

1. 運転者の多様化による交通流の変化と対応策

(1) 運転者の多様化の現状と交通流への影響

車社会の進展に伴って、近年では運転者も多様化の傾向がみられる。運転する自動車そのものの多様化・分極化に加え、非業務交通である日曜ドライバーや高齢者や女性の運転者の増加傾向がみられている。この傾向は特に公共交通の整備が十分でない地方都市において顕著にみられることが指摘されている^{1) 2)}。

運転者が多様化すれば、全ての運転場面で運転挙動が多様化すると考えられる。さらに、交通流の平均的な特性、すなわち交通容量や、交通事故発生の潜在的な危険性にも少なからず影響を及ぼすであろう。これについて客観的に評価を行うには、運転者の挙動特性の個人間の差異を何らかの指標として観測できることが必要と考えられる。これが可能となれば、さらに対策の提案や評価に結び付けることも可能と考えられるが、このような観点からの研究はこれまでに見られていない。

(2) 運転者多様化の対応策としての車線運用

道路交通法ではこれまで車両通行区分を緩め、最右側車線を除きその利用は運転者に委ねる方向で推移してきている³⁾。しかし、自動車交通の安全の観点からは、速度の異なる車が混在する場合には危険性が高いと考えられ、高齢者や初心者が自分の技能に応じた運転を心がけるには、優先車線化あるいは専用車線化の必要性が考えられる。

一方、円滑性の観点からは、車線変更が可能で追越しができる場合には、そうでない場合に比べて交通容量が高くなると考えられている⁴⁾。しかし、運転者の特性のばらつきのデータを用いて、高速走行を希望する追越し車とそうでない特性の非追越し車の会合確率を求めて追越しの効果を定量的に評価する方法は確立されているとは言えず、専用車線を設置した場合の影響についての予測・評価は、現状では、十分ではないといえよう。

2. 本研究の目的

運転者の行動特性の個人間の差異を考慮して対策を評価するには、個々の車両の特性の差異をどの様に扱うか、また、その組合せである交通流をどう表現して評価するかが問題となる。

自動車の運転場面では、目的地まで速く到達しようとするか、危険性なるべく避けようとするかがトレードオフの関係にあって、運転者が両者に重みをつけて総合的に判断して行動を決める場面が多いと考えられる。そこで、本研究では各運転者の挙動を速達性と安全性に対する相対的な重視度合という一つの軸から捕らえるだけでも、その分散の大部分を説明できるであろうと考えた。そして、走行特性の内の最も基本的な行動である追従特性について観測することにより、そこにおける運転者の速達性と安全性に対する重視の度合の違いをモデル化することを第1の目的とした。

次にそれが組み合わさった交通の流れを表現し、また対策のために考慮が必要である車線変更の可否の影響を表現するために、シミュレーションモデルを構築することとした。これは、運転者の個人差を的確に表現するために、個々の車両を単位とする追従シミュレーションを行うこととした。

さらに、この様にして得られた運転者の行動特性の差異を運転者が利用する車線の分類に反映させることにより、安全性を高める車線運用策を提言するとともに、先に構築したモデルを用いて、この対策の評価を行なうことを目的とした。

3. 運転者の個人差のモデル化

(1) シミュレーションでの追従特性のモデル化

これまでの追従シミュレーション^{5) 6)}においては、車頭時間の分布をモデル化することにより、速度と車間距離の関係すなわち追従特性を表現することが行なわれている。また、追従方程式^{7) 8) 9)}を用いて、速度変化の過程を表現すること¹⁰⁾も試みられてい

る。しかし、追従方程式によるシミュレーションを本研究で用いるには次のような点が解決されていないと考えられるため、速度と車間距離の関係を表現するモデルを用い、さらにこのモデルのパラメータの一つとして個々の運転者の速達性と安全性に対する重視度を表す指標が含まれるよう考慮した。

加速度と車間距離の時間変化の関係が微分方程式として定式化されている追従方程式をシミュレーションで用いるには、実際の速度-車間距離の関係を再現できるような境界条件を与えておくことが必要となる。そのため、初期状態として実際の速度-車間距離関係を満たす適当な値を与えることとなる。

しかし、本研究の車線変更のように追従以外の事象を考慮する場合、速度や車間距離が追従方程式とは無関係にその事象によって変化することとなる。そして、それ以降は再び追従方程式を適用することとなる。しかし、この方法では、この段階で初期状態として与えた境界条件とは異なる条件下での解を求めることとなってしまい、初期状態の設定に用いた速度-車間距離関係はこれ以降満足されなくなってしまうという問題が発生するためである。

