

信号切替り時右折車処理における補正有効青時間の適用*

Application of supplemental effective green time for estimating right-turners impacts at signal change intervals *

大口 敬**

By Takashi OGUCHI**

1. はじめに

交通工学研究会編「改訂 交通信号の手引」における信号表示案の設計手順は図-1で示されている¹⁾。ここで特徴的なのは、図の左側と右側に主に3つのフィードバックループが設定されている点である。1つは、交差点需要率の算定[図中step(4)]から信号現示(パターン)の設計[同step(2)]へのフィードバックであり、需要率が所定の範囲を満たさない場合に、現示の数や動線組合せなどを見直し必要があることを意味する。

また、図の左側で「右/左折車線の飽和交通流率がサ

イクル長とスプリットに依存する場合」とは、右/左折車が(右折の場合は対向直進車・左折の場合は交差する横断歩行者の)ギャップアクセプタンス挙動により交差点を通行できる場合に、右/左折車の通行確率と仮決めされたサイクル長と青時間長を用いて1サイクルあたりの通行可能量を算定し、これを用いて右/左折車の飽和交通流率を定める必要があることを示す。さらに、図の右側の「右左折車の処理量のチェック[step(8)]」とは、仮決めしたサイクル長、青時間長を用いて計算された飽和交通流率とその青時間により1サイクル当り処理可能台数を計算し、これと切替り時の処理可能台数を加えた上で、これで対象方向の交通需要を処理できているかを確認するフィードバックを意味する。

ここで[step(8)]における右折車処理量チェックのフィードバックの中に、青(丸)表示の次が右折専用現示

* キーワーズ：交通制御，交通流，交通容量，右折車，信号切替り，有効青時間
 ** 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)

