

系統制御路線のサブエリア分割と系統周期の最適化

OPTIMIZATION OF THE COMMON CYCLE TIMES AND DIVISION OF
THE ARTERIAL SIGNALIZED INTERSECTIONS INTO SUBAREAS

久井 守*

By Mamoru HISAI

1. ま え が き

系統制御や広域制御のように多数の交通信号を互いに関連づけて制御する制御方式では周期、オフセットおよびスプリットという三つの制御パラメーターがある。このうちオフセットは交通の円滑化を実現するうえでもっとも重要な制御パラメーターであると考えられている。したがって、オフセットの最適化については数多くの研究例がある。このオフセットを実際に設定するには、各信号の周期は同じ長さ（これをここでは系統周期と名づける）でなければならない。そのうえ、系統周期を変化させると、一般に最適オフセットも変化する。一方、個々の信号をそれぞれ単独で考えた場合、交差点の交通量が多いほど、あるいは可能交通容量が小さいほど、遅れ時間最小化の観点からすれば、周期を大きくする必要がある¹⁾。しかも、厳密に考えると、交通条件や道路条件は交差点ごとに異なるのが普通であるから、そのような交差点信号群を一つの系統周期で一括制御してしまうと、場合によってはかなりの数の信号は、それぞれの交差点にとっては必ずしも最適とはいえない周期を余儀なくされることになる。このような事情からオフセットについて系統周期もまた重要な制御パラメーターであるといえよう。系統周期については、やはり対象信号全体からみた最適化問題として考える必要がある。これについては、すでに二、三の研究もあるが^{2), 3)}、総遅れ時間を最小にする系統周期の探索方法という点についてはなお研究の余地が残されていると考えられる。

これまでの系統制御の制御理論では、まず、なんらかの方法で系統周期を決定し、与えられた周期のもとで、オフセットを最適化するという考え方が多く、系統周期とオフセットの同時最適化を意図した研究としては、通過帯幅を評価基準とした制御理論に一部みられるのみ

で^{4), 5)}、遅れ時間を評価基準とした場合ではほとんど研究例はない。

系統制御や広域制御の場合、制御対象となる信号の数が少なく、かつ制御エリアが狭いときは、単一の制御理論あるいは一つの系統周期で全信号を制御しても一定の効果を期待することができるが、信号の数が多く、かつ制御エリアが広くなると、交通条件や道路条件に応じて、制御エリア全体をいくつかのサブエリアに分割し、各サブエリアごとの条件に見合った制御を行わないと全体として十分な制御効果を期待することができないのではないかと思われる。実際、東京の交通管制システムなどでは、周期、オフセットおよびスプリットの各制御パラメーターごとにサブエリアを設け、かつサブエリアの分離結合を行う方式によって制御している⁶⁾。しかし、筆者の知るかぎりではサブエリア分割の合理的根拠が必ずしも十分明確にされているとはいいがたい。

サブエリアの定義についてもいろいろの考え方が可能であろうが、ここでは制御エリア内の全信号のうち、周期が同じでかつ互いに隣接している信号のみを含むエリアを「周期のサブエリア」と定義し、異なった周期をもつ信号あるいは同じ周期であっても互いに隣接していない信号は別のサブエリアに属するものとする。

以上のような考え方にに基づき、本研究では一つの系統制御路線を対象とし、これを周期のサブエリアに最適分割する方法を提案する。さらに計算例によって最適分割の特徴についても考察する。最適化の評価基準は路線方向交通の総遅れ時間とし、DPの手法によってサブエリアへの最適分割および各サブエリアの最適系統周期を求める。この場合、オフセットは勾配法(FR法)⁷⁾によって同時に最適化する。遅れ時間はTRANSYTモデル⁸⁾を用いたシミュレーションによって求める。三つの制御パラメーターのうちスプリットについてはあらかじめなんらかの方法で与えられたものとして扱う。いうまでもなく、DPの計算結果からサブエリアの数が1となる特

* 正会員 工修 徳山工業高等専門学校助教授

殊の解をとり出せば、これが路線全体の最適系統周期と最適オフセットを与えることになる。

本研究は一つの路線を対象としたものであるが、ネットワーク状の道路についても、理論的にはやはりDPによってサブエリアへの最適分割を行うことができるが、この場合は演算時間の制約が問題となろう。

通過帯幅を最大にする制御方式の場合についても、やはりサブエリアへの分割問題が存在する。なぜなら一つの系統路線内の信号数が多くなると、次第に通過帯幅が狭められるという可能性があり、そのような場合は、エリア分割を行い、サブエリアごとに通過帯幅を最大化する方がむしろ全体として適当である場合があると考えられるからである。これについては問題の指摘にとどめ、本研究では取り扱わない。

