

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, 倉橋 哲郎, 岩瀬 竜也, 町田 貴史,
小里 明男, 山下 真彦, 北岡 広宣

(株)豊田中央研究所

要約

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. 本研究では, STREET で歩行者事故と予防安全システムを評価するために, 歩行者行動のモデル化を検討する. 歩行者事故に至った歩行者行動を再現するために, 歩行者は, 周辺環境を認知した結果に基づき次の行動を判断するようにした. その過程において, 歩行者の優先意識や信号無視などの事故要因となる行動を表現することにより結果的に事故が発生するようにモデル化した. 最後に, STREET を用いて, 事故率などの予防安全システムの評価, および, 事故要因や予防安全システムの効果を分析可能であることを示す.

Modeling of Pedestrian Behavior for Evaluating Safety Systems

Hiroko Mori, Tetsuo Kurahashi, Tatsuya Iwase, Takashi Machida, Akio Kozato,
Masahiko Yamashita, Hironobu Kitaoka

TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.

Abstract

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 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, 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 such as a priority sense. 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.

ータとして、信号、道路等の道路環境データ、各歩行者の経路等の情報と個人属性を示す情報がある。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通りに認知/判断/挙動を決定する。

(A) 認知：視野範囲内の対象物に対して、個人の身体能力に基づき、認識物を決定する。認識対象物は以下の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挙動への影響は大きいと、今回は視覚のみを対象とする。

(B) 判断：個人の身体能力および意識水準に基づき、認識毎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、認識毎の目標から、全ての条件を満たす行動に絞り込む。認知・判断処理の方法は次節で具体的に述べる。

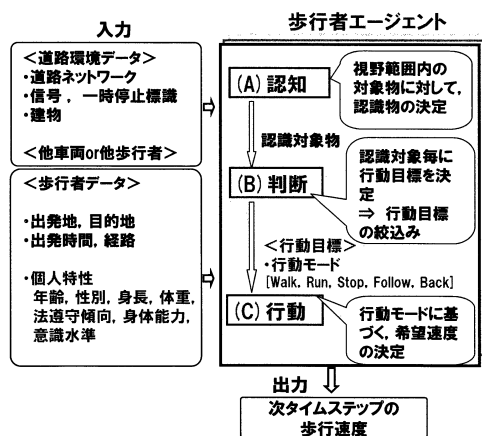


図2 歩行者モデルの基本構成

(C) 挙動：行動モードに基づき希望速度を決定する。年齢に対する歩行(Walk mode)および小走り(Run mode)の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て、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、Follow Modeは、先行歩行者に対して最小パーソナルスペースを保ち、速度制御を行う。最小パーソナルスペースとは、他の歩行者や車両等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)。Back Modeは、歩行向きを180度回転しRun Modeと同じ速度で歩行する。

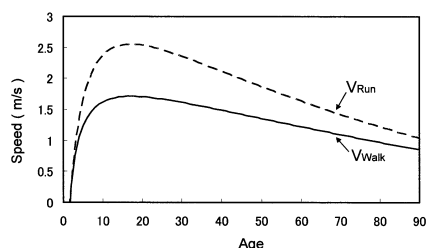


図3 Run/walk mode の速度

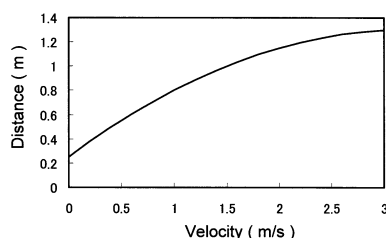


図4 最小パーソナルスペース

3-2. 認知・判断処理の方法と個人差の表現

ここでは、歩行者の認知・判断処理の方法(図5)について、図6の太線で示す経路を歩行する場合を例に挙げて説明する。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、タイムステップ毎に、各歩行者が、離散化された歩行位置、歩行状態および認識対象物の組合せ毎のルール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を判断する。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種類とも同じ歩行者同士であっても、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。

各ルールからの出力に基づき、それらすべての条件を満たす挙動を最終的に選択する。具体的には、各ルールからの出力を比較し、戻る、停止、走る、歩く、の優先順位で行動を決定する。

