

自動車の走行指標を用いた運転技術評価に関する研究

野田宏治*・荻野 弘**・栗本 譲***

本研究は走行特性値と運転技術評価との関係を走行調査を基にして得られる走行速度の平均値や分散、加速度の平均やアクセレーションノイズなどと同乗者の運転者に対する運転評価とを重回帰分析により明らかにしたものである。まず自動車学校の練習コースでの走行調査から交通条件の変化がない場合の基本的な運転技術評価モデル式を、次いで、モデル式の一般性を明らかにするために国道155号線についても走行調査を行いモデル式の有用性を確認した。

Key Words : elderly driver, evaluation of driver performance, acceleration noise, regression analysis

1. はじめに

交通事故の増加の背景には自動車の安全性能の向上にもかかわらず、免許取得人口の増加、自動車保有台数の増加、高齢運転者の増加等にもなう交通道德の欠如や、運転技術や道路交通環境整備が追従できないなど、人と車と道路に関係する原因が複雑に絡み合っていることが挙げられる。

交通事故防止を目的とした研究は数多くあるが、わが国では史上最悪の交通事故死者数を記録した昭和45年前後に、交通事故の危険度の評価や都市間もしくは地域間比較を中心とした研究^{1)~3)}、また、交通事故統計原票や道路台帳のデータを使った道路の幾何構造と交通事故との関係についての研究^{4),5)}もなされてきた。

しかしながら、今日の交通事故の特徴として、特に若者や高齢者が運転して起こす交通事故は、自動車の性能の著しい向上による車両系と人間系とのアンバランスから生じているとする指摘が多い。それら車両系と人間系との関連についての研究は1957年にRobert E. Chandler⁶⁾らが車両の追従挙動を動力学モデルにより記述して交通流を微視的に解析したのに始まり、その後の研究により追従車の挙動は、単に前車に追従して加減速変挙動をするばかりでなくカーブや勾配などの道路条件にも依存することを明らかにした⁷⁾。

一方、Trevor R. Jones, Renfrey B. Potts⁸⁾はタコグラフを用いて、車のアクセレーションノイズ(加減速度変動, Acceleration Noise)が道路条件、交通条件および運転者の個人特性を表現できる指標であることを示したが、これらの研究は交通流の円滑化をはかること

を主目的としたものであり、交通事故との関係まで言及していない。また、渋滞時の交通流を追従挙動を基礎に巨視的に表現した。たとえば越・岩崎ら⁹⁾の研究も道路交通流の円滑化を目的としたものである。

アクセレーションノイズや区間平均速度などの走行特性値と交通事故に関する研究は、高田・栗本^{10),11)}とKamal Shoarian Sattari, David Powell¹²⁾の研究があるが、これらの研究も道路条件や交通条件と交通事故との関係から、アクセレーションノイズが交通事故率と相関が高いことを示しているにとどまっている。

交通事故の多くは、車両系と人間系および道路系のアンバランスから発生しているが、交通事故防止の観点からは、速度や加減速度変動などの走行特性値で安全運転を規定する必要があるにもかかわらず、交通流の円滑化と走行特性値との関係に関する研究がほとんどで、交通安全の観点から、運転者に対する運転技術評価と走行特性値との関連性を明らかにした研究はほとんどなされていない。

本研究は、走行調査を基にして得られる区間平均速度や分散、アクセレーションノイズ等の走行指標と同乗者の運転者に対する運転評価との相関関係から運転技術評価モデルを構築した。

2. 運転技術評価モデル

自動車の運転技術と交通安全との関係を評価するモデルはこれまでのところ開発されていないが、自動車運転に対するある程度の訓練を受けた測定員は、比較的公平に運転者の運転技術評価をすることが可能と思われる。また、運転技術評価の高い運転者が安全運転をすることにつながるという理論的な裏付けがあるわけではないが、走行指標の一つであるアクセレーションノイズと交通事故の発生区間との間に高い相関のある^{11),13)}ことが知られている。

* 正会員 豊田工業高等専門学校環境都市工学科 助教
(〒471 豊田市栄生町2-1)

** 正会員 工博 豊田工業高等専門学校環境都市工学科 教授

*** 正会員 工博 名城大学理工学部土木工学科 教授

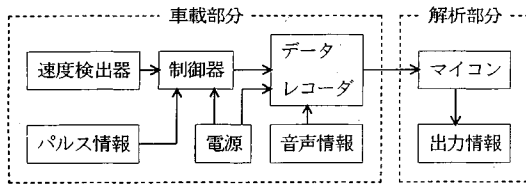


図-1 アクセレーションノイズのデータ収集システム

そこで自動車の走行指標から運転技術評価を求めるモデル式を考えた。

$$D_i = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \dots \dots \dots (1)$$

D_i : 路線 i における運転技術評価

$x_1 \sim x_n$: 路線 i の道路条件や交通条件などが変化する中で走行して得られる速度やアクセレーションノイズなどの走行指標, その他指標等

モデル式の係数値は, 道路条件, 交通条件が異なる各路線によって変化するものと考えられる。従ってある路線での運転技術評価モデル式が得られたならば, その路線で得られた走行指標等で, その運転者の運転技術評価が求められる。

そこで本研究では, 交通条件が一定で道路条件のみが変化する豊田市内の自動車学校(道路交通法第98条では, 自動車学校は指定自動車教習所と規定されているが本研究では自動車学校と略す)の練習コースと, 一般国道との2カ所で走行調査を行い, 基本的な2つの運転技術評価モデル式を構築した。

3. 測定機器およびデータ収集

本研究では, 昭和63年4月~6月にかけて交通条件が一定で道路条件のみが変化する早朝の教習開始前の自動車学校練習コースと交通量の変化があまりない国道155号線の豊田市内約5.4km間とで走行試験車による実測を行った。なお, 運転車両の変更による走行特性の変化をなるべく少なくするために, 実測には被験者が普段使用している各自の車を試験車として使用した。車の排気量は1300~2200ccである。

