

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：52301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18172

研究課題名（和文）交錯発生プロセスを考慮した安全・円滑な信号交差点の全赤時間設定手法

研究課題名（英文）A Method of Safe and Effective All-Red Clearance Intervals Considering Traffic Conflicts

研究代表者

鈴木 一史 (Suzuki, Kazufumi)

群馬工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授

研究者番号：90529041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、信号切り替わり時の交錯発生プロセスを表現可能な車両挙動モデルを構築するとともに、これらを組み込んだ交差点シミュレーションモデルを構築した。このシミュレーションモデルを用いて、交差点のコンパクト化を主とする道路構造改良と全赤時間の見直しによる交通運用の変更に伴う交差点改良シナリオを想定したケーススタディを行った。その結果、隅切り半径を縮小して停止線セットバック距離を縮小することで、PET指標の分布のばらつきが小さくなるとともに、交錯危険性の高いPET指標値の発生頻度が減少する傾向にあることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、信号切り替わり時の一連の車両挙動に及ぼす道路構造・交通運用・ドライバー心理に関する影響要因をビデオ観測データに基づき明らかにした上で、これらをモデル化している点で学術的な意義があるといえる。また、道路構造と交通運用に応じて望ましい全赤時間を設定した際の交差点の安全性を定量的に評価するための基礎的なフレームの構築を試みており、全交通事故の約6割を占める交差点での交通事故の削減に寄与する点で社会的意義が高いといえる。

研究成果の概要（英文）：This study aims at modeling the process of traffic conflicts during signal change intervals and developing traffic simulation model with vehicle behaviors. A case study was carried out by using the simulation model to confirm the safety improvement in terms of reforming intersection geometry and signal settings. As a result, it was found that the occurrence of unsafe traffic conflicts was likely to decrease while the deviation of PET value was reduced.

研究分野：交通工学

キーワード：信号交差点 交通安全 全赤時間 シミュレーション 交錯

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

信号切り替わり時には、それまで通行していた交通の流れを安全・円滑に停止させるため、黄時間と全赤時間が挿入される。黄時間により車両を安全に停止させ、全赤時間により交差点内の車両を一掃させ交差側車両との交錯を回避する。全赤時間は一般に、信号切り替わり時の最終車両と次現示の交差側車両との走行軌跡の交錯点を考え、各車両の停止線から交錯点までの通過時間の差に基づき決定される。これら通過時間は、交差点の大きさや形状、個々の車両の接近速度や走行軌跡によって大きくばらつき、必要な全赤時間も異なってくる。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、待ちきれなくなった交差側車両による違法なフライング発進といった危険挙動を誘発するだけでなく、交通処理に有効に使われない時間（損失時間）が増大することで円滑性の低下をも引き起こす。したがって、全赤時間は交差点の道路構造や交通運用の実態に合わせて注意深く設定する必要がある。

しかしながら既往研究において、交差点の道路構造が、全赤時間設定に関係する接近速度や走行軌跡の変動にどのような影響を及ぼすかは明らかになっていない。さらに、現状の全赤時間設定の考え方では、黄終了直後および青開始直後に各車両が停止線を通過することを前提としているが、実際には、交錯する相手車両の様子を窺いながら、黄終了後にも交差点に進入する駆け込み車両や、青開始前に発進するフライング車両が存在し、これら車両による交錯発生が交差点の安全性に大きく影響する。このような交錯に関わるドライバーの停止/通過判断挙動、交差側発進挙動に、道路構造や交通運用（黄・全赤時間設定、信号現示パターン等）がどのように影響するかについても、既往研究では十分に明らかになっていない。また、全赤時間設定に際しては、安全性の担保も重要な課題であるが、設計段階で安全性を定量的に評価する手法は確立されておらず、安全を過剰に意識するあまり全赤時間が長めに設定されがちな状況にある。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、以下の3点を目的として研究を実施した。

- (1) 信号切り替わり時の一連の車両挙動に影響を及ぼす要因を、交差点の道路構造・交通運用の観点から統計的に明らかにし、交錯発生プロセスを表現可能な車両挙動モデルを構築する。
- (2) (1)の車両挙動モデルを組み合わせた交差点シミュレータを開発することで、道路構造・交通運用に応じた利用者間の交錯発生を再現し、交錯指標に基づく安全性の定量的な評価を試みる。
- (3) (2)で構築された交差点シミュレータを用い、実際の信号交差点において、交差点のコンパクト化を主とする道路構造改良と全赤時間の見直しによる交通運用の変更に伴う交差点改良シナリオを想定したケーススタディを行う。

