1996年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

幹線道路の交差点数と停止時間について

02601310　筑波大学　*三浦英俊　MIURA Hidetoshi
01102840　筑波大学　腰塚武志　KOSHIZUKA Takeshi

1. はじめに

都市領域に幹線道路を建設することにより，領域を通過する交通 (通過交通) に関して，移動時間を短縮することが期待されるが，一方で領域の内部で発生する交通 (内々交通) は幹線道路によって，逆に移動が不便になることがある．極端な例であるが，領域内に一つも交差点を作らないとすれば，通過交通は信号によって停止することなく移動できるが，内々交通は幹線道路を全く利用できないばかりか，幹線道路が高架でない場合には，迂回を必要とする．このように，幹線道路建設による内々交通と通過交通の移動時間に関する利便はトレードオフの関係にあることが考えられるが，本研究では，内々交通に対して交差点における進行可能時間の下限と平均停止時間を導出し，交差・数と停止時間について議論する．

2. 流入交通量の導出

図1のように，長辺 l_a，短辺 l_b の矩形領域に長辺方向の中央部に幹線道路を設置する．内々交通の起点・終点が，領域内で密度 α で一様に発生すると仮定し，起点終点間の距離は rectilinear 距離で定義する．領域から幹線道路への流出入と横断は，全て等間隔 l_a/n で設置された n 個の交差点 $J_1,\cdots,J_n$ を用いて行われるものとし，全ての交差点には信号が付置されている．幹線道路を利用する場合，起点もしくは終点から最も近い交差点から出入りするものとする．このとき，対象領域を利用交差点ごとに分割することができて，J_i 交差点を利用する小領域を，幹線道路の上側を N_i，下側を S_i とする．対象領域内の移動は，起点が小領域 $N_i(S_i)$ 内にある場合，終点が $N_{i-1}, N_i, N_{i+1}(S_{i-1}, S_i, S_{i+1})$

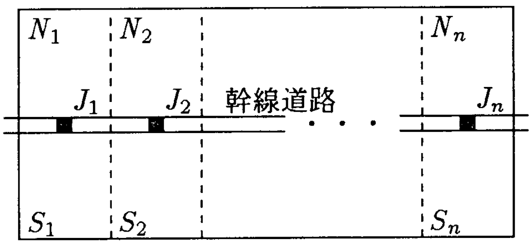

図 1: 幹線道路の設置された矩形領域

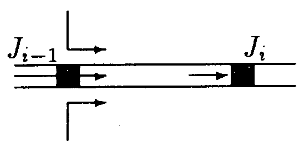

図 2: J_i 交差点に左から流入する交通量

表 1: J_i 交差点の流入交通量

流入方向	N_i から	S_i から	左から	右から
左折・直進	$\overleftarrow{q_N}(i)$	$\overleftarrow{q_S}(i)$	$\overleftarrow{q_W}(i)$	$\overleftarrow{q_E}(i)$
右折	$\overrightarrow{q_N}(i)$	$\overrightarrow{q_S}(i)$	$\overrightarrow{q_W}(i)$	$\overrightarrow{q_E}(i)$

内であれば，幹線道路を利用しないとする．このとき，J_i 交差点に流入する単位時間当りの流入交通量を表1のように定義する．すると，N_i，S_i から J_i への流入交通量は以下のように求められる．

$$\overleftarrow{q_N}(i) = \begin{cases} \dfrac{-2i+2n}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=1,\cdots,n-1), \\ \dfrac{1}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=n), \end{cases}$$

$$\overrightarrow{q_N}(i) = \begin{cases} 0 & (i=1), \\ \dfrac{2i-3}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=2,\cdots,n), \end{cases}$$

$$\overleftarrow{q_S}(i) = \begin{cases} \dfrac{1}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=1), \\ \dfrac{2i-2}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=2,\cdots,n), \end{cases}$$

$$\overrightarrow{q_S}(i) = \begin{cases} \dfrac{-2i+2n-1}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=1,\cdots,n-1), \\ 0 & (i=n). \end{cases}$$

交差点の流入交通は，各交差点に付置された信号によって進行と停止が制御される．いま，領域内の信号は，幹線横断方向左折直進→幹線横断方向右折→幹線方向左折直進→幹線方向右折の順にサイクルを成し，1つのサイクルに要する時間は全ての交差点で一定 T とする．さらに，交差点における単位時間当りの流出交通量は信号の変化によって増減するが，流入交通量は全て単位時間当り一定であると仮定する．すると例えば，J_i 交差点に左から流入する単位時間当りの交通量は J_{i-1} 交差点における，上から左折，下から右折，左から直進のそれぞれの単位時間当りの流出交通量によって求められる (図2)．この仮定から，交差点に左・右から流入する交通量は以下のように求められる．

$$\overleftarrow{q_W}(i) = \begin{cases} 0 & (i=1), \\ \dfrac{-4i^2+(4n+6)i-4n-3}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & \\ & (i=2,\cdots,n), \end{cases}$$

$$\overrightarrow{q_W}(i) = \begin{cases} 0 & (i=1), \\ \dfrac{2i-3}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=2,\cdots,n), \end{cases}$$

$$\overleftarrow{q_E}(i) = \begin{cases} \dfrac{-4i^2+(4n+2)i-2n-1}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & \\ & (i=1,\cdots,n-1), \\ \dfrac{2i-2}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=n), \end{cases}$$

$$\overrightarrow{q_E}(i) = \begin{cases} \dfrac{-2i+2n-1}{4n^2}(l_a l_b)^2\alpha & (i=1,\cdots,n-1), \\ 0 & (i=n). \end{cases}$$

