Ⅳ－361

２方向２車線道路の旅行時間分布モデルの構築に関する研究

九州大学　正員○辰巳　浩　　九州大学　正員　樗木　武
大韓住宅公社住宅研究所　正員　姜　元義　　九州大学　原　信史

１．まえがき

旅行時間に関し、実際にある区間で車を走行させて計測することや、観測可能な交通量や混雑状況等から推測する研究[1)]等がなされてきた。また、交通需要配分のために、旅行時間と交通量との関係を特定の関数で定式化する試みもある[2)]。しかし、それらは大まかな平均旅行時間の推測であり厳密とはいえない。

そこで本研究は、交差点の影響が少ない２車線道路における交通流を対象に、ある区間の旅行時間を確率的に求めるものである。すなわち、ある車が道路上のある地点で遭遇する交通量は確率的であり、したがって、そのもとで求められる旅行時間がまた確率的であるとして、旅行時間の確率分布を求めるものである。

２．旅行時間分布モデルの構築

著者らは先に、２車線道路で、交差点の影響の少ない場合の１分間交通流を非渋滞流と渋滞流とに区分し、各交通量レベル毎の速度分布特性と交通量との関係を求め、その上で交通量レベルに応ずる基本速度分布モデルを提案した[3)]。その結果、基本速度分布が、非渋滞流では正規分布に、渋滞流では対数正規分布により表現できることを明らかにした。非渋滞流において、交通量レベルがq(台/分)であるときの正規分布のパラメータは、次の回帰式で与えられる。

$$\mu=55.056-0.255q \qquad (km/h)$$

$$\sigma=(1.303+6.353q)/q \qquad (km/h)$$

また、渋滞流において、対数正規分布のパラメータは、近似的に次式で与えられる。

$$\mu_{\ell}= \quad m_c-0.5 \quad \left\{\left(\frac{d_c}{m_c}\right)^2+1.0\right\}$$

$$\sigma_{\ell}=\sqrt{\quad \left\{\left(\frac{d_c}{m_c}\right)^2+1.0\right\}}$$

ここで、$m_c=3.007+0.785q \qquad (km/h)$

$$d_c=q/(0.351+0.138q) \qquad (km/h)$$

距離ℓと速度uおよび旅行時間tとの関係は、周知のとおり、次の関係がある。

$$u=\ell/t \tag{1}$$

ここで、距離ℓを確定量とすれば、速度uの確率密度関数が明らかであるとき、旅行時間tの確率密度関数は$|du/dt|=\ell/t^2$である。このことから、非渋滞流の旅行時間tの確率密度関数$P_n(t)$は

$$P_n(t)=\frac{\ell}{t^2}\cdot S_n\left(\frac{\ell}{t}\right) \tag{2}$$

となる。上式に速度分布の確率密度関数を代入し、また、ℓの単位をkm、tのそれを秒とすれば、非渋滞流の確率密度関数$P_{ng}(t)$は次式のようになる。

$$P_{nq}(t)=\frac{1}{3600}\cdot\frac{\ell}{t^2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\ \sigma}\exp -\frac{1}{2}\ \frac{\ell/t-\mu}{\sigma}^2 \qquad (1/\mathrm{sec}) \tag{3}$$

同様にして、渋滞流は次のとおりである。

$$P_{cq}(t)=\frac{\ell}{3600t}\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\ \sigma_{\ell}}\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ell_n(\ell/t)-\mu_{\ell}}{\sigma_{\ell}}\right)^2\right\} \qquad (1/\mathrm{sec}) \tag{4}$$

式(3)、(4)は、交通量レベルqが与えられたときのtの確率密度関数で、基本旅行時間分布と呼ぶ。

旅行時間は、ある車が区間ℓで遭遇する交通量をその地点で観測される交通量分布に従うとみなし、その確率のもとで算定される確率分布である。あるいは、区間ℓが設定されるとき、そこを通過する車の旅行時間を確率分布で表現すれば、それは観測される交通量分布に対する旅行時間分布を求めることに他ならない。また、交通量分布に従って、各交通量レベル毎の基本交通量分布を集積することにより実際旅行時間分布がえられる。

非渋滞流、渋滞流あるいはそれらの混合流に関して、１分間交通量の最小値は0台/分であり、最大値は実測によれば27台/分である。従って、実際の交通量分布は［0,27］（台/分)の区間で定義され、ベータ分布で表現できる[3)]。そこで、非渋滞流および渋滞流における交通量q(台/分)の確率密度関数を$\phi_n(q)$、$\phi_c(q)$とすると非渋滞流における実際の旅行時間分布$J_n(t)$は、次式のとおりである。

$$J_n(t)=\int_0^{27}\phi_n(q)P_{ng}(t)dq$$

$$=\int_0^{27}\frac{1}{27\beta(a_n,b_n)}\left(\frac{q}{27}\right)^{(a_n-1)}\left(1-\frac{q}{27}\right)^{(b_n-1)}\cdot\frac{\ell}{3600t^2}$$

$$\cdot\frac{1}{\sqrt{2\pi}\ (1.303+6.3538)/q}\cdot\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ell/t-55.056-0.255q}{(1.303+6.353q)/q}\right)^2\right\}dq \qquad (1/\mathrm{sec}) \tag{5}$$

