



研究ノート

# 追従実験による車両追従 モデルの研究

森 康 男\*・山 田 稔\*\*

## Study on a Car-Following Simulation Model by Real Driving Data

**Key words** : Car-following model, Simulation, Drivers behavior, Traffic flow

### 1. はじめに

道路交通の円滑性と安全性の向上のため、各種の対策が実施されているが、実施に当たってはその効果が最大になるよう予め十分な検討が必要である。ところが、道路交通は運転者という人間的な要因が重要な影響力を持っていることから、一般に対策実施後の状況を予測することは困難である。

しかし、そのような状況下においても、おもに運転者の行動特性をモデル化することにより現実の対策評価に必要な精度での予測が試みられてきている。

さて、運転者の特性を表すモデルは、その基本構成要素である個々の運転者の様々な状況下における行動を記述するマイクロモデルと、対策の平均的なパフォーマンスを表現するのに最低

限必要な指標のみの特性を簡潔に記述しようとするマクロモデルとに分類することができる。モデルの操作性においては簡潔なマクロモデルの方が優位にあるが、汎用性を高めるには、統計的に十分なだけのバリエーションの道路環境におけるデータを集積していく必要がある。また、運転者個人間のばらつきや、おなじ運転者でも行動にばらつきがあり、この様な要因をマクロ的なデータ収集で考慮することは困難である。

そこで、計算機の発達とともに、マイクロモデルを組合わせて計算機シミュレーションを行うことにより、対策評価予測が行われるようになってきている。しかし、マイクロモデルは従来からの蓄積が少なく、また、他のサブモデルとの整合という観点からの精度の評価が十分ではなく、現在、満足な精度を持ったマイクロモデルの開発は急務であると言える。

ここでは、その中の比較的基本である運転者の単路部での追従挙動に関して、既往モデルを実験走行から得られたデータにより評価を行った研究について、その概要とそこから得られている主な知見を紹介するものである。

### 2. 追従走行実験

一般都市内道路において運転者の追従挙動特性を明らかにするため、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として、運転経験、運転頻度等の異なる一般運転者を被験者として走行実験を行った。実験車には累加距離測定装置、車間距離測定装置、ビデオ



\*Yasuo MORI

1939年2月24日生  
1968年MIT(大学院), 土木工  
学科修士課程修了  
現在, 大阪大学工学部土木工学  
科都市・交通研究室, 教授, 工  
学博士, 土木計画学・交通工学  
TEL 06-877-5111(内線4926)



\*\*Minoru YAMADA

1958年3月9日生  
1985年大阪大学大学院(後期課  
程)工学研究科土木工学専攻修  
了  
現在, 大阪大学工学部土木工学  
科都市・交通研究室, 助手, 工  
学博士, 土木計画学・交通工学  
TEL 06-877-5111(内線4928)

カメラ、ブレーキ操作モニタ、およびこれらの出力信号の記録装置として、携帯型ビデオデッキを装備している。

本稿では男子学生17人を被験者に、各々約2時間の実験を行った結果を用いている。

### 3. 追従モデルの形式

#### 3.1 速度車間距離特性

これまでに、各種のシミュレーションにおいて様々なモデルが用いられているが、その多くは速度・車間距離の関係をモデル化したものである。一方、交通流分析の分野では、速度・車間距離の関係は次のような一般方程式で記述できるとする考え方が古くから提案されている<sup>1)</sup>。

$$f(V(t+T); m) = \alpha \cdot f(S(t); l) + C \dots (1)$$

$V(t+T)$  : 時刻  $t+T$  のある車両の速度

$S(t)$  : 時刻  $t$  の同じ車両の車間距離

$f(X; p)$  は、次のような  $X$  と  $p$  の関数を示す。

$$f(X; p) = \begin{cases} \frac{1}{1-p} X^{1-p} & \text{for } p \neq 1 \\ \log X & \text{for } p = 1 \end{cases}$$

