

# 信号現示切り替わり時の右折車の挙動分析に基づく損失時間の評価\*

## Evaluation of Lost Time Based on Analysis of Right-Turn Vehicle Behavior during the Change of Phases\*

小野剛志\*\*・唐克双\*\*\*・田中伸治\*\*\*\*・桑原雅夫\*\*\*\*\*

By Takeshi ONO\*\*・Keshuang TANG\*\*\*・Shinji TANAKA\*\*\*\*・Masao KUWAHARA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

信号現示切り替わり時には、交通流の交錯の発生を避けるため、黄時間と全赤時間が挿入される。このとき、図-1に示す2現示方式の例のように、前現示の車両のクリアランス、そして次現示の車両の発進のために、交差点での交通処理が有効になされない時間帯が存在し、それは損失時間となる。損失時間はサイクル長を定めるときに必要となるなど、信号制御パラメータの設計の際に非常に重要な役割を果たす。しかしながら、わが国<sup>1)</sup>および海外先進諸国<sup>2)~5)</sup>では、単純にインターグリーン時間(=黄時間+全赤時間)を基本として損失時間が算出されており、条件に応じて一部補正は行われるものの、信号現示方式や交差点幾何構造の違いによる影響を考慮しきれていないと言いきれる状況である。

わが国において、青丸表示中には右折車は直進・左折交通を優先させて行動するため、停止線を越えて交差点内で待機をするという状況になる。このような状況下での車両挙動は、信号現示方式や交差点幾何構造の違いによる影響を受けやすいと考えられる。この点について、鹿田ら<sup>6)</sup>や小野ら<sup>7)</sup>は右折交通に着目して実証分析を行い、信号現示方式によっては従来の方法では適切に損失時間を算出できていないことを明らかにしている。

そこで本研究では、右折交通に焦点を絞り、信号現示方式や交差点幾何構造の違いによる損失時間への影響について時間距離図を用いて理論的に分析し、さらに実交差点での調査による実証分析を行った。また、損失時間の算出結果を利用して、青丸表示中に交差点内に右折車が滞留していることによる捌け台数の増分 $K$ (次現示が右折専用現示の場合は $K_{ER}$ )を有効青時間に換算して処理し、その結果を用いて信号制御パラメータの設計を行い、現行の方式との比較を行った。

\*キーワード: 交通流, 交通容量, 交通制御, 損失時間

\*\*非会員, 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

(東京都目黒区駒場4-6-1-Bw-605, TEL:03-5452-6379, E-mail:t-ono@iis.u-tokyo.ac.jp)

\*\*\*正員, 博(工), 東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*正員, 博(工), 東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*\*正員, Ph.D., 東京大学生産技術研究所

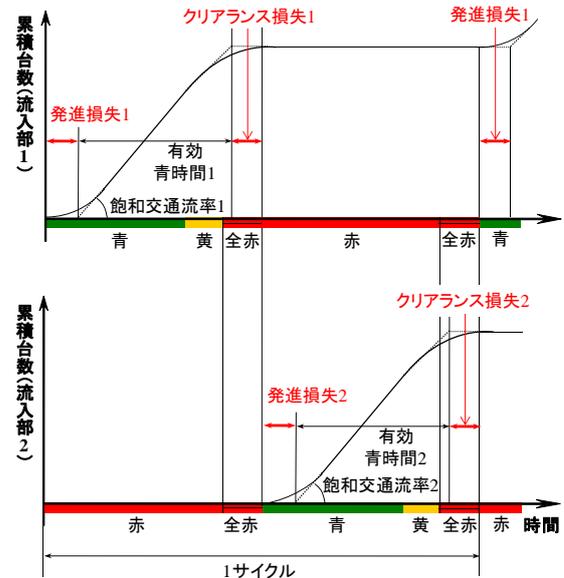


図-1 1つのサイクルにおける損失時間

### 2. 信号切り替わり時の右折車の損失時間の評価

#### (1) 右折交通が通行可能な信号現示方式

わが国では、右折交通が通行可能な信号現示方式は、図-2に示す「青矢のみ」、「青丸のみ」、「青丸+青矢」の3つが代表的なものとなっている。「青矢のみ」の場合は、直左矢表示中には右折車に対しては赤表示が出されているので、右折車は停止線の手前に停止している必要がある。そして、青矢が開始した後に出発し、交差点内に進入することができる。それに対して「青丸のみ」、「青丸+青矢」では、青丸表示中には右折車に対して青表示が出されているので、停止線を通過して交差点内に進入することができる。そして、対向直進のギャップを見つけて右折するか、対向直進が完全に通過した後右折を行う。

