

# 全赤時間長に着目したインターグリーン時間における直進車の停止/通過挙動の分析<sup>\*1</sup>

## Stop/Go Behavior of Through Traffic during Intergreen Intervals at Signalized Intersections <sup>\*1</sup>

後藤 梓<sup>\*2</sup>・鈴木 一史<sup>\*3</sup>・中村 英樹<sup>\*4</sup>・浅野 美帆<sup>\*5</sup>

By Azusa GOTO<sup>\*2</sup>, Kazufumi SUZUKI<sup>\*3</sup>, Hideki NAKAMURA<sup>\*4</sup>, and Miho ASANO<sup>\*5</sup>

### 1. はじめに

わが国では、黄時間と全赤時間からなるインターグリーン時間が長く設定されがちであり、次現示での先頭車両との交錯の危険性が少ないことを見越したドライバーによる駆け込み進入が誘発されている可能性がある。既往研究では、黄時間長が適切でない場合にドライバーは通過判断をしやすいたことが指摘されている<sup>1)</sup>ものの、全赤時間長が及ぼす影響に関する詳細な分析はなされていない。長い全赤時間に慣れたドライバーは、全赤時間が長いことを見込んだうえで、黄開始後すぐには停止/通過を判断せず、信号切り替わりのタイミングや周囲の様子を窺いながら停止/通過を判断しているものと推測され、これにより挙動のばらつきが増大する恐れがある。この影響は、右直事故や追突事故と深く関係していると考えられ、極めて重要であるといえる。

このような実態を明らかにするためには、インターグリーン時間中の車両の停止/通過挙動に関する精査が必要である。これまで、大口<sup>2)</sup>は信号切り替わり以降の車両の走行軌跡の時空間変化を分析する手法を提案し、Amer<sup>3)</sup>は0.1秒ごとの走行状況を基に停止/通過判断を更新するシミュレーションモデルを構築している。しかしながら、インターグリーン時間中の停止/通過挙動の実態をミクロに分析している研究はほとんどみられない。

そこで本研究では、信号の黄表示開始以降の車両の停止/通過挙動に対して、全赤時間長が及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。特に、わが国で一般的である右折専用現示(右折矢)のある交差点において、インターグリーン時間中の直進車の停止/通過挙動について精査する。

### 2. 停止/通過挙動において考慮する事項

今回は、右折専用現示のある信号交差点における直進専用車線のみを対象とし、各サイクルにおいて信号切り

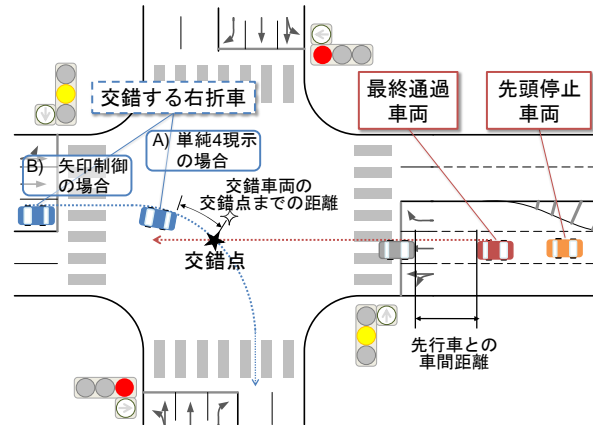


図-1 分析対象車両と判断要因のイメージ

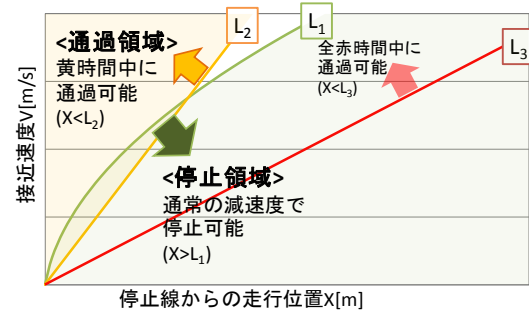


図-2 X-V 図と停止領域/通過領域

替わりの最後に停止線を通じた車両(以下、最終通過車両)および最初に停止した車両(以下、先頭停止車両)を分析対象とする(図-1)。停止/通過挙動に対する影響要因として考慮すべきものを以下に挙げる。

