

小交差点における危険進入車両に対する路側警告アルゴリズムの分析*

An analysis of a the warning method from the street of a vehicle impossible of a stop in the small crossing*

○鈴江 宗大**・秀浦 光***・須藤 晃成****・三谷 哲雄*****・山中 英生*****

By Soudai SUZUE**・Akira Hiswuea***・Terumasa SUDOU****・Tetuo MITANI*****・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小交差点でその 70%が発生している。その多くは一時停止不履行が原因といわれている。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^{1)2)ほか}。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事故抑制効果が早急に現れる路上設置型施策の実施を進めることも重要といえる。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」の現象が生じることから、路上型の場合必要性が高い車のみにも注意喚起することが重要となる。このため、交差車両や進入挙動のセンシングにより挙動を判定し、危険車両にのみ警告するなどの工夫が必要と考えられる。

本研究では無信号小規模一時停止交差点で路上から挙動をセンシングして、路上にした装置から発光などにより警告を与えるとともに、交差車両にも注意喚起を与える方法を検討する。そのため、警告の必要車両として交差点手前で一時停止できない恐れのある危険車両を判定するアルゴリズムの開発を進めている。

本稿では、車両の位置と速度を一定区間にわたってセンシング出来るとして、従来から研究してきた一次停止支援システムで開発した「停止位置余裕距離モデル」を適用する方法を検討する。

*キーワード：地区交通計画，交通安全，ITS

**学生会員 徳島大学大学院

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三2-1
TEL088-656-7579, FAX088-656-7579)

***正会員、工修、トヨタマップマスター

(〒450-0003 名古屋市中村区名駅南二丁目 14 番 19 号
住友生命名古屋ビル 6F
TEL052-533-8350 FAX052-571-1116)

****正会員、学博、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)

*****正会員、学博、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)

2. 分析方法

(1) 分析に用いたデータベース

本研究では、公道走行時の運転挙動調査¹⁾²⁾で作成した走行挙動データ(交差点進入挙動データと呼ぶ)を用いた。このデータは20歳代から70歳までの30名の男女被験者が、兵庫県加古川市内の細街路や幹線道路を含む総延長24.2kmの走行ルートを走行した際の挙動情報をプローブカーにより記録したものである。走行ルートには形状、事故発生状況の異なる交差点が含まれており、無信号一時停止交差点に非優先から進入する場合(42箇所)と、優先側から進入する場合(10箇所)の挙動データを分析に用いた。それぞれの交差点の進入側道路の幅員である進入路幅員を住宅地図の図上および現地での計測により取得した。このように交差点での情報を取得できていることから、本研究では路側観測の情報の代わりとして本データを用いることにした。

車両位置はD-GPSによる位置の精度を補正する為、車両窓から側方を撮影したビデオを用いて、交差点通過時刻を同定し、パルス走行距離で逆算した位置を用いている。また、走行速度は車速パルスから取得したものである。

(2) 路側からの危険挙動車両判定アルゴリズム

既存の研究³⁾で、最初に一時停止交差点での非優先側進入時の停止挙動の実態を捉えるため、交差点親友挙動データを用いて、交差点特性による影響を分析した。その結果、危険車両と安全車両との挙動特性は交差点特性により異なり、特に進入路幅員による影響が大きいことが分かった。これを踏まえて、交差点内の地点間速度と2点間の速度変化に着目して、進入路幅員別に危険走行車と安全走行車を判別するパラメータを推定し、「判別モデル」を考案した。この結果、適正警告率は80~90%程度、偽警告率は20%以下で判別できることが明らかとなった。

(3) 停止位置余裕距離モデルの概念

警告効率の精度向上を目指し、車両の位置と速度を一定区間にわたってセンシングして、運転挙動ごとに危険走

行車両と安全走行車両を判別するアルゴリズムを検討することとした。このため、「停止位置余裕距離モデル」を用いた。

このモデルの基本概念は、判定地点で仮に警告を与えた時、設定した停止位置（限界値）で停まれるかを判定するものである。警告後の一時停止挙動として、「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、発見可能位置まで減速する。発見位置侵入時に、交差道路からの車両・歩行者を発見するとして、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（図 1）。この仮定のもとで設定位置で停止が出来ないと予測され場合に警告を行う。なお、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。

