

# 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

## OPTIMUM SETTING OF THE OFFSETS OF COORDINATED SIGNALS BY DYNAMIC PROGRAMMING AND ITS EVALUATION

枝村俊郎\*・久井 守\*\*・藤井登史雄\*\*\*  
By Toshiro Edamura, Mamoru Hisai and Toshio Fujii

### 1. まえがき

都市の街路では、相隣るいくつかの信号の周期を統一して、互いに一定の位相のずれ(オフセット)を与え、できるだけ交通流を円滑にするいわゆる系統式信号制御が広く行なわれている。最近では、これを線から面に広げた広域制御も普及しはじめているが、この場合でも、基本的な制御論理は、系統制御を発展させたものが用いられることが多いようである。

従来用いられてきた系統信号オフセット方式の代表的なものとして、通過帯幅を評価基準とした方式がある。これは車が一定速度で走行した場合に信号待ちをせずに一連の信号機群を通過できる時間幅が最大となるようにオフセットを設定する方法である。ただ、このような制御方法が制御目的(たとえば、遅れ時間を最小にすること)にかなっているという保証はない。

また優先オフセットは、オフセットを車群の走行時間に等しくなるように設定するものであり、このオフセットを与えられた方向の車群については、遅れ損失が最小となる。交通流が飽和の場合、この優先オフセットが2方向流についても最適オフセットとなることはすでに証明されているが<sup>1)</sup>、交通流が不飽和の場合には、この優先オフセットが路線全体の交通損失を最小にするとはいえない。

われわれは、先に交通流が不飽和の場合に路線全体の遅れ損失を最小とするような最適オフセットをダイナミックプログラミングを用いて求めることを発表したことがある<sup>2),3)</sup>。

しかるにその後、勅使河原によって、すでに、われわれの研究とほぼ似た考え方で、DPを用いた解法<sup>4)</sup>が発

表されていることを知った。彼の場合は、交通流は2つの飽和流からなると仮定している。また、奥谷も面制御へのDPの適用に関する研究<sup>5)</sup>を行なっているが、この場合は、交通損失は、隣接する2交差点間のオフセットおよび交通量の関数のみによって表わされるとしている。

ところで、一般に、通常のDPの適用されるシステムでは、その中を流れるものの流れの方向が一方に限定されているのが普通である。われわれは交通流の場合は、これが2方向であることに特に注意して最適化を図る必要があることを認めた。過去の研究においては、このことが考慮されていないか、あるいは必ずしも明確に指摘されていなかったように思う。この報告で示すような方法を用いないと、主として考える流れの方向によって解が異なり、したがって最適性が保証されない。研究の過程における多数のシミュレーションの結果も、このことを明白に示すものであった。

また系統式信号制御においてDPを適用する場合には、実用上、交通流に大きい仮定をおかざるを得ない。われわれの場合は、交通流を不飽和流とし、したがって、車群は信号交差点において濃縮され、走行中に拡散すると仮定していることもひとつの特徴である。

本報告は、不飽和流、交通の2方向性を考慮したDPによる系統信号最適化の解法と、その結果としてのオフセットの特徴に関する考察、またシミュレーションによる、平等オフセット、優先オフセットとの比較について述べたものである。

### 2. 解析に用いた仮定

#### (1) 交通流の仮定

信号交差点の赤現示で停止させられた車は青現示でひとつの車群を形成して発進する。交通流が不飽和な場

\* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学教室

\*\* 正会員 工修 神戸大学助手 工学部土木工学教室

\*\*\* 正会員 工修 神戸市都市計画局

合、この車群をどのように取扱うかはむずかしい問題であるが、ここでは、交通流を流体的に取扱い、単一の矩形波と仮定する。したがって、1周期当たりの交通量  $Q$  は

$$Q = aL \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $a$  は交通密度 (台/sec)、 $L$  は車群長 (sec) を表わす。交差点を発進した車群は走行速度の相違から変形するが、ここでは到着車群長  $L$  と発進車群長  $L_0$  の間に次式の関係が成立するものと仮定する。

$$L = cD + L_0 \dots\dots\dots (2)$$

この式は車群の広がり距離とともに一定の割合で広がるとしたもので、 $c$  は経験的に定まる広がり係数、 $D$  は交差点間距離 (m) を示す。

(2) 発進波形の仮定

車群の到着状況によって発進波形は種々の形をとるが、解析を容易にするために、つねに車群は図-1の点線のように等密度発進をすると仮定する。

図-1(a) は本来ならば発進波形が2段になる場合、(b) は赤信号によって車群が2つに分割される場合、(c) は車群が停止をこうむらずに信号交差点を通過する場合の発進波形の仮定を示したものである。この(c)の場合は、車群長以外に車群の位置を表わす変数を導入すれば解決する。しかし、変数が増加すれば計算時間が非常に増加するために、ここではやはり(c)の点線で示したような仮定を用いる。

