

電子計算機による信号交差点の解析

(シミュレーションによる試行)

定方希夫*

1. ま え が き

自動車交通の bottle neck は事故、工事等によっても発生するが、慢性化しつつあるのは平面交差点での待ち行列である。交差路に到着する交通が余り多くないときは、運転者が互に安全な間隔を見出して渡っても良いが、需要が増大してくると、時間を区切ってそれぞれ専用の通行権(青)を得るように約束した方が全体として利益になる⁽¹⁾。

然し需要が更に増大し、その変動も大きい場合には新しい交差点制御の方法を見出さなければならぬ。

現実に都会では信号交差点での待ち行列が大きく、その待ち時間損失は年々増大している。

イギリスにおいては信号交差点での待ち時間損失合計が1億車時 (Vehicle-Hours) に達すると推定し、信号交差点制御の解析によって数パーセントでも改善出来れば国家的利益は大きいといっている。

Wardrop⁽²⁾ は交通流を Uniform Flow として数学的に解析し Webster⁽³⁾ はシミュレーションでイギリスの交差点につき、かなり実際に近い解を得ている。

我々は現場での Surveillance を基にして電子計算機 MADIC-II A により交差点並に制御機を模擬し、計算機内部で発生したランダム交通を与えてシミュレーションを行った。

2. シミュレーションの基礎

2-1 数値による Traffic Behavior の表現

交通流：前後の交差点と独立な交差点を考えれば流入する交通需要はポアソン分布⁽⁴⁾で与えられるからその車頭間隔時間の確率は

$$P \cdot dt = qe^{-qt} \cdot dt \quad \dots\dots(1)$$

となり、車頭時間は

$$t = -1/q \log(1 - P(t)) \quad \dots\dots(2)$$

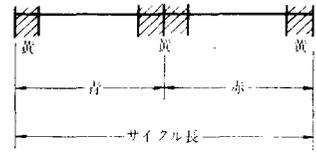
で与えられる。計算機内で合同法により一様乱数 $P(t)$ を発生し指数変換して車頭時間 t_i の組をつくり車1台毎に t_i を対応させてメモリーに格納しておく。交通需要としては、平均交通量 q のわかった t_i を順次投入することで表現させた。

* 松下通信工業株式会社研究所 1963年 秋季 OR 学会 発表 12月3日受理「経営科学」第7巻2号

交差点：流入して来る道路は普通の十字型を考え各路線は何車線でも後述するパラメーターで代表することが出来る。交差点へ到着する車は直進、左右折をするが、それらによる効果はすべて平均値としてパラメーターで代表させることにした。また、到着しても渡れない車は、停止線の buffer storage で待つがその量は後続需要に影響を与えないと仮定した。

実際の道路には上り下りがあるが車線区分が守られれば相互の影響はないので互に独立であるとし、一方向のみ考えた。

信号制御施設：交差点信号はサービスを行う窓口の開閉に相当するので最も重要である。信号には窓口を開けておく青と閉めておく赤がありその切替時に黄色が挿入される。青と赤時間の和をサイクル長とっているが、これらの時間長をすべて数値で表現する。時間長数値は定サイクルであれば予めメモリーに記憶してあるから赤から青や、黄から赤への変換はメモリー番地の変更で表現することが出来る。

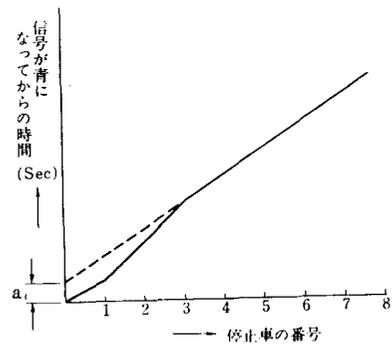


第 1 図

信号交差点の車の渡り方：

信号の青赤シーケンスは制御の上から重要な要素であるが、信号が青になってから車が出てゆく模様や黄になってから停止する模様は現象として確実につかんでおかなければならない。

信号が青になった時にストップラインに停車車があれば到着する車は何の影響も受けずに通過することが出来る。この様な状態を待ち行列零、待ち時間損失零とする。信号が黄色になってから到着する車は、あるものはそのまま通過し、あるものは停止する。信号



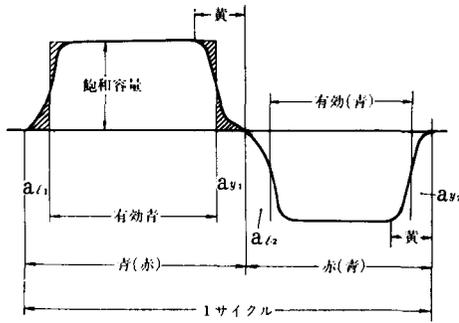
第 2 図

が赤になってから到着した車は黄色の時に停止した車と共に行列をつくり青になるまで待つ。信号が青になると行列をつくっていた車は少しおくれから順次ほぼ一定間隔で渡ってゆく。第2図はこの模様を示すが、待ち車が非常に多ければ青期間中同一間隔で車が出てゆく。この出てゆく間隔を $1/P$ とすれば P は飽和交通容量を示す。