#### (1) 停止/通過挙動に対する影響要因

##### (a) 車両の停止線からの走行位置および接近速度

ドライバーの停止/通過判断は、黄開始時の停止線からの車両の走行位置および速度に基づいて行われると、一般には考えられている。走行位置 $X$ を横軸、接近速度 $V$ を縦軸に用いた図(以下、 $X$ - $V$ 図)には、通常の減速度で安全に停止するのに要する距離 $L_1$ (式(1))および、等速で黄時間 $Y$ 中に進むことのできる距離 $L_2$ (式(2))を描くことができ、これらが判断の基準として用いられる(図-2)。

$$L_1 = \tau V + \frac{V^2}{2d} \quad (1)$$

$$L_2 = YV \quad (2)$$

\*1キーワード: 信号交差点, 全赤時間, 停止/通過挙動, 駆け込み進入

\*2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

(名古屋千種区不老町, E-mail: azusa@genv.nagoya-u.ac.jp)

\*3正会員, 博(工), 国土交通省国土技術政策総合研究所

\*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

\*5正会員, 博(工), 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

ここに、 $\tau$ は反応時間、 $d$ は平均減速度を表しており、これらの値としてわが国では0.7秒、 $3\text{m/s}^2$ を用いるのが一般的である<sup>4)</sup>。

$X > L_1$ のとき、車両は安全に停止することができ、今回この領域を「停止領域」と定義する。 $X < L_2$ であれば、車両は黄終了までに停止線を通過することが可能であり、この領域を「通過領域」とする。また、 $L_1$ 、 $L_2$ に加えて、黄開始から等速で全赤終了までに停止線通過が可能な距離 $L_3$ (式(3))も併記する。

$$L_3 = (Y + AR)V \quad (3)$$

ただし、通過可能領域を表す式(2)、式(3)はいずれも、接近速度 $V$ について等速を仮定しており、通過車両の加速挙動については考慮されていない点に注意が必要である。

さらに、 $X$ - $V$ 図は、式(1)および式(3)における黄時間長 $Y$ から経過時間を引くことで、黄開始 $\Delta t$ 秒後の車両走行位置および速度に対しても適用可能である。今回はこの考え方にに基づきドライバーの停止/通過判断タイミングについて考察する。

### (b)全赤時間長

今回は、典型的な単純4現示制御と右直分離の矢印制御の2種類の制御方法(図-3)の交差点を対象とすることで、全赤時間の有無、またその長さが停止/通過挙動に及ぼす影響について分析する。前者(図-3(a))は丸青から黄表示、右折矢へと全赤表示を介さずに切り替わる一方、後者(図-3(b))では直左矢印から右折矢への切り替わりにおいて、黄時間の後全赤時間が設けられている。この全赤時間の有無および時間長の違いに着目して、分析を行う。

### (c)先行車との位置関係(追従状態)

車両が追従状態にある場合、通過判断をしやすくと考えられるため、分析に際してはこの影響を考慮する。今回は、黄開始時において先行車との車間距離が30m未満の場合を「追従」、それ以上の場合を「非追従」と定義した。