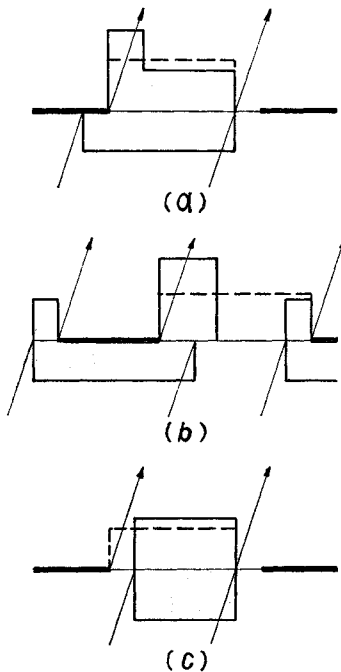


図-1 発進波形の仮定

(3) 遅れの計算式

車群の波形に関して上記のような単一の矩形波を仮定すると、遅れの計算式は車群の到着状況に応じて次の6つの式でつくされる<sup>9)</sup>。

$$W = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$W = \frac{ad}{2(d-a)} (X+L-G)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$W = \frac{ad}{2(d-a)} R^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$W = Q(X-G) + \frac{Q}{2d} (dL+Q) \dots\dots\dots (6)$$

$$W = \frac{a}{2d} \{- (d-a)X^2 + 2(dG-aT)X + dRT - dGT + aT^2\} \dots\dots\dots (7)$$

$$W = (aT-Q)(T-X) + \frac{ad}{2(d-a)} (L-G)^2 \dots\dots\dots (8)$$

- ここに  $W$  : 遅れ時間 (台・sec/cycle)
- $a$  : 到着交通密度 (台/sec)
- $d$  : 発進飽和交通密度 (台/sec)
- $X$  : 車群の後端から青時間終了時までの時間 (sec)
- $L$  : 車群の時間長さ (sec)
- $G$  : 有効青時間 (sec)
- $R$  : 赤時間 (sec)
- $T$  : 周期 (sec)  $T = G + R$
- $Q$  : 交通量 (台/cycle)

たとえば、図-2の場合の遅れ時間は  $W$  で示された面積であり、式(4)に相当する。

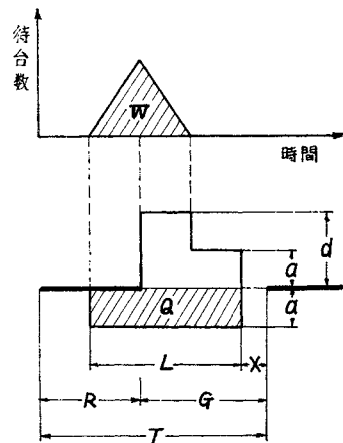


図-2 記号の説明

(4) その他の仮定

車群は幹線方向についてのみ取扱い、支線から幹線への流入、および幹線から支線への流出は考慮しない。また車群の走行速度は上り方向、下り方向ともに対象区内で一定とし、等しいと仮定する。なお発進遅れ時間および黄時間は赤時間を含み、赤青2現示とする。

3. DP による路線系統の最適化

制御目的として路線全体の総遅れ時間をとる。この遅

れ時間に影響をおよぼす要因は、式 (3)~(8) の遅れの計算式からわかるように、到着車群長  $L$ 、周期  $T$ 、有効青時間  $G$ 、発進飽和交通密度  $d$ 、到着交通密度  $a$ 、および到着車群の後端から青時間終了時までの時間  $X$  が考えられる。すなわち遅れ時間  $W$  は

$$W = W(L, T, G, d, a, X) \dots\dots\dots(9)$$

いま  $T, G, d$  および広がり係数  $c$ 、交差点間距離  $D$ 、交通量  $Q$  が既知であるとすれば、式 (9) は最終的に発進車群長  $L_0$  と  $X$  の関数であることができる。すなわち

$$W = W(L_0, X) \dots\dots\dots(10.a)$$

解析を進めるにあたって、各変数は周期で規準化したものを用いる。 $L_0$  を周期で規準化したものを  $\lambda$ 、同様に  $X$  については  $\xi$  という記号を使用すると、

$$W = W(\lambda, \xi) \dots\dots\dots(10.b)$$

交通は上り方向と下り方向の両方向交通を考えているために、記号に ' (ダッシュ) を付けたものを便宜上上り方向の交通を表わすものとする。式 (10.b) を用いて、われわれは目的関数を次式のように表わすことができる。

$$J = \min_{\substack{\xi_1, \dots, \xi_N \\ \xi'_1, \dots, \xi'_N}} \sum_{n=1}^N (W_n(\lambda_n, \xi_n) + W'_n(\lambda'_n, \xi'_n)) \dots\dots\dots(11)$$

