

## 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開発

久保田大介<sup>†</sup> 西本知弘<sup>†</sup> 松下浩明<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 詫間電波工業高等専門学校

〒769-192 香川県三豊市詫間町香田 551

E-mail: <sup>†</sup> {a05604@sr1, a16191@sr1, matusita@di}.takuma-ct.ac.jp

歩行者、自転車、乗用車などが歩道や車道を走行しているときに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。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る。本システムでは道路の2次元形状を交通シミュレータに直接反映させるために、道路を2次元の凸多角形の集合で表現する。また、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。さらに、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。

**キーワード** 交通事故、交通シミュレーション、行動モデル、安全指標

### Development of Traffic Simulator for Estimating the Risk of the Traffic Accidents

Daisuke Kubota<sup>†</sup> Tomohiro Nishimoto<sup>†</sup> Hiroaki Matsushita<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Takuma National College of Technology

551 Koda, Takuma-cho, Mitoyo, Kagawa 769-192 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {a05604@sr1, a16191@sr1, matusita@di}.takuma-ct.ac.jp

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.

**Key words** traffic accident, traffic simulation, behavior model, 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、交通事故の原因と結果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ト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。

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課題を解決する必要がある。本稿では、歩行者や車両の行動モデルとして行動計画モデルを、安全指標として危険錯綜指標を提案する。また、道路などの2次元形状を交通シミュレータに直接反映させる方法について述べる。

## 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NETSIMおよびSimrというマイクロ交通シミュレータを用い、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ションプログラムを開発している[4]。

Archerや堀口によれば、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ぬ課題がある[5-6]。

課題の第一は歩行者や車両の行動モデル(behavior model)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、「だろー」行動に代表される見込み意識などのヒューマンエラーである。従来の交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(safety indicator)をどのように採るかである。交通事故は確率的にはまれな現象であるため、交通シミュレーションにおいて交通事故をうまく再現できたとしても、交通事故の原因と結果の結びつきは一般に強くない[7]。事故と高い相関がある交通現象を見出し、それを安全指標とする研究分野に錯綜分析がある[8-9]。錯綜分析においてはTTC指標

(Time To Collision、2台の車両が回避行動を行わずに、そのままの速度と方向で進行したとき、衝突するまでの時間)やPET指標(Post Encroachment Time、前方車両がその時点にいる場所に、後方車両が到達するまでの時間)などの安全指標が知られている。

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

### 3.1 移動体

本稿では歩行者、自転車、自動二輪車、普通自動車、大型自動車を交通シミュレーションの対象とするが、これらを移動体(moving object)とよぶことにする。

また、歩行者にも大人と子供では動作の違いがあるため、本シミュレータでは任意の種類の移動体を定義することができる。

移動体の基本的な属性を図1に示す。大きさ、位置、速度、視野の範囲などがある。

### 3.2 交通シミュレータの入出力

本交通シミュレータの入出力関係を図2に示す。シミュレータは移動体データ、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) 移動体データ