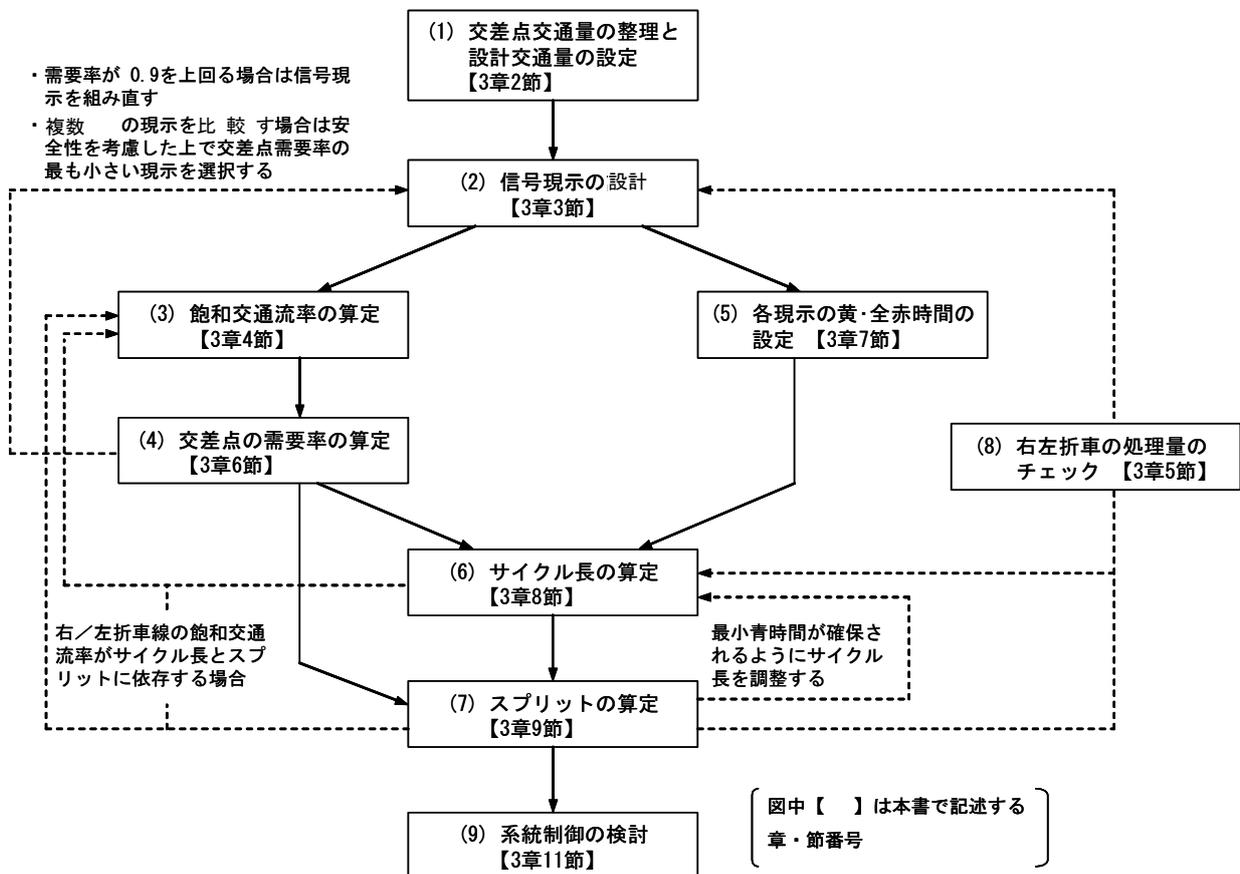


図-1 信号表示案の設計手順¹⁾

ではない場合に、青（丸）表示の終了前に停止線を越えて交差点内に進入している車両が存在することにより現示切替りに余分に右折車が処理される量（文献¹⁾ではこれを K 値と呼ぶ）、および青（丸）表示の次が右折専用現示となる場合に、右折専用現示開始前に停止線を越えて交差点内に進入している車両が存在することにより現示切替りに余分に右折車が処理される量（文献¹⁾ではこれを K_{ER} 値と呼ぶ）が含まれている。

本論文では、この青（丸）表示後の信号現示切替りに着目し、 K 値、 K_{ER} 値を用いた右折処理台数を用いる代わりに、筆者が提案する有効青時間の考え方を拡張してこれらの処理台数も含める方法²⁾を用いることで、右折車の交差点処理可能量の算定方法がどのように変わり得るかを示すことを目的とする。

2. 飽和交通流率と有効青時間と損失時間

図-2は、現示 $\phi 1$ に着目して飽和交通流率（ $s=1/h$ 、ここに h =飽和交通流における平均車頭時間）の概念を累積交通量図により整理したものである。

対象現示の青表示時間（ G ）開始から1台目が通過するまでの時間、および2, 3台目の車頭時間は一般に h よりも長い³⁾。4台目以降「十分な交通需要があれば」青表示時間終了から黄時間（ Y ）にかけて最終通過車まで平均車頭時間 h で通過していくものとする。そこで、4台目以降の期待値として得られる一定の飽和交通流率（ s ）の傾きを持つ累積交通量の直線を3台目以前0台目まで外挿して得られた時刻を、有効青時間（ G_{e1} ）の開始時刻とする（このとき G の開始から G_{e1} の開始までの時間を発進損失（ L_{s1} ）と呼ぶ）。

一方、飽和交通流の終了時刻は難しい。累積交通量が実線の場合や点線のように1台多く／少なく通行する場合があると共に、その最終通過車の停止線通行タイミングがさまざまである可能性があるからである。ここでは、仮に実線のような累積交通量直線になると考えて、実線の最終通過車の通過時刻が有効青時間 G_e の終了時刻と考えることにする（この時刻から次の現示の青表示時間開始までの時間をクリアランス損失（ L_{c1} ）と呼ぶ）。

こうして得られた飽和交通流率と有効青時間を用いると、1回の青表示時間における通行可能量＝「飽和交通流率（ s ）×有効青時間（ G_{e1} ）」で表現できる。また一般に1回の切替り損失時間 L_2 （ $=L_{c1}+L_{s2}$ ）は、その黄時間＋全赤時間に等しいとされ、したがって有効青時間＝青表示時間、という便法が用いられている¹⁾。

