

IV-13 信号交差点における車両挙動について

北海道大学工学部 正会員 藤原 隆
 “ “ 加来 照俊

1. まえがき

平面交差点は交通の安全、円滑、快適にとってはなほ大きなインパクトを持っている。事実、交通事故の半数は交差点及び交差点付近で起きており、交差点がボトルネックとなって渋滞のもとをなしたり、発進、停止の繰り返しのために騒音や大気汚染の発生源の一つともなっている。このようなことから長年にわたり平面交差点の処理には多くの知恵や努力が払われつづけており、古くて新しい問題の一つとしてこれからも調査研究が進められなければならない。本論では、信号交差点における車両挙動に関する調査研究の1面として車両挙動に大きな影響を与える現示切り替え時間について、ジレンマゾーン等を含む内外の研究のいくつかを概観し、この問題の調査研究の現状をとらえるとともに、積雪寒冷地における信号交差点の切り替え時間について制御と安全という面からの検討をしたい。

2. 内外のいくつかの調査研究について

信号交差点における車両の挙動に関する調査研究には、そこで発生するコンフリクトに着目してのコンフリクト技法の開発や、転向車の影響、幾何構造と車両（特に大型車）の走行軌跡等からの交差点の安全性や容量、円滑性との関係、交差点付近での駐車する走行車両の安全や容量に与える影響等、実に多くのものがあるが、ここでは車両挙動に大きな影響を持つ信号の現示切り替え時間（クリアランス時間、change interval（米）、vehicle change interval（米）、intergreen time（英））に関連する最近のいくつかの調査研究について海外では主に英米の2つの主要な専門誌に掲載されたものと国内のものについて概観する。

国内では、齊藤、大山、重田 1)が観測等の結果からジレンマゾーンやオブションゾーン等を避けるため、「即ち、運転者の停止・通過の判断を軽減させることを目的とした信号制御方式として車両の交差点への接近速度をオンライン計測などにより測定し、その速度に応じた黄時間、全赤時間を可変的に制御することが不可欠である」として、従来の「運転者が黄信号に直面したときに、停止・通過の判断をするためには黄信号の時間は場所によって変化せず一定が望ましい」2)という考え方を批判している。

黄信号の解釈については、古くは警察庁科学警察研究所の小林、上領、有菌 3)による実験などがあるが、現在は法によって「車両等は原則的に停止位置を越えて進行してはならないが、停止線に近接し安全に停止できない場合は除く」ことが規定されている。しかし、やはり解釈に曖昧さが残り、個々の運転者が停止、通過の判断を迫られ、場合によっては追突や側面衝突をする危険性を包含しているといえよう。この黄時間の解釈について、米国においては、州などの管轄により交通技術者の間でも解釈に違いがあることが多くの文献にみられる。

次に海外における最近の調査研究のいくつかについて述べる。

RetzkoとBoitze 4)は、西ドイツの規格による現示切り替え時間の設定について紹介し、切り替え時間設定のためのダイアグラムを示している。米国のChanとLiao 5)は切り替え時間を求める一般的な公式に着目し、式中の各項の値を検討し、またマイクロコンピュータ用にディスプレイとキーボードによる項の一つである運転者の交通信号に対する知覚反応時間についてシミュレートするプログラムを作成した。また交差点の大きさ等の交差点の特性を入力し、信号の黄色が表示されたとき運転者が十分停止できる交差点からの距離や、同様の状況で安全に交差点を通過しクリアできる交差点からの距離を計算するプログラムを作成した。

英国のJourdain⁶⁾は、米国ITEの指針に関連して英国で現在行われている3秒の黄時間は20～64 Km/hの接近速度の都市地域によくあっていると述べ、また全ての流入部で標準的な固定された黄時間を用いるのがよいという、わが国での従来と同じ考え方を述べている。

オランダのvan der Horst とWilmsink⁶⁾は従来適用されてきた黄時間を接近速度によって1秒延ばすことの影響について観測を行い、その効果について述べている。

また事故との関係については、Zador、Stein、Shapiro、Tarnoff⁷⁾が交差点における交通量と事故率へのクリアランス時間の影響について調査し、事故と強い関連があることを示した。

その他、オーストラリアのHulscherの研究等がある。

3. 現示切り替え時間の算出について

以上、内外の現示切り替え時間に関する調査研究について若干見てきたわけであるが、国や、また同じ国の中でも地域によって解釈や交通状況等が異なるため一概に比較することには注意が必要であろう。ただ、外国の場合には、たとえばvan der Horst⁶⁾らの研究にあるように接近速度が70km/hや80km/hといった地方部の交差点に相当するものであろうが、かなり高速の交差点を含んでいることに注意する必要がある。米国のTraffic Control Devices Handbook⁸⁾では35mph (56km/h)以上の接近速度を持つ流入部を高速流入部と考え、停止確率毎にジレンマゾーンの限界を与えている。