(2) 個人差を表現する指標に望まれる条件

シミュレーションで速度-車間距離の関係を記述する追従モデルの一つのパラメータが運転者の個人差を表現できることが望まれる。そしてそれは速達性・安全性の重視の度合いが異なると考えられる運転者の行動を比較した場合に差が表れ、逆に同等の傾向を持つ運転者であれば、道路線形や幅員等の道路要因や、混雑状況や前車車種等の交通要因などに影響され難いことが望まれる。そこで、次のようなものを候補として設定し、実測調査を行なってそれらを用いることの妥当性を検討した。

(3) 候補として設定した指標

①車頭時間

既往の追従シミュレーション^{5) 6)}でも、追従モデルのパラメータとして車頭時間の分布形または一定値が与えられている。

②車間時間

速達性と安全性に対する運転者の評価という観点から考えれば、追突危険性に対しては、車頭時間や車頭距離よりも車間の大小が及ぼす影響の方が重要と考えられる。仮に前車が自車と同じ速度であり、

かつ停止するときは同じ減速度で減速すると仮定した場合、車間時間は前車減速開始以降の自車の減速開始までの遅れ時間の最大許容値に相当する。

③余裕時間

車間時間が反応遅れ時間の許容値であるという考え方を発展させ、実際の前車速度の値をも用いて、より真の値に近い反応遅れ時間の許容値を求めようとするものである。自車速度を V_1 、前車速度を V_0 、車間距離を L と表わし、自車および前車が停止する際に用いると仮定する減速度をそれぞれ、 α_1 、 α_0 とすると次式で表現できる。

$$T = (L + \frac{V_0^2}{2\alpha_0} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1}) / V_1$$

このうち車間距離は路側調査から直接求めることは難しいため、車間時間×速度を用いることとし車間時間を G と表わすと、結局次のようになる。

$$T = G + (\frac{V_0^2}{\alpha_0} - \frac{V_1^2}{\alpha_1}) / 2V_1 \dots (1)$$

運転者は、車間時間や前車の速度は運転中に知ることができ、前車減速度はなんらかの方法で予測していると仮定する。そこで、自車が行い得る減速度と自分が行動を起こすのに必要な遅れ時間のもとで追突の危険性がないよう自車速度を調整していると考えられるものである。

本研究においては、通常の停止時の減速度を考慮し、 $\alpha_1 = \alpha_0 = 3 \text{ (m/秒}^2\text{)}$ と運転者は判断しているであろうと仮定した。この仮定が現実と異なれば、運転者が「反応遅れ時間の許容値」と判断した値とは異なるものが得られる。しかし、車間時間と同様にギャップの大小を表現するという性質は維持しており、値が大きいくほど安全性重視の運転を表わすと考えられる。

④必要減速度

基本的な考え方は、余裕時間と同じであるが、反応遅れ時間の方を固定しておいて、そのときに追突を避けるために必要となる減速度の大きさを評価するものである。式-1を変形して次のようになる。

$$\alpha_1 = \frac{V_1^2}{2V_1(G-T) + V_0^2/\alpha_0} \dots (2)$$

前述のように α_0 や T の値によって指標の特性が変化するが、以降では一様に $\alpha_0 = 3 \text{ (m/秒}^2\text{)}$ 、 $T = 1 \text{ (秒)}$ を用いることとした。

(4) 調査の概要

これらの指標が、運転者間の差異、道路要因、交通要因によってどのように変動するのかを明らかにするために、それぞれ一つの要因のみに差異があると考えられる4種類の状況下でのデータ収集を行って、その結果を比較した。以後、これを順に調査①、調査②…と呼ぶこととする。

①運転者の個人差の影響調査

運転経験の異なる5名の被験者で追従走行実験を行ない、同一の道路区間でかつ交通混雑の状況が類似していた部分のデータを対象とした。

被験者が運転する実験車に取り付けた走行距離計と車間距離計の結果に5秒間の移動平均を行って平滑化し、また5秒間の平均変化から速度を求めた。

先行車の車長についての情報は取らなかったため、車間のみを考え、車頭時間は求めていない。

②高齢者と非高齢者の比較調査

幹線道路に調査断面を設定し、そこを走行する一般車両の行動を路側観測によって調査した。路面表示を目安として6.45m離れた2つの調査断面を設定し、その間の所要時間から速度を、また第1断面の通過時刻から車頭時間、車間時間を求めた。さらに、調査員が目視によりおおむね60才以上と思われる高齢運転者と、明らかに非高齢とわかる運転者といった属性で分類し同時に記録した。なお、下流側信号の待ち行列が延伸して来た間は除外した。

