

車群分割および二信号交差点連続停止を 評価基準とする交通信号オフセット

Traffic Signal Offsets for Minimizing Platoon Division and Continuous Stops

中 村 英 樹*・越 正 毅*
Hideki NAKAMURA and Masaki KOSHI

1. は じ め に

従来から交通信号系統制御の評価基準は、国際的にも遅れや停止回数等に代表される経済指標が主として採用されている。しかしながら、交通公害・交通事故の抑制やドライバーの心理的負担という面から、他の指標についても考慮することが必要である。ここでは、①車群が信号交差点を通過中に、赤信号に変わることによってこれが分割されること（車群分割）を避ける、②同一車両の二信号交差点連続停止を防ぐことの二点を評価基準として考慮することにする。遅れを最小化するために現在求められているオフセットが、これらの新しい評価基準に対しても最適解であるという保証はもちろんなく、両者の競合の程度も明らかでない。

そこで本研究では、上記の二つの評価基準に対する最適オフセットを求め、さらにこれらの新しい指標と従来の遅れ・停止台数との両立性ないし競合性について検討した。

2. 街路交通流のモデル化

信号交差点における遅れ、停止回数あるいは待ち行列などは、その信号交差点に到着する交通がそれまでに経てきたすべての信号および流入交通、その他の要素の過程をたどらなければ定まらない。ここでは簡単のために、古くから遅れや停止回数の算出に用いられてきた単一飽和方形波モデルを用いる。適用に際して、次の単純化の仮定を設ける（図1）。

①各信号のサイクル長、スプリット、および飽和流量は

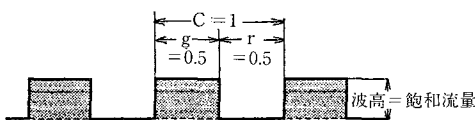


図1 単一飽和方形波モデルによる発生交通

それぞれ等しく、ここではサイクル長 $C = 1$ 、スプリット $g = r = 0.5$ とする。

- ②方形波は完全に飽和している。
- ③両方向の交通量は等しく直進交通のみであり、速度は一定で車群の拡散はない。
- ④待ち行列の影響によるリンクのオーバーフローは考えない。

このモデルを用いて、リンク内における各サイクルごとの総遅れ、停止台数、車群分割回数および同一車両の二回連続停止について考える。当然のことながら、二回連続停止については連続したリンクについて考えなければならないが、それ以外については各リンクについて独立して考えても差し支えない。なぜなら単一飽和方形波という単純化の仮定より、あるリンクにおける遅れ・停止台数および車群分割は、その上流リンクとは関係なく

表1 各評価基準に対する最適オフセット

リンク片道 旅行時間 ℓ	車群分割が 生じない オフセット	停止台数 最小 オフセット	最小停 止台数 N_{min}	総遅れ最小 オフセット	最小遅れ d_{min}
0~0.25	$0.5 - \ell \leq t \leq \ell + 0.5$	$t \leq \ell, t \geq 1 - \ell$	2ℓ	$t \leq \ell, t \geq 1 - \ell$	ℓ
0.25	$0.25 \leq t \leq 0.75$	$t = 0.25, t = 0.75$	2ℓ (=0.5)	不定	ℓ (0.25)
0.25~0.5	$\ell \leq t \leq 1 - \ell$	$t = \ell, t = 1 - \ell$	0.5	$\ell \leq t \leq 1 - \ell$	$0.5 - \ell$
0.5	$t = 0.5$	$t = 0.5$	0	$t = 0.5$	0
0.5~0.75	$t \leq \ell + 0.5, t \geq 1.5 - \ell$	$1 - \ell \leq t \leq \ell$	$2\ell - 1$	$1 - \ell \leq t \leq \ell$	$\ell - 0.5$
0.75	$t \leq 0.25, t \geq 0.75$	$t = 0.25, t = 0.75$	$2\ell - 1$ (=0.5)	不定	$\ell - 0.5$ (=0.25)
0.75~1	$t \leq 1 - \ell, t \geq \ell$	$t = \ell, t = 1 - \ell$	0.5	$t \leq 1 - \ell, t \geq \ell$	$1 - \ell$
1	$t = 0.1$	$t = 0.1$	0	$t = 0.1$	0

