

道路区間の事故危険度評価における統計的手法の利用に関する基礎的研究

その他（別言語等） のタイトル	A Fundamental Study on the Use of Statistical Methods in the Evaluation of Traffic Accident Risk of Highway Section
著者	斎藤 和夫, 武田 準一郎
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	9
号	2
ページ	497-515
発行年	1977-12-10
URL	http://hdl.handle.net/10258/3666

道路区間の事故危険度評価における統計的 手法の利用に関する基礎的研究

斉藤和夫*・武田準一郎**

A Fundamental Study on the Use of Statistical Methods in the Evaluation of Traffic Accident Risk of Highway Section

Kazuo Saito and Jun-ichiro Takeda

Abstract

There are two methodologies to be established for the development of an effective highway safety program: namely one is the methodology to evaluate the traffic accident risk of highway section and the other is the methodology to evaluate the effectiveness of alternative safety countermeasures.

In this study, writers carry a fundamental study on the use of statistical methods with the purpose of establishing the methodology for evaluation of traffic accident risk of highway section. This paper consists of the following three statistical analyses;

- (1) the use of accident-rate quality control method in identification of hazardous highway section,
- (2) the use of multivariate method in the prediction of accident risk of highway section, and
- (3) the use of multivariate method in the discrimination of hazardous highway section.

These analyses are carried systematically by the use of data on the National Highway System in Hokkaido, and some important results which are suggested the usefulness of these statistical methods in evaluation of accident risk are obtained.

1. 本研究の背景と目的

交通事故の著しい増加が社会問題化して以来、国および地方公共団体等は幾多の交通安全対策を実施してきたところである。それらのアプローチは運転者の教育、自動車の安全性の改善、道路交通環境の整備改善、交通規制、取締りの強化など様々である。これらの諸対策が交通事故防止に大きく寄与してきたことは、わが国における最近の大幅な事故減少からも明らかである。しかし、これらの対策は激増する事故への応急的な対応にとどまりがちであったことなどから、その効果は遞減の傾向を示し始めてきている。

交通事故を少しでも減少するためには必要なあらゆる対策が講じられなければならないのは勿論であるが、これからの対策は有限な安全対策費をもって、全体として最大の効果—事故減少—が期待される場所および手段を優先的に実施するという立場から、効率的なプログラムと

* 土木工学科助教授 ** 大学院工学研究科（土木工学専攻）

して策定されなければならない。このことはとくに重要で、交通安全対策においても経済学でいう限界効用逓減則が働くことを意味する。そこで、このような効率的なプログラムを策定する場合において重要となることは、対策に関する限界部分、すなわち場所的限界部分と手段的限界部分を明確化する方法論が確立されていることである¹⁾。前者は道路における事故危険度の評価方法に関する問題であり、後者は対策手段（代替案）の効果推定方法に関する問題である。これらの方法が確立されることによって、地点的な対策から出発してこれから最も効率的に事故防止が期待できる全国的、あるいは地域別の費用と効果を反映した合理的な交通安全対策プログラムの策定と実施が可能となるものと考えられる。これらの方法論に関する研究が重要なことは、最近における OECD の研究²⁾やアメリカで種々の研究³⁾が行なわれていることから明らかであるが、わが国ではほとんど研究されていないのが現状である。

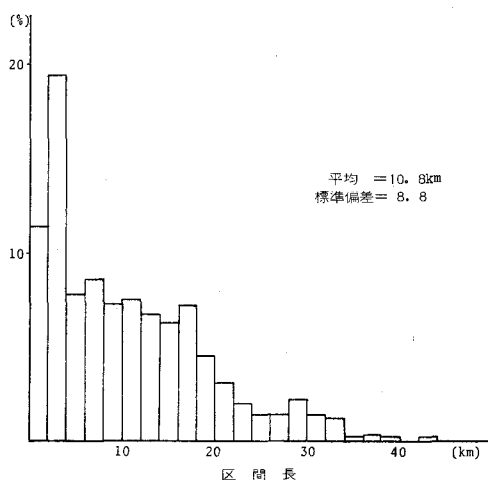
こうしたことを背景として、本研究は道路における効率的な交通安全対策プログラムの策定プロセスを確立することを基本的な目的とし、そのために第 1 に重要な要素となる事故危険度の評価、予測の問題を取り上げ、北海道の国道ネットワークを対象として統計的手法による道路区間の危険度分析を行なったものである。本研究の目的と内容は大きく分けて次の 3 つである。すなわち、

- (1) 事故率品質管理法の適用性とそれによる道路区間の分類
- (2) 道路区間の属性を説明変量として、重回帰分析法と数量化理論 I 類による事故危険度の予測の可能性の検討
- (3) 同様に、判別分析法と数量化理論 II 類による事故危険度の判別の可能性の検討である。

以上のように、本研究はこれら 3 つの統計的分析を通して、道路における事故危険度に関する基礎的研究を試みたものである。

2. 分析データと相関関係

本研究において分析対象とした道路は、北海道の一般国道 34 路線、総延長 4,800km であり、交通事故はこの道路ネットワーク上で昭和 46 年に発生した人身事故 12,219 件(踏切事故は除く)である。道路区間は、同年に建設省が行なった全国交通情勢調査における調査区間を基本として 446 区間に分けている。これらの区間の区間長別頻度分布を示すと図一 1 のようになる。また、交通事故は発生場所に従って各区間に分類し、事故発生型態別に歩行者事故、車両相互



図一 1 区間長別頻度分布

事故、車両単独事故、およびこれらの合計である全体事故の4つのカテゴリーに分類し、次式によって区間事故率を算定した。

$$R_i = \frac{A_i}{365 \cdot L_i \cdot ADT_i} \times 10^6 \quad \dots(1)$$

ここで、

$R_i = i$ 区間の事故率 (件/100万走行台キロ)

$A_i = i$ 区間の年間事故件数

$L_i = i$ 区間の区間長 (km)

$ADT_i = i$ 区間の年平均自動車交通量 (台/12hr)

また、道路区間の属性を示す道路交通要因としては、前記全国交通情勢調査⁴⁾で得られたものの中から、 X_1 : 平均道路幅員 (m)、 X_2 : 信号交差点密度 (個/km)、 X_3 : 非信号交差点密度 (個/km)、 X_4 : 区間平均速度 (km/hr)、 X_5 : 歩行者交通量 (人/12hr)、 X_6 : 自転車交通量 (台/12hr)、 X_7 : 自動二輪車交通量 (台/12hr)、 X_8 : 貨物自動車混入率 (%), X_9 : 自動車交通量 (台/12hr) の9要因を採用した。

これらの要因相互および4種類の区間事故率との相関係数と要因の平均値、標準偏差 (SD) を表-1に示す。また、全体事故率といくつかの要因との散布図を図-2に示す。

