

予防安全システム効果評価のための 歩行者行動のモデル化

森 博子^{†1} 倉橋 哲郎^{†1} 岩瀬 竜也^{†1}
町田 貴史^{†1} 小里 明男^{†1}
山下 真彦^{†1} 北岡 広宣^{†1}

予防安全システム導入による事故低減効果を評価可能なシミュレータ STREET (Safety & Traffic REaltime Evaluation Tool) を開発している。その評価にあたっては、車対車だけでなく歩行者対車両の事故を削減するシステムの方法を検討する必要がある。本研究では、STREET で歩行者事故の再現と予防安全システムを評価するために、信号交差点における横断歩道を横断する歩行者の行動および事故を再現するモデルを検討した。歩行者とドライバーが、各々の周辺環境に対して、認知・判断の結果に基づき行動することにより、歩行者と車両のお互いの関係を再現可能となるように歩行者の通常行動を再現するモデルを構成した。事故は、通常の歩行あるいは運転以外の行動（たとえば脇見や会話など）に起因する意識や判断能力の低下を模擬することで事故が発生することとした。さらに、実事故データの歩行者事故を分析した結果、歩行者は優先意識や信号無視などの、「ドライバーの事故要因とは異なる意識や行動」が根本にあることが分かった。よって、それらの歩行者の事故要因となる行動のモデルを追加した。最後に開発したモデルを用いて、予防安全システムの評価を試行し、歩行者事故の事故低減率などの評価、事故やシステム効果分析が可能であることを確認した。

Modeling of Pedestrian Behavior for Evaluating Safety Systems

HIROKO MORI,^{†1} TETSUO KURAHASHI,^{†1}
TATSUYA IWASE,^{†1} TAKASHI MACHIDA,^{†1} AKIO KOZATO,^{†1}
MASAHIKO YAMASHITA^{†1} and HIRONOBU KITAOKA^{†1}

We are developing a traffic simulator called STREET, which is intended to enable us to evaluate safety systems. In this paper, we propose a new structure

for the pedestrian behavior model used by STREET, which will give us the means to evaluate vehicle-pedestrian accidents and safety systems. To simulate the sequence of a pedestrian's behavior leading up to an accident when he/she walk a crosswalk at a signalized intersection, we assume that they determine their next behavior from their cognition of objects such as vehicles. Accidents occur as a result of pedestrians engaging in behaviors unrelated to walking such as, in our model, using a mobile phone and generally being inattentive. The model also incorporates behaviors resulting from pedestrian-unique accident factors (such as a "priority sense") which were identified by analyzing actual accident data. Finally, we confirm that STREET not only lets us evaluate how safety systems reduce the occurrence of accidents, but also analyze the factors contributing to accidents and the effectiveness of some safety systems.

1. はじめに

日本の平成 15 年の交通事故による歩行者死傷者数は 8 万 7 千人を超え、そのうちの 3% が死に至っている¹⁾。また、歩行者の死者数は、交通事故による死者数全体の約 3 割も占める¹⁾。歩行者事故の約 7 割は歩行者ではなく車両の過失であるが、歩行者に過失はなくても、歩行者の安全不確認、優先意識などで事故は発生している²⁾。よって、歩行者事故を削減するためには、車載用の安全システムだけでなく、歩行者自身を守る歩行者側の支援システムの検討が重要である。

現在、我々は、予防安全システム導入による事故低減効果を評価可能なシミュレータ STREET (Safety & Traffic REaltime Evaluation Tool) の開発を進めている³⁾⁻⁶⁾。本シミュレータで、車対車の事故だけでなく、車対歩行者の事故も対象とすべく、歩行者側から車両に対しての認知および判断の実現、さらに、車両側から歩行者に対する認知および判断を実現するモデルが必須である。

従来の歩行者を扱う研究や既存のシミュレータでは、鉄道駅構内などの動線計画などを目的として歩行者同士が回避をしながら目的地へ動くモデル⁷⁾⁻¹⁰⁾ や、信号制御や交通流の円滑化を目的として車両や自転車と歩行者を混在させたモデル¹¹⁾⁻¹³⁾ が存在する。しかしながら、それらのモデルでは、歩行者と車両がお互いに、それぞれを認知および判断した結果に基づき行動しているわけではないため、事故要因や事故自体を再現できない。すなわち、

^{†1} 株式会社豊田中央研究所
TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.

事故に対する効果を評価可能なモデルは存在しない。

そこで本研究では、開発中の STREET⁶⁾ で車対歩行者事故の評価を可能とするために、歩行者の行動のモデルを開発することを目的とした。本報告では、その第 1 ステップとして、信号交差点で横断歩道を横断する歩行者の行動および事故を再現するモデルを検討および開発する。まず、STREET の構成を示し、通常の行動と事故を再現する方法、予防安全システムの方法を説明する。次に、歩行者の通常行動を再現するモデル、および、事故要因となる行動を再現するモデルについて具体的に検討する。最後に、開発したモデルを用いて、予防安全システムの評価を試行した例を示す。

2. STREET の構成

歩行者対車両の事故を再現および評価するためには、まず、歩行者、車両ともに、歩行者、車両、信号などの周辺環境に対して、認知および判断の結果に基づく通常の歩行行動および運転行動を再現する必要がある。

