

サイクル長に着目した信号現示切り替わり時における車両挙動の解析*

Analysis of Driver's Behavior at the Signal Change in intersection in consideration of cycle length *

山内麻希**・吉井稔雄***・藤井聡***

By Maki YAMAUCHI**・Toshio YOSHII***・Satoshi FUJII***

1. はじめに

都市内道路交通において、様々な動線が交錯する交差点は、道路ネットワークを構成する上で重要なポイントであるが、その一方で交通事故や交通渋滞といった問題を抱えるウイークポイントであるため、交差点における交通マネジメントは極めて重要である。

我が国においては、歩行者の安全な横断を確保することなどを理由として、欧米先進国と比較して極めて長いサイクル長が設定されている。円滑性の観点から言えば、渋滞が発生しない範囲において短いサイクル長を採用することが良いということは明白である。さらに、長いサイクル長は待ち時間の増加を招き、無理なタイミングでの交差点進入や赤信号無視などドライバーの危険な挙動を誘発する可能性があると考えられる。

既存の研究¹⁾では、信号切り替わり時のドライバーの停止判断挙動に影響を与える可能性がある要因として、交差点の幾何形状、地域性や歩行者数を考慮した研究はなされている。しかしながら、『信号サイクル長』の長短がドライバーの停止判断挙動に与える影響を調べる研究はなされていない。

そこで本研究では、信号サイクル長に着目し、黄色信号切り替わり時に交差点に接近する車両の挙動を観測し、信号サイクル長と信号切り替わり時のドライバーの停止判断挙動の関係を明確にする。具体的には、サイクル長が異なる複数交差点で実交通観測調査を行い、同調査による観測データを解析する。

2. 停止判断の判断基準要因

信号切り替わり時のドライバーの停止判断に影響を与える要因としては、交通条件、道路条件やドライバー属性をはじめとして様々な要因が考えられるが、本研究では、観測時の路面状態や天候条件、観測時間帯、交差点の幾何構造(停止線間距離、車線数)、信号現示方式等の

条件について、可能な限り同一の交差点と時間帯を抽出、さらに以下の地域性、交差点の周辺環境についても配慮して観測調査を実施した。

・地域性(交通混雑度)

地域が異なると混雑度も異なるが、交通混雑状況は車両挙動に影響を与えられられる。具体的には、日常的に混雑している地域のドライバーほど、心的ストレスを感じ、信号無視などの危険挙動をとる可能性が高くなると思われる。本稿では、地域による交通混雑状況の違いが与える影響を除外するために、全ての調査を道路混雑状況がほぼ等しいと考えられる京都市内に位置する交差点において実施した。

・交差点の周辺環境

交差点付近の土地利用のあり方に違いがある場合、具体的には、交差点周辺に商業施設が多く立地している場合と農業・工業用地として利用されている場合では、交差点内を横断する歩行者数や近隣施設へ出入りする交通量に違いが生じ、ドライバーの停止判断が異なる可能性がある。そのため、市街地と比べて非市街地の交差点では、歩行者や道路に面する施設に出入りする車両が少なく、ドライバーは通過という判断を下しやすいと考えられる。本稿では、交差点周辺の土地利用状況が与える影響を除外するために、全ての調査を市街地に位置する交差点において実施した。

以下、上記の要因に関する条件は同一であるものとし、以下の要因に着目した分析を行う。

1)信号サイクル長

サイクル長の増加に伴う待ち時間の増加は、ドライバーにストレスを与え、交差点への駆け込み侵入など、危険な運転挙動を誘発する可能性が高まり、安全性を低下させる恐れがある。そこで、サイクル長が長くなるほど、ドライバーは通過という判断を下しやすいとの仮説を測定する。

2)ポテンシャルタイム(以下、PT)

式(1)に示すように、PTとは黄信号開始時において、交差点に接近する車両の停止線からの距離を同時刻にお

*キーワード：信号制御、信号サイクル長、交通安全

**学生員、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻(京都市西京区京都大学桂, TEL:075-383-3242)

***正会員、博士(工学)、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

ける速度で除した値，すなわち，黄信号開始時以降に速度変化がないと仮定した場合に黄信号開始時刻から停止線通過までに要する時間を表す．なお，調査により車両の黄色切り替わり時の速度と位置を観測することが困難であることから，本稿では，停止線上流 80m 付近において 20m 程度の区間を設定し，同区間の両端において車両通過時刻を観測，観測によって得られた同区間平均走行速度ならびに同区間からの流出時刻に基づいて車両軌跡を外挿し PT を算出する．PT は，各車両の交差点接近タイミングを示す重要な指標であり，当然 PT が小さいほどドライバーは通過という判断を下しやすく，また，PT が黄色現示時間を上回る場合に交差点を通過する車両は信号無視をする可能性が高いと考えられる．

$$T_p = d/v \quad (1)$$

T_p : ポテンシャルタイム[s]

d: 信号切り替わり時の停止線までの距離[m]

v: 信号切り替わり時の走行速度[m/s]

