

自転車と自動車の相互作用を考慮した混合交通流シミュレーション

Mixed Traffic Simulation in consideration of interaction between bicycles and vehicles

池田 祐亮*¹
Yusuke Ikeda

藤井 秀樹*¹
Hideki Fujii

吉村 忍*¹
Shinobu Yoshimura

*¹ 東京大学大学院工学系研究科
School of Engineering, The University of Tokyo

These days, the preparation for bicycle travel space has been conducted with increasing of quantity of bicycle traffic volume. But problems of road occupation by parked vehicles get more serious. In this paper, for the purpose of preparation for bicycle travel space, we observe traffic flow considering the interaction between bicycles and vehicles. We will model mixed-traffic flow and conduct traffic flow simulation.

1. 序論

日常的な短距離移動において自転車へのニーズが高まっている。日本国内では 2013 年時点で約 7200 万台の自転車が存在する[国交省 2014]。一方で自転車関連交通事故の割合も増加傾向にあり、2012 年には警視庁・国土交通省により車道走行の安全性向上のために「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」[警視庁 2012]が策定された。

自転車の走行行動は個別の走行者の特性(例えば旅行の目的、個人の好み、習慣など)や道路環境の複合的な結果として生じるため、シミュレーションを用いて自転車の走行を模擬し、その挙動を分析するのが有効である。本研究では、自転車と自動車の相互作用を考慮した混合交通流をモデル化し、交通流シミュレーションを実施する。自転車と自動車の相互作用を考える上で、単路部と交差点部に分けて扱う交通現象を考える。本稿では特に単路部における交通現象に注目する。

宮之上ら[宮之上 2016]は、自転車運転シミュレータを利用し、後方から車両が接近する場合における自転車の駐車車両の追い越し時の挙動分析をおこなっている。本研究では自転車および自動車の混合交通流モデルを用い、計算機シミュレーションによって上記と同様の実験を再現できることを示す。

2. 研究手法

2.1 既存の自転車モデル

自転車の挙動をモデル化する既存手法は、自転車の挙動を一次的に扱うか二次元的に扱うかという基準で分類することが可能である。進行方向(ここでは主方向と呼ぶ)の空間のモデル化および直交する方向(ここでは従方向と呼ぶ)の空間のモデル化に関して表 1 に整理する。

Longitudinally Continuous Models[Mathew 2015]は、運転者の動きを主方向と従方向に分け、主方向の挙動を追従モデルにより表現し従方向の挙動を離散レーン選択モデルで表現するモデルである。

Cellular Automata Models は、時間と空間を離散化し近傍ルールを設定することで交通現象を表現する。自動車交通流のモデルとして提案された Nagel-Schreckenberg model[Nagel 1992]を拡張したモデルが提案されている。

表 1 モデリング手法の整理

モデル名	主方向	従方向
Longitudinally Continuous Models	連続	離散
Cellular Automata Models	離散	考慮しない or 離散
Social Force Models	連続	連続

Helbing らによって提案された Social Force Models[Helbing 1995]は、本来は歩行者モデルであるが、モデルを拡張し自転車交通シミュレーションへ応用されている。①目的地へ向かう前進力、②他の運転者から受ける反発力、③インフラから受ける反発力の合計から二次元空間における自転車の加速度を導出するモデルである。

2.2 混合交通モデルの実装

(1) 自転車モデル

本研究では、Mathew らによって提案された Strip-based Simulation Models の考え方を応用した。Strip-based Simulation Models は Longitudinally Continuous Models の 1 種である。

主方向の移動は Krauss[Krauss 1998]によって提案された離散時間・連続空間の追従モデルを用いて記述する。このモデルでは、対象車両の速度をその先行車の安全距離に基づいて式(1)によって求める。

$$v_{safe}(t) = \frac{-\tau \cdot b}{\sqrt{(\tau \cdot b)^2 + v_{leader}(t-1)^2} + 2 \cdot b \cdot g_{leader}(t-1)} \quad (1)$$

ここで $v_{safe}(t)$ は時刻 t における安全速度、 τ は反応時間、 b は最大減速度、 $v_{leader}(t)$ は時刻 t での先行車の速度、 $g_{leader}(t)$ は時刻 t での自車と先行車のギャップをそれぞれ示す。

従方向の移動は、自転車が駐車停車車両を追い越す際に発生する。本来の Strip-based Simulation Models ではレーンを strip に分割することにより離散的に従方向の移動を表現している。しかし strip の分割幅を適切に設定する必要があり、本研究では従方向も連続値を持つこととした。駐車車両との距離に応じて追い越しを開始し、追い越しを実施する際の自動車との安全距離に基づいて従方向へ移動するよう設定した。

宮之上らは、自転車駐停車車両を追い越し際の自転車の追い越し開始距離、追い越し幅、走行軌跡を実走実験と自転車運転シミュレータにより観測している。後方から接近する自動車は、追い越しを実施する自転車を先行車として認識するかどうかで、自転車に追従するか自動車に追従するかを決定する。

