

IV-113 追従状態における速度変動のモデル化について

大木建設（株） 正員 藤田 裕治
長岡技術科学大学 正員 長瀬 龍彦

1. はじめに

道路交通の要素は運転者と自動車から成るマン・マシンシステムである。従ってその現象はある程度の範囲内においてゆらぎを生じているが、従来の研究においては、これを平均化して論じることが多かった。

本研究では、従来必ずしも着目されなかった速度の変動を前提とした速度分布モデルを構築するとともに、物理量を直接用いていた従来の追従モデルに対し、心理的な認知量を取り入れた新たな追従モデルを構築し、これによって交通流内部の定常的な速度の変動を再現できることを示した。

2. 速度変動を考慮した速度分布モデル

走行速度の分布モデルとしては、正規分布や対数正規分布が主に用いられてきた。これらはいずれも1つのピークをもつが、実際のデータによると、2つのピークをもつものも少なくない。また、その標準偏差も車間距離に比べて極めて大きく、速度が固定されれば短時間で追突が生じる状態を表している。

この追突が全て回避されているのは、各車の速度がある範囲内で常に変動しているためである。

ここで、その変動を正弦波の単振動で近似できると仮定すると、時刻 t における速度は以下の様になる。

$$v(t) = v_0 + r \sin(\omega t) \quad \dots (1)$$

ただし、 v_0 ：各車の平均速度 ω ：角速度

r ：振幅

この振動を連続して観測すると、その確率密度関数は、以下の様になる。

$$f(v) = \frac{1}{(\pi/\omega)} \cdot \frac{d}{dv} \cdot [1/\omega \cdot \sin^2\{(v-v_0)/r\}]$$

$$= \frac{1}{\pi r \{1-(v-v_0)^2/r^2\}^{0.5}} \quad \dots (2)$$

さらに、 v_0 が各車によって異なることを考慮し、これが正規分布しているとすれば、定常状態にある交通流内部の速度の確率密度は、以下の様になる。

$$F(v) = \frac{1}{\sigma r (2\pi)^{0.5}} \cdot \int_{v-r}^{v+r} \frac{\exp\{-(x-v_0)^2/2\sigma^2\}}{\{1-(v-x)^2/r^2\}^{0.5}} dx \quad \dots (3)$$

ただし、 σ ： v_0 の標準偏差

この分布形は、 r に比べて σ が小的时候には明確な2つのピークをもち、 σ が大となるに従いしだいに正規分布に近づく。（図-1）これを、北海道の国道232号留萌市における観測データ（5分間集計値）について当てはめた例が図-2であり、全データの内、約80%について、適合度25%以上という結果を得た。

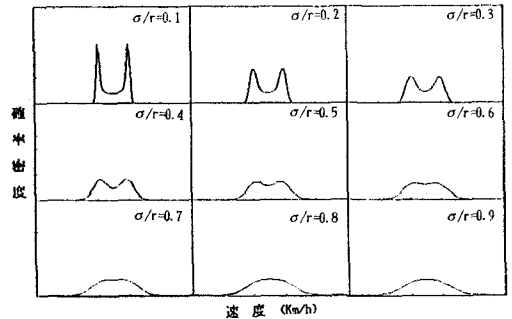


図-1 σ/r 別確率密度

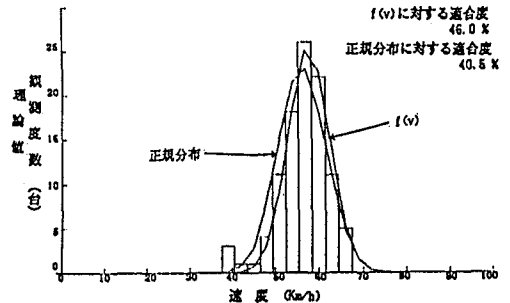
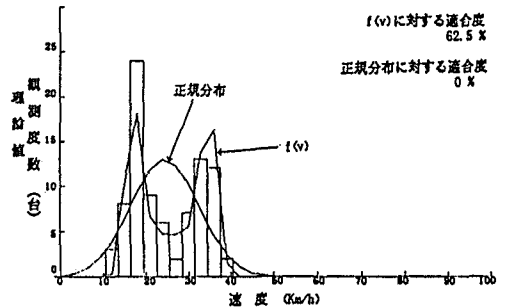


