

街路信号制御に関する一考察

正員 板倉 忠三*

学生員 ○今 信三**

齊 藤 裕 二***

1. はじめに

交差点における交通信号の制御は、交通制御の中でも重要なものである。特に現在のように交通混雑が生じる状態の下では、わずかの制御方法の差でも交通に対して大きな効果をもたらすことが多い。この増大する交通量に対処するため、最近では連続する交差点の信号制御を有機的に結びつけて行うことが大きな課題となっている。特に信号制御の最適化についての研究は多くなされており、その内容も複雑化してきているが、常に念頭に置かなければならないことは、対象となる都市あるいは地域の交通状況や道路状況を反映した制御ということであろう。本文は札幌市における道路条件を考慮した上での線的な系統信号制御について若干の考察を行なったものである。

2. 札幌市の街路現況

信号制御を考える上で、信号機間隔が重要な要素の一つとなる。ここでは札幌市内の系統信号が実施されている範囲（都心より半径約6kmの範囲）について、幹線街路を主に581交差点の交差点間隔の分布を求めて、図-1に表わした。又他都市との比較を行うために、東大の浜田氏等の調査結果を基にして、東京の銀座附近294個所についての交差点間隔分布を図-2に表わした。両図を比較してみるといずれも平均交差点間距離は200m程度となっているが、その分布状態は銀座の場合120m～260mの間に一様に高い分布を示しているのに対して、札幌の場合、130m附近に特に高い集中がみられ、その分散は小さくなっている。これは札幌市の街路が一辺の長さ約130mの整然とした格子状街路で構成されていることを示すもので、更に260m、390m等の頻度の高い距離についても同様に130mの倍数として表現することが出来る。従って札幌においては、信号機間隔としては

比較的に短い130mの距離を考慮に入れ、制御方法を考えなければならない。

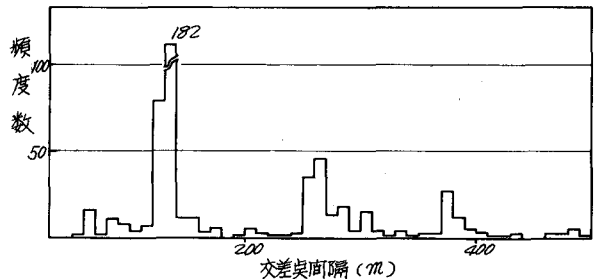


図-1 札幌市中心部の交差点間隔の頻度分布

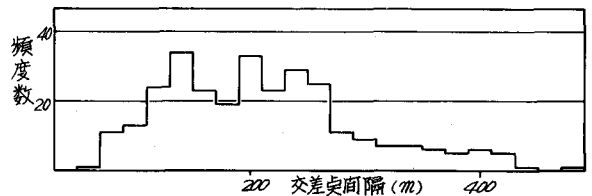


図-2 東京銀座周辺部の交差点間隔の頻度分布

3. 交通流のモデル化について

本研究においては、信号機の操作によって車両が受ける影響を遅れとして表現しており、これを系統信号の設置された2交差点間の1区間についての、単純化したモデルより求めようとした。この遅れは、サイクル長、オフセット、スプリット等の信号機の操作上の要素と信号機間隔、更にはその区間を走行する車両の速度の関連に基づき、図上より幾何学的に算出した。このモデルは、札幌市の街路形態を考えて、信号と車両についての次の様な仮定を設けた。

- (1) 走行するすべての車両の速度と車頭間隔は一定とする。

* 北海道大学工学部教授 工博

** 北海道大学大学院 工学研究科

*** 清水建設

γ ; $\alpha - \beta$ の値

V ; 走行速度 (m/sec)

DS ; 信号機間隔 (m)

DT ; 車両が次の交差点に到達するまでに要する時間 (DS/V の値) (sec)

時間距離図上には、与える交通量によって車両の走行軌跡の傾きは異ってくるが、常に 45° になるように距離軸のスケールを変換した。又、 $i, i+1$ の添字は i 番目及び $i+1$ 番目の信号制御に関する値であることを示しており、一部の記号については、図-3の①~⑥にも示している。

生ずる遅れの形は(1)三角形、(2)台形、(3)三角形と台形の組合った形の3種類に分類されるが、図-3の⑥は停止した車両の影響が手前の交差点にも及ぶ状態であり、図-3の⑤は手前の信号のスプリットが次の信号のスプリットより小さい時に生ずる(3)の状態を示すもので、ここではこれらの状態が起きない条件の下での一般的な遅れの形を算出するのに必要な Gw, Gs の値の求め方を示す。計算する際には次のような条件を設けた。

$$(1) \quad G_i = G_{i+1}$$

$$(2) \quad C_i = C_{i+1} = C$$

$$(3) \quad 0 \leq OS_{i, i+1} < C$$

$$(4) \quad G_i \cdot C \cdot \sin 45^\circ \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (45^\circ + \beta)} \leq DT$$