路上設置型警告システムでは、速度と位置のみの情報しか取得ができないので空走時間と減速加速度は一定値を用いる。今回は、被験者ドライバーの平均値と一般的に用いられている値を参考に、より安全側の値として、通常制動時の空走時間に 1 秒（挙動調査のドライバー平均はアクセルペダル踏み込み中では 0.9 秒）、減速加速度に $-0.3 G$ （挙動調査ドライバー平均は $-0.59G$ ）として、急制動時の空走時間として 0.8 秒（挙動調査ドライバー平均はアクセルペダル踏み込み中では 0.73 秒）、減速加速度に $-0.5 G$ （挙動調査ドライバー平均は $-0.76G$ ）の値を設定した。

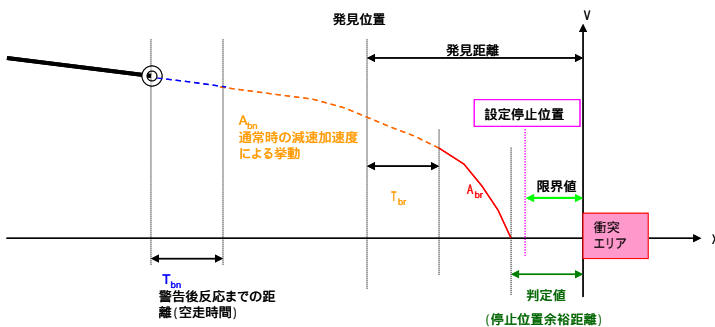


図 1 停止位置余裕距離モデルの概念図

(4) モデルの評価方法

交差点進入挙動データを「停止位置余裕距離モデル」により、1 進入挙動ごとに危険判定¹⁾²⁾を行い危険走行車両と安全走行車両を判別した。さらに上記のモデルで事前に警告が発生するか否かを判別した。この結果から、表 1 のように危険車両が警告される場合は適正警告、逆に安全車両に警告された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減少につながる。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繋がる。このため、適正警告率が高く、警告率が低いことを判

定アルゴリズムの評価視点とした。この視点から、危険判定と警告判定の関係から適正警告率およ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、停止位置である閾値を変化させることで変化する値になる。横軸に偽警告率、縦軸に適正警告率をとり、閾値ごとに指標値の点をプロットすると、1 つの警告判定アルゴリズムに対して表 2 の曲線を描くことができる。これは ROC 曲線と呼ばれる。ROC 曲線の分析では、ROC 曲線がより左上方に位置するほど精度が高く優れていると判断される。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 評価値は、値が大きいほど効率が高いとした。

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 … $C / (C + D)$		

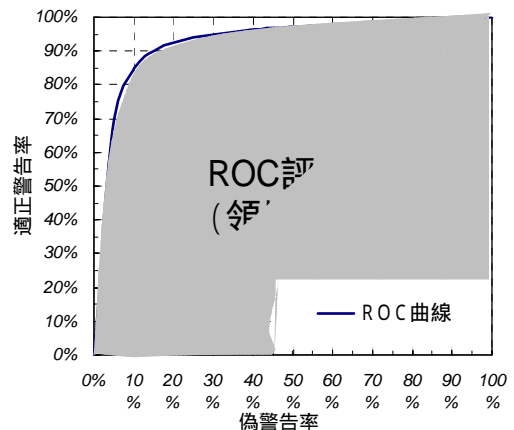


図 2 ROC 曲線と ROC 評価値

交差点特性の内、特に進入路幅員により危険車両と安全車両の挙動特性が異なることから進入路幅員を 0～5.5 m、5.5～7 m、7～9 m、9～13 m、13 m～の 5 つに分けて、それぞれに ROC 分析を行った。また、警告判定に用いる区間（ここでは測定区間と呼ぶ）を設定することで、最良の判定効率になる測定区間を検討した。測定区間長ごとの測定区間を表 2 のように設定した。この測定区間の比較により、接近物体センサーの検知範囲を検討することができる。

表 2 測定区間長ごとの測定区間

		測定開始位置			
		30m	25m	20m	15m
測定区間長	10m	P (30-20)	P (25-15)	P (20-10)	P (15-5)
	15m	P (30-15)	P (25-10)	P (20-5)	-
	20m	P (30-10)	P (25-5)	-	-
	25m	P (30-5)	-	-	-