図-2 (3)式計算例

3. 従来の追従モデルの問題点

従来の追従モデルは、平均的な速度と密度あるいは交通量との関係を記述するには適しているが、前記の様な速度の定常的な変動を説明することは困難である。

例として、以下の様な方程式の追従モデルを用いる。

$$\ddot{X}_{n+1}(t) = \frac{\lambda_0 \{\dot{X}_n(t-T) - \dot{X}_{n+1}(t-T)\}}{X_n(t-T) - X_{n+1}(t-T)} \quad \dots (4)$$

ただし、 X_n : n番めの車の位置

$\dot{X}_n$: " 速度

$\ddot{X}_n$: " 加速度

t : 時刻, λ_0 : 定数

T : 反応遅れ時間

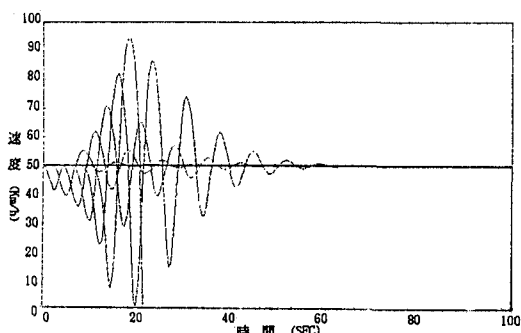


図-3 速度変動図(1)

ここで、11台の車群について、先頭車が一時的に減速した場合の後続車の速度変動は図-3の様になり、停止あるいは追突が生じる程の変動を生じた車があっても、その先行車はわずか数回の振動でただちに平均速度に収束してしまい、実際の観測結果に見られる速度変動の継続性を再現できないことが分かる。

4. 心理的認知量を取り入れた追従モデル

従来の追従モデルは、車頭間隔等の物理量をそのまま取り入れていたが、追従現象は運転者の心理的挙動の現れであるので、これらの物理量を心理的認知量に変換して用いることが考えられる。Weber-Fechnerの法則によれば、感覚量（認知量） ψ と刺激量（物理量）

I の関係は以下の式で表される。¹⁾²⁾

$$\psi = A \log I + B \quad \dots (5)$$

ただし、 A , B : 定数

この考えをとりいれ、以下のモデルを設定した。

$$|\ddot{X}_{n+1}(t)| = \frac{C/T \cdot \log |\dot{X}_n(t-T) - \dot{X}_{n+1}(t-T) + \beta_2|}{1 + \alpha \cdot \log |X_n(t-T) - X_{n+1}(t-T) + \beta_1|} \quad \dots (6)$$

ただし、 C , α , β : 定数

さらに、反応遅れ時間が速度差と車間距離に影響され、危険な状態では短くなると仮定して、以下のように設定した。

$$T = T_0 + a \cdot \{X_n(t) - X_{n+1}(t)\} / |\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)| \quad \dots (7)$$

ただし、 a : 定数

このモデルを用いて、3.と同様のシミュレーションを行うと、図-4のごとくであり、およそ25秒程度の周期の振動が長時間続く事になり、実現象に近づいたといえる。

5. まとめ

以上のことから、交通流内部の速度分布には各車の速度の変動が大きく影響しているとみられること、及び、従来の物理量をそのまま用いていた追従方程式に心理的な認知量を導入することにより、この定常的な変動を再現できることが明かとなった。今後は、実際の観測値の分析を進めながら、更にモデルを改善してゆく予定である。

参考文献

- 1) 田崎京二・大山 正・樋渡涓二編：視覚情報処理、朝倉書店、昭和45年
- 2) 村田隆裕：自動車運転者の車間距離認知、交通工学、vol. 22 No 6、昭和62年

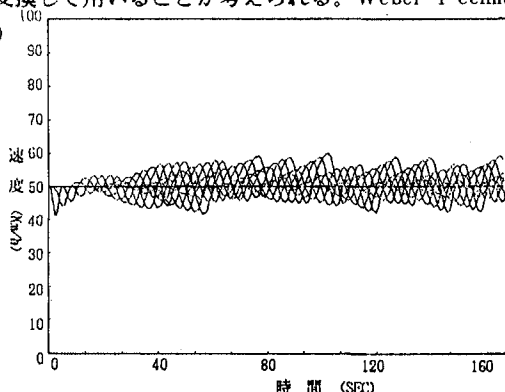


図-4 速度変動図(2)