

多車線交差点における信号切り替わりに関する研究*

Study on Signal Change Intervals at Multi-lane Intersection*

佐々木俊輔**・大口 敬***・小根山 裕之****・鹿田 成則*****

By Shunsuke SASAKI**, Takashi OGUCHI***, Hiroyuki ONEYAMA and Shigenori SHIKATA

1. はじめに

信号表示の切り替わり時(黄表示時間と全赤表示時間)には交差点として回避できない動線交錯が生じることがあり、どの動線方向にも飽和交通流率が実現できない時間帯、すなわち損失時間が生じ得る。実は、わずかな損失時間の違いでも交差点の処理能力は大きく影響される。

たとえば、十字交差点で全方向に右折専用現示のある4現示制御の場合を考える。サイクル長が120秒で1回の信号切り替わり損失時間が5秒の場合、1サイクル(120秒)当たり損失時間(L)は20秒で、2つの現示方向の交通に有効に利用できる時間は100秒である。ここでもし1回の信号切り替わり損失時間を1秒縮められるとすると、サイクル当たり損失時間L=16秒、有効青時間は104秒となる。その結果、1サイクル当たりの有効青時間は $104 \div 100 = 104\%$ すなわち4%長くなる。東京都内のボトルネック交差点における交通需要の交通容量超過率は3~5%との試算¹⁾もあり、適切な切り替わり信号を設定することで1秒縮められるなら、それだけでボトルネックを解消できるほど大きな意味を持つことがわかる。

また、系統制御で用いられる共通サイクル長は、対象サブネット中で最も交通需要が集中するキー交差点の処理能力で規定される。仮にこのキー交差点がL=20秒、サイクル長C=120秒で設計されているとする。このときの有効青時間比率は $100 \div 120 = 83.3\%$ である。これがL=16秒だとすると、サイクル長C=96秒とすれば、 $(96-16) \div 96 = 83.3\%$ の同じ有効青時間比率を確保することができる。すなわち、交通処理性能を維持したままサイクル長を $120-96=24$ 秒削減できる。信号待ちによる総遅れはサイクル長の2乗に比例する²⁾ので、総遅れは $(1-100^2 \div 120^2) = 30.6\%$ 削減できる。信号による待ち行列長も短縮できるので、特にネットワークが密な場合には先詰まりや無駄青も発生しにくくなる。

このように信号切り替わり時の損失時間のわずかな違

いでも、交通信号制御パラメータの設定や交通容量、利用者の被る遅れ時間などに大きな影響があるため、これを適切に評価することは極めて重要である。また、信号切り替わり時は交通の交錯が多く事故が起こりやすいタイミングでもある。つまり、信号切り替わり時は交差点の処理能力・交通安全の両面から、信号交差点に於いて極めて重要な意味を持つ。こうした問題意識に立って、本研究は、信号切り替わり時における車両の運転挙動を、信号制御上の損失時間と交通安全上の交錯行動の両面から実証分析を試みたものである。

2. 実証分析に用いる観測調査

(1) 分析データ

信号切り替わり時の交通挙動の実態を把握するために、5箇所の交差点においてビデオカメラ観測を行った。右折専用現示から交差方向への信号切り替わりの交錯動線組み合わせに着目し、このビデオ画像を用いて、この切り替わり前後の動線交錯を起こす車両(切り替わり前の右折最終車と切り替わり後の交差直進先頭車)について、毎サイクルその停止線通過時間とこの交錯動線が交わる点(交錯点)の通過時間を読み取った。

(2) 対象交差点

信号切り替わり時の黄時間は、切り替わり前進入車両の速度に応じて決められるが、全赤表示時間は交差点の大きさに応じて決められる。信号切り替わり時間が異なる

表-1 分析対象交差点の特徴

地点	幾何構造		クリアランス時間		サンプル数
	Dc	De	Y	AR	
A	7.3m	14.9m	2秒	3秒	45
B	7.6m	14.5m	2秒	3秒	61
C	9.2m	14.1m	2秒	3秒	34
D	9.4m	14.5m	2秒	3秒	62
E	9.6m	19.8m	2秒	3秒	61
F	10.1m	15.5m	2秒	3秒	42
G	15.7m	26.5m	2秒	3秒	61
H	8.0m	16.6m	0秒	2秒	43
I	8.5m	19.9m	0秒	3秒	49
J	10.8m	20.1m	0秒	3秒	39
K	11.3m	16.8m	0秒	2秒	64