また、渋滞流における実際旅行時間分布$J_c(t)$は

$$J_c(t)=\int_0^{27}\phi_c(q)P_{cg}(t)dq$$
$$=\int_0^{27}\frac{1}{27\beta(a_c,b_c)}\left(\frac{q}{27}\right)^{(a_c-1)}\left(1-\frac{q}{27}\right)^{(b_c-1)}\cdot\frac{\ell}{3600t\sqrt{2\pi\Omega}}\cdot\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ell_n(\ell/t)-h+0.5\Omega}{\sqrt{\Omega}}\right)^2\right\}dq \quad (1/\mathrm{sec}) \qquad (6)$$

ここに、$h=3.007+0.785q$

$$\Omega=\left\{\left(\frac{h}{q/(0.351+0.138q)}\right)^2+1\right\}$$

$$a_n=-\frac{49.019}{q_m-30.637}、\quad b_n=55.737q_m-1.184$$

$$a_c=-\frac{74.074}{q_m-29.667}、\quad b_c=82.316q_m-1.145$$

$$\beta(a,b)=\int_0^1\chi^{a-1}(1-\chi)^{b-1}d\chi$$

q_m：与えられた時間長における平均交通量(台/分)

さらに、混合流において、その渋滞車割合をR_cとすれば、混合流の実際旅行時間分布$J(t)$が次のように算定される。

$$J(t)=(1-R_c)J_n(t)+R_cJ_c(t) \qquad (7)$$

以上、式(5)、(6)、(7)が各交通流状態に対する実際旅行時間分布であるが、具体的計算は数値積分によらねばならない。

３．基本旅行時間および実際旅行時間の分布特性

式(3)にもとづく非渋滞流の基本旅行時間分布は概ねt=45～120秒の値をもつ。平均旅行時間は、q=２台/分で67.1秒で、交通量の増大とともにほぼ直線的に増加し、q=26台/分で75.7秒となる。標準偏差は、交通量レベルの変動による変化が小さく、8.8～10.6秒の値をとる。歪度は0.8～0.9で交通量レベルが変化してもほとんど変らず、尖度も4.5程度である。

渋滞流の基本旅行時間分布では、非渋滞流の場合に比して、tの分布範囲は極めて大きいが、交通量レベルが小さいときほど広範囲に分布し、q=2台/分で100秒から2000秒を越える範囲に及ぶ。以降、交通量レベルが大きくなるにつれ基本旅行時間分布の範囲は狭められ、q=26台/分では50秒～400秒の範囲にあり、ピーク性が高くなる。tの平均値は、q=2台/分のとき824秒と極めて大きい。また、交通量レベルが高くなるとtの平均値は小さくなり、q=24台/分で180秒となる。

tの標準偏差と交通量qとの関係は、平均値と同様に交通量レベルが大きくなるに従い小さい値になることが明らかである。また、歪度は概ね1.0の値をとり、尖度は3～7と変化するが、交通量が約12台/分のとき最も大きい値となる。

非渋滞流における平均交通量q_mのレベル毎の実際旅行時間分布の分布特性について、tの分布範囲は、基本旅行時間分布とさほど変らないが、どちらかといえばより拡大し、その分ピークは小さい。また、分布特性はqをq_mに置き換えたものとは必ずしも一致しない。すなわち、q_mが小さい場合および大きい場合の旅行時間の分布特性に変化があり、ともに平均旅行時間が基本旅行時間のそれより低下する。しかし、平均交通量6～20台/分の交通流に対する実際旅行時間分布は、q_mをqに読みかえた基本旅行時間分布と概ね同じである。

一方、渋滞流に関する実際旅行時間分布の分布形および分布特性は、基本旅行時間分布に比し分布範囲がやや拡大し、ピーク率が減少している。平均値、標準偏差と交通量との関係は、実際旅行時間分布の方が若干大きい値をもつが、ほぼ基本旅行時間分布に類似した内容である。また、歪度・尖度は実際旅行時間分布の方が大きな値となる。

４．おわりに

旅行時間と速度との関係から、著者らが先に提案した基本速度分布を用いて基本旅行時間分布を誘導した。その上で、ベータ分布で表現される実際の交通量分布に応じた実際旅行時間分布を明らかにし、その分布特性について論じた。これらの成果は、これまで必ずしも明らかでなかった旅行時間分布を明らかにするとともに、実際の交通流現象をシュミレートする場合に役立てることができる。

交通量を道路網に配分する場合にも旅行時間と交通量との関係が必要であるが、それは12時間あるいは24時間の交通量分布と渋滞車割合の変動を明らかにした上で本論の適用となる。

参考論文

1)川嶋、小島、金子：車両感知器を用いた旅行時間算出について、第13回交通工学研究発表会論文集、pp.17～20,H5.11.

2)Branston D.:Link Capacity Functions:a Review, Transpn. Res., Vol.10, pp.223 ～ 236, 1976.

3)Chishaki T. et al.:A Study on the Estimation of Traffic Flow Conditions and Speed Distribution Model Based on the Fluctuation of Traffic Volumes, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol.52, No.4, pp.361 ～ 378, 1992.