

# 小交差点での路上設置型装置による実地配備を想定した警告シミュレーション分析\*

## An analysis of warning simulation for assumed practical deployment by a road-side device at the small intersections\*

明 揚\*\*・三谷哲雄\*\*\*・鈴江宗大\*\*\*\*・山中英生\*\*\*\*\*

By Yang MING \*\*・Tetsuo MITANI\*\*\*・Soudai SUZUE\*\*\*\*・Hideo YAMANAKA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

全事故の26%を占める出会い頭事故は、地区内の大多数を占める無信号小交差点でその70%が発生している。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生成する車載型システムの開発を進めてきた<sup>1)2)3)</sup>等。車載型では装置普及に伴って事故削減効果が現れるため、事故多発地点に対しては早期に事故抑制効果が期待できる路上設置型の実地配備を進めることが重要といえる。著者らは、無信号一時停止交差点を対象に、非優先側進入車両の挙動を路上からセンシングして、危険車両を判断し、路側装置の発光等により当該車両に警告するとともに、交差車両にも注意喚起を与える路上設置型の走行支援システムを提案している。また、路上設置型装置体感実験の結果から、交差点での出会い頭事故への有効性や実現性が期待されていることが分かった。

本研究では、路上設置型警告装置の実地配備を想定し、警告の発生状況とその効率について把握するため、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、既存の警告判定モデル<sup>4)</sup>によるシミュレーション分析を行い、実地配備導入の可能性を検討した。

### 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会い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）を対象に朝夕のそれぞれ約1.5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) 危険車両の定義

危険車両における図-1に示す、それぞれの交差点進入挙動において、発見可能位置で交差車両を発見したと想定し、空走時間後急制動により停止するまでに走行する距離（発見後停止距離、とよぶ）を算定し停止位置を求める、これが衝突ラインを超える場合（発見距離<発見後停止距離）を危険走行、衝突ラインの手前で停止する場合（発見距離 $\geq$ 発見後停止距離）を安全走行と判定する。

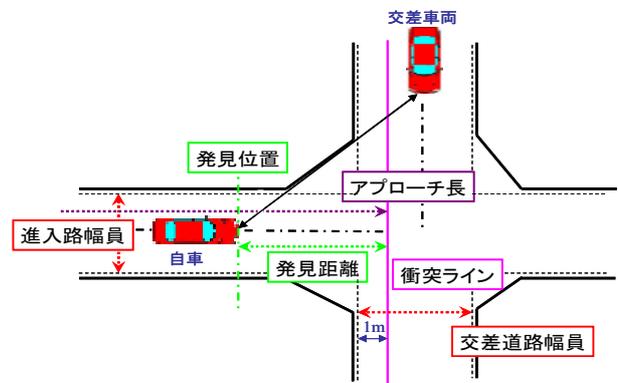


図-1 交差点特性一覧

#### (3) 挙動判定モデル<sup>4)</sup>

##### 1) 二段階停止挙動モデル

停止挙動として、図-2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

\* キーワーズ：小交差点，出会い頭事故，交通安全，ITS

\*\* 学生員 工修 徳島大学大学院

(mingyang0219@yahoo.co.jp)

\*\*\* 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 ジェスコ株式会社

\*\*\*\*\* 正員 工博 徳島大学大学院

(〒770-8506、徳島県徳島市南常三2-1

TEL088-656-7578、FAX088-656-7579)

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、 $A_{br}=-0.5G$ ）。

2) 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<sup>5)</sup>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-3にモデルの概念図を示す。