* キーワーズ：信号交差点、交通安全、交通容量

** 正員、修(工)、東京都建設局

*** 正員、博(工)、首都大学東京大学院都市環境科学研究科
(東京都八王子市南大沢1-1, oguchi@tmu.ac.jp)

**** 正員、博(工)、同上

***** 正員、工修、同上

る条件における分析を行うことを目的として、本研究では特に交差点が大規模になる多車線交差点を対象とする。すなわち、車線数や交差形状による停止線から交錯点までの距離、黄と全赤の表示パターン、およびその時間長が異なる交差点の切り替わり時の交錯点を対象とする。分析対象交錯点 11 箇所の幾何構造(切り替わり前動線の停止線から交錯点までのクリアランス距離 D_c と切り替わり後動線の停止線から交錯点までのエンタリング距離 D_e)、信号制御条件(黄表示時間 Y と全赤表示時間 AR)、および観測した切り替わり前最終車と切り替わり後先頭車の動線交錯組合せ数を表-1 に示す。いずれも先詰まりがなく、切り替わり前の右折方向には、十分な交通需要がある場所を選定している。

(3) 分析方法

切り替わり前後の交錯点における運転挙動を調べるため、切り替わり前最終車の交錯点通過と切り替わり後先頭車の交錯点通過時間差 (Post Encroachment Time, 以下

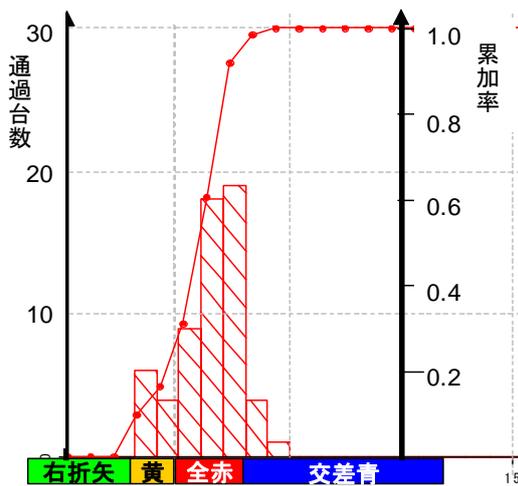


図-1 切り替わり前最終車の停止線通過時間の例 (交錯点 E)

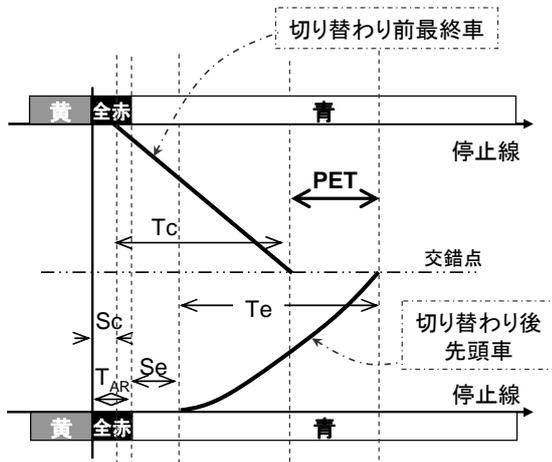


図-2 PET と関連指標の関係

PET) の分布特性を表-1 に示す 11 の交錯動線組合せ別に整理する。図-1 に示す交錯点 E の例のように、切り替わり前最終車が全赤表示開始以降にもかかわらず停止線を通るサンプルが多く含まれている。そこで、信号制御の設計上前提としている信号切り替り時の損失時間に対し、実態としての損失時間を推定し、この損失時間と PET との関係进行分析する。

3. 交錯点運転挙動と損失時間の分析

(1) 交錯点運転挙動

図-2 は PET を決定する 5 つの要素の相互関係を示したものである。これを定式化すると式(1)で表される。この関係を用いて切り替わり前最終車の停止線通過時間 S_c (全赤開始を時間 0 として全赤開始より遅い通過を正とする)、クリアランス距離の走行に要する時間 T_c 、切り替わり後先頭車の停止線通過時間 S_e (全赤終了を時間 0 として全赤終了より遅い通過を正とする)、エンタリング距離の走行に要する時間 T_e と PET との関係調べる。

$$PET = (T_e - T_c) + (S_e - S_c) + T_{AR} \quad (1)$$

ここに、 T_{AR} は全赤表示時間

図-3 は、表-1 に示す交錯点 E を対象に PET と 4 変数との関係を示す。なお図-3 においては、 T_c が負(切り替わり前最終車の挙動が法的に正しいもの)となる交錯組み合わせのサンプルは除外して分析している。図より、切り替わり前最終車の停止線通過時間 S_c と PET には負の相関が見られるが、この車両のクリアランス距離走行時間 T_c 、切り替わり後先頭車の停止線通過時間 S_e 、およびそのエンタリング距離走行時間 T_e と PET には明確な相関は見られない。こうした特徴は、交錯点 E に限らず、ほとんどの交錯動線組み合わせにおいても見られる。 S_c が

