

路上観測データによる小交差点出合頭事故防止システムの警告精度に関する分析*

A study on the warning accuracy of collision avoidance system for crossing accidents at small intersections *

三谷哲雄**・辰野雄輝***・鈴江宗大****・山中英生*****

By Tetsuo MITANI**・Yuki TATSUNO***・Soudai SUZUE****・Hideo YAMANAKA*****

1. はじめに

全国における交通事故は、交差点とその付近で大半が生じており、交通安全向上には小交差点の安全性向上が肝要である。中でも出合頭事故は毎年、全事故件数の25～27%の間を占めており、その内の約70%は無信号小交差点で起こっている。その多くの原因は、非優先側車両による一時停止不履行であることが分かっている。

著者らは、小交差点で一時停止を怠る危険車両に対して警告を発生する車載型装置の開発を進めてきた¹⁾²⁾³⁾等。車載型は、システムの普及に伴い事故抑制効果が表れるため、事故多発地点に対しては効果が早急に表れる路上型の実地配備を進めることが重要と言える。また意味のない警告が多発すると警告を認識しなくなる「慣れ」が生じるため、交差車両や進入車両挙動のセンシングにより危険判定を行い、危険車両にのみ警告する等の工夫が必要である。

そこで著者らは、車載型警告システムの成果を踏まえ、路上型警告システムを想定した2つの挙動判定モデルを提案している⁴⁾。また、車載器で計測された比較的高精度な交差点進入挙動データを用いたシミュレーション分析により、両モデルの判定特性を明らかにし、交差点特性に応じた適用方針を示している⁴⁾。

本稿では、公道交差点における路上観測により得た車両の交差点進入挙動データおよび交差点特性を用いて、既存の挙動判定モデルによるシミュレーション分析を行い、危険車両判定、警告判定効率、警告発生位置を明らかにし、路上型警告システムの適用性を検討した。

2. 分析方法

(1) 分析に用いたデータベース

本研究では、研究実績のある兵庫県加古川市内の出合

* キーワーズ：地区交通計画、交通安全、ITS

** 正員 博(工) 流通科学大学情報学部
(〒651-2188、神戸市西区学園西町3-1
TEL078-796-4401、FAX078-794-3054)

*** 正員

**** 正員 ジェスコ株式会社
***** 正員 工博 徳島大学工学部
(〒770-8506、徳島県徳島市南常三2-1
TEL088-656-7578、FAX088-656-7579)

頭事故の多発している公道交差点における路上観測により得られた非優先側道路の先頭車両の交差点進入挙動データを用いた。交差点進入挙動データは、交差点進入道路を定置撮影したビデオの解析によって得られた進入車両の位置(交差点端からの距離)とその位置での走行速度を用いた。ビデオ観測は、2箇所の交差点(4つの非優先進入路)を対象に朝昼夕のそれぞれ約2時間ずつ実施し、合計約970台分のデータを得た。

交差点特性については、対象交差点の自幅員(車両進入路の幅員)、交差幅員(交差道路側の幅員)などを現地計測した。これらに基づき危険判定に必要な発見位置(交差道路側の同速度の衝突する恐れのある車両を発見できる位置)を算出した。

(2) 挙動判定モデル⁴⁾

a) 二段階停止挙動モデル

停止挙動として、図-1に示すように、「判定地点からは、通常制動空走時間 T_{bn} の空走後に通常制動加速度 A_{bn} により、発見位置まで減速する。そして、発見位置侵入時に、交差道路からの車両、通行者などを発見して、急制動空走時間 T_{br} 後に急制動加速度 A_{br} のブレーキで停止する。」を仮定している。そして、設定停止位置までに停止が出来ない場合に危険車両と判定する。

空走時間、ブレーキ加速度はドライバーの能力によって異なることから、同様の挙動をしていても危険であるかどうかはその能力によって異なると考える。また、発見位置より交差点側ではサービスを行わない。この領域ではドライバー自身が危険を発見できることから、ドライバーの責任領域としているためである。

