

山口大学 正員 田村 洋一
九州大学 正員 橋木 武

1. はじめに 車頭時間分布に関する従来の研究は多様であるが、その代表的なものは、交通流が自由車と追従車とからなるものと仮定し、それぞれに異なる分布を適用した複合分布モデルによりこれを表現しようとするものである。しかし、これらの研究に共通する根本的な問題は、交通流における自由車、追従車構成、単に複合分布モデル仮定の理念として用いられているに過ぎず、具体的な諸分布のパラメータが観測データより最終的に推定されることにある。このため得られたモデルは、データの良好な表現にはなるとしても、交通流の内部構造の把握に直接寄与するものではなく、諸交通状態に対する汎用性、交通流挙動の内部構造解明といった点であいまいであり、疑問が残る。以上の問題点をふまえ、本研究においては、交通流が自由車、追従車により構成されることを前提として、自由車、追従車の分離方法について一提案を行ない、それにもとづいた車頭時間分布モデルの構築をはかるものである。

2. 自由車率 $\alpha(t)$ の定義と誘導 連続する2台の車に注目し、先行車、後続車の速度 x, y の差 $z = x - y$ を相対速度と定義すると、相対速度の平均 μ_z 、分散 σ_z^2 は、先行車、後続車の速度の平均 μ_x, μ_y 、分散 σ_x^2, σ_y^2 および x, y の共分散 $Cov(xy)$ により次式で表わされる。

$$\mu_z = \mu_x - \mu_y \quad (1)$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 - 2Cov(xy) + \sigma_y^2 \quad (2)$$

あるいは、 $Cov(xy)$ のかわりに相関係数 S を用いると、

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 - 2S\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 \quad (3)$$

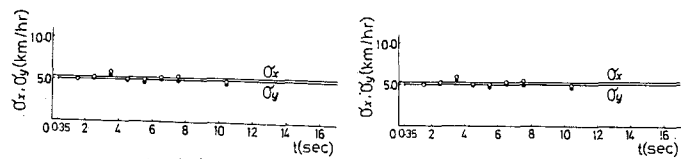
と表わされる。 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_x\sigma_y, Cov(xy)$ について観測データより得られた結果を、図1, 2に示す。これらの図より、非渋滞時の共分散が車頭時間 t が大きくなるにつれ減少する傾向を示すのみで、他は全 t に対して一定であることをかみかる。

したがって、渋滞時においては σ_z^2 は一定であり、非渋滞時においては σ_z^2 が変化することかみかる。これらのことから、非渋滞時においては、 σ_z^2 は t の関数として表現でき、 $\sigma_z^2 = \sigma_z^2(t)$ とし t を次式で表わされる。

$$\sigma_z^2 = 2\{\sigma_x^2 - Cov_{xy}(t)\} \quad (4)$$

あるいは、

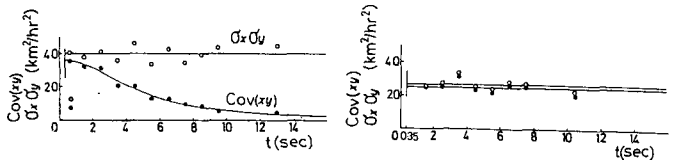
$$\sigma_z^2 = 2\sigma_x^2\{1 - S(t)\} \quad (5)$$



(a) 非渋滞流

(b) 渋滞流

図1. 先行車、後続車の速度の標準偏差と車頭時間の関係



(a) 非渋滞流

(b) 渋滞流

図2. $Cov(xy)$ $\sigma_x\sigma_y$ と車頭時間との関係

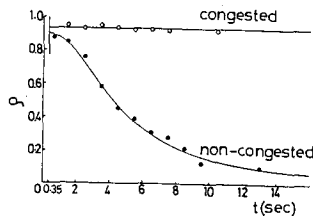


図3. S と車頭時間の関係

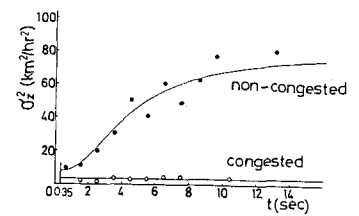


図4. σ_z^2 と車頭時間の関係

$Cov_{xy}(t)$ を求めるため、データに対して曲線回帰を行なった結果、次式が得られた。

$$Cov_{xy}(t) = \frac{B}{A(t-t_0)^2 + 1} \quad (6)$$

ここで $A = 0.055$, $B = 36.0$, $t_0 = 0.35$ 秒とあり、 t は後続車の車頭時間、 t_0 は最小車頭時間である。

$Cov(xy)$ は $t=t_0$ で最大、 $t \rightarrow \infty$ で 0 となる

相対速度分布の密度関数を $\phi(z)$, 全車自由走行時, 全車追従走行時の密度関数をそれぞれ $\phi_f(z)$, $\phi_g(z)$ とすると, 式(7)が成立すると仮定すれば, $\phi(z)$, $\phi_f(z)$, $\phi_g(z)$ の分散 σ_z^2 , σ_f^2 , σ_g^2 に関して式(8)が成立する。

$$\phi(z) = \alpha \phi_f(z) + (1-\alpha) \phi_g(z) \quad (7) \quad \sigma_z^2 = \alpha \sigma_f^2 + (1-\alpha) \sigma_g^2 \quad (8)$$

