

街路の追従走行における速度と車間距離の変動に関する研究

Velocity and Space Gap Relationship
of the Following Driving in Urban Road

山田 稔*・鈴木 徹**

by Minoru YAMADA and Tôru SUZUKI

This study aims to modelize the driver's following behavior in the urban area. To collect the velocity-space gap (V-S) relation data, the field survey with the test driving by examiners were carried out.

From the analysis of these data, it was clarified that the following behavior can be classified into two parts. In the first part, V-S relation is good described by the Gazis-Herman-Rothery model. In the other part, velocity and space gap is approaching to their macro-scopic relation function.

Also from these data, the variation of drivers measured in V-S relation were clarified.

In the application of these models, the evaluation of predicting error in the simulation were carried.

1. 序

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。そのため、対策実施時の交通状況を予測するためのさまざまなモデルが開発されてきている。

近年、特に国内において個々の車両の挙動に関するミクロ的なモデルを組合わせた計算機シミュレーションモデルが開発されるようになってきた。これは、単に計算機が普及したためだけでなく、例えば追越しや車線変更といった、車群や微小区間を単位

キーワード：追従走行，速度車間距離特性，

走行実験，運転行動モデル

* 正員 工博 大阪大学助手 工学部土木工学科
(〒565 大阪府吹田市山田丘2-1)

** 正員 工修 阪神高速道路公団 神戸建設部
(〒663 兵庫県西宮市浜甲子園4-1-58)

とするモデルでは表現できない挙動に働きかけるような対策が実施されるようになり、その影響を解明する必要性が増大しているためと考えられる。

さて、数10mから数kmの区間についてのシミュレーションを行う場合、その間の車群構成や車間距離分布の動的な変化過程が車線変更等に大きく影響すると考えられる。この状況変化は通常追従モデルで表現するが、これまでに開発された追従モデルは必ずしもこのような目的を念頭に置かれていたわけではなく、シミュレーションに応用するにはその妥当性を検討しておく必要がある。しかし、一般に最終出力での再現性は確認されていても、車間距離の動的変化の再現性までも確認することは容易ではなく、十分検討されているとは言い難い場合が多い。

そこで本研究ではこれまでに提案されてきた追従モデルについて整理すると共に、追従走行実験で得たデータを用いて、追従車の速度と車間距離の変動の実態とその特性を明らかにすることを目的とした。

次に、既往の研究におけるモデルを参考に、この特性を表現するモデルを提案することとした。さらに、それを用いてシミュレーションを行った際の予測精度を評価するとともに、モデル式に含まれるパラメータの値に対する運転者個人の要因や交通環境の影響についても明らかにすることを目的とした。

なお、本研究では比較的広範囲の交通密度状況下でのデータを取得するために、追従実験は、信号制御された一般市街地街路における走行を対象とした。

2. 既往の研究における追従現象の表現

主に地点観測データによる交通流の特性を表現する各種のモデルを、追従という微視的な現象の積み重ねという観点で統一的に表現したものとして、Gazisら¹⁾の一般追従方程式が広く知られている。車両の加速度を表現するこのモデルはその後多くの研究で引用されている。このモデルには非線形パラメータが含まれるため、観測データからの同定は容易ではないが、Cederら²⁾は速度・密度の両面で非現実的な値が得られないようなパラメータの推定方法を提案している。また、佐藤ら³⁾も実測データを回帰させる際の方法について検討を行っている。

また、越⁴⁾は一般追従方程式を拡張させた加速度を表現する形式のモデルにより、単路部ボトルネックでの車両の挙動の表現を提案している。

一方、個々の車両の挙動をモデル化するミクロ的な交通流シミュレーションでは、古くからこれらの理論とは別に主に速度と車間距離の関係の実測データ等に基づいたモデルが用いられてきた^{5) 6) 7) 8)}。しかし、近年においては、加速度を表現する一般追従方程式と類似の形式のモデルによる追従シミュレーションも試みられるようになってきている^{9) 10)}。