#### (2) 現行方式

わが国では、発進損失とクリアランスゲイン(クリアランス時に黄表示開始以後に車両が交差点に進入することによって発生する有効青時間の延長分)が等しいという仮定のもとに、損失時間は式(1)によって算出されている。

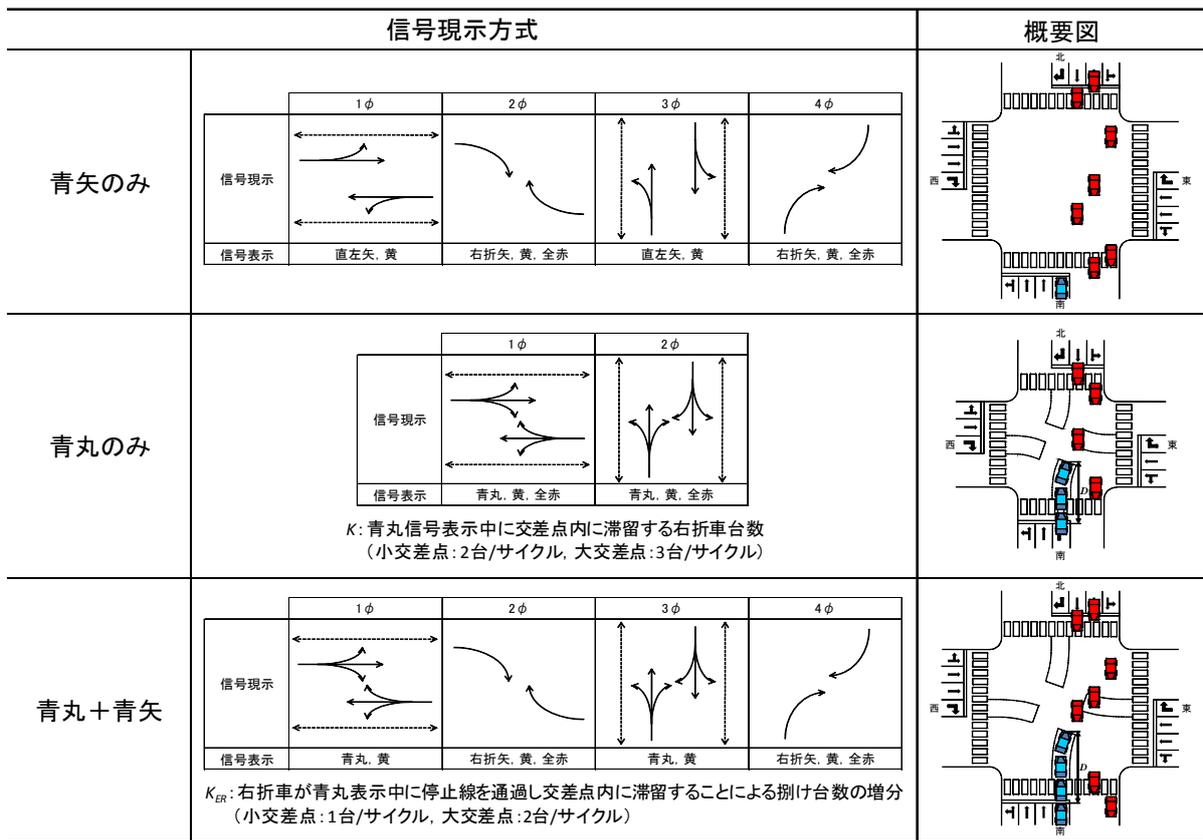


図-2 3種類の信号現示方式

$$L = \sum_j^n (Y_j + AR_j) - n \quad (1)$$

ここで、 $L$  は損失時間 (秒) ,  $Y$  は黄時間 (秒) ,  $AR$  は全赤時間 (秒) ,  $n$  は黄時間が 4 秒以上, または (黄時間+全赤時間) が 5 秒以上となる現示の切り替えの発生回数 (1 サイクル当たり) である。