③道路線形の影響調査

交差点間隔が長く比較的高速の運転ができる一般道路を選び、そのなかで曲線半径60mで速度低下が強いられる曲線部の始点付近と、その上流280mの直線部とで路側調査を行なった。調査②と同様、各

々で4.74m、8.97m離れた2つずつの断面を設定し、速度、車頭時間、車間時間を求めた。

調査は各地点で別々に行なったが、対象となる運転者の属性の差が小さくなるよう、また、交通の混雑状況が変化しないよう、業務交通が中心となる午後2～4時の間で、連続して行なった。

④信号待ち行列による速度低下の影響調査

道路要因の影響を除くため、新規の信号設置により待ち行列が発生するようになった交差点を対象に、その上流82m地点で信号設置前後に一回ずつ調査を行なった。やはり対象運転者の属性分布が類似するよう、平日の午後4時前後の時間帯に実施した。

なお、調査①③④は大阪府下の主要地方道で、また調査②は高齢者混入率が高いと考えられる福井市内の主要地方道で実施した。

表-1に各調査で取り上げた考慮要因と、得られた水準別のサンプル数を示す。

(5) 各指標の運転者別平均値のパターン比較

調査①および②で得られた、運転者(運転者属性)別の各指標の平均値を図-1に示す。

これをみると、必要減速度は一律に右上がりであり、また車頭時間・車間時間・余裕時間はその逆の傾向で、大小の順は完全に一致している。すなわち、運転者間の差異は、速達性・安全性の重視度合の違いに関連すると考えられるこれら各指標に共通した変動成分を持っていることがわかる。

(6) 分散分析による指標の特性の比較

各指標の運転者間の変動の大きさとそれ以外の要因による影響の大きさを定量的に把握するため分散分析を行なった。

運転者間の差異を見た調査①②の結果を表-2に

表-1 調査概要の一覧

	比較要因	水準	サンプル数
調査①	運転者個人間	被験者A	36
		B	39
		C	38
		D	44
		E	47
調査②	運転者属性	非高齢	229
		高齢	50
調査③	道路線形	直線部	197
		曲線入口	188
調査④	交通状況	待ち行列無し	198
		信号待ち行列	226

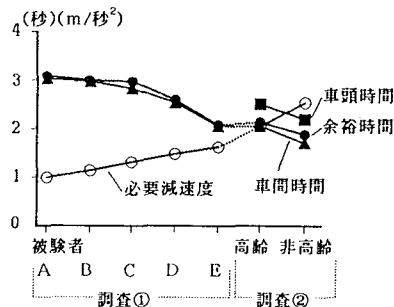


図-1 各指標の運転者平均の比較

示す。これをみると、必要減速度のF値が双方とも最も高く、次いで車間時間・車頭時間・余裕時間の順になっている。また、調査③④について分散分析を行なった結果を表-3に示す。

これらのF値をまとめたのが図-2であるが、必要減速度は運転者間変動の説明力が高く、かつそれ以外の要因の影響を受け難く、最もふさわしい指標と考えることができる。

この結果から、本研究では必要減速度を運転者の追従時の速達性・安全性に対する重視の度合を表わす指標として用いるとともに、これが交通要因には影響され難いことから式-2を追従モデルとしても用いることとした。なお、調査①②のデータについて必要減速度の平均と標準偏差を表-4に示す。

4. シミュレーションモデルの構成と特性

(1) シミュレーションの目的

外部から制御する変数として、運転者の追従特性値を表す必要減速度の分布形と、車線変更の可不可を与える。出力として、交通需要のレベル毎に平均空間速度、平均密度、捌け交通量を求める。

(2) シミュレーションモデルの構成

車両一台ごとをモデル化し、1秒間隔の定スキラン方式とした。外部から操作しない部分は以下のような構成とした。

表-2 各指標の分散分析の結果(運転者の差)