開発中のシミュレータ STREET の構成を図 1 に示す。シミュレータは道路ネットワークデータや信号などの道路環境データ、および、出発地/目的地、出発時刻、経路、個人特性などの各個人の移動体データ（以下、エージェント）を入力値として、まず STREET で道路環境を生成する。そして、歩行者も車両と同様に 1 種類のエージェントとし、各エージェントのデータに従って出発地点、出発時刻に生成される。

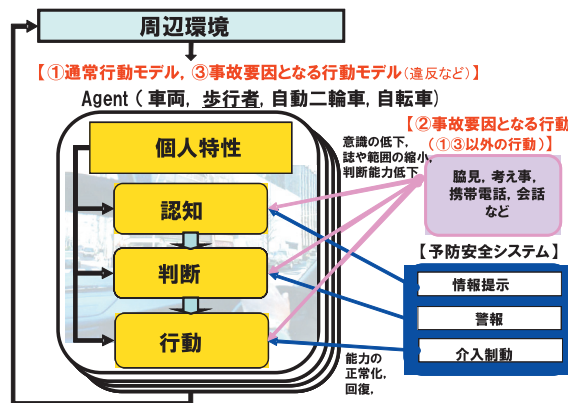


図 1 STREET の構成
Fig. 1 Structure of STREET.

生成された各エージェントは、人間の認知、判断プロセスの周期と考えられる約 0.1 秒間隔で、個人特性に応じて車両、歩行者、信号などの周辺環境を認知し、認知対象物ごとに対する行動を決定する。決定した行動に従い、シミュレーションでは 0.01 秒ごとに速度および位置を更新する。以上のような歩行（歩く、走る、止まる、後退する）に関係する認知、判断、行動のプロセスを①歩行者の通常行動のモデルとする。詳細は 3 章で説明する。

それに対して、事故は、②歩行に関係する行動以外の行動を行うことによって発生する。あるいは、③歩行行動のなかでたとえば交通ルールの違反や優先意識などによって発生する。②による事故は、事故を通常の歩行行動の認知・判断・行動の的確な実行を阻害し、認知情報の欠落、誤りなどの何らかのエラーを誘発することで、結果的に事故が発生するものとする。歩行に関係する行動以外の行動とは、脇見、考え事、居眠り、携帯電話、会話、ナビ操作などを示し、意識の低下、視力の低下、視野範囲の低下、判断能力の低下などで表現する。これらは、たとえば認知や判断プロセスの周期を大きくする（シミュレーションの認知や判断のスキャンサイクルを大きくする）、あるいは認知の視野角を小さくするなど、パラメータとして設定する。なお、この手法は過去にドライバの運転行動に対して提案し^{5),6)}、歩行者も同じ枠組みで歩行者の事故要因となる行動を再現する。

一方、③による事故については、実事故データの歩行者事故を分析した結果、歩行者は優先意識や信号無視などの「ドライバの事故要因とは異なる意識や行動」が根本にあることが分かった。それらは、特に判断時における意識の追加、欠如、変更において起きるものであるため、②のパラメータとして再現できない。そこで、判断モデルのなかに記述し、行動が再現されるようにした。③についての詳細は 4 章で説明する。

予防安全システムは、それらの能力や行動の正常化や回復、あるいは、介入制御によって表現する。具体的には、②で設定したパラメータや③で記述したモデルを、①の通常行動時のパラメータや判断に戻すことで表現する。

以上の構成によって、通常の歩行行動は交通参加者の他者に対する行動を交通法規に照らし合わせて記述することでモデル化でき、事故要因となる行動は歩行中にとりうる行動を観測することで記述できる。

3. 歩行者の通常行動のモデル

本章では、歩行者の通常行動を再現するためのモデルについて述べる。まず、基本構成を示し、次に、行動を決定する判断処理の方法およびその個人差の表現方法について述べる。

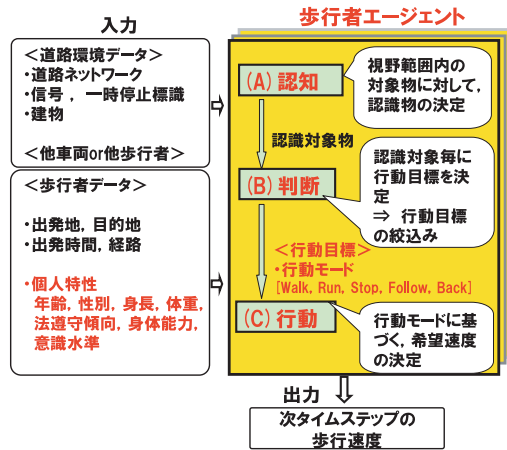


図 2 歩行者の通常行動を再現するモデルの基本構成
Fig. 2 Pedestrian behavior model.

3.1 歩行者の通常行動を再現するモデルの基本構成

歩行者の通常行動を再現するモデルの基本構成を図 2 に示す。エージェントには、生成時に属性情報として経路などの情報と個人属性が設定され、さらに場面ごとの信号、道路などの道路環境データが入力される。個人属性情報は、年齢、性別、法遵守傾向、身体能力、意識水準、身長、体重の 7 つに分類される。個人の属性に基づき、状況に応じて以下のとおり認知、判断、行動のプロセスを実行する。

(A) 認知：認知プロセスでは、個人の身体能力に基づき視野範囲を規定し、周辺環境に対してその視野範囲内の対象物の存在を知覚して、位置、速度などの挙動情報を認識し、判断プロセスへ出力する。認識される対象物は以下の 13 種類を定義した。[歩行者信号、前方歩行者、左側横断直進車、左側横断右折車、左側横断左折車、右側横断直進車、右側横断右折車、右側横断左折車、対向右折車、対向左折車、並走右折車、並走左折車、車両用信号] なお、認知は、視覚だけでなく、聴覚によっても行われるが、聴覚に比べ視覚のほうが判断および行動への影響は大きいので、今回は視覚のみを対象とする。