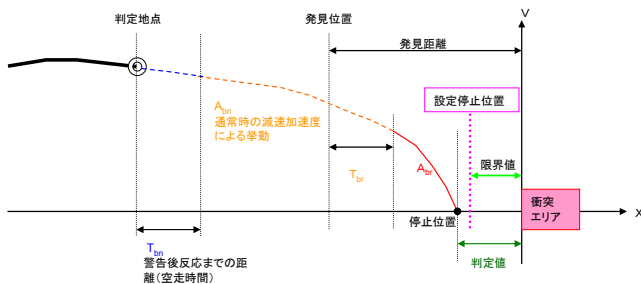
なお、路上型警告システムでは個々の車両のドライバー能力は設定不能であるため、一般値を設定した($T_{bn}=1$ 秒、 $A_{bn}=-0.3G$ 、 $T_{br}=0.8$ 秒、 $A_{br}=-0.5G$)。

b) 一次遅れ系制動距離モデル

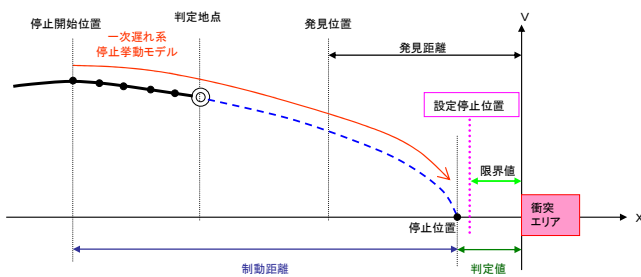
停止開始位置で仮に警告を与えていたとして、判定地点までに観測された、いくつかの位置と速度の情報のみから推定できる制動距離⁵⁾に基づき、停止位置を推定し、設定停止位置までに停止できるかを判定するものである。図-2は一次遅れ系制動距離モデルの概念図である。

二段階停止挙動モデルと同様に、発見位置より交差点

側の領域ではサービスせず、また限界値の調整が可能である。進入挙動が減速状態にない場合や、推定に必要な速度データの不足状態では、制動距離を推定できないため、二段階停止挙動モデルによる停止位置を利用することにした。



図一 二段階停止挙動モデルの概念図



図二 一次遅れ系制動距離モデルの概念図

(3) モデルの評価方法

全ての交差点進入挙動ごとに発見位置での交差点進入挙動データに基づき、二段階停止挙動モデルにより危険判定を行い、危険走行車両と安全走行車両とを判別した。さらに交差点進入中に警告が発生するか否かを上記の挙動モデルにより判別した。

この結果から、表一のように危険走行車両に警告発生される場合は適正警告、安全走行車両に警告が発生される場合は偽警告とした。適正警告の比率が高まると、事故を起こす可能性のある車両に対して警告を与え事故抑制効果につながる。一方、偽警告が増えると煩わしさを感じ、システムの信用低下につながる。

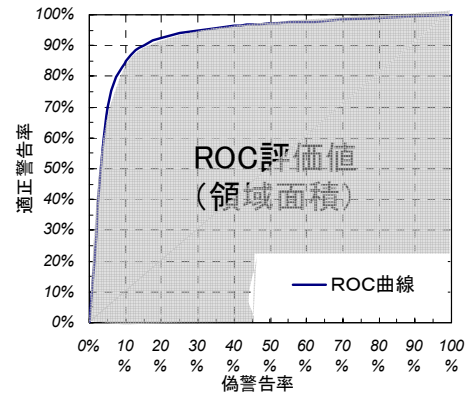
このため、適正警告率が高く、偽警告率が低いことを警告判定アルゴリズムの評価視点とした。よって、危険判定と警告判定の関係から適正警告率及び偽警告率を評価指標として用いる。ただし、この2つの指標値は、設定停止位置である閾値を変化させることで変化する値となる。横軸に偽警告率、縦軸に適正警告率を取り、閾値ごとに指標値をプロットすると、1つの警告判定アルゴリズムに対して図三のような曲線を描くことができる。これはROC曲線と呼ばれており、ROC曲線がより左上方に位置するほど精度が高く優れた警告判定アルゴリズムであると判断される。

