

交通事故の危険度を予測するための交通シミュレータの改良

松下 浩明*

横山 秀行**

Improvement of Traffic Simulator for Estimating the Risk of the Traffic Accidents

Hiroaki MATSUSHITA* Hideyuki YOKOYAMA**

Synopsis

We have been developing a traffic simulation program for estimating the risk of the traffic accidents caused by the pedestrians and/or the vehicles. The traffic accidents occur due to the trouble of the road and carelessness of the pedestrians and/or the drivers. In this system, the roads are expressed in sets of convex polygons to find a potential dangerous part on the road. Moreover, we propose the action plan model as a behavior model of the pedestrians and the vehicles. In addition, a dangerous width in the pedestrians and the vehicles is defined and the dangerous conflict indicator is used as a safety indicator.

1. はじめに

交通事故が起きる原因には道路形状などの物理的側面と運転手の「だろう」行動に代表される行動的側面があり、それらが複雑に絡まっている。そのため、交通事故の因果関係はあいまいになりやすく、安全対策を採りにくくしている。

学校児童や高齢者の交通事故防衛策として、最近ヒヤリハット地図の作成が多くなっている¹⁾。ヒヤリハット地図は歩行者、自転車利用者、車両運転手など道路を利用する者が自らのヒヤリとした体験やハッとした体験を地図上に記録するものである。ヒヤリハット地図の作成は、作成する作業自体が効果的な安全教育であり、さらにその成果としてのヒヤリハット地図は交通事故ハザードマップとして交通安全のさまざまな対策に利用することができる。

筆者らは、小学校、中学校の周辺通学路や高齢者の多く住む地域の交通事故ハザードマップの自動作成を目的として、歩行者、自転車、自動二輪車、自動車が起こす交通事故の危険度を予測するための交通シミュレーションプログラムを開発中である。

本稿では、交通シミュレーションを交通安全の評

価に用いるために、歩行者や車両の行動モデルとして行動計画モデルを新たに提案する。また、センターラインのない狭幅員道路を車両が対向して通行する評価実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 既往研究

交通シミュレーションは交通流のさまざまな現象をコンピュータ上に仮想的に再現するものであり、渋滞の原因や発生箇所の予測、車両の排気ガスの予測などに用いられている²⁾。

交通シミュレーションを交通安全の評価に用いた例は多くない。高島はミクロ交通シミュレータ NETSIM および Simr を用い、交差点の安全性評価を行っている³⁾。Archer は ISA (Intelligent Speed Adaptation, 車両の走行速度の上限値を抑制する技術) が交通安全にどれくらい寄与するか調べるために交通シミュレータを開発している⁴⁾。

Archer によれば、交通シミュレーションを交通安全の評価に用いるにはいくつかの解決しなければならない課題がある。課題の第一は歩行者や車両の行動モデルをどのように定義するかである。交通事故の原因のひとつは注意不足や反応の遅れ、「だろう」行動などのヒューマンエラーである。従来の交

* 情報工学科

** 専攻科情報制御システム工学専攻

通シミュレーションで採用されている追従モデルにおいて、ヒューマンエラーはあまり考慮されていない。課題の第二は安全指標をどのように採るかである。課題の第三は交通事故の原因のひとつである道路や交差点の物理的形狀をどのように交通シミュレーションに反映させるかである。

本稿では、第一の課題に対しては、歩行者や車両の行動モデルとして、行動計画モデルを提案する。第二の課題に対しては、歩行者や車両の危険幅を定義し、安全指標として、危険錯綜指標を用いる。第三の課題に対しては、道路を2次元の凸多角形の集合で表現する。

3. 交通シミュレータの構成

本稿で述べる交通シミュレータは歩行者、自転車、自動二輪車、普通自動車、大型自動車を模擬の対象とする。歩行者・車両の基本的属性としては大きさ、位置、速度、視野の範囲などがある。