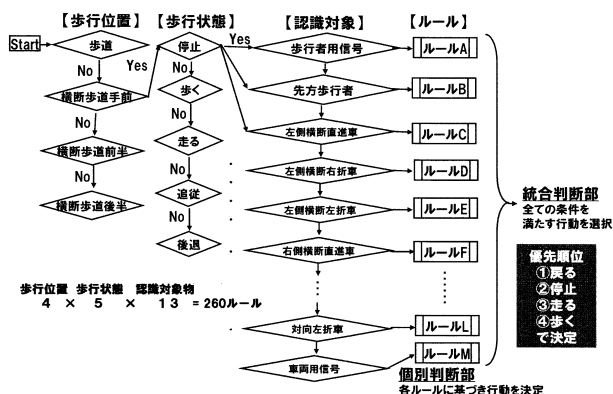


図5 歩行者の認知・判断処理の方法



図8 図6の例における認識対象物

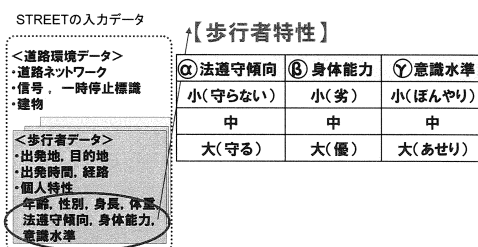


図9 歩行者の個人特性

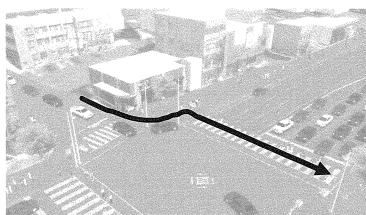


図6 歩行者の認知・判断処理の例
(太線で示す経路を歩行する場合)



図7 図6の例における歩行位置

4. 事故に至る歩行者行動のモデル化

STREET では事故発生を2章で説明した通り、ドライバおよび歩行者ともに通常行動以外の行動を模擬することによって結果的に発生するようにモデル化している。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と同様の事故要因以外に、優先意識や信号無視などのドライバとは異なる意識や行動が根本にあると判明した。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、事故に至る歩行者行動のモデル化について検討する。

具体的に、歩行者の事故発生要因として以下が挙げられ、各項目での括弧内には、
○:第2章で述べたドライバとの共通モデルで歩行者行動を表現できる、
×:第2章で述べたドライバとの共通モデルで歩行者行動を表現できない、ことを示す。

- ・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（○）
歩行者用信号が青になった直後の飛び出し等、車両との安全を確認せずに行動。
- ・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。病氣、高齢、酒酔い等。

上記の歩行者の事故要因のうち、安全不確認は歩行者とドライバの共通にあり得るが、優先意識はドライバとは異なり、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、ドライバにも有り得るが、ドライバの信号無視は「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、前章で示したドライバおよび歩行者との共通のモデルに加えて、歩行者特有のモデル化を以下に提案する（表1）。表1に示す歩行者事故の要因のうち、優先意識、信号無視および横断歩道外横断は、歩行者特有の要因である。今回は、優先意識および信号無視についてのモデル化について説明する。

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、例えば図2に示す判断のルールにおいて、図10に示すように、歩行者用信号（ObjectA）以

外の認知対象物は、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。

表.1 歩行者事故の要因とモデル化の方法

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（判断のルール中に記述）
安全不確認	車両や信号に対する判断能力の低下
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

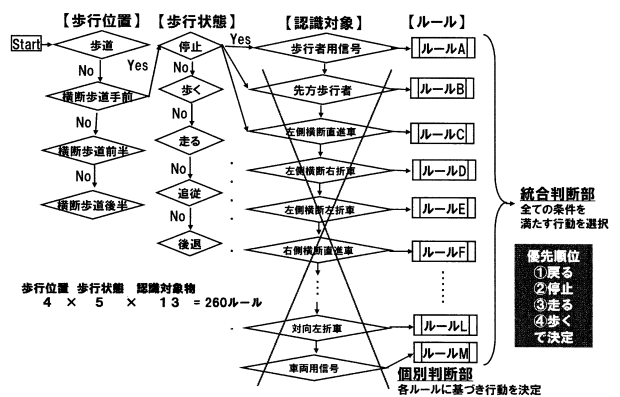


図10 歩行者の認知・判断処理と優先意識の再現方法

信号無視については、図11に示すように、図2に示す歩行者用信号に対するルール（ruleA）に、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≦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≦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。

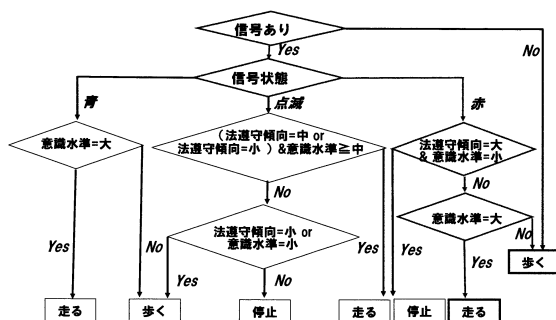


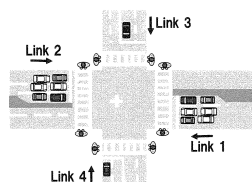
図 11 歩行者信号に対するルールと
信号無視の再現

5. 予防安全システムの評価例

本章では、第2章で説明した STREET の構成、3章および4章で提案した歩行者モデルを用いて、“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、仮想の道路および交通状況において、第2章で説明した通常行動以外の行動の発生頻度を上げ加速試験を行い、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。

シミュレーション対象とした道路、車両および歩行者交通量は仮想の状況で図12に示す通りである。

(1) 道路



(2) 車両および歩行者の交通量

Turn Direction	Veh/12hours
Left	1000
Right	1000
Straight	3000
Turn Direction	Ped/12hours
Straight	600

図 12 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

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13に示す通りになった。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。

