

信号切り替わり時のクリアランス車両との交錯を考慮した交差側車両の発進挙動¹

Start-up Behavior of the First Entering Vehicle at Signalized Intersections Considering Interaction with the Clearing Vehicle ^{*1}

鈴木 一史²・後藤 梓³・中村 英樹⁴

By Kazufumi SUZUKI^{*2}, Azusa GOTO^{*3} and Hideki NAKAMURA^{*4}

1. はじめに

わが国の信号交差点は、一般に大きな道路構造で設計され、必要以上に長い全赤時間が設定されがちである。必要以上に長い全赤時間は、これを見越したドライバーによる強引な駆け込み進入やフライング発進といった危険挙動を誘発するばかりか、損失時間が増大することで円滑性の低下を引き起こしている。この背景には、信号切り替わり時の車両挙動が未だ十分明らかにされないまま、車両挙動の実態に見合った全赤時間設定となっていない現状がある。

わが国において、全赤時間は式(1)に示すクリアランス距離 W を接近速度 V で除すことで計算される¹⁾。従来まで W には停止線間距離が用いられてきたが、例えば右折専用現示後では横断歩行者との交錯が生じないため、必ずしも停止線間距離である必要はなく、停止線から交差点までの距離とすることで短い全赤時間設定となる。

$$AR = W/V \quad (1)$$

一方、ドイツ²⁾では、図-1中のエンタリング時間 T_e を考慮した式(2)で定義され、さらに短い全赤時間を設定可能である。

$$AR = T_c - T_e \quad (2)$$

式(2)では、黄終了と同時にクリアランス車両が停止線を通過し、青開始と同時にエンタリング車両が発進する状況を仮定しており、駆け込み進入やフライング発進の影響は考慮されていない。また、 T_c 、 T_e は式(1)と同様の考え方でクリアランス距離、エンタリング距離から接近速度を基に計算されるが、これらの計算過程で各パラメータは一定値であり、そのばらつきによる影響については十分な検討がなされていない³⁾。実際には、図-1に示すように車両の進入タイミング、通過速度、交差点内動線は交差点構造、車両ごとに異なると考えられ、 T_c や T_e が確率的に変動することで必要な全赤時間長もまた変

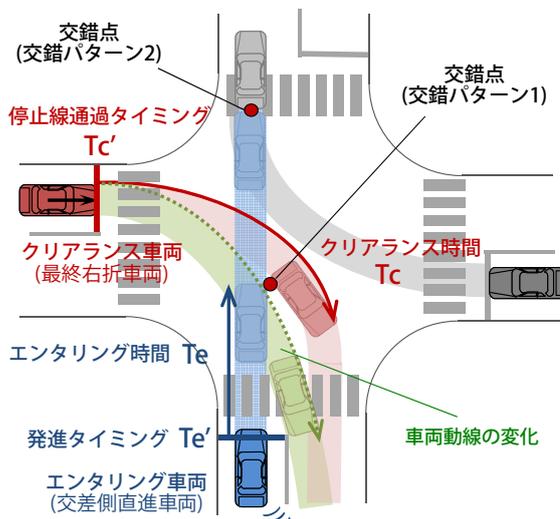


図-1 信号切り替わり時の交錯パターン(右折矢終了後)

化すると考えられる。したがって、全赤時間設定の設定に際しては、車両の進入タイミング、通過速度、車両動線の確率的変動について考慮することで、交差点構造、信号制御方式に応じた信号切り替わり時の車両挙動の変化を適切に予測・評価し、ドライバーにとって必要十分な全赤時間長を慎重に検討することが重要といえる。

そこで本研究では、車両の発進挙動に着目し、様々な道路構造、信号制御に応じて、信号切り替わり時のクリアランス車両との交錯状況が交差側発進挙動に及ぼす影響について分析・モデル化することで、全赤時間設定に及ぼす影響について検討する。なお、わが国では単純4現示制御(丸青+右折矢)が一般的であることから、本研究では右折専用現示終了時の信号切り替わりを対象とし、最終右折車両と交差側直進車両との交錯に着目する。

2. 調査対象交差点および分析方法

(1) 調査対象交差点の概要

道路構造および信号制御が異なる愛知県名古屋市内の信号交差点6箇所を対象にビデオ観測調査を行った。調査対象交差点の概要、および調査日時を表-1に示す。

(2) 発進挙動の分析方法

信号切り替わり時には図-1に示すように2つの交錯パターンが考えられるが、分析に際しては交差側発進車両

*1 キーワーズ：信号交差点，全赤時間，発進挙動

*2 正会員，博(工)，国土交通省国土技術政策総合研究所
(茨城県つくば市旭1番地，E-mail: suzuki-k92td@nilim.go.jp)