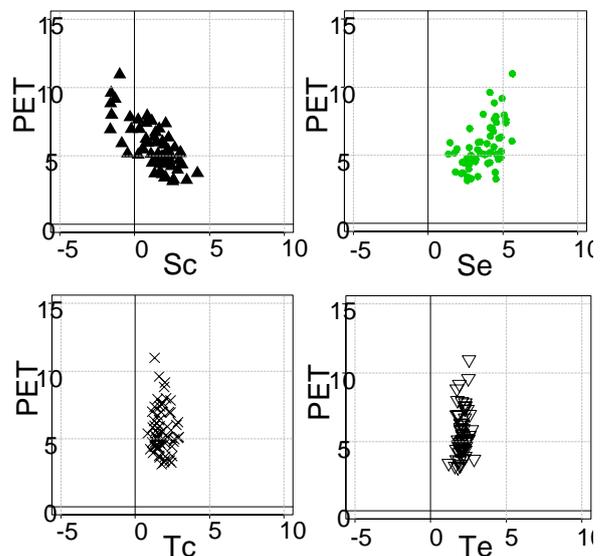


図-3 交錯点 E における PET の特徴(単位: 秒)

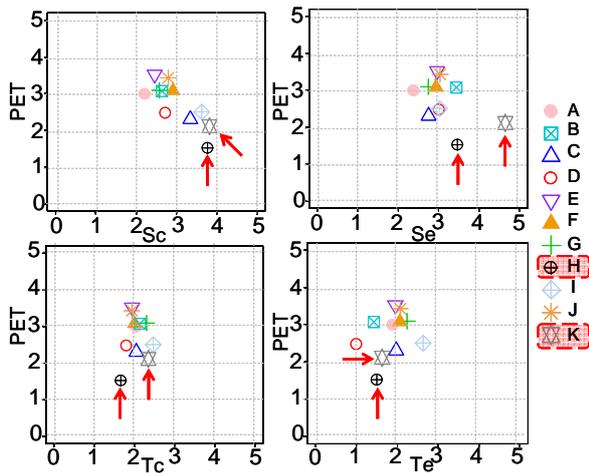


図-4 PETの交差点間比較(単位:秒)

正であるから図の全ての例において切り替わり前最終車の挙動は違法な「駆け込み」であるが、それにもかかわらず切り替わり後先頭車の発進タイミング S_e やそのエンタリング距離走行時間 T_e に正の相関が見られないということは、全赤時間にまだ十分な余裕があり、違法な駆け込み挙動が次現示の発進挙動に影響を与えていないものと判断できる。逆にいえば、全赤時間が必要以上に余裕があるために、切り替わり前最終車の違法な「駆け込み」をかえって助長しているものとも考えられる。

図-4はこうしたPETの特性を表-1に示す11交差点について比較したものである。ここでは短いPET値の場合に着目するため、 S_c が正の交錯組み合わせサンプルのうちPETの値が小さいほうから15パーセント以下サンプルのみを取り出し、このサンプルにおけるPET、 S_c 、 S_e 、 T_c 、 T_e の各期待値同士の関係を図示している。この場合もPETと S_c には負の相関が見られるが、それ以外は明確な関係は見られない。すなわち、切り替わり前最終車の通過時間が遅い交錯組み合わせの場合ほど、PETが小さくなることを示している。

ここで表-1に示すように、交錯点HとKのみ全赤時間 T_{AR} が2秒で他の事例の3秒より短い。この2つの交錯点に着目して図-4を見ると、他と比べてPETが小さい傾向が見られる。また切り替わり後先頭車の停止線通過時間 S_e も遅くなる傾向が見られる。さらに交錯点Hについては、他の交錯点よりも停止線から交錯点までの走行時間 T_c がわずかに短い傾向も見て取れる。

