

三差路交通の解析 (I)

木 戸 睦 彦*

An Analytical Study of a Traffic Signal on a Three Forked Road

Mutsuhiko KIDO*

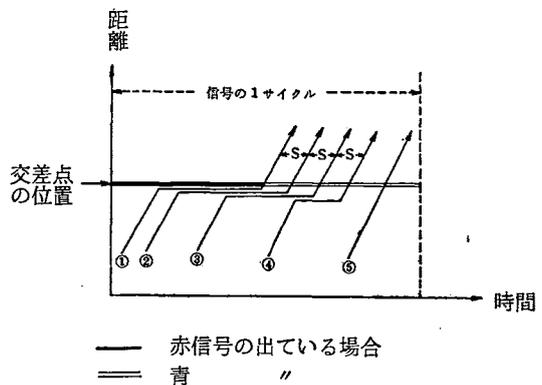
(Received October 20, 1964)

It is the purpose of this study to look for the most efficient method of a traffic signal on a three-forked road. As the first step, here we investigate whether the present cycle length and the lengths of green and red of a three forked road (which is a T-junction) in Kanazawa are adequate or not. Using the high speed digital computer of the Kanazawa University (NEAC-2230), we have simulated the traffic flow of the three-forked road. Changing the lengths of the cycle and the green and red intervals, each time the mean waiting-time and the mean waiting-line were calculated. As a result of the simulation, we found that to minimize the whole mean waiting-time is not always optimal, for it makes the mean waiting-time of one direction considerably long. And, it seems to be better to shorten the present cycle length.

交通信号の影響を調べるにはシミュレーションは大切であろう。以下は、金沢市内にある三差路の一つ（香林坊）を参考にして、金沢大学電子計算機（NEAC-2230）で行ったシミュレーションであるが、まだ単なる試みの域を出ない。殊に、実情の調査が十分出来なかったので、シミュレーションに大切な実情との比較をなし得なかった。併し、三差路は四差路の一方方向がなくなったものというような簡単な考え方をしてよいものかどうか、また、大都市で行われている交通解析の結果を地方の中小都市にそのまま応用してよいかどうか、そういった疑問に答える為の研究が必要であろう、というのが、今回のシミュレーションから得られた結論である。

§ 1 待ち時間と 待ち行列

交差点の一方方向のみを考えたとき、そこにさしかかった自動車（以後単に「車」とかく）の運行は第1図のようなものとする。即ち、線のついた直線（或は折線）が車の運行を表わ

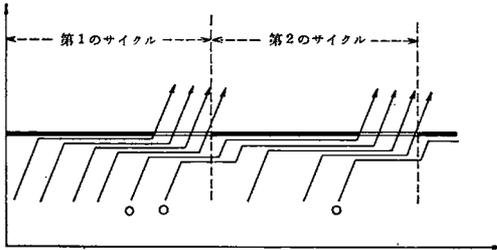


第1図

* 数学教室 Department of Mathematics

すもので、①で示された車は信号が赤になって最初に交差点に到着し、信号が青になると同時に交差点を通過している。②の車は①より少し手前で停車し、交差点通過は①より一定の時間 (s) だけおくれる。④は青信号のときに到着するが、③のために一時停車してから交差点を通過している。これらの車の待時間はそれぞれ折線における、横線の長さとする。⑥は全く停車せずに通過している。

第1図の場合、停車した車の作る列(待ち行列)は③の到着時における3台が最高で、④の到着時には①、②が既に動いて居り、実際の待ち行列は2台であるが、以下の計算ではこのサイクルにおいて出来た待ち行列は4台ということにした。



第2図

信号の青時間に比較して車の数が多いと第2図のようなことが起る。この場合の待ち行列は第1のサイクルにおいて6台、第2のサイクルにおいて5台ということにした。従って。印をつけた車は2つのサイクルの待ち行列で数えられている。また、2段の折線になっている車の待ち時間は横線の長さの和である。

