

最終速度の個人差を考慮した 発進する自動車のマンマシンシステムモデル

寺町賢一¹・角 知憲²・渡辺義則³・大枝良直⁴

¹正会員 工修 九州大学助手 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 九州工業大学教授 工学部設計生産工学科 (〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1)

⁴正会員 工修 九州大学講師 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

先に提案した車群先頭車のマンマシンシステムモデル¹⁾は、交差点から100m以下の範囲における車の挙動を予測するには十分な精度を持つ。しかし、このモデルは最終的には速度が入力速度に収斂するため、将来信号制御など長い距離における予測を行うためには、最終速度の個人差を計算に含める必要がある。そこで、本ノートでは、モデルの入力である最終速度に個人差を考慮することにより、より長距離の走行に対応する車群先頭車の発進挙動モデルを提案するものである。

Key Words : terminal velocity, individual variation, man-machine-system

1. はじめに

騒音や排ガスの予測を行う基礎となるものとして、交差点を発進する車群先頭車のマンマシンシステムモデル¹⁾を提案した。このモデルは、後続する車群のマンマシンシステムモデルの部分モデルとなるものであり、目標速度を入力し目標と現在速度の差をフィードバックする自動制御回路を構成するものである。この入力(目標速度)には、これまで便宜的に法定速度を使用して、交差点から100m程度までは、人の運転操作のばらつきを含めて車の挙動を予測するのに十分な結果を与えている。しかし、このモデルは走行距離が十分長くなると速度が入力速度に収斂する性質を持つ。将来、いくつかの交差点を連ねた街路を連続走行する車群を取り扱おうとすると、一つの交差点を通過して長い距離を走行することを扱う必要が生じるので、この性質は問題となる。そこで入力に個人差を考慮することにより、長い距離の走行に対応する車群先頭車モデルを提案するものである。

2. 最終速度への個人差の導入

(1) 先頭車発進挙動モデル

既に提案したモデルは、車群先頭車の発進挙動を、人間の行動と自動車の機械的性能を自動制御理論によって表現したもので図-1の車群先頭車のブロック線図で表される。

図-1では左から、青現示とともに立ち上がり大きさが目標速度であるステップ関数が入力される。 e^{-sL} は反応遅れ時間 L を表す。次に、目標速度 V_p と自車速度 V_i との速度差 $(V_p - V_i)$ を H_v によってアクセルペダル踏み込み量(燃料流量)に変換する。 $G_2(s) = 1 / (Ps + 1)$ ²⁾は、人がアクセルペダルを踏み込むという操作をステップ的ではなく緩やかに行う事を表現するためのもので、二次遅れである。 P は人の行動様式を表す時定数であるが、半クラッチ操作を行う1速と2速以降では大きく異なるため、 P_1 、 P_{2+} として区別した。要素 A_1 はアクセル踏み込み量を駆動力に変換する自動車の機械的性能を表し、 $1 / (Ms + K_1)$ は車両質量 M 、走行抵抗係数 K_1 とした自動車の運動方程式を表す。

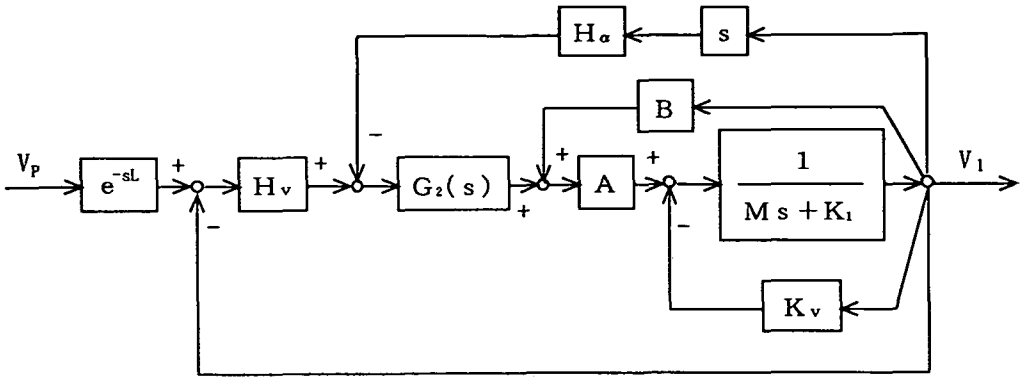


図-1 先頭車の発進挙動モデル¹⁾

K_v は機関内部抵抗である。 B は、定常速度での走行状態の際に K_1 と K_v の効果を消去するために導入したヒューマンファクターである。 また H_α は、加速度が著しく大きくならないように人が操作を加減することを表す要素で、一つのネガティブフィードバックループを構成する。