2. DP 計算における仮定

(1) 交通流

以前、筆者らは系統制御における最適オフセットをDPの手法によって求めた⁹⁾。そこで最終的に得た2次元の関数方程式に、入力として周期を追加し、3次元の関数方程式に改めれば、本研究におけるエリア分割と系統周期の最適化の問題に適用することができる。しかし、その場合、青信号で交差点を発進するときの発進交通パターンについては、単一の矩形によって表現するという大きな仮定があった。ところが実際の発進交通パターンは図-1に示すように到着交通パターンとオフセットなどの信号パラメーターに応じて定まるのであり、そのパターンは、重交通時以外は矩形とはならない。このような性質を有する交通現象を忠実にモデル化するため、ここではTRANSYTの交通流モデルをそのまま用

いることとする⁹⁾。TRANSYTモデルは交通流を流体の流れと考えた一種のシミュレーションモデルであり、次のような特徴がある。① 周期 T_{sec} を50等分し、分割した時間間隔 $\Delta T = T/50$ ごとの到着台数および発進台数を、図-1に示すようにヒストグラムによって表わし、これによって交通パターン(車群パターン)を表現する。② 信号区間を走行するとき、車群は拡散するが、この拡散現象を次式によって表現する。

$$q'_{i+t} = Fq_i + (1-F)q'_{i+t-1} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 q_i は第 i 番目時間間隔の発進台数、 q'_i は隣接下流側交差点の到着台数、 t は信号区間の平均旅行時間の0.8倍である(単位は ΔT_{sec} である)。 F は平滑化係数であり、実測結果から t の関数として $F = 1/(1 + 0.5t)$ なる経験式を導いている。③ 交差点流入部における待ち台数 m_i は次式によって計算する。

$$m_i = \max\{m_{i-1} + q_i - s_i, 0\} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 q_i は i 番目時間間隔の到着台数、 s_i は飽和状態における流出台数である。ただし、赤信号のときの s_i の値は0である。

TRANSYTでは交通流について次の基本的な仮定を設けているが⁹⁾、ここでもこの仮定をそのまま用いることにする。① 計算対象エリア両端交差点への到着交通量は一樣であるとする。したがって、両端交差点からの流入交通パターンは図-2のようになる。すなわち、青信号前半の交通量は飽和流量 s 台/sec、後半は平均交通量 q 台/secである。② 右左折率は周期内で一定とする。したがって、右左折によって交差道路に流出する交通および交差道路から流入する交通がある場合の発進パターンは図-2の破線のようになる。右左折による流入があるため、一般に各信号区間の交通量は互いに異なる。以上の仮定のほか、ここでは次の仮定を設ける。③ 沿道からの出入交通はないとする。④ 走行速度 V km/hr と交通量 Q 台/hr は次の $Q-V$ 式に従うものとする¹⁰⁾。

$$V = 53.51 - 0.006 Q \dots \dots \dots (3)$$

(2) 遅れ時間

本研究では、TRANSYTの方法によって遅れ時間を求めることとする⁹⁾。TRANSYTでは次のようにして遅れ時間を求めている。まず、いま考えているサブエリア両端から図-2に示す定形パターンの交通を流入させ、各信号区間のオフセットを条件として、順次下流端交差点までシミュレーションを行い、各交差点における到着交通パターンを求める。この結果、各交差点の q_i ($i=1, 2, \dots, 50$) が決定するので、次に式(2)によって待ち台数を計算する。待ち台数の変化を図-1に示す。待ち台数が m_i のとき、微小時間 ΔT の間に生じる遅

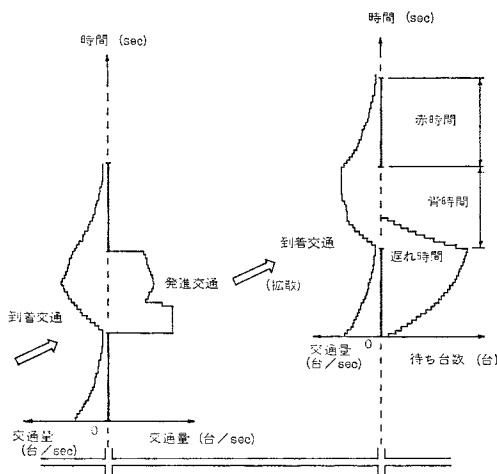


図-1 TRANSYTモデル

れ時間は $m_i dT$ である。したがって、1周期当りの遅れ時間は $\sum m_i dT$ となる。これは待ち台数を表わす曲線と横軸で囲まれた部分の面積に相当する。単位時間当りの遅れ時間 d_1 (台・sec/sec) は次のようになる。

$$d_1 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{50} m_i dT = \frac{dT}{T} \sum_{i=1}^{50} m_i = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} m_i \dots (4)$$

これによって得られる遅れ時間は毎周期交通量および到着交通パターンが一定である場合の遅れ時間である。ところが実際の交通量はランダムに変動しており、周期ごとに交通量は異なる。このように交通量がランダムに変動すると、遅れ時間が増加する。このランダム変動に起因する遅れ時間 d_2 (台・sec/sec) は、

$$d_2 = \frac{x^2}{4(1-x)} \dots (5)$$

である。ここに x は、青時間 (sec) を G で表わすと、 $x = qT/sG$ によって定義される無次元の量である。この x は交通需要の強さを表わし、たとえば $x > 1$ となれば、スプリットを大きくしないかぎり、交通処理が不可能になることを示すものである。結局、TRANSYT では、流入部ごとの遅れ時間を $d_1 + d_2$ によって求めている。