(B) 判断：判断プロセスでは、認識対象物の挙動情報から個人の身体能力および意識水準に基づき、対象ごとの行動目標を決定する。行動目標は、5 種類の行動モード [Walk, Run, Stop, Follow, Back] のうちのいずれかとなる。さらに、認識ごとの目標から、すべての

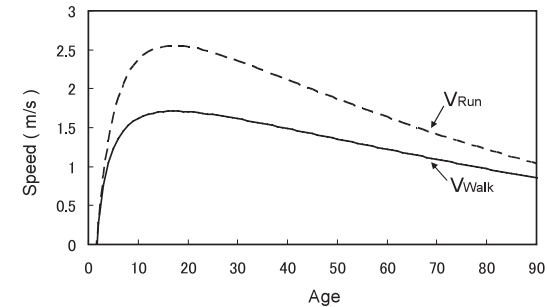


図 3 Run/walk mode の速度
Fig. 3 Speed of Run/walk mode.

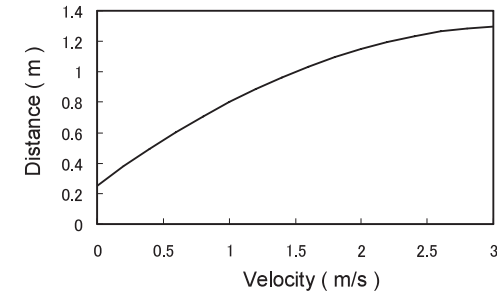


図 4 最小パーソナルスペース
Fig. 4 Minimum personal space.

条件を満たす行動に絞り込み、行動プロセスへ出力する。判断処理の方法は次節で具体的に述べる。

(C) 行動：判断プロセスで決定された行動モードに基づき希望速度を決定する。歩く (Walk) および走る (Run) の年齢に対する速度の関係は従来調査¹⁴⁾に基づき図 3 で示す関係を仮定する。なお、個人に与えられた身体能力および速度に対する乱数パラメータを用いることで、同じ年齢でも同じ速度になるとは限らないようにしている。また、追従 (Follow) は、先行歩行者に対して最小パーソナルスペースを保つように速度制御を行う。最小パーソナルスペースとは、他の歩行者や車両などのオブジェクトが入ると不快に感じる最小距離を示し、速度に対して図 4 に示す関係を仮定する¹⁵⁾。後退 (Back) は、歩行向きを 180 度回転し Run と同じ速度で歩行する。

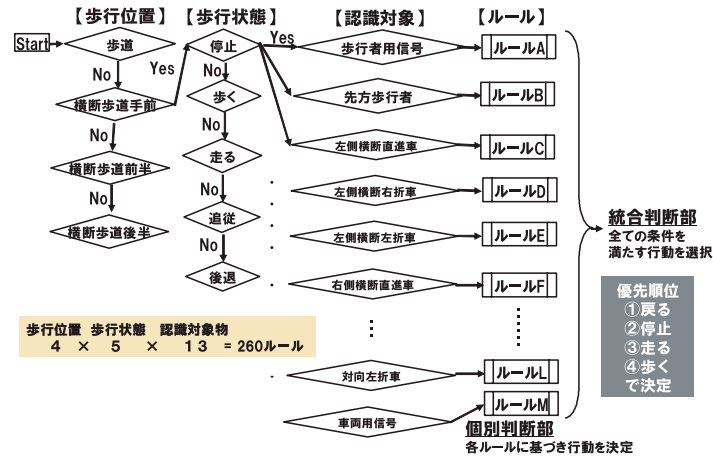


図5 歩行者の判断処理の方法
Fig.5 Pedestrian decision process.

3.2 判断処理の方法と個人差の表現

ここでは、図5の歩行者の判断処理の方法について、図6の太線で示す経路を歩行する場合を例にあげて説明する。図6の例の歩行位置を図7に、認識対象物を図8に示す。

シミュレーションでは、タイムステップごとに、各歩行者について、歩行位置、歩行状態および認識対象物の組合せごとにとりうる行動の選択肢とその判断条件に基づき行動目標が決定される。具体的には、各ルールでは、認識対象物の状態、自分の状態、個人特性および乱数パラメータにより、次のステップにおける行動モード [Walk, Run, Stop, Follow, Back] を決定する。行動モードの優先順位は安全な順に、Back, Stop, Run, Walk (Follow) となり、たとえば、決定された行動が Run であれば、Back, Stop, Run まで行動することが可能である。

各対象の行動モードが決定されたら、それらすべての行動が成り立つ条件を満たす行動を最終的にこの場面の行動として選択する。たとえば、各対象で決定された行動モードがそれぞれ Walk, Stop, Run ならば、この場面で決定される行動は、すべての条件が成り立つ Stop となる。

個人特性として、図9に示すように、法遵守傾向、身体能力、意識水準の3種類に分類し、歩行者特性に応じた行動を選択するようにした。また、歩行者特性が3種類とも同じで

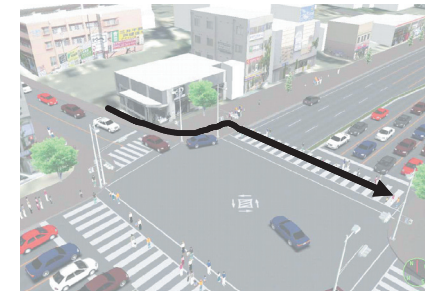


図6 歩行者の判断処理の例（太線で示す経路を歩行する場合）
Fig.6 Example of pedestrian's decision processing.