$T, \alpha, C, l, m$  は定数パラメータであるが、道路環境あるいは運転者の個人特性に応じて決まるものとする。

#### 3.2 一般追従方程式

式-1の両辺を  $t$  で微分すると次の形式になり、これが一般追従方程式と呼ばれる。

$$\frac{\partial V(t+T)}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{V(t+T)^m}{S(t)^l} \cdot \frac{\partial S(t)}{\partial t} \dots (2)$$

左辺は加速度であり、運転者の追従挙動における判断の出力として決まるものとする。右辺は先行車との速度差  $\partial S / \partial t$  とそれ以外とに分けて考えられる。速度差が運転者の加速度決定の主要因となる刺激であり、残りの部分は刺激に対する反応の感度として考えられている。また、これは前車との速度差が0に向かって漸近する過程を動的に表現するモデルでもある。

## 4. シミュレーションによるモデルの評価

### 4.1 パラメータの同定と評価の方法

実験結果の速度-車間距離特性の一例を図1に示す。これを見ると、短時間内の加減速の部分においては概ね式1で表現される楕円形の軌跡がみられるが、その位置にばらつきが見られ、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が、短時間では一定とみなしても構わないと思われる。

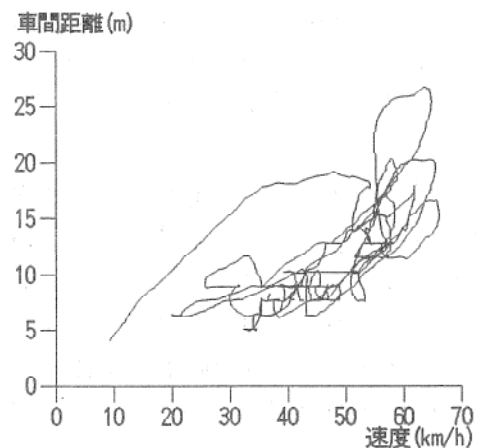


図1 速度-車間距離特性の一例

そこで、パラメータ  $C$  が消去される式-2に実験結果のデータを用いて他のパラメータを同定することとし、それを用いてシミュレーションを行い、モデル車の存在位置の予測誤差を評価することとした。

各被験者別に求めたパラメータ  $l, m$  を既往

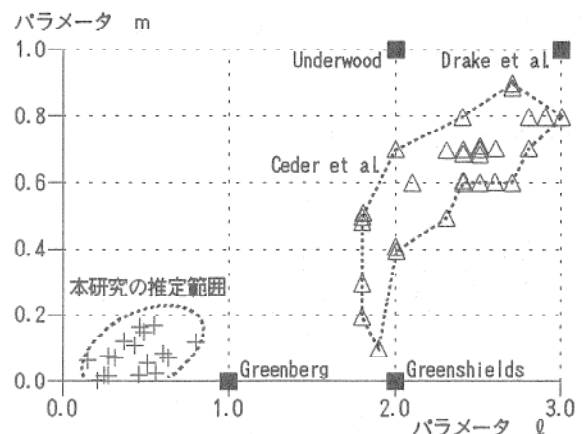


図2 追従方式パラメータの既往の研究との比較 (既往研究分は文献2) に基づく)

の研究で推定された値と比較するために  $m-l$  平面にプロットしたものを図2に示す。本研究で推定された値は  $l$  が  $0.15 \sim 0.80$ ,  $m$  が  $0.00 \sim 0.20$  の範囲にあり従来とはかなり異なった結果であることがわかる。これは既往の研究の場合、主に地点観測によって得られる図1の様なデータをそのまま式1にあてはめて推定されたものである。従って、パラメータCの変動は考慮されておらず、それが  $l, m$  の推定に影響したために異なった値となったと考えられる。

シミュレーションは、パラメータCが一定と考えられる短時間についてのみ行うこととし、Cの値はシミュレーション開始時の速度-車間距離に整合することを条件に決めた一定の値を用いることとした。

また、先行車の時系列存在位置には実測値を用いていた。このためモデル車の存在位置の誤差は車間距離の予測誤差と同じになることから、以後では車間距離の実測と予測の比較で示す。