第2図から判るように青になってから2~3台目までは $1/P$ より長い時間を要しているから破線が縦軸と交わる点をとって赤青切換による初期むだ時間 α_i を考える。又青から赤に切換わる時に黄色が挿入されるが、黄色時間の半分は $1/P$ 毎に車が出てゆくとし、残りは全然出ない時間として、やはり切換によるむだ時間 α_y を考える。信号サイクルを青赤に分割したとすれば青時間から α_y と α_i を差引いた残りは $1/P$ 毎に車が交差点を渡っていけることになる。この面積が可能容量で第3図にこの関係を示す。

交差点の容量：第1図及び第3図をもとに交差点の容量を記号で表現しておく。

信号のサイクル長……………C (sec)



第 3 図

信号の青時間…………… yc (sec) : B相の赤時間
 信号の赤時間…………… xc (sec) : B相の青時間
 有効な青時間(A相)…………… $yc - (a_{l1} + a_{y1}) = yc - a_1$
 有効な青時間(B相)…………… $xc - (a_{l2} + a_{y2}) = xc - a_2$
 有効な青時間の割合…………… $\lambda_1 = y - a^1/c$ ($\lambda_2 = x - a^2/c$)
 ……………(3)
 全体の有効青の割合…………… $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 = 1 - a^1 + a^2/c =$
 $1 - A/C$ ……………(4)

従って定サイクル信号であれば xc (sec)と yc (sec)のシーケンスでその切換時に a_1 と a_2 のむだ時間があると言うことになる。前述したようにPは飽和容量で $\lambda \cdot P$ は可能容量である。

2-2 プログラミング 数値演算によるシミュレーションには次の4つの過程が数値とその演算によって表現される。

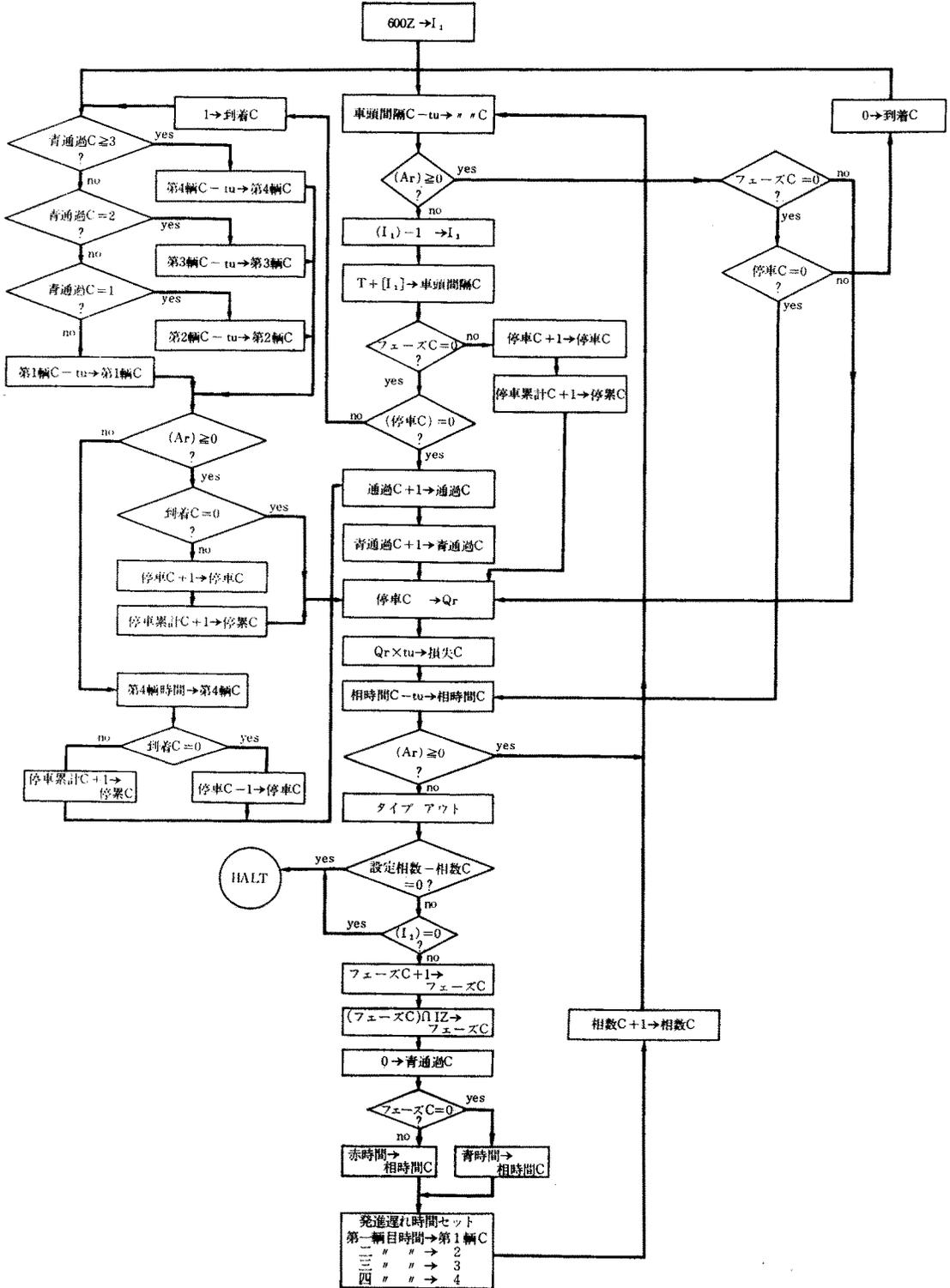
- 交通需要の発生。
- 交差点へ向っての走行と到着。
- 信号の赤青及び切換によるむだ時間のシーケンス。
- 待ち行列の長さ待ち時間

