

京都大学工学部

学生員 ○山形 佑

京都大学大学院工学研究科

正会員 後藤 仁志

京都大学大学院工学研究科

正会員 原田 英治

1. 研究背景

環境改善の観点から計画検討の際に自転車交通の向上に対する検討が重要視されている．しかし，都市整備計画を対象とした既往の研究では自転車特有の動きを含めた歩行者・自転車混在行動シミュレータによる検討例は見受けられない．このような背景を鑑みて，本研究では群集歩行シミュレータ¹⁾をベースに自転車モデルの開発を目標とした．

2. 群集歩行シミュレータ

群集歩行シミュレータでは，個々の人間要素の運動は以下のように記述される．

$$M_{hi} \frac{du_i}{dt} = F_{aw} + F_{hint} \quad (1)$$

$$I_{hi} \frac{d\omega_i}{dt} = T_{hi} \quad (2)$$

ここに， F_{hint} ：要素間の作用力ベクトル， F_{aw} ：自律歩行力ベクトル， u_i ：人間要素の速度， T_{hi} ：作用するトルク， ω_i ：回転速度， M_{hi} ：人間要素の質量および I_{hi} ：慣性モーメントである．

3. 自転車モデルの開発

自転車モデルの要素は人間要素と同じ要素を 4 つ連結して構成した．先頭から 2 番目の要素を搭乗者とした．構成する 4 つの要素の剛体連結には，Koshizukaらが用いたモデル²⁾を準用した．

自転車の速度・視野内密度による減速効果は，2010年7月21日の吉田キャンパス工学部3号館北棟北側の観測映像から，自転車の自由走行時の平均平衡速度3.85m/s，速度減衰領域内の密度による減速効果のパラメータ1.66を設定した．なお，速度減衰領域の半径は既往の研究³⁾の値を参考に5.5mと設定し，角度は日本ロービジョン学会用語委員会の値を参考に進行方向から $\pm 15^\circ$ とした．また，2010年11月29日午後2時頃に京都大学吉田キャンパス学術情報メディアセンター前にて実施した実験から，自転車

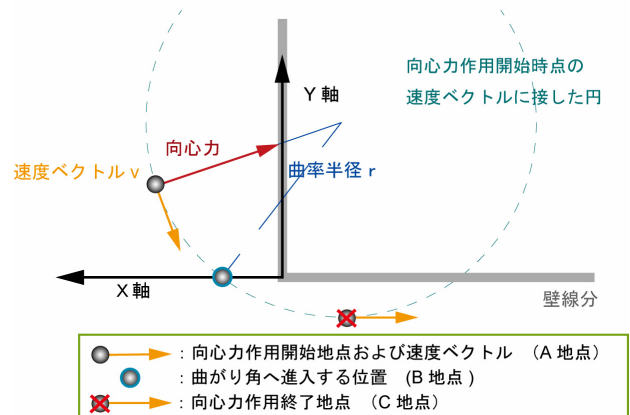


図1 向心力モデル

の加速度は速度が1.62 m/sまでの助走区間では1.84 m/s²，それ以上では0.716 m/s²を用いることとした．

自転車構成要素の心理的な相互作用力は搭乗者のみに作用するとし，回避半径を3.5m，角度を進行方向から $\pm 15^\circ$ とした．回避半径は歩行者における速度減衰領域と回避領域の比率から算定した．

歩行速度と比較して自転車走行速度は大きく，曲がり角において向心力が必要となる．向心力を説明する上で必要なx軸・y軸，A地点：現在位置，B地点：曲がり角進入地点(y座標が0の地点)，C地点：向心力作用終了地点の3地点をそれぞれ図1に示す．2010年10月11日から15日の午前中に京都大学吉田キャンパス学術情報メディアセンター前を撮影した映像から，曲がり角走行中の自転車走行は概ね円弧状に走行する様子がうかがえた．また，自由走行自転車の速度と曲がり角までのy軸方向距離の関係より等速走行が確認されたことから，曲がり角を走行する自転車は等速円運動すると仮定した．円運動の円弧は，A地点・B地点を通り，A地点における速度ベクトルに接する円とし，この半径 r_i を用いた向心力項 F_c を

$$F_c = \frac{M_b v_i^2}{r_i} \quad (3)$$

で与えた．ここに， M_b ：自転車要素の質量， v_i ：自

転車要素の速度である。また、B地点のx座標は観測映像から得られた平均値0.953m/s・標準偏差0.426の正規分布を用いた乱数を用いることとした。
また、向心力が作用し始める曲がり開始地点のy座標と曲率半径 r の関係の近似式から、

$$y < -0.0136r^2 + 0.722r + 0.484 \quad (4)$$

を満足する際に向心力を作用させることとした。
また、向心力作用終了地点であるC地点は、原則自転車曲がり角を曲がり終えた付近の壁線分と自転車の速度ベクトルが平行となった時点とした。