*3 学生会員，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

*4 正会員，工博，名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

表-1 調査対象交差点の概要

交差点名	対象流入部	車線数	停止線間距離 [m]	停止線セットバック [m]	サイクル長 [秒]	黄時間 [秒]	全赤時間 [秒]	制御方式	調査日時	サンプル数
広路通1	南	2	49.6	16.5	120 (9:00以降110)	3	4	単純4現示制御	2010/2/24 7:00-10:00	36
	東	3	38.9	15.5						67
	西	3	15.0	41						
砂田橋	南	3	37.0	12.9	120~150	5	4	2008/6/27 7:30-11:00	87	
	西	3	52.8	13.6					57	
末盛通2	北	3	60.4	19.5	140	2	5	2008/11/18 9:00-12:00	59	
	南	3		13.8					59	
	東	4	57.7	18.0					88	
太閤通3	北	4	56.6	17.7	151~165	4	5	2009/10/13 7:30-10:20	83	
	南	4		23.3					83	
西大須	北	5	75.6	30.2	160	4	5	2008/1/18 9:00-12:30	113	
	西	4	80.8	25.3					78	
熱田神宮南	北	5	50.4	9.4	153~160	3	4	矢印制御	2009/7/21 7:00-10:00	76
	南	5		8.1						70
	東	4	9.0	44						
	西	4	8.7	36						

に対する影響が大きいと考えられる最終右折車両の交錯点通過時刻が遅い交錯パターンを分析対象とした。なお、交錯パターン 1 は全観測サンプルの 56.9%を占めていた。

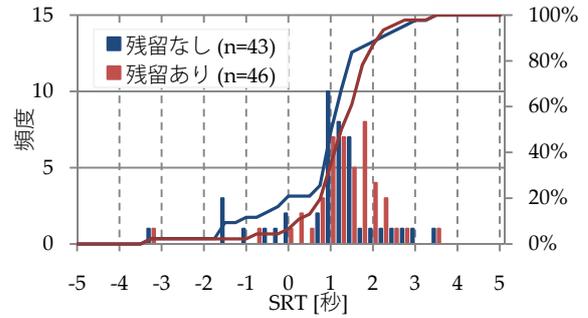
専用のビデオ画像処理システム⁴⁾により、最終右折車両については停止線通過時刻、停止線から交錯点までの距離、交錯点通過までの所要時間、および残留時間(最終右折車両が交錯点を通過したときの全赤終了からの経過時間)を、交差側直進車両については発進反応時間(Starting Response Time, 以下 SRT), 発進開始位置から交錯点までの距離、交錯点通過までの所要時間を 1/30 秒単位で計測を行った。SRT は交差側直進車両が青開始から動き出すまでに要する時間であり、負の値はフライング発進したことを意味する。なお、SRT が±5 秒を超過したり、停止位置が停止線から大きく離れたりした車両は除外している。

3. 発進時挙動の分析

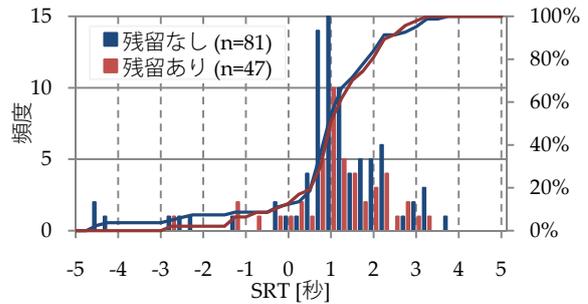
(1) 発進タイミング

観測された SRT 分布について最終右折車の残留の有無別に示した例を図-2 に示す。交差点規模の小さい(a)砂田橋交差点では、残留ありの場合には分布形が右方向にシフトしており、残留なしの場合に比べ発進が遅れる傾向にある。一方、交差点規模の大きい(b)西大須交差点では、残留の有無による大きな差はみられない。これは、交差点規模が大きい場合には右折車の残留が生じたとしても、発進車両が交錯点に到達するまでに右折車が交錯点を通過し終えることが見込まれ、発進挙動に大きく影響しないためと考えられる。他の交差点流入部についても、ほぼ同様の傾向がみられている。