移動体データには各移動体の種類ごとの属性(大きさ、定常速度など)が記述されている。

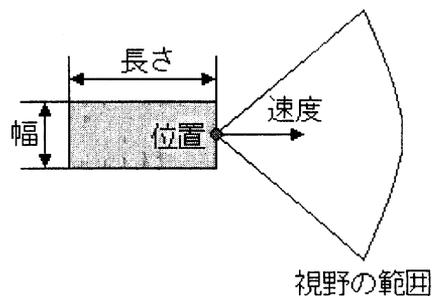


図1 移動体の属性

(2) 行動データ

行動データには移動体の種類ごとの行動計画が記述されている。

(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したものである。

(4) 模擬データ

模擬データには移動体の初期配置および入力領域における移動体の生成頻度が記述されている。

(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

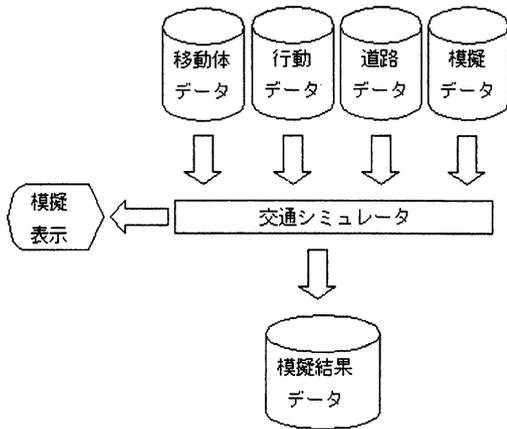


図 2 交通シミュレータの入出力

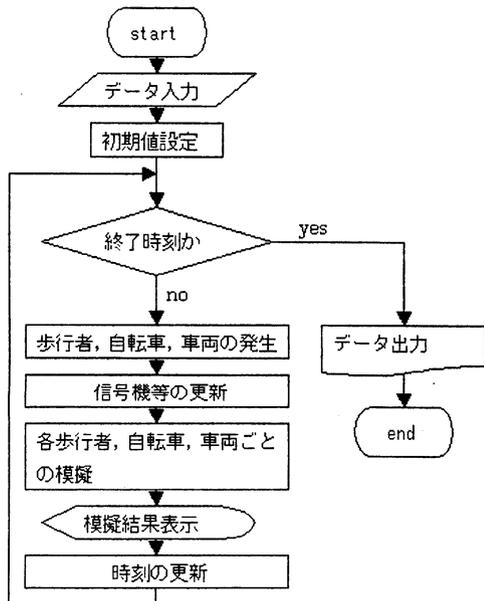


図 3 交通シミュレータの全体フロー

の時間で発生したのかなどのデータが出力される。

3.3 交通シミュレータの全体フロー

交通シミュレータの全体フローを図 3 に示す。時刻の更新幅は 1 秒である。

3.4 道路形状の表現法

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>

図 4 に領域の記述例を示す。また、図 5 に領域の表示例を示す。

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[10-11]。本稿ではこの間隔を危険幅とよぶことにする。図 6 に移動体の危険範囲と危険幅を示す。

危険幅は移動体の速度によって変化する。また、移動体の種類によっても異なる。本シミュ

load5	167	83	169	80	int2
load5	169	80	176	84	null
load5	176	84	173	86	int3
load5	173	86	167	83	null

図 4 領域 load5 の記述例

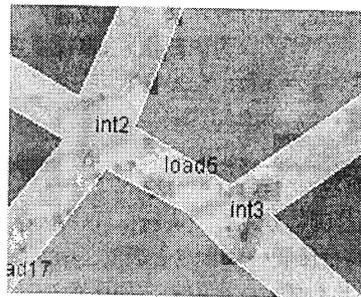


図 5 領域 load5 の表示例

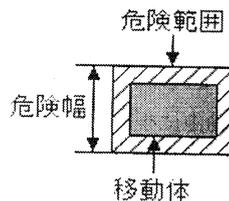


図 6 危険幅

表1 移動体の種類ごとの危険幅

種類	危険幅
歩行者	$w_d = w_m + 0.576(v_m + 0.2v_s)$
自転車	$w_d = w_m + 0.288(v_m + 0.2v_s)$
自動二輪車, 普通自動車, 大型自動車	$w_d = w_m + 0.144(v_m + 0.2v_s)$

レータでは移動体の速度  $v_m$  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  $w_d = w_m$  である。ここで  $w_d$ (単位  $m$ ) は危険幅を、 $w_m$  は移動体の幅を、 $v_m$ (単位  $m/s$ ) は移動体の速度を、 $v_s$  は移動体の定常速度を表す。

#### 4.2 行動計画

行動計画とは現時点から  $n$  単位時間後までの、単位時間ごとの、移動体の位置の集合である。図7で示すように、行動計画は梯子状の図で表現することができる。そのとき、梯子の幅は危険幅で表す。行動計画は、実際に行動が行われる区間(実行区間)と観測区間に分かれる。