以上より、交錯点Hでは遅いタイミングの「駆け込み」時には高速で駆け込みが行われ、これが次現示の発進を遅らせ、ある程度安全上ぎりぎりのPET値が実現する状況にあるものと考えられる。表-1からは、交錯点Hは切り替わり前の右折専用現示後に黄表示時間が無い場所で、かつクリアランス距離が最も短い場所であることがわかる。したがって、黄表示がなくクリアランス距離が短い場合ほど、次現示に影響を与えるような違法な駆け

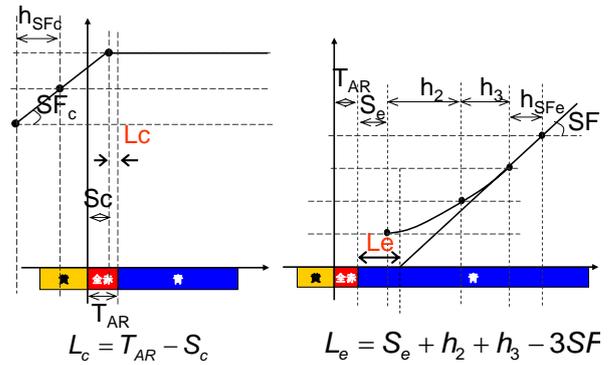


図-5 損失時間の考え方

込みを起こしやすい可能性があることが予想される。一方で、交錯点Hのクリアランス距離より短い交錯点はAとBだけであるが、これらはいずれも黄表示時間2秒、全赤時間3秒が設定されており、PET値は交錯点Hよりも1秒以上長く、切り替わり信号設定時間が必要以上に長い可能性も考えられる。

(2) 実態の損失時間の推定

1回の信号切り替わりにおける損失時間(LT)は、信号切り替わり時に前現示最終車を交差点から一掃するためのクリアランス損失(L_c)と、次現示先頭車の発進後すぐには飽和交通流状態とはならないために生じる発進損失(L_e)の和で与えられる。ここで L_c 、 L_e を厳密に観測するには大きな労力が必要であるため、ここでは図-5に模式的に示すように、 L_c については最終車まで一定の飽和交通流状態とみなして計算し、 L_e については発進4台目以降が飽和交通流になるものと仮定し、式(2)によって損失時間を定式化できるものとする。

$$LT = L_c + L_e$$

$$LT = (T_{AR} - S_c) + (S_e + h_2 + h_3 - 3h_{SF_e}) \quad (2)$$

$$LT = PET - (T_e - T_c) + (h_2 + h_3 - 3h_{SF_e})$$

ここで、 h_2 、 h_3 、 h_{SF_e} はそれぞれ切り替わり後の発進から2、3、4台目以降の平均車頭時間であり、これは交通容量データブック³⁾を参考に一定値($h_2=2.2$ 、 $h_3=2.1$ 、 $h_{SF_e}=2.0$)とする。式(2)よりこの場合損失時間LTは、交錯点の挙動を表すPET、および停止線から交錯点までの時間差であるクリアランス時間 T_c とエンタリング時間 T_e によって規定されることがわかる。

図-5は交錯点Eを例として、LTと上記の3変数との関係を示す。ここでも図-3と同様に、 T_c が正(切り替わり前最終車が違法な「駆け込み」状態)のサンプルのみを示している。図より、損失時間LTはPETと強い正の相関が見られるが、クリアランス時間、エンタリング時間とは明確な相関は見られない。この傾向は他の交錯点においてもほぼ同様である。このことは、PETが大きいほど損失時間が大きいことを意味する。

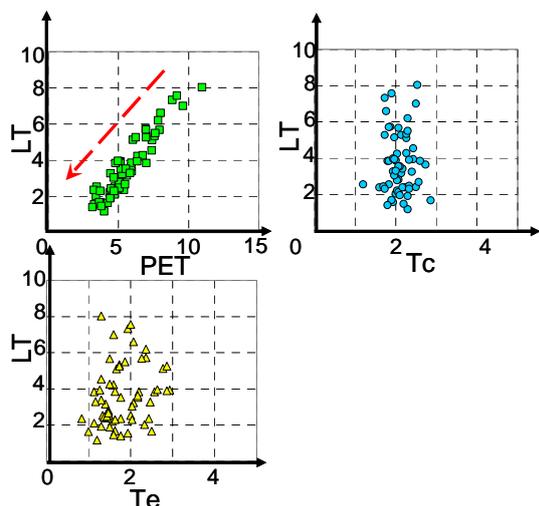


図-6 交錯点Eにおける損失時間の特徴(単位:秒)

