Ⅶ－13　　赤信号が後続交通流に及ぼす影響について

建設省九州地建　○針貝武紀　上津原忠信　日吉信介

まえがき

交差点が持っている交通容量は道路の形状特性（巾員、交差方法）と信号の運用に大きく左右されている。特に信号の運用については現示率の適正さが要求されるのであるが、必ずしも理想的な環境で使用されるとは限らないため予期せざる渋滞を経験することがある。

交差点は「方向の異なる交通流を時間帯別に処理する」機能を持った空間である。同一空間を同時に異方向の交通流は流し得ないため強制的なせき止めの必要が生ずる。

これが赤信号である。赤信号はそれにより止められた後続の交通流に影響を及ぼす。待ち行列、追従現象、波動現象などが、それである。このうち待ち行列に関して試みた解析について報告する。

1　赤信号後の交通流の状態

車の流れをせき止めると本来通過すべき交通流が滞留する。次にせきをはずすと滞留した車が先頭から順次出発してやがては元の状態に復元する筈であるが、もし復元しないうちに再びせき止めると前の渋滞が加わって待ち行列が増加していく。

その現象を少しく詳しく見てみると次のようなことが言える。

イ）せきをはずした時（青信号になった時）待ち行列を作っている車は、同時に動き出さない。
つまり最後尾についた車は先頭車が動き出してからしばらくしないと動き出さない。

ロ）さらに、せっかくせきがはずされても最後尾の車が動き出すまでの時間に、新たな待ち行列が出来てしまう。

ハ）行列を作った車はせっかく青信号となってもせき止めの位置まで行くのに時間を費す。

ニ）このようにして、本来通過すべき交通量が強制的なせき止めの後に全部出てくれなければ渋滞が増加する。この時、その信号部分は容量不足の状態にある。

2．現象の数量的な整理

次のように定義する。

q　台/車線.sec.　（1車線　1秒当り単路部交通量）
k　台/車線.m　（　〃　1m当り存在台数）
v　m/sec.　（q, k に対応する交通流の速度）
$\bar{v}$　m/sec　（行列を作った車が動き出して交差点に流入するまでの平均走行速度）
l　m/台　（待ち行列の平均車頭間隔）
τ　sec　（待ち行列車群が動き出す時、前車に続いて後続車が動き出すまでの遅れ時間）
L　m　渋滞延長
P　台/サイクル　（渋滞台数＝赤信号により停止せざるを得なかった台数）
Q　台/サイクル　（滞留台数＝本来通過すべき台数のうち通過出きなかった台数）
R ＆ G　sec/サイクル（赤信号、青信号の時間）

次のように仮定する。

⊗交通流は、空間的に等分布、等速度である、とする。

⊗待ち行列の形成は、一様な流れ方をしていた車速が停止位置に来て瞬間的に零になる、とする。

⊗車種構成、沿道状況、交差点流入後の状況など、論理を単純化して進めるために考慮の外に置く。

⊗単路部における交通流は図－1に示すようなカーブで表わされるものとする。すなわち、1つの交通需要 q に対しては、存在し得る2つの［k, v］の組合せのうち、いずれか1つの［k, v］の値が、考える範囲の時間帯で一定であるとする。

以上のことから次のような式が導かれる。

① $q = k \cdot v$ ………………………(1)

交通量(台/sec)＝空間存在密度(台/km)×速度(km/sec)

② $n = G/(\tau + l/\bar{v})$ …………(2)

但し、n は緑時間さばき台数

緑時間Gでさばける最後の車が行列のn台目に並んでいたとすれば、n台目の挙動について、

- 緑現示になって $n\cdot\tau$(sec) の後に進み始める。
- $n\cdot l$ の行列の長さを $\bar{v}$ で走るため、$nl/\bar{v}$ の時間が必要である。以上のことから、$G = n(\tau + l/\bar{v})$