2つの移動体がすれ違っているときの、それぞれの行動計画の例を図8に示す。

行動計画は加減速、方向転換、車線変更の3つの操作を合成して作成される。加減速操作を図9、図10に示す。方向転換操作を図11に示す。車線変更操作を図12に示す。

行動計画の記述法はつぎのとおりである。

<行動計画> ::= <サイズ> <加減速>  
                   <方向転換> <車線変更>  
 <サイズ> ::= size < $n$ > < $r$ >  
 <加減速> ::= speed < $s$ >  
 <方向転換> ::= turn < $t$ >  
 <車線変更> ::= lane < $l$ >

$n$  は行動計画のサイズ(実行区間+観測区間)を、 $r$  は実行区間の大きさを表す。 $s$  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。

#### 4.3 イベント

移動体が移動中に視野の範囲内に他の移動体や信号機、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。

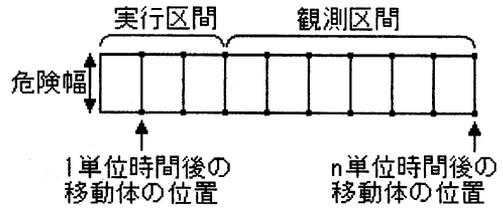


図7 行動計画

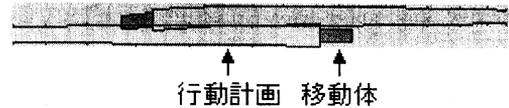


図8 行動計画の例

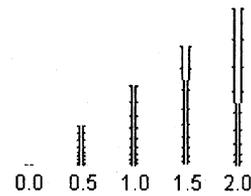


図9 加速操作(単位  $m/s^2$ )

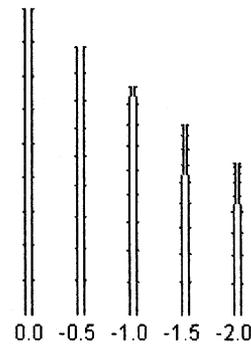


図10 減速操作(単位  $m/s^2$ )

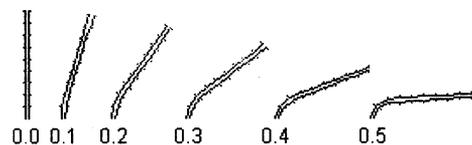


図11 方向転換操作(単位  $radian/s$ )

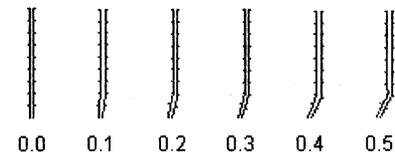


図12 車線変更操作(単位  $radian/s$ )

追従 <移動体種類>

対向 <移動体種類>

信号機 <値>

交通標識 <交通標識種類>

#### 4.4 行動計画の立案

移動体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移動体の種類、②移動体の状態、③移動体の周りの状況、の3つの要素で定まる。

##### (1) 移動体の状態

移動体は3.1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) 移動体の周りの状況

移動体の周りの状況は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つ目は他の移動体や信号線、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、移動体に情報が伝わる。