このモデルの伝達関数をブロック線図の等価規則に基づいて変換²⁾することにより、 V_P から V_1 への伝達関数として次式が求まる。

$$V_1 = \frac{A_i \cdot H_v \cdot G_2(s) e^{-sL}}{A_i \cdot G_2(s) (H_\alpha \cdot s + H_v) + M_i \cdot s} \cdot V_P \quad (1)$$

このモデルの入力である目標速度 V_P としては、これまで便宜的に法定速度を使用し、各変速段ごとに法定速度 V_o と加速開始時の速度 V_{i0} との差をステップ関数として入力してきた。 $u(t)$ を単位ステップ関数とすると、モデルの入力は次式で表される。

$$V_P = (V_o - V_{i0}) \cdot u(t) \quad (2)$$

(2) 個人差の考慮

ここで、次のように個人差を導入する。

$$V_P = K_i \cdot V_o + V_{ij} \quad (3)$$

V_P を個人差を考慮したモデル入力、 K_i を最終速度比（法定速度を1としたときの最終速度の比）、 V_{ij} を個人差を表す確率分布とすると、式(3)を式(1)に入力することにより、時間を関数とする走行速度の確率分布がモデル出力として得られる。

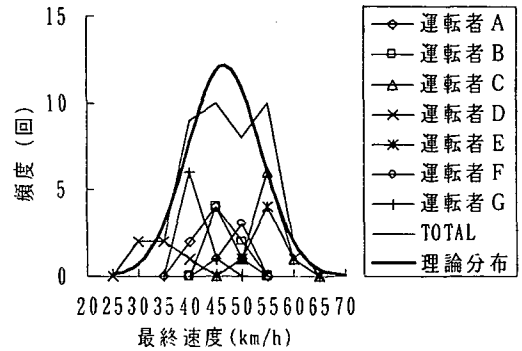


図-2 最終速度データの分布

表-1 被験者の構成

年代	20	30	40	50	60
男性	2	0	1	0	1
女性	1	1	0	1	0

3. 最終速度の測定とパラメータ推定

(1) 最終速度

最終速度は、本来自由に走行する場合の $t \rightarrow \infty$ の速度である。しかし、これは測定不能である。そこで、観測速度の最大値で代用することとする。この時の交差点間距離は約500mであり、交通状況としては加速に関しては自由走行が可能状況であった。

走行実験よりえられた最終速度データの分布を図

表-2 普通自動車の諸元

排気量	2000cc
最高出力	115PS/5600rpm
最高トルク	17kg・m/4000rpm
圧縮比	9.5
車両重量	1020kg
車両総重量	1295kg
タイヤサイズ	185/70R13
有効半径	0.298m

トランスミッション

段位	変速比	減速比	動力伝達率
1	3.583	12.56	0.81
2	2.041	7.246	0.87
3	1.322	4.693	0.90
4	0.945	3.355	0.91
5	0.731	2.595	0.92

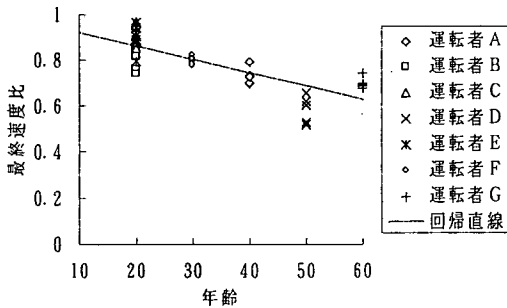


図-3 最終速度と年代の関係

一2に示す。このときの被験者は7名で、性別・年代については表-1に示す。なお、この走行区間の法定速度は60(km/h)であった。このとき、法定速度を1としたときの最終速度の比を最終速度比とすると、その平均は0.78、分散は0.01であった。