図7 図6の例における歩行位置
Fig.7 Pedestrian positions for example shown in Fig.6.



図8 図6の例における認識対象物
Fig.8 Objects for example shown in Fig.6.

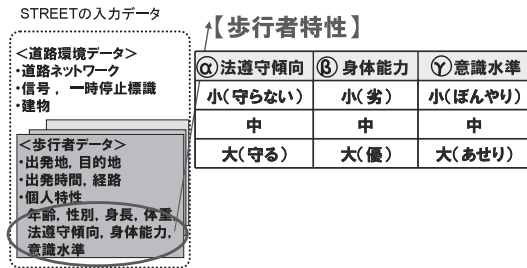


図 9 歩行者の個人特性

Fig. 9 Pedestrian characteristics and variation.

- ・交差点手前での歩行時
- ・認識対象物は、歩行者用信号および左側横断車のみ

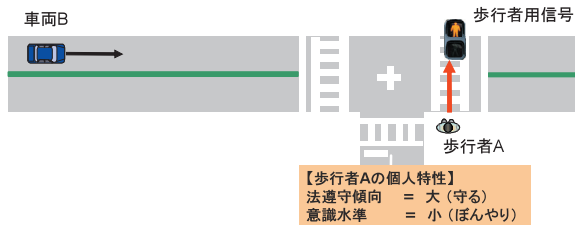


図 10 歩行者の行動再現の例

Fig. 10 Example of pedestrian rules and action.

あっても、各歩行者に割り当てられた、信号、交差車両、歩行速度、パーソナルスペースなどに対する各乱数パラメータによって、行動が同じとは限らず、歩行者のばらつきを表現することとした。

3.3 行動決定の具体例

上記モデルおよびルールを用いた簡単な具体例を示す。図 10 に示すように、歩行者 A が交差点手前を歩行中、認識対象物が歩行者用信号および交差車両（車両 B）のみを例にあげる。まず、歩行者信号に対するルールを図 11 に示す。今回の例では、赤信号で、法遵守傾向 = 大、意識水準 = 小（すなわち、法を厳守し、ぼんやりした状態）の歩行者であると仮定し、図 11 の赤線のパスで示すように Stop を選択する。次に、交差車両に対するルールを図 12 に示す。図の交差車両に対する判断は、交差車両の位置と速度、および、歩行者

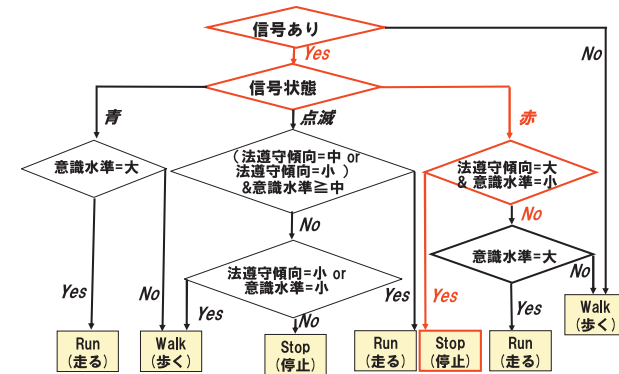


図 11 歩行者用信号に対するルール

Fig. 11 Rule governing pedestrian signal.

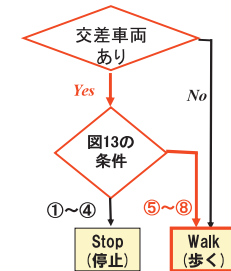


図 12 交差車両に対するルール

Fig. 12 Rule governing pedestrian signal.

自身の歩行速度と位置によって決定する（図 13）。図 13 ①、②に示す部分が、等速で両者が前進した場合にコンフリクトポイントで衝突する可能性が高い。③は車両がコンフリクトポイントに近いが車両が先に通過する場合、④は車両の距離が中程度あるが速度が大きいために、行くかどうか判断に迷う場合を示す。今回の例では、車両 B の位置が遠く、速度が比較的小さい場合であるとし、Walk を選択する。以上の結果より、交差点手前での歩行者 A は、歩行者信号に対しては Stop、車両 B に対しては Walk がルールより出力され、総合判断基準より、Stop（すなわち、停止）が選択される。

なお、図 9 に示す歩行者特性の分布、図 11 および図 12 のルールの妥当性、図 13 に示

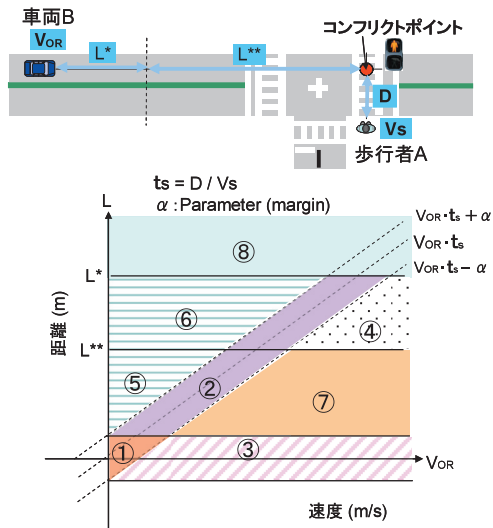


図 13 交差車両に対する判断マップ
Fig. 13 Map of decision rule for a crossing vehicle.