	指 標	F 値	η^2	ϕ^2	有意水準
調査①	車間時間	2.43	4	177	0.049
	余裕時間	2.07	4	177	0.086
	必要減速度	4.90	4	177	0.001
調査②	車頭時間	0.58	1	201	0.449
	車間時間	0.75	1	201	0.388
	余裕時間	0.22	1	193	0.638
	必要減速度	4.09	1	193	0.045

表-3 各指標の分散分析の結果(運転者以外の差)

	指 標	F 値	η^2	ϕ^2	有意水準
調査③	車頭時間	1.32	1	316	0.251
	車間時間	1.65	1	316	0.200
	余裕時間	1.74	1	316	0.189
	必要減速度	1.43	1	316	0.232
	必要減速度	1.43	1	316	0.232
調査④	車頭時間	1.07	1	349	0.301
	車間時間	2.62	1	349	0.107
	余裕時間	1.83	1	348	0.177
	必要減速度	0.79	1	348	0.376

a) 交通の発生・集中

車線変更禁止はその区間長により影響が異なることを考慮し、次のように発生させる交通のトリップパターンを定めた。対象道路は図-3のような10個の一方通行リンクとし、各リンクの交通量が同じで、トリップ長が500m~5kmの間で一様分布するような表-5に示すODパターンを与えた。

各ノードで発生間隔が指数分布に従うようにした。また、車両ごとに、入力された分布形と乱数から必要減速度の値を決定した。

b) 道路条件

各500mの一方通行リンクは、片側2車線とし、走行に影響するような道路条件は一定で分岐や信号制御はないものとした。

c) 追従挙動

これまで述べてきたように、追従モデルとして式-2を用い、左辺の必要減速度はおもに調査②から得られた観測値の分布形をもとに、シミュレーションの入力情報として各運転者に固有の値を与える。そして、この式の関係を用いて、各時刻における車間距離、前車速度から、自車速度が決定され则认为することとした。

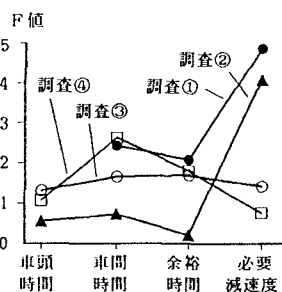


図-2 各指標のF値の比較

表-4 必要減速度の運転者別統計
単位(m/秒²)

		平均	標準偏差
調査①	被験者A	1.02	0.57
	B	1.16	0.53
	C	1.34	0.68
	D	1.64	0.74
	E	1.50	0.88
	全体	1.30	0.71
調査②	高齢者	2.10	0.91
	非高齢者	2.58	1.40
	全体	2.49	1.33
	全体	1.92	1.23

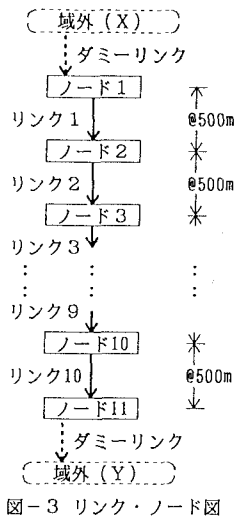


図-3 リンク・ノード図

表-5 シミュレーションの発生トリップパターン
(表中の数字は発生する交通量の比率を示す)

		目的ノード番号										Y	計
		1	2	3	4	...	10	11					
出発	X	11	10	9	8	...	2	1	0				
1		-	1	1	1	...	1	1	1	1		11	
ノ	2	-	-	1	1	...	1	1	2			11	
ード	3	-	-	-	1	...	1	1	3			11	
番号	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
10	:	-	-	-	-	...	-	1	10			11	
11	:	-	-	-	-	...	-	-	-			11	
計		11	11	11	11	...	11	11					