(1) 測定機器

走行指標となる速度, アクセレーションノイズなどの走行特性値の測定は図-1に示すシステムで行った。

a) 速度検出¹⁾

試験車の変速機とスピードメーター用ケーブルとの取付部に分岐器を取り付け, 速度検出器を接続した。検出器は1kmの走行距離に対して38,220のパルスを出力する構造(一般車のスピードメーターは637パルス)でパルスをカセットデータレコーダに記録した。測定開始, 交差点および距離確認のキロポストの通過, 測定終了などは, それぞれに対応するパルス電圧を同乗2名の調査員がハンドマーカから入力し, 速度パルスと同時に記

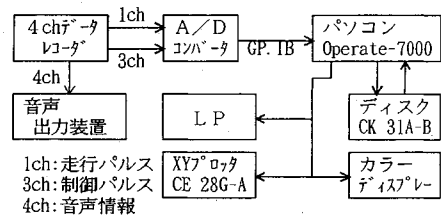
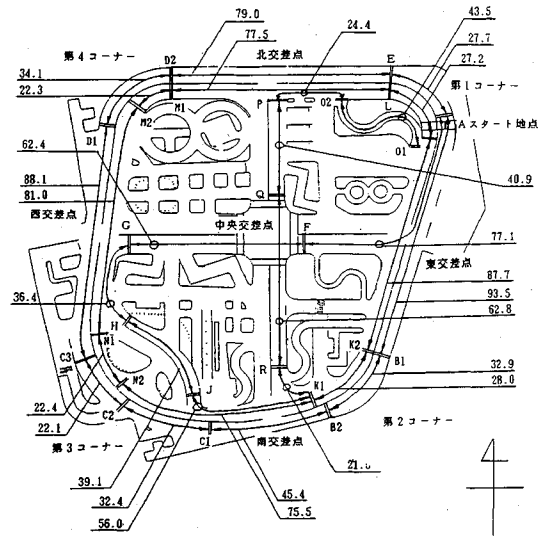


図-2 データ解析システム



A~Rの記号はチェックポイント名である
数字はその区間の距離で単位はメートルである

図-3 自動車学校の練習コース

録した。

b) データ収集

走行速度は1秒ごとにゲートタイム0.5秒間のパルス数をカウントし, 速度に変換した。速度検出器の精度は1kmあたり0.026mで, 測定装置には問題はなく, 測定誤差のほとんどはタイヤの空気圧やタイヤと路面とのスリップにより生じてくる。今回の測定では走行距離988mに対し, 車種により多少の違いはあるが試験車15台の平均では1.04%であったが, 測定結果の算出には個々に補正を行った。

(2) データ解析

データの解析システムを図-2に示す。このシステムでは, カセットデータレコーダをマイクロコンピュータに接続し, 速度検出器のパルス数から走行指標となるアクセレーションノイズ, 区間平均速度, 分散などの計算, 結果のファイルやLPへの出力および画面表示が可能である。また, 制御パルスにより任意の区間での走行指標を求めることも可能である。

表-1 コーナーの曲率半径 (m)

位置	外周右回り		外周左回り	
	順序	曲率半径	順序	曲率半径
第1コーナー	5	22.0	5	16.0
第2コーナー	4	23.4	1	17.4
第3コーナー	3	27.9	2	21.9
第3コーナー	2	28.2	3	22.2
第4コーナー	1	24.5	4	18.5

表-2 国道155号線の幾何構造

区間距離 (m)	曲線		縦断勾配		車道幅員 (m)
	半径 (m)	曲線長 (m)	勾配 (%)	勾配長 (m)	
1138.0	200	33.4	4.35	219	6.0
	100	75.1			
	500	97.7			
	50	90.7			
708.6	250	192.1	4.0	274	6.0
	300	204.8			
	500	166.8			
	250	100.6			
1072.3	600	124.1	4.0	274	5.6
	400	42.9			
	700	87.3			
	600	60.9			
813.8	1500	106.7	4.67	110	8.0 (歩道)
	250	120.7			
537.4			4.54	309	7.0 (歩道)

表-3の左側に自動車学校での被験者の一覧を示す。被験者は年齢が63歳から75歳で、平均年齢が68歳となる高齢者12名と、19歳から21歳で平均年齢が20歳となる若齢者7名の合計19名である。免許歴の平均は高齢者が28年、若齢者が2年である。

b) 国道155号線の被験者

表-3の右側に国道155号線での被験者の一覧を示す。高齢者の年齢は61歳から73歳までの10名、若齢者は19歳から20歳までの6名、中高年として39歳を1名加え合計17名である。免許歴の平均は高齢者、若齢者とも自動車学校の被験者とほぼ同じである。

(3) 走行指標

a) 走行指標

今回の運転技術評価は、試験車に同乗した測定員が運転者や試験車の挙動を総合的に判断して評価を試みているが、評価の対象となる定量的指標には前車との車間距離、ブレーキやハンドルの操作、走行速度や速度の変化などが考えられる。走行調査ではハンドル操作やバネの影響等による上下左右の変動を求めするために加速度計やハンドル切り角計を用いてデータを収集したが、きわめて複雑な挙動になるため、これらのデータを利用することができなかった。