この式 (11) で表わされる路線全体の遅れ損失を最小とする最適決定  $\xi_n^*(n=1, 2, \dots, N)$  を探索することが目的である。ここに  $N$  は信号区間数である。

DP を適用する際には式 (3)~(8) からわかるように、遅れの計算式は  $X$  のある範囲内で 2 次式かつ不連続であるから格子探索法を用いる。ここでは入力としての発進車群長  $\lambda$  を可能な範囲内で、あるきざみ幅で変化させるものとする。 $\lambda$  の可変領域は

$$q/d \leq \lambda \leq g \dots\dots\dots(12)$$

ここに、 $q$  は交通量 (台/sec)、 $g$  はスプリットでそれぞれ  $Q, G$  を周期で規準化したものである。

入力のきざみ幅を  $d\lambda$  とすると、

$$\lambda = q/d + m d\lambda \dots\dots\dots(13)$$

ここに、 $m$  は正の整数である。入力と出力および決定変数の関係は次のようになる (図-3 参照)。下り方向の車群に関しては

$$\bar{\lambda}_n = cD + \lambda_n \dots\dots\dots(14)$$

ここに、 $\bar{\lambda}_n$  は交差点到着時の車群長である。

$c$  および  $D$  が既知であるため、入力  $\lambda_n$  と出力  $\bar{\lambda}_n$  の関係は式 (14) および

$$\bar{\lambda}_n = F_1(\bar{\lambda}_n, \xi_n) \dots\dots\dots(15)$$

より

$$\bar{\lambda}_n = F_2(\lambda_n, \xi_n) \dots\dots\dots(16)$$

となる。

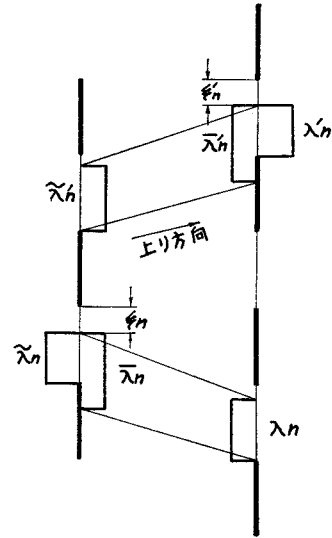


図-3 入力と出力の関係

この出力がひとつ前の段階の入力となり、DP における入力と出力の関係を満足している。

次に上り方向の交通流についてみると、上り方向の交通流の向きは DP の多段階決定過程のシステムの流れと逆方向である。したがって、次に示すような操作を行なう必要がある。まず図-3 からわかるように

$$\bar{\lambda}'_n = cD + \bar{\lambda}'_n \dots\dots\dots(17)$$

また

$$\lambda'_n = F_3(\bar{\lambda}'_n, \xi'_n) \dots\dots\dots(18)$$

式 (17), (18) より

$$\lambda'_n = F_4(\bar{\lambda}'_n, \xi'_n) \dots\dots\dots(19)$$

ここで、入力  $\lambda'_n$  および出力  $\bar{\lambda}'_n$  は先に述べたようにあるきざみ幅で変化するものと仮定している。したがって、ひとつの入力  $\lambda'_n$  と、可能なすべての出力  $\bar{\lambda}'_n$  との組合せにおいて、入力と出力の関係を満足するように決定変数  $\xi'_n$  を操作すると考えれば式 (19) は式 (20) のように書きなおすことができる。

$$\bar{\lambda}'_n = F_5(\lambda'_n, \xi'_n) \dots\dots\dots(20)$$

式 (20) は式 (19) と同様に入力と出力の関係を示したものであり、最終的に DP の定式化は次式で表わすことができる。

$$f_n(\lambda_n, \lambda'_n) = \min_{\xi_n, \xi'_n} [W_n(\lambda_n, \xi_n) + W'_n(\lambda'_n, \xi'_n) + f_{n-1}(F_2(\lambda_n, \xi_n), F_5(\lambda'_n, \xi'_n))] \dots\dots\dots(21)$$

式 (21) は  $\xi_n$  と  $\xi'_n$  という 2 つの決定変数を含んでいるが、 $\xi_n$  と  $\xi'_n$  は互いに独立でないことを図-4 の幾何学的関係から導き出すことができる。設計系統速度  $V$  (m/sec) による交差点間の走行所要時間を周期で規準化したものを  $\tau$  とすると