式(8)を α について解くと式(9)が得られる。ここで σ_f^2 , σ_g^2 は定数であり, σ_z^2 は t の関数であることから, 結局 α は t の関数, すなわち $\alpha = \alpha(t)$ となり, また $\alpha(t)$ は, 車頭時間 t で走行する車における自由車の割合を表わすものと考へられ, この意味で $\alpha(t)$ を自由車率と呼ぶことにする。式(9)を式(6)に代入して, 結局, 式(10)を得る。

$$\alpha = \frac{\sigma_z^2 - \sigma_g^2}{\sigma_f^2 - \sigma_g^2} \quad (9)$$

$$\alpha(t) = \frac{A(t-t_0)^2}{A(t-t_0)^2 + 1} \quad (10)$$

3. 車頭時間分布モデルと自由車割合 P_f

式(10)で求められ $\alpha(t)$ を用いて, 車頭時間分布は自由車に対するものと追従車に対するものと分離可能である。そこで, 車頭時間分布 $h(t)$ は, 自由車, 追従車の車頭時間分布 $f(t)$, $g(t)$, 全交通流中に占める自由車の割合 P_f により, 式(11)の複合分布モデルとして表わされる。また $\alpha(t)$ の定義より, $h(t)$ は, 式(12)(13)により表わすことが可能であり, P_f , $1-P_f$ は, 式(14)(15)により求められる。

$$h(t) = P_f f(t) + (1-P_f) g(t) \quad (11) \quad h(t) = \frac{P_f}{\alpha(t)} f(t) \quad (12) \quad h(t) = \frac{1-P_f}{1-\alpha(t)} g(t) \quad (13)$$

$$P_f = 1 / \int_{t_0}^{\infty} \frac{1}{\alpha(t)} f(t) dt \quad (14)$$

$$1-P_f = 1 / \int_{t_0}^{\infty} \frac{1}{1-\alpha(t)} g(t) dt \quad (15)$$

$\alpha(t)$ を用いて, 自由車, 追従車を分離した結果得られ t_0 非渋滞時における自由車, 追従車に対する平均, 分散, $(\bar{t}_f, \bar{t}_g, \bar{t}_f, \bar{t}_g)$ を図6に示す。渋滞時においては, 全車追従車と見なされる。この場合の平均 $\bar{t}_0$, 分散 $\bar{t}_0$ を図7に示す。これらのプロットに対して曲線回帰を行なった結果, 式(16)(17)(18)を得る。

$$\begin{cases} \bar{t}_f = 2.9 Q^{-0.9517} \\ \bar{t}_g = 12.4 Q^{-0.2496} \\ \bar{t}_0 = 5.6 \cdot 10^5 Q^{-1.2780} \end{cases} \quad (16) \quad \begin{cases} \bar{t}_f = 12.4 Q^{-0.2496} \\ \bar{t}_g = 1.72 \cdot 10^4 Q^{-1.3003} \\ \bar{t}_0 = 8.13 \cdot 10^5 Q^{-1.8097} \end{cases} \quad (17) \quad \begin{cases} \bar{t}_f = 3600/Q \\ \bar{t}_g = 8.13 \cdot 10^5 Q^{-1.8097} \end{cases} \quad (18)$$

回帰曲線は $\bar{t}-Q$ と良好な一致を示している。式(10)より, $1-P_f$ は $g(t)$ の2次モーメントを求めることにより計算される。計算結果と $\bar{t}-Q$ プロットの関係を図8に示すが, 両者はよく一致している。以上のことから, 車頭時間分布のパラメータは, 全交通量の関数として表現し得ることをわがかり。

4. おわりに 本研究で得られ t 事項を要約すると (1) 自由車, 追従車は相対速度分布の分散を指標として導かれる自由車率 $\alpha(t)$ により分離可能であり, 車頭時間分布よりみれば自由車, 追従車という交通流の内部構造を明らかにすることができ。 (2) モデルのパラメータは全交通量の関数として表現することが可能であり, その結果, 車頭時間分布が一元的に表現できる。 (3) 従来の複合分布モデルのみでなく, 自由車, 追従車のいずれか一方のみを用いて車頭時間分布を表現するモデルが誘導された。具体的なモデルと観測データとの比較については, 講演当日に報告する。

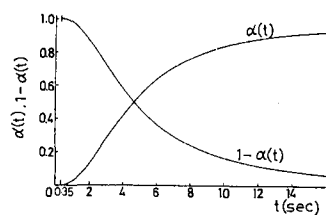
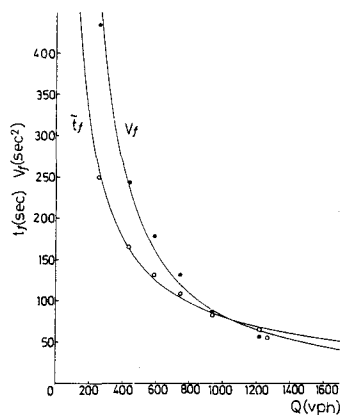
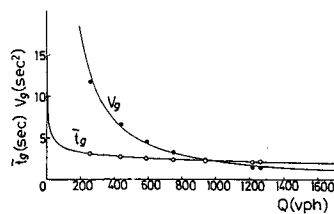


図5. $\alpha(t)$ と $1-\alpha(t)$



(a) 自由車



(b) 追従車

図6. 非渋滞流の車頭時間分布の平均分散と交通量との関係

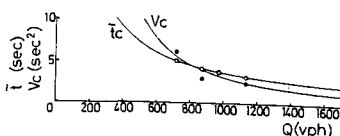


図7. 渋滞流の車頭時間分布の平均分散と交通量との関係

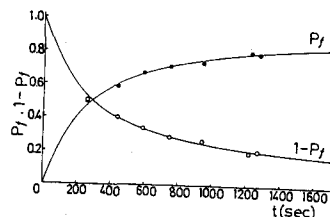


図8. P_f , $1-P_f$ と交通量との関係