表-1 交通環境要因と区間事故率との相関係数行列

記号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	R_p	R_v	R_{sp}	R_t
道路幅員 x_1	1.0000												
信号交差点密度 x_2	0.7380	1.0000											
非信号交差点密度 x_3	0.5417	0.4871	1.0000										
区間平均速度 x_4	-0.6067	-0.6738	-0.5620	1.0000									
歩行者交通量 x_5	0.3403	0.6771	0.3158	-0.4612	1.0000								
自転車交通量 x_6	0.3548	0.3202	0.5107	-0.5120	0.2768	1.0000							
自動二輪車交通量 x_7	0.6858	0.5909	0.6245	-0.6522	0.3481	0.6647	1.0000						
貨物車混入率 x_8	-0.3724	-0.4112	-0.2321	0.2977	-0.2958	-0.1499	-0.3931	1.0000					
自動車交通量 x_9	0.5347	0.6806	0.4805	-0.5586	0.2617	0.2967	0.7664	-0.4234	1.0000				
歩行者事故率 R_p	0.2987	0.4490	0.4342	-0.5177	0.4202	0.4164	0.4090	-0.3214	0.2085	1.0000			
車両相互事故率 R_v	0.5708	0.6817	0.5402	-0.6103	0.4754	0.4389	0.5219	-0.2811	0.4553	0.5731	1.0000		
車両単独事故率 R_{sp}	-0.1424	-0.0505	-0.0246	0.0851	0.0982	-0.0789	-0.1422	-0.0756	-0.2104	0.0809	0.0110	1.0000	
全体事故率 R_t	0.5112	0.6578	0.5515	-0.6259	0.5132	0.4638	0.5147	-0.2267	0.3853	0.7923	0.9445	0.1568	1.0000
平均値	7.898	0.506	1.216	44.718	836.24	270.97	230.43	0.551	6410.6	0.4124	1.4011	0.1482	1.9617
標準偏差	3.150	1.091	1.900	10.247	2389.2	356.67	265.20	0.096	7457.7	0.7621	1.557	0.253	2.115

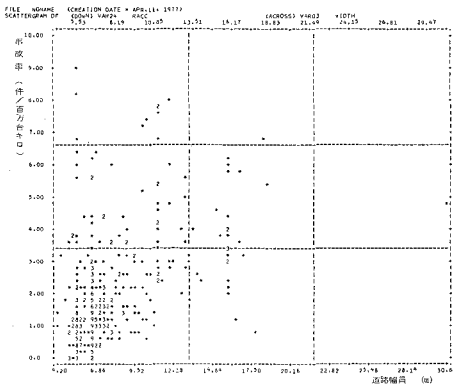


図-2-2(a) 道路幅員

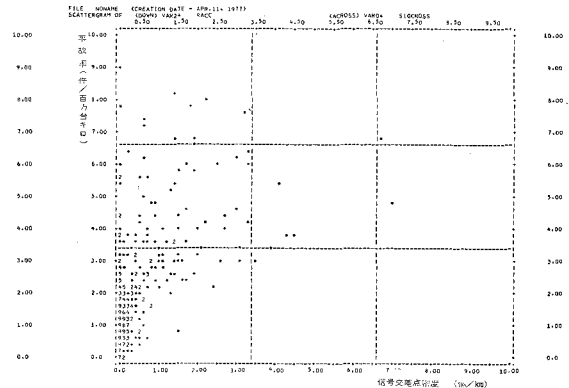


図-2-2(b) 信号交差点密度

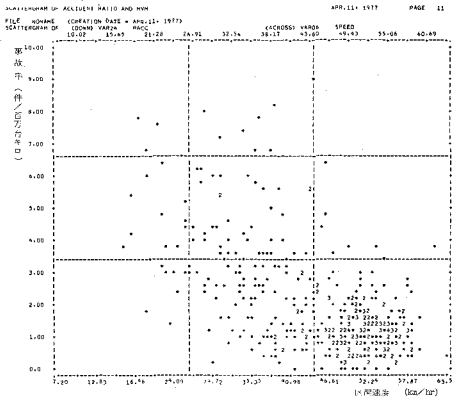


図-2-2(c) 区間速度

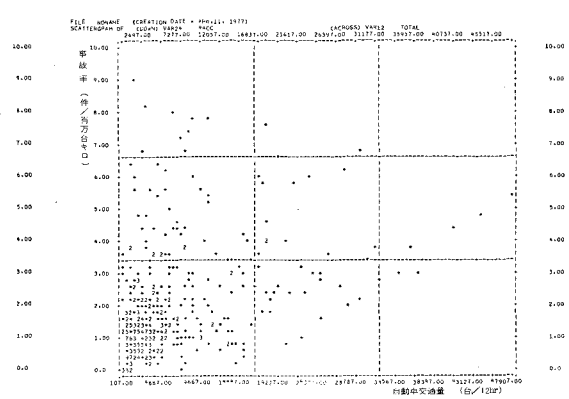


図-2-2(d) 自動車交通量

図-2 事故率と交通環境要因との関係

3. 道路区間の危険度評価

3-1. 分析の目的

従来から道路区間の危険度評価方法として(1)式で計算される走行台キロ当りの事故率が世界的に広く利用されてきている。この方法は式から明らかなように、交通事故発生に対する区間長と交通量の影響を除去したすぐれた方法であるが、1つの重要な欠陥をもっている。それは事故発生の偶然変動(chance variation)に対する考慮が欠けていることである。そこで、筆者らはこの欠陥を改善すべく、「通常変動の結果として、事故率にどの程度の変動を期待すべきか」あるいは「設定された変動の許容限界を越えていると結論づけるためには、事故率はどのぐらい高くなければならないか」という問題を設定して、統計的品質管理の概念を応用した道路における事故危険度の評価方法を示した^{5),6)}。

ここでは、この方法を北海道の国道ネットワークへの適用を通して実証的分析を行なうこと

によりその有効性を検討するとともに、5.における分析のための道路区間のグループ化を行なうことを目的としている。

3-2. 分析の方法—事故率品質管理法 (accident rate quality control method)

事故率品質管理法は、「交通事故はランダムにしかも独立して発生する事象であり、その分布はポアソン分布 (Poisson distribution) に従う」という仮定を基本としている。すなわち、

$$P(x) = \frac{a^x}{x!} e^{-a} \quad \dots(2)$$

ここで、 $P(x) = m$ 走行台キロで x 件の事故が発生する確率

$$a = \lambda_o \cdot m = \text{平均期待事故数}$$

$$\lambda_o = \text{平均事故率 (件/100万走行台キロ)}$$

次に、事故発生の偶然変動の許容限界を決定するために、危険率 α に対して変動の上限と下限を UCL , LCL とすると、それは次式を満足する最大値と最小値として与えられる。

$$\left\{ \sum_{x=0}^{LCL} \frac{a^x}{x!} e^{-a} < \frac{\alpha}{2}, \sum_{x=UCL}^{\infty} \frac{a^x}{x!} e^{-a} < \frac{\alpha}{2} \right\} \quad \dots(3)$$

この UCL と LCL の値を求めるためにいくつかの方法が考えられるが、その1つとしてここでは正規分布 (Normal distribution) へ近似する方法を用い、次式を導いた。

$$\left. \begin{aligned} UCL &= \lambda_o + k \sqrt{\frac{\lambda_o}{m_i} + \frac{1}{2m_i}} \\ LCL &= \lambda_o - k \sqrt{\frac{\lambda_o}{m_i} - \frac{1}{2m_i}} \end{aligned} \right\} \quad \dots(4)$$