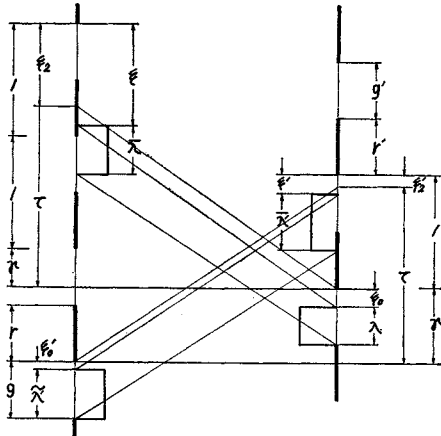


図-4  $r, \xi, \tau$  の関係

$$\tau = \frac{D}{TV} \dots\dots\dots (22)$$

相対オフセット  $r$ , および  $r'$  は

$$\left. \begin{aligned} r &= \max(\xi_2 + \tau) \\ r' &= \max(\xi_2' + \tau) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23)$$

ここに  $\max(\ )$  は仮数を表わす。また、 $\xi_2$  は青時間いっぱいに進んだ車群の後端の到達時点から青時間終了時点までの時間である。

$r$  と  $r'$  の関係は

$$r + r' = 1 \dots\dots\dots (24)$$

また式 (23), (24) より  $\xi_2$  と  $\xi_2'$  の関係は

$$\xi_2 = \max(1 - 2\tau - \xi_2') \dots\dots\dots (25)$$

図からわかるように

$$\xi_2' = \xi' - \xi_0', \quad \xi_2 = \xi - \xi_0 \dots\dots\dots (26)$$

式 (25), (26) から到着車群の後端から青時間終了時までの時間  $\xi$  と  $\xi'$  の関係は次式ようになる。

$$\xi = \max(1 - 2\tau - \xi' + \xi_0 + \xi_0') \dots\dots\dots (27)$$

式 (27) に示されるように  $\xi$  は  $\xi'$  の関数である。したがって式 (21) は式 (28) のように書くことができる。

$$\begin{aligned} f_n(\lambda_n, \lambda_n') = \min_{\xi_n'} [ & W_n(\lambda_n, \xi_n) + W_n'(\lambda_n', \xi_n') \\ & + f_{n-1}(F_2(\lambda_n, \xi_n), F_5(\lambda_n', \xi_n')) ] \end{aligned} \dots\dots\dots (28)$$

また  $\xi'$  とオフセット  $r'$  の関係は、図-4 より

$$r' = \max(\xi' - \xi_0' + \tau) \dots\dots\dots (29)$$

式 (29) によって最適オフセットを求めることができる。

実際の計算は、次のような計算手順で行なう。まず、システムの流れからいえば最終段階に相当する第1段階から行なう。この第1段階では上り方向の車群の出力を  $\tilde{\lambda}_{1j}' = g$  とする。これは対象としている路線に流入する車群波形の仮定である。入力としては、下り方向に関しては第1段階にどのような形で流入するかが未知であるために、可能なすべての場合を考慮しなければならない

い。また上り方向についても第2段階以降にどのような影響を及ぼすかが未知であることから可能なすべての場合をつくる必要がある。入力としての車群長は、式 (13) の仮定によってあるきざみ幅で変化するために、たとえば  $\lambda_1$  に対し  $k$  個、 $\lambda_1'$  に対し  $l$  個の可能な入力があるとすれば、仮定すべき入力としては  $\lambda_1$  と  $\lambda_1'$  の組合せ、すなわち  $k \times l$  個の入力を仮定する。このおのおのの入力に対し  $\tilde{\lambda}_{1j}' = g$  を満足するような最適決定  $\xi_{1j}'$  が探索される (表-1 (a))。

一般に第  $n$  段階では、ある1つの入力 ( $\lambda_n, \lambda_n'$ ) に対し可能な出力 ( $\tilde{\lambda}_n, \tilde{\lambda}_n'$ ) との組合せにおいて、その出

表-1 入出力と総遅れ時間の関係

(a) 第1段階

入 力	遅れ時間	最適決定	出 力
$\lambda_{11} \quad \lambda_{11}'$	$f_1(\lambda_{11}, \lambda_{11}')$	$\xi_{11}'$	$\tilde{\lambda}_{1i}$ は任意 $\tilde{\lambda}_{1j}' = g$ (初期値) $i=1 \dots k$ $j=1 \dots l$
$\lambda_{12} \quad \lambda_{11}'$	$f_1(\lambda_{12}, \lambda_{11}')$	$\xi_{21}'$	
.....	.....	.....	
$\lambda_{1k} \quad \lambda_{11}'$	$f_1(\lambda_{1k}, \lambda_{11}')$	$\xi_{k1}'$	
$\lambda_{11} \quad \lambda_{12}'$	$f_1(\lambda_{11}, \lambda_{12}')$	$\xi_{12}'$	
.....	.....	.....	
$\lambda_{1i} \quad \lambda_{1j}'$	$f_1(\lambda_{1i}, \lambda_{1j}')$	$\xi_{ij}'$	
.....	.....	.....	
$\lambda_{1k} \quad \lambda_{1l}'$	$f_1(\lambda_{1k}, \lambda_{1l}')$	$\xi_{kl}'$	