3. 有効青時間と折れ線近似車両動線

図-3は信号交差点で信号待ちのため停止していた車両

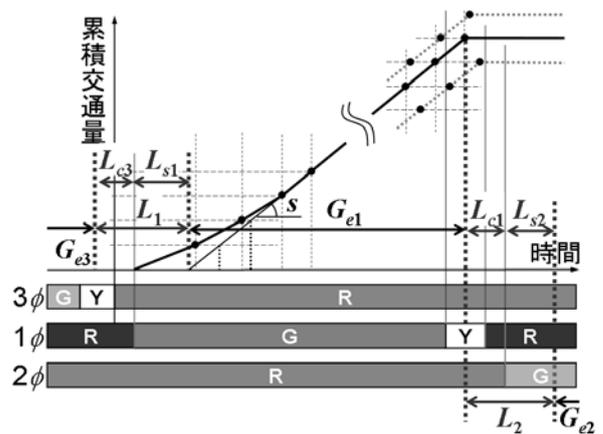


図-2 1つの現示における飽和交通流率と損失時間

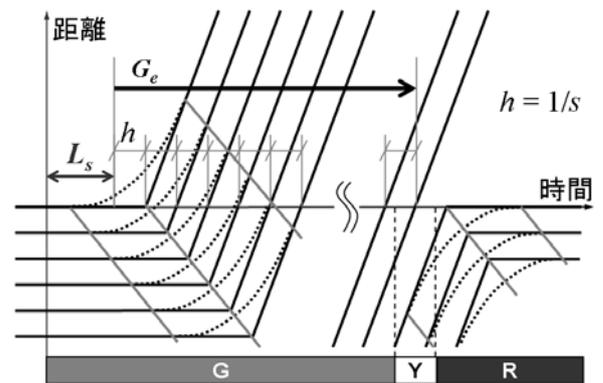


図-3 折れ線近似車両動線と有効青時間

が青表示開始以降順次通過していく様子を時間－距離図（Time-space diagram）上に描いたものである。ここで各車両の発進時の加速挙動を捨象した場合、破線の曲線で表される加速挙動は2種類の折線実線で近似される。

ここで一定速度・一定時間間隔（車頭時間 h ）で発進する車列の通過を、停止線の（図-2のような）累積交通量で考えると、先頭車の折線実線の発進時刻から h 前のタイミングが有効青時間 G_e の開始時刻となることがわかる。また G_e の終了時刻は最終通過車の停止線通過時刻であり、これ以降の車両は図-3のように減速しながら先頭車から順番に停止車列を形成して停止する。

したがって有効青時間を考える場合には、折線実線近似された（仮想的な）車両の走行挙動は都合がよい。以下では、有効青時間とこの折線近似された車両挙動を用いて、切替り時の右折車挙動について考察する。

4. 青（丸）表示後切替り時の右折車挙動

（1）通常現示の時間－距離図と累積交通量図

図-4は通常の現示、たとえば青（丸）現示における直進車を考えて、十分な需要がある場合における有効青時間と時間－距離図の関係、およびこれと対応させた停止線における累積交通量図を示す。ここで1サイクル当た

り総遅れは、図-4の累積交通量図における2つの累積曲線で囲まれる面積 $st_s R_e / 2$ で与えられる（ここに、 $t_s = q_a R_e / (s - q_a)$ は飽和交通流の継続時間）。