さて、クリアランス時間は一般に黄時間と全赤時間の和で与えられる。そのうち黄時間については、Jourdain⁶⁾が示しているように、米国ITEの交通工学ハンドブック⁹⁾では運転者の知覚反応時間を含んで、85パーセントイル速度から停止できないならば、停止線を通過するのに必要な最小時間として次の値を与えている：

$$Y = t_r + v / (2a) \quad (1)$$

ここに t_r : 運転者の知覚反応時間 (1.0 秒推奨)

v : 接近速度

a : 減速度 (10ft/sec²=3.05m/sec²推奨)

また同じくITEの技術委員会の勧告¹⁰⁾として勾配の影響を考慮した次の式についても示している：

$$Y = t_r + v / 2(a + Gg) \quad (2)$$

ここに G : 重力加速度=9.8m/sec²

g : 流入部の勾配(下り坂は負)

わが国でも、(1)と同様の式で黄時間の最小値を計算し、減速度 a ($=\mu G$ 、 μ は路面とタイヤ間の滑り摩擦係数)は、流入部での平均減速度で3.0 m/sec²を、反応時間は $t_r=0.7$ 秒を用いている。¹¹⁾

またクリアランス時間(黄時間+全赤時間)としては、停止線で無理なく停止するのに必要な制動距離と停止線間の距離の和を接近速度で通過するために要する時間として計算され、その標準値が与えられている。全赤時間はこのクリアランス時間と黄時間の差として与えられている。

さて、Chan^{ら5)}も指摘しているが、先にあげた式の中の値は一定値を仮定されており、この値の取り方で時間の長さも若干変わってくる。ちなみにHorst^{ら7)}は反応時間=1.5秒、減速度=2m/sec² (いずれも85th-ペタイル値)、Jourdain⁶⁾は減速度=4.6m/sec² (50th-ペタイル値)、ITEの勧告¹¹⁾は反応時間=1秒、減速度=3.05m/sec²等の値を用いている。またChan^{ら5)}はいくつかのパラメータをうまく組み合わせることでジレンマゾーンを消すように設定すべきであると述べている。さて、平均減速度 a は $a=\mu G$ であるが、 μ の値としてわが国では0.3を仮定していることになる。¹¹⁾しかしながら、周知のようにこの値は路面状態によって現実には大きく変動するものである。図1は、本研究室が滑り抵抗試験車を用いて冬期間、札幌市内の特定路線の同じ地点を24時間にわたって他の交通を阻害しない速度で

走行し測定したものである。12)

この時、測定路面の状態は圧雪、湿潤、路面露出、氷結、氷膜といった路面状態の混じった白黒に見える状態と、圧雪状態が大半であった。これから路面は滑り摩擦係数で0.15程度の非常に低い値から0.6 程度の高い値まで広く分布している

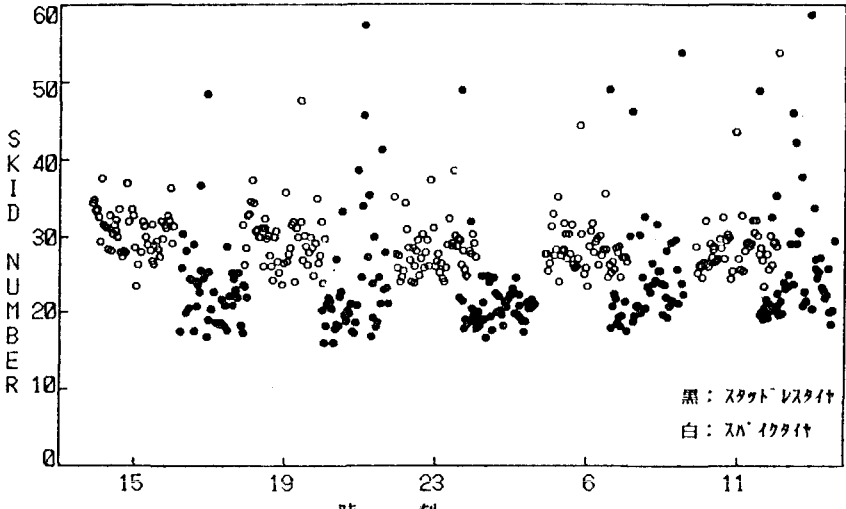


図1 スキッドナンバーの24時間変動測定結果

のがわかる。おおまかに見ると0.2 から0.3 の間に値が集まっている。路面が非常に滑りやすい時には、運転者はそれをなんらかの方法で感知して速度を落とすなどの対処するのが普通であり、冬期間ではごくわずかなサンプルではあったが以前に述べたように 13)、都市部である程度混雑している状態では接近速度もそれほど高くなく、したがって減速度もそれほど大きなものを必要としないとも考えられる。従って、より速度が高いと考えられる郊外部、または地方部における信号交差点で、このような低い摩擦係数の地点があらわれた時の切り替え時間に危険が発生する可能性がより高くなると考えることができよう。減速度 a の値として 2.0m/sec^2 ($\mu=0.2$ に対応)、 1.5m/sec^2 ($\mu=0.15$ に対応)を用いた時のクリアランス時間を表1に示す。算出法は文献2)の方法に従い、次の式によった：必要最小クリアランス時間 T は：

$$T = V^2 / (2 \mu G) + W / V$$
 : ここに W は交差点の大きさ (停止線間距離)、後は既出。

表1 $a=2\text{m/sec}^2$ 、 1.5m/sec^2 に対する最小クリアランス時間の計算値 (秒)