すパラメータの値については、今後実測調査などにより分析し設定していく必要がある。

4. 事故要因となる歩行者行動のモデル

STREET では事故発生を 2 章で説明したとおり、運転行動のモデルの枠組みと同様に、まず、歩行者の通常行動をモデル化し、そして、歩行行動以外の行動がイベント的に発生することを模擬することによって、通常の歩行行動が阻害され、結果的に事故が発生するモデルとなっている。

しかしながら、実事故データ²⁾を分析した結果、歩行者は安全不注意などのドライバーと同様の事故要因以外に、通常の歩行行動においても優先意識や信号無視などのドライバーとは異なる意識や行動が根本にあると判明した。具体的には、運転者にとっては、交通法規に従わない行動は、違反として法規的および倫理的に厳しく対処されるが、歩行者は、違反に対する罰則が必ずしも厳格に適用されるわけではなく、交通弱者であることや移動に身体的負担がともなうなどのことが運転者とは異なる。この部分は、通常の歩行行動には含まれない行動である。そこで、本章では、実事故データの分析から得られた結果に基づき、歩行者の

行動モデルに対して、事故発生の要因となる歩行者特有の行動をモデルとして追加した。

具体的に、歩行者の事故発生要因として以下があげられる。

- ・優先意識

車両の存在を知っていても、「車両より優先して通行できる」、「車両は止まってくれるだろう」という意識を持ち行動。

- ・信号無視

歩行者用の信号が赤であっても、車両との安全を判断して横断。

- ・安全不確認

「車両はこないだろう」という意識を持ち、車両を確認しない。

- ・横断歩道外横断

横断歩道以外を横断。

- ・その他

夜間に見え難い服装の着用。病気、高齢、酒酔いなど。

上記の歩行者の事故要因のうち、優先意識はドライバーとは異なり、歩行者はかなり高い優先意識を持って行動している。少なくとも「横断歩道を渡る際の歩行者が歩行者信号以外を意識しない」ほどの優先意識はドライバーにはないと思われる。歩行者は、車両を認知しており、さらにその車両との安全な距離や時間的な余裕が少なくても「車両は止まってくれる」あるいは「車両は止まるものだ」という意識を持っていると考えられる。

また、信号無視についても、ドライバーにもありうるが、ドライバーの信号無視は「信号を見落とした」ことから生じるものである。歩行者は、「車両がこなければ当たり前のように」行っているほど信号無視が頻繁である。実測調査によると車両交通がない場合の横断歩道では 7 割の歩行者が信号無視をしている¹⁶⁾。

そこで、歩行者特有の事故要因となる行動モデルを以下に提案する(表 1)。今回は、横断歩道横断時における優先意識および信号無視のモデルについて説明する。

まず、優先意識については、上述の考察より、信号が青ならば、歩行者が車両を認知し、さらにその車両との安全な距離や時間的な余裕が少なくても車両に対する判断を行わないこととした。そこで、たとえば図 5 に示す判断のルールにおいて、図 14 に示すように、車両に関する認識対象物は、たとえ存在しても考慮しない、すなわち判断を行わないよう表現することとした。

信号無視については、図 15 に示すように、図 5 に示す歩行者用信号に対するルールに、

表 1 歩行者事故の要因とモデル化の方法
Table 1 Factors of pedestrian accidents and the way of modeling.

歩行者事故要因	モデル化の方法
優先意識	車両を考慮せず歩行者用信号のみからの判断
信号無視	信号が赤でも、車両との余裕があれば横断
安全不確認	車両の確認をしない（左右安全確認を怠る、認知のエラーとして記述。）
横断歩道外横断	横断歩道などの道路構造に関係なく目的地に進む

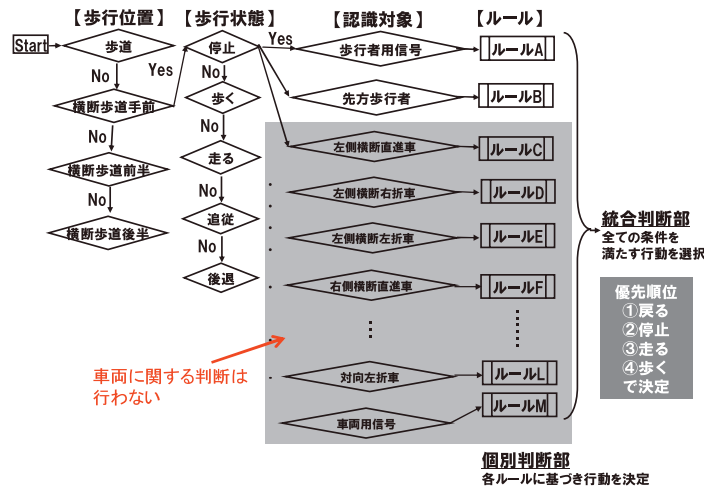


図 14 歩行者の判断処理と優先意識の再現方法
Fig. 14 Pedestrian decision process and the modeling of "priority sense".