本シミュレータは歩行者・車両データ、行動データ、道路データ、模擬データを入力し、模擬結果データを出力する。また、模擬の様子をアニメーションで表示する。

(1) 歩行者・車両データ

歩行者・車両データには各歩行者・車両の種類ごとの属性（大きさ、定常速度等）を記述する。

(2) 行動データ

行動データには歩行者・車両の種類ごとの行動計画を記述する。

(3) 道路データ

道路データには道路や交差点の2次元形状、歩道や中央線の2次元形状、信号機や交通標識の位置を記述する。

(4) 模擬データ

模擬データには歩行者・車両の初期配置および入力領域における歩行者・車両の生成頻度を記述する。

(5) 模擬結果データ

模擬結果データには事故発生件数や事故がどの時間で発生したのかなどのデータが出力される。

本交通シミュレータの時刻の更新幅は0.2秒である。

道路形状は2次元の凸多角形の集合として表現する。2次元の凸多角形を領域とよぶ。領域が n 個の辺からなるとき、領域は以下のような n 個のデータで表現される。

〈領域名〉〈 x_1 〉〈 y_1 〉〈 x_2 〉〈 y_2 〉〈隣接領域名〉
隣接領域がないとき、隣接領域名は $null$ と表記する。

4. 行動モデル

4.1 危険幅

歩行者や車両が互いにすれ違ったり、追い抜いたりするとき、ある間隔以下になると危険を感じることが知られている^{5,6)}。本稿ではこの間隔を危険幅とよぶことにする。図1に歩行者・車両の衝突範囲、錯綜範囲と危険幅を示す。

危険幅 w_d （単位 m）は歩行者・車両の速度によって変化する。また、歩行者・車両の種類によっても異なる。本シミュレータでは歩行者・車両の速度 v_m が $v_m \geq 0.2v_s$ のとき、危険幅を表1のように定めている。 $v_m < 0.2v_s$ のときは0である。ここで、 v_m （単位 m/s）は歩行者・車両の速度を、 v_s は歩行者・車両の定常速度を表す。

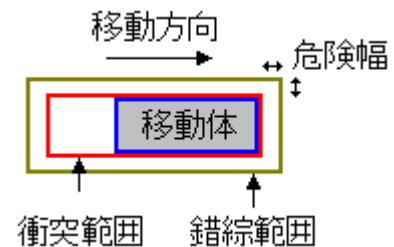


図1 危険幅

表1 歩行者・車両の種類ごとの危険幅

種類	危険幅
歩行者	$w_d = 0.288(v_m + 0.2v_s)$
自転車	$w_d = 0.144(v_m + 0.2v_s)$
自動車	$w_d = 0.072(v_m + 0.2v_s)$

4.2 行動計画

行動計画とは、現時点から t 秒後までの、単位時間ごとの歩行者・車両の位置の集合である。

行動計画は図2に示すように、梯子状の形で表現することができる。そのとき、梯子の幅は

$w_m + 2 \times w_d$ である。ここで w_m は歩行者・車両の

横幅, w_d は危険幅を表す。

行動計画は、実際に行動が実行される区間（実行区間）と、行動の計画を立てるときに追従する移動体が存在するか否かを検査する区間（追従区間），行動の計画を立てるときに対向する歩行者・車両が存在するか否かを検査する区間（対向区間）からなる。実行区間は追従区間に含まれ、追従区間是对向区間に含まれる。

行動計画は加速減速、方向転換、車線変更の3つの操作を合成して作成される。加速減速操作、方向転換操作、車線変更操作を図3に示す。行動計画の記述法はつぎのとおりである。

$\langle \text{行動計画} \rangle ::= \langle \text{区間長} \rangle \langle \text{加減速} \rangle$
 $\qquad \qquad \qquad \langle \text{方向転換} \rangle \langle \text{車線変更} \rangle$
 $\langle \text{区間長} \rangle ::= \text{period } \langle c \rangle \langle f \rangle \langle d \rangle$
 $\langle \text{加減速} \rangle ::= \text{speed } \langle s \rangle$
 $\langle \text{方向転換} \rangle ::= \text{turn } \langle t \rangle$
 $\langle \text{車線変更} \rangle ::= \text{lane } \langle l \rangle$