V W	20m		30m		40m		50m		60m	
30km/h	5	6	6	7	7	8*	9*	9*	10*	10*
40km/h	5	6	6	7	7	8*	8*	9*	9*	10*
50km/h	5	7	6	7	7	8*	8*	9*	8*	9*
60km/h	6	7	6	8*	7	8*	8*	9*	8*	10*
70km/h	6	8*	7	8*	7	9*	8*	9*	8*	10*
80km/h	7	9*	7	9*	8*	10*	8*	10*	9*	11*

W：交差点の大きさ (m)
V：接近速度 (km/h)

(注)：左欄 $a=2\text{m/sec}^2$ 、右欄 $a=1.5\text{m/sec}^2$ に対する値。*印は通常の限度 7秒を越えるものを示す。
通常、路面の摩擦係数が低く、滑りやすいときには運転者は一般に速度を落とすであろうから表1の高速の部分はあまり現実的ではなく、実際には信号の側で考慮する必要はないかも知れないが、減速度

としてどの値が最も適しているか検討する必要があると考える。

4. あとがき

現示切り替え時間の設定が直接、交通事故に関係するかについては我々は明確なデータを持っているわけではなく現時点では明らかではない。また実際に行われている時間設定について適・不適を簡単に判断できない。事故が発生し事故類型と事故件数等を分析してその要因ないしは原因として時間設定が検討されうるかもしれない。多くのコンフリクトを生じ、的確な情報認知、判断の必要な複雑な箇所である信号交差点ではなるべく状況を単純化し、運転者がゆとりを持って通行できるような制御方法や路面の管理が必要であろう。運転者は周囲の状況を的確に把握して対処することが求められるが、運転者の量も質も多様化しつつあると考えられる現状において、よりよい制御方法を追求していくことは重要である。また切り替え時間算出に使われたパラメータの値（反応時間等）の適切さに注意する必要がある。現示の切り替え時間はたかだか数秒のことにすぎないが、一瞬の判断の誤りが即事故に結びつく危険が大なことを忘れてはならない。なお現場での観測は、今冬、郊外部を中心に行う予定であり、データの蓄積をはかりたい。

5. 参考文献

- 1) 斉藤、大山、重田：ジレンマゾーン、オプションゾーンの性質とこれらのゾーンを避けるための信号制御方法、科学警察研究所報告交通編、Vol.28、No.1、pp1～pp11、1987年1月
- 2) 交通工学研究会編：平面交差の計画と設計一応用編、昭和58年
- 3) 小林、上領、有菌：黄信号の解釈に関する実験的研究、科学警察研究所報告交通編、Vol.10、No.1、pp9～pp19、1969年3月
- 4) Retzko, Hans-Georg and Boltze, M.: Timing of Intergreen Periods at Signalized Intersections, ITE journal, Vol.57, No.9, September 1987, pp23-pp26
- 5) Chan, Y and Liao, T.: Setting Change Intervals at Signalized Intersections, ITE journal, Vol.57, No.2, pp45-pp50, February 1987
- 6) Jourdain, S.: Intergreen timings, Traffic Engineering + Control, Vol.27, No.4, pp179-pp182, April 1986
- 7) Horst, R. van der and Wilink, A.: Drivers' decision-making at signalised intersections: an optimisation of the yellow timing, Traffic Engineering + Control, Vol.27, No.12, pp615-pp622, September 1986
- 8) Zador, P., Stein, H., Shapiro, S. and Tarnoff, P.: Effect of Clearance Interval Timing on Traffic Flow and Crashes at Signalized Intersections, ITE journal, Vol.55, No.11, pp36-pp39, November 1985
- 9) FHWA: Traffic Control Devices Handbook, pp4-29, 1983
- 10) ITE: Transportation and Traffic Engineering Handbook, pp756-pp757, 1982
- 11) ITE Technical Committee 4A-16: Proposed Recommended Practice: Determining Vehicle Change Intervals, ITE journal, Vol.55, No.5, pp61-pp64, May 1985
- 12) 加来、中辻、藤原、萩原、小野寺：札幌市内における冬期間の滑り抵抗値について、第2回寒地技術シンポジウム講演論文集、pp463-pp468, 1986年11月
- 13) 藤原、加来：交通安全と制御について～信号切り替え時間中の車両挙動について～、土木学会北海道支部論文報告集第43号、pp389-pp392, 1987年