そこで本研究は、走行調査から比較的容易に得られる走行指標として、表-4に示す13項目を採用した。

本研究では、測定区間を走行する自動車の微小時間に応じる速度を検出しており、これを区間で平均したものを区間平均速度とした。従って、走行指標に用いた数値は、すべて微小時間に応じた速度から計算されたものである。なお、減速度は、マイナスを付けて加速度として取り扱っている。

b) アクセレーションノイズの定義

アクセレーションノイズとは、ある道路区間における時間に応じた加減速度の分散を示すもので、速度変化が小さく比較的安定した走行に対しては低い値を示す。

道路上のある区間を走行する自動車の時間に応じる速度変化を連続的に測定した時、区間走行時間 T におけるアクセレーションノイズ (α_i^2) は、式(2)で定義される。

$$\alpha_i^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (\alpha(t) - \bar{\alpha})^2 dt \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 T : 旅行時間

$\alpha(t)$: 時間 t における加減速度

$\bar{\alpha}$: T 時間内における平均加減速度

一般に時刻 $t=0$ と $t=T$ の速度が等しい場合には $\bar{\alpha}=0$ となる。したがって式(2)は、

$$\alpha_i^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \alpha^2(t) dt \dots \dots \dots (3)$$

4. 走行調査および走行指標

(1) 測定コースの幾何構造

a) 自動車学校練習コース

自動車学校練習コースの概要は図-3に示す通りである。外周左回り延長1915mのコースには4カ所のコーナーがあり、その曲率半径を表-1に示す。なお、第3コーナーは2つの曲率半径を有する複合曲線である。

b) 国道155号線の幾何構造

国道155号線の走行調査区間の幾何構造を表-2に示す。走行調査区間は豊田市栄町2丁目から豊田市保見町間の5.4kmで、この区間には信号交差点が7カ所あり、2方向2車線、道路幅員5.6m~9.5m、最小曲率半径50m、最急勾配4.6%、一部に歩道が設置されている。沿道はほとんどが田畑で、信号交差点の形状は多くがT字交差点で交差側道路は農道として利用されている。

(2) 被験者の属性

a) 自動車学校の被験者

表-3 被験者の属性

被験者	年齢	免許歴	車名	変速方式	自動車学校			被験者	年齢	免許歴	車名	変速方式	国道155号線							
					同乗測定者2名の評価		総合得点						同乗者2名の評価		総合得点					
					曲線部	直線部							全体	総合得点						
高年齢者	A	65	21	加-7	5	段	A	B	B	A	+1	A	69	26	加-7	4	段	C	C	-3
	B	66	33	7	オートマチック	B	D	B	B	+2	A	A	+4							
	C	66	28	2	オートマチック	A	B	C	A	+5	A	A	+4							
	D	63	28	加-7	4	段	B	C	B	B	+3	C	C	±0						
	E	72	37	コボ	オートマチック	A	A	A	B	+7	B	B	+2							
	F	66	47	コボ	オートマチック	B	C	B	B	+3	B	B	+2							
	G	68	40	ス-レット	5	段	B	C	B	A	+3	A	A	+4						
	H	64	22	ス-リッター	4	段	B	B	A	B	+6	B	B	+2						
	I	74	20	ス-リッター	5	段	B	C	C	B	+2	A	A	+4						
	J	64	31	ス-レット	5	段	B	B	B	B	+4	E	E	-6						
	K	75	14	加-7	5	段	C	C	C	B	+2	A	B	+3						
	L	52	12	加-7	5	段	B	A	D	B	+2	A	A	+4						
若年齢者	M	21	3	加-7	5	段	A	B	B	A	+6	M	20	1	加-7	5	段	A	B	+3
	N	21	3	ス-レット	5	段	A	A	A	B	+7	N	20	2	加-7	5	段	B	A	+3
	O	21	2	加-7	5	段	A	A	B	A	+7	O	19	1	ス-レット	5	段	A	A	+4
	P	19	1	ス-レット	5	段	B	B	A	A	+6	P	20	2	加-7	5	段	A	B	+3
	Q	20	2	加-7	5	段	A	A	B	B	+5	Q	20	2	加-7	4	段	B	A	+3
	R	19	1	マ-グ	5	段	A	A	A	A	+8									
	S	20	2	ス-レット	5	段	D	C	B	C	-1									

*: 155号線の評価については走行区間全体について

表-4 走行指標

変数	
1	区間平均速度 (Km/h)
2	速度の分散 (Km/h) ²
3	速度の標準偏差 (Km/h)
4	速度の変動係数
5	速度の最大値 (Km/h)
6	速度の最小値 (Km/h)
7	加速度の平均 (Km/h/s)
8	7ヘルゼンションノイズ (Km/h/s) ²
9	加速度の標準偏差 (Km/h/s)
10	加速度の変動係数
11	加速度の最大値 (Km/h/s)
12	加速度の最小値 (Km/h/s)
13	ダミー変数 (若=1, 高=0)

表-5 運転評価項目

1	事故を起こさない(事故防止)運転操作
2	法令を遵守
3	機敏性
4	状況判断に合わせた運転操作
5	道路状況に合わせた運転操作

となる。さらに一定時間間隔 Δt ごとに、離散的に加速度が求められると式(3)は、

$$\alpha_i^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2(t) \Delta t = \frac{1}{T \cdot \Delta t} \sum_{i=1}^n \Delta V_i^2 \dots \dots \dots (4)$$

となる。ただし、 ΔV_i は i 番目の Δt における速度差である。本研究では式(4)で $\Delta t=1$ 秒でのアクセレーションノイズを求めた。

c) ダミー変数の導入

運転者属性を重回帰分析の説明変数に取り込むために、高齢運転者、若齢運転者の区分をダミー変数とし、高齢運転者を0、若齢運転者を1とした。

d) 運転技術評価の数量化

運転が「安全」である、あるいは「危険」であると表現しても、表現の内容が極めて主観的・抽象的なため、人々がこの言葉より感ずる度合いは様々であり、第三者に運転技術の評価を適切に伝達することは難しいと思われる。本研究では、走行指標を用いて運転技術の評価を総合的に行うことを目的としているため、可能な限り客観的・具体的な立場からの評価基準が必要となってくる。