以下では、対象動線方向の単位時間当たりの交通需要が単位時間当たり処理可能量と一致する場合を考える。これは、一様到着交通を過飽和（渋滞）を生じずにちょうど処理できる最小限の青（丸）表示時間（必要現示率に一致するスプリット）で制御する場合を意味する。図-4の場合、この条件では $t_s = G_e$ が成立し、このときの1サイクル当たり総遅れ T_d は次式で与えられる。

$$T_d = sG_e R_e / 2 = sG_e (C - G_e) / 2 \quad \dots\dots (1)$$

すなわち、底辺＝（サイクル長－有効青時間）、高さ＝（飽和交通流率×有効青時間）として、底辺×高さ÷2で三角形の面積を算出している。

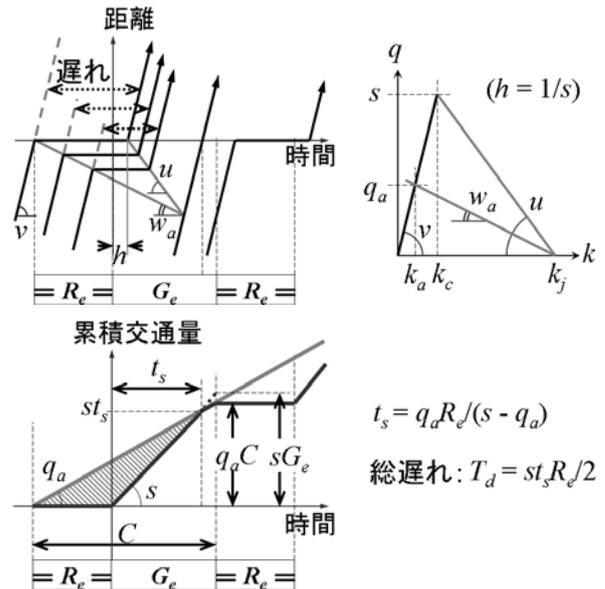


図-4 一般的な時間－距離図と累積交通量図

(2) 青（丸）表示後の右折車挙動の分類

青（丸）表示の現示では、右折車は対向直進車に対して非優先関係にあり、対向直進車の通行を妨げることができないが、その通行を妨げない場所まで、停止線を越えて交差点内に進入して停止することができる。ここではこの停止位置を便宜上「右折誘導線」と呼ぶ。

対向直進交通需要が十分に多く青時間が飽和している場合、青（丸）表示時間中は右折車が通行できず、信号切替り時になって初めて通行可能になる。一方、と中で対向直進車の飽和交通流が途切れれば、以降はギャップアクセプタンス挙動により、対向直進交通需要の車頭時間が長い間隙が確率的に生じることで通行可能となる。

また青（丸）表示の次現示が右折専用現示であれば、信号切替り時に通行開始した右折車はそのまま飽和交通流となる。一方で現示切替り後に右折方向に赤表示が提示されると右折車はそれ以降通行できない。

以上の組合せを整理すると表-1のように条件A～Dまで4パターンに分類できる。それぞれで右折車が通行できる時間帯は異なっている。また、右折車が停止線を越えて右折誘導線まで交差点内に進入することで1サイクル当たり余分に処理できる右折車台数（ここではこれを「右折滞留車影響係数」と呼ぶ）は、条件A・Cでは K_E ($=1\sim2$ 台)、条件B・Dでは K ($=2\sim3$ 台)とされている¹⁾。これが「1回の現示切替り当り台数」で規定されていることが、図-1の設計手順においてフィードバックを必要とする一つの要因である。

一般に、1サイクル当り右折車処理量は、a) 青（丸）表示中の通行台数、b) 右折専用現示における通行台数、c) 現示切替り時の通行台数、の3項の和で表される¹⁾。ここでa)はギャップアクセプタンス挙動により評価され、b)は右折車飽和交通流率×有効青時間、c)は K 値、 K_{ER} 値が用いられる。ここで条件Aはb)+c)、条件Bはc)しか考慮しないので、c)についてもb)の有効青時間を補正して

表-1 右折車の通行条件の分類

		青（丸）表示の次現示	
		右折青矢印表示 (右折専用現示)	右折車通行 不可現示
青（丸） 表示中の 右折車通 行可否	不可	条件A： 切替り時と 専用現示中	条件B： 切替り時のみ
	可能	条件C： 青表示後半・切替 り時・専用現示中	条件D： 青表示後半と 切替り時
右折滞留車 影響係数		K_{ER}	K