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。図13に複数の行動計画の記述法を示す。

#### 4.5 行動の実行

各移動体が単位時間ごとに行う行動は、①イベントの取得、②行動計画の立案、③行動計画の実行、の3つの部分からなる。その詳細を以下に示す。図13はそのフローである。

##### (1) イベントの発生状況を調べる。

##### (2) イベントが発生していないときは(3)を実行する。

イベントが1個発生した場合はそのイベントに対し、(4)を実行する。

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、(4)を実行する。

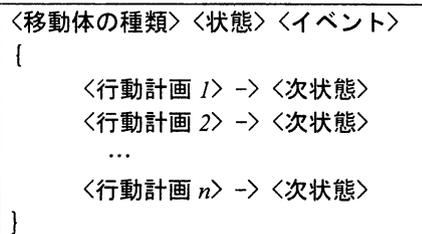


図13 行動計画の記述法

##### (3) 行動計画の実行区間が終了したならば、新たな行動計画を立案し、1単位時間分、行動計画に沿って行動し、(1)に戻る。

行動計画の実行区間が終了していないならば、1単位時間分、行動計画に沿って行動し、(1)に戻る。

##### (4) 行動計画の実行区間が終了したか、または、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、発生したイベントに対応した新たな行動計画を立案し、1単位時間分、行動計画に沿って行動し、(1)に戻る。行動計画の実行区間が終了してなく、かつ、発生したイベントが1単位時間前のイベントと同じならば、1単位時間分、行動計画に沿って行動し、(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。

- ・長さは移動体の幅に等しく、方向は移動体の前縁と平行である。
  - ・長さは移動体の単位時間での移動距離に等しく、方向は移動体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。

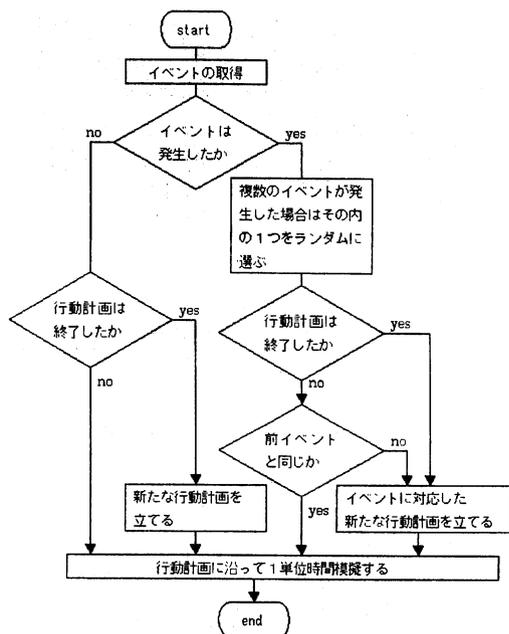


図14 行動の実行

- ・長さは危険幅に等しく、方向は移動体の前縁と平行である。
  - ・長さは移動体の単位時間での移動距離に等しく、方向は移動体の移動方向に平行である。
- 図 15 に移動体の事故範囲と錯綜範囲を示す。

2つの移動体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つの移動体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。

## 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、左右から自動車を対向して走行させる評価実験を行った。図 16 に2つの移動体がすれ違う様子を示す。

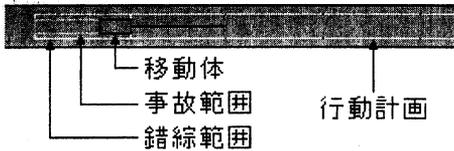


図 15 事故範囲と錯綜範囲

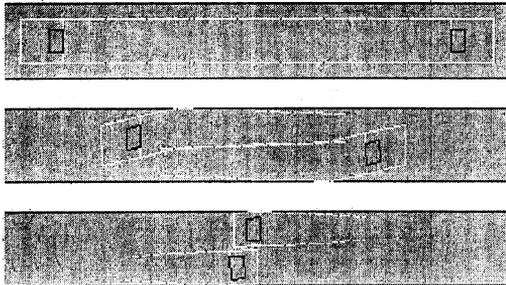


図 16 2つの移動体のすれ違い

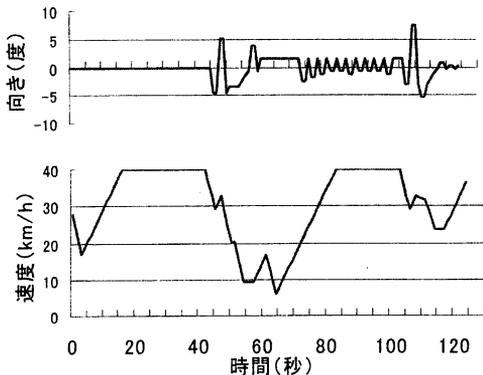


図 17 移動体の速度と向きの変化

図 17 は走行中の移動体の速度と向きを時間に沿って表したものである。図 18 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