この(4)の条件は停止車の影響が手前の交差点に及ばない限界を与えるものである。この遅れの形は、先頭に停止する車両が手前の交差点を通過した状態と、次の信号に到着した時の状態によって分類されるが、上記の条件下では図-3の①~④の4ケースに相当するので、 i 交差点から $i+1$ 交差点へ向う車両について次のように分類した。

$$(I) \quad 0 \leq OS_{i, i+1} < DT$$

(手前の交差点の緑時間の後方部分を通過した車両が停止する状態)

$$Gw = R_{i+1} \cdot C$$

$$Gs = DT - OS_{i, i+1} \quad (\text{図-3の①})$$

$$(II) \quad DT < OS_{i, i+1} < DT + G_i \cdot C \cdot \frac{\sin 45^\circ}{\sin (45^\circ + \beta)} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin (180^\circ - \alpha)}$$

(緑現示の前方部分を通過した車両が次の信号の赤現示の途中の部分で停止する状態)

$$Gw = OS_{i, i+1} - DT$$

$$Gs = Gw \cdot \frac{\sin (45^\circ + \beta)}{\sin 45^\circ} \cdot \frac{\sin (180^\circ - \alpha)}{\sin \gamma}$$

(図-3の②)

$$(III) \quad DT + G_i \cdot C \cdot \frac{\sin 45^\circ}{\sin (45^\circ + \beta)} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin (180^\circ - \alpha)}$$

$$< OS_{i, i+1} < DT + R_{i+1} \cdot C$$

(II) の状態から更に遅れが発達し、すべての車両が停止する状態)

$$Gw = OS_{i, i+1} - DT$$

$$Gs = G_i \cdot C \quad (\text{図-3の③})$$

$$(IV) \quad R_{i+1} \cdot C + DT < OS_{i, i+1} < C$$

($OS_{i, i+1}$ が C に近い値で再で (I) と同じようになった状態)

$$Gw = R_{i+1} \cdot C$$

$$Gs = C - OS_{i, i+1} - DT \quad (\text{図-3の④})$$

その他特殊な場合として、 $DT = OS_{i, i+1}$ の時には、 $Gw = Gs = 0$ 、つまり遅れを生じない状態がある。(4)の条件が満たされない場合には図-3の⑥の状態が生ずるがその時は次の不等式が成立している。

$$DT + G_i \cdot C \cdot \frac{\sin 45^\circ}{\sin (45^\circ + \beta)} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin (180^\circ - \alpha)} < OS_{i, i+1} < C + DT - DT \cdot \frac{\sin (45^\circ + \beta)}{\sin \beta \cdot \sin 45^\circ}$$

又、 $G_i \neq G_{i+1}$ の時には、図-3の⑤の状態が生ずるが、これについての計算方法も同様に考えられるので省略する。以上までのところ種々の状態における Gw, Gs の算出方法を述べたが、これによって遅れは次の様に求められる。

(1) 三角形になる場合

$$Delay = \frac{1}{2} Gw \cdot Gs \cdot \frac{Q}{3,600}$$

(2) 台形になる場合

$$Delay = \frac{1}{2} \cdot Gs \cdot \frac{Q}{3,600} \left\{ 2 Gw - Gs \cdot \frac{\sin 45^\circ}{\sin (45^\circ + \beta)} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin (180^\circ - \alpha)} \right\}$$

(3) 三角形の台形の組合わさった形になる場合

この場合は(1)と(2)の合計として表わされる。

以上より明らかなようにこのモデルでは両方向の交通条件や信号制御に異った値を用いても遅れの計算を出来るが、ここでは特に一般的傾向を表わすことに主眼を置き、

$C_i = C_{i+1}$, $G_i = G_{i+1}$, $Q_{i, i+1} = Q_{i+1, i}$ として以下の計算を行なった。

5. 結果と考察

前節において求めた遅れの算定式により計算した結果のうち代表的なものについて以下にのべる。

1) 信号機間隔と最適オフセット

図-4は、総遅れとオフセットの関係を示す信号機間隔(DS)をパラメータとして表わしたものである。スプリット、サイクル長、交通量については両交差点とも同じに設定したので、総遅れはいずれもオフセット50%を境として左右対称になる。遅れの最小値は図に示される通り、一義的に求められない場合がある。つまり、100mでは最小値を与えるオフセットの値は2つ求められ、200m、300mについてはそのオフセットにある範囲(図の太線の部分)が与えられる。遅れを最小にするオフセットと信号機間隔を連続的に求めたものが図-5であり、スプリットの変化に伴い、最適オフセットが2点求まる状態から範囲のある状態へ移行する距離が異なる様子を示している。