交通需要の発生は実際の道路上からデータを得てもよいが、あるサンプル数だけ平均値 q 一定の分布でない解析が困難になるので前述したように予め計算機で擬似乱数を発生させ、その中から数百個を指数変換して車1台に車頭時間を対応させメモリーの所定番地に格納しておく。先づ1番地の車頭時間を引出せばそれは交差点からの時間的距離を表わす。この車が交差点へ到着すると直に2番地が与えられ同様に交差点からの時間的距離を表現する。演算のステップ時間を短くとれば同時にステップ内に交差点へ2台到着する確率は小さいから誤差は無視出来る。このようにして次々と数百台の車を与えて演算を実施することが出来るが、若し途中で平均値の異なる車群を与えたい場合には予め $(n+1)$ 番地から平均値の異なる車頭時間分布を記憶させておけば良い。

交差点への車の走行と到着は次の如く行う。即ちメモリーから与えられた車頭時間は交差点からの時間的距離であるから、演算のステップ時間の間にはそれだけ交差点へ近づいていなければならない。従って $t_i - \sum dt = 0$ は交差点への到着を示す。

t_{i+1} は t_i との車頭間隔時間で与えてあるから $t_i - dt$ はメモリー中の車が全部 dt 時間だけ交差点へ近づいたことを表す。従って $t_i - \sum pt = 0$ のステップが終わった後で t_{i+1} を与え同様な演算を繰返せば良いことになる。

信号のシーケンスは単なる時間経過であるから定サイクルの場合であれば $a_1 - dt$ はむだ時間が dt だけ経過したことを表し $a_1 - \sum dt = 0$ の次のステップで $\lambda_1 c - dt$ の演算が行なわれ $\lambda_1 c - \sum dt$



第 4 図

$=0$ の次のステップで a_2 の演算に入る。かくして a_2-dt , λ_2c-dt で1サイクルを完了する。A相の車は λ_1c の間だけ通過出来るし、B相は λ_2c の間だけ通過出来、 a_1 , a_2 はA B相共通通過出来ない。

待ち行列は buffer storage としてのカウンターの内容で表し、又待ち時間損失はカウンターの内容にステップ毎に dt を乗算して次々と加算していくことで計算出来る。

A相の場合に到着した車は λ_1c の区間で然も行列が零であれば交差点を渡れるが、その他の場合はすべて一度 buffer storage の中に入れられる。従って dt のステップ毎に storage カウンターの内容は dt 倍されて集計されるから待時間総計が得られる。

第4図は定サイクル信号の場合のフローチャート⁽⁵⁾でこの外に計算機固有のサブルーチンが必要なことは当然である。定サイクルのシミュレーションはA相のみ実行すればよいが例えば感應型不定サイクルはA相B相を交互に演算しなければならない。

2-3 設定すべき数値 プログラミングは万能型を必掛けているので、演算に与える数値は幅広くとれる。前述したように Traffic Survey で得た値を挿入してシミュレーションの近似度をチェックする必要があるから、先づ実際に存在する数値を投入しなければならない。

交通量 q は実測によれば毎時車線毎に数10台から1500台位まで分布しており、飽和容量 $1/P$ は1.8~2.4秒位に分布している。⁽⁶⁾信号のサイクルは定サイクルの場合には40~120秒の周期で分割比は一般に交通需要 q_1 , q_2 の比に選んでいる。信号切換によるむだ時間は実測によれば、信号が青になってから $1/P$ の割合で流れるまでに1.5~2秒かかるとみて良い。黄色は一般にその半分の時間が有効に使えらるるので切換のむだ時間は合計して5秒程度である。

〔注〕(Pの値やむだ時間Aについてはそれだけで大きな研究問題を含んでいる。従ってここではある地点で得られたデータを使うことにする)。

シミュレーションの演算ステップ dt は車の到着確率やサービス時間 $1/P$ 等に比して充分小さい必要がある。ここでは0.3秒にとった。

2-4 シミュレーションの実行

シミュレーションでは演算時間が問題になるがMAD I C—II Aは科学計算用小型トランジスタ電子計算機で規格⁽⁷⁾は次の如くである。

- (a) 制御方式：ストアードプログラム方式、クロック周波数 200kc、置去り制御方式
- (b) 演算方式：直列2進、
- (c) 語長：固定及び浮動小数点回路内蔵、
 - 固定小数点 符号1ビット+33ビット
 - 浮動小数点 符号1ビット、仮数25ビット、指数8ビット
- (d) 命令：1+1アドレス方式
- (e) インデックスレジスタ：12ビット2ケ
- (f) 演算時間：加減算固定 510 μ s