3) 走行速度

黄色切り替わり時の走行速度によっても停止判断挙動に差異が生じる可能性が考えられることから，車両走行速度を考慮した分析を行う．車両走行速度が高い場合には停止に長い距離を要することから通過の判断をしやすくなるとも考えられるが，前記 PT を同一回帰モデルに導入している場合には，それが同値との条件下での統計的效果を推定することとなり，走行速度が高い場合には黄信号切り替わり時の停止線からの距離も長くなるため，必ずしもその主効果の方向は明確には予期できない．

4) 前方及び後方走行車両の有無

車両が前方走行車両に追従して走行しているか否か，後方に追従して走行する車両が存在するか否かで，同車両との追突・接触事故発生の危険度が異なるため，前方/後方を走行する車両の存在がドライバーの停止判断挙動に影響を与える可能性が考えられる．うち，前方走行車両に追従して走行する車両のドライバーは，前方走行車両につられて通過という判断を下しやすい可能性がある．特に前方走行車両が大型車の場合には信号機が見えにくい可能性があると考えられるので，前方が大型車の場合について考慮する．一方，自車に追従して走行する後方車両が存在する場合には，減速した場合に後方車両に追突される可能性を回避するため，通過という判断を下しやすい可能性がある．そこで，前後車両の有無が停止判断に与える影響も考慮した分析を行う．前後の車両有無の判定は，既存研究¹⁾による車頭間隔の閾値 3.0 秒を用いる．

3. 車両停止判断挙動モデル

黄色信号直面時には，交差点に接近するドライバーは通過するか停止するかを選択を行わなければならない．この時，通過という判断を下す確率は式(2)で与えられるロジスティック回帰モデルに従うものとする．

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + 1} \quad (2)$$

$$V_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_i$$

P_i : 車両 i の通過選択確率

V_i : 車両 i の通過に対する効用の確定項

β_k : 未知パラメータ

x_1 : サイクル長[s]

x_2 : PT[s]

x_3 : 走行速度[m/s]

x_4 : 前方車両ダミー

(前方走行車が存在する場合：1，
存在しない場合：0)

x_5 : 後方車両ダミー

(後方走行車が存在する場合：1，
存在しない場合：0)

4. 調査概要

調査は，表1に示す4交差点で実施した．いずれも京都市内に位置する．交差点の選定に当たり，動的条件(交通状況)に関しては，交差点の交通量が近飽和状態で，下流からの渋滞が延伸していないこと，歩行者数に大きな差異がないことを考慮した．また，静的条件に関しては，交差点の幾何形状や交差点長がほぼ同等の条件となるよう，十字交差点で，観測するアプローチならびに交差道路ともに片側2車線，かつ右折車による影響を排除するため，観測するアプローチに於いて右折レーンがある交差点を選定した．加えて，信号制御方式を同一とするため，3秒の黄時間ならびに主道路，従道路ともに黄信号に続いて右折専用現示が出現する交差点を選定した．さらに，ドライバー属性の差異を最小限に抑えるよう，いずれの調査も2008～2009年の平日朝7:00～9:00の通勤時間帯に実施した．

表1 調査対象交差点

交差点	サイクル長(s)	サンプル数
河原町丸太町	140～160	116
葛野大路五条	180	9
西大路五条	130～180	53
国道1号久世橋	170～200	82

調査は、複数のビデオカメラを図1に示す位置、すなわち交差点角に1台、交差点上流の2カ所(停止線の upstream 側約80m, 約100m地点)にそれぞれ1台の計3台設置して撮影を行い、それぞれ信号の切り替わり時刻、停止線付近の走行速度を観測した。なお、信号現示と車両挙動の関係を把握するためにはフレーム単位の精度で同期を取る必要があることから、各ビデオテープの最初と最後に同一の時計を撮影、各ビデオのフレームに同時計の時刻を対応させた。各交差点のビデオ設置位置・停止線間距離を表2に示す。また、調査員の目視によって交差点を最後に通過した車両、ならびに停止線前で先頭と2番目に停止した車両を観測し、車種や車の色を図2に示す調査用紙に記録した。この調査用紙とビデオ画像により、通過/停止の判定を行った。なお、右左折車両の影響を除外するため、第2車線を走行する車両を調査対象とした。