被験者の数については20代以外の被験者数が1名ずつであり一般性があるとは言いがたいが、すべてのドライバーの特性を調査することは困難であるため、本研究では測定した被験者について特性を把握すべく最終速度比について分析を行った。

まず、最終速度比データから理論分布として正規

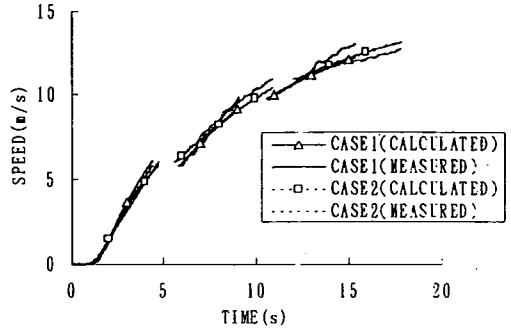


図-4 理論値と測定値の比較(速度)

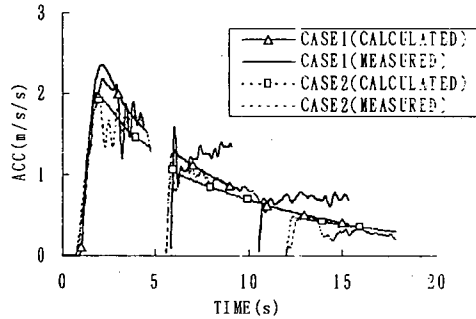


図-5 理論値と測定値の比較(加速度)

分布を仮定し、 χ^2 検定によりその適合度を検定したところ、有意水準5%で採択された。

次に、被験者ごとに最終速度比の分散について検定を行った。有意水準5%でF検定を行ったところ有意差は見られず、最終速度比に対する被験者のばらつきは等しいと見なすことができた。そこでサンプル数が十分でないため被験者ごとのばらつきを含めた最終速度比の平均について性別、年代別に有意水準5%でt検定を行った。その結果、性別による有意差は認められなかったものの、年代別では有意差が認められた。

図-3は年代と最終速度の関係の回帰分析から求めたもので、今回測定を行った7名の被験者に関する結果である。グラフの縦軸は最終速度比、切片は0.976、傾きは-0.006、相関係数は0.78である。

表-3 各パラメータの相関係数・平均・分散

	H_v	H_a	P_1	$P_{2,3}$
H_v	*	-0.03	-0.59	-0.15
H_a	*	*	-0.35	-0.33
最終速度	-0.09	-0.26	0.22	-0.10
平均	0.66	2.36	0.53	0.13
分散	0.01	0.04	0.04	0.01

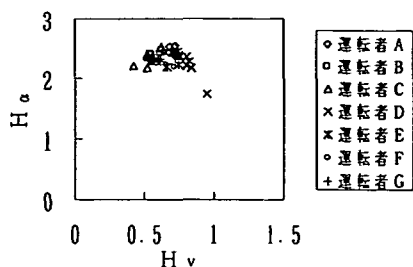


図-6 H_v と H_a の分布・相関

(2) パラメータ再推定

自動車の機械的性能については走行実験に用いた普通車の諸元(表-2)を用い、これらの入力値に基づいてパラメータの推定を行った。パラメータ(ヒューマンファクター)の初期値を入力したモデルによる理論加速度波形と走行実験より得られた加速度データとの二乗誤差が最小になるように推定する。本論文では前回同様シプレックス法を採用した³⁾。なお、加速度データについては、0.02秒ごとの観測値を用い、データ数についてはケースによって異なるものの、各変速段位とも250程度である。この時の速度・加速度について、それぞれ理論値と測定値の比較の例の一部を図-4, 5に示す。これを見ると、速度・加速度ともおおむね理論値が測定値をよく再現している。

なお、前述では自由走行としたが実際には次の交差点による信号制御を受けるケースがあり、また4速走行時についてはそれほどの速度上昇がみられない等の点から3速までを対象とした。