浮動 12.2ms

乗除算固定 12.2ms

浮動 12.2ms

(g) 記憶：内蔵磁気ドラム 4096語

アクセスタイム 5.5ms (平均)

この計算機を用いてシミュレーションを行った場合に乱数は予め作成してストアしておくとして、定サイクル信号制御の場合に結果のタイプアウトまで含めて実時間の約1.5倍である。車の到着のし方を測定して信号の長さを計算する如き感応制御方式では、実時間の約4倍の時間を要した。

演算結果は信号相内通過車数、相内停止車数、停止車累計、相内待ち損失時間、待ち時間累計等がタイプアウトされる。

演算の数量即ちサンプル数が少ないと結果の評価の信頼度が低くなるから、すべて50サイクル以上の演算を実施した。

3. シミュレーションの結果の解析

3-1 交差点信号制御と待合せ問題のための Figure of Merit

信号交差点の待ち行列や、待ち時間等を明確に表現するためにいくつかの重要なパラメタがある。

実際現象がすべてこのパラメタで表現可能だとは思わないが、かなり多くの現象は何らかの形で代表させ得ると考えられる。

q_i 交差点へ進入するいくつかの路線の中の1つの交通量平均値 $P(K) = (qt)^k / k! \cdot e^{-qt}$

Q 交差点へ進入する平均全交通量 $Q = \sum q_i$

P_i ある路線から交差点へ進入する際の飽和容量 $1/P_i$ は飽和車頭間隔、分散は0とみなす。

ρ_i q_i/P_i 窓口が塞っている確率とみなせる。

ρ $\rho = \sum \rho_i$ $P_i = P$ であれば $\rho = 1/P \cdot \sum q_i$

w_i 任意路線の、車1台当り平均待ち合せ時間。

w $w = 1/Q \sum w_i q_i$

a_i 赤青の切換の時に出来るむだ時間。

A $A = \sum a_i$

C サイクル長。

λ_i 任意路線のサイクル長に対する有効な青時間の割合、この期間は飽和容量で渡り得る。

λ $\lambda = \sum \lambda_i$, $\lambda = 1 - A/C$

μ 十字型交差点の場合の窓口が塞っている確率の比、 $\mu = \rho_1/\rho_2$, $P_i = P$ であれば $\mu = q_1/q_2$

n_i 交差点へ到着しても、赤か停止車があるために直ちに渡れず、一旦停車した相内の数、

$$N = \sum n_i$$

η 停止率 $\eta = n_i / q_i C$

m 有効スプリット。 $m = \lambda_i / \lambda$

x 交差点の青（幹線の赤）を示す割合

y 幹線の青を示す割合、従って $x + y = 1$

3-2 定サイクル信号制御⁽⁸⁾⁽⁹⁾

Wardrop は定サイクルで Uniform flow の交差点を解析して次の結果を得ている。

サイクル内に到着した車が次の赤まで停止しないことを前提として、サイクル内の停車数は

$$n_1 = \frac{q_1 c (1 - \lambda_1)}{(1 - \rho_1)} \quad \dots\dots(5)$$

で n_1 台が停車したために生ずる全待ち時間は

$$W_1 = \frac{q_1 c^2 (1 - \lambda_1)^2}{2(1 - \rho_1)} \quad \dots\dots(6)$$

となる。周期内の到着数は $q_1 c$ であるから、車 1 台当たりの平均待ち時間は

$$w_1 = \frac{W_1}{q_1 c} = \frac{c(1 - \lambda_1)^2}{2(1 - \rho_1)} \quad \dots\dots(7)$$

で与えられる。

交差点全体についての車 1 台当たりの平均待ち時間は、

$$w = \frac{C}{2Q} \left\{ \frac{q_1(1 - \lambda_1)^2}{(1 - \rho_1)} + \frac{q_2(1 - \lambda_2)^2}{(1 - \rho_2)} \right\} \quad \dots\dots(8)$$

となる。Uniform flow の場合には全サイクル中むだ時間 A を除いてはそのまま有効に使えるから、窓口の空いている確率を考え、 $C(1 - \rho) = A$

とおける。これから最適サイクル長は

$$C_{op} = \frac{A}{1 - \rho} \quad \text{但し} \quad \begin{matrix} \rho = \rho_1 + \rho_2 \\ A = a_1 + a_2 \end{matrix} \quad \dots\dots(9)$$

(9)式は Adam's formula として有名である。(9)式は又 $\lambda_{op} = \rho$ とおけるから(8)式に代入して整理すると、

$$w_{min} = \frac{A(1 - \rho/2)}{2(1 - \rho)} \quad \dots\dots(10)$$

但し $\rho_1 = \rho_2 = \rho/2$, $A = a_1 + a_2$ とする。

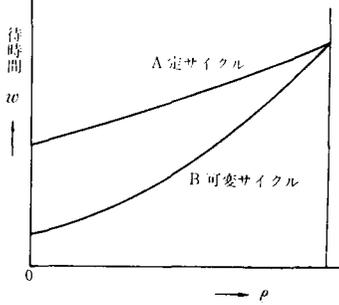
(10)式は待ち時間を最小にするようなサイクル長を用いた時の待ち時間と ρ の関係を示す式である。