基本的には、図-2 に示した信号現示方式での損失時間は式 (1) によって同様に算出される。また、右折車が青丸表示中に交差点内に滞留する影響を考慮するために、「青丸のみ」では  $K$ 、「青丸+青矢」では  $K_{ER}$  という 1 サイクルあたりの台数が設定されている。これらは、信号現示切り替わり時に余分に処理できる右折車であると考えられているため、需要率を計算する際には右折の設計交通量から差し引かれている。

### 3. 時間距離図を用いた考察

#### (1) 青矢のみ

現行方式では、図-3 に示される右折車の発進損失  $L_l$  とクリアランスゲイン  $T_l$  は等しくなると考えられている。しかし、右折矢が表示される前には直左交通に対する黄表示が出されており、それを視認することで右折矢の開始タイミングを予想することができるため、発進損失はかなり小さくなると考えられる。また一方で、鹿

田ら<sup>6)</sup>や Tang et al.<sup>8)</sup>によって示されているように、右折矢の後の黄時間の多くは有効青時間として使われているため、右折専用現示のクリアランスゲインはかなり大きくなると考えられる。したがって、式 (1) では実際よりも損失時間を多く見積もりすぎてしまうことが懸念される。

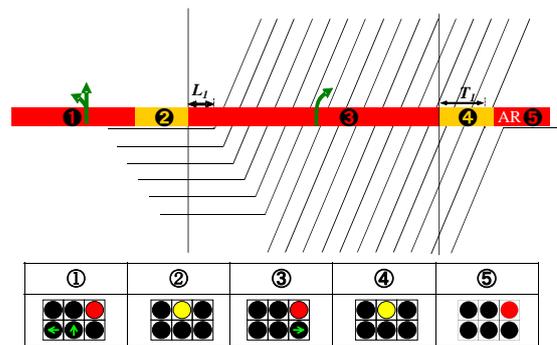


図-3 「青矢のみ」の右折交通の時間距離図

#### (2) 青丸のみ

図-4 に示されているように、青丸が始まっても対向直進車が存在するために右折車はすぐには右折することができない。したがって、青丸開始時に右折車の発進損失は考えなくてよい。一方で、青丸終了時については、現行方式では交差点内に滞留していた右折車を処理する分の  $K$  (台/サイクル) のゲインを考えている。ここで、このゲインは図-4 に示す時間距離図から時間ベースで

考えることができ、クリアランスゲイン  $T_2$  は式 (2) のように表される。

$$T_2 = \frac{D}{u} \quad (2)$$

ここで、 $D$  は停止線～右折導流下流端までの距離 (m) ,  $u$  は右折車の発進衝撃波速度 (m/秒) である (図-2, 図-4 参照) .

$u$  に関しては、図-5 のように交通量と密度の関係を単純な三角形の線形関係で仮定すると、飽和交通流率  $s_r$ 、飽和密度  $k_j$ 、自由走行速度  $v$  について実測値もしくは適当な仮定値を使用することで算出できる。