(b) 第  $n$  段階

入 力	総遅れ時間	最適決定	出 力
$\lambda_{n1} \quad \lambda_{n1}'$	$f_n(\lambda_{n1}, \lambda_{n1}')$	$\xi_{11}'$	$\tilde{\lambda}_{n1} \quad \tilde{\lambda}_{n1}'$
$\lambda_{n2} \quad \lambda_{n1}'$	$f_n(\lambda_{n2}, \lambda_{n1}')$	$\xi_{21}'$	$\tilde{\lambda}_{n2} \quad \tilde{\lambda}_{n1}'$
.....	.....	.....	.....
$\lambda_{nk} \quad \lambda_{n1}'$	$f_n(\lambda_{nk}, \lambda_{n1}')$	$\xi_{k1}'$	$\tilde{\lambda}_{nk} \quad \tilde{\lambda}_{n1}'$
$\lambda_{n1} \quad \lambda_{n2}'$	$f_n(\lambda_{n1}, \lambda_{n2}')$	$\xi_{12}'$	$\tilde{\lambda}_{n1} \quad \tilde{\lambda}_{n2}'$
.....	.....	.....	.....
$\lambda_{ni} \quad \lambda_{nj}'$	$f_n(\lambda_{ni}, \lambda_{nj}')$	$\xi_{ij}'$	$\tilde{\lambda}_{ni} \quad \tilde{\lambda}_{nj}'$
.....	.....	.....	.....
$\lambda_{nk} \quad \lambda_{nl}'$	$f_n(\lambda_{nk}, \lambda_{nl}')$	$\xi_{kl}'$	$\tilde{\lambda}_{nk} \quad \tilde{\lambda}_{nl}'$

(c) 最終段階

入 力	総遅れ時間	最適決定	出 力	
$\lambda_N = g_N'$ (初期値)	$\lambda_{N1}'$	$f_N(\lambda_{N1}')$	$\xi_{1}'$	$\tilde{\lambda}_N \quad \tilde{\lambda}_{N1}'$
	$\lambda_{N2}'$	$f_N(\lambda_{N2}')$	$\xi_{2}'$	$\tilde{\lambda}_N \quad \tilde{\lambda}_{N2}'$
	.....	.....	.....	.....
	$\lambda_{Nj}'$	$f_N(\lambda_{Nj}')$	$\xi_{j}'$	$\tilde{\lambda}_N \quad \tilde{\lambda}_{Nj}'$
	.....	.....	.....	.....
	$\lambda_{NI}'$	$f_N(\lambda_{NI}')$	$\xi_{I}'$	$\tilde{\lambda}_N \quad \tilde{\lambda}_{NI}'$

力に対応する  $f_{n-1}(\tilde{x}_n, \tilde{x}_n')$  と、第  $n$  段階における損失 ( $W_n + W_n'$ ) との和を最小とする最適決定  $\xi_n'$  が探索される (表-1 (b))。

最終段階は、上り方向に関しては、車群は対象としている信号機群を通過したため  $\lambda_N'$  は任意でよく、下り方向については一様に流入すると仮定しているため、 $\lambda_N = g_N'$  を初期値として与える。この初期値を与えた時点で、第 1 段階から第  $N$  段階までの全体の遅れ損失を最小とする第  $N$  段階の最適決定  $\xi_N^*$  が求まり、 $\xi_N^*$  に対応した出力  $\tilde{x}_N, \tilde{x}_N'$  が第  $(N-1)$  段階の入力に相当することから  $\xi_{N-1}^*$  が求まる。このようにして順次最適決定  $\xi_N^*, \xi_{N-1}^*, \dots, \xi_2^*, \xi_1^*$  が決定され、それに対応した最適オフセットが求まる (表-1 (c))。

#### 4. 最適オフセットの特徴

本章では路線全体の遅れ損失を最小とする最適オフセットを、ひとつの路線モデルについて実際に計算を行なって求め、その最適オフセットにどのような特徴があるかを考察することにする。いま路線モデルとして図-5 に示すものを用いる。計算に用いた数値は、系統速度  $V=40$  km/hr, 発進飽和交通密度  $d=0.85$  台/sec, 入力および出力のきざみ幅を 0.025 とし、交通量は上り方向と下り方向を等しいとして片側 720 台/hr (0.2 台/sec), 1080 台/hr (0.3 台/sec), 1440 台/hr (0.4 台/sec) の 3 種類, 周期は 60 秒, 80 秒, 100 秒の 3 種類, 合計 9 種