これらの研究の一方で、追従の表現そのものに関し、個々の車両のデータを用いた研究もいくつかなされており^{4) 11) 12)}、その実態が解明されつつある。しかし、未だ一般の追従シミュレーションに対しての提言を得るには至っていないと思われる。

3. 実験走行からみた追従挙動

(1) 追従走行実験の概要

都市内の幹線道路における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に、以下のような実験を行った。

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、実験車を運転させることとした。車線変更はモデルの対象外としているのであるべく発生させないようにとの配慮から、多車線道路を走行する際には走行する車線は指定し、追越しは禁止することとした。それ以外については各被験者の通常の追従状態を再現するよう考慮した。さらに、混雑していない区間では試験車が単独になって追従状態のデータが得られないため、先行車を用意しその速度を調節することにより単独状態を防ぐように配慮した。

実験車には、以下の装置を設置した。

1) 累加距離測定装置

実験車のドライブシャフトの回転をスリット円盤に接続し、フォトセンサで連続して検出される。

2) 車間距離測定装置

実験車の前部に取りつけ、赤外線レーザーを発射し前車に反射させ戻るまでの時間により測定される。

3) ビデオカメラ

実験車の前方へ他車が車線変更を行う場合や、逆に他車線へ変更する場合の記録、および実験車周辺の各種の状況を記録する目的で設置した。

4) 記録装置

これらのセンサー類からの出力信号の記録装置として、携帯型ビデオデッキを用いた。カメラの映像はそのまま記録し、またその他のセンサー類の出力は1/20秒毎にデジタル信号で採取したものに変調をかけてビデオデッキの音声トラックに記録した。

被験者は男子学生17人を用い、各々約2時間の実験を行った。収集データのうち、累加距離と車間距離は2次関数へのあてはめによる平滑化を行った。

(2) 速度・車間距離平面による考察

実験から得られた結果を速度・車間距離平面上に描いたものの一例を図-1に示す。従来からの研究でみられてきたものと同様に、いくつかの楕円形の軌跡を描いている。

それらは同じ速度域であれば楕円の傾きはほぼ同様であるが、必ずしも同じ軌跡にはなっておらず、楕円の位置にばらつきが見られる。

また、速度が低いほど楕円の長軸の傾きが緩くなる傾向が見られる。

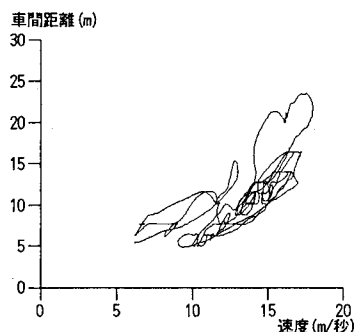


図-1 速度・車間距離特性の一例

なお、図示していない他の時間帯や他の被験者の場合でも同様の傾向が見られた。

4. モデルによる追従現象の表現

(1) 線形追従モデル

先の図より、ある程度の限られた時間内においては速度・車間距離平面では楕円形の軌跡を示す傾向がみられた。この楕円形状を表現する最も簡単なモデルとして、位相遅れを表す式-1のようなモデルが考えられる。これは、古くから追従表現に用いられてきたものである。

$$\frac{dV(t+T)}{dt} = a \cdot \frac{dS(t)}{dt} \quad \dots (1)$$

ただし、 $V(t+T)$ ：時刻 $t+T$ の実験車の速度

$S(t)$ ：時刻 t の実験車の前方の車間距離

T, a ：定数パラメータ

モデルへの当てはめには、この両辺を t で積分して誘導される式-2を用いた。

$$V(t+T) = a \cdot S(t) + C \quad \dots (2)$$

ただし、 C ：定数パラメータ

既往の研究と同様に、運転者は車間距離刺激に反応して速度操作を行っているとの考え方に立ち、出力変数である速度の予測誤差の自乗和を最小にするようにパラメータを求めることとした。

一組の値のパラメータで限られた短い時間を対象に追従を再現することとしたが、この時間として5秒、15秒、30秒の3通りを設定した。対象時間を大きくするほど残差が大きくなる傾向にあったが以下ではそのうちの15秒のものについて考察する。