§ 2 乱数について

交差点を通過するときの車頭間隔も一定ではないが、前述のようにこれを一定の値 s としたので、乱数を用いたのは到着する車の車頭間隔だけである。

NEAC-2230には合同法

$$x_{i+1} = 23x_i \pmod{(10^8 + 1)}$$

によって一様乱数を作るサブルーチンがあるのでそれを用いた。各 x_i は8桁の数である。

到着の車頭間隔は指数分布に従うと仮定した。8桁の x_i を $0 \leq x_i < 1$ なる小数以下8桁の数と考えて

$$t_i = -\frac{1}{q} \log_e (1 - x_i) \quad (1)$$

(q は平均到着台数)

を作れば指数乱数を得るが ([1] 参照) x_i が一様乱数であるから $1 - x_i$ も 0 と 1 の間の一様乱数となるので、(1)の代りに

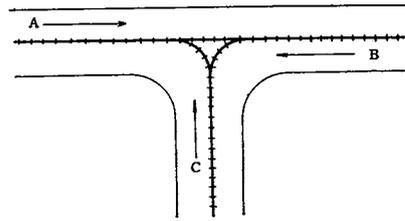
$$t_i = -\frac{1}{q} \log_e x_i \quad (2)$$

により指数乱数を作った。

実際の計算では秒を単位としたので、例えば30分間に平均500台の割合で到着する流れを考えると $q = 500/1800$ とし、得られた t_i の小数以下を四捨五入した。30分500台位の割合であると車頭間隔の小さいものが出るのでこの丸めは可成乱暴である。実際、丸めた t_i の中には相当数の0が現われた。斯うして得られた乱数が果して信用できるかどうか疑問である。しかし、この乱数によって30分間に到着する車数を求めてみると、480台~520台(平均500台として)のことが多かつたので、そのまま用いた。この乱暴なシミュレーションが、実情とどの程度の相異を見せるか(各サイクルにおける、待台数、通過台数等)を調べてみたかったが、その段階に至らなかった。

§ 3 モデルと実際

香林坊交差点は第3図のような形をしており、信号は赤、青、黄の3色である。A、B方向は常に同色の信号が出て居り、C方向のみが異っている。即ち、4差路の信号をそのままにして、一方向の道路を取去った状態である。



第3図

今回のシミュレーションでは、信号方式は現状のもので、1サイクルの長さ及び赤青の時間の長さを変更したときの、平均待ち時間への影響を問題にした。しかし、実際の交差点とシミュレーションとは可成の相異があり、特に根本的なものをあげれば次の2つである。

- (1) A、B、C 3方向とも実情は2車線に近いが、シミュレーションでは1車線とした。
 - (2) Aの後方150m位の地点に他の交通信号があり、少なくともこの方向に関しては車頭間隔は指数分布とは考えられないが、そのことについては何等考慮しなかった。
- また、調査の結果を参考にした点は次の如くである。

- (1) 信号の1サイクルは60秒、A、B方向の青は34秒、C方向の青は18秒、黄は共に4秒であった。この4秒を特に用いた。

また、歩行者が横断に要する時間はA、Bで約11秒、Cはそれよりやや長かったので、シミュレーションでの青時間は10秒以上のもののみを考えた。

- (2) 交差点通過時の車頭間隔 s を決定するために、信号が青になってからの毎5秒間に通過する車数を調べた。この調査は不満足なものであったが、青になった直後の5秒間と、それ以後の5秒間との間に殆ど差が認められなかった。この調査の結果を参考にして s を1秒とした。

また、C方向を通過した車は、A、Bの横断歩行者に防げられるから、その影響があるものと考えていたが、これも認められなかった。

- (3) 調査は最も混雑する夕刻5時前後に行ったが、不馴れのため平均到着台数の実際もよく分らなかった。結局3方向共毎時1000台前後であるが、C方向がやや少いようであったから、その程度の数値でシミュレーションを行った。従って車の少い時間のことは考えられていない。

§ 4 シミュレーション

赤、青、黄3色の中、黄時間 (y) は2等分して、赤、青の時間に繰入れ、シミュレーションでは黄時間を考えなかった。この場合

- c …… 1サイクルの時間
- r_1 …… A、B方向の赤時間
- b_1 …… " 青 "
- r_2 …… C方向の赤時間
- b_2 …… " 青 "

とすれば

$$\left. \begin{aligned} r_1 + b_1 &= r_2 + b_2 = c \\ b_1 + b_2 &= c - y \\ r_1 - b_2 &= r_2 - b_1 = y \end{aligned} \right\} (*)$$