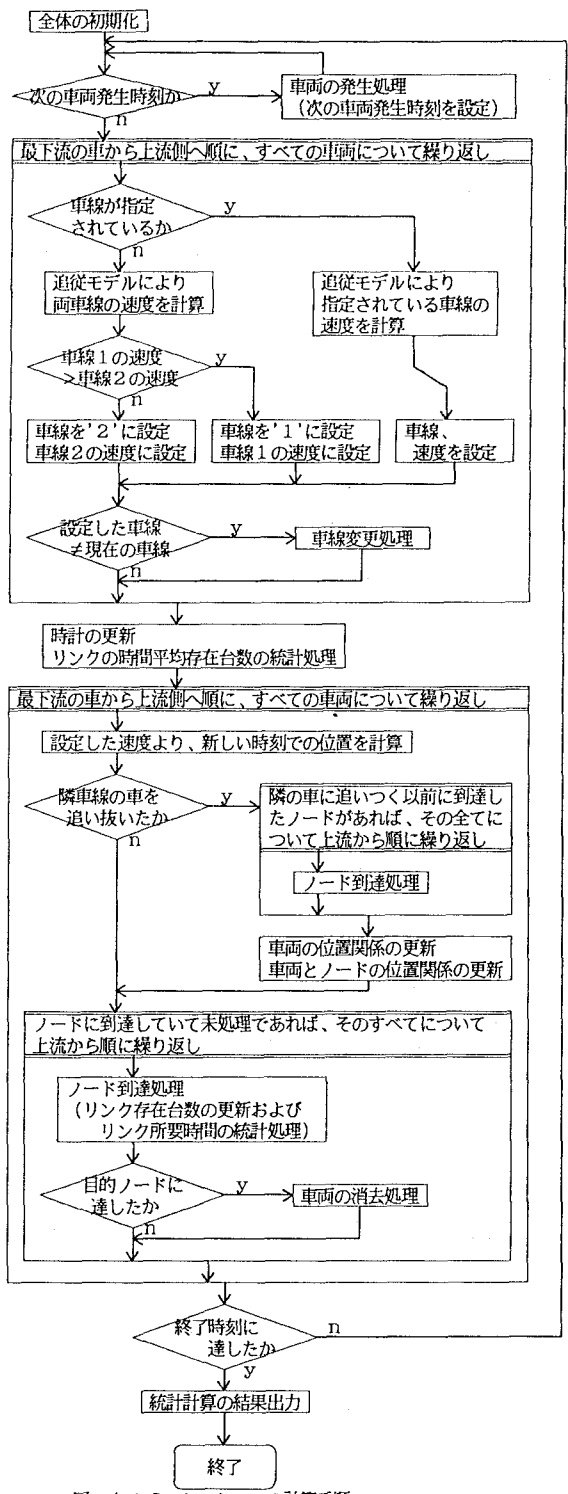


図-4 シミュレーションの計算手順

また、このモデルでは調査で得られなかったような密度の高い場合及び低い場合は表現しにくいと考え、自由速度、及びジャム密度の制限を設けた。自由速度は、調査②のサンプルが調査では車頭時間が求められなかった自由速度で走行している車両からも影響されているものと考え、モデルから得られた交通量-速度特性が調査データを再現するよう調整することとした。ジャム密度は、観測値をもとに一律に車頭距離が15mより高密にならないものとした。

なお、車長は一定とし、6mに設定した。

d) 車線変更挙動

車線変更はギャップが大きいほど行いやすいと考えられるが、その条件はこれまで十分に明らかにされているとはいえない。そこで本研究では、目的とする車線変更可否の比較を、次のような仮定下の状況の比較で置き換えて考えることとした。

一つ目は、車線変更可に対応するものであり、車線変更の自由性が十分に高く、2車線のうち自車がより高速で走れる車線へ何の制約もなく瞬時に変更できる状況を仮定した。もう一つは車線変更不可に対応するものであり、実際には極端な車線のアンバ

ランス状態では車線変更する違反車が発生すると考えられるが、ここでは発生しない仮定とした。

実際の車線変更可および不可の状態は、この2つの仮定した状況の中間にあたると考えられる。

e) 出力情報の収集

リンク毎に、走行所要時間から空間平均速度を、存在台数の時間平均から平均密度を出力できるようにした。またノードの通過交通量も数えた。

(3) シミュレーションプログラム

プログラムは図-4に示す計算手順で Fortran 言語を用いて記述し、ソースコード約 900行となった。演算は大阪大学大型計算機センターの汎用機 ACOS-2000を用いた。演算時間はシステム内の車両存在台数にほぼ比例し、実時間30分間のシミュレーションに 100台当たり0.92秒を要した。

(4) 現況再現性の確認

調査②で得られた必要減速度分布を用いたシミュレーションで速度の上限を調整して 40km/時(11.1m/秒)とした場合に、交通量-速度、密度-速度関係は図-5, 6 のようになった。実測データの平均的な傾向と、概ね一致していることがわかる。