このモデルの当てはまり度合いとして決定係数を取り上げ、ある一回の実験結果について連続する15秒区間の当てはまり度合いを連続的に表現したもの

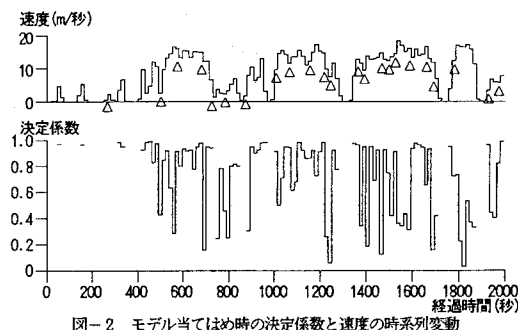
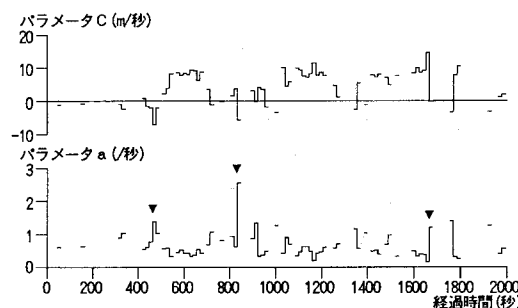


図-2 モデル当てはめ時の決定係数と速度の時系列変動

図-3 パラメータ a, C の時系列変動(決定係数0.64以上のケースのみ)

が図-2である。なお、図にはそれぞれの15秒区間の平均速度も示してある。停止中については決定係数のグラフを描いていない。この図より、決定係数が0.9程度の非常に適合度の良い部分と、0.6以下の適合度の悪い部分とが交互に出現することがわかる。適合度の悪い部分は速度グラフに△印を付けて示してあるが、発進時と停止時およびその間でも速度変動の大きな部分に該当することがわかる。

適合度の良いところは比較的安定に追従が行われている状態であり、図-1で楕円形状が描かれた部分に相当すると考えられる。これは長く継続しても3分程度であり、平均では87秒となっている。

図-3は、モデルの適合の良い走行状態として決定係数が0.64以上の部分を取り上げ、パラメータ a と C の時系列変動を示したものである。

パラメータ a は速度が10m/秒よりも高い区間では0.5程度で比較的安定しているが、発進や停止の際にはより大きな値を取る傾向があることがわかる。このパラメータは図-1の楕円の長軸の傾きに対応することから、この結果は図-1で高速域より低速域の方が楕円の長軸の傾きが緩くなる傾向を表現していると見ることができる。また、図-3の▼印で示したように、それ以前に比べ際立って a が増加す

る場合があるが、図-2と見比べれば、それはいずれも停止の直前であることがわかる。

パラメータCは図-1の楕円の長軸と速度軸との交点の速度値に対応するが、図-1で楕円形が下に凸の曲線上に位置する傾向に対応して、速度と正の相関を持つ傾向が図-3よりわかる。

(2) 非線形追従モデル

前述のように、線形モデルのパラメータaは速度と関連があることが明らかになった。そこで、前述のモデルの適合度の良い部分、すなわち図-1の楕円の軌跡に対応する部分だけについて取り上げ、そこにおけるパラメータaの変化とその時の速度・車間距離要因との関係を分析することとした。

Gazisら¹⁾の一般追従方程式(式-3)が式-1のパラメータaの速度と車間距離による変化を表現しているとする考え方はこれまでの研究¹³⁾においてもいわれてきた。

$$\frac{dV(t+T)}{dt} = \alpha \frac{V(t+T)^m}{S(t)^Q} \frac{dS(t)}{dt} \dots (3)$$

そこで、図-3の様に求められたパラメータaと式-3の感度項 $\alpha V^m/S^Q$ との関係より、パラメータ α, Q, m をaの残差自乗和が最小になるように同定することとした。各被験者別に、先の決定係数が0.64以上になる15秒区間を用いて求めた結果を表-1に示す。なお、 Q, m は無次元量であるが、 α の単位は Q, m に依存した複雑な次元となる。この表の数値は上式でVの単位に[m/秒]、Sに[m]を用いた場合のものである。また、図-1～3で用いたのはこの表の5番目の被験者である。