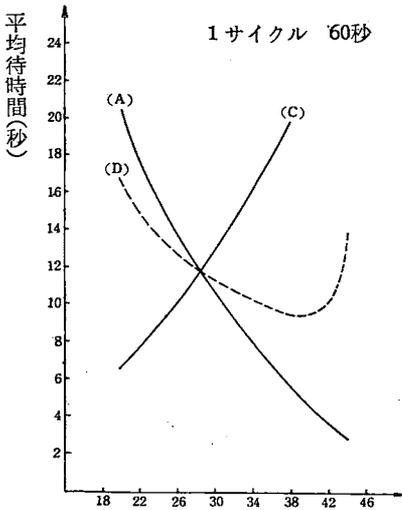
等の関係がある。 $b_1 + b_2$ は青時間の合計で、これは1サイクルの時間 c より y だけ少い。即ち、

y は信号切換のために生ずるむだな時間である。 c, r, y を決めると (*) により他の時間はすべて決る。シミュレーションでは y は 4 秒に固定し、 $c=60$ 秒, 50 秒, 40 秒, 30 秒; r_1, r_2 は 10 秒以上の値を 2 秒間隔で変化させて、30 分間について次のものを求めた。

- 各サイクル毎の各方向の待ち行列..... l_A, l_B, l_C
- " 通過台数..... m_A, m_B, m_C
- 30分間の各方向の到着台数..... n_A, n_B, n_C
- " 待ち時間合計..... w_A, w_B, w_C
- " 平均待ち時間..... $w_A/n_A, w_B/n_B, w_C/n_C$
- " 平均待ち行列..... $(\sum l_A)/k, (\sum l_B)/k, (\sum l_C)/k$
- (但し $k=30$ 分間のサイクル回数 $=60 \times 30/c$)
- 30分間の総到着台数..... $n=n_A+n_B+n_C$
- " 総平均待ち時間..... $w/n=(w_A+w_B+w_C)/n$

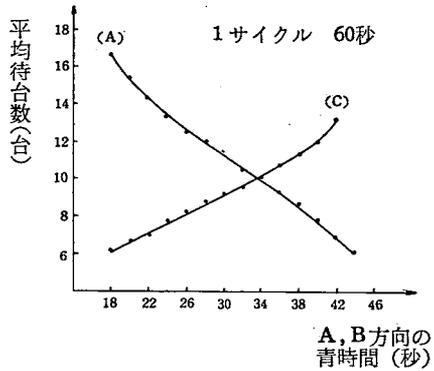
第4図は

- 1 サイクル.....60秒
- A, B方向.....毎時平均1000台到着
- C 方 向..... " 800 "



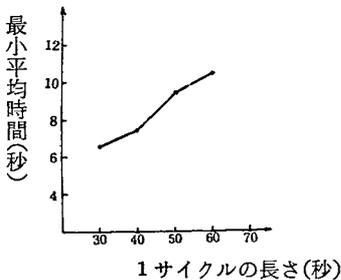
第4図

A, B方向の
青時間 (秒)

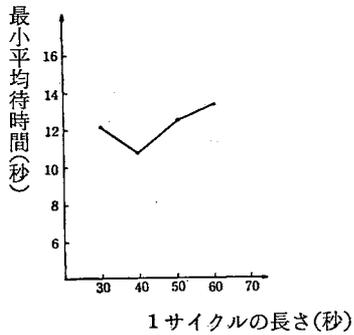


第5図

A, B方向の
青時間 (秒)



第6図



第7図

の状態において、平均待ち時間を示すグラフである。横軸はA, B方向の青時間 (r_1)、縦軸は平均待ち時間で、

曲線 (A) A方向の平均待ち時間 w_A/n_A
 " (C) C " w_C/n_C
 " (D) 総平均待ち時間 w/n

である。(B方向はA方向と殆ど変わらないので省略)