第 5 図は(8)式と(10)式とを ρ に対してプロットしたものであるが、B の可変サイクルの方が待ち時間が小さい。

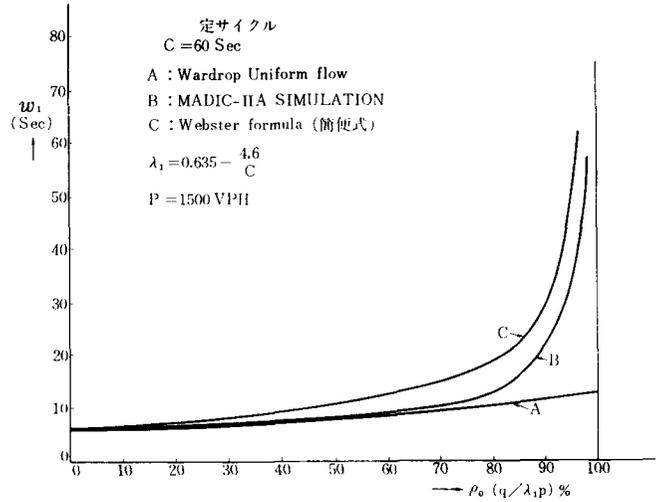
さてシミュレーションについては Webster が結果として経験式を発表している。第 6 図は MADI C-ⅡA による定サイクル信号シミュレーションの結果と Wardrop の(8)式及び Webster の経験式とを対照している。

我々はシミュレーションの結果から、Webster とはすこし異なる次の式が計算機上の繰返し試行とよく合うことを知った。

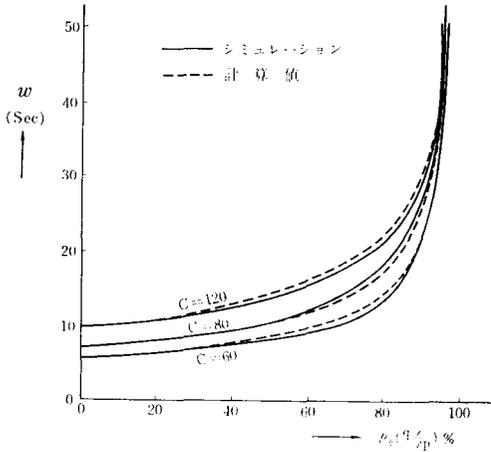
$$w_i = \frac{1}{2} \left\{ \frac{A(1-\lambda_i)^2}{(1-\lambda)(-\rho_i)} + \frac{\rho_i^2}{P_i \lambda_i (\lambda_i - \rho_i)} \right\} \dots\dots(10)$$



第 5 図



第 6 図



第 7 図

第 7 図は、色々なサイクル長に対して実験された、random flow のシミュレーションによる平均待ち時間と(10)式で示される待ち時間とを比較したもので、差は数パーセント以下であった。これより交差点全体の車 1 台当り平均待ち時間は

$$w = \frac{1}{2Q} \left[\left\{ \frac{A(1-\lambda_1)^2}{(1-\lambda)(1-\rho_1)} + \frac{\rho_1^2}{P_1 \lambda_1 (\lambda_1 - \rho_1)} \right\} q_1 + \left\{ \frac{A(1-\lambda_2)^2}{(1-\lambda)(1-\rho_2)} + \frac{\rho_2^2}{P_2 \lambda_2 (\lambda_2 - \rho_2)} \right\} q_2 \right] \dots\dots(12)$$

で表わすことが出来る。

Uniform flow の場合には(9)式で最適サイクル長が得られたが、random flow の場合に $\lambda_1/\lambda_2 =$

ρ_1/ρ_2 とおき $\rho_1/\rho_2 = \mu$ から

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= (\mu/1+\mu) \cdot \lambda \\ \lambda_2 &= (1/1+\mu) \cdot \lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots(13)$$

を得てこれを(12)式に代入すれば(14)式が得られる。

$$w = \frac{1}{2(\mu+1)} \left\{ \frac{\mu A(1-\frac{\mu}{1+\mu} \lambda)^2}{(1-\lambda)(1-\frac{\mu}{1+\mu} \rho)} + \frac{\mu \rho^2}{\lambda P(\lambda-\rho)} + \frac{A(1-\frac{1}{1+\mu} \lambda)^2}{(1-\lambda)(1-\frac{1}{1+\mu} \rho)} + \frac{\rho^2}{\lambda P(\lambda-\rho)} \right\} \dots\dots(14)$$

但し $P_1 = P_2 = P$

$\rho_1/\rho_2 = \mu = 1$ とすれば

$$w_{(\lambda=1)} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{A(1-\lambda/2)^2}{(1-\lambda)(1-\rho/2)} + \frac{\rho^2}{\lambda P(\lambda-\rho)} \right\} \dots\dots(15)$$

