Ⅳ－228　　加減速を考慮した信号遅れと最適信号制御

㈱横河技術情報　正員 ○ 野口 和久
名古屋工業大学　正員　　松井 寛

1．まえがき

既存の道路および道路諸施設、道路網の機能を十分に発揮させ、安全かつ円滑に交通処理を行うことを目的とした方法に信号制御がある。信号制御を行うにあたって、信号による遅れ時間の計算は大変重要であるが、従来の遅れ時間の計算方法は、流入交通量と飽和流出交通量のみで一意的に決められていた。本研究では従来の考え方に加えて、加減速や行列長を考慮することによって、実際の信号付近での車両の挙動に近いものを表わそうと考え、それに基づいて1台1台の車両の信号による旅行時間の遅れを表わそうとしている。そして各々の車両の遅れ時間のモデルを用いて、信号による遅れ時間を最小にするような信号現示パターン（最適解）を得ようとするものである。

2．遅れ時間の定義

本研究では、1台1台の車両の遅れ時間をモデル計算し、全車両の遅れ時間の総和を総遅れ時間とする。本モデルでは、遅れ時間を信号による旅行時間の遅れ時間とする。つまり、ある車の遅れ時間は、

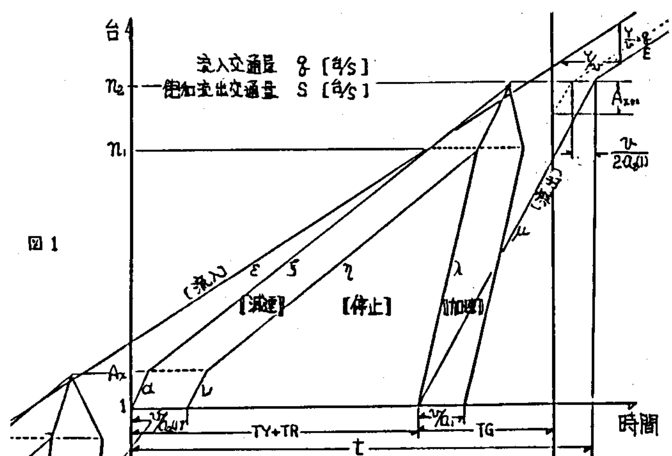
$$[\text{減速時間}]/2+[\text{停止時間}]+[\text{加速時間}]/2$$

で与えられるものとする。

3．モデルの定式化と考察

到着は一様到着と考え、交差点における車の挙動を（図1）のように考える。また以下の値は一定と考える。

図1



r：停止時の車頭間隔距離
v：流入流出時の車両の速度
a_1：それぞれの車の加速度
ε：流入車頭間隔　$(=\frac{1}{q})$
μ：飽和流出車頭間隔　$(=\frac{1}{S})$
λ：発進開始の前車との時間差

よって　流入車両n台目の遅れ時間は、次のように与えられる。

$n=0\sim A_x$の車の遅れ時間

$$\frac{v}{2\cdot a_1}-\frac{v}{2\cdot a_2(1)}+TY+TR+(n-1)(\lambda-\mu+\frac{r}{v}) \qquad (1)$$

$n=A_x\sim n_1$の車の遅れ時間

$$\frac{v}{2\cdot a_1}-\frac{v}{2\cdot a_2(1)}+TY+TR+(A_x-1)(\mu-\alpha-\frac{r}{v}-\nu+\eta)+(n-A_x)(\varepsilon-\xi-\frac{r}{v})+(n-1)(\lambda-\eta) \qquad (2)$$

ここに、　$a_2(1)$：1台目の車の減速度　　TY：黄信号時間　TR：赤信号時間　TG：青信号時間

α：A_x台の車の減速開始の前車との時間差　　ξ：(n_1-A_x)台の車の減速開始の前車との時間差

ν：A_x台の車の停止開始の前車との時間差　　η：(n_1-A_x)台の車の停止開始の前車との時間差

A_x：x番目の青信号終了時に停止線から距離が$\frac{v^2}{2\cdot a_2(1)}$以上離れており、かつ　x番目の周期中に減速や加速を行った車の台数。なお、A_x台の車は加減速を行ったことにより　車頭間隔が、飽和流出車頭間隔に等しくなっていると考える。

n_1：（$x+1$）番目の周期中に停止した車両台数

n_2：（$x+1$）番目の周期中に加減速した車両台数

$0\sim A_x$の車の総遅れ時間は、式(1)を積分して得られる。すなわち

$$A_x\left\{\frac{v}{2\cdot a_1}-\frac{v}{2\cdot a_2(1)}+TY+TR-\left(1-\frac{A_x}{2}\right)\left(\lambda-\mu+\frac{r}{v}\right)\right\} \qquad (3)$$

$A_x\sim n_1$の車の総遅れ時間は、式(2)を積分して得られる。すなわち

$$(n_1-A_x)\left\{\frac{v}{2\cdot a_1}-\frac{v}{2\cdot a_2(1)}+TY+TR-A_x(\varepsilon-\mu)-\left(\lambda-\mu+\frac{r}{v}\right)+\frac{n_1+A_x}{2}\left(\lambda-\varepsilon+\frac{r}{v}\right)\right\} \qquad (4)$$

