IV—12　　連続型最大原理を用いた信号制御の最適化

名古屋工業大学　正員　松井　寛
同　上　学生員　○ツヨシ ミヤモト

1．まえがき

交通信号の制御パラメータはサイクル，スプリット及びオフセットの3つである。従来の信号制御方法においては，これらの3つのパラメータを互いに独立とみなして決定することが多かった。また交差点に流入する交通量は制御時間中は一定と仮定されているが，現実には流入交通量は時間的変動をうける。本研究では時間的に変動する交通流を対象に信号交差点のサイクル，スプリット，オフセットを同時に決定できる動的信号制御方式について述べる。

2．問題の定式化とその解法

いま図-1に示すような2つの信号交差点をもつ道路網を考える。いま交差点各流入部において卓越した方向の交通量を q_1．q_2．q_3 としたときの信号A，Bのサイクル，スプリット及びオフセットの最適制御を考える。ただしここでは簡単のため交差点での右折，左折は考えないこととする。いま道路上の交通流をマルコフ流と仮定し，交通密度によって各道路区間(リンク)の状態方程式を表わすと，リンク1，2，3，4について次式が成立する。

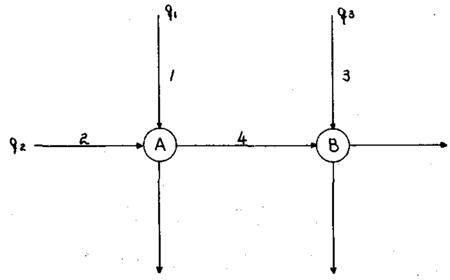

図-1

$$\left.\begin{aligned}
\ell_1 \dot{x}_1(t) &= q_1(t) - u_1(t)\{1-u_{12}(t)\}v_1 x_1(t)\\
\ell_2 \dot{x}_2(t) &= q_2(t) - u_2(t)\{1-u_{21}(t)\}v_2 x_2(t)\\
\ell_3 \dot{x}_3(t) &= q_3(t) - u_3(t)\{1-u_{34}(t)\}v_3 x_3(t)\\
\ell_4 \dot{x}_4(t) &= u_2(t)\{1-u_{21}(t)\}v_2 x_2(t) - u_4(t)\{1-u_{43}(t)\}v_4 x_4(t)
\end{aligned}\right\} \cdots\cdot \qquad (1)$$

ここに $x_i(t)$ は時刻tにおけるリンク i $(i=1,\dots,4)$ 上の交通密度，$\dot{x}_i(t)$ はその変化率，v_i はリンク i 上の走行速度（ここでは一定と仮定する），$u_1(t)$，$u_2(t)$，$u_3(t)$，$u_4(t)$ はそれぞれの流入部の信号が青のとき1(ONE)赤のとき0(ZERO)の値をとる制御変数，$u_{12}(t)$，$u_{21}(t)$，$u_{34}(t)$，$u_{43}(t)$ は信号が黄のとき1その他のとき0の値をとる制御変数である。これらの制御変数の間には次の関係式が成立する。

$$\left.\begin{aligned}
&u_1+u_2+u_{12}+u_{21}=1 \qquad u_3+u_4+u_{34}+u_{43}=1\\
&0 \leqq u_1,\ u_2,\ u_3,\ u_4,\ u_{12},\ u_{21},\ u_{34},\ u_{43} \leqq 1
\end{aligned}\right\} \cdots\cdot \qquad (2)$$

一方評価関数として周期内での遅れ最小，交通処理量最大が考えられ，これらの評価関数はそれぞれ次のように定式化される。

遅れ最小：
$$\min J = \int_0^c \{\ell_1 x_1(t) + \ell_2 x_2(t) + \ell_3 x_3(t) + \ell_4 x_4(t)\}\,dt \qquad (3)$$

交通処理量最大：
$$\max J = \int_0^c [u_1(t)\{1-u_{12}(t)\}v_1 x_1(t) + u_2(t)\{1-u_{21}(t)\}v_2 x_2(t) + u_3(t)\{1-u_{34}(t)\}v_3 x_3(t) + u_4(t)\{1-u_{43}(t)\}v_4 x_4(t)]\,dt \qquad (4)$$