(5) 車線変更の可否の影響

道路区間の容量を考える際に用いられる基本交通容量⁴⁾は車線当りでは多車線道路は2車線道路の2倍弱の容量と考えられている。しかし、多車線道路を車線変更禁止とした場合に2車線相当まで低下するか否かについては明らかではない。

シミュレーションから求めたものは前出の図-5, 6に示したとおりで、現実の車線変更可否よりも差が大きいと考えられるような設定の比較であるに

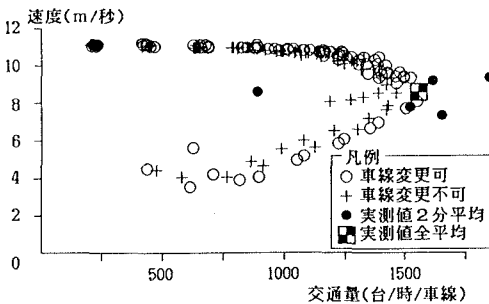


図-5 シミュレーションによる交通量-速度特性

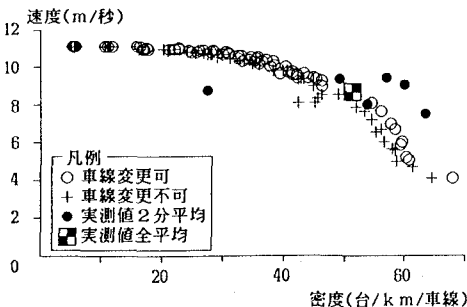


図-6 シミュレーションによる密度-速度特性

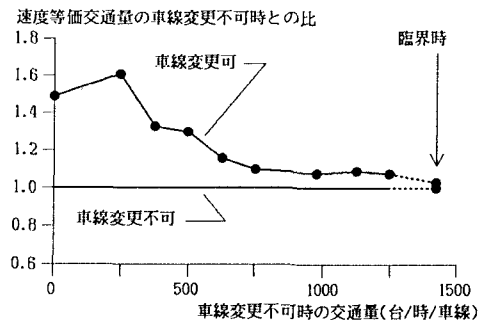


図-7 車線変更可否の比較

もかわらず、あまり明確な差異はみられない。

図-7は、車線変更の可否のそれぞれで同じ速度となるような交通量の比、及び臨界時の交通量の比を縦軸に取った。以下これを速度等価交通量比と呼ぶこととする。横軸はその速度の時あるいは臨界時の車線変更不可の場合の交通量である。これを見ると、臨界交通量の約 1/2以下の範囲で両者の差が顕著であり、この程度のサービスを維持するには、車線変更が可能であれば不可の場合に比べ約30~60%増の交通量を捌き得る結果となっている。シミュレーションの車線変更可否の設定を考えれば、実際の効果はこれよりも低いと考えられる。臨界交通量付近では車線変更の可否は捌け交通量にほとんど影響しない結果となった。

(6) 必要減速度の分布の影響

必要減速度の分布の影響を調べるため、車線変更ができない状況において、調査②で得られた全運転者の必要減速度分布の場合と、非高齢者と判断された運転者だけの必要減速度分布との場合とを比較した。

結果を図-8に示す。図-7の車線変更可の場合の全運転者の結果についても重ね示した。非高齢者だけの場合は必要減速度の平均が大きいので、同じ速度でもより多くの交通量を捌くことができることがわかる。

5. 車線運用の影響分析

(1) 分析対象ケースの設定

この章では速達性を重視する運転者と安全性を重視するものとで利用車線を区分した場合の影響を、

交通量-速度特性の変化で評価する。

現況として、調査②で得られた運転者がすべて混在している状況での車線変更の可および不可の場合について考えることとした。設定ケースとしては、この必要減速度分布の小さい方から10%を安全重視群と定義した場合、および20%、30%とした場合の3通りを設定し、安全重視群に1車線、残りの速達重視群に1車線を割当て、車線変更禁止とした。

(2) シミュレーションによる評価

シミュレーション結果から速度等価交通量を求め、現況の車線変更可・不可の結果と重ね合わせたのが図-9である。いずれも現況・車線変更不可を交通量比の基準とした。

これをみると、安全重視群を少なくすると車線利用率の偏りが進み、同じ速度での交通量が低下している。車線当り交通量500台/時以下の需要状態なら、安全重視側の20%の運転者に一車線を割当てて車線変更禁止としても、現況・車線変更可と同程度の速度で流れることがわかる。安全性は分離することによって高まると考えられることから、この場合には対策は十分意義があると考えられる。