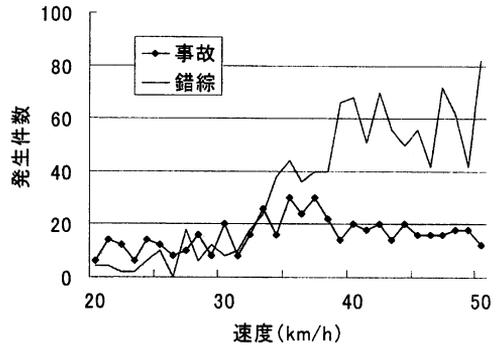


図 18 最高速度に対する事故と錯綜の発生件数

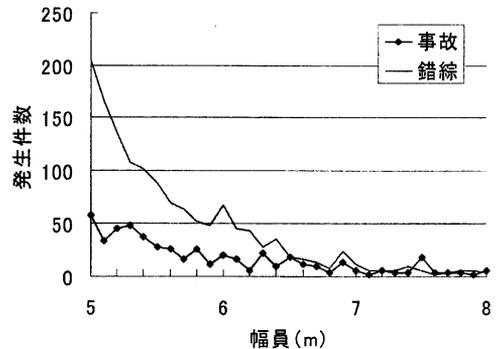


図 19 道路の幅員に対する事故と錯綜の発生件数

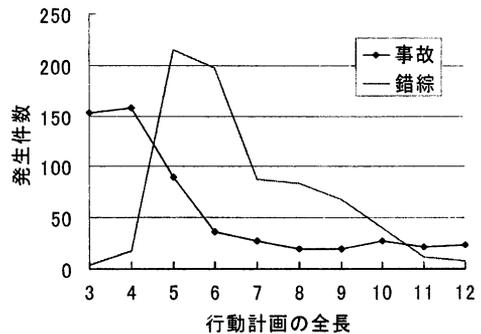


図 20 行動計画の長さに対する事故と錯綜の発生件数

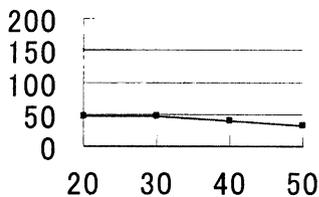
ある。図 19 は道路の幅員を 5m から 8m に変化させたときの 1 時間あたりの事故と錯綜の発生件数を表したものである。図 20 は行動計画の全長を 3 から 12 に変化させたときの 1 時間あたりの事故と錯綜の発生件数を表したものである。

図 17 から図 20 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。

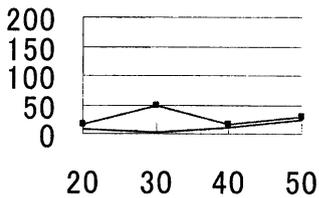
道路の幅員は 6m である。移動体の幅、長さは 1.8m, 4.5m である。移動体の最高速度は 40km/h である。行動計画の全長は 9, 実行区間の長さは 3 である。移動体の道路端点での生成頻度は 100 台/h で生成間隔はポアソン分布に従う。

## 7. 考察

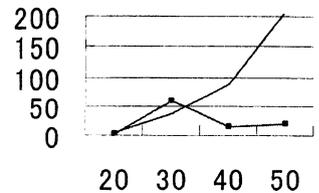
移動体の最高速度と事故の発生件数の関係は単調増加関数になると予想されるが、図 18 に示す結果では、事故の発生件数のピークが



(a)  $w_d = w_m$  のとき



(b)  $w_d = w_m + 0.072v_m$  のとき



(c)  $w_d = w_m + 0.144v_m$  のとき

図 21 事故、錯綜発生件数に対する危険幅関数の影響

36km/h から 38km/h の範囲にあり、単調増加関数にならなかった。

移動体の最高速度と事故の発生件数の関係は危険幅に依存する。本稿では表 1 に示した危険幅で評価実験を行ったが、異なる危険幅の場合の、最高速度と事故の発生件数の関係を図 21 に示す。