ここで、 $k =$ 危険率 α に対する規準正規分布の値

$$m_i = i \text{ 区間の走行台キロ}$$

以上の理論的考察にもとづくと、任意の道路区間における事故発生確率、すなわち事故率は走行台キロによって変動するが、その変動の限界は(4)式で与えられる。言い換えると、事故発生確率に影響する基本的要因が大きく変化しない限り、事故率は(4)式で設定された限界内で変動することが期待され、逆に事故発生に有意に影響する要因が存在する区間の事故率は UCL を越えて変動するものと考えられる。

3-3. 分析の結果

ここでは上述の事故率品質管理法を北海道の国道ネットワークの446区間に適用した。その場合、(4)の k の値として危険率 α を両側検定の10%とした $k=1.960$ を用いている。4種の区間事故率に対する限界事故率はこの k の値とそれぞれの平均事故率、すなわち、歩行者事

表-2 事故率品質管理法による危険度分析の結果(部分)

区間 No.	全事故数 A_i (件)	区間長 L_i (km)	A D T (台/12hr)	走行台キロ m_i (百万台km)	区間事故率 λ_i (件/百万台km)	上限事故率 UCL(件/百万台km)	下限事故率 LCL(件/百万台km)	$\lambda_i > UCL$
1	150	2.9	22898	24.2375	6.1887	3.1460	0.7774	*
2	48	3.1	13489	15.2628	3.1449	3.1023	0.2547	*
3	97	14.5	7887	41.7419	2.3238	3.9668	-0.0549	
4	57	22.4	4309	35.2304	1.6179	4.3842	-0.5055	
5	29	2.3	7530	6.3214	4.5876	3.3334	0.5900	*
6	94	28.6	3738	39.0210	2.4090	3.9380	-0.0146	
7	29	2.7	7545	7.4356	3.9002	3.4799	-0.5717	*
8	30	20.1	3485	25.5677	1.1734	4.9220	-0.9986	
9	12	7.7	3396	9.5445	1.2573	4.8076	-0.8842	
10	15	2.3	5615	4.7138	3.1822	3.6577	0.2657	
11	11	14.8	1290	6.9686	1.5785	4.4635	-0.5431	
12	17	29.0	1038	10.9872	1.5473	4.4917	-0.5683	
13	21	10.5	1787	6.8372	3.0714	3.6909	0.2325	
14	13	10.6	1965	7.6026	1.7099	3.4014	0.5220	
15	14	12.6	4022	18.4972	0.7569	5.7776	-1.8542	
16	16	0.6	4552	0.9971	16.0464	2.6782	1.2452	*
17	26	13.7	3546	17.7318	1.4663	4.5397	-0.6163	
.
.
.
442	6	5.8	2389	5.0766	1.1819	4.9098	-0.9864	
443	32	24.5	1917	17.1428	1.8667	4.2389	-0.2655	
444	13	2.5	3919	3.5761	3.6353	3.5533	0.3844	*
445	23	1.4	13203	6.7467	3.4091	3.0927	0.3282	*
446	10	0.4	8700	1.2702	7.8728	3.0040	0.9199	*

事故率 $\lambda_0=0.4124$, 車両相互事故率 $\lambda_0=1.4011$, 車両単独事故率 $\lambda_0=0.1482$, と全体事故率 $\lambda_0=1.9618$ をそれぞれ(4)に代入して算定した。全体事故についてその結果の一部を表-2に, また区間走行台キロ (m_i) に対する区間事故率と限界事故率との比較を図-3に示す。

この図に示される UCL を越える事故率をもつ区間を事故多発区間 (I群), UCL 以下で LCL を越える区間を普通区間 (II群), LCL 以下の事故率をもつ区間を事故低発区間 (III群) と分類する。他の事故種別についても同様の分析を行なった結果として得られた危険度による区間分類についてのまとめを表-3に示す。

この結果, 歩行者事故に対しては 73 区間(全区間の 16.4%, 総延長の 6.6%)が事故多発区間として分類され, そこでは歩行者事故の 46.3%, 死傷者の 45.9%が含まれていることになる。車両相互事故に対しては 80 区間(全区間の 17.9%, 総延長の 5.3%)が事故多発区間として分類され, そこでは車両相互事故の 47.4%, 死傷者の 42.5%が含まれていることになる。車両単独事故に対しては 39 区間(全区間の 8.7%, 総延長の 12.5%)が事故多発区間として分類され, そこでは車両単独事故の 23.8%, 死傷者の 22.6%が含まれている。さらに, 事故全体についてみ

ると、96 区間（全区間の 21.5%，総延長の 6.2%）が事故多発区間として分類され、そこでは事故全体の 47.3%，死傷者の 42.4%が含まれていることになる。