次に、発進タイミング SRT に及ぼす影響要因について



(a) 砂田橋(南側流入部)



(b) 西大須(北側流入部)

図-2 観測された SRT 分布の例

表-2 発進遅れ推定モデルのパラメータ推定結果

ワイブル分布のパラメータの説明変数		係数(t 値)
α	定数項 α_0	11.8 (7.33)
	大型車ダミー α_1 (大型車=1)	-3.40 (-2.95)
β	定数項 β_0	13.9 (7.65)
	エンタリング距離 β_1 [m]	-0.0106 (-5.49)
γ	矢印制御ダミー β_2 (矢印制御=1)	0.274 (3.30)
	定数項 γ_0	11.8 (6.56)
	最終右折車の交錯点通過時間 γ_1 [秒]	-0.0597 (-5.47)
\bar{r}^2 値		0.56
サンプル数		1162

明らかにするため、SRT の分布が式(3)に示すワイブル分布に従うものと仮定し、分布パラメータ α, β, γ に各種説明変数を組み込むことで、道路構造、信号制御条件、交通状況の違いが SRT に及ぼす影響を分析する。説明変数として停止線間距離、停止線セットバック、交錯点までの距離、残留時間、全赤時間長、制御方式(単純四現示 or 矢印制御)、車種を考慮した。表-2 に係数の符号条件の妥当性および統計的な有意性を勘案し採用された推定結果を示す。

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha - 1} \exp \left(- \left(\frac{t - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right) \quad (3)$$

表-2 の推定結果より、大型車ダミーが形状パラメータ α に有意であり、大型車の場合にはばらつきが増大することがわかる。また、尺度パラメータ β にエンタリング距離が有意で係数が負であることから、交錯点の位置が離れているほどフライング傾向にあることを示している。停止線間距離や停止線セットバック量は有意とならな

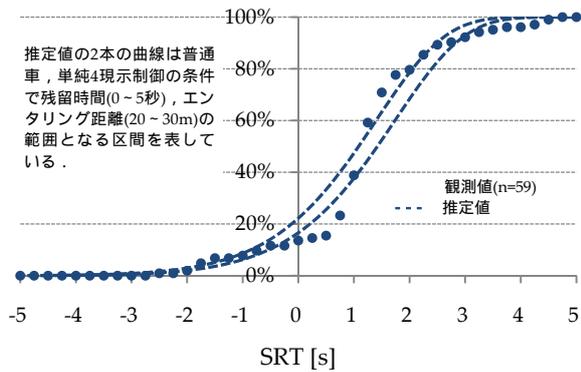


図-3 SRT の観測値と推定値の比較(普通車, 4 現示制御)

ったことから、交差側発進車にとっては最終右折車とどれだけ離れているかがより重要であるといえる。また、矢印制御ダミーが有意となっており、矢印制御の場合には分布が右にシフトすることがわかる。矢印制御に不慣れなドライバーにより発進が遅れるものと考えられる。一方、位置パラメータ γ では、残留時間が有意で係数は負であり、最終右折車の交錯点通過が遅れるほど交差側発進車の発進が遅れることを示している。なお、矢印制御の影響は交差点固有の影響である可能性もあり、他の矢印制御交差点での観測サンプルを増やすことで精査する必要がある。また、今回の分析結果では全赤時間の短い交差点での観測サンプルが少なく、全赤時間の影響については明らかになっていない。この点についても観測サンプルを増やすことで明らかにする必要がある。

次に、本モデルによる推定結果と観測値との比較を図-3 に示す。これより SRT 0.7~0.8 秒付近での乖離が大きいことがわかる。この時間長は一般的な人の反応時間に近く、この値よりも長い SRT で発進したドライバーは信号に従って発進を行っている一方で、この値よりも短い SRT で発進したドライバーは交差側灯火の切り替わりタイミングや最終右折車の通過状況を窺いながら発進していると考えられる。このように特性の異なる 2 つの分布が存在しており、単一の分布形で表現することに限界があると考えられ、モデル構造の再検討が今後必要である。

(2) 発進タイミングと発進時加速度的関係

発進開始から交錯点通過までの挙動について分析するため、残留状況別に発進車両の SRT および平均加速度的観測値をプロットしたものを図-4 に示す。ここでの平均加速度は発進車両が動き始めた位置から交錯点までの距離と所要時間から算出されたものである。今回の分析では交錯点までの到達時間、および交差点到達時の速度が重要であることから、発進時から交錯点に到達するまでの加速度の変動については考慮せず、発進車両は等加速度で発進するものと仮定した。