$n_1\sim n_2$の車の総遅れ時間は、図１より

$$\frac{1}{2}\left\{S(t-TY-TR)-n_1+1\right\}^2\times(\varepsilon-\mu) \qquad (5)$$

ここに、t：($x+1$)番目の青信号時間が十分に長いとした場合、交差点への流入車両が初めて加減速せずに通過できる時の　x番目の青信号時間終了時からその車両が流出するまでの架空の時間

それぞれは、次のように与えられる。

$$t=\left\{S(TY+TR)+(A_x-1)\left(1-\frac{q}{S}\right)-\frac{v\cdot q}{2\cdot a_2(1)}\right\}/(S-q)$$

$$n_1=\left\{TY+TR-\frac{v}{a_2(1)}+2\mu-\alpha-\frac{2r}{v}-\lambda+A_x\left(\alpha-\frac{2r}{v}+\eta-2\mu\right)\right\}/(\eta-\lambda)$$

A_xは平衡状態の条件を考慮して近似させ

$$A_x=I\cdot(2x-1)/2(1-x)$$

ここに、　I：到着台数に対する分散の比　TC：周期

x：飽和度　（$=q\cdot TC/S\cdot TG$）

本モデルの信号による総遅れ時間は、式(3)(4)(5)の和で表わされる。すなわち、整理して

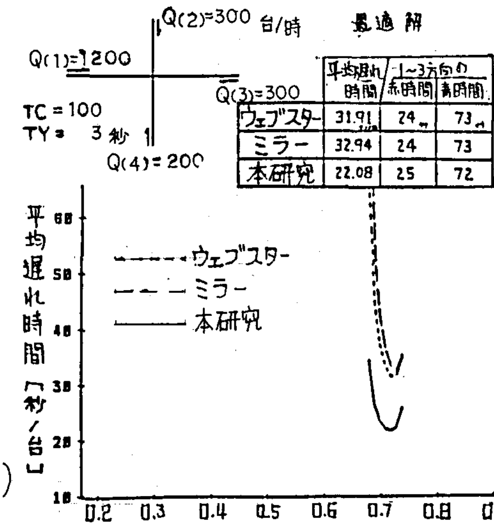
$$\begin{aligned}&\left\{(TY+TR)^2/2(\varepsilon-\mu)+(TY+TR)A_x\right\}+n_1\left(\lambda-\mu+\frac{r}{v}\right)\left(\frac{n_1}{2}-1\right)\\&+\left\{1/(\eta-\lambda)-1/(\varepsilon-\mu)\right\}(TY+TR)/2\cdot a_1\\&+\left\{v/a_1(\varepsilon-\mu)-v/a_2(1)(\eta-\lambda)\right\}/2\cdot a_1\\&+\left(2\mu-\alpha-\frac{2r}{v}-\lambda\right)(1-A_x)/(\eta-\lambda)/2\cdot a_1\end{aligned} \qquad (6)$$

なお、本モデルにおいては、流入車頭間隔が4秒以下の場合　車両同志は追従しているとし、ηと $\varepsilon-\frac{2r}{v}$ で与え、4秒以上の場合　独立とし全車の減速度を一定と考える。

ウェブスターやミラーの方法と比較したものが 図2,3である。１方向からの流入交通量が極端に多いような場合（図2）、最適解はウェブスターやミラーの方法と比較して、その方向の赤時間を１秒延ばす結果（最適解）となっている。これは　本モデルの場合　交通量が多い時　停止車両台数を少なめに計算するため、その方向の総遅れ時間を少なめに値をとるためと思われる。他の流入交通量のパターンの場合は、最適解は同じになった。（図３）

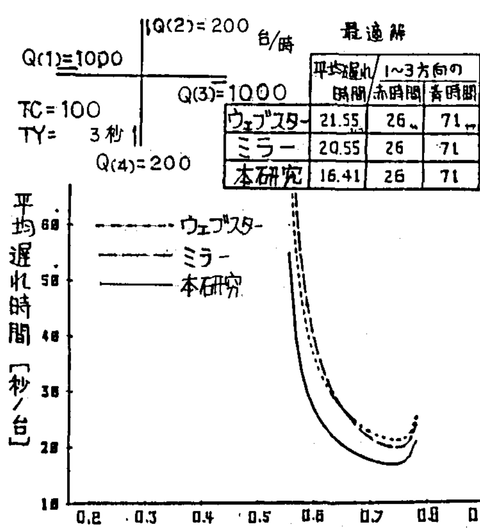
4、おわりに

ウェブスターやミラーの方法は　総遅れ時間を実際よりも多く評価していると思われる。式(6)を用いて　最適現示率・最適周期を導びくことができるが　紙面の都合上　講演時に発表の予定である。



	平均遅れ時間	1~3方向の赤時間	1~3方向の青時間
ウェブスター	31.91	24	73
ミラー	32.94	24	73
本研究	22.08	25	72

図2、　1~3方向の現示率



	平均遅れ時間	1~3方向の赤時間	1~3方向の青時間
ウェブスター	21.55	26	71
ミラー	20.55	26	71
本研究	16.41	26	71

図3　1~3方向の現示率