3. 研究の方法

(1) 車両挙動の分析とモデル化

信号切り替わり時の安全性と円滑性に影響を及ぼす道路構造・交通運用に関する要因を抽出するため、群馬県内5箇所程度の事故多発交差点を対象にビデオ観測調査を行い、図1に示す4現示制御の右折専用現示切り替わり時の車両挙動についてデータ収集を行った。データ収集は車両の走行軌跡から1/10秒単位の位置・速度・加速度・車両姿勢データを取得し、このデータより全赤時間設定に重要となる、(a)車両の停止/通過判断挙動、(b)交差点内走行軌跡、(c)交差点接近速度および交差点内速度、(d)交差側車両の発進挙動の一連の車両挙動について、道路構造・交通運用が及ぼす影響要因を統計的に分析した。この結果を踏まえ、①右折車の停止判断挙動、交差側直進車の②発進反応時間および③発進加速度について、道路構造要因、交通運用要因、車両側要因の観点から車両挙動モデルの構築を行った。

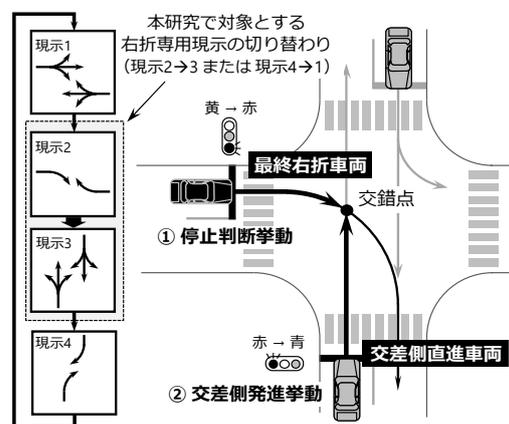


図1 本研究で対象とする信号切り替わり

(2) 交差点シミュレーションモデルの構築

(1)で構築された車両挙動モデルを組み込み、信号切り替わり時の様々な道路構造・交通運用に応じて、信号切り替わり時の車両間の交錯発生プロセスをモンテカルロ法により再現可能なシミュレーションモデルを構築した。また、このシミュレーションモデルより再現された交錯を交錯指標により定量化することで安全性の評価指標とした。

(3) 交差点改良シナリオのケーススタディ

(2)で構築された交差点シミュレーションモデルを用い、調査対象交差点から比較的大規模な信号交差点1箇所を選定し、当該交差点において交差点コンパクト化（停止線位置の前進や隅切りの縮小等）と併せて全赤時間短縮等の交差点改良シナリオを実施したときの安全性に及ぼす影響についてケーススタディを行った。

4. 研究成果

(1) 車両挙動の分析とモデル化

表 1 に示す群馬県内の信号交差点を対象にビデオ撮影調査を行い、観測データの収集を行った。観測データの収集に際しては、専用のビデオ画像処理システムにより、右折専用現示切り替わり時の最終右折車および交差側直進車の車両走行軌跡、信号切り替わり時刻に関するデータを収集した。これらデータに基づき、図 1 に示すように最終右折車の停止判断挙動、交差側直進車の発進挙動(発進反応時間)に及ぼす影響要因を統計的に分析した。分析に際しては、モデルごとに表 2 で○印を付した要因を説明変数として考慮した。

① 右折車の停止判断挙動

停止判断挙動については、最終右折車の停止判断挙動を式(1)の二項ロジットモデルにより表現し、表 3 の推定結果を得た。

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

ここで、 P_{stop} : 停止確率、 V : 停止効用を表現する説明変数の線形結合和である。

これよりポテンシャルタイム(黄開始時の停止線通過までの所要時間)が長いほど停止傾向にあることから、黄開始時に停止線からの距離が離れていたり走行速度が低かったりする場合には停止を判断しやすいことがわかる(図 2)。次に、右折専用現示の青時間比の係数が正であることから、右折専用現示の青時間比が大きいほど、右折車にとって駆け込み進入をせずとも余裕をもって通過できることから停止傾向にあることがわかる。また、インターグリーン時間(黄+全赤時間)の係数が負であることから、インターグリーン時間が長いほど交差側青開始までに余裕があることで、無理な駆け込み進入を試みるドライバーが増加する可能性を示唆している。さらに、交差角度の係数が正であることから、交差角度が大きい(鈍角な)交差点ほど停止傾向にあるといえる。これは、交差角度が大きいほど右折横断距離が長く感じられたり、右折先の交差側車両の存在が視界に入りやすくなったりすることで、交錯に対する警戒感が生じて無理な駆け込み進入が抑制されるためと考えられる。