3. 判定効率の分析結果

(1) 停止位置余裕距離モデルの分析結果

定区間長別で最良の結果となった全サンプルの ROC 曲線を図 3 に示し、進入側道路の幅員ごとの測定区間別の ROC 評価値を表 3 に示す。また、表 3 を幅員別にグラフ化したものを図 4, 5, 6, 7, 8, 9 に示す。

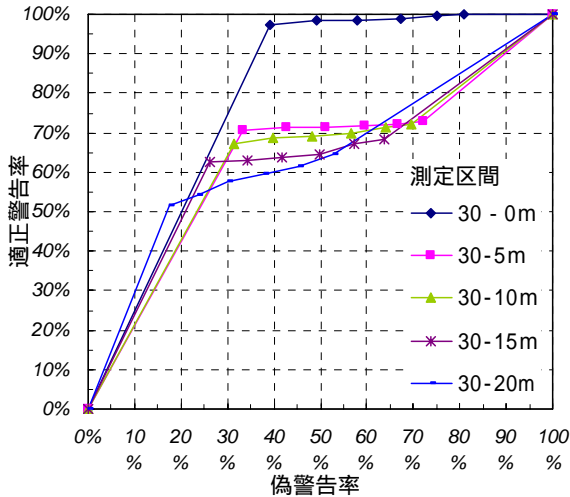


図 3 測定区間別の最良 ROC 曲線

表 3 停止位置余裕距離モデルによる ROC 評価値

測定区間長	測定開始位置	ROC 評価値					
		全サンプル	進入路幅員 (~5.5m)	進入路幅員 (5.5~7m)	進入路幅員 (7~9m)	進入路幅員 (9~13m)	進入路幅員 (13m~)
10m	30m	0.699	0.499	0.656	0.796	0.733	0.708
	25m	0.744	0.810	0.774	0.767	0.794	0.642
	20m	0.623	0.876	0.846	0.525	0.747	0.389
	15m	0.529	0.791	0.637	0.435	0.541	0.443
15m	30m	0.763	0.735	0.788	0.828	0.813	0.673
	25m	0.755	0.876	0.865	0.738	0.828	0.615
	20m	0.627	0.877	0.859	0.516	0.726	0.421
20m	30m	0.785	0.829	0.865	0.816	0.858	0.641
	25m	0.768	0.877	0.882	0.751	0.814	0.653
25m	30m	0.805	0.858	0.882	0.839	0.849	0.694
30m	30m	0.855	0.850	0.883	0.856	0.848	0.855

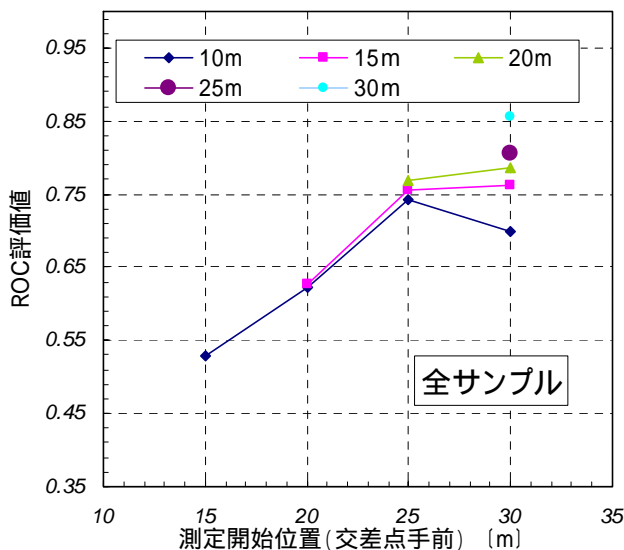


図 4 ROC 評価値最良結果 (全サンプル)