*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報 独立に決まるものだからである。

3. 到着車群の分割と総遅れ・停止台数の関係

単一リンクにおいて、下流交差点への到着交通を考えた場合、このリンクの片道旅行時間 l と相対オフセット t (いずれもサイクル長で正規化) が与えられると、リンク内における停止台数、総遅れおよび車群分割の有無は容易に求めることができる。それぞれの評価基準に対する最適オフセットは領域として存在し、表 1 に示すように整理できる。これより、 $0.25 < t \leq 0.5$ および $0.75 < t \leq 1$ では総遅れ最小オフセットと車群分割が生じないオフセットが完全に一致するのに対して、それ以外の範囲では全く排反となってしまうことがわかる。これは、完全飽和の場合に車群を分割しないということは、全車通過もしくは全車停止を意味することから理解できよう。また停止台数最小オフセットの領域は、総遅れ最小オフセットの領域に完全に含まれている。したがって、これら三つの評価基準を同時に満足するオフセットが存在するのは、 $l = t = 0.5$ 、あるいは $l = t = 1$ のときだけであり、これはそれぞれ交互式 ($t = 0.5$)、同時式 ($t = 0$) を用いればよいことを示している。

以上の結果から、総遅れと車群分割、および総遅れと停止台数を同時最適化することのできるようなオフセットの範囲は、それぞれ図 2、図 3 に示された領域となる

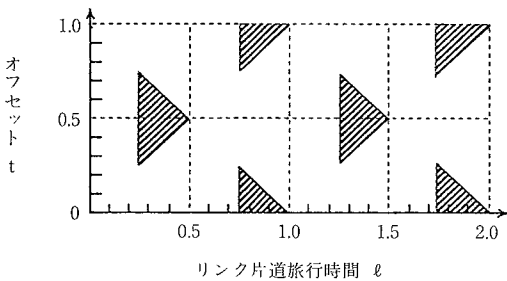


図 2 車群分割が生じず、かつ総遅れが最小となる領域 (斜線部)

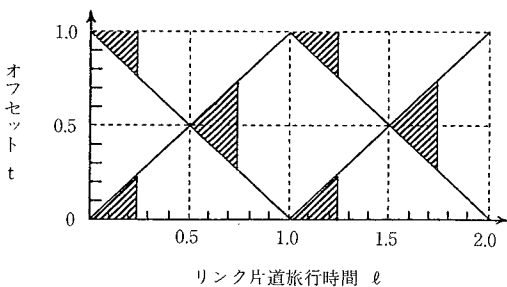


図 3 総遅れ、停止台数が同時に最小となる領域 (斜線部および太線部)

4. 二回連続停止を生じないオフセット

同一車両の二信号交差点連続停止を考えるにあたっては、二つ以上の連続したリンクを考慮して求めなければならない。そこで図 4 に示されたような二重リンク ABC について考えた場合、下流交差点への到着交通はこれらのリンクの片道旅行時間 l_1, l_2 と相対オフセット t_1, t_2 の組み合わせによって決まる。つまり、説明変数は相対オフセット t_1, t_2 とリンク片道旅行時間 l_1, l_2 の四つであるが、各方向の二回連続停止台数の関数形は、これらの値によって折れ線となったり不連続となったりするために、これらの変数と両方向合計の二回連続停止台数との一般的な関係を求めるには非常に煩雑な場合分けが必要となる。そのため紙面の関係から本稿では、この二重リンク内において両方向とも二回連続停止が生じないようなオフセットについて考えてゆくことにする。

図 4 の二重リンクの東行 <EB> の各車両が二回連続停止しないためには、以下の三つの場合が考えられる。

- ①交差点 B で到着波の前縁が赤時間に到着する場合
このとき単純化の仮定から、到着方形波の全車が交差点 B で停止しなければならない。したがって交差点 C では、全車通過できるようにオフセットを設定しなければならない。

$$l_1 < t_1 \leq l_1 + 0.5$$

$$t_2 = l_2 \tag{1}$$

- ②交差点 B で到着波の後縁が赤時間に到着する場合
交差点 B において停止した到着波後部は、交差点 C において通過できなければならない (図 5)。

$$l_1 - 0.5 < t_1 \leq l_1$$

$$0.5 - t_1 - (l_1 + l_2) \leq t_2 < l_2 \tag{2}$$

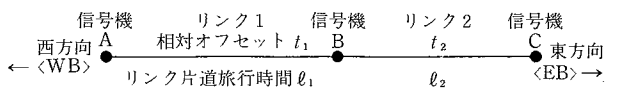


図 4 二重リンク

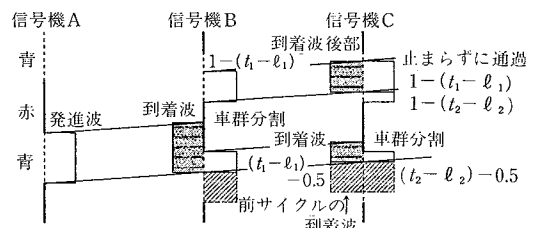


図 5 二回連続停止の生じない場合の一例

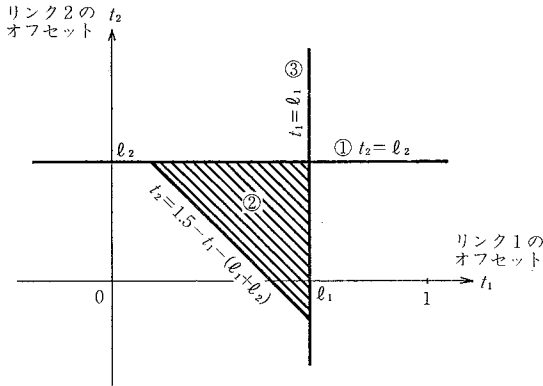


図 6 二回連続停止の生じない領域 (東方向)