図-4 より、フライング発進した車両は SRT が小さいほど平均加速度は小さくなる一方で、青開始後に発進した車両の平均加速度の多くは $1 \sim 3\text{m/s}^2$ の範囲で分布してお

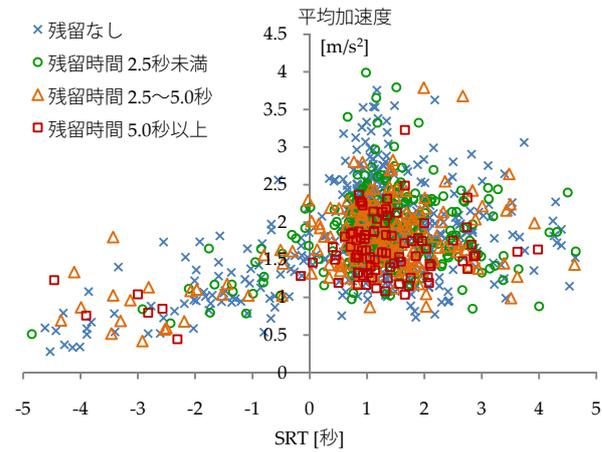


図-4 残留状況別の SRT と平均加速度的観測値(普通車)

表-3 発進時加速度的分布(普通車)

SRT の領域	正規分布のパラメータ		係数(t 値)
SRT < 0.7	μ	SRT[秒]	0.246 (13.8)
		定数項	1.63 (55.3)
	σ	SRT[秒]	-
		定数項	0.374 (20.5)
サンプル数=217			
SRT 0.7	μ	残留時間[秒]	-0.0369 (-5.79)
		定数項	1.92 (106.0)
	σ	残留時間[秒]	-0.0123 (-2.78)
		定数項	0.436 (34.7)
サンプル数=897			

り、残留時間が長くなるほど分散が小さくなる傾向がみられる。さらに、SRT 0.7 秒付近を境にして平均加速度的ばらつき具合が大きく異なっている。そこで、SRT 0.7 秒を境に 2 つの異なる正規分布を仮定し、そのパラメータに SRT と残留時間を説明変数とした確率分布モデルを構築した。その結果を表-3 に示す。

表-3 の推定結果より、フライング傾向にある SRT 0.7 秒未満の車両では、SRT に応じて発進加速度的平均値が小さくなることからわかる。一方、SRT 0.7 秒以上の車両では、残留時間が長くなるほど発進加速度的平均値、ばらつきは小さくなることを示している。これより、交差側発進車両がフライング発進する場合には青開始までの時間長に応じて加速度を調整しており、青開始後に発進する場合には交差点内の残留車両の通過タイミングを意識しながら加速度を調整していると考えられる。

4. 残留状況が全赤時間設定に及ぼす影響の評価

ここでは、前章までの発進挙動に関するモデル分析の結果を基に、全赤時間の短縮可能性について検討する。以下に残留状況を a)考慮した場合、b)考慮しない場合の全赤時間の計算手順を示す。

(1) 計算手順

a) 残留状況を考慮しない場合の全赤時間

式(2)のドイツにおける全赤時間の計算式で安全側を考慮し、観測されたクリアランス時間の85パーセント値、エンタリング時間の15パーセント値を用い、式(4)より残留状況を考慮しない場合の全赤時間を求めた。

$$AR = Tc_{85} - Te_{15} \quad (4)$$

b) 残留状況を考慮した場合の全赤時間

次に、残留状況を考慮した場合の全赤時間の計算手順を図-5に示す。まず、実測値から得たクリアランス時間 Tc の分布からランダムに Tc を発生させ、 Tc と仮の全赤時間(初期値=0)の差を残留時間とする。ここでの残留時間および流入部ごとのエンタリング距離などに応じたSRTの分布を求めランダムにSRTを決定し Te' とする。一方で、加速度分布(表-3)から発進加速度を決定し Te を求める。以上の手順を繰り返すことでエンタリング時間の分布形が得られ、この15パーセント値を基に式(5)より残留状況を考慮した場合の全赤時間を計算する。

$$AR = Tc_{85} - (Te' + Te)_{15} \quad (5)$$

(2) 計算結果

クリアランス車両の残留状況を考慮した場合の全赤時間の計算結果を図-6に示す。これより、クリアランス車両との交差を考慮した場合の全赤時間長は、考慮しない場合と比べ、いずれの交差点流入部においても1秒程度さらに短縮できることがわかる。また、クリアランス距離の短い熱田神宮南・西側流入部では差が約0.9秒と小さくなっており、当該流入部のクリアランス時間が短いことで残留の影響が小さいためと考えられる。なお、今回の計算結果では交差点位置が固定されているため、クリアランス距離やエンタリング距離の変動については考慮できていない。また、クリアランス車両の交差点進入タイミング、通過速度の変動、および全赤時間の変更によるクリアランス車両の挙動変化は考慮されていない。これらの点については、今後分析が必要である。