サイクルの長さ及び到着台数を変えても、この3曲線の形は余り変化がないので一例のみにとめる。

第5図は第4図と同じ状態で、平均待ち台数を示し、

曲線 (A) A方向の平均待ち台数 $(\sum l_A)/k$
 " (C) C " $(\sum l_C)/k$

である。

第6図は到着台数がA, B方向共に1200台、C方向1000台のとき、サイクルの長さを変えて、総平均待ち時間の最小値の変化を示す。

第7図は第6図と同じであるが、1サイクル中のむだな時間 s を10秒にしたときのものである。

§ 5 考慮すべき点

今回のシミュレーションがそのまま実情に合っているとは考えられないが、シミュレーションの結果から見て、1サイクルの長さ、赤青の時間の決定に関して次のような点を研究する必要があると思われる。

(1) 1サイクルの長さが決まっているとき、青時間の長さは車の平均到着台数の比に分けるのが普通のものである。第4図の場合ならば、青時間の和は56秒で、AB方向の平均到着台数は合計2000台、C方向は800台で、56秒ををこの割合に分けると、40秒と16秒になる。これは第4図において横軸が40秒の点で、総平均待ち時間のグラフはここで最小になっている。しかし、この場合C方向の平均待ち時間は図に現われない程大(22.5秒)である。香林坊交差点の実際は36秒と20秒であるから、総平均待ち時間はやや増しているが、C方向の平均待ち時間は可成り減っている。それでもC方向の平均待ち時間はA方向の2倍以上である。果してその様な相異を運転者が感じているかどうか、ある人に訊いたところではC方向で特に待たされるという感じはないとのことであった。単なる感じの問題か、それとも実際にはシミュレーションに現われたような相異はないのか、その辺のことは不明である。

4差路では総平均待ち時間を最小にすることを考えれば十分な場合が多いかもしれないが、3差路ではその方針は不適当であろう。3差路では最適ということの基準をどのように決めるかが問題である。

(2) 青時間を決めるに当っては平均待ち時間の他に平均待ち行列も考慮しなければならない。例えば、A方向の青が34秒の場合を第4図と第5図で調べてみると、平均待ち時間においてC方向はA方向の約2倍であるが、平均待ち行列は殆んど等しい。このように平均待ち時間の比が平均待ち行列の比に等しいというような簡単な関係ではないから、両者を考慮しなければならない。

(3) 一般に交通量が多くなる程1サイクルの時間は長くするのがよいとされているようである。実際の香林坊交差点の交通は(夕刻5時前後では)相当の混雑であるが、第6図で見ると限りにおいては、1サイクルの時間は短い程総平均待ち時間を少くすることができる。交通量と共に1サイクルの時間を長くした方がよいというのは、むだな時間 s の占める割合が減少するからであろう。第6図の場合 s を4秒としたのは過少評価かもしれぬと考えたので、これを10秒〔1〕

では10秒である)にしたのが第7図である。しかし、この場合でも60秒を減じて40秒にするまでは平均待ち時間は減少した。香林坊の1サイクル60秒は長過ぎるのではあるまいかという疑いが生ずる。

道路の幅が大きいときこのむだな時間 γ は大になるであろう。そうすると大都市の場合と地方の中小都市の場合では、同じ交通量でも最適なサイクルの長さが異なるかもしれない。道路の幅員と共に交通容量も大になるから、事情は複雑であろうが、兎に角中小都市は自らの立場で交通に対する研究を行う必要がある。

次に、今回のシミュレーションには前述のように、指数乱数の乱暴な丸め方などの不満があるが、その他の不満な点及び今後考えるべき方向をあげれば次の如くである。

(1) 実情の調査、何といってもシミュレーションに信頼性を持たせるためにはこれが必要である。

(2) 電子計算機のプログラムの不手際から、A B方向毎時1300台平均、C方向1100台平均で30分間が限度となり、それより多い交通量はシミュレート出来なかった。プログラムの改良により、交通量のより多い場合もシミュレート出来るようにしたい。

(3) 各方向とも赤になったある瞬間から考え始め、それ以前の状態は考えなかった。従って、それ以前からの待ち行列が残っているという事態は生じない。青時間が短い場合には、最初の数サイクルには待ち行列や通過台数の少いものが現われ、これらのサイクルは除くべきであったかもしれない。しかし、30分間を平均すればそれ程大きな影響はないようにも思われる。

(4) 3差路にはここで扱った以外の信号方式があるので、それについての研究が必要である。その場合、右折車、左折車の割合が必要となることもあろう。

文 献

- [1] 唐津-定方「信号交差点交通の解析」数理科学, 2巻, 5号, (1964)