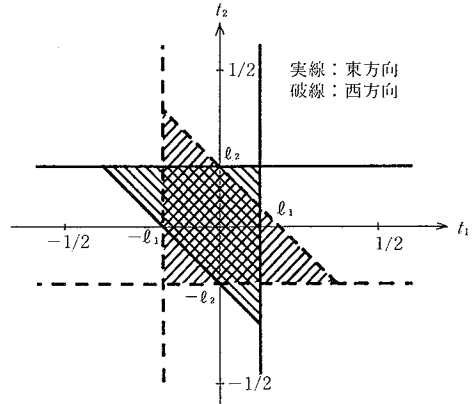


図 7 二回連続停止の生じない領域
($0 < l_1 \leq 1/4, 0 < l_2 \leq 1/4$)

③交差点Bで全車通過できる場合

$$t_1 = l_1; t_2 = \text{任意} \quad (3)$$

以上の領域を図示したものが図6である。

また反対方向の西行 <WB> についても、 $t_1 \rightarrow 1 - t_2$, $t_2 \rightarrow 1 - t_1$ と置換することによって同様に求められる。

すなわち、

$$\textcircled{1} 1 - l_2 > t_2 \geq 0.5 - l_2 \text{ のとき } t_1 = -l_1 \quad (4)$$

$$\textcircled{2} 0.5 - l_2 > t_2 \geq -l_2 \text{ のとき } -l_1 < t_1 \leq 0.5 - t_2 - (l_1 + l_2) \quad (5)$$

$$\textcircled{3} t_2 = 1 - l_2 \text{ のとき } t_1 = \text{任意} \quad (6)$$

これらはいずれも周期1 (サイクル長) をもつ。

次に、両方向の合成を考えると、これは周期0.5をもつ。それは片方向のオフセットを正の方向に動かすと、他方では同量だけ負の方向に動くからである。図7~9に、両方向とも二回連続停止の生じないオフセットの領域を示した。

またこれらの領域のうち、表1を参照して遅れ、および停止台数も最小化するオフセットの範囲がわかる。リンク片道旅行時間に関係なくこれらを満足できるのは、 $(l_1, -l_2)$, $(-l_1, l_2)$ の二解だけであることがわかる。この二組のオフセットは、隣接したリンクで各方向を交互に優先するようなオフセットの二つのモード、

- $t_1 = l_1, t_2 = -l_2$: リンク1で<EB>を完全優先, かつ、リンク2で<WB>を完全優先
 - $t_1 = -l_1, t_2 = l_2$: リンク1で<WB>を完全優先, かつ、リンク2で<EB>を完全優先
- というようなオフセットにほかならない (図10)。

また、二つのリンク片道旅行時間のいずれもが $m < l_i \leq 1/4 + m (i=1, 2, m=0, 1, 2, \dots)$ である場合には、解はこれらの交互優先オフセットのほかにも面として次のような範囲に存在する。

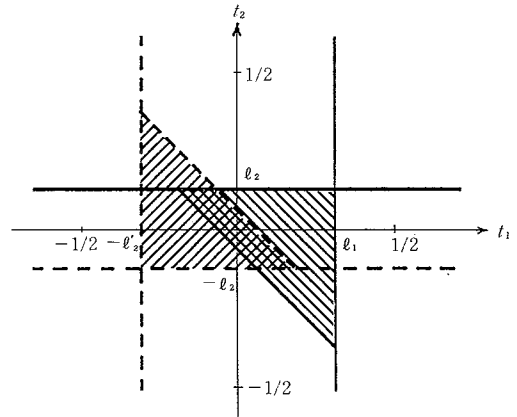


図 8 二回連続停止の生じない領域
($1/4 < l_1 \leq 1/2, 0 < l_2 \leq 1/4$)

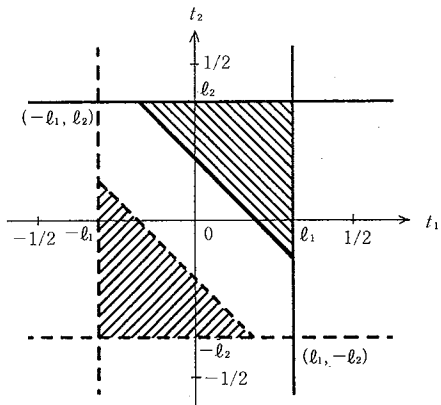


図 9 二回連続停止の生じない領域
($1/4 < l_1 \leq 1/2, 1/4 < l_2 \leq 1/2$)