(12)(14)(15)式は、2相対サイクル信号を持った交差点を random flow が流れる際の待ち時間を示す基本的な式である。

3-3 最適サイクル信号制御

(14)式を(λ)についてプロットすれば第8図が得られる。第8図から視察により、待ち時間が最小になる点を求めると、

$$\lambda_{op} = \frac{\rho + 0.1\mu + 0.5}{0.1\mu + 1.5} \dots\dots(16)$$

が得られ、 $C = A/(1-\lambda)$ から最適サイクル長は、

$$C_{op} = \frac{(0.1\mu + 1.5)A}{1-\rho} \dots\dots(17)$$

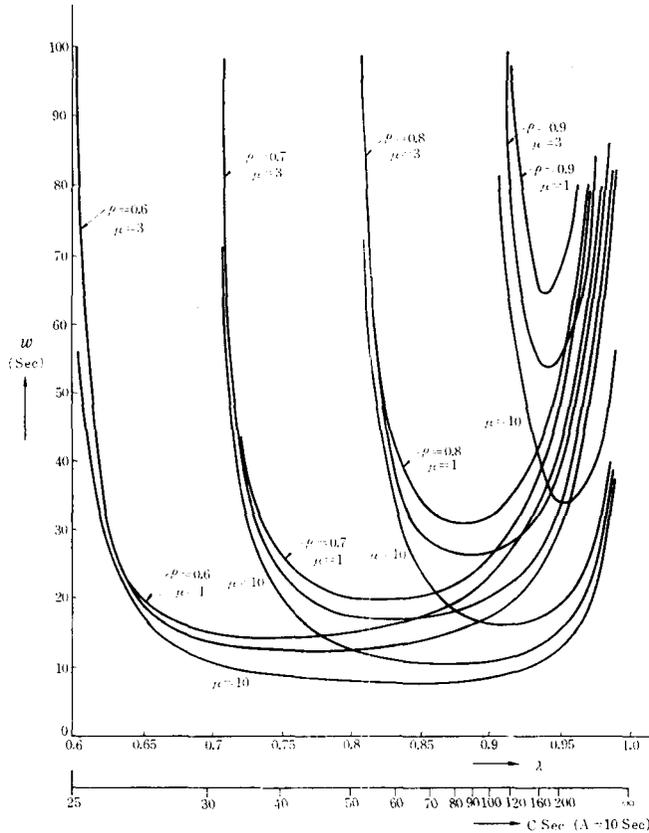
一般に $A = \sum a_i$, $\rho = \sum \rho_i$ であるから、実験式として、

$$C_{op} = \frac{2 \cdot \sum a_i}{1 - \sum \rho_i} \dots\dots(18)$$

とおいても、 $\mu = 6$ 位までは(17)式を使った待ち時間 w とほとんど差はない。(15)式を用いる場合は、

$$\lambda_{op} = \frac{1+\rho}{2} \dots\dots(19)$$

となり、(14)式に λ_{op} を代入すれば ρ に対する最小の w が得られる。



第 8 図

従って

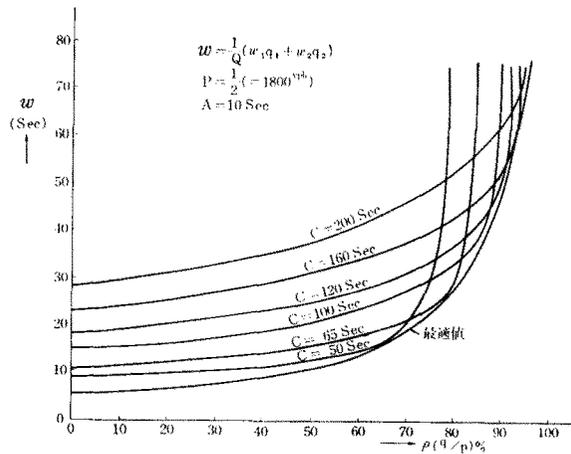
$$w_{min} = \frac{A\mu \left\{ 1 - \frac{\mu(1+\rho)}{1(1+\mu)} \right\}^2}{(1-\rho)(\mu+1-\mu\rho)} + \frac{2\mu\rho^2}{(1+\mu)P(1+\rho)(1-\rho)} + \frac{A \left\{ 1 - \frac{1+\rho}{2(1+\mu)} \right\}^2}{(1-\rho)(\mu+1-\rho)} + \frac{2\rho^2}{(1+\mu)P(1+\rho)(1-\rho)} \quad \dots\dots(20)$$

