

無信号交差点における一時停止支援 ITS の警告アルゴリズムの研究*

Warning-Algorithm for Stop Sign Control ITS at Unsignalized Junctions*

山中英生**・○河津孝典***・三谷哲雄****

By HideoYAMANAKA**・TakanoriKAWATSU***・TetsuoMITANI****

1. はじめに

地区内の事故は交差点とその付近に大半が生じている。出会い頭事故の防止施策としては交差点明示化や速度抑制などの道路対策に加えて、交差車両の接近揭示システムなどが実用化されており、AHSプロジェクトでは路車間通信システムが提案されている。一方、欧州では、GPSとGISによる車載自立システムを用いて、規制速度超過に警告や自動ブレーキを作動させるISAが現実的施策として提案されており、地区交通安全対策としても注目されている。本研究は、ISA方式に注目し、無信号交差点における一時停止支援ITSの開発を目標として、車両挙動に基づいて、我が国の地区に適した警告判定方式の開発を目的としている。

2. 観測実験

調査交差点は徳島市内の佐古地区、蔵本地区、沖洲地区、山城地区の4地区内の25地点、加古川市内の東加古川地区の2地区、4地点とした。被験者には表1に示すプロ3名、年配者3名、学生6名の計12名で、1人が各交差点を、指定した走行方法で2回ずつ走行した。

走行方法には、表2の4つのパターンを指示して、優先交差点を通常の走行をしている場合は、実

*キーワード：地区交通、交通安全、交差点、ITS

**正会員 工博 徳島大学工学部 教授

(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島2-1

TEL: 088-656-7578, FAX: 088-656-7579

yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp)

***正会員 株式会社総合技術コンサルタント

(〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-7

TEL: 03-3291-5777, FAX: 03-3295-3421)

****正会員 流通科学大学情報学部(〒651-2188 神戸市西区学園西町3-1 TEL: 078-794-3555)

は非優先側であることに気づいていないと想定することで、交差点での一時停止の必要性に気づいている場合、気づいていない場合の走行挙動として分析することとした。

表1 被験者属性

	年齢	性別	免許取得年月	運転経験	利用頻度
プロドライバー	57	男	S41.6.7	AT20年	ほぼ毎日
				MT18年	
	50	男	S49	AT12年	毎日
				MT30年	
	52	男	普通S48.7.16 二種H16.6.14	AT10年	ほぼ毎日
				MT28年	
年配ドライバー	65	男	S39.1.31	AT14年	週4日(1~2時間)
				MT26年	
	64	男	普通S39.1.30 二種S45.7.4	AT14年	毎日(1時間弱)
				MT26年	
	69	男	S56.4.25	AT15年	週4日(1~2時間)
				MT8年	
学生ドライバー	30	女	H9.11	AT6年3ヶ月	毎日
	21	女	H13.8	—	月1日
	21	男	H12.8	MT2年7ヶ月	休みの時ぐらい
				AT6ヶ月	
	21	男	H13.5	AT2年	週4日
	22	男	H11.7	MT4年6ヶ月	週5日
	22	男	H12.6	MT2年7ヶ月	ほぼ毎日

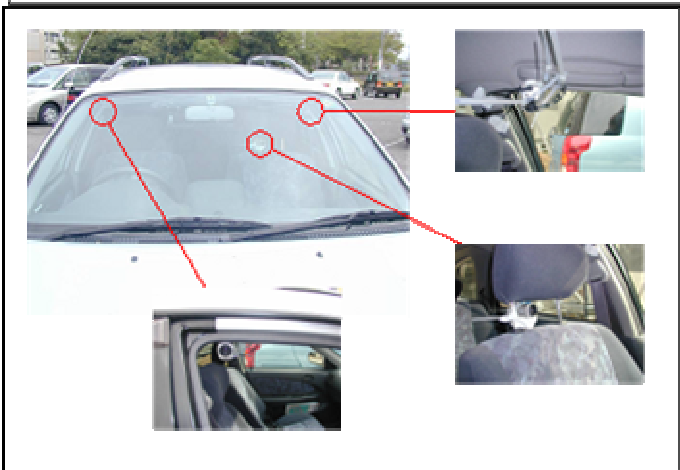
表2 実験走行の方法

パターンNo	走行パターン名	走行交差点の規制	非優先認識
1	普通走行	優先道路	なし
2	非優先走行	優先道路	あり
3	普通走行	非優先道路	
4	焦燥走行	非優先道路	

運転挙動を観測するための装置として、速度、加速度を測定するためにセーフティレコーダー(デタテック社製)を用い、さらにブレーキ、アクセルの挙動観測のためのセンサー、交差点進入時点を同定するための4台のビデオカメラ同時撮影を用いた。図1に観測に用いた装置を示し、図2にペダル部分と走行位置を示す側方を写したビデオ記録の画像例を示す。