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。

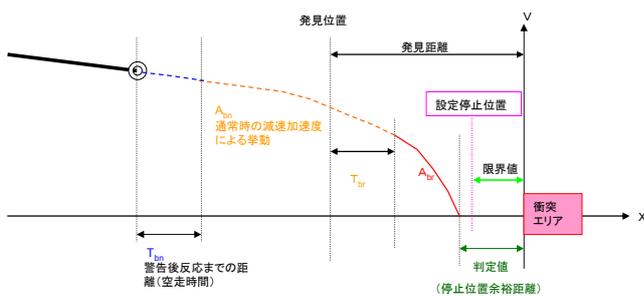


図-2 二段階停止挙動モデルの概念図

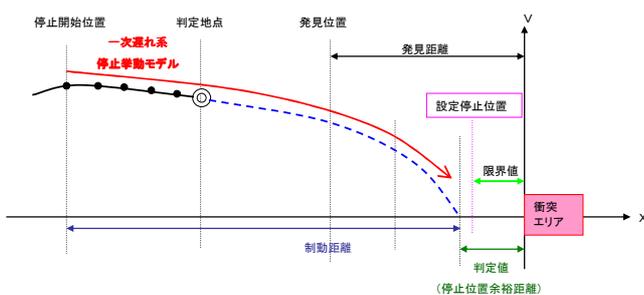


図-3 一次遅れ系制動距離モデルの概念図

(4) 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-1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-4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-1 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・・・ $C / (C + D)$		

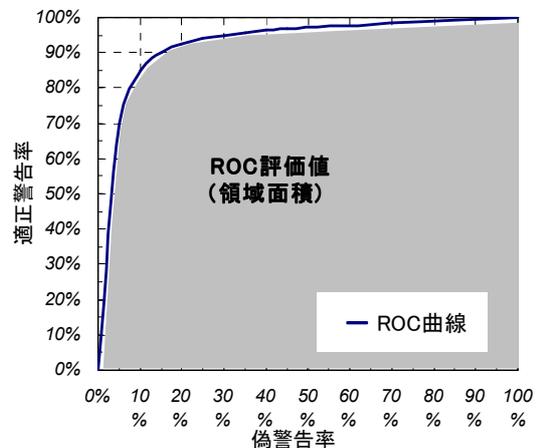


図-4 ROC曲線とROC評価値

(5) 分析条件

1) 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。

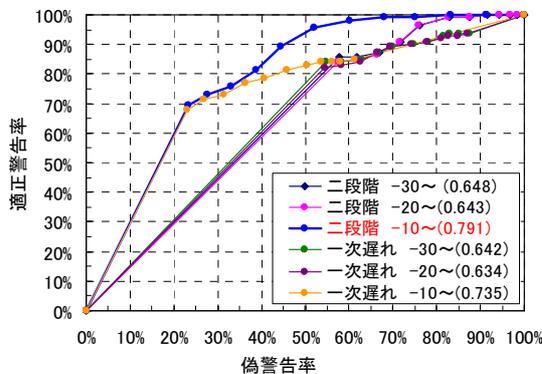
2) 交差点突入時間

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<sup>3)</sup>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. 分析結果と考察

(1) 測定範囲ごとの ROC 曲線と警告発生状況

測定範囲が-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-5に示す。二段階停止挙動モデルと一次遅れ系制御距離モデルの判定結果を比較すると、両者に共通して測定範囲が-10m~の場合が良好であった。これはビデオ解析における交差点から10mより奥での車両位置と速度との間に生じた誤差が要因である<sup>6)</sup>。測定範囲-10m~-5mに着目すると、二段階停止挙動モデルについて、ROC 評価値は高いものの偽警告率は極めて高い場合がある。それに比べ一次遅れ系制御距離モデルでは、ROC 評価値はやや低いものの偽警告率は最大でも60%程度で良好である。これは既存研究<sup>4)</sup>の結果と同様の傾向であり、そこで既に明らかになっているとおり各モデル特性を考慮した実地配備が重要といえる。



※ ( )内の数値は ROC 評価値

図-5 各アルゴリズム及び各測定区間の ROC 曲線

ここでは二段階停止挙動モデルの測定範囲-10m~-5mにおいて、設定停止位置 0mの際の警告発生時点の車両位置と交差点突入時間と関係を図-6に示す。適正警告と偽警告の分布の傾向が見られる。ほとんどの適正警告は、衝突ラインから5.0mの時点（発見位置付近）で生じていた。交差点突入時間では、ほぼ全ての警告（97.4%）が1.0s以上であり、1.0~1.5sの警告は29.5%であった。そのため、やや早めの警告が多いものの、安全側で発生しており、発生地点と交差点突入時間から見て遅すぎる警告は出ていないことが分かる。