これを見ると、本研究で推定された値は Q が0.15～0.80、 m が0.00～0.17の範囲にある。従来から地点観測の密度・速度曲線を表現する場合^{2) 14)}では、 Q は1～3、 m は0～1の範囲が用いられている。この違いは、次のように考えられる。

本研究では、図-1のように得られた速度・車間距離関係について、短時間内では右回りの楕円形になることを式-1で表現し、その楕円の長軸の傾きについてこの非線形モデルで表現することとした。しかし、図-1で楕円の位置が下に凸の曲線上に位置しているという情報、図-3のパラメータCの変動に関する情報はここでは用いていない。

表-1 被験者別の非線形パラメータと誤差

	15秒 区間数	パラメータ			RMS誤差
		α	Q	m	
1	114	1.32	0.549	0.1700	0.184
2	90	1.19	0.471	0.1589	0.210
3	96	1.65	0.608	0.0814	0.200
4	101	1.53	0.559	0.0254	0.170
5	108	0.85	0.252	0.0179	0.216
6	86	0.57	0.155	0.0628	0.142
7	94	1.30	0.514	0.0544	0.141
8	90	1.59	0.640	0.0686	0.143
9	80	1.23	0.460	0.0181	0.197
10	74	0.84	0.370	0.1236	0.166
11	115	0.83	0.279	0.0776	0.201
12	86	0.69	0.280	0.0178	0.195
13	94	2.52	0.796	0.1166	0.131
14	114	1.01	0.439	0.1060	0.181
15	89	0.81	0.318	0.0698	0.180
16	96	1.06	0.484	0.1462	0.213
17	87	0.61	0.213	0.0000	0.201

一方、既往の研究の地点観測の密度・速度曲線を当てはめてパラメータを推定する方法は、主に、図-1の楕円の位置の情報を用いることに相当すると考えられる。したがって、パラメータ推定に用いた情報が異なるために、得られたパラメータが異なったものと考えられる。

近年のシミュレーションで式-3のような加速度を表現するモデルが用いられるようになってきたのは、そうしないと先行車の速度変化に起因する後続車の速度操作の状況や、その際の位相遅れを伴う車間距離変化を動的に表現できないためである。従ってこの目的では、本研究のように動的な情報から同定したパラメータを用いることが妥当と考えられる。

一方で、マクロ的に見た場合の速度と車間距離の関係、すなわち図-1の楕円の位置に関する情報は、平均的な交通容量と密接な関連が考えられるなど、非常に重要な要因である。より以前のシミュレーションにおいてもこの要因を地点観測の速度・車間距離、または速度・密度関係を用いたモデルで表現してきた。しかし上述の結果より、単一の式-3のモデルでは、両方の情報を統一的に表現することは困難と考えられる。

(3) マクロ的な速度車間距離特性の表現

ここでは、式-3のモデルに新たな変数を導入することにより、マクロ的な速度・車間距離の関係を表現する方法を提示する。

考え方としては、動的な特性では表現できない部分は、式-2や図-3のパラメータCのような積分定数の値が状況に応じて変わることによって表現しようとするものである。

式-3をtで積分すれば次の式-4が得られる。

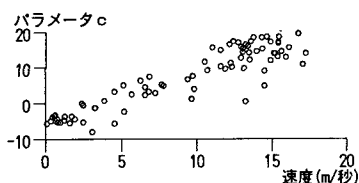


図-4 パラメータcと速度の相関

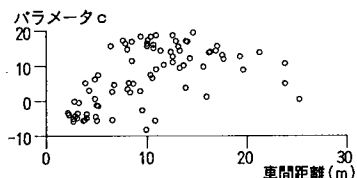


図-5 パラメータcと車間距離の相関

$$f(V(t+T); m) = \alpha \cdot f(S(t); l) + c \quad \cdots (4)$$

ここで、 c は積分定数（式-2の C とは異なる）であり、 V, S, α, l, m, T は式-3と同じである。 f は、べき乗演算と類似の、次のように定義された2つの数による演算を意味する。なお次の定義において、演算の第1のパラメータ（上式での $V(t+T)$ あるいは $S(t)$ ）を X と、また第2のパラメータ（ m あるいは l ）を p と表すこととする。