図－１ 実験装置

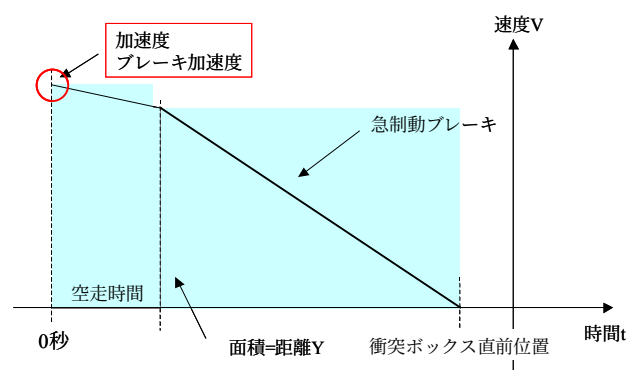


図－２ ビデオ記録の例

３．危険走行判別モデルの構築

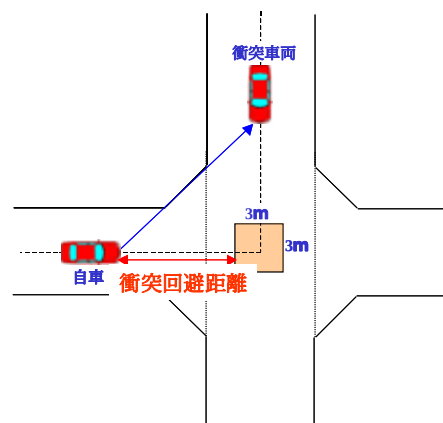
図－３はある位置で危険を察知し、空走後に急制動で停止するまで、車両の時間-速度関係を示している。危険発見位置を０秒として、その時の加速度 α_0 、速度 v_0 、空走時間 t_r 、ブレーキ加速度 α_b とした時、停止までの時間及び距離はそれぞれ以下の式となる。 Y が危険発見後の制動距離を示す関数となる。

$$Y = v_0 \cdot t_r + \frac{\alpha_0 \cdot t_r^2}{2} - \frac{(v_0 + \alpha_0 \cdot t_r)^2}{2\alpha_b}$$



図－３ 空走時間を考慮した制動行動による速度変化

図－４に示すような、交差点内の車線交点を中心に１辺３ｍの部分衝突ボックスとし、相手車両を発見できる位置からそのボックス手前までの距離を衝突回避距離とする。発見後制動距離 Y が衝突回避距離を越えると交差車両と衝突する可能性が生じるため、危険車両と判定することとした。



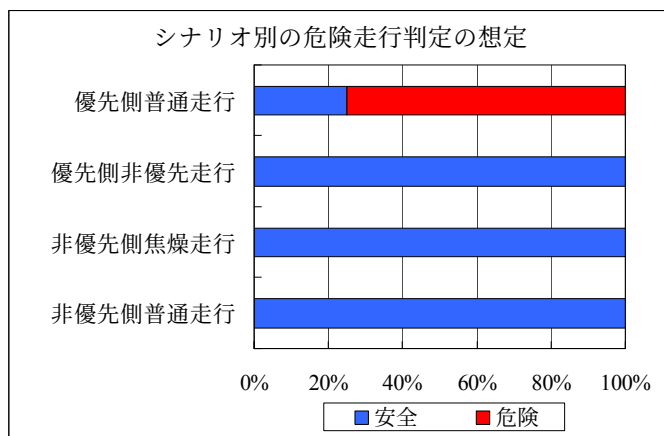
図－４ 衝突回避距離

但し、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ドライバーによって異なるを考える。そこで、各ドライバーのブレーキ加速度およびアクセルからブレーキへの足の移動時間を測定し、それを元にして表－３に示す制動能力値を設定し、これを用いて危険判定を行った。

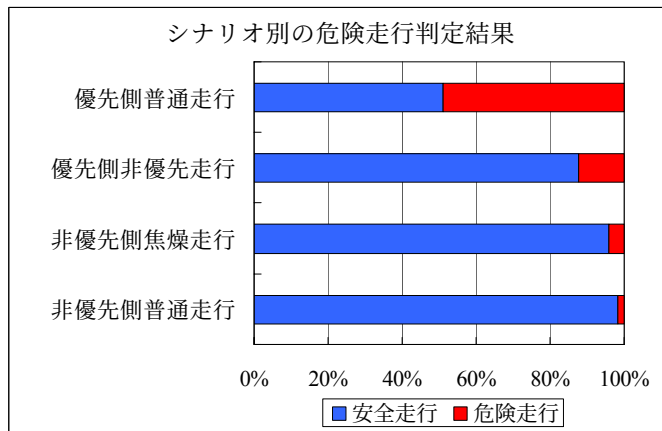
実測時は危険な行動は生じていなかったことから、走行シナリオごとの危険走行判別は図－５のようになることが想定される。しかし、制動距離関数と制動能力値を用いて危険走行を判別した結果は図－６となった。