② 交差側直進車の発進挙動

交差側直進車の発進挙動については、交差側直進車の発進反応時間が式(2)のワイブル分布に従うと仮定し、各パラメータに表 2 に示す説明変数を組み込むことでモデル化を行った。

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t+\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{t+\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (2)$$

ここで、 α : 形状パラメータ、 β : 尺度パラメータ、 γ : 位置パラメータ、 t : 発進反応時間である。

発進反応時間モデルの推定結果を表 4 に示す。これより、形状パラメータ α で大型車ダミーが有意となり、小型車と大型車で分布形状が大きく異なることがわかる。次に、尺度パラメータ β で残留時間が有意となり、残留時間が長い(交差側青開始以降も最終右折車が交錯点を通過し終えるまでに時間がかかる)ほど、交差側直進車の発進が遅れることを示している。これは交差側直進車が最終右折車の交錯点での通過状況を窺いながら発進タイミングを調整しているためと考えられる。また、右折現示時間および全赤時間が有意であり、長いほど発進が早まる傾向に

表 1 観測対象交差点の概要

交差点名	本町1		貝沢町		上大類町			下小島町		元蔵社町東	千代町3															
	東	北	東	西	東	西	南	北	東	西																
右折流入部	142-164		109-167		129-174			150-151		149-161	114-161															
サイクル長[s]	17-30		5-7		8-20			9-22		9-17	5-9	7-13	12-19	5-9												
右折専用青時間[s]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2													
インターグリーン時間[s]	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3													
停止線セットバック長[m]	13.9	13.5	13.9	13.9	15.8	15.9	14.0	19.2	11.8	13.6	15.3	14.3														
クリアランス距離 ¹⁾ [m]	13.6	14.7	17.0	19.7	15.7		16.8		20.0	12.0																
エンタリング距離 ²⁾ [m]	16.9	15.8	15.5	14.6	21.8	19.5	19.1	24.0	19.1	24.1	21.4	18.0														
右折時交差角度[deg]	14.2	15.2	16.7	18.5	17.6		21.1		25.7	18.4																
車線数	94	89	91	88	78	78	102	102	50	130	126	95														
調査観測時間帯	7:00-10:00		7:15-12:15		15:45-19:00			10:00-12:30		8:30-12:30	14:30-18:00															
観測車両台数[台]	右折車		37		43		64		53		171		29		60		22		29		27		10		41	
	直進車		86		93		71		57		148		110		73		112									

1) 右折車流入部の停止線から交錯点までの距離、2) 交差側直進車流入部の停止線から交錯点までの距離

表 2 モデル分析で考慮した説明変数

分類	道路構造		信号制御				車両走行状態							
考慮する説明変数	停止線セットバック長 [m]	交差角度 [deg]	クリアランス距離 [m]	エンタリング距離 [m]	全赤時間 [s]	インターグリーン時間 [s]	右折専用現示の青時間比	右折専用現示の青時間比	ポテンシャルタイム [s]	発進前の停止位置 [m]	残留時間 [s]	ピーク時間ダミー	大型車ダミー	追従走行ダミー
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
停止判断	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
発進反応時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
発進加速度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

* ここでの残留時間は、交差側信号が青になってから最終右折車が交錯点を通過し終えるまでに要する時間であり、交差側青開始時に交錯点を通過していない場合は正、通過していた場合は負の値となる。

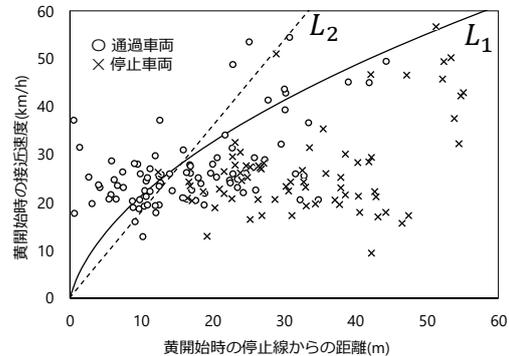


図 2 黄開始時の右折車の位置-速度図

表 3 信号切り替わり時の停止判断モデル

説明変数	係数	t 値
ポテンシャルタイム [s]	1.38	11.7**
右折専用現示の青時間比	12.2	2.84**
インターグリーン時間 [s]	-0.555	-2.28*
交差角度 [deg]	0.0172	2.00*
追従走行ダミー (追従走行=1)	-0.892	-1.88
定数項	-3.78	-2.62*
疑似決定係数	0.457	
的中率 [%]	81.9	
サンプルサイズ	586	

