

名古屋大学 正員 河上 省吾
豊田 高寿 正員 ○ 荻野 弘

1. まえがき

信号交差点群制御の最適化を図る場合の効率の尺度として、走行車両の速度、停止時間、停止回数等が採られている。これらは、車団を矩形波あるいは拡散矩形波と考へて交通損失を求めている。しかしながら、信号により停止させられる車団は時間の経過に従い拡散することが知られており、TRANSYT方式では実測結果を基に到着波形を予測し好結果を得ている。一方、動力学的な観点から車団中の車の速度の分布を正規分布と考へた Grace と Potts の解²⁾、あるいは一様分布と考へた解などが知られている。動力学的なものは車団中の車を自由行程と考へて、自由な追越を仮定しており、現実問題として、片側1~2車線ではかなり追越が拘束されるため、片側3車線以上の多車線に適用されるべきであろう。本研究では、動力学的解の適用が困難とされる片側1車線道路(追越禁止)における車団の拡散を、単純な数値計算により求める方法を示す。

2. 先頭車の到着時間確率密度

i) 空間速度の確率密度関数が $f(v)$ で与えられる場合 $t = \frac{x}{v}$ なる密度関数は

$$f(v)dv = f\left(\frac{x}{t}\right) \cdot \left|\frac{\partial v}{\partial t}\right| dt \quad \text{----- (1)}$$

よって $P_1(t|x) \equiv f\left(\frac{x}{t}\right) \cdot \left|\frac{\partial v}{\partial t}\right| \quad \text{----- (2)}$

右辺は到着時間 t の密度関数であり、車の地点 x での空間速度の密度 $f(v)$ が与えられれば、先頭車の到着時間確率密度は(2)式により与えられる。いま空間速度の分布を正規分布と仮定すれば(2)式は以下のようになる。

$$P_1(t|x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t^2} e^{-\frac{(\frac{x}{t} - \bar{v})^2}{2\sigma^2}} \quad \text{----- (3)}$$

ここに $\bar{v}$; 空間平均速度 (m/sec), σ ; 速度の標準偏差 (m/sec)

ii) 先頭車の到着時間分布を Γ 分布と考へた場合、 $P_1(t|x)$ は

$$P_1(t|x) = \frac{1}{(\mu-1)!} \alpha^\mu t^{\mu-1} e^{-\alpha t} \quad \text{----- (4)}$$

図1は(3)式と(4)式と実測値との関係であり、信号機制御効率の精度との関係からすればいずれの式でもよいと思われる。

3. 車団波長の確率密度

車団が n 台で構成される場合、 n 台目までの車頭時間の和が車団波長となる。車団中の車頭時間を互いに独立したものと仮定すれば、車団波長は車頭時間の $(n-1)$ 重のたたみ込みにより得られる。すなわち

$$t_n = h_1 + h_2 + \dots + h_i + \dots + h_n \quad \text{----- (5)}$$

ここに t_n ; 車団が n 台である場合の車団波長

h_i ; 先頭から数えて i 番目の車の車頭時間

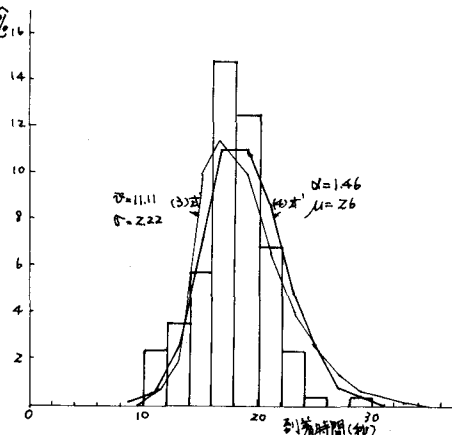


図1 先頭車の到着時間分布

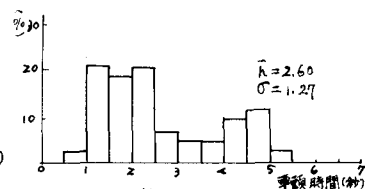


図2 2台目の車頭時間分布(200m)