表ー3 ドライバー別制動能力値の設定

運転者	通常 加速度	急制動 加速度	空走時間 (秒)	
			ペダル上に足 がない時	ペダル上にあ る時
プロ1	-0.27 g	-0.46 g	0.86	0.52
プロ2	-0.39 g	-0.66 g	0.71	0.49
プロ3	-0.39 g	-0.66 g	0.78	0.50
年配1	-0.32 g	-0.54 g	0.80	0.59
年配2	-0.19 g	-0.32 g	0.80	0.58
年配3	-0.33 g	-0.56 g	0.87	0.62
学生1	-0.23 g	-0.39 g	0.72	0.36
学生2	-0.24 g	-0.41 g	0.80	0.35
学生3	-0.31 g	-0.53 g	0.75	0.37
学生4	-0.34 g	-0.58 g	0.75	0.37
学生5	-0.23 g	-0.39 g	0.71	0.38
学生6	-0.31 g	-0.53 g	0.70	0.38



図ー5 想定されるシナリオ別危険走行判別結果



図ー6 危険走行判定結果

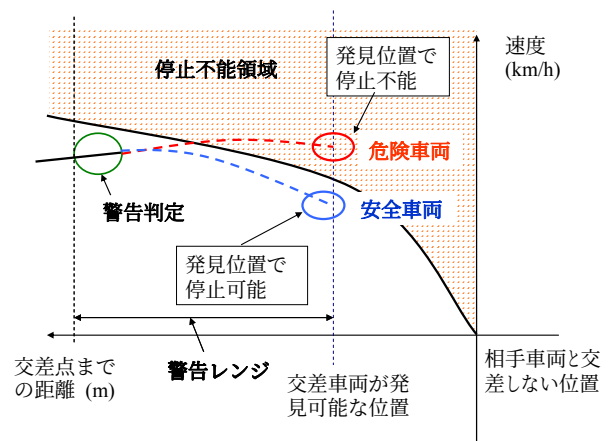
図ー6によると、優先側を普通走行時（非優先に気づいていない）場合は危険走行の割合が約5割の車両が危険と判定されており、他の5割は危険状態ではない。これは、被験者が優先側でも停止可能な慎重な運転をしているためと考えられる。また、非優先側走行において、危険と判定された車両も少ないが見られる。これらは、減速行動に移るのが遅いことが原因と考えられる。

4. 一時停止支援 ITS の警告アルゴリズムの開発

警告判定モデルとして、以下の2つを考案した。

1) 発見位置での停止可能性による警告判定

図ー7に方法の概念を示す。判定地点で加速度、速度、位置情報をもとにして、対向車を発見可能となる位置（発見位置）での速度・加速度を予測し、その後急制動したとして交差点手前で停止可能かを判定する。この警告判定を0.1秒ごとに行い、警告の有無を判断する。ただし、発見位置までの時間が設定時間以上ある場合は警告判断を行わないように、警告レンジを設定する。発見位置到達までの時間を予測し、その時間が警告レンジ時間内の時のみ警告判定を行うもので、警告レンジはドライバーが選択できるが、個人の空走時間の能力値より、短くは出来ないとしている。



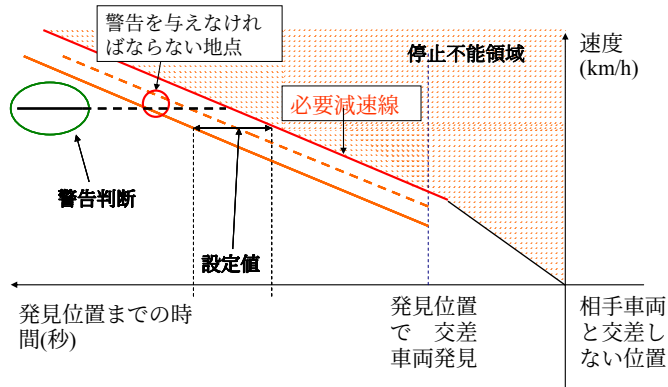
図ー7 発見位置での停止可能性による警告判定

2) 必要制動開始までの余裕時間による警告判定

図ー8に方法の概念を示す。衝突が回避できる位置までに停止するために速度と制動開始が必要な地点との関係を求めて、判定地点での速度が継続するとした時に、制動が必要となるまでの余裕時間を予測する。ドライバーは設定された制動能力で制動できるとして算定された、余裕時間の予測値がドライバーが選択した余裕時間よりも短くなった時点で警告を与える。このような警告判定を0.1秒ごとに行い、警告の有無を判断する。余裕時間の設定値はドライバーの空走時間の能力値よりも短い時間にはセット出来ない。