系統化されない区間、すなわち隣接2信号の周期が異なる信号区間（これをここでは非系統区間と名づける）については、両信号の青開始時点のずれの大きさ（系統区間の場合に準じて、便宜上これもオフセットと名づける）が周期ごとに異なる。したがって、遅れ時間も周期ごとに異なることになる。そこで非系統区間におけるオフセットの確率分布は一様分布であると考へ、遅れ時間の期待値をとり、これを非系統区間の遅れ時間とする。すなわち、車群の到着時刻を、上流の信号周期の 1/50 ずつ変化させ、そのつど上述の方法で遅れ時間を求め、その平均をもって期待遅れ時間とする。非系統区間の遅れ時間は、発進交通パターンを 図-2 のように仮定して求める。このような仮定は、実際の交差点では、青信号開始直後に信号待ち車両が発進し、飽和状態になる場合が多いと予想されることに基づいたものである。

なお、系統区間あるいは非系統区間のいずれの信号区間についても、遅れ時間は上下両方向の交通が下流側交差点において被る遅れ時間の合計とする。

(3) 上流の影響

上流のオフセットパターンの影響を考慮しない場合と、これを考慮した場合の両方について検討する。

a) 上流の影響を考慮しない場合

発進交通パターンは、上流のオフセットには関係なく、図-2 に示すような定形のパターンになると考えた場合である。したがって、遅れ時間

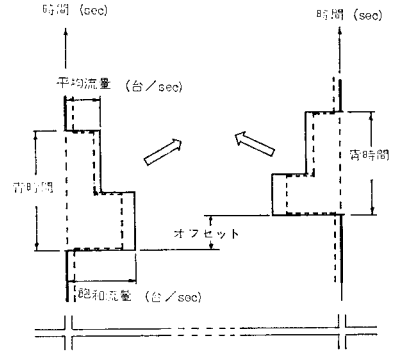


図-2 サブエリア両端交差点からの流入交通パターンおよび非系統区間の発進交通パターン

は、考えている区間の相対オフセットと周期のみの関数となる。この仮定は、飽和度の小さい交差点では現実的妥当性を欠くという欠点があるものの、演算時間が短くてすむのが長所である。

b) 上流の影響を考慮した場合

これは、最適化の過程でオフセットが変化すれば、そのつど TRANSYT モデルによってシミュレーションを行い、交通パターンを求めるという手順による場合である。したがって、この場合では、ある信号区間の発進交通パターンは 図-2 のような一定のパターンではなく、上流区間のオフセットに応じたパターンとなる。たとえば、発進交通のピークが青信号前半に現われる場合もあり、後半に現われる場合もあるほか、ピークが二つ出現する場合も考えられる。このような仮定による場合であっても、DP 計算の各段で計算対象となっているサブエリア両端交差点からの流入パターンは定形であると仮定する。このような仮定に基づいて行った計算の結果は、サブエリアの分割数が多くなるほど、上流の影響を考慮しない場合の計算結果に近づくことになる。

3. DP の定式化と計算方法

最適化の対象路線を 図-3 のように考える。すなわち、信号区間の番号を左から 1, 2, ..., N とし、信号の記号を左から $S_0, S_1, S_2, \dots, S_N$ とする。また、左から右に向かう方向を上り方向とする。DP の定式化において用いる記号を次のように定義する。

$f_n(M, T)$: 信号 S_n の周期を T sec とし、かつ信号 $S_0 \sim S_n$ を M 個のサブエリアに最適分割したとき、

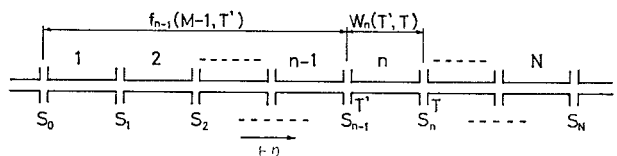


図-3 対象路線

信号区間 1~n における遅れ時間 (台・sec/sec)

$W_n(T', T)$: 信号区間 n の下り側信号 S_{n-1} の周期を T' とし, 上り側信号 S_n の周期を T としたとき, 信号区間 n における遅れ時間 (台・sec/sec)

ここで, T' および T は, 離散型変数である.

DP による最適化計算の第 1 段は, 信号区間 1 (図-4) について,

$$f_1(1, T) = W_1(T, T) \dots\dots\dots (6)$$

$$f_1(2, T) = \min_{T'(\neq T)} W_1(T', T) \dots\dots\dots (7)$$

の計算を行うことである. 式 (6) の右辺は, 信号区間 1 の両端信号 S_0 と S_1 を別のサブエリアに分割するのではなく, 両信号の周期を等しくし, 両信号間に最適オフセットを与えて系統制御を行ったときの最小遅れ時間である. 式 (7) は信号 S_0 と S_1 を異なる周期で制御した場合, すなわち信号 S_0, S_1 を別のサブエリアに分割した場合の期待遅れ時間を T' について最小化することを表わしている. 次に DP の一般式は, 図-3 を参照して次のように書くことができる.