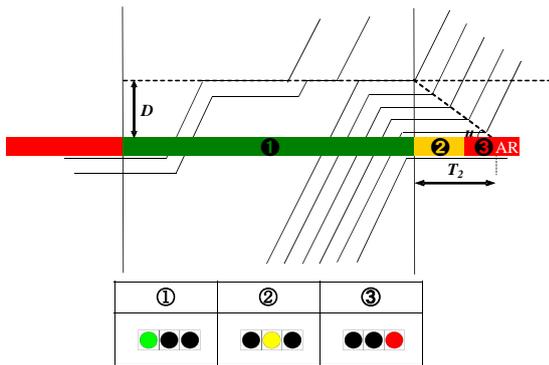


図-4 「青丸のみ」の右折交通の時間距離図

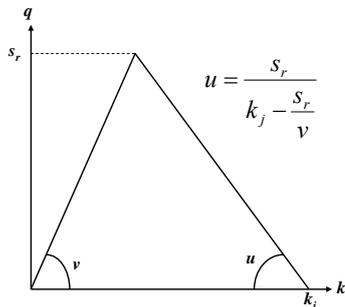


図-5 交通量と密度の関係

### (3) 青丸+青矢

青丸が始まっても対向直進車が存在するために右折車はすぐには右折することができない。したがって、青丸開始時に右折車の発進損失は考えなくてよい。一方で、青丸から青矢への切り替わり時の発進損失は、右折車は既に交差点内に進入しているので、「青矢のみ」と比較してその分だけ小さく、現行方式でそのゲインは  $K_{ER}$  (台/サイクル) で考えている。ここで、このゲインは図-6 に示す時間距離図から時間ベースで考えることができ、「青矢のみ」と「青丸+青矢」の発進損失の関係は式 (3) で表される。

$$L_2 = L_1 - \frac{D}{v} \quad (3)$$

ここで、 $L_1$  は「青矢のみ」における右折専用現示の発

進損失、 $L_2$  は「青丸+青矢」における右折専用現示の発進損失、 $v$  は右折車の自由走行速度 (km/時) である。

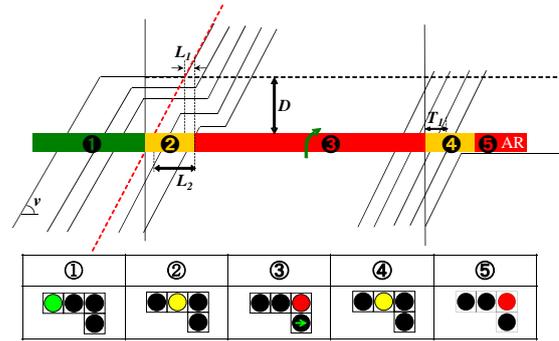


図-6 「青丸+青矢」の右折交通の時間距離図

## 4. 実交差点での調査分析

東京都内の3交差点および愛知県内の4交差点のビデオ解析を行った。表-1 に調査交差点の概要を示す。

### (1) 損失時間の算出方法

図-7 に示したような累積図をもとにして損失時間を算出した。具体的には、発進損失は累積図上において、飽和交通流部分の直線を引き伸ばし、時間軸との交点 (累積台数 0) の時間と右折青矢開始時間との差を読むことで算出される。ただし、実際の交通では完全な飽和交通流とはならないので、右折青矢開始後に車頭時間がほぼ一定となっている数台について回帰直線を引くことで飽和交通流部分の直線を代替した。クリアランス損失は、インターグリーン時間のうち有効に使われていない時間として表される。最終通過車両まで飽和交通流が持続すると仮定した場合、最終車両の停止線通過タイミングで有効青と有効赤に区別されるので、クリアランス損失  $L_c$  は式 (4) によって算出することができる。

$$L_c = Y + AR - T_c \quad (4)$$

ここで、 $Y$  は右折青矢終了後～次現示青開始の間の黄時間、 $AR$  は右折青矢終了後～次現示青開始の間の全赤時間、 $T_c$  は最後尾右折車の停止線通過タイミング (ただし、黄開始時を 0 秒とする) である。

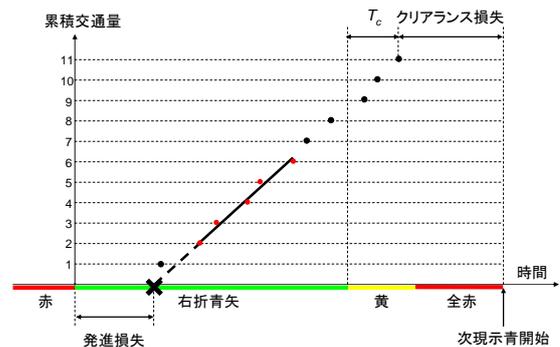


図-7 損失時間の算出の一例

(2) 分析結果

各々の交差点で発進損失およびクリアランス損失について分析を行った。結果は表-2のとおりである。

a) 青矢のみ

「青矢のみ」の交差点では $L_1$ と $T_1$ について確認を行った。発進損失 $L_1$ はかなり小さくなっており、やはり右折現示直前の黄表示および全赤表示の存在の影響があると考えられる。一方で $T_1$ は大きな値となっており、現行方式のように $L_1$ と $T_1$ が等しいと仮定するのは不適切であると言える。