3) 将来予測モデル

上記のいずれも方法でも、現在までの挙動情報から発見位置もしくは、制動が必要となる時点までの



図－8 必要制動開始までの余裕時間による警告判定

表－4 将来挙動の予測モデル

A. 加速度一定モデル
判定地点までの加速度（過去0.3秒間の平均値）を維持すると仮定する。
B. 速度一定モデル
判定地点での速度のまま走行すると仮定する。
C. ペダル操作近似モデル
過去の加加速度と現在の足の位置より、アクセル・ブレーキペダルの踏み込み変化を予測する。ペダル操作を完了した後は加加速度一定とする。
D. 過去平均モデル
判定地点までの過去の加加速度の平均を維持すると仮定する。交差点進入時の加加速度は、概ね一定のまま推移することが挙動分析で明らかとなっている。加加速度が現在と同符号になった地点からの平均加加速度を用いる。

将来の運転挙動を予測する必要がある。本研究では表－4に示す4つの仮定によるモデルを用いた。

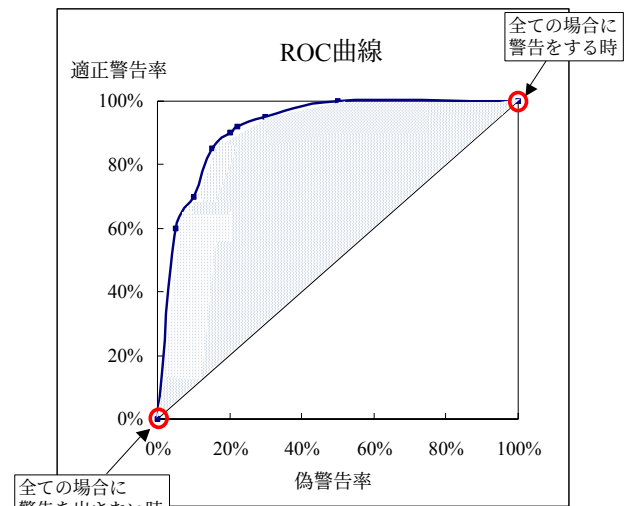
4) 警告判定の評価：ROC曲線

進入先交差点の一時停止有無，交差車両の発見可能位置情報，自車速度，加速度が得られるとして，上記の方法によって，交差点手前30mから発見位置まで0.1秒毎に警告判定した。実際の車両挙動の観測データから，1ケース（1車両が1交差点に進入する走行）ごとに，安全走行・危険走行の判定結果と，走行時の警告判定の有無を表－4に示すように整理して，適正警告，偽警告となる率を算定した。

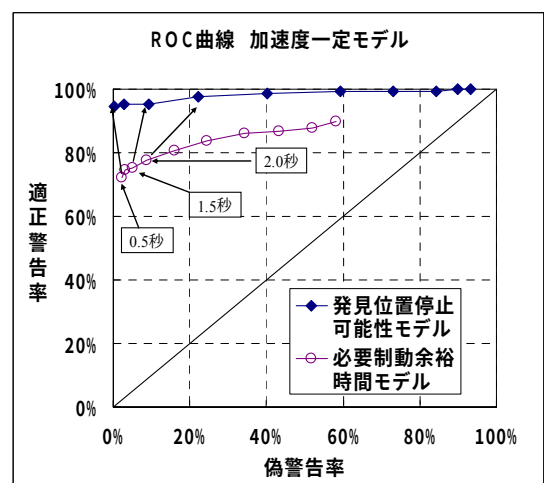
さらに警告感度の設定に用いる警告レンジや余裕時間を変化させた時の適正警告・偽警告の比率を算出し，図－9のROC曲線を作成した。ROC曲線は縦軸に適正警告率，横軸に偽警告率を警告感度を変化させて曲線を描いたもので，曲線と45°度織維とで挟まれた面積が大きいほど性能の高い警告アルゴリズムと言える。

表－4 警告と走行状態の関係

	警告が出る	警告が出ない
危険走行	◎A 適切な警告	×B 警告もれ
安全走行	△C 偽警告	○D 通常時



図－9 ROC 曲線分析方法



図－10 警告アルゴリズムのROC曲線

図-10に加速度一定モデル毎のROC曲線を示す。この場合は発見位置での停止可能性を判定するモデルがドライバー設定値を変化させても常々良好であることがわかる。

5. おわりに

現行のGPSによる位置情報や，車両情報（速度・加速度）等には誤差生じる可能性がある。これらの誤差に対しての一時停止支援ITSの可能性について分析する必要がある。また，今回得られた警告アルゴリズムを実装備して，挙動改善が事故低減にどの程度結びつくかを把握することが必要である。

本研究は土木学会実践的ITS研究委員会における研究開発を著者ら研究員として実施したものである。