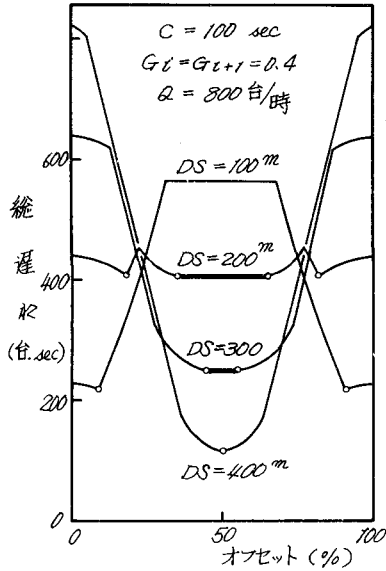


図-4 オフセットと総遅れの関係

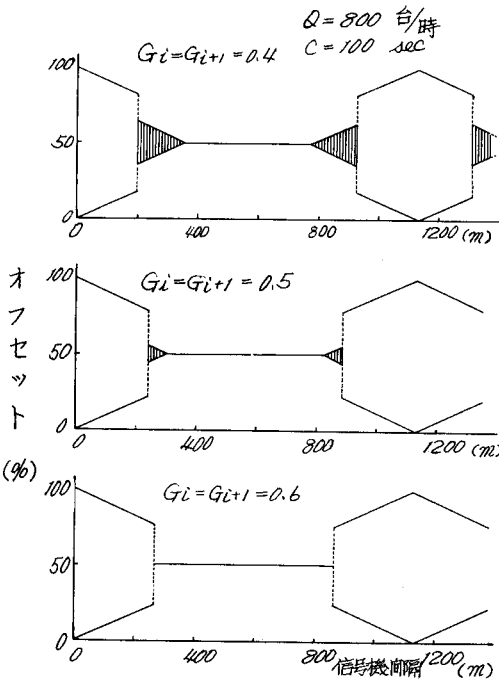


図-5 信号機間隔と最適オフセットの関係

を境として左右対称になる。遅れの最小値は図に示される通り、一義的に求められない場合がある。つまり、100mでは最小値を与えるオフセットの値は2つ求められ、200m、300mについてはそのオフセットにある範囲(図の太線の部分)が与えられる。遅れを最小にするオフセットと信号機間隔を連続的に求めたものが図-5であり、スプリットの変化に伴い、最適オフセットが2点求まる状態から範囲のある状態へ移行する距離が異なる様子を示している。

2) 両方向の遅れを等しくするオフセットと

信号機間隔

実際の信号制御においては、両方向の車両についての総遅れを最小とすることから、両方向のそれぞれの遅れが極端に違わないことが重要となる場合がある。ここでは両方向の遅れが等しい状態、つまりオフセットが0%又は50%の両者についてその遅れの大小を比較し、いずれか小さい方を求めた。図-5によっても推察出来るように、信号機間隔が200m位までの短い場合はオフセット0%であり、200m～800m位までの場合には50%である。それより長い距離についてもある周期をもって0%と50%が繰返されるが、このモデルは短距離を対象としているので、最初に0%から50%へ移行する距離について、交通量とスプリットの変化に対する値を表-1に示す。

表-1 最適オフセットの値の変化する信号機間隔

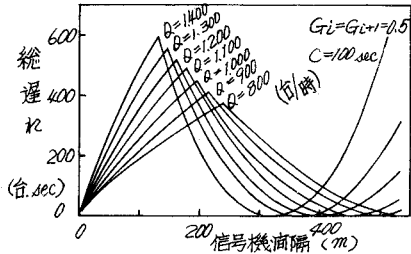
交通量 スプリット	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400
	m	m	m	m	m	m	m
0.4	188	176	162	145	130	115	101
0.5	228	209	190	170	141	134	116
0.6	260	237	215	194	176	154	136

この表に示された距離の附近では、最適オフセットの値が極端に変化する可能性があり、実際の信号制御を行う際に考慮すべき問題を含んでいる。つまり、一般にはオフセットの決定方法は検知された交通量による場合が多いが、このような距離の所では、その交通量のわずかな変化に対しても大巾にオフセットを変化させなければ、遅れが少なくなる場合が生ずるからである。実際の札幌市の現状にあてはめてみると、交通量が1,100台/時を越える状態の時には、130m位の所にも影響が出そうである。しかしオフセットを大巾に変化させることは交通混乱を生むこともあるので、このオフセット変更の有効性については、さらに別の角度から検討する必要がある。

ろう。

3) 信号機間隔と最小総遅れ

図－6は、交通量をパラメーターとして、スプリット0.5，周期100 secについての信号機間隔と最小総遅れの関係を示している。この図からは、直接的な信号制御法を求めることにならないが，2)で述べたオフセットを変えるべき地点附近では，最小遅れの値も大きくなっていることがわかる。又，交通量の増大とともに遅れが増大するとは限らず，距離によってはむしろ少なくなっている点興味深い。



図－6 信号機間隔と最小総遅れの関係

6. あとがき

交通信号制御の最適化については多く論じられてきたが，本文は札幌市の道路形態を考えた上で交通流のモデルを設定し，幾何的に車両の遅れ時間を算定した。この結果，信号機間隔が130 m位の場合，効率的な制御方法がないことがわかった。その対策として都心部では信号制御に加えて交通規制を十分考慮する必要がある。又主要交差点間隔が比較的大きく400 m～500 m位ある所では，その途中の街路からの出入制御を行なって制御効率を高める方法も考えられる。

本研究は北大工学部加来助教授，堀江助手をはじめ，北大工学部交通管理講座の皆様の多大の協力を得た。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

齊藤裕二； 交差点系統信号制御に関する研究
(昭和45年度修士論文)