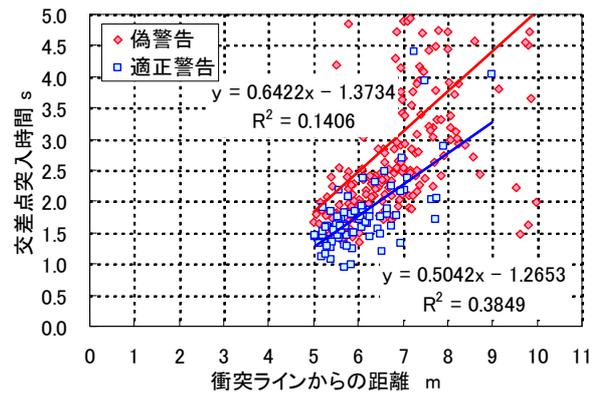


図-6 警告発生時点の警告車両の走行状況

(2) 進入路ごとの比較

図-7は、二段階停止挙動モデルの測定範囲-10m~-5mにおける各進入路の ROC 曲線である。交差点特性や通行特性の異なる進入路ごとに判定効率は異なることがわかる。進入車両に対する適性警告率が80%以上で偽警告率の低い状態（△印）を目指した場合、偽警告率は概ね25%から45%になっている。設定停止位置は、Aでは2.5m、Bは3.0m、Cは2.0m、Dは0mであり、違いが見られる。進入路に対して警告効率が大きく異なることから、実地配備する場合は、固定値を設けるのではなく十分な調整が必要であることが分かる。

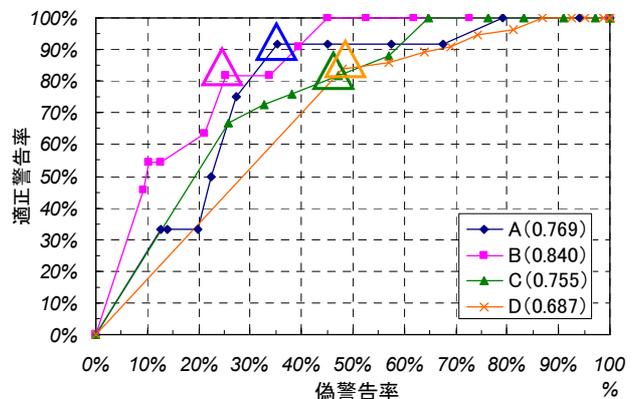


図-7 進入路による警告判定の違い

(3) 警告発生頻度の分析

図-8に各設定停止位置における1時間あたりの警告発生数と警告発生率（進入車両総数に対する警告発生車両数の割合であり、警告には適正警告と偽警告が含まれる）を示す。設定停止位置が交差点側に近づくほど、警告が発生しにくいいため頻度は下がる。最も警告が発生しにくい設定停止位置が0の場合、通過する車両（1523台）に対して18.3%の割合（279台）で警告が発生しており、1時間当たり46.5台に警告発生をしていることになる。これは1分17秒間隔で警告が発生していることと等しい。

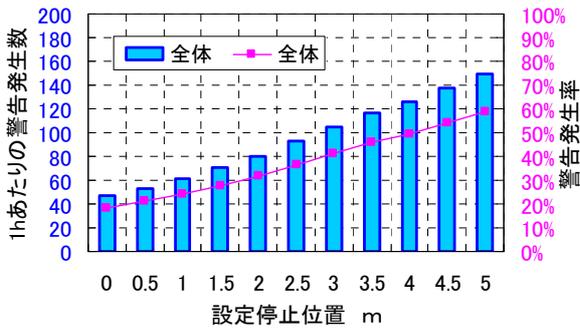


図-8 各設定停止位置の警告発生数と警告発生率

図-9に進入路別の各設定停止位置における1時間あたりの警告発生数と警告発生率を示す。上記と同様の適正警告率 80%以上で低偽警告率を目指したとき、それぞれ A (2.5m) では70回と30%、B (3.0m) では40回と25%、C (2.0m) では75回と40%、D (0.0m) では100回と35%、である。