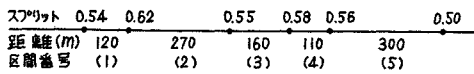


図-5 路線モデル

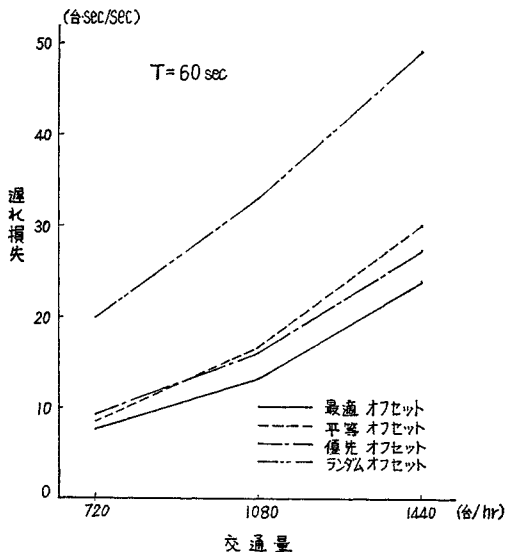


図-6 理論値比較

類の計算を行なった。計算時間は、FACOM 230-60 で図-5 のモデルに対し、交通量が 720 台/hr の場合、約 120 秒を要し、交通量が 1440 台/hr の場合は約 20 秒であった。図-6 は周期 60 秒の場合の一例で、最適オフセットが平等オフセット、優先オフセットと比べてどの程度効果があるかを示したものである。

交通流に関する仮定は、前章で用いたものと同じもの (すなわち等密度矩形波の仮定 (式 (2)) のような仮定など) をすべてのオフセット方式について用いるものとする。図からわかるように、系統化を行なわないランダムオフセットの場合と比べ、平等オフセット、優先オフセットは大幅に遅れ時間が小さい。このようになんらかの形で系統化を行なうことの効果は非常に大きいことがわかる。また、DP による最適オフセットの場合は、平等オフセット、優先オフセットに比べ約 20~30% 遅れ時間が減少している。また交通流の仮定を DP の場合と同様にした場合、一般に交通量が少ない場合には平等オフセットの方が優先オフセットよりも遅れ時間は少なく、逆に交通量が多い場合には優先オフセットの方が平等オフセットよりも遅れ時間は少ない傾向にあることがわかる。

さて、この DP による最適オフセットはどのような性質を持っているのであろうか。図-7 は周期 100 秒、交通量が 720 台/hr の場合の最適オフセットを示したものである。図からわかるように、全体として DP による最適オフセットは平等オフセットに近い値を示している。また交通量が少ない場合の車群の変形の特徴は、車群を 1 交差点か 2 交差点で車群を濃縮 (発進車群長を短く) して、それ以降の交差点を能率よく通過させようとする傾向が見られる。これは発進車群長が短い場合には、交差点で青時間内に停止を被らずに通過し得る可能性が大きいためである。発進車群長を短くするためには、車群の前端が赤信号にかかることが必要である。したがって、発進車群長を短くすればするほど、その交差点における遅れ時間は増加するが、一方、次の信号機を青時間内に車群が停止を被らずに通過できる可能性が大

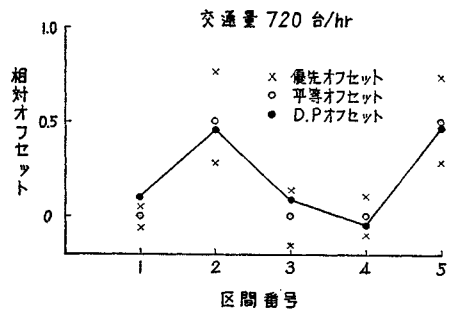


図-7 オフセットの比較

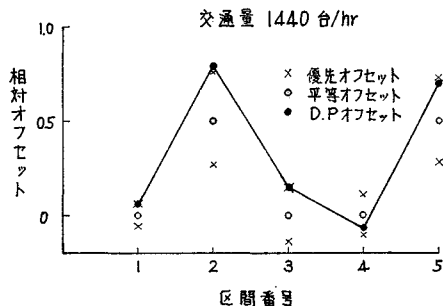


図-8 オフセットの比較

きくなる。この例では全体の損失を最小とするためには、車群をある区間で濃縮する方がよいという結果となっている。

次に交通量の多い場合について調べてみる。図-8は周期100秒、交通量が1440台/hrの場合の最適オフセットである。交通量が多いため、車群の濃縮効果はあまり大きくない。したがって、車群を濃縮してそれ以降の信号機群を停止を被らずに通過させるという形はとりにくくなり、各区間ごとの最適オフセット、すなわち優先オフセットに近い値をとる。