b) 青丸のみ

「青丸のみ」の交差点では式(2)を用いて $T_2$ の算出を行った。飽和交通流率 $s_s=1800$ 台/時、飽和密度 $k_f=16$ 6.7台/km(車長4.5m、停止時の車間距離を1.5mと仮定)、右折車の自由走行速度 $v$ はビデオから実測で7.8m/秒とした。これらを用いて、 $u=4.87$ m/秒、 $T_2=4.11$ 秒と算出された。ここで、 $K=2$ 台/サイクル(小交差点と仮定)、車頭時間2秒を仮定して時間ベースに変換すると4秒となり、式(2)による算出結果と非常に近い値となる。したがって、双方の方式はおおよそ適合していると言える。しかしながら、 $K$ を用いる場合、その値は整数となるため、 $K$ の決定の仕方によって結果は大きく変わる。それに比べ、本研究の提案方式では1つ1つのパラメータの誤差が小さくなるため、最終的な誤差も小さくとなると考えられる。

c) 青丸+青矢

式(3)を用いて $L_2$ の推定を行った。ここで、青矢前の全赤表示の有無の条件が「青丸+青矢」の各交差点と等しい日比谷交差点の-0.40秒を、 $L_1$ の実測値として用

いた。結果、 $L_2$ の実測と推定結果では0.39~1.19秒の誤差が生じてしまった。この原因としては、今回用いた $L_1$ が他交差点のものであるということ、そして、 $v$ の精度の問題があげられる。ところで、 $K_{ER}$ と $D/v$ は等価であるはずだが、ここで $K_{ER}=1\sim 2$ 台/サイクルを、車頭時間2秒を仮定して時間ベースに変換すると2~4秒となり、 $D/v$ の値とおおよそ適合していると言える。しかし、 $K$ と同様に $K_{ER}$ の値は整数となるため、その決定の仕方によって結果は大きく変わる。したがって、やはり本研究の提案方式の方が誤差を小さく計算できると考えられる。

5. 信号制御パラメータ設計のケーススタディ

信号制御パラメータ設計のケーススタディを行い、現行方式と本研究の提案方式での違いを検証した。信号制御パラメータの設計手順は『平面交差の計画と設計』<sup>9)</sup>に従った。ケーススタディの設定および結果をそれぞれ表-3、表-4に示す。信号現示方式と交差点幾何構造は図-2に示したものを使用し、4つの流入部は全て同じ幾何構造とした。直進車の接近速度は「青矢のみ」と「青丸+青矢」で60km/時、「青丸のみ」で40km/時と仮定した。また、「青丸のみ」で $K=2$ 台/サイクル、「青丸+青矢」で $K_{ER}=2$ 台/サイクルとした。今回は簡単のためにいずれの流入部も直進交通量が1000台/時以上であると仮定し、青丸表示中に対向直進のギャップを縫っての右折はできないこととした。また、飽和交通流率の基本値を直進・左折レーン、直進レーンで2000台/青1時間、右折レーンで1800台/青1

表-1 調査交差点の概要

交差点	対象流入部	信号現示方式	車線数	直進方向 停止線間距離 (m)	導流下流端 までの距離D (m)	現示表示時間				サイクル長 (秒)
						右折青矢前 黄 (秒)	右折青矢前 全赤 (秒)	右折青矢後 黄 (秒)	右折青矢後 全赤 (秒)	
日比谷	北	青矢のみ	5	66	-	4	0	2	3	126~144
桜山	北	青矢のみ	4	63.3	-	3	3	2	5	113~158
東京国際フォーラム西	北	青丸のみ	3	49	20	0(青丸前)	3(青丸前)	3(青丸後)	4(青丸後)	90~146
川名	北	青丸+青矢	4	65.5	32	4	0	2	5	150
青山一丁目	南	青丸+青矢	4	67	15.5	4	0	2	3	138~153
末盛通2	南	青丸+青矢	3	60.4	23	3	0	2	5	140
砂田橋	北	青丸+青矢	3	37	15	3	0	2	5	150