**p<0.01, *p<0.05

ある。これは一部のドライバーが待ちきれずにフライング発進することで、発進反応時間にばらつきが生じるためと考えられる。さらに、位置パラメータ γ で停止線セットバック長と交差角度が有意となり、停止線セットバック長が長く交差角度が鈍角な交差点ほどフライング傾向が強いことを示している。

③ 交差側直進車の発進加速度

交差側直進車両の発進加速度が次式の正規分布に従うと仮定し、平均 μ 、標準偏差 σ を説明変数の線形和として表現することでモデル化を行った。

$$f(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{(a-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3)$$

発進加速度モデルの推定結果を表5に示す。推定結果より、大型車ダミーが平均および標準偏差いずれにおいても係数が負で有意になったことから、大型車であるほど加速度の平均値、ばらつきが小さくなるのがわかる。また、インターグリーン時間の係数が正で有意となり、インターグリーン時間が長いほど加速度が大きくなるのがわかる。これは切り替わりタイミングで待たされたドライバーの咲き急ぎの心理により発進時の加速度が大きくなるものと推察される。さらに、停止線セットバック長の係数が負で有意となったことから、停止線セットバック長が長いほど加速度が小さくなるのがわかる。これはフライング発進しようとするドライバーが、青開始前に周囲の様子を窺いながら発進するためと考えられる。一方、発進反応時間や残留時間が本モデルで有意とならなかった要因として、今回分析対象とした信号交差点は右折需要によって右折専用青時間の長さが変わる感応式制御が導入されており、残留車両の観測車両数が少ないことが要因として挙げられる。

(2) 交差点シミュレーションモデルの構築

(1)で構築した車両挙動モデルを用いて、信号切り替わり時の交錯発生プロセスを考慮した簡易な交差点シミュレーションモデルを構築した。このシミュレーションモデルでは、わが国において一般的な四現示制御における右折専用信号切り替わり時の交錯ケースを対象に、道路構造および信号制御に応じて停止/通過判断、交差点内走行軌跡、交差側直進車の発進挙動が変化する構造となっており、乱数を用いたモンテカルロシミュレーションにより交錯点での通過時間差を表す交錯指標であるPET(Post Encroachment Time)指標を用い、信号切り替わり時の交錯危険性の定量的評価を試みるものである。具体的には、黄開始以降に停止線より上流に存在する車両について停止判断モデルを適用することで最終右折車を判定し、最終右折車の停止線通過時の黄開始からの経過時間 T_c' 、観測値より得られた速度分布とクリアランス距離よりクリアランス時間 T_c を求めたのち、交差側直進車の発進タイミング T_e' を発進反応時間モデルより決定し、停止線から交錯点までのエンタリング時間 T_e を加速度モデルから算出した上で、式(4)よりPETを算出する。

$$PET = AR + Y - (T_c' + T_c) + (T_e' + T_e) \quad (4)$$

ここで、 AR ：全赤時間[s]、 Y ：黄時間[s]である。算出されたPET値が0に近い場合には、交錯点における衝突の危険性が高いことを表している。本研究では、PETの逆数により交差点改良前後の安全性の変化を評価した。

表4 発進反応時間モデル

パラメータ	説明変数	係数	t 値
形状 パラメータ α	大型車ダミー(大型車=1)	-2.16	-4.34**
	定数項	6.87	13.43**
尺度 パラメータ β	残留時間[s]	0.0597	4.66**
	右折専用現示時間[s]	-0.0344	-4.35**
	全赤時間[s]	-0.249	-3.10**
	定数項	8.41	14.78**
位置 パラメータ γ	停止線セットバック長[m]	0.164	6.77**
	交差角度[deg]	0.00959	3.15**
	定数項	1.41	1.69
自由度調整済み尤度比 ρ^2		0.245	
サンプルサイズ		750	

**p<0.01, *p<0.05

表5 発進加速度モデル

パラメータ	説明変数	係数	t 値
平均 μ	大型車ダミー(大型車=1)	-0.544	-13.9**
	インターグリーン時間[s]	0.169	6.38**
	停止線セットバック長[m]	-0.0154	-2.88**
	定数項	0.732	3.79**
標準偏差 σ	大型車ダミー(大型車=1)	-0.0645	-2.33*
	定数項	0.346	37.2**
自由度調整済み尤度比 ρ^2		0.599	
サンプルサイズ		750	