今回はROC曲線で囲まれる面積（ROC評価値）に

より警告効率を総合的に評価する。ROC評価値が大きいほど、警告効率は高くなる。

表一 危険判定と警告判定の関係

| | 警告あり | 警告なし |
|------------------------|------------|-----------|
| 危険走行車 | A 適切な警告 | B 警告もれ |
| 安全走行車 | C 警告の誤り | D 通常時 |
| 適正警告率・・・ $A / (A + B)$ | | |
| 偽警告率・・・ $C / (C + D)$ | | |



図三 ROC曲線とROC評価値

(4) 分析条件

a) 測定範囲

測定範囲をいくつか設け、最適な車両検知範囲を検討することにした。測定範囲は、交差点端を0m・進入方向を正とし、範囲を限定しない($-\infty$ m $\sim\infty$ m)、-30m \sim -5m、-20m \sim -5m、-10m \sim -5mの4範囲とし、それぞれについて2つの挙動判定モデルを用いて分析を行った。

b) 設定停止位置

警告判定に用いる際の閾値である設定停止位置は、衝突ライン（衝突エリア端のことで、道路端通行を想定して交差道路端から1mの位置とした）を0m地点として、0.5m間隔で進入方向に対して逆向きに5m地点まで設けるものとする。設定停止位置までに停止できない場合に警告が発生するので、停止位置を0mに設定した場合に最も警告が発生しにくく、逆に5mに設定した場合に最も警告が発生しやすい。

c) 交差点突入時間

警告発生時の速度をv、車両位置をxとしたとき、 x/v を交差点突入時間と定める。これは、その速度を維持した場合の交差点に突入するまでの予測時間である。また既存研究³⁾で、車載型システムの場合は、1.5秒から2.0秒手前の時点での警告が最も煩わしく感じにくく、最適な発生タイミングであることが分かっている。

3. 警告効率の分析結果

(1) 全進入路での ROC 曲線

測定範囲・∞m～∞m、-30m～-5m、-20m～-5m、-10m～-5mにおいて、挙動判定モデルごとの ROC 曲線をそれぞれ図-4、図-5、図-6、図-7に示す。また、それらの ROC 評価値を表-2に示す。

測定区間-10m～-5m において、二段階停止挙動モデルは、ROC 評価値が 0.79 であり、ROC 曲線の適正警告率は 70%から 100%、偽警告率の範囲が 25%程度から 90%程度である。一方の一次遅れ系制動距離モデルは、ROC 評価値は 0.74 と若干小さく適正警告率は 70%～85%程度であるものの、偽警告率 20%程度～60%程度までで小さい。

したがって、二段階停止挙動モデルは適正警告率が高いものの偽警告が出やすい。これに比べ一次遅れ系制動距離モデルは、適正警告はやや劣るものの偽警告は出にくい。これは既存研究⁴⁾と同様の傾向である。しかし、両モデルの ROC 評価値は、車載器で収集した高精度な挙動データを利用した結果⁴⁾に対して、15%から 25%程度小さい値となっており、路上観測では警告効率が若干悪化していることが分かる。

-10m～-5m 以外の全ての測定区間では、警告効率は低く、特に偽警告率が高くなっている。

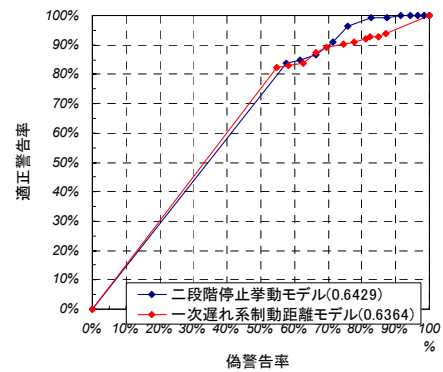


図-6 測定範囲 (-20m～-5m)