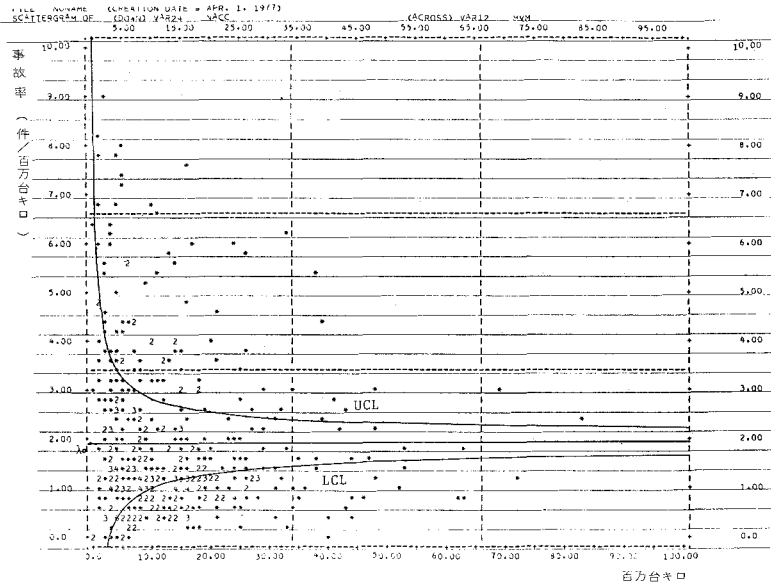


図-3 全体事故における区間走行台キロに対する区間事故率と限界事故率との関係

表-3 事故率品質管理法による道路区間の3群分類

事故類型	項目 分類群	区 間 数		延 長		走行台キロ		事 故 件 数		死 傷 者 数		平均事故率 件/百万台キロ
		区 間	%	km	%	百万台キロ	%	件	%	人	%	
歩行者事故	I 群	73	16.4	318.7	6.6	934.7	15.0	1190	46.3	1270	45.9	1.2731
	II 群	256	57.4	2735.1	56.9	3381.1	54.3	1237	48.2	1338	48.4	0.3658
	III 群	117	26.2	1752.8	36.5	1912.8	30.7	142	5.5	156	5.6	0.0742
	合計	446	100.0	4806.6	100.0	6228.6	100.0	2569	100.0	2769	100.0	0.4125
車両相互事故	I 群	80	17.9	254.6	5.3	1283.2	20.6	4138	47.4	6372	42.5	3.2248
	II 群	241	54.0	2468.9	51.4	2700.7	43.4	3342	38.3	6260	41.7	1.2375
	III 群	125	28.0	2083.1	43.3	2244.7	36.0	1247	14.3	2369	15.8	0.5555
	合計	446	100.0	4806.6	100.0	6228.6	100.0	8727	100.0	15001	100.0	1.4011
車両単独事故	I 群	39	8.7	600.8	12.5	411.3	6.6	218	23.8	380	22.6	0.5300
	II 群	277	62.2	3172.5	66.0	4580.5	73.5	693	75.7	1277	75.8	0.1513
	III 群	130	29.1	1033.3	21.5	1236.8	19.9	4	0.4	27	1.6	0.0032
	合計	446	100.0	4806.6	100.0	6228.6	100.0	915	100.0	1684	100.0	0.1469
全体事故	I 群	96	21.5	297.5	6.2	1353.9	21.7	5778	47.3	8248	42.4	4.2677
	II 群	220	49.3	2377.6	49.4	2358.0	37.9	4221	34.5	7182	36.9	1.7901
	III 群	130	29.2	2131.5	44.4	2516.7	40.4	2220	18.2	4019	20.7	0.8821
	合計	446	100.0	4806.6	100.0	6228.6	100.0	12219	100.0	19449	100.0	1.9618

3-4. 考 察

事故率品質管理法の北海道の一般国道ネットワークへの適用による道路区間の危険度評価を行なったが、その結果から次のことが考察される。まず最初に、この方法の特徴をまとめると、

- ①事故発生 of 偶然変動が考慮されていること、
- ②事故多発区間の選定基準が科学的に設定されること、
- ③設定される選定基準は平均事故率の変化に対応して変化すること、

などである。交通事故多発区間の選定と分類に関しては従来から2つの課題がある。それは道路区間の設定と事故多発を表わす指標の設定である。事故率品質管理法はこの後者の課題に対して科学的な判断基準を定める一つの方法となるものと考えられる。

そこで図一3に示した分析結果を見ると、走行台キロの小さい区間に対する変動の許容範囲より広くするように設定されていることがわかり、事故発生 of 偶然変動による見せかけ上の高い危険度にもとづく判断の誤りを防止し得る科学的合理性をもった危険度の評価方法であることがわかる。表一3の結果を見ると、事故多発区間として選定された区間数は各類型とも全体から見ると必ずしも多いものではない。例えば、全体事故については区間数で21.5%、延長でわずか6.2%であるが、そこで発生した事故件数は全体の47.3%である。また、I群の平均事故率は他の群の平均事故率と比較して非常に高くなっている。このことから、選定された区間の事故多発傾向が明らかになる。

LCLを下まわる事故率をもつ事故低発区間(III群)を抽出することの意義は、これらの区間が事故発生確率論的に見ると非常に少ない事故発生の現状にあることから、これらの区間の事故発生パターンや道路環境を調査することにより、事故発生確率を低下させている要因を解明するための場所的情報を提供することにある。

なお、ここで分類された3群の道路区間は5.における事故危険度の判別分析のための外的基準として用いることにする。

4. 道路区間の危険度予測

4-1. 分析の目的

3. で用いた事故率品質管理法は過去の事故経験にもとづいて道路区間の事故危険度を評価する方法であるが、将来における危険度を予測するものではない。そこで、ここでは道路区間の危険度予測についての統計的分析を行なうものである。

道路区間の危険度、すなわち事故率は道路区間ごとに異なり、この事故率はその区間の属性によって説明されると考えると、次の基本的なモデルが設定される。

$$\text{事故率} = f(\text{道路幅員, 交通量, 平均速度, } \dots) \quad (5)$$

このそれぞれの要因が全て定量的要因である場合、重回帰モデルを適用することができる。本論で用いた9要因はすべて定量的要因であるので、第1に重回帰モデルによる分析を行なう。次に、定量的要因であっても事故率との関係が直線的に変化するとは限らないことから、要因ごとに適当なレンジを設けてカテゴリ化し、数量化理論モデルI類による分析を行ない、両分析を通して道路区間の事故危険度の予測の可能性と予測に対する要因の影響度合を検討しようとするものである。なお、分析結果については全体事故のみを取り扱っている。

4-2. 分析の方法

(1) 重回帰分析 (Multiple regression analysis)

いま、(5)式において*i*区間の事故率 Y_i と区間のもつ要因 X_{ij} ($j=1, 2, \dots, m$)との間に線形一次結合を仮定すると次のように表わされる。

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_m X_{im} + \varepsilon_i \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 b_0 を回帰定数 (constant)、 b_j ($j=1, 2, \dots, m$) を偏回帰係数、 ε_i を残差と呼ぶ。この ε_i について次のような仮定がなされる。

- i) ε_i と $\varepsilon_{i'}$ ($i \neq i'$) は互いに独立である (独立性)
- ii) ε_i の期待値は0である (不偏性)
- iii) ε_i の分散はすべて等しい (等分散性)

これらの仮定が満足されるものとして、(6)式を最小2乗法で解くと次の予測式が得られる。

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_m X_{im} \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 b_0, b_i ($i=1, 2, \dots, m$) はそれぞれ b_0, b_i の推定値である。これらの係数は変量の測られる単位によって変化するため、 X_i が Y_i にどの程度影響するかを比較することができない。そこでデータを基準化することによって(7)式は次のような予測式に変換することができる。

$$Y_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_m X_{im} \dots \dots \dots (8)$$

ここで、係数 β_i ($i=1, 2, \dots, m$) は基準化された各説明変量 X_i の重みであり、標準回帰係数あるいは β -weightと呼ばれる。この β の絶対値の比較は基準変量の推定に果たす各説明変量の影響度合を示すことになる。

また、(7)と(8)式の予測の精度については重相関係数 (multiple correlation coefficient) R によって判断することができ、この重相関係数の2乗を寄与率といい、回帰による変動が全変動に対してどの程度の割合を占めているかを示す。

(2) 数量化理論I類 (Hayashi's quantification theory I)

数量化理論I類は、定量的要因と定性的要因を同時に取り扱う多変量解析の一手法である。いま、*i*区間の事故率がカテゴリ化した要因 (item) によって表わされるものとする、(5)

式は次のように示される。

$$Y_i = a_{i1}X_{i11} + a_{i2}X_{i12} + \dots + a_{j1}X_{ij1} + \dots + a_{jk}X_{ijk} \dots \dots \dots (9)$$

a_{j1} : 要因 j , カテゴリー - 1

⋮ ⋮ ⋮

a_{jk} : 要因 j , カテゴリー - k

ここで、 Y_i をサンプルスコア、 a_{jk} ($j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, s$) をカテゴリースコア、 X_{ijk} ($i=1, 2, \dots, n$) を説明変数 (パラメータ) といい、この場合、 Y_i は i 区間の事故率を表わしている。

