

カウントダウン式信号機における 車両発進特性分析と信号デザインの提案

河畑 草太¹・藤田 素弘²

¹ 学生会員 名古屋工業大学大学院 博士前期課程学生 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:s.kawabata.372@nitech.jp

² 正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:fujita.motohiro@nitech.ac.jp

本研究では、模擬道路における走行実験および実際の交差点における観測調査をもとに、信号が青に変わるまでの残り時間表示の有無による車両の発進特性の比較を行った。また、残り時間表示デザインを全 9 種類試行し、安全かつ素早い発進ができる最適なデザインの考察も行った。残り時間を表示することで、発進のタイミングがつかみやすくなり発進遅れや大幅に早いフライングが無くなること、発進時の加速の加減を自由に調整できるようになること、残り時間を数字で表示するデザインでは先頭車両だけでなく信号待ちしている 2 台目以降の車両の発進も早くなり、1 回の青信号で捌ける車の台数が増えて渋滞緩和に効果があることが分かった。また本研究においては、全 9 種類の信号デザインのうち「2 秒」が最も安全で素早く発進できるデザインであることが分かった。

Key Words: *countdown, driver behavior, starting characteristics, signal design, signal intersection*

1. はじめに

信号交差点における車の発進挙動には、信号が青に変わってもなかなか発進しない発進遅れや、信号がまだ赤なのに発進するフライングなどがある。発進遅れは渋滞の誘発や後続の運転者をイライラさせてしまうなどの問題点があり、フライングは対面側の道路を通行する歩行者や自動車と衝突する危険性がある。発進遅れやフライングを抑制する方法の 1 つとして、信号が青に変わるまでの残り時間を運転者に認識させることが挙げられる。そこで図-1 のように、残り時間を数字や模様等で自由に表示することができる車両用カウントダウン式信号機を本研究室で開発した。海外では信号が青に変わるまでの残り秒数をカウントダウン表示する車両用信号機が導入されている国もあるが、渋滞が緩和された一方でフライングの割合が増加してしまったという事例がある¹⁾。このような事例から、わが国では未だにこのような信号機は導入されておらず、なおかつ導入には慎重である。本来、実際の信号機とカウントダウン式信号機との発進特性を比較する際に、実際の交差点にカウントダウン式信号機を設置して社会実験を行うべきであるが、上述したように安全面に問題があるため、本研究では模擬道路における走行実験および信号交差点における観測調査か



(a)数字を表示した場合 (b)模様を表示した場合

図-1 カウントダウン式信号機のデザイン

ら、残り時間表示の有無による発進特性の比較を行う。また、残り時間を自由に表示できる機能を活かし、残り時間表示デザインをいくつか試行し、安全かつ素早い発進ができる最適なデザインの提案も行う。これらを通じてカウントダウン式信号機のメリット、デメリットを明確にしたうえで、将来的にこの信号機を実際の道路に導入することによって、渋滞緩和、交差点事故件数の減少、快適性の向上を目指すことが本研究の目的である。

2. 走行実験

カウントダウン式信号機における車の発進特性を分析するために、2015年12月14日、22日、24日に豊田交通安全学習センター(豊田)、2017年7月15日に名古屋工業大学(名工大)で、計4日間走行実験を実施した。その名工大での実験コースおよび実験の様子を図-2

に示す。カウントダウン式信号機を設置した走行コースを車3台縦1列で走行し、1周ごとに走行順の並び替え、6周ごとに信号デザインの変更を行う。ただし、1つの信号デザインに対して、1人当たり先頭、2台目、3台目を2回ずつ体験できるように偏りなく順番を並び替え、体験する信号デザインの順番はランダムに設定する。また、信号の待ち時間は5秒から50秒の範囲内で偏りなくランダムに設定する。豊田および名工大での実験の流れやルールは同じであるが、信号デザインは豊田では表-1の8種類、名工大では表-1の「カウントなし」, 「3秒」, 「2秒」, 「1秒」および図-3の計6種類を用いている。信号デザインを全種類体験したら、最後に事後アンケートを回答してもらっている。信号待ちで停止してから発進後までの車の動きをビデオカメラで撮影し、被験者51名分計752データを取得した。また、豊田および名工大の実験から得られたデータの同等性を検証するために平均値の差の検定を行ったところ、2群間の平均値に差は見られなかった。よって、豊田および名工大のデータを結合して分析を行うこととする。