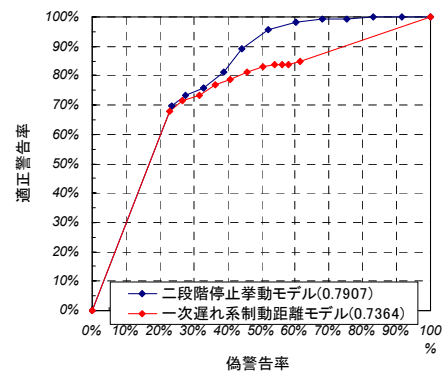


図-7 測定範囲 (-10m～-5m)

表-2 モデル別測定範囲別の ROC 評価値

| 測定範囲 | ROC評価値 | |
|----------|------------|--------------|
| | 二段階停止挙動モデル | 一次遅れ系制動距離モデル |
| ∞m～∞m | 0.65 | 0.64 |
| -30m～-5m | 0.65 | 0.64 |
| -20m～-5m | 0.64 | 0.64 |
| -10m～-5m | 0.79 | 0.74 |

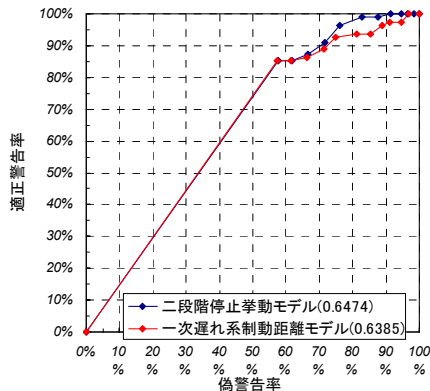


図-4 測定範囲 (∞m～∞m)

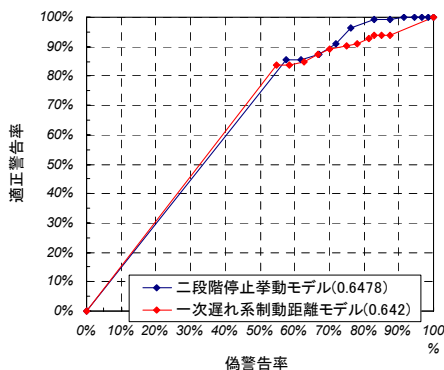


図-5 測定範囲 (-30m～-5m)

(2) 進入路ごとの ROC 評価値の比較

測定範囲は最良の-10m～-5mとし、各進入路における ROC 評価値を図-8に示す。いずれの進入路においても二段階停止挙動モデルの方が大きい。またその値は 0.69 から 0.84 (平均は 0.76) とばらついており、進入路の特性の違いが影響していると考えられる。この点は、既存研究⁴⁾と同様の結果である。

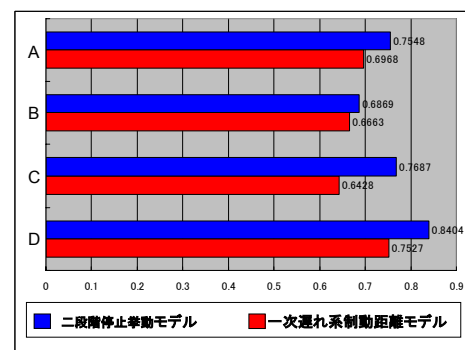


図-8 各進入路のモデル別 ROC 評価値

(3) 警告発生位置の分布状況

全ての進入路での測定区間-∞m~∞mにおける警告発生位置を図-9に示す。横軸は交差点からの距離、縦軸は交差点突入時間である。

表-2から、測定範囲-10m~-5mに設定した場合のROC 評価値が特に大きいことが分かる。この原因は、-10m付近を境に警告判定状況が大きく異なっているためではないかと考えられる。そこで交差点からの距離に着目すると、交差点からの距離 10m付近を境に分布状況が大きく異なり、10m以前では偽警告の約 80%が分布していることが分かる。これは、ビデオ解析で得た実座標の精度の悪さが要因と考えられる。奥へ行くほど精度が悪くなるため、10m付近を境にビデオ解析における車両位置と実際の車両位置との間に誤差が生じたと思われる。