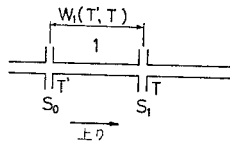


図-4 信号区間 1

$f_n(M, T) = \min_{T'(\neq T)} [\min \{ f_{n-1}(M-1, T') + W_n(T', T) \}, f_{n-1}(M, T) + W_n(T, T)]$
 $(n=2, 3, \dots, N) \dots\dots\dots (8)$

[] 内の第 1 項は信号 S_{n-1} と S_n を別の周期によって制御した場合, すなわち信号区間 n において左右にエリア分割し, サブエリアを一つ増やして M 個とした場合における, 信号区間 1~n の総遅れ時間の最小値である. 第 2 項は信号区間 n でエリア分割を行わず, サブエリアを M 個のままとし, 周期 T のサブエリアを信号 S_n まで延長した場合の総遅れ時間である. ここで上流の影響を考慮する場合, 周期 T のサブエリアについては, 両端交差点からの流入交通パターンを定形とし, あらためてオフセットパターンを最適化し, 遅れ時間を求める. 式 (8) は, この二つの項のうち小さい方を $f_n(M, T)$ とすることを表わしている.

このように第 1 段の計算は式 (6) および (7) によって行い, 第 2~N 段の DP 計算は式 (8) を繰り返し用いることによって行い. 計算手順の全体構成は図-5 に示すとおりである. 式 (6)~(8) によって DP 計算を行う場合, 右辺の各項のうち, 系統区間の最小遅れ時間 $W_n(T, T)$ および非系統区間の期待遅れ時間 $W_n(T', T)$ の値が必要である. 遅れ時間は TRANSYT モデルを用いたシミュレーションによって求めるが, 周期およびオフセットパターンを与えれば求めることができるように, サブルーチン化しておく. 系統区間の最

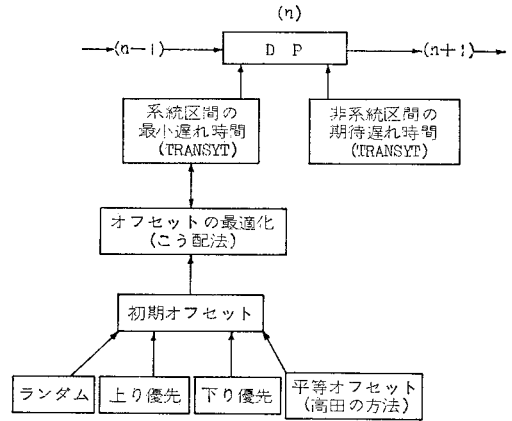


図-5 計算手順の全体構成

小遅れ時間は, このサブルーチンに最適オフセットパターンを与えたときに得られる遅れ時間である. また, オフセットパターンについては, このサブルーチンを頻繁に引用しながら最適化する. すなわち, 最適のオフセットパターンは, 遅れ時間を多峰性の関数と考えて, いくつかのランダムオフセット, 上り優先オフセット, 下り優先オフセット, および通過帯法による平等オフセット¹⁾を初期オフセットとして, それぞれ勾配法を適用してオフセットパターンを求め, この中から最適のものを選ぶという方法によって求める. ただし, このようにして求めたオフセットパターンは, 遅れ時間を全域的最小にするものであることを, 厳密には必ずしも保証しない. 真の最適オフセットパターンを求めるためには, 数多くの初期オフセットを選んで勾配法による計算を行うなどの方法も考えられるが, 演算時間が長くなるという欠点がある. なお, 初期オフセットとして選んだもののうち, 平等オフセットは, 通常もっとも収束が早い, 乱数によって作成したランダムオフセットは一般に収束が遅いようである. したがって, 遅れ時間を計算する回数も多くなることになる.

以上で述べた DP による最適化計算の方法を具体的に説明するため, 図-6 の路線について計算する. DP の計算表は表-1 のようになる. この計算例は上流の影響を考慮しない場合のものである. ここで周期 T' および T は 50, 60, 70, 80, 90 sec の値をとるものとする. 第 1 段 ($n=1$) では, まず信号 S_0 の周期 T' と信号 S_1 の周期 T をともに 50 sec とし, 信号区間 1 の相対オフ

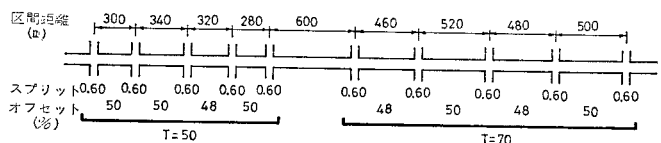


図-6 計算例 (上流の影響を考慮しない場合)