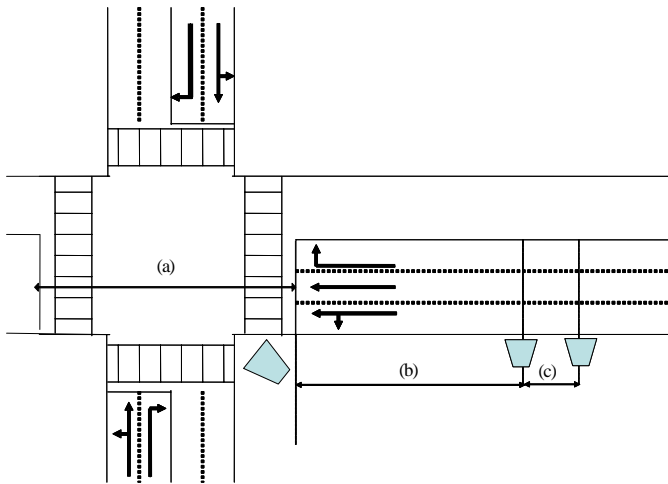


図1 交差点概略図

表2 調査交差点の観測位置

	停止線間 距離	停止線から下流カ メラまでの距離	カメラ間 距離
	(a) (m)	(b) (m)	(c) (m)
河原町丸太町 (東行き)	61.0	78.7	17.7
河原町丸太町 (南行き)	71.0	78.1	22.6
河原町丸太町 (西行き)	61.0	82.8	14.3
葛野大路五条	53.0	86.7	19.1
西大路五条	54.1	78.5	18.4
国道1号久世橋	61.7	66.1	27.2

分析対象は、黄色現示開始時に停止線上流に位置する車両、すなわちPTが0秒以上、かつ速度変化がない場合に赤現示切り替わり後4秒以内に停止線に到達する車

月 日 () : ~ : アプローチ番号: _____ 調査員: _____ No. _____

青開始時刻	黄色切替時 最後に通過した車		黄色切替後 最初に停止した車		黄色切替後 2番目に停止した車	
	車種	カラー	車種	カラー	車種	カラー
:	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白
	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー
:	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒
	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー
:	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤
	() その他	() 黄	() その他	() 黄	() その他	() 黄
:	() その他	() 緑	() その他	() 緑	() その他	() 緑
	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺
:	対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:	
	:		:		:	
:	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白
	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー
:	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒
	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー
:	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤
	() その他	() 黄	() その他	() 黄	() その他	() 黄
:	() その他	() 緑	() その他	() 緑	() その他	() 緑
	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺
:	対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:	
	:		:		:	
:	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白	() 乗用車	() 白
	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー	() 軽自動車	() シルバー
:	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒	() バス・タクシー	() 黒
	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー	() トラック	() グレー
:	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤	() バイク・原付	() 赤
	() その他	() 黄	() その他	() 黄	() その他	() 黄
:	() その他	() 緑	() その他	() 緑	() その他	() 緑
	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺	() その他	() 青・紺
:	対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:		対向右折車: 割り込み: 車線変更:	
	:		:		:	

図2 調査用紙

両、すなわちPTが7秒以下の車両で、かつ時速40km以上で走行している車両とした。

2章で示したように、本研究では、交差点の接近タイミングを表す指標としてPTを用いている。このPTは、ビデオデータにより取得する走行速度と走行位置を用いて、式(1)に基づき算出する。ここで、速度と走行位置を観測するにあたり必要な条件を以下に示す。まず、信号の黄色切り替わり後は、黄色信号を見たドライバーが加速あるいは減速挙動を行う可能性が考えられるため、速度は信号が黄色に切り替わる前、即ち信号が青現示の時に計測する必要がある。図3にタイムスペース図を示すが、同図にあるように停止先頭車両の速度を青時間内に計測できるよう停止線から離れた位置で観測することが望ましい。次に、本研究では停止線上流の観測地点から停止線通過までの間は等速で走行するという仮定を設定しているため、観測地点から停止線までの距離が遠ざかるほど、計算上の車両速度と実際の車両速度の誤差が大きくなると考えられる。これより、走行速度を観測する区間は停止線に近い方が望ましい。そこで、これら2つの要件を勘案し、車両の走行速度を計測する区間を設定した。また、速度計測の誤差を2~3%程度に抑えるため測定区間距離に約20mという値を採用した。図3中では、車両走行軌跡の傾きが走行速度を表しており、停止線位置における時刻tから黄色現示開始時刻を減じた値がポテンシャルタイムT_pを表している。