## 8. まとめ

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。本シミュレータは Java 言語で作成されており、約 10,000 行のプログラムである。

信号機、交通標識、中央線などについては、現在、作成中であり、これらを含めた評価実験を今後実施したい。

**謝辞** 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金によるものである。

## 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：マイ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, 8<sup>th</sup> World Congress on ITS, Sydney (2001)
- [5] Archer, J. and Kosonen, I. : The Potential of Micro-Simulation Modeling in Relation to Traffic Safety Assessment, ESS Conf. Proceedings, Hamburg (2000)
- [6] 交通工学研究会ウェブページ：シミュレーション何でも Q&A, <http://www.jste.or.jp/sim/data/> (2005)
- [7] 大蔵泉，平田恭介，中村文彦：交通事故対策事業の効果評価方法に関する実証的研究，国際交通安全学会誌，vol. 26, No. 1, pp. 4-11 (2000)
- [8] 花井正直，大蔵泉，中村文彦，矢部努：錯綜現象に着目した事故多発地点の診断に関

する実証的研究, 第 28 回土木計画学研究  
発表会講演集 (2003)

- [9] 村松真也, 若林拓史: 移動座標形観測シ  
ステムによる交通コンフリクト分析, 第 28  
回土木計画学研究発表会講演集 (2003)
- [10] 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關  
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)

- [11] 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)

## 付 録

狭幅員直線道路に対する入力  
ファイルの例を以下に示す。

(1) 行動データ

```
action data {
  人 init {
    // 車線変更
    speed 0.1 lane -0.3 0.0
    // 直進 (加速)
    speed 0.1
    // カーブ
    speed -0.1 aturn 0.05 0.6
    // 直進 (減速)
    speed -0.1
  }
  人 init 追従 人 {
    // 減速
    speed -0.1 -1.0
    // 車線変更
    lane -0.01 -0.1
    lane 0.01 0.1
  }
  人 init 追従 自動車 {
    // 減速
    speed -0.1 -1.0
    // 車線変更
    lane -0.01 -0.1
    lane 0.01 0.1
  }
  人 init 対向 {
    // 車線変更
    lane -0.01 -0.1
    lane 0.01 0.1
  }
}
```

```
自動車 init {
  // 直進 (加速)
  speed 0.5
  speed 0.5 lane 0.05 0.6
  speed 0.5 lane -0.05 -0.6
  // カーブ
  speed -1.0 aturn 0.05 0.6
  // 直進 (減速)
  speed -1.0
}
自動車 init 追従 人 {
  // 車線変更
  lane -0.01 -0.1
  lane 0.01 0.1
  // 減速
  speed -0.2 -2.0
}
自動車 init 追従 自動車 {
  // 減速
  speed -0.2 -2.0
  // 車線変更
  lane -0.01 -0.1
  lane 0.01 0.1
  crash speed -1.0
}
自動車 init 対向 {
  // 車線変更
  lane -0.01 -0.1
  lane 0.01 0.1
  crash speed -1.0 lane -0.1
  0.0
}
}
```

(2) 道路データ

```
area data {
  area {
    ter1 io
    ter2 io
    load1 load {
      speed limit 40.0 km/h
    }
  }
  boundary {
    ter1 100 100 200 100 null
    ter1 200 100 200 106 load1
    ter1 200 106 100 106 null
    ter1 100 106 100 100 null
    ter2 1200 100 1300 100 null
    ter2 1300 100 1300 106 null
    ter2 1300 106 1200 106 null
    ter2 1200 106 1200 100 load1
    load1 200 100 1200 100 null
    load1 1200 100 1200 106 ter2
    load1 1200 106 200 106 null
    load1 200 106 200 100 ter1
  }
}
```