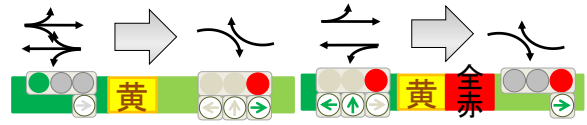


図-3 2種類の制御方式と全赤時間の有無

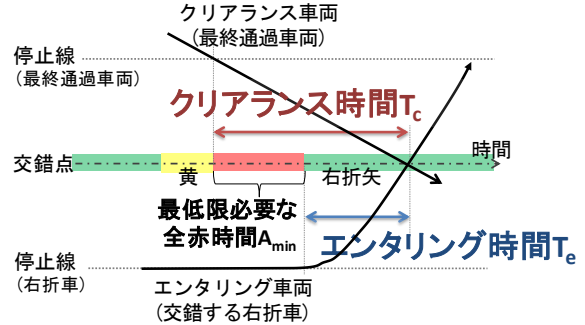


図-4 交錯のイメージと最低限必要な全赤時間

### (d)交錯する右折車の存在

直進車の最終通過車両は、次現示である右折矢における最初の右折車と交錯する。この交錯する右折車との距離が近い場合、ドライバーは強引な駆け込み進入をためらうと考えられるため、この影響を考慮する必要がある。ここで、単純4現示制御では、交錯する右折車が交差点内に進入して右折待ちをすることが可能である一方、矢印制御では、交錯する右折車は右折矢以前は交差点内に進入できず、停止線上流にて待機している点に注意が必要である(図-1)。

### (e)その他の要因

先行研究では、黄時間長<sup>1)</sup>、道路構造の違い<sup>5)</sup>による停止/通過挙動への影響が指摘されているが、今回は全赤時間長の違いに着目するため、黄時間長がほぼ同一であり、道路構造の似通った大規模交差点を主に選定した(表-1)。

### (2) 調査対象交差点の概要

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い、専用のビデオ画像処理システム<sup>6)</sup>によりインターグリーン時間中の各時刻における車両走行位置や速度などのデータを取得した。調査対象交差点の概要を表-1

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]*	調査日時	サイクル長[s]	時間長[s]		制御方式	直進方向別交通量[veh/h]	サンプル数		
							黄	全赤			停止	通過	合計
広路通1	東	3	38.9	15.5	2010/2/24(水) 7:00-10:00	120 (9:00以降110)	3	0	単純4現示制御	759	32	47	79
	西	3	38.9	15.0						591	15	26	41
末盛通2	東	4	57.7	18.0	2008/11/18(火) 9:00-12:00	140	3	0	単純4現示制御	1279	34	25	59
太閤通3	北	4	56.6	17.7	2009/10/13(火) 7:30-10:20	151~165 (変動)	4	0	単純4現示制御	1032	24	24	48
	南	4	56.6	23.3						1214	26	23	49
西大須	北	5	75.6	30.2	2008/1/18(金) 9:00-12:30	160	4	0	単純4現示制御	1268	34	27	61
熱田神宮南	北	5	50.4	9.4	2009/7/21(火) 7:00-10:00	153~160 (変動)	3	5	矢印制御	1152	37	40	77
	南	5	50.4	8.1						1123	17	18	35
	西	4	50.3	8.7						983	41	40	81
桜山	北	3	63.3	19.5	2008/12/04(月) 7:20-10:20	140	3	0	矢印制御	1273	39	33	72

\*停止線セットバック:交差側道路の歩道と車道の境界線から停止線までの距離

表-2 全赤時間長と平均クリアランス時間

交差点名	流入部	現行の全赤時間長 AR[s]	クリアランス距離 $S_{c,ave}$ [m]	平均接近速度 $V_{ave}$ [m/s]	平均クリアランス時間 $T_{c,ave}$ [s]	AR - $T_{c,ave}$ [s]
桜山	北	3	32.7	14.7	2.6	0.4
熱田 神宮	西	4	22.6	14.4	2.0	2.0
	北	5	25.1	15.2	2.0	3.0
	南	5	24.1	11.6	2.6	2.4

に示す。

(3) 最低限必要な全赤時間長と現行の値の比較

全赤時間は本来、クリアランス車両である最終通過車両と、次現示の右折矢におけるエンタリング車両である右折車それぞれの停止線通過から交錯点通過までに要する時間(クリアランス時間 $T_c$ 、エンタリング時間 $T_e$ )の差分だけあればよい(図-4)ため、式(4)で計算できる。

$$AR_{min} = T_c - T_e \quad (4)$$

今回分析の対象とする矢印制御の交差点において、地図より読み取った平均的なクリアランス距離 $S_{c,ave}$ (直進車両の停止線から交錯点までの距離)を、非追従車の平均接近速度 $V_{ave}$ で除すことにより、式(5)により簡易に平均クリアランス時間 $T_{c,ave}$ を求めた。