また、より需要が多い状況においても安全性重視群を30%まで広げれば速度面での損失はさほど大きいものではなく、分離による安全面での効果を考えれば実施する意義はあると思われる。

(3) 運転者別車線運用の具体化への課題

このような対策を具体化するには、まず、運転者を適当な比率で安全重視群と速達重視群に区分することが必要である。本研究においては必要減速度の値で分離したが、実現可能性を高めるには、今後、

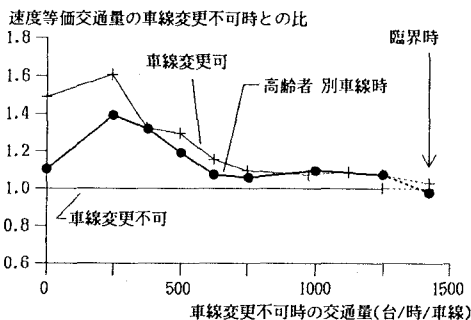


図-8 必要減速度分布の影響の比較

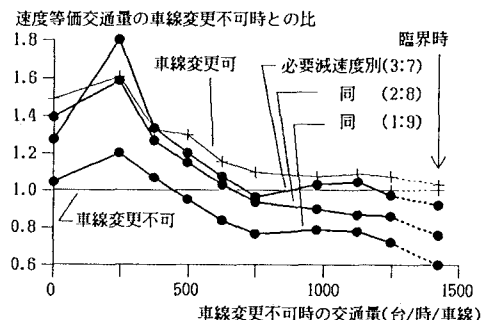


図-9 車線運用の影響の比較

この値と運転者属性との関係を明らかにして、属性による区分を考える必要があろう。また、車種と必要減速度の関係をも合わせ明らかにすれば、例えば、比較的低密のバス専用車線に高齢者を混在させた場合についての予測や評価も可能となる。

区分された運転者は決められた車線を走行するように制度化することはもちろんのこと、初心者マークに類似した識別標を交付すれば、違反取締りも可能となろう。さらに、交通需要のレベルに応じて対策の有意性が変動するという結果が得られたことから、時間帯を限って実施することも重要といえよう。

6. 結論

本研究では、運転者の追従特性の個人差を表現する方法、およびそれを交通流として表現するためのシミュレーションモデルを構築し、それを用いて、運転者を分類し利用車線を区分するという方法についての評価を行なったものである。

得られた主な成果は次の通りである。

- ① 追従特性は速達性と安全性に対する運転者の重視の度合によって表現できること、前車が停止しようとした際に自車に必要な減速度の大きさが、これを表わすのにふさわしいことがわかった。
- ② 運転者の特性値である必要減速度の個人間の差異や車線変更の不可の影響を明らかにするためのシミュレーションモデルを構築した。

これによれば、交通量レベルが低い場合に、車線変更可なら同じ速度の車線変更不可の場合の約30～60%増の交通量を捌けることがわかった。また、運転者の特性値である必要減速度の分布が捌け交通量に影響を及ぼすことが明らかになった。

- ③ 必要減速度の値によって利用車線を区分する方法は、運転者の区分の方法によって異なるが、車線変更を禁止するにもかかわらず平均的な速度低下はさほど小さくなく、このような対策の実施は十分意義があることが明らかになった。

参考文献

- 1) 柏谷増男, 溝端光雄: 地方都市における将来老人交通需要推計, 都市計画別冊昭和58年度学術研究発表会論文集, pp.427-432, 1983.

- 2) 本多義明, 村本清美: 高齢者を考慮した交通施設計画のための基礎的考察, 福井大学工学部研究報告, 第32巻, 第2号, pp.259-283, 1984.
- 3) 警察庁交通局交通企画課: 道路交通関係実例判例集, ぎょうせい, 1988.
- 4) 交通工学研究会: 交通工学ハンドブック, 技法堂出版, pp.199-236, 1984.
- 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, 土木学会論文集, 第124号, pp.28-41, 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, 第22巻, 第6号, pp.31-44, 1987.
- 7) Gazis, D.C., R.Herman, and R.W.Rothery: Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow, Oper.Res., Vol.9, No.4, 1961.
- 8) 前出 4), pp.165-198.
- 9) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, 第371号/IV-5, pp.1-7, 1986.
- 10) 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, 第13巻, pp.221-228, 1990.