は交通需要に応じた最適サイクル長を設定した時の車1台当りの平均待ち時間を示す。 $\mu=1$ の場合には

$$w_{min} = \frac{A(3-\rho)^2}{8(1-\rho)(2-\rho)} \quad \dots\dots(21)$$

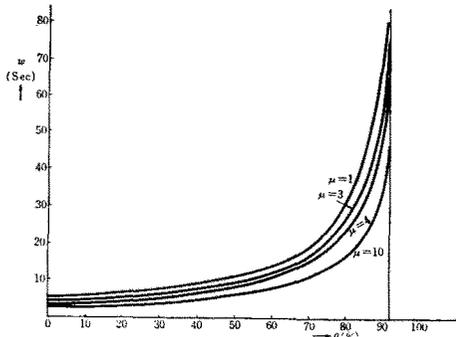
となりほとんど交通需要の違はない交差点には適用出来る。

第9図はサイクル長をパラメタにとって、 ρ に対する w の値をプロットしたもので曲線群のエンベロープは20式で示した w_{min} になる。

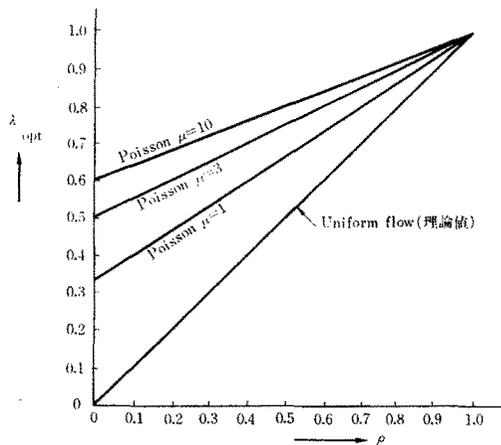


第 9 図

20式は μ をパラメタにとって然も $\lambda_{op} = (1+\rho)/2$ を最適値とした式であるが、これをプロットすると第10図の如くなる。

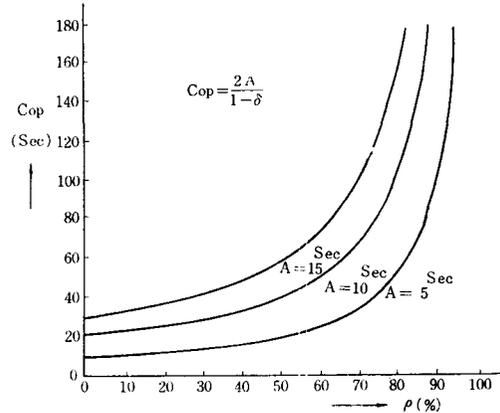


第 10 図



第 11 図

第11図は信号交差点の窓口が塞っている確率に対して有効青時間をいくらにとれば良いかを示すカーブである。Uniform flow に対しては45度の直線が対応し ρ と全く等しい(λ)が最適であるが、random flow に対しては ρ の値より大きな(λ)が必要であり、 $\rho_1/\rho_2 = \lambda_1/\lambda_2$ の条件を与えて μ が大になると(λ)の値は大きい方がよい。



第 12 図

第12図は ρ に対する最適サイクル長を示す。 $\rho = 90\%$ 程度でも $C = 120\text{sec}$ (サイクル長の限度だと云はれている) 以下におさえるためには A の値を下げなければならない。

3-4 時間配分 (スプリット) の考察

前述した $\rho^1/\rho_2 = \lambda^1/\lambda_2$ というスプリットは一般的に是認出来るし、又その配分において最適サイクル長を検討した。ここではスプリットにつき別の見地から検討してみたい。

一般に $\lambda_1 = m\lambda$ (22)

はA相についてのスプリットである。従ってB相は(23)の如くなる。

$\lambda_2 = (1 - m)\lambda$ (23)

これを(22)式に代入し整理すれば、

$$w = \frac{\mu}{2(1+\mu)} \left\{ \frac{A(1-m\lambda)^2}{(1-\lambda)(1-\mu/(1+\mu)\rho)} + \frac{(\mu)\rho^2}{(1+\mu)^2 P m \lambda (m\lambda - \rho/(1+\mu)\rho)} \right\} + \frac{1}{2(1+\mu)} \left\{ \frac{A(m\lambda)^2}{(1-\lambda)(1-\frac{1}{1+\mu}\rho)} + \frac{\rho^2}{(1+\mu)^2 P (1-m)\lambda(\lambda - m\lambda - \frac{1}{1+\mu}\rho)} \right\} \dots\dots(24)$$

(24)式の第1, 2項はA相, 第3, 4項はB相の待ち時間を示すからA相, B相の定常条件は、

$$\left. \begin{aligned} 1 &> \lambda > \mu \cdot \rho / m(\mu+1) \\ 1 &> \lambda > \rho / (\mu+1)(1-m) \end{aligned} \right\} \dots\dots(25)$$

これより

$$\frac{\mu}{1+\mu} \cdot \frac{\rho}{\lambda} < m < 1 - \frac{1}{1+\mu} \cdot \frac{\rho}{\lambda} \dots\dots(26)$$

の如くを選べば発散しない。

又(25)式から ρ と μ が与へられた時に任意の(λ)を選んだとすれば(λ)から定常条件の下限迄の大きさをA相, B相について等しくするのが普通であるから、

$$\frac{\mu \cdot \rho}{m(\mu+1)} = \frac{\rho}{(\mu+1)(1-m)} \quad \dots\dots(27)$$

として、これより m を出せば、

$$m = \mu / (1 + \mu)$$

を得る。従って(18)式で仮定した $\rho_1/\rho_2 = \lambda_1/\lambda_2$ というのは任意の (λ) を選んだ時に、最も安定なスプリットであるということが出来る。