数量化理論 I 類において、 β -weight に相当するものは偏相関係数である。また、予測の精度については重回帰分析と同様に重相関係数で判断することができる。

4-3. 分析の結果

9種の説明変量 (要因) を用いて決定された重回帰分析の結果を示すと表-4のようになる。また、重相関係数の有意性をF検定によって検定した結果を表-5に示す。分析結果の精度を示す重相関係数は $R=0.7607$ となり、寄与率は58%とかなりの程度の予測が可能である。この重相関係数は危険率 $\alpha=1\%$ 水準で高度に有意であった。

表-4 重回帰モデルによる分析結果

説明変量	回帰係数	標準回帰係数	単相関係数
道路幅員 X_1	0.0781	0.1163	0.5112
信号交差点密度 X_2	0.9229	0.4763	0.6578
非信号交差点密度 X_3	0.2152	0.1934	0.5515
区間平均速度 X_4	-0.0390	-0.1887	-0.6259
歩行者交通量 X_5	0.0001	0.0388	0.5132
自転車交通量 X_6	0.0006	0.1028	0.4638
自動二輪車交通量 X_7	0.0008	0.0995	0.5147
貨物車混入率 X_8	0.8235	0.0037	-0.2267
自動車交通量 X_9	-0.0002	-0.3353	0.3853
Constant	$b_0=2.4311$		
重相関係数 R		$R=0.7607$	

表-5 分散分析表 (重回帰分析)

変動要因	自由度	分散	F値 (分散度)
回帰による	9	127.9264	66.52
残差による	436	1.9231	
検定	F値=66.52 > F(9.436,99%) =2.407 F値=66.52 > F(9.436,95%) =1.880		

次に、同じ9種の説明変量を3～5のカテゴリーに分けて数量化理論I類による分析を行った。その結果を表一6に示す。分析結果の精度を表わす重相関係数は $R=0.7337$ （寄与率54%）と重回帰分析の結果より若干低い値を示した。この値をF検定によって検定したところ、危険率 $\alpha=1\%$ 水準で高度に有意であった。

4-4. 考 察

以上の分析結果にもとづいて、予測の精度と予測に対する各要因の影響について考察すると次のようになる。

表一6 数量化理論I類による分析結果

要 因	カ テ ゴ リ ー	サ ン プ ル 数	カテゴリースコア	偏相関係数(順位)
道 路 幅 員(m)	~7.5	304	-0.2606	0.1687 (4)
	7.5~9.0	44	0.2435	
	9.0~13.0	62	0.6486	
	13.0~	36	0.7859	
信号交差点密度 (個/km)	0	193	-0.4746	0.3257 (1)
	0.0~0.5	152	-0.4314	
	0.5~1.0	36	0.6718	
	1.0~	65	2.0459	
非信号交差点密度 (個/km)	0	44	-0.1925	0.0995 (9)
	0.0~1.0	276	-0.0970	
	1.0~2.0	53	0.3155	
	2.0~	73	0.2536	
区 間 平 均 速 度 (km/hr)	~30	46	1.2174	0.2128 (3)
	30~40	88	0.2582	
	40~50	134	-0.1969	
	50~	178	-0.2940	
歩 行 者 交 通 量 (人/12hr)	~200	217	-0.1060	0.1081 (8)
	200~400	59	0.2668	
	400~700	35	-0.3083	
	700~	135	0.1338	
自 転 車 交 通 量 (台/12hr)	~200	278	-0.0178	0.1281 (7)
	200~400	66	-0.2704	
	400~700	50	-0.0529	
	700~	52	0.4895	
自 動 二 輪 車 交 通 量 (台/12hr)	~200	291	-0.1215	0.1307 (6)
	200~400	73	0.0786	
	400~700	52	-0.0014	
	700~	30	0.9919	
貨 物 車 混 入 率 (%)	~30	3	2.7471	0.1631 (5)
	30~50	98	-0.1874	
	50~	345	0.0293	
自 動 車 交 通 量 (台/12hr)	~3,000	194	0.3232	0.2781 (2)
	3,000~5,000	83	0.4080	
	5,000~10,000	81	0.1594	
	10,000~20,000	59	-0.7361	
	20,000	29	-2.2774	
重相関係数(R)			R=0.7337	

まず、予測の精度については重相関係数が重回帰分析、数量化理論Ⅰ類ともに0.7以上の値を与え、また有意性の検定結果も高度に有意であった。また、これら両方法によって決定された予測式から予測された値と実測値との残差の分布を調べてみると、図-4 (a), (b) に示すように正規分布に近似している結果を示した。これらのことから、本分析で用いた方法により道路区間の事故危険度をかなりの精度で予測しうることが示された。

つぎに、これらの予測に関する要因の寄与について考察してみる。この寄与の度合は重回帰分析では標準回帰係数の比較、また数量化理論Ⅰ類では偏相関係数の比較によって判断するこ