**p<0.01, *p<0.05

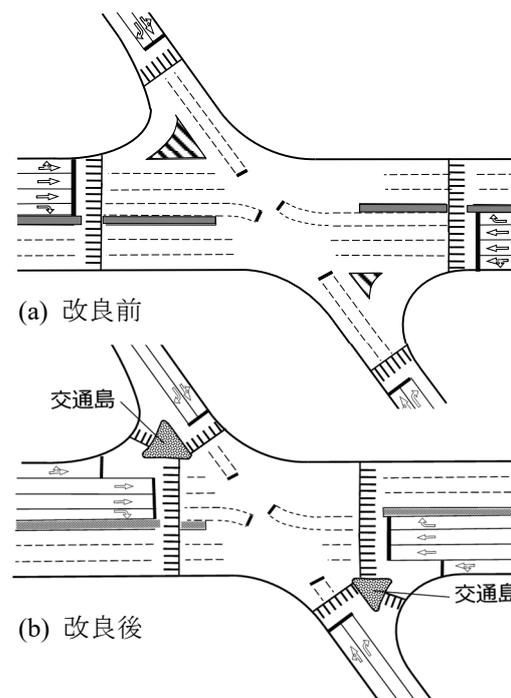


図3 交差点改良のケーススタディ

表6 改良前後の交差点諸量

改良前後の変更箇所	改良前	改良後
クリアランス距離(右折車流入部)[m]	33	16
エンタリング距離(直進車流入部)[m]	41	24
停止線セットバック長(右折側)[m]	31	14
停止線セットバック長(直進側)[m]	27	11
交差角度[deg]	126	126
停止線～右折待機位置距離[m]	33	16
インターグリーン時間(黄・全赤時間)[s]	Y2/AR4	Y2/AR3

(3) 交差点改良シナリオのケーススタディ

交差点改良評価を行うケーススタディ対象交差点を図 3(a)に示す。本交差点は本研究で観測対象とした元総社町東交差点をベースにしており、このケーススタディでは、主道路（紙面左右方向）側の右折専用現示における最終右折車両と交差する従道路（紙面斜め上下方向）側の先頭直進車両との交錯を分析対象とした。ここでは、表 6 に示す通り、図 3(b)に示す交通島の導入や隅切りの縮小等により停止線を前出しすることで交差点のコンパクト化を図るとともに、これに伴う全赤時間の見直しを想定した。全赤時間は、信号切り替わり時の交錯車両のクリアランス距離とエンタリング距離、および通過速度分布を考慮して改良前を 4 秒、改良後を 1 秒短縮した 3 秒と設定した。シミュレーション 1 回の試行は、右折専用現示の信号切り替わり 1 回分に相当し、本研究ではモンテカルロ法により 2,000 回試行することで、改良前後の交錯指標値 $1/PET$ の分布を得た。

モンテカルロシミュレーションによる交差点改良前後の交錯指標値の計算結果を図 4 に示す。これより、交差点コンパクト化により、全赤時間を 1 秒減じたことでインターグリーン時間が短縮される一方、交差点改良後の $1/PET$ が左側にシフト、すなわち信号切り替わり時の PET が大きくなることで、結果的に交錯危険性は低下することが示された。また、改良前後の PET 値の平均値を比較すると、交差点改良により PET 値が有意に 1 秒程度増加するとともに、 PET 指標の分布のばらつきが小さくなっており、交錯危険性の高い PET 指標値の発生頻度が減少する傾向にあることを確認した。

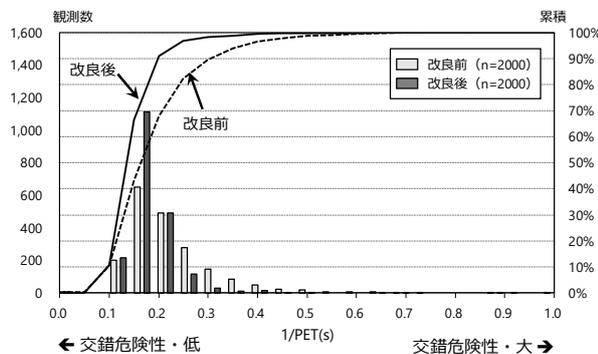


図 4 交差点改良前後の交錯指標分布の比較

表 7 改良前と改良後の PET 値の比較

PET 値	平均[s]	分散[s ²]	標準偏差[s]	t 値
改良前	6.45	7.43	2.73	-16.8
改良後	7.64	3.96	1.99	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 井上卓磨, 鈴木一史
2. 発表標題 ドライバの譲り挙動に着目した信号交差点横断歩道上の交錯危険性に関する分析
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒澤祐哉, 鈴木一史
2. 発表標題 右折専用現示切り替わり時の交錯車両挙動に及ぼす影響要因の分析
3. 学会等名 第46回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----