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

Gazisら¹⁾は定常状態で適用するためにこの誘導を行っており、そこには $t \rightarrow \infty$ で T を無視できる場合しか示されていないが、 T が定数であれば同様の手順で式-4を誘導できる。

ここで c を定数にしておけば式-3と式-4は同じことを表現しており、先に求められた α, l, m, T を用いることにより動的な変動を表現できる。一方、 α, l, m, T をそのままにしておいても必要に応じて c を変化させれば、図-1の楕円の位置が示す傾向を表現できる。そこで、前節までで対象としてきたような式-2の適合度が良く速度車間距離平面で楕円形状を示す時間帯については c を定数として扱い、式-2の適合度が悪い時間帯の間に c が変化すると考えることにより、速度車間距離の動的な変動とマクロ的な速度車間距離特性の両者を統合的に表現することが可能となる。

次に、 c の変動特性を分析するために c を変数と考え、先に求められた α, l, m と15秒平均の速度・

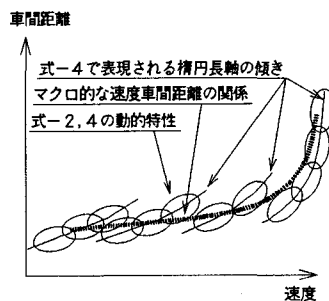


図-6 速度・車間距離の変動のモデル表現

表-2 パラメータc変化時の挙動

挙動分類	構成率(%)
停止	22.1
発進加速	19.8
前車ブレーキ	18.6
下り坂終わり	11.6
前へ車線変更	8.1
前車右左折	3.5
前車車線変更	2.3
その他・不明	14.0

車間距離の値を用い、15秒区間ごとに式-4から c を求めた。図-2, 3と同じ時間帯について求めた結果と、速度および車間距離との関係を見たのが図-4, 5である。 c の単位も先の α と同様に m に依存した次元を持つが、図の縦軸には V の単位を $[m/秒]$ 、 S を $[m]$ としたときのものを示してある。これを見ると速度が $10m/秒$ 以下の場合、および車間距離が $10m$ 以下の場合に、低速で車間距離が短くなるほど c は小さくなる傾向が見られる。

この結果を考慮すると、式-4の α, l, m, T が一定で c が不連続的に変化するという本モデルでは速度と車間距離の関係は図-6のように示される。

さて、パラメータ c の変化についてはそのメカニズムを解明し定量的にモデル化することが必要であるが、少なくとも前述のように、それが発生している時間帯は、式-2の適合度が悪く式-3のパラメータ推定から除外した部分と考えられる。

そこで、適合度が悪い15秒区間について実験時に撮影したビデオ画面よりそこで発生している事象を調べ集計した。結果を表-2に示す。ここに示された事象、すなわち、発進時や停止時だけでなく、前車がブレーキを操作してブレーキランプが点灯した場合や、下り坂が終了するといったような、その後の減速の必要性を運転者が予測できる場合において、パラメータ c の変化が発生し式-2の適合度が悪くなる傾向があるといつて良いであろう。

本研究ではこれらのうち、発進完了時点における

c の値について 6 章でモデル化を行う。

5. 非線形追従方程式のシミュレーションへの適応

(1) シミュレーションへの適応の評価方法

この章では前章で提案したモデルをシミュレーションに用いた場合の予測精度について評価する。モデルの精度を判断する指標は、追従モデルの最終的な積分値として表現される各時刻の存在位置を用い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による時系列の存在位置をそのまま用いることとしたため、存在位置の誤差は車間距離の誤差と同じになる。そこで、実験によって得られた時系列の車間距離とシミュレーションモデルの出力結果としての車間距離との誤差がどの程度の範囲内に収まっているか、また時間経過に伴いどの様に誤差が変動するかを明らかにすることとした。