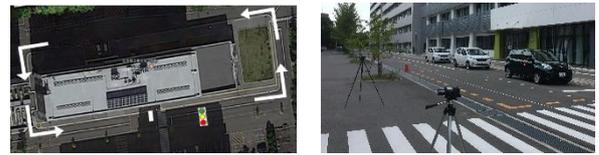
3. 交差点調査

実際の信号交差点における車の発進特性を分析するために、図-4の8か所の交差点を選定し調査を行った。交差点は表-2のように、発進の早さや発進タイミングに影響がありそうな赤時間および全赤時間の長短がバランスよくるように選定している。なお、選定した交差点の規模はほぼ同じである。調査は全て雨が降っていない平日の16時台に実施し、信号待ちで停止してから発進後までの車の動きを1交差点あたり30サイクル分、ビデオカメラで撮影した。撮影した映像の中から、1台目が大型車の場合または信号が青に変わっても交差点内に車が残留している場合(残留車あり)は、走行実験のデータと比較する際になるべく条件を一致させるうえで不適と考え、除くことにした。これらのデータを除き、8交差点分計133データを取得した。

4. 分析結果

(1) 先頭車両の発進のタイミング

信号が青に変わってから車が動き出すまでの時間を初動時間と定義し、信号待ちしている先頭車両の初動時間をもとに発進のタイミングのつかみやすさについて分析する。図-5は、交差点調査および走行実験における1台目初動時間の分布図である。図より、交差点調査では発進遅れや大幅に早いフライングがみられるが、走行実



(a)実験コース (b)実験の様子

図-2 実験概要 (名工大)

表-1 信号デザイン (数字)

名称	残り秒数										
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
カウントなし	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5秒	10	9	8	7	6	5	●	●	●	●	●
5秒数	10	9	8	7	6	5	5	5	5	5	●
3秒	10	9	8	7	6	5	4	3	●	●	●
3秒数	10	9	8	7	6	5	4	3	3	3	●
2秒	10	9	8	7	6	5	4	3	2	●	●
2秒数	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	●
1秒	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	●



(a)5秒目盛り



(b)2秒目盛り

図-3 信号デザイン (目盛り)

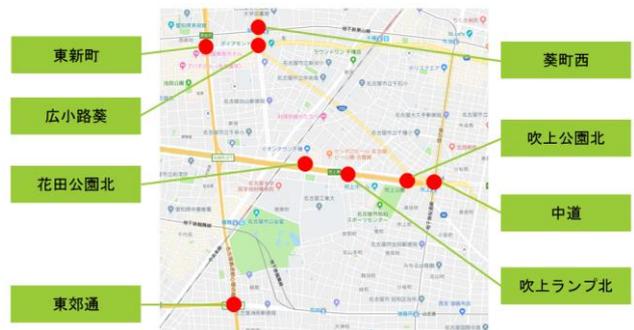


図-4 調査地として選定した交差点

表-2 各交差点の信号現示時間

交差点名	方向	調査日	進行方向車線数(本)	調査対象車両数(台)	サイクル長(秒)	青時間(秒)	赤時間(秒)	全赤時間(秒)
吹上ランプ北	西→東	2018年10月26日	4	27	140	93	47	3
花田公園北	西→東	2018年10月24日	5	23	140	84	56	3
吹上公園北	西→東	2018年10月19日	4	18	140	64	72	3
中道	南→北	2018年11月7日	4	5	140	45	95	3
広小路葵	西→東	2018年11月13日	3	16	140	64	71	5
東新町	南→北	2018年10月29日	4	7	140	46	94	5
葵町西	南→北	2018年10月22日	6	18	140	40	100	5
東郊通	東→西	2018年11月2日	4	19	160	49	100	5

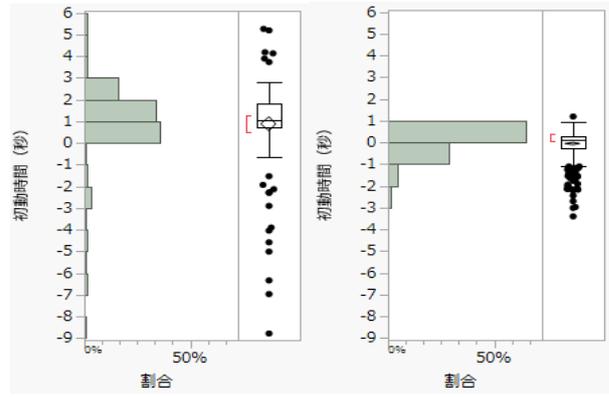
験ではこれらはみられないことが分かる。これより、信号が青に変わるまでの残り時間を表示することによって、発進のタイミングのばらつきを抑えることができるといえる。図-6は交差点調査および走行実験における初動フライングの割合と初動フライング時の平均初動時間