そこで本研究で使用する評価基準値を下記の手順で数量化するを試みた。

1) 運転技術の評価方法の一つとして、自動車学校の各種検定に利用されている表-5に示す運転技術評価項目を参考に、独自の運転技術評価チェックリストを作成した。チェックリストは、100点を満点とし運転挙動に応じて減点方式とした。そして評価の目安として90点以上を「A」(安心)、80点以上を「B」、70点以上を「C」(普通)、50点以上を「D」、50点以下を「E」(たいへん不安)とした。

2) 運転技術の評価を行う15名の測定員には、自動車学校の検定員から評価項目及びチェックリストに関する説明を受けさせ、ついで自動車学校練習コースで検定員の運転する試験車に同乗し、安全走行・危険走行を体験してチェックリストの使用法および安全・危険走行に対する具体的な知識を十分習得させた。

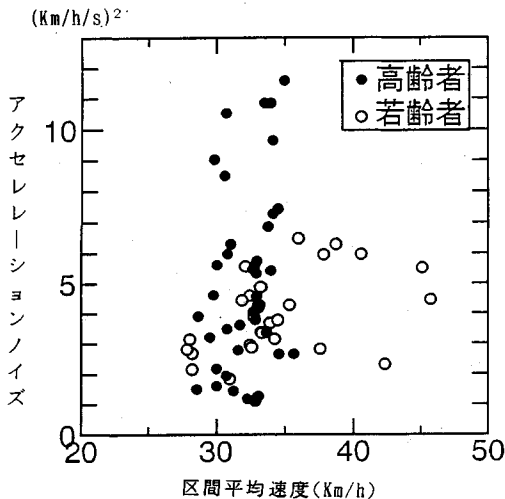
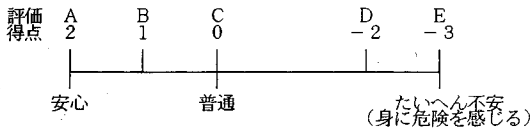
3) われわれが独自に作成した自動車運転シミュレータ¹⁴⁾に、被験者を乗せて十分にシミュレータの操作を習熟させたあと、シミュレータに自動車学校練習コースと同じ幾何構造の道路網(図-2)をインプットし、被験者に練習コースでの走行調査と同様の指定速度で運転させた。測定員は、これを側面より観察してチェックリストにより被験者の運転技術の評価した。

4) 自動車学校練習コースに被験者が日頃使用している自動車を試験車として持ち込み、指示した速度・経路に従い走行させた。これを同乗の測定員がチェックリストで被験者の運転技術の評価した。

表一七 各変数相互間の相関係数 (右上部:自動車学校, 左下部:国道155号線)

変数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 区間平均速度 (Km/h)	1	0.008	0.008	-0.357	0.872	0.784	-0.095	0.160	0.186	-0.145	-0.011	-0.082	0.334	-0.443
2 速度の分散 (Km/h) ²	0.057	1	0.991	0.918	0.409	-0.366	-0.297	0.894	0.862	0.855	0.450	-0.640	0.292	-0.240
3 速度の標準偏差 (Km/h)	0.093	0.993	1	0.925	0.411	-0.374	-0.298	0.894	0.877	0.870	0.467	-0.672	0.275	-0.201
4 速度の変動係数	-0.069	0.986	0.986	1	0.071	-0.627	0.295	0.779	0.755	0.877	0.460	-0.589	0.376	0.042
5 速度の最大値 (Km/h)	0.595	0.625	0.667	0.555	1	0.611	-0.050	0.544	0.568	0.281	0.197	-0.379	0.270	-0.458
6 速度の最小値 (Km/h)	-0.024	-0.654	-0.691	-0.680	-0.466	1	0.299	-0.090	-0.060	-0.313	-0.097	0.070	0.470	-0.207
7 加速の平均 (Km/h/s)	0.050	-0.720	-0.734	-0.752	-0.448	0.655	1	-0.226	-0.225	-0.251	0.009	0.249	0.032	-0.106
8 アクセル・ジャノイス (Km/h/s) ²	0.128	0.913	0.906	0.887	0.648	-0.471	-0.684	1	0.986	0.934	0.610	-0.792	-0.188	-0.270
9 加速の標準偏差 (Km/h/s)	0.170	0.896	0.897	0.872	0.671	-0.491	-0.692	0.993	1	0.942	0.606	-0.823	-0.129	-0.212
10 加速の変動係数	0.288	0.360	0.344	0.280	0.406	-0.305	0.137	0.343	0.330	1	0.633	-0.792	-0.240	-0.070
11 加速の最大値 (Km/h/s)	0.352	0.437	0.459	0.402	0.473	-0.440	-0.264	0.509	0.549	0.285	1	-0.410	-0.158	-0.169
12 加速の最小値 (Km/h/s)	-0.237	-0.606	-0.647	-0.599	-0.756	0.461	0.602	-0.708	-0.742	-0.161	-0.453	1	0.109	-0.025
13 ダミー変数 (若=1, 高=0)	0.525	0.018	0.066	-0.021	0.385	-0.227	-0.077	-0.097	-0.043	0.006	0.369	-0.314	1	0.387
14 目的変数 (Y)	0.180	-0.337	-0.345	-0.368	-0.174	-0.100	0.180	-0.522	-0.502	-0.263	-0.092	0.329	0.335	1

表一六 評価と評価得点



		高齢者	若齢者
7 アクセル・ジャノイス ² (Km/h/s) ²	平均	4.94	3.99
	標準偏差	2.94	1.30
10 区間平均速度 (Km/h)	平均	32.2	34.5
	標準偏差	1.77	4.67

図一四 アクセル・ジャノイスと区間平均速度(自動車学校)