表-1 DP の計算表

信号区 間番号 n	分割数と周期		遅れ時間 $f_n(M, T)$	信号区間 n の 最適オフセット (%)		
	M	T'			M	T
1	50	1	50	3.82	50	
	60	1	60	4.74	50	
	90	1	90	7.62	50	
	60	2	50	7.42		
	50	2	60	7.42		
	50	2	90	8.43		
2	1	50	1	50	7.79	50
	1	90	1	90	15.84	50
	2	50	2	50	11.40	50
	1	50	2	90	12.20	
	2	60	3	50	14.82	
	2	50	3	90	15.81	
7	2	70	2	70	32.36	50
8	2	70	2	70	36.70	48
9	1	50	1	50	45.43	0
	2	70	2	70	41.30	50
	2	70	3	90	45.79	

T' : 下り側信号の周期 (sec), T : 上り側信号の周期 (sec)

セットを最適化すると 50% となる。このときの遅れ時間は $f_1(1, 50) = 3.82$ 台・sec/sec である。 $T' = T = 60, 70, 80, 90$ sec の各場合についても同様に最適オフセットと遅れ時間を求める。次に信号 S_1 の周期 T を 50 sec に固定し、信号 S_0 の周期 T' を 50 sec 以外の値すなわち 60, 70, 80, 90 sec とした場合のおおのについて期待遅れ時間を求め、その中の最小値を $f_1(2, 50)$ とする。ここでは $T' = 60$ sec のときが最小値である。この場合、二つの信号の周期が異なるので系統制御ではない。したがって、最適オフセットの欄は空欄である。 $T = 60, 70, 80, 90$ sec の各場合についても同様に期待遅れ時間の最小値とそのときの T' を求める。第 1 段の計算対象は 2 信号であるから、 $M = 3$ すなわちエリアを 3 分割する場合の計算はない。第 2 段 ($n = 2$) では、信号 S_2 を計算対象に追加して計算を行う。まず信号 S_2 の周期 T を 50 sec とし、信号 $S_0 \sim S_2$ を一つのエリアとして系統制御する場合は、信号区間 2 の上下両方向の発進パターンを定形としてオフセットを最適化したときの遅れ時間 $W_2(50, 50)$ に $f_1(1, 50)$ を加えたものが $f_2(1, 50) = 7.79$ 台・sec/sec となる。この場合、信号区間

2 の最適オフセットは 50% となる。信号 S_2 の周期 T が 60~90 sec のおのおの場合についても同様に計算する。なお上流の影響を考慮する場合は、信号 S_0 および S_2 からエリア内へ流入する交通パターンのみ定形とし、信号 S_1 からの発進交通パターンは上下両方向ともオフセットの変化に応じて再計算しながら、二つの信号区間のオフセットを同時に最適化する。次に信号 $S_0 \sim S_2$ を二つのサブエリアに分割する場合 ($M = 2$) のうち、 $T = 50$ sec のときは、式 (8) によって $f_1(1, 60) + W_2(60, 50)$, $f_1(1, 70) + W_2(70, 50)$, $f_1(1, 80) + W_2(80, 50)$, $f_1(1, 90) + W_2(90, 50)$ および $f_1(2, 50) + W_2(50, 50)$ の中から最小値を選ぶ。最初の 4 項は信号区間 2 において、最後の項は信号区間 1 においてそれぞれエリア分割した場合の遅れ時間である。この場合は、最後の項が 11.40 台・sec/sec で最小となるので、 $f_2(2, 50) = 11.40$ とする。この場合、信号区間 2 の最適オフセットは 50%、周期は 50 sec となる。この計算に用いる f_1 は第 1 段においてすでに得たものの一つであるが、いずれの f_1 であるのかを明らかにするため $f_1(2, 50)$ の () 内の 2 および 50 は表の第 2 欄に記入しておく。 $T = 60 \sim 90$ のおのおの場合、および $M = 3$ の場合についても同様にして、前段で求めた f_1 と新しく計算する W_2 の組合せの中から、式 (8) によって最小のものを f_2 とするという一連の計算を行えばよい。 $n = 3 \sim 9$ の各段の計算もまったく同様にして行うことができる。この場合、この計算例では $M \leq 3$ とし、四つ以上のサブエリアに分割する場合は考えない。このようにして最終の第 9 段 ($n = 9$) の計算が終了すれば、一連の f_n の中から最小値をさがす。この場合、41.30 台・sec/sec が最小値である。その左の欄から $M = 2$ および $T = 70$ sec であることがわかる。これは信号 S_0 の周期を 70 sec とし、路線全体を二つのサブエリアに分割するのが最適であることを意味している。また、表の第 5 欄から、信号区間 9 の最適オフセットは 50% となる。第 2 欄から M および T' はそれぞれ 2 および 70 sec であるから、第 8 段をみて、第 3 欄 M および T がそれぞれ 2 および 70 sec となっている行をさがす。そうすると信号区間 8 の最適オフセットは 48% であることがわかる。この行の第 2 欄は 2 および 70 sec であるから、第 7 段の第 3 欄が 2 および 70 sec となっている行をさがす。このように表を逆にたどっていくと、最適周期と最適オフセットがすべて定まる。これを図-6 に示す。結局、信号区間 5 において左右にエリア分割し、左側のサブエリアを周期 50 sec、右側のサブエリアを周期 70 sec で制御するのが最適であり、そのときの総遅れ時間は 41.30 sec であるということになる。