(絶対値)を示している。図より、走行実験の方が交差点調査よりも初動フライングの割合がやや高いといえる。これより、残り時間を表示することによって、初動フライングが起りやすくなるといえる。しかし、初動フライング時の平均初動時間を比べると、初動フライングの割合が低い交差点調査の方が走行実験よりも平均初動時間の絶対値が大きいことが分かる。これより、残り時間を表示することによって初動フライングの割合はやや高くなるものの、大幅に早いフライングはなくなることから、フライングそのものの危険度は低くなるといえる。

図-7 は各信号デザインの初動フライングの割合と、初動フライング時の平均初動時間(絶対値)を示している。図より、信号デザインの中には「2秒」、「5秒目盛り」のように交差点調査の初動フライングの割合である13.5%を下回っているものもあることが分かる。これより、残り時間の表示デザインによっては実際の信号機よりも初動フライングの割合が低くなり、かつ大幅に早いフライングも無くなるデザインもあるといえる。以上の結果より、全9種類のデザインの中で「2秒」が最も安全に発進できる信号デザインだといえる。

(2) 先頭車両の加速特性

走行実験では停止線前後に 1m 間隔で目盛り線を引いている。車の停止位置から直近の目盛り線に到達するまでの時間(直近目盛り線到達時間)を求めることによって、発進直後の車の加速特性を分析する。交差点調査でも同様に、停止線前後に 1m 間隔で仮想の目盛り線があるものとみなし、直近目盛り線到達時間を求めた。表-3 は直近目盛り線到達時間を目的変数とした重回帰モデルの結果である。フライング時モデルより、全赤時間が5秒の交差点では直近目盛り線到達時間が約 1.4 秒早くなる。これより、全赤時間が5秒の交差点ではフライングをしたとしても速度を緩めずに発進する傾向があるといえる。これは、全赤で歩行者がいない状態が多いとはいえ、まだ残存することもあるだけに、停止位置によっては歩行者と接触する危険性があるといえる。一方で全赤時間が3秒の交差点は説明変数として有意でないことがわかる。これより、全赤時間が長い交差点ほど危険な発進が増えるものと考えられる。また、非フライング時モデルより、残り時間を表示する方がそうでない時よりも直近目盛り線到達時間が約 1.1 秒早くなる。これより、残り時間を表示することによって運転者は普段よりも大きく加速して素早く発進できるようになるといえる。以上から、残り時間を表示することによって発進時の加速の加減を調整しやすくなるといえる。フライング時は通常よりもゆっくり発進し、非フライング時は通常よりも素早く発進できるようになることから、実際の信号機よりも安全かつ素早い発進ができる



(a)交差点調査 (N=133) (b)走行実験 (N=651)

図-5 1台目初動時間分布図

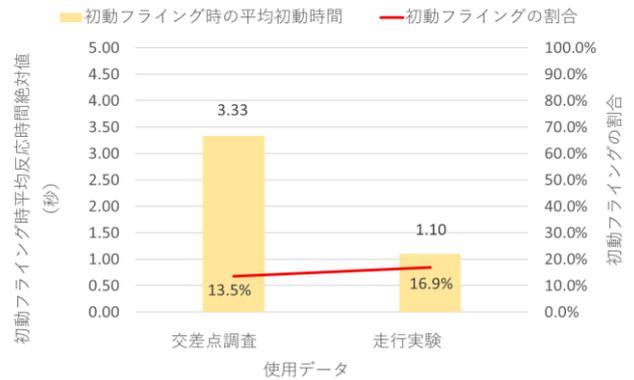


図-6 初動フライングの割合と初動フライング時の平均初動時間絶対値(調査実験別)

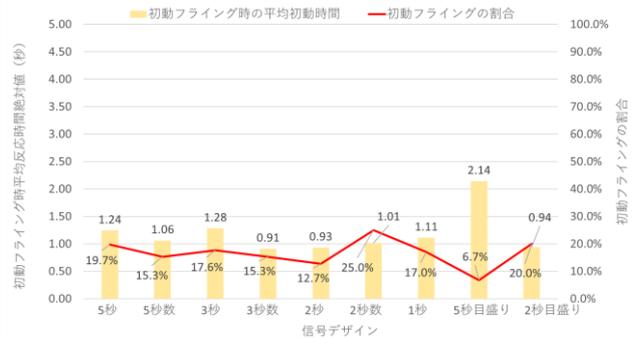


図-7 初動フライングの割合と初動フライング時の平均初動時間絶対値(信号デザイン別)