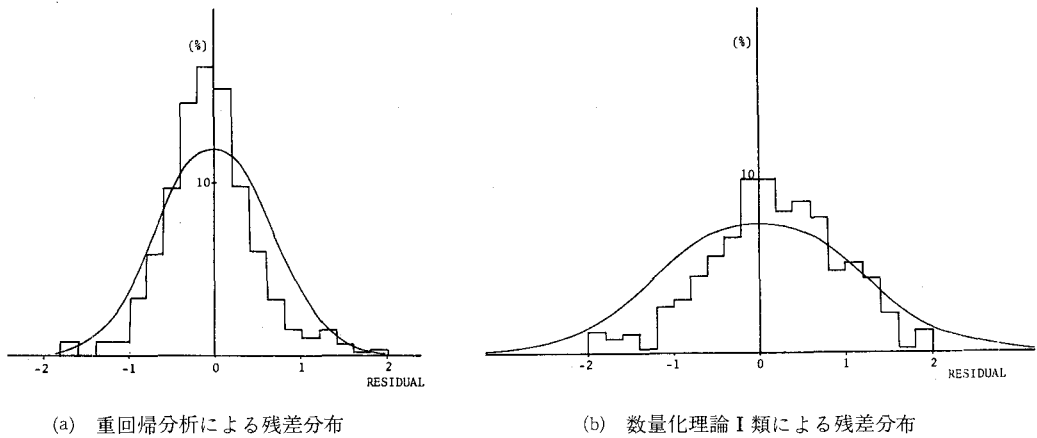


図-4 予測値と実測値の残差分布

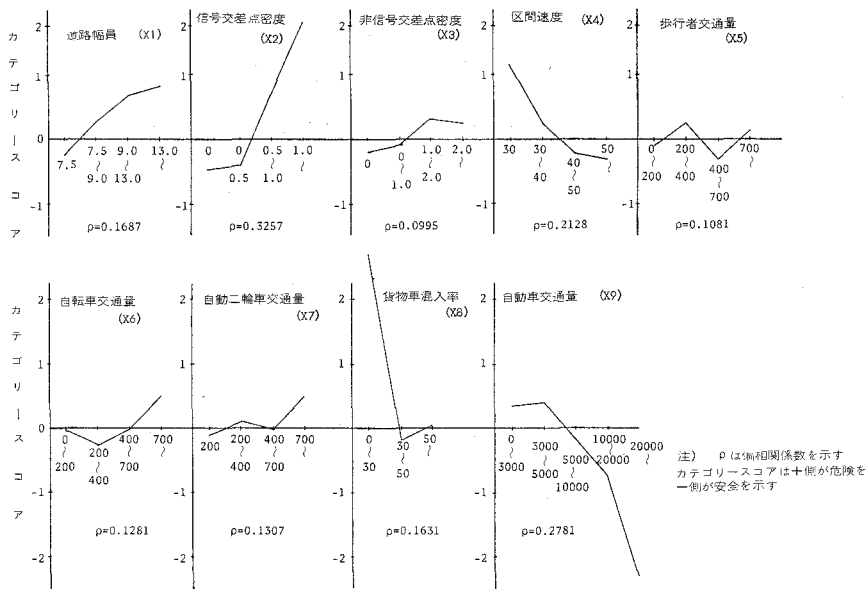


図-5 数量化理論Ⅰ類による要因カテゴリースコア傾向図

とができる。標準回帰係数の絶対値の比較によると、要因の寄与の大きさの順位は、信号交差点密度 (X_2) が最も大きく、ついで自動車交通量 (X_9)、非信号交差点密度 (X_3)、区間平均速度 (X_4)、道路幅員 (X_1) の順になっており、残りの要因の寄与はあまり大きくない。また、偏相関係数の比較によると、最も大きいのは重回帰分析と同様に信号交差点密度 (X_2) であり、ついで自動車交通量 (X_9)、区間平均速度 (X_4)、道路幅員 (X_1) となっており、重回帰分析とはほぼ同様の結果を示した。ただ、数量化理論 I 類では貨物車混入率 (X_8) がかなり大きな寄与の度合を示しているが、これについてはカテゴリー化が片寄っていることによる影響が大きいと考えられる。また、非信号交差点密度が最下位になっているのも重回帰分析の結果と大きく異なる点である。

そこで、図—5 に示す数量化理論 I 類の各カテゴリースコアの変化傾向から、要因と危険度との関係について考察してみると次のことがわかる。この場合、カテゴリースコアのマイナス側は安全を、プラス側は危険を表わしている。最も偏相関係数の大きな信号交差点密度について見ると、密度が高くなるほど危険になる傾向を示している。道路幅員についても同様の傾向であるが、自動車交通量と区間平均速度については逆に、値が小さくなるほど危険になる傾向を示している。その他の要因については明確な傾向は見られないようである。したがって、結論的にいえば、道路幅員、信号交差点密度、区間平均速度と自動車交通量という4つの要因が道路区間の事故危険度の予測に対して重要な役目を果たすといえる。

5. 道路区間の危険度判別

5-1. 分析の目的

ここでは、3. で示した事故率品質管理法によって3群に分類された道路区間を外的基準として4. の分析で用いたと同じ9要因を説明変量とした場合の道路区間の事故危険度の判別分析を行なう。その目的は、事故危険度の数量的な予測と合わせて、事故多発区間など道路における問題区間を抽出するための方法を検討することにある。なお、ここで用いる分析方法は4-1. で述べたと同じ理由によって、定量的要因を取り扱う判別分析法とカテゴリー化された要因を取り扱う数量化理論 II 類である。

5-2. 分析の方法

(1) 判別分析 (Discriminant analysis)

判別分析とは、「 m 変量の線形一次結合によってつくられる関数

$$Z_i = l_1 X_{i1} + l_2 X_{i2} + \cdots + l_m X_{im} \cdots \cdots \quad (10)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

が、異なる母集団に属する個体を最も良く判別する (誤って判別する確率を最小にする) よう

に係数ベクトル \mathbf{l} を定める」⁷⁾である。こうして定められた関数を判別関数 (discriminant function) という。

この関数を定める方法の1つは、異なった群の個体を最も良く判別するために、合成変量 Z_i の分布が個体群の間でどの程度分離しているかを示す (11) 式で表わされる相関比 η^2 が最大となるように、すなわち図-6に示すように異なった群の個体を最も良く判別するように係数を定めることである。

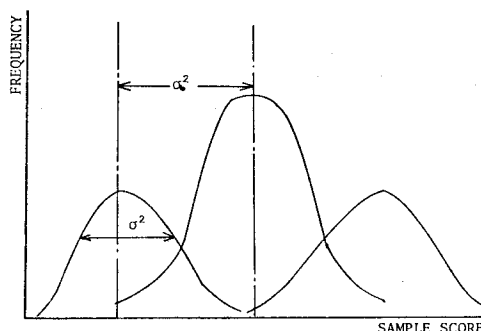


図-6 判別分析概念図

$$\eta^2 = \frac{\sigma_b^2}{\sigma^2} \quad \dots\dots(11)$$

ここで、 σ_b^2 = 群間分散

σ^2 = 全個体に対する合成変量の分散

(2) 数量化理論II類 (Hayashi's quantification theory II)

この方法は説明変量がカテゴリー化されている場合に、判別関数と同様に判別分析するものである。いま、つぎのような合成変量を定義する。

$$Z_i = a_{i1}X_{i11} + a_{i2}X_{i12} + \dots + a_{j1}X_{ij1} + \dots + a_{jk}X_{ijk} \dots\dots\dots (12)$$

a_{j1} : 要因 j , カテゴリー-1

⋮ ⋮ ⋮

a_{jk} : 要因 j , カテゴリー- k

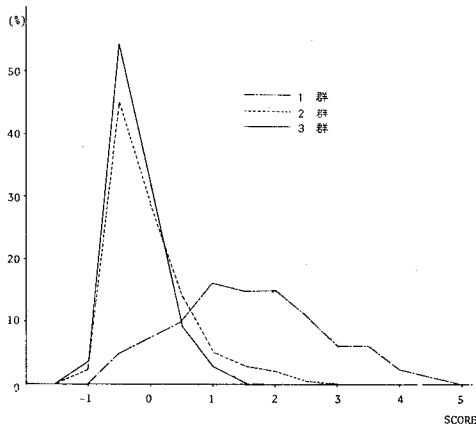
ここで、 a_{jk} ($j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, s$) はカテゴリースコア、 X_{ijk} ($i = 1, 2, \dots, n$) はパラメータで数量化理論I類で用いたものと同じである。この合成変量について、判別関数の場合と同じ条件によってカテゴリースコアを決定することができる。すなわち相関比が最大となるように a_{jk} の値を与えることである。また、判別に対する要因の寄与に関しては偏相関係数によって調べることができる。

5-3. 分析の結果

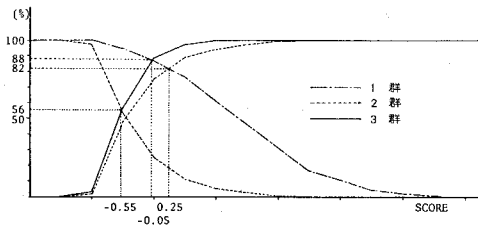
3. で全体事故について分類された3群の道路区間に対して、9種の説明変量を用いた判別分析の結果として得られた判別関数の係数ベクトルを表-7に示す。この場合、分析結果の精度を示す最大にされた相関比は $\eta^2 = 0.5822$ ($\eta = 0.7634$) であった。この判別関数を用いてそれぞれの群に属する区間の合成変量値 Z を算出し、得られた結果を判別図と判別累積度図としてまとめたのが図-7(a), (b)である。この結果、II群とIII群はほとんど重なっており判別は不