4. 計算例とサブエリア分割の特徴

3. で述べた方法によって、いくつかのモデルケースのサブエリア分割と系統周期の最適化を行った。その結果を図-7に示す。サブエリアの最適分割を示す直線のうち、実線は上流の影響を考慮しない場合、破線は上流の影響を考慮した場合のものである。また、区間距離(m)、スプリット、上り方向および下り方向の交通量(台/hr)は図中に示すとおりである。これらの最適化計算において、 T' および T のとる値は 50, 60, 70, 80 および 90 sec のいずれかであるとする。各交差点の流入部の飽和流量 s はいずれも 3600 台/hr とし、1 周期中のロス時間 L は 12.0 sec とする。路線方向の有効荷時間(sec)は次式によって算出する。

$$G = \pi(T - L) \dots \dots \dots (9)$$

ここに、 π はスプリットである。

(ケース 1)

ケース 1 は 15 信号からなる路線で、交通量およびスプリットが全線一定の場合である。このように交差点ご

との交通条件や信号条件が同一の場合は、エリア分割を行わず、全信号を一つの周期で制御するのが最適であるということになった。上下両方向の交通量がともに 1800 台/hr である場合についても、やはりエリア分割を行わず、全体を 80 sec の周期で系統制御するのが最適であるという結果が得られた。ケース 1 では、右左折による流出交通量および流入交通量はともに本線交通量の 10% としている。この右左折による流出入率を大きくしていくと、本線交通は次第に車群のない様流に近づく。その結果、系統制御の効果(オフセット効果)がなくなり、各交差点ごとの条件に応じた制御が最適になると予想される。そこで、ケース 1 について右左折流出入率を大きくして計算すると、上流の影響を考慮しない場合は 30%、上流の影響を考慮した場合は 40% の右左折流出入率になれば、二つのサブエリアに分割するのが最適であるという結果が得られた。

(ケース 2)

ケース 2 は、ケース 1 と同じ路線を対象とするが、路線の左半分と右半分とは交通量が異なるような場合である。路線の左半分を都心の交通量の多いエリア、右側

を郊外部にそれぞれ対応させて考えることができる。計算の結果、交通量の多いエリアは大きい周期、少ないエリアは小さい周期で制御するのが最適であるということになった。

(ケース 3)

ケース 3 も、ケース 1 と同じ路線を対象とするが、交通量は路線の中央部で多く、両翼部分では少ない場合である。これは都心を貫通するような路線を想定したケースである。計算の結果、やはり中央の交通量の多いエリアは大きい周期、両翼のエリアは小さい周期で制御するのが最適であるということになった。

(ケース 4)

ケース 4 は、ケース 1 と同じ道路、同じ交通量を対象とした場合であるが、スプリットの小さい信号を一つ含んでいるのが特徴である。この信号は交通容量上のネックになるので、50 sec より大きい周期で制御し、その結果、三つのサブエリアに分割するのが最適であるということになった。この場合、上流の影響を考慮した場合としない場合では多少異なる結果となった。しかし、上流の影響を考慮しない場合の計算結果から、 $f_N(3, 50)$ に対応する分割政策を求めると、最適政策の場合より遅れ時間が約 1.0% 大きくなるが、上流の影響を考慮した場合の最適政策とまった

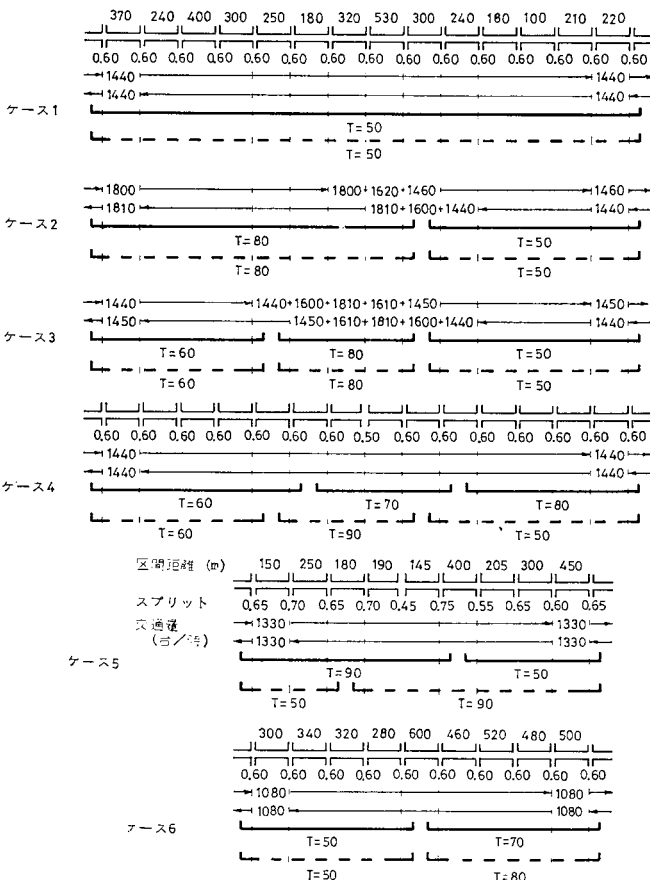


図-7 サブエリアの最適分割と最適系統周期

く同じであることがわかった。

(ケース5)