$$T_{c,ave} = \frac{S_{c,ave} + L}{V_{ave}} \quad (5)$$

ただし、 $L$ は車長を表し、今回はこの値として便宜的に6mを用いた。

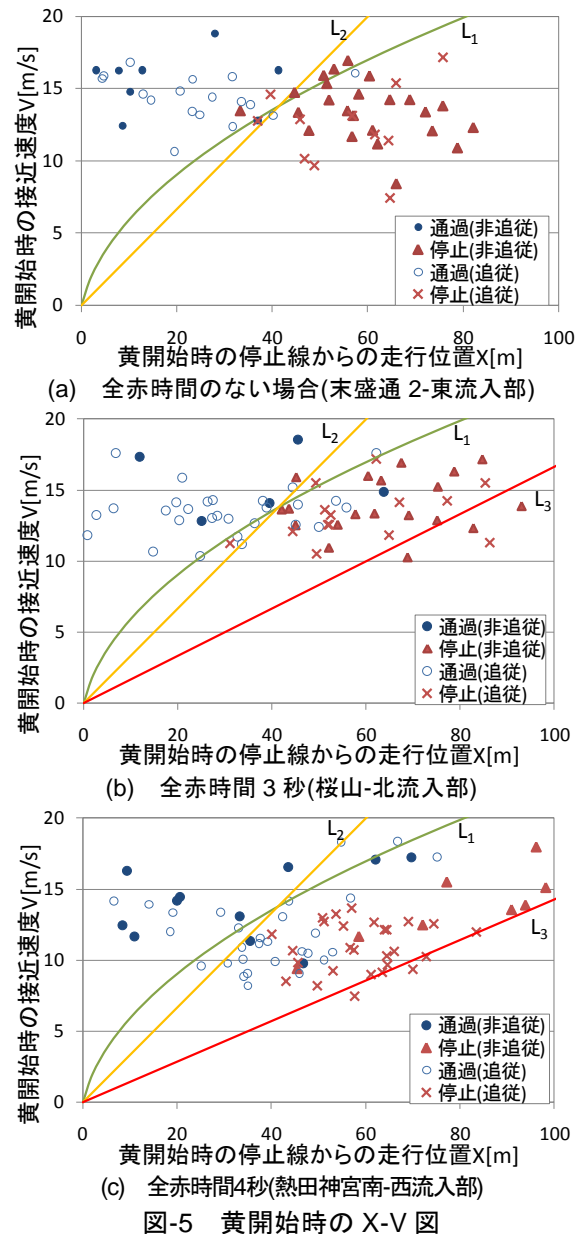
この計算結果を表-2に示す。これより、熱田神宮南交差点では、現行の全赤時間長ARが平均クリアランス時間 $T_{c,ave}$ よりかなり長めに設定されていることがわかる。最低限必要な全赤時間長 $AR_{min}$ は、式(4)の通りエンタリング時間 $T_e$ を考慮すればさらに小さくなるため、いずれの交差点においても、交錯の回避に余裕を持たせた全赤時間が設定されているといえる。全赤時間によって生まれるこのような余裕をドライバーは経験的に知っており、このため全赤時間を見越した挙動をとっていると考えられる。

3. 黄開始時における停止/通過判断

(1) 黄開始時における走行位置と速度による分析

黄開始時における車両の停止線からの走行位置 $X$ および接近速度 $V$ の関係の一例を図-5に示す。

図-5より、(a)末盛通2交差点のように全赤時間のない場合、停止/通過判断は $L_1$ 、 $L_2$ で示される停止/通過領域に概ね従っているのに対して、(b)桜山交差点や(c)熱田神宮南交差点のように全赤時間がある場合、 $L_1$ より遠い、すな



わち停止領域に存在する車両による通過判断が増加する。(b)桜山交差点と(c)熱田神宮南交差点を比較すると、全赤時間が長く、右折車との交錯に時間的余裕(表-2)のある(c)熱田神宮南交差点ほどこのような停止領域での通過判断が増加していること、また同じ領域において停止/通過の判断が混在するようになることがわかる。