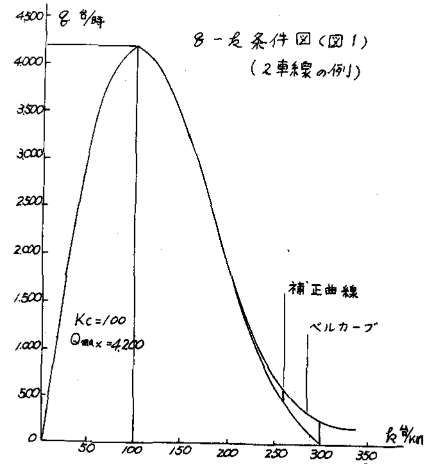
③ $Q = q(G+R) - G(\tau + l/\bar{v})$ ……(3)

1サイクルは$(G+R)$である。通過すべき交通量は$q(G+R)$、さばけた台数は $G(\tau+l/\bar{v})$ で、その差が Q である。

④ $P = qR/(1 - kl - q\tau)$ ……(4)

$L = P\cdot l$ ………(5)

(4)式は渋滞台数、(5)式は渋滞延長を示す。



q・k曲線の例 $q = \dfrac{ak}{e^{(k/k_c)^2/2}}$

本文の主目的は、(4)、(5)式にある。

今、$q = k\cdot v$ の流れがある時、R secのストップをかける。少くとも qR が停止して行列を作る。次にストップを解けば先頭車から順次出発するが qR 台目が動き出すまでに $qR\tau$ の時間を費す。

その間に停止する台数があって、それは $q \times qR\tau$ である。

この $q^2R\tau$ の最後が動き出すまでに $q^2R\tau^2$ の時間を要する。

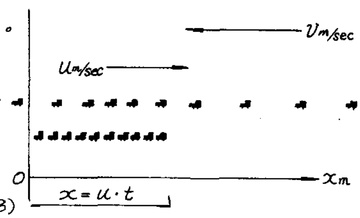
すなわち、R sec の赤信号で一担停止せざるを得なかった台数を、ここでは渋滞台数と呼び、P とおけば、

$$P' = qR + q^2R\tau + q^3R\tau^2 + \cdots\cdots q^nR\tau^{n-1}$$
$$= qR(1 - q^{n-1}\tau^{n-1})/(1 - q\tau) \cdots\cdots(6)$$
$$L' = P'\cdot l \cdots\cdots(7)$$

※後ほど補正の必要があって、$P \to P'$, $L \to L'$とした。

P', L'は信号停止位置を通過すべきものの台数に関する解析であるため現実と合わない。

すなわち、交通流と逆方向に行列が形成されていくことを、新たに考慮に入れねばならない。



今、待ち行列の形成速度、すなわち停止位置の移動速度をuとしよう。赤信号になってからt時間までに滞留する台数は本来なら信号を通過したであろう台数 qt、及び交差点から行列の最後尾までの距離に存在した筈の台数 kx、の和である。この台数をHとすると、

$$H = qt + kx,\quad x = ut,\quad x = H\cdot l$$

この3式から結論的に、$dH/dt = q/(1 - kl)$ ……(8)

かくて、(6)、(7)式におけるqを dH/dtに置きかえて実現象とせねばならない。

また、$q\tau < 1$ である。筆者らの国道3号の実測によれば $\tau = 1.2$sec、また多くの資料から、$q \leq 0.7$ 台/sec、すなわち $q\tau \leq 0.84$、したがって大きなnに対して $(1 - q^{n-1}\tau^{n-1}) \to 1$ 式(4)、(5)が導びかれる。

3．結論

一般に交差点における待ち台数の計算は 1サイクルで通過すべき台数に停止間隔を乗じて求めている。筆者の提案は後続して停止を余儀なくされる台数および延長を考慮することによって思わぬ渋滞を招く危険を防止する一助となると考える。すなわち、一般に計算される待ち行列よりも $1/(1 - kl - q\tau)$ の倍率だけ渋滞の延長が増加する。これは赤信号によって一担停止せざるを得なかったすべての台数についても適応される。