ケース5では、ケース1~4とは別の路線の最適分割を求めるため、高田らが平等オフセットの計算例に用いた路線¹³⁾を対象に計算を行った。交通量は1330台/hrである。この場合も上流の影響を考慮した場合としない場合では多少異なる結果となった。しかし、いずれの場合も二つのサブエリアに分割し、スプリット0.45の信号を含むサブエリアの周期は一方のサブエリアの周期より大きくするのが最適であるという結果になっている。同じ道路、信号条件について、交通量を1080台/hrとした場合の計算では、全体を一つの周期で制御するのが最適であり、二つのサブエリアに分割した場合は、これより遅れ時間が約0.5%程度大きくなるという結果になった。

(ケース6)

ケース6は、対象路線の左4区間を周期50secで、右4区間を周期80secで系統制御すればオフセット効果がよくなるような距離(VT/2)に近い区間距離を意識的に配列した特殊のケースである。この路線を対象としてDP計算を行った結果、各交差点のスプリットや交通量が等しい場合であるにもかかわらず、二つのサブエリアに分割するのが最適であることがわかった。この結果は、各交差点のスプリットや交通量のほか、区間距離をも考慮してサブエリア分割を行う必要のあることを示している。なお、このケースでは、上流の影響を考慮した場合としない場合では最適周期が異なっている。しかし、上流の影響を考慮しない場合の計算結果から、 $f_N(2, 80)$ に対応する分割政策を求めると、最適分割の場合に比べて約0.3%遅れ時間が大きくなるが、上流の影響を考慮した場合の最適政策とまったく同じであることがわかった。

以上のケース1~6の計算例から、次の特徴がわかった。交通流が比較的はっきりした車群から構成されていて、オフセット効果が期待できる場合は、原則としてエリア分割を行わず、一つの周期で全信号を系統制御するのがよい。ただし、スプリットの小さい信号を含むエリアとか交通量の多いエリアなどは、一部の例外もあるが、他のエリアより大きい周期で制御するのがよい。また、各交差点のスプリットや交通量が等しい場合であ

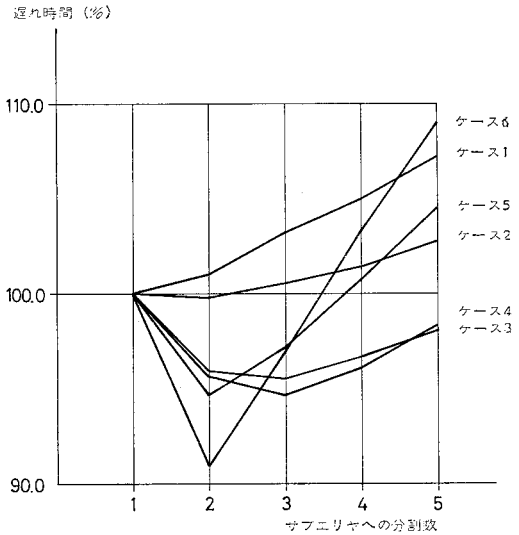


図-8 サブエリアへの分割数と遅れ時間の関係

ても、区間距離の大きさおよびその配列によっては、いくつかのサブエリアに分割するのがよい。

次にサブエリアの分割数と遅れ時間の関係を見ると、図-8のようになる。縦軸は、エリア分割を行わず、全信号を一つの周期で制御したときの遅れ時間を100とした場合の指数で表わした遅れ時間である。この図は上流の影響を考慮しない場合の計算結果を示したものである。M個のサブエリアに分割したときの遅れ時間は、 $f_N(M, T)$ のTに関する最小値である。図-7に示したとおり、ケース1はサブエリアに分割しない、ケース2, 5, 6は全体を2分割する、ケース3, 4は3分割するのがそれぞれ遅れ時間を最小にする最適政策である。図-8は、分割数がこの最適数より遠ざかるに従って、遅れ時間が単調に増加することを示している。上流の影響を考慮した場合の計算もこれとほとんど同様の結果となっている。10~15信号程度の規模の路線を対象としたこれらの計算結果に関するかぎり、対象路線をサブエリアに最適分割し、それぞれのサブエリアを最適周期で制御しても、サブエリアに分割しない系統制御に比べ、遅れ時間にしてせいぜい10%程度制御効果が改善されるに過ぎない。これは、いったん系統化した路線については、エリア分割を行い、制御を高度化してもあまり顕著な効果が期待できないことを示唆したものであ