研究速報

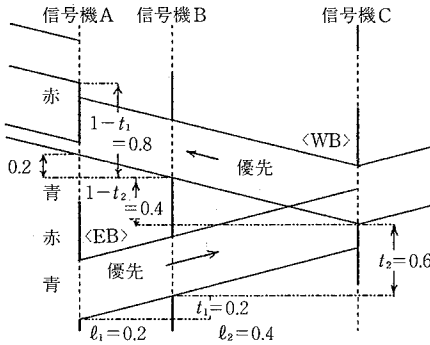


図10 遅れ・停止台数最小の条件下で二回連続停止の生じない「交互優先オフセット」

$$l_1 + l_2 - m - 0.5 \leq t_1 + t_2 \leq -(l_1 + l_2 - m - 0.5) \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

これはたとえば、二つのリンクがいずれも非常に短い場合に、同時オフセット、あるいはそれを若干修正したもののよって二回連続停止を防ぐことができるという場合に相当する(図11)。

以上より、二連リンクにおいてそれぞれのリンク片道旅行時間を問わずに、総遅れと停止台数、および二回連続停止台数の三つの評価基準を同時最適化できるオフセットの組み合わせが、モデルにおいては少なくとも二つ存在することが証明された。なおこれらの解が車群分割に対する最適解と一致するのは、表1より両リンクの片道旅行時間がともに

$$1/4 + m/2 \leq \ell_i \leq 1/2 + m/2 \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad (8)$$

である場合に限られる。

5. ま と め

本研究で信号制御と車群分割・二回連続停止台数との関連を、定量的に明らかにすることができた。得られた結論を、以下にまとめて示す。

- ①一般に、系統制御される街路区間において、従来用いられてきた評価基準である遅れ・停止台数に損失を与えずに、二回連続停止台数を最小化することは可能であるが、それには隣接したリンクで交互に優先権を与えるようなオフセットを設定することが必要である。
- ②車群分割を生じさせないことと、遅れ・停止台数とは排反の傾向がみられ、リンク片道旅行時間が $1/4 + m \leq \ell \leq 1/2 + m$ ($m=0, 1, 2, \dots$) の範囲にある場合以外には、同時最適化は不可能である。

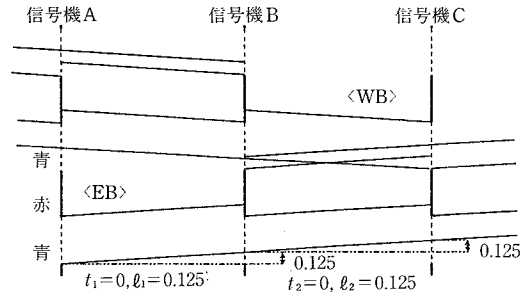


図11 遅れ最小の条件下で二回連続停止の生じない場合の一例

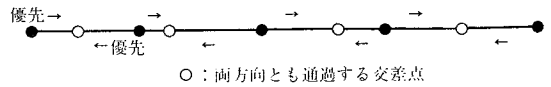


図12 多連リンクにおける「交互優先オフセット」

以上の結果から、図12に示すような多連リンクにおいても、総遅れ、停止回数および二回連続停止台数の三つの評価基準を同時最適化することのできるオフセットの組み合わせが、少なくとも二つは存在すると言える。このとき一交差点おきに、両方向とも通過できることになるが、車群分割は必ずしも防止できない。

6. お わ り に

本稿では非常に単純化されたモデルを用いて二回連続停止をさせないオフセットを求めたが、実交通においては必ずしも二回連続停止=0とはならないことが予想される。そこで二回連続停止台数を求め、遅れ、停止台数などの信号制御パラメータ設定の際に欠かすことのできない評価基準と組み合わせた評価ということが最も大きな課題である。今後は諸条件を加味して、実交通流での適用可能性を検討してゆきたい。(1988年5月24日受理)

参 考 文 献

- 1) 越正毅：交通信号の系統制御オフセット・パタンの一解法，土木学会論文報告集第147号，pp. 40~47，1967年11月
- 2) 越正毅：系統交通信号におけるサイクル制御の研究，土木学会論文報告集第241号，pp. 125~133，1975年9月
- 3) A.J. AL-KHALILI and C.J. MACLEOD: OPTIMUM OFFSET-I, Transportation Research Vol. 9, pp. 347~pp. 353, Pergamon Press, 1975