以上のように、全体の傾向として、DPによる最適オフセットは交通量が少ない場合は平等オフセットに近く、交通量が増加するに伴って優先オフセットに近いオフセットパターンを示す傾向がある。

### 5. シミュレーションによる検討

DPで求めた最適オフセットが、実際の交通流に対してどの程度有効であるかをみるため、シミュレーションによって平等オフセットおよび優先オフセットと比較検討を行なった。シミュレーションの仮定は次のようなものである<sup>7)</sup>。

(1) 一連の系統制御を行なう最初の交差点への交通の到着はランダムとし、その時間間隔は指数分布にしたがうものとする。

(2) 各車の走行速度は一定とし、加速減速は考慮しない。

(3) 速度分布は両端をトランケイトした正規分布とし、発生させる車のすべてに固有の速度を与える。

(4) 道路幅員は片側2車線とし、交差点間で車は自由走行し、追従運動はしない。

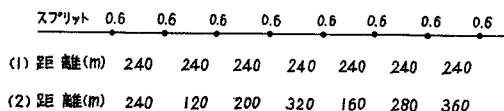


図-9 路線モデル

シミュレーションは図-9に示す2つの路線モデルについて行なった。図-9の(1)は交差点間距離が等間隔の場合、(2)は交差点間距離がランダムの場合である。

理論的最適オフセットを求める場合、系統速度および広がり係数をどうすればよいかという問題がある。系統速度をシミュレーションの最低速度と一致させ、広がり係数をシミュレーションの最高速度で走行した場合に一致させるという方法で最適オフセットを求めた場合、シミュレーションの結果は思わしくなかった。これは車群を単一矩形波と仮定しているところから、特に車群の後端が赤信号にかかった場合、理論的な遅れ損失がシミュレーションよりも大きくなるためと思われる。したがって、理論的な最適オフセットを求める場合の系統速度はシミュレーションの平均速度とし、広がり係数は最高速度で走行した場合と一致させるとした。

シミュレーションに用いた数値は次のようなものである。

発進車頭間隔：1.0秒

走行速度：平均速度 12 m/sec, 最高速度 15 m/sec, 最低速度 9 m/sec

周期：60秒, 70秒, 80秒, 90秒の4種類

交通量：720台/hr (0.2台/sec), 1080台/hr (0.3台/sec), 1440台/hr (0.4台/sec), 1800台/hr (0.5台/sec), 1980台/hr (0.55台/sec)の5種類

なお上り下り交通量は同一である。

シミュレーションの結果を図-10および図-11に示す。図-10は(1)の遅れ損失を表わし、図-11は(2)の遅れ損失を表わしている。このシミュレーション実験でわかることは、交通量の多少にかかわらず、平等