表-3 直近目盛り線到達時間モデル

説明変数	フライング時モデル		非フライング時モデル	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	-0.028	-0.14	0.926	19.03***
直近目盛り線までの距離(m)	0.775	2.67***	0.783	11.15***
交差点調査ダミー			1.129	21.87***
全赤時間5秒ダミー	-1.441	-4.00***		
自由度調整済みR ²	0.133		0.500	
F値	10.399***		329.901***	
標本数	124		660	

(***: 1%有意、 **: 5%有意、 *: 10%有意)

るようになると考えられる。

(3) 車頭時間および交差点流出時間

一般的に、3 台目以降の車頭時間は約 2 秒に収束するといわれている。よって、1 回の青信号で捌ける車の台数を増やすには、信号待ちしている 3 台目までの車を捌く時間を早くする必要がある。そこで、3 台目までの流出時間を比較することが、1 回の青信号で車を捌ける数を比較するうえで有効だといえる。表-4 は 3 台目流出時間を目的変数とした重回帰モデルの結果である。調査実験比較モデルより、交差点調査では走行実験よりも 3 台目流出時間が約 2.3 秒遅くなるといえる。また、信号デザイン比較モデルより、全デザインの中で「3 秒数」が最も流出時間が早くなるといえる。約 2 秒で車 1 台を捌けるとすると、3 台目流出時間が 2.7 秒早くなることは、信号 1 サイクルで約 1.35 台分車を多く捌くことができるといえる。これより、残り時間を表示することで 1 回の青信号で捌ける車の台数が増え、渋滞の抑制につながるといえる。

表-4 3 台目流出時間モデル

説明変数	調査実験比較モデル		信号デザイン比較モデル	
	推定値	t値	推定値	t値
切片	8.111	58.47***	10.097	58.07***
停止線距離(m)	0.247	4.93***	0.276	5.66***
加速度(m/s ²)	-0.471	-13.31***	-0.379	-10.09***
交差点調査ダミー	2.308	19.93***		
「5秒」ダミー			-2.322	-13.34***
「5秒数」ダミー			-2.388	-14.05***
「3秒」ダミー			-2.352	-15.34***
「3秒数」ダミー			-2.696	-15.82***
「2秒」ダミー			-2.480	-16.45***
「2秒数」ダミー			-2.436	-13.84***
「1秒」ダミー			-2.331	-15.14***
「5秒目盛り」ダミー			-1.290	-5.64***
「2秒目盛り」ダミー			-1.378	-5.73***
自由度調整済みR ²	0.538		0.566	
F値	254.356***		78.477***	
標本数	654		654	

(*** : 1%有意、 ** : 5%有意、 * : 10%有意)

5. まとめ

本研究では走行実験および交差点調査から、実際の信号機およびカウントダウン式信号機における発進特性の分析および最適な信号デザインの考察を行った。条件は違うものの、信号デザインによっては実際の信号機よりも安全に発進できるデザインもあることが分かった。また、残り時間を表示することにより素早い発進ができることも確認できた。本研究では全 9 種類の信号デザインを試したが、総合的に見て「2 秒」が最も安全かつ素早い発進ができるデザインであることが分かった。今後は実際の道路にカウントダウン式信号機を設置した社会実験を行い、カウントダウン式信号機導入時の分析を引き続き行っていく必要がある。

参考文献

- 1) Cihat, Y., Motohiro, F. and Koji, S. : Behavior and consciousness analyses on effect of traffic signals including countdown device for vehicles, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7, pp. 2289-2304, 2007.
- 2) 河畑草太, 藤田素弘, Wisinee WISETJINDAWAT : カウントダウン式信号機による運転者の発進挙動とデザインに関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 56, 2017.
- 3) 河上省吾, 松井寛 共著 : 交通工学 第 2 版

(?)

ANALYSIS ON VEHICLE STARTING CHARACTERISTICS AND PROPOSAL OF SIGNAL DESIGN IN COUNTDOWN TRAFFIC LIGHTS

Sota KAWABATA and Motohiro FUJITA

In this research, we investigated the comparison of the starting characteristics of the vehicle based on the with or without of the remaining time indication until the traffic signal turns to green, based on driving experiments on virtual roads and observation surveys at real intersections. We also tried nine remaining time indication designs and considered the optimum design that can be starting safety and quickly. By indicating the remaining time, it becomes easy to understand the timing of starting, the startup delay and significant premature start disappear, it becomes possible to adjust the acceleration and deceleration at the time of starting, in the design that indications the remaining time in numbers not only leaving vehicles but also following vehicles waiting for signals are starting to move faster and it was found that the number of cars that can separate with one green light increases. In addition, among the nine remaining time indication designs, “2 seconds” proved to be the safest and quickest starting design.