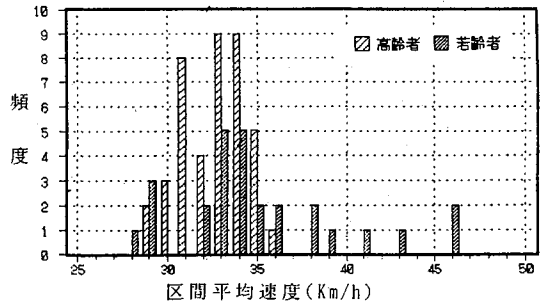
5) 被験者の自動車運転シミュレータでの運転と、自動車学校での試験車による運転との評価の平均をクロス表にして、数量化理論IV類により分析したところ、評価A~Eの評価得点は表一六に示すとおりとなった。

なお、試験車での運転技術評価得点は、自動車学校練習コースと国道155線とも、試験車に同乗した測定員2名の評価得点の合計点として表すことにした。

5. 自動車学校練習コースの分析

(1) アクセル・ジャノイスと区間平均速度

走行調査を行った被験者19名から得られたアクセル・ジャノイスと区間平均速度との関係を図一四に示



図一五 区間平均速度(自動車学校)

表一八 目的変数との偏相関係数(自動車学校)

変数	Y
1 区間平均速度 (Km/h)	0.081
2 速度の分散 (Km/h) ²	-0.001
3 速度の標準偏差 (Km/h)	-0.237
4 速度の変動係数	0.197
5 速度の最大値 (Km/h)	0.307
6 速度の最小値 (Km/h)	-0.223
7 加速の平均 (Km/h/s)	0.059
8 アクセル・ジャノイス (Km/h/s) ²	0.286
9 加速の標準偏差 (Km/h/s)	0.064
10 加速の変動係数	-0.150
11 加速の最大値 (Km/h/s)	0.059
12 加速の最小値 (Km/h/s)	0.263
13 ダミー変数 (若=1, 高=0)	-0.636
14 目的変数 (Y)	1

す。

高齢者の平均速度は32.2 km/h, 標準偏差は1.77 km/h, 若齢者では34.5 km/h, 4.67 km/hである。高齢者のアクセル・ジャノイスの平均は4.94 (km/h/s)², 標準偏差は2.94 (km/h/s)², 若齢者ではそれぞれ3.99 (km/h/s)², 1.30 (km/h/s)²を示した。

高齢者の走行速度のバラツキが少ないにもかかわらず、アクセル・ジャノイスのバラツキがより大きい。一方、若齢者の区間平均速度は、高齢者より高くかつそのばらつきも大きい。しかしアクセル・ジャノイスの値は平均値, 標準偏差とも小さな値となっている。

図一五は区間平均速度の分布を示したものである。高齢者は区間平均速度の平均値付近をピークとするかなり凸の分布形であるのに対して、若齢者は35 km/hあたりをピークとしているが、かなり高速で走行している車

表一9 重回帰係数 (自動車学校)

変数	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6
1 区間平均速度 (Km/h)			-0.190 -0.292 -1.161	-0.386 -0.593 -6.919		
3 速度の標準偏差 (Km/h)	0.950 0.372 2.103					
5 速度の最大値 (Km/h)	-0.413 -0.702 -6.822	-0.429 -0.729 -6.953	-0.231 -0.393 -1.271			-0.480 -0.818 -7.760
8 アクセレーションノイズ (Km/h/s) ²	-0.457 -0.504 -2.187	-0.120 -0.133 -0.873	-0.259 -0.285 -1.422	-0.432 -0.476 -3.579	-0.625 -0.868 -4.041	-1.279 -1.409 -2.818
9 加速度の標準偏差 (Km/h/s)						6.827 1.714 3.454
12 加速度の最小値 (Km/h/s)	-0.766 -0.510 -4.025	-0.711 -0.474 -3.674	-0.733 -0.488 -3.777	-0.767 -0.511 -3.973	-0.908 -0.805 -3.596	
13 ダミー変数 (若=1, 高=0)	2.940 0.640 7.253	2.805 0.611 6.826	2.710 0.590 6.484	2.530 0.551 6.402	1.484 0.323 3.088	2.590 0.564 6.047
重相関係数	0.80	0.79	0.79	0.79	0.57	0.78
定数項	14.325	17.688	16.471	14.247	2.004	14.794

上段：偏回帰係数 中段：標準偏回帰係数 下段：t 値

が多く見られる分布形となった。

(2) 重回帰分析¹⁶⁾

表一7の対角右上部には各変数間の単相関係数を、表一8に目的変数(運転技術評価)との偏相関係数を示す。

目的変数として運転技術評価を、また説明変数として走行指標をすべて取り込んだ重回帰分析での重相関係数は0.84であった。しかしながら表一7に示される単相関係数から分かるように、説明変数間の相関が極めて高いものもあるので、変数減少法により説明変数を削除し、運転技術評価モデルとして表一9に示す6つの重回帰モデルを得た。

Model-1の重相関係数は0.80で区間平均速度の最大値、アクセレーションノイズ、加速度の最小値(負の加速度の最小値は、減速度の最大値となる)の係数はマイナスであり、一方、区間平均速度の標準偏差、ダミー変数、定数項の係数はプラスとなった。定数項が+14.325であり、ダミー変数の係数は+2.940であり、若齢者=1、高齢者=0であることから、若齢者と高齢者として説明変数群として得られるデータが同じであるような運転をしても若齢者の方が運転技術評価で2.940高くなり、同乗者に安心感を与えることになる。他のモデルもダミー変数の係数はプラスであり、若齢者の方が高齢者より運転技術評価は高く評価されている。また区間平均速度の最大値とアクセレーションノイズの係数はマイナスであり、このことは、これらの変数値が大きくなると運転技術が低く評価されることを示している。