3. 限界進行可能時間の導出

交差点のある流入・流出方向に関する単位時間当りの流入交通量をqで一様に到着するとし，それに対する信号 1 サイクル当りの進行可能時間比を $k(0 < k \leq 1)$ とする．さらに，交差点で停止した車両が交差点を通過するのに要する時間は，その車両の前で待機している車両数に比例すると仮定し，その係数をβとする．信号 1 サイクル当りの流入交通量は qT，最大通過可能交通量はβkTなので，進行可能時間比は

$$k \leq \frac{q}{\beta} \tag{1}$$

の場合，交差点で信号 1 サイクル以上停止する車両が出現し，かつ停止車両数は時間経過につれて増加する．この状態を渋滞と定義し，q/βを限界進行可能時間比と呼ぶことにする．また，このとき任意の時間に到着する車両の平均停止時間 wを求めると，

$$w = \frac{\beta}{2(\beta - q)}(1-k)^2 T \tag{2}$$

となる．この式から，平均停止時間は進行不可能時間 $(1-k)$ の 2 乗と信号サイクル時間Tに比例することが明かとなった．式 (1) から，信号 1 サイクルのうち渋滞の発生しない限界の進行可能時間を上下方向左折直進 $k_1(i)$ ，上下方向右折 $k_2(i)$ ，左右方向左折直進 $k_3(i)$ ，左右方向右折 $k_4(i)$ と置けば，それらは

$$k_1(i) = \max\left\{\overleftarrow{q_N}(i), \overleftarrow{q_S}(i)\right\}/\beta,$$
$$k_2(i) = \max\left\{\overrightarrow{q_N}(i), \overrightarrow{q_S}(i)\right\}/\beta,$$
$$k_3(i) = \max\left\{\overleftarrow{q_W}(i), \overleftarrow{q_E}(i)\right\}/\beta,$$
$$k_4(i) = \max\left\{\overrightarrow{q_W}(i), \overrightarrow{q_E}(i)\right\}/\beta$$

と求められ，J_i交差点において，各方向の進行可能時間を $k_1(i)T, k_2(i)T, k_3(i)T, k_4(i)T$以下にすると渋滞が発生する．

4. 平均停止時間の導出

ここで，領域とパラメータを与えて，交差点数と平均停止時間の関係を調べてみる．領域の大きさを l_a =5.0km ，l_b =0.2km とする．この領域につくば市と同じ人口密度 560 人/km^{2}が住んでおり，1 時間に 1 人が 1 トリップを発生させるとしてα =560 トリップ/km^4/時間，信号 1 サイクルを $T = 1/60$ 時間とする．また，J_i交差点の信号の進行可能時間比を限界進行時間比を用いて

幹線横断方向左折直進：$k_1/(k_1+k_2+k_3+k_4)$,
幹線横断方向右折　　：$k_2/(k_1+k_2+k_3+k_4)$,
幹線方向左折直進　　：$k_3/(k_1+k_2+k_3+k_4)$,
幹線方向右折　　　　：$k_4/(k_1+k_2+k_3+k_4)$

として，式 (2) を用いて幹線方向左折直進の平均停止時間合計を求めると図3のようになり，このとき交差点数にほぼ比例して平均停止時間が増加することが読み取れる．例えば n = 20(交差点間隔 250m) のとき J_1交差点から J_{20}交差点まで移動するならば，平均的に停止時間を約 8 分要するのである．

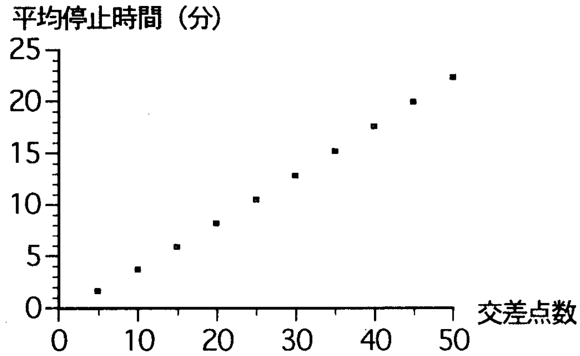

図 3: 交差点数と平均停止時間

5. おわりに

本研究では，幹線道路の敷設された矩形領域において，内々交通のみが発生する場合の各交差点の限界進行可能時間と平均停止時間の導出を行った．

ここでは通過交通は考慮しなかったが，例えば限界進行可能時間の和 $k_1+k_2+k_3+k_4$が最大となる交差点で内々交通のために各進行方向の進行可能時間を k_1, k_2, k_3, k_4に与え，残りの時間 $(1-(k_1+k_2+k_3+k_4))T$を通過交通にあてたとしても，渋滞は発生しない．このことを用いて，渋滞の発生しない通過交通量の上限を議論することが可能である．

5. 参考文献

[1] 土木学会・編 (1989):土木工学ハンドブック．技報堂出版．