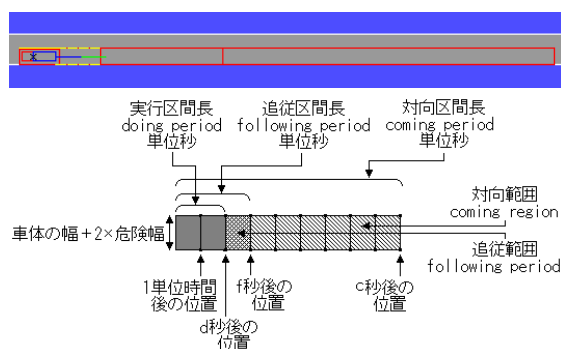


図2 行動計画

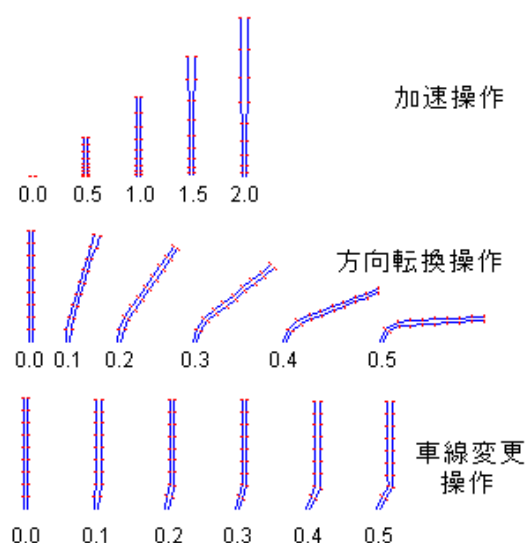


図3 行動計画の操作

c は対向区間長を, f は追従区間長を, d は実行区間長を表す。単位は秒であり, $c \geq f \geq d$ の関係

がある。 s は加速、減速のパラメータで、正のとき加速を、負のとき減速を表す。単位は m/s^2 である。 t は方向転換のパラメータで、 l は車線変更のパラメータである。単位は radian/s である。

4. 3 イベント

歩行者・車両が移動中に視野の範囲内に他の歩行者・車両や信号機、交通標識を発見すると、イベントとして処理される。イベントには以下の種類がある。

追従 〈歩行者・車両の種類〉
 対向 〈歩行者・車両の種類〉
 信号機 〈値〉
 交通標識 〈交通標識の種類〉

4. 4 行動計画の立案

歩行者・車両が行動計画を立てるとき、どのような行動計画になるかは、①歩行者・車両の種類、②歩行者・車両の状態、③歩行者・車両の周りの状況、の3つの要素で定まる。

(1) 歩行者・車両の状態

歩行者・車両は3. で述べた基本属性以外に状態を持つ有限状態機械である。

(2) 歩行者・車両の周りの状況

歩行者・車両の周りの状況は2つに大別される。その1つ目は道路や中央線などの形状である。2つ目は他の歩行者・車両や信号線、道路標識、横断歩道などである。

2つ目のものはイベントとして、歩行者・車両に情報が伝わる。

行動計画を立案するとき、道路がカーブしているなどの道路形状に対応して、適切な行動計画を選択しなければならない。それを行うために複数の行動計画の中から、順次行動計画を検討し、道路形状に合う行動計画が定まる。下記に複数の行動計画の記述法を示す。

〈歩行者・車両の種類〉 〈状態〉 〈イベント〉
 〈行動計画 1〉 → 〈次状態〉
 〈行動計画 2〉 → 〈次状態〉
 ...
 〈行動計画 n 〉 → 〈次状態〉

4. 5 行動の実行

各歩行者・車両が単位時間ごとに行う行動は、①

行動計画の実行, ②イベントの取得, ③新たな行動計画の立案の3つの部分からなる。その詳細を以下に示す。

アルゴリズム A

- (1) 1 単位時間分, 行動計画に沿い, 行動する。
- (2) 行動計画の実行区間が終了していないならば, (1)に戻る。
- (3) 行動計画の実行区間が終了したならば, イベントの発生状況を調べる。
イベントが発生していないときはイベントなしの行動計画を立案し, (1)に戻る。
イベントが 1 個発生した場合はそのイベントに対し, 行動計画を立案し, (1)に戻る。
イベントが複数発生した場合は複数のイベントの内 1 個をランダムに選び, 選ばれたイベントに対し, 行動計画を立案し, (1)に戻る。

アルゴリズム B

- (1) 1 単位時間分, 行動計画に沿い, 行動する。
- (2) イベントの発生状況を調べる。
 - (3-1) イベントが発生していないとき (4)に行く。
 - (3-2) イベントが 1 個発生したとき
発生したイベントが 1 単位時間前のイベントと異なるならば, 新たな行動計画を立案し, (1)に戻る。
発生したイベントが 1 単位時間前のイベントと同種類ならば, (4)に行く。
 - (3-3) イベントが複数発生したとき
複数のイベントの内 1 個をランダムに選ぶ。
選ばれたイベントが 1 単位時間前のイベントと異なるならば, 選ばれたイベントに対し, 新たな行動計画を立案し, (1)に戻る。
(4)に行く。
- (4) 行動計画の実行区間が終了したかどうか調べる。
行動計画の実行区間が終了したときは, 新たな行動計画を立案し, (1)に戻る。
行動計画の実行区間が終了していないときは, (1)に戻る。