信号状態と歩行者特性に応じ、信号が赤でも「走る」あるいは「歩く」状態を記述することとした。具体的には、信号が赤色で、歩行者特性が、法遵守傾向 \leq 中、意識水準 = 大のとき（すなわち、法を厳守せず、あせっている状態）は、「走る」を選択する。同様に、信号が赤色で、歩行者特性が、法遵守傾向 \leq 中、意識水準 = 中のとき（すなわち、法を厳守せず、あせりやぼんやりした状態でないとき）は、「歩く」を選択する。歩行者用信号以外のルールにおいて、「戻る」あるいは「止まる」が選択されていなければ、歩行者は「走る」あるいは「歩く」行動をとることになる。

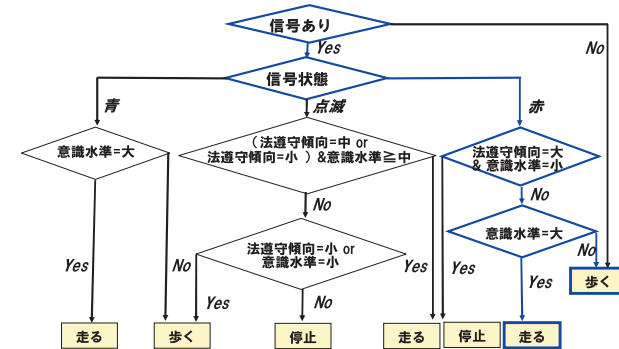


図 15 歩行者信号に対するルールと信号無視の再現
Fig. 15 Rule governing pedestrian signal and the modeling of "disregarding traffic signal".

5. 予防安全システムの評価例

本章では、STREET を用いて、“歩行者対車両事故の再現および事故要因を検討することが可能か”，また，“発生した事故に対して予防安全システムを導入したときの効果を分析することが可能か”を検討する。そこで、仮定の道路および交通状況において、歩行者対車両事故の発生および予防安全システムの評価を試行した。なお、今回歩行者は横断歩道を渡るもののみとした。また、個人特性の分布やパラメータの値は仮設定とした。

5.1 シミュレーション条件と結果例

シミュレーションの入力条件とした道路、車両および歩行者交通量を図 16 に示す。

以上の条件のもと、シミュレーションを行った結果、歩行者対車両事故の歩行者側の事故要因の割合は図 17 に示す結果となった。図より、優先意識、信号無視、安全不確認がほぼ同程度に起きていることが分かる。この結果を実事故データと比較し、事故再現確率を実事故割合と同程度にすることが今後の課題である。

発生した事故に対して、予防安全システムの効果評価を行った。評価に用いたシステムの作動条件は以下のとおりの簡略化したモデルを用いた。なお、システムの作動タイミングは 2 章で説明したシミュレーションのスキャンサイクル (0.1 秒間隔) で以下の条件が成立する場合に作動することとした。

【衝突被害低減システム (Collision Avoidance System: CAS)】システム搭載車両には、他車両 (歩行者) との距離 10 m 以内かつ TTC (Time To Collision: (車間距離)/(相対速度))

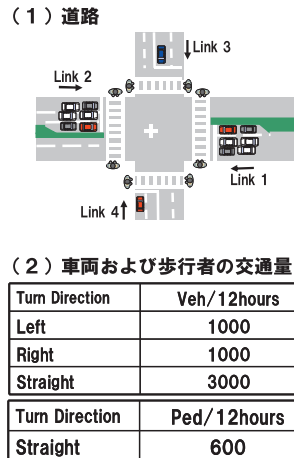


図 16 シミュレーション対象の道路，車両および歩行者の交通量
Fig. 16 Traffic conditions used for the simulation.

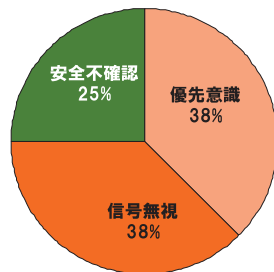


図 17 歩行者事故の歩行者側の事故要因の割合
Fig. 17 The simulation result of the vehicle-pedestrian traffic accident factors.

1.0 秒以下のとき，最大減速度 0.8 G の介入制御を行う。

【通信システム】通信システムや端末を持つドライバ（歩行者）は，交差点 100 m 以内が存在している場合，交通情報センタとの通信によって，同交差点から 100 m 以内のすべての車両および歩行者の位置および速度情報を通信遅れなしで得る。情報を得たドライバ（あるいは歩行者）は，運転以外の行動（脇見など）をせずにルールに則した行動を行う。

安全システム構成としては，以下の 3 レベルを検討した。

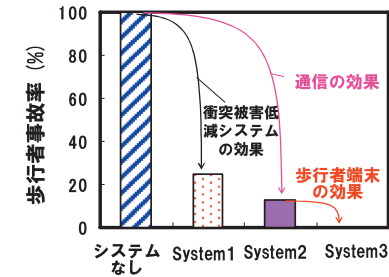


図 18 システム評価例
Fig. 18 Example of system evaluation.