表-7 判別関数の係数ベクトル

要因	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
係数ベクトル	0.052	0.236	0.066	-0.414	-0.029	0.212	0.066	0.033	0.231
相 関 比	$\eta^2 = 0.5822$ ($\eta = 0.7634$)								

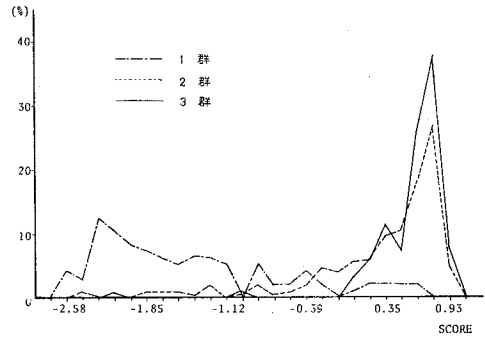


(a) 判別図

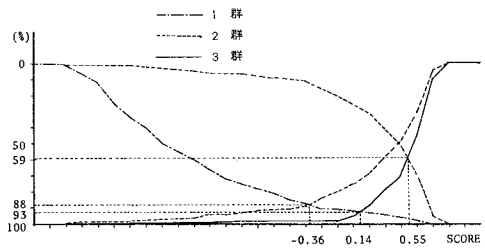


(b) 累積度図

図-7 判別関数による判別図と累積度図



(a) 判別図



(b) 累積度図

図-8 数量化理論II類による判別図と累積度図

十分であるが、I群とII群およびIII群とはかなり明確に判別されていることがわかる。

次にカテゴリ一化された要因を説明変量として数量化理論II類による分析の結果を表-8に示す。この場合の相関比は $\eta^2 = 0.6048$ ($\eta = 0.7777$) であった。この数量化理論II類を用いてそれぞれの群に属する区間のサンプルスコア(合成変量値)Zを算出し、得られた判別図と判別累積度図を図-8(a), (b)に示す。この結果、判別関数の場合と同様にII群とIII群は判別が不十分であるが、I群とII群およびIII群との判別は明確であることがわかる。なお、数量化理論II類の場合はカテゴリースコアのマイナス側が危険を、プラス側が安全を表わしているので、判別関数とは合成値が逆転していることに注意する必要がある。

表-8 数量化理論II類による危険度判別の結果

要因	カテゴリー	サンプル数	カテゴリースコア	偏相関係数(順位)
道路幅員(m)	~7.5	304	0.1081	0.1388 (5)
	7.5~9.0	44	-0.0258	
	9.0~13.0	62	-0.3186	
	13.0~	36	-0.3146	
信号交差点密度 (個/km)	0	193	0.2184	0.3381 (1)
	0.0~0.5	152	0.3170	
	0.5~1.0	36	-0.5520	
	1.0~	65	-1.0610	
非信号交差点密度 (個/km)	0	44	0.0696	0.0843 (7)
	0.0~1.0	276	0.0081	
	1.0~2.0	53	-0.1754	
	2.0~	73	0.0580	
区間平均速度 (km/hr)	~30	46	-0.4278	0.2080 (2)
	30~40	88	-0.3139	
	40~50	134	0.0783	
	50~	178	0.2117	
歩行者交通量 (人/12hr)	~200	217	0.0777	0.1530 (4)
	200~400	59	-0.3039	
	400~700	35	0.0890	
	700~	135	-0.0117	
自転車交通量 (台/12hr)	~200	278	0.0147	0.0766 (8)
	200~400	66	0.0957	
	400~700	50	-0.0262	
	700~	52	-0.1735	
自動二輪車交通量 (台/12hr)	~200	291	0.1385	0.1853 (3)
	200~400	73	0.0635	
	400~700	52	-0.4665	
	700~	30	-0.6622	
貨物車混入率(%)	~30	3	0.0713	0.0223 (9)
	30~50	98	-0.0380	
	50~	345	0.0104	
自動車交通量 (台/12hr)	~3,000	194	-0.0566	0.1001 (6)
	3,000~5,000	83	-0.0222	
	5,000~10,000	81	-0.0710	
	10,000~20,000	59	0.1093	
	20,000~	29	0.4062	
相 関 比(η^2)	$\eta^2=0.6048$ ($\eta=0.7777$)			

5-4. 考 察

以上の分析結果にもとづいて、判別の精度と判別に対する要因の寄与について考察すると次のようになる。

まず、判別の精度について見ると、判別の精度を表わす相関比は判別分析で $\eta^2=0.5822$ ($\eta=0.7634$)と数量化理論II類で $\eta^2=0.6048$ ($\eta=0.7777$)と後者が若干良い精度を示した。そこで、図-7(b)と図-8(b)の累積度図から *min-max* 原理にもとづく判別値と判別達成率を求めてまとめると表-9のようになる。この結果、I群とII群を判別する場合を例にとれば、判

別関数では判別値 0.25 以上であると 82% の確率で I 群と判別することができ、逆に 0.25 以下であれば同じ確率をもって II 群に属すると判別することができる。数量化理論 II 類では判別値 -0.36 以下であれば 88% の確率で I 群に属すると判別することができ、逆に -0.36 以上であれば同じ確率をもって II 群に属すると判別す

表-9 判別達成度

分析方法	判別群	判別値	判別達成率
判別関数	I - II	0.25	82%
	I - III	-0.05	88
	II - III	-0.55	56
数量化理論 II 類	I - II	-0.36	88%
	I - III	0.14	93
	II - III	0.55	59

ることができる。I 群と III 群の場合は判別達成率がさらに高くなり、判別関数では 88% の確率、数量化理論 II 類では 93% とほぼ完全に判別できるといえる。このことから、事故多発区間 (I 群) と他の区間とは道路区間の属性 (要因) によって十分判別可能であることがわかる。

次に、これらの判別に対する要因の寄与を調べてみる。この要因の判別に対する寄与は、判別関数においては係数の絶対値の、数量化理論 II 類においては偏相関係数の比較によって判断することができる。前者の比較によれば、区間平均速度 (X_4) が最も高く、信号交差点密度 (X_2)、自動車交通量 (X_9)、自転車交通量 (X_6) の順になっており、残りの要因の寄与はあまり大きくない。また、偏相関係数の比較による後者の場合は、最も寄与の大きい要因が信号交差点密度 (X_2) であり、ついで区間平均速度 (X_4)、自動二輪車交通量 (X_7)、歩行者交通量 (X_5)、道路幅員 (X_1) となっており、判別関数の場合と異なる結果を示している。そこで、判別達成度の高い数量化理論 II 類のカテゴリースコアの変化傾向を示す図-9 から要因と危険度判別の関係を考察してみると次のことがわかる。すなわち、最も偏相関係数 (図中の ρ) の高い信号交差点密度については、密度が高くなるほど危険度が高くなる。これと同様の傾向を示す要因は道路幅員と自動二輪車交通量である。また、区間平均速度と自動車交通量はこれと逆の傾向を示している。他の残りの要因については明確な傾向が見られないようである。したがって、危険度の判別に大きく寄与すると思われる要因としては信号交差点密度と区間平均速度があげられるが、他の要因については必ずしも結論的にはいえないようであり、別の角度からの検討も必要であると思われる。