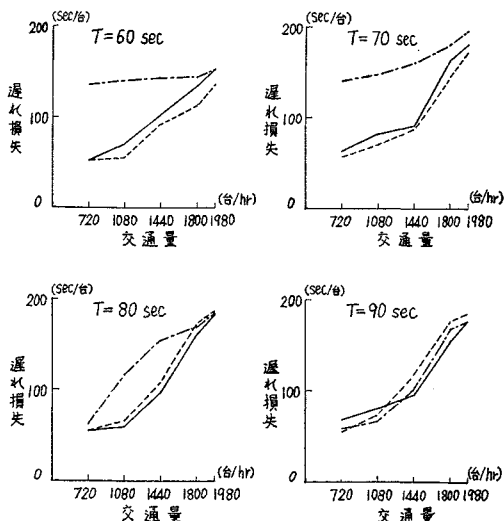


図-10 シミュレーションによる遅れ損失の比較

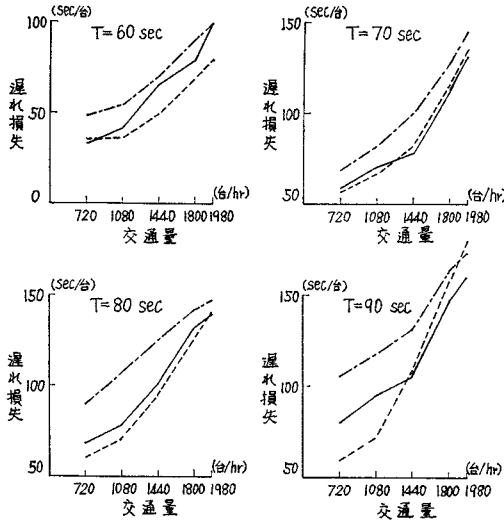


図-11 シミュレーションによる遅れ損失の比較

オフセットが一般的に優れているということである。特に交通量が少ない場合、その傾向が著しい。DP による最適オフセットを平等オフセットに比べたとき、部分的にまさっている場合も見られるが、ほぼ等しいか、やや劣るような結果となっている場合もあり、全体としてはやや劣る印象は否めない。この傾向は前章 4. で行なったようなごく簡易なシミュレーション結果とは、やや異なった結果であるといわねばならない(すなわち、4. で行なったような単純な交通流の仮定を用いて、オフセット方式の最終的な優劣を議論することは危険であるともいえる)。この原因の中で最も影響が大きいと考えられるのは、発進波形の仮定を等密度発進としていることであろう。実際 図-12 にシミュレーションにおいて交差点を通過する台数を表わしたが、青時間の最初の方が高密度で順次減少するような形で発進している様子が見られる。このように入力としての車群の発進波形の仮定が実情に合わないことが、DP による最適オフセットが平等オフセットに比べてあまりよくない結果となった原因であろうが、入力の仮定を改善すれば、交通量が上り方向と下り方向で異なっても、また幾何学的条件がどのような場合であっても、それに対応した最適オフ

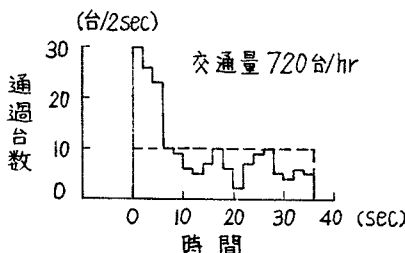


図-12 発進状況

セットを求めることができるという柔軟性を持っているために、この手法は将来路線系統化の有効な手法になる可能性があると思われる。

## 6. むすび

本報告は、交通流が不飽和である場合の路線系統の最適化を、DP によって図り、その解法とオフセットパターンの特徴について述べ、さらにシミュレーションによってその効果を検討したものである。要約すれば次のとおりである。

(1) 系統式信号制御の場合、遅れ最小などを目的として、多段決定過程にみても、DP を適用する場合には、交通流の2方向性について考慮を払って解くべきである。

(2) そのようにしてえられた最適オフセットには、上り方向と下り方向の交通量が等しい場合、交通量が少なければオフセットパターンが平等オフセットに近い値をとり、また交通量が多い場合は、オフセットパターンは優先オフセットに近い値となる、という特徴が認められる。このことは、過去の理論的研究結果および定性的予想と一致した結果といえる。

(3) ランダム交通流を仮定した、計算機内シミュレーションの結果によれば、DP によるオフセットは、平等オフセットに比べ、部分的に遅れ時間を小さくするところもあるが、現在の仮定によるかぎりではかならずしもつねに最良の結果を与えてはいない。優先オフセットは、ほとんどの場合、交通量の多少にかかわらず最も劣る結果を与える。ただし、交通量が多くなると各オフセット方式の与える遅れ損失はしだいに収束する傾向をもつ。

以上のように、DP による路線系統最適化は、現時点では十分満足できるものとはいえない。シミュレーションによる比較の結果は、平等オフセット方式が、実用上ごくタフな適用範囲の広い制御理論であることを再認識させるようなものであった。しかしながら、DP による最適化方式は、今後、仮定の改善によって、さらに改良の余地のあること、遅れなど、明確な評価基準を目的関数として最適化を図るのであるから、広域制御において多数の制御パラメーターを考慮しなければならないときにその特徴が発揮されるであろうことなど、将来の発展がさらに期待されるものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 猪瀬 博・藤崎博也・浜田 喬：一連の交差点における交通流の待合せおよび信号機制御，総合試験所年報 第24巻，第1号，pp. 9~17, 1965.
- 2) 枝村俊郎・久井 守：DP による系統式信号制御の最適

- 化，土木学会第25回年次学術講演会講演集 第4部，pp. 57～58，昭和45年11月。
- 3) 枝村俊郎・久井 守・藤井登史雄：DPによる系統式信号制御の最適化 その2：枝分れ，ループのある場合，同上，pp. 59～60。
  - 4) 勅使河原可海：交通流の最適制御，日本機械学会論文集（第1部）35巻275号，pp. 1431～1439，昭和44年7月。
  - 5) 奥谷 巖：面制御に関する基礎的考察，交通工学，Vol. 4，No. 3，pp. 7～14，1968。
  - 6) 枝村俊郎・久井 守：系統式信号制御パラメーターに関する一考察，交通工学，Vol. 5，No. 5，pp. 24～33，1970。
  - 7) 枝村俊郎・久井 守・田中 稔：系統式信号制御のシミュレーション，土木学会第24回年次学術講演会講演集 第4部，pp. 235～236，昭和44年9月。

(1972. 5. 24・受付)

---