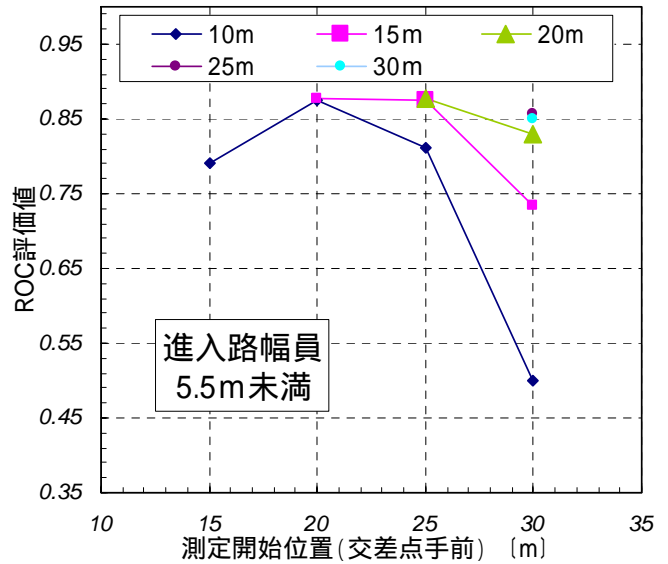


図-5 測定区間長別 ROC 評価 (進入路幅員 0~5.5 m)

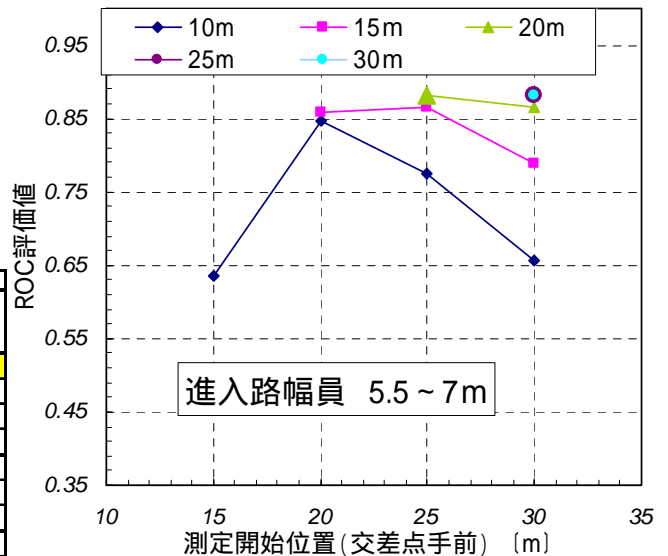


図-6 測定区間長別 ROC 評価 (進入路幅員 5.5~7 m)

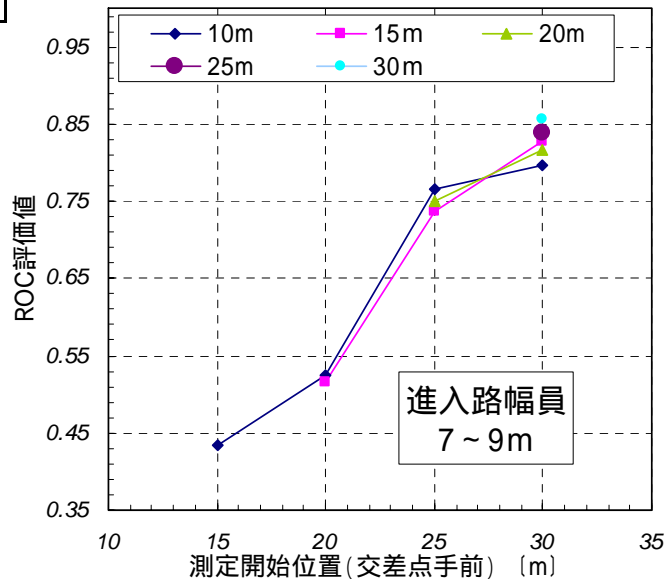


図-7 測定区間長別 ROC 評価 (進入路幅員 7~9 m)