表-1より交錯点Eの黄+全赤時間は5秒であり、また分析対象サンプルは全て全赤開始後に停止線を通じた「駆け込み」発生時であることも勘案すると、それにもかかわらず図-6に示すように損失時間 LT が5秒以上と算定されるケースが多数存在していることがわかる。図より、これはPETがおおよそ7~12秒程度のケースであり、図-3のPETと S_e の関係を見ると、この範囲では両者に多少正の相関が見える。PET値は十分に大きいので、これは切り替わり前最終車の交錯点通過が遅いことと関係なしに、切り替わり後先頭車の発進挙動がたまたま緩慢であったために生じた現象であると考えられる。

逆にいえば、損失時間 LT が5秒未満と算定されるケースであっても、必ずしも切り替わり後先頭車の停止線通過時間 S_e が遅れたり、エンタリング距離走行時間 T_e が長くなったりする傾向が見られるわけではない。したがって図-6に見られるPET値が3~7秒程度のケースは交通安全上大きな問題であるとは思われず、これに対応する5秒以下の損失時間の範囲、すなわち5~1.5秒程度が、近飽和から過飽和に近い状況下における実際の損失時間になっているものと考えられる。

図-7は、図-4と同様に、11交錯点についてPETの値が小さいほうから15パーセンタイル以下のサンプルのみを取り出して損失時間 LT を計算し、その分布を箱ひげ図により示したものである。前述したように、交錯点A~Gは全赤表示時間が3秒、H~Kは2秒である。交錯点C、Dを除くと、損失時間 LT 値の分布範囲には、全赤表示時間と多少関係があるようにも見え、全赤が短いほうが損失時間は少なくなる傾向が見て取れる。

特にクリアランス距離が短い交錯点Hの損失時間は、中央値がほぼゼロであり、負の損失時間となるケースが多数見られることがわかる。前節における図-4を用いた考察に示すように、交錯点HのPET値は交通安全上ほぼぎりぎりの限界の条件にあるものと考えられる。し

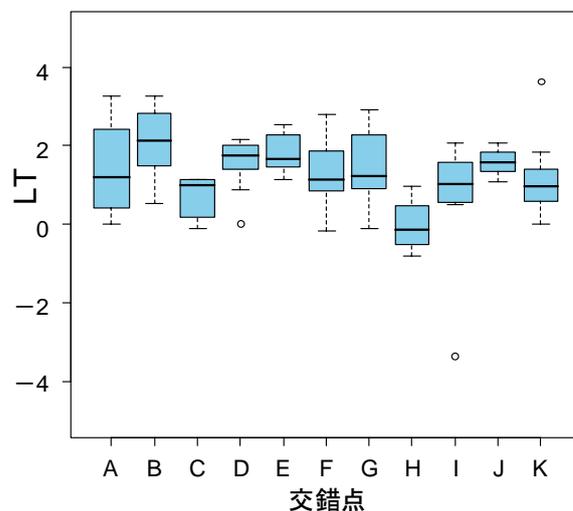


図-7 損失時間の交錯点間比較(単位:秒)

かし、クリアランス距離が8.0mと、エンタリング距離16.6mより半分以下と短いため、交錯点における安全性を限界で発揮する条件下における切り替わり前・切り替わり後の2つの方向の交通流の有効青時間に損失時間はほとんど生じていないことがわかる。こうした実態は、切り替わり前最終車が違法な「駆け込み」状態で発生しているものであるが、適切な取り締まりを前提に切り替わり時の制御設計をこうした実態に合わせられれば、必ずしも一定の正の切り替わり損失時間を想定した信号パラメータ設計を考えなくてもよい可能性を示唆するものと考えることができる。

4. おわりに

本論文では、右折専用現示から交差方向現示への信号切り替わり時に着目して、切り替わり前最終車と切り替わり後先頭車の交錯点における交錯挙動特性、およびこれにもとづくこの切り替わり時の損失時間の実態を、5交差点、11交錯組み合わせについて実証的に分析した。

交錯点のPETは切り替わり前最終車の停止線通過時間との相関が強く、またPETは多くの交錯組み合わせにおいてかなり余裕があることが確認された。一方実態の損失時間はPETとの相関が強く、場所によりまた個別の動線交錯サンプルにより大きく変動することが確認された。

参考文献

- 1) 越正毅, 赤羽弘和: 渋滞の研究, 道路交通経済, No. 45, pp. 64-69, 1988.
- 2) (社)交通工学研究会編: 改訂 交通信号の手引, 丸善, p. 150, 2006.
- 3) (社)交通工学研究会編: 交通容量データブック2006, p. 92, 2006.