#### 4.2 シミュレーションの予測誤差

結果の一部を図3にモデル1として示す。こ

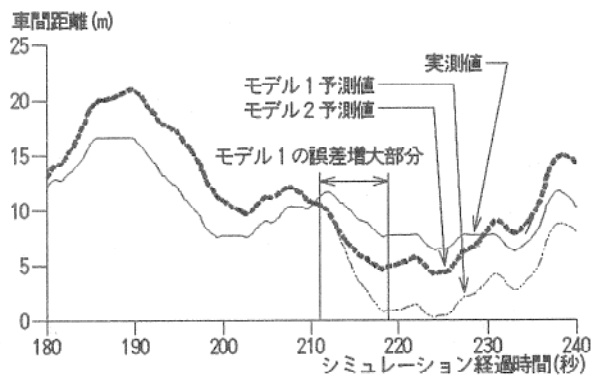


図3 シミュレーションによる車間距離予測値と実測値の一例

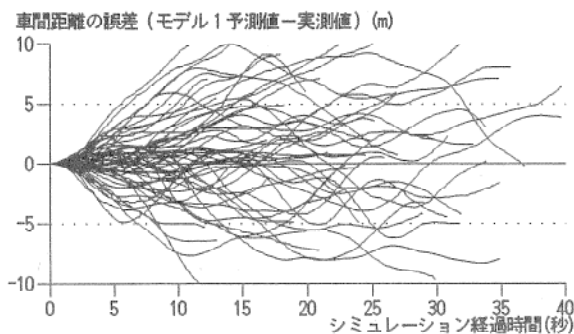


図4 シミュレーションの誤差の時系列変動 (64ケース)

れを見ると予測値は概ね  $\pm 2 \sim 3$  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ようなことはないことがわかる。また、より多くのケースの結果を図4に示すが、やはり殆どが  $\pm 5$  m の誤差に収まっていることがわかる。

しかし、図3でわかるように、部分的には車間距離が極めて  $0$  m に近いという、実用上問題のある値を予測している区間もあることがわかる。このような区間において、実験車がどのような状況にあるかを走行中に撮影したビデオによって調べたところ、前車の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は、実測よりも車間距離を小さく予測する傾向にあることがわかった。

#### 4.3 前車ブレーキランプ点灯を考慮したモデル

前車ブレーキランプが点灯している間だけを抽出してパラメータを求め直しこれを組み合わせることとした。結果を図3にモデル2として示すが、モデル1と比較してかなり改善されているのがわかる。

また、前車ブレーキランプが点灯していない多くのデータを用いた分析から、パラメータ  $\alpha, l, m$  は比較的長時間にも変化させる必要は少ないことが明らかになった。さらに、個人間でも差異は小さいこと、前車ブレーキランプ点灯時とそうでないときでパラメータ  $l, m$  の差異は小さいことが明らかになっており、これらの差異を考慮しなくてもシミュレーションの精度が大きく落ちるものではないことが確認できている。

### 5. おわりに

今回の実験は一般街路を対象としたため、車線変更、信号等による停止、あるいは前車のブレーキランプ点灯に対処するための減速といった、安定的な追従とは言えない現象が比較的短い間隔で発生しており、それらの発生が無い間においてはパラメータを慎重に選べば従来からの一般追従方程式(式-2)で追従挙動を表現できることが明らかになった。このことは、このような短い間隔では、式-1のパラメータC

は変化していないことを意味する。

パラメータCは運転者にとって速度と車間距離を決める重要な要因であり、運転者が能動的にこの値を設定しているという考え方は古くからあったと思われる。しかし、本研究の結果では、追従現象は、追従の初期状態すなわち車線変更等によって比較的受動的に決められた速度—車間距離の状態の下でのCの値が暫くはそのまま継続する傾向にあることが明らかになった。

高速道路などで、長時間追従状態が続く場合においては、受動的にパラメータCの値が決まった後に、運転者が能動的にこれを変化させることの可能性が本研究で否定されたわけではなく、今後、更なる研究が必要である。しかし、交通容量一杯の走行状態などを定めるためにパラメー

タCを求めるには、路側から交通流を観測するだけでは不十分であり、その地点に到達するまでの運転者の行動履歴を考慮する必要性が示されたものと考えられる。

#### 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.