シミュレーションは式-3 または式-4 を用いた。両式は式-4 のパラメータ c を変化させない限り同じ結果が得られる。従って、計算の手間を考慮すれば式-4 を用いる方が加速度の累積としての速度の計算が不要になるため優れていると考えられる。

今回の目的は実測データの再現性を評価することにあるため、パラメータは最も再現性が良くなるような値を選んでおけば良好な評価が得られると思われる。また、速度および車間距離の予測値の初期値についても同様に選択の余地がある。しかし、このために最適な値を求めることは一般に極めて困難である。そこで、ここではこの手法の実用性に配慮し、以下の方法で決めることとした。パラメータ α , l , m は前章で被験者別に求めたものを用いた。T は 4 章 1 節で式-2 にあてはめたときに用いた値を被験者ごとに単純平均をとったものを用いた。シミュレーション開始時の速度と車間距離はその瞬間の実測値を用いることとした。なお車間距離の初期値は T 時間にわたるものが必要であるがこれも実測値を用いた。パラメータ c が決まれば速度・車間距離の初期値の一方と式-4 からもう一方の初期値が決まるが、ここでは初期値をすべて実測値で先に決めることとしたため、 c は逆にここから与えられる。

(2) 安定追従状態のシミュレーション

この節では、式-4 のパラメータ c が安定していて式-2 の適合度も高い区間のみについて多数のシ

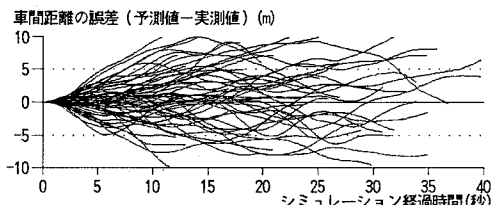


図-7 シミュレーションの誤差の時系列変動 (64 ケース)

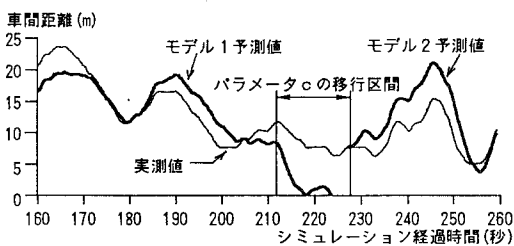


図-8 パラメータ c の移行区間のシミュレーションの一例

ミュレーションを行い誤差を評価することとした。シミュレーションの対象は、信号で停止してから発進加速し速度が安定するまでの間を除外し、その直後から最初に式-2 の適合度が落ちるまでの間である。速度安定の基準として、速度が 12m/秒 (43.2km/時) 以上でかつ先行車が初めて加速から定速または減速に変化した時刻と定義した。

64 個のケースについてシミュレーションを行った結果を図-7 に示す。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。また、シミュレーション開始後 10 秒経過した以降は誤差がほとんど変化しないまま経過するものもかなり見られる。これについては、パラメータ c の選び方をより適正にすることにより、さらに良い結果を得ることも可能と考えられる。

(3) 前車ブレーキ時のシミュレーション

パラメータ c が不連続に変化するケースとして、図-2 に示した被験者の時刻 1031~1300 (秒) の間についてのシミュレーションを行った。

この区間には、図-2 でわかるように 4 回にわたって式-2 の適合度が悪くなる時間帯が存在する。これはいずれも先行車がブレーキ操作を行った部分である。この区間で、先述のように初期条件のみでパラメータ c を決定して行ったシミュレーションの結果の一部を、図-8 にモデル 1 として示す。これを見ると、前半は概ね車間距離の誤差は $\pm 2 \sim 3$ m 程度であるが、先行車のブレーキ操作時にはモデル

で予測される車間距離はきわめて小さくなり、モデルの中で衝突が発生していることがわかる。

先行車のブレーキ操作が影響しパラメータ c が変化していると思われる時間帯（図で移行区間と示す）を予測対象から外し、それが終了した後で、実験車の実測の速度・車間距離からパラメータ c を求め直して計算を続行したものを図でモデル 2 として示すが、再び現実を良く再現できていることがわかる。