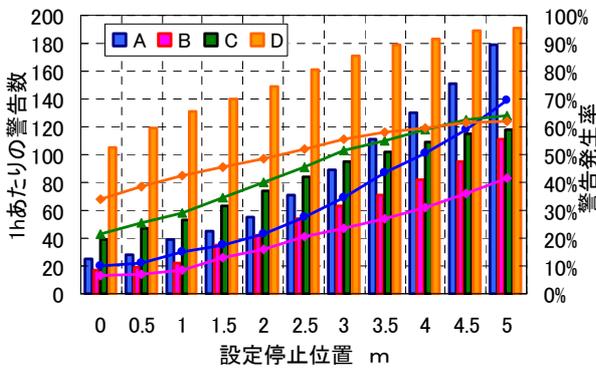


図-9 進入路別の警告発生数と警告発生率

表-2 にビデオ観測時の目視による停止状況を示す。総計において、全体の 8.2%の車両が一時停止不履行で交差点を通過していることが分かる。

表-2 ビデオ観測時の目視による停止状況

進入路	一時停止	一瞬停止	徐行	停止不履行	総計
A	78	102	95	9	284
B	66	69	44	45	224
C	66	69	41	1	177
D	133	104	24	25	286
総計	343	344	204	80	971

二段階停止挙動モデルの測定範囲・10m～-5mにおける設定停止位置 0mの場合、判定効率は、適正警告率が約 70%（警告漏れが約 30%）、偽警告率は約 23%（適正未警告は約 77%）である。このモデルで、全ての一時停止不履行車両（8.2%）に対して適正警告を出すすれば、単純計算で約 29.3%（適正警告分=8.2%、偽警告分=91.8%×偽警告率 23%分、の和）の警告発生率が必要となる。これは、設定停止位置が 1 mの場合であり、1時間当たり約 60 台に警告を出すことが必要であることがわかる。

このことから、警告対象車両の通行実態に応じて設定

停止位置を調節することで、必要な警告を発生させられる可能性がある。また事前に警告頻度を知ることで1時間あたりの警告車両数と、単位電力量の両方が分かることで消費電力の算定が可能となる。

#### 4. おわりに

本研究では、著者らが開発を進めている出合事故防止のための路上設置型警告装置を実際の交差点に設置した場合の警告発生状況を把握するために、公道交差点で路上観測した進入挙動データベースを用いて、警告判定のシミュレーション分析を行った。

その結果、以下の点が明らかとなった。① 警告判定モデルは、挙動測定範囲を限定した状態では既存研究と同様に良好な特性が確認できた。② 警告はやや早めに出ている場合が多いものの、交差点突入時間において遅すぎる警告は出ていない。③ 同一の判定モデルと設定でも進入路ごとに警告効率は異なることから、交差点特性や通行状況に応じた調整の必要性が伺われる。④ 警告対象車両の通行実態に応じた必要な警告発生率に基づき、設定停止位置と警告発生率との関係から設定停止位置を算出できる。⑤ また警告発生頻度を事前に知ることによって、1時間当たり警告車両数と警告に必要な単位電力量から、必要消費電力の算定が可能となる。

以上のことから、警告判定モデルの公道交差点への適用方法や警告装置仕様の点で、実地配備に向けた具体的な方向性を示唆することができた。

今後の課題として、警告判定モデルの改良、より高精度な観測データでの交差点特性や通行実態に応じた最適な測定範囲や設定停止位置の検討、簡便な通行実態観測手法の開発、設置・維持管理を容易にするための簡便な警告方式の検討、などが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 山中・三谷・秀浦：無信号交差点一時停止支援 ITS の警告判定アルゴリズムに関する分析，第 26 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.177-180，2006 年
- 2) 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
- 3) 秀浦：小交差点における進入挙動分析と停止不能車両の路上からの警告方式の検討について，徳島大学修士論文，2008
- 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 2008
- 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.1.J61-A.No8，pp.798-807，2008 年 08 月，電子情報通信学会
- 6) 三谷・辰野・鈴江・山中：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，土木計画学研究・講演集 (CD-ROM)，Vol.39，90，2009 年 06 月，土木学会