ここにcは信号周期である。

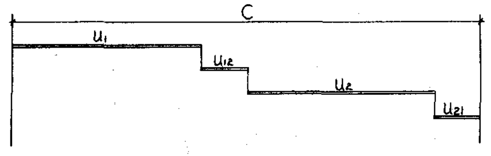

図-2

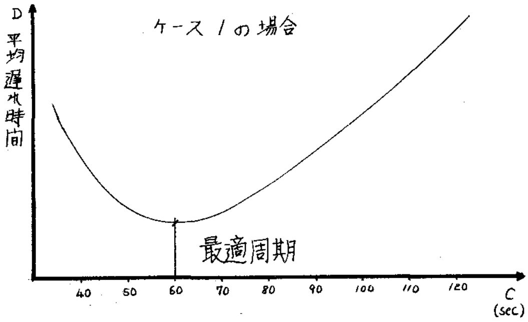

図-3

以上の問題は連続型最大原理の問題となり，解くことが可能となる．なおこの問題においては終端時刻指定，終端状態指定なしの場合となる．制御変数については，たとえば交差点Aにおいては図-2に示すような関係にあり，上限1と下限0の間で切り替わるリレー式の制御となる．周期と黄時間が与えられたとき，任意の信号表示切り替え時間が定まれば残りの切り替え時刻は自動的に定まる．また最適化によって求まった2つの交差点の青開始時刻のずれをとれば，これが最適なオフセットということになる．また2つの交差点の周期は同一のものを使用するが，これを色々変化させたとき目的関数を最適化するものを（see 図-3）選べばこれがいわゆる最適周期となる。

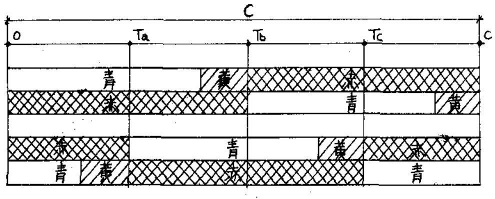

図-4

以上の計算は図-5に示すようなフローチャートによって進められる。ここにjは交差点の番号，図-1で示す $A=1$，$B=2$ である．他のパラメータは図-4に示すよな点である，kはx_iの初期値の収束回数を表わす．

3．計算例．

以下に示す5ケースについて計算結果を示す．

ケース	q_1	q_2	q_3	ℓ	v	t_{amb}	$x_1^5(0)$	$x_2^5(0)$	$x_3^5(0)$	$x_4^5(0)$	Ta	Tb	Tc	offset	C
	台/sec	台/sec	台/sec	m	Km/H	sec	台/m	台/m	台/m	台/m	sec	sec	sec	sec	sec
1	0.15	0.15	0.15	100	40	5	0.0637	0.0264	0.0517	0.0184	7	33	40	7	60
2	〃	〃	〃	100	60	〃	0.0487	0.0203	0.0399	0.0101	6	29	35	6	50
3	〃	〃	〃	200	60	〃	0.0403	0.0159	0.0325	0.0130	8	38	47	9	72
4	0.18	0.12	0.08	100	40	〃	0.0677	0.0252	0.0337	0.0165	11	39	43	4	62
5	0.10	0.15	0.28	100	40	〃	0.0491	0.0236	0.0832	0.0235	6	28	44	16	60

表-1

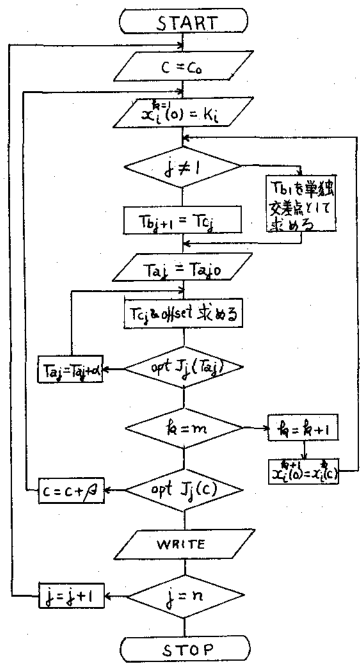

図-5

4．あとがき

計算例では一定の流入交通量を与えたが，これを周期ごとに変えれば動的な信号制御となる．また右左折交通を無視したが，これらも同様に考慮できる．右折専用現示などのある交差点では，その現示に対応した制御変数を追加導入すれば同様にして解ける．

参考文献

松井 寛 "マルコフ過程を用いた信号現示の最適化とその解法" 第28回年次学術講演会 1973