6. 本研究のまとめ

本研究は、北海道の国道ネットワークを対象として、事故率品質管理法、多変量解析手法である重回帰分析法、数量化理論 I 類、判別分析法、数量化理論 II 類を利用して道路区間の事故危険度の評価、予測、判別に関する体系的な統計的分析を行なったものである。これらの分析の結果、明らかになったことを要約すると以下のとおりである。

(1) 筆者がこれまで示してきた事故率品質管理法の道路区間の危険度評価への適用性と有効性が確認された。とくに、事故多発区間の選定に対する科学的な判断基準を設定し得る点に

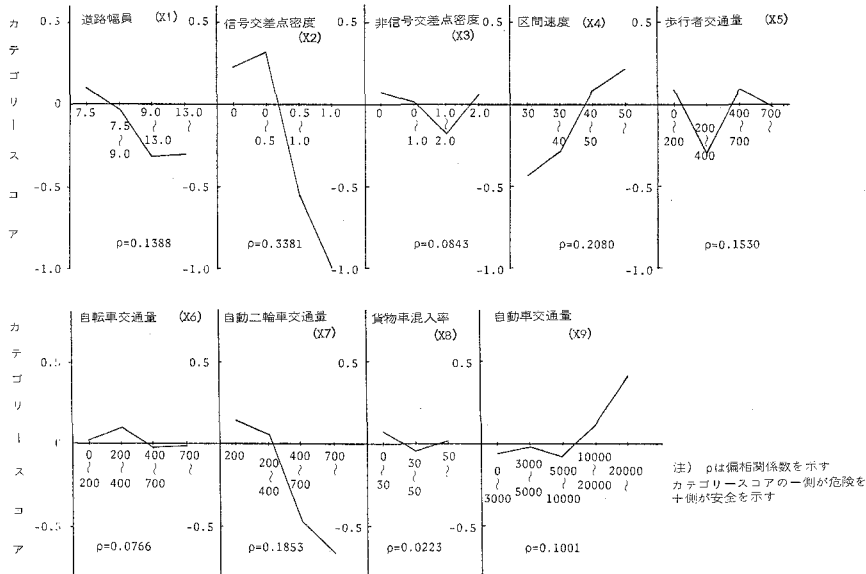


図-9 数量化理論Ⅱ類による要因カテゴリーースコア傾向図

において有用であるといえる。

(2) この方法の北海道の国道ネットワークへ適用した結果、車両単独事故は別として、路線総延長(約4,800km)の約6%上で全体事故のほぼ47%が発生していることがわかった。したがって、これら事故多発区間の優先的改善は事故減少に大きな効果を発揮するものと考えられる。

(3) 事故危険度の予測に対する重回帰分析と数量化理論Ⅰ類の利用可能性が示された。この場合、予測の精度を表わす重相関係数は前者で $R=0.7607$ (寄与率58%)、後者で $R=0.7337$ (寄与率54%)であり、前者が若干良い精度であった。このいずれの値もF検定の結果、危険率 $\alpha=1\%$ 水準で高度に有意であった。

(4) また、予測に寄与する有意な要因としては道路幅員 (X₁)、信号交差点密度 (X₂)、区間平均速度 (X₄)、と自動車交通量 (X₉) であった。これらの要因と危険度との関係は、信号交差点密度と道路幅員は値が増加するほど危険度を高める傾向を示し、逆に区間平均速度と自動車交通量は値が増加するほど危険度を低める傾向を示した。

(5) 事故危険度の判別に対する判別分析法と数量化理論Ⅱ類の利用可能性が示された。この場合、判別の精度を表わす相関比は前者で $\eta^2=0.5822$ 、後者で $\eta^2=0.6048$ であり、後者が良い精度を示した。これらの値は必ずしも高いとはいえないが、事故率品質管理法によって分類された事故多発区間 (I群) と他の区間との判別達成率は82%~93%の間にあることから、事故多発区間の判別は高い確率をもって可能であることが示された。

(6) また、判別に対する要因の寄与は危険度の予測の場合と同じではない。主要な要因としては信号交差点密度 (X_2) と区間平均速度 (X_4) が確認されたが、他の要因については必ずしも明確にはされなかった。

以上のことをふまえて、つぎに本分析で残された課題について示すと以下のことがあげられる。

(1) 本分析では事故多発区間の抽出が行なわれたが、抽出された区間の事故発生特性を分析し、有効・適切な対策手段の検討が必要である。

(2) 時系列的なデータを用いてモデルの予測、判別の適合性を検討する必要がある。

(3) 事故発生型態別に本研究と同様の分析を進める必要がある。

(4) これらの基礎的研究を行なうと同時に、より少ない要因を用いた簡便な危険度の予測、判別方法を検討する必要がある。

最後に、本研究を行なうに当り御指導を受けた北海道大学工学部加来照俊教授に心から感謝するとともに、使用した事故データの収集において北海道警察本部交通企画課の協力を得たことおよびデータの処理、一連の統計計算は室蘭工業大学 FACOM 230-28 と北海道大学大型計算センター FACOM 230-75 によったことを付記し感謝の意を表する。

(昭和 52 年 5 月 21 日受理)

参 考 文 献

- 1) 日本交通科学協議会 (総理府委託) : "交通安全施設の投資効果に関する研究", 昭和 44 年 3 月.
- 2) "OECD 道路研究計画 S-12 (Hazardous Road Locations) 報告書", 道路, 昭和 50 年 2 月.
- 3) Jorgensen, R. E. and Laughland, J. C. : "Evaluation of Criteria for Safety Improvements on the Highway", Traffic Engineering, August 1967.
- 4) James, W. S. : "Development of an Effective Highway Safety Program", Traffic Engineering, January 1977.
- 4) 北海道開発局道路計画課 : "道路交通情勢調査の結果 (昭 46 年度)", 昭和 47 年 1 月.
- 5) 板倉忠三・加来照俊・齊藤和夫 : "交通事故に対する危険度評価について", 交通工学, vol.3, No.2, 昭和 43 年 3 月.
- 6) Kazuo Saito : "Towards a Statistical Approach of Identifying Hazardous Highway Locations", the Memories of the Muroran Institute of Technology, vol.9, No.1, December 1976.
- 7) 五十嵐日出夫・齊藤和夫他 : "土木計画数理", 朝倉書店, 昭和 51 年.
河口至商 : "多変量解析入門", 森北出版, 昭和 48 年
- 8) 本多義明・丹渡悦夫 : "横断歩行者の危険度に関する基礎的考察", 交通工学, vol.12, No.1, 昭和 52 年 1 月.