Model-2の説明変数は区間平均速度の最大値、アクセレーションノイズ、加速度の最小値、ダミー変数の4つである。係数がマイナスなのは、区間平均速度の最大値、アクセレーションノイズ、加速度の最小値であり、係数がプラスとなるのはダミー変数である。アクセ

レーションノイズの標準偏回帰係数とt値は他のモデルに比較して小さく、したがって信頼度も低くなっている。

Model-3は5つの説明変数を使っており、重相関係数は0.79あるが、区間平均速度やアクセレーションノイズの標準偏回帰係数の値は小さく、これらの変数は、運転技術評価への寄与も低い。

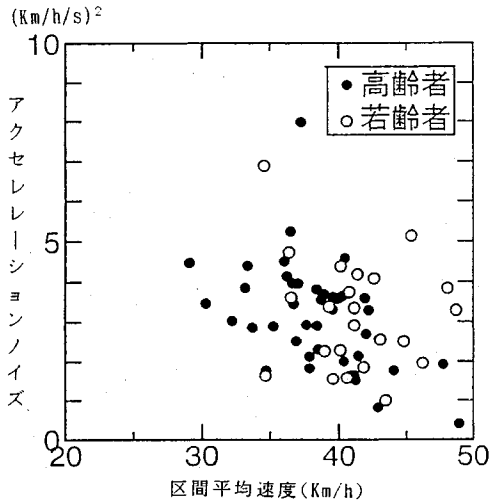
Model-4の重相関係数は0.79であり、説明変数は区間平均速度、アクセレーションノイズ、加速度の最小値、ダミー変数の4つである。区間平均速度、アクセレーションノイズ、加速度の最小値の係数はマイナスであり、ダミー変数、定数項の係数はプラスである。

さらにModel-5、Model-6を作成したが、いずれも重相関係数はModel-4より低くなる。

その他、全変数からダミー変数を取り除いたもの、アクセレーションノイズを取り除いたもの、ダミー変数とアクセレーションノイズを取り除いたものも作成したが、2つの変数を取り除かれるだけで重相関係数が大きく下がるのが分かった。

また、表一7の各変数間の単相関係数で、目的変数とダミー変数およびアクセレーションノイズとの相関をみると、全変数のなかでダミー変数は+0.387で3番目に、アクセレーションノイズは-0.270で4番目に相関が高いことが分かる。さらに表一8の目的変数との偏相関係数をみると、全変数の中でダミー変数は-0.636で1番目に、アクセレーションノイズは+0.286で3番目に相関が高いことが分かる。以上より、ダミー変数、アクセレーションノイズは目的変数に密接に関係していることが分かる。

以上の結果、各モデルのうちで最も重相関係数が高いモデルはModel-1であるが、比較的重相関係数も高く、



		高齢者	若齢者
77kセルレーションノイズ* (km/h/s)²	平均	3.10	3.18
	標準偏差	1.38	1.31
区間平均速度 (km/h)	平均	37.5	40.8
	標準偏差	5.67	4.52

図-6 アクセレーションノイズと区間平均速度 (国道 155 号線)

説明変数も少なく、各変数の信頼度も高いものは、Model-4である。したがって、式(5)に示す Model-4の重回帰式を自動車学校での運転技術評価モデル式として採用することにした。

$$\begin{aligned}
 Y = & -0.386[\text{区間平均速度}] \\
 & -0.432[\text{アクセレーションノイズ}] \\
 & -0.767[\text{加速度の最小値}] + 2.530[\text{ダミー変数}] \\
 & + 14.247 \dots \dots \dots (5)
 \end{aligned}$$

この説明変数の組み合わせによる重回帰式は定数項が +14.247 であり、目的変数である運転技術の総合評価は最高で +8 であることから、この式が減点方式であると判断できる。減点となる変数は区間平均速度、アクセレーションノイズであり、これより区間平均速度が高く、アクセレーションノイズが大きい被験者などがマイナスポイントが大きくなり運転技術の総合評価が悪くなるのが分かる。さらに、ダミー変数は若齢者 = +1、高齢者 = 0 なので、若齢者は常に +2.530 プラスになる。この結果より判断すると若齢者の被験者は高齢者より運転技術評価が高いことになる。つまり若齢者というだけで、同乗者に良い評価を与えることが分かる。

6. 国道 155 号線の分析

(1) アクセレーションノイズと区間平均速度

被験者 17 名で行った国道 155 号線豊田市区内での走行調査より得られたアクセレーションノイズと区間平均速度との関係を図-6に示す。

高齢者では区間平均速度の平均が 37.5 km/h、標準偏

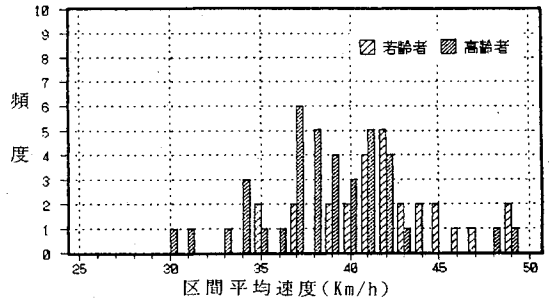


図-7 区間平均速度 (国道 155 号線)

表-10 目的変数との偏相関係数 (国道 155 号線)

変数	Y
1 区間平均速度 (km/h)	0.396
2 速度の分散 (km/h)²	-0.262
3 速度の標準偏差 (km/h)	0.257
4 速度の変動係数	0.409
5 速度の最大値 (km/h)	0.416
6 速度の最小値 (km/h)	-0.581
7 加速度の平均 (km/h/s)	0.128
8 77kセルレーションノイズ (km/h/s)²	0.683
9 加速度の標準偏差 (km/h/s)	-0.663
10 加速度の変動係数	0.377
11 加速度の最大値 (km/h/s)	-0.291
12 加速度の最小値 (km/h/s)	-0.552
13 ダミー変数 (若=1, 高=0)	-0.758
14 目的変数 (Y)	1