表-2 損失時間の算出結果

交差点	信号現示方式	$L_1$ (実測) (秒)	$L_2$ (実測) (秒)	$T_1$ (秒)	$T_2$ (秒)	D (m)	v (m/秒)	$D/v$ (秒)	$L_2$ (式(3)による推定) (秒)	$L_1$ (実測) - $L_1$ (推定) (秒)	黄+全赤 (秒)	$T_1/(黄+全赤)$
日比谷 (サンプル数)	青矢のみ	-0.40 (21)	-	1.73 (24)	-	-	-	-	-	-	5	0.35
桜山 (サンプル数)	青矢のみ	0.08 (18)	-	2.62 (16)	-	-	-	-	-	-	7	0.37
東京国際フォーラム西	青丸のみ	-	-	-	4.11	20	7.8	-	-	-	-	-
川名交差点 (サンプル数)	青丸+青矢	-	-5.18 (15)	2.70 (30)	-	32	8.0	4.00	-4.40	-0.78	7	0.39
青山一丁目交差点 (サンプル数)	青丸+青矢	-	-2.86 (15)	2.13 (21)	-	15.5	7.5	2.07	-2.47	-0.39	5	0.43
末盛通2 (サンプル数)	青丸+青矢	-	-2.72 (31)	2.67 (34)	-	23	7.3	3.15	-3.55	0.83	7	0.38
砂田橋 (サンプル数)	青丸+青矢	-	-1.48 (28)	2.83 (31)	-	15	6.6	2.27	-2.67	1.19	7	0.40

時間とし、車線幅員、縦断勾配、および大型車混入による補正率をそれぞれ 1.00, 1.00, 0.97 とした。今回、1つの信号現示方式あたり、3つの停止線間距離を用いてケーススタディを行った。なお、停止線間距離は横断歩道端～停止線の距離を変更することで調節した。右折導流標示が存在するときは、導流下流端間距離を 10m で固定した。

(1) 信号制御パラメータの設計

現行方式と提案方式では損失時間および需要率の算出方法が異なっている。損失時間は、現行方式では全て式(1)によって算出する。それに対して提案方式では、直進・左折のクリアランスゲイン、発進損失をとともに 2 秒と仮定し、右折に関しては、 $L_i$  は日比谷交差点の -0.40 秒を用い、 $T_i$  は

表-3 ケーススタディの設定

信号現示方式	設定	設計交通量(台/時)											停止線間距離(m)	
		西			北			東			南			
		左折	直進	右折	左折	直進	右折	左折	直進	右折	左折	直進		右折
青矢のみ	1-A	160	1380	160	140	1440	120	150	1230	220	150	1490	160	40
	1-B	160	1380	160	140	1440	120	150	1230	220	150	1490	160	55
	1-C	160	1380	160	140	1440	120	150	1230	220	150	1490	160	70
青丸+青矢	2-A	130	1100	70	150	1070	80	110	1030	60	120	1010	70	30
	2-B	130	1100	70	150	1070	80	110	1030	60	120	1010	70	40
	2-C	130	1100	70	150	1070	80	110	1030	60	120	1010	70	50

表-4 信号制御パラメータ設計の結果

信号現示方式	設定	方式	パラメータ	1φ			2φ			3φ			4φ			合計
				直左矢	黄	右折矢	黄	全赤	直左矢	黄	右折矢	黄	全赤	右折矢	黄	
青矢のみ	1-A	現行	表示時間(秒)	39	4	18	4	2	42	4	13	4	4	2	132	
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	3.0			5.0			3.0			5.0			16.0
		提案	表示時間(秒)	39	4	15	4	2	41	4	10	4	2	125		
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	1.8			5.7			1.8			5.7			15.0
	1-B	現行	表示時間(秒)	43	4	20	4	3	46	4	14	4	3	145		
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	3.0			6.0			3.0			6.0			18
		提案	表示時間(秒)	41	4	16	4	3	43	4	11	4	3	133		
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	1.8			6.3			1.8			6.3			16.2
1-C	現行	表示時間(秒)	48	4	21	4	4	51	4	15	4	4	159			
		需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780	
		損失時間(秒)	3.0			7.0			3.0			7.0			20.0	
	提案	表示時間(秒)	44	4	17	4	4	46	4	11	4	4	142			
		需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780	
		損失時間(秒)	1.8			6.9			1.8			6.9			17.4	