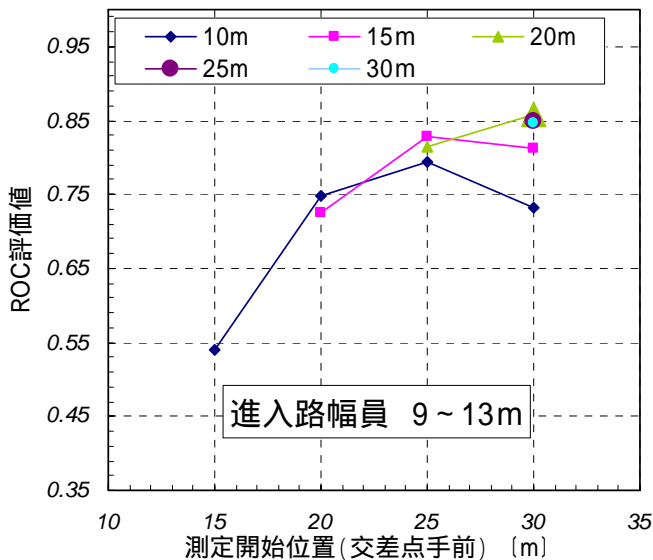


図-8 測定区間長別 ROC 評価 (進入路幅員 9~13m)

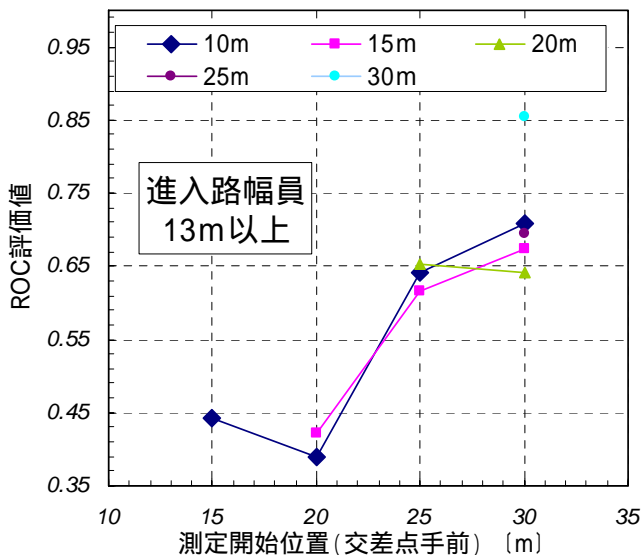


図-9 測定区間長別 ROC 評価 (進入路幅員 13m~)

全体でみると全区間測定区間を最も長い 30m とした場合が最良の結果となっており、次いで、測定区間長が 25 m 間隔である 5 m から 30 m の区間が最良の結果となっている。ただし、測定区間長を長くすれば、適正警告率が高い判定が可能となるが、その時の偽警告率は増加することが分かる。

全区間の結果を除いたうち ROC 評価値が最良となったものは、進入路の幅員が 5.5 m 以下の場合、測定区間長が 15 m 間隔で 5 m から 20 m の区間と測定区間長が 20 m で 5 m から 25 m の区間の場合である。幅員が 5.5 m から 7 m の場合は、測定区間長が 20 m で 5 m から 25 m の区間と測定区間長が 25 m で 5 m から 30 m の区間であった。また、幅員が 7 m から 9 m の場合は、測定区間長が 25 m で 5 m から 30 m の区間で、幅員が 9 m から 13 m の場合は、測定区間長が 20 m で 10 m から

30 m の区間であった。幅員が 13 m 以上では測定区間長が 10 m で 20 m から 30 m の区間であった。このことから、センシングする区間を限定する場合は、幅員が大きくなるにつれて測定区間位置は遠い位置である傾向があることがわかる。

また、幅員が狭い時、測定開始位置が遠い部分においては、測定区間長が短いほど ROC 評価値がわるい傾向にあり、良悪が顕著に見られる。そして、幅員が広がるにつれこの差は縮まり、全体的に ROC 評価点も低い。

4. おわりに

路側からの判定アルゴリズムとして、2つの停止挙動モデルを適用し、進入路幅員ごとに判定効率の良好なモデルを抽出した結果、測定区間として測定区間長が 25 m 間隔である 5 m から 30 m の区間が最良の値となった。

先に示した 2 点間の速度値を用いた判別モデル³⁾と比較すれば、適正警告率は高いものの、偽警告率も高い傾向にある。しかし、閾値の設定によりそれらを制御可能と考えられる。

今後の課題として、走行中の車両に対して停止開始位置を判断方法の開発等によりシステムの有効性の検証を行いたい。

参考文献

- 1) 山中英生・三谷哲雄・秀浦光：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) 三谷哲雄・山中英生：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) 須藤晃成・秀浦光・鈴江宗大・三谷哲雄・山中英生：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，土木計画学研究講演集 vol.36，(149)，2007 年