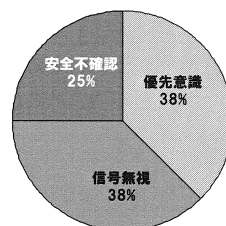


図 13 歩行者事故の歩行者側の事故要因の割合

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通りの簡略化したモデルを用いた。

- ・【衝突被害低減システム(Collision Avoidance System:CAS)】距離 10m以内かつ TTC 1.0 秒以下のとき、最大減速度 0.8G の介入制御を行う。
- ・【通信システム】交差点から 100m以内の車両・歩行者の位置および速度情報を得る。情報を得たドライバ（あるいは歩行者）は、運転以外の行動（脇見等）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。

- ・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14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ってどれぐらい事故が減らせるかを、件数や割合を用いた試算が可能となった。

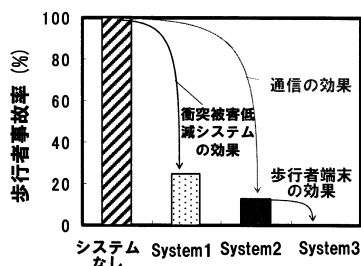


図 14 システム評価例

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、既に赤信号。
- ・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15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で示す。図より、システム3がない場合は、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全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。

5. 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な歩行者モデルの構成とした。また、歩行者の通常行動の再現方法としては、歩行位置、歩行状態、認識対象毎の各組み合わ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全ての条件を満たす行動を選択することとした。

また、歩行者事故に至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、ドライバのモデルとは別に、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。

参考文献

- (1) 大堀太千男：ITARDA INFORMATION 歩行者事故，財団法人 交通事故総合分析センター，No.50, 2004, p.1-8
- (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，(社)情報処理学会，情報処理学会論文誌，Vol.49, No.6, pp.2129-2199 (2008)

- (4) Hiroko Mori et al. : Development of a Traffic Simulator for Evaluating Safety Systems, Proc. 13th ITS World Congress, paper.1526 (2006)
- (5) Tatsuya Iwase et al. : STREET: Simulation for safety evaluation -vehicle motion model-, Proc. 14th ITS World Congress, paper 3108(2007)
- (6) Tetsuo Kurahashi et al. : STREET: Simulation for safety evaluation -driver's decision model-, Proc. 14th ITS World Congress, paper 3109(2007)
- (7) Available at
http://www.legion.com/software/simulator.php
- (8) K.Taknomo : Application of microscopic pedestrian simulation model, Transportation Research Part F, Vol.9, No.1, p.15-27 (2006)
- (9) D.Helbing et al. : Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, Pedestrian and Evacuation Dynamics, p.21-58 (2001)
- (10) Lavos,G.G. : Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow, Transportation Research B, Vol.28B, No.6, p.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，(社)交通工学研究会，2005，P213-216
- (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，土木学会，Vol.55, 2000, P.48-49
- (13) Ronghui Lui 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) Jennifer A. Oxley : Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians, Accident Analysis and Prevention 37 p.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, p.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，(社)交通工学研究会，Vol.16, No.7, P.3-13 (1981)

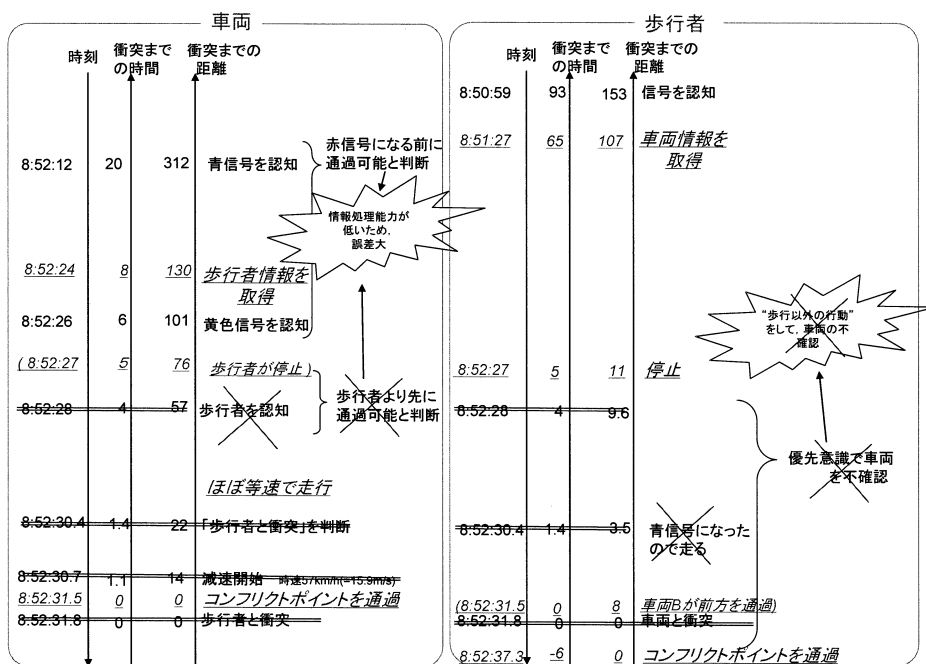


図 15 事故発生までの流れ (システム3を導入した場合を斜体で示す。)