信号現示方式	設定	方式	パラメータ	1φ				2φ				合計
				青丸	(右折矢)	黄	全赤	青丸	(右折矢)	黄	全赤	
青丸のみ	2-A	現行	表示時間(秒)	23	-	3	3	23	-	3	3	58
			需要率	0.327	-			0.326	-			0.653
			損失時間(秒)			5.0				5.0		10.0
		提案	表示時間(秒)	16	0	3	3	15	0	3	3	43
			需要率	0.327	0.040			0.326	0.046			0.739
			損失時間(秒)			3.8				3.8		7.5
	2-B	現行	表示時間(秒)	23	-	3	3	23	-	3	3	58
			需要率	0.327	-			0.326	-			0.653
			損失時間(秒)			5.0				5.0		10.0
		提案	表示時間(秒)	20	0	3	3	20	0	3	3	52
			需要率	0.327	0.040			0.326	0.046			0.739
			損失時間(秒)			2.6				2.6		5.3
2-C	現行	表示時間(秒)	26	-	3	4	26	-	3	4	66	
		需要率	0.327	-			0.326	-			0.653	
		損失時間(秒)			6.0				6.0		12.0	
	提案	表示時間(秒)	21	0	3	4	21	0	3	4	56	
		需要率	0.327	0.040			0.326	0.046			0.739	
		損失時間(秒)			3.0				3.0		6.014	

信号現示方式	設定	方式	パラメータ	1φ			2φ			3φ			4φ			合計
				青丸	黄	右折矢	黄	全赤	青丸	黄	右折矢	黄	全赤	右折矢	黄	
青丸+青矢	1-A	現行	表示時間(秒)	30	4	8	4	2	32	4	4	4	2	94		
			需要率	0.273			0.075			0.290			0.041			0.678
			損失時間(秒)	3.0			5.0			3.0			5.0			16.0
		提案	表示時間(秒)	31	4	10	4	2	33	4	6	4	2	100		
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	0.0			5.7			0.0			5.7			11.4
	1-B	現行	表示時間(秒)	34	4	10	4	3	36	4	6	4	3	108		
			需要率	0.273			0.083			0.290			0.048			0.693
			損失時間(秒)	3.0			6.0			3.0			6.0			18.0
		提案	表示時間(秒)	30	4	8	4	3	32	4	5	4	3	97		
			需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780
			損失時間(秒)	-0.9			6.3			-0.9			6.3			10.8
1-C	現行	表示時間(秒)	38	4	12	4	4	41	4	7	4	4	122			
		需要率	0.273			0.088			0.290			0.053			0.704	
		損失時間(秒)	3.0			7.0			3.0			7.0			20.0	
	提案	表示時間(秒)	29	4	6	4	4	31	4	3	4	4	93			
		需要率	0.273			0.126			0.290			0.092			0.780	
		損失時間(秒)	-1.8			6.9			-1.8			6.9			10.2	

表-2の  $T_l$  (黄+全赤) の平均値 0.39 を用いて算出し、 $L_2$ ,  $T_2$  はそれぞれ式 (3), 式 (2) によって算出した。

需要率に関しては、「青丸のみ」そして「青丸+青矢」のケースで現行方式と提案方式の計算方法が異なる。「青丸のみ」のとき、現行方式では信号切り替わり時に処理される右折車は需要率が考えられていない。提案方式では、その需要についてはあたかも右折矢が表示されているようにして取り扱い、需要率を計算した。また、「青丸+青矢」のとき、現行方式では右折車が交差点内に滞留することで生じるゲインは、右折の設計交通量から除き、信号切り替わり時に処理される台数として考えているが、提案方式では右折の設計交通量に含め、そのゲインは有効青時間の延長分として取り扱うこととした。