6. 発進直後の速度・車間距離特性

（1）発進後の速度・車間距離の分析方法

前章の図-7 では実用性を考慮して、実測の速度・車間距離に基づいて式-4 のパラメータ c を決定した。しかし、図よりパラメータに改善の余地があることが推測された。そこで、ここではこのシミュレーションを行うのに最適と思われる c の値を推定し、さらにこれをシミュレーション開始時までの各種交通環境から予測するための重回帰分析を、同図と同じ 64 ケースをサンプルとして行うこととした。なお、シミュレーション開始時は前述のように、速度が 12m/秒 (43.2km/時) 以上でかつ先行車が初めて加速から定速または減速に変化した時刻と定義した。

ここで目的変数がシミュレーション区間全体のデータから最適と推定されるものであるのに対し、説明変数は開始時点までのデータを用いることとしたのは、運転者がこの区間で一定のパラメータ c を決める際に用いることができるのはその区間が開始するまでに入手できるものに限られるためである。

目的変数は次のように決めた。まず、式-4 において l と m に既に求めた表-1 の値を用いることにより、未知パラメータを線形関係にある α と c の 2 つにしておいてから、同式の残差自乗和を最小とする c を求めた。しかし c の単位はパラメータ m に依存し、かつ m の値は被験者によって異なることから、これをこのまま目的変数に用いると回帰係数等の解釈が困難になる恐れがある。そこで、求められた c をさらに式-4 に代入して、ある任意の速度における車間距離を算出し、これを目的変数に用いることとした。この任意速度として、8m/秒、12m/秒、16m/秒の 3 通りを試みたが、以下では最も明確な分析結果の得られた 12m/秒について述べる。

説明変数として用いたのは、停止時車間距離、停

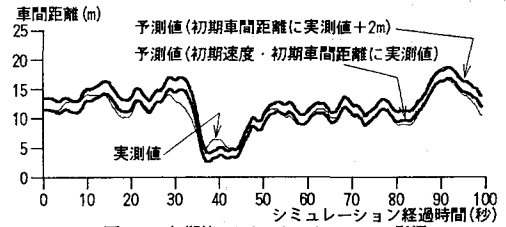


図-9 初期値のシミュレーションへの影響

止時間、発進後シミュレーション開始までの時間、同平均加速度、その間の減速回数、シミュレーション開始時の自転車速度、同前車速度、同車頭時間、同車間距離である。さらに、運転者個人の運転特性が非常に表れ易いと思われる停止時車間距離、シミュレーション開始時の車頭時間、および同車間距離については、64 ケースを被験者ごとに平均を取ったものと、各ケースについての被験者平均からの偏差という 2 つの変数に分解して用いることにした。

（2）重回帰分析による速度・車間距離特性の分析

各説明変数の寄与が有意であり全体の説明力も大きいものとして次のようなモデルが得られた。

$$S_{12} = 12.3 G_i^{**} + 6.33 G_d^{**} - 0.272 V_L^{*} + 2.97$$

$$R = 0.902, F = 87.2^{**} (*: 5\% \text{ 有意}, **: 1\% \text{ 有意})$$

S_{12} : モデルで予測される 12m/秒時の車間距離 (m)

G_i : 開始時の被験者平均の車頭時間 (秒)

G_d : 開始時車頭時間の被験者平均からの偏差 (秒)

V_L : 開始時の先行車の速度 (m/秒)

説明変数の寄与について見ると、まず運転者固有の特性が大きく影響していることがわかる。さらに、これより影響は小さいものの各発進状況ごとに決まる車頭時間もその後の追従に影響することがわかる。また、 V_L はシミュレーション開始時の定義より先行車の速度が極大となったときの値であるが、それが高いほど S_{12} が小さくなる傾向がわかる。これは図-4 でパラメータ c と速度が相関を持つことに対応すると考えられる。また、発進後どこまで加速したかによって、図-6 のどの曲線に乗るのかが決まると考えることができる。