表-2 最適オフセット

(単位: %)

信号区間														
ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	50	48	48	48	50	48	48	98	50	50	46	96	50	48
2	48	24	48	48	50	12	52	50		50	46	96	54	48
3	48	50	50	48		98	50	50		50	46	96	52	48
4	48	50	50	48		96	56	46		50	48	0	52	50
5	98	52		4	92	56	92	58	46					
6	50	50	50	50		52	50	50	48					

る。

ケース 1~6 の計算例において、最適分割、最適周期と同時に求められた最適オフセットを表-2 に示す。単位は周期に対する%である。同時式あるいは交互式に近いオフセットが数多く得られた。

以上の計算例以外に、5~6 信号程度の規模の小さい路線を対象に、各種交通条件、道路条件、信号条件について DP による最適化計算を行ったところ、いずれもエリヤ分割は行わず、全信号を一つの周期で系統制御を行うのが最適であるという結果が得られた。これは、小規模の路線では、エリヤ分割を行ったときの非系統区間の遅れ時間損失を、他の少数区間の系統効果によって回復しようとしても不可能であることを示すものである。

なおエリヤ分割の最適化計算では、隣接 2 信号の周期は互いに独立に選ぶことができるとしているが、距離が短い区間については、貯留容量が不十分であるから、このような前提に基づいて計算を行うのは必ずしも適当でない。このような信号区間の両端信号については、周期およびオフセットに一定の制約条件を設けて計算を行うのがよいと思われる。

5. むすび

本研究は、路線制御について、信号群をいくつかのサブエリヤに分割し、サブエリヤごとに異なった周期で系統制御を行う場合について、サブエリヤへの最適分割と最適系統周期を同時に求める方法を提案し、最適分割の特徴について検討したものである。その内容を要約すると次のとおりである。

(1) 遅れ時間を評価基準とし、系統周期とオフセットの同時最適化を試みたこと、エリヤ分割を行わない場合の最適制御も同時に統一的に求めたことなどが本研究の特色である。

(2) 遅れ時間はシミュレーションによって求め、オフセットは勾配法によって最適化し、エリヤ分割と系統周期は DP によって最適化した。

(3) その結果、交通流が比較的はっきりした車群から構成されていて、かつ各交差点のスプリットや交通量が一定の場合は、エリヤ分割を行わず、一つの周期で全信号を系統制御するのがよいが、これらが一定でない場

合は、一部の例外もあるが、スプリットの小さい信号を含むエリヤとか交通量の多いエリヤは大きい周期で制御し、他のエリヤはこれより小さい周期で制御するのがよいということがわかった。

(4) ただし、スプリットや交通量が一定であっても、信号区間距離の大きさおよびその配列によっては、エリヤ分割を行うのがよい場合もあることがわかった。

(5) 本研究の計算例から判断するかぎり、すでに適切な系統化が行われている路線については、エリヤ分割を行い、制御の高度化を図っても、制御効果を飛躍的に高めることはあまり期待できないと思われる。

本研究では、交通量の時間的変動を考慮していないので、今後は 1 日の交通量変動パターンを考慮した制御パターンの変更についても検討する必要があると思われる。なお、数値計算は、徳山工業高等専門学校電子計算機室 NEAC システム 400 (ACOS-4) によった。

参考文献

- 1) Webster, F.V. : Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper No. 39, pp. 28~36, 1958.
- 2) 奥谷 巖・霜田宜久 : 街路網における複数信号機の周期およびスプリットの最適化, 土木学会論文報告集, No. 234, pp. 121~130, 1975 年 2 月.
- 3) 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, No. 241, pp. 125~133, 1975 年 9 月.
- 4) Little, J.D.C. : The Synchronization of Traffic Signals by Mixed-Integer Linear Programming, Operations Research, Vol. 14, pp. 568~594, 1966.
- 5) 松永典昭 : 交通信号 (6), 交通工学, Vol. 2, No. 2, pp. 38~41, 1967 年.
- 6) 星埜 和ほか : 東京都心部広域信号制御システムの概要, 交通工学, Vol. 5, No. 3, pp. 3~30, 1970 年.
- 7) 高松武一郎 : プロセスシステム, 日刊工業新聞社, pp. 160~165, 昭和 47 年 3 月.
- 8) Robertson, D.I. : TRANSYT : A Traffic Network Study Tool, RRL Report LR 253, 1969 年.
- 9) 枝村俊郎・久井 守・藤井登史雄 : DP による系統信号の最適化とシミュレーションによる検討, 土木学会論文報告集, No. 209, pp. 115~122, 1973 年 1 月.
- 10) 越 正毅・武田宏夫 : 道路交通容量資料の分析 (わが国既存資料に基づく総合的分析), 交通工学, Vol. 4, No. 5, pp. 18~27, 1969 年.
- 【11】 高田 弘・粟本 譲 : 系統信号方式による街路交通制御に関する一考察, 土木学会論文集, No. 124, pp. 11~20, 1965 年 12 月.