- システム 1：車両の CAS による介入制御（全車搭載）。
- システム 2：車両の CAS による介入制御と通信システムによる警報（CAS および通信システムともに全車搭載）。
- システム 3：車両の CAS による介入制御と通信システムによる警報歩行者端末での警報（CAS および通信システムともに全車搭載，通信システムは全歩行者が保有）。

また，予防安全システムによる歩行者事故低減割合の評価例を図 18 に示す。システムなしを 100%とした場合に，システム 1 により 7 割減，システム 2 により 8 割以上の事故が削減できていることが分かる。さらに，システム 3 で歩行者端末の警報が事故低減に効果があることが分かる。以上のように，予防安全システムによる事故の低減効果を件数や割合を用いた試算が可能となった。

次に，上述の 1 つのケースについて具体的な分析を行う。再現した事故例では，以下の状況であった。

- 車両は，歩行者を認知していたが黄色信号から赤信号への変更時に交差点を通過。交差点通過時点では，すでに赤信号。
- 歩行者は，歩行者用信号が青になった直後に車両を確認せず走って横断。

この事故に対して，システムを導入した場合の事故発生までの流れを図 19 に示す。左が車両，右が歩行者を示しており，システムがない場合に対してシステム 3 を導入した場合を斜体（赤色）で示す。図より，システム 3 が無い場合は，車両は，8:52:28 に歩行者を認知したが，歩行者より先に通過可能と判断を誤り，結局 8:52:30.4 に 22 メートル手前で歩行者と衝突すると気づく。しかしながら，間に合わず 8:52:31.8 に車両と歩行者が衝突

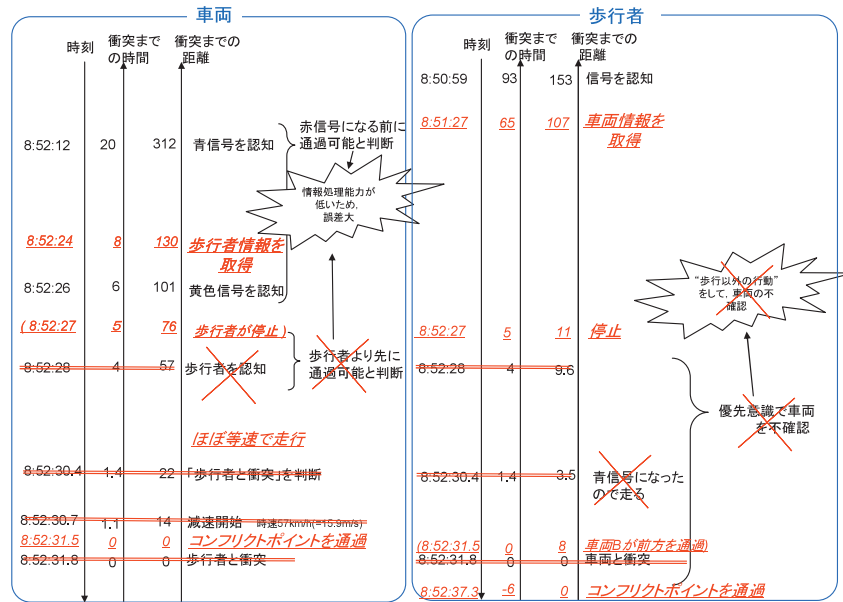


図 19 事故発生までの流れ (システム 3 を導入した場合を斜体で示す)

Fig. 19 Flow until the accident occurrence (shown in italics when the system 3 was introduced).

した。一方、歩行者は、8:52:30.4 に歩行者用信号が青になった瞬間に、優先意識により車両をまったく確認せずに横断歩道を走って渡っていた。この状況においてシステム 3 を導入した場合、歩行者が 8:51:27 に車両情報を取得することにより、歩行者の優先意識がなくなり横断歩道を渡る手前で停止、車両を見送ってから横断し、事故には至らなかった。このように、車両および歩行者それぞれが、どの時点で何を認知し、どう判断し、行動したのかを評価可能となった。

以上、STREET を用いて、予防安全システムによる事故低減率などの試算と時系列への行動変化などの分析が可能となった。なお、計算処理時間について、パーソナルコンピュータ (CPU: Pentium(R) 4 2.8 GHz, Memory: 1.0 Gbyte) を用い、認知・判断のスキャンサイクルを 0.1 秒、状態 (位置、速度) 更新のスキャンサイクルを 0.01 秒として計算した。その計算に要した時間は 1 時間あたりの計算で約 6 分、すなわち実時間の 10 分の 1 の計算速度である。STREET は、1~数交差点規模を対象にしたシミュレーションであり、計算

処理時間に問題がないことを確認した。

5.2 考察と課題

これまで示したように、提案したモデルにより、横断歩道を横断する行動を再現し、事故要因となる歩行者行動を再現することによって歩行者対車両の事故を再現可能となった。また、それら各事故の要因を分析し、たとえば、優先意識、信号無視、安全不確認による事故を発生と判断できることが分かった。さらに、発生した事故に対して予防安全システムを導入したときの効果を時系列や場所を追って分析することが可能であることを示した。以上のとおり、今回は歩行者の通常行動と事故を再現するモデルの検討を行い、提案したモデルによって目的とする結果が得られるかを確認した段階である。事故件数やシステム評価には、事故再現の妥当性や信頼性が必須である。歩行者特性の分布、ルールの妥当性、事故の再現性の検証、システムの妥当性については、今後、アンケート調査、建物屋上やドライブレコーダで撮影した画像解析、事故分析調査報告書などを用いて検討していく予定である。

また、今回は、横断歩道を横断する行動についてモデル検討したが、今後は、横断歩道での事故とほぼ同割合で発生している「飛び出し」などの横断歩道以外での事故を再現する必要がある。

6. まとめ

予防安全システム評価シミュレータ STREET の、信号交差点における横断歩道横断時の歩行者行動および事故を再現し、予防安全システムを評価するモデルを開発した。

歩行者とドライバが、各々の周辺環境に対して、認知、判断の結果に基づき行動することにより、歩行者と車両のお互いの関係を再現可能となるように歩行者の通常行動を再現するモデルを構成した。