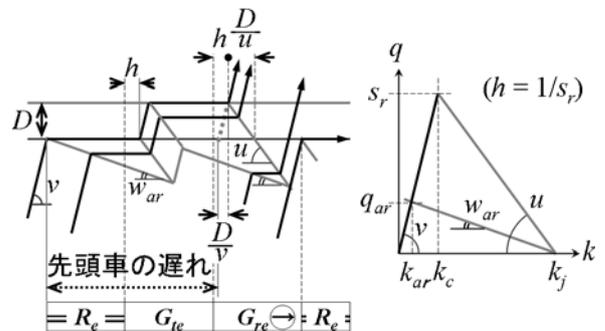


図-5 条件 A の時間－距離図

表現できれば、4. (1) 節の通常現示の場合と同じように「飽和交通流率×（補正）有効青時間」で表現できることになり、図-1の設計手順におけるフィードバックを排除することができる。

(3) 条件A・Bにおける現示切替り時の処理量評価

条件A、すなわち青（丸）現示後に右折専用現示となる場合、この現示切替りには損失時間は存在しないとされる（この点の厳密な検証は今後の課題とする）。その上で、右折誘導線（停止線からの距離： D ）と停止線を比較すると、右折車の飽和交通流 (s_r) 時の速度を v として、右折誘導線の飽和交通流開始より D/v だけ早く仮

想的に停止線の飽和交通流が開始したとみなすことができる。一方で右折誘導線先頭車から順番に発進する発進波が停止線に到着するのは、発進波伝播速度を u として D/u 後となる。図-5は以上の状況を時間-距離図に示す。

ここで、この場合の右折専用現示の有効青時間(G_{re})の開始時刻はいつか? 図-2に示す考え方を厳密に踏襲するならば、図-5で発進波が停止線に到達した時刻となるが、通常信号パラメータの算定でこの D/u の遅れを考慮しているとは考えにくい。単純に「有効青時間=青表示時間」の公式を当てはめて、これに右折滞留車の影響を加味したものを K_{ER} 値として考えると考えられる。右折専用青表示開始から有効青時間開始を規定する関係が成立するのは、停止線ではなく右折誘導線である。したがって有効青時間を仮想的に D/v だけ長くすれば、 K_{ER} 値に相当する右折車処理台数を表現できる。このことは、停止線と右折誘導線における累積交通量図を描いて遅れ時間を定式化することでも確認できる²⁾が本稿では省略する。すなわち(右折車飽和交通流 s_r)×(有効青時間補正量 D/v)= (K_{ER}) が成立するものと考えられる。

一方、条件B、すなわち青(丸)表示後は右折方向が赤表示になって進行できない場合は、信号切替りに処理される台数は、停止線から右折誘導線までに存在する車両台数に他ならない。ここで図-5の右側の交通量-交通密度関係を仮定して飽和密度を k_j とすれば、この停止線から右折誘導線までの車両台数は Dk_j (= K 値)となる。ここで、図形的な関係から $D/v+D/u=Dk_j/s_r$ が成立することを利用すると、条件Bの場合も、この切替りに処理される台数 Dk_j を(右折車飽和交通流 s_r)×(仮想的有効青時間 $G_{rc}^s \equiv Dk_j/s_r$)と書き換えられる。

(4) ケーススタディ

ここでは、「交通信号の手引」に記載の既存マニュアルにおける信号表示設計手順¹⁾と本研究で提案する手順とを、条件Aの簡単な数値計算例で比較提示する。

a) 信号表示設計の前提条件

図-6に示すように、4枝交差点の方向別設計交通量(交通需要)[台/時]が与えられるとし、図のような3現示制御を想定する。飽和交通流率 s は右折も含め全ての車線で1,500[台/時]とする。簡単のため東西方向は方向を考慮しない1車線交通とする。信号切替り損失時間は、第1現示から第2現示の信号切替りでは0、その他2回の切替りではそれぞれ5[秒]、したがってサイクル当たり損失時間 $L=0+5+5=10$ [秒]とする。

b) 既存マニュアルの信号表示設計手順

1φから2φへの信号切替りに右折車が余分に処理される効果を考慮するため、サイクル長 C を仮決めする必要があるのでまず $C=80$ [秒]とする。この場合、 K_{ER} を仮に1と置くと、1時間当りの切替り時処理台数 $\Delta q_r=K_{ER}$

