

IV-137 走行実験に基づいた追従挙動のモデル化に関する一考察

阪神高速道路公団 正員 鈴木 徹
 大阪大学工学部 正員 森 康男
 大阪大学工学部 正員 山田 稔

1. はじめに

これまで、ボトルネック部の対策を評価する際などにおいて、運転挙動に関するマイクロモデルを組合わせた計算機シミュレーションが行なわれるようになってきている。信頼できる結果を得るためには個々のマイクロモデルが汎用性が高く、また精度の整合が取れていることが必要であるが、そのような点からの検討はこれまでにほとんどなされていない。本研究では、Gazisらによって提案された一般追従方程式を一般都市内道路のシミュレーションの追従サブモデルに用いる場合を対象に、追従走行実験データを用いてパラメータ推定の方法を検討するとともに、予測精度を明らかにすることとした。

2. 追従走行実験の概要

一般都市内道路の追従挙動特性を明らかにするために、速度と車間距離を同時に記録した時系列データを得ることを目的に次のような実験を行なった。先行車と追従車の二台の普通乗用車を用意し、運転経験・運転頻度等の異なる17人の男性の一般運転者を被験者として追従車を運転させた。走行車線を指定し追越しを禁止したが、それ以外は通常の運転をこころがけるよう指示した。先行車は追従車が単独走行となるのを防ぐために用いた。走行中は調査開始地点からの累加時間、累加距離、及び実験車の前部に取り付けた車間距離計で測定した先行車との車間距離を1/20秒毎に記録するとともに、ビデオカメラによって周囲の交通状況を撮影した。

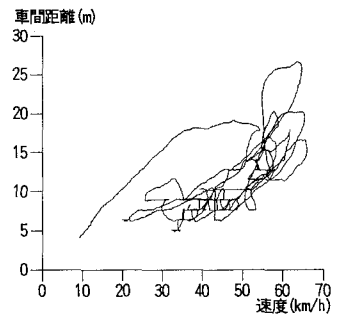


図-1 速度・車間距離特性の一例

3. 一般追従方程式のパラメータ推定

これまでのシミュレーションの追従挙動の多くは速度車間距離の関係をモデル化している。一方、Gazisら¹⁾が $t \rightarrow \infty$ の定常状態のみについて示した次式も、この目的で用いることができると考えられる。

$$f(V(t+T); m) = \alpha \cdot f(S(t); \ell) + c \quad \dots (1)$$

ただし、 $V(t+T)$ ：時刻 $t+T$ の速度、 $S(t)$ ：時刻 t の車間距離、 T, α, c, ℓ, m ：定数パラメータ

$$f(X; p) \text{ は右のような } X \text{ と } p \text{ の関数を示す } \begin{cases} f(X; p) = \frac{1}{1-p} X^{1-p} & \text{for } p \neq 1 \\ = \log X & \text{for } p = 1 \end{cases}$$

これを時刻 t で微分すると次式の一般追従方程式が得られる。

$$\dot{V}(t+T) = \alpha \frac{V(t+T)^m}{S(t)^\ell} \dot{S}(t) \quad \dots (2) \quad \text{ただし、}\dot{V}：\text{加速度、}\dot{S}：\text{相対速度}$$

さて、実験結果の速度車間距離特性の一例を図-1に示すが、これを見ると、1分程度の時間内での加減速では概ね式-1で表現される楕円形が見られるが、その位置はばらついており、長時間にわたってはパラメータ c を幾通りかに変えることが必要と考えられる。そこで、本研究では短時間での変動量を表現する式-2を用いてパラメータを推定することとした。さらに15秒程度の短時間では感度項 $\alpha V^m / S^\ell$ の変動を無視できることが明らかであったので、まず15秒ごとに観測データを最も良く再現できる感度項の値とパラメータ T を求めた。次にこの感度項の値と、同じ15秒間の V, S の平均値から、 α, ℓ, m を

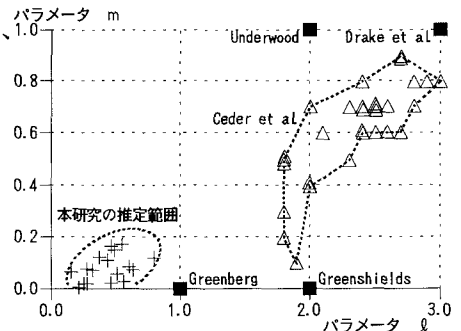


図-2 追従方程式パラメータの既往の研究との比較（既往研究分は文献2）に基づく）

被験者ごとに推定した。既往の研究で推定された値と比較するために縦軸に m を横軸に Q をとった図-2を示す。これを見ると、本研究で推定された値は Q が $0.1 \sim 0.8$ 、 m が $0.0 \sim 0.2$ の範囲にあるが、Cederら²⁾によって推定された値は Q が $1.8 \sim 3.0$ 、 m が $0.1 \sim 0.9$ の範囲にあり従来とはかなり異なった結果となった。