このモデルでは標準誤差が 1.89m となったが、これをシミュレーションに組み入れる場合には、この誤差が精度に及ぼす影響を検討する必要がある。初期値の選び方によるシミュレーションへの影響は、一例を図-9 に示すように、車間距離を 2m 程度変化させても、その違いがそのまま続く傾向にあるこ

とがわかった。従って、この重回帰モデルの予測誤差もこれと同程度の影響に収まるものと考えられる。

7. まとめ

本研究は、追従実験を行った結果のデータに基づき、この追従時の速度と車間距離の特性を分析するとともにその表現方法の検討を行ったものである。その結果、以下のような点が明らかになった。

- 1) これまでになかった知見として、一般街路においては、微分方程式で表現できるような車間距離変化に対応する加減速挙動と、それとは別の速度車間距離のマクロ的な関係を維持するための加減速挙動の2種類に分類でき、それらが交互に出現するという特性をデータから明らかにすることができた。
- 2) 車間距離変化に対応する加減速挙動は、既往の一般追従方程式で精度良く表現することができるが、その際のパラメータは、既往の研究で得られた値とは大きく異なることが明らかになった。
- 3) 速度車間距離関係を維持するための加減速挙動を、一般追従方程式を積分した際の積分定数の変化として表現することにより、両者を統合して扱えることが明らかになった。
- 4) 両者を統合したモデルにより、車両位置の時系列変化をおおむね $\pm 2 \sim 3$ m程度の誤差で表現することが明らかになった。
- 5) 信号停止から発進する際の速度車間距離特性は運転者の個人差と先行車の加速状況の影響を受け、またその影響はその後安定追従状態に入ったあとにおいても持続される傾向にあることが明らかになった。

なお本研究は信号制御された一般街路での実験に基づいたが、高速道路のように安定追従の阻害要因が少ない場合にはどのようなメカニズムで速度車間距離のマクロ関係が維持されているのかを明らかにすることが今後必要と考えられる。また、車線変更を受けた後などにおける速度車間距離のマクロ関係を維持するための加減速挙動については別途、定量的なモデルを確立することも、今後の課題である。

最後に本研究を行うに当たり助言をいただいた大阪大学工学部森康男教授に深く感謝の意を表する。

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.
 - 3) 佐藤馨一, 五十嵐日出夫 : 非線形交通流モデルに関する研究, 土木学会論文報告集, No. 258, pp. 85-95, 1977.
 - 4) 越正毅 : 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No. 371/IV-5, pp. 1-7, 1986.
 - 5) 高田弘 : 電子計算機を利用したシミュレーションによる道路交通流の解析, 土木学会論文報告集, No. 124, pp. 20-41, 1965.
 - 6) 森川美信, 松本健二郎 : 合流部シミュレーションモデルの開発, 交通工学, Vol. 22, No. 6, pp. 31-44, 1987.
 - 7) 山田稔, 本多義明 : 追従特性の個人差を考慮した車線運用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 13, pp. 241-248, 1990.
 - 8) 中村英樹, 桑原雅夫, 越正毅 : 織り込み区間の交通容量算出シミュレーション・モデル, 土木学会論文集, No. 440/IV-16, pp. 51-59, 1992.
 - 9) 大口敬, 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和 : ファジィ推論を用いた車両の追従挙動モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol. 13, pp. 221-228, 1990.
 - 10) 丸山勝 : 交通流シミュレーションによる渋滞に関する検討, 交通工学, Vol. 27, No. 1, pp. 53-60, 1992.
 - 11) 日名地博, 中山晴幸, 池之上慶一郎 : 高速道路における追従行動の基礎的研究, 第11回交通工学研究発表会論文集, pp. 5-8, 1991.
 - 12) 尾崎晴男 : 自動車の追従走行挙動に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 14, pp. 375-380, 1991.
 - 13) Ceder, A. : A Deterministic traffic flow model for the two-regime approach, Transp. Res. Rec., No. 567, pp. 16-30, 1976.
 - 14) 阿部幸康, 高森衛 : 追従方程式から得られる交通流モデルの一般解に関する研究, 土木学会第42回年次学術講演会講演概要集IV, pp. 60-61, 1987.