$m = \mu / (1 + \mu)$ を(25)に挿入すれば両方共

$$1 > \lambda > \rho$$

になるのは当然である。 λ_{op} を 1 と ρ の中間にとれば、

$$\lambda_{op} = \frac{1 + \rho}{2}$$

となって、(19)式と一致する。

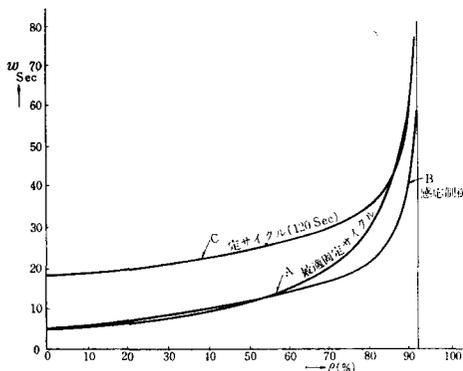
3-4 全感応型信号制御

今迄述べたものは信号の周期を固定した定サイクルと、Eagle社のEC-SYSTEMの如きプログラム可変周期方式に対する理論であるが、信号制御機1台毎に到着する全交通需要の情報を入力として加えてやると数量と同期性の両面からよい制御が出来ることがわかった。

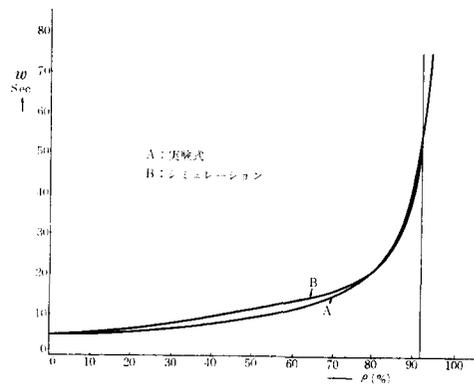
制御理論は種々考えられるが、その一つとして次の如き論理をシミュレートした。

- (1) 交通需要の情報は交差点の数10メートル手前から得ることにした。
- (2) 十字型交差点であれば4カ所から情報が入る。
- (3) 情報は入力数即ち入力車頭時間々隔と buffer storage の停車数である。
- (4) 入力車頭時間と、設定車頭時間との比較論理にて判定を行い、青時間の延長可否を制御した。
- (5) buffer storage の停止車は1回の青で全部発進させるような論理を組んだ。
- (6) 渡り方の間隔(P)や、切換のむだ時間Aは定サイクル制御の場合と同じにした。
- (7) 交通需要は前と同じくポアソン分布とした。

シミュレーションの結果は第13図のB曲線の如くで、A曲線の最適固定サイクル方式、C曲線の定サイクル方式と比較してかなり良い結果を得ている。



第 13 図



第 14 図

シミュレーションの結果を基に実験式を得た。

$$w = \frac{A(2-\rho)^3}{4.5(1-\rho)(3-2\rho)} + \frac{A(5-\rho)^3}{36(1-\rho)(3-\rho)} \quad \dots\dots(28)$$

上式は $\mu=2$ の場合の全感应型制御待時間を表す方式でシミュレーションの結果と比較すると第14図の如くなる。

全感应型制御では周期は不定で全く交要需要に支配される。実際現場で用いる場合には最大周期120sec から160sec に設定するので上限は定まる。実験の結果では $\rho=50\%$ 附近で周期50sec 程度の最小値となり、 ρ が増加するに従い周期が増す。 ρ が低下しても増す。

全感应制御で論理を適正に組むと、ポアソン入力でも恰も Uniform flow の如く小さい待ち時間の制御が可能となる。

4. 結 言

万能電子計算機を利用した交通シミュレーションは未だ緒についたばかりで、特に制御論理は系統制御、市街全域制御と難問が多い。計算機の機能容量を充分利用出来るプログラミングの開発が必要になってくる。本研究の御指導を賜った東大星埜教授、科学警察研究所壕研究官、松下通信茅野専務、吉田所長、唐津部長にお礼を申し上げます。又プログラミングを通して制御論理を担当した山本順一君に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) Tanner; Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection 1962.
- (2) John Glen Wardrop; Some Theoretical Aspects of Road Traffic Reserch Proc. Inst. Civ Engin Part II 1952. No.36
- (3) F.V. Webster; Traffic Signal settings, Road Reserch Technical Paper No. 39 London 1958
- (4) 国沢, 森村, OR手法による交通解析の研究 東工大, 道路公団, L.C.Edie; Traffic delay at Toll booths. 稿, 交通工学入門
- (5) 枝村, 土木技術資料 3.2.
Harry H. Goode, Robert E. Machol; System Engineering. P.431.
- (6) 高速道路調査会; 首都高速道路の出口交通処理に関する研究, 鈴木溪二委員長
W.R. Bellis; Capacity of Traffic Signals Ang Traffic Signal Timing.
The 39th Annual Meeting of the Highway Reserch Board., High way Capacity.
Manual.
- (7) Matsushita Comm Ind. Co; Operation Manual of MADIC-II A.
- (8) 国沢, 道路交差部における交通処理, 37年2月