サイクル長は、式 (5) で与えられる Webster の最適サイクル長  $C_{opt}$  (秒) を用いて算出した。ただし、「青丸のみ」の設定 2-A における本研究の提案方式では右折矢表示を必要とする結果であったので、右折矢表示が必要でなくなる最も近いサイクル長に設定した。

$$C_{opt} = \frac{1.5L + 5}{1 - \lambda} \quad (5)$$

ここで、 $L$  は 1 サイクル中の損失時間 (秒) ,  $\lambda$  は交差点の需要率である。

## (2) 結果

いずれのケースでも、損失時間は提案方式の方が小さくなった。特に「青丸のみ」および「青丸+青矢」では、停止線間距離が長くなるにつれて  $D$  が増加するが、それに対して  $K$ ,  $K_{ER}$  は変化しないため、現行方式と提案方式の差は顕著となった。一方、「青丸のみ」および「青丸+青矢」では、現行方式で含めていなかった信号現示切り替わり時の右折処理台数を、提案方式では設計交通量に含めるため、需要率は大きくなった。今回は需要率  $\lambda=0.65\sim 0.78$  とそれほど大きくなかったので概ね提案方式の方がサイクル長は小さくなったが、需要率が大きくなるほど需要率の変化によるサイクル長への影響が強まり、提案方式のサイクル長は大きくなりやすくなる。

## 6. おわりに

本研究ではまず、右折車の損失時間について、時間距離図を用いて理論的な分析をし、実交差点での実証分析を行った。その結果、時間距離図を用いた理論の現実への適合性を確認できた。さらに、信号制御パラメータ設計のケーススタディを行い、現行方式と提案方式の比較

を行ったが、本研究の方式では現行よりも損失時間を小さく計算することができる一方で需要率は大きく計算された。したがって、需要率しだいでサイクル長は大きくも小さくもなりうることがわかった。

今後の課題として、今回のケーススタディで考慮しなかった対向直進のギャップを縫っての右折挙動を含めて理論を構築していく必要がある。また、「青丸+青矢」の発進損失の理論と現実の整合性には問題が残っており、今後、 $L_l$  を他交差点ではなく自交差点で計測し、検証を行う必要がある。また、いずれの検証においてもサンプル数が不十分であるため、さらに観測を行う必要がある。

謝辞

本研究においては、首都大学東京 大口敬教授、名古屋大学 中村英樹教授、クイーンズランド工科大学 エドワード・チュン教授より多大なる知見を頂いた。また、ビデオ撮影調査に当たっては、警視庁丸の内署および本田技研工業株式会社にご協力いただいた。そして、名古屋大学 鈴木 一史 研究員には、交差点調査ビデオおよびビデオ解析ソフトウェアをご提供頂いた。皆様にこの場を借りて謝意を表したい。

参考文献

- 1) 交通工学研究会：改訂 交通信号の手引き，丸善，2006.
- 2) Webster, F.V. and Cobbe, B.M. : Technical Paper No. 56: Traffic Signals, London, 1966.
- 3) ITE - Institute of Traffic Engineers: Second Edition of Manual of Traffic Signal Design, Washington, D.C., 1998.
- 4) FGSV - Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen: HBS - Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (Highway Capacity Manual), Cologne, 2001.
- 5) ARRB - Australian Road Research Board: Research Report: Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, Victoria, 1998.
- 6) 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬, 村井紀子: 右折現示切り替わり時の損失時間の分析, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol. 23, pp. 57~60, 2003.
- 7) 小野剛志, 片岡源宗, 田中伸治, 桑原雅夫: 損失時間の適正な評価のための信号現示切り替わり時における車両挙動の分析, 土木計画学研究発表会講演集, No. 38, CD-ROM, 2008.
- 8) Tang, K. and H. Nakamura. Safety evaluation for intergreen intervals at signalized intersections based on a probabilistic method. In the upcoming Transportation Research Record, Transportation Research Board (TRB), Washington D.C., 2009.
- 9) 交通工学研究会：改訂 平面交差の計画と設計 基礎編 第3版，丸善，2007.