各運転者のパラメータの分布を図-6~8に、パラメータと最終速度(測定値)との関係、各パラメータの平均・分散をを表-3に示す。図中における記号は運転者7名の区別を表す。 H_v 、 H_a の目盛りはそれぞれ(kg/hr)/(m/s)、(kg/hr)/(m/s²)であり、 P の単位は秒である。なお、 H_v 、 H_a を燃料流率(%)に換算すると、 $H_v=2.76$ (%/m/s)、 $H_a=9.87$ (%/m/s²)である。

得られたパラメータは、前に報告したものと多少異なっているがその差は小さく、相互相関も小さいことは前の報告と同様である。

4. 考察と結論

本ノートでは先に提案した車群先頭車のマンマシンシステムモデルにおいて、モデルの入力である目

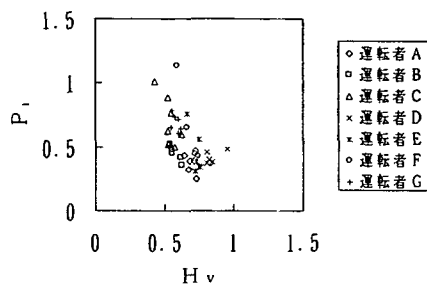


図-7 H_v と P_1 の分布・相関

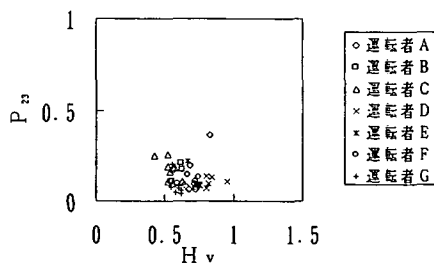


図-8 H_v と $P_{2,3}$ の分布・相関

標速度のばらつきを考慮してパラメータの再計算を行った。

測定対象としては被験者7名としたが、20代以外の年代については被験者が1名づつでありサンプル数が十分であるとは言い難い。しかしすべてのケースについて調査することは困難であるため、被験者7名を対象として分析を行った。

まず、走行実験より得られた最終速度についてみると、測定した被験者に関する限り、性別による差はなかったものの、運転者の年齢による差は認

められた。年齢が上昇するほどに最終速度が減少する傾向がある。また、最終速度は正規分布と見なせる。この際収束速度の分布を式(1)に用いて得られる V_f の確率変動により個人差を表すことができる。

さらに、マンマシンシステムモデルのヒューマンファクターについて再推定を行い、その推定結果相互及び目標速度のばらつきとの間の相関の有無について検討を行った。その結果、新しく推定されたパラメータは、前編に示したパラメータと平均・分散とも多少異なるものの大きな差はなく、パラメータ同士の相関も認められなかった。また、目標速度のばらつきとパラメータの間についても相関は認められない。

なお、パラメータ推定には観測値のうち3速までを対象としているが、人の行動特性を表すパラメータはPをのぞいてシフトアップによる差はなく、Pについても半クラッチを使用する1速と2、3速が

異なるだけであるため、自動車の機械的性能を与えることにより4速以降を含めた長距離走行に対応可能なモデルである。

以上のように、個人差を考慮した目標速度を入力することにより、より長い距離にわたって信号交差点を発進する車群先頭車の挙動を予測することが可能となった。

参考文献

- 1) 角 知憲, 渡辺義則, 坂口裕司, 河原瑞将, 寺町賢一: 信号交差点を発進する車群先頭車のマンマシンシステム・モデル, 土木学会論文集, No530, pp. 99-107, 1996.
- 2) 得丸英勝: 自動制御, 森北出版, 1981.
- 3) 渡部 力, 名取 亮, 小国 力: Fortran77による数値計算ソフトウェア, 丸善, 1989.

(1996. 8. 6 受付)

CONSIDERATION OF INDIVIDUAL DIFFERENCE OF TERMINAL VELOCITY FOR A MAN-MACHINE-SYSTEM MODEL OF A DEPARTING CAR

Ken-ichi TERAMACHI, Tomonori SUMI,
Yoshinori WATANABE and Yoshinao OOEIDA

We proposed a man-machine-system model of a car platoon leader departing from a signaled intersection. It's sufficiently to predict a profile of short running. But, terminal velocity of this model converge on the input velocity. So it's necessary to consider individual difference of terminal velocity for a prediction of a profile of long running. So this paper analyzes individual difference of terminal velocity and proposes a model of predicting for a departing car.