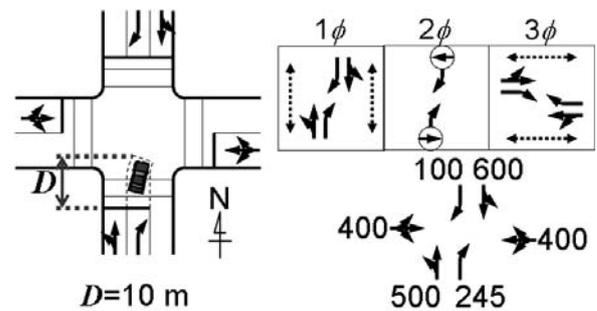


図-6 ケーススタディの計算条件

× $3600/C=45$ [台/時]となる。

第1現示の需要率 $\lambda_1=600/1500=0.4$ 、第3現示の需要率 $\lambda_3=400/1500=0.2667$ となるが、第2現示については設計交通量から Δq_r を差し引いたものが飽和交通流率 s で処理されると考え、 $\lambda_2=(200-\Delta q_r)/1500=(240-45)/1500=0.1333$ と計算される。したがって交差点需要率 $\lambda=\sum \lambda_i=0.8$ となる。この λ を用いると、最適サイクル長 $C_{opt}=(1.5L+5)/(1-L)=100$ [秒]となる。仮決めサイクルとはかなり異なったので、再度1時間当りの切替り時処理台数 Δq_r を計算すると $\Delta q_r=36$ [台/時]、これを用いて再度第2現示の需要率を再計算すると $\lambda_2=0.1393$ 、交差点需要率 $\lambda=0.8060$ となり、これから最適サイクル長を再計算すると $C_{opt}=103$ [秒]となる。このように既存手法で繰返し計算が必要となる点が大きな特徴である。

c) 本研究で提案する手順

提案手法では交差点サイズと交差点通過速度を明示的に扱える、ここでは例として $D=10$ [m]、 $v=10$ [m/s]= 36 [km/h]とすると、有効青時間の補正量 $D/v=10/10=1$ [秒]となる。この補正量だけ仮想的に第2現示の有効青時間の開始時刻が早まるので、第1現示と第2現示の間の損失時間は0ではなく -1 [秒]と考える必要がある。結果、見かけ上の1サイクル当たり損失時間 $L'=10-1=9$ [秒]となる。

この方法では現示2の設計交通量から Δq_r 差し引く操作は不要であり、単に $\lambda_2=245/1600=0.1633$ と計算する。よって $\lambda=\sum \lambda_i=0.83$ 、 $C_{opt}=109$ [秒]が得られる。各現示 i の有効青時間 G_{ie} の配分は、 $G_{ie}=(C-L') \times (\lambda_i/\lambda)$ で計算され、 $G_{1e}=48$ [秒]、 $G_{2e}=20$ [秒]、 $G_{3e}=32$ [秒]となるが、 G_{2e} は補正された有効青時間なので、実際の青表示時間決定に用いる有効青時間は $G_{2e}-D/v=20-1=19$ [秒]となる(対応して損失時間も $L=10$ [秒]となる)。

参考文献

- 1) (社)交通工学研究会編：改訂 交通信号の手引, 150p., 丸善, 2006年
- 2) 大口敬：非優先右折滞留車の影響を考慮した有効青時間の補正, 交通工学, (投稿中)
- 3) (社)交通工学研究会編：交通容量データブック2006, p. 92, 2006