5. 安全指標

つぎの 2 つの辺からなる四辺形を事故範囲とよぶ。

- ・ 長さは歩行者・車両の幅に等しく, 方向は歩行者・車両の前縁と平行である。
- ・ 長さは歩行者・車両の単位時間での移動距離に等しく, 方向は歩行者・車両の移動方向に平行

である。

また, つぎの二つの辺からなる四辺形を錯綜範囲とよぶ。

- ・ 長さは危険幅に等しく, 方向は歩行者・車両の前縁と平行である。
- ・ 長さは歩行者・車両の単位時間での移動距離に等しく, 方向は歩行者・車両の移動方向に平行である。

2 つの歩行者・車両の事故範囲が重なったとき, 事故が発生したという。また, 2 つの歩行者・車両の錯綜範囲が重なり, かつ, 事故範囲が重なっていないとき, 錯綜したという。本稿では事故と錯綜の発生回数を安全指標とする。特に錯綜の発生回数を危険錯綜指標とよぶことにする。

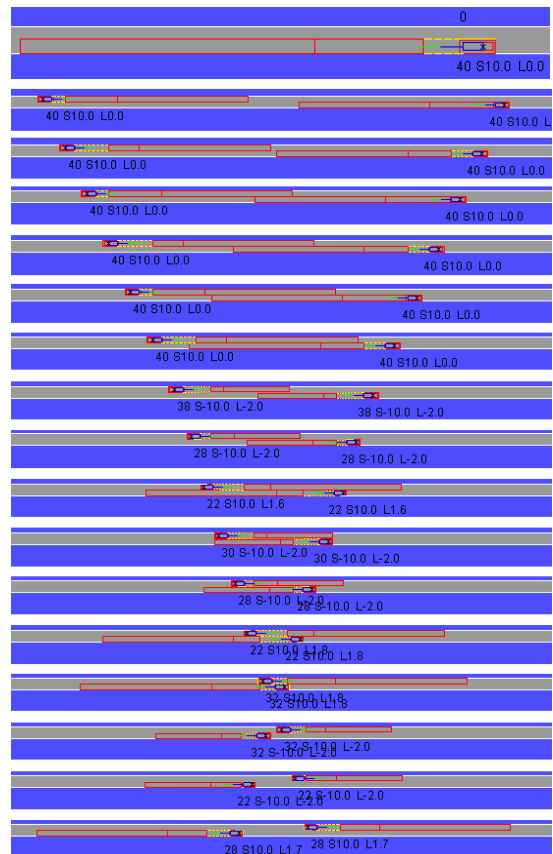


図4 2台の車両のすれ違い

6. 評価実験

長さ 1km のセンターラインのない直線道路に対し, 左右から車両を対向して走行させる評価実験を行った。図4に2台の車両がすれ違う様子を示す。

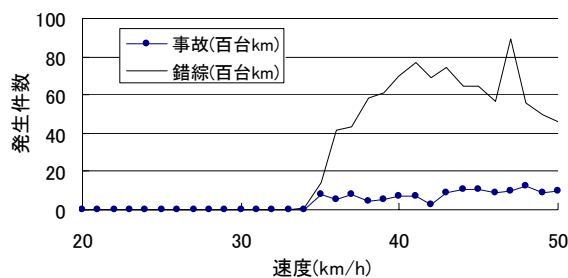
図5は最高速度を 20km/h から 50km/h に変化させたときの 1 時間あたりの事故と錯綜の発生件数を表したものである。図6は道路の幅員を 5m から 8m に

変化させたときの 1 時間あたりの事故と錯綜の発生件数を表したものである。図 7 は行動計画の全長を 3 から 12 に変化させたときの 1 時間あたりの事故と錯綜の発生件数を表したものである。

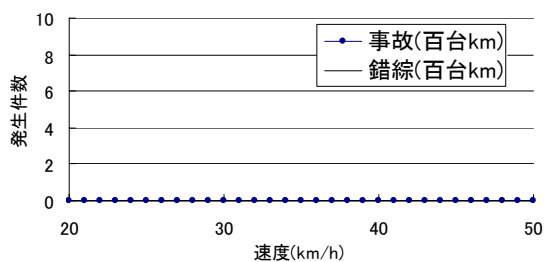
図 5 から図 7 において、示されていない諸要素については、つぎのように設定されている。