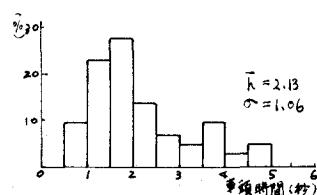


図3 3台目の車頭時間分布(200m)

i) 車頭時間 h の分布が指数分布と仮定すれば、車頭波長 t_n の密度関数は

$$P(t|n) = \frac{\lambda(\lambda t)^{n-2}}{n-2} e^{-\lambda t} \quad \text{----- (6)}$$

ii) 車頭時間 h をパラメータ α, ν が共通な Γ 分布と仮定すれば、車頭波長 t_n は

$$P(h) = \frac{1}{(\nu-1)!} \alpha^\nu h^{\nu-1} e^{-\alpha h} \quad \text{----- (7)}$$

$$\text{よって } P_n(t|n) = \frac{\alpha^{(n-1)\nu}}{\{(n-1)\nu-1\}!} t^{(n-1)\nu-1} e^{-\alpha t} \quad \text{----- (8)}$$

$$\text{ここに } \bar{h} = 1/\alpha, \quad \sigma_h^2 = 1/\alpha^2$$

車団が10台で形成されている場合の車頭波長の結果を図6に示す。

4. 車団が n 台である場合の最後尾車の到着時間確率密度

車団の最後尾車の到着時間確率密度は、先頭車の到着密度と車頭波長とのたたみ込みにより求まる。すなわち

$$P_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_1(t-y|x) P_h(y|n) dy \quad \text{---- (9)}$$

$P_1(t|x)$ に(3)式あるいは(4)式を、また $P_h(t|n)$ に(6)式あるいは(8)式を適用すれば、車団の最後尾車の到着時間確率密度は(9)式より求まる。 $P_1(t|x)$ に(4)式を、 $P_h(t|n)$ に(8)式を適用した場合で、パラメータ α を共通と考えれば(9)式は次のようになる。

$$P_n(t) = \frac{\alpha^{(n-1)\nu+\mu}}{\{(n-1)\nu+\mu-1\}!} t^{(n-1)\nu+\mu-1} e^{-\alpha t} \quad \text{---- (10)}$$

10台目についての結果は図7のようであり、(10)式は全体に早く到着しており、また $P_1(t|x)$ に(3)式を、 $P_h(t|n)$ に(6)式を適用して計算した結果も早目である。これらの結果からみると計算は複雑となるが(9)式を適用することがよいと判る。

5. 車団全体の到着時間確率密度

距離 x を固定した場合の k 台目の車の到着時間確率密度は、(9)式で $n=k$ とすればよく、車団全体での到着密度は

$$P_T(t|k) = \{P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_k(t)\} / k \quad \text{---- (11)}$$

6. あとがき

停止台数の予測ができれば車両検知器を減らすことができる。先に示した(11)式により車団全体の到着時間確率密度が求まるので、信号制御パラメータが与えられれば停止確率が算出でき、信号機で停止する台数の予測が可能となる。従って、車両検知器の減少が期待でき、通信回線を含む制御システムの縮小ができ、従来困難とされた中小都市などの面制御の導入が容易となる。本研究では片側1車線について考察したが、幅員方向への拡散(車線変更)を考慮すれば多車線への適用も可能である。また、実際の適用にあたっては、道路特性が十分反映できるパラメータの決定が必要であり、更に車種の混入によっても左右されるので、道路条件、治道条件の異なる多くの地点での実測が必要となろう。

参考文献

- 1) P.I. Robertson, "TRANSLY" method for are traffic control, Traffic Eng. & Control, p.276-281 (1969)
- 2) A Theory of the Diffusion of Traffic Platoons, JORS. p.255-275 (1962)

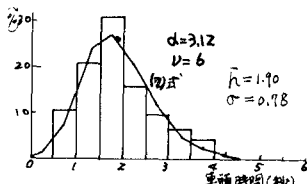


図4 5台目の車頭時間分布(200m)

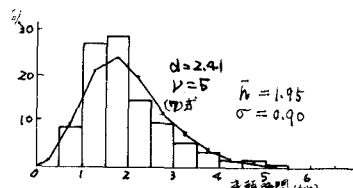


図5 3-10台目の車頭時間分布(200m)

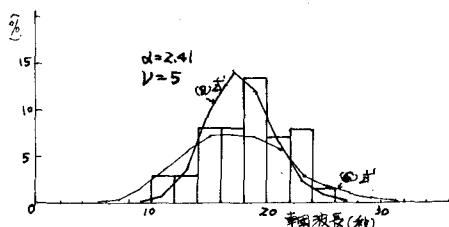


図6 車頭波長 $n=10$ 台の場合(200m)

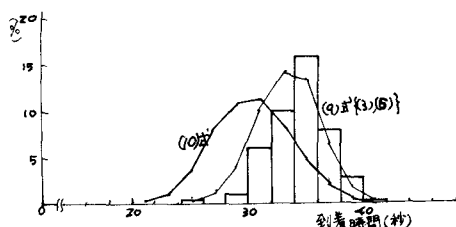


図7 10台目の到着時間(200m)