一方、-10m 以降のみに着目し交差点突入時間の分布を見ると、1 秒前後から 2.5 秒前後までに集中している。煩わしくなく最適な発生タイミングの 1.5~2.0 秒の警告も多数見られる。しかしそれを超える範囲にも分布しており、若干煩わしさを感じる警告の場合もあるといえる。

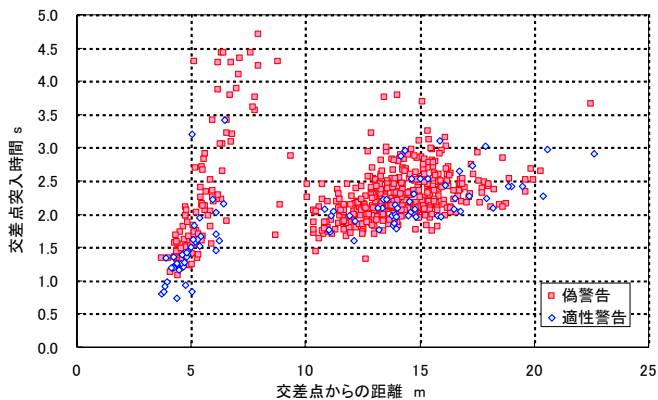


図-9 警告発生位置

4. まとめ

公道交差点での路上観測挙動データを用いたシミュレーション分析により2つの挙動判定モデルの警告効率を分析した。

今回のビデオ解析により生成した進入挙動データは、-10m 付近以下のデータ精度が十分ではないため、警告効率は低く、特に偽警告が多い結果となった。

一方で交差点端から 10m 以下の区間では、警告効率は一次遅れ系制動距離モデルに比べ二段階停止挙動モデルの方が良好であるものの、偽警告に関しては二段階停止挙動モデルの方が少なく良好である。進入路によって判定効率は異なることから、進入路特性に応じた警告方

法が必要といえる。偽警告率が約 20%で危険車両の約 70%に適正警告可能である。

今回の挙動判定モデルによる警告精度は、高精度な進入挙動データでの判定に比べ 15%~25%程度低いものの、進入挙動データの精度向上や測定範囲の拡大により改善できる可能性がある。

今後の課題としては、警告精度向上を目指して、位置と速度を同時計測可能な接近車両センサーによる高精度な進入挙動データの路上観測、それに基づく警告精度の確認、最適な測定範囲の検討、が挙げられる。

謝辞

本研究の現地観測調査においては、兵庫県警察本部交通研究所(交通企画課)ならびに加古川市建設部道路整備局道路保全課のご協力をいただいた。またデータ整理において流通科学大学情報学部三谷研究室学生に協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三谷・山中：無信号交差点における一時停止支援システムの警告判定法の開発，第 5 回 ITS シンポジウム論文集，pp.391-398，2006 年 12 月，ITS Japan
- 2) Hideo Yamanaka, Tetsuo Mitani, Makoto UEDA: Warning Timing Algorithm for A Stop Sign Control Assistance System at Small Junctions, 14th World Congress on ITS CD-ROM, No.3120, Oct. 9-13 2007
- 3) 三谷・山中・上田・須藤・鈴江：無信号交差点一時停止支援システムの警告判定法の評価分析，第 6 回 ITS シンポジウム論文集 (CD-ROM)，No.O1-1，2007 年 12 月，ITS Japan
- 4) 三谷・山中・明・入谷・須藤：小交差点における危険進入車両への路側警告のための挙動判別アルゴリズムの分析，第 7 回 ITS シンポジウム論文集 (CD-ROM)，2-C-08，2008 年 12 月，ITS Japan
- 5) 須藤・入谷・山中・三谷：路側観測可能な挙動指標を用いて車両の制動距離を推定する方法，電子情報通信学会論文誌，Vol.J61-A，No.8，pp.798-807，2008 年 08 月，電子情報通信学会
- 6) 須藤・秀浦・鈴江・三谷・山中：小交差点における停止不能車両の路上からの判別を目的とした車両進入挙動分析，土木計画学研究・論文集，Vol.25，No.4，pp.823-828，2008 年 09 月，土木学会