4. 安定走行状態シミュレーション

シミュレーションの精度は、追従方程式の最終的な積分値であるモデル車の存在位置の予測誤差の時系列で評価することがふさわしいと考えられる。ここでは先行車データに実測値を用いたことから、モデル車位置の誤差は車間距離の誤差と同じになるので、以下では車間距離の実測値と予測値を比較する。

車線変更等の影響のない安定追従状態と考えられる1～数分程度を対象に、シミュレーションを実行した。

前述のようにして求めたパラメータに加え、シミュレーション開始時の実測の V と S が式-1を満たすように定めたパラメータ c を用いた。結果の一例を図-3にモデル1として示す。これを見ると、前半においては予測値は概ね $\pm 2 \sim 3$ m以内の誤差を保持しつつ一時誤差が大きくなることはあっても発散してしまうことはないことがわかる。図-4は、64ケースを示したものである。一部で、車間距離の誤差が ± 10 mにまで広がり誤差が発散する傾向のケースも見られるが、ほとんどが ± 5 mの範囲で納まっていることがわかる。

一方、図-3の中央部分付近のように、短い時間の間に誤差が大きく増大する場合のあることが明らかになった。これは図-1での楕円形の位置の変化すなわちパラメータ c の変化に対応するものと考えられる。

走行中のビデオ画像でこのような時間帯を調べたところ、前車ブレーキランプが点灯し自車が大きく減速している時間及びその近傍であることが明らかになった。この区間では反応が敏感になると考えられるので、そこだけで別途求めたパラメータを用いたシミュレーションを行った。パラメータ c はそれぞれの区間の開始時におけるモデル車の V と S が式-1を満たすように定めた。すなわち前車ブレーキランプ点灯前と消灯後では、パラメータ α 、 Q 、 m は同じであるが c は異なる値をとりうる。

結果を図-3にモデル2として示すが、モデル1よりかなり改善されているのがわかる。

5. まとめ

本研究では、追従走行実験の結果を用いて一般追従方程式のパラメータを推定し、これを用いたシミュレーションにおける車間距離の時系列誤差を明らかにした。車線変更を受けた場合や路側状況の影響の他、前車ブレーキランプ点灯によって、一般街路では安定な追従は長くても数分程度で中断されることがわかり、その間ではパラメータを慎重に選べば、一般追従方程式によって比較的良好に表現できることが明らかになった。

また、安定追従を崩すこれらの要因の影響を受けた速度と車間距離から定めたパラメータ c が、その後の安定追従を表現しうることが明らかになった。これは、速度-車間距離特性が当該地点の道路環境だけでなく、それ以前に発生した事象や環境に大きく影響されることを意味すると考えられる。

また、前車ブレーキランプ点灯時には追従感度が大きく、反応遅れ時間も短くなる傾向が明らかになった。

参考文献

- 1) Gazis, D. C., R. Herman and R. W. Rothery: Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow, Oper. Res., vol. 9, No. 4, pp. 545~567, 1961.
- 2) Ceder, A. and A. D. May: Further evaluation of single- and two-regime traffic flow models, Transp. Res. Rec., No. 567, pp. 1~15, 1976.

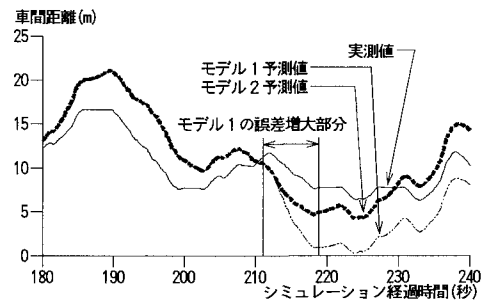


図-3 シミュレーションによる車間距離予測値と実測値の一例

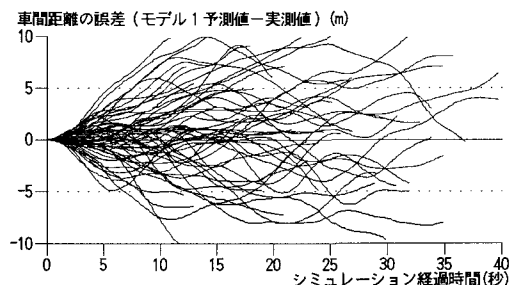


図-4 シミュレーションの誤差の時系列変動（64ケース）