(2) 黄開始時の停止確率のパラメータ推定結果

停止/通過判断に対する影響要因を明らかにするため、二項選択ロジットモデル(式(6))により、黄開始時の車両の停止確率をモデル化した。交錯する右折車の停車位置による影響を考慮し、単純4現示制御と矢印制御で別のモデルを構築した。2(1)で挙げた要因から説明変数として、停止線までの所要時間 $T$ (黄開始時の停止線からの走行位置を接近速度で除したもの $T=X/V$ )、追従状態を示す指標(黄開始時における先行車との車頭時間、車間距離、TTC)、黄開始時における交錯する右折車の存在(ダミー変数)お



表-3 停止確率推定モデルパラメータ推定結果

説明変数	単純4 現示制御		矢印制御	
	係数	t 値	係数	t 値
停止線までの所要時間[s]	2.44	7.46	1.89	7.44
全赤時間長[s]	—	—	-1.28	-4.45
先行車との車間距離[m]	0.0250	2.02	0.0333	2.84
定数項	-8.65	-7.06	-3.59	-3.05
尤度比	0.608		0.547	
的中率	87.6%		84.6%	
サンプル数	273		259	

よびその近さ(交錯する右折車から交錯点までの距離), 全赤時間長(単純4現示制御には全赤時間が存在しないため, 矢印制御の場合のみ)を考慮した。

$$P_{stop} = \frac{\exp(V_{stop})}{1 + \exp(V_{stop})} \quad (6)$$

統計的有意性を考慮して得られたパラメータ推定結果を表-3に示す。いずれも停止線までの所要時間が有意となり, これが長いほど停止確率が増加する結果が得られた。また黄開始時における先行車との車間距離が有意となり, 係数は正であった。車両が追従状態にある場合, 車間距離は小さくなるため停止確率が減少する, すなわち通過しやすくなる。追従状態では, 先行車に追従して通過する傾向にあるといえよう。矢印制御の推定結果においては, 全赤時間長が有意であり, 係数が負であることから, 全赤時間が長いほど通過する傾向にあることが示された。

一方で, 黄開始時における交錯する右折車の存在や, 交錯する右折車から交錯点までの距離は有意とならなかった。単純4現示, 矢印制御のどちらの対象交差点も道路構造が広く設計されており, 交錯する右折車の影響が小さかったためと考えられる。どの対象交差点においても右折矢の開始を待つ右折車が存在する場合はほとんどで, 交錯する右折車の存在しない場合のサンプルが非常に少なかったことも原因として挙げられる。また, 矢印制御下では, 前述の通り, 交錯する右折車は停止線上流で待機していなければならず, 直進車との間に十分な距離があることから, 停止/通過判断に対する影響は小さいと推測される。これらの事項について, 小規模交差点のデータを追加するなどして, さらに分析を進める必要がある。

さらに, 今回の分析では, 交差点の道路構造と追従車確率, 全赤時間長の間に相関関係がみられたため, これについても今後対象交差点にバリエーションを持たせることで対応が必要といえよう。