5. おわりに

本研究では、右折専用現示終了時の信号切り替わりにおける交差側直進車両の発進挙動について、その影響要因を分析しモデル化を行った。その結果、クリアランス車両の残留時間が長いほど交差側直進車の発進が遅れ、その影響はエンタリング距離が短いほど大きいことが明らかとなった。また、ドイツの全赤時間の計算式においてこの影響を考慮した場合には、さらに1秒程度短縮できることが示された。

現状では、クリアランス車両側の挙動変化については考慮しておらず、信号切り替わり時の停止/通過挙動とクリアランス時間との関係について精査することが今後の

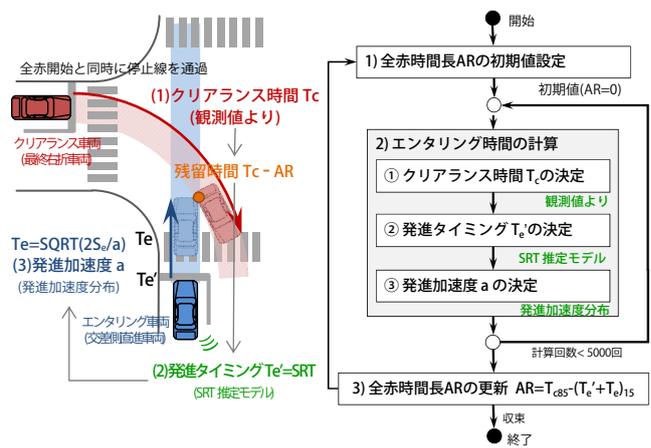


図-5 残留状況を考慮した全赤時間の計算手順

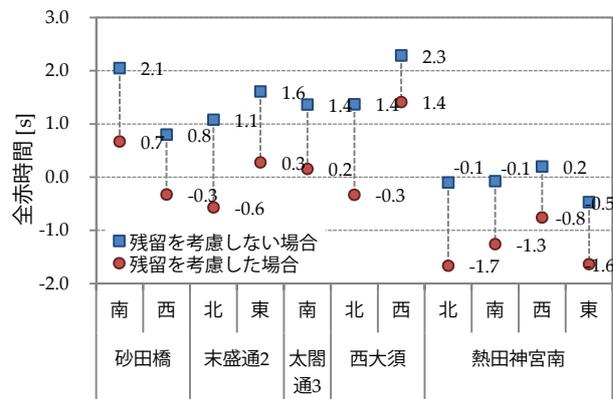


図-6 残留の影響を考慮した全赤時間の試算結果

課題である。また、今回の分析結果では観測サンプルの制約から全赤時間長の影響について明らかになっていない。この点についても、全赤時間長の短い交差点でのサンプルを増やすことで検証する必要がある。これらを含め、今後は既に分析が行われている車両動線の推定モデル⁵⁾と組み合わせることで、交差点位置の変動を考慮した信号切り替わり時の安全性・円滑性の定量的な評価手法について検討を進める予定である。

謝辞

本研究は、(財)タカタ財団による研究助成により行われた研究成果の一部である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) (社)交通工学研究会：改訂交通信号の手引き、丸善、99p、2006.
- 2) FGSV-Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen：Richtlinien fuer Lichtsignalanlagen (RiLSA, Guidelines for Traffic Signals), FGSV-Verlag, Cologne, 1992.
- 3) Wolfemann, A.：Improving the capacity of signalized intersections based on the assessment of signal change intervals, 89th TRB Annual Meeting(CD-ROM), 2010.
- 4) 鈴木一史, 中村英樹：交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer の開発と性能検証, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.276-287, 2006.
- 5) 鈴木一史, 中村英樹：信号交差点における幾何構造と進入条件を考慮した右折走行軌跡のモデル化, 土木計画学研究・講演集 No.39(CD-ROM), 2009.