~12.5 | 24.0% | 33.3% | 43.1% |
| 12.5~15.0 | 10.0% | 11.6% | 15.5% |
| 15.0~17.5 | 6.0% | 5.8% | 6.9% |
| 17.5~20.0 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 20.0 | 0.0% | 0.0% | 0.0% |

6. おわりに

本研究により、歩行者・自転車の行動特性をパーソナルスペースという概念を用いてモデル化し、モデル中の諸元を測定した。測定した結果幾つかの統計的異同を確認した。さらに歩行者・自転車混合交通を再現することができた。今後はこのモデルを用いて歩道条件(幅、障害物)を変えたシミュレーションを行うことにより、自転車を含む混合交通を制御する方法を検討する。

最後に、本研究は平成21年度文部科学省科学研究費補助金(課題番号:19360233)を得て実施したことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 和田剛:「渋谷ハチ公前交差点における横断者の歩行分析」,東京工業大学理学部情報科学科1998年度学士論文,1998
- 2) 岡田公孝:「個人行動をベースにした歩行モデルと高密度シミュレーション」,東京工業大学理学部情報科学科2004年度修士論文,2004
- 3) 濱上知樹ら:「セル上に配置されたマルチエージェントによる群衆流のシミュレーション」,電気学会論文誌C電子・情報・システム部門誌,Vol.123,pp.2028-2035,2003
- 4) 劉建宏:「パーソナルスペースの概念を用いた公共空間における歩行者の群衆流動に関する研究」,九州大学博士學位論文,2007
- 5) 清田勝:「歩行者と自転車の共用空間における歩行者の危険度評価」,交通工学,vol41, No.1,2006
- 6) 渡辺千賀恵:「自転車とまちづくり」,学芸出版社,1999