#### 4. 全赤時間の存在による判断タイミングの変化およびインターグリーン時間中の車両挙動

前章では, 黄開始時を基準とした停止/通過判断につい

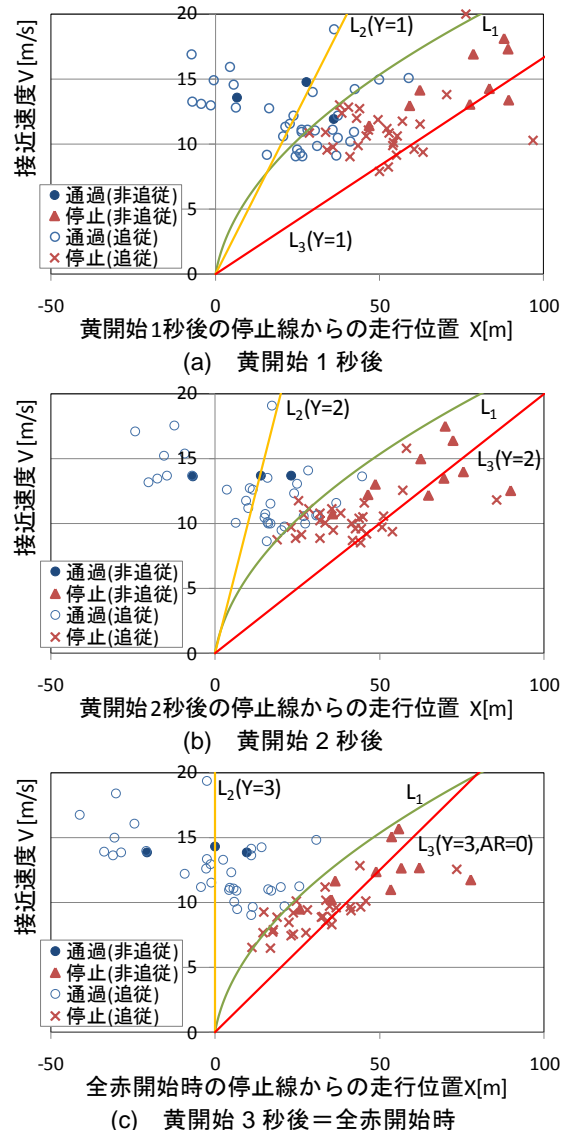


図-6 黄開始以降のX-V図(熱田神宮南,全赤4秒)

て分析を行い, パラメータ推定によって影響要因を明らかにした。しかしながら, 今回のように全赤時間が長く交錯に十分な余裕がある場合, このことを経験的に知っているドライバーは, 黄開始後も全赤開始のタイミングや周囲の様子を窺いながら走行しており, これにより判断のタイミングが変化すると推測される。また, 全赤時間中に交差点を通過することを前提とした, 駆け込み進入も発生すると考えられる。このような挙動は, 黄開始時のみに着目した前章までの分析からは把握できず, 黄開始時の停止線までの所要時間に基づいて車両の停止確率を予測するモデルにも限界があるといえる。したがって, 本章では, 黄開始以降のインターグリーン時間中の車両挙動についてさらなる分析を進める。

##### (1) 全赤時間の存在による判断タイミングの変化

全赤時間が4秒である熱田神宮南交差点の, 黄開始以降1秒ごとの各車両の走行位置Xと接近速度Vを観測した。これによるX-V図を図-6に示す。これより, 黄時間のはじめ((a),(b))は, 同じ領域においても停止/通過の判断

を行った車両が混在しているものが、全赤開始時(c)にはようやく  $L_1$  を境にして明瞭に分かれ、全赤時間がない場合の X-V 図(図-5(a))に近い様になることがわかる。このような各時刻における X-V 図の比較から、ドライバーは黄開始後しばらくは周囲の様子を窺いながら走行し、全赤開始直前まで停止/通過の判断を先延ばししていることが推測される。

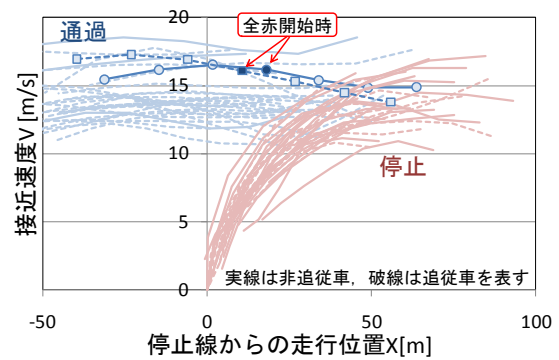
また、全赤開始時における X-V 図((c))からわかる通り、多くの通過車両が全赤開始時にもなお停止線を通り過ぎておらず、ドライバーはもともと全赤時間を見越した判断をとっているとも考えられる。