(2) 自動車モデル

自動車のモデル化には Intelligent Driver Model (IDM) [Treiber 2000]を利用した。IDM もまた追従モデルの 1 種であり、車両の加速度は式(2)~(5)によって求められる。

$$\dot{v} = a \left[1 - \left(\frac{v_n}{v_0} \right)^4 - \left(\frac{s^*(v_n, \Delta v_n)}{s_n} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + \max \left(Tv + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}, 0 \right) \quad (3)$$

$$s_n(t) = [x_{n-1} - x_n - l] \quad (4)$$

$$\Delta v_n(t) = [v_n(t) - v_{n+1}(t)] \quad (5)$$

ここで s^* は必要な車間距離、 x は基準点からの距離、 n は車両の順番、 s_0 は前方車から自車までの安全距離、 T は反応時間、 $v_n(t)$ は自車の速度、 a と b は最大加速度・減速度である。

2.3 パラメータ設定

今回は離散時間で計算が実行されるため、固定の時間刻み幅を設定する必要がある。人間の反応時間が約 180~240[ms] であることから [Murakami 2009]、時間増分を 1 ステップにつき 100[ms] に設定した。またその他のパラメータに関しては、表 2 のように設定した。

表 2 パラメータ設定

パラメータ	値
自動車サイズ	長さ: 5[m] / 幅: 2[m]
自転車サイズ	長さ: 2[m] / 幅: 0.5[m]
反応時間	0.1[s]
自転車の最大減速度	1.0[m/s ²]
自転車の最高速度	4.5[m/s]

3. シミュレーション

自転車による駐停車車両の追い越しの様子を図 1 に示す。図 1 において、黒色の長方形が駐停車車両、青色の長方形が走行車両、赤色の長方形が自転車を表す。自転車は前方の自転車との距離が一定以上になった場合に発生することとしている。また発生時の初期速度は 0 である。自動車も同様である。図 1 では自転車が先に発生し、その後後方接近車両が発生する。

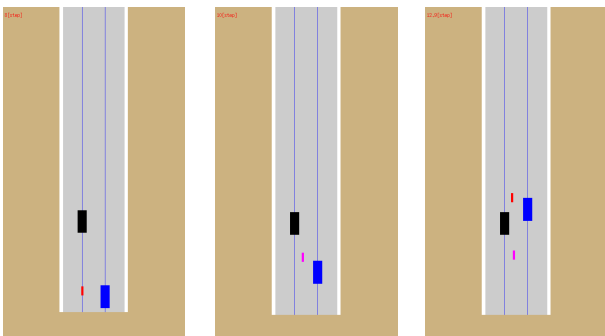


図 1 シミュレーション画面(左から $t = 8$, $t = 10$, $t = 13$)

図 1 では後方から接近する自動車は自転車を先行車として認識せず自車の加速度を決定する。そのため自転車に追従する安全行動を取らない。

4. 結論

本研究では、自転車と自動車の相互作用を考慮した交通シミュレーションを実施した。Strip-based Simulation Models を利用し、単路部において自転車による駐停車車両の追い越し現象を観察した。特に後方接近車両が自転車に追従行動を取らない場合を確認した。

今後の課題は、自転車が自転車を先行車として認識し追従行動を取る場合のシミュレーションの実施と、そのシミュレーションの妥当性の評価である。

今後の展望として交差点部における自転車と自動車の混合交通流のシミュレーションも挙げられる。警視庁の平成 29 年度の自転車事故分析 [警視庁 2017] によると、都内で発生した自転車に関与した事故のうち交差点とその付近で発生した事故が全体の約 7 割を占めている(単路部での事故は約 3 割)。特に出会い頭や左折字の事故が多い。よって今後は交差点部における自転車と自動車の相互作用を考慮したシミュレーションを実施することが考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15H01785 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [国交省 2014] 国土交通省: 政策レビュー評価書, 2014
- [警視庁 2012] 警視庁交通局, 国交省道路局: 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2012
- [宮之上 2016] 宮之上 慶, 鈴木 美緒, 細谷 圭介, 屋井 鉄雄: 自転車シミュレータを用いた路上駐停車車両の追い越し挙動分析及び再現性評価, 交通工学論文集, 2016
- [Mathew 2015] T. V. Mathew, A. M. Asce, C. R. Munigety, A. Bajpai: Strip-based Approach for the Simulation of Mixed Traffic Conditions, J. Comput. Civ. Eng., 2015
- [Nagel 1992] K. Nagel, M. Schreckenberg: A cellular automata model for freeway traffic-flow models, J. Phys. I 2, 1992
- [Helbing 1995] D. Helbing, P. Molnar: Social force model for pedestrian dynamics, Phys. Rev. E, 1995
- [Krauss 1998] S. Krauss: Microscopic modeling of traffic flow: Investigation of collision free vehicle dynamics, Ph. D. thesis, Univ. of Cologne
- [Murakami 2009] E. A. Y. Murakami: 反応時間とヒューマンノイズ, Digital Human Symposium 2009, 2009
- [警視庁 2017] 警視庁: 都内自転車の交通事故発生状況, 2017