再現方法としては、歩行位置、歩行状態、認識対象ごとの各組合せに対して行動ルールを設定し、各ルールから出力される行動からすべての条件を満たす行動を選択することとした。

また、歩行者事故要因となる行動の再現については、実事故データの歩行者事故を分析した結果、歩行者は優先意識や信号無視などの、「ドライバの事故要因とは異なる意識や行動」が根本にあることが分かったため、歩行者の優先意識を、“車両に対する判断を行わないよう記述する”ことで表現した。また、信号無視は、歩行者用信号に対する判断ルールにおいて、信号状態と歩行者特性に応じて信号が赤でも「歩く」あるいは「走る」状況を記述した。

最後に開発したモデルを用いて、予防安全システムの評価を試行し、提案モデルにより、事故低減率などの評価、事故やシステム効果分析が可能であることを確認した。

今後は、提案モデルの妥当性の検討を行う予定である。また、横断歩道以外での事故を再現するモデル検討を行う。

参 考 文 献

- 1) 大堀太千男: ITARDA INFORMATION 歩行者事故, No.50, pp.1-8, 財団法人交通事故総合分析センター (2004).
- 2) 財団法人交通事故総合分析センター: 交通事故例調査, 分析報告書 (平成 17 年度報告書) (2005).
- 3) 森 博子ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.2129-2199 (2008).
- 4) Mori, H., et al.: Development of a Traffic Simulator for Evaluating Safety Systems, *Proc. 13th ITS World Congress*, p.1526 (2006).
- 5) 北岡広宣: 予防安全システム評価シミュレータ: STREET—認知・判断モデルの開発, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.5, pp.151-156, 自動車技術会 (2008).
- 6) Kurahashi, T., et al.: STREET: Simulation for safety evaluation—driver's decision model, *Proc. 14th ITS World Congress*, p.3109 (2007).
- 7) Available at <http://www.legion.com/software/simulator.php>
- 8) Taknomo, K.: Application of microscopic pedestrian simulation model, *Transportation Research Part F*, Vol.9, No.1, pp.15-27 (2006).
- 9) Helbing, D., et al.: Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, pp.21-58 (2001).
- 10) Lavos, G.G.: Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow, *Transportation Research B*, Vol.28B, No.6, pp.429-443 (1994).
- 11) 杉山芳宏ほか: マルチエージェント, シミュレーションによる歩行者自転車道の評価, 第 25 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.213-216, (社)交通工学研究会 (2005).
- 12) 長野俊平ほか: 歩車混合空間における交通流シミュレーションモデルの開発, 土木学会年次学術講演会後援概要集第 4 部, Vol.55, pp.48-49, 土木学会 (2000).
- 13) Lui, R., et al.: A Bi-Model Microsimulation Tool for the Assessment of Pedestrian Delays and Traffic Management, *9th International Association of Travel Behavior Research Conference* (2000).
- 14) Oxley, J.A.: Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians, *Accident Analysis and Prevention* 37, pp.962-971 (2005).
- 15) 劉 建宏: 歩行者の交錯と回避行動, 九州人間工学, No.25, pp.30-31 (2004).
- 16) 門田博知: 信号交差点における歩行者の横断特性, 交通工学, Vol.16, No.7, pp.3-13, (社)交通工学研究会 (1981).

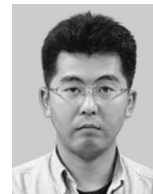
(平成 21 年 1 月 8 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



森 博子 (正会員)

1993 年筑波大学大学院社会学研究科経営工学専攻にて修士取得。同年 (株)豊田中央研究所入社。以来、交通流シミュレーション、交通状況予測、予防安全評価技術、歩行者行動モデル開発に関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部 ITS システム研究室に所属。交通工学研究会会員。2007 年、2008 年および 2009 年に情報処理学会高度交通システム研究会優秀論文賞を受賞。



倉橋 哲郎

1994 年 (株)豊田中央研究所入社。2009 年名古屋大学大学院工学研究科機械理工学専攻修了 (工学博士)。運転行動解析、予防安全技術に関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部運転行動研究室に所属。日本機械学会、電子情報通信学会、自動車技術会各会員。



岩瀬 竜也 (正会員)

2000 年東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻修了。同年日本アイ・ピー・エム株式会社入社。2002 年 SRA America, Inc. 入社。2005 年 (株)豊田中央研究所入社。以来、予防安全システムおよび交通シミュレーションに関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部 ITS システム研究室に所属。



町田 貴史

2000 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2002 年同大学情報科学研究科博士後期課程単位取得退学。同年大阪大学サイバーメディアセンター助手。2006 年 (株)豊田中央研究所入社。博士 (工学)。画像処理、コンピュータビジョン、コンピュータグラフィックスの研究に従事。電子情報通信学会、ACM、IEEE 各会員。



小里 明男

1983年(株)豊田中央研究所入社。交通事故解析に関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部 ITS システム研究室に所属。



山下 真彦

1991年(株)豊田中央研究所入社。研究用計測装置の開発に従事したのち、交通事故低減、交通状況予測に関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部 ITS システム研究室に所属。



北岡 広宣

1992年千葉大学大学院工学研究科電子工学専攻修了。同年(株)豊田中央研究所入社。以来、交通状況予測および予防安全評価技術に関する研究に従事。現在、安全・情報システム研究部 ITS システム研究室に所属。交通工学研究会会員。