## (2) インターグリーン時間中の車両挙動

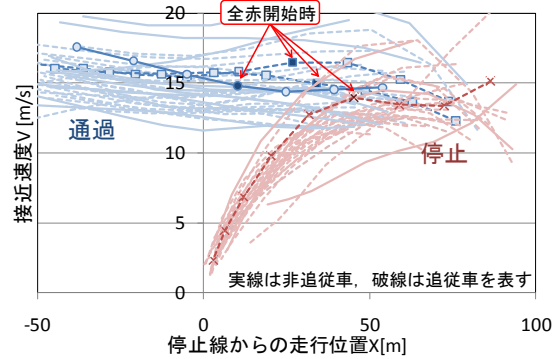
各車両のミクロな挙動を調べるため、黄開始時を始点としたインターグリーン時間中の車両の走行位置  $X$  と速度  $V$  の変化を図-7 に示す。図-7 には、観測された全車両の挙動が示され、このうち特徴的なものについて濃い太線を用いて強調してある。これをみると、どちらの交差点においても、黄開始時点では停止線から上流に離れた位置を走行していたにもかかわらず、加速して通過する車両が認められる。これは、黄開始時における X-V 図(図-2, 図-5)での  $L_2$  における速度一定の仮定(2(1)節(a))が常に成立するとは限らないことを意味し、黄開始以降の通過車両の加速挙動と停止/通過判断の関係をさらに調べる必要があるといえる。また、全赤時間が長く交錯に余裕があると考えられる(b)熱田神宮南交差点では、全赤時間が比較的短い(a)桜山交差点に比べて、停止車両/通過車両ともに速度が不安定に変化するものがみられた。このような車両は特に追従車に多く、先行車の様子や信号切り替わりのタイミングを窺いながら走行することで、判断が先送りされていると考えられる。このような様子を見ながらの走行は、車両挙動のばらつきを増大させ、結果として先行車との追突事故の危険性を高めることになることと推測される。今後、先行車の車両挙動も含めて、さらなる精査が望まれる。

## 5. おわりに

今回は、インターグリーン時間における直進車の停止/通過挙動について、特に全赤時間に着目して分析を行った。この結果、全赤時間が長く交錯点通過に余裕がある場合には、ドライバーはすぐには停止/通過を判断せず、周囲の様子を窺いながら走行している可能性が示された。また、長い全赤時間を見込んだ判断を行うために、全赤時間中の駆け込み進入が増加する傾向がみられた。これらの停止/通過判断は、インターグリーン時間中の加減速挙動と密接な関係があることが推測され、これらの挙動の関連性に対してさらなる分析をすべきといえる。また、今後は、今回観測サンプルの制約上考慮しなかった黄時



(a) 全赤時間 3 秒(桜山-北流入部)



(b) 全赤時間 5 秒(熱田神宮南-北流入部)

図-7 インターグリーン時間中の走行位置  $X$  と 接近速度  $V$  の変化

間長や道路構造の影響も含めた分析も必要である。

判断タイミングや加減速挙動を含めた一連の停止/通過挙動は、次現示での右折車との交錯において、クリアランス時間や交錯点通過時間差(PET)、交錯点通過速度に影響を及ぼすと考えられる。停止/通過挙動の精査を進めることで、インターグリーン時間中のクリアランス車両の挙動の把握を行い、信号交差点における安全性の評価に役立てていくことが、今後の課題である。

## 謝辞

本研究は、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。

## 参考文献

- 1) 安井一彦, 小貝真史: クリアランス時間の適正化に伴う車両挙動の変化に関する研究, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp81-84, 2006.
- 2) 大口敬, 城所貴之, 片倉正彦, 鹿田成則: 交差点信号切り替わり時の交通制御に関する実証的分析手法の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, CD-ROM, 2004.
- 3) Amer, A., Rakha, H., El-Shawarby, I.: A Behavioral Modeling Framework of Driver Behavior at the Onset of a Yellow Indication at Signalized Intersections, TRB2010 Annual Meeting, CD-ROM, 2010.
- 4) (社)交通工学研究会: 改訂交通信号の手引き, 丸善, 2006.
- 5) 大蔵泉, 長谷川秀, 依田育也: 信号現示変わり目における車両の挙動特性, 土木計画学研究・論文集, No.7, 1989.
- 6) 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, pp276-287, 2006.