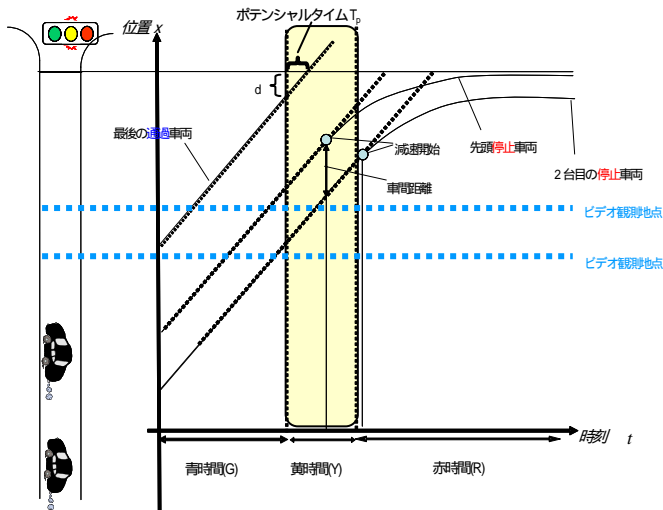


図3 タイムスペース図

5. サイクル長を考慮した停止判断挙動解析

上記にて観測した車両データを用い、3章に示した停止判断挙動モデルのパラメータを推定した結果を表3に示す。有意水準5%では「サイクル長」「PT」のみが有意に停止判断に影響を与え、他の要因は停止判断に有意な影響を与えないとの結果が得られた。「PT」に関しては、係数が負値を示しており、PTが小さいほど、言い換えれば交差点接近タイミングが早いほど交差点を通過しやすいとの現象に合致する。「サイクル長」は、係数が正値を示していることから、サイクル長が長いほど黄色信号切り替わりに直面したドライバーが、交差点を通過するとの判断を下しやすいとの仮説を支持するものである。このことから、黄色信号直面時におけるドライバーは交差点を通過するか停止するかの判断行動を行う際に、交差点での待ち時間に影響を受けている可能性が高いということが示唆される。

さらに、「速度」「前方車両D」に関しては、有意ではないものの、有意確率がそれぞれ0.065, 0.086と一般的に「統計的傾向がある」と言われる水準にあること、なら

びにその符号から、黄色信号切り替わりに直面したドライバーは、走行速度が低いほど、また前方に車両が存在する場合に交差点を通過という判断を下しやすい傾向があることが示された。一方の「後方車両D」「前方大型D」に関しては、ドライバーの停止判断に影響を与えるとの結果を得ることはできなかった。

6. おわりに

本研究では、信号切り替わり時のドライバー停止判断挙動をモデル化し、実観測データを用いたモデル分析を通して、信号サイクル長の違いが黄色信号直面時におけるドライバーの交差点通過/停止の判断に与える影響について分析を行った。その結果、信号切り替わり時のドライバーは、信号サイクル長が長いほど交差点を通過という判断を下しやすいとの仮説を支持する結果が、事前に想定した停止判断に影響を及ぼしうる諸要素を導入した上でもなお得られた。これより、サイクル長の短縮が信号無視などの危険挙動を減少させ、安全性向上に寄与する可能性が高いということが示唆される。

今後は、同知見の一般性を確認するため、京都市以外の地域において同様の調査・分析を実施していきたい。また、道路ネットワークの混雑状況などの地域性や土地利用状況といった交差点の周辺環境の差異が停止判断挙動に与える影響について把握、さらには、信号の黄時間や全赤時間、あるいは信号現示方式が車両挙動に与える影響について調査・分析を行っていきたい。また、ある特定の道路ネットワークエリアに於いて、実際に信号サイクル長を短縮し、事前・事後の車両挙動ならびに事故発生件数を比較することでサイクル長短縮が車両挙動、さらには交通安全に与える効果を示していきたい。

最後に、調査を実施するにあたっては、河西秀彦君はじめ京都大学大学院都市社会工学専攻交通行動システム研究室の学生諸君にお手伝いいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

表3 パラメータ推定結果

	標準誤差	有意確率
サイクル長	0.024	0.031**
PT	-1.260	0.000**
走行速度	-0.147	0.065*
前方車両D	0.695	0.086*
後方車両D	-0.359	0.423
前方大型D	1.042	0.203
定数	2.286	0.277
尤度比	0.478	的中率 85.4%

** 5%有意, * 10%有意

参考文献

- 1) 橋本幸雄, 吉井稔雄, 北村隆一: 「交差点条件と地域差を考慮した信号交差点における停止判断挙動分析」, 土木学会第60回 年次学術講演会講演集, 第 部門, CD-ROM, 2005