向心力の作用開始位置と曲率半径の与え方の妥当性について自転車走行の安定性の観点から自転車への作用力の釣り合いを検討すると、

$$\mu M_b g > \frac{M_b v^2}{r} \quad (5)$$

$$M_b g h \sin \phi = \frac{M_b v^2}{r} h \cos \phi \quad (6)$$

が得られる。ここに、 h ：自転車の重心高さ、 ϕ ：自転車の傾度、 μ ：アスファルト路面とゴムタイヤの摩擦係数である。また、これらを整理することにより条件式

$$0 < v < 2.8\sqrt{r} \quad (7)$$

$$\phi < 38.7^\circ \quad (8)$$

が得られる。式(7)に設定した平衡自由速度3.85m/sを与えると、 $r > 1.89\text{m}$ の条件が自転車の安定走行条件として加わる。条件を満足せず傾倒する自転車が1割弱存在するが、本研究ではこれらの自転車には向心力を与えないとした。

開発自転車モデルの再現性を確認するため、2010年12月9日10時頃の京都大学吉田キャンパス吉田南総合館西棟付近の観測映像と、歩行者と自転車の流入条件について映像と同様の境界条件を与えたシミュレーションの結果を比較した。比較結果をスナップショットとして図2に示すが、概ね良好な再現されていることが分かる。

4. 歩行者・自転車混在交通シミュレーション

開発した自転車モデルを利用した奈良の大仏殿交差点付近の歩行者・自転車混在交通のシミュレーションを実施し、現地への適用例を示す。流入条件は2010年11月3日9時から17時までの断面通過量を与えた。歩行者の平均自由歩行速度は道



図2 映像との検証写真

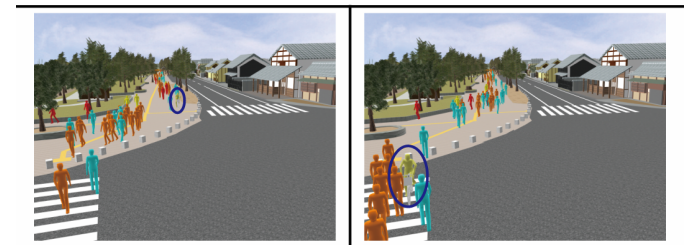


図3 適用現場のCGによる再現

路交通データブック記載の買い物時の年齢別平均歩行速度を用いた。

走行自転車は式(7)および式(8)の条件を満足し、今回開発した自転車モデルの曲がりに対する一定の適用性が確認された。アニメーションを作成して自転車挙動を確認したが、特に不自然な様子は確認されなかった(図3参照)。

5. 結論と今後の課題

群集行動シミュレータを基礎とした自転車モデルを開発するとともに、歩行者・自転車混在交通シミュレーションを実施し、本研究で開発した自転車モデルの現地適応の可能性を示した。

今回開発した自転車モデルは曲がり角において直進時と同様の視野範囲を与えているため、歩行者の巻き込みの可能性がある。視野範囲の変化を考慮したモデルを検討課題としたい。また、歩行者密度が高い状況において自転車走行が不可能であることから、状況に応じて自転車搭乗者の乗降を切り替えるサブプログラムの開発も検討したい。

6. 参考文献

- 1) 安藤栄祐：群集行動シミュレーションにおける歩行行動モデルの改善，京都大学工学部地球工学科，卒業論文，2010。
- 2) Koshizuka, S., A. Nobe and Y. Oka; Numerical analysis of breaking waves using the moving particle method, *Int. J. Number. Meth. Fluids*, Vol.26, pp.751-769, 1998.
- 3) 小川圭一：占有空間を用いた自転車・歩行者混在交通の錯綜現象分析，土木計画学研究・講演集Vol.35, CD-ROM, No.305, 2007。