差が 5.67 km/h、若齢者では区間平均速度の平均が 40.8 km/h、標準偏差が 4.52 km/h となる。両者の速度差は 3 km/h、標準偏差で 1 km/h となっている。アクセレーションノイズの平均は高齢者で 3.10 (km/h/s)²、若齢者では 3.18 (km/h/s)²、標準偏差では前者が 1.38 (km/h/s)²、後者が 1.31 (km/h/s)² となり、アクセレーションノイズに大きな差が見られない。

図-7に示す区間平均速度の分布は、高齢者で平均速度とプラス 4 km/h あたりの 2 か所にピーク値が見られる。若齢者については、平均値からプラス側にピークが現れている分布形である。自動車学校での結果とはかなり異なり、区間平均速度値で 5 km/h ほど国道 155 号線の方が高く、また分布形を見ても高齢者では自動車学校に比べて低い速度に偏り、広範囲に分布していることが分かる。しかし若齢者については、平均値は高いものの分布形は自動車学校と大差ない。

自動車学校の練習コースの幾何構造は、直線距離は短く、カーブで曲率半径も小さく、さらに実測コースがそれらの組み合わせであったこと、一方、国道 155 号線では一部区間のカーブを除いてほとんどが単調な直線であり、自動車学校のコースより運転がしやすかったためと考えられる。

(2) 重回帰分析

表-7の下部に各変数間の単相関係数を、表-10には目的変数との偏相関係数を示す。

表—11 重回帰係数 (国道155号線)

変数	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6
1 区間平均速度 (Km/h)			0.122 0.554 2.618	0.026 0.026 2.169		
3 速度の標準偏差 (Km/h)	0.177 0.183 2.514					
5 速度の最大値 (Km/h)	-0.195 -0.191 -2.531	-0.125 -0.125 -2.534	-0.243 -0.243 -2.789			-0.854 -0.854 -2.347
8 アクセレーションノイズ* (Km/h/s) ²	-1.608 -0.897 -3.812	-1.293 -0.674 -4.071	-0.851 -0.445 -2.879	-1.330 -0.696 -3.804	-1.392 -0.731 -4.446	-3.047 -1.582 -2.857
9 加速度の標準偏差 (Km/h/s)						6.922 1.114 2.607
12 加速度の最小値 (Km/h/s)	-0.346 -0.402 -4.090	-0.305 -0.357 -4.023	-0.221 -0.254 -3.657	-0.261 -0.304 -3.807	-0.283 -0.326 -3.993	
13 ダミー変数 (若=1, 高=0)	1.693 0.335 4.335	1.755 0.328 4.376	1.570 0.346 4.246	1.701 0.388 4.388	1.740 0.381 4.303	2.216 0.387 4.387
重相関係数	0.79	0.72	0.78	0.78	0.67	0.63
定数項	9.183	9.895	10.742	2.331	3.433	3.407

上段：偏回帰係数 中段：標準偏回帰係数 下段：t値

全説明変数を取り込んだ重回帰分析の結果では重相関係数は0.91となった。自動車学校と同じ考え方で表—11に示すモデルを作成した。各モデル式の重相関係数はいずれも0.6以上となっているが、重相関係数が最も高いモデルは自動車学校と同様 Model-1で0.79となったが説明変数を1つ減らした Model-4 (区間平均速度, アクセレーションノイズ, 加速度の最小値, ダミー変数) は0.78と比較的高い重相関係数を示した。表—11に示されているモデル以外に、いくつかのモデルを作成したが、説明変数の有意性が保てなく、結果的に表に示すモデルが有効なものとして得られた。国道155号線でのモデル式は、比較的重相関係数が高く説明変数も少なく、かつ説明変数の妥当性から Model-4を採用することとした。Model-4から得られる一般式を式(6)に示す。

$$Y=0.026[\text{区間平均速度}] - 1.330[\text{アクセレーションノイズ}] - 0.261[\text{加速度の最小値}] + 1.701[\text{ダミー変数}] + 2.331 \dots \dots \dots (6)$$

7. まとめ

自動車学校で得られた走行データと国道155号線で得られた走行データを使用して、運転技術評価を目的変数とした重回帰分析を行い、運転技術評価モデル式を構築し、以下のようなことが明らかとなった。

1) 交通安全の観点から運転者の運転技術評価を行う場合、走行特性値のうちでも特に、アクセレーションノイズの値は評価基準値としてよい指標となり得ることが明らかとなった。

2) 交通条件が一定で道路条件の変化する自動車学校で得られた運転技術評価モデル式と道路・交通条件がともに変化する一般道での評価モデル式とが同じタイプの

モデル式となり、本研究で構築した運転技術評価モデルは、一般道でも有効であることが確かめられた。

3) 2つの運転技術評価モデル式は、減速度の場合評価値がプラス側の評価に寄与することになるが、全被験者の減速度の最大値は2.89 m/s² (0.29G)、最小値は1.88 m/s² (0.19G)、平均値では2.39 m/s² (0.24G)となり、この程度の減速度は定速走行するための挙動として安全側に評価されるが、このような範囲で逸脱するような減速度での走行状態は、一方でアクセレーションノイズがきわめて高くなりマイナス側の評価を押し上げる結果となる。つまりこれら運転技術評価モデル式は通常の一般的走行をしている状態での適用に問題のないことが分かる。

自動車学校のデータからは、

4) 最も結果の良いと思われる運転技術評価モデル式は、区間平均速度、アクセレーションノイズ、加速度の最小値、ダミー変数の4つの説明変数から構成され、重相関係数は0.79であり、寄与率は61.7であった。