道路の幅員は 6m である。車両の幅、長さは 1.8m, 4.5m である。車両の最高速度は 40km/h である。行動計画の全長は 9, 実行区間の長さは 3 である。車両の道路端点での生成頻度は 100 台/h で生成間隔はポアソン分布に従う。

車両の最高速度と事故の発生件数の関係は単調増加関数になると予想されるが、図 5 に示す結果では、事故の発生件数のピークが 40km/h 前後にあり、単調増加関数にならなかった。

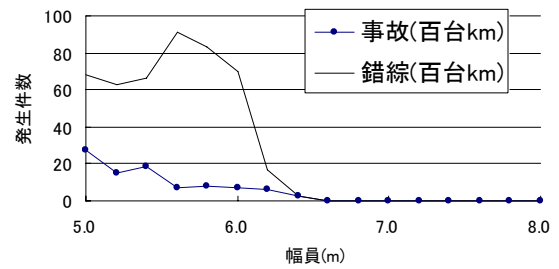


(1) アルゴリズム A

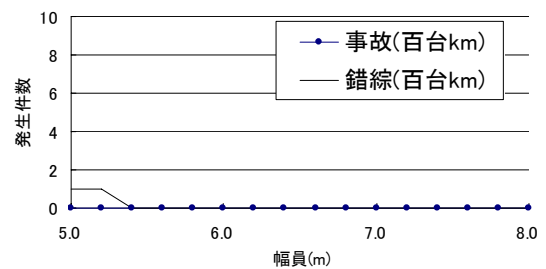


(2) アルゴリズム B

図 5 最高速度に対する事故と錯綜の発生件数

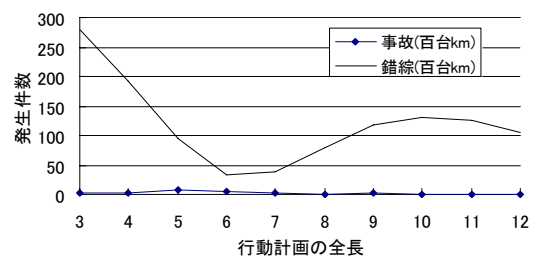


(1) アルゴリズム A

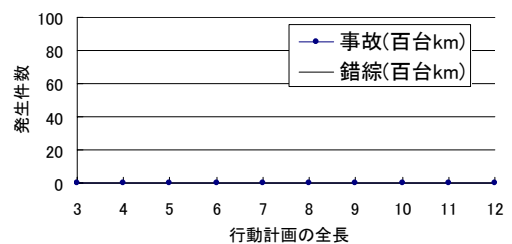


(2) アルゴリズム B

図 6 道路の幅員に対する事故と錯綜の発生件数



(1) アルゴリズム A



(2) アルゴリズム B

図 7 行動計画の長さに対する事故と錯綜の発生件数

7. さいごに

本稿では交通安全の評価を目的とした交通シミュレータの基本構成について述べ、直線道路に対する評価実験の結果を示した。

参考文献

- 1) 牛久市交通防災課：ヒヤリハット地図。
- 2) 堀口良太：最近の渋滞現象への取り組みと交通シミュレーション開発の動向，電子情報通信学会 ITS 研究会研究技報（2004）。

- 3) 高島一彦, 古池弘隆, 森本章倫: ミクロ交通シミュレーションによる交差点部の安全性評価に関する研究, 土木情報利用技術論文集, vol. 12, pp. 227-236 (2003).
- 4) Archer, J. : Developing Micro-Simulation for the Assessment of Safety in Relation to Intelligent Speed Adaptation, 8th World Congress on ITS, Sydney (2001).
- 5) 澤田良子, 竹内光生, 盛岡誠: 歩・車混合交通における安全走行と走行所要時間に関するシミュレーション分析, 土木学会四国支部第6回技術研究発表会, pp. 350-351 (2000).
- 6) 吉村正浩, 足達健夫, 萩原亨, 内田賢悦, 加賀屋誠一: 歩行者・自転車双方の心理を考慮した歩道空間の安全性評価に関する基礎研究, 第31回土木計画学研究発表会講演集 (2005).