5) 区間平均速度およびアクセレーションノイズの係数はマイナスであり、これらの計測値が高くなると、運転技術評価は下がる。

6) 加速度の最小値の係数はマイナスであるが、加減速度の減速度はマイナスの値であるため運転技術評価にプラスになる。

また、国道155号線の結果からは、

7) 国道155号線では一部区間を除いてほぼ直線区間であるため運転しやすく区間平均速度、アクセレーションノイズには、高齢者と若齢者に大きな差は見られなかった。

8) 運転技術評価モデル式(6)から、区間平均速度が高くアクセレーションノイズの値が小さいほど評価

値が高くなる事が分かる。すなわちこのモデル式は、一般道路では道路・交通条件の変化に順応しながらほぼ等速走行する運転者に良好な評価値を与える。

自動車学校と国道155号線との比較では、

9) 高齢者のアクセレーションノイズは自動車学校の方が高く、バラツキもかなり大きい。

10) 重回帰分析からは自動車学校のモデルの説明変数の評価に寄与する順位が異なり、国道155号線の相関係数も若干低くなる。

11) 自動車学校でのモデル式と国道155号線でのモデル式とでは区間平均速度の符号が異なっており、自動車学校のコースは比較的短い直線コースと曲率半径の小さいカーブが続くなど、一般道路よりも厳しい幾何構造であるため、区間平均速度のわずかな上昇が測定員の危険意識を高めるのに対し、一般道路では希望速度で走行している場合よりも交通流の流れに乗って走行している方が安全と考えている結果と思われる。

最後に、本研究における実測ならびにデータ集計には、豊田工業高等専門学校環境都市工学科交通工学研究室、名城大学理工学部土木工学科交通工学研究室の学生に多くの協力をいただいた。また、自動車学校での実測には豊田中央自動車学校から快く練習コースの提供と、ご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 板倉忠三・加来照俊・斉藤和夫：交通事故に対する危険度評価の方法について，交通工学，Vol.3, No.2, pp.4~13, 1968.
- 2) 大蔵泉・片倉正彦・小林晃・鈴木純夫：道路交通事故の推移に関するマクロ分析，土木学会論文報告集，No.258, pp.97~108, 1977.
- 3) 斉藤和夫：わが国における交通事故死亡危険度の推移に関するマクロ分析的研究，交通工学，Vol.3, No.4, pp.3~12, 1979.
- 4) 井上廣胤：交通事故統計の一解析，交通工学，Vol.15, No.2, pp.5~11, 1980.
- 5) 佐々木喜忠：愛知県における交通事故と道路の関係についての一考察，交通工学，Vol.15, No.4, pp.11~27,

- 1980.
- 6) Robert E. Chandler, Robert Herman and Elliott W. Montroll : TRAFFIC DYNAMICS ; STUDIES IN CAR FOLLOWING, Operations Research Society of America 6, pp.165~184, 1958.
- 7) Robert Herman, Elliott W. Montroll and Renfrey B. Potts : TRAFFIC DYNAMICS ; ANALYSIS OF STABILITY IN CAR FOLLOWING, Operations Research Society of America 7, pp.86~106, 1959.
- 8) Trevor R. Jones and Renfrey B. Potts : THE MEASUREMENT OF ACCELERATION NOISE ; A TRAFFIC PARAMETER, Operations Research Society of America, pp.745~763, November-December 1962.
- 9) 越正毅・岩崎征人・大蔵泉・西宮良一：渋滞時の交通流現象に関する研究，土木学会論文報告集，第306号，pp.59~70, 1981.
- 10) 高田弘・栗本謙：道路の特性と交通事故，道路277号，pp.198~203, 1964.
- 11) 栗本謙・荻野弘・野田宏治：道路条件と加減速変動について，土木学会第35回年次学術講演概要集，pp.302~303, 1980.
- 12) Kamal Shoarian Sattari and David Powell : MEASURED VEHICLE FLOW PARAMETERS AS PREDICTOR-SIN ROAD TRAFFIC ACCIDENT STUDIES, TRAFFIC ENGINEERING & CONTROL, pp.328~335, No.6, 1987.
- 13) 今井稔・松本幸正・高橋政稔・栗本謙：アクセレーションノイズと交通事故との相関に関する研究，土木学会第48回年次学術講演概要集，pp.576~577, 1993.
- 14) 栗本謙・荻野弘・野田宏治・手塚二郎・神作博・高橋政稔・神田真勇：高齢運転者のアクセレーションノイズの測定システムとその指標化に関する研究，文部省科学研究費助成金試験研究成果報告書，1987.
- 15) 岩田幸二・栗本謙・荻野弘・山口健二・竹下鉄夫・内川嘉樹・神作博・舟田志郎：自動車運転シミュレータの作成と運転適正診断システムに関する研究，昭和62, 63年度文部省科学研究費助成金試験研究(1)研究成果報告書，1989.
- 16) 樋野創：アクセレーションノイズによる運転技術評価に関する研究，名城大学理工学部卒業研究論文，1993.

(1993.11.24 受付)

THE EVALUATION OF DRIVER PERFORMANCE USING CAR FLOWING INDEX

Koji NODA, Hiroshi OGINO and Yuzuru KURIMOTO

The increased motorization of the society and the increased number of aged people have produced a large number of elderly drivers. During the past decade the number of elderly drivers' accidents has increased.

This paper dealt with the relationship between the evaluating value of driving skill and the car flowing parameters using regression analysis.

We tested two drivers' groups (elderly drivers over 60 years and young drivers less 25 years) on two different road conditions (the exercise course of Toyota central driving school and the route 155 in Toyota